



北京市高等教育精品教材立项项目

飞行之梦

——航空航天发展史概论

李成智 李小宁 田大山 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书按照历史发展的时间顺序,为读者系统、完整地展开了一幅航空航天发展的历史画卷。本书史料丰富、结构严整、思路清晰,内容深入浅出、逻辑性强。通过本书,读者能够全方位了解到人类一步步从对航空航天的早期探索,到成功飞向天空,进而征服宇宙的精彩历程。

本书适合作为高等院校学生科学技术史——尤其是航空航天史课程教材,也适合具有中等以上文化程度的航空航天技术爱好者阅读,同时也可供航空航天科技专业人士参考。

图书在版编目(CIP)数据

飞行之梦——航空航天发展史概论/李成智等编著.

北京:北京航空航天大学出版社,2004.5

ISBN 7-81077-146-9

I. 飞... II. 李... III. 航空航天工业—技术史—世界 IV. V1-091

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 009844 号

飞行之梦——航空航天发展史概论

李成智 李小宁 田大山 编著

责任编辑 韩文礼

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话 010-82317024 传真 010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail bhp@263.net

河北省涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

开本 787×960 1/16 印张 26.25 字数 588 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷 印数 3 000 册

ISBN 7-81077-146-9 定价 30.00 元

前言

航空航天发展史是研究各类飞行器技术起源、发展历程、社会影响和发展战略的一门分支学科。目前,全国航空航天院校普遍开设航空航天技术概论课程,以使学生对航空航天技术原理“知其然”,而航空航天发展史这门课程主要是让学生“知其所以然”。

北京航空航天大学自1982年开始招收航空航天史研究方向的硕士研究生。为开设航空航天发展史课程,史超礼教授曾潜心撰写《航空航天发展史纲要》(共二册)作为教材。

研究一门科学,必须要了解这门科学发展的历史,并从中吸取有益的经验教训。为此,北京航空航天大学自1991年起率先在本科生中开始开设航空航天发展史课程。本课程曾先后使用过《航空航天发展史纲要》、《航空航天史文集》、《人类飞行的历程》作为代用教材。

近年来,航空航天领域取得了许多新的重大技术成就,对社会、经济、军事、文化的影响也日益深远。在这种新的形势下,为满足学校教学的需要,也为向社会各界读者提供一本全方位介绍航空航天发展的辉煌历程的高级科普读物,我们重新编写了这本航空航天发展史教材。本教材将系统、生动地讲述航空航天技术的发展史,还将从各个方面阐述航空航天技术对人类社会产生的巨大影响。希望这本书的出版能够对普及航空航天知识作出一些贡献。

本书向读者展示的是人类飞向天空和征服太空的完整历史画卷。从航空之父乔治·凯利的开创性贡献,到莱特兄弟驾驶他们自己设计制造的世界第一架飞机试飞成功;从活塞式飞机的发展高峰,到喷气时代的来临;从第一架超声速飞机,到第四代超音速战斗机;从民用航线的建立,到五代喷气客机的更新换代;从航天先驱的奋斗足迹,到实用火箭武器的出现和运用;从洲际导弹的诞生到运载火箭的更新;从人造卫

星到载人宇宙飞船 ;从航天飞机到载人空间站.....读者将会看到人类的飞行之梦是如何从探索到希望 ,直到成为现实的。

本书为“北京市高等教育精品教材立项项目”,内容丰富、结构严整、语言生动、深入浅出、系统性强、启迪性强,适合作为高等院校学生科学技术史——尤其是航空航天史课程教材,也适合具有中等以上文化程度的各层次航空航天技术爱好者阅读,同时也可供航空航天科技专业人士参考。

本书由北京航空航天大学李成智教授、李小宁教授、田大山教授共同完成。其中第八章由李小宁撰写,第六章由田大山撰写,其余各章及统稿工作由李成智完成。作者在此感谢北京市教育委员会的资助,并对在本书申请立项过程中做了大量辛勤工作的北京航空航天大学燕瑛教授、秦安琳老师和在本书出版过程中付出大量心血的北京航空航天大学出版社表示衷心地感谢。

李成智

2003 年 1 月

第一章

绪 论



鸟的飞行姿态是如此美妙。人类在数百年模仿鸟类飞行未获成功的情况下,探索了新的定翼飞行方式,发明了飞机。尽管飞机在飞行速度、高度以及载重量方面都远远超过了任何飞鸟,但仍有许多不尽人意的地方。也许当人类揭开了鸟的飞行奥秘之时,将发明全新的仿鸟飞行器。

人类是经过长期进化从普通动物中脱胎出来的。虽然人类有一副动物无法相比的发达的大脑,但人不能如鸟类凌空飞翔,不能同鱼类潜藏水底,不能如猛兽尖牙利齿……

飞鸟翱翔的自由使人类对飞行的渴望深深地植根心中,日积月累,广为流传,逐渐衍生出一个个美妙动人的幻想故事。中国古代流传着许多的描写飞行的故事——嫦娥奔月、雷震子……西方也有许多关于飞行的传说,古希腊神话中的阿波罗、赫尔墨斯、赫拉克勒斯等都是能在空中自由飞行的英雄。神话传说在人们心目中确立了飞行的目标,进而成为人类探索飞行的动力。

在人类征服自然的过程中,涌现出大量与航空有关的技艺和发明,有的发明本身就是原始的航空器。中国古代在飞行技艺方面有许多成就,如竹蜻蜓、木鸟、风筝等,都是对飞行从渴望且尝试的结果。此外,箭羽,体现了空气动力稳定原理;相风鸟,用于测量风向和风速;船舵,用于水动力操纵,对飞行器操纵亦有重要意义;走马灯,体现了喷气发动机燃气涡轮原理;降落伞,体现了空气阻力降低下落速度的原理;被褥香炉,体现了航空陀螺仪万向支架原理;指南针,至今仍是飞行器上重要的辅助方向指示仪;还有更为伟大的发明——火药和火箭。这些都是中国古代科学技术的结晶,是中国对世界航空史的重大贡献。

与中国不同,更多古代西方人亲自尝试飞行。在人们对飞行问题还知之不多的情况下,有大量的西方冒险家勇敢地从事着飞行冒险活动,甚至为此牺牲了生命。他们的某些行为可能是鲁莽的,但他们的精神却是伟大的。他们悲壮的行动不断地激励着后人探索飞行,也促使人们开始科学地研究飞行问题。

真正开始航空科学研究的人是达·芬奇(L. da Vinci, 1452—1519)。他在30多岁的时候对鸟的飞行发生了浓厚兴趣,开始投入很大精力研究航空学问题,前后持续了20多年。他对鸟类进行长时间的认真观察和解剖研究。他观察了各种飞鸟、蝙蝠、昆虫,还研究水里游动的鱼类,分析它们飞行或游动的动作和各部位的作用机理。1505年达·芬奇在《论鸟的飞行》中,讲述了鸟的飞行原理,身体各部分在飞行中的功能以及空气的性质和作用。他对鸟的推进、升起、稳定和飞行控制的观察很细致,得出了一些有价值的结论。他的论文可以说是航空史的第一篇科学论文。他还动手设计过扑翼机、降落伞和直升机,他被许多航空史家视为直升机的发明者。

18世纪以前,关于鸟的飞行问题最有成就、影响最大的研究工作是意大利学者波莱里(G. A. Borelli, 1608—1679)做出的。其著作《动物的运动》1680年出版后,一直被广泛引证,成为权威著作。在此书中,他首先详细描述了鸟及其翅膀的解剖结构,并计算了一些典型的尺寸和各部分的相对大小;接着他分析了鸟的飞行原理,指出鸟的飞行是空气的弹性力作用的结果。书中不仅讨论了鸟的飞行机制问题,还论述了人类飞行的可能性问题。波莱里指出:“人依靠自己的力量进行扑翼飞行是不可能的。”由于他的著作流传很广,影响了大众的飞行观,事实上对航空的发展产生了某种消极的作用。

英国大科学家胡克(R. Hooke, 1635—1703)是一位飞行的热心者,但他始终对人类的飞行持乐观态度。他认识到利用人的肌肉是不能实现飞行的——“人要想飞起来,胸部须有2米

宽,并长出丰满而强有力的肌肉和翅膀”。因此,他认为人类的“飞行”必须依靠机械动力。

但是,冒险的飞行尝试并没有因为波莱里和胡克的科学结论而消失。1742年,60多岁的法国人巴凯维尔(M. de Barqueville,1680—1760)做了一次飞行试验。他把4个翼形机构分别绑在手臂和腿上,从塞纳河畔一个旋转的屋顶上跳下,据说只滑翔了一半的距离就掉了下来。东欧的齐普里安(Cyprian)、波希米亚一个叫伏契克(Fucik)的村民,都用自制的“飞翼”进行过类似的飞行冒险。此类尝试甚至持续到热气球试飞成功后。更有甚者,在飞机发明成功9年之后的1912年2月4日,33岁的裁缝莱希尔特(Franz Reichelt,1879—1912)用自制的一个大型斗篷从埃菲尔铁塔的第一个平台(60多米高)跳下后,直线下坠,落地身亡。这个事件被电影真实地记录下来,真不知道今天的人们看起来作何感想。

航空的发展道路相当曲折。在探索扑翼飞行失败后,人们近乎偶然发明了载人热气球,使人类突破了二维空间,实现了升空飞行。1783年,法国的蒙哥尔费兄弟(Montgolfier Brothers)研制成功热气球,开始了航空飞行时代。此后,轻于空气飞行器成了航空发展的主流。从热气球到氢气球,从气球到飞艇,无论试验还是应用,这样一条发展线索一直延续到20世纪30年代。但由于飞艇的局限性,20世纪40年以后,这类飞行器迅速走向衰落。

在热气球开始蓬勃发展的年代,重于空气飞行器——飞机的发展依然十分缓慢,其中主要的原因是航空理论研究还未取得突破,新型发动机尚未面世。缺乏理论指导是长期以来飞机探索活动中的重要特点,也是飞机研制进展缓慢的主要原因。可以说在19世纪以前,飞机发明的时机还没有成熟,基础尚未建立。

1903年12月17日,在广泛吸收前人的成果并结合自己研究的基础上,经过几年的探索,美国的莱特兄弟(Wright Brothers)终于研制成功第一架载人动力飞机,使人类进入了航空发展的新时期。此后不久,欧洲也研制成功第一架飞机。航空的大发展开始了。第一次世界大战,还处于幼年阶段的飞机一投入战场,便对战争格局的演变产生了重大影响,这使飞机及其相关技术迅速成长起来,其历史地位越来越不可动摇了。

航天技术的发展道路与航空有很大的不同。航空技术发展初期,人们长期处在盲目的冒险阶段,航天的发展则是以建立航天理论开始的。在飞机发明的同一年,航天学理论建立了。航天作为一门科学是20世纪的产物。但航天科学的基础却是在20世纪以前长达数千年间建立的——其思想基础是源远流长的航天幻想文学,其科学技术基础是中国古代的火箭技术,西方天文学、物理学等的成就。

“文艺复兴”导致新天文学的诞生。它教人们用新的眼光看待宇宙,把地球看作一颗普通的行星。这又不可避免地使人们以地球的见闻和感受设想其他的行星。那些星球是什么样的?是否有人类居住?类似的问题越来越使人感兴趣。使人最易于产生联想的当然首推地球的近邻——充满神秘色彩的月球。月球旅行成了人类最早的航天幻想的主题。新天文学的创始人、德国天文学开普勒(J. Kepler,1571—1630)于1634年完成了科幻小说《梦想》。在这部最早创作出的航天科幻作品中,人类借精灵之力实现了登月。1638年,英国主教弗朗西斯·戈德温(F. Godwin,1562—1633)出版了《月中人》。英国皇家学会第一任主席威尔金斯(J.

Wilkins)主教也出版了一本关于月球旅行的书《月球世界上的发现》。这一时期,法国作家贝尔热拉(Cerano de Bergerac)或许是最重要的一位太空幻想小说家。他写的《月球之旅》和《太阳之旅》对航天飞行作出了可贵的预言——火箭是飞船适用的动力装置。

从18世纪末到19世纪,科学获得的长足发展,一系列重大发现引起太空科学幻想的热潮。这些成就包括:18世纪末,天文学家认识到火星和金星都是与地球类似的行星;1828年,德国的化学家维勒(F. Woehler, 1800—1882)指出生命体与非生命体含有相同的元素;1833年,英国天文学家赫歇尔(J. F. W. Herschel, 1792—1871)通过天文观测认识到太阳的非惟一性;1859年,基尔霍夫(G. R. Kirchhoff, 1824—1887)等用分光镜证明行星与恒星同地球有相同的元素;1859年,达尔文(C. Darwin, 1809—1882)发表《物种起源》,使进化论思想得以确立;1860年,门捷列夫(D. I. Mendeleev, 1834—1907)提出元素周期率,指出组成物质的基本元素是有限的。于是,人们更加清楚地认识到,地球不是上帝特别宠爱的天体,而是和火星、金星相似的行星,太阳系也是更大的宇宙中一个普通的恒星系。因此“世界多重性”不再是天文学争议的焦点,人们甚至还可以根据这个理论进一步推论宇宙中生命的多样性。只要有一定的条件,其他星球上会发展进化出生命。

航天飞行利用什么推进装置是先驱者们非常关注的问题。中国古代发明的火药火箭从原理上回答了这个问题,它是第一种实用的反作用推进装置。虽然它有许多局限,不是理想的太空运输工具,但它的基本原理完全适用于航天运载工具的需要。航天先驱者们正是通过对固体火箭的研究发现,要想实现太空飞行,只有依靠以反作用原理工作的火箭——特别是液体火箭。通过他们的研究和试验,从观念上在火箭和太空飞行之间架起一座桥梁。火箭原理成了征服太空的技术基础。

航天的发展是从建立火箭和航天理论开始的。齐奥尔科夫斯基和戈达德等人在20世纪开始的二十几年里建立了完整的航天学理论。在这些理论的指导下,火箭技术得到快速发展。从1926年戈达德研制成功第一枚液体火箭,到德国研制成功实用的液体弹道导弹仅用了20年时间;又过了14年,人类就发射成功第一颗人造地球卫星,跨入了航天时代。理论的建立和相关技术的成熟,大大加快了航天时代到来的步伐。

航空航天技术在20世纪取得了辉煌的成就。航空航天技术的广泛应用改变了世界的面貌,对政治、经济、军事、科技和文化都产生了极大的影响。航空航天技术的发展引起了人类社会的巨大变革,影响到通信、气象、导航、冶金、材料、加工、医学、能源、军事、地质、矿产、农业、文化、科学探测、天文学研究等各个领域,成为社会进步的强大动力。航空航天领域是典型的知识密集和技术密集的高技术事业。航空航天技术的发达程度,已经成为衡量一个国家科学技术、国防建设和国民经济现代化水平的重要标志之一。但是航空航天的发展是没有止境的。在新的世纪,人们将运用微电子技术、计算机技术、新材料、新工艺和新能源来发展性能更优良的各类飞行器,并扩大航空航天技术的应用范围。在航空方面,航空器将进一步向一体化、综合化和信息化的方向发展。新动力、新材料、新技术和新思想的运用将大大改善飞机的性能。未来的飞机将在载重能力、高速度、机动性、适应性和经济性方面取得新的突破。未来的航空

运输事业将会更普及、更安全、更经济,为人类的工作、旅游和生活带来更多的方便;通用航空将在农业、牧业、渔业、森林、探矿、气象、体育、治安和环保等领域发挥更加重要的作用;飞艇将以新的面貌再度辉煌。21 世纪,我们可以期望乘坐全新的旅客机用几小时时间进行洲际旅行,并且噪声低、污染小、更安全和更经济。未来的作战飞机综合性能更加出色,空中力量仍将是战争机器的核心。在航天领域,利用太空特殊环境,将能够获得新的科学技术发现和发明;从太空中获得信息、材料和能源将更加直接造福于人类;太空将成为人类频繁往来的新场所;航天活动将为解决人类面临的能源、生态、环境、人口等问题开辟多种新途径。总之,航空航天的新世纪充满了光明,同时技术上的难关也会层出不穷。人类既拥有发展航空航天技术的大好时机,又面临着巨大的技术与文化的挑战。

第二章

飞机研制之早期探索



✈ 1903 年 10 月 7 日和 12 月 8 日 ,美国航空先驱兰利试制的“空中旅行者”号飞机进行了两次试飞 ,由其助手曼利驾驶。由于起飞方式存在严重问题 ,两次均遭失败。两周后 ,莱特兄弟试飞成功第一架飞机 ,开创了航空新纪元。“空中旅行者”号飞机虽然未能取得成功 ,但它是莱特兄弟之前最接近成功的设计。

19 世纪是飞机研制的探索时期,这个时期始于“航空之父”英国的乔治·凯利。此间英国航空发展取得的成果有几个引人注目的特点:一是凯利开创了航空学——特别是空气动力学的实验研究,并进行了滑翔机的设计和飞行实践;二是飞机设计实践使现代飞机基本布局得以确立;三是出现了世界第一个研究航空学的学术团体,航空研究终于成为一门科学。这些特点决定了英国在航空早期发展中的领导作用。在英国之外,也可以看到许许多多航空先驱者的奋斗足迹——布里斯、坦卜尔、贝诺、阿代尔、李林塔尔、莫扎伊斯基、佩尔策、查纽特、马克辛、兰利等人在飞机研制与滑翔机试验过程中,做了大量探索工作,取得了不同的进展。虽然他们当中没有人最终研制成功飞机,但他们的奠基性的贡献为飞机发明成功打下了良好的基础。

第 1 节 航空之父乔治·凯利

乔治·凯利(G. Cayley, 1773—1857)是继达·芬奇之后第一位真正系统研究飞行问题的先驱者。他使飞机研究走上了真正科学的道路。由于他开创性的贡献,凯利受到后人的高度评价。1846 年,英国的汉森把他尊为“航空之父”。1909 年,飞机发明者之一威尔伯·莱特在一次演讲中说:“在一百年以前,乔治·凯利爵士把航空技术推向了前所未有的高峰。在整个十九世纪,这个高峰没人能够逾越。”1909 年,法国航空学会主席贝尔热在其著作中写道:“乔治·凯利爵士是真正的航空之父,他的名字值得用金字书写在航空史册的第一页。”航空大师冯·卡门评价说:“目前所知的关于刚性飞机的飞行原理,可以说是由凯利所首先宣布。”

乔治·凯利于 1773 年 12 月 17 日生于英国约克郡的斯卡巴勒城。凯利曾到诺丁瀚跟随数学家瓦尔克(Walke)学习。19 岁时,他又来到南盖特,从师于当时颇有名望的电学家和化学家摩根(Morgan)。在这两位出色的教师的教育和影响下,凯利对自然科学特别是数学和电磁学产生了非常浓厚的兴趣。

像大多数航空先驱者一样,凯利很小就对飞行发生了浓厚的兴趣。这一方面是出于对鸟类飞行的神往,另一方面是他孩提时代热气球载人飞行成功产生的影响,而后者是促使他进行航空研究的直接动因。

凯利的第一项航空研究是仿制和改进中国古老的玩具竹蜻蜓,时间大约是 1796 年。有趣的是,他对竹蜻蜓的兴趣一直保持到晚年,他去世前 3 年,还将一个改进的竹蜻蜓送给法国朋友杜布·代克。他对竹蜻蜓的兴趣不仅仅因为它的飞行非常迷人,更主要的是这个简单的玩具中能体现许多有用的航空知识,特别是旋翼原理。他在 25 岁前后曾根据竹蜻蜓设计了一架直升机旋翼直杆两端各加四片羽毛制成,由弦和弓的伸张力带动其旋转。这个直升机进行过多次成功的飞行。

为了进行航空研究,凯利对鸟的飞行作了大量的观察和研究,包括测量鸟翼面积、鸟的重量和飞行速度,并在此基础上估算速度、翼面积和升力之间的关系。通过分析研究,他认识到:人造飞行器应当分别实现升举和推进两种功能,而首先应当解决的是升举问题。这个重要思

想是摆脱片面模仿鸟类、实现定翼飞行的基础。此外,他还认识到鸟翼弯曲形状和迎角的重要性、重心与升力中心的关系以及对飞行稳定性的影响。根据这些研究成果,凯利于1799年设计了一架有上反角机翼、尾翼、机身的滑翔机,颇具有现代意味。

设计和试验滑翔机单靠对鸟的飞行的定性观察是不够的,必须进行空气升力和阻力的定量研究。凯利意识到了这一点,并开创了航空空气动力学的实验研究。依据罗宾斯使用过的力学研究装置,凯利于1804年12月设计制造了一架旋臂机,用于研究平板的升力和阻力。旋臂机实验件是一块0.1平方米的平板,它被安装在水平旋转杆的末端,可以偏转成各种角度。旋臂转动的动力来自于石块下落的势能。这个装置虽然简单、粗糙,且实验时间极短,但仍能初步获得定量的结果。利用这个装置,凯利得出了第一批关于升力和运动速度方面的数据。例如,当运动速度为3.52米每秒时,升力为1.1牛。根据这些数据,他半定量地认识到升力关系式。他在1804年12月1日的笔记中总结道:“空气的升力”与空气介质密度成正比,与平板面积成正比,与运动速度的平方成正比,与迎角的正弦成正比”。

根据这些认识,1805年他又设计了一架滑翔机,它包括了飞机的各主要部分,机身前端还有金属配重。这架滑翔机,有一副定翼和一副扑翼,其中扑翼是用来产生推进力的。1808年,凯利又设计了一架滑翔机,前端安装了一只大的框式风筝,具有鸟翼一样的弯曲结构。凯利在旋臂机试验过程中的另一个重要发现是:流线型物体能够大大降低阻力。为此他解剖了一条鳐鱼,画出截面形状曲线。冯·卡门评论说:“他得到的截面形状几乎可以跟某些现代的低阻力翼型完全相合,这一点是很令人注意的。”

1809~1810年,凯利把他的研究成果《论空中航行》分三次发表在英国《自然哲学、化学和技艺》杂志上。这篇论文在航空史上占有极其重要的地位,被誉为现代航空学诞生的标志。

凯利在论文中指出:“我相信,阐述这门艺术的基本原理以及大量事实和实际观察结果,将引起人们对这个课题的广泛注意。我希望这项事业加速实现,它会对人类产生广泛而深远的影响,由此一个新时代即将来临。”在论文中,凯利阐述了一架飞机的基本组成部分和基本制造要求,并且给重于空气飞行器飞行下了一个明确的定义:机械飞行的“全部问题是给一块平板提供动力,使之在空气中产生升力并支持一定的重量。”他通过估算,给出了一架飞机的设计参数。其中平板面积需要18.6平方米。他还分析了飞机的稳定性、安全性和操纵性的重要性。通过对降落伞下落时的姿态进行分析,他提出了机翼上反角这一重要概念,他说:“它是空中航行稳定性的重要基础”,“这一原理主要适用于侧向稳定,可以有效避免飞机的滚转运动”。在纵向稳定方面,他提出“在飞机后身加装像鸟的尾翅那样的水平尾翼……可以有效地使飞机保持水平稳定,同时还有产生附加升力的效果”。他还提出在尾翼上装可转动的垂直翼面,其旋转运动可保证飞机具有良好的操纵性。

在《论鸟的飞行》的第二部分里,凯利着重分析了设计飞机面临的几个主要困难。首先是动力问题,其次是动力转换问题,第三是提高结构强度和降低结构重量问题。他曾研究过人肌肉的力量,如果人的功率能100%地用于飞行上,那么人力飞行是可能实现的,但必须有高效率的动力转换装置。现代人力飞机的成功证明了他的观点的正确性。尽管当时蒸汽机已经发

明并得到应用,但凯利认为蒸汽机的功率重量比非常低,很难应用于飞机上。于是他研究了多种新的动力装置。1805年前后,他发明了一种热空气发动机,甚至设想使用液氢为燃料。他将发动机称为“第一动力”。

凯利在论文的第三部分中,提出了多翼机思想。他指出,当机翼面积增大时,重量轻和高强度不能同时保证,因此应当采用多翼面结构解决这个问题。这是航空史上首次明确提出的多翼机思想。

凯利发表这篇论文的目的之一是唤起人们对飞机的重视。他在文章中指出:“任何人都不会承认,在必要的理论充分建立起来后,其后大规模的实验工作将是非常耗时的。因此我希望,我所说的将会引起其他人们对这一课题的广泛注意,希望人们能给予重视,直到实现这门艺术。”

凯利多次设想并提议成立一个研究团体承担飞机和飞艇的研制任务。1816年他指出:“我希望所有对这项发明感兴趣的人,能像一个乐队那样协调配合工作,而不是作为一个发明家自行其是。”1837年,他在一篇关于飞艇的短文结尾处写道:“让热衷于空中航行的朋友们组织起来,选择一个地方召开会议,将此项事业发扬光大,以保证空中航行促进协会取得进步。”1840年,在综合技术学院一次会议上,凯利提议建立航空研究院。

凯利这方面的研究和成果远远超越了时代。在他之后近百年间,没有一位航空先驱者能超过他的水平或认识到他的发现的重大意义。他的种种设想和努力也因超越了时代而未取得成功。

大约30年后的1842年,汉森设计了有名的“空中蒸汽汽车”。这使凯利很兴奋,并于1843年4月在《力学杂志》上发表文章,对汉森的飞机设计作了评价。1849~1853年间,凯利设计了全尺寸载人滑翔机,一个10岁的小男孩乘坐它,通过一些用绳索把它逆着风拉,它飞离了地面。据记载,1853年6月,凯利的滑翔机又做了一次载人飞行。据说,一位马车夫乘坐这架飞机离开了地面,并降落在与起飞点的高度大致相同的西侧,飞机降落时飞行的距离可能比预计的要短得多。

凯利对航空的贡献是多方面的。除上面提到的外,他还发明了用于飞机起落架的张力轮;首次提出了大展弦比机翼思想;研究过火药动力发动机。有人总结出凯利取得了航空史上的18个“第一”或首创性成就。由此可见,把凯利誉为伟大的航空学之父毫不过分。

但是凯利的航空研究在当时没有引起足够的重视,他的成就也没有产生应有的重大影响,其原因主要有以下几点。第一,当时人们对飞机普遍持怀疑态度,许多权威人士几乎给飞机判了死刑,可以说科学界的保守观点对凯利航空思想的传播产生了很大阻碍。第二,在航空发展的早期,航空先驱者大都缺乏科学知识,重试验而轻理论,遇到问题也不习惯从理论文章里找答案。第三,凯利的航空研究理论工作多,试验工作少,老百姓自然不会关心难懂的科技论文,这影响了凯利航空成就的普及。第四,凯利为人谦逊,不好自夸,除了发表论文外,很少外出发表演讲或做广告。这限制了他的成就产生更大的影响。由于凯利的成就没有推广普及,以对航空事业产生应有的影响,使后来的航空先驱者们重复地走他已经走过的道路,重复地解决他早

已解决的问题,因而使航空发展走了很大的弯路。这是航空史上的一个重大损失。

第2节 英国航空学会的研究

乔治·凯利已经建立了重于空气飞行器的基本飞行原理和飞机的结构布局,研制飞行器的工作由另外两个英国人威廉姆·塞缪尔·汉森(W. S. Henson)和约翰斯·斯特林费罗(J. Stringfellow)继续进行。

汉森对动力飞行的兴趣来自凯利著作的影响。他在开始阶段主要是设计滑翔机模型,进行结构试验和改进轻型蒸汽机,尤其关注发动机。1842年1月10日,汉森在给斯特林费罗的信中谈到他早期航空研究的情况时指出,蒸汽机太笨重,不适于飞机使用。他计划进行进一步改进,目标是使蒸汽机在重量不变的情况下功率增加一倍。由于缺乏资金,发动机研制面临困难,汉森计划首先设计飞机并取得专利,以此集资并寻求合作者。

1842年9月29日,汉森申请了飞机设计专利——“用于空中、陆地和海上的蒸汽动力装置”。他在专利说明书上写道:这种装置“能够把信件、物品和乘客经由空中从一地送到另一地”。1843年4月,“空中蒸汽汽车”专利获得批准。这是历史上第一个重于空气飞行器的发明专利,专利使用的名称和列举的作用颇具吸引力,给人留下深刻印象,在世界航空史上具有重要地位。后人对这项设计也给予了很高的评价,称之为世界上第一种真正的飞机。

汉森在谈到这架飞机的飞行原理时解释说:“如果把一块又轻又平的、近乎方形的木板以一个角度倾斜抛出,平板将会飞入空中直到加在上面的力消失,平板就会落下来。可以构想,如果使平板自身具有一种持续的动力或其他力,大小等于斜抛的力,这个平板也同样会上升直到动力停止,平板在引力的作用下落回地面。如果动力是持续的,平板将会像鸟一样飞行。发明的第一部分是轻而坚固的平板,如同鸟的翅膀一样用于在空气的作用下支承本身的重量。平板的前向运动,由蒸汽机或其他轻型发动机驱动旋翼提供动力。”汉森还分析了飞机的操纵原理:“为了操纵飞机上下运动,可采用一个可以上下偏转的尾翼。当尾翼上翘时,空气作用于其上的阻力使机器上仰运动,反之亦然。机器的俯仰幅度可由控制尾翼倾角增大或减小实现。为了使飞机转弯,可采用一个垂直舵面或称第二尾翼,它左右摆动可以控制飞行方向。”

汉森的飞机取名为“空中蒸汽汽车”。飞机呈单翼结构,机翼翼展45.72米、翼宽9.14米、机翼面积418.1平方米,水平尾翼面积139.4平方米。飞机长约25.83米,总重约1360千克。汉森计划采用的动力装置是一台18~22.4千瓦的蒸汽机,驱动两个六叶旋翼,桨角45度。

银行家弗里德里克·马里奥特和律师科伦比出于商业目的,成立了“空中运输公司”,计划制造“空中蒸汽汽车”。公司成立后,多方面筹股,并按照贡献大小大致划定了所占股份比例:汉森占三分之一,科伦比占三分之一,马里奥特占六分之一,斯特林费罗占六分之一。科伦比和马里奥特是为金钱利益创办公司的,对飞机本身并不是真正感兴趣。他们到处做广告,四处张扬,画了许多招贴画。有些画还真有丰富的想像力:有的画着“空中蒸汽汽车”飞翔在金字塔

上空,有的“空中蒸汽汽车”在阿拉伯的古堡沿斜坡而下,准备起飞;有的“空中蒸汽汽车”在古老的中国飞行。一时间,“空中蒸汽汽车”在英国几乎家喻户晓。但广泛的夸张式宣传,并没有吸引到投资。相反,人们开始嘲笑“空中蒸汽汽车”和它的设计者汉森。科伦比和马里奥特的举动带来了种种非议,汉森也极为不满,他说:“那只是报纸的夸张,我从未有过如此狂妄的想法,制造一架能飞越大西洋的飞机。”

由于这件事的影响,同科伦比等二人的所谓合作也就完结了。但斯特林费罗坚信重于空气飞行器能够研制成功,并建议先进行模型试验,汉森也同意。1843年12月29日,他们两人签订了一项合作协议书,大意是:第一,如果必要的话,双方将共同申请专利;第二,所有的投资都以暂借的名义,将来从所获得的利润中归还;第三,在扣除所有开销之后,剩余利润平分;第四,承认各方的工作和贡献完全一样;第五,如果将来条件发生变化而需要时,双方可以讨论商议并制定更细致的条款;第六,为了实现最终目标,双方有义务并有权力从事有关的任何工作;第七,议定书没有提到的条款仍由双方协商。

1844~1847年间,汉森和斯特林费罗合作进行模型动力飞机的设计和研制。它的翼展6.1米,翼面积7.8平方米,尾翼面积1.1平方米,外形同“空中蒸汽汽车”非常相似。两个推进式旋翼直径1米,4片桨叶呈60度倾角,所用的小型发动机是斯特林费罗设计的。1845年6月17日,空中蒸汽汽车模型进行了首次地面试验。1847年,这架模型在查尔德城外的巴拉进行了飞行试验。由于无法支持本身的重量,它在弹射后便慢慢在落回了地面,试飞失败。

模型试验失败后,汉森由于消耗了大量个人积蓄,也由于试验失败带来的失望,完全放弃了飞机的研究。他于1848年初离开英国去了美国。

汉森走后,斯特林费罗继续进行模型试验。他有意识地把模型设计得较轻巧,总重仅4.5千克。除此之外,他还在许多方面进行了改进:使机翼前缘部分具有挠性,有利于增加自稳定性;机翼形状由矩形改为弧形等等。斯特林费罗为这架新模型设计了微型蒸汽发动机。斯特林费罗选择了一家废弃的厂房作为试验场地,并用斜面下滑起飞的方式提高起飞速度。1848年进行的第一次试验,由于斜面放置太高,致使模型高速下滑并触及地面而损坏。第二次试验时他把起飞装置角度调低,模型成功地飞了起来,直到撞到墙壁为止,飞行距离约20米,取得了成功。人们对斯特林费罗给予很高的评价认为这架模型是“第一台能够利用动力升空的机器”。

1867年英国航空学会秘书来查尔德拜访斯特林费罗,请他为航空学会将要举行的展览会提供展品。斯特林费罗答应为此设计一架模型。1868年6月,世界首次航空展览会在伦敦的水晶宫举行。斯特林费罗为展览会送交了三件展品:一个功率为0.38千瓦重量只有8千克的蒸汽发动机;一个0.746千瓦的蒸汽发生器;一架蒸汽动力飞机模型,这个飞机模型呈三翼结构。在展览会上,他的发动机获得了“最小重量功率比”奖。

1866年,世界上第一个航空研究团体“大不列颠航空学会”宣布成立。这是世界航空史的重大事件,也是重于空气飞行器发展进入一个新时代的标志。1870年英国航空学会成立了试验委员会。试验委员会在进行试验过程中,获得了一些重要成果,其中包括空气升力的关系

式。格莱舍还注意到边界层的影响。他指出：“与平板接触的流体粒子会改变它的运动路线，它将沿表面滑行。这种效应只适用于平板邻近的一层。而对于这种现象，理论上是无法预言的。”这是空气动力学的一大发现，也是首次阐述边界层的概念。但对于这个发现的意义和对边界层的处理方法，他们还一无所知。通过风洞试验，他们再次发现了高展弦比机翼的重要意义。

试验委员会维纳姆(F. H. Wenham, 1824—1908)和菲利普斯(H. F. Phillips, 1845—1912)的工作代表了英国航空学会19世纪航空研究的最高水平。

在英国早期航空研究中，维纳姆是做出过杰出贡献的人物。他不但建造了世界第一座专门用于空气动力学实验研究的风洞，而且获得了一些重要的空气动力学理论认识。另外，他在英国航空学会成立和发展中也作了大量工作。取得的成就和产生的影响方面看，维纳姆对航空的贡献也许超过了凯利和汉森等人。意味深长的是，维纳姆的工作唤起了美国的查纽特对航空的兴趣，而查纽特对于莱特兄弟走上航空之路起了重要的引导作用。威尔伯·莱特在1905年12月致信查纽特说：“我们对维纳姆先生的贡献表示深深的敬意，我们认为他是人类飞行的进程中最有能力并且贡献最大的人之一。”

英国航空学会成立前，维纳姆已经进行过几年航空研究，内容包括观察鸟的飞行、开展旋臂机试验、旋翼试验和全尺寸滑翔机试验等，这些工作为他的著名论文《论空中交通》作了大量前期准备。1866年6月1日，维纳姆致信《力学杂志》，阐述了他对航空学会研究目标的想法。他说：“从你们的信中我发现利用机械原理实现空中航行问题的研究是极其活跃的……学会的功能是利用收到的各种信息，发现事实，将信息转交给任何持人类能够驾驭天空作为运行中介的人们。”他认为学会的主要工作首先是积累与飞行有关的知识 and 科学事实，因此必须开展基础性的试验研究。

1866年，维纳姆在英国航空学会上发表了一篇题为《论空中交通和关于重于空气飞行器的支持原理》的演讲。这是他7年多研究的成果。他在演讲中说：“在飞行中得到的支承力必定取决于一定的各种重力之间的作用和反作用……在所有倾斜的平板中，如果能够快速在空气中运动，那么全部支承力将集中在平板前缘。”这个重要结论可以说是他第一次明确宣布的。

维纳姆的这一发现对飞机设计具有很大的指导意义。由此维纳姆又得到了两个重要推论：第一，在同样的翼面积下，高展弦比机翼能够产生更大的升力；第二，多翼结构对产生更大的升力有利。这两点推论都利用了机翼升力集中于前缘的定性理论。它们的意义在于：早期飞机动力不足，速度很慢，利用高展弦比机翼可以有效弥补这些不足。另外，慢速度飞机需要大面积机翼，而这样就产生了强度低的矛盾。采用多翼支柱结构可以大大提高机翼的强度。维纳姆在结尾声明中再次表明了对空中航行的信心。

维纳姆最初的试验工作是用自制的旋臂机进行的。维纳姆通过大量的试验发现，利用旋臂机无法得到精确的升力和阻力值，原因是试验件总是按照一个固定圆轨迹运动，从而不断产生对气流的干扰，使测量结果复杂化。他指出：对于机翼来说，它不会沿圆周运动，而是沿直线

始终在新的和不动的气体中运动,其干扰和“滑动”可以忽略不计。带着这个问题,他开始研究新的空气动力试验装置。他设想,如果将试验件固定不动,而让空气从中吹过,不是可以产生与旋臂机相同的效应吗?这可以说是风洞思想的关键。1871年,维纳姆为英国航空学会设计并建造了世界上第一座风洞。它是个四周封闭的矩形通道,一端有一架鼓风机,提供试验用的气流。风洞中间的一个支杆上安装试验件,用弹簧秤测量气动升力。这个风洞虽然简单,而且存在不少问题,但它开创了空气动力学试验研究设备的新时代。

在试验过程中,维纳姆发现他设计的风洞存在一些问题,因此一直试图进行改进。他在1896年写给查纽特的信中,还提到了准备建造一座更大的、气流更均匀的风洞。不过他的改进思想在此之前已由另一位英国航空先驱者、航空学会会员菲利普斯完成了。

在听到英国航空学会理事会的报告后,已经从事过航空研究的菲利普斯对风洞试验发生了浓厚的兴趣。但他对学会仅有的维纳姆式风洞感到不满足。大约在1880年前后,菲利普斯决定自己设计和改进风洞,并开展试验研究。1884年,他改进设计的风洞制造成功。这个风洞在许多方面有很大的创新。风洞长为2米,截面宽度0.43米。它的最大特点是试验气流由直射式改为引射式,并且加了过滤网,从而大大改善了试验气流的均匀性和平稳性。其他的改进还有:设立截面积不同的两个试验段,从而可以适应不同的试验要求;提高了测量装置的精度;利用水表测量试验气流的流速。菲利普斯为制造这座风洞花费了几千英镑巨资,虽然他在风洞上获得了好几项专利,但没有得到任何收益。

菲利普斯除了进行平板试验外,更多的是研究各种不同的翼型。他试验过的翼型多达上百种,有单弯度、各种双弯度,甚至还有菱形的。通过这些试验他发现,双弯度翼型即使没有迎角也能产生升力。这也是一个重大发现。基于试验结果和对高展弦比机翼的偏爱,菲利普斯于1893年设计了一架样子奇特的飞机。它上下排列着50个翼面,左右对称各25个。每个弯曲机翼长6.1米,宽只有4厘米,展弦比竟高达153厘米。这架飞机在试飞时没有取得成功。它的结构十分脆弱,重心也太高。人们对菲利普斯的这项工作给予了许多指责,认为他这是走上了极端,陷入了歧途。但他对翼型的研究和试验确实是相当充分的,也获得了大量有价值的认识和成果。

英国从19世纪初到1890年前后,航空研究活动无论从人数来讲还是从取得的成果看,都领先于全世界,这应归功于英国航空学会。但到了19世纪末期,航空研究中心已经转移到了法国。原因是多方面的:一是法国政府对飞机研制比较重视;二是英国政府一直持保守的不支持态度。还有一个原因不能不提。1896年,英国航空学会给当时最有影响的大科学家汤姆逊(即开尔文勋爵)写信,邀请他加入航空学会,结果遭到这位英国科学界领袖的断然拒绝。他在回信时写道:“在飞行方面,除了气球之外,我不相信重于空气的飞行器会取得什么结果。对此,我没有哪怕一丁点信心。”

一般公众往往相信权威人物的话,由此可知开尔文的观点会产生什么样的不良影响了。还有一件有趣的事是,英国航空学会自成立之日起,一直都在争取能够在学会名称前面加上“皇家”(Royal)一词。但由于官方不相信飞机能够研制成功,因此这个显示组织或团体地位

和合法性的称谓在 19 世纪一直没有得到。直到第一次大战结束时的 1918 年,随着航空技术的迅速发展和作用的显露,英国大不列颠航空学会才获准更名为“英国皇家航空学会”(即 RAS)。

第 3 节 动力飞机的研制探索

由于英国航空学会成立以及英国比较活跃的航空研究的影响,也许还由于可操纵的飞艇一直没有投入实际运用,到 19 世纪后半叶,重于空气飞行器的研究热潮开始在其他国家兴起。这一时期的发展特点是:一、虽然还有不少人认为重于空气飞行器是不可能的,但飞机的研制仍开始逐步深入人心;二、飞机的研究被不自觉地分成三种不同的研究方向和具体道路。第一条道路是从动力飞机开始,先设法使飞机离开地面,然后再解决稳定和操纵问题;第二条道路是从滑翔机开始,先解决飞机的稳定性和操纵问题,然后再给飞机加装动力系统;第三条道路则是一批理论家主要关注的解决有关飞行的理论问题。

在飞机成功发明之前,航空研究缺乏科学性,航空发展走了很大的弯路。由于科学界的保守势力的影响,科学家不大参与这种遭人非议的事业。从事飞机探索的大多是没有科学包袱的人,如军官、医生、发明家、工程师和钟表匠等。他们有勇敢的探索精神,但缺乏科学知识,也不注重科学原理的运用。因此飞机的早期研究被看作是“工匠的事业”。凯利和英国航空学会做出的成就对飞机设计起了极大的帮助,同时科学家获得的理论成果也有很大的指导意义。可惜,很少有哪位航空先驱者自觉地运用这些成果。这是耽误航空发展的重要原因。

法国的情况几乎完全反映了这个特点。尽管有很多人不懈地探索着,有的也取得了令人难忘的成绩,但对航空发展的贡献是很小的。这就是重实践而轻理论造成的结果。他们对航空事业的更大贡献是:在世界范围内引发了一场航空热,从而间接地推动了航空的大发展。

法国船长让·玛丽·布里斯(J. M. Bris)是早期对滑翔飞行做出了重大贡献的航空先驱者。他在漫长的航海过程中常以观看海鸟的飞行打发时间。长此以往,他对飞行产生了浓厚兴趣,经常有目的地观察信天翁的飞行并研究它的翅膀构造和扑翼方式。1857 年,布里斯设计了一架大型滑翔机。其翼面同信天翁的翅膀非常相似。它的翼展长达 15.3 米,采用的起飞方式是将滑翔机以特殊方式固定在马车上,然后驱车沿大路飞跑。当达到一定速度时,将滑翔机释放出去。第一次试验试飞时,他成功地飘飞了一段距离,这使他感到非常兴奋。不幸的是,他在第二次飞行时,由于遇到了下降气流,滑翔机落地摔坏。他本人也折断了大腿。因此,他几乎中断了滑翔机研制近 10 年。

1867 年,由于邻居和朋友的经济援助,布里斯又制造了第二架滑翔机。这架滑翔机留下了一张珍贵的历史照片。从照片上看,滑翔机仍有一副长长的信天翁式的机翼,中间是一个大型核桃状乘员舱,前头有一根细长的直杆,很像现代飞机的空速管。滑翔机后面有类似鸟尾巴

的长长的尾翼。滑翔机的下面是一个专门设计的起飞车,它是用人力推动奔跑加速的。

1868年,布里斯再度开始滑翔机试验。这次采取的起飞方式是将滑翔机放在小车上,从山顶滑下放飞。他原来计划自己乘坐试验,经友人劝告最后他用一个重物放在滑翔机上代替人进行试验。这次试验又遭失败,滑翔机翻倒,摔在地面。从此布里斯退出了航空舞台。布里斯研制的滑翔机设计和结构都不太合理:一是机翼刚度不够;二是机体太重;三是机身太短,尾翼无法提供纵向稳定。由此可以看出,单凭模仿鸟的形体来制造飞机是很难成功的,原因是不能把握飞行的真正规律。

法国动力飞机设计与试验工作始于海军军官费里克斯·杜·坦卜尔(F. D. Temple, 1823—1890)。他在19世纪40年代初进行过模型飞机的试验。这架模型类似于一只小鸟,最初用钟表发条驱动旋翼,后改用热空气发动机。这个飞机模型按当时的标准,是相当成功的。它在试飞时能依靠自己的动力,持续飞行短暂时间,并且能够安全着陆。在航空史上,它可能是第一架靠自身动力起飞并能持续飞行一段时间的人造飞行器。

由于这架模型的成功,坦卜尔于1857年设计了全尺寸动力飞机并获得专利。从外表看,它几乎完全是模型飞机的放大物。它的翼展将近30米,从上面看下来,它的形状像一只巨鸟,大大的翅膀用骨架支承,显得非常单薄。尾翼形状也很像鸟的尾巴。飞机的中间是发动机舱和驾驶舱。前面是一个直径达4米的14叶旋翼。坦卜尔的这架全尺寸飞机虽然不太科学,但它在设计制造上却有不少新奇之处:第一,机翼和机身骨架用铝合金制造;第二,三轮式起落架,带有橡胶减震器并且是可以收放的;第三,通过方向盘、方向舵和软索实现复合操纵。这些特点在后来的飞机设计中得到了应用。大约在1874年,坦卜尔的全尺寸飞机进行了一次试验,未取得很大成功。

1860年是航空史上极其重要的年代。这一年,法国工程师勒努瓦(J. J. E. Lenoir, 1822—1900)发明了汽油机。后经德国工程师奥托(N. A. Otto, 1832—1891)和戴姆勒(G. W. Daimler, 1834—1900)的改进和完善,汽油机以新的面貌出现在动力机械和运输机械的舞台,也给飞机时代的来临带来了新曙光。无数事实证明,蒸汽机的种种局限使之天生就不适合作为航空动力。现在有了轻型的汽油机,可以说发明动力飞机的时机已趋成熟。但由于19世纪后30年航空理论研究和实际探索仍处于脱节状态,使得飞机的研究和设计继续走着一大段弯路。

在法国早期航空先驱者中,阿方索·佩诺(Alphonse Penaud, 1850—1880)是一位有重要历史地位的伟大人物。他的伟大之处在于他的航空探索方法和提出的重要概念:首先进行理论研究,然后进行模型试验,最后过渡到全尺寸飞机的研制。航空史学家们对佩诺的赞誉颇高,有人甚至认为佩诺是从凯利到莱特兄弟之间最伟大的天才、最富有创造精神的航空先驱者。

佩诺的父亲是法国海军的一位将军,他希望自己的儿子长大后加入海军,但佩诺自小多病,很难从事任何体力工作。在家中闲着无事,他对飞机发生了兴趣并阅读了一些有关书籍。最初,他主要研究飞机的稳定性问题,并且颇有心得。1870年,佩诺发表了一篇论文《稳定性理论》。这篇文章阐述了保持飞机模型自动平衡和稳定的重要性,以及实现稳定的方法。为此,他还给出了两种飞机模型:直升机和飞机的稳定性原理并予以说明。

1871年,佩诺制作了几架模型直升机,它们都采用橡筋动力。这些模型试飞的情况不详,但有一点是值得称道的:它把直升机的旋翼布局结构予以标准化。作为玩具,他的直升机玩具模式一直沿用到现在。大约在同一年,佩诺制造了一架橡筋动力飞机模型:前面是一副机翼,机翼翼尖上翘,具有上反角。中间用一根直杆作为机身,尾部有一对小尾翼。机身下面是一束橡筋,驱动位于机身后端的推进式旋翼。佩诺给这架模型取名“有翼器”。它虽然简单,却体现了现代飞机的主要特征。对此冯·卡门评价说:他“所提出的模型飞机似乎是最先采用水平尾翼面以达到飞机稳定的一架”。“有翼器”在试验飞行时,获得了很大成功,飞行距离超过30米,且具有很好的稳定性,证实了上反机翼具有固有稳定性的原理。

从1873年起,佩诺致力于全尺寸飞机的设计。按照他的设想,这架飞机重量达到1200千克,装一台15.2~22.4千瓦的发动机。它的翼面呈近椭圆形,尾部有一对水平尾翼。前面装有两个拉进式旋翼。这架飞机有许多先进的特点:具有上反机翼;具有固定的垂直尾翼;具有可转动的方向舵;具有水平升降舵;具有单杆操纵手柄;具有玻璃座舱罩和可收放起落架和压缩气体减震器;可以在水面上着陆等等。佩诺估计这架飞机的性能大致是:能装载1到2名乘客,巡航速度为96.6千米/时。这个全尺寸飞机于1876年获得了专利。

由于没有合用的发动机,而且没有经费来源,这架飞机申请专利后并没有制造出来。佩诺的健康进一步恶化。失望、得不到理解、多病等多种因素使他失去了生活的勇气。1880年10月,佩诺在不到30岁时便自杀了。这是航空史的一个重大损失。航空大师冯·卡门十分惋惜地说:“他的一生和他的工作是空气动力学历史中悲惨的一章。”

在航空史上,法国电气工程师阿代尔(C. Ader)的试验或许是争议最大的事件之一。关于阿代尔的生平人们知之不多。1889年前后,阿代尔在法国官方资助下,设计并制造了一架蝙蝠式飞机,取名“风神”。它的外型极像蝙蝠。“风神”翼展长14米,机翼面积28平方米,机长6.5米,装一台15.2千瓦的蒸汽机,带动一副4叶旋翼。“风神”的总重量约为296千克。这架飞机于1890年10月9日在靠近格雷茨湖的阿美因小山村进行了一次秘密试飞。

阿代尔于1892年又开始制造第2架飞机,但工作尚未完成就放弃了。继而他又制造第3架飞机。他给这架飞机起了个后来被广泛采用的名称:飞机(Avion),并按顺序将其命名为飞机3号。飞机3号与“风神”的外型非常相似,只是尺寸有些增加:翼展长达16米,总重400千克,发动机仍采用15.2千瓦的蒸汽机。另一项重大的改进是由一副旋翼改为两副。

1897年10月12日和14日,飞机3号进行了两次秘密试飞,结果如何当时也不为人所知。阿代尔在给朋友的信中含含糊糊地说:“在经过大量的工作,花费了大量金钱后,我解决了这个问题。只是由于试验场太小,才没有飞行更远的距离。”但从法国军方终止这项资助以及阿代尔也放弃了飞机研制工作这两方面线索看,那两次试飞的结果大概不太令人满意。然而在1906年8月和9月桑托斯·杜蒙完成了欧洲首次持续动力飞行之后,阿代尔宣称:他的蝙蝠式飞行器“风神”于1890年10月9日成功地“飞行了大约50米”;他的双旋翼飞机3号于1897年10月14日“不间断地飞行了约300米”。这一事件当时立刻引起了很大反响。

后来的考证表明,由于升力不够,动力不足以及稳定性较差,阿代尔的几次试验都没有取

得很大成功。一般认为,他是首次利用飞行器自身的动力实现从平地上短暂跃飞的人。威尔伯·莱特于1911年考察过阿代尔的飞机3号。他指出:阿代尔的飞机除机翼可前后摆动外,其飞行是不可操纵的……而且机翼没有足够的刚性能保持一定的形状并支持飞机的重量。飞机缺少必要的升降舵控制装置,方向舵的操纵亦不完善,无法实现持续的飞行。后来人们从阿代尔的笔记里发现了新的证据,证实了他设计的飞机根本不可能具有飞行的能力。原来从他的笔记和设计说明中可以明显看出,他本人完全不懂空气动力学和飞行控制。

19世纪后期,俄国、英国、美国等都是一些动力飞机的探索者。美国除兰利和莱特兄弟之外,仍有人偏重于在欧洲几乎已没有市场的扑翼飞行器。1869年到1887年间,有不少人申请并获得了扑翼机专利,如奎姆比(W. F. Quimby)(1869年)、凯斯(A. P. Keith)(1870年)、惠勒(I. M. Wheeler)(1887年)等。还有一些人则致力于直升机的探索和设计工作,如克罗威尔(L. C. Crowell)(1862年)、沃顿(J. Wootton)(1866年)、沃德(J. B. Ward)(1876年)等。美国的航空研究有一个很突出的特点,那就是非常重视技术保密问题,这一点在后来的兰利、莱特兄弟身上也表现得非常明显。

据苏联1948年6月10日的《苏联新闻》和1954年出版的《大众百科全书》公布,俄罗斯海军军官莫扎伊斯基在1882年进行过动力飞机飞行试验,并取得了成功。尔后,苏联的官方口气一直宣称莫扎伊斯基是世界上第一架飞机的真正发明者。70年代后,这件事也得到了进一步澄清,对莫扎伊斯基的评价也相对客观得多。

莫扎伊斯基(N. Mozhaisky, 1825—1890)是俄国海军军官,后来晋升为少将。他于1856年开始研究重于空气的飞行器。开始阶段,他全面研究了鸟的结构及其飞翔能力,旋翼的性能与飞行动力学等。尔后,开始制造模型飞机,1876年曾公开进行模型飞机飞行表演。他还制造过大型风筝,并用三匹马拉风筝进行载人飞行试验。据称这些试验都获得了一定成功。受这些试验工作的激励,莫扎伊斯基开始设计全尺寸动力飞机。1880年6月4日,他以“空中飞行器”的设计申请专利并于1881年11月3日获得了发明专利。

“空中飞行器”的矩形机翼翼展长22.8米,翼弦宽14.2米,翼面积为324平方米,总重量934千克。它装有两台蒸气机,分别是7.46千瓦和15千瓦,7.46千瓦发动机驱动头部安装的拉进式旋翼,15千瓦发动机驱动机翼后面安装的两个推进式旋翼。它的尾翼组件包括水平安定面和垂直安定面,但似乎没有可动部件。为了提高机身强度,采用了张线支柱结构。

关于这架全尺寸飞机的试验情况,苏联的《普通百科全书》(1954年出版)这样描述说:“全尺寸飞机完成于1882年夏,但已发现的文献没有给出飞行的日期……文献表明,它在一次试飞过程中离开了地面并完成了一小段飞行,这在重于空气飞行器史上是第一次。”该书又说:“目击者对这次飞行的描述完全一致:飞机在工程师的操纵下起飞,划了一个斜线后落地。”还有较早的苏联文献说:1882年7月,莫扎伊斯基的“空中飞行器”在圣得堡附近的红村,由其助手格鲁耶夫驾驶从小山坡上下滑,跃飞了约20~30米。

关于这次飞行的详细情况大概永远是个谜。莫扎伊斯基的飞机存在很多问题。尽管它的翼面积很大,但展弦比却很小,对于产生升力非常不利。从苏联给出的飞机三面图来看,机翼

没有上反角,而且几乎没有安装角,这对于产生足够的升力和稳定性都不利。另外,尾翼相比之下显得太小。这样的飞机不大可能进行持续的稳定飞行。现在一般人都承认,莫扎伊斯基的飞机确实在1882年进行过试飞。由于借山坡下滑的力量,它只完成了短暂的跳跃式飞行。

在众多的航空先驱者中,旅居英国的美国人马克辛(H. S. Maxim, 1840—1918)或许是最有趣的一位。他有许多种发明,著名的马克辛机枪就是出自他手。这些发明使他成为极其富有的人。他在发明创造方面似乎有极其旺盛的精力。他的助手说:“没有什么事这个老人不能做。”他很早就对飞行机器产生了浓厚的兴趣。1889年,马克辛开始用旋臂机进行机翼和旋翼试验。后来又决定制造一架飞机,并自制了一台功率达134千瓦的蒸汽机。

1891年,马克辛租下了肯特市的鲍德温公园,开始建造他的飞机。1894年,飞机制造完毕。由于它的个头很大,人们都称之为马克辛巨型飞机。这架飞机呈双翼结构,机长28.96米,翼展31.7米,翼面积371.6平方米,总重量达3629千克。飞机上安装了两台蒸汽机,带动两副直径5.44米的旋翼。飞机利用导轨滑行起飞。马克辛对旋翼和翼型了解较多,但对结构、强度和稳定性则认识不足。他的巨型飞机正是存在这方面致命缺点。

1894年7月31日,马克辛的巨型飞机进行了首次试验,飞机由于受到保护杆的限制,它在轨道上跳跃了几次。后面的几次结果类似:飞机明显地离开了导轨。马克辛对这样的试验结果感到满意,因为已经达到了“利用自身的动力离开地面的目标。”因此,马克辛放弃了飞机的进一步研究。马克辛是一位不太谦虚的人。1908年,他发表了著作《自然和人工的机器》。他在书中声称,他于1891~1894年确立了飞机研制的正确方向,任何取得某种成功的飞行机器都是沿着同样方向研制的。他甚至还说:“任何多翼面飞机,所有具有前向和后向水平升降舵,所有靠旋翼驱动飞机,都与我许多年前在鲍德温公园里制造的大机器没有什么不同。”

总的说来,动力飞行的探索者往往有急于求成、轻视理论、不注重吸收前人成果的缺憾。这注定了他们少成功而多失败的命运。另外,19世纪出现的汽油机还很不完善,需要进一步提高性能并实现小型化。

第4节 李林塔尔与滑翔飞行

滑翔飞行的道路是航空之父乔治·凯利开创的。由于年事以高,他本人从未亲自驾驶过自己的滑翔机。后来的航空探索者大都未能认识到滑翔飞行的重要意义。1853~1854年间,法国人弗朗索瓦·勒图尔(L. C. Letur)作过这方面冒险。他制造了一个降落伞与滑翔机复合体,从气球上跳下,并且用两只手臂扇动扑翼。据称他曾有过成功而安全的滑翔。在1854年的一次尝试中,由于降落伞的故障,勒图尔献出了自己的生命。这大概是第一次在重于空气飞行器试验中发生的死亡事故。勒图尔的试验并不是真正的滑翔,而是主要借助降落伞减速下降。

勒图尔之后,还有几位取得一定成绩的滑翔机研制者,前面提到的法国人布里斯和英国人

布朗(D. S. Brown)便是代表。但他们的研究和试验进行得不够彻底,也未能把科学同试验结合起来。1873年,法国教授埃蒂纳·莫雷(E. J. Marey, 1830—1904)出版了《动物机械》,描述了大量关于鸟的飞行的试验和测量数据。这本书吸引了不少航空爱好者。1881年,法国人穆亚尔(L. P. Mouillard)出版了一本有名的著作——《空中王国》。这部书除了论述航空将对社会产生的巨大影响外,还以全新的姿态考察鸟的飞行。他根据鸟的飞行机理,提出了定翼滑翔机的思想。他还认为,在飞行控制问题得到解决之前,不要盲目进行动力飞行试验。穆亚尔本人从1856年开始设计制造滑翔机,进行滑翔试验,前后共造了6架滑翔机,时间跨越1856年到1896年,整整40年。虽然他的滑翔机性能不佳,但他坚信滑翔机的研究和试验对航空的未来是至关重要的。他曾说过,人可以超越同飞鸟相比的笨重体形限制,“无须扇动翅膀而进行长时间的翱翔。”穆亚尔《空中王国》一书影响到不少航空先驱者,包括美国的查纽特和莱特兄弟。由于穆亚尔的倡导和李林塔尔的实践,滑翔飞行在19世纪最后10年进入了一个异常活跃的时期。

奥托·李林塔尔(Otto Lilienthal, 1848—1896)是一位德国工程师,向往飞行由来已久。他进入航空研究领域的第一步是观察研究鸟的飞行,积累了大量关于鸟的翅膀形状、面积和升力大小的数据。1861—1873年间,李林塔尔和弟弟古斯塔夫(G. Lilienthal, 1849—1933)制造了多架动力飞机模型,所依据的是前人留下来的关于平板空气阻力和升力的数据。但这些模型都飞不起来。因此他们决定自己试验,取得气动力方面的第一手数据。

李林塔尔采用的试验装置是自己设计的旋臂机。一个支架中间有一个转轮,上面连一根水平杆,它的两端装有两个完全相同的实验件。旋臂机旋转的动力装置来自于转轮缠绕的绳索上连接的重物势能转换。空气动力的水平和垂直分量分别由两个方向上的力平衡测量。这样就可测量并确定出平板迎角、面积、线速度与升力的关系。为了保证数据的精确性和可靠性,采取了多次测量取平均值的办法。

李林塔尔的旋臂机试验始于1866年。普法战争期间,他应征服兵役。据他的同伴说,“他除了谈论建造飞行机器外,很少说话。”由于战争的影响,真正的航空研究工作中断了很长时间。大约直到1882年,试验工作才得以恢复进行。他们在试验过程中,试验参数反复调整:臂长从2.2米到7.8米;试验平板由0.1平方米到0.6平方米;试验速度由0.3米/秒到40.13米/秒;试验件迎角分别在 3° 、 6° 、 9° 、 15° 、 60° 、 70° 、 80° 、 90° 之间转换。他们在定量试验基础上,获得了以下结论:升力与速度的平方成正比;利用平板机翼进行飞行是不可能的;弯曲翼面的升力特性比平板好得多。

1889年,李林塔尔把这些研究和试验结果整理出版,题为《作为航空基础的鸟类飞行》。这部著作集中讨论了鸟翼的结构、鸟的飞行方式和体现的空气动力学原理,并且论述了人类飞行的种种问题,他特别讨论了人造飞行机器翼面形状、面积大小和升力的关系。由于他偏爱弯曲翼面,这种形式后来用于他的所有滑翔机上。这部书的出版是航空史上的一件大事。几乎成了他同时代或比他稍晚的航空先驱者的必读书,为航空发展做出了相当大的贡献。威尔伯·莱特在1901年11月2日写给查纽特的信中说:“我阅读研究李林塔尔的著作和所附

的构图照片许多遍。这是一部相当出色的著作。尽管在我看来,里面仍有一些错误。然而当考虑到它是一部先驱性著作,发展于一个全新的领域,其内容还是相当牢固和精确的。”威尔伯·莱特也指出书中存在一个根本性问题:他过低地估计了升力,又过高地估计了阻力。

在这些气动力试验研究之后,李林塔尔开始进行滑翔机设计和试验。他认识到空中航行应当分阶段逐步进行。1893年他的一份报告送交美国史密森研究院发表。他在报告中指出:我们“最初的尝试是在我们的花园里的草地上进行的,我选择了一个高约1米的跳板,从那里带着我们的装置倾斜跳下。经过几百次这种跳跃后,我逐渐使跳板高度增加到2.5米,在这个高度上我仍然安全地飞过整个草坪。”。美国的兰利在柏林曾多次看过他的滑翔飞行,但并没有给他留下多少印象。他对助手们说,李林塔尔的滑翔“装置的各个部分是沉重而笨拙的”,他也承认在空中的表现还可以。

从1891年到1896年,他先后制造了18种不同型式的滑翔机,其中有12种是单翼机,6种是双翼或多翼机。他的滑翔机除了翼面积的大小和布局不同外,机翼形状几乎是一样的,即用肋条制成弯曲的辐射状骨架,然后再蒙上蒙皮,很像天空中飘忽飞行的大鸟的翅膀。这种结构是李林塔尔所偏爱的,而这种模式他似乎一直没有想到存在许多问题或需要加以改进。这一点可能源于他过分相信自己的试验和认识,而对前人的成果则持怀疑态度。这正是李林塔尔的局限性所在,他后来的遇难也可以从这里找到某些原始的或根本性的原因。

李林塔尔从事滑翔飞行的主要目的是积累飞行经验并且寻找在空中保持稳定和可靠的操纵方法。在进行了两年的滑翔试验后,他从1893年开始在悬挂滑翔机上加装水平和垂直安定面。前者用于保持纵向稳定,后者用于保持横向稳定。在飞机操纵方面,李林塔尔主要运用身体摆动方式,即当两只手臂支承在滑翔机上时,身体下部和腿可以前后、左右摆动,依靠惯性和重心的移动达到操纵目的。后来,他又在滑翔机上加装了升降舵,提高了操纵性能。李林塔尔滑翔机典型数据是:翼展7米,翼面积约14平方米,弦长2.5米,机长2米,空重约20千克。

1893年后,李林塔尔利用这些滑翔机进行了大量飞行试验。他的滑翔距离一般都在100~250米左右。为了更好地开展试验,他在柏林附近修建了一个试验场,利用一座小山丘下坡辅助加速,使自身飞入空中。1895年,李林塔尔试验了机翼前缘襟翼装置,以改善滑翔机的抗风性能,同时也试验了空气制动装置。他的滑翔机在飞行过程中主要依靠身体摆动进行操纵。

李林塔尔在单纯的滑翔上取得了前所未有的成就。从1891年到1896年,他进行了2500多次滑翔飞行,其中最远的可达300米。为了对滑翔机进行研究和改进,他同古斯塔夫合作,将许多滑翔飞行的情况拍成照片,然后加以分析和研究。这样,李林塔尔留下了大量极其珍贵的飞行历史照片,不仅为同时代提供了极其有益的借鉴,而且也为航空史研究留下了宝贵的第一手资料。李林塔尔的滑翔飞行在当时就产生了广泛而积极的影响。他的照片、试验情况、记者描述、个人访问记等文章成了当时十分热门话题,经常出现在报纸杂志上,李林塔尔成了19世纪最后10年名符其实的“空中飞人”。

《波士顿晚报》记者伍德(Wood)在1896年的一个星期日下午观看了李林塔尔的一次飞行:“李林塔尔穿着法兰绒飞行服,脚蹬沉重的皮鞋,头戴合体的帽子。膝盖上绑着厚厚的灯

笼裤绑腿,以防着陆过猛而受伤。

“他跑了几步便升入空中,下滑几乎是水平的,高度约 50 米。风吹到张紧的绳索上发出尖锐的声音。他飞得很快,我还来不及拍照就飞过去了。

“突然,整个装置向一边倾斜,好像一阵强风从左翼下方吹过。曾有一时,我能看到飞机的顶部,然后,在有力地摆动自己的双腿后,他使机器再次平滑飞行,并在我的下面飞了过去。当他通过一座草堆时,脚把草堆尖踢了开去。当距地面一英尺时,他的腿摆向前方,虽然机器的速度很快,但很快就停住了。它的前面仰起,让风从下面吹来,轻轻地落回地面上。”

李林塔尔以其广泛的研究、试验以及行动对早期航空史产生了极大的影响。然而,对待航空发展的正确途径,李林塔尔的认识并不清楚。他重视试验完全是正确的,但不能因此而忽视理论。他曾说过:“只有实际实验才能解决这个问题,我们必须让空气和风发表它们自己的意见。”他甚至还说:“设计一架飞行器没有什么,制造出来也不算了不起,试验它才是最重要的。”正因为抱有这种观念,他对滑翔机的设计和改进关心不够,没有认识到他的滑翔机设计存在根本性缺陷:升力太小、刚度不够。他通过试验对稳定性和操纵的改进似乎关注较多,也尝试了许多方法,但从来没有得到真正满意的结果。最后仍采用不那么灵活和安全的摆动身体方式。实际上,查纽特早就指出这种方式的潜在危险性,而李林塔尔仍不由自主地沿着这一条危险的方向迈进。结果,灾难终于降临了。

1896 年 8 月 9 日,李林塔尔在试飞他的 11 号滑翔机时,开始阶段似乎一切正常,但几分钟后,一阵大风突然刮来,将滑翔机吹得失去了操纵,李林塔尔沉重地摔在了地上。第二天,他在医院中死去。据说,他死前说的最后一句话是:“必须做出牺牲。”

李林塔尔的死震动了当时尚属幼年的航空界。英国《航空杂志》1897 年 1 月创刊号上发表文章,对李林塔尔的遇难深表哀悼,同时也分析了李林塔尔试验失事的原因。文章说:“每一个人都认为,无论李林塔尔所走过的是不是揭开飞行奥秘的真正道路,他的经验都是很重要的。”大意是缺乏理论知识或许是他献身的主要根源。文章引用了李林塔尔曾说过的话:“这种危险只有靠持续不断的实践,掌握风的特性来避免”;“我自己在过去的 5 年间一共进行过上千次试验,从未发生过事故”。实际上,潜在的 danger 几乎总是存在。他在一些滑翔飞行时,经常从开始的平缓飞行,突然一阵风吹过把他高高地抬起,而这种突变事件事先没有任何征兆。只是他的经验很丰富,常能化险为夷。马克辛对他的滑翔飞行相当关注,但他认为李林塔尔滑翔机飞行的安全性很值得怀疑,他把李林塔尔比作飞行松鼠,是一个“跳伞家”,他在拿生命作赌注。

《航空杂志》的文章指出:“无疑,我们从失败中学到的东西比从成功中学到的东西要多得多,遗憾的是,毫无结果的努力并不经常被记载下来……对问题的长篇记述往往不能引起读者的兴趣,但它可能是非常有用的……对我们来说,最重要的是,为什么李林塔尔在长期的实践并获得了丰富的经验之后,仍然命丧黄泉?”

1897 年 1 月 21 日,李林塔尔的学生佩尔策(P. Pilcher, 1866—1899)在都柏林发表题为《飞行器试验》的演讲时,一开始便开门见山地说:“迄今为止,飞行器试验的历史或多或少

少是灾难的历史。”他认为,李林塔尔滑翔机存在不少问题,翼面积太小、人与机器距离太远,这样很容易导致前向失速和后向失速,而且往往落地时头部朝下。他认为不该将翼面放置的位置大大高于重心,否则在恶劣天气下很难操纵,也容易翻转。他还指出,由于种种设计上的缺陷,李林塔尔的滑翔机从未进行过真正的水平飞行。然而深为可惜的是,佩尔策两年后也为航空事业献出了年轻的生命。

佩尔策是爱尔兰人,曾在海军服役并担任过机械工程师。他从1895年开始从事航空研究。在读到李林塔尔的飞行事迹和照片后,开始设计滑翔机。佩尔策认为:“用滑翔机进行试验的目的是,使人们开始得到空中飞行的实践,以便在空中操纵一架飞行机器。”他还指出:“滑翔机是一种非常好的学习工具,它的主要作用就在于此。等到动力以发动机和旋翼形式装到一架滑翔机上,或一台发动机和一个翼面一道起作用,推动一架机器前进,那么,一个习惯于用一架简单的滑翔机从一个小山上作滑翔的人,就能相当安全地飞行了。”

1895年初,佩尔策制造了第一架滑翔机。它有一副类似鸟翅膀的机翼,尾部只有垂直翼面。他早就想拜访李林塔尔,但希望在获得一定经验后去会更加有的放矢,获得真正重要的知识。但在多次试验时,这架滑翔机总是飞不起来。无奈,他在当年6月到柏林请教李林塔尔。李林塔尔说,水平尾翼是绝对必要的。他开始还不太相信,但一经试验便发现李林塔尔的话是对的。后来,佩尔策设计出了“蝙蝠”式滑翔机。这架飞机在飞行过程中,已能达到100米左右的滑翔距离。1896年,佩尔策又设计了一架“鹰”式滑翔机。它带有轮式起落架、水平和垂直安定面,机翼和机身采用张线支柱结构,在某种程度上比李林塔尔的滑翔机更为合理。佩尔策驾驶它进行了多次成功的飞行,最远的曾飞行到300米远。

在1897年1月都柏林那次演讲中,佩尔策谈到了他的未来计划:“我的打算是,今年冬天制造一架同这架(指“鹰”式)非常相似的滑翔机器,但准备在机器的前面装上一台小型汽油机。它通过我的头上的传动机构驱动安装在身后部的大约4英尺长的旋翼。这架机器的起飞方式同滑翔起飞完全一样,沿着斜坡奔跑,当进入空中之后,旋翼发动。我觉得这种方式可以实现水平飞行。我准备采用4马力(2.98千瓦)的发动机,因为考虑到了旋翼的效率和其他损失。飞行速度估计为48千米每小时。”

1897年夏,佩尔策又进行过多次滑翔飞行,最远距离大约为150米。1898年春的试验,滑翔距离已达到300米。除继续进行滑翔试验外,动力飞机的准备工作亦在进行,汽油机在1898年夏已制造完毕,其功率为3千瓦,重量仅为20千克。1899年9月30日,佩尔策又进行了滑翔飞行,在场的有他的姐姐和英国航空学会的几位同事。第一次飞行比较顺利。第二次虽然遭了雨水使滑翔机变重,但还是飞了起来,然而操纵却变得非常困难。突然,滑翔机因尾翼面破裂立即失稳,头部朝下撞回地面。佩尔策身受重伤,于10月2日离开了人世,年仅33岁。

在莱特兄弟之前,最后一位卓有成就的滑翔机名家是查纽特(O. Chanute, 1832—1910)。他是美国土木工程师,1878年在访问英国时,因受维纳姆的影响和鼓励而走上航空发展之路。他广泛收集有关航空的各种著述和文献,并认真加以研究,进而对前人的成就和经验教训进行

了独到的评述。从 1890 年起,查纽特在美国《铁路工程师》杂志上发表系列文章。1894 年,他将这些文章汇集出版,题为《飞行机器的发展》,该书是航空史重要的经典著作,尤其重要的是,查纽特本人的评述较明确地阐述了飞机固有稳定性、操纵性的重要意义。

在李林塔尔的指导下,查纽特于 1896~1897 年设计和试验了全尺寸滑翔机,由助手试飞。在开始设计的滑翔机中,无论是单翼机还是多翼机,其形状和结构都带有很强的李林塔尔的模式。这些滑翔机在试验时并不很成功。他认为,原因在于采用摆动身体的方式并不能达到可靠的操纵。于是,他在进一步试验的基础上,反复探索使飞机保持稳定和可靠操纵的方法。经过反复试验后,他发现双翼机具有较好的稳定性。他把机翼几何形状制成矩形,上下两翼采用张线和支柱支承,间距大大减小,其布局精巧,结构合理。查纽特十分关心操纵问题,他指出:“一架飞机要想成功,必须始终处于可靠的操纵之中。”因此他设计的滑翔机的尾翼组件是柔性的,可进行上下柔性操纵。这比李林塔尔的进了一大步。另外,滑翔机由李林塔尔的悬挂式改为坐式,大大减轻了驾驶员的负担。可以说,查纽特的双翼机是莱特兄弟之前最优秀的滑翔机。查纽特的助手曾驾驶它进行了 700 次安全的滑翔飞行,最远距离为 120 米。

查纽特在航空史上的成就和贡献受到人们的高度评价。他把航空发展史进行了详细归纳、总结和评价,他把李林塔尔的滑翔飞行之路进一步拓宽,他引导莱特兄弟走上了航空发展的正确道路。另外,20 世纪初欧洲航空的复兴有他宣传鼓动的功劳。

李林塔尔等人的滑翔机试验产生的影响是深远的。但由于他和佩尔策相继因试飞滑翔机献出了生命,因此又为欧洲航空的发展蒙上了一层阴影。在 19 世纪最后两年,欧洲重于空气飞行器的发展几乎陷入停顿状态,人们的热情似乎彻底磨灭了。然而美国却异军突起,肩负起了飞机发明的最后重任。从兰利的功亏一篑到莱特的圆满成功,飞机发明的桂冠落在大西洋彼岸的美国人头上。

第 5 节 兰利的成就与悲剧

在航空史上,兰利是一位一直很有争议的人物。19 世纪末期,他的航空研究工作不为一般人所理解。20 世纪以后,他的航空研究成就得不到公正的评价。实际上,他是一位无论在唤起人们对航空的兴趣,还是在航空基本理论研究以及设计实践上都做出重要贡献的伟大先驱者。他是为数不多的研究航空问题的职业科学家之一,他是少数在理论和实践结合的基础上研制飞行器的人之一,他是在莱特兄弟之前最接近发明成功动力飞机的人。

塞缪尔·兰利(S. P. Langley, 1834—1906), 1834 年 8 月 22 日生于美国的马萨诸塞州, 1906 年 2 月 27 日在南卡罗莱那州的艾肯逝世。兰利年轻时是一位铁路勘测和土木工程师。后来靠顽强自学,成为一个在数学、天文学、物理学领域具有良好造诣的人。1863 年至 1865 年间,他去欧洲考察,参观访问了许多有名的天文台和科学研究机构。1865 年回国后,即就职于美国著名的哈佛天文台。1866 年,他调任美国史密森研究院数学教授,同时还兼任宾夕法

尼亚大学天文学教授。这期间,他在天文学研究上取得了突出的成就。1887年兰利任职于美国著名的史密森研究院,年底便晋升为院长。他在这个颇有声望的科学研究团体担任院长长达20年,直到1906年逝世。兰利在物理学和天文学上都有很大贡献,特别是在研制辐射热仪对太阳光谱线的测量研究,这使他很快成为世界知名的观测天文学家。

兰利虽然是自学成才,但他在科学领域中取得了很高的成就。他共发表上百篇著作。他在美国科学界乃至世界上都有很高的地位。他是英国皇家学会外籍会员,法国科学院通讯院士,英国皇家天文学会会员,英国皇家研究院院士,意大利罗马林赛研究院院士。他获得了许多著名大学的荣誉博士学位,包括牛津大学、剑桥大学、哈佛大学、普林斯顿大学。他还获得了许多科学奖励。兰利对文化、艺术十分热爱,特别喜爱古典艺术和东方艺术。他对儿童非常热爱,为建设儿童乐园做了许多工作。他在任史密森研究院院长期间,兴建了许多科学场馆,为美国的科学技术事业做出了巨大贡献。

兰利很小就对鸟的飞行产生了极大的兴趣,带着奇异的思绪观看鹈鹕和鹰的美妙飞行。他说:“很长时间鸟的飞行始终引起我遐想。我很少有看到鸟而不联想的时候。即使后来我也常常几小时观看鸟的自由翱翔,试图弄懂为什么鸟的翅膀即使不动,也能在空中上升、下降、翻腾。我想在空气中一定有什么秘密未被发现,它具有支配鸟的能力。”“有一天晚上,我在波托马克河上的一座桥上观看土耳其鹈鹕,它在懒散地自由翱翔。我离得很近。尽管它以约35英里(56千米)每小时的速度飞行,一圈又一圈,上升、下降,但始终未拍一下翅膀。我看了很长时间,直到冷的不行才离开。”他回忆说,在一次会议上,有人指出鸟可以不扑动翅膀长时间飞行,得到了众人的嘲笑,他当时认为这也是不可能的。但这件事促使他思考,后来决定进行实验。

1886年,在有了一定的科学认识后,他开始认真研究飞行问题。为此,他设计了旋臂塔并进行了大量的空气动力学实验,研究平板和鸟翼在空气中运动产生升力和空气阻力的规律。由此他得出了许多定量的结果,也指出了前人包括牛顿在研究中得出的错误结论。他得出了倾斜平板的升力规律是:升力与平板面积成正比,与速度平方成正比,与迎角的正弦成正比。这个公式在今天仍然是正确的。

1891年,他把这些研究结果总结写成《空气动力学试验》一书,在华盛顿史密森研究院出版。这部著作是较早的航空基础理论著作之一,受到查纽特和兰彻斯特等人的高度评价。兰利在书中明确地说:“通过过去几年的研究结果,我认为,可以制造出一种机器,当它的倾斜平面以一定的速度运动时,完全能够在空气中支持比空气重得多的全部机器重量,并且能够以极高的速度飞行”,而且,“这种机器不仅在理论上是可能的,在工程上也是可以实现的”。这一明确结论对航空研究者无疑是巨大的鼓励。兰利在显示动力飞行可能性方面所做的工作和贡献比其他任何人都多。在19世纪末,一般科学家都认为重于空气飞行器是不可能试制成功的。因此,像兰利这样的科学家能认识到动力飞行的可行性,并且投身这项研究中是很难可贵的。

兰利在理论研究的同时,开始进行实际的设计工作。他首先着重解决了以下两个问题:一是动力问题;另一个是机翼(升力面)问题。他认为,理论研究结果并不能完全直接用于实际

设计,他说:“对于一些重要问题的解决,我并不是靠具有解决这些问题的特殊知识,而是反复运用试错法。”他首先进行了橡筋动力模型试验,一方面用于考察飞行器所需的动力大小,另一方面研究升力面的形状和面积,同时还可以研究它在飞行中的稳定性。到1901年前,他先后制造了大约40架模型,有单翼、双翼、平面翼、弯曲翼等各种机翼布局。1891年3月28日,他的一架橡筋动力模型进行了成功的飞行。尔后,他又进行了大量试飞试验,其中比较好的结果是留空时间为8秒,飞行距离30多米。

橡筋的功率实在太小了。为了制造大型模型,必须具有更好的动力装置。他首先研究了各种现有动力装置,测量了各种燃料所含的能量,包括酒精、汽油、火药等。动力装置包括压缩空气式、碳酸气式、电池、蒸汽机和汽油机等。最后,他把精力集中在蒸汽机上面。他设计的蒸汽机原理很简单,用汽油或酒精加热螺旋管后(蒸汽发生器),从一端输入水,另一端便产生高压蒸汽,靠这种蒸汽驱动小活塞以驱动旋翼产生拉力或推力。他设计的第一架“空中旅行者”模型编号为第0号,总重量约22千克。发动机的设计功率为0.746千瓦,这对于这架飞机来说还太小。尔后他又设计了第1、2、3号“空中旅行者”,但都因发动机功率不足而放弃了。兰利经过计算和总结后认识到,要想使模型飞机成功,发动机的推力/重量比要达到或超过50%。他后来设计的第4号模型也未取得成功,也是因为发动机功率不足。

1894年兰利设计了第5号飞机模型,其发动机可产生0.746千瓦的功率,模型的结构同前面的相比最显著的变化是安装了纵向串联机翼。它的翼面积为2.62平方米,具有曲线弯度,弯度比为1/5。兰利通过研究表明,这种设计能实现最佳纵向稳定性。他指出,纵向稳定要使飞机重心、升力中心和发动机推力线达到平衡,而横向稳定性问题只要保证模型对称,并使机翼具有上反角即可容易达到。

1894年5月8日和6月7日,第5号模型进行了飞行试验,但未获成功。10月25日和11月21日,它在试验中大约飞行了5~7秒。其后他又对发动机和结构进行了改进,模型重量达到11.2千克,推力也增加到59牛顿。1895年5月9日,第5号“空中旅行者”模型在试验时,飞行了近40米远,留空时间7.2秒,而且飞行稳定性也不错。这次成功给了兰利极大的信心。但为了进一步提高稳定性,他又对串联机翼作了调整。与此同时,第4号进行了重新设计和制造,改进包括重心调整、结构加强,但总重量却降低了,这架模型称为“新4号”,但它数次试飞都没有成功。后来也采用了前后串联机翼,并安装了两个发动机,从而使新4号变成第6号“空中旅行者”。它的翼面积为5平方米,总重量12.12千克。第5号、6号都有尾翼组件,起稳定和控制作用。

1896年5月6日的下午,第5号模型飞机进行了一次非常成功的飞行。它上升到约20米的高度,飞行距离达760米,飞行轨迹是螺旋状,一共有3圈。那天在场观看飞行的还有美国著名发明家亚里山大·贝尔(A. G. Bell, 1847—1922)。但当天第6号模型的飞行没有取得成功,原因是重心位置太靠前,于是又把配重后移了。11月28日,第6号模型飞机进行了高度成功的飞行。由于有两台发动机,它的留空时间长达2分45秒,飞行达到1500米。它经历了数次下滑和上升以及转弯飞行,直线飞行距离超过520米。这两个模型比较而言,除性能和

本身结构有所不同外,它们的飞行速度都很不错。特别地,通过对飞行的路径进行分析,发现飞机机身具有自动稳定性,因此可保证较长时间的自由飞行。从动力装置上看,两个模型都有富裕。按当时的估计,它们都可携带在约5千克重的载荷。

兰利在1896年中取得的极大成功,是历史上第一架重于空气飞机成功地实现稳定持续飞行的事例,证明重于空气飞行器的可能性和现实性,在航空史上无疑应该重重地写上一笔。1897年,兰利在给史密森研究院的年度报告中指出,“我利用自己的试验取得的某种成功证明了重于空气飞行机器的可能性……机械飞行现在已经实现。”英国一家杂志的编者评价说,“如果兰利教授现在开始建造大型机器,那么他在一二年内很可能达到我们早已期盼的目标”。

兰利完成了动力模型飞行试验,证明了重于空气飞行器的可能性后,准备放弃进一步发展载人动力飞机的工作,留待后人进一步研究。他做出这个决定主要基于以下考虑,第一,他的目的只是想指出重于空气飞行器的可能性,并通过实际的动力模型加以证明;第二,载人飞行器的研究还需要解决许多已知和未知的问题;第三,他本人年事已高(当年62岁),加之作为史密森研究院院长日常工作非常繁忙,难以再做更多的工作。因此,他在1897年6月的一篇文章《飞行机器》中说:“我已经完成了属于我的那一部分工作——证明机械飞行的可能性和现实性。”这样他的航空研究工作就此中断了3年。当时,美国许多人对飞行发生了兴趣,特别是政府看到气球曾在战争中获得应用,便设想飞机也可能用于战争。美国总统麦金利(W. McKinley, 1843—1901)对兰利的试验很重视。1891年美国西班牙战争爆发后,他指定美国陆军和海军成立专门机构,考察兰利的试验工作并研究“制造能用于战争的全尺寸载人飞行机器的可能性”。他指示兰利承担大的“空中旅行者”的研究、制造和试验工作,提供50 000美元的经费,同时,史密森研究院也提供了20 000美元经费。

1892年12月12日,兰利在给国防部炮兵局的信中表示愿意承担此项工作。有意思的是,兰利在备忘录中说,他在过去的研究中获得了许多成果,他愿意无偿地贡献出来,为国家所拥有和使用。兰利还别具深意地说:“我要求在决定性的结果做出来以前,国防部不要将工作进展情况公诸于世,当然,与此有关的纯科学成果可以发表。”兰利的这种态度同莱特兄弟相似,在取得成功之前,始终对他们的工作保密。可惜,兰利的要求未能实现,他的研究和试验被公开化,为他的工作带来了不可估量的不利影响。

在设计载人“空中旅行者”过程中,遇到的第一个重大问题是缺少发动机。此外,兰利对机械设计也不甚熟悉。为此,他把刚刚从康乃尔大学毕业的曼利(C. Manly)聘作助手。

在发动机方面,兰利在美国进行了多方面的考察,最后,同纽约的发动机设计师巴尔采尔(Barzer)签订了生产功率为8.9千瓦,重量不超过45千克的发动机,但巴尔采尔花费了许多资金研制出的发动机,性能不稳定,也达不到要求的指标。不得已兰利和曼利到欧洲寻找合适的厂家,但一些有名的厂家都不愿意生产这种发动机,他们甚至认为,制造这样高性能的发动机是根本不可能的。最后曼利承担了这项任务。他借鉴了巴尔采尔设计的旋转式发动机的某些部件设计和有价值的优点。最终,于1902年完成并试验了新型5缸星型水冷式汽油机,其

功率达到 38.8 千瓦,而重量只有 86 千克。这种性能优良的发动机不仅在当时是最先进的,而且其独特的星型结构也开创了航空实用发动机的先河,后来的航空活塞汽油机几乎都是这种布局的。

为了考察飞机的平衡和稳定性能,1899 年,兰利和助手们对蒸汽机动力模型第 5、6 号进行了大量飞行试验。为了获得大飞机的稳定性设计经验,兰利设计了四比一比例模型。1901 年 6 月 18 日,进行了试飞。由于发动机功率只有 1.12 千瓦,两次飞行,最好的只有 120 米,留空 10 秒。尔后,他对发动机气缸和冷却系统进行了改进,功率一下子提高到 2.4 千瓦。由于忙于全尺寸飞机的工作,这架模型飞机的改制工作直到 1903 年 4 月才完成。同年 8 月 14 日,四比一比例模型在试飞中取得了高度成功。它在直线飞行 120 米后,转了一个圈,又直线飞行了一段距离,留空时间 27 秒,共飞行了约 340 米。这架模型的基本布局同以前的模型相似,其空中平衡性能有了较大提高。这为兰利研制成功全尺寸飞机增强了信心。在场观看飞行的曼利记述说:“这次飞行是一件大事,任何在场的人一生都不会忘记。”

正像曼利后来所指出的,在全尺寸“空中旅行者”的设计上,由于受过去高度成功的模型的影响,在兰利的脑子里充满了模型飞机的结构和布局形象,因此他的设计不可避免地流于模型的片面放大的倾向。而且兰利深信,前后串置机翼具有较高的稳定性,所以他设计的全尺寸飞机空中旅行者具有第 5、6 号模型的全部主要特征:金属骨架,两副机翼串联,一个尾翼组件,两副推进式旋翼,连起落方式都采用船上弹射起飞。空中旅行者全尺寸数据为:机长 15.84 米,翼展 14.63 米,翼面积总计 96.6 平方米。垂直安定面面积为 17.6 平方米。飞机总重约为 331 千克。飞机旋翼直径 2.5 米,螺距 1.25 米,倾角 36° 。

1903 年 10 月 7 日,曼利驾驶“空中旅行者”飞机在波托马克河上进行首次飞行试验。采用的起飞方式是在一艘船上安装了一个吊挂的弹射装置,飞机沿这个装置向前上方弹射而出。大约在午间 12 点,发动机点火并检验工作正常后,弹射装置释放并将飞机弹出。这时,只见“空中旅行者”倒栽葱式的头部朝下直扑河面。曼利挣扎着逃出水面,没有发生严重后果。新闻记者立刻围住曼利,要求解答一个个问题。曼利简要地说明了试验的情况,并指出这次试验没有取得成功的原因是由于在弹射时飞机尾部的张线挂在了发射架上。

第二天,《联合早报》对试验进行了报道,但有些歪曲了曼利的原意:“曼利说:‘今天的试验应当说完全是一次尝试。这是这架飞机的第一次试验,没有取得成功。参照过去的模型设计的这架飞行器的平衡问题证明是不正确的。但只有通过全尺寸试验才能确定它。我对未来的飞行成功的信心仍然不变。我无法提供更多的细节。我会向兰利汇报的。’”

曼利向兰利汇报后,他们认为应该向报界做出声明,更正他们的不正确描述。兰利后来指出:“通过考察发现,重要的平衡方面没有问题。整个机械工作得很正常。这次事故只是在发射时偶然出现的。认为动力不足以支持飞行的说法是完全错误的。”同时兰利还指出,他们对飞行能够取得成功的信念不会因此而改变。

1903 年 12 月 8 日,修复后的“空中旅行者”再次进行了试验。这次仍然没有取得成功。据目击者声称,机身后部碰到了发射架。曼利说他在飞机弹射后感到尾部出现了强烈摇摆。

整个飞机头部上仰,在一股风的吹动下立刻呈垂直状态。曼利在操纵舵面时飞机毫无反应。结果飞机尾部折断,“空中旅行者”垂直地落入水中。

这次试验失败后,美国陆军和海军军械局写了一份措词谨慎的报告,指出这架飞机的设计基本是正确的,稳定性良好。同时他们还指出,鉴于即使飞机试飞能够取得成功,其价值也不是很大,因此建议中止政府资助。由于兰利的试验完全是公开进行的,他的每一次失败都遭到新闻界的大肆嘲笑。因此,如果兰利的工作能够作到保密,由于没有外界干扰的影响,政府的财政支持可能不会终止,这样兰利的工作就能得以继续,那么他取得最后成功不是不可能的。兰利在美国是个十分有名的科学家,他的一言一行都可能成为人们关注的焦点,这实际上对研究和试验工作是不利的。从这个意义上说,莱特兄弟比他幸运得多。

兰利在1904年给史密森研究院的年度报告中,详细描述和分析了这两次试验的情况。他最后指出,它们不能被看作是失败,因为问题出在发射装置上。飞机根本没有进入天空。

这两次试验的失败,官方取消财政支持以及新闻界的批评和嘲笑,极大地刺伤了兰利的心。《纽约时报》在编者按中说:“兰利的飞行机器尝试进行空中飞行的可笑惨败不是预料之外的。真正能够飞行的飞行机器可能还要花费数学家和机械学家一到一千万年共同的、不断的努力。”一时间,他过去的出色成就似乎都被失败的阴影掩盖了。资金缺乏,加之他年事已高,进一步的研究几乎是不可能的了。两年后即1906年2月27日,这位伟大的航空先驱者默默地离开了人世,享年72岁。

兰利的“空中旅行者”的设计究竟如何评价,至今也没有一个一致的意见。很多文献把它看成是失败的,原因在于它没有解决好重要的平衡和稳定性问题。这种评价是不公正的。兰利十分关心飞机的纵横向稳定性。他不仅在模型设计中就认真地研究和实验了这个问题,而且在四分之一模型中再次对它进行了考察。从“空中旅行者”的基本设计和布局来看,它的总体方向是正确的,应当说具备了飞行的基本特性。在操纵方面,它的水平和垂直尾翼可以通过驾驶员操纵。这些特征是保证成功的必要条件,从某种程度上可以说也是充分条件。这也是兰利在飞机设计上有别于在他之前的其他任何人的原因所在。可惜飞行试验工作未能进行下去,不仅给兰利本人留下了深深的遗憾,也为公正地评价兰利的航空成就增加了困难。

当然,“空中旅行者”的设计不是没有问题。它的结构强度有些偏低,操纵机构缺乏可靠性。串联机翼虽然具有较高的纵向稳定性,但从空气动力学的观点看,它的效率会有所降低。兰利缺乏飞行经验应当说对研制和试验飞行器不利,但这并不是根本性原因。曼利在1911年发表的一篇文章中对此提出了相当中肯的观点,他认为:全尺寸“空中旅行者”研制时间太紧。在这种情况下,由于受高度成功的模型飞机的强烈影响,他在全尺寸飞机研制时,不可避免或不由自主地把它设计成模型飞机的比例放大物,这样就会带来诸如强度、稳定和可靠方面的不足。不过曼利仍然认为,这些并不是试验没有取得成功的根本原因。他指出,只要改进或重新设计起飞方式,“空中旅行者”完全有可能取得成功。查纽特评价说,兰利飞行器试验没有取得成功的原因主要是发射架造成的,不能说飞行器本身不是成功的。但他也认为,“空中旅行者”的操纵机构缺乏试验验证。他的评价还是比较公允的。

1914年6月,美国航空先驱者寇蒂斯、查姆等人对兰利的“空中旅行者”进行了修复,并加装了浮筒。这架飞机在水上起飞试验中取得了成功。这件事引起了长达几十年的有关兰利与莱特兄弟的飞机发明优先权之争。

曼利在评价兰利的航空研究工作时指出,在载人飞行器发展过程中,通常有两条道路:第一,由滑翔机开始试验,通过自身的重力产生动力,操纵者依靠要求和经验操纵飞机,然后再加装控制机构和动力装置。第二,从动力模型开始,它具有自动稳定控制机构,以此取得经验数据再过渡到全尺寸载人飞行器。这两种道路各有优点,都有可能取得成功。莱特兄弟采取的是前一种道路,兰利采取的是后一种道路。很多航空史家因为莱特兄弟取得了成功,而把他们走过的道路看作是惟一成功之路,而这实际上完全是一种错误认识。的确,在兰利之前有许多在第二条道路上探索的失败者。但他们的失败不是因为这条道路本身注定有方向性错误,而在于这些勇敢的先驱者缺乏必要的科学素养,未能把航空学理论和设计实践很好地结合起来。曼利的切身体会和评价应当说是相当诚恳的,也是公正的。

无论如何,兰利仍然是一位伟大的航空先驱者。他在航空学理论、设计、试验方面,以及在唤起人们对重于空气飞行器的信心方面都做出了巨大贡献。可以告慰他的是,他在生前亲眼看到他在航空领域的奋力开拓,终于在他的后继者也是竞争者莱特兄弟手上最终取得了成功。他虽然没有最终完成载人飞机的研制工作,但他在航空发展史上取得的成就和做出的贡献是伟大而不朽的。

第二章

飞机的诞生和早期发展



✈ 1903 年 12 月 17 日上午 11 时左右 , 奥维尔 · 莱特驾驶 “ 飞行者一号 ” 首次试飞成功 , 从而完成了人类历史上第一架有动力、载人、持续、稳定、可操纵的重于空气飞行器。这是一项伟大的成就 : 它是飞机终于发明成功 , 为人类征服天空揭开了新的一页 , 也标志着航空飞机时代的来临。

李林塔尔因滑翔事故牺牲之后不久,欧洲人对飞机的兴趣已经降到了最低点。19世纪最后几年是欧洲航空出现停顿,世界航空发展呈现中断的时期。正是在这个紧要关头,莱特兄弟加入了航空研究领域。凭着对航空的热爱,凭着不断地追求和不畏困难的精神,莱特兄弟取得了最后的成功,实现了人类几千年来梦想,使人类历史进入了一个新的时期。

莱特兄弟用了比大多先驱者少得多的时间完成了成功发明飞机的最后重任,这一点是值得人们思索的。一方面由于时机已经成熟;另一方面,也许更为重要,他们研制飞机遵循了完全科学的道路。这一点和以前众多的航空先驱者不同。莱特兄弟有丰富的机械设计经验,动手能力很强。他们把飞机研制当作一项极为困难的任务循序渐进地进行。他们有效地运用了前人的研究成果并加以鉴别,又结合了自己的空气动力学研究。他们把理论、设计和试验完美地结合起来,最终取得了成功。虽然他们对航空理论贡献不多,但他们懂得理论与实践结合的重要性。这也是他们高于许多航空先驱者之处。

第1节 莱特兄弟的滑翔机设计

英国物理学家瑞利(J. W. S. Rayleigh, 1842—1919)曾指出:“莱特兄弟的名字,是人类飞行史上最伟大的名字,他们的成就在航空史上占有杰出的地位……一项成功的新发明一般总是许多人共同努力的结果,莱特兄弟也不例外。在他们之前有许多杰出的先驱者。但他们都是占从属地位的,主要成就完全应属于莱特兄弟。他们在许多年中,面临着重重困难而坚韧不拔的精神仅仅是他们个性的一部分。他们之所以伟大,主要在于他们摒弃固有思想模式,批判地吸收旧有材料,不怕危险和失败带来的失望。他们从书本上,从大自然的实践中获得知识。他们懂得在征服自然和驾驭天空上没有简单的捷径,只有人类最高精神才能在长期奋斗中取得胜利。他们的信心从未丧失。”威尔伯·莱特在1899年写道:“我是一个热情者,但决非幻想者,因为我已拥有一定的制造飞行机器所需要的理论。我希望任何已知的理论都会对我有所帮助。如果可能,再加上我自己的一份微薄贡献,为那些未来的最终成功者提供有益的借鉴。”

莱特兄弟不仅把理论和实验结合得很完美,而且他们青少年时代的一些经历和从事各种活动获得的机械知识也为他们的航空研究提供了莫大的帮助。因此,我们有必要介绍他们青少年时代的一些有趣的经历,特别是那些与机械有关的事情。

威尔伯·莱特(W. Wright, 1867—1912)于1867年4月16日生于美国印第安纳州的纽卡斯特尔。后来他们全家迁到俄亥俄州的代顿。弟弟奥维尔·莱特(O. Wright, 1871—1948)1871年8月19日降生在这里。他们俩在家排行老三和老四,上面有两个哥哥洛希林和洛林,下面还有一个妹妹卡特琳娜。他们的父亲密尔顿·莱特是当地的一位牧师。他心胸豁达,阅历广泛,经常鼓励孩子们要有多方面的爱好和专长,这对威尔伯和奥维尔的影响很大。他们的爱好可以说毫无阻碍地得到了发展。父亲原先想让威尔伯子承父业担任主教或牧师,因为威

尔伯很小就显露出文学才能。但由于他天生体质瘦弱,威尔伯希望从事一些活动性强的工作,使身体得到锻炼。

威尔伯和奥维尔都天生好动,浮想连翩,但对于读书却不十分热心。威尔伯自小体弱多病,几乎无法进学校学习,所以连高中也没有进过。他不能上高中除了自己身体不好外,还因为要照顾多病的母亲。在这样一种环境下,他能够利用空闲时间大量阅读文学书籍。文学是他终生的爱好之一。

奥维尔的兴趣不在读书上,他极其好动,而且兴趣多变。在性格上他和威尔伯完全不同。但两人的关系非常好,合作也非常融洽。威尔伯在1912年4月他去世前不久曾说过:“从我们很小的时候开始,我弟弟奥维尔和我就生活在一起,玩耍在一起,工作在一起,事实上思考也在。所有的玩具都是我们共有。我们总是交流我们的思想和喜好,因此在我们生活中所做的几乎每一件事都是我们之间交谈、建议和讨论的结果。”正因为他们俩在后来的合作中几乎像一人一样,所以许多研究者都认为如果只有他们中的一个进行飞机研制,那么载人动力飞机可能不会诞生于他们任何一个人之手。

虽然兄弟两人都缺乏正规教育,但他们对自然科学和工程技术仍然十分热爱,而且养成了勤奋好学、追求新奇事物并且十分自信的个性。他们的父亲思想开明,对孩子的业余爱好持鼓励的态度,从不对那些近乎可笑的活动进行干涉。奥维尔·莱特回忆说:“我们很幸运在这样一种环境中长大成人,我们这些孩子在文化知识及研究未知事物上的兴趣总是得到最大鼓励。假如换一种环境的话,我们的奇思异想可能还没有开花结果就被早早地窒息了。”

威尔伯和奥维尔的童年生活是丰富多彩的。他们在1889年创办报纸《西边新闻》,1890年创办晚报《晚间语题》,1894年创办周刊《快照》。他们玩过竹蜻蜓,并进行了改进;放过风筝,并成为风筝专家。1894年,他们开办了莱特自行车公司。开始他们只修理自行车,后来考虑到个人的兴趣和赚钱的欲望,不久又设计制造自行车。由于他们肯于钻研,心灵手巧,设计的自行车不仅美观大方,而且坚固,平稳安全,价格低廉。长大成人以后,他们一心一意经营自行车公司。由于设计的“范·克莱佛”等自行车物美价廉,因此几年的努力下来,他们还真从这上面挣了一笔钱。这笔钱后来都用在了飞机研究和设计上。

李林塔尔1896年逝世的消息促使莱特兄弟重新对航空和飞行问题给予了更大的关注,但并没有立志进行飞机研制。在此后的两三年间,他们的主要活动只是航空入门,即通过阅读有关书籍以加深对航空的了解。总的说来,他们的航空研究几乎仍属于业余状态。这期间他们到底进行过多少具体的航空研究,人们一直不太清楚。据莱特兄弟回忆,他们开始并没有奢望解决前人没有解决的飞机研制问题,只是出于一种好奇心。但当他们对这个复杂的问题了解得越深入,就越对飞行问题着迷,以致于后来越陷越深,不愿放弃了。最后,他们放弃了一切活动,专心于飞机研究和设计。大约在1899年,莱特兄弟才真正开始踏踏实实地研究航空问题。

在开始认真对待飞行问题后,便发觉问题不那么简单。他们回忆说:“我们无法理解,一只鸟能够飞行的秘密究竟是什么?人为什么就不能制造和使用类似于鸟的机械装置?”“如果鸟的翅膀能使它不使用的肌肉力量在空中悬起,我们不相信人不能利用同样的装置悬在空

中。”威尔伯·莱特说:当时对我们来说,并没有什么飞行艺术,而“只有飞行问题”。他们一开始接触航空就深感问题成堆,于是便决定向著名的科学机构史密森研究院求助。

1899年5月,威尔伯·莱特写信给史密森研究院,索取与航空有关的资料。他在信中表达了他们投身飞机研究与设计的决心:“我的观察……使我坚定地相信人类的飞行是可能的,也是现实的……我准备以实际的工作系统地进行这一课题的研究。”研究院给他们提供了一张清单,其中有查纽特的《飞行机器的发展》、兰利的《空气动力学试验》、李林塔尔的《作为航空基础的鸟类飞行》以及1895、1896和1897年的《航空年鉴》。在仔细地研读这些文献后,他们“惊奇地发现,在人的飞行问题上已经花费了大量时间和金钱,而且有那么杰出科学家和发明家都在这方面进行过研究,包括达·芬奇、乔治·凯利爵士、兰利教授、贝尔博士(电话发明人)、马克辛(机枪发明者)、查纽特、帕察斯(蒸汽涡轮发明者)、托马斯·爱迪生、李林塔尔、阿代尔、菲利普斯先生和许多其他人。”这些文献中对他们帮助最大的是《航空年鉴》和《飞行机器的发展》。他们甚至把《飞行机器的发展》称作是航空学的“旧约全书”。

这些历史文献给他们提供了极大的帮助。他们回忆说,看了这些资料后,他们发现他们对航空问题所知竟如此之少。通过研究这些资料,他们至少在两个方面获得了重大教益:一是学到了许多基本的也是比较系统的航空知识,特别是设计飞机所必须的基本部件和空气动力学知识,这使他们一开始就有了较高的起点,避免走很多弯路;二是他们认识到飞机研制面临着重重困难,认识到前人存在的不足以及飞机研制所应采取的正确道路。

在莱特兄弟之前,制造动力飞机的人很多,但很少有人认真研究并充分吸取前人或同时代人失败的教训。莱特兄弟很快认识到,19世纪动力飞机研制的必要条件已基本具备了。先驱者们分别在飞机结构、空气动力学、升力与阻力关系、平衡与操纵、发动机等各个方面已经取得了不同程度的突破。之所以还没有一个人能够设计制造出一架能够持续飞行的载人飞行机器,是因为他们往往都关注于飞机的某一个或几个方面问题,他们都孤立地看待和解决局部问题,而没有从整体上,从一架完整飞机的角度上寻求解决的办法。这也就是说,这些先驱者是航空学某一方面的专家,但他们不懂得或忽视了各种环节之间的协调关系,没有真正用系统的观点看待飞机设计问题。一句话,他们都称不上是飞机设计师。

在短短的两个多月中,他们完全弄清了一架成功的飞机所应具备的三要素:升举、推进和控制。对于这三个要素,在过去一百年间几乎没有一个人从整体上看待它们。认识到这一点,给他们带来的新问题是:解决这些问题需要什么信息?从哪里或需要什么技术和工具能够获得这些信息?这些信息怎样才能正确地并且成功地用于设计?清楚地认识到这些问题使他们在航空研究的一开始就在思想和方法上比许多航空先驱者都高了一筹。

通过学习,他们越来越感到解决平衡问题比设计制造重量轻、强度大、升力足够的机翼和轻型动力装置困难得多。他们对后两个问题的解决有充分的信心,解决稳定与平衡问题便成了他们首要的突破口。威尔伯·莱特就曾说过:“平衡问题是任何试图认真解决人类飞行问题的最大障碍。”他们认为,李林塔尔的死是因为他没有通过实际操纵解决平衡问题,单单通过对鸟的模仿也不能解决好机械飞行问题。因此,他们认为应当研究鸟的飞行平衡问题,并把

这种平衡方法引入飞行器设计中去。

技术发明常常有某种偶然性在起作用。莱特兄弟对平衡方式的探索就有这种偶然的因素。1899年7月,一位顾客到他们的商店来买自行车中轴。当威尔伯·莱特拿起一只装中轴的空盒子时,由于没有东西在里面,盒子一下子就被捏扁了。威尔伯·莱特一直在思索飞机平衡和操纵问题。这件事使他突然产生灵感,使翼面扭曲变形可能是操纵飞机并使其保持平衡的一种方式。这件事可能是他们发明机翼翘曲操纵方式的第一个信号。几天后,他们制作了一个小型试验风筝,对这个思想进行了初步试验,结果是令人满意的。

带着这个思想并对鸽子的飞行进行大量观察后,莱特兄弟于1899年秋获得了他们航空研究的第一项重大发现。威尔伯·莱特回忆说:“对鸟在这种情况下采用的平衡方法进行解释时,我们发现,这可能是鸟的翼尖沿一个横向轴摆动……的结果。这样在空气动力的反作用下,使鸟实现平衡飞行。在纵向平衡方面,鸟是通过翅膀的前后伸展实现稳定飞行的。”于是,他们决定把这种方法用于载人飞机设计上。这就是所谓的“翼尖翘曲”(Wingtip Wrap)方法。这种方法不是凯利所倡导的那种固有稳定原理,而是通过不断操纵达到自身的动态稳定。这也是莱特兄弟没有自觉沿着欧洲由凯利开创的固有稳定道路的主要一点。

莱特兄弟的飞行器试制最初选择了滑翔机,理由有两点:一是可以节省开支,因为精致的发动机要花费很多钱;二是驾驶滑翔机在空中翱翔更加激动人心,也更富有刺激。他们的第一号滑翔机于1899年8月间制造成功。它实际上只是一只宽度仅仅1.5米的大风筝,设计的纯粹是为了试验他们发现的保持平衡的翼尖翘曲方法的有效性。这架滑翔机采用了双翼机结构形式,但为了有效地使机翼翼尖能够进行翘曲运动,他们改变了张线和支柱结构,上下翼面之间用垂直的刚性支柱连接。这架风筝没有尾翼组件,用四根绳索操纵上下翼面的交叉翘曲偏转。莱特兄弟通过试验证明了这种保持空中平衡和操纵的方法是有效的,这给予了他们极大的信心。因此,在以后的各种飞行器设计中,他们都采用这种平衡方法。

那几年,威尔伯的身体状况一直不好,但稳定与操纵方法取得的成功使他从事航空研究的决心更加坚定了。由于在控制和稳定方式找到了一条自己满意的途径,对发明成功飞机有了相当的把握,威尔伯·莱特于1900年5月13日给他们一直非常崇拜的查纽特写信。他在信中说:“几年来,人类飞行是完全可能的信念一直围绕着我。我的疾病一直在恶化,我觉得即使不是生命断送了我,求医问药花的钱也将最终把我耗尽。我一直试图以某种方式调整我的奋斗方向,以使它能够用全部几个月的时间致力于这个领域的试验。”他向查纽特介绍了他们的设想和计划,认为只有许多研究者共同努力才能最终完成这个艰巨的任务,他说:“这个问题对孤立无助并且在秘密状态下工作的人来说,实在太大了。”

1900年9月,莱特兄弟设计制造了第一架全尺寸滑翔机。这架滑翔机采用的是李林塔尔的数据,翼展只有5.18米,翼面积约15.2平方米,前面有水平升降舵面。在气象部门建议下,他们选择了北卡罗莱纳州的基蒂·霍克作为试验场地。这里地势平坦,无障碍物,风势平和,速度一般在15~20千米/小时之间,而且柔软的沙地能防止滑翔机着陆时受损。这里有三座沙山,分别称大山、小山和西山。在试验不载人滑翔机时选择的是小山,坡度为7°。预计在迎

角为 3° ,风速为21千米每小时,滑翔机应能放飞起来。然而,他们在试飞时发现,滑翔机不载人时能够飞上天空,但载人时则根本飞不起来。这些试验表明,李林塔尔总结的数据可能不很精确。因此,他们决定进行一系列关于空气升力和阻力的实验。实验结果表明滑翔机的升力比计算值小得多,阻力也只有预计值的一半左右。

1900年设计的滑翔机在空中飞行时间只有2分钟,但从中获得了许多结果:证实了翼尖翘曲平衡方法的有效性,检验了升力和阻力大小,通过水平升降舵研究了纵向平衡问题。但总的来说,这架滑翔机不太令人满意。威尔伯·莱特记述说:“这架滑翔机的表现总在我们的预期之外。我们无法确定它究竟以什么方式工作,很显然它在各方面都不是我们所希望的。”

1900年冬天,莱特兄弟又制造了第二架滑翔机。它重约44千克,翼面面积提高到约26平方米。这个数据比李林塔尔、查纽特和佩尔策的滑翔机尺寸都大。它的基本布局同第1号滑翔机相似,但翼面弯度比达到1:12。由于机翼具有倾角时压力中心向前移动较大,他们后来又将弯度比改为1:19。另外,这架滑翔机还加装了翼尖翘曲操纵杆。

1901年7月27日,第2号滑翔机在基蒂·霍克进行了试验。它的性能比第1号有了较大提高,滑翔飞行的最大距离达130米,而且在风速达每小时27千米时也能实现操纵。但莱特兄弟并没有因此而满足。他们把性能仍然偏低的原因归结为机翼的升阻比太小,这可能是由于李林塔尔提供的各种数据包括翼型数据不可靠。于是他们决定单独进行机翼翼型实验,以积累升力和阻力方面的基础数据。1901年9月至1902年8月,他们用风洞开始试验机翼翼型。9月18日,威尔伯·莱特在一次演讲时描述了他们的试验结果:“为了精确测定弯曲表面产生的压力大小,我们进行了从 0° 到 90° 之间各种倾角的吹风试验。虽然实验结果还未最后出来,但这些试验支持了李林塔尔的关于弯曲表面在产生升力的大小和方向上比平面更加优越的结论,我们还发现,我们获得的数据与他给出的不同,特别是在 10° 迎角以下。”这些试验开始是利用自行车轮加装实验件旋转进行的,后来他们又自制了小型风洞进行精确实验。

莱特兄弟自制的小风洞主体是正方形管筒,由1.5千瓦发动机驱动风扇,长约1.5米,口径约56厘米 \times 56厘米。风扇产生的风速约27千米/小时。在大约1年的时间里,他们共进行了几千次试验,研究了200多种不同的翼型,迎角从 0° 直到 45° 。获得的数据使他们能够以新的面貌设计飞机。可以说,这一年的试验研究和测量结果,为后来的成功打下了坚实基础。

利用新的数据和研究结果,莱特兄弟于1902年8至9月间制造了第3号滑翔机。它的翼展为9.08米,翼面积93平方米,展弦比也大大增加。前向安装的双面升降舵面积为1.4平方米,其中又安装了两只固定的垂直安定面,面积为1.07平方米,用以抵消翼尖翘曲时出现的摆动。滑翔机空重约53千克,加上飞行员后的重量在150~155千克之间。

1902年9月末,第3号滑翔机由奥维尔·莱特驾驶进行了首次滑翔飞行,取得了成功。它的性能虽然不错,但却不太稳定。有一次奥维尔驾驶它时,突然机翼的一边快速上升,从而导致失速而坠落。他们在进行了多次试验后,决定加装可动的垂直舵面,面积只有大约0.56平方米,同时取消前面安装的两只垂直安定面。经过这些改动后,飞行试验结果大不相同。威尔伯·莱特最好的成绩是:在26秒钟内滑翔了190米,奥维尔·莱特在21秒时间内滑翔了

188 米。

滑翔机研制和试验取得的巨大成功使莱特兄弟极度兴奋,这时他们已准备向动力飞机方向作最后冲刺。1902 年底,威尔伯·莱特在一封给查纽特的回信中,谈到了他们今后的打算。他说:“我们的意图是,明年制造一架比目前这一架大得多的飞行器,差不多有两倍重。我们准备用它来解决重型飞行器的起飞和操纵问题。如果在飞行中它的操纵令人满意,接着我们就将在这架飞行器上安装一台发动机。”

第 2 节 动力飞机的发明过程

莱特兄弟的滑翔机设计和试验的时间不长,但取得的成就已远远超过了李林塔尔和其他一些人。取得这样的成功,其原因在于他们飞行器研究和试验方法的科学性,很好地把理论和实践结合起来。更为重要的是在技术路线上,他们把三大要素按重要性和难易程度区分开来,首先解决最关键的平衡与控制问题,然后是升举问题,最后是动力推进问题。这种科学的研究方法也是他们取得最后成功的根本保证。

研制动力飞机面临新的困难,其中两个最大的问题是轻型大功率发动机和旋翼,而发动机问题尤其突出。

按照他们的设计,载人飞行器估计总重约 283.75 千克,那么发动机功率应达到至少 6 千瓦,自重不能超过 89 千克。莱特兄弟一回到代顿就向几家发动机制造厂写信求助,但得到的回答都是以“我们的正常工作已经很忙了”的温和口气加以拒绝。无奈他们决定自己动手设计制造。莱特自行车公司技师查理·泰勒(C. Taylor)在发动机制造上发挥了主导作用。原来的内燃机原型是为带动自行车车间机器设备用的。根据这台内燃机,他们设计了一台四缸水冷式汽油活塞发动机。它最初只能工作 1~2 分钟,可以发出约 6.75 千瓦的功率。在进行气缸润滑后,发动机性能有了较大提高,能够长时间发出 9 千瓦功率,峰值功率达 12 千瓦。难能可贵的是,这台发动机的重量只有 75 千克,大大超过了他们预期提出的指标。

由于发动机功率有余,他们设计的第一架动力飞行器“飞行一号”翼展达 12.3 米,翼面积 47.4 平方米,机翼弯度比 1:20,机长 6.43 米,连同驾驶员在内的飞机总重量约在 360 千克左右。它的基本结构同第 3 号滑翔机相似,前面有两只升降舵,后面有两只方向舵,操纵的绳索集中连在操纵手柄上。飞机为蒙布和张线支柱结构。驾驶员卧在下机翼中间操纵飞机。

1903 年 9 月,他们携带“飞行一号”来到基蒂·霍克。9 月 25 日是星期五,他们来到斩魔山营地。由于发生了猛烈的风暴,使工作棚受损,必须加以修理。尔后,他们将发动机进行了装配。在空闲时间里,他们便利用滑翔机练习,以便更熟练地操纵动力飞机。当发动机装配好后,试车时发现一只旋翼的轴坏了,只得带回代顿修理。恰恰在这个时候,查纽特来访。他认为,飞机旋翼传动机构可能会损失 25%~30% 的发动机功率。这比莱特兄弟的估计大了一倍。由于当时兰利也在准备进行“空中旅行者”的试飞,为了抢时间,他们对此没有太注意。

当旋翼轴修理好后,已是11月20日了。装配时又发生了一些小的机械故障。这次他们将空心管轴换成实心的,因而又耽误了一些时间。到12月12日,一切试飞准备工作才得已就绪。

由于那几天风力很小,飞机很难从单轨起飞机构上起飞。12月14日,他们打算把飞机搬到小山上,准备依靠向下滑跑辅助飞机起飞,以补偿风力的不足。奥维尔和威尔伯靠掷硬币决定谁先飞行。结果威尔伯赢了,所以由他先飞。“飞行者一号”沿着轨道向下滑行,但试验并不像预想的那样顺利。飞机过早地升起,转弯过头,机头一直上仰,最后出现失速而坠落于地,一根滑橇也摔坏了。这次试飞只持续了3.5秒时间,飞机跳跃了32米。由于试飞成绩很不理想,而且是沿山坡下滑辅助,不能证明飞机具有平地起飞能力,因而莱特兄弟坚决否认这是他们的第一次动力飞行试验。

此后又用了两天时间,他们把飞机滑橇修理好,对整个飞机进行了全面检验,准备开始正式的水平试飞尝试。

1903年12月17日是人类历史上意义深远的日子。当天清晨,天气阴冷,寒风刺骨。上午10点钟,他们请来附近救生站的三个人以及另外两人,还有一名小男孩来监督作证,同时也请他们作搬运飞机的帮手,帮助安装起飞滑轨。上午11时左右,轮到奥维尔·莱特作第一次试飞。发动机暖机后,奥维尔在飞机上俯卧就位。“飞行者一号”无起落架,用带轮子的小车在滑轨上靠落锤装置弹射辅助起飞。发动机启动后,飞机开始向前滑跑。一开始滑跑得很慢。由于有速度达43.5千米/小时的大风迎面吹来,威尔伯·莱特一只手扶着飞机翼尖跟着奔跑,使飞机稳定,直到飞机获得足够的速度,使翼尖翘曲能够有效地操纵为止。正当飞机起飞之际,一位救生站监督人员拍下了一张照片,这张照片后来被普遍引用,流传极广,具有很高的历史价值。接着,滑行速度越来越快,奥维尔·莱特驾驶“飞行者一号”终于成功地升空飞行。第一次飞行留空时间很短,只有12秒,飞了约36.6米,但这是一项伟大的成就:它是人类历史上第一次有动力、载人、持续、稳定、可操纵的重于空气飞行器的首次成功飞行。这次成功飞行具有十分伟大的历史意义,为人类征服天空揭开了新的一页,也标志着航空飞机时代的来临。

12月17日11时20分,威尔伯·莱特又驾驶“飞行者一号”作了第二次飞行,也取得了成功,留空时间约11秒,飞行距离约60米。奥维尔作了第三次飞行,留空时间15秒,飞行距离61米。第四次也是当天最后一次飞行由威尔伯驾驶,取得了成功并达到当天的最好成绩:留空时间59秒,飞行距离260米。在这些飞行中,他们发现前向升降舵十分敏感,导致飞行路径不断忽高忽低起伏。在最后一次飞行中,威尔伯·莱特曾有效地操纵飞机保持了一段时间的平滑飞行,但后来又出现了起伏。最后摆动过大而触及地面,滑橇又有损坏。

在完成四次飞行以后,莱特兄弟和几位旁观者围绕着“飞行者一号”讨论飞行结果。忽然一阵大风吹来,把飞机吹翻。飞机遭到严重破坏。飞机修复已不可能,存在的问题也只有留待以后再解决了。尽管如此,莱特兄弟仍为这天的飞行取得的高度成功感到无比兴奋。当天飞行结束,奥维尔·莱特于下午给父亲打电报说:“星期四上午进行的四次成功飞行都是在每小时21千米的风下、单靠发动机动力水平起飞的。在最长的59秒飞行中,平均速度每小时31

千米。通知家乡的报社。圣诞快乐。”维尔伯·莱特在12月28日写给查纽特的信中说：“这些试验的一个最主要特点是，证明我们的全部计算结果和我们的工作是正确的，尽管我们还没有对这个飞行机器的性能做出最后的计算。”

莱特兄弟试飞成功的消息在美国新闻界反应冷淡。一方面他们的工作不大为一般人所知，他们的成就似乎来得太突然；另一方面，人们对兰利在9天前飞行失败的消息还记忆犹新，因此许多人把莱特兄弟试验成功载人飞机的消息看作是谎言。德国一家杂志把这个消息看作“两个美国人的诈骗”。1904年1月6日，奥维尔·莱特写信通告英国航空学会。这个曾登载过莱特兄弟的文章以及滑翔机飞行进展的学会会刊对他们的成就只是原则性地作了报道。而有的杂志干脆否定莱特兄弟会试飞成功。

1904年1~5月，莱特兄弟制造了第二架飞机“飞行者二号”。它的尺寸同一号相似，但翼面弯度比减为1:25，发动机也是新制造的。飞机总重量约为409千克。由于发动机功率提高到近12千瓦，因而飞机性能有了很大提高。“飞行者二号”试飞地点在代顿以东13千米处的霍夫曼草原。从当年5月23日到12月9日，“飞行者二号”总共飞行了105次，累计飞行时间约45分钟，最长的一次飞行了5分钟，飞行距离4.4千米（1904年11月9日）。在飞行中也发现了一些问题：当作急转弯时，飞机有不跟随驾驶者操纵的趋势，以致于失速而失去控制。在此期间，他们也在不断对飞机进行改进完善。1904年9月7日，他们首次引入重物势能助飞装置，既减小了对天气的依赖，又缩短了起飞距离。9月20日，威尔伯·莱特驾驶“飞行者二号”首次成功地进行了圆周飞行。尽管取得了很大成绩，莱特兄弟仍准备对飞机作进一步改进，使之完全达到实用化。为此他们决定，在实现实用化以前，不过分地向公众宣传。

鉴于“飞行者二号”存在快速转弯失速和失去操纵问题，莱特兄弟在“飞行者三号”设计中进行了多项改进：机翼面积略为减小，为46.78平方米，翼展增加到12.6米，水平升降舵面积有所增大并更加靠前，方向舵面积也有所增大并更靠后，保留原来的发动机，但旋翼进行了改进。“飞行者三号”于1905年6月制造完毕。

“飞行者三号”的飞行试验于6月23日至10月16日间在霍夫曼草原进行。到9月间，飞机的失速问题已能通过有效的操纵加以解决。解决的方式很简单，只须把机头下倾，得到更大的速度保持操纵即可。这架飞机的性能远远超过了前两架。表3-1是一些飞行试验的成绩数据：

表3-1 成绩数据

时 间	飞行时间	飞行距离/千米
1905年9月26日	18分9秒	17.9
1905年9月29日	19分55秒	19.3
1905年10月3日	25分5秒	24.6
1905年10月4日	33分17秒	33.4

1905 年 10 月 5 日	38 分 2 秒	38.6
-----------------	----------	------

在这个飞行季节内,“飞行者三号”共飞行了 50 次,全面考察了重复起降能力、倾斜飞行能力、转弯和完全圆周飞行能力、8 字飞行能力。通过操纵完成这些机动飞行表明,“飞行者三号”已具备了实用性,因此被看作是历史上第一架实用动力飞机。飞行季节结束后,莱特兄弟还对“飞行者三号”进行了一项重大改进:把用于操纵机翼和方向舵的绳索分开。这样既可同时操纵机翼和方向舵,也可单独操纵其中的一个,从而可以改善飞机的失速等问题。

1905 年 12 月 15 日,奥维尔·莱特给英国航空学会主席巴登·鲍威尔(B. Powell)发去了一封信,讲述了他们的飞行情况,喜悦之情溢于言表。他说:“飞机在所有飞行情况下没有一丝危险。每一次飞行中,我们大都能够做到返回起飞点。”他们当时的目标是创造留空时间 1 小时的新记录。考虑到防止飞机被公众探知,他们中止了当年的飞行试验。

“飞行者三号”飞机从各方面讲都是一架初具实用性的飞机,因此莱特兄弟兴奋地宣称“实用飞行器时代终于到来了。”他们深信飞行器具有军事应用潜力,同时为了商业目的,他们决定同美国陆军谈判,说服他们订购莱特式飞机。但得到的答复是:在用实际飞行表明能够进行平飞和携带一名驾驶员的飞行器制造出来以前,当局不会采取任何行动。这使莱特兄弟大为吃惊,陆军部对他们的成就一无所知或根本不相信。诚然,尽管他们已经进行了 50 次以上的成功飞行,但他们的成就还未能引起足够的重视。他们同英国谈判也未能取得进展。无奈,他们的飞机研制和飞行中止了很长一段时间,专心从事发动机改进工作。

在此期间,他们对“飞行者”号飞机严格保密,谢绝任何人参观。一位名叫帕特里克·亚历山大的记者在受莱特兄弟之邀参观了飞机之后说:“在我上一次访问时,莱特兄弟嘱我不要透露他们飞机的任何细节。但有些事我是可以说的。自 1900 年以来,莱特兄弟已飞行了 256 千米。这兄弟俩在开始航空研究时,除了几本书外没有任何航空方面的知识。”

1906 年,美国专利局正式授予莱特兄弟飞机设计专利,但这并没有立刻为他们的商业努力带来效果。查纽特在一篇文章中说:“1906~1907 年间,美国公众对空中航行的态度是既盼望又冷淡。莱特兄弟做出他们已经取得了伟大成功的宣言,一定吓住了许多研究者,除非他们知道在航空上还有许多待解决的问题。”

1907 年春,莱特兄弟制造了一架新飞机。5 月,威尔伯·莱特携带这架飞机来到欧洲,商谈专利仿制事宜,但未取得任何结果。1907 年 12 月 23 日,美国政府有意向准备同莱特兄弟或其他任何人签订制造一架飞机的合同。该合同规定,美国政府愿意提供 25 000 美元资金,制造一架能装载 2 人,总重 160 千克(包括汽油)的飞机,该飞行器能够以 64.4 千米每小时的速度飞行 125 千米。美国众多报纸杂志发表了大量文章,对美国国防部的举动加以讥讽,认为他们头脑发热。1908 年 2 月,美国国防部同意观看莱特兄弟的飞行表演。3 月,莱特兄弟与国防部终于达成制造莱特式飞机的协议。这样,莱特兄弟决定分别在美国和欧洲进行公开飞行表演。

1908 年 8 月 8 日,威尔伯·莱特驾驶新飞机在法国拉·芒斯附近一个赛马场进行了在欧

洲的首次飞行表演,一下使法国震惊了。原来抱怀疑态度的法国报纸欢呼这次飞行“是应用科学史上最激动人心的事件”。法国的航空先驱者说,“和莱特兄弟相比,我们不过是婴儿”。

莱特兄弟的这架飞机翼展 12.19 米,机重 360 千克,发动机功率 22.4 千瓦,飞行速度在 56 ~ 64 千米/小时。8 ~ 12 月间,威尔伯·莱特驾机飞行 100 多次,曾携带 60 名乘客一同升空。飞机能进行平稳的圆周、转弯和 8 字机动飞行。最好的一次留空时间达到近 2.5 小时,创造了飞行高度 120 米的纪录。欧洲航空当时已有了明显的进步,但同莱特兄弟相比差距很大。一位法国航空先驱者说:“我们被击败了!我们简直像不存在一样。”威尔伯·莱特在法国、意大利、德国等地进行飞行表演吸引了成千上万的观看者,许多人专程从异地他乡赶来,一时间激起了公众对航空的极大兴趣。

奥维尔·莱特自 1908 年 9 月 3 日开始,在美国弗吉尼州的迈尔堡进行公开飞行表演。9 月 9 日,他驾驶飞机在华盛顿作了首次飞行,获得很大成功,持续飞行了 58 分钟。这一惊人消息闪电般传播开来。当天下午在作第二次飞行时,华盛顿全城几乎万人空巷,成千上万人前往飞行地参观。一时间,莱特兄弟的名字在美国变得家喻户晓,飞机立刻成了人们街谈巷议的话题。遗憾的是,首次空难事故发生了。9 月 17 日,奥维尔驾机携带名叫塞弗里奇(T. Selfridge)的人升空。当他们在机场上空作第四次环形飞行时,一付旋翼破裂,拉力骤然降低,飞机发生剧烈振动。结果飞机坠地,奥维尔·莱特严重受伤,塞弗里奇当场身亡。

尽管有这次事故的阴影,但莱特兄弟和他们的伟大成就在欧洲和美国得到了广泛的承认。他们成了全球瞩目的英雄式人物。英国航空学会秘书甚至说:“莱特兄弟掌握了能操纵各个国家命运的力量……”的确,他们的伟大发明预示了人类历史的一场革命,是人类征服自然取得的又一伟大胜利。

第 3 节 欧洲航空的复兴和发展

李林塔尔因滑翔事故牺牲后,欧洲航空一度陷入困境。英国大科学家开尔文的声明使许多科学家和航空探索者对飞机失去了信心。这两件事对欧洲飞机的发展产生了极为不利的影响。其后好几年,欧洲的航空研究领域极少有人问津。这个时期,欧洲航空领域主要有三个人还在艰苦地探索研制飞机。第一个是奥地利的克莱斯(A. Kress);第二个是德国的卡尔·雅图(K. Jatto);第三个是英国的菲利普斯。他们虽然都取得了一定的成就,但距离飞行器研制成功还相差甚远,而且产生的影响也不大。为欧洲航空事业的复兴起主要作用的是法国三位航空先驱者,他们是费尔伯(F. Ferber)、阿克迪康(E. Archdeacon)和埃斯诺·贝尔特利(R. Esnault Pelterie, 1882—1957),而他们又直接受到美国的查纽特和莱特兄弟的影响。

莱特兄弟在 1901 年试验成功第二号滑翔机后,威尔伯·莱特于 1901 年 9 月 18 日在芝加哥进行了首次演讲,描述了他们的第一、第二号滑翔机的设计、制造和飞行试验情况。费尔伯得知这个消息后开始和查纽特通信。查纽特给他寄去了威尔伯·莱特演讲的复件。费尔伯曾

进行过滑翔机试验并仿制过李林塔尔的滑翔机。他仔细阅读了威尔伯·莱特的演讲稿后,认识到李林塔尔悬挂式滑翔机的缺点,开始仿制莱特兄弟的滑翔机。但这架滑翔机在1902年6月试飞时效果并不理想,原因是他虽然改进了莱特式滑翔机的布局,但还没有完全把握它的精髓,而且他的滑翔机机翼不是刚性骨架,控制机构也不理想。

1903年查纽特访问欧洲。他于4月2日在法国航空俱乐部作了一次演讲,详细介绍了莱特兄弟的滑翔机并特别提到新近取得高度成功的第三号滑翔机。这使法国航空界人士大为震动。出于爱国热情,费尔伯在一份读者面很广的杂志上发表文章呼吁:“飞机的发明决不能在美国首先取得成功”,杂志编者补充说:“现在还有时间,但我们决不能有半点浪费。”阿克迪康在听完查纽特的演讲后,激动而富于感情地说:“具有讽刺意味的是,法国这个发明家的伟大国度,没有在航空这一特殊的科学领域占据领导地位……难道蒙哥尔费兄弟(气球的发明者)的故乡,能允许航空科学的最伟大发明在国外实现而不感到羞耻吗?”

阿克迪康是法国一位富裕的律师和运动员。他也是在这种背景下新加入航空研究领域的。为了在动力飞机的竞争中击败美国的莱特兄弟,他倡导在法国航空俱乐部内成立航空委员会,致力于推动法国重于空气飞行器的发展。他于1904年仿制了一架莱特兄弟的滑翔机,在试验时性能不佳。他后来又与夏布里埃·伏瓦辛(G. Voisin)合作,也未取得更大突破。他在飞机制造和试验上的成就并不突出,但他的工作却影响和带动了许多人加入航空研究领域,其中最著名的是伏瓦辛兄弟。通过新一代先驱者的努力,法国航空终于取得世界领先的地位。阿克迪康发表了许多言辞声动、感情激烈的演讲和文章,鼓励法国人积极投身于航空事业。

埃斯诺·贝尔特利是法国工程师,他后来把精力主要放在航天学研究上,并取得了重大成就。他是在查纽特、费尔伯和阿克迪康的直接影响下,进入航空领域的。作为一名卓有成就的工程师,他并不急于设计飞机,而是先进行基础试验,包括气动力学和翼型研究。为了弄清什么是一架成功的滑翔机,以及莱特滑翔机的设计特点,1904年5月他仿制了一架莱特式滑翔机。1904年10月,埃斯诺·贝尔特利制造了第二号滑翔机。这架滑翔机最引人注目的特点是:它在航空史上首次给飞机加装了副翼。这是他对航空技术的一大贡献。他用这架滑翔机进行了大量试验,包括在奔驰汽车上进行飞机部件试验、翼型试验、滑翔机牵引试验以及飞行试验。这架滑翔机性能也不太理想。

1903年12月17日莱特兄弟试飞成功第一架动力飞机后,消息很快传到大西洋彼岸。尽管许多人仍然怀疑它的真实性,但它无疑更加鼓励和刺激了欧洲的航空先驱者们。1905年出版的《航空之友》杂志刊登了莱特兄弟介绍他们飞行试验的信件和查纽特的描述文章,但编者似乎不能肯定他们报告的情况是否属实。编者按说:“如果莱特兄弟取得的成果是绝对可靠的,那么就让我们忘记法国是航空的诞生地吧。”“如果这个消息不是真实的,飞机的成功亦将是明天的事情。”尽管如此,莱特兄弟飞行成功的事实仍逐渐得到欧洲的承认,这时欧洲航空又进入了一个十分活跃的时期。除法国外,英国、德国、意大利也出现了新一代飞机研究者。

在法国的费尔伯、阿克迪康和埃斯诺·贝尔特利之后,到桑托斯·杜蒙(A. Santos Dumont)研制并试飞成功欧洲第一架动力飞机之前,欧洲活跃着一批动力飞机和滑翔机的探索

者。他们当中十分著名的有伏瓦辛 (Voisin) 兄弟、布雷里奥 (L. Bleriot)、卡第 (S. F. Cody) 等等。

夏布里埃·伏瓦辛对航空大发展做出了杰出贡献。他最初是在费尔伯和阿克迪康的影响下从事航空研究和试验的。1904 年,在费尔伯的指导下,伏瓦辛驾驶阿克迪康制造的莱特式滑翔机进行了试飞。他还同阿克迪康一道对它进行了改进,制造了第二号滑翔机。它的主要特点是,加装了垂直尾翼和水平尾翼,以提供固有稳定性和改善方向稳定性。1905 年 3 月 26 日,第 2 号滑翔机进行了飞行试验。1905 年,伏瓦辛设计制造了浮筒式滑翔机,于 1905 年 6 月 8 日在塞纳河上利用气艇挟带进行了升空试验,飞行距离 150 米。1905 年 7 月 18 日,这架滑翔机又进行了第二次飞行试验,距离达 300 米。接着又在瑞士日内瓦湖上进行了试验。

1905 年伏瓦辛还同路易·布雷里奥进行过合作,研制浮筒式滑翔机。1905 年 7 月,伏瓦辛-布雷里奥型滑翔机进行了一次气艇拖拽下的飞行试验,当滑翔机刚刚离开水面后,便因失稳而侧滑入水。此后这架滑翔机再也没有进行过试验。

1906 年是欧洲航空史成就卓著的一年。首先 1906 年 1 月的法国《航空爱好者》杂志刊登了莱特兄弟飞机专利的主要内容,基本上平息了欧洲关于莱特兄弟是否真正取得成功的争论;其次,欧洲通过专利说明了解到莱特飞机机翼翘曲结构的意义。另外,具有深远意义的是,法国的列昂·拉瓦瓦索欧 (L. Levavasseur) 研制的著名“安东尼特式”发动机问世。它对欧洲第一架飞机的诞生和实用化发展做出了巨大贡献。直到 1909 年,安东尼特发动机一直是欧洲最主要的航空动力装置。

布雷里奥在 1905 年同伏瓦辛合作后,1906 年又在伏瓦辛的雇用下设计飞机。在伏瓦辛-布雷里奥浮筒式滑翔机(后命名为“布雷里奥”2 号)设计中,他没有起主要作用。新设计的飞机则完全是他的功劳。第一种是“布雷里奥”3 号,一种浮筒式水上飞机,它一改哈格里夫盒式风筝机翼结构,采用了变形的椭圆形机翼和尾翼,总面积共达 60 平方米。“布雷里奥”3 号安装了一台 18 千瓦的安东尼特发动机。1906 年 5 月,这架飞机进行了试验,但没有离开水面。改进而来的“布雷里奥”4 号的主要差别是把椭圆式尾翼改为普通尾翼,前机身加装了升降舵,机翼后面安装了两个副翼。发动机仍然采用 18 千瓦的安东尼特式,带动两副推进式旋翼。1906 年 10 月,它在试验时还是没有取得成功,飞机没有离开水面。

布雷里奥后来又对 4 号进行了改进,使之成为陆上飞机,并安装了 37 千瓦的发动机。但它在 1906 年 11 月进行试验时,仍然未离开过地面。这没有使他对飞机研制失去信心,但却促使他转向单翼机研制,并且取得了很高的成就。

经过几年的实践,欧洲航空已经形成了自己的技术模式,克服了莱特兄弟飞机的缺点,飞机发展工作终于走上了正轨。最后,欧洲第一架动力载人飞机的研制工作由阿尔贝托·桑托斯-杜蒙完成了。

在 19 世纪末和 20 世纪初,桑托斯·杜蒙 (A. Santos Dumont, 1873—1932) 的名字在欧洲可以说是家喻户晓。他在飞艇研制和飞行上取得的卓越成就使他扬名四海。他长期从事飞艇研制,20 世纪初的几年也致力于此。他虽然认为飞艇仍有很大的缺陷,但迷人的飞行强烈吸引

着他。1904 年他造出了第 7 号飞艇,长达 50 米,直径 7 米,装一台功率为 37 千瓦的发动机。1905 年他又制造了第 14 号飞艇,它虽然不大,但飞行速度却很快。

大约在这一时期,桑托斯·杜蒙开始转向重于空气的飞行器。实际上,人们简直无法弄清他是何时以及怎样转向飞机研制的。有人说,人们的想像都跟不上他的行动。法国航空俱乐部一位会员说:“在向世界宣告人类飞行的可能性方面,杜蒙所做的比任何人都多。无论杜蒙开始什么新试验,总会在民众中掀起一阵极其狂热的旋风。”他于 1906 年春制造了一架直升机,水平安装两副旋翼,动力装置为一台 18 千瓦的发动机,整个直升机重 160 千克,不过这架直升机没有取得成功。

1906 夏,桑托斯·杜蒙制造了第一架动力飞机,并取了个名字叫“捕猎鸟”。它机长 9.7 米,翼展 11.2 米,翼面积 52 平方米,总重约 300 千克。最初装一台 18 千瓦的安东尼特发动机。预计飞行速度约为 40 千米/小时。“捕猎鸟”飞机没有多少技术创新,却显示出桑托斯·杜蒙很有发明天才。他虽然自己没有进行过多少飞机的理论和实验研究,但他似乎对飞机技术有一种天生的直觉。“捕猎鸟”飞机几乎没有他本人首创的新技术,却把莱特兄弟飞机、哈格里夫盒式风筝、伏瓦辛水上滑翔机、埃斯诺·贝尔特利的第 2 号滑翔机的优点集中起来,构成了当时来说是非常完美的机型。机翼在前、盒式风筝形机翼和尾翼、带有上反角的机翼、直径 2.5 米的双叶旋翼、张线式加强索,甚至还加装了埃斯诺·贝尔特利式的一对副翼。

“捕猎鸟”的首次飞行是由桑托斯·杜蒙的第 14 号飞艇携带进行的。可能由于飞机太重之故,它仅离开地面不到 10 厘米,但“捕猎鸟”却因此获得了新的名称:14 比斯,意味着它是 14 号飞艇的兄弟 14 号乙。而实际上,二者是两种完全不同种类的飞行器,并无任何共同之处。

1906 年 9 月 13 日,桑托斯·杜蒙驾驶 14 比斯飞机进行了第二次试飞。由于动力不足,它只上升了约一人高,飞行距离仅 11 米。于是,桑托斯·杜蒙又换装了 37 千瓦安东尼特 8 缸水冷 V 型发动机。1906 年 10 月 23 日,桑托斯·杜蒙驾驶改装后的 14 比斯飞机成功地进行了欧洲首次持续、有动力、可操纵的飞行。虽然成绩远远不如莱特兄弟的首次飞行,但意义重大。1906 年 11 月间,桑托斯·杜蒙驾驶 14 比斯进行了 9 次飞行。11 月 12 日的 4 次飞行中,留空时间 7.5 秒,飞行距离 82 米,速度达 41.3 千米/小时。第四次飞行持续 21.2 秒,距离 220 米,时速 37.36 千米/小时。

半年后,桑托斯·杜蒙又制造了第 2 号飞机。它的外形很大,结构很脆弱。这架飞机在 1907 年试飞时,发生了事故。桑托斯·杜蒙本人没有受到伤害,飞机却只剩下了发动机。此后,桑托斯·杜蒙暂时中止了飞机研究。他当时的设想是把气球和飞机结合起来。

桑托斯·杜蒙是当时欧洲的明星式人物,各大报纸、杂志都经常刊载他的事迹和活动报道。听到他中止飞机试验的消息,人们不禁流露出一丝惋惜。法国航空俱乐部的一位成员说:“无论如何,桑托斯·杜蒙暂时放弃飞机原理而转向新的可操纵气球,可能会引起飞机学生们的失望。”不过,这毕竟是暂时的。桑托斯·杜蒙不久后又回到飞机研制中来,并且取得了新的成就,再次成为欧洲航空界的新闻人物。

欧洲第一架飞机的诞生使世界航空形势发生了重大变化。过去人们对莱特兄弟的成功还抱很大的怀疑,这又进一步引起对飞机能否成功的怀疑。现在,欧洲出现了自己的飞机,于是人们的观念发生了变化,飞机不再是幻想和不可能东西,它已经现实地摆在世人面前。由于桑托斯·杜蒙试验成功动力飞机,并以他的声望产生了很大影响,欧洲航空迅速进入新的发展时期。已经进行过飞机研制的人加快了步伐,航空领域的新人不断涌现,新型飞机接二连三飞上了天空,性能迅速提高,很快就开始达到和超过莱特兄弟的水平。

1907年到1909年短短的3年间,飞机的发展极为迅速。过去,航空先驱们完全是在充满未知的道路上探索。现在有了各方面的样板可以借鉴,甚至可以直接花钱购买某些部件用于飞机研制。这样,飞机的发展加快了,新的技术不断得到采用,飞机的性能越来越高。

1907年,布雷里奥制造了一架尾翼在前的单翼飞机,试飞效果不太理想。后来他又设计制造了串联机翼飞机,但这架飞机在试飞时摔坏了。此后,布雷里奥致力于研制单翼机,并很快形成了自己的设计风格,开创了与双翼机平行的单翼机研制流派。

同年,伏瓦辛兄弟俩创办了第一个飞机研制工厂。他们在浮筒式滑翔机基础上,研制出了标准型伏瓦辛双翼飞机,有推进式旋翼,前向方向舵和升降舵。它虽然不大成功,但却找到了买主。其中一个著名的买主就是法国的亨利·法尔芒(H. Farman, 1874—1958)。法尔芒在试飞这架飞机时,感觉很不理想。于是他又购买了第二架伏瓦辛式双翼机。经过多次修改,包括将尾翼改小,1907年底,法尔芒驾驶该机完成了直径1千米的圆周飞行,从而获得了阿克迪康设立的500法郎大奖。这一重大成就使法尔芒产生了自己设计飞机的雄心。

桑托斯·杜蒙在1907年制造了一架飞机和飞艇组合式航空器,可惜被毁于地面。接着他把注意力转向单翼机。当年11月,他研制了一架尺寸很小的飞机,翼展仅5米,取名19号。飞机非常精致:单翼结构,拉进式旋翼,轮式起落架等。1909年,他设计制造了“蜻蜓”式飞机,翼展5.5米,是19号的第一种改进型。桑托斯·杜蒙驾驶它首次试飞时,速度竟达到97千米每小时,且颇为机动灵活。它既是现代超轻型飞机的始祖,又是一种能“家庭自制”的飞机。杜蒙本人声明,他不申请专利,任何人都可以仿制。“蜻蜓”式飞机从设计到性能都是很优秀的,在航空史上有很高的地位。只有由于驾驶它需要很高的技巧,因而没有得到更广泛普及。

英国的塞缪尔·卡第(S. Cody)上校和阿·维·罗伊(A. V. Roe)也是早期著名的先驱者。卡第早在1899年开始设计载人风筝,1908年制成了第一架载人双翼机。1908年10月16日,他驾驶这架飞机在英国拉劳平原的法恩巴勒进行了英国第一次正式的动力飞机飞行,留空时间27秒,飞行距离约460米。接着,卡第又制造了另外两架飞机。1911年,卡第驾驶飞机连续飞行了4小时47分,航程298.65千米。不久后,卡第又依据自己的构想设计出了著名的“卡第三号”飞机,又名“飞行教堂”。它的最突出特点是在两只主翼之间加装了副翼,以用作侧向操纵。1912年他用第3号飞机赢得了英国军用飞机竞赛奖。可惜,这位对英国航空做出重要贡献的人物在1913年8月试验新飞机时,飞机在空中解体,他不幸遇难身亡。

阿·维·罗伊在1908年比卡第稍早几个月,曾用一架双翼机实现了短暂的动力跃飞。后来他开始研制第二架飞机。这架飞机装有一台6.7千瓦双缸气冷式活塞发动机,通过V形皮

带带动一副4叶旋翼。飞机结构轻巧,骨架蒙上黄油薄纸。不过一遇阴雨天气,便出现了大麻烦,飞机曾多次在飞行试验中摔坏。1909年10月在英国的黑水塘举行的飞行聚会上,罗伊带着两架三翼机参加大会。当时他已组建了飞机制造公司,可以在3天中组装出一架飞机。在黑水塘举行的另一次飞行聚会上,飞机在起飞时轮胎发生燃烧爆裂,但靠轮缘滑跑起飞,获得了75英镑特别奖金。罗伊和他的公司后来不断对飞机进行改进,于1912年设计制造出有名的“阿维罗500”型双翼机。第一次世界大战中,罗伊的飞机大量投产应用于战争,发挥了很大作用。

在美国,受莱特兄弟的影响,一批飞机爱好者走上航空舞台。1908年,电话发明人亚历山大·贝尔、格兰·寇蒂斯(G. Curtiss, 1878—1930)和其他人一道创立了“航空试验协会”,开始研制飞机。这个协会设计制造的第一架飞机是“红翼”,由赛尔夫里奇(T. E. Selfridge)设计。此后又相继制造了“白翼”,由鲍德温(F. W. Baldwin)设计;“六月臭虫”,由寇蒂斯设计;“银镖”由麦克卡迪设计。这些飞机的性能都不如莱特兄弟的飞机,但“六月臭虫”号飞机还是相当出色的。《科学的美国人》杂志曾设立一项奖金,奖励第一架完成1千米直线飞行的飞机。莱特兄弟虽然早已超过了这个指标,但因没有官方纪录而不予承认。航空试验协会准备以这架飞机角逐这个奖杯。1908年7月4日美国国庆日,大量参观者聚集在石溪农庄,观看寇蒂斯的飞行。他不负重望,驾驶“六月臭虫”号飞行了1.61千米,速度达到64千米每小时,从而赢得了这项奖金。1909年,寇蒂斯设计出了性能更加优良的“寇蒂斯金色飞行家”号飞机。这两架飞机取得的成功,使寇蒂斯成为与莱特兄弟齐名的著名人物。

航空试验协会于1908年底解散,成员各奔前程。寇蒂斯与奥古斯特·赫林(A. M. Herring)一道组建了美国第一家航空制造公司,他本人也成为著名的飞行家和飞机设计师。寇蒂斯在性格上比莱特兄弟更加敢做敢为。他从莱特兄弟那里学到了不少有益的东西,但从来不愿承认。不过他在航空领域活跃的一生中创造了许多第一。例如,他在美国开办了世界第一家飞行学校,在航空早期阶段训练了不少飞行员;他是第一位对水上飞机感兴趣并做出很大贡献的专家;他首次提出航空母舰设想,并且最早开始了试验,被人们誉为“海军航空之父”。

早期的飞机以双翼居多。人们普遍认为双翼机升力大、强度高、安全性好。但在法国探索单翼机的大有人在,桑托斯·杜蒙是较早的代表。布雷里奥后来也以单翼机为主攻方向,1908年6月他设计和制造了有名的“布雷里奥”8型飞机,于10月21日作了一次越野飞行,成绩不错。后来他又把机翼改小,机身后段上部升降舵之前又增加了一个固定的水平尾翼。

布雷里奥的飞机研制特点值得称赞。他实际上是第一位采取渐改方式设计飞机的设计师。他设计制造飞机的速度很快,一架飞机试飞后,发现问题或缺陷立即改进,不久又拿出一个新的飞机。他经常亲自驾驶自己设计的飞机,对飞机性能特点的认识更加深刻。他还是一位无畏的驾驶员,天生的飞行家。他在试飞过程中,经常发生各种事故。从摔坏的飞机残骸中,不仅奇迹般站出没有受伤或受伤不大的布雷里奥,而且还诞生了新型飞机设计或改进方案。在法国出现了布雷里奥和伏瓦辛在飞机设计上展开的竞赛,而这实际上又是单翼机和双翼机之争。

埃斯诺·贝尔特利在研制滑翔机后,开始设计 REP - 2“比斯”飞机。从技术上讲,REP - 2“比斯”可以说是这一时期最优秀的。它的主要特点和创新是:单翼结构布局,封闭式座舱,复式操纵系统,单杆全向操纵手柄,副翼结构,液压机轮刹车以及飞机座椅带等。这架飞机是他根据自己多年探索获得的知识与经验的结晶,在航空史上有着突出的地位。REP - 2 比斯机长 8 米,机高 2.5 米,翼展 9.6 米,翼面积 15.75 平方米,总重 420 千克。机翼中部装一台他自己设计的 22.4 ~ 26 千瓦 7 缸气冷式星形发动机,带动一付直径 2.25 米的 4 叶旋翼。它能装载 1 人,时速为 80 千米。1908 年 11 月,REP - 2“比斯”进行了首次飞行。1909 年,埃斯诺·贝尔特利驾驶它进行了一次出色的飞行,航程达 8 千米。

法国倡导单翼机的还有艺术家出身的工程师拉瓦瓦索欧(L. Levavasseur)。他最初从事发动机设计和制造,发明了应用极广的安东尼特式活塞发动机。1908 年 2 月,拉瓦瓦索欧转向飞机设计,并把设计制造的飞机也取名安东尼特式。由于有较深的艺术修养,安东尼特飞机外形漂亮美观,机身修长优美。头两个型号性能不太好,1908 年下半年又设计了“安东尼特”4 和 5 型单翼机。这两种飞机不但结构结实而轻巧,性能也不错。虽然该机用于飞越英吉利海峡竞赛时没有取得成功,但仍深受航空飞行家的赞赏。

可以说 1907 年到 1909 年这段时间是飞机由幼年步入成年的关键时期。经过这几年的飞速发展,飞机已经深入人心,航空理论已具雏形,发动机性能不断提高并且性能稳定。尔后,经过各种航空竞赛和越野飞行的严格考验之后,实用飞机终于达到了它的成熟期。

第 4 节 航空竞赛与飞机实用化

20 世纪初,欧洲飞机的设计、制造和试验全面展开,并取得了相当大的进步和成就。经过学习莱特式飞机的长处,结合自己的风格,欧洲航空进展迅速。飞机于 1909 年首次飞越英吉利海峡,成了轰动世界的大事。此后,各种竞赛和展览活动纷纷开台,既考验了飞机的性能,又涌现出更多的航空设计家和飞行家,航空发展进入了一个初步在体育和娱乐中应用的新阶段。

1909 年英吉利海峡的飞渡,是 1903 年莱特兄弟飞行者一号飞行成功后的又一件轰动性的大事,是飞机终于走向成熟的一个重要标志。英国著名的《每日邮报》为了鼓励航空的发展,在 1908 年设下了 1 000 英镑奖金奖励第一个飞越英法两国间的英吉利海峡的飞行员。气球和飞艇飞越英吉利海峡已成为家常便饭,飞机从事这项冒险是第一次,难度也大得多。可以说,这项活动对刚刚诞生的飞机来说是一次十分严峻的考验,世人对这个竞赛项目报以期盼的目光。

有意参加竞赛的有不少飞行家。他们看重的并不是那 1 000 英镑奖金,而是那激动人心的冒险和个人价值的实现。海峡飞渡难度极大,因为这不仅需要勇气,更需要熟练的飞行技巧,当然还要有性能优良的飞机。实际上,最后参加竞赛的只剩下拉汉姆(H. Latham)和布雷里奥等几个人。桑托斯·杜蒙也有意参加竞赛,后经友人劝告而退出。因为他的“蜻蜓”式飞

机太脆弱,飞越风浪险恶的英吉利海峡容易出危险。英国的拉巴特也有此意。他为此专门制造了两架莱特式飞机,可是在试飞时摔坏了一架。等第二架造好时,飞越英吉利海峡的竞赛已经结束。

法国人胡伯特·拉汉姆曾在美国接受教育。在飞越英吉利海峡的尝试中,他使用的是购买的一架装有副翼的“安东尼特”4型单翼机。飞机的一个重要特点是机身呈船体形,这一点后来在飞机落入海面时拯救飞行员派上了用场。1909年7月19日,在一艘法国鱼雷艇发出信号后,拉汉姆启动了发动机,安东尼特飞机从法国的卡莱斯附近起飞,向对岸的桑盖特峭壁飞去。当飞机飞出约三分之一的距离,因发动机出现故障而失败。

拉汉姆上岸后,立即奔赴巴黎,订购另一架“安东尼特”飞机,打算再作一次飞行尝试。在飞机尚未运到时,路易·布雷里奥已作好了飞越英吉利海峡的准备。布雷里奥驾驶的是他新设计的“布雷里奥”11型单翼机。它的个头不大,机长8米,翼展7.8米,翼面积14平方米,总重300千克。它装有一台18.7千瓦的安赞尼3缸气冷半星形活塞式发动机,带动一副双叶旋翼,飞行时速约75千米。它首次飞行试验是在1909年1月23日,到飞越海峡时,已经过了半年多的考验。为了防止飞越海峡出现意外,布雷里奥在机身尾部安装了一只气囊。

1909年7月25日凌晨4时35分,布雷里奥驾驶飞机从地面起飞并越过海岸沙丘向海面飞去。一艘护卫驱逐舰这时已开到附近海面。下面是布雷里奥对这次历史性的飞行的记述:“10分钟之后,我越过了驱逐舰。这时,我转过头来看看,我是否在向着正确的航向飞行。我顿时大吃一惊,我既看不到那艘鱼雷驱逐舰,也看不到法国和英国海岸,我是独自一人,什么东西都看不到。我迷失方向达10分钟之久,置身于一个陌生的境地,孤立无援,既无引导,又无罗盘,飘荡在海峡中央的上空。我把手和脚轻轻地放在操纵杆上,让飞机自己选择航向。然后,也就是我离开法国海岸20分钟之后,我看到了多佛的峭壁、城堡和向西离开一定距离的预定着陆点。我究竟怎么办呢?很明显,风已使我偏离了航向……我用脚踩操纵杆向西转弯。此刻我确实面临着很多困难,因为峭壁附近的风力很大,我在克服风力影响时飞机速度又随之减小……我看到峭壁上有一块开阔地。这时我虽然相信,我还可以继续飞行1个半小时,并且我还确实能够返回法国着陆,但是我不能放弃在这块绿草如茵的开阔地上着陆的机会。我驾机进入这块开阔地,发现自己又飞翔在陆地上空。为避开处于右侧的红色建筑物,我试图着陆,但风很大。我关闭了发动机,飞机随着便往下落。”

布雷里奥飞越英吉利海峡后,受到英国人的热烈欢迎。返回法国后,他更是受到英雄凯旋式的祝贺。他用大约36分钟时间飞行了41.9千米,完成了飞机的第一次国际飞行,具有巨大的科学和军事意义。对于这次飞行,英国著名历史学家和作家威尔斯(H. G. Wells, 1866—1946)曾说:“从军事观点看,纵然不用我们的舰队,(英国)已不再是不能达到的孤岛了。”

航空博览会在英国早已有先例。1907年3月,在英国伦敦的农业馆举行过一次航空展览会。这是一次模型飞机的飞行竞赛,参观者约7000人。展览会参观的人不算很多,但意义却很大。1908年,法国和英国还举行过航空静物展览。1909年3月,英国在伦敦又举办了一次静物展览,吸引了大量观众,获得了极大成功。这些展览活动向一般公众介绍航空知识,吸引

了许多热血青年加入航空科学研究和试验领域,这对促进航空发展和树立飞机的地位产生了很大影响。这一时期,影响最大、意义最深远的展览会当属 1909 年举办的兰斯航空博览会。

1909 年 8 月 22 日,由航空设计家们发起,在法国的兰斯举行了第一次大型航空博览会。这次博览会共有 23 架飞机参加飞行竞赛,会上设立了飞行速度、飞行距离和续航时间三项大奖。兰斯航空博览会确实标志着航空发展的一个阶段的结束,是航空技术成果的一次大检阅。莱特兄弟的飞行一开始很少得到公众的注意。从 1906 年起,其他先驱者相继制造出飞机并开始驾机飞行。在频繁的飞行中,虽然不断地摔坏飞机,但也逐渐引起了人们的注意。因此 1908 年在威尔伯·莱特访问欧洲以后,人们感到在当时欧洲航空的中心法国,举办一次航空设计师和飞机的大聚会,彼此交流经验,讨论问题,切磋飞行技艺,是非常必要的,也是完全可能的。聚会地点选择法国兰斯,当时几乎所有著名飞机设计家和飞行家都把他们制造的飞机带到这个城市来,参加展览和竞赛。光临这里的有许多富有的人士,还有成千上万看热闹的普通百姓。

参加这次展览会的共有 38 架各种飞机。有 23 架进行过飞行,如表 3-2 所列。

表 3-2 参加展会的飞机数量统计

布雷盖双翼机	1 架	安东尼特单翼机	3 架
寇蒂斯双翼机	1 架	布雷里奥 XI 单翼机	2 架
法尔芒双翼机	3 架	布雷里奥 XII 单翼机	1 架
伏瓦辛双翼机	7 架	布雷里奥 XIII 单翼机	1 架
莱特双翼机	3 架	REP 单翼机 1 架	

23 架飞机共飞行了 120 次,有 87 次飞行距离超过 5 千米,有 7 次超过 100 千米,最好的一次距离达到 180 千米。在这次博览会上,除了飞行表演外,还有速度和高度竞赛。高度竞赛由两次飞越英吉利海峡失利的拉汉姆取得冠军。他驾驶“安东尼特”飞机飞到 155 米高度。寇蒂斯驾驶“金色飞行者”号飞机赢得速度大奖,平均速度 75.789 千米每小时。瞬时飞行最大速度奖则被“布雷里奥”单翼机夺得。他驾驶自己的单翼机飞出了 97 千米/小时的高速度。这架飞机安装了具有创新意义的“格罗姆”旋缸式发动机。该发动机由法国的塞甘兄弟(L. Seguin, G. Seguin)研制。

飞行家们在大约 50 万参观者面前作了激动人心的飞行表演。一批批飞机环绕着标杆,以大约 60 千米每小时的速度,几十米的高度穿梭飞行。这种前所未有的场面对于推动航空的发展和深入人心起到了良好的作用。每天飞行结束后,在飞行家和设计家们中间又展开热烈的讨论。这在交流经验、增长知识和共同提高方面具有极其重要的意义。兰斯航空展览会影响深远,取得的成就和经验迅速传到其他国家。这次大会历时 8 天,到后来已成了航空展览、表演、展示最新成就的最早楷模。许多军事家和政治家从这次展览会上看到了航空的价值。

兰斯展览会是早期航空史上的一次高潮,也是对航空技术水平的一次检阅。在第一次世

界大战前,由于竞赛的强烈激励,不少设计家挖空心思改进飞机,使航空技术不断得到发展和完善。由于它的影响,新的性能优良的飞机层出不穷,技术水平也越来越高。例如,1910年卡第设计的双翼机在当年的最后一天,创造了英国飞机飞行距离和续航时间的纪录,它的飞行速度竟达到105千米每小时。

从1910年起,欧洲航空兴起了飞机越野飞行热潮。越野飞行由于条件艰苦,路途遥远,因此对于考验飞机性能发挥了巨大作用。在越野飞行过程中,有的飞机因操纵不当发生死亡事故,有的飞机因性能不佳而坠落,因此死亡事故时有发生。莱特式飞机的历史功绩不容抹杀,但随着飞行环境的恶化,它的根本性缺陷就彻底暴露了出来。在众多的飞行事故中,莱特式飞机多于其他飞机,而双翼机事故又多于单翼机。人们从惨痛的事故中,认真分析研究故障原因,并且有针对性地对新设计的飞机进行相应的改进。正像佩尔策十几年前所说的:飞机的历史或多或少是灾难的历史。的确,在航空技术的幼年时期,飞机发生飞行事故在所难免。所幸每发生一次事故,人们都能从中获得教训,发展改进的办法,从而使飞机性能、可靠性和技术水平都提高一步,并且逐渐降低事故率。

在第一次大战以前,俄国航空刚刚开始起步。但由于先驱者的努力,俄国在1913—1914年取得了一鸣惊人式的成就。1913年,著名飞机设计家西科尔斯基(I. Sikelsky, 1889—1972)设计制造成功世界第一架大型多发动机飞机“俄罗斯勇士”号。它的翼展长达28米,机翼面积120平方米,机长19米,总重量达5吨。“俄罗斯勇士”号装有4台74.6千瓦发动机,典型续航时间为7小时45分钟,最大速度达95千米每小时。它能载乘员1名,旅客8名,最多时可载客16名。飞机座舱布置在当时是很豪华的,带有玻璃窗的封闭式座舱,装有洗手间,舱内有电灯以及取暖设备。1913年5月13日,“俄罗斯勇士”号进行了首次飞行。在进行了50多次飞行后,这架飞机无意中被一架正在飞行的飞机落下的发动机砸坏。

西科尔斯基后来又设计制造了另一种大型四发飞机“伊利亚·莫罗梅茨”号,发动机功率增加到112千瓦。飞机翼展31.11米,翼面积160平方米,总重5.6吨,最大速度为115千米每小时,升限3000米,限续航时间6小时。1914年2月11日,它载16名乘客作了一次成功的飞行。据称,这次飞行打破了当时所有的各项飞机飞行纪录。“伊利亚·莫罗梅茨”号曾参加了第一次世界大战。可能由于超越了时代,它未能在战争中发挥很大作用。

第一次世界大战前,欧洲航空界还发生了许许多多的大事,包括飞行学校的建立、各种飞行纪录的创造、各种奖杯与竞赛的争夺战等等。有意义的一件大事也发生在这一时期,这就是水上飞机的诞生。

法国的伏瓦辛、布雷里奥等都设计过水上飞机,但都未取得成功。为水上飞机的发展做出开创性贡献的是法国人亨利·法布尔(H. Fabre, 1882—1984)。由于他的贡献和所取得的成就,后来人们称法布尔是水上飞机之父。

1909年,法布尔设计了第一架水上飞机,装有3台安赞尼式活塞发动机,共同带动一付旋翼,但这架飞机在试飞时没有飞起来。当年年底,法布尔又设计了第二架水上飞机,并把它命名为“水机”。这架飞机从技术上和性能上都是非常引人注目的。

法布尔的“水机”装有一台新型 37 千瓦格罗姆旋缸式发动机,带动一副双叶旋翼,桨叶直径 2.25 米。“水机”是一架单翼机,机长 8.5 米,翼展 14 米,翼面面积 17 平方米,总重 475 千克。机身头部装有两只方向舵和两只水平安定面,上面的一只还兼作升降舵。“水机”机身下安装了三个水翼式浮筒。这些浮筒均有一定弹性,可以在一定程度上吸收降落时的水波冲击力。机体显得轻小而单薄,因此用张线和支柱结构增加强度。三点式浮筒连接在机身上。前浮筒可以操纵,以调整飞机在水上滑行。这种结构也是一种创新。

1910 年 3 月 28 日,亨利·法布尔在马赛附近的拉米德港驾驶“水机”作了第一次飞行。这天风平浪静,对于飞行十分有利。“水机”在水面上滑行时,速度达到 55 千米每小时,但未能升起。第二次水面滑行时,“水机”不但顺利升空,而且以 60 千米每小时的时速飞了约 500 米。以前法布尔从未驾机升空,首次飞行取得这样的好成绩不但说明他有很高的飞行天才,也说明飞机本身性能良好。法布尔在飞机升空不久就关掉发动机,飞机在水上安全着陆。当天又飞了三次,其中有一次实现了转弯飞行。第二天,法布尔驾驶“水机”飞出了 6 千米的好成绩。

浮筒式水上飞机有许多缺点,如空气阻力大,浮筒与机身连接件易于破坏等,因此这种水上飞机的历史非常短暂。从浮筒式水上飞机到船体式水上飞机的过渡是由寇蒂斯完成的。1910 年在巴黎举行的航空展览会上,法布尔的水机也参与展出,引起寇蒂斯的注意。他花了很长时间与法布尔进行讨论。寇蒂斯对法布尔的设计工作表现出很大兴趣,表示愿意向这位同代人学习,并由此构想出了新原理的水上飞机。

受法布尔的启发,寇蒂斯于 1911 年将他设计的标准陆上飞机改成水上飞机。他在机身中部下方安装了一只大浮筒,翼尖又各安装一只小型浮筒,用于在水上滑行时保持稳定不致翻倒。这架飞机被看作是第一架实用的水上飞机。1911 年 2 月 17 日,寇蒂斯驾驶它访问了停泊在圣迭戈湾的“宾夕法尼亚”号军舰。

寇蒂斯水上飞机受到几个国家部队和私人飞行员的欢迎。他充分利用这一机会宣传水上飞行的乐趣和价值。到 1912 年,水上飞机在欧洲和美国已经普遍为人们所接受,显示了它的实用价值。这一年在摩纳哥举行了第一次水上飞机飞行竞赛会。1913 年在摩纳哥举行的第二届水上飞机竞赛,参加的人数和水上飞机数更多。人们选择水上飞机除因为它扩大了使用范围外,还因为它在水上起飞和降落的景象十分壮观,溅起的水帘非常漂亮,再有一点就是它可能比陆上飞机安全些。

水上飞机只能在水面上起落,不易同舰船联合活动,互相支援,发挥更大的效能。为了解决这些问题,有识之士便产生了航空母舰的设想和试验。1910 年,美国海军在“伯明翰”号巡洋舰上安装了长 25.3 米,宽 8.53 米的木质平台。1910 年 11 月 14 日,一位寇蒂斯培养的驾驶员尤金·艾雷(E. Ely)驾驶一架寇蒂斯“金色飞行者”号双翼机从这个平台上起飞,然后在 4 千米外的韦罗贝岬降落。从此,原始形态的航空母舰诞生了。

1911 年 1 月 18 日,艾雷又作了一次更为惊人的飞行。这天,他驾机从旧金山海岸起飞,最后在“宾夕法尼亚”号巡洋舰上特别建造的甲板上安全着陆。着陆时,飞机起落架的钩子正

好钩住甲板上预先横越甲板安置的绳索。绳索两端系有沙袋,起减速作用。飞机拖着沙袋在甲板上滑行了一段短距离后就停住了。现代舰载飞机也正是按照这一原理在航空母舰上着陆的。

这两次著名的飞行和着陆试验以及寇蒂斯水上飞机的试飞成功,使美国海军对航空母舰和水上飞机发生了极大的兴趣。寇蒂斯趁机向美国海军推销水上飞机。经过一系列的飞行表演,1911年美国海军部终于订购了第一架“三合一”式水上飞机。不久,寇蒂斯就成为最重要的水上飞机制造家了。1913年,寇蒂斯对水上飞机结构布局作了根本性改造,诞生了船体式水上飞机。他将中部的大型浮筒进一步放大,形成船式机身,这样可使驾驶员和乘员感到更为舒适,而且船体式水上飞机结构更紧凑简洁,阻力减少,结构强度提高,安全性得到改善。为了防止旋翼击水和发动机进水,发动机安装在机翼的上方靠近重心处。水上飞机由浮筒式改进为船体式可以说是一项革命性变化。后来实用型军用水上飞机几乎都采用船体式。

从1903年到1913年,飞机的实用价值似乎只是在体育和运动上,但实际上这仅仅是一种表面现象。在各国飞机设计师、制造商、飞行家研制飞机并进行飞行竞赛、空中表演、收费空中游览、各种飞行试验的同时,飞机技术却一直在不断地向前发展。10年的时间是短暂的,但发展的速度却异常惊人。1903年飞机还像一只走路摇摇摆摆的小鸭子,而到了1909年,飞机则像是凌空自由翱翔的大雁。又过了三四年,飞机的各项指标都翻了不少一番。这些成就都是在飞行运动和体育活动中不断取得的。另外,在这10年的发展中,飞机的应用价值和潜力不断得到挖掘,其意义已经远远超过了飞艇。很快,第一次世界大战的爆发将飞机匆忙推上了军用的历史舞台。它不再是有趣的玩物,而是成了极为可怕的武器。

第四章

空气动力学研究与航空



✎ 风洞是最重要的空气动力试验装置,跨声速风洞又是风洞中难度最大的一种。1947 年美国研制成功带有开槽壁的跨声速风洞,能进行从高亚声速到低超声速整个跨声速段范围的试验。目前世界上最大的两座跨声速风洞是美国兰利航天中心的 4.88 米缝壁式跨声速心风洞和阿诺德中心的 4.88 米斜孔壁式跨声速心风洞,这两座风洞保证了实验段气流的均匀性和消除壁面上的自然激波。

如果从航空理论和技术的整体发展历史考虑,那么在飞机大发展以前,航空研究在侧重点或着眼点上,可以分成三种类型。第一种类型是飞行器的试验研究,19世纪以前的动力飞行器和滑翔机试验都属于这一类;第二种类型是空气动力学的实验研究,并把定量或半定量的结果用于飞机设计,凯利、兰利和兰彻斯特等人就是代表;第三种类型是纯粹的流体力学或空气动力学研究,研究动机主要是增进人们的力学知识,解释有关的自然现象。第三种研究类型的代表人物往往是科学领域的知名人士。不过他们研究的问题过于理论化,因而他们自己和同时代人都没有将研究成果同飞行器研制联系在一起。

流体力学及空气动力学理论研究在19世纪以前是不那么活跃和激动人心的。文艺复兴以后,流体力学一直沿着自己的规律和线索在慢慢发展着。那时的航空飞行器设计与理论研究脱节十分严重。航空先驱者们几乎没有从有关研究成果中获得教益。但是,空气动力学研究成果对飞机在20世纪的发展产生了极大影响。我们可以从空气动力学理论在世纪之交的迅速发展和完善,看到飞机设计的新曙光,看到空气动力学对现代航空产生的巨大推动作用。

第1节 流体力学的早期研究

对水、空气等流体的研究从古代到近代一直是相当粗浅的。古希腊学者虽然初步建立了力学的一些概念,但并没有把流体的力学问题当作课题进行研究。希腊时期的著名科学家阿基米德(Archimedes)发现了水的浮力原理,并由此开创了流体静力学研究。在阿基米德之后,一千多年间没出现一个研究流体的重要人物。文艺复兴之后,比利时(荷兰)数学家斯蒂文(S. Stevin, 1548—1620)是第一个研究流体静力学的人,被称为是这门科学的奠基人。

斯蒂文在1586年出版的一本书中阐述了他发现的一些重要流体静力学原理,包括“流体静力学悖论”和连通器原理。与斯蒂文同时代的伽利略也研究过流体静力学问题。他不仅证明了阿基米德定律,而且还发现了液体表面张力现象,完满解释了细针能在水上浮起的事实。他发现,液体对物体的浮力与液体相对质量成正比。他还指出,液体由孤立的粒子构成,这些粒子非常活动,哪怕最轻微的压力也会使它们运动,并传遍整个液体。这个概念是一切流体静力学和动力学的基础。伽利略的学生托里拆利(E. Torricelli, 1608—1649)开创了液体动力学,并对气体力学进行了先驱性研究。在17世纪中叶以前,水在抽气机中上升这类空吸现象一般都被解释为大自然具有憎恶真空的脾性。伽利略虽然未能给出正确的解释,但他发现了水上升的相对高度只有10米左右(扬程)这一事实。托里拆利通过演示实验推测,利用汞柱实验产生的液面上升现象,是由于自由汞面上的大气压力作用的结果。这是一个重大的发现。不过英年早逝使他未能证实这个假说。后来法国物理学家帕斯卡(B. Pascal, 1623—1662)和德国物理学家盖里克(O. von Guericke, 1602—1686)以令人信服的实验证实了空气具有压力的思想。这一伟大成就对于气压计的发明以及空气动力学的创立产生了决定性影响。

帕斯卡在证实了托里拆利的空气压力假说后,把空吸、抽吸、虹吸、呼吸等都归因于这种作

用。同时,他把液体连通器原理与机械学原理进行了对比,认为液体传递压强实际上相当于机械力学中的杠杆原理。“这可以看作是解释这种效应的真正理由,因为一百磅水移动一英寸显然与一磅水移动一百英寸相同。”帕斯卡的另一项重大发现是认识到大气压产生的现象与液体压力引起的现象有对应关系。

气体压力是气体最重要的特征之一。17世纪中叶由盖里克发明的抽气机对于气体物理特性的研究,具有极其重要的意义。1654年,盖里克在马德堡向帝国议会表演了引人入胜的气体压力实验。这就是著名的“马德堡半球实验”。两个空心的青铜半球接合在一起并抽出空气后,用16匹马竟不能将其拉开。这使人们看到空气竟具有如此之大的压力。这给科学家探索空气压力的应用以极大的鼓舞。

马德堡半球试验引起许多科学家的兴趣,于是这个领域的研究变得活跃起来。英国的胡克(R. Hooke, 1635—1703)、法国的波义耳(R. Boyle, 1627—1691)和马略特(E. Mariotte, 1620—1684)在研究气体压力及气体力学过程中,又发现了新的现象和原理。胡克和波义耳都领悟到空气具有弹性这一重要性质。1662年,波义耳又重新做了一些实验,导致他建立了著名的波义耳定律,即当温度一定时,气体的压强和体积的乘积是一个常数。这个定律是关于气体特性和气体力学的第一个重要定律,一经公布便产生了很大影响,以致于包括马略特在内不少人想争得这个发现的优先权。马略特没有发现这个定律,但他对在欧洲大陆传播波义耳定律作了很大贡献,因此后人将这个定律命名为波义耳-马略特定律。

气象学在西方的历史非常久远,可追溯到亚里士多德时期。近代气象学得到了科学家和科学团体的关注。胡克和马略特等人首先注意到空气压力随高度变化而变化。他们运用分段近似方法对大气厚度进行了初步测算。胡克估计大气高度时,将大气分成1000层,第一层10.68米厚,而每一层空气重量相等。马略特则把大气分成4032层,第一层为1.5米。他由此证明大气的高度约为56.4千米。由于空气压力的不同,大气受热会在上下层间产生对流。托里拆利曾尝试过以此解释气流的形成。

英国科学家哈雷(E. Halley, 1656—1742)在研究山的高度以及山颠和山脚的气压差时,建立了风和气压间的关系:“按照静力学原理,受热后变稀或膨胀较弱因而较重的空气,必定向空气变稀更厉害、更轻的部分运动,从而使空气趋于不平衡”,这就是气流和风产生的机制。依照空气、风具有压力和气动力的特性,胡克设计了风向标,它可以通过风压的改变显示风的速度和强度。对风的完整而科学的认识对空气动力学具有重要意义。

在牛顿时代,液体或气体中运动的物体所受阻力问题开始引起人们的注意。荷兰物理学家惠更斯(C. Huygens, 1629—1695)首先通过实验发现阻力的大小与运动速度的平方成正比。第一个给出运动物体阻力的数学表达式的是牛顿(I. Newton, 1642—1727)。他在《自然哲学的数学原理》中,首先阐述了运动与作用的相对性原理:无论是固体以某一常速在原来静止的流体中运动,还是流体以相等且相反的速度流向物体,作用于固体和流体上的力相等。接着他在该书第二卷第7节中,给出了三条流体作用力定律:如果两个几何相似的物体,分别在密度不同的流体中运动,那么物体上受到的力与运动速度的平方成正比,与物体线性尺度的平方成正

比,与流体的密度成正比。

牛顿在《原理》中计算了圆球、圆柱、圆锥在流体中运动时受到的作用力。他假定空气质点在碰撞物体表面以前,沿直线运动,算出了质点碰撞产生的对物体的作用力,求出总和就得到了全部作用力。后人根据牛顿的这些计算结果以及前面提到的三条定律,推导了倾斜平板在气流中受到的阻力。假定平板的面积为 S ,倾角为 α ,速度为 v ,空气密度为 ρ ,按照阻力等于冲击力等于流体质量的动量之变化率进行推导,这个截面在垂直方向上的投影为 $S \cdot \sin \alpha$,流体相对于平板垂直方向的分速度为 $v \cdot \sin \alpha$ 。于是流体作用于平板的垂直冲力即有关系式:

$$F = dP = \rho S v^2 \sin^2 \alpha$$

这个关系式中因有倾角正弦的平方项,因此后人将此式称为关于空气阻力的牛顿正弦平方定律。假定把这个冲击力垂直于运动方向的分量看作是倾斜平板在空气中运动产生的升力的话,那么这个升力大小为:

$$F_L = \rho S v^2 \sin^2 \alpha \cos \alpha$$

在这个关系式中,如果平板迎角很小, $\cos \alpha$ 可近似看作等于 1,但 $\sin \alpha$ 则非常之小,即平板的升力系数极小。因此为了产生足够的升力,必须设计面积非常巨大的机翼。另一方面,如果倾角很大,则 $\cos \alpha$ 很小,因此为保证升力, α 又必须很小。这就产生了一个矛盾,设计者只好在两个都极其不利的方案中择其一:要么制造一个机翼面积极大的飞行器,使结构沉重不堪;要么制造一个机翼大小合适,但升阻比很小的飞行器,以致必须采用巨大的发动机以提高速度。这两点在工程上是极难达到的。于是有许多后来的研究者指出,牛顿的正弦平方定律给动力飞行的可能性蒙上了悲观的阴影。还有人干脆说,牛顿耽误了飞行的发展。有人利用实验结论证明牛顿的定律是不正确的,但由此导致了否定数学理论有效性的倾向。19 世纪许多研究者对这个问题或者说理论与实践的分歧给予了很大关注,并试图解开这个谜团。兰利、瑞利、马克辛和兰彻斯特等人都发现牛顿正弦平方定律是错误的。

不过,牛顿的公式不同的人有不同的看法。有人指出,正弦平方公式并非牛顿明确阐明的,而是后人依据他的方法导出的,因此问题不应当归罪于牛顿身上。这一点似乎没有讨论的必要。倒是另外一个引伸出的问题更有趣味:牛顿是否耽误了飞行科学的发展?根据航空科学的实际发展道路,早期的先驱者不大关心理论问题,极少有飞行探索的实践家从牛顿的著作中寻找有用的启示。因此,无论牛顿的观念正确与否,它似乎都不属于航空先驱者们关心的领域。冯·卡门对此发表过非常公正的见解。他指出:“我本人并不相信牛顿的影响会造成这样大的恶果。我认为在我们谈论的那个早年时代里,真正对飞行发生兴趣的人们绝大多数都是不相信任何理论的。一方面,我们必须看到,牛顿的理论违反了事实。另外也应考虑我前面谈过的,牛顿主要是考察纯头或尖头物体在平行流动中的情况。他的目的在于比较各种物体所遭遇到的阻力,并不是研究斜面上的作用力。”

继托里拆利、马略特和牛顿等人的工作之后,18 世纪上半叶数学家和力学家们从理论和实验两方面对流体动力学问题给予很大注意。他们所研究的问题主要是关于物体在流体中通过时所受到的阻力,液体在压力作用下从容器的孔中喷出而形成的射流问题。许多理论家都

试图建立一个关于流体阻力的数学理论,即不可压缩、无粘(低速)流体流动的基本方程。建立这类方程的基本假设是:流体由孤立粒子构成,这些粒子仅仅借碰撞对运动物体表面产生阻力。这里流体的粘性和压缩性都被忽略了。这是数学流体力学发展的第一阶段。

1783年,瑞士著名科学家丹尼尔·伯努利(D. Bernoulli, 1700—1782)在其《流体动力学》一书中,研究了支配容器中液体流动以及由此引起的反作用和碰撞的定量关系,建立了著名的伯努利定律。随着流体中流速的增加,其压力减少。用数学式表达就是:

$$p_0 = p + (1/2) \rho v^2$$

其中 p_0 为流体静止压力, p 为流体以流速 v 流动时的压力。

伯努利定律是流体力学及空气动力学的一个重要定律。它对于解释机翼的升力是相当有效的。例如,设想一个倾角为 0° 的翼型在气流中运动的情形。由于机翼上下表面不等长,有一个上凸的表面,加之流体流动具有连续性,因此流体在流经上下表面时便有一个速度差,上表面速度较大,下表面速度较小。于是根据伯努利原理,流经上下表面的气流对机翼产生的压力也就不同。这个压力差就是气流产生的向上的升力。但是,伯努利定律一直没有引起航空实验家的注意,因此像李林塔尔这样的著名航空先驱者都未能从理论上弄懂升力的本质。伯努利之后,他的朋友瑞士数学家欧拉(L. Euler, 1707—1783)建立了流体运动的欧拉方程(1755),法国科学家拉格朗日(J. L. Lagrange, 1736—1813)又建立了广义力下的拉格朗日方程(1760)。这些结果反映了流体低速状态下运动的情况。

在牛顿提出流体对运动物体的阻力公式后,有不少人进一步发展了他的思想,把物体所受到的阻力看作仅仅与物体处于最大截面形状之前的那部分形状有关,而物体后面的形状根本不会影响到阻力值。法国科学家、百科全书派代表人物达朗贝尔(L. le Rand D Alembert, 1717—1783)根据无粘理想流体假设,得出了一个关于空气阻力的奇特理论:假使让一个物体在流体中运动,如果不计流体摩擦力的话,物体就遭遇不到阻力。这就是所谓的“达朗贝尔之谜”。他在《论一种新的流体阻力理论》结束语中说:“我承认,我看不出人们如何能够用令人满意的方法在理论上解释流体的阻力。据我看来恰好相反,从这个经过深刻研究的结论中,至少在绝大多数情况下,我们只能得出阻力绝对等于零的结论。这是一个谜,只好让几何学家来解释。”

达朗贝尔之谜他本人未能解开,但他对无粘及不可压缩假设提出了批评,认为应当考虑流体碰撞了物体之后本身会怎么样的问题。他认为,碰撞后每层粒子起着十分重要的作用,因为这样的粒子层在物体表面滑动,对物体施以压力和摩擦力,干扰后继粒子层的碰撞作用。20年后,他和孔多塞(M. de Condorcet, 1743—1794)、博絮(A. Bossut, 1736—1814)受命研究改进航海问题。他们对物体在流体中的阻力进行了大量研究,考察力、速度和阻力间的定量关系。他们在1777年发表的《关于阻力的新实验》中,报告了以下结论:

一、流体阻力与速度的平方成正比;二、空气与液体阻力有相同的关系;三、牛顿的“正弦平方”定律是错误的;四、以速度 v 运动的物体受到的阻力等于该流体一个柱的重力,柱的底面积等于受压表面积,柱高等于落体达到速度 v 所走过的距离。

这些研究结果发表后,激发了法国物理学家迪比阿(P. L. G. Du Buat)对这一问题进行了更详细的研究。他研究的问题包括各种形状物体相对阻力媒质运动时表面所受压力的分布等。他发现,物体的正面即逆流面中央压力最大,位置向边缘靠近时压力随之减弱,而在边缘处,压力实际上让位于向外的空吸(即分离现象),物体越长,正面的压力越小。他研究物体后面的压力状况时得出结论,物体后面的空吸从圆周向中心逐渐减弱,而且物体越长,减弱越大。迪比阿对压力分布状况、流动分离和物体后面压力的研究都是开创性的。在考虑粘性后,他发现,在流体中运动的物体势必要带走一部分流体,物体的有效重量因而增加,运动液体的各层由此会沿流动方向形成一个向下的斜坡(梯度),而一个浸没物体将趋向沿这个斜坡下滑。

从上面的介绍可以看出,18世纪以前关于流体动力学的研究虽然沿理论和实验两个方向前进,但由于理论工具和实验手段的限制,研究工作主要是在理想流体的假设下进行的,很难反映真实流体的情况,而实验研究给出的往往是定性的结果,很难对理论流体力学的发展给予有力的促进。这种状况到19世纪才有所改观。

第2节 实验空气动力学的发展

火药技术传入欧洲后,在近代欧洲获得了重大发展,火炮、火枪等火器成为改变战争面貌的新型武器。伴随着这项新技术,具有理论和实践双重意义的弹道学得以建立和发展。弹道学研究的是子弹或炮弹在空气中运动的规律,属于与抛射体运动有关的力学问题。子弹在空气中的运动受各种因素的影响,包括发射的初速度、发射角、子弹的形状和重量、空气的阻力等等。这方面的研究成果有助于改进枪炮武器设计、子弹设计以及瞄准设计,从而提高武器射击的距离、精度和杀伤力。

第一个关于抛射体的运动问题是伽利略首先阐明的。他运用自由落体定律和运动的合成分解描绘了抛射体的运动规律。尽管他认识到空气阻力的重要性,但由于问题比较复杂,他只能在研究抛射体运动时,忽略空气阻力的影响。第一个试图研究在空气阻力影响下,一个抛射体划出的路径的人是瑞士物理学家约翰·伯努利(J. Bernoulli, 1654—1705)。但他后来感到,他所掌握的数学工具还不足以胜任这一任务。他认为,只有实验和计算的结合才有希望给出弹道学基本问题一个近似解。伯努利的未完研究后来由英国科学家、被誉为弹道学之父的本杰明·罗宾斯(Benjamin Robins, 1707—1751)继续下去,并取得了很大进展。

罗宾斯在其短短的一生中,一直致力于弹道学研究。由于他取得的非凡成就,他在30多岁时便被选为英国皇家学会会员。1743年4月21日,他在皇家学会宣读了题为《新射击原理》的论文,通报了初步研究结果。1746年6月,他的完整研究报告《空气阻力及关于空气阻力的实验》问世,开创了弹道学和空气动力学实验研究。他的研究成果对弹道学和航空学,及气动实验都产生了重大影响。

为了研究在空气阻力作用下的弹道以及阻力与速度间的关系,必须确定子弹在整个路径

上任一点的速度。罗宾斯为此发明了一种弹道摆装置：一个相当大重量的摆被悬吊起来，它可以进行来回摆动。如果子弹射向这个弹道摆，那么按照碰撞定律，可以根据子弹及摆的重量以及摆的摆幅（与初速度有关）推算出子弹在碰撞瞬间的速度。弹道摆放置在子弹射击路径的某一点上，通过测量相关数据，就可以确定子弹在这一点上的速度。将有空气阻力下的一组数据与无空气理想抛射运动进行比较，就可以确定出空气阻力的定量影响。

利用弹道摆装置，罗宾斯进行了大量的试验，在不同的距离上以不同的速度发射已知质量的子弹朝摆射击。实测的数据与理论值比较，罗宾斯得出了初步结论：“飞行的子弹或炮弹描绘的弹道既不是一个抛物线，也不近似是抛物线，除非在子弹速度很小的情况下”。在计算出子弹飞行速度和阻力的关系时，他得出结论说：大量实验表明，在低速情况下，子弹所受到的空气阻力与速度的平方成正比。这个规律在速度小于 330 米/秒下都近似正确；而在高速情况下，阻力增加很快，大致与速度的立方成正比。至于为什么在高速下会有这么大的阻力，罗宾斯推测说，阻力的绝大部分是由于子弹在穿过空气时尾部形成的真空造成的。这是一个极其重要的思想。不过他未能圆满给出精确解释。他指出，为弄清楚这一点，还需大量的精密实验。

在进一步开展空气阻力的研究中，罗宾斯发明了世界最早的空气动力学实验装置——旋臂机。主体由轴架和一个可旋转的旋臂构成。旋臂的一端装着试验件。旋臂旋转的动力由一个重物沿滑轮下落提供。他在 1746 年 6 月 19 日的一次演讲中描述说：“当旋臂和物体的阻力小于重物 M 的重力时，重物将加速下落，因而带动实验物体旋转，这又导致阻力增加，直到这个阻力与物体的重力近乎相等为止……因此不难设想，通过合适的观察和实验，物体的阻力便能确定下来。”

罗宾斯通过旋臂机试验对子弹运动的阻力关系进行了检验。利用这个装置，他还测量了倾斜平板的阻力。他利用面积一定但长宽不等的平板置于 45° 角下进行实验，分别测量正对气流运动时的阻力。他发现，在这样两种情况下，平板受到的阻力竟有很大的不同。这也是一个极其重要的发现。同样，罗宾斯也未能给出这一现象的合理解释。他说，关于这方面的研究和实验还远未完成，也不是他本人所能胜任的，但这个现象对造船和航海具有重要意义。可惜罗宾斯在短暂的一生中没有精力投入这方面的研究。这对于空气动力学和航空学都是重大损失。

在罗宾斯之后不久，英国著名建筑师斯梅顿（J. Smeaton, 1724—1792）在研究如何提高风车效率过程中，也进行了大量旋臂机试验。通过反复试验，斯梅顿得出以下结论：一、风车叶片表面呈弯曲形状时，对产生更大的功率有利；二、风车叶片越宽，需要更大的迎角，叶片沿中轴向外逐渐变宽的形状对产生高效率有利；三、在迎角一定时，同样面积的叶片越宽，功率与面积比越小。

这三条结论虽然是对风车而言，但对空气动力学也是有效的，对飞机机翼设计、旋翼设计都有极其重要的参考价值。有人指出，斯梅顿大概是第一位通过实验认识到弯曲表面比平板能产生更大升力的人。正因为斯梅顿的先驱性工作，凯利、查纽特及莱特兄弟都把第一个建

立升力系数概念的荣誉给了他。1953年出版的《威尔伯和奥维尔·莱特文集》中写道：“被普遍接受的[升力系数] K 值是0.005,被称作斯梅顿系数,这是以约翰·斯梅顿的名字命名的。他在1759年向皇家学会提交了一份风的压力表,它是根据利用机械驱动风车的试验数据制成的。”

罗宾斯1746年发表空气阻力的论文后,在英国引起人们对这一问题的关注。数学教授胡顿(C. Hutton, 1737—1823)受其影响,开展了半球状物体的阻力试验。他利用旋臂机把用纸板做的半球作为试验件,分别测量平面朝前和凸面朝前时的阻力。他的实验表明,平面迎风时的阻力值大约是凸面朝前时的2.5倍。难能可贵的是,根据自己的和罗宾斯等人的研究,胡顿在1787年还开设过航空味十足的课程:各种形状、弯曲或平面物体以各种迎角在空气中运动时所受空气阻力的确定。兰利认为,胡顿是第一个开展机翼展弦比效应实验研究的人。

18世纪以前,有许多人开展旋臂机实验,用以研究抛射体或平板在空气中运动的阻力问题。研究者往往偏重于某一方面。英国的埃奇沃斯(R. L. Edgeworth, 1744—1817)开展了多种展弦比不同的平板阻力研究。著名科学家托马斯·扬(T. Young, 1773—1829)在主要研究光学和声学效应的同时,把结果应用于流体粒子与物体的作用,第一个指出研究气流与中凸表面相互作用的意义。但总的说来,以上这些研究都不是出于航空目的。

进入19世纪,空气动力学实验研究的目的发生了深刻变化。乔治·凯利首先利用旋臂机为航空目的研究空气升力和阻力。他曾经认真研究了罗宾斯、斯梅顿和胡顿等人的论文和实验,以指导自己的研究。他自行设计的旋臂机与罗宾斯设计的很相似,但实验方法发生了很大变化。他用一块0.0929平方米的平板作实验件,迎角从 0° 开始,按 3° 向上调整一直到 45° 。这种试验方式和规则直到现在还在使用。他通过反复试验得出的平板升力系数 K 为0.0038,而斯梅顿给出的是0.0049。与现代值0.00289相比,凯利的值比当时任何人都更准确。

凯利通过实验发现牛顿的阻力定律是错误的。他解释说:“对于这个课题,牛顿先生的漂亮理论是没有实用价值的,因为它只支持单个流体粒子的运动规律。这些粒子在与物体碰撞后,会发生自由散射,使入射角和反射角相等。光粒子似乎具有这种品质,因此该理论在这种场合下是正确的。但在空气中,运动过程更像粒子的积累,它们相互碰撞冲刷,结果在与物体相遇时会受阻停止运动。”凯利的这段话似乎表明他已认识到空气粘性效应产生的影响。

维纳姆是19世纪最杰出的空气动力学实验家。他早期也曾利用旋臂机开展空气动力学研究。他在实验时发现了旋臂机存在的重大缺陷,包括平板前缘的线速度不同、气流受干扰会一同旋转等。这些缺陷使精确测量试验件相对空气的速度成为不可能。于是他进而构思新的气动试验装置。他说:“如果翼面不是以环形运动,而是连续地以直线在新鲜的未被扰动的空气中运动,则‘滑动’可以忽略不计,同时扭矩可以减少。”基于这些认识,维纳姆设想将试验件放在人造气流中的方法,这就是风洞。1871年,他设计并建造了世界第一座风洞,用于空气动力学实验研究。风洞的发明为空气动力学研究提供了全新的手段。

德国的李林塔尔兄弟在最初介入航空时,采用别人提供的数据设计模型飞机,但没有取得成功。于是,他们建造了旋臂机自己进行基础试验工作。1866~1889年间,他们对各种翼型

在各种迎角下进行了实验,取得了大量数据,从而编制了弯曲翼面运动速度、迎角、升力和阻力关系表。虽然这些数据的精度不高,后来被莱特兄弟所抛弃,但指导作用仍是相当大的。

英国气象学家、皇家学会主席迪恩斯(W. H. Dines, 1855—1927)对空气动力学实验作过重大贡献。气象学观测和研究需要研究风的特点,这促使迪恩斯对旋臂机进行了重大改进,主要的创新之处是测量空气对平板的作用可以不受速度的影响。在1888年前后,迪恩斯和助手开展了风力的测量。这方面的工作引起了他对空气动力学研究的兴趣。他利用改进的旋臂机开展了进一步的试验,以确定风的速度和压力之间的关系。此后,迪恩斯又研究了平板在各种迎角下的压力、升力及其与速度的关系。通过这些实验,他获得了更精确的平板升力系数值0.0029,与现代值已经非常接近了。更难能可贵的是,他对每一种情况下的试验,都极其细心地绘出了气流绕平板流动的流线图。这可以说是19世纪以前实验空气动力学研究最富创造性的工作之一。

兰利的空气动力学实验也是利用旋臂机进行的。他设计的旋臂机臂长10米,两个对称安装进行实验。他也许是首次使用蒸汽机驱动旋臂机的人,采用的蒸汽机功率为7.46千瓦,可以使实验件产生10~100千米/时的线速度。1886~1891年间,兰利用9种矩形平板进行了95次试验。实验结果否定了牛顿的正弦平方定律,得出了升力与平板面积、迎角和速度间的半定量关系,认识到大展弦比机翼对产生升力更有利。他利用这些数据指导模型飞机设计,取得了很大成功。由于兰利在科学界的声望,他在空气动力学方面的试验工作、发表的著作和模型飞机试验,都引起了人们极大的兴趣。

在空气动力学试验方面,马克辛也曾做了大量工作。由于当时已有理论不能圆满解释气动力学问题,他因此不大相信理论,对此也不关心。同时,他也不想借鉴前人获得的数据。他说:“我因此决定自己进行实验,看看不用其他人的公式能得到什么结果。”为了开展试验,他制造了一架巨型旋臂机,臂长竟达61米。通过试验他认为,前缘尖锐、下表面内凹、后缘尖锐的翼型可产生最大升阻比。为了开展旋翼效率研究,他仿照菲利普斯的设计建造了一座风洞,通过测量旋翼旋转时的气动力转换计算其功率。他的试验工作进行得十分详尽,获得了大量试验数据,但利用这些数据设计的飞机并未获得成功。由于进行实验的钱全部自己承担,所以他的实验结果长达12年没有向外界公布。

19世纪末还有许多从事过空气动力学实验研究。丹麦海军工程师、英国皇家学会会员福格特(Foget)曾长期从事旋翼研究。法国著名航空先驱者雷纳德(C. Renard, 1847—1905)在法国军事基地建造了一座风洞,开展飞艇气动力学研究。雷纳德是法国航空气动实验的领袖人物,他的研究军事色彩很浓,研究结果当时不为外人所知。法国的莫雷(E. J. Murey, 1830—1904)研究过鸟在飞行中的各种力学问题,并研制了多种测量装置。他对照相法特别重视,早在1893年就利用照相法研究液体绕物体的流动状态,1897年又研究了空气绕物体的流动。他还研制了现在仍在使用的烟风洞以演示流体的流场。美国的查姆(Zahm)1901年在华盛顿建造了一座当时最大的风洞,开展弹道学以及空气动力学研究。他还利用风洞试验了船体式水上飞机模型。

应当指出,19世纪空气动力学的实验研究是相当活跃的。研究者们借助十分简陋的设备获得了大量关于升力、阻力、速度、翼型、面积之间的关系数据,由此获得了许多重要的科学认识。他们认识到,翼面的升力与面积成正比,与速度的平方成正比,与迎角的正弦成正比,这是极其重要的半理论性公式。他们发现了弯曲翼面以及高展弦比机翼对产生更大的升力有利。但是,由于理论和飞机设计实践在这一时期严重脱节,获得的这些认识往往是只知其然不知其所以然。例如,许多研究者不懂得为什么弯曲翼面或高展弦比机翼对产生升力有利,他们不了解为什么上凸翼面即使在没有迎角情况下也能产生正升力。他们的数据和结论可以用来设计一架飞机,但很难设计出能飞的和高性能的飞机。因此实验空气动力学要想获得更大发展,更好地指导飞机设计,必须有空气动力学理论为基础。这二者的紧密结合,是推动飞机设计和航空大发展的十分重要的条件,也是现代空气动力学的基本特征。

第3节 理论空气动力学的突破

冯·卡门(T. von Karman)曾经说过:“在整个19世纪上半叶,我们看到了实际上互不联系的两发展。一方面是热心于飞行的人们,在发展他们自己那种颇为原始的鸟类飞行的理论,企图把他们的结果应用于人类的飞行;另一方面,科学研究人员则在发展一种流体动力学的数学理论,他们的理论同飞行问题完全脱节,对渴望飞行的人们提不出任何有益的建议。”

19世纪的流体力学理论研究的动机主要来自一些并非属于航空的实际问题,或来自于理论与实践的矛盾。这样两个方向的研究逐渐建立起了理论空气动力学。它对20世纪的航空发展带来了极其深刻的影响。

1755年法国数学家欧拉建立了著名的关于流体动力学的欧拉方程。他引进理想流体这一抽象概念使得可以广泛应用数学工具来解各种流体力学问题,使理论流体力学得以在19世纪蓬勃发展起来。拉格朗日对欧拉的这个贡献给予了很高评价。他在1788年写道:“我们要为写成简明偏微分形式的、描述流体的一般方程而感谢欧拉……由于这个发现,整个流体力学归结为数学分析问题,而如果这些方程是可积分的,那么就可以在任意力作用下在任何具体情况下完全确定流体的运动了。”

拉格朗日道出了数学流体力学建立的重要性,但他想像得过于乐观了。欧拉方程对于许多特例可以得出积分结果,但计算结果与实验数据相差甚远。其中一个著名的矛盾就是前面提到的达朗贝尔悖论。如果利用更形象的描述就是:如果在河中流动的水上放一条船、一个球或某个别的什么物体,并且不固定它们,它们会一动不动。这就是说水应该平稳地绕过它们,对它们不起任何作用。这个理论上推导出的结果显然与实际情况不相符。任何人都会根据经验了解到,如果不把物体固定,河水肯定会把它们冲走。这个数学流体力学中最早的悖论式结果引起了许多科学家的兴趣,并纷纷投入这方面的研究。

除伯努利方程外,流体力学中最重要的数学工具是欧拉推导出的动量定理。这个定理使

我们可以根据某一区域流体总动量的改变,来判断这一改变带来的力有多大。这个定理是根据牛顿第二定律引伸出来的。牛顿第二定律指出了力与物体运动加速度的关系。由于加速度的量度实际上归结为对速度的量度,在实践中不根据物体的加速度而根据其动量的改变来计算力要方便得多。这种处理方法的优越性还在于:在同一力的作用下,不同物体得到不同的加速度,但它们的动量改变则是一样的。欧拉定理在研究定常流动时有着特别大的实际意义。它主要用来确定流动和被绕物体之间的相互作用力。

围绕达朗贝尔悖论,研究者通常沿着两个方向来避免它。一是把流体看作是有粘性的,而粘性作用的直接结果是给物体造成摩擦阻力。牛顿将粘性力定义为“由于流体间不够润滑……其大小与流体各部分相互分离的速度成正比,”即与剪切流动有关。1831年,法国力学家泊松首次完整给出说明流体粘性的物理性质的方程。法国力学家纳维尔(C. L. M. H. Navier, 1785—1836)从分子假设出发,于1821年将欧拉流体运动方程推广,加入了粘性项,获得了带有反映粘性的常数的运动方程。1845年英国力学家斯托克斯(G. G. Stokes, 1819—1903)从改用连续绕流的力学模型和牛顿关于粘性流体的物理规律出发,建立了关于粘性流体的基本方程组,其中含有两个常数。这组方程后来被称为纳维-斯托克斯方程(即N-S方程),这是流体力学中最基本的方程组。

19世纪60年代,麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)根据分子运动理论提出了气体粘性的理论解释。这些成果对于认识流体摩擦和粘性影响具有重要意义。虽然纳维-斯托克斯方程中对内应力包含一定线性假设,但它们与真实气体的情况非常接近。有人认为,空气动力学的进步取决于是否承认粘性,虽然这么做使得理论变得非常复杂而难于掌握,但无论如何,承认粘性影响的重要性,是前进中至关重要的一步。在20世纪以前,对粘性问题的近似而有效的处理始终没有找到正确的路径,直到本世纪初才由天才的德国力学家普朗特建立的边界层理论比较有效地解决了这一问题。

避免和消除达朗贝尔悖论的另一个努力是由亥姆霍兹(H. von Helmholtz, 1821—1894)、基尔霍夫(G. Kirchhoff, 1842—1887)、开尔文勋爵(Baron W. T. Kelvin, 1824—1907)等人做出的。他们在研究中所作的假定是无粘性流体的情况。他们的理论指出,一个倾斜平板在空气中运动时,在板后面会形成一个向后无限伸展的由“死空气”组成的尾流区域。在这种情况下,流体流动特性发生不连续变化,从而使平板前后的压力发生了变化,这就出现一个正向压力差,亦即阻力。因此,即使在流体无粘性的情况下,也可以得出平板阻力不等于零的结论。从而也可以有效地避免达朗贝尔悖论。

19世纪理论流体力学研究的一个重要实际问题是所谓马格努斯效应。这个效应说,在打网球、高尔夫球或排球时,技术较高的球手利用削球,可以使球不是沿着应走的直线路径飞行,而是上飘或下飘。这在体育术语中常被称为飘球。这个现象牛顿和罗宾斯都发现过,1742年罗宾斯还对此作了不太完整的解释。1852年法国物理学家马格努斯(H. G. Magnus)正式宣布了他发现的这种现象,因而被后人称为马格努斯效应。

马格努斯效应引起了不少人的浓厚兴趣,这源于一般人都很熟悉这个现象。另外,由于子

弹在离开枪筒时,也常常发生某种旋转而产生飞离弹道的现象,因此军事学家也感到有研究的必要。事实上,瑞利(Baron Rayleigh, 1842—1919)在介入空气动力学研究之初,也主要出于对马格努斯效应的兴趣。1878年,瑞利发表了一篇关于马格努斯效应的经典论文《论网球的不规则运动》。它后来常被用来解释这个现象。基于瑞利、开尔文等的研究,空气动力学研究领域才开始建立像空气的平流和环流这样一些重要概念。

瑞利在这篇文章中,研究了环绕一个圆柱体的流动。他发现,如果圆柱体被一股均匀的平行流动所环绕,或者在静止流体中等速前进,那么达朗贝尔的理论是适用的,圆柱体的确没有受到外力的作用(无粘性阻力)。但是,如果在平行流动之外再加一股环行流动,那就会产生一个垂直于原来流动或圆柱体前进方向的作用力。亥姆霍兹也注意到平流与环流的问题,并建立了著名的环量不变定理。他指出,假定流体中最初没有涡流,例如当流体原来是静止的时候,那么只有通过摩擦力或者物体有锐角的边缘时才能在后缘产生涡流。环量不变定理表明,无旋无粘流里绕一条围绕一些流体元的周线的环量在整个运动期间是不变的,因此绕一条包含翼型及其尾迹的周线的环量,如果在运动开始以前为零,尔后仍然为零。这些研究和发现是揭开马格努斯效应之谜和空气升力本质的基础。

有了初步的环流理论,马格努斯效应很容易得到解释。伯努利定律指出,在不可压缩流体的流场中,任何一根流线上的压强高与速度高乘积的总和是一个常数。根据这一定律,流速大的地方压强小,流速小的地方压强大,这是能量或动量守恒定律在空气动力学中的表现。如果围绕圆柱体人为地加上一股顺时针方向的环流,那么原来的平流在圆柱体上方的流动速度加上环流的流速后,得到的是一个增加的流速,下方则得到一个减少的流速。这样,流动对上下表面的作用力便不再平衡,而是有一个压力差。这个压力差就是导致物体向上运动的作用力。球手以削球方式击球相当于在击球的同时又给球加上了一个环流(使球旋转)。球的旋转引起了前进方向上空气的环形流动。这个环流叠加在相对于球的气流上,就产生一个垂直于球的瞬时速度的侧向力。这个力使球偏离原来的飞行轨迹而造成“飘球”效果,于是便产生了马格努斯效应。这种击球技巧常常是难于应付的。

马格努斯效应之谜的破译和空气动力学的升力理论之间仅差一步之遥。但由于瑞利等人的研究并非出自航空目的,因此他们没有沿着这个线索更进一步建立机翼的升力理论。19世纪末到20世纪初,无限翼展机翼升力的环流理论分别由三位学术背景以及个人专长很不相同的工程师和科学家初步建立起来。他们分别是英国工程师及航空先驱者兰彻斯特(F. W. Lanchester, 1878—1946)、德国数学家库塔(M. W. Kutta, 1867—1944)和俄国科学家儒科夫斯基(H. E. Joukowski, 1847—1921)。

兰彻斯特是英国汽车发明家和工程师。大约在1891年,他开始研究升力问题,但那时只是出于业余爱好。1894年,他发表了一篇论文,解释了机翼产生升力的机理。对于弯曲机翼翼面,当受到来流作用时,相当于前缘有一个逆风,后缘有一个顺风,由于上下流动都不能发生积累现象,因此结果是产生一个环流导致上表面产生一个低压,下表面产生一个高压,这个压力差就是升力。1897年,兰彻斯特又发表了另一篇论文,对环流理论作了进一步发展。

大约在同一时期,兰彻斯特还首次认识到无限翼展二维流和有限翼三维流的本质不同。他认为,如果机翼能够在运动中产生围绕自身的环流,那么它一定会真正像一个涡旋一样,感生出一个流场。这个流场应该和长度等于翼展的涡旋感生出来的完全一样。于是,他用一段附生涡去代替机翼,它始终附着在机翼上,随机翼一起运动,涡核就是机翼本身。附生涡如果终止于翼梢,就一定有它的后继涡存在,其必然是一个自由涡。因此,机翼可以由一个涡系来代替。这个涡系由随同机翼前进的附生涡和翼梢产生而向下游伸展的自由涡组成。自由涡系可以感生出速度场。组成这个涡系的各个涡旋将引起流场中空气的环行流动。流场中速度的垂直分量就是下洗流。按照力学一般原理,这个下洗流是由飞机升力引起的。飞机前进时,不断有新的空气被推向下方,单位时间内所产生的动量就是升力。

这个认识也能正确回答一个由来已久的问题:关于支托飞机所需能量问题。兰彻斯特首先认识到,下洗流流场的动能代表把物体支托在空中所需做的功。如果假定翼展为无限长,那么就不存在自由涡,因而就没有下洗流,因此兰彻斯特得出结论:如果机翼翼展为无限长,那么把物体支托在空气中就不需要做功,这是一个极其重要的结论。如果有两个面积相同但翼展不同的机翼,那么展弦比较高的机翼所需做的功比小展弦比机翼来得小。这一重要发现也是兰彻斯特首次作出的。

兰彻斯特在三元流理论上没有形成完整的体系,但在他1907年出版的《空气动力学》一书中,已经包含了建立这一理论的全部基本要素。他没有建立完整的三维机翼理论的原因除他的数学能力不够外,更重要的是他的研究方法过于复杂,他建立的涡系概念也难于理解。而普朗特(L. Prandtl, 1875—1953)建立的涡系理论则作了很大简化,因此不借助复杂的数学理论即可解决。冯·卡门评价说:“要计算兰彻斯特的涡系将是相当困难的事情,即使今天在流体理论领域的数学家亦不能胜任。”普朗特在1927年的一次演讲中,承认英国人将三维机翼理论叫做“兰彻斯特-普朗特理论”是正确的。他还说:“兰彻斯特的处理方法很不容易理解,因为它要求读者具有很高的思维能力。只是因为我们的德国人沿着类似的一条线索去工作,所以我们可以立即理解兰彻斯特的意思……在很多具体方面,兰彻斯特的研究途径是跟我们不同的。这些途径是我们所不知道的。所以我们从他的书中也吸收到许多有用的观念。”

兰彻斯特初步建立了二元机翼升力的环流理论,而库塔和儒科夫斯基则进一步对此作了定量化发展。库塔是纯数学家,由于对李林塔尔的滑翔飞行感兴趣而对空气动力学进行了数学研究,其重点是为什么水平的弯曲翼面会产生正的升力。儒科夫斯基是俄国著名航空先驱者、空气动力学奠基人,被列宁誉为俄罗斯航空之父。他们各自在1902~1907年间建立了二元机翼的升力理论。

库塔和儒科夫斯基建立的环流理论指出:当通常的前缘圆、后缘尖的机翼在空气中水平运动时,必然会在前缘某处形成驻点,即这一点上流线流速为零。但这一点又必须由翼型下方流线上移产生,因此流线上尖后缘的流速必然趋向于无穷大,而这显然不可能,因此只能假定(实验表明确实如此)驻点在后缘尖端。这个变动可看作是在原来的流动中加上一个点涡流动的结果,这个点涡就是所谓的起动涡。随着机翼的前移,这个起动涡会在尾缘部越来越大。

与此同时,按照运动守恒定律和亥姆霍兹涡旋定理,原来没有环流的流动,在以后的任何时刻总的环流仍为零。因此,为使总的环量为零,必须产生一个与起动涡方向相反的涡旋。这个涡旋就表现为围绕机翼的环流,它是由起动涡感生的结果。机翼在运动过程中产生了涡旋,这就使一部分流体发生了旋转。机翼截面周围空气产生环流的结果,使机翼的上表面产生高速、低压,而在下表面产生低速、高压,于是一个正的升力就产生了。

很显然,关于机翼的环流理论彻底改变了19世纪甚至包括20世纪初航空实践家关于升力的物理观念。这些航空先驱者的直观印象是空气从下面冲击着倾斜的翼表面,所以认为飞机由机翼下面的空气把它顶在空中。环流理论表明,飞机机翼至少有一部分是由流过上表面的空气把它吸起来的。事实上,上表面产生的负压强对全部升力的贡献比下表面正压强的贡献还要大。

为了计算升力大小,库塔和儒科夫斯基各自独立提出假设:机翼后缘形成的起动涡在逐渐增大过程中离开机翼。当它离开机翼很远处,这个环流达到最大值,亦即上下表面气流在机翼后面很远处不再有流速的差别。这个假设叫库塔-儒科夫斯基条件,或者叫后缘平顺流动条件。库塔-儒科夫斯基条件是升力理论中最关键的一点,它指明了在机翼翼型后缘尖点的流体流动速度是有限值。因为由此才可以确定围绕机翼的环流的大小。而升力的计算问题就变成纯粹的数学问题了。儒科夫斯基证明了:任何横截面的柱形物体,如果在密度等于 ρ 的流体中以速度 V 前进,并且它周围存在的环量为 Γ ,那么柱形物体单位长度上的作用力(对机翼来说就是升力)等于这三个量的乘积。环量定义为任一闭合的环流沿切线方向上的速度分量的平均值乘以曲线的弧长。因此计算机翼升力只需计算出上下表面在后缘流速相等的环流量就够了。这个环流的数学表示是 $\Gamma = \oint V \cdot dS$

按照库塔-儒科夫斯基条件,这个环量值可以表示为:

$$\Gamma = 4\pi CV \sin \alpha$$

代入儒科夫斯基升力公式即得如下升力表达式:

$$F = 4\pi C_p V^2 \sin \alpha$$

19世纪空气动力学发展的另外两条线索是法国雷诺的湍流研究和空气的可压缩性研究。1883,雷诺(O. Reynolds, 1842—1912)利用颜色水的流线表示通过圆形截面管道的水流进行实验,结果发现流线从直线形式(即层流)演变为不规则的紊乱流动。这种流动后来被开尔文称为湍流,并指出流动的转捩点是一个无量纲的参数,它与流体的粘性有关。1908年这个参数被命名为雷诺数,它是空气动力学研究中最重要参数之一。考虑到粘性并把流动分成两个性质完全不同的层流和湍流是空气动力学进展的重要一步。不过在19世纪以前人们还没有找到处理粘性流和湍流的方法。1904年普朗特首次引入边界层概念,给出了无粘流和粘性流之间较简单的联系。他认为,粘性的影响可以局限于与固体表面相邻的一个很薄的区域即边界层内。在边界层外,无粘方程适用,而在边界层内,粘性运动方程可以简化。德国的布拉修斯(L. Blasius)在1907年满意地解决了平面的层流边界层问题,导出了与实验数据一致的层流摩擦定律。不过,湍流问题和边界层问题至今仍是空气动力学中的有名难题。

空气的可压缩性早已被认识到。罗宾斯在进行弹道摆试验中,发现由于空气可压缩性引起子弹所受到的阻力急剧增大。他的实验速度已达 500 米/秒,超过了声速。他发现在声速附近,阻力会发生异乎寻常的增加。他将这一现象与流体可压缩量的增加联系起来,解释了阻力增大的原因是由于空气不能足够快地填充子弹后的“真空”中,因而减少了底部压力。完善弹道学基础的要求,成为推动 19 世纪研究高速运动研究及必须考虑空气可压缩性研究的动力。这一研究在马赫(E. Mach, 1838—1916)那里达到了顶峰。他第一次拍摄了炮弹周围激波图像。不过就空气动力学而言,由于第一阶段的发展主要是低速时期,因而可压缩性并没有过多地考虑。

1918 年以前空气动力学理论的发展的顶峰人物是普朗特。他在建立边界层理论之后,又于 1918 年建立了有限翼展的升力线理论。

普朗特理论可以解决两类问题:一是已知升力沿翼展的分布,要求通过直接计算来确定线性速度的流线和实现这一升力所需的能量;二是工程师和飞机设计师最关心的问题,由一定的机翼几何形状,来确定升力沿翼展的分布。普朗特方程及机翼线化理论对设计师提供了非常重要的依据。它表明了机翼几何形状如展弦比、弦长、扭角分布、副翼及襟翼偏转所起的作用。冯·卡门说:“这一机翼理论因此已成为一切飞机(至少中等速度的飞机)的科学设计的基础。”

20 世纪初至第一次世界大战,低速空气动力学学科迅速发展所需要的条件和基础,大多都已具备了。升力与阻力特性越来越清楚,根据环流、升力线和尾涡概念以及计算机翼流动的数学工具正趋于完善,边界层理论已经出现,逐步加深了对粘性阻力以至流线分离的理解;水动力学方法开始应用于空气动力学;用数学方法描述飞行稳定性也取得了初步的成功。更重要的是,空气动力学研究成果开始用于飞机设计。自此以后,数学家、物理学家和设计师们才真正建立起合作关系。随着飞机性能的提高、功能的增强,迫切需要空气动力学理论指导飞机设计。于是,许多国家开始组建国家航空研究部门,其任务是为飞机设计师和制造商提供设计方法、建议和参考资料,其中重点领域是与空气动力学有关的问题,如升力特性、阻力特性、稳定特性和操纵特性等。1909 年英国政府率先建立了以瑞利为主席的航空咨询委员会,旨在进行航空学理论研究,协调空气动力学和其他航空课题的研究活动。美国则于 1915 年成立了专门的航空研究与协调部门——国家航空咨询委员会(NACA)。该委员会下设若干专业研究实验室,不断吸收优秀研究人才,成果不断涌现,为美国航空技术后来的迅速崛起做出了卓越贡献。随后不久,德国和法国也相继建立了国家航空研究院。1918 年,苏联在茹科夫斯基的直接领导下,创建了中央空气流体动力学研究院。该研究院的活动是把包括航空科学的理论家和实验工作者在内的优秀专家团结起来,为航空技术和飞机设计、试验建立科学基础。

第五章

第一次世界大战与航空



✈ 第一次世界大战爆发后，在侦察机上安装机枪，便诞生了原始的战斗机。1915年，法国的索尔尼在他设计的L型飞机上安装了机枪。1915年4月1日，罗兰·加罗斯驾驶它击落了一架德国的侦察机。尔后，他又以同样方法击落4架德机，从而成为第一个王牌飞行员。这是莫拉纳·索尔尼埃N型战斗机。

战争对科学技术发展既是巨大的障碍,又是特殊的动力。对航空技术来说,这个特点更加突出。在战争这种特殊的环境下,掌握科学技术命运的,往往不是科学家,而是政治家、军事家。血与火的战争,有可能破坏科技成果,摧残科技人员,搅乱科研秩序,从而成为科技发展的严重障碍。但另一方面,军事这一战时的最高需要,要求动员国家一切力量特别是尽可能为战争提供优良的武器,这就给一些科技领域提出了任务,明确了方向,提供了广泛的试验机会,而且可以不惜一切代价,这无疑又刺激和加速了科技的发展。

飞行器一出现很快便投入了战争。由于气球天然的缺陷,它未在战争中发挥很大的作用。由于技术条件的限制,它的发展也很困难。飞艇在航空军事史上也只是昙花一现,而飞机的出现却完全不同。虽然它尚处于幼年阶段,许多人对它报怀疑的眼光相看,但只经过几年的战火考验,它的价值就充分显示出来了。可以说,第一次世界大战是飞机获得普遍承认的试金石。经过战争的洗礼,航空技术本身也获得了极大的发展。

第 1 节 战前的航空技术水平

1909 年在法国的兰斯举行的大规模航空展览会,是当时航空技术水平的一次大检阅。正是在这次展览会的飞行竞赛中,诞生了首批飞机飞行性能纪录。这些纪录的典型数据指标如表 5-1 所列:

表 5-1 首批飞机飞行性能纪录

性能指标	性能数据	创造者	飞机型号
飞行速度	75.79 千米/小时	寇蒂斯	金色飞行者双翼机
升 限	155 米	拉汉姆	安东尼特 VI 单翼机
飞行距离	180.32 千米	法尔芒	法尔芒双翼机
留空时间	4 小时 7 分	法尔芒	法尔芒双翼机
载乘客数	2 名	法尔芒	法尔芒双翼机

从 1909 年到 1911 年的两年间,由于航空竞赛、越野飞行以及航空展览的刺激,飞机性能迅速提高。我们可以列举 1911 年的飞机性能数据进行对照,如表 5-2 所列:

表 5-2 1911 年飞机性能数据

性能指标	性能数据	创造者	飞机型号
飞行速度	108.8 千米/小时	莱布兰克	布雷里奥单翼机
留空时间	8 小时 38 分	塔布泰恩	法尔芒双翼机
升 限	3 278 米	塞戈诺克斯	伏瓦辛双翼机

续表 5-2

性能指标	性能数据	创造者	飞机型号
载客数量	12 名	索默	自行设计双翼机
航程	272 千米(不停)	索普维斯	霍华德 - 莱特双翼机
跨海航程	210 千米	巴格尔	布雷里奥单翼机
越野航程	587.7 千米(中停)	塔布兰克	法尔芒双翼机

从技术上讲,在短短的两年时间里,飞机性能有了如此之大的提高是有多方面原因的。首先,飞机制造技术有了很大发展。其次,发动机功率和稳定性能及重量比都有了较大的提高,另外飞行员的驾驶技术更加娴熟。此外,航空工厂企业的建立和批生产也有助于飞机的标准化、严格化和科学化生产,从而使飞机能达到较高的生产质量。

航空发动机是飞机的心脏。一架飞机的性能和可靠性如何,除飞机本身设计、构造和材料等因素外,发动机也许是最重要的一个因素。在第二次世界大战结束以前,航空发动机几乎全部被汽油机所垄断。这一时期,汽油机虽然仍采用德国的奥托早已建立的原理,但它的发展却异常迅速,性能和可靠性不断提高。在原理不变的情况下,改善性能指标可以采取多种方式,如提高气缸的温度和压力、提高燃烧效率、提高机械强度、改进冷却技术等。新技术的探索和运用以及飞机发展的要求成为促进发动机发展的直接动力。

兰利的助手、美国工程师曼利在 20 世纪初为兰利的空中旅行者号飞机设计制造了一台杰出的航空发动机。它是一种五缸星形发动机,利用汽化器将汽油气化并同空气混合馈入气缸燃烧,利用火花塞点火,采用循环水冷却。这种发动机功率可达 37 千瓦,而重量功率比只有 2.18 千克/千瓦。这种发动机无论在结构设计(星型发动机的先驱)和性能上都远远超过了当时任何发动机,包括莱特兄弟的发动机。但由于兰利的飞机试飞未取得良好结果,曼利设计的优秀发动机也被埋没了。

在莱特兄弟之后,法国的列昂·拉瓦瓦索欧设计了一种先进的“安东尼特”发动机。这种发动机于 1904 年最初在摩托艇上进行了试验,效果很好。1905 年,他设计制造的 8 缸 V 型水冷式安东尼特发动机达到了 37 千瓦的功率,而重量只有 50 千克左右,重量功率比降低到 1.35 千克/千瓦。这样低的重量功率比在此后的 25 年间,一般发动机都未能达到。安东尼特发动机的显著特点是:采用蒸发冷却和燃料直接注入方式,缺点是工作的可靠性受到影响。因此虽然安东尼特发动机性能优良并且在早期相当广泛地应用于法国的飞机上,但终因可靠性不高而逐渐被另一种法国的新型发动机所取代。

1908 以前使用的航空发动机大都采用坚固的铸铁、钢锻件、黄铜及钢板作结构材料,既大又重。这样,一方面重量功率比很高(通常在 6.2 千克/千瓦),另一方面这么重的发动机安装在结构十分单薄的木制飞机上,简直成了沉重的负担。木制旋翼的重量和拉力、驱动轴上的扭矩、气缸的不规则和周期性点火,都使细长的机身承受的载荷大大增加,而发动机的点火有时还将发动机的安装架震掉,有时甚至使整个飞机解体。因此要提高飞机的性能和安全性,发

动机的设计制造必须有新的技术突破。

法国的劳伦特·塞甘(L. Seguin)和古斯塔夫·塞甘(G. Seguin)兄弟认为,现有的发动机体积大、重量大的主要原因是需要有一个连续流动的水冷却系统,并配有大散热器和连接管路,管路易于断裂或损坏。他们决定在设计发动机时,省去这些装置,仅在气缸上安装散热片。为了保证空气在气缸上持续流动,有效地将热量散失掉,他们采取的方案是,将曲轴固定在飞机上,而发动机固定在旋翼上。因此,当发动机开始旋转时,发动机随旋翼旋转,而曲轴是不动的。这样即使不用水冷却,发动机也不会过热。

为了使曲轴周围的发动机质量保持平衡,塞甘兄弟采用了星型布局,并选用奇数气缸以使燃烧行程平稳。他们还设计了一个简单的汽化器,以产生富油混合气体馈入气缸内燃烧。这些带有根本性的改进措施,使他们设计的“格罗姆”发动机具有很高的功率重量比和良好的可靠性,且由于旋转发动机的飞轮作用,能带来较均匀的力矩。当时的任何发动机在综合性能上都无法同“格罗姆”发动机相比。

第一台“格罗姆”旋缸发动机有五个气缸,可发出 37 千瓦的功率,其重量功率比达到 1.64 千克/千瓦。1908 生产的“格罗姆”发动机可产生 52~60 千瓦的功率。后来经过改进的发动机气缸数增加到 7、9、14 个,而功率则提高到 74.6~120 千瓦。因此到 1908 以后,“格罗姆”发动机被广泛应用于飞机上。在 1917 前,“格罗姆”旋缸发动机约占 80% 的航空发动机市场。1910 年西欧几乎有 70 家公司制造航空发动机,但到了 1916 年,这些发动机公司所剩无几,只剩下“格罗姆”发动机独占航空发动机市场。“格罗姆”发动机对航空技术发展的促进作用由此可见一斑。

“格罗姆”发动机也有一些缺点,如气缸加工要求高,价格昂贵以及燃油和滑油消耗量很大等。但人们还是看中了它的性能和高可靠性。

1910 年后,许多国家都在筹建军事航空部队,要求性能可靠,寿命长,结构简单的发动机。除“格罗姆”发动机外,各国发动机制造者亦在不断改进气冷或水冷发动机。在这个领域里比较活跃的有英国的本特利公司、埃伦公司,法国的安赞尼公司,德国的梅塞德斯公司、本茨公司、戴姆勒公司、巴伐利亚公司和梅巴赫公司等。经过这些公司的努力,星型水冷式航空发动机达到了较高的功率重量比和较高的可靠性。虽然这些发动机功率较小,但结构比“格罗姆”发动机简单得多。它们优势互补、各取所长,满足了各种飞机的不同要求。这一时期出现的各种优良的发动机成为第一次世界大战期间飞机性能大幅度提高的基础。

在结构方面,大战前出现的各式飞机比发动机更加丰富多彩。从单翼机到双翼再到多翼机,安装的发动机有单发、双发、多发,旋翼有拉进式、推进式和混合式,座舱有暴露式和非暴露式等等。之所以出现这种情况,主要是因为当时无论从哪方面讲,飞机都还处于探索阶段,而飞机的设计主要依赖于设计师的经验。当时出现的空气动力学理论还只能初步用于机翼和旋翼设计。而且由于材料的限制和重量的要求,飞机很难设计成完全封闭式的和流线型的。应当指出的是,本世纪头十几年,从事飞机设计的人大都不具有足够的科学知识,他们不太可能自觉将有关理论应用于飞机的设计和制造中去。

材料问题也是早期飞机设计和制造中面临的一个重要问题。由于发动机功率一般不是很大,因此飞机不允许采用强度较高的金属材料,而强度足够且重量较轻的铝材当时造价很高,也不能较大规模采用。尤其是,早期的飞机研究主要还是私人投资,对于太高的花费他们往往承担不起。因此在第一次世界大战前,一般飞机除了一些承载荷较高的骨架偶尔采用钢管或铝材料外,主要的仍是木材、张线、支架和蒙皮结构。尽管许多有远见的人士如法尔芒在1910年就预言,“飞机将迈向强度更坚固的一步……作为结构材料的木材将完全让位给金属,”但直到大战开始后才出现少数全金属飞机。

飞机结构设计和材料的选择,一方面通过先驱者的摸索不断取得进步。另一方面,由于缺乏必须的理论(如强度理论、结构力学)指导和实验研究成果,人们还通过对发生灾难性事故的原因进行分析,吸取经验教训,为设计和改进飞机服务。从这个角度上看,在飞机诞生之初,那些为航空事业的发展献出生命的勇士生为航空事业而奋斗,死也为航空进步做出了巨大贡献。正如英国著名飞行家格拉姆-怀特所说:“这种发展必然会导致生命的损失,这是一件悲惨的事情。但是,从发生的每一次灾难性事故中,飞机制造者和飞机驾驶员都能学到有巨大价值的东西。”他还指出,从事故中分析原因,“这一点特别值得注意,也就是说,通过对这类事故的分析吸取经验教训,飞机制造者能够采取进一步措施来避免类似事故的发生。”

自1908年9月17日奥维尔·莱特在迈尔堡载美国人塞尔弗里奇升空飞行发生第一起飞机载人死亡事故,到1911年2月9日为止,全世界共发生了34起机毁人亡的飞行事故,死亡37人。对这些事故进行分析表明,由于飞机某一部分损坏导致坠毁的事故有11起,由于飞行员失去操纵或操纵不当引起的事故8起,由于操纵系统失灵引起的事故3起,由于大风的影响使飞机失控引起的事故4起,着陆出现的事故4起,发动机出现问题引起的事故1起,飞行员在飞行时突然生病发生的事故2起,原因不明的事故1起。

上述数据表明,因飞机结构和材料问题而引起的事故占全部事故的1/3。当时人们认为,造成这些事故的原因是飞机结构的某处过于薄弱,在飞行中承受不住较大的动载荷和应力,因此可以通过提高飞机结构强度,采用高强度材料加以克服。这种比较直观的想法和作法无可非议,并且可以在某种程度上克服或避免类似事故的发生。但由于这种解决方式并不是通过某种理论的指导做出的,因而带有猜测的性质。而且,普遍提高结构强度虽然能起到减少事故发生的作用,但也会使飞机重量增加,从而降低飞机的性能。

飞机某一部件的破坏除了有加工和材料等方面的原因外,还有一个当时未被人们认识到的原因:颤振。飞机的机翼、尾翼、操纵面、旋翼、壁板、蒙皮等弹性不稳定结构,在空气动力的作用下会发生自激振荡。自激振荡往往发展迅速,会立即导致结构破坏或严重影响正常工作。而且这种属于结构动强度的问题单单靠增加静强度并不能圆满得到解决。但对于速度不高,不做大的机动飞行的飞机,增加强度还是可以减少类似事故的发生。航空技术发展到了1915年,结构问题越来越引起人们的重视。当时采取的措施是,用强度较高的钢管作飞机的承力骨架,提高易于破坏的部分的强度,双翼机上下翼间的支柱不再仅仅作为一个连接件,而是从强度、重量、阻力和制造等方面综合考虑它的选材、设计和制造。

大战前的飞机机身还没有自觉考虑其空气动力学特性。一般认为机身只起连接飞机升力面、控制面和发动机以及飞行员座椅等各部件的作用,因此早期的飞机外形极其粗糙。但也有少数例外的情况。如法国1912~1913年出现的竞速飞机“迪伯杜辛”号首次采用了单元硬壳结构机身。它具有良好的流线型,可以大幅度减少飞行时的空气阻力,这对于提高整体结构强度和飞行性能都是非常有利的。

造成灾难性事故较多的另一主要原因是飞行员的操纵问题。减少甚至避免这类事故的方法除了使飞行员得到充分有效的训练,包括了解飞行知识,飞机原理,结构设计,提高驾驶技术,保持稳定的情绪和提高驾驶信心等所谓“人的因素”外,还有对飞机设计的要求,包括飞机具有良好的稳定性,结构简单并且操纵容易,操纵系统简单可靠。如果把飞机结构、操纵系统和“人的因素”都有效地解决,很多与人和操纵有关的事故可以得到避免。

这一时期,航空发展的一个重要标志是,航空飞机生产企业纷纷建立,这使飞机设计、制造、飞行全部由一人或几人承担,变成了一个集团的事业。这有助于飞机及发动机的专业化、快速批量生产,同时还能提高生产的质量、可靠性。这时,还出现了专门从事新飞机研究和设计的专业人员,他们利用有关的科学知识指导飞机设计,并且可以探索新机型。由于设计制造过程的专业化分工,使得设计人员在飞机设计阶段就能估计出飞机性能,从而可以根据不同的使用 and 性能要求设计新飞机。这是航空技术和飞机研究技术的一大进步。

第2节 作战飞机在战火中成长

第一次世界大战前,虽然欧洲已笼罩着战争的烟云,出现各种紧张的征候,但从某种意义上看,第一次世界大战的爆发仍带有突发性,人们对此还没有多少准备。战前虽然英法德等主要飞机发达国家已开始筹建空中力量,购买飞机,进行各种试验,但未能料到飞机会如此之快地投入大规模作战。因此在大战爆发时,真正意义上的军用飞机尚不存在。飞机在没有成熟时便匆忙上阵,人们对它具有什么样的作战功能还只有一点浅显的朦胧认识。

在战争爆发时,各国的军事首脑都很自然地看到飞机具有两种军事用途:一是空中侦察;二是同炮兵配合校正炮弹落点。其他方面的作用和效果还有待于进一步摸索和验证。

1914年,航空兵尚处于初创阶段。法国在本土上有23个中队,在海外有4个中队。每个中队有6架飞机。第一线的总兵力大约为160架飞机、15艘飞艇和200名飞行员。英国皇家飞行队派往法国的飞机有73架。法国利用莫拉纳·索尔尼单翼机和法尔芒双翼机组建了一支侦察机部队。1914年9月英法联军和德军在法国巴黎和凡尔登一线的马恩河地区进行会战中,侦察机起到了很重要的作用。

空中侦察对飞机性能有了专门的要求,一是飞机飞行要平稳,并且可携带一名观察员;二是观察精度要尽可能地高。这就使各国为这两个主要目标进行努力。英国的格林、德·哈维兰和巴克斯都建议研究飞机的固有空气动力学稳定性,制造出飞行平稳的侦察机。为了提高

观察精度并增加信息量。德、法、英都开始在飞机上安装照相机。德国利用其技术优势,还专门研制出用于飞机的侦察照相机。到第一次世界大战最后阶段进行大型攻击作战战役时,德国飞机每天拍摄约4 000张侦察照片。这些照片为探明对方的行动、部署,为己方部队的行动提供了大量有用情报。正如德军总司令鲁登道夫(L. Ludendorff, 1865—1937)所说的:“必须保证获得中间无空隙的完整的照相侦察纪录。这是非常重要的。”

空中侦察是敌对双方相互的。正像迪克逊所预言的,双方都要全力阻止对方获取情报。这就不可避免导致空中战斗。最早的空战只是在双方侦察机上展开,由于最初飞机上没有装备武器,这种空战便带有非常原始的、粗野的和骑士般的风格。例如,英国飞机在攻击德国齐伯林飞艇时,是采用撞击的方法。这种战术常常导致双方同归于尽。1914年9月8日,俄国著名飞行员彼得·聂斯切洛夫(P. N. Nesterov)驾驶一架莫拉纳式飞机,用自己机上钢管焊接的起落架撞击一架德国双座侦察机,结果两机挂在了一起,双双坠地,同归于尽。随着空中战争的进一步深化,人们意识到应当在飞机上安装轻重型武器,于是便诞生了最初的战斗机或驱逐机。

法国首次在当时使用的侦察机上安装机枪。由于当时还没有供飞行员射击的固定式机枪,所以机枪便装在活动座上,由观察员操纵。1914年10月5日,法国飞行员约瑟夫·弗朗茨(J. Franz)和观察员路易·凯诺(L. C. Quenault)驾驶一架伏瓦辛飞机巡逻,发现一架德国双座飞机正在侦察法军防线。弗朗茨逼近这架飞机,凯诺成功地利用机枪将其击落。这是航空作战史上第一次真正的空战。

对于战斗机而言,前向攻击是有利的,因此推进式飞机在安装前射机枪上具有优势。但大战时推进式飞机由于性能不好已不多见,拉进式飞机由于前射子弹经常击中旋翼桨叶而导致事故。因此早在大战前,法国的雷蒙·索尔尼(R. Saulnier)、德国的弗朗茨·施奈德(F. Schneider)就在设计简单的“中止射击”机构。由于没有得到政府的重视,研制未取得很大成果。1915年,索尔尼在他设计的L型飞机上安装了机枪,并在木质桨叶上包上金属片。这样击中桨叶的子弹反弹向四周,不致损坏桨叶,其余的子弹可穿过旋翼旋转面向前射出。1915年4月1日,法国飞行员罗兰·加罗斯(R. Garros)驾驶这种飞机击落了一架德国的“信天翁”侦察机。尔后,他又以同样方法击落4架德机。加罗斯在16天内一举击落5架德国飞机,成为第一个王牌飞行员。这种带桨叶保护片的飞机立即在德国空勤人员中引起一阵恐慌。

这种简单的子弹反弹装置存在很大缺陷。当子弹击中桨叶时,虽然不会打断桨叶,但会引起旋翼的振动。加罗斯驾驶这种飞机在1915年4月9日的一次空战中,由于子弹射中桨叶引起的振动,导致发动机出现故障。在危急情况下,他不得不在德国境内迫降,被德军俘获。德国人发现飞机的射击机构竟如此简单,福克公司的三位工程师没有仿制这种机构,而是向新的方向努力。结果研制出一种先进的“射击同步协调器。”这种机构是在旋翼轴上装一只双凸轮,凸起处正好正对着两个桨叶。当旋翼叶正好转到子弹射击的正前方时,凸轮操纵一个连杆抬起,控制机枪停止射击。福克公司设计的M5K飞机上首次装设了射击同步协调器,将飞机重新命名为“福克E1”。从实战意义上讲,福克E1才是世界上第一种真正的战斗机。果然,

它一投入战场,便有惊人的表现和业迹。

福克 E1 战斗机的最大速度为 130 千米每小时,升限 3 000 米。当年秋天,E1 战斗机投入使用,很快证实了它具有非常出色的作战能力。1915 年 7 月 1 日,德国飞行员温特根斯(K. Wintgens)驾驶福克 E1 击落了一架法国的莫拉纳战斗机。接着,著名飞行员奥斯瓦尔德·伯尔克(O. Boelcke)、马克斯·伊梅尔曼(M. Immelmann)、马克斯·米尔希(M. Milch)等也先后驾驶福克 E1 战斗机在空战中取得了胜利。伊梅尔曼兴奋地说:“这才是真正的战斗机!”法国专家亦承认,法国最好的 60 千瓦功率的纽波特飞机几乎立即黯然失色。

对于战斗机的使用当时还没有一个十分明确的计划。德国最初将两个飞行中队装备两架福 E1 战斗机,主要用于为双座侦察机和轰炸机护航。德国飞行员伯尔克和伊梅尔曼认为,这种应用不能发挥它的最大效能。他们建议,应当把它主要用在主动攻击上,以夺取制空权。但在当时,德国军事首脑根本不注意两个无名小卒的建议。于是,他们在执行护航任务时,千方百计寻找机会主动向敌机攻击,以他们娴熟的飞行技术和飞机的优良性能,充分显示了主动攻击而非片面防御的巨大价值。他们在实战中还发展了空战技巧,包括被后人称为“伊梅尔曼转弯”的多次攻击战术。

伯尔克不仅在空战中表现出了极大的胆略,创立了许多空中战术,而且他对战斗机组织、编队和作战配合等做出了重大贡献,因而他被称为真正的空中作战战术之父。他认为,战斗机应当编制成一个个统一的单位配合作战,它的主要任务有 3 个:阻止敌机进入,保护德国飞机,攻击敌人地面部队。战斗机任务的明确,主动进行空中作战优越性的显露,新型战斗机的出现,使德国很快取得了空中优势。

1915 年秋,福克公司推出了新型福克 E3 战斗机。它采用上单翼布局、拉进式旋翼,机长 7.3 米,高 2.79 米,翼展 9.52 米,空重 635 千克。福克 E3 装一台功率为 74.6 千瓦的旋缸式发动机,最大速度 141 千米每小时,升限 3 660 米,装有射击同步协调器。该机投入使用后,很快给英法飞机造成严重损失。虽然福克 E3 只生产了 300 架,但德国飞行员驾驶这种战斗机击落了 1 000 多架协约国飞机,从而造成了航空空战史上有名的所谓“福克灾难”。福克灾难在 1916 年春达到了顶峰。英国飞行员贝尔(A. Ball)曾在 1916 年春写道:“在福克飞机面前,我们的飞机简直没有任何机会。”

英国和法国也在努力研制新飞机并改进战术来削弱德军的空中优势。1915 年 8 月,法国的哈伯(F. Happe)采用了一种“方格编队”形式。不带武器的飞机由三四架战斗机护航,护航战斗机的尾部机枪在射击时构成一个火力网,以此来抵御德军战斗机的攻击。英国还是很重视飞机稳定性的。皇家飞机工厂研制的 B. E. 2C 飞机稳定性很好,但机动灵活性较差,加之没有武器射击协调器,射手只能从肩头或从座舱的支架上射击,结果在福克式飞机攻击下损失很大。后来,英国制造了一系列推进式飞机,解决了射击问题,但飞机性能不高。

1915 年底到 1916 年初,英国维克斯公司推出 F. B. 5“枪车”式战斗机,速度为 113 千米每小时,升限为 2 743 米,有良好的机动性;德·哈维兰公司研制出 D. H. 2 战斗机,速度为 150 千米每小时,升限为 4 000 米;皇家飞机工厂研制出 F. E. 8 战斗机,最大速度达到 151 千米每小

时,升限4 420米,F.E.2b推进式战斗机,最大速度146千米每小时,升限4 350米;布里斯托尔公司研制出巡逻兵D型战斗机,最大速度达161千米每小时,升限4 900米。法国纽波特飞机公司也先后推出了纽波特11和12型战斗机,速度为155千米每小时,升限在4 600米以上。这两种飞机把机枪装在上机翼中部,使子弹在旋翼旋转面之外射出。这些高性能飞机的出现,加上数量的优势,对于结束“福克灾难”起了重要作用。1916年5月,当装有射击协调器的索普维斯“1又1/2支柱”式战斗机投入使用时,“福克灾难”最终被遏制。

航空兵投入作战的另一个作用是校炮,即向地面炮兵报告炮击的精度。这个作用相当于使炮兵的命中精度提高从而也使威力一下子提高了很多。早期的校炮是由侦察机完成的,尔后战斗机也开始承担这项任务。德军第二集团军司令冯·贝劳将军在回忆英法航空兵的威力时说:“在空中校准的帮助下,敌人集中打击我们的炮兵并且能够精确指挥他们的地面部队攻击我们的步兵阵地,他们的情报是前线不受干扰的侦察机的照片提供的……敌人的飞机给我们士兵的印象是毫无用途,这就是他们空中力量的秘密。”空中校炮的作用对精度不高的大炮来说是很重要的,这就引起了制空权之争,也导致不断推出新的高性能的战斗机投入战场。

第一次世界大战中,虽然航空兵没有影响到战争进程,但在局部战役上仍发挥了重要作用。这些战役不仅配合了航空兵和地面部队的协同作战,同时也为航空兵发挥更大的作用提供了有益经验。有些战例后来为制空权理论提供了实战依据。

1914年9月3日,法国一架飞机发现德军克鲁克指挥的第一集团军已经不再向巴黎以西疾进,而是向东南方向的马恩河推进。由于侦察机发现了敌军的动向,使防御阵地事先有所准备,阻止敌人前进。据史学家评论,前进到马恩河的德国各集团军如果没有受到牵制的话,战争也许几周就结束了。而德军之所以能被牵制住,在很大程度上是由于空中侦察全面地提供了关于德军部队动向的精确情报。

1916年2月21日至12月18日,法国在巴黎以东的一个要塞都市凡尔登同德军进行了一场带有决定性的战役。凡尔登战役也是航空兵首次集中使用的起点。在凡尔登战役中,德国在主要进攻方向上集结了80架侦察机,40架战斗机和5个轰炸机中队。法国也组织了有150架飞机参战的航空兵。双方航空兵参战的地位仍带有从属性,即为配合陆军作战进行空中侦察、校准弹着点和小规模轰炸,并没有成为战役的决定性因素。但这次战役体现了航空兵的价值和潜力,发展了空中作战战术包括战斗机空中编队作战和执行对地攻击任务。总的来说,凡尔登战役中,法国航空兵的表现不如德国,这一点在一定程度上来自于两国作战思想上的差异。

伴随着空战的深入和航空兵的大规模使用,许多人开始通过实战经验探讨航空兵的战略和战术问题。英国著名航空军事学家,当时任第一航空队司令的特伦查德(H. Trenchard, 1873—1956)认为,法国航空兵在凡尔登战役中表现不利的原因是他们从一开始就把制空权(空中优势)让给了德国,而到后来也未能最终夺回制空权。他指出,为了有效地配合地面部队作战并保证最终取得胜利,航空兵应当不惜一切代价进行空中作战,甚至纵深进入德国腹地消灭德国的战斗机和侦察机,为地面部队提供最大的支援。这段论述构成了特伦查德航空军

事思想和理论的核心——争夺制空权,取得空中优势。基于这一思想,特伦查德决定在索姆河战役中,开辟空中战场,与德国飞机交锋。

在1916年6月24日至11月18日的索姆河战役中,航空兵又一次大规模投入使用。在这次战役中,空战已达到了相当的规模。为了争夺制空权,英法飞机每天从黎明到黄昏持续在战场上空巡逻,常与德机相遇,空战接连不断。在这场战役中,英法航空兵完全掌握了制空权,不仅能完成战术任务,而且还能对德军进行纵深的战役后方和战略后方空袭。对空防御在战役中也有了发展,包括组建防飞机火炮和机枪对空火力网、用于防空目的的观察哨、报知哨和通信哨。在组织航空兵同步协调方面也采取了初步措施。英法联军的战斗机飞行员还运用了用机枪扫射敌军战壕和炮兵部队以及小型地面目标的战术。这些战术对于遏制德军尖刀部队快速机动取得了良好的效果。

英国皇家飞行员的飞机在战场上掌握了主动权,有效地配合了地面部队作战,特伦查德的作战思想得到了验证。1916年9月15日,德国的伯尔克组建了一支训练有素、装备精良的战斗机中队投入索姆河战役。这使英法的飞机遭到重大损失,飞行员伤亡惨重。特伦查德仍坚持进行大规模空中攻击的思想不变。9月22日,他签署了一份历史性文件《未来的空中战略》,指出应当保证持续的空中攻击以支援地面部队,为了达到此目的,损失再大也在所不惜。

从航空兵的角度上看,英国的损失比德国的损失大得多。1916年8月,英国飞行员受伤或死亡的平均时间为295小时,而到了1917年4月,降到只有92小时。因此英国皇家飞行队把1917年4月称为“血腥的四月”。虽然英军在阿拉斯战役最后取得了有限的胜利,但英军飞行员的训练、飞机的不足以及战术上都暴露出一些问题。特伦查德争夺制空权思想虽然是正确的,但在战争中应当充分估计到双方的兵力、飞机质量和数量的差异,并因此调整战略战术。

飞行员在空中激烈交战,设计师则在绘图桌上展开竞争。随着战争的深入,作战的需要使各国技术人员不断推出新型高性能作战飞机。英国在1916年投入D.H.2和F.E.2d先进战斗机,到1916年末一直在参战中保持优势。当年投入使用的“布里斯托尔”F.2B战斗机速度达到195千米每小时,升限为5846米,爬升率很高。它装有2挺或3挺机枪,具有较大的威力。1917年投入使用的“布里斯托尔”M.1C的飞行速度达209千米每小时,升限达6100米。法国这一时期也出现了许多优秀的战斗机,1917年出现的“纽波特”17、27、28战斗机时速在180~196千米每小时之间,升限在5300~5500米之间。斯派德公司生产的“斯派德”SVII战斗机速度为191千米,升限为5334米;“斯派德”SVIII型战斗机的时速达到222千米/时,升限达到6650米。莫拉纳-索尔尼公司产生的A1战斗机的速度达207千米/时,升限突破7000米。

德国也先后推出几种新型战斗机。信天翁公司生产的“信天翁”D II型战斗机的速度为175千米/时,升限为5100米;凤凰公司生产的“汉莎·布兰登堡”D1型战斗机速度也达到187千米/时,升限为5000米;Oufa公司生产的D1战斗机最大速度达到185千米每小时,升限达6200米。

从1917年底到1918年间,英法德又不断推出性能更加优良的战斗机,代表性的有英国的

SE5 速度为 196.3 千米每小时,升限为 5 791 米;索普维斯生产的“骆驼”式战斗机,速度为 195 千米每小时,升限为 5 800 米;德国福克公司的 Dr1 三翼机,速度为 165 千米每小时,升限为 6 100 米;法尔茨公司的 Dr1 战斗机,速度为 210 千米/时,升限为 6 000 米;福克 DIII 战斗机,速度为 189 千米每小时,升限 6 000 米。“骆驼”式战斗机机动灵活,火力很强,在投入战斗时间里,共击落敌机 1 300 架,是第一次世界大战中击落敌机最多的战斗机。德国 1917 年推出的“福克”D VII 则被誉为第一次世界大战中性能最优秀的战斗机。

第一次世界大战还发展和验证了飞机轰炸的效用。在大战刚刚开始时,法国和德国就建立了专门的轰炸机中队。德国对英国实施轰炸的还有齐伯林飞艇。俄国参战后,则组织了大型“伊利亚·莫罗梅茨”飞机对波兰的目标进行了轰炸。

早期轰炸机实际上就是战时匆忙拉上战场的普通飞机,如法国组建的轰炸机中队采用的是“伏瓦辛”3 型双翼机。这类飞机载弹量小、飞行距离短,在作战时没起到很大的破坏作用,但却给对方造成很大的心理压力。军事首脑也开始注意到轰炸机的效能,但他们大多认为轰炸机仅限于对陆军作战术的支援。

1915 年后,战场上开始出现专门用于轰炸的轰炸机或侦察轰炸机,如英国的 RE5 轰炸机,可携带 27 千克炸弹;BE2a 轰炸侦察机,可携带 45 千克炸弹;“阿维罗”504B 轰炸机,可携带 36 千克炸弹;“阿维罗”504A 战斗机,可携带 45 千克炸弹;法国“斯派德”SX1 侦察轰炸机,携带炸弹 70 千克;“高德隆”G4 轰炸机,可携带 113 千克炸弹;“法尔芒”F40 轰炸机,可携带炸弹 50 千克;德国西门子-舒克特公司 R1 轰炸机,可携带炸弹 376 千克;意大利“卡普罗尼”Ca46 轰炸机,可携带炸弹 453 千克。随着轰炸机飞行距离的不断增长,轰炸规模的不断扩大,对轰炸机研制也提出了新的要求:增加载弹量、提高自卫能力、增加速度和提高升限。

到大战后期,新型轰炸机不断问世,性能迅速提高。例如,英国 1917 装备部队的汉德莱·佩季公司 O/100 轰炸机载弹量达 700 千克,续航时间为 6 小时,还可选装 4~5 挺机枪,基本上可实施远程轰炸。在战争末期各国又研制出几种著名轰炸机,它们的典型数据如表 5-3 所列:

表 5-3 一次大战末期几种著名轰炸机

国家	机型	起飞重量/千克	最大速度/(千米/时)	载弹量/千克
意大利	Ca. 42	6 709	126	1 450
德国齐伯林	R. vi	11 824	135	2 000
英国	O/400	6 060	157	2 200
英国	V/1500	13 608	145.6	3 390

在第一次世界大战的战火中,尚处在幼年的飞机迅速成长起来。这大致反映在四个方面:一、飞机按作战方式的不同明确形成了不同的军用机种,并按各自的要求迅速发展;二、飞机和发动机生产厂迅速发展壮大,并且朝着专业化方向发展;三、大战中飞机的生产和使用数量剧

增,四、飞机的性能迅速提高。到1918年,全世界已有2 000个专业飞机制造公司和80个发动机公司,5年间共生产飞机183 877架,发动机235 000台;其中英国生产了47 800架,法国生产了67 982架,德国生产了47 637架,意大利生产了20 000架,美国生产了15 000架。飞机性能有了长足的进步,表5-4是1914年和1918年有关性能数据的对比:

表5-4 1914年和1918年飞机性能数据对比

性能指标	1914年	1918年
速度/(千米/时)	80~165	180~230
升限/米	3 000~5 000	8 000
爬升率/(米/秒)	0.7~1.5	3~5
航程/千米	200~600	800~1 200
发动机功率/千瓦	52~90	313
起飞重量/千克	300~700	14 000
载重/千克	20~50	3 400
续航时间/小时	1~4	8~10

空战的频繁和规模的扩大,造就了一批王牌飞行员。第一次世界大战中最著名的王牌飞行员是德国的李希多芬(M. von Richthofen),在短短的一生中击落了80架敌机。德国第二号王牌飞行员乌德特(E. Udet),战绩是击落敌机62架。著名战斗机驾驶员伊梅尔曼和伯尔克也有不俗表现,伯尔克的战绩是击落敌机40架。英国头号王牌飞行员是门诺克(E. C. Mannock),战绩是73架,第二号王牌是毕小普(W. A. Bishop),战绩是72架。法国头号王牌飞行员是勒内·芬克(R. P. Fonck),战绩是75架。美国头号王牌飞行员是爱德华·里肯巴克(E. V. Rickenbacker),战绩是26架,第二号王牌飞行员是威廉姆·兰伯特(W. C. Lambert),战绩是22。美国的弗兰克·小路克(F. Luke Jr.)虽然只击落敌机18架,但这个成绩是在仅17天内取得的。意大利头号王牌飞行员是巴拉卡(F. Baracca),他的战绩是34架。俄国(前苏联)在一战中的头号王牌飞行员是卡扎科夫(A. A. Kazakov),战绩是17架。

空中战役是极其残酷的,同时也是最引人入胜的。空中战场的开辟,使后方也变得不安定起来,对空防御成为新的问题。为了更好协调空中战役、对地空袭、对空防御的关系,航空兵仅仅作为陆海军的辅助兵种的策略暴露出许多问题,这就最终导致独立空军的诞生。

第3节 独立空军和制空权理论

英国陆海军航空兵在第一次世界大战中发挥了重要作用,同时也暴露出许多问题。从实际的情况看,航空兵投入第一次世界大战确实带有试验性质,谁也说不清它究竟会发挥多大的

作用。大战开始时,航空兵没有作好准备就匆忙拉上了战场,它的迅速成长完全可以说是战火哺育的。空中力量巨大价值的显现又导致战争对它提出了新的要求,而在战时情况下,这种要求又难以得到较大程度上的满足。于是各种矛盾便应运而生,而且相当尖锐。这就要求在当时可能的前提下,尽可能解决存在的问题,以发挥航空兵的最大效能。

随着战争的深入,英国航空兵暴露出的主要问题是兵力不足,飞行员训练不充分以及陆海军航空兵的协调配合不利。虽然英国陆军航空兵在1917年时已具有相当数量的飞机和飞行员,拥有200个飞行中队,可以同德国相抗衡。但由于战线的扩大,新战场不断开辟,英国陆军航空兵不得不分开在西线、希腊北部、中东以及意大利北部等地作战,这样兵力就显得很不充分。而且,当时的陆海军航空兵都各自听命于陆军和海军,缺乏更多的自主权,彼此间很难相互协调,实际上航空兵仍处于从属地位。两股力量在购置飞机、招募飞行员方面也出现了一些矛盾。这就必须对组织问题加以考虑。

大战初期,英国一直处于传统意义上的大后方。但从1915年起,英国本土经常受到德国齐伯林飞艇的轰炸。空中力量的出现改变了过去的二维作战思想和一切经验,使前方和后方没有一个严格的界限,敌人的飞行器可以轻易突破任何坚固的地面防线,直接飞入后方实施攻击。面对着来自空中的威胁,英国匆忙建立原始的防空设施,包括拦截气球等。但从1917年6月13日开始,德国先进的哥达式轰炸机经常对英国进行日间空袭,使英国人遭受到空前的心理大恐慌。英国不得不在一些大城市的防空力量中配备一些飞机。但由于指导思想问题,用于防空的飞机数量少,飞行员素质低,对德国哥达式轰炸机没有构成很大威胁。用于防空的飞行中队往往在敌人来轰炸后,才飞上天空拦截或攻击,许多飞行员甚至还找不到敌机的踪迹。在整个前期的对英轰炸中,德国飞机只有一架被击落。

由于德国的空袭,英国本土上已有一千多人被炸死,三千多人受伤,其中平民占90%。死伤人数虽不算多,但这种在后方受到战争威胁的事例在战争史上是很少见的。英国民众强烈要求英国抵御德国明目张胆的空中袭击,并且对德国进行报复性轰炸。1917年7月7日的《泰晤士报》指出:“人们的信心已经被动摇了,这不仅仅是对敌人空袭的恐慌,而是……感到政府对于这种新武器没有充分的认识和想像。”在民众的强烈呼吁下,英国政府决定重新建立防空中队,并从法国前线调回两个中队用于空防,加强地面防空设施的建设,同时采取主动攻击和防御相结合的战略。这些措施和要求都不可避免地需要扩大航空兵的规模。

英国航空兵在战时损失巨大的原因之一是飞行员得不到充分训练,经验不足。飞行员的训练时间最短只有十几个小时。他们往往还没有对飞机的基本特征和飞行性能有个全面了解就匆忙上天作战,远不是训练有素的德国飞行员的对手。这就要求英国在本土建立完善的飞行训练机构。丘吉尔(W. Churchill, 1874—1965)当时就指出:“建立一个真正有责任、有实权的航空部是极其迫切的事情……没有人能对此怀疑……空中力量应当是联合的、持续的、永久性的皇家防御力量的分支。”他还对英国政府的作法提出了批评,认为政府是企图将集中统一的航空部门降格为一个“顾问委员会”。所有这些要素,都为英国建立独立空军埋下了伏笔。

英国对德国的轰炸开始的也很早,但轰炸的目标往往限于齐伯林飞艇库和供应仓库等目

标,而且由于飞机性能不高,对德国的威胁并不大。1915年底,协约国的指挥官们一致赞同组建一支执行纯粹战略任务的部队,主要用于轰炸德国后方战略目标。1916年7月,英国皇家海军航空队第3联队正式成立,使用索普维斯公司生产的“1又1/2支柱”式单发战斗机改制的轰炸机。这种飞机航程短,载弹量少。实际上,第3联队执行的战略任务并不多。1917年6月又被调往兵力不足的西线,尔后便被陆海军航空队吸收了。

第3联队尽管很快就被撤销了,但出于报复心理,英国仍然十分强调战略轰炸原则。1917年,英国组建皇家航空队第41联队。该联队除两个中队还使用FE2b和DH4飞机外,主要装备新型的汉德莱·佩奇O/100双发轰炸机。1917年10月,该联队开始参战。1918年5月,第41联队又增编了两个中队,同时易名为皇家航空队第8旅。它的主要任务是对德国的一些城市进行昼夜轰炸。第8旅当时力量最强,也受英国高级将领的珍爱,人们看中了它对德国的轰炸威力。因此,当英国皇家空军成立时,第8旅形成了空军的核心力量。英国一位航空史家曾说:尽管组建这样一支部队的原则是很正确的,但它的诞生在很大程度上是出于简单的报复性心理,而不是出于任何有预见性的战略设想。

随着1917年中陆海军航空兵飞行队数目和飞机数量很快膨胀,英国政府内阁成立了防空和航空兵组织委员会,任命杰出的南非军事家、陆军中将让·斯姆茨(Jan Smuts,1870—1950)为委员会主席。该委员会对战争局势特别是英国航空兵的势力、作战、组织等问题作了充分的研究和评估。他们于1917年7月19日提交了一份关于防空问题的报告,8月17日他们又提交了一份关于航空兵组织问题的报告。后一份报告建议组建一支包括陆、海军航空兵在内的独立空军。由航空部集中统一领导。

当然,建立独立空军也有很大困难,要征得陆、海军的同意,而他们都强调各自的理由。因此,独立空军还必须满足陆海军在战略和战术上的要求。对此,英国政府作了种种许诺。

1917年8月24日,英国内阁批准了斯姆茨委员会的报告,任命陆军中将、皇家航空飞行队司令戴维·亨德森(D. Henderson)协调空军的组建工作。1918年1月3日,英国航空部正式成立,由罗森默尔勋爵担任部长,亨德森担任副部长。航空部下设航空委员会和航空参谋部。杰出的航空军事家特伦查德少将被任命为参谋部首脑。罗森默尔在国会中有一席位,说话有一定权威。他极力呼吁组建独立的空军。他指出,独立空军在各个方面都和航空兵截然不同,它已渗透到导航、机械、气象、航空工业、研究单位,能够形成从研究、制造、使用等综合性体系。他的观点深入到英国内阁,产生了很大影响。

在特伦查德的领导下,英国航空参谋部立即开始进行皇家海军航空兵和皇家陆军航空兵的合并工作,以原有的战略轰炸部队第8旅为基础,组建独立的英国皇家空军。1918年4月1日,世界上第一个独立空军——英国皇家空军正式成立。在此期间,德国为了在美国远征军最终抵达欧洲战场之前,迅速解决战争,他们在西线孤注一掷,进行了最后一次大规模对西线的袭击。这次袭击对斯姆茨委员会和皇家空军的建立起了刺激和催化作用。

在英国皇家空军成立之时,英国飞机工业也相应有了较快发展。1918年,英国飞机生产量达到每月2668架的惊人数字。1918年中期,英国皇家空军拥有各种作战飞机2630架,其

中在法国前线有 1 736 架 ,意大利有 104 架 ,希腊有 41 架 ,中东有 269 架 ,北欧有 144 架 ,用于国土防御有 336 架。

在此之前 ,由于兵力不足 ,斯姆茨建议对德国进行战略轰炸的计划没有实现。1918 年 2 月第 8 旅成立后 ,开始了对德国的毒气工厂、飞机和发动机工厂、铁路和高炉进行大规模轰炸。在战争最后的 5 个月中 ,独立空军在德国投下了 550 吨炸弹 ,给德国战略设施造成了很大破坏 ,更重要的是引起德军士气的丧失。

第一次世界大战的实际考验 ,航空军事思想也得到了检验和发展。航空兵集中使用和制空权争夺在许多战役中得到运用。早期的索姆河战役中 ,仅协约国一方就有 1 481 架飞机参战。大战结束时 ,航空兵集中使用的原则已基本确立。

由于航空兵的作用日益明显 ,对战争胜负产生了一定影响 ,许多国家都在积累有关航空兵作战使用的经验 ,在此基础上开始对航空兵的任务、战斗使用原则、作战方法等进行了系统研究 ,并见诸于文件和战斗条例、条令中。例如在战斗活动的原则上 ,普遍采用了集中使用、隐蔽封锁、空中阻击、空中游猎等战术。轰炸机主要采用集中使用 ,编队梯次出击等原则。

在第一次世界大战的几次战役中 ,已采用集中使用航空兵进行空战和以轰炸机场等方式进行争夺制空权的战斗。大战后期 ,战斗机机种已经形成并且地位越来越高 ,它对争夺制空权并为轰炸扫清障碍发挥了重要作用。对此 ,美国的贝尔指出 ,在可以预见的将来 ,海上、陆上力量的需要性将让位于空中力量。英国的穆茨则主张 ,为了赢得战争 ,不仅需要夺得大范围的空中优势 ,而且在战后也要夺取和保持制空权。

战后 ,人们对空中力量首次使用的经验教训进行系统总结和研讨 ,前后提出了完整的制空权理论。这方面的代表人物是英国的空军之父特伦查德、美国的米切尔 (W. Mitchell , 1879—1936) 和意大利的杜黑 (G. Douhet , 1869—1930)。特伦查德对制空权有过多次论述 ,在战争期间已经运用这个理论。他认为 ,为了保证战略轰炸的实施 ,战斗机应不惜一切代价夺取制空权 ,失去制空权就意味着失去了战争。美国的米切尔在美国还未参战时便组织有限的航空兵赴欧作战。他对争夺制空权和建立独立空军不遗余力 ,奔走呼吁。他在战后出版的《空中国防论》等著作中 ,系统论述航空兵作战、航空母舰、防空等战略和战术问题。他认为 ,在未来战争中 ,争夺制空权是极其重要的。他的一句名言是 :“没有制空权就没有制海权。”

意大利军事家杜黑是现代制空权理论的代表人物。早在 1917 年 ,他就在《航空问题》一文中指出 :“天空将成为重要性不亚于陆地和海洋的另一个战场” ,“现在所有人都认识到了制海权的重要性 ,但在不久的将来 ,制空权的获得将变得同等重要。”1912 年他担任了意大利第一个航空营营长 ,主持编写出第一本航空兵作战教材。1921 年到 1930 年间 ,杜黑发表了四篇航空军事理论著作 :《制空权》、《未来战争的可能面貌》、《扼要的重述》、《19 × × 年的战争》。这四篇论文奠定了完整的制空权理论基础。

杜黑航空军事理论的核心是夺取制空权理论。他认为 ,空中战场是决定性的战场 ,空战战役的出现是不以人们的意志为转移的客观趋势 ,“未来战争将由越来越令人生畏的空军来打。”杜黑指出 :为了夺取制空权 ,应当增加空军部队 ,建立独立空军 ,使空军在建制和作战使

用上独立于陆、海军之外,空中力量应该成为陆军和海军之外的第三位兄弟。陆海空三军应成为国家武装力量的整体,是一件“三刃的战争工具。”在空中力量的使用上,杜黑认为只能采取攻势,空军具有突出的进攻特征,空军的最好防御永远在于进攻,进攻才能占据主动,防止被动,进攻的目的是为了夺取制空权。

二三十年代以后,虽然对杜黑的制空权理论还存在一些争议,但制空权的核心已被各个国家所重视并得到检验和发展。二次世界大战中,各参战国都认识到了夺取制空权在战争中的重要性,创建独立空军思想已被军事航空大国所接受。空军的战略地位已显而易见。时至今日,有的国家把《制空权》一书同克劳塞维茨(C. Clausewitz)的《战争论》和马汉(A. T. Mahan, 1840~1914)的《海军对历史的影响》并列为军事科研和军事工作人员的必读书。受英国独立空军的成立以及制空权理论的影响,加拿大、意大利、法国、德国、西班牙等国也都在二三十年代先后建立了独立的空军。耐人寻味的是,飞机的故乡美国直到二战结束后的1948才建立起独立空军。

从全人类的利益上讲,飞机诞生后不久便大规模地用于战争,可以说是最大的不幸,这与航空之父凯利的预期构想完全背道而驰。但是,飞机用于战争极大地促进了航空技术的成熟和发展,这可以说又是不幸中之所幸。正是在这样一种基础之上,战后许多国家开办了民用航空组织和运营线路,揭开了飞机应用于和平目的的序幕。在二三十年代,民用航空发展迅速,显示了航空技术促进社会经济发展的巨大作用。

第4节 两次大战间的航空技术

航空技术是一门综合性很强的高技术,航空事业的发展离不开诸多相关技术的进步。在两次世界大战间,航空相关技术得到了很大发展,包括结构、材料、机翼、增升装置、仪表、发动机等等。这些技术的采用使飞机由木制演变为全金属,由双翼过渡到单翼,由不可收放起落架变成可收放起落架,由粗糙外形变成流线型外形。总的效果是使飞机的性能迅速提高。

在飞机发明之初,设计师主要是根据鸟的翅膀形状,研究和设计机翼的。从李林塔尔、菲利普斯到莱特兄弟,采用的机翼翼型都是像鸟翅膀那样的拱形双弯度薄翼型。菲利普斯利用改进的风洞进行了数百种翼型试验研究,有单弯度、各种双弯度,甚至还有菱形的。他发现,双弯度翼型即使没有迎角也能产生升力,这是一个重大发现。英国的兰彻斯特(F. W. Lanchester)是第一个从理论上圆满解释升力本质的人。他从理论上对翼型与升力和阻力关系进行了初步研究,得出了弯曲翼型对产生较大升力有利的结论。19世纪后期到20世纪初,航空先驱者们在设计飞机时几乎都采用了带弯度的薄翼型,具体参数则是根据风洞试验获得。桑托斯-杜蒙、布雷里奥等都是如此。这种翼型虽能产生较大升力,但阻力也很大,因而机翼升阻比较低。

俄国的儒科夫斯基(N. E. Joukowski)第一次运用理论方法设计出理论翼型。他提出了一

种变换式,用保角映射的方法设计出了第一种理论翼型。这个变换式和儒科夫斯基翼型成了后来翼型理论研究和设计的基础。1924年德国的门克(M. M. Munk)首次提出薄翼理论,为翼型设计提供了理论基础。该理论1926至1929年间经葛劳涅(Glauert)、特奥多森(Theodorsen)和1939年的埃伦(H. J. Allen)等人的发展,成为翼型理论设计和修改的重要理论基础。

在第一次世界大战中,英国皇家飞机公司开始了系统的翼型研究,设计出了著名的RAF6和RAF15等翼型。德国哥廷根大学则利用儒科夫斯基理论翼型在大量试验基础上,设计出了哥廷根225和387翼型。它们对后来的翼型产生了重大影响。20年代初,美国兰利实验室设计出克拉克-Y翼型。它们都采用了薄翼理论,获得了较高的升力系数和更低的阻力系数。这一时期,翼型设计的一个重要发现是:采用相对厚度较大的机翼升阻特性反而比薄翼型更好。鉴于翼型研究的重要性,英国、德国、前苏联和美国在战后都进行了系统的翼型发展,得出了不同的翼型系列。在这些翼型家族中,美国航空咨询委员会发展的NACA翼型影响最大。

美国航空咨询委员会的翼型研究始于1929年。系统研究和设计工作的目的是建立机翼翼型设计方法,并建立翼型系统库。这项工作取得了极大成效,获得了重要成果,为飞机设计和翼型选择提供了极大的借鉴。

机翼翼型由这样一些基本参数确定:中弧线、厚度分布、最大厚度位置、最大弯度位置、最大相对厚度和最大相对弯度等。中弧线是翼型厚度中点的连线,翼型前后缘的连线是翼弦。中弧线与翼弦的最大高度为最大弯度。如果此高度为零,则是一种对称翼型。NACA研究的系列翼型分成四位数字翼型、五位数字翼型、1系翼型、2~5系翼型、6系翼型和7系翼型。它们还有大量的修改型。早期的四位数翼型的厚度采用统一的表达式,最大厚度均在离弦长30%处。前面的系数是最大厚度,取不同的值便形成了不同的翼型。

对四位数字翼型进行研究表明,如果将最大弯度位置前移,可以得到更大的升力系数和更低的阻力系数,于是在它基础上又建立了五位数字翼型族。它的最大修改是重新设计了中弧线,仍采用四位数字翼型的厚度分布。五位数字中增加的一位即第一位表示机翼设计升力系数。例如NACA23018翼型,第一位数字表示设计升力系数,这个数乘以 $3/2$ 等于设计升力系数的十倍。该翼型的设计升力系数为 $2 \times 3/20 = 0.3$ 。第二、三个数字表示最大相对弯度位置百分数的两倍,此翼型即最大弯度位置为 $30/2 \times \% = 15\%$ 。后两位数字表示最大相对厚度,即18%。五位数字翼型的设计升力系数都是0.3,中弧线最高点位置都是15%,厚度则有五种。

从20世纪30年代开始,对自然层流和层流控制技术进行了大量的理论和试验研究。1937年,英国的皮尔斯(N. A. V. Piercy)、皮佩尔(R. W. Piper)、普雷斯頓(J. H. Preston)等人在一篇文章中指出,通过改变(后移)翼型最大厚度的位置,可以推迟边界层转捩,使边界层较长时间保持层流。1939年,威廉斯(D. H. Williams)、贝尔(A. H. Bell)和雷默(W. G. Raymer)通过风洞试验证实了这一点。1942年,英国的戈德斯坦(S. Goldstein)提出了这种新翼型的设计方法。1945年泰沃斯(B. Thwaites)和莱特希尔(M. J. Lighthill)对这一翼型进行了更深入的研究。与此同时,他们开始在飞机上进行验证,“飓风”式战斗机上装了这种机翼后,阻力系数大

为降低。30年代后期至40年代初,美国的雅克布(K. Jacob)、刘易斯(G. Lewis)、德国的多茨(H. Doetxch)、英国的霍尔斯坦和日本的谷一郎都对层流翼型进行了理论和试验研究。

层流翼型与普通翼型相比,其最大厚度位置更靠后缘,前缘半径较小,上表面比较平坦,能使翼表面尽可能保持层流流动,从而可减少摩擦阻力,提高临界马赫数。这个概念提出后,受到各国科学家的高度重视。美国航空咨询委员会在40年代中期发布了新的翼型族1~7系层流翼型,其中6系翼型最为成功。层流翼型在高速飞机上得到广泛应用。其他国家也都有自己的翼型系统,如前苏联的ЦАГИ翼型、德国的哥廷根翼型、英国的RAF或RAE(英国皇家飞机研究院)翼型。有了这些丰富的翼型库,设计师就可以根据具体要求选择适用的翼型了。

进入超声速时代以来,各国又对大幅度降低波阻的超音速翼型进行了大量研究工作,出现了多种超声速翼型,其特点是机翼较薄,具有四边形、菱形、尖劈形等多得形状。它们的共同特点是超声速飞行波阻低,但升力特性较差,影响到高速飞机的起飞和着陆性能。超声速翼型目前主要用于各种有翼导弹上,超声速飞机上只有美国的F-104采用了这种翼型。目前的作战飞机从兼顾高、低速性能出发,仍采用了各种亚音速层流翼型。

修改机翼翼型可以提高升力系数,但由于翼面积不能增大,所以增升效果并不理想。随着飞机性能的提高,特别是速度的提高,使起飞和着陆速度也较高,滑跑距离加长。如果采用大面积机翼,又会使结构重量增大,有效载荷降低。因此,面积一定的飞机不能很好协调高速和低速的矛盾,即不能同时满足高低速度的不同要求。这些矛盾和问题的出现,要求从理论和设计上给出解决的办法。理论方面给出了四个增加升力的原则:一、改变机翼剖面形状,增加翼型的弯度;二、使机翼面积可以改变;三、控制机翼上的边界层,推迟或避免气流分离;四、在环绕机翼的气流中,增加一股喷气气流。实践证明,采用各种增升装置(襟翼)非常有效。襟翼是两次大战间成熟的一项有重大意义的技术发明和突破。

襟翼是装在机翼前缘或后缘的可动翼片。装在前缘时总长度可占展长的50%~70%,有的可占90%~100%。装在后缘的都是位于机翼根部,总长度也可达到翼展的70%。由于副翼出现的较早,开始副翼的长度较大。襟翼出现后,位于翼梢后缘的副翼长度有所缩短。由于襟翼较长,往往根据增升的不同要求分成几段。它的宽度约占翼弦的20%~30%。1913年至1914年间,英国国家物理实验室实验了简单襟翼的升力效果,发现可以提高升力系数30%左右。简单襟翼有两个缺点,一是襟翼的偏转会使得阻力增大,其增大的百分比通常比升力增加的还大。另外,在飞行速度较大时,由于空气载荷的作用会使操纵管线变形,引起襟翼微向上抬,从而破坏了翼型。针对简单襟翼存在的缺点,很快便出现了开裂襟翼。它安装于机翼下面,像一块薄板紧贴于后缘并形成机翼的一部分。当襟翼放开时,一方面可使翼型变弯,另一方面开裂的襟翼和机翼后缘之间会形成低压区,两方面的效果都是增加了升力。开裂式襟翼能在一定程度上延迟气流分离。通常,开裂式襟翼可使升力系数提高75%~85%。

简单襟翼和开裂襟翼的原理比较简单、直观,技术上的问题也不复杂,因此在30年代前曾广泛使用。在襟翼发展史上,有重大革新意义的是开缝襟翼,其原理早在1910年就由俄国学者查普雷金提出过。而它的实用化发展则由英国飞机设计师的汉德莱·佩奇(F. Handley·

Page)和德国的拉赫曼(G. V. Lachmann)各自独立完成。

汉德莱·佩奇是飞机设计师。早期的飞机失速是一个很大的问题。为解决失速问题,他对机翼进行了系统试验,发现在沿机翼展向开一条缝,可以增大失速角,而且可使机翼升力提高25%。接着,他在普通机翼的前面附加一条很窄的小翼面,它可以依附在机翼上,也可以向上偏转形成一条缝隙。这种开缝襟翼在实验时,升力系数增加了50%,升阻比大为提高。汉德莱·佩奇于1917年3月将这个结果首次向外界公布。这就是前缘缝翼。德国的拉赫曼于1921年独立地提出了前缘缝翼概念。他在第一次世界大战期间是德国空军飞行员,后来在亚琛大学获得博士学位。学位论文的题目是开缝机翼理论。据说,拉赫曼在一次飞行中发生了严重的失速事故,在医院治疗中想到了开缝的念头。他于1918年获得开缝襟翼专利,1921年在哥廷根试验,这种开缝襟翼可使升力系数提高60%。汉德莱·佩奇在20世纪20年代末设计并于1930年首飞的HP42运输机上,十分成功地应用了单缝前缘襟翼。这架飞机是20世纪30年代初有相当影响的运输机。由于它的影响和开缝襟翼的巨大价值,从30年代开始,前缘缝翼开始广泛用于各种飞机。

后缘缝翼是在简单襟翼的基础上改进的。其特点是,当它放下时,一方面能增大机翼剖面的弯度;另一方面它的前缘与机翼后缘之间形成一条缝隙。下翼面的气流一部分通过这条缝吹向襟翼上表面,可保证上面光滑流动,从而起到推迟分离,增大失速角的动能。它的增升效果也比较明显,通常可达85%~95%。后缘缝翼明显的双重作用使之不仅可用于战斗机等机动性能要求高的飞机,而且也可用于大型客机,改善起降特性。在低速下,打开缝翼,可以大大提高升力系数,且阻力增加不大。后缘缝翼通常用到双缝或三缝。

前面介绍的几种襟翼都是利用了改变机翼截面弯度或利用缝隙吹风延迟分离的原则,并没有增加机翼的有效面积。利用襟翼增加有效面积的设想,导致两种可伸缩襟翼的出现。一是富勒(J. E. Fowler)于1931年提出的富勒襟翼(后退式襟翼),一种是德国的克鲁格(W. Krueger)于1943年提出的克鲁格襟翼。富勒襟翼是在机翼后缘下半部分装有活动翼面。使用时,襟翼沿下翼面安装的滑轨后退,同时下偏。使用富勒襟翼可以增加翼剖面弯度,同时能大大增加机翼面积,所以增升效果很好,可提高升力系数85%~95%。缺点之一是结构复杂,而且滑轨机构会增加阻力。克鲁格襟翼位于机翼前缘根部,它的外形相当于机翼前缘的一部分。使用时利用液压器将克鲁格襟翼向前下方伸出,既改变了翼型,也增加了翼面积。因此它的增升效果也比较好。它的优点是构造简单,缺点是不能像缝翼那样具有推迟气流分离的功效。

飞机在不断发展和改进过程中,材料的更新始终是重要的内容之一。早期飞机除发动机外,结构材料以木材为主。莱特兄弟的“飞行一号”采用的是木质骨架,其支柱和翼肋都是用云杉制成,旋翼用胡桃木制造,机翼蒙皮则采用麻布。在20世纪头十几年间,各国研制的飞机大致都采取类似的材料使用原则,除了重要的承力件采用金属杆外,大量的部件和蒙皮都采用非金属材料。当时的飞机速度低,重量轻,因而翼载荷很小,飞机各部件的应力很低。因此采用这些材料已足够了。木制飞机加工简易,价格低廉。木质材料的主要缺点也是显而易见

的。除了很难做到强度、重量、性能上的最佳外,木质材料还有不少重大缺陷,包括易潮、易燃、易腐蚀、各向异性突出等。这些木材固有的缺点不断地在使用中暴露出来。于是就产生了改进材料的想法和技术上的需要。随着飞机速度的提高,载重的增大,机动性增强,木质结构走到了尽头。探索金属材料的努力逐渐取得了一些成果。其中最重要的成果是铝合金的问世。

20 世纪初的飞机已经在发动机的某些部件上采用铸造铝合金。1906 年,法国的维尔姆(A. Wilm)研制出了变形铝合金,也就是杜拉铝。有了优越的铝合金材料,还需要眼光敏锐、大胆探索的设计师敢于采用它。德国的瑞斯尼尔(H. Reissner)用杜拉铝设计制造出第一架全金属单翼机。在大胆使用铝合金材料方面,德国的容克斯公司首脑、著名设计师雨果·容克斯(H. Junkers, 1859—1935)功劳最大,成就最大,影响也最大。他早就认为,飞机最适宜的材料是金属而不是木材。1914 年第一次世界大战爆发后不久,他就领导公司的工程师对可能用作飞机结构的各种金属进行了广泛的研究。1915 年 12 月初,容克斯公司设计制造了“容克斯 J1”张臂式金属单翼机,飞行速度比当时德国任何其他飞机都快。它在结构方面的优点是:全部采用金属材料和光滑的承力铝合金薄板蒙皮,阻力大大减少,从而提高了速度。

1919 年 6 月 25 日,德国容克斯公司设计制造出世界上第一架全金属飞机 F-13 旅客机。它的机翼用 9 根杜拉铝管作翼梁以承担弯矩,机身为构架结构,外面用波纹铝板作蒙皮以承担扭矩。所有波纹板的波纹方向都沿飞行方向,以减少机体阻力。1923 年,德国道尼尔公司在瑞士制造出“法耳支”全金属上单翼飞机,采用的蒙皮是光滑的薄铝板。德国虽然是战败国,但德国采用铝合金制造飞机的技术却是起步最早,成就最大的。20 年代,飞机尚没有大规模使用铝合金。30 年代,随着飞机速度、载重的提高,同是也由于铝合金得到极大改进,使全金属飞机逐渐成为不可阻挡的历史潮流。铝合金包括变形铝合金和铸造铝合金。杜拉铝即是变形铝合金,适宜于作飞机的结构材料,铸造铝合金则适宜于作发动机结构材料。在变形铝合金中应用最多的是“铝-铜-镁”系列和“铝-锌-镁”系列,前者又称为硬铝。通过对各种组成成分比例进行调整,添加微量元素以及加工方法的改进,各种优秀的铝合金材料相继问世。自杜拉铝问世以后,一直就把提高铝合金的抗拉强度作为研究重点。从 20 年代开始,美国通过在合金中增加硅的含量,研制出 2014 铝合金,使之既具有人工时效强化效应,又提高了抗拉强度。与此同时,美国人又研究了在合金中增加镁的含量,结果于 30 年代研制出了性能更好的 2024 铝合金,当时称超杜拉铝合金。它的强度与以前的铝合金相当,但塑性(延展性)更好。这种铝合金的研制成功,为飞机材料开辟了光明的前景。这种铝合金至今都是飞机结构的主要材料。

当容克斯研制成功采用铝合金的全金属飞机后,另一位德国设计师罗尔巴赫(A. Rohrbach)认识到容克斯飞机采用的波纹板蒙皮会产生很大阻力,而且不能承受很大的应力。机翼的情况尤其如此。1919 年,他引入一种全新的结构概念,机身由金属加强框,机翼由金属翼肋形成骨架,外部蒙上平滑的金属表面。这样,由于金属表面也承受应力,使结构更加坚固,同时又大大降低了空气阻力。此外,在外形尺寸相同的情况下,使用这种结构可使内部空间明显扩大,可以增加座位数或货物数量。这种新的结构他称为“应力蒙皮”,是飞机结构技术的重大

突破。罗尔巴赫的助手瓦格纳(H. A. Wagner)对这种结构又做了进一步改进,使应力蒙皮开始在飞机上广泛使用。1926年,罗尔巴赫在美国做了一次有关应力蒙皮概念的演讲,把这项革命化的技术带到美国,并很快流行开来。洛克希德公司新聘的设计师诺斯罗普设计制造了一架全新的全金属上单翼飞机“织女星”,于1927年进行了首次试飞。它不但速度快,而且内部空间大,估计可增大36%的内部空间。由于“织女星”取得的巨大成功,也使全金属应力蒙皮结构在美国确立了主流地位。美国在30年代研制的一系列客机,包括波音247、DC-3等都采用了应力蒙皮技术。这项技术用于战斗机后,使飞行速度等性能指标得到了很大提高。同时,这项技术也使单翼机加快了取代双翼机的步伐。

全金属结构的使用是渐进的,德国在这方面具有很强的开拓性,英国相对而言比较保守。英国肖特公司早在1920年就设计出全金属飞机“燕子”,但英国飞机领域主流仍是采用木质结构,或以木材为主。而且在30年代初英国还就木质结构和全金属结构,单翼机与双翼机进行了广泛的讨论。甚至有些专家教授都认为全金属结构“从结构的观点看是错误的”,因为它会使飞机结构变得十分沉重。这样英国在20年代中期还出现了“重新回到木质结构时代”的笑话。英国航空部规定,新服役的飞机只有关键部件可以采用金属。直到30年代中期,随着战斗机速度要求的不断增长,全金属应力蒙皮结构才成为主流技术。

发动机是飞机性能的关键因素之一。从第一架飞机诞生起,提高速度、高度和载重量就一直是从从事航空活动的人们竭力追求的目标。从1909年起,在一届又一届的航空大赛中,新的速度和高度纪录总是引起新闻界和公众的极大关注甚至狂热,使不少飞机设计师醉心于创纪录飞机的设计。这对于航空技术的发展起到了很大的推动作用。此外,从当时军用和民用航空的实际要求来看,飞机的速度、高度和载重量也是十分重要的。飞机的速度、高度和载重量都与飞机的动力密切相关。活塞式发动机在飞机诞生后不久,就进行了许多改进。产生了著名的格诺姆旋缸式发动机、星形发动机、水冷及气冷技术。在20世纪最初的30年中,设计师和工程师为改进发动机付出过巨大的努力,并在燃料、结构、材料、冷却方式等方面取得过大量的成果。技术改进的主要内容有:一、改善发动机燃料,防止了爆燃而大大提高了压缩比;二、活塞等零部件采用铝合金而使重量大大减轻;三、气冷与水冷技术的改进,提高了发动机的功率和寿命。这些改进使航空发动机的性能水平不断提高,其重量功率比在30年中下降了近20倍。

活塞式发动机必须从大气中吸进氧气维持燃油燃烧。当飞行高度增大时,空气变得稀薄,含氧量减少,对发动机正常工作十分不利。为提高飞机的升限,必须改进活塞发动机以适应高空飞行的环境条件。在20世纪二三十年代,涡轮增压技术得以发展成熟。

戴姆勒(G. W. Daimler)和狄塞尔(R. Diesel)在发明活塞式发动机时,已经提出过增压方法,并进行过有关试验。1905年,瑞士工程师比希(A. Buchi)在他获得的一项德国专利中,用一台多级轴流式压气机与一台活塞发动机组成了“复合式发动机”,首次提出涡轮增压的概念。1917年,法国人拉图为一台功率为130千瓦的四冲程活塞发动机设计了一个由冲压式涡轮和离心式压气机组成的增压器。它的效果虽然不理想,但仍在战争后期投入了成批生产。1918年,美国通用电器公司在国家航空咨询委员会的要求下,由工程师莫斯(S. Moss)博士主

持,也开始设计和研制涡轮增压器。在当年6月的高空试验中,增压器使一台261千瓦的“自由式”发动机在海拔6000米的高空发出266千瓦的输出功率,取得了完全成功。同时进行这类研究还有德国、英国和苏联。涡轮增压器的发明、改进和使用,明显提高了发动机的高空特性。到第二次世界大战开始时,大部分军用飞机的发动机都配有这种装置。

当然,从30年代起,活塞发动机在大大小小的改进中,热效率不断提高,压力不断上升,转速不断加快,结构日益复杂,加工日益精细,而所有这一切,在一定的技术背景下都有一定的限度。活塞发动机在改进中越是趋于完善,就越难以做进一步的改进。30年代以后,能使航空活塞发动机的性能有重大提高的改进几乎没有了。它开始表现出衰老的征兆。为了满足提高飞行速度的需要,发动机设计师们曾经用增加气缸数目的方法,提高发动机的功率。但是,事实证明,此路不通。因为当飞机速度达到一定的水平时,这种方法给飞机带来的重量负荷是飞机所无法承受的。例如,美国莱康明公司制造的XR7755星形气冷发动机,功率虽然达到3770千瓦,但因采用了多达36个气缸,重量高达7吨,当时飞机完全无法安装和承受这种发动机。活塞发动机和旋翼的固有缺陷,终于导致20世纪30年代喷气发动机的发明。

在航空史上,活塞时代的一个重大进展是变矩旋翼的发明和改进。早期飞机采用的旋翼桨叶都是固定角度的。它的重大缺陷是发动机和旋翼在不同飞行条件下不能以最有效的方式工作。变矩旋翼在第一次世界大战期间进行了初步尝试。1922年10月23日,美国旋翼公司展示了一种新型的变矩旋翼。这种旋翼在高空飞行时,可以以较大的桨矩工作,以补偿较低的气压,从而产生足够的推力。当飞行高度较低时,以较小的桨矩工作,从而能够减轻对发动机的负担。在着陆阶段,通过较大的桨矩,可以起到刹车的作用。由于变矩机构比较复杂,特别是各桨叶要协调工作,因此影响到它的推广。直到1932年,实用性变矩旋翼才得以投入实用。定速旋翼在1924年由英国的海尔·肖(H. S. Hele Show)和比凯姆(T. E. Beacham)在英国获得专利,1926~1927年间进行了试验。1935年,定速旋翼首先在美国投入使用。

20世纪二三十年代各国飞机设计师都对设计竞赛飞机有浓厚兴趣。提高飞行速度有多种措施,其中之一是使飞机表面更加“干净”,从而可大大降低阻力。于是起落架可收放就成了设计师努力的方向之一。最初,设计师只是在起落架和机轮前面加上整流罩,以降低飞行过程中的气动阻力。后来,开始采用可弯曲的起落架,它的“腿”可以弯曲,从而减少了迎风面积,降低了阻力。但这并非真正意义上的可收放起落架。1911年德国的维恩采尔飞机首次安装了这种原始的可收放起落架。它的“腿”是固定的,机轮通过索链可以收起。第一种真正的可收放起落架飞机是美国寇蒂斯-莱特公司研制的R. B. 竞赛飞机。它的机轮可收到机身内。该机的设计得到了奥维尔·莱特的指导。除可收放起落架外,其他特色包括增压座舱、前缘和后缘襟翼。1920年9月28日该机参加了贝内特奖竞赛,但由于襟翼故障而不得不退出比赛。1922年,美国的维尔威利-斯派里公司设计的R-3竞赛机也安装了可收放起落架,机轮可收入机翼内。

第二次世界大战以前,还有许多技术应用于航空领域。1910年,无线电装配到飞机上,开始进行了空地无线电通信。1914年,斯佩里研制成功电动陀螺稳定装置。这是自动驾驶仪的

雏型。第一次世界大战中,飞机开始装置中波电台和监听式测向器。1928年,陀螺地平仪和方向陀螺出现,30年代初开始安装在民航机上。1932年无线电罗盘开始装机使用。30年代,无线电导航开始用于飞机,这时主要是无线电罗盘和四航道无线电信标。二战期间,无线电导航获得大发展,由近距扩大到远距,由中波扩展到短波和超短波。其他的技术进步还有:全增压座舱的使用、空中加油技术的进一步改进和完善、仪表飞行和着陆、无线电辅助飞行技术、垂直速度指示器、高度表、除冰装置等。这些技术使飞行更加安全,使全天候飞行成为可能。这些技术导致了航空上的重大革命。

第六章

二战时期的空中力量



✎ 这是美国二战后期研制的 P - 51“野马”式战斗机。它最引人注目之处是首次使用了层流翼型。该机广泛用于亚洲和欧洲战场，不仅用于空中格斗，还用于护航、截击、对地攻击，还曾改装成侦察机。P - 51 战斗机被许多航空史专家和权威人士评为第二次世界大战中的最佳战斗机。

第一次世界大战对飞机的军事价值作了初步验证。20 世纪 20 至 30 年代民用航空事业的建立和发展,促使航空技术得到长足发展。在两次世界大战中,航空技术有几项突破性成就。它们的运用和完善,使飞机性能迅速提高。这些技术包括:全金属单翼结构布局,可收放起落架,封闭式座舱,变矩旋翼,承力蒙皮结构技术,发动机涡轮增压技术,大功率发动机技术,航空无线电及仪表技术等。30 年代初是这些技术走向成熟并开始用于飞机的重要时期。到 30 年代中期,由于备战和新技术的广泛应用,一批高性能作战飞机先后在德国和英国诞生。

20 世纪 30 年代,促进航空发展的一个重要刺激力量来自扩军备战。一些国家看到新的战争似乎不可避免,便纷纷开始重整军备、发展军事技术和装备,为航空的发展再次注入新的动力。从航空技术发展和二战时期军用飞机更大规模的使用上看,30 年代是一个十分重要的转折点。

第 1 节 二战前德国的空中力量

德国在 30 年代由纳粹掌权并重整军备是多方面原因造成的。德国是第一次世界大战的战败国,凡尔赛和约限制其发展大型武器装备包括军用飞机,同时要求德国支付巨额战争赔款。1923 年,法国总统雷蒙·彭加累(R. Poincare, 1860—1930)为了促使德国人支付战争赔款,派兵进占了德国最重要的工业区鲁尔地区。多数法国人支持这一行动。但法国驻军鲁尔并没有改善德国人民对赔款的态度。德国工人阶级对法国入侵者开展了消极抵抗运动。

鲁尔区事件以彭加累下台而结束。倡导法德友好的法国总理阿·白里安(A. Briand, 1862—1932)和德国总理古斯塔夫·斯特莱斯曼(G. Stresemann, 1878—1929)寻求其他解决办法。他们成功地解除了凡尔赛和约的部分条款。对鲁尔区占领结束后,德国经济形势有所好转,投资水平有所上升,协约国再次要求德国偿付赔款。美国财政界人士访欧,想使德国的赔款额调整到较现实的水平上。由于德国继续拒绝偿付,协约国也就逐渐放松了。此后,美国国务卿凯洛格(F. B. Kellogg, 1856—1937)提出一个以谴责战争为崇高目的的国际条约。1928 年 8 月 27 日,15 国代表团在巴黎聚会,签订了“凯洛格-白里安”条约。许多人发表庄严的演说,欢迎这一条约的诞生,认为和平新纪元到来了。白里安于 1929 年 9 月还发出了一个最动人的倡议:成立“欧洲合众国”。这个倡议没有实现,但德国却利用这个倡议推动修改凡尔赛和约。为了保持长时期的和平,在英国首相亨德森(A. Henderson, 1863—1935)主持下,1932 年在日内瓦召开了国际裁军会议。尽管亨德森为此获得了诺贝尔和平奖,但裁军会议终归失败。这是建立欧洲安全体系的最后一次尝试,它的失败使欧洲人民日益感到安全受到了严重威胁。

1933 年 2 月,纳粹党掌握了德国政权。最初,纳粹元首希特勒(A. Hitler, 1889—1945)采取温和的外交政策。但在温和外表的掩盖下,希特勒开始从根本上破坏凡尔赛和约,以改变欧洲力量的对比。1935 年 3 月,德国开始实行强制兵役制;1936 年 3 月,希特勒出兵占领莱茵非军事区。大萧条的缓和,秘密重整军备,长远建设规划,使德国经济正在复兴。德国是建国国

家公路系统的第一个国家,受到全欧洲的羡慕。德国在发展军备上也卓有成效,到了1936年已经赶上甚至超过法国的后备力量。

发展和重组空军是德国扩军备战的重要目标之一。早在1922年,协约国允许德国可以拥有有限的民用飞机和民航雇员。1926年巴黎航空协定又放宽了德国在民用飞机生产方面的限制。这就是说,德国已经拥有了生产民用飞机的自由。于是,德国开始鼓动私人企业研制民用飞机。相应地,民用航线、航空俱乐部、飞行学校纷纷建立。正是在这一时期,德国开始考虑重建空军的问题。

德国政府和军方的行动,也刺激了德国航空企业的复苏。20世纪20年代初,由于凡尔赛和约的限制,德国一批著名的飞机企业纷纷在海外办厂。容克斯公司将飞机生产转到苏联和土耳其,亨克尔公司将飞机生产转到瑞典,道尼尔公司在瑞士和意大利生产飞机。和约的限制实际上只持续了6个月时间。到1922年,这些公司便重新立足国内了。到1926年巴黎协定取消对民用飞机生产限制之时,德国已经有了五大飞机生产企业。

20世纪20年代前期,德国民航相当弱小,航线规模很小,这在很大程度上是由于缺乏资金和政府的补贴。1926年,在米尔希(E. Milch)的努力下,德国决定在军方的控制和支持下建立国家航空公司,即德国汉莎航空公司(Lufthansa)。汉莎航空公司的建立和对飞机、航空人员的新要求,促进了德国航空技术和工业水平的发展。德国空军建立后,汉莎航空公司为其提供了大批飞行员。同时,新的航空企业也先后建立。到1929年,德国已有8家飞机制造公司和4家发动机公司。一些著名企业如西门子公司、戴姆勒-奔驰公司也扩展到航空领域。

1933年4月1日,德国建立了防空部。一个月后的1933年5月1日,在戈林(H. Goering, 1893—1946)的支持下,吸收了防空部并且拥有更大权力的帝国航空部成立。尽管名义上是民用性质,但它却是以军事为目的建立的,并且建制也有浓厚的军事色彩。它的主要任务是建立独立于陆、海军之外的德国空军。戈林担任部长,米尔希担任副部长。经过几年的充实、调整,1935年3月10日,纳粹政府正式宣布成立德国空军(Luftwaffe)。

从德国空军正式建立到1935年底,空军的总兵力约有1800架飞机,但这些飞机大都相当陈旧。无论希特勒,还是戈林和米尔希,都十分强调轰炸机的研制生产和采购。1936年,德国空军只有双发轰炸机联队5个,合16个飞行大队,飞机约470架。到1937年底,联队数达到10个,拥有飞机940架。到1939年9月,轰炸机联队数增加到13个,拥有飞机1200架。这个数目已经相当可观了,但希特勒还要求到1942年将轰炸机联队数增加到18个,分成54个大队,飞机1700架。德国空军还组建了数目众多的俯冲轰炸机大队,采用的是容克87“斯图卡”轰炸机。这一思想于1937年得以实施,结果当年就组建了8个“斯图卡”轰炸机大队。到1939年9月,德国空军拥有18个战斗机大队,3个独立战斗机中队,10个双发战斗机大队,战斗机总数约1000架。

战争期间,德国的飞机生产量直线上升。1939年各型飞机生产量为2518架。到1940年生产量就上升到10247架。1941年生产量为12410架。1942年生产量达15409架。1943年生产量为24807架。1944年生产量最大,达到40593架。大战期间德国航空工业共生产

交付各类飞机 113 514 架。各种型号的飞机生产量如表 6-1 所列：

表 6-1 二战期间德国各种型号飞机生产量

Bf109 战斗机	35 000 架	Ju88 战斗轰炸机	15 000 架
Fw190 战斗机	20 001 架	He111 轰炸机	5 656 架
Bf110 重型战斗机	5 762 架	Ju52 运输机	2 804 架
Ju87 俯冲轰炸机	5 709 架	Do217 轰炸机	1 730 架
He177 轰炸机	1 446 架	Ju188 轰炸机	1 036 架
Me410 战斗轰炸机	1 013 架	Me262 喷气式战斗机	1 294 架

德国从 20 世纪 20 年代开始恢复航空工业。在早期阶段,几家航空公司主要从事运输机和体育运动即竞赛飞机的设计。这一时期的飞机主要是双翼机,没有采用很多新技术。早期比较活跃的公司是亨克尔(E. H. Heinkel, 1888—1958)公司,该公司 1923 年推出的下单翼 He-3 飞机在哥德堡水上飞机竞赛中是同类飞机的佼佼者。20 年代中期,亨克尔公司研制了一系列舰载双翼机,其中 He-25 型和 He-26 型曾服役于日本海军。1925 年后,亨克尔公司投入大量精力进行航空试验工作,以设计出破纪录飞机。20 世纪 30 年代初,亨克尔公司研制了 He-51 型战斗机。虽然性能不高,但它在德国空军创建初期起到了重要作用。

德国汉莎航空公司的建立,促使飞机生产厂家研制大型运输机。道尼尔公司曾研制出大型水上飞机 Do. X,它由克劳斯·道尼尔(C. Dornier, 1884—1969)设计。这架飞机于 1929 年 7 月 25 日进行首次试飞。按当时的标准,Do. X 真可谓是一架巨型飞机。它的翼展长达 48 米。飞机上有 12 台功率为 410 千瓦的发动机,高高地安装在机翼上面的支架上,以避免飞溅的浪花。这样大的飞机速度也达到 216 千米/小时,标准航程 2 815 千米,起飞重量 50 吨以上。它的另一个引人注目的特点是客舱的设备和舒适性都可与齐伯林飞艇相媲美。飞机上的餐厅舞厅两用厅布置豪华,长度竟达到 18 米。由于这些特点,Do. X 进行的几次飞行都成为当时报纸的头条新闻。1929 年 10 月 21 日,Do. X 创纪录地分 3 个层舱运载了 169 名乘客,飞行时间长达 1 小时。容克斯飞机公司于 1930 至 1932 年间研制了 4 发大型飞机 G38。它的主客舱分为两层,载客量为 34 人,最大起飞重量也达 50 吨,巡航速度 208 千米/小时。1934 年 11 月 4 日,容克斯公司试飞了“容克 86”中型运输机。

由于有了 30 年代前期这些飞机的研制经验,加之德国秘密发展空军计划的刺激,德国航空技术在 30 年代后期获得迅速发展,很快便诞生出一批优秀的作战飞机。

第一种著名战斗机是梅塞施密特公司的 Bf109,由威利·梅塞施密特(W. Messerschmitt)和罗伯特·鲁塞尔(R. Lusser)设计。1933 年,该公司曾研制 Bf108 竞赛机,参加了 1934 年的环欧洲飞行竞赛。1935 年德国空军组建后,要求飞机公司研制新一代战斗机。参加竞争的有阿拉多公司的 Ar80,福克-沃尔夫公司的 FW159 和亨克尔公司的 He112。梅塞施密特公司在 Bf108 基础上发展的 Bf109 在竞争中获胜。它的原型机 Bf109V1 于 1935 年 9 月 31 日进行首

次试飞。它的最大速度为 480 ~ 620 千米/小时。Bf109 大胆结合了当时最新的技术和空气动力学成果,包括全金属机身、铆接承力蒙皮、增升襟翼、可收放起落架、增压发动机。这些技术过去曾单项用于其他飞机,但没有一架飞机结合了全部这些新技术。由于它集中了各项新技术的优点,有人把它看作是战斗机设计中的一场革命,是战斗机发展历史中的典范。

Bf109 可谓是当时技术最先进、性能最高的战斗机。它在西班牙内战中已有出色表现。20 世纪 30 年代由于各种奖杯特别是施奈德奖的激励,Bf109 也曾改装成竞赛飞机参加角逐。1939 年,它曾创造了 747 千米/小时的飞行速度纪录。尔后,以 Bf109 战斗机为基础特别制造的 Bf209 飞机又将速度纪录提高到 774 千米/小时,比军用型 Bf109 战斗机快了 160 千米/小时。由此可见这种作战飞机性能上的潜力。这些成就使 Bf109 在二战前就闻名于欧洲航空界。

第二次世界大战开始时,Bf109 是世界最优秀的战斗机。在整个二战期间,它都是德国空军的主力战斗机。在对波兰、法国和苏联的闪击战中,在不列颠之战中,人们看到成群的 Bf109 在战场上空像蝗虫一样呼啸飞过,或为轰炸机护航,或单独进行空战。它给人们的印象实在太深了。Bf109 战斗机共生产了 35 000 架,是整个二战期间世界生产量最大的战斗机。

梅塞施密特公司研制的另一种著名飞机是 Bf110 重型战斗机。它于 1936 年 5 月 12 日进行了首次试飞。它在设计上强调高性能、重武装、远航程,适合于深入敌国领土实施作战,主要任务之一是纵深攻击敌人的轰炸机,因此属于一种驱逐机。它装有 4 门机炮 1 挺机枪,还可携带炸弹。生产型 Bf110C 于 1939 年 1 月装备德国空军。

作为一种重型战斗机,Bf110 的飞行性能、机动性和操纵性都是相当出色的。因此它一出现便被德国空军大肆渲染。但由于对它使用不当,且被赋与力所不及的任务,加之机动灵活性不如盟国的单发战斗机,因此容易受到攻击。在不列颠之战中,Bf110 损失很大,后来不得不用单发战斗机为其护航。

福克-沃尔夫公司研制的 Fw190“屠夫鸟”战斗机被看做是当时德国生产的最优秀的战斗机,由库尔特·唐克(K. Tank)主持设计,1939 年 6 月 1 日首次试飞。它在设计中强调具有良好的空中格斗性能和具有最强的火力平台,因此装有 2 挺机枪 4 门机炮。它的设计以当时的技术标准而论近乎是完美的。当它 1940 年首次出现在英吉利海峡上空时,曾给英国人以很大的恐慌。由于其出色的表现,它在二战期间的名声一直很好,为德国空军立下汗马功劳。从重量和火力是讲,Fw190 是 Bf109 的重要补充。以上几种飞机的参数如表 6-2 所列。

表 6-2 几种飞机参数

	Bf109E	Bf109G	Bf110	Fw190
翼展/米	9.87	9.92	16.25	8.95
机长/米	8.64	8.85	12.07	10.51
机高/米	2.35	2.5	4.18	3.95
翼面积/平方米	16.2	16.1	38.4	18.3

续表 6-2

	Bf109E	Bf109G	Bf110	Fw190
空重/千克	1 900	2 673	5 100	3 470
起飞重量/千克	2 665	3 400	9 890	4 870
发动机功率/千瓦	877	1 100	2 × 1 100	1 268
最大速度/(千米/小时)	560	611	550	647
升限/米	10 500	11 550	10 000	11 400
航程/千米	660	998	900	1 035
生产量/架		35 000	6 050	20 001

德国空军十分重视轰炸机的研制和使用。在大战爆发前,几家飞机公司先后研制了多种有名的轰炸机。道尼尔公司于 1934 年研制出 Do17 型轻型轰炸机,并于 1935 年装备德国空军。它呈上单翼结构,机身细长,因此被称为“飞行铅笔”。1937 年,Do17 在苏黎世赢得了“环飞阿尔卑斯山”奖金。虽然 Do17 在第二次世界大战中一直在使用,但由于它的载弹量只有 800 千克,威力不大,因此起到的作用有限。在 Do17 的基础上,道尼尔公司发展出了 Do217 型双发中型轰炸机,于 1938 年 8 月进行首次试飞。它的最大起飞重量 16.7 吨,载弹量 4 吨,高空最大速度 560 千米/小时,航程 2 150 千米。武器系统除炸弹外还装有 2 挺机枪和 2 门机炮,用于自卫。

容克斯公司研制的容克 87 和容克 88 轰炸机是德国对盟国实施空袭中最出名的军用飞机。容克 87 以其“斯图卡”(德语俯冲轰炸机的音译)的名字极大地震慑了盟国的军民。在欧洲特别是波兰、法国,“斯图卡”简直就是来自空中的毁灭、死亡的同义语。与一般飞机不同,容克 87 简直能近乎垂直地俯冲下来投弹,可以达到 600 千米/小时的最大允许速度。另外,飞机上还装有弦簧发声装置,俯冲时可发出尖锐的啸叫声,更加使人不寒而栗,给人以极大的心理打击。

容克 87 俯冲轰炸机于 1935 年春首次试飞。俯冲轰炸是德国空军首脑、著名王牌飞行员乌德特提出的概念。利用俯冲轰炸可以大大提高轰炸精度,主要作用是通过低空轰炸直接支援地面部队。在设计上,容克 87 外观上非常漂亮,外形简洁明快,具有完美的流线形机身。根据它的具体运用,容克 87 的武器系统可灵活设置。除基本的两挺机枪外,用于远程轰炸时可携带一枚 1 800 千克重炸弹、一枚 500 千克重或 250 千克重炸弹和 4 枚 50 千克重炸弹,近距作战时可装备 6 挺机枪、2 门机炮、4 枚 50 千克重炸弹和大量 2 千克重炸弹。机上装有一台功率为 1 060 千瓦的发动机,最大飞行速度为 410 千米/小时,航程 1 535 千米。在德国发动闪击战时,容克 87 俯冲轰炸机发挥了巨大作用。

容克 88 是一种多用途作战飞机。它于 1936 年 12 月 23 日进行了首次试飞。容克 88 在设计上强调高速度、强攻击能力。这是德国空军首脑埃沃斯提出的概念,要求其速度应达到

500 千米/小时以上。容克斯公司的加勒斯根据这一思想设计了容克 88 快速轰炸机。同时参加这项竞争的还有亨歇尔公司的 Hs127,亨克尔公司的 He119 和梅塞施密特公司的 Bf162。结果容克 88 获胜。加勒斯曾在美国从事过飞机设计工作,获得了承力蒙皮结构的设计经验。因此容克 88 同容克系列飞机并没有血缘关系,完全是一种独立型号。它不愧是一个空战多面手,既可作为重型战斗机、截击机和夜间攻击机使用,也能完成快速轰炸任务,一直是德国空军的主力机种。

典型的容克 88G 的技术数据为:机长 15.55 米,翼展 20.1 米,最大起飞重量 14.67 吨。它装有两台功率为 1 149 千瓦的发动机,最大飞行速度 647 千米/小时,最大航程 2 700 千米。武器系统包括 1 挺机枪和 4 门机炮,载弹量 3 吨。由于德国空军重视轰炸,因此容克 88 也主要作为轰炸机使用,作为战斗机的作用没有发挥出来。它的改型很多,包括容克 188,容克 288 和容克 388 型。

亨克尔公司的 He111 也是德国空军的主力轰炸机,由古恩特兄弟主持设计。这是一种下单翼双发轰炸机,1935 年 2 月 24 日进行了首次飞行。在设计上,He111 也采用了新的空气动力学成果,外形和结构都相当简洁完美,具有良好的操纵性。它的机动性甚至可与某些战斗机媲美。从任何标准看,He111 都堪称 20 世纪 30 年代最杰出的作战飞机之一。其典型技术数据为:翼展 22.6 米,机长 16.4 米,空重 8.68 吨,最大起飞重量 14 吨。安装两台功率为 1 007 千瓦的发动机,最大飞行速度 434 千米/小时,航程 2 060 千米。武器系统除 3 挺机枪和 1 门机炮外,还可携带炸弹。

1939 年 9 月开战前,德国空军的作战飞机无论在数量上,还是在性能上都居于世界领先地位。德国政府和空军首脑过份信赖空军的势力,在闪击战尝到甜头后,便放松了军用飞机的进一步发展。因此在随后的几年中,德国飞机工业在新型作战飞机研制方面并无多大建树。德国空军的俯冲轰炸机和中型轰炸机性能优良,但缺少的是具有战略意义的远程轰炸机。这个缺憾直到大战结束也未得到弥补。战斗机在大战中虽有大量的改进型,但全新设计的高性能战斗机很少问世并投入使用。到大战末期,德国作战飞机的性能和数量优势已经被盟军超过了。

大战前夕,福克-沃尔夫公司研制了 Fw189 双发、双机身重型战斗机,由唐克设计。它是一种战斗轰炸机,于 1937 年提出研制计划。由于机身很重,并可携带炸弹,因此虽装有两台发动机,但速度只有 350 千米/小时。亨克尔的 He219 是在 1941 年 Bf110 和容克 88 日间作战受到沉重打击后,提出研制的夜间型战斗机。它于 1943 年进行了首次飞行。由于其性能不高,服役很晚,前后只生产了 268 架,未能在战争中发挥什么作用。道尼尔公司的 Do335“箭”式战斗机是 1942 年根据快速对地攻击要求研制的双发重型战斗机。它的布局很奇特:两台发动机分别安装在机头和机身尾部,带动一副推进式旋翼和一副拉进式旋翼。它的起飞重量达 6.53 吨,发动机单台功率 1 306 千瓦。Do335“箭”于 1943 年 10 月 26 日进行了首次试飞。据称它的最大速度达到 732 千米/小时。由于还没有发展成熟,因此没有在战争中使用过。

第2节 英国空军的作战飞机

英国是世界第一个拥有独立空军的国家,到第二次大战结束时,英国皇家空军是世界最强大的空中力量。战后重建工作和经济萧条以及政治问题不可避免地影响到军事力量的削减。由于英国皇家空军的建立主要是战时对敌人实施报复性轰炸的动机促成的,并非基于长远的需要。和平时期的到来,一些高层人士特别是政界官员便开始向军队包括空军开刀了,这样似乎可以减轻一些经济压力。

1919年2月,著名航空军事学家特伦查德再次担任皇家空军总参谋长。他意识到空军规模的裁减势不可免,因此必须设法保存一定的势力,并使其具有迅速发展的能力。他认为,皇家空军的基本结构应当保留下来,同时还应继续完善,以使其更加高效;作战中队的数量并不重要,而后勤方面的维护、训练、装备和支援因素举足轻重。因此他指出,在空军预算锐减的情况下,目前的主要任务是:“按驻扎在国内和海外最基本的标准减少空军中队的数量,集中我们的剩余资源培养空军军官和勤务人员。”于是,特伦查德领导建立了一些飞行学校和飞行教官学校。考虑到技术发展对空军的巨大价值,又建立一批航空新技术试验站。为保证战时有足够的飞行员,特伦查德又采取了短期培养志愿者的方法,以备将来应召入伍。

战后,强硬派人物温斯顿·丘吉尔担任了英国航空大臣。他也是强化英国空军的热情鼓吹者。他同特伦查德联手,对英国皇家空军进行了艰难的战后重建工作。到1920年3月,皇家空军共有25个飞行中队,同时还准备再组建8个中队。

1923年,塞谬尔·霍尔(S. J. G. Hall, 1880—1959)担任了航空大臣。看到皇家空军只有35个飞行中队,他立即在国防委员会下成立了一个分委员会,研究三个对皇家空军至关重要的问题:第一,皇家空军与皇家海军的关系;第二,皇家空军和皇家陆军的关系;第三,如何确定皇家空军在国内和驻扎海外的中队数量标准。前两个问题通过明确陆军和海军航空兵的职责和管理加以解决。关于第三个问题,该委员会在1923年6月20日的报告中指出:“除了……对空中力量的基本需求外,英国的空中力量还必须包括足够的国土防御力量以抵抗来自最强大的敌国空中力量的袭击……在第一种情况下,国土防御力量应包括52个中队……本报告的结论是:还应给皇家空军增加34个飞行中队的力量。这项计划最晚应在5年实现。”

20世纪30年代初,国际局势发生了很大变化。英国空军首脑强烈要求政府增强空军势力。国际关系的紧张加上1932年日内瓦裁军会议的失败,终于使英国放弃了“十年规划”,开始重视重整军备,扩大空军规模的问题。1934年7月英国制定了新的空军扩建计划:到1939年皇家空军在国内的飞机达到960架,加上海外27个中队,共拥有飞行中队111个,一线飞机1252架。

对于这项计划,一些富有远见卓识的人仍感到保守。丘吉尔指出,德国空军到1937年将翻一番,达到英国空军的两倍,他建议修改计划。这个建议被鲍特温(S. Baldwin)首相驳回。为了达到限制航空兵规模的目的,鲍德温派出外交部长西蒙(J. A. S. Simon)访问德国,商谈裁

减空军兵力问题。在向英国内阁提交的报告中,西蒙指出,德国空军势力已达到英国空军的水平。英国内阁进一步获悉,戈林曾宣称德国空军到1935年底将拥有2000架飞机。这使英国政府于1935年年中制定了新的计划即“阶段C”计划:皇家空军将拥有70个轰炸机中队和35个战斗机中队,飞机总数2017架。

1935年至1936年间,战争的气氛更加浓厚。1936年2月,英国政府决定进一步扩充空军,制定了“阶段F”计划,要求在1939年3月31日前实施完成。该计划除将作战飞机数量增加到2516架外,还重点强调进一步用中型和重型轰炸机代替轻型轰炸机。该计划还要求,立即用政府资金改建汽车工厂,使之成为能生产各型飞机的“隐形”飞机工厂,以备主要飞机工厂受到破坏后仍能大批生产作战飞机。1938年3月13日纳粹德国吞并奥地利后,英国政府更加感到事态的严重性,又提出了“阶段L”计划。它要求皇家空军扩大到180个飞行中队,作战飞机2863架的规模。1938年9月30日臭名昭著的慕尼黑协定签定后,英国政府又制定了“阶段M”计划,增加重型轰炸机和战斗机的数量,使之分别达到1360架和800架。

第二次世界大战爆发后,英国皇家空军的规模不断扩大,第一线作战飞机的拥有量从1939年9月3日的1911架增加到1945年的9200架。新扩军计划的不断制定和空军规模的急剧扩大,极大地刺激了英国航空工业的发展。到1939年秋大战爆发时,英国空军作战飞机的性能已近乎可与德国同类飞机相媲美。随着战争的深入,英国的新式飞机开始赶上和超过德国的飞机了。

英国一直拥有很强的飞机研制和生产能力,飞机生产厂家有20个以上。与德国不同的是,英国一直没有停止过飞机研制工作。在二三十年代,这些工厂研制并试飞过的飞机型号达百种以上。这些工作为英国航空技术打下了坚实的基础并积累了丰富的经验。

但是,英国航空技术的发展步伐是相当缓慢的,很少出现优秀的作战飞机。其原因是多方面的。首先,20年代初英国政府对待空军的政策摇摆不定。第二,英国对航空企业没有有力的财政扶持。第三,军方向企业招标研制新机时,各种规定和限制太多,不鼓励创新。第四,英国航空界在飞机设计上偏保守,采用新技术相当谨慎。这就使英国在20年代研制的各种飞机基本模式很少有大的变化,进步不大。由于民航的发展,航空竞赛活动的开展,航空企业常常自筹资金研制新型飞机。加之英国的航空理论研究和发动机技术走在世界前列,从而使英国航空技术和飞机研制具有很大的潜力。

英国一直有重视飞机稳定性的传统,因此20年代英国设计的飞机仍以双翼机为基本模式。这一时期有许多设计师和航空工厂对研制快速战斗机感兴趣。霍克公司的希德尼·卡姆(S. Camm)大概是英国第一位反传统的飞机设计师。他一直梦想研制全金属单翼机。1925年,他设计的“木鸡”运输机在商业上获得了很好的名声。作为新设计的第一步,后来他又设计了具有金属骨架的双翼战斗机“圆号山”,于1925年5月进行了试飞。

著名飞机设计师雷金纳德·米切尔(R. J. Mitchel, 1895—1937)是较早尝试单翼设计的先驱。1925年他为秀泼马林公司设计了S.4竞速飞机。它采用中单翼,外形设计简洁,装有一台功率为522千瓦的发动机,于1925年9月13日创造了363千米/小时的速度纪录。后来他

又改进设计了 S.5 竞速飞机。1927 年,皇家空军首次使用 S.5 飞机参加了著名的施奈德奖竞赛。结果 S.5 以 452 千米/小时的速度夺得第一名。尔后米切尔又对它进行了改进,安装了先进的罗罗发动机。1929 年 9 月 12 日, S.6 改进型以 530 千米/小时的速度创造了新的速度纪录。1931 年, S.6B 再次以 547 千米/小时的速度在施奈德竞赛中获胜。

1927 年英国航空部提出新的截击机设计规范,要求单座、高升限、高速度,至少安装一对机枪。费雷尔公司的利尔·罗贝尔(L. Robert)设计了“萤火虫”双翼战斗机,于 1929 年 2 月 5 日首次试飞。它的性能不高。接着,航空部又要求研制高爬升率战斗机。韦斯特兰公司的阿瑟·达温波特(A. Davenport)设计了一种下单翼机。德·哈维兰公司研制了下单翼战斗机 DH77。维克斯公司也研制了一种下单翼飞机。卡姆则设计了“大黄蜂”双翼机。卡姆后来在“大黄蜂”战斗机基础上,研制了著名的“愤怒”式战斗机。以当时的标准,“愤怒”式几乎达到了双翼飞机的顶峰。它在 1929 年首飞时速度超过了 320 千米/小时。“愤怒”式于 1930 年 8 月投入生产。

1930 年,英国航空部根据国际形势和航空技术的进步,发布新的研制战斗机规范 F7/30,要求研制高飞行速度、高巡航速度、高爬升率、大航程战斗机,并从作战角度着眼将飞机火力增加一倍。这个文件一改过去的保守状况,使英国战斗机研制进入一个新时期,对战斗机设计是一场全新的挑战。最富戏剧性的是单翼机和双翼机之间的竞争。为了达到规定的速度,单翼机是首选方案,但稳定性好又要选择双翼机。其他方面的选择是否采用可收放起落架、变距旋翼、新型枪舱、升降副翼以及承力蒙皮等。尽管有许多家公司参与竞争,由于指标高、跨度大,多家公司都败下阵来。单翼机在性能上明显超过双翼机,但由于布里斯托尔公司单翼机的失事,更使人们怀疑单翼机的安全性和操纵性。要彻底击败 20 多年来建立起来的双翼机成熟模式,还必须克服许多技术和感情方面的障碍。为单翼机牢固确立它的地位贡献最大的两个著名设计师是卡姆和米切尔。他们以丰富的经验、良好的技术素养和深邃的眼光,专注于单翼战斗机的设计,终于取得了革命化的成就。

F7/30 招标规范于 1935 年底结束,结果皇家空军订购了格罗斯特公司的“长手套”双翼机。1935 年 4 月 3 日经皇家空军鉴定后,将其改名为“斗士”式。它采用一台功率为 627 千瓦的发动机,最大飞行速度 404 千米/小时。后来经过发展,格罗斯特公司于 1938 年批量生产了“斗士”MKII 型。它是英国空军订购的最后一种双翼战斗机,可以看作是英国战斗机革新的分水岭。

1934 年,英国航空部又制定了新的战斗机研制规范 F5/34,要求研制最大速度 440 千米/小时以上、装 6 至 8 挺机枪的新型战斗机。结果又有许多公司参与竞争。这一阶段最引人注目的特点是双翼机完全消失了。维克斯公司于 1936 年提出了“恶毒”式方案,最大速度达到 499 千米/小时。格罗斯特公司研制的战斗机于 1938 年 3 月首次飞行,速度达 504 千米/小时。这两种飞机比过去的一系列飞机先进得多,但都未能服役。波尔顿-保罗公司于 1937 年 8 月 11 日试飞了 P.82“无畏”式战斗机,采用下单翼常规单座布局,机身设计流畅,线条优美,稳定性也不错。它于 1937 年初批准投产,1939 年 12 月装备空军。改进型“无畏”MKII 战斗机换

装了大功率发动机,飞行速度达到 500 千米/小时。“无畏”式虽然投入了服役,性能也相当出色,但与同时期出现的“飓风”式和“喷火”式相比则大为逊色。由于速度仍然较慢,它在与德国战斗机交战时很难生存,因此发挥的作用不大,生产量也只有 1 000 架。

卡姆对自己研制的“愤怒”式战斗机念念不忘。1933 年 8 月他根据 F4/34 规范提出了新的设计方案,大量采用了“愤怒”式的设计特点。他带着这项设计同航空部技术发展部经理进行了大量讨论。这架最终被命名为“飓风”式的战斗机虽然是全金属单翼结构,但采用了“愤怒”式的机身结构和尾翼形状。从技术角度看,“飓风”式是相当经典的,它没有采用当时普遍应用的承力蒙皮结构,其他新技术应用也不多。因此它可以说是经典结构与现代模式的结合。由于卡姆具有丰富的战斗机设计经验,使得这种结合非常完美。它被称为是英国第一种真正的飞行员的飞机。这指的是它驾驶起来平稳、和谐,易于操纵。“飓风”于 1935 年 11 月 6 日进行了首次飞行。1936 年 2 月 7 日“飓风”式作了小改后的第一次试飞,速度达到 504 千米/小时。由于它的出色性能,英国空军大量订购了“飓风”战斗机。

“飓风”式后来又进行了系列改进,使其性能进一步得到提高,最大速度可达 624 千米/小时。“飓风”战斗机在第二次世界大战中的表现十分出色。由于低空性能好,盘旋性能好,且结构坚固,使它既能有效地攻击 Bf109,又能在受伤情况下得以生存。它与“喷火”式相互补充,在不列颠之战中,沉重打击了当时德国的作战飞机。

与“飓风”相比,“喷火”式则是真正的现代战斗机,是各种新技术结合的产物。它可追溯到曾获得施奈德奖杯的 S.5 水上飞机。米切尔在 1933 年设计的 224 型机虽然没有获得很大成功,但他不断致力于对它的改进,先后设计了 300 型和 K5054 型飞机。由此设计的“喷火”原型机于 1935 年 1 月开始生产,1936 年 3 月 5 日进行了首次飞行。在试飞过程中,各种报告对它的反映很好。英国空军决定大量订购这种新型战斗机。可惜米切尔因长期劳累而病倒,于 1937 年夏在年仅 42 岁时去世。史密斯(J. Smith)继之将“喷火”式投入生产,并承担改进工作。

“喷火”战斗机无论从技术上还是性能上,都是英国当时最先进的战斗机。它采用的新技术包括:单翼结构、全金属承力蒙皮、铆接机身、可收放起落架、变距旋翼和襟翼装置,机身小得只能装一名飞行员。在英国,米切尔是相当激进的设计师了。但与德国人相比,他仍属保守型的。他采取最小翼载荷设计,没有采用复杂的开缝机翼和升降副翼。因此“喷火”的机动性比德国的同类战斗机略差。但“喷火”的稳定性更佳,可大大减轻飞行员的负担。

“喷火”生产型于 1938 年 8 月装备空军。在战争年代,“喷火”进行了多达 40 几种改型,形成了三个重要系列。“喷火”I 型的最大速度为 557 千米/小时。“喷火”F 型的最大速度达到 628 千米/小时。1943 年出现的“喷火”式改进型最大速度达到 730 千米/小时(一说 750 千米/小时)。据说“喷火”式的后继型“泄火”式最佳飞行状态下,速度竟高达 795 千米/小时,这已接近活塞式飞机的极限了。由此可见它的改进潜力是相当大的。“喷火”是英国第二次世界大战期间最主力的战斗机,在不列颠之战中立下了不朽功勋。

“飓风”和“喷火”战斗机的性能指标如表 6-3 所列:

表 6-3 “飓风”和“喷火”战斗机性能指标

	“飓风”	“喷火”
机 长/米	9.83	10.04
翼 展/米	12.19	11.26
翼 面 积/平方米	23.97	22.63
空机重量/吨	2.983	3.247
起飞重量/吨	3.648	5.121
发动机/千瓦	955	1 134
最大速度/(千米/小时)	625	628
升 限/米	10 850	13 105
航 程/千米	1 480	1 553
武器系统	4 门机炮外加炸弹	4 门机炮外加炸弹
生产量/架	14 233	20 351

英国空军在大量采购“飓风”和“喷火”战斗机的同时,还招标研制具有强大火力的战斗机,要求安装 12 挺机枪,以攻击德国的轰炸机。这导致两种飞机问世。一是“火神”式,于 1939 年 10 月 6 日首次试飞;另一种是霍克公司的“台风”式,仍由卡姆设计,1940 年 2 月 24 日首次飞行。它们的特点是火力强大,分别装有 12 挺机枪。改进的“台风”式的最大速度达到 650 千米/小时。它的低空性能很好,截击德国的 Fw190 战斗机相当成功。“台风”式可作为战斗机使用,也可作为对地攻击机使用。它的生产量达到 3 317 架。布里斯托尔公司在弗利斯领导下,研制了双发远程战斗机“英俊战士”,1939 年 7 月 17 进行了首次飞行,最大速度 520 千米/小时。由于航程达 1 883 千米,因而主要用于夜间远程截击。它的火力很强,装有 4 门机炮 6 挺机枪。

德·哈维兰公司研制的“蚊”式战斗机在第二次世界大战中相当有名。它虽然是单翼机,但采用的却是相当原始的木制结构。“蚊”式战斗机是著名飞机设计师毕晓普(W. Bishop)在 1934 年为参加越野竞赛设计的 DH88 飞机的基础上改进而来的。虽是木制机身,但流线形非常好,外形异常简单漂亮。两个机翼下各吊装一台发动机。它于 1940 年 11 月 25 日首飞。“蚊”式飞机的起降、飞行、稳定和操纵性能都很好。最初它是作为轰炸机研制的,但由于时速达 595 千米,比一般战斗机还快,因此也用于空战、侦察和反潜和夜间作战。它共生产了 7 781 架。

英国 30 年代前期服役的轰炸机大都属于轻型。1935 年 7 月 9 日,考虑到重型轰炸机的威力,航空部决定研制采用先进技术的轰炸机。布里斯托尔公司研制了“布莱海姆”轰炸机,于 1936 年 6 月 25 日首飞。它的载弹量只有 454 千克,但速度很高,达到 456 千米/小时。原型机在试飞时,速度竟比刚刚服役的“斗士”战斗机还快了 80 千米。于是皇家空军欣然订购了这种飞机。

第二次世界大战爆发前后,英国研制出了四种著名的轰炸机。它们在对德国实施纵深轰炸中发挥了巨大作用,立下了不朽功勋。第一种是维克斯公司研制的“威灵顿”轰炸机,为双发、高单翼、远程轰炸机,于1936年6月15日首飞,载弹量2.5吨。第二种是肖特公司研制的“斯特林”轰炸机,1939年5月14日首次飞行。它是一种重型轰炸机,载弹量高达6.35吨。第三种是汉德莱·佩季公司研制的远程重型轰炸机“哈里法克斯”,于1939年10月25日首次飞行。它的载弹量为4.54吨。第四种是阿维罗公司研制的“兰开斯特”式轰炸机,于1941年1月9日进行首次飞行。它装有四台功率为1231千瓦的发动机,载弹量高达10吨。“兰开斯特”轰炸机被看作是英国二战时期研制的最成功的重型轰炸机,作战损失率在上述四种轰炸机中最低。这四种轰炸机都有多种改型,是二次大战期间英国及盟国的主力轰炸机。它们的生产量分别是:“威灵顿”11461架;“斯特林”1430架;“哈里法克斯”6176架;“兰开斯特”7366架。

英国的航空技术水平在第二次世界大战前后获得了极大的发展,生产能力急剧扩大。据统计,二战期间英国共生产各种飞机9.35万架。

第3节 苏联的军事航空技术

20世纪初到第一次世界大战结束时,俄国的航空技术落后于西方,航空兵力量也十分弱小。当时俄国虽有几家飞机工厂,但除了西科尔斯基设计出本国的飞机外,其他工厂都是引进制造外国飞机。俄国在1909年曾用军费购买了5架“莱特式”飞机和几架英国飞机,开始建立飞行学校。到1914年8月第一次世界大战爆发时,俄国共有飞机263架。当年12月,俄国曾用10架伊里亚·莫罗梅茨飞机建立了第一个航空兵大队。大战期间,俄国的航空兵没有发挥多大的作用。到1917年11月俄国政府共拥有各种飞机1000架。

十月革命后,苏维埃政府十分重视航空兵的发展壮大。1917年12月20日,在陆海军人民委员部设立了共和国航空兵全俄管理委员会。不久,陆海军人民委员部于1918年1月25日发布建设一支正规工农红色空军的命令。1918年5月24日,工农红色空军总局成立。为了领导各个方面军航空兵部队的行动,1918年9月在共和国革命委员会参谋部设立了作战军队空军指挥部。1924年,空军总局改组为工农红军空军指挥部,隶属于苏联革命军事委员会。

1918年2月苏联共组织了5个航空兵支队,1918年11月达到38个支队。到1920年12月则达到83个支队。在国内战争期间同时在各个方面的军作战的苏联飞机共有350架。与此同时,苏联还组建了著名的儒科夫斯基空军学院和一批飞行学校,通过引进和仿制外国飞机培养了一批苏联自己的飞机设计人员。

国内战争结束后,苏联航空兵力量有了较大增长。1923年到1928年间,航空兵飞机拥有量由400架增加到1100架。这一时期,苏联的飞机主要从外国进口,购买法国、德国、意大利和英国的飞机就占了800架。国内战争结束后苏联很快恢复和扩建了航空企业。第一个五年

计划期间,飞机产量开始上升。1931年,苏联航空兵共拥有飞机1300架,1932年拥有2200架。根据苏军的战略思想,这些飞机大部分是战斗机或攻击机,用于支援地面部队。受杜黑制空权理论的影响,苏联也相当重视战略轰炸机。“图波列夫”TB-3就是早期轰炸机研制的尝试之一。

30年代苏联的航空科研和生产能力也在迅速提高。1928年苏联只有18个主要飞机和发动机生产企业,到1931年便增加到30个。主要靠购买外国飞机的历史已基本结束。重建和新建一批著名的飞机设计局的工作也有了显著的成绩。早期苏联只有波利卡尔波夫设计局和图波列夫设计局规模较大。到30年代,又出现了伊留申设计局、米高扬-格里维奇设计局、拉沃契金设计局、苏霍伊设计局、雅克夫列夫设计局和一些发动机设计局。

苏联空军在数量和质量提高的同时,其改组工作亦在进行。1924年,航空兵大队成了基本建制单位。1933年,建立了遂行独立战役任务的重型轰炸机军团。1935年,根据国外航空兵的发展状况,苏联空军新组建了训练部和技术部,分化出国土防御和战略轰炸两个司令部。1936年,建立了第一个重型轰炸机战役军团特种使命集团军。苏德战争开始后,苏联空军的编制进行了调整。到1941年年中,苏联空军在总体编制上分为:统帅部航空兵(远程轰炸航空兵)、方面军航空兵(军区空军)、集团军航空兵和军属航空兵(军属大队)。与此平行的还有国土防御司令部和海军航空兵。鉴于远程战略轰炸的作用日益明显,1942年4月,苏联成立了相对独立的第18集团军战略轰炸航空兵。1942年5月,在前线航空兵中建立航空兵战役军团空军集团军。1942年秋,开始组建最高统帅部预备队的独立航空兵种。

战争使苏联空军势力迅速膨胀。在航空兵的编制上,战时最大的独立作战单位是空军集团军。由于任务的不同,空军集团军最大的拥有飞机2200架,最小的拥有飞机600架,平均也达1250架。最大的空军集团军下面的编制达20个空军师。在师以下则是空军旅。到第二次大战末期,苏联空军共拥有18个集团军,总兵力22500架各种飞机。如此之强的兵力使苏联在战争末期可以在一次战役中集结7500架飞机。

对苏联航空工业来说,1928年到1935年是从仿制到独立设计的过渡阶段。最早建立的两个设计局作了分工并大为加强。图波列夫设计局基本上以设计全金属多发动机轰炸机和旅客机为主,波利卡尔波夫设计局则以设计轻型战斗机为主。1930年苏联空军装备了波利卡尔波夫设计的伊-3战斗机和波-5侦察机,以及图波列夫设计的TB-1轰炸机。1925年试飞的TB-1是第一种苏联设计和成批生产的重型轰炸机。它采用张臂式单翼布局,波纹硬铝蒙皮结构。它的起飞重量为7800千克,能装3500千克有效载荷,载弹量1000千克时航程为1350千米,速度约为200千米/小时。TB-1轰炸机奠定了苏联后来重型轰炸机的基本模式,即张臂式单翼布局。TB-1后来又改进而成TB-3轰炸机,它的性能有了进一步提高,于1933年大批生产。

二战开始前,苏联使用的主要作战飞机有伊-15和伊-16战斗机以及CB快速轰炸机和DB-3重型轰炸机。伊-15和伊-16战斗机是1933到1934年研制的。前一种是双翼机,后一种是单翼机。伊-15战斗机的最大速度为360千米/小时,机动性很好。伊-16是苏联第

一种装有可收放起落架和变距旋翼的单翼战斗机,飞行速度 454 千米/小时,航程 820 千米,速度比伊 - 15 快了 90 千米/小时。改型后的伊 - 16 最大速度达 525 千米/小时。1939 年前,伊 - 15 和伊 - 16 是苏联战斗机的主力。

CB 快速轰炸机是图波列夫设计局的产品。它具有硬铝蒙皮,而非早期的波纹板型式。因此减少了阻力。它的飞行速度达到 420 千米/小时,载弹量 500 千克。DB - 3 是伊留申设计的远程轰炸机。它是全金属结构,双发张臂式单翼布局。DB - 3 后来作了重大改进,将发动机功率由 571 千瓦增加到 821 千瓦,并重新将其命名为“伊尔 - 4”。它的速度达到 445 千米/小时,航程 4 000 千米,最大起飞重量 10 吨,载弹量 1 吨。这几种轰炸机产量很大。“CB”快速轰炸机的产量是 6 656 架,“DB - 3”和“伊尔 - 4”则达到 6 784 架。

西班牙内战结束后,苏联开始意识到自己的不足。为了改善这一情况,1939 年苏联召开了两次设计师、厂长、科学家和有关人员参加的会议,对各设计局的具体工作进行了讨论,并作出相应的决议,为设计新型飞机创造了必要的条件。同时还改组和兴建了一批航空工厂。由于这些行动,苏联在苏德战争开始前,航空工业已开始全面振兴。1938 年苏联有 20 个飞机生产厂和 10 个发动机生产厂,到 1941 年飞机厂增加到 28 个,发动机厂增加到 14 个。

在 1941 年 6 月,纳粹德国对苏联进行的突然袭击之前,苏联航空工业经过改组和加强,一批新型军用飞机已经开始研制。拉格、米格、雅克等系列战斗机发展最快,几乎是同时进行飞行试验的,间隔只有 2 到 3 个月。1940 年五六月间,未等试验结束,由于战争已迫在眉睫,仅根据初步试验结果就把这几种战斗机匆匆投入成批生产。然而,由于这些新飞机的设计和生产起步太晚,生产数量很有限,1940 年只有 64 架“雅克 - 1”战斗机,20 架“米格 - 3”战斗机,2 架“彼 - 2”轰炸机。到 1941 年上半年才生产了 2 000 多架。苏德战争初期,苏联参加作战的绝大多数飞机仍然是旧式的。它们远不如德国的战斗机和轰炸机。欧洲战争爆发和闪击战的运用,使苏联领导人认识到航空兵的巨大价值和自己的不足,开始加强飞机研制和生产。1940 年开始设计的新型作战飞机很快进入试验生产阶段。

“拉格 - 3”是拉沃契金设计局的产品。它是全木制单翼机,飞行速度为 570 千米/小时,装一门 20 毫米机炮和一挺 12.7 毫米机炮。“米格 - 1”和它的改型“米格 - 3”,是米高扬 - 格里维奇设计局专门设计的高空战斗机。“米格 - 3”是层板和铝合金全金属蒙皮的混合式结构单翼机,起飞重量 3 360 千克,安装一挺机枪和一门机炮。“雅克 - 1”飞机是雅克夫列夫设计局设计的第一种战斗机。雅克系列飞机具有重量轻、易于驾驶、设计简单、采用易得的材料制造、适于大量生产等特点。它的重量约为 2 900 千克,最大平飞速度为 580 千米/小时。军械系统包括一门机炮和两挺机枪。

“伊尔 - 2”是伊留申设计局设计的强击机,于 1938 年设计,1939 年生产。它在苏德战争中成为使用最广泛的军用机,在配合苏联陆军部队作战方面起了很大作用。它的产量也许是全世界军用飞机中最多的,战争期间一共生产了 36 136 架。它的改型“伊尔 - 10”也生产了 4 966 架,总产量达到 41 000 架。这也许是空前绝后的纪录。这些飞机的技术性能数据如表 6 - 4 所列:

表 6-4 飞机技术性能数据

	拉格 - 3	米格 - 3	雅克 - 1	伊尔 - 2
翼展/米	9.8	10.28	10	14.6
机长/米	8.9	8.15	8.48	11.6
翼面积/平方米	17.5	17.5	18.7	38.5
空机重量/吨	2.65	2.8	2.33	4.2
起飞重量/吨	3.19	3.36	3	6.36
发动机/千瓦	821	1 402	783	1 306
最大速度/(千米/小时)	560	648	585	430
升限/米	9 000	11 000	10 000	6 000
航程/千米	650	765	700	765
首飞日期	1940.7.14	1940.4.5	1940.1.13	1939.12.30
总生产量	6 528	3 322	8 721	36 136

对于德国的坦克,“伊尔-2”强击机是极其有效的攻击性武器。它的装甲很厚,有很强的生存能力,武器火力很猛,本身就是一种“飞行坦克”。“伊尔-2”的总重接近 6 000 千克,装甲占 700 千克,为易损部分提供保护。它的最大飞行速度为 420 千米/小时。军械包括两门 23 毫米机炮,3 挺机枪,4 枚火箭弹,600 千克炸弹。“伊尔-2”从战争一开始就投入战斗,大出德国军方的意外,德国还没有同类型的作战飞机。

“彼-2”是一种前线高速俯冲轰炸机,在战争初期就投入了生产。它装有两台功率为 821 千瓦的活塞发动机,空气动力外形良好,阻力低,全金属结构,尺寸小,总重量约为 8 520 千克,而速度却达到 540 千米/小时,比它的前一代“CB”轰炸机快 120 千米/小时。“彼-2”的航程为 1 200 千米,可载 600 千克炸弹,超载时可增加到 1 000 千克。为了防御敌方战斗机,它还装有 5 挺机枪。该机共生产了 5 256 架。由于那时没有战斗机护航,所以只能夜间出动。后来有了航程远的战斗机护航后,它就能执行白天轰炸任务。

斯大林格勒战役使战争局势向有利于苏联的方向转化。这种转变绝非偶然。这是由于苏联飞机产量日益增长和性能不断提高的结果。1943 年夏,苏联空军的装备大大加强。苏联飞机的飞行和战术性能也有很大提高,在前线出现了新型的“拉-5”、“雅克-9”和“雅克-3”等高性能战斗机。

“拉-5”飞机于 1942 年出厂。它是在“拉-3”战斗机的基础上加装大功率发动机而成的。经过进一步改进,减轻重量和改善气动外形,又形成了“拉-7”战斗机。结果其最大速度提高到 650 千米/小时。拉式飞机的特点是火力强。“拉-5”装二门机炮,“拉-7”装三门机炮。三种型号的拉式战斗机总产量达到 2 万 2 千多架。雅克-9 于 1942 年出厂,最初在斯大

林格勒前线投入战斗。装备不同的发动机时,它的飞行速度分别达到 505 千米/小时和 700 千米/小时。“雅克 - 9T”装有 37 毫米和 45 毫米大口径机炮,无论是对付德机还是对地攻击都很有效。在苏联开始反攻时,要求增加飞机的航程,因此出现了“雅克 - 9D”和“雅克 - 9DD”,把航程分别提高到 1 400 千米和 2 200 千米。

1943 年,雅克夫列夫在“雅克 - 1”的基础上,又设计了“雅克 - 3”战斗机。它是二战中苏联制造的重量最轻、机动性最好的战斗机。“雅克 - 3”的起飞重量仅为 2 650 千克,气动外形有了很大改进,阻力很低,翼面积减小,由木质翼梁改为铝合金翼梁。装备不同发动机的“雅克 - 3”的速度在 660 千米/小时至 700 千米/小时。由于“雅克 - 3”的气动性好,翼载荷和功率载荷很低,因此它的爬升率和速度更大,垂直机动性也很优越。“雅克 - 3”装有两门机炮,或一门机炮和两挺机枪。

于此同时,苏联的强击机和轰炸机的性能也有很大改进。“伊尔 - 2”强击机经过改装,成为全金属双座强击机“伊尔 - 10”,其军械系统与“伊尔 - 2”相同。它装的发动机功率高达 1 492 千瓦。在苏德战场上,“伊尔 - 10”作战显示出很大的威力,被德国军队称作“黑色死神”。表 6-5 是二战后期苏联著名战斗机的技术数据:

表 6-5 二战后期苏联著名战斗机技术数据

	雅克 - 3	雅克 - 7	雅克 - 9	伊尔 - 10	拉 - 5	拉 - 7
翼展/米	9.2	10	9.74	13.4	9.8	9.8
机长/米	8.48	8.5	8.35	11.1	8.5	8.5
翼面积/平方米	14.8	17.2	17.15	30	17.5	17.5
空机重量/吨	2.105	2.33	2.39	4.68	2.8	2.8
起飞重量/吨	2.665	3.05	3.115	6.335	3.36	3.36
发动机/千瓦	1 231	1 313	940	1 492	1 402	1 402
最大时速/(千米/小时)	655	520	602	560	660	670
升限/米	10 800	10 000	11 000	7 000	11 000	11 800
航程/千米	900	600	1 400	830	765	800
首飞日期	1943.4	1941.	1942.7	1943.	1942.3	1944
总生产量/架	4 848	6 399	16 759	4 966	15 000	5 752

1943 年,图波列夫设计局设计的“图 - 2”前线俯冲轰炸机开始成批生产。它装有两台功率为 1 380 千瓦的发动机。在 5 400 米的高度上,“图 - 2”的最大平飞速度为 547 千米/小时。“图 - 2”乘员四名,正常起飞重量 10 380 千克,可载炸弹 1 000 千克,超载时可载 3 000 千克炸弹。机上安装了两门 20 毫米机炮和三挺 12.7 毫米机枪,正常航程 2 100 千米。“图 - 2”轰炸机的产量是 2 527 架。

从 1942 年起,苏联飞机产量就超过了德国。1942 年苏联航空工业共生产了各种飞机

25 400架,而德国仅生产了 14 700 架。到 1943 年,苏联各种飞机年产量进一步增长到 35 000 架,德国飞机产量只有 25 300 架。两年间苏联空军飞机拥有量比德国空军多了 20 000 多架。卫国战争期间,苏联共生产了 10.5 万架作战飞机。在质量上,苏联飞机的性能也开始全面超过德国,各种新型飞机不断装备苏联空军。在 1943 年初的苏德战场上,苏联空军终于把制空权夺了回来。

第 4 节 美国的航空领先地位

第一次世界大战结束时,美国航空兵的力量得到了较大增长。但大战后的美国航空兵的地位、编制和自主性不断下降。由于对航空兵不重视,20 世纪 20 年代初美国航空兵几乎没有装备新型飞机。现有的旧飞机性能不高,经常出事。仅在 1920 年 6 月到 1921 年 6 月一年间,大小飞行事故就达 330 起,死亡飞行员 69 人。1924 年中期,陆军航空兵拥有各种飞机 754 架,战斗机和轰炸机只有 136 架,其余是侦察机和教练机。从作战飞机的数量看,这是一支不能打仗的军队。

面对这一悲惨局面,陆军航空兵司令麦森·帕特里克(M. Patrick)少将意识到应当扩大航空兵的编制,作战飞机的比例至少应达到侦察机的四倍。由于没有资金,帕特里克在权力所及的范围内作出一项决定,把研制与发展资金用于保证陆军航空兵装备的先进性上,一旦出现危机,能迅速将正在试验的新机种投入批生产。

整个 20 世纪 20 年代前期,陆军航空兵一直在争取独立和扩编。尽管有一些国会议员和国会专门委员会的支持,但未能取得成功。1925 年,美国总统柯利芝指示一个委员会调查航空兵的独立问题。该委员会作出的结论是反对航空兵独立,但支持航空兵升格为兵团,并享有一些特权。这样在 1926 年 7 月 2 日,美国陆军航空兵升格为陆军航空兵团。根据该委员会的建议,在增加人力的同时,还制定了一个 5 年采购 1 800 架飞机的计划。这项计划没有很好地执行,到 1932 年 6 月,陆军航空兵团的飞机数为 1 709 架。

1932 年 11 月,一贯鼓吹强化海军、扩大航空兵力量的纽约州州长罗斯福(F. D. Roosevelt, 1882—1945)当选美国总统,为航空兵的前景带来光明。较早的信号之一是陆军部预算削减额度有所减少。1935 年 10 月,麦克阿瑟(D. MacArthur, 1880—1964)再次出任陆军部长。他从当年陆军总预算的 3.6 亿美元中拨出 4 500 万美元给航空兵团。

1935 年是意大利入侵埃塞俄比亚,希特勒正式宣布建立空军和美国国会通过庞大的社会改组法案的一年,同时对美国的军事航空也是极为重要的一年。贝克委员会受命研究航空兵的组织问题。虽然该委员会没有提出建立独立空军的要求,但建议建立一个统管航空兵团全部作战部队的航空统帅部,航空兵团的飞机数至少应达到 2 320 架。1935 年 4 月 1 日,航空统帅部正式在弗吉尼亚建立,由弗兰克·安德鲁斯(F. M. Andrews, 1884—1943)担任司令官。他十分重视战略轰炸机的装备。他曾计划在美国东、西海岸建立轰炸机联队,每个配备 25 架当

时正在发展的 B - 17 战略轰炸机。但这个计划没有被军方高级领导人批准。因为根据美国的战略,航空兵的目的是防御,因此主要力量应集中在战斗机、轻型轰炸机和中型轰炸机上。

1938 年 9 月,眼光敏锐的阿诺德(H. H. Arnold, 1886—1950)担任航空兵团司令。与此同时,当年的奥地利事件和捷克事件使罗斯福总统预言欧洲战争将在 1939 年 9 月到 11 月爆发是不可避免的事情,而美国也终将卷入其中。1938 年底,他指示扩大航空兵的规模,加速飞机生产,未来的几年内应达到每年生产 20 000 架各种飞机的目标。在派出霍布金斯去加州和华盛顿州考察飞机生产的实际情况后,认为这个数字根本无法实现,最后确定为每年生产 6 000 架。

随着 1939 年航空兵的再次调整,美国还在研究航空兵的作用和任务问题。安德森(M. Anderson)上校受命进行这项研究。他们提交的报告指出,航空兵的重要作用之一是灵活和积极的进攻性防御,包括用兵于国土之外。这使得航空委员会进一步提出了“全球防御”理论。这个理论指出,为了保证美国的安全,应建立能跨越大西洋、太平洋和南美洲的战略轰炸机部队,通过向敌方实施远程战略打击使美国本土免受敌人的袭击。在这个理论指导下,美国陆军提出了一项采购 166 架重型轰炸机的计划。当报告提交国会时,国会于 1940 年 4 月 3 日将这个数目削减为只有 57 架。理由是重型轰炸机实际上含有“侵略”的意味。欧洲的事态使国会很快改变了态度。参议员洛奇(H. C. Lodge)告诉阿诺德说,“国会现在会‘立即批准用于国家防御的全部必要的资金,你需要多少尽管开口。’”阿诺德提出了航空兵的计划。国会当即批准拨款 15 亿美元,授权立即建立一支空军。

事态的发展使罗斯福总统又于 1940 年提出了更大胆的飞机生产计划:每年生产 50 000 架飞机。1940 年 7 月至 1941 年 6 月间,陆军航空兵团得到 1 亿美元拨款用于新型作战飞机研制,其中 42% 用于重型轰炸机的发展。新的航空兵发展规划是拥有各种飞机 18 000 架。1941 年 12 月航空兵力量达到 84 个大队,战斗机总数 3 305 架,7 024 架其他型号飞机。海军航空兵到 1941 年 12 月,飞机数量由 2 553 架增加到 5 260 架。

二次世界大战期间美国的航空工业的生产能力迅速提高。根据租借法案,陆军航空兵可以随时淘汰旧飞机,送交盟国使用,同时更新新型飞机。因此陆军航空兵的作战飞机的更新速度相当快。到 1945 年 9 月,陆军航空兵共接收新飞机 158 880 架,其中轰炸机 51 221 架,战斗机 47 050 架。陆军航空兵力量最强时的 1944 年夏拥有各种飞机 79 908 架(包括滑翔机)。

虽然美国诞生了第一架飞机,但美国的航空工业水平在 20 世纪 20 年代以前是十分落后的。尽管已经有相当多的飞机和发动机企业,但美国参加第一次大战后派出的远征军所使用的作战飞机没有一架是美国造的。远征军所接收的 6 287 架飞机中,来自法国的 4 791 架,来自英国的 261 架,仿制英国的 1 213 架。

美国战斗机的研制在战后经历了一个试验期,以寻求未来战斗机设计应采取的方向。在 20 年代中期,寇蒂斯公司和波音公司是美国战斗机的两个主要供应者。寇蒂斯公司的“鹰”系列战斗机曾是陆军的主力战斗机。与该公司竞争的波音 15 型战斗机于 1923 年 4 月 29 日首飞。在采用新发动机过程中,寇蒂斯公司和波音公司继续展开竞赛。寇蒂斯公司继续改进其“鹰”系列飞机,波音公司则于 1928 年开始尝试设计单翼机。结果陆军于 1928 年 6 月选中寇

蒂斯公司的 XP - 10 双翼战斗机。波音公司的单翼机未能取得很大进展,结果又自己投资研制 P - 12 双翼战斗机。

在 20 年代美国的战斗机研制没有取得很大突破。原因主要有两个:一是陆军对先进战斗机没有很迫切的要求,二是美国的发动机比较落后。促使美国陆军决定加速战斗机研制的一个直接原因是 20 世纪 30 年代初马丁公司研制出了当时有名的 B - 10 轰炸机,其速度达 333 千米/小时,比 1931 年时美国的任何战斗机都快。像 P - 12E 和 P - 6E 等战斗机无法截击 B - 10 轰炸机。于是陆军要求研制高速先进战斗机。这个项目又引来了一批竞争者。出现的飞机有洛克希德公司的 XP - 24、联合公司的 YP - 25 单翼全金属战斗机和 P - 30、波音公司的 P - 26 中单翼战斗机和 XP - 29、XP - 32 以及寇蒂斯公司于 1932 年 12 月试飞的 XP - 31“褐雨燕”。结果“褐雨燕”获得了胜利。这是美国陆军最后一种不带收放式起落架的战斗机。

来自德国的威胁和其他国家飞机发展的进展,使美国陆军接连提出新的高性能战斗机招标项目。这使 20 世纪 30 年代后期美国战斗机领域呈现欣欣向荣的局面,参加竞争的公司明显增多。在新一代战斗机竞争过程中,联合飞机公司、渥特飞机公司、寇蒂斯公司和塞维斯基公司一道,确立了一直到喷气时代仍在采用的全金属、下单翼战斗机基本模式。1936 年 4 月 15 日,美国陆军进行了第三次战斗机公开招标。投标战斗机主要有寇蒂斯公司的 75 号机,1934 年 11 月首飞,最大飞行速度 457 千米/小时;联合飞机公司的 PB - 2A,最大飞行速度 442 千米/小时;渥特公司的 V - 141,1935 年 7 月 30 日首飞,最大飞行速度 441 千米/小时;塞维斯基公司的 Sev - 1,1935 年 6 月首飞,最大飞行速度 483 千米/小时。经过方方面面的比较,陆军于 1936 年 6 月 16 日订购了塞维斯基公司的 Sev - 1,并将其改名为 P - 35。P - 35 是美国战斗机开始赶上英、德的标志。

寇蒂斯公司虽然在竞争中失败,但该公司自筹资金对 75 号机进行了改进,由此产生了有名的 P - 36 战斗机,它的飞行速度达到 483 千米/小时。1936 年 7 月陆军订购了几架原型机用于作战适应性试验,发现性能很好,又于 1937 年 7 月 7 日追加订货 210 架。P - 36 战斗机后来得到了系列改型。其中“鹰”75R 的最大飞行速度达 530 千米/小时。后来几种著名的战斗机如 P - 37、P - 40 和 P - 42 都是以 P - 36 为基础设计的。

P - 35 和 P - 36 战斗机的服役使美国陆军航空兵的力量大大增强;但由于发动机性能的差距,它们还比不上英国的战斗机。1939 年 1 月 25 日,陆军提出新的招标书,性能要求最低为:高空最大速度为 498 千米/小时,能以 450 千米/小时的速度飞行 2 小时,最大速度最好能够达到 595 千米/小时。又有许多新型飞机参加竞争。寇蒂斯公司的 XP - 40“战鹰”式是从 P - 36A 改进而来,于 1938 年 10 月首飞,速度达到 550 千米/小时。由于它经过了长期考验,并且能以较低的价格尽快投入生产,所以陆军首先选中了它。P - 40 经过系列改型,最大飞行速度可达 574 千米/小时。P - 38“闪电”是洛克希德公司研制的双发战斗机,于 1937 年试飞成功。它是美国第一种性能超过英、德同类飞机的战斗机;但研制周期很长,1942 年才投入服役,其最大飞行速度达 664 千米/小时。贝尔公司的 XP - 39“飞蛇”式的改进型于 1939 年 4 月进行了首次飞行。共和公司于 1939 年夏提出了两项设计:P - 44 和 NP - 47“雷电”。1941 年

5月6日XP-47B进行了首次飞行。P-47是美国二战时期发展的最大的单翼战斗机。它的性能尤其是高空性能优良,很适于高空作战,是P-38、P-39和P-40等的重要补充。它被一些史家誉为美国最佳截击机。据称试验型XP-47J在1000米高度时的最大速度曾达到816千米/小时。P-47是美国战斗机史上生产量最大的飞机之一。表6-6是这些飞机的技术数据。

表6-6 飞机技术数据

	P-38L	P-39N	P-40F	P-47
机长/米	11.6	9.2	10.2	11.1
翼展/米	15.9	10.4	11.4	12.4
翼面积/平方米	30.5	19.8	21.9	28.7
空机重量/吨	5.82	2.57	2.91	4.73
起飞重量/吨	9.82	3.72	4.54	7.04
发动机/千瓦	2×1100	895	988	2089
最大速度/(千米/小时)	667	642	582	762
升限/米	13400	11800	8530	12500
航程/千米	4180	2010	2580	3540
武器	2炮4枪	1炮6枪	6挺机枪	6挺机枪
生产数量/架	9923	9558	13738	15683

上述四种战斗机在二战中发挥了巨大作用。另外,二战期间美国还研制出两种非常优秀的战斗机。一种是北美航空公司的P-51“野马”式,一种是诺斯罗普的P-61“黑寡妇”。

P-51的研制带有传奇色彩。1940年4月,英国军事采购委员会准备购买寇蒂斯公司研制的P-40战斗机。但该公司当时的生产任务十分繁忙,无法再增加生产量。于是英国方面要求北美航空公司为其大量生产P-40飞机。北美航空公司认为这种飞机已经落后,不愿生产,建议以同样的发动机设计一种更好的飞机。英国对北美航空公司的能力抱怀疑态度,而该公司则许下诺言在120天内即可拿出试验机。这样英国方面才勉强答应了。这种新飞机就是后来著名的P-51“野马”式。它由曾在德国梅塞施密特公司工作过的工程师雷金纳德·里斯(R. H. Rice)和埃德加·施密特(E. Schmidt)设计。第一架原型机在规定的时间内完成,由于发动机之故,首飞时间推迟到1940年10月26日。

P-51战斗机布局没有特别之处,但它将航空新技术高度完美地结合于一身,采用先进的层流翼型,高度简洁的机身设计,合理的机内设备布局。这些使它的气动阻力大大下降,并且在尺寸和重量与同类飞机相当的情况下,载油量增加了3倍。这使它的航程达到1370千米,足以掩护B-17轰炸机进行最远距离的攻击。

英国订购大量P-51战斗机后,飞行员反映它是美国最出色的战斗机。美国陆军了解到

这一情况并研究了北美航空公司的样品机资料后,也大量订购这种飞机。它的杰出性能和易于驾驶的特点,使英美官员认识到它进行改进的潜力。1942年,北美航空公司和英国罗罗公司合作,将P-51的发动机改换成罗罗公司的“莫林”发动机。经过这项杂交,P-51“野马”战斗机的性能得到很大提高,其高空最大速度由原型机的614千米/小时提高到709千米/小时。战争年代,北美航空公司对P-51进行了一系列改进,包括采用轻重量机体、新型旋翼、全视界塑料座舱盖、新型翼型等,使其性能和机动性进一步提高,最大速度达788千米/小时。

P-51“野马”式战斗机广泛用于亚洲和欧洲战场,不仅用于空中格斗,还用于护航、截击、对地攻击,还曾改装成侦察机,有10多个国家购买使用这种飞机。它是美国生产量最大的战斗机,达15686架,直到70年代还在飞行。P-51战斗机被许多航空史专家和权威人士评为第二次世界大战中的最佳战斗机。

P-61“黑寡妇”的研制也有类似的经历,最初也是英国提出要求的。德国的昼间轰炸在受到英国空军的抵抗后,越来越转入夜间空袭。英国的战斗机在白天可以有效地截击,但夜间就难以胜任截击和空战任务了。英国虽然尝试在战斗机上加装雷达使之能进行夜间作战,但由于变重,速度和爬升率随之下降,因此单单靠改装现有飞机无法满足作战要求。应英国的要求,诺斯罗普公司于1940年11月提出一项夜间战斗机方案。后来美国也提出了类似要求,并于1941年3月订购了15架原型机用于作战适应性试验。1942年5月26日,P-61原型机首次飞行。

P-61的外形结构比较奇特。主机身只有前半段,机翼上安装的两台发动机向后延伸构成双后机身,尾端是双垂尾和中间安装的水平尾翼。可伸缩的副翼使襟翼能伸至后缘的全长。它的个头很大,相当于一个中型轰炸机。与其他战斗机不同的是它的头部呈圆形,里面装有雷达。尽管“黑寡妇”很大很重,但它的速度很高,达692千米/小时,并且在各种速度下的性能都很高。机上装有大量武器系统,有4门机炮和4挺机枪,还可携带炸弹2900千克,能完成截击、空战和侦察任务,能深入敌方领空实施纵深轰炸。“黑寡妇”夜间型战斗机常独自出动伏击来自各个方向的袭击者。由于它投入服役较晚,第一批1943年7月才加入部队,因此生产量较小。表6-7是P-51和P-61的技术数据。

表6-7 P-51和P-61技术数据

	P-51H“野马”	P-61C“黑寡妇”
机长/米	10.2	15.1
翼展/米	11.3	20.2
翼面积/平方米	21.7	61.7
空机重量/吨	2.99	10.9
起飞重量/吨	5.02	18.3
发动机/千瓦	1029	2×1567

最大速度/(千米/小时)	785	692
--------------	-----	-----

续表 6-7

	P - 51H“野马”	P - 61C“黑寡妇”
升限/米	12 700	12 500
航程/千米	3 860	2 780
武器	6 枪 900 千克炸弹	4 炮 4 枪 2 900 千克炸弹
生产数量/架	15 686	691

美国相当重视舰载飞机的发展。20 世纪 30 年代末至二次大战期间,美国研制了几种性能优良的舰载作战飞机,包括舰载战斗机、舰载俯冲轰炸机和舰载鱼雷轰炸机。在战斗机方面,有格鲁曼公司研制的 F4F“野猫”式,1941 年服役;布雷沃斯特的 F2A“水牛”式,1941 年服役;渥特公司研制的 F4U“海盗”式,1944 年服役;格鲁曼公司研制的 F6F“地狱之猫”,1944 年服役。较早的“野猫”式和“水牛”式的性能尚不及日本的“零”式。当“海盗”式和“地狱之猫”出现后,它们的优势相当明显了。舰载轰炸机有道格拉斯研制的 TBD“蹂躏者”鱼雷轰炸机,它是 1937 年的产品,速度很低,作战极不安全。该公司又于 1939 年研制了 SBD - 3“无畏”式俯冲轰炸机,它的性能比“蹂躏者”有了较大提高,并且非常结实,损失率很低。格鲁曼公司于 1942 年研制了 TBF“复仇者”鱼雷轰炸机,性能很高。它正好赶在中途岛之战爆发时服役,由于机上装有动力炮塔,火力很强,给日军飞机和军舰造成很大伤亡。1943 年,寇蒂斯公司推出 SB2C“地狱俯冲者”轰炸机,它在太平洋战争中发挥了重表 6-8 用。表 6-8 是上述飞机的技术性能数据和生产架数。

表 6-8 飞机技术性能数据和生产架数

	F4F - 4	F4U - 1	F6F - 5	SBD - 3	TBF - 1	SB2C - 1
机长/米	8.75	10.16	10.24	9.96	12.19	11.18
翼展/米	11.58	12.47	13.06	12.65	16.51	15.16
起飞重量/吨	3.36	5.97	5.67	4.717	7.215	7.536
发动机/千瓦	895	1 492	1 492	746	1 268	1 268
最大速度/(千米/小时)	512	684	621	402	436	452
升限/米	10 640	11 280	11 370	8 260	6 800	5 090
航程/千米	1 448	1 635	1 670	2 164	1 950	1 785
武器	6 机枪	6 机枪	6 机枪	4 枪加炸弹	2 炮 2 枪	3 炮加炸弹
生产数量/架	8 000	12 681	12 272	5 936	9 836	7 002

大战爆发到珍珠港事件之间,美国的航空工业得到了极大的刺激。这期间投入研制的战

战斗机多达 30 多种(不包括改型),编号从 XP - 46 直到 XP - 75。与同时期的英德飞机相比,这些未投产的机种性能更高一筹。格鲁曼公司的 XP - 50,速度达到 682 千米/小时;寇蒂斯公司的 XP - 55,飞行速度达到 627 千米/小时;该公司推进式的 XP - 56,飞行速度达 749 千米/小时;XP - 62 的飞行速度达 721 千米/小时;洛克希德公司的 XP - 58“快速闪电”速度达到 702 千米/小时;贝尔公司的 P - 63“毒蛇大王”的速度也达到 678 千米/小时;通用汽车公司的 XP - 75 速度达 697 千米/小时;共和公司的 XP - 72,最大速度竟达 790 千米/小时。这些飞机的性能也十分优异,只是综合性能略差或现役飞机性能已经足够了,才没有投入批生产。这也说明了美国航空技术水平已远远超过英国和德国了。

早期美国研制的轰炸机大都是轻型。马丁公司 1932 年发展的 B - 10 轰炸机是美国航空史上相当有名的飞机。由于它的速度超过了当时的战斗机,因而曾大出风头。B - 10 装副翼和襟翼,安装了斯佩里公司的自动驾驶仪,最大起飞重量 6.98 吨,最大速度达 418 千米/小时,航程 3 347 千米。道格拉斯公司研制的 B - 18“大砍刀”是由著名的 DC - 3 改型而来。它于 1935 年首飞,1936 年在竞争中获胜。它的最大起飞重量 12.55 吨,最大速度 346 千米/小时。它的生产量不大。

20 世纪 30 年代后期,由于航空军事战略的变化,美国放松了攻击机和轻型轰炸机的研制,转而加大力量发展重型轰炸机。由于美国的航空技术水平已在迅速提高,轰炸机的研制能力也随之提高,从而推出了几种在二战中赫赫有名的远程战略轰炸机。

第一种是波音公司的 B - 17“飞行堡垒”。它的原型机完全是公司自己投资研制的。1936 年 1 月,陆军订购了几架供试验用的 B - 17 原型机。虽然其中的一架在飞行中坠毁,但它的杰出表现使陆军于 1938 年决定大批订购 B - 17 轰炸机。它是真正的飞行堡垒,武器系统很重,包括一门机炮,12 挺机枪,可带 7.98 吨炸弹。特种作战改型可装 30 挺机枪。统一公司根据招标,于 1939 年开始设计 B - 24“解放者”轰炸机,原来的目的是作为 B - 17 的后继机。在设计上,它采用常规全金属结构,以达到更大的载荷和航程比为原则。1939 年 12 月 29 日,原型机 XB - 24 进行了首飞。生产型 B - 24A 于 1941 年交付,1942 年首次轰炸日本本土。B - 24 可装 10 挺机枪,载弹量达 4 吨。它的各种改型广泛用于欧洲、亚洲和非洲战场。它是世界生产量最大的轰炸机。

北美航空公司根据陆军的要求,研制了著名的 B - 25 中型远程轰炸机。由于战略轰炸的思想和为纪念远程战略轰炸理论的倡导者,它以“米切尔”的名字命名。原型机 NA - 40 于 1939 年 1 月首次试飞,生产型 B - 25 于 1940 年 8 月 19 日首飞。武器系统包括 1 门机炮,3 挺机枪,载弹量 1.8 吨。

在美国陆军战略轰炸机设计招标时,又出现了两种有名的轰炸机。一是波音公司的 B - 29“超级堡垒”,它参考了 B - 17 的设计,于 1938 年进行了改进。当 1940 年进行招标时,波音公司已在设计上准备就绪。1940 年 8 月 24 日,陆军订购了 3 架 XB - 29 原型机。B - 29 采用了特殊的翼型和富勒襟翼,可达到相当高的翼载荷。它的武器系统包括 1 门机炮,10 挺机枪,载弹量 9.07 吨。1943 年秋,第一架生产型 B - 29 交付,1944 年 6 月 5 日首次参战。它在第二

次世界大战末期实施对德国和日本的战略轰炸发挥巨大作用。它于 1945 年 8 月 6 日和 9 日两次在日本投下了原子弹。与 B - 29 同时参加竞争的还有统一公司的 B - 32“统治者”轰炸机。它的原型机于 1942 年 9 月 7 日首飞。它的载弹量达 9 吨。上述四种轰炸机的技术数据如表 6 - 9 所列。

表 6 - 9 四种轰炸机技术数据

	B - 17	B - 24M	B - 25	B - 29
机长/米	22.66	20.24	16.1	30.18
翼展/米	31.62	33.53	20.6	43.05
起飞重量/吨	29.73	29.48	18.96	64
发动机/千瓦	4 × 895	4 × 895	2 × 1 007	4 × 1 641
载弹量/吨	7.98	4	1.8	9.07
最大速度/(千米/小时)	462	483	443	576
航程/千米	3 219	3 380	2 050	6 598
生产数量/架	8 685	18 188	11 000	3 970

从 1936 年到 1945 年,美国的航空工业获得了长足的发展。由于战争的威胁,政府的重视,航空技术的运用以及雄厚的经济实力,使美国的军用飞机研制和生产在数量和性能上开始全面赶上和超过其他航空大国。二战期间,美国各种飞机的生产总量达 20.44 万架。航空从业人员从 1939 年的 4.86 万人,增加到 1943 年 11 月的 200 万人。在性能上,美国 20 世纪 40 年代初投产的战斗机已经大大领先于其他国家,研制的重型轰炸机更是无可匹敌。可以说,正是第二次世界大战使航空技术曾经大大落后于欧洲的美国,终于在 40 年代确立了航空技术最先进国家的地位。这个领先地位一经确立,便一直保持到今天。

第 5 节 日本的作战飞机

日本是亚洲及太平洋战场的元凶。这场战争最初是日本军国主义者发动的对亚洲各国的侵略战争。1941 年 12 月 17 日日本突然袭击了美国太平洋舰队所在地珍珠港,挑起了太平洋战争,战争也演变成了日本对亚洲诸国连同美英等盟国之间的大战。太平洋战场不仅是二战最大的战场之一,也是少有的空海大战。空中力量的运用极其普遍,成为决定战争胜负的主要因素。

日本的航空事业开始得较早,发展也是相当快的。1910 年 10 月 3 日,奈良原三次制成了日本第一架飞机“奈良原”号。1911 年 5 月 5 日他制造的第二架“奈良原”号飞机进行了首次

试飞。同年10月,由陆军德川好致大尉等设计的陆军第一架飞机“会”式一号试飞成功。从1911年到1914年,日本官方或民间成立了一些与航空有关的组织和设计团体,但飞机研制的成就不大。为了发展本国的航空,日本购买了多种法国飞机,并邀请法国教官,对日本飞行员进行训练。同时尝试仿制和自行设计飞机。第一次世界大战中,由中岛知久平创建的日本飞行机制作所研制了多种侦察机,并接受订货一百多架。该所成为日本第一家私营飞机制造公司。大战爆发后日本陆军和海军先后于1915年和1916年成立了航空大队。1920年,川西机械制作所设立飞机部,三菱内燃机制造公司成立并很快开始研制舰载战斗机。在此前后,川崎造船所设立飞行机部,石川岛飞行机制作所建立。这些企业后来成为日本重要的飞机生产部门。到20年代中期,日本在仿制外国飞机的同时,也自行设计了侦察机、战斗机、攻击机、轰炸机和教练机。1926年12月,日本陆军装备了本国研制的三菱“八七”式轰炸机和川崎“八八”式侦察机。30年代初,日本又装备了中岛公司的“九一”式和“九六”式战斗机。

1939年以前日本使用的主力战斗机有三菱A5M和中岛Ki-27。它们都是1936年前后的产品,最大时速在450千米/小时左右。轰炸机主要有三菱G3M“九六”式和川崎Ki-32,也是1936年前后的产品,载弹量约500千克。这些飞机的改进型号有的在太平洋战争中仍然大量使用。“七七事变”后,它们曾广泛用于中国战场。在1937年“8.13”淞沪抗战期间,中国空军第4大队在大队长高志航和中队长李桂丹带领下,于8月14日以27架战斗机截击了日本G3M轰炸机队,空战历时约30分钟,击落敌机5架,我机无一伤亡。当月中日空军空战多次,我军共击落敌机61架。

1938年以后,日本的作战飞机研制取得了很高的成就。第一种非常有名的是三菱公司的A6M“零”式战斗机,1939年4月1日首次飞行。“零”式的特点是机动性好,结构坚固,航程远,能适应舰载和陆基作战的需要。它一出现,令西方大为吃惊。正是“零”式战斗机消除了过去许多专家关于日本的航空水平大大落后于西方的说法。“零”式战斗机后来有许多改型,是日本生产数量最多的飞机,在太平洋战争是发挥了重要作用。第二种战斗机是中岛公司研制的Ki-43“隼”式,也出现于1939年。它是在Ki-27基础上发展而来,改进型最大时速530千米/小时,航程达1760千米。1943年,中岛公司又对它作了较大的改动,研制出Ki-84“疾风”式战斗机,最大时速提高到631千米/小时。“疾风”式战斗机被看作是日本战斗机发展的颠峰,是1945年以前日本最出色的战斗机。

二次大战期间,日本还发展了多种战斗机。这些飞机的主要特点是装上了多门机炮,增加了火力。川崎公司于1942年推出Ki-45“屠龙”式战斗机,时速为547千米/小时,装有3门机炮。它的航程达2260千米,还可携带500千克炸弹。1943年该公司又研制出Ki-61“燕子”式战斗机,它装有4门机炮,航程为1100千米,飞行速度达592千米/小时。中岛公司于1943年研制出Ki-44战斗机。它也装有4门机炮,最大速度达605千米/小时。1944年,川崎公司研制了Ki-102战斗机,三菱公司研制了Ki-83战斗机。这两种飞机不但火力强,装有3门机炮,而且航程远,都达到2000千米以上,速度达705千米/小时。不过它们的服役时间很晚,生产量不大,没有发挥多大作用。

日本战斗机研制广泛吸收了欧美的经验和技術,但也有很强的日本特色。与西方战斗机设计不同,日本的战斗机首先强调轻小型,便于作为舰载机;其次是机动性好,强调空中优势;第三,日本的战斗机几乎都有惊人的航程,“零”式的改型竟能达到3 000千米以上;第四,强调带炸弹,也因此使战斗机空战火力不强。这些设计思想后来有所改变。

战争期间日本根据作战情况拼命研制新型战斗机。到战争中后期,日本研制了多种性能不错的战斗机。最主要的型号有川西公司的N1K1-J、N1K2-J“紫电式”以及三菱公司的J2M3“雷电”式和A7M2“烈风”式。这四种飞机在设计思想上都有所改变,为飞行员提供了多门机炮和装甲,并且还装有机枪。“紫电”式的最大速度为590千米/小时,航程达2 400千米,可带500千克炸弹,生产量1 435架。“雷电”式是一种轻型截击机,最大时速度587千米/小时,航程1 900千米。原计划生产3 700架,结果只生产了730架。三菱公司研制的A7M2“烈风”式是“零”式发展型的最后一种,被看作是日本航空史上最悲惨的一章。它于1944年5月首次试飞,时速达627千米/小时。据说在10 000米以上高空,它的速度可以超过美国的任何战斗机。由于生产线被美军炸毁,到战争结束时“烈风”式只生产了8架。表6-10是日本代表性战斗机的技术数据。

表6-10 日本代表战斗机技术数据

	A5M4	Ki - 27b	A6M5	Ki - 43II	Ki - 44	Ki - 61	Ki - 84
机长/米	7.56	7.53	9.12	8.92	8.78	8.75	9.92
翼展/米	11	11.31	11	10.84	9.45	12	11.23
起飞重量/吨	1.67	1.79	2.733	2.59	2.993	2.95	3.613
发动机/千瓦	710	710	1 130	1 150	1 520	1 175	1 900
飞行速度/(千米/小时)	434	470	564	530	605	592	631
升限/米	9 800	3 500	10 000	11 200	11 200	10 730	10 695
航程/千米	1 200	627	1 920	1 760	1 700	1 100	1 695
总生产量/架	1 094	3 399	10 449	5 919	1 225	3 078	3 514

日本轰炸机也有轻小型化的特点。在早期研制出三菱G3M以及川崎Ki-32之后,三菱公司于1941年研制出G4M和Ki-21轰炸机。它们的载弹量有所提高,自卫火力也得到增强。1942年川崎公司研制了Ki-48轻型轰炸机,速度提高到505千米/小时。中岛公司在同一年研制的Ki-49中型轰炸机,载弹量达到1吨。战争末期,中岛公司推出了日本唯一的一种重型轻炸机G8N,1944年首次试飞。其最大起飞重量32吨,装有6门机炮,载弹量达4吨。它的航程高达7 500千米,可直接对美国本土实施轰炸。但由于投入太晚而没有发挥应有的作用。

为了舰载作战和海上作战的需要,日本十分重视舰载鱼雷轰炸机和俯冲轰炸机的研制。在这方面日本曾得到德国的帮助。俯冲轰炸机最著名的是爱知公司研制的D3A,1940年服役。它的起飞重量不大,但可携带370千克炸弹。它的后继型D4Y的速度有所增加,达到552

千米/小时。鱼雷轰炸机最有名的是中岛公司的 B5N。它于 1940 年服役。B5N 不仅能装鱼雷,而且还能带 800 千克炸弹。它的改进型 B6N 于 1944 年问世。这几种飞机生产量较大,是珍珠港事件和中途岛之战中日本的主力作战飞机。这些轰炸机的技术数据如表 6-11 所列。

表 6-11 轰炸机技术数据

	G3M2	Ki - 21	G4M1	Ki - 48	Ki - 67	D3A1	B5N2	D4Y
机长/米	16.45	16	20	12.75	18.7	10.19	10.3	10.22
翼展/米	25	22.5	25	17.45	22.5	14.36	15.51	11.5
起飞重量/吨	8.0	9.71	9.5	6.5	13.77	3.65	3.8	3.65
发动机/千瓦	1 604	2 238	2 282	1 686	2 835	746	746	895
速度/(千米/小时)	373	486	428	505	537	386	378	552
升限/米	9 130	10 000	8 840	10 100	9 470	9 300	8 260	9 900
航程/千米	4 380	2 700	6 030	2 400	3 800	1 472	2 000	1 575
总生产量/架	1 048	2 064	2 446	1 977	698	1 495	1 149	2 038

第二次世界大战爆发后,德国首先利用强大的空军一举占领了波兰。1940 年 4 月 9 日,德国用登陆兵和空降兵对丹麦和挪威实施了登陆和空降袭击。随后,德国军队又进攻挪威、荷兰、丹麦,并于 6 月占领了法国。德国闪击战的成功运用与其空中力量夺取制空权是分不开的。在攻占了法国等低地国空后,德国制定了在英国登陆的“海狮计划”。

“海狮计划”的前奏就是这场航空史上极其著名的不列颠之战。不列颠之战可以说完全是在空中决胜负的。航空兵在这场战役中是惟一投入的军事力量。它在航空军事学术上的意义在于,不列颠之战是杜黑的空中战争论的首次实践,证明了杜黑关于制空权理论的正确性。在实施任何重大的战役时,首先要进行争夺制空权的斗争。航空兵是夺取制空权的主力。夺取制空权的方法是突击敌机场,消灭敌机于地面,同时通过空战消灭敌机于空中。正因为德国没有在海峡上空夺取制空权,因而不得不放弃在英国登陆的计划。不列颠之战还第一次证明了防空的战略意义。英国采用雷达、高炮及作战飞机组成的防空网,有效地扼制住了德国飞机的入侵。对于航空技术来说,不列颠之战也提供了极其有益的经验教训。

不列颠之战之后,德国开始执行入侵前苏联的“巴巴罗萨”计划。1941 年 6 月 22 日凌晨,德国对前苏联发动了闪击战,对苏联西部边境的 66 个机场进行了突袭。由于苏军毫无戒备,机群整齐地排列在机场跑道上,既无情报,也无命令,一些仓促升空的飞机也多被击落。至中午,被毁的前苏联飞机达 1 200 架,其中 800 架被毁于地面,战争第一天苏联空军遭受很大损失。但苏联的空军装备补充很快,在空中给德国空军以重大打击。前苏联空军在卫国战争中,共与德军进行了 15 次大大小小的空中战役,共击毁德国各种飞机 1 700 架。

从斯大林格勒会战起,经过几次战役,苏军转入全面反攻,把德军赶出了前苏联领土,最后把战火烧向柏林,给了希特勒以最后的致命打击。在这中间,前苏联空军和各种作战飞机起了

重要作用。例如在攻克柏林的战役中,德国空军驻扎在柏林周围大约 40 个机场上。在空战中,苏德双方投入了上千架飞机。柏林战役的第一天,前苏联空军就出动了 17 000 架次,取得了全面的优势。德国空军残部全部被歼,地面上几千架飞机被俘获。

在亚洲及太平洋战场,航空兵的使用具有新的特点,这就是空海战一体化。“空袭珍珠港”事件和“中途岛海战”都是经典性的空海战战例。另外战略轰炸和战略空运也有很大代表性。在许多带有关键性的战役中,航空兵发挥了巨大作用。

1942 年 6 月 4 日日美海军之间爆发了著名的“中途岛之战”。当天日本舰队几乎倾巢出动进攻中途岛。正当日军动用一切防御力量,全力以赴对付这些贴海面飞行的鱼雷轰炸机的时候,道格拉斯“无畏”式俯冲轰炸机突然出现在舰队上空的云端,直向毫无准备的日航空母舰扑来,使日军遭到很大损失。到傍晚,至少有 4 艘日本航空母舰被击沉,250 架飞机被击落。在这次战役中,日军损失了大批几乎无法替补的飞行员。更重要的是,日本航空母舰的绝对优势被打破了。“中途岛之战”是太平洋战争的一个转折点。

1943 年底,美国成立了第 20 航空队,装备 B-29“超级堡垒”轰炸机,专门负责对日本进行战略轰炸任务。B-29 轰炸机对日本的轰炸在 1944 年夏最多时出动飞机 100 架,5 个月投弹一万吨。从 1944 年底开始的第二阶段轰炸,规模急剧扩大,共投弹约 4.7 万吨。1945 年 3 月开始的第三阶段规模更大。在头三个月间,共对日本六大城市进行了 17 次大规模轰炸,出动 B-29 轰炸机 6 960 架次,投下燃烧弹 41 592 吨。每月投掷炸弹数量由三月份的 13 860 吨增加到七月份的 42 700 吨。此外 B-29 轰炸机还向日本海域投放了大量水雷。1945 年 3 月, B-29 改为执行夜间攻击任务。B-29 在空袭时,开始较大规模使用面积轰炸技术,即“地毯式”轰炸,重创了日本的工业和经济,使日本的交通陷放瘫痪局面,同时几乎彻底摧毁了日本的士气。1945 年 8 月 6 日,一架 B-29 轰炸向广岛投下了一颗代号“小男孩”的原子弹。两天后,前苏联对日宣战,进攻驻扎在中国的日军。8 月 9 日,第二颗原子弹“胖子”在长崎爆炸。对彻底打跨日本、迫使其投降起了重要作用。8 月 14 日,美国对日本发动了最大规模的,也是最后一次空袭,共出动 833 架 B-29 轰炸机。日本终于精疲力尽,再无回天之力,于 8 月 14 日宣布无条件投降。

如果说航空兵在第一次世界大战中的运用还带有偶然性和尝试的意味的话,第二次世界大战中航空兵的地位就完全不同了。战争一开始,德国就利用作战飞机速度高、突击性强的特点实施了闪击战,半年多时间就征服了波兰、法国和一些低地国家。随着战争的深化,航空兵在各次重要战役中,发挥了举足轻重的作用。在第二次世界大战的各个战场上,都可看到作战飞机、航空兵、制空权对战役进程产生的重大影响。在不列颠之战、太平洋战争中,航空兵甚至成为决定战争胜负的主导因素。航空在战争的地位更加巩固、作用更加突出了。

第七章

航空喷气时代的来临



✎ 这是美国研制的 X - 15 高超声速火箭试验机。它虽然类似于普通飞机 ,但采用火箭动力 ,机身用高温合金制成 ,并安装了反作用控制系统 ,飞行员穿着类似于宇航员的服装 ,因此本质上更像一架航天器。它在 20 世纪 60 年代中期创造了最大速度 ,其马赫数 (Ma) 等于 6.72 最大高度 107.9 千米的纪录。

喷气发动机的出现经过了长时间的探索。二次世界大战中,飞机的速度不断提高,而对高速度追求似乎没有止境。但旋翼飞机的最大飞行速度达到 700 千米每小时几乎成了极限,进一步提高速度必须寻求新的推进形式。20 世纪 30 年代中期,英德两国开始研制涡轮喷气发动机,并取得了成功。1944 年 3 月,德国首先将喷气式战斗机——“梅塞施密特”Me262 用于战场。几乎与此同时,英国的“流星号”喷气战斗机也出现在英吉利海峡上空。喷气发动机的出现,使航空技术发生了革命性变化。喷气飞机的应用对于第二次世界大战的进程并没有产生太大的影响,但是,它却宣告了航空史上一个新时代——喷气时代的到来。

第 1 节 喷气发动机诞生的背景

空气经过压气机压缩后进入燃烧室与燃料混合燃烧,膨胀的燃气进入与压气机同轴的涡轮并推动涡轮旋转,使压气机正常工作;从涡轮中流出的燃气经喷管膨胀后,以高速沿发动机轴向向后喷出,从而产生巨大的反作用推力。这就是涡轮喷气发动机的工作原理。就技术的起源来说,航空喷气发动机来自十分古老的涡轮技术,其发展历程可以追溯得很远。古代中国的水排、“走马灯”和古代罗马的水轮机等,都包含着它的原理。但是,在 2 000 多年中,水轮机技术发展十分缓慢,其工作效率一直只有 20% 左右。

18 世纪以后,科学实验方法和数学方法的应用使人们终于对于水轮机的工作原理有了比较深刻的理解。通过不断的探索,水轮机的各种基本形式,包括上冲式和下冲式,径向的离心和向心式以及轴向式,在英国、法国和美国先后发展起来,其效率大部分都达到了 70% 以上。在这一过程中,大量的试验所积累的数据以及从中总结的经验公式和设计准则,促进了实验流体力学的发展,并为蒸汽轮机的出现提供了理论基础。

在瓦特(J. Watt, 1736—1815)以后 100 多年中,蒸汽机的应用极大地促进了热力学、空气动力学和机械加工等科学技术的发展。1870 年以后,蒸汽机领域中的科学成就与水轮机的发展结合在一起,在欧美国家不断兴起的中心电站对高转速动力装置的强烈需要推动下,发展出一种新的动力机——蒸汽轮机,使涡轮机械的发展开始了一个新的时期。几乎与此同时,经过长期的探索,内燃机也诞生了。这二者的出现,预示了一种新的涡轮机燃气轮机的诞生。无论何种热机,其工作总是可以划分为两个过程:第一是产生热能,第二是将热能转化为机械能。瓦特式蒸汽机的这两个过程所采取的方式分成外燃式和活塞(往复)式。蒸汽轮机和内燃机各自吸收了它的一种方式,并抛弃了它的另一种方式,各自又建立了自己新的热能机械能转化方式和热能产生方式:涡轮(旋转)式和内燃式。它们都显示出结构简单、体积小、重量轻、转速高等优点,于是将内燃与涡轮二者结合成为一种新的动力机械燃气轮机便成为很自然的想法。

实际上,利用燃气推动叶轮转动的设想很早就产生了。大约在公元 1000 年左右我国宋朝时出现的“走马灯”就是利用蜡烛燃气的上升气流推动叶轮旋转,并带动剪纸人物运动的一种

玩具。达·芬奇发明的“烟道风车”也体现了类似原理。1791年,英国人约翰·巴尔伯(J. Barber)获得了最早的燃气轮机设计的专利。巴尔伯的设计虽然十分粗糙,但是已经具备了现代燃气轮机最主要的组成部分。在巴尔伯以后,类似的专利还出现过不少,然而历史条件的局限使这些设计只可能停留在纸上。

在20世纪最初的10年中,美国和欧洲不少国家中出现了最初的一批热衷于研制燃气轮机的人,其中比较著名的有德国的斯托尔兹(F. Stolze),美国通用电器公司工程师莫斯(S. A. Moss)和法国工程师拉图等。可惜他们的努力大部分都失败了。1903年,法国拉图设计的燃气轮机由瑞士一家公司制造并装配完毕后,在巴黎涡轮机协会的主持下进行了试验。拉图的燃气轮机的效率不高,本来很难连续工作,可是由于燃烧过程达到了1800℃的高温,终于使总热效率达到了3%。这是世界上第一个产生净功的燃气轮机。此后该协会对这一涡轮机进行过多种改进,但终因效率太低和寿命太短而无法投入使用。提高效率 and 寿命有待于空气动力学理论和高温材料的发展,而一般工业企业又无力承担这一类重大课题。所以,1910年后,大部分企业都放弃了研究实用燃气轮机的尝试。然而,这时,一种特殊的“燃气轮机”活塞发动机的废气涡轮增压器却发展了起来。

涡轮增压器的发展不仅使活塞发动机的功率得到提高,高空性能得到改善,而且为涡轮和压气机的进一步研究提供了一个市场。它的研究和设计方法、加工和制造方法以及在材料和冷却、润滑等方面的改进,为燃气轮机的发展储备了不少有价值的成果,不少成果后来移植到燃气轮机中。此外,涡轮增压器的发展还促进了航空工业与涡轮技术的结合,为后来航空动力向喷气发动机的转变储备了一定的技术力量。在那场历史性转变中,航空发动机企业中的涡轮增压器研制部门发挥了特殊的作用。

第一次世界大战后,空气动力学获得了较大发展。空气动力学与材料科学的发展,同研制增压器积累的经验结合在一起,使燃气轮机于20世纪30年代在石油工业、冶金工业、机车和船舶中得到应用。1926年由英国皇家飞机研究院的格里弗斯(A. A. Griffith)博士提出了涡轮旋翼发动机设计方案,这是将燃气轮机技术用于飞机主动力的较早设想。此后,在英国、美国、德国、瑞典等国家,政府和企业都先后进行过不少理论探讨和试验研究,受到了越来越多的重视。

20世纪初,火箭的研究活动开始集中到液体火箭上来。宇宙航行先驱者们进行了一系列的理论研究之后,液体火箭的试验研究活动逐步在美国、德国和苏联展开。这些活动不仅最后走向了太空飞行,而且启发、促进和带动了一般喷气推进方式的研究。火箭的研究使人们直觉地感到,这种反作用推进方式可以比旋翼更容易实现高空、高速飞行。如果飞机采用反作用推进方式,可以去掉旋翼和活塞发动机的许多笨重零部件,大大减轻重量。自带燃料和氧化剂的火箭航程有限,而且成本太高,但是,大气中有无穷无尽的氧化剂,只要能够使它们压缩后与普通燃料燃烧,高温高压燃气通过喷口向后喷射,就能产生足够大的推力推动飞机飞行。

最早关于空气喷气发动机的设想是法国人洛林(R. Lorin)在1908年提出的。他当时建议,在活塞发动机的排气阀上接一支扩张型的喷管,用燃气从喷管向后喷射的反作用力使飞机

前行。也就是说,在发动机工作冲程保持不变的情况下,在压缩冲程结束的点火瞬间,使排气阀开启到这样的程度:高压燃气除了少量能量用来推动活塞下行以保证曲轴带动附件正常工作外,其余全部用来产生喷射推力。1910年,旅居巴黎的罗马尼亚人柯安达(H. Coanda)进行了最早的喷气式飞机的试验飞行。他用一台活塞发动机带动一支管道内的风扇转动,驱动空气向后喷出产生了反作用推力。当年11月10日,从未驾驶过飞机的柯安达用自己设计的飞机进行了一次短暂的跳跃。在热衷于航空的巴黎人中,这次试飞虽然不算成功,但仍然是令人鼓舞的。不少报刊和杂志报道了这次飞行并给予了相当高的评价。

第一次世界大战后,在探索更为有效的航空动力形式的过程中,空气喷气推进方式受到越来越多的重视。在20世纪20年代和30年代,几乎所有航空技术比较先进的国家为实现空气喷气推进,技术专家提出了众多的方案和设想,并进行过不少试验。其中被研究最多的要算是这样一类大同小异的设想:用活塞发动机驱动压气机工作,空气压缩后进入燃烧室与燃料混合燃烧,高压燃气最后进入尾喷管喷出。这个设想最初由英国人哈里斯(H. S. Harris)提出后,在英、法、德、美、意等国引起了不少人的重视,类似的方案提出了很多。但是,1923年,美国的布金汉(E. Buckingham)博士在对这一方案进行了深入的理论研究后,发现这一方案在重量上和经济上没有什么优越性。他最后得出结论:“简单的反作用式喷气发动机在一切方面,在现时所能预料的飞行速度下,都不能与旋翼推进的装置相比拟。”布金汉的推导还是十分科学的,遗憾的是,他在否定哈里斯式的喷气推进系统时,作出了否定全部空气喷气推进方式的一般结论,这就错了。他的严谨的论证使不少美国人产生了误解,以为空气推进方式已经被“科学地”否定了。幸亏这一思想对欧洲人影响不大。

在早期探索喷气推进式飞机的人中,意大利工程师坎平尼(S. Campini)值得一提。他在30年代曾经设计过两种喷气式飞机,即CC1和CC2。CC1为哈里斯式。它用活塞发动机驱动一台二级离心式压气机,燃烧室为环形,喷管内设有调节锥。CC2为柯安达式,设有加力燃烧室。CC2于1940年被意大利卡普罗尼公司制造并试飞成功。它是最早的初步成功的喷气式飞机之一。但是,它的燃油消耗过多,重量大,这些无法克服的缺点使它难以进一步发展。

飞机的速度、高度和载重量都与飞机的动力密切相关。早期飞机的惟一动力是活塞式内燃机。在20世纪最初的30年中,人们为改进这种发动机付出过巨大的努力,并在燃料、结构、材料和冷却方式等方面取得过大量的成果。这些改进使航空发动机的性能水平不断提高,其重量功率比在30年中下降了近20倍。旋翼在这一时期也由于翼形环流理论的应用、材料和加工水平的提高、各种变速和变螺距装置的采用,效率不断提高。飞机推进系统的这些改进大体适应了人们对于飞机速度等性能水平不断增长的要求以及飞机外形结构的发展。

但是,从20世纪30年代起,情况发生了变化。活塞发动机在大大小小的改进中,热效率不断提高,压力不断上升,转速不断加快,结构日益复杂,加工日益精细,而所有这一切,在一定的技术背景下都有一定的限度。活塞发动机在改进中越是趋于完善,就越难以做进一步的改进。30年代以后,能使航空活塞发动机的性能有重大提高的改进几乎没有了。它开始表现出衰老的征兆。

此外,与活塞式发动机共同组成飞机推进系统的旋翼在 30 年代也暴露出其固有的弱点。旋翼的转速一般为 105 转每秒。随着飞机速度的提高,旋翼叶尖与空气的相对速度将首先到达音速,并产生激波,使效率大大下降并有机毁人亡的危险。飞机的速度在 20 世纪 30 年代就达到了 500~600 千米/小时,此时旋翼的效率已经随着速度的提高而明显下降,这意味着不仅是发动机不能适应航空发展的需要,推进方式也必须改变。

以上情况,正如苏联设计师雅科夫列夫所指出的:“从 30 年代起,就已经明显地看出,活塞式发动机和旋翼的飞机虽然有近 50 年的发展史,但此时却到了山穷水尽的地步了。”

第 2 节 喷气发动机的发明过程

航空技术的发展对新的动力与推进方式的呼唤,与燃气涡轮技术趋于成熟的历史条件,使涡轮喷气发动机的出现成为历史的必然。这一重大技术发明也是一次有趣的巧合:两个人在互相不通信息的情况下,各自在同一时期完成了这一发明。这两个人是英国人弗朗克·惠特(F. Whittle, 1907—1996)和德国人汉斯·冯·欧海因(H. von Ohain, 1911—1998)。

惠特于 1907 年出生于英国的考文垂市。在第一次世界大战中,少年时代的惠特耳目睹了许多空战的动人故事,对航空产生了浓厚兴趣。1923 年,16 岁的惠特耳进入位于克兰威尔的英国皇家空军工厂学徒。三年以后,他被选入皇家空军飞行学校学习。这所学校当时不仅教授飞机驾驶,而且开设了不少航空技术和基础理论方面的课程。这样,经过三年的学习和训练,惠特耳不仅成为一名合格的空军飞行员,而且对整个航空技术有了相当全面的了解。正像那个时代许多热爱航空事业的人一样,将成为飞行军官的惠特耳十分向往更高更快的飞行。惠特耳在最后一个学期中,写了一篇论文《飞机设计的未来发展》。论文表明,他已经预感到活塞发动机的局限性,他着重讨论了火箭喷气发动机和涡轮旋翼发动机这两种新的动力形式,这正是那个时期最有代表性的航空技术新思想。

毕业之后,担任飞行教官的惠特耳在工作之余,常常思考新的航空动力问题。在经过无数失败的尝试后,他终于在 1929 年底的一天产生了这样的思想:在哈里斯式的推进系统中,“为什么不增加压气机的增压比,并用一个涡轮来代替活塞发动机呢?”这是一个十分重要的思想。涡轮和喷气推进各自发展到燃气轮机和哈里斯式的推进方案时,已经具备了“合二而一”的基础。它们的基本组成部分有压气机和燃烧室这两个共同的方面;它们的热力循环都可以近似地看做是等压循环,涡轮和尾喷管又是相容的。但是长期以来,研究喷气推进的人苦于产生压缩空气的系统太重,又不知如何减轻,研究燃气轮机的人又没有人设想利用它来实现喷气推进。惠特耳的新思想的价值在于,他把这两种一直独立的技术结合在一起。这一新方案的出现是他走向成功的开端,也是喷气发动机原理诞生的标志。

惠特耳的想法引起了当时任飞行学校校长、后来的空军元帅鲍德温(Baldwin)的重视。在他的鼓励下,惠特耳设计了一台喷气发动机。这个设计先交到英国航空部,最后被转给皇家飞

机研究院发动机部的格里弗斯博士审阅。格里弗斯当时正致力于探索燃气轮机用于航空的途径。起初他对惠特尔的方案相当感兴趣。但是,当发现了惠特尔几个计算上的错误后,他便开始轻视这个年轻人的大胆设想了。最后,他对于涡轮喷气发动机的可行性深表怀疑。在这以前的几年中,燃气轮机的试验曾多次失败,而且一直找不到适合于制造涡轮叶片的耐高温材料。因此军方这时对燃气轮机实际应用的可能性已不抱什么希望。惠特尔的方案终于被否定了。

在朋友的劝说下,惠特尔于1930年1月16日向英国专利局申请专利。惠特尔的专利发动机由压气机、涡轮、燃烧室、喷油嘴和喷管组成。压气机为二级轴流加一级离心式,涡轮为二级轴流式,尾喷管为扩张形,为了使燃气有均匀压力分布,在燃烧室和涡轮之间还设有集气环。由于英国军方对这项发明没有什么兴趣,专利没有被列为保密项目,于1932年公开发表。

1931年,惠特尔在整整一年时间里东奔西走,试图说服航空发动机企业研制这种新型发动机,但没有得到任何结果。这使惠特尔感到十分沮丧。他本人甚至也怀疑自己超越了时代,并很快把精力转向其他的研究领域。涡轮喷气发动机原理被提出后,就这样被搁置在一边。

1934年惠特尔被送到剑桥大学学习机械工程。在那里,正规的大学教育为他后来的技术活动打下了良好的基础。入学后不久,他又把喷气发动机的设想向指导教师提出,这一次他受到了热情的鼓励,使他心中再次燃起希望之火。

1935年,惠特尔的一些朋友开始为他筹集研制喷气发动机的资金。他们最后终于通过私人关系使一家银行对惠特尔的方案发生兴趣,同意提供资助。1936年3月,专门为研制惠特尔设计的发动机而组成的喷气动力公司正式成立。公司有名义资本10 000英镑以及2 000英镑现金。此时英国军方仍未改变他们的不信任态度,不仅拒绝对惠特尔进行资助,而且要求他每周在公司工作的时间不得超出6小时。为了得到更多的时间,惠特尔在剑桥大学的教师说服空军教育部主任同意他留校当研究生,这样他才得到了研制喷气发动机的合法名义。

1935年底,惠特尔设计了他的第一台试验机,定名为WU试验机。该发动机的设计推力为8.8千牛,预计飞行速度为804.5千米/小时。由于轴流式压气机还不够成熟,惠特尔选择了离心式单级双面压气机,直径为48厘米,涡轮为一级轴流式,直径为42厘米。此外还有一个很大的,几乎环绕发动机一周的单管燃烧室。涡轮和压气机的设计当时已有一定的基础,但是,燃烧室的设计却没有现成的根据。在小型燃烧室内使空气在高压和高速运动的状态下与燃料混合燃烧,而且保持燃烧的连续和稳定性,这是过去任何人从未遇到过的问题。惠特尔为此走访了不少企业,试图说服他们协助进行试验研究。最后在一家苏格兰公司的帮助下,他就燃烧的基本问题进行了一系列试验。由于缺乏资金,惠特尔只好放弃了压气机和涡轮的部件试验。

1937年4月12日,WU试验机首次试车。这次试验被看成是涡轮喷气发动机诞生的标志。但实际上,WU型远不是一个成功的发动机。资金、设备的缺乏和经验的不足,使试验遇到了重重困难。首先是发动机一再失控。第一次失控是由于油泵渗入空气使喷咀在试验前漏油。此后,局部过热造成的喷咀弹簧强度下降,汽化器雾化质量恶化等等,都一再造成失控。

当失控原因找到并且基本排除时,发动机已经由于机械故障受到了严重的损坏。同时惠特尔还发现,随着转速的增加,压气机和涡轮的效率明显下降。这使惠特尔不得不决定进行重新设计。

英国军方在惠特尔第一台试验机运行后,开始给予财政上的支持。第二台试验机由于涡轮叶片的损坏很快就被放弃了,没有取得什么成果,只是暴露出了叶片材料和燃烧室这样两个互相牵制的问题。第三台试验机与前两台相比,在结构上有了比较大的改进。由于大型燃烧室的压力、温度和流场都不易控制,惠特尔用10个分管燃烧室取而代之。10个分管燃烧室与发动机轴向平行地环绕一周。各燃烧室之间有联焰管传递火焰并保持均压。为适应钣金加工的要求,每一燃烧室都采用了回流式结构,这又恰好能使燃烧室内部结构的改进较少受燃气热膨胀的影响。这种结构的燃烧室虽然重量和阻力都比较大,但容易控制燃烧过程,加工方便,这与当时的实验水平和技术条件是相适应的,因此曾一度对英美国家的发动机有相当大影响。除了燃烧室以外,惠特尔对压气机和涡轮也进行了一些改进。

1938年10月,新的试验机组装完毕。虽然燃烧室性能仍不能令人满意,但这台发动机终于实现了在16500转/分钟转速下的持续运行。这应该说是一个重大的成功。

1939年6月,当第二次世界大战已经迫在眉睫的时候,迫切希望提高飞机性能的英国空军首脑来到喷气动力公司视察,看到试验机以16500转每分的转速持续工作了20分钟。这是一个重要的转机。英国军方终于认识到惠特尔工作的意义,很快决定与惠特尔签订试飞发动机的研制合同。试飞发动机定名为W I型。飞机的设计和制造工作由格罗斯特公司承担。军方的重视使喷气动力公司的处境得到了改善。公司得到了建立自己的厂房、绘图室和购买飞机的资金,并组织了一支自己的科研、管理队伍。惠特尔三年以来只在几名助手的帮助下孤军奋斗的历史终于结束了。不久,军方又决定研制双发动机喷气式飞机,这就是W II计划。

1939年9月,希特勒发动了第二次世界大战。战争使喷气动力公司更加紧了工作,也使这项工作得到了更多部门的支持。但是,直到1939年,燃烧室的性能仍不能令人满意。最使惠特尔头疼的是供油问题。涡轮喷气发动机的空气流量范围很大,要求供油量必须以相应的比例变化,以保证适当的燃油空气比。惠特尔试制了30多个汽化器,都由于供油效果不佳而失败。这时,出于兴趣而常来观察惠特尔工作的工程师卢保克在了解了这一困难之后,在自己的试验室中研制出一种特殊的雾化喷咀。用它代替原来的汽化器后,燃烧室的性能大大改善。这就是后来常常被人们提到的卢保克喷咀。困扰惠特尔多年的问题终于得到解决。

制造W II的任务最初由汤姆森·霍斯顿公司承担,后来又被转交给罗弗尔公司。英国第一架喷气式飞机由格罗斯特公司的卡特(J. Carter)设计,被命名为E28/39。1941年5月15日,天气晴朗,在布罗克沃斯机场,格罗斯特公司首席试飞员萨伊尔(G. Sayer)驾驶着英国第一架喷气式飞机E28/39腾空而起。惠特尔经过十几年百折不挠的努力,终于取得了成功。英国著名的《飞行》杂志主编史密斯(G. Smith)后来在一次广播讲话中说:“这位来自考文垂的工程师揭开了人类征服大气的新篇章,使英国工程技术编年史上又增加了一个新的成就。”英国虽然获得了研制成功世界第一台涡轮喷气发动机的荣誉,但第一架喷气式飞机却诞生在德国。

德国涡轮喷气发动机的发明人汉斯·冯·欧海因是从1933年开始思考实现空气喷气推进的途径的,当时他还是哥廷根大学的学生。根据欧海因本人的回忆,促使他对这个问题发生兴趣的原因是,他直觉地感到,持续不断的燃气喷射原则上可以获得更大的推力并能使发动机有较轻的重量。他曾设想过去不采用压气机的方案,但在进行具体方案设计时,便发现这是很难实现的。经过一系列挫折以后,他终于提出了与惠特尔式涡轮喷气发动机大体相同的方案。

1934年,欧海因开始进行初步工程设计。他选择了离心式压气机,设计压缩比为3:1,环形燃烧室和向心涡轮。这种涡轮虽然空气动力损失比较大,但只需要用普通的钢材就可以承受比较高的温度。使用这种发动机的飞机设计飞行速度为804.5千米/小时,与惠特尔设计的第一台发动机相同。初步计算结果表明,虽然发动机耗油率高一些,但是,重量却比活塞发动机轻得多。接着,在他的朋友、一位很有才能的汽车修理工和机械师哈恩(M. Hahn)的帮助下,利用哈恩汽车修理车间的设备一边加工一边修改设计,最后竟然把发动机制造了出来。而且全部造价压缩到竟不足1000马克,这是欧海因的经济力量所能够承受的极限。

当时欧海因正在做毕业论文。他把自己的方案交给指导教师波尔(W. Pohl)请求指导。尽管欧海因的毕业论文甚至整个学校的科研项目都与喷气发动机没有什么关系,波尔教授仍然对他的设计表现出很大的热情,不仅给予了具体的指导,而且允许他利用学校的设备进行试验。与惠特尔相同的是,欧海因也遇到了燃烧问题。在初次试验中,燃烧过程仿佛不是发生在燃烧室,而是穿过向心涡轮直接进入了喷管。显然必须对燃烧室的基本问题进行系统研究,而这需要大量的资金。欧海因个人是无力承担如此高的费用的。正当他为此而情绪低落时,波尔教授却明确表示,他认为涡轮喷气发动机的设想在方向上是完全正确的,有很大的发展潜力。他恳切希望欧海因坚持下去,并且亲自为他联系可能合作的工业部门。

在波尔教授的推荐下,欧海因见到了亨克尔飞机公司经理恩斯特·亨克尔。当时德国空军刚刚成立,迫切希望提高飞机的性能。而亨克尔对高速飞行的兴趣又是十分浓厚的。在他的安排下,欧海因与该公司的工程师们一起讨论了喷气式飞机的可行性。随后亨克尔下了决心,与欧海因签订了研制合同。合同的生效日期是1936年4月15日,比英国喷气动力公司成立的时间只晚一个月。亨克尔素来很有建功立业的抱负,他希望由自己的公司独立研制出第一架喷气式飞机,不愿别的公司插手,也不希望由军方来主持。为了保密起见,研制喷气式飞机的计划被称作“特别发展计划”,研制部门是由亨克尔直接领导的“特别发展部”。亨克尔迫切希望早日获得成功,甚至要求欧海因立即着手研制试飞发动机而非台架试验机,并且提出了非常不切实际的技术目标。

欧海因原准备先进行系统的试验,以解决燃烧室设计问题。因为他很清楚,如果按照亨克尔的意见研制整机,燃烧室性能恶化会使整个计划告吹。但是亨克尔没有耐心等待他长时间进行看不出什么希望的基础研究。欧海因经过反复思考,做出了一个十分明智的决定:先迅速研制一台技术风险性最小,结构最简单,但是体现其设计优越性的发动机。为达到这个目的,他除采用技术上比较成熟的离心式压气机和向心涡轮外,还选择了气态氢作为燃料。因为氢气虽然并不实用,但有非常宽的燃料空气混合范围,这实际上回避了燃烧问题。这台发动机定

名为 HeS1,于 1937 年 2 月底装配完毕。在台架试验中,它完全达到了预期的效果。虽然它在技术上的成果不大,推力只有 2.65 千牛,却使亨克尔本人和公司的工程师们对涡轮喷气发动机的可行性深信不移。欧海因在该公司的地位和威信也大大提高,也有机会研究燃烧问题了。

当 HeS1 还在制造时,燃烧室的研究就开始了。欧海因用了一年的时间,对燃烧室形状的选择、环形燃烧室火焰稳定的机理、燃料的供应与喷射方法等问题进行了系统研究,终于在 1938 年初研制出性能较好的燃烧室。他的燃烧室后来获得了国际专利。

此后,欧海因开始发动机整机研制。为了提高压气机与涡轮效率,他对原有的设计进行了一系列改进。其中最重要的一个改进是在离心式压气机前装上了一级轴流式的压气机。在高速大流量压气机试验中,欧海因发现,当高速流动的气体进入高速旋转的压气机时,出现了严重的空气动力损失。装上压气机后,能使空气得到预先旋转,使离心叶片进口曲率减少,降低了空气流动损失。最后完成的喷气发动机定名为 HeS3,推力为 4 千牛,推重比为 1:12。

用于试飞的配套飞机于 1937 年底开始研制,1939 年春制造完工,定名为 He178。1939 年 8 月 27 日,在第二次世界大战爆发前一个星期,由德国著名试飞员瓦西茨(E. Warsitz)驾驶,亨克尔 He178 进行了首次飞行,从而成为世界上第一架试飞成功的涡轮喷气式飞机。

以 He178 和格罗斯特 E28/39 为标志,欧海因和惠特尔完成了涡轮喷气发动机的发明,揭开了人类航空历史新时代的序幕。

第 3 节 喷气式飞机初入战场

涡轮喷气发动机试飞成功向人们预示了其巨大的发展潜力。无论是盟国还是轴心国,都迫切希望自己掌握的新技术能尽快在战争中一显身手。于是,在第二次世界大战的特殊背景下,涡轮喷气发动机很快发展起来。在整个战争期间,涡轮喷气发动机在德国、英国和美国获得了长足的发展。

德国空军的首脑虽然一直迫切希望提高飞机的性能,但是他们在很长的时间里却完全不理解燃气涡轮发动机的意义。然而,空军技术部的负责人毛赫(H. Mauch)和希尔普(H. Schelp)却对新的推进系统很有兴趣。其中希尔普曾经在 1936 年前后对涡轮喷气发动机、冲压发动机和双涵道发动机进行过理论研究,并向德国空气动力研究院提交过这方面的报告。

从 1938 年起,希尔普走访了德国的主要发动机企业,试图说服这些企业研制涡轮喷气发动机,最初他遭到了几乎是一致的拒绝。经过空军技术部的努力,德国政府做出决定,对愿意研制喷气发动机的公司一律给予财政上的支持。这样,容克公司、巴伐利亚公司和布拉莫公司先后与政府签订了研制合同。亨克尔 He178 试飞成功后,德国空军派出代表参观了飞行表演并完全相信这种新型发动机的优越性,很快批准了公司关于发展双发动机战斗机的亨克尔 He280 计划。曾经一再拒绝研制喷气发动机的著名的戴姆勒本茨公司也由于亨克尔的成功而加入到研制行列中来。于是,从 1939 年起,在战争的推动和政府的支持下,德国几个主要航空

发动机企业一齐在这个新的领域中展开了竞争。

亨克尔公司以 He3 为基础,为 He280 研制配套的发动机 HeS8,同时又着手研制轴流式发动机 HeS40。从 1941 年起,该公司又在这两种发动机的基础上着手研制一级轴流加一级离心后面又加三级轴流压气机的 HeS011 发动机。HeS40 在 1942 年春首次试车,推力达到 8.4 千牛,推重比达 2.2,是德国当时性能最好的发动机。在此前后,该公司又研制了 9 种有希望发展为生产型的发动机。多品种并行发展使这个本来不是搞发动机的公司深感人力和设备的不足。在政府的干预下,该公司吞并了黑尔特发动机公司,组成了亨克尔黑尔特公司。此后,为了满足战争对于研究进度的紧迫要求,又先后放弃了 HeS40 等发展计划,而集中力量研制最先进的 HeS011 发动机。HeS011 的设计推力为 15.7 千牛。除了压气机的形式特殊外,燃烧室的设计也别具一格。它的形式为环型,有 16 个金属条促进油气混合。尽管公司在战争后期为发展这个型号付出了很高的代价,但直到战争结束时,还是没有达到可以成批生产的水平。

巴伐利亚和布拉莫两家公司原来各自分别研究过离心和轴流式发动机。两公司合并后,他们放弃了离心式而集中力量研制轴流式发动机。在奥斯特里希博士(H. Oestrich)的主持下,该公司先后设计或研究过十几种不同的发动机,其中最成功的是 BMW003 和 BMW018 两个型号。BMW003 是该公司惟一投产的喷气发动机。其生产型 BMW003A 的压气机为 7 级,燃烧室为环形,单级涡轮的转子和静子的叶片都采用了空心气冷方式。至 1944 年交付部队使用时,推力为 7.9 千牛,推重比为 1.31。BMW018 是一台有 17 级压气机的大型轴流式发动机,设计推力达到 29.4 千牛以上。这个型号虽然从 1940 年已经开始设计,但真正开始研制的时间比较晚,由于盟军的轰炸影响了工作进度,到战争结束时,只试验过其中的压气机部分。

德国在战争年代最成功的发动机是容克公司研制的尤莫 004 轴流式发动机。这种发动机由该公司涡轮增压器分部的负责人弗朗茨(H. Franz)设计并主持研制。1936 年以后,该公司的工程师瓦格纳(Wagner)曾设计过一台轴流式喷气发动机。但是,这台发动机在试验中甚至不能持续工作。1939 年,空军要求对瓦格纳的发动机继续改进。弗朗茨经过认真分析后,拒绝了空军的要求。不久,他组织了一支由少数研究涡轮增压器的年轻工程师组成的队伍,决心重新设计和研制一台新的喷气发动机,这就是“尤莫 004”。

在没有任何经验的情况下,弗朗茨尽可能查阅了所能找到的资料,利用当时还不成熟的理论来指导设计工作,并且比较保守地选择了技术目标。他没有选择当时在德国被其他公司采用的环形燃烧室,而采用了比较容易调节的分管燃烧室。他并不急于求成,在整机试验以前,先组织了一系列的部件试验。他研制发动机的原则是,暂时不考虑生产的可行性及研制成本等问题,待到实验室中取得成功后再做改进。因此,第一台试验机采用了不少价格昂贵的金属材料,涡轮叶片和调节锥都是实心的。1940 年 10 月,尤莫 004A 开始台架试验。次年 1 月,当其推力达到 4.2 千牛时,压气机开始喘振。在对静子叶片进行反复调整后,1941 年 12 月,推力达到了 9.8 千牛,并且能持续工作 10 小时以上。在经过空中试验后,1942 年 7 月 18 日,以尤莫 004 为动力的梅塞施米特 Me262 喷气式飞机试飞成功。此后,弗朗茨等人根据生产的需要对发动机进行了一系列改进。他们尽量采用标准化的零件,并为燃烧室、涡轮和尾喷管设计

了冷却系统,使得几乎所有的热零部件都可以采用普通的碳钢。最初的生产型发动机虽然推力有所下降,但造价不高。第一个生产型尤莫 004 于 1944 年 3 月开始交付部队使用,其推力为 8.1 千牛。到战争结束时,尤莫 004 又发展出 C、E、D 三个改进型,生产了 6 000 台,装备了 1 249 架梅塞施米特 Me262 和 214 架阿拉都公司的 AR234 喷气式轰炸机。

德国为了在侵略战争中取胜,积极支持涡轮喷气发动机的发展,使德国在战争年代喷气发动机研制发展较快,并取得了不少技术上的成果。其中环形燃烧室、轴流压气机、空心气冷叶片、喷管调节锥以及双涵道发动机等技术对于战后喷气发动机的发展有十分深远的影响。

英国在战争年代并行发展了离心式和轴流式两种形式的涡轮喷气发动机。其中离心式是对惠特尔发明的喷气发动机的不断改进,轴流式则源于皇家飞机研究院的早期研制活动。

从 1926 年起,皇家飞机研究院的格里弗斯等人就制造了一系列小型轴流式压气机进行试验研究。但是,由于这种压气机的设计和制造都有很多技术的难点,所以他们长期未能提出实际方案。1936 年以后,他们与英国首都维克斯蒸汽轮机公司一起设计并制造了一台分为高压两部分的双转子燃气轮机,准备利用从高压涡轮流出的燃气推动一个单独的做功涡轮,再由涡轮带动旋翼。在翼型环流理论的指导下,经过多次的改进和调整,到 1939 年,高压压气机的效率达到了 87%,这使皇家飞机研究院相信轴流式压气机成功的条件已经具备,便从 1940 年起在政府的支持下,向各发动机企业提出合作研制的要求,促使首都维克斯公司、阿姆斯特朗·西德利公司和罗耳斯·罗伊斯公司签订了研制合同。随后,由皇家飞机研究院设计,维克斯公司制造的实用型轴流式燃气轮机进行了试验。其压气机为 9 级,涡轮为 2 级,燃烧室为环形,功率达到 1 492 千瓦。E28/39 试飞成功后,这个原准备安装旋翼的燃气轮机就装上了尾喷管,定名为 F2 型发动机。1943 年 6 月 29 日,它成为英国第一台试飞成功的轴流式喷气发动机。

英国在战争年代充分发展了离心式喷气发动机。格罗斯特 E28/39 试飞成功后,“惠特尔”型发动机被人们看成是最有希望能尽快发展出生产型的形式。虽然德军对英国的进攻从 1941 年春季起从总体已经停止,但英国仍然受到轰炸的威胁。空军迫切希望能制造出速度更快的飞机以应付德国的空袭,对于喷气动力公司的工作十分重视。制造发动机的公司扩大为罗弗尔、汤姆森·霍斯顿和沃克斯霍金三家公司。英国在战争年代似乎不曾考虑过冷却叶片的方法。为使发动机寿命达到应用的要求,政府动员了数以千计的科学家和技术人员研制耐高温材料,促使孟德制镍公司、维克斯公司和威廉·杰索普公司先后研制出几种不同的耐高温合金,其中孟德制镍公司的镍基合金性能最佳,后来广泛用作叶片材料。1942 年 9 月,采用新叶片材料的 W II 1500 发动机顺利通过了 100 小时验收试车。英国空军对这台发动机的性能十分满意,要求以每月 100 台的产量生产。但是,即使把三个小公司合在一起,也没有这样的生产能力。

1942 年以后,法西斯德国入侵苏联并在那里越陷越深,英国本土遭到袭击的威胁越来越少。空军对于高速度战斗机的需求便不是十分迫切了。从长远的发展出发,英国政府要求罗耳斯·罗伊斯公司(简称罗·罗公司)接管了“惠特尔”型发动机的研制与生产。

罗·罗公司是英国当时最大的航空发动机生产企业。早在1938年,该公司就组建了燃气涡轮发展部,开始着手涡轮喷气发动机的研究工作。1940年,罗·罗公司总经理海夫斯和工程师胡克来到喷气动力公司参观。当海夫斯认识到燃气涡轮与喷气推进相结合的优越性后,便以自己公司先进的生产设备为惠特尔加工零件。1941年,为了支持惠特尔的工作,罗·罗公司在达比建立了最早的压气机试验设备,使W II发动机的压气机由于与涡轮不匹配引起的喘振得以消除。与此同时,该公司也开始研制自己的型号WRI。罗·罗公司在取得喷气动力公司的同时,还买下了该公司的工厂,并从本公司的各个生产部门调来一批有实践经验的工程师,组建了一个由各种不同专长的技术人员组成的喷气发动机设计研制集团,正式开始了以“惠特尔”型发动机为基础的大规模研制工作。离心式发动机从此大踏步地向前发展了。

1943年4月,罗·罗公司第一台定名为“威兰德”的生产型发动机通过了100小时的试车。其推力为7.55千牛,推重比为2。该发动机当年就投入了生产。由它装备的英国“流星”式战斗机于1944年5月交付部队使用,成为第二次世界大战中盟国惟一参战的喷气式飞机。接着,罗·罗公司又对于“惠特尔”型发动机进行了第一次大的结构上的改进:用直流式燃烧室代替结构和重量都比较大的回流式燃烧室。在研制“威兰德”发动机取得了一定经验,并对燃烧问题作了进一步的研究之后,罗·罗公司很快研制出“德温特”发动机。“德温特”发动机在采用直流燃烧室的同时,还在转子中部装上风扇(离心式),用来冷却空气,以防止某些零件过热。随后,该公司又研制了“德温特”发动机的放大型、推力达22.5千牛的“尼恩”发动机。罗·罗公司凭借自己雄厚的资金、设备和技术人员优势,仅仅用了两年多的时间,就把离心式涡轮喷气发动机的发展推向了高峰。

除了罗·罗公司以外,英国研制离心式发动机的还有德·哈维兰公司发动机分部。该分部从1941年起,在“惠特尔”型发动机的影响下研制的“古别林”及其放大型“古斯特”两种优秀的发动机,在战后西方国家中被广泛采用。

1938年,美国海军组织了一个由科学家和高级工程师组成的委员会,对燃气涡轮发动机的发展潜力进行专门研究。但是,这次研究却得出了这样的结论:燃气涡轮发动机只可能适合于舰船使用,其重量在可以预见的未来不可能减轻到适合于飞机的程度。冯·卡门后来不无遗憾地说:“这样,美国的发动机企业便在1938年放弃了喷气推进,从而失去了在未来不到二十年内使航空发生革命性变革的领域中充当先锋的重要时机。”

1941年初,美国得到英国和德国正在研制喷气发动机的情报。当年2月25日,美国陆军航空兵参谋长阿诺德将军写信给航空咨询委员会主席布什(V. Bush),催促他建立发展涡轮喷气发动机的组织。3月,在布什的主持下,航空咨询委员会建立了以杜兰德(J. Durand)为主席的喷气推进委员会。该委员会由海、陆军航空兵,三个企业和两所大学的代表组成,负责代表政府组织喷气发动机的研制工作。4月以后,经委员会批准,美国通用电器公司、威斯汀豪斯公司分别开始实施其涡轮旋翼发动机、涡轮喷气发动机和涡轮风扇发动机计划。

英国在E28/39试飞成功后,立即邀请阿诺德将军前往观看表演。阿诺德第一次目睹这种喷气式飞机的飞行便对其优越性与发展潜力深信不疑,很快与英国签订了仿制合同。由于

战争年代美国航空发动机企业生产任务繁重,而涡轮喷气发动机又与原有的活塞发动机在原理上和结构上相去甚远,因而美国将仿制的任务交给了生产蒸汽轮机和涡轮增压器的通用电器公司。

通用电器公司只抽出三名工程师和少数技术人员在位于林恩河畔的增压器分部以极其秘密的方式进行仿制英国的发动机。1941年10月,一个英国技术小组携带一台未装配的发动机来到林恩。此后,一系列的发动机图纸被送到这里。通用电器公司根据他们多年研制涡轮增压器的工作经验及美国和本公司的资源和设备情况,在仿制中对原发动机的材料和工艺进行了不少改进。只过了5个月时间,仿制型的I-A发动机便开始进行台架试验。1942年4月18日,发动机实现了首次持续运行,推力为5.56千牛。1942年10月2日,一架装有两台I-A发动机的贝尔XP-59试验机在加利福尼亚州的莫罗克干湖床上飞行了10分钟,这是美国的第一次喷气动力飞行。此后,在莫斯博士的参加下,通用电器公司应用研制压气机的经验和成果,并吸收了蒸汽轮机分公司在研制轴流式发动机涡轮和燃烧室方面取得的经验,对I-A进行了改进。改进的I-16于1943年4月首次试车,推力为7.1千牛,推重比为1.88。其性能已接近与其同时在英国研制的“威兰德”发动机。该发动机定名为J31,后投入了小批量生产。

1943年初,在获悉德国正在研制Me262战斗机后,美国陆军航空兵决定研制速度为800千米/小时的战斗机,要求发动机的推力达17.6千牛,研制任务落到了通用电器公司头上。当年6月,在经过多次的方案论证后,该公司决定,新发动机在结构上采用I-40发动机的压气机和涡轮,只把燃烧室改为直流型。这与英国罗·罗公司对威兰德的改进相同。1944年初,改进的I-40发动机试车成功,推力达到17.8千牛,其他性能水平已不亚于当时英国的离心式发动机,它标志着美国通用电器公司在离心式发动机方面已跻身世界先进水平。生产型I-40定名为J33,装备了美国第一代喷气式战斗机F-80。

从1941年起,通用电器公司位于施内克塔迪的蒸汽轮机分公司便开始根据合同为海军研制涡轮旋翼发动机。由于在压气机和燃烧室方面缺乏经验,这项工作初期的进展十分缓慢。后来在“惠特尔”型发动机的启发下,研制人员形成了复合筒形燃烧室的概念,研制了直流分管燃烧室。1943年5月,发动机的燃气发生器部分进行了首次台架试验,其重量为360千克,输出功率为895千瓦。这时I-A和I-16发动机的成功,蒸汽轮机分公司的工程师们建议将这台发动机改为轴流式发动机。经过几个月的讨论,技术人员一致认为,轴流式压气机比离心式有更大的发展潜力。军方考虑其发展XP-80战斗机的需要,批准了新的研制计划。在又花了半年时间集中力量改进压气机之后,1944年4月,这台轴流式涡轮喷气发动机在首次试车中,推力达到了17.8千牛。又经过两年的调试和改进后,于1946年装在F-84战斗机上试飞成功。

在通用电器公司有条不紊地对着图纸仿制“惠特尔”发动机时,威斯汀豪斯公司却在困难重重中研制自己的喷气式发动机。美国政府当时希望他们能够在没有任何借鉴的情况下产生关于发动机的新思想,因而他们对通用电器公司的工作一无所知。可惜,这只是使他们多走了

不少弯路,并没有取得什么新鲜的成果。在工作开始阶段,公司的技术人员甚至不知道发动机是怎样点火的。全部零件都必须从头搞起。大量的选材试验和燃烧室形式的多次改进耗费了大量的人力物力。最后定名为 X19A 的发动机终于在 1943 年 3 月首次试车,推力为 5.34 千牛。1944 年 1 月,该发动机完成了飞行试验。经过改进后,发动机推力达到 7.3 千牛。这就是 J30。它装备了美国海军第一代舰载喷气战斗机。

1939 年 10 月,美国航空咨询委员会建议政府建立一个航空发动机研究中心,承担发动机的基础研究和飞行试验任务,并组成了一个专门委员会制定发展计划。1940 年 6 月,该计划得到国会批准。基建工程很快在俄亥俄州的克里夫兰开始。当时这个中心被命名为“飞机发动机研究试验室”。在通用电器公司 I-A 发动机试车后,提出了大量基础研究的课题。面对这一情况,该中心一面对原来的设备进行改造,一面建立新的喷气发动机试验设备。1943 年建成了两座地面试验台,1944 年又建立了高空模拟试验台。这个中心的建成和改造,对美国战争后期和战后喷气发动机的发展起了重要作用。很多新设计方案在这里进行了基础实验研究,它为美国涡轮喷气发动机迅速从仿制走向自行设计提供了保证。

第 4 节 喷气时代的航空动力

第二次世界大战后期,涡轮喷气发动机在实战中初露锋芒,举世关注。战争刚刚结束,以“德温特”式喷气发动机为动力的英国“流星”战斗机便创造了新的速度世界纪录。此时,无论是航空专家、航空企业家、政府官员或一般公众,已经很少有人怀疑,航空动力的划时代的变革开始了。随着战后经济的复苏,更多的国家进入到这一新的技术领域中了。其中苏联和法国率先成为通过技术引进和消化形成了独立研究能力的国家。

苏联航空发动机设计师留利卡从 1936 年开始设计和研制涡轮喷气发动机。1941 年,当发动机部件研制已经基本完成,整机的装配和试验即将进行时,法西斯德国的大举进攻使这一项目被迫中止。一年以后,在苏共中央的干预下,研究活动又重新展开,但是规模一直不大。1943 年底,在得知德国和盟军都在发展喷气发动机技术的情况下,航空工业人民委员会终于决定,积极支持留利卡设计的发动机 РД1 的进一步研制和改进。但是直到战争结束,苏联没有研制出自己的喷气式发动机。

二战一结束,苏联就开始利用缴获的资料和设备,在德国技术人员的帮助下,仿制德国的尤莫 004 和 BMW 发动机。只用了半年的时间,柯里索夫和库兹聂佐夫设计局就分别仿制成功,定名为 РД10 和 РД20。1946 年 4 月,这两种发动机分别装在米格 9 和米格 15 战斗机上试飞成功。苏联从此有了自己的喷气式战斗机。1947 年,苏联通过贸易谈判从英国购买了 25 台“尼恩”和 30 台“德温特”发动机,便立即着手仿制这两个型号。经过一年多的努力,克里莫夫设计局仿制的“尼恩”发动机定名为 РД45。1949 年,发动机开始成批生产,装备了苏联第一代后掠翼战斗机米格 15。“德温特”发动机也由米库林设计局仿制成功,定名为 РД500。这种

发动机曾装在雅克 - 23 教练机和一部分靶机上。可是,由于性能不及“尼恩”,没有广泛投入使用。

苏联人懂得,仿制只能解决眼前的需要,从长远的利益出发,必须发展自己的设计能力。因此,苏联技术人员在仿制中下了很大功夫学习国外的先进技术,使仿制成为通向自行设计的桥梁。在仿制德国的发动机中,他们把德国的工厂连人带设备一起搬到乌拉尔、古比雪夫等发动机工业基地,把俘虏的技术人员集中起来,命令他们提供技术、工作经验和管理方法。因为最后的产品是在设计中综合考虑了各种因素进行折衷的结果,不易从中领会设计方法和原则。为此,他们甚至要求原来的设计人员把仿制的产品重新设计一遍,以利于真正吃透其设计过程。苏联人在仿制中坚持“边试边仿”的原则。不论是德国还是英国的发动机,每个型号在仿制以前,中央空气流体动力学研究院和中央发动机研究院以及各设计局总要进行大量的试验研究,力求学到更多的东西。

这样,通过仿制德国和英国的发动机,苏联逐步培养出了自己的研究和设计队伍。克里莫夫设计局首先在 PD45 的基础上研制成功 BK1 离心式喷气发动机,推力为 26.5 千牛。1951 年,米格 17 战斗机以 BK1 为动力首次试飞成功。由于 1950 年苏联中央发动机研究院完成了加力燃烧室的研究,因而克里莫夫设计局又研制成带加力的 BK1Φ,加力推力达到 33 千牛,这个推力使米格 17 的俯冲马赫数达到了 1.14。此后,苏联的其他设计局也陆续研制成功自己的涡轮喷气发动机。经过苏联政府、技术人员和管理人员的共同努力,苏联只用了五年多一点的时间就实现了从仿制到自行研制的过渡。

与苏联同时期从无到有地建立了自己的喷气发动机工业的还有法国。法国在第二次世界大战中被德占领,航空工业遭到严重破坏。战争结束后,法国政府首先通过工业结构的调整,加强了发动机工业的国有化,并根据本国国情,确定了通过引进和仿制发展到独立设计的道路和集中力量发展战斗机用发动机的方针。对于本国的喷气发动机技术和工业,政府一直采取保护政策,积极鼓励自行设计研制,并尽可能在国产飞机上使用自行研制的发动机。在战后财政还比较困难的情况下,政府为建立喷气发动机的研究基地提供了大量的资金。这样,法国的技术人员在德国的技术人员的帮助下,经过不断努力,通过仿制 BMW003 发动机,发展出了自己的“阿塔”(ATAR)发动机系列。到 50 年代初,法国已经用自己研制的“阿塔”系列发动机装备了不少国产的轻型战斗机。

战后出现的第一代有影响的喷气发动机是英国罗·罗公司的“尼恩”、德·哈维兰公司的“古斯特”和美国通用电器公司的 J47 发动机,前两种是离心式的,J47 是轴流式。它们的推力都在 22.5 千牛左右,推重比约 2~3。“尼恩”和“古斯特”曾被很多国家仿制,装备了那些国家战后第一代实用的喷气式战斗机。有人认为,它们代表了离心式喷气发动机的最高水平,此后,这种发动机的性能就没有很大的提高了。J47 则是战后第一个投入大规模使用的轴流式发动机。在朝鲜战场上,苏联仿制的“尼恩”和美国制造的 J47 发动机分别装备的米格 15 和 F-86 是空战的主要对手。

继“尼恩”、“古斯特”、J47 之后,由于发动机研究的全面展开,喷气发动机技术有了明显的

提高。从 50 年代初开始,一代面目全新的发动机出现了。

1952 年,英国的布里斯托尔公司研制成功地面静推力达 44 千牛的“奥林普斯”式双转子涡轮喷气式发动机。此后两三年中,美国、英国、苏联和法国相继研制出推力为 49~98 千牛的发动机。这个推力已经达到发动机本身重量的 4~5 倍,而且有的推力已经超过飞机的总重。大部分发动机的耗油率已下降到 0.08 千克/(牛·时)左右。大推力的发动机的出现使飞机的速度突破了音障,战斗机的速度很快达到了二倍音速。

新一代的发动机的压气机、燃烧室和涡轮等组成部分又有了改进,性能水平有了明显的提高。压气机已经全部采用了轴流式。这种形式的压气机迎风面积比较小,而且可望达到较高的压缩比,战后成为各国研究和研制的重点。早期压气机发展中的一个困难是,当重量和尺寸进一步降低时,效率会明显下降,因为减轻重量必须提高压缩比。为此人们开始采用尽可能大的叶型弯度和尽可能小的叶间距离,结果使环绕叶片的气流互相干扰,这说明原来的孤立叶型理论已不适用了。为了解决这个问题,很多国家投入了大量的人力物力开展空气动力学研究。经过大量系统实验和研究后,美国的霍威尔(R. Howell)、英国的卡特(D. S. Carter)、中国科学家吴仲华等相继提出了“叶栅二元和三元流”理论,这些理论为高压压缩比轴流式压气机的设计提供了重要的理论基础。

压气机设计的另一个难题是,高速飞机要求压气机能适应较大的工作范围。但是,当压气机偏离设计工作点时,就会发生振动,这被称作“喘振”。从 40 年代起,为了解决这一难题,人们先后采用过不少措施,其中主要的有以下三种:一是后级放气,即利用阀门根据气流的速度放掉一部分空气。这种方法虽不经济,也还算有效,被英国的“埃汶”发动机采用;二是在压气机进口设一能按照工作状态进行调节的导流叶片,美国通用电器公司应用这一方法研制了著名的 J79 发动机;第三种方法是采用将压气机分为高低压两或三部分,用多个转子使之在不同的转速下有不同的转速比,这是英国“奥林巴斯”和美国普拉特·惠特尼公司的 J57 所采用的方法。由于空气动力学理论和各种防喘方法的成功运用,压气机的性能水平不断提高,增压比达到了 10 左右,为提高发动机的整体水平提供了保证。

新一代发动机的燃烧室已全部采用了环管或环形燃烧室。在轴流式压气机已经普遍采用的情况下,原有的分管燃烧室已经不能满足发动机减少迎风面积的需要。同时,耐热材料和冷却方式的改善,对紊流燃烧和火焰稳定性的研究已为环形燃烧室的应用提供了必要的准备。“奥林普斯”、J57 是最早成功地采用环管燃烧室的大推力发动机,其迎风面积明显减小。

涡轮的发展也由于叶栅理论的进步特别是二元和三元流理论的发展而有了新的进步。此外,为了提高效率,也由于多转子的采用,新一代发动机大多采用了多级涡轮。为了减少漏气损失,各种复杂的密封方式发展起来。当然,人们最关心的还是叶片所能承受的最高涡轮前温度,因为它对发动机性能的影响最大。各国都投入了很大力量研制性能更好的耐高温材料。当时英国的“尼木尼克”系列已发展到“尼木尼克 90”,以它为叶片材料的涡轮前温度已经接近 900℃。虽然叶片的冷却方式还很少采用,但美国和英国都已经提出过不少方案。

新一代的发动机中还有英国罗·罗公司研制的最早实现成批生产的涡轮风扇发动机。这

种发动机是利用增加排气的质量、降低排气的速度和温度的方法,减少能量损失,提高了发动机的经济性。最早的风扇发动机专利是惠特尔特于1936年获得的。1943年前后,惠特尔特还设计过几种不同结构的风扇发动机,但没有研制过。在第二次世界大战中,德国的戴姆勒本茨公司和英国维克斯公司也研制过不同的风扇发动机,但没有取得成功。1945年,罗·罗公司开始与国家燃气轮机研究院联合进行风扇发动机的方案性研究。一年后,结构方案终于正式提出。以后又进行了一系列改进。1948年,罗·罗公司根据政府提出的“探险者”计划,设计了推力为41.2千牛的原型机RB.80。在“探险者”计划被取消之后,该公司在研制了RB.80的基础上设计的“康维”发动机。“康维”发动机为双轴形式,在叶片较长的低压压气机出口处,气流被分成两个部分,一部分进入外涵道,一部分通过低压压气机进入燃烧室,形成了前风扇后双涵道发动机。“康维”发动机虽然涵道比很低,但已经表现出较好的经济性。后来经过多次改进,于20世纪50年代末被美国波音707客机采用。在“康维”发动机的基础上,罗·罗公司又研制了经济性与安全性更好的“斯贝”发动机,被“三叉戟”等著名飞机采用。

风扇发动机一出现,立即以经济上的明显优势引起航空界普遍重视。20世纪50年代末到60年代初,随着波音707、DC-8、“三叉戟”等一代性能优越的喷气式客机稳定地占领民航市场,经济性成为越来越重要的设计指标。为了实现民航的大众化,美国波音公司、洛克希德公司、麦道公司从20世纪60年代初开始研制经济更好的大型宽体客机,欧洲的英国、法国、德国等也开始研制“空中客车”。在这一背景下,航空发动机公司便把推力更大、经济性更好看作自己的目标。

1965年,美国通用电器公司与军方签订合同,为美国的洛克希德C-5A“银河”号大型运输机研制大推力发动机TF39。1967年,该公司在TF39的基础上研制了供超音速客机使用的GE4发动机。GE4发动机的推力达到299千牛,是世界上推力最大的一种发动机。虽然超声速客机计划被取消,但是基于GE4技术,通用电气公司制造了CF-6系列发动机供应市场,装于波音747、DC-10、A300等现代宽体客机上。CF-6投放市场后被53家航空公司选用,装备了350架宽体客机。与CF-6同时出现在民航市场上的还有美国普拉特·惠特尼公司的JT9D,英国罗·罗公司的RB.211等发动机。这一代发动机的推力达到199~299千牛,推重比达到6以上。由于空气动力学、耐高温合金、气冷和液冷及相应的加工技术的发展,发动机普遍实现了所谓“三高”,即高涵道比、高压比和高涡轮前温度。CF6发动机的涵道比为8:1,压缩比为20:1,涡轮前温度为1500。“三高”的实现不仅使发动机的推力和推重比大大提高,而且使其经济性大大改善。美国普拉特·惠特尼公司的JT9D7R4D发动机的燃油消耗率降到0.035千克/(牛·小时),比20世纪50年代的军用飞机下降了一倍多。

20世纪60年代的风扇化热潮也使这项技术为军用飞机大量采用。美国普拉特·惠特尼公司在50年代初研制成功著名的J57发动机,其推力为68千牛,曾用于B-52轰炸机,F-100、F-101和F-102等第一代超声速战斗机。为了民用市场的需要,该公司研制了J57的风扇型JT3D。JT3D在投入市场后的十年中,被110家航空公司使用,累计航线飞行达1亿小时以上。JT3D在应用中不断改进,技术水平不断提高。在此基础上,普拉特·惠特尼公司

研制出了其军用型 TF33 涡扇发动机。用于装备 B - 52H 洲际轰炸机和 C - 141 大型军用运输机。70 年代初,该公司又在 TF33 的基础上研制出用于战斗机的涡扇加力发动机 TF30,其加力推力为 113.5 千牛,是最早使用加力燃烧室实现超声速飞行的涡轮风扇发动机,用于装备通用动力公司的空军 F - 111 战斗机和格鲁门公司研制的海军用 F - 14A 舰载战斗机。1970 年 3 月,普拉特·惠特尼公司又研制了第二代军用加力涡扇发动机 F100。1974 至 1979 年,F100 发动机被用于装备麦道公司的 F - 15 空中优势战斗机和通用动力公司的 F - 16 战斗机。这样,美国的军用飞机也大部分“涡扇化”了。

现代航空发动机的主流是各种喷气发动机。经过几十年的发展,发动机性能已达到很高的水平。现代涡轮喷气发动机的推重比约为 3.5 至 4.5,加力涡喷气发动机的推力比约为 5 至 7,当前的目标是 9 至 10,涡轮风扇发动机的推重比则达到 8 以上,而用于垂直起落的升力发动机推重比高达 16 以上,并正朝向 20 至 24 发展。

涡轮喷气发动机的进步,还派生出了两种重要的航空燃气涡轮发动机——涡轮旋翼发动机和涡轮轴发动机。第二次世界大战中,英国已经研制成功涡轮旋翼发动机。其特点是使涡轮吸收较多的燃气能量,从而不仅带动压气机工作,而且带动旋翼旋转,并以旋翼的推力为主,推动飞机飞行。第二次世界大战后,英国德·哈维兰公司、罗·罗公司和美国、法国、苏联的航空发动机公司都发展了这项技术。涡轮旋翼发动机经济性比喷气发动机好,重量比活塞发动机轻,一度被民航采用。后因涡扇发动机的兴起,它的使用范围很快缩小,但至今仍被某些运输机采用。1950 年,美国波音公司发动机部最先试验成功用于直升机的涡轮轴发动机。在涡轮轴发动机中,涡轮充分吸收燃气能量,带动旋翼工作,可以获得较大的升力。这种发动机对于速度较慢的直升机来说十分适用,50 年代有不少国家研制过多种中小型涡轮轴发动机。60 年代后,这种发动机在直升机动力市场上占有较大的份额。由于它重量较轻,功率可以达到数百千瓦,很快成为直升机的主要动力,也成为航空燃气涡轮发动机家族的重要成员。

喷气发动机的发明和发展是航空技术的一场革命,它是飞机向超声速和高超声速发展的动力保证。没有喷气发动机,就没有航空的超声速时代。现代航空发动机是高技术的结晶,它集中体现了气体动力学理论、材料技术、加工制造技术、控制技术、计算机技术以及电子技术的最新成果。它的单位重量价值远远超过了飞机、汽车甚至超过了黄金。因此,它是一国技术和工业水平的标志。从诞生之日起,各国都投入了大量人力物力研制、改进喷气发动机。可以预计,喷气发动机还将获得更大的发展。以今后相当长时间里,它仍是飞机的主要动力装置。

第八章

现代喷气作战飞机



✈ 这是美国的 B - 2 隐身战略轰炸机。它采用对隐身非常有利的飞翼式气动布局 ,外部没有任何外挂物。除气动隐身外 ,它还采用了多项红外隐身、材料吸波隐身等措施 ,从而使其隐身性能极佳。它在正常探测距离下的雷达散射截面积与一只大鸟相当 ,约 0.1 平方米。

在飞机诞生之初,先驱者们设计制造的飞机只有大小、形状和性能的差异,并没有机型和机种的区别。第一次世界大战前的几次局部战争,飞机投入了战场,人们尝试在飞机上安装观察设备,于是产生了原始的侦察机;在飞机上安装机枪,于是产生了原始的战斗机;从飞机上向地面投掷手榴弹,于是产生了原始的轰炸机。第一次世界大战爆发后不久,侦察机、战斗机、轰炸机等机型机种得以确立,并得到迅速发展,其中战斗机这一机种始终受到设计师和军事首脑的重视。战斗机是用于空中格斗、争夺制空权的机种,它速度快、升限高,往往体现一个时期航空技术的最高水平。从40年代开始,战斗机最先由活塞式过渡到喷气式,它的发展更是一日千里,成为军用飞机的明星。

第1节 超声速喷气战斗机

喷气战斗机自德国的Me262起始,到F-80,再到1947年问世的F-86和米格-15,已近完成了用喷气战斗机取代活塞战斗机,它的速度、机动性等方面的优势已经充分显现出来,在军用机舞台的地位得到牢固的确立。当时战斗机追求的主要性能指标是飞行速度,为此采取了许多技术措施,包括加大发动机推力,采用后掠机翼,采用新的翼型和流线形设计等。在经过大量研制和有限使用中得到检验的基础上,喷气战斗机开始向另一个重要目标进军:超声速。

亚声速战斗机的速度一般在900~1100千米/小时。超声速则是指飞行速度超过声音的速度——在标准大气中的传播速度是340米/秒,换成时速即为1224千米。看起来1224千米不过比1100千米多了124千米/小时,加大点油门都冲过去了,其实不然。在声速这样一个关节点上,空气特性会发生很大变化,认识到这一点并找出妥善的解决办法曾付出了很大代价。

问题的关键就是:空气是可压缩的,也就是说空气具有弹性。这一点本身并不新鲜,在古代人们就已认识到了。飞机是在空气中飞行的,每时每刻都跟可压缩的空气发生相互作用。然而在飞机诞生后很长一段时期里,空气动力学对待空气都按不可压缩处理,这样比较容易,获得的结果也比较精确。当飞行速度加快时,比如达到700千米/小时以上时,产生的误差就相当大了,获得的结果必须修正。就飞行中飞机而言,机头、机翼前缘等靠前的部位要与空气发生碰撞。由于可压缩效应,被撞的空气层会将这种压力向前传播,飞机对空气的碰撞是不断进行的,因而空气压力的传播就不断向前扩展,就好象一只前进的船总会在船头形成一道道水波一样。声音在空气中传播是一种振动不断向前传播的过程。声波振动的传播速度与飞机对空气扰动的传播速度一致,因而往往拿声速与飞行速度进行比较。说一架飞机是超声速的,其实是说它的飞行速度比它对空气的扰动向前传播的速度快。

如果飞机的飞行速度越快,前面的压缩空气层的聚集现象越厉害。造成的结果是飞机前面的空气密度显著增大,从而引起阻力大增。当飞行速度刚好等于飞机对空气的扰动的传播

速度的话(即以声速飞行)那么前面受压的空气层相对飞机而言不再相前传播,此时本来是前后相继的扰动现在便全部迭在了一起,形成了极薄的一层密度极大的空气层,好像一面致密的空气墙挡在飞机前面。飞机要想穿过它,不但需要极大的推力,而且有可能因结构脆弱而粉身碎骨。在飞机发展史上,由于起初人们对这个现象不很清楚,结果发生了多次机毁人亡的事故。

科学家们在 20 世纪 30 年代后期就开始研究高速飞行问题,40 年代又加快了研究步伐。理论和实验证实,产生这些现象的原因是空气的压缩性。当飞行速度接近声速时,压缩效应会异常显著,从而产生极大的阻力并给飞机造成巨大的破坏力。飞机达到声速时前面形成的致密空气层被称为激波,由于它会为突破声速带来极大的困难,因而被称为音障。空气动力学提出的突破音障的方案包括:提高飞机机体的强度,提高发动机的推力,削弱激波强度。后掠翼、尖尖的机头、细长的机身就是超声速飞机设计的基本特征,它们都有助于突破音障,实现超声速飞行。

1947 年 10 月 14 日,美国贝尔公司研制的像一枚子弹头一样的火箭飞机 X-1 利用火箭发动机推动,在 7 800 米高空首次实现了超声速飞行。揭开了航空史新的一页。很快地,涡轮喷气式飞机的超声速探索也在加紧进行。50 年代初,实用超声速喷气式战斗机相继在苏联和美国研制成功。因而现代战斗机一般是按超声速断代的。到目前为止,超声速战斗机共发展了四代。划分各代的标准包括飞行性能、机动性能、气动布局、多用途性、适应性等。每一代对这些性能都有一定要求,但强调的程度有很大不同。

第一代超声速战斗机出现于 20 世纪 50 年代初,代表机种有美国的 F-100 和苏联的米格-19,还有美国康维尔公司的 F-102“三角标枪”、麦克唐纳公司的 F-101“魔术师”,英国的“猎人”式、法国达索公司的“超神秘”、瑞典的“萨伯”35 等。这一代战斗机的性能特点是低超声速,最大平飞速度约为 $M1.3 \sim M1.5$ 。由于它们的目的是实现超声速飞行,因而采用单台大推力喷气发动机,有的还安装了两台发动机。为了实现超声速,空气动力学设计上采取的主要措施是使用后掠翼布局或三角翼,并已开始采用面积率。有的飞机采用头部进气道,也有的采用两侧进气道,外挂有武器和副油箱。由于速度快,有些型号为增加配平系数而采用了全动式平尾。

第二代超声速战斗机出现于 20 世纪 50 年代末和 60 年代初。代表机型有美国洛克希德公司 F-104“战星”式、麦克唐纳公司 F-4“鬼怪”式、诺斯罗普公司 F-5“自由战士”,英国的“闪电”式,法国的“幻影”III 和“幻影”F-1;瑞典的“萨伯”-37;前苏联的米格-21、米格-23、米格-25 和苏-17;中国的歼 7 和歼 8-1 等。这一代战斗机强调所谓“高空高速”,最大速度可达 $M2 \sim M2.5$,升限可达 20 千米。个别的高空截击机的速度可达 $M3$,升限高达 30 千米。作战上强调全天候和中距离拦截。在气动设计上,第二代已过渡到头部尖锐、两侧进气,或为改善低速性能而采用可变后掠翼。另外,机翼的后掠角有逐步增大的趋势,许多飞机采用了小展弦比三角翼。

第三代超声速战斗机出现于 20 世纪 70 年代中期。代表机种包括美国的 F-14“雄猫”、F

- 15“鹰”、F-16“战隼”和F-18“大黄蜂”、前苏联的米格-29“支点”、苏-27“侧卫”和米格-31“猎狐犬”、法国的“幻影”2000、欧洲合作研制的“狂风”等。这一代飞机装备了推重比达7~8的发动机,电子及控制系统也大为改观,包括广泛采用电传操纵系统。与第二代相比,第三代的飞行速度和升限等指标没有多大变化,作战半径有所提高。根据局部战争的使用经验,第三代战斗机更强调多用途性和高机动性。爬升率、盘旋半径、盘旋角速度和加速性能等有了大幅度提高。为保证有较高的机动性,气动设计上的主要措施是翼身融合体、鸭式机翼、边条翼、前缘襟翼等,并大量应用主动控制技术。

第四代超声速战斗机有的已经使用,有的还在研制,有的已进行了飞行试验。这一代典型型号有美国的F-22、俄罗斯的苏-37和I-42、法国的“阵风”、欧洲合作研制的“欧洲战斗机”和瑞典的JAS.39等。第三代超声速战斗机的缺点主要有:要达到超声速必须开加力,持续超声速飞行时间很短,隐身特性较差,作战半径偏小,机动性能指标不足以应付未来的作战环境。第四代战斗机主要是为克服上述缺点研制的。第四代战斗机的性能指标有:隐身或部分隐身、超声速巡航、高机动性和敏捷性、短距离起降能力、足够大的作战半径和作战适用性等。

战斗机是军用作战飞机的主要机种,是争夺制空权的先锋,因而受到各国的高度重视,发展速度很快。喷气战斗机经过半个世纪的发展,几个大国形成了国际上有名的战斗机系列,一是美国的“F”系列,一是前苏联/俄罗斯的“米格”系列,一是法国的“幻影”系列,一是中国的“歼”系列。另外,瑞典的“萨伯”系列和英、德、意等国自行研制或联合研制的战斗机也相当有名。下面我们着重介绍美国、前苏联、英国、法国和中国研制的系列战斗机。

第2节 美国“F”系列战斗机

美国研制的第一种喷气式飞机是贝尔公司的XP-59A。它基本上是在活塞式战斗机P-63“飞蛇”基础上换装喷气发动机而成的,只是翼型有所改变。发动机采用通用电气公司仿制的英国喷气发动机。该机于1942年10月1日首次试飞。继P-59后,洛克希德公司研制了美国第一种实用喷气战斗机P-80“流星”式,这种飞机后来由于美国战斗机编号由“驱逐机”(P系列)改为“战斗机”(F系列)而获得F-80的新编号,从而开始了美国F-系列战斗机的发展历程。它的原型机于1944年1月8日首次试飞,使用英国的发动机,生产型则采用通用电气公司的J33型喷气发动机,单台推力提高到20.44千牛。飞机翼展11.85米,机长10.51米,起飞重量7646千克,最大速度898千米/小时,航程2220千米。武器系统主要是机炮和火箭弹。它的发动机埋入机身内,进气道位于机身两侧,从而大大降低了飞行阻力,有利于提高飞行速度。

经过改进的F-80B采用了更大的发动机,机翼进行了改进,加装了装甲。速度有所提高。F-80C是最后发展型,换成了更大推力的发动机,速度提高到933千米/小时。它在朝鲜战争

初期投入了战场,成为美国第一种参战的喷气式战斗机。它的产量约1 973架。它的战绩不佳,但它的教练型生产量却很大,超过了5 000架。1950年11月8日,一架F-80C战斗机在朝鲜战场上被中国空军的一架“米格-15”击落,开创了喷气战斗机空战的第一个成功的战例。

洛克希德公司在此期间还研制了F-94“星火”式双发喷气战斗机,起飞重量10.977吨,最大速度491千米/小时,航程1 930千米。生产型F-94A于1950年装备美国空军。它的翼尖装有副油箱,航程有所提高。最后的改型F-94C生产了387架。该机特点是装有雷达,是美国第一种夜间型喷气战斗机。40年代后期,美国还出现了几种喷气战斗机,包括麦克唐纳公司的FD-1“鬼怪”式,共和公司的F-84“霹雳”式,诺斯罗普公司的F-89“天蝎”式。它们都采用平直机翼,装一台或两台喷气发动机。起飞重量都在10吨以上,F-89达19.16吨,飞行速度在1 000千米/小时左右。武器系统除了机炮外,大多能携带火箭弹。F-84是其中的代表,原型机于1946年2月28日首次试飞。改进的F-84D能带32枚火箭弹,或携带18枚火箭并加挂454千克炸弹。50年代初还出现过F-84F、F-84G等改型,是F-86出现以前美国的主力战斗机,总产量达4 457架。

1944年6月18日,美国陆军和海军同北美航空公司签订合同,研制一种喷气式战斗机,这就是NA-140(XP-86)。设计方案是采用常规的平直机翼。1945年,NA-140设计方案发生了重大变化,采用后掠式机翼,尾翼也有较大的后掠角。美国海军于1945年1月1日订购的三架原型机仍采用平直机翼。海军方面原计划订购100架XFJ-1海军型飞机,但后来减少到30架。海军型名叫“愤怒”式,原型机于1946年11月27日首次试飞。

陆军型发展成为P-86“佩刀”式,代号也因美国空军统一将战斗机的编号更改而得到F-86的新编号。它在设计上除后掠翼外,并没有什么特殊的地方,但其机身、机翼、襟翼和操纵面的设计都十分完美,水平尾翼改为全动式,有利于提高操纵效率。XP-86原型机于1947年10月1日首次试飞。试飞表明,它的性能十分突出。它于1949年创造了飞行速度994千米/小时的纪录。不久在没有任何改变的情况下又创造了1 080千米的速度纪录。它的机动特性、减速品质和滚转性能优良,加之武器系统先进,与前苏联的“米格-15”成为一对十分般配的对手。它装有2挺机枪,可带2枚454千克炸弹和8~16枚火箭弹,后期改型可挂2枚空空导弹。

由于F-86的出色性能,它成为二战后美国生产量最多的机种之一,也是50年代西方国家使用最多的主力战斗机。它先后发展出昼间战斗型、全天候战斗型、战斗轰炸型、截击型以及舰载型等许多种改进改型,总生产量达11 400架。它还是第一种装备空空导弹的战斗机,从而使空战模式发生了革命性变化。在朝鲜战争中,美国投入的主要是F-86E型。中朝方面的苏制“米格-15”是F-86势均力敌的对手。战争中共在211架F-86被击落,而F-86也击落中朝飞机数百架。

美国第一种实用超声速战斗机是F-100,苏联方面是“米格-19”。有趣的是,这两种飞机究竟谁先谁后,至今也没有一致的说法。米高扬设计局为了研制“米格-19”,先行制造了

一架验证机,它与1952年10月进行了首次试飞。而经过大量改进的“米格-19”原型机首飞日期是1953年9月18日。在此之前,美国北美航空公司研制的F-100原型机YF-100A于5月25日完成了首次飞行。谁先谁后的问题关键要看那架验证机算不算米格-19的原型机,如果算,那么米格-19占先;如果不算,则F-100要早几个月。对此美国和前苏联各执一词。

F-100A“超级佩刀”战斗机研制于1948年,目的是作为F-86的后继机。朝鲜战争后,根据喷气战斗机作战的经验,在性能方面提出了更高的要求:高速度、高爬升率以及良好的高空性能。为此,它的首要性能指标是超声速,并采取了多种技术措施。例如它的机身细长,达15米,机翼采用先进的低阻层流翼型,有较大的后掠角,达 45° ,机翼相对厚度只有7%,比F-86A几乎降低了一半;头部椭圆形进气道口径较小,发动机的推力很大。这些都有助于降低激波阻力,顺利实现超声速。为了承受高速飞行的气动力,它的机身采用了整体结构,抗扭性能好。该机有多种改型。F-100D装有4门20毫米机炮,可挂2~4枚空对空导弹,2枚空对地导弹,还可装载炸弹、火箭弹甚至核弹。

F-104“战星”被看作是第二代战斗机的第一种机型。洛克希德公司的“臭鼬工程队”在著名设计师约翰逊的领导下,于50年代中期研制成功这一在航空史上争议很大的二倍声速战斗机。它的原型机于1954年2月7日首次试飞。1951年在设计这种飞机的时候,为了摸清未来空战需要什么样的飞机,约翰逊与在朝鲜参战的美国飞行员进行了长时间的交谈。他得出的结论是,为适应未来空战的需要,最迫切的是大大提高飞机的飞行性能,提高速度、升限、爬升率以及加速度。为达此目的,宁可牺牲武器和机载设备方面的要求。于是F-104首先瞄准了二倍声速,为此大大缩小了机身尺寸,加长了机身,机翼呈小展弦比梯形,翼展仅6.68米,翼面积只有16.64平方米,而机长却高达16.69米。它的最大起飞重量只有8891千克,比F-86和F-100都轻。轻重量、大推力和细长机身是其突破二倍声速的重要因素。

在气动设计上,F-104想尽了降低阻力、提高速度的各种办法。它的前机身呈锥形,座舱只有微小的突起,整架飞机像一枚子弹一样。它的机翼设计尤其引人注目:首次也可能是最后一次采用了为有翼导弹开发的双弧形超声速翼型,相对厚度只有3.6%。机翼是钢结构,前后缘都像刀刃一样尖锐。其优点是大大降低了波阻,对提高速度有利,缺点也十分突出:由于机翼很薄,内部可用空间很小,不利于外挂武器,副翼和增升装置的布置十分困难。它带的武器减之又减,只能携带900千克炸弹和2枚“响尾蛇”导弹。后来的改型在机身下装有20毫米机炮。

F-104在飞行性能上实现了设计师当初的目标,它多次创造飞行速度、爬升率以及飞行高度世界新纪录,最大速度达M2.2。它的起飞和着陆距离很长,作战半径很小,武器系统很弱,加上操纵困难,事故率很高,因而受到各方面的指责。尽管它于1958年装备了部队,但美国空军只订购了300架,用于截击。后来的改型F-104G几乎重新设计,但作战能力差的问题仍未得到很大改善,且事故率居高不下,被称为“飞行棺材”。不过西方国家大量购买了这种飞机,使其总产量达到2700架。目前F-104G仍在使用,但主要用于气动和新技术试验。

美国共和公司的 F-105 原型机于 1955 年 10 月 22 日首次试飞。康维尔公司的 F-106 原型机于 1956 年 12 月 26 日进行了首次试飞。这两种飞机也属第二代超声速战斗机,最大速度分别达到 M2.25 和 M2.3。F-105“雷公”是当时最大的战斗机,后期型号起飞重量高达 24.5 吨。它的外形很特别,两侧进气道具有前掠角。在实现高空高速的同时,它很强调携带更多的武器,内部的弹舱可载弹 3 629 千克,装有一门机炮和多枚导弹。它的产量约 820 架。F-106“三角标”是 F-102 的后继型,最大起飞重量也达到 15.668 吨。除装备机炮和四枚导弹外,还能携带核武器。另外,它安装了火力控制系统,加强了攻击的精度和威力。F-106 生产了约 340 架,作为一种过渡机型后来让位给更优良的 F-4。以后它主要作为截击机使用。

这几种飞机出现后,军事专家和设计师们很快发现,虽然它们的速度和高空、高速性能有了很大提高,但存在的缺点也十分明显:外挂武器不足、航程有限、低空性能偏差。解决这个问题的办法是加大尺寸,大大提高载油量和武器数量,相应地提高了起飞重量,要求安装两台发动机。按照这一思想,出现了几种新型的二代超声速战斗机。一是美国麦克唐纳公司的 F-4“鬼怪 II”式战斗机,一是苏联的米格-23,分别于 1958 年 5 月 27 日和 1967 年 5 月 26 日首次试飞。F-4“鬼怪 II”式战斗机是喷气战斗机史上的一个杰作。它采用后掠翼,外翼部分上翘,两个大型的侧面进气道,喷管位于后机身下部。在气动设计上,它有许多创新之处。其机头呈小锥形,下面有一个突出部分,有时还在机头下方画上鲨鱼式的大嘴,样子十分凶恶。

“鬼怪 II”式飞机翼展 11.7 米,机长 17.76 米,最大起飞重量 27.379 吨,装两台推力为 79.63 千牛的加力发动机。最大飞行速度可达 M2.17(2 414 千米/小时),作战半径达 1 226 千米。在重武器系统的思想指导下,它的武器系统十分强大,4 枚“麻雀”式空对空导弹和 4 枚“响尾蛇”导弹,一门多管机炮,最大载弹量达 7 257 千克。它创造了 21 次飞行纪录,是一代世界名机。

F-4“鬼怪 II”式在越南战场上是美军的主力战斗机和战斗轰炸机。它担负的任务有夺取空中优势、近距空中支援、空中阻滞、防空和远程战术轰炸。它在侦察、压制地空导弹、打击越机战斗编队等特殊任务中也发挥了突出作用。在美国投入越南的各种战斗机中,“鬼怪 II”式战斗机的性能最优异,作用最突出。它的改进和改型很多,被许多国家长期使用,生产持续到 1981 年,总产量达 5 195 架。它也是最成功的一种既适于舰载也适于陆战的多用途战斗机。

与 F-4 同时期的还有诺斯罗普公司研制的 F-5“自由战士”。它着重强调设备简单、重量轻、使用方便、维护简易、适应性强、造价低廉。原型机于 1959 年 7 月 20 日首飞。它的机身修长,外观十分漂亮,小展弦比梯形翼,修型层流翼型,后期加装了边条翼。它的最大起飞重量约 11 吨,仅为 F-4 的一半,但仍装备了两台发动机。它的最大速度为 M1.64,作战半径 1 056 千米。武器系统包括 2 门机炮和 2 枚空对空导弹,炸弹最多可带 3 175 千克。F-5 在美国使用的不多,但出口量较大,各种改型共生产了 2 610 架。后期有名的有 F-5E 和 F-5F“虎鲨”和 F-20 型。

美国在第三战斗机研制上取得了突出成就,出现了 F-14 舰载战斗机、F-15 重型战斗

机、F-16、F-18等多种著名机型。继“入侵者”之后，格鲁门公司计划研制新型舰载飞机，采用当时出现的最新技术。这种飞机最初称F10F“美洲虎”。其目标是研制一种能与陆上飞机比美的空中优势舰载战斗机，可执行防空、护航、空战、近距支援等多种任务。当美国海军于1967年公布招标设计要求时，格鲁门公司提出的设计方案中标。由于它的技术水平和性能指标比以往的舰载战斗机高得多，因而中断了舰载飞机以“F×F”编号的传统，改为与陆上飞机相同的编号方式F-14。格鲁门公司有以“猫”为飞机命名的传统，如“野猫”、“虎猫”、“熊猫”等等。F-14最初的绰号是“雄猫”。它一直是美国海军的主力舰载战斗机。

1970年12月21日F-14第一架原型机首次试飞。1971年5月24日第二架原型机首次试飞。经过1年多的试飞，1972年6月F-14飞机开始在军舰上试飞。1972年10月正式交付海军使用。

F-14采用两台大推力发动机，可变后掠翼，大大提高了短距起飞和降落能力，适于舰载作战。它的翼展最大19.54米，机长19.1米，起飞重量33.72吨，最大外挂武器载荷6577千克，包括机炮、各种战术导弹和核弹。其最大速度为M2.34，航程3220千米。它的性能先进，曾是美国海军高度保密的机种。它的价格极为昂贵，单价达4600万美元。其总生产量约为710架。目前美国采取高低搭配的原则，F-14和价格相对较低的F-18配合使用。

F-15“鹰”是第三代战斗机最典型的代表。它是麦克唐纳·道格拉斯公司根据空军的要求研制的用于替换F-4的主力制空战斗机，主要用于夺取战区制空权。1968年美国空军在招标中提出了一些重要的指标：在9150米高空以M0.9速度作高过载机动时机翼不发生抖动；在广阔的速度范围内具有充分的能量机动能力；可作洲际转场飞行；可由一人操纵各种武器设备和执行各种任务；机体有4000小时的疲劳寿命；座舱安排要使用最新技术，在格斗中要利用平视显示器；使用维护性好；座舱有360°的视界；机体构造、电气、液压操纵系统具有高度生存性；系统、成品、机载设备应是技术成熟的，保证其可靠；高空最大速度为M2.5；采用远距离具有下视能力的脉冲多普勒雷达。发动机是当时最先进的F100涡扇发动机，加力推力111.1千牛。

F-15翼展13.05米，机长19.43米，最大起飞重量30.845吨，高空最大平飞速度M2.5，实用升限18300米，转场航程5747千米，作战半径约1270千米。它带的武器包括：一门六管机炮、4枚“响尾蛇”近距空空导弹、4枚“麻雀”中距空空导弹，或8枚中距空对空导弹。进行对地攻击时还可带各种炸弹和核武器。

F-15是第三代中最出色的空中优势战斗机。它参战的机会不多，但表现却令人叹为观止。在海湾战斗中，空战场面不多，规模也不大，F-15击落地伊拉克飞机最多，为33架，占全部被击落的伊机的87%，自己无一受损。从它参战直到1996年，它共击落各种飞机96架，而自己无一被击落。由此可见许多专家曾把它看作是第三代喷气战斗机中最佳制空战斗机并不过份。

1980年，麦道公司自己投资将F-15改成以对地攻击为主的战斗轰炸机，这就是F-15E“双重任务”战斗机。1982年美国空军决定从F-15和F-16两种飞机中选定一种作为90年

代“双重任务”(空战与对地攻击),以取代 F-111 战斗轰炸机。经过对比试飞,于 1984 年 2 月选中 F-15E。1986 年 12 月 11 日,生产型双座 F-15E 开始试飞。它的主要改进是换装了高分辨率火控雷达,加装了红外激光跟踪、导航、攻击系统和夜间低空导航和红外瞄准吊舱。另外,武器系统得到加强,可带近、中、远程空空导弹、空对地导弹和各种集束炸弹及核弹。它的最大起飞重量为 36.741 吨,比 F-15D 多 3 吨。在海湾战争中,参战的 F-15E 有 2 架执行打坦克任务,每架携带 8 枚精确制导炸弹。结果在 30 分钟内摧毁伊拉克 16 辆坦克,战绩十分突出。

到 1992 年停产时 F-15 共生产了 1 224 架,其中 F-15E“双重任务”型 209 架。由于采用了当时最先进的技术, F-15 造价昂贵,1991 年单机出厂价为 4 287.5 万美元。作为主力战斗机采购量很大,开销难以支付。本着“高低搭配”的原则,美国通用动力公司研制了 F-16“战隼”式轻型战斗机。该计划始于 1972 年初美国空军的“轻型战斗机原型机计划”,目的是发展和验证可在轻型战斗机上使用的新技术。YF-16 原型机于 1974 年 2 月 2 日首次试飞。研制要求是在保证制空作战能力的前提下,尽可能轻型、简单、便宜,与 F-15 搭配使用。

F-16 采用了大量新技术。在气动方面,采用了边条翼、翼身融合体布局,安装了空战襟翼,大大提高了机动性和大迎角飞行性能;在控制方面,采用了多项主动控制技术,特别是放宽静稳度,降低了结构重量,减少了阻力,改善了操纵性并提高了机动性;在系统方面,采用了先进的四余度电传操纵系统,提高了可靠性并减轻了驾驶员的负担;另外还采用了高过载座舱技术。从外形看, F-16 的线条十分流畅,腹部的椭圆形进气道尤其引人注目。它的尺寸和重量比 F-15 小得多,翼展约 9.45 米,机长 15.03 米,最大起飞重量 19.187 吨,发动机推力 111.1 千牛。其最大速度 M2.0,作战半径 370~1 320 千米,在执行截击任务时可达 1 440 千米。武器系统主要是 6 枚空对空导弹,执行对地攻击任务时也可带各种炸弹。除设备相对简单、外挂武器略少以后,它的性能不亚于 F-15,在机动性和空战能力上甚至还超过了它,因而它也成为美国的主力制空战斗机。到 1992 年已生产了 2 466 架。它的生产将持续到 21 世纪初,总产量将会达到 4 400 架。

F-16 的空战性能出色。在中东战争中它已经获得了极好的声名,而在海湾战争中它的表现更加令人难忘。虽然它先前已投入实战,而美国自己则是在海湾战争中才首次使用 F-16 的。在美国投入的各种作战飞机中, F-16 投入量最大,出动架次最多,出勤率最高,执行的任务最多。251 架 F-16 共出动 13 480 架次,极其出色地完成了诸如争夺制空权、压制防空兵器、空中遮断、近距对地支援、战术轰炸等,为美军实施有效空中打击发挥了重大作用。

F/A-18“大黄蜂”是美国麦道公司和诺斯罗普公司为美国海军研制的舰载多用途战斗/攻击机。它的研制与 F-16 相似,是为了与 F-14 高低搭配。原型机于 1978 年 11 月 18 日首次试飞。尽管它的价格不高,但由于年代较晚,因而技术水平较高,性能也十分出色。它的机动性、可靠性和维修性方面优于美国的其他第三代战斗机。它的各型目前在美国海军装备近 800 架,大大超过了 F-14。它的起飞重量比 F-14 小得多,装有 1 门机炮,4 枚空对空导弹和空地导弹或炸弹。

美国研制的第四代战斗机有 YF - 22 和 YF - 23 ,经过试飞对比 ,最后选择了前者。F - 22 战斗机能在 M1.5 的速度下巡航 30 分钟并能实施机动 ,这是全新的能力 ,可大大提高作战效能。它的机动性和敏捷性大大超过了第三代 ,如水平加速度是 F - 14 和 F - 15 的三倍 ,推重比比 F - 15 大 35.5% ,最大迎角由 F - 16 的 25° 一跃提高到 60° ,作战半径也比第三代大大提高。

F - 22 还十分强调所谓作战适用性 ,它包括可用性、兼用性、运输性、互用性、可靠性、出勤率、维修性、保障性、安全性、测试性、环境适应性等 ,也就是飞机在外场使用的满意程度。这方面性能 F - 22 普遍比 F - 15 高出一倍。F - 22 战斗机经过五年的改进和试制 ,已于 1997 年 9 月 7 日进行了首次试飞。经过几年的检验试飞 ,2001 年 8 月中旬 ,美国国防部终于向洛克希德马丁公司发出了 F - 22 生产许可证。已经批准的订货量为 295 架 ,总价值 450 亿美元 ,单价高达 1.85 亿美元。F - 22 正式服役后 ,将用以取代 F - 15、F - 117 等现役主力战斗机。

第 3 节 苏(俄)“米格”系列战斗机

米高扬设计局成立于 20 世纪 30 年代 ,最初研制的米格 - 1 和它的改型米格 - 3 性能不如同时期的雅克式和拉式飞机 ,生产量不大。二战后 ,米高扬设计局较早开始了喷气飞机的研制 ,并率先研制成功前苏联第一种喷气飞机米格 - 9。20 世纪 40 年代后期 ,该设计局研制成功米格 - 15 喷气战斗机 ,奠定了该局在战斗机研制领域的国际地位。米格格式后来成了代表世界先进水平的战斗机代名词。

米格 - 15 的翼展 10.08 米 ,机长 11.05 米 ,起飞重量 5 700 千克 ,采用一台喷气发动机 ,推力 22.246 千牛。它于 1947 年 12 月 30 日进行了首次试飞。它的最大速度达到 1 050 千米/小时。其武器系统很重 ,有 1 门 37 毫米机炮和 2 门 23 毫米机炮 ,并可带 500 千克炸弹。

米格 - 15 首次实战是在朝鲜战场。最初中国空军使用的是雅克式等活塞式战斗机 ,不是美国同类飞机的对手。当米格 - 15 投入战场后 ,很快便以速度快、爬升率高、转变半径小等性能优势占据了主动 ,取得了战场的空中优势。美国最先投入的喷气式战斗机如 F - 80 和 F - 84 根本不是它的对手。于是西方惊呼 :“中国在一夜之间变成了世界空军强国。”当性能优良的美制 F - 86 投入战场后 ,美军才有了与之相抗衡的机种。这两种飞机各有优势 ,是朝鲜战场的一对明星。

米格 - 15 有许多改型 ,性能不断提高。东欧和中国都曾大量仿制。估计它的总生产量超过 16 500 架 ,二战后没有哪一架战斗机的产量超过它。可以说正是米格 - 15 给米高扬设计局带来了巨大声誉 ,使米格系列能与美国的 F 系列和法国的“幻影”系列并称世界三大战斗机系列。

米高扬设计局在超声速时代也走在世界前列。在米格 - 15 基础上研制的米格 - 17 是过渡型号。它的大小和外形与米格 - 15 相似 ,但发动机推力提高到 33.32 千牛 ,最大飞行速度提高到 1 145 千米 ,已接近声速。除装机炮等常规武器外 ,它首次使用了空对空导弹 ,大大

增强了作战能力。它在中东战场有过出色表现,与法国“神秘”式喷气战斗机相比占有优势。

米格-19是前苏联第一种实用超声速战斗机。它的气动布局与前面的亚声速飞机相比有重大改进。为克服米格-15等飞机高速飞行阻力大的缺点,米格-19采用了相对厚度较薄的机翼,增大了后掠角,取消了翼刀。为保证有较好的失速特性,将机翼翼梢处后掠角减少。这样它的高速飞行阻力大大降低。此后,采用轴流式喷气发动机后,机身直径减小,虽然也采用头部进气道,但流线形仍得到很大改善,对突破音障有利。它采用了全动式平尾,提高了操纵性能。

米格-19翼展仅9米,机长却达13.08米。它的起飞重量8700千克,装2台29.8千牛的喷气发动机,最大平飞速度1480千米/小时(M1.36),航程2200千米。它的性能与美国的F-100相似,但比它轻,速度快,武器系统较强。装有3门大口径机炮,可带1吨炸弹。改型米格-19有教练型、试验型和截击型,截击型加装加力火箭,最大速度提高到1800千米/小时。它的生产量较大,在五六十年代是前苏联和东欧及中国的主力前线战斗机。

米格-21是前苏联为对付F-104于1953年开始研制的第二代超声速战斗机。原型机于1955年11月首次试飞,生产型1958年装备部队。它也是根据朝鲜战争的经验研制的,强调轻巧、灵活、爬升快、跨声速和超声速操纵性好,火力强。它虽然沿用了早期米格飞机的头部进气道,但飞机细长,采用小翼弦比三角翼、面积率机身和大推力发动机,使其后期改型最大速度也达到M2.2。它采用了层流翼型,最大相对厚度为5%。其武器系统也比F-104更重、更灵活。

米格-21在60年代是前苏联的主力战术战斗机。除前苏联有5条生产线大量生产外,还有几个国家仿制,使用的国家达40个。它的生产超过5000架,有的文献称各种改型的米格-21共生产了11000架。在几次局部战争中,米格-21都成为空战的主角,获得了很好的名声。在越南战争中,越南方面利用为数不多的米格-21以小编队重点打击美国攻击机和轰炸机的办法,以少胜多,发挥了重大作用。1967年还创造了连续击落4架F-105D的战果,自己无一损失。

前苏联的米格-23是第二代超声速战斗机中较先进的一种,相当于美国的第二代与第三代之间的一个机型。1964年米高扬设计局开始设计可变后掠翼战斗机米格-23。1967年5月26日原型机首次试飞。在气动布局上,除了采用变后掠翼外,它的进气道改变了以往米格飞机的头部进气特点,采用了两侧进气道,不仅改善了驾驶员的视野,也有利于加装雷达,气动阻力较小。据西方人认为,米格-23的气动设计借鉴了美国F-4“鬼怪”式战斗机。这个说法从进气道的外形的相似看也许有些道理。它的高速性能和低速性能都比原来的米格飞机有了较大的提高。

米格-23的典型技术和性能数据包括:翼展14米(小后掠角),机长15.88米,起飞重量18.4吨。装2台81千牛的加力发动机,最大速度M2.35,作战半径1160千米。武器系统包括双管机炮、近距空空导弹、中距空空导弹和炸弹。它的生产量相当大,共生产了约3000架。

在米格-23的基础上,米高扬设计局研制了米格-27战斗机。主要改进是增强的武器系

统,使之成为一种战斗轰炸机。武器系统有空对空导弹、空对地导弹、火箭弹和激光制导炸弹,载弹量提高到 4 000 千克。由于载弹量大,它的速度有所降低。米格 - 27 的生产量约 1000 架,也出口到许多国家,特别是中东地区。

在第二代超声速战斗机研制中,追求高空高速一直占主导地位。于是在 50 年代末美国和前苏联都曾提出了“双三”战斗机的研制。所谓“双三”是指最大飞行速度为三倍声速,最大高度为 30 000 米。1959 年美国洛克希德公司开始研制 A - 12 三倍声速侦察截击机,它采用无尾和翼身融合体布局。它于 1962 年 4 月 26 日试飞。它采用两台喷气 - 冲压发动机,据称最大速度达到 M3.6。接着又在它基础上研制高空高速截击机 YF - 12。1965 年 5 月 1 日,一架 YF - 12 创造了飞行高度 24 462 米、时速 3 351.51 千米每小时的世界绝对速度两项纪录。但这两种飞机最终导致的是 SR - 71 三倍声速侦察机的问世,它于 1964 年 12 月 22 日首次试飞。1959 年北美航空公司在 B - 70 三倍声速轰炸机基础上,研制了 F - 108“拉皮尔”三倍声速截击机。F - 108 翼展 16.11 米,机长 25.87 米,起飞重量 46.3 吨,装两台 13 620 千克的发动机,最大速度 M3。它不久即停止研制,这是因为当达到三倍声速时,机体与空气强烈摩擦,引起严重气动加热,从而导致结构强度减弱,难以作机动性飞行,不利于空战。如果采用高温材料加强机身结构,增重问题又变得突出,所以三倍声速战斗机只是一种愿望。前苏联的米格 - 25 虽是一种三倍声速战斗机,但它主要用于高空截击,同样不适于空战。

在米高扬设计局研制的战斗机中,最具传奇色彩的要数米格 - 25 了。这种被西方称为“狐蝠”的飞机最大速度达声速的三倍,这本身就令人惊奇。另外,它长期以来就是前苏联最高的军事秘密。当 1975 年一名前苏联飞行员驾驶一架米格 - 25 逃到日本时,西方研究人员蜂拥而至进行研究,对它采用笨重的钢板更加吃惊。真想不到这个笨重的飞机竟能超过三倍声速!米格 - 25 及其原型多次打破飞行速度和升限的世界纪录,令人刮目相看。

米格 - 25 的是针对美国曾经研制的 B - 70 轰炸机研制的。这种轰炸机的最大飞行速度预计为 3 倍声速,研制米格 - 25 为得是能对它进行拦截,因而它在设计上特别强调高空高速。另外,研制中强调设计简单、可靠、维护性好,在技术上水平并不高。

米格 - 25 采用两侧进气道,上单翼,双垂尾,机身上多采用简单的直线外形。为了防热,它大量采用不锈钢,占结构重量 80%,钛占 8%,铝占 11%,另有 1% 是其他材料。它的尺寸比米格 - 23 大,翼展 13.42 米,机长 21.55 米,起飞重量 41.2 吨。装 2 台 91.2 千牛的喷气发动机。最大飞行速度为 M3,巡航速度 M2。它的主要用途后来变成了侦察,也有战斗轰炸、反雷达、电子战等改型。它的生产量约 300 多架,目前仍在使

米格 - 29 的研制始于 70 年代初,设计任务书明确要求它在近距作战和超视距作战性能上优于 F - 16 和 F/A - 18 战斗机。1974 年开始详细设计,1977 年 10 月 6 日原型机首次试飞,1982 年投入批生产,1983 年投入使用。为对抗美国的第三战斗机,它设计的重点是高亚声速机动性、加速性和爬升性,因而在气动设计上与以往的米格战斗机有很大不同。它采用了边条翼布局,改善了正常迎角范围内的气动特性。机翼装有由计算机控制的、全翼展前缘缝翼,提高了低速飞行的机动性。腹部进气道改善了飞机机动飞行时的推力特性。与以往的飞机不

同,它大量使用了复合材料,占结构重量的7%。武器系统包括机炮和导弹、炸弹等作战武器。几种米格-29改型生产了约800多架,其中有300出口到其他国家。该机最大起飞重量为18吨,最大速度M2.3,作战半径800千米,实用升限1700米。装有一门机炮4枚AA-8或AA-11空对空导弹2枚AA-10空对空导弹或其他武器。最大载弹量4000千克。

在前苏联,飞机的研制一般有明确分工。米高扬设计局主要负责战斗机研制,苏霍伊设计局主要负责强击机(攻击机)研制。但在第三代战斗中,苏霍伊设计局也研制了多种出色的制空战斗机,这就是苏-27、苏-30、苏-37等。

1969年苏霍伊设计局开始研制全新的制空型战斗机苏-27。原型机于1977年5月20日首次试飞。生产型于1981年4月首次试飞,1984年投入使用。长期以来西方对它和米格-29进行了种种猜测。直到80年代后期,前苏联才将这种飞机公开展出,使外界了解到它的一些细节。在一些公开表演中,苏-27的出色机动性能令西方人大为意外,由普加乔夫驾驶创造的所谓“眼镜蛇机动”动作令美制F-15和F-16等飞机望尘莫及。在“普加乔夫眼镜蛇”机动飞行中,飞机先以400千米每小时的时速从跑道升起,然后出人意料地突然将机头拉起,一直向后仰,抬升到 $110^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 时仍能保持平稳并可恢复到原来的飞行状态,无任何失速现象,操纵面仍然有效。它以这样一副和直立的眼镜蛇一样的姿态朝前飞,当速度降到110千米/小时后,机头重新下压,恢复到原来的平飞状态。这种高机动性表演以前从未有过。另外,它的加速性能和爬升性能也超过了美国同类飞机。因而该机被称为当今机动性能最优秀的制空战斗机。它的爬升率和加速性能很高,改进型曾创造了三项爬升率世界纪录。

苏-27翼展14.7米,机长21.9米,最大起飞重量30吨。装两台加力推力为122.4千牛的涡扇发动机,最大飞行速度M2.35,实用升限18300米,转场航程4000千米,作战半径1200千米。武器系统包括1门机炮,可挂4枚AA-10空对空导弹和4枚AA-11空对空导弹,还可带多种其他空地武器,最大载弹量达10吨,属于重型战斗机。

苏-27采用翼身融合体布局,腹部进气道。作为前缘边条的整流段使前机身侧面与外翼段融成一个完整的升力面。巡航和高速飞行时,由外段机翼产生升力,在机动飞行和大迎角飞行时,边条可提供很大的涡升力。这种升力特性在F-16等飞机上已经采用,苏-27采用这种布局比美国晚。但由于发动机采用了一定的矢量推进技术,因此机动性能超过了美国的第三战斗机。

苏-27在90年代初已装备独联体国家数百架。它的改型很多,有单座陆基型,主要用于制空作战,双座教练型,舰载型,战斗轰炸型,苏-30空中指挥型以及其他改型。在它的基础上发展的苏-35于1992年在英国航展上展出。它采用了多项新技术,包括矢量推进技术、电传操纵系统、主动控制系统,雷达、显示器、搜索及跟踪系统也得到很大改进。导弹数量增加到14枚。

俄罗斯的第四代战斗机计划晚于欧洲和美国。目前正在研制的第四代战斗机有米格设计局的I-42和苏霍伊设计局的苏-37。

I-42是计划与美国F-22相抗衡的先进战斗机。按照原设计方案,它采用鸭式三角翼,

无水平尾翼,内倾式双垂直尾翼,双发动机布局,有一定的隐身性能。它的外形尺寸比米格-29要大,与苏-27相似。不过,这种飞机的研制遇到了许多困难,主要是研制经费的问题。

苏-37是在苏-27M基础上发展起来的第四代战斗机,但性能指标远远超过了后者系列。它是一种单座、多用途、全天候空中优势战斗机,突出的性能是具有超常的机动能力。这得益于它的发动机采用矢量推进技术,它的推力大,且喷管可以转向,因而可实现超常的机动飞行。另外,苏-37的电子设备也全面更新,更加发挥了它的飞行性能和作战能力。1996年4月,苏-37进行了首次试飞。同年9月,一架飞机在英国范堡罗进行了高机动性的表演,引起人们的高度关注。苏-27的表演已让人们叹为观止,苏-37的飞行更让人们大吃一惊。目前,苏-37的研制进展顺利,预计它将先于米格设计局的I-42投入生产和使用。

第4节 法国“幻影”系列战斗机

法国的航空工业在二战时期受到极大破坏,科研与生产能力大大落后于英、美以及前苏联。但法国的喷气战斗机研制开始的并不晚。法国从1943年开始研制喷气飞机。1946年11月11日,法国西南飞机制造公司研制的SO6000喷气飞机首次试飞。它一开始采用德国的喷气发动机,后来飞机换成英国罗罗公司的尼恩发动机,性能有了较大提高。此后法国的达索公司在研制喷气战斗机方面逐渐走在法国的前面。

达索公司是二战后才建立起来的私营航空企业,公司创办人马赛尔·达索立志重建法国的航空工业,并得到了戴高勒的支持。最初型号是“暴风”式单发战斗机,原型机于1949年2月28日首次试飞。它采用了后掠翼,一开始的起点很高,采用一台推力为2270千克的“尼恩”喷气发动机,最大速度940千米每小时,航程920千米。它生产了约350架后于1954年停止生产,让位给“神秘”系列喷气战斗机。

“神秘”式战斗机仍采用后掠翼,中单翼,机身设计更加完美。其机长12.85米,翼展11.12米,最大起飞重量9100千克,装一台“维尔登”式喷气发动机,推力34.3千牛,最大速度1120千米/小时,航程917千米。武器系统有2门机炮,2个外挂点可挂900千米炸弹,或挂空对空导弹和火箭弹。该机原型机于1951年2月首次试飞。“神秘”系列有II B(预生产型)、II C(最初生产型)、IV A(改进型)、IV B(全天候型)和IV N(双座夜间型)等改进改型,共生产了421架,大部分出口到印度。

1956年交付使用的“超神秘”单发后掠翼战斗机,速度提高到1200千米每小时,航程870千米。“超神秘”机长增加到14.13米,翼展减少到10.52米,最大起飞重量增加到10000千克。发动机换成带加力的“阿塔”101G-2涡喷发动机,加力推力43.7千牛。它的武器系统有较大改进,可带1000千克炸弹,35枚火箭弹或12枚较大的空地火箭弹,或带2枚空对空导弹。它的最大速度超过了声速,达到M1.13,航程1175千米,作战半径440千米。“超神秘”共生产了187架。

法国达索公司研制的“幻影”系列战斗机成为取代“神秘”系列的标准型战斗机。50 年代中期,达索公司对未来战斗机进行了设计探索,先后研制了“幻影”Ⅰ和“幻影”Ⅱ喷气战斗机,采用了后来达索公司十分偏好的无尾三角翼布局,这两种飞机虽然没有投入生产,但奠定了后来的“幻影”Ⅲ战斗机的基础。该机首次试飞时间是 1956 年 11 月 18 日。一个月后它的速度达到 M1.5。换装新发动机后,速度提高到 M1.8,后期改型“幻影”ⅢE 的速度达到 M2.2。它也是第二代超声速战斗机的代表性机种。它采用后掠翼布局,面积率设计,细长机身,两侧进气。除两门机炮外,还能带 1 360 千克炸弹。另外,它还能携带空空导弹、火箭弹等。最大载弹量可达 4 000 千克,既能进行空战,也可实施对地攻击。

“幻影”ⅢE 的典型技术和性能数据有:翼展 8.22 米,机长 15.03 米,最大起飞重量 13.7 吨,装一台阿塔 9C 涡喷发动机,加力推力 60.8 千牛。它的转场航程达 3 300 千米,作战半径 600~1 200 千米,实用升限 17 000 米。它的机动性相当出色,最大瞬时盘旋角速度达每秒 16° 。“幻影”Ⅲ战斗机在几次重要的局部战争中赢得了极佳的声誉。在阿以战争的一次空战中,16 架“幻影”Ⅲ与 20 架米格-21 展开了激战,结果“幻影”Ⅲ击落了 4 架米格-21,自己无一被击落。

“幻影”Ⅲ战斗机采取了渐改的研制策略,先后派生出 10 多个型别,其中“幻影”Ⅲ是原型机,“幻影”ⅢA 是预生产型,加装了雷达和新的发动机。“幻影”ⅢB 为教练型,大量出口其他国家。“幻影”ⅢC 是截击战斗型,“幻影”ⅢE 是战斗轰炸型,机身加长,增装电子设备,除携带常规炸弹外,还能带核弹。“幻影”ⅢS 是进一步改型,装有美国的火控雷达和空空导弹。“幻影”ⅢR 是侦察型。还有更新的战术侦察型“幻影”ⅢRD,带有先进的电子设备。各种型号的“幻影”Ⅲ战斗机共生产了 1 000 多架。正是这种战斗机型为达索公司带来了不朽的声誉,也使“幻影”系列战斗机成为与美国 F- 系列和前苏联的米格- 系列齐名的战斗机系列。

鉴于“幻影”Ⅲ取得的高度成功,达索公司在此基础上进行了两种重大改进,一是将它放大,改成轻型轰炸机“幻影”Ⅳ,一是由“幻影”Ⅲ原型机改成垂直起落试验机“巴尔扎克”和垂直起落发动机试验机“幻影”ⅢT。后一种试验机进行了试飞,但因故未投入生产。前一种轻型轰炸机于 1959 年 6 月 17 日首次试飞。它的机长增加到 23.5 米,翼展为 11.85 米,最大起飞重量增加到 33.5 吨。发动机由一台增加到两台阿塔 9K,单台加力推力 68.6 千牛。它的最大平飞速度达 M2.2,转场航程 3 700 千米,作战半径 1 250 千米,实用升限 20 000 米。它的最大载弹量 6 400 千克,可带一枚 50 000 吨级的核弹,或 16 枚 400 千克炸弹,或 4 枚“马尔特”空空对地导弹。它的生产量不大,只有 62 架,其中有 12 架后来改成侦察机。

“幻影”ⅢT 虽然没有投入生产,但在它基础上达索公司又研制了双座远程战斗机“幻影”F.2。它采用了后掠翼布局,带有常规尾翼。原型机进行试飞后没有投入生产。在它的基础上,又作出了两种改进改型,一是著名的“幻影”F.1,一是稍加改进后安装变后掠翼,研制了“幻影”G 型变后掠翼试验机。

“幻影”F.1 是取代“幻影”Ⅲ系列的战斗机,原型机于 1966 年 12 月 23 日首次试飞。它安装了一台改进型阿塔 9K-50 涡喷发动机,加力推力 70.6 千牛。它的翼展 8.4 米,机长 15.30

米,最大起飞重量 16.2 吨,最大平飞速度 M2.2,实用升限 20 000 米,转场航程 3 300 千米,作战半径 720~1 080 千米,最大盘旋角速度 14 度/秒。该机既能进行对地攻击,最大载弹量 4 000 千克,也能进行远程空战,安装 2 门机炮 4 枚空对空导弹,也可带一枚反雷达导弹和一枚空舰导弹。“幻影”F.1 于 1973 年装备法国空军,总订货量超过 700 架,是法国的主力战斗机,并曾出口 10 多个国家。

“幻影”Ⅲ的改型还有“幻影”5 和“幻影”50,前者是专门用于出口的战斗轰炸型,也可执行截击任务。原型机于 1967 年 5 月 19 日进行了试飞。翼展 8.22 米,机长 15.55 米,最大起飞重量 13.5 吨。装一台 60.8 千牛推力的阿塔 9C 发动机,最大速度 M2.1,升限 16 500 米,作战半径 650~1 300 千米。武器系统是 2 门机炮,可选挂 1 枚空对地导弹 2 枚空对空导弹以及炸弹和火箭弹,最大载弹量 4 000 千克,可以执行对地攻击任务。它的生产型有 10 个,出口到 10 几个国家。“幻影”50 可执行空战、截击、侦察和对地攻击等任务。其外形尺寸变化不大,发动机推力提高到 70.6 千牛。武器装备和电子设备均无变化。

“幻影”2000 是法国的典型第三代战斗机,研制计划始于 1975 年 12 月。原型机于 1978 年 3 月 10 日首次试飞。它继承了达索公司研制无尾三角翼战斗机的传统,阻力小,结构重量轻,刚性好,装油量大。另外,它广泛采用了先进技术,包括电传操纵系统、主动控制技术,复合材料用量大。它可执行防空、截击、空战、攻击、支援、侦察等任务,是法国的主力战斗机。

“幻影”2000 的研制是外国触动的结果。1975 年,欧洲荷兰、比利时、丹麦和挪威四国决定联合进行战斗机的更新换代工作,当时可能的候选机种有法国的“幻影”F.1、瑞典的萨伯-37 和美国的 F-16。当年 5 月,正值规模空前的第 31 届航空博览会在巴黎举行,上述三种飞机都进行了精彩的飞行表演。尽管“幻影”飞机的飞行表演也相当成功,而且法国也极力宣传欧洲应当选用欧洲的飞机,但上述四国最后选择了美国的 F-16 战斗机。原因是“幻影”F.1 的性能明显劣于 F-16。

这一事件极大地伤害了法国人特别是达索公司的自尊心,损害了法国在航空技术领域内的形象,巨大的贸易损失更是不在话下。因为自 60 年代以来,国际战斗机市场上几乎是美国的 F-104、前苏联的米格-21 和“幻影”Ⅲ三分天下,其中订购法国飞机的有 28 个国家。但法国在新机研制方面落在了美国后面,主要是在变后掠翼飞机、垂直起落飞机方面花的精力太大,而且未取得很大成效,对未来的“空中优势”战斗机的发展方向不甚明确。另外,法国航空技术比美国落后,而且法国几乎只有达索一家公司在研制战斗机,无法面对美国多家公司的竞争。尽管有上述主观和客观原因,达索公司仍然不甘心。这场竞争的失败使达索公司放弃了原计划的重型战斗机研制,决定新试制一种轻型、空中优势战斗机,这就是“幻影”2000。

在这种战斗机的外形选择上,达索公司进行了认真细致的分析和试验。原来的“幻影”Ⅲ系列采用无尾三角翼布局,其优点是阻力小、机动灵活、重量轻、内部空间大、刚性好,缺点是操纵性和稳定性不好,起降性能差,“幻影”F.1 系列为克服上述缺点而采用了带尾翼的常规后掠翼,它虽然克服了这些缺点,但连三角翼的优点也一同去掉。达索公司认为,最新的航空技术,特别是电传操纵技术、主动控制技术和大推力涡扇发动机的采用,既能保留无尾三角翼布局的

优点,也能克服操纵性和稳定性方面的缺点,因而最终重新选用了无尾三角翼布局。所以它的外形看起来更象较早的“幻影”Ⅲ系列。

在飞机的作战特点上,“幻影”2000既强调“空中优势”,也强调多用途,这样对一些小国来说有更强的吸引力。所以它在设计之初,就以一机多型、一机多用为目标。它的基本型是截击制空型,能在各种高度和气象条件下完成空战和截击任务,对地攻击型则携带各种空地武器,实施对地攻击任务。对地攻击改型“幻影”2000N可载弹6000千克,包括核武器。

在技术水平上,“幻影”2000大大超过了它的前辈,其电传操纵系统、主动控制技术和复合材料的采用使全机重量减轻,操纵性和飞行性能大大提高,可以说电传操纵系统是它取得成功的关键。“幻影”2000C型尺寸为:翼展9.13米,机长14.36米,机高5.20米,最大起飞重量17吨。装一台斯奈克玛M53-P2涡扇发动机,加力推力95.1千牛。飞机最大平飞速度M2.2,实用升限17300米,转场航程3900千米,作战半径650~1430千米。武器系统为2门机炮,9个外挂点可选装4枚空对空导弹、多种空对地导弹及火箭弹、炸弹或核弹。其原型机于1978年3月10日试飞。生产型于1983年开始装备部队。主要型别有C型(防空截击型)、B型(双座教练型)、N型(双座对地攻击型)、D型(双座攻击型)、“幻影”2000-3型和-5型(发展型和改进型)。

“幻影”2000的设计是相当出色的,但由于电子系统特别是雷达比美国落后,因而影响到它的性能的充分发挥。据对比分析,它的最大速度、静升限等性能优于美国的F-16,但由于发动机推力低,耗油率高,因而它的作战半径、机动性能等比F-16差。综合而论,它属于第三代战斗机的代表机种,与F-16相当。

“阵风”战斗机是法国达索公司研制的新一代战斗机。1986年7月4日法国“阵风”原型机首次试飞。该机是达索公司为法国空军研制的新一代战斗机。研制计划分两阶段进行,第一阶段研制试验战斗机,验证新战斗机将采用的先进气动外形和各种新技术,第二阶段研制实用战斗机。试验型“阵风”A于1983年3月开始设计,1986年首飞,用于验证气动设计和各种新技术的可行性。实用型战斗机“阵风”C比试验型稍小,它于1991年4月首次试飞,到1998年完成全部科研试飞工作。该机采用复合后掠三角翼,高位近耦合鸭翼和单垂尾翼布局,机翼具有可变弯度提高升力的特点。发动机采用两侧下方进气,这对飞机大迎角飞行十分有利。机载设备先进,采用了电传操纵系统、一体化显示和先进的雷达。全机内设系统先进,代表了90年代的技术水平。从总体性能指标上看,它属于第三代半超声速战斗机。设计时没有考虑超声速巡航和隐身等第四代战斗机的典型性能指标。

“阵风”C的技术和性能数据为:翼展10.9米,机长15.3米,机高5.34米,最大起飞重量21.5吨,装2台推力为48.7千牛的斯奈克玛M88-2涡扇发动机,最大飞行速度M2.0,作战半径1033千米。它的武器系统包括:一门30毫米机炮,执行截击任务时可带8枚“米卡”空对空导弹及2个副油箱,或6枚“米卡”导弹及5700升外挂油箱,执行纵深任务时可携带1枚中距核攻击导弹,执行战术任务时可带16颗227千克炸弹或2个远距武器撒布器,2枚“米卡”导弹,或2颗1000千克激光制导炸弹,2枚激光制导导弹,4枚“米卡”导弹,执行反舰任务

时可带 2 枚“掠海”攻击导弹 4 枚“米卡”导弹。

欧洲航空技术的总体水平落后于美国和前苏联。为此,欧洲一些国家在航空技术领域走上了国际合作的道路。60 年代中期,北大西洋公约组织的战略思想从“大规模报复”转为“灵活反应”后,迫切需要新一代战斗机来执行空中截击和进攻性空袭等常规作战任务,为此提出了研制多用途战斗机发展计划。原准备由英国、意大利、德国、加拿大、荷兰和比利时 6 国联合进行研制,在论证中后 3 国退出了研制计划。1969 年 3 月英、德、意 3 国联合成立帕拿维亚飞机公司,共同研制“狂风”式(又译“旋风”)第三代超声速战斗机,并决定选用英国罗罗公司的 RB.199 发动机。当时提出的性能要求有:能短距起降,能低空超声速突防,具有良好的加速性,能全天候作战,具有良好的持续机动性,并且载弹量大和作战半径远。主要作战任务有:近距空中支援,战场纵深遮断,制空作战,陆基海上攻击,截击,侦察。主要性能要求是:能迅速加速到高亚声速,高空能很快加速到 M2 的速度,有跨声速突防能力,能全天候、全天时作战等。

从短距起降性能考虑,“狂风”战斗机选择了可变后掠翼布局。尾翼为全动式平尾,可差动偏转,进行滚转操纵。垂直尾翼面积较大,可增加方向稳定性。“狂风”战斗机的技术尺寸为:翼展最大 13.91 米,机长(防空型)18.08 米,机高 5.95 米,翼面积 30 平方米,最大起飞重量(防空型)27.986 吨。发动机为两台 RB.199 涡扇发动机,单台加力推力 71.2 千牛。它的最大平飞速度 M2.2,升限 21 340 米,转场航程 3 890 千米,最大作战半径 1 390 千米,截击半径 1 853 千米。它的起飞滑跑距离小于 500 米,低速特性较好。1974 年 8 月 14 日,狂风原型机进行了首次试飞,1982 年交付使用。根据研制国的不同要求,“狂风”战斗机发展了几种型别:对地攻击型,生产了 736 架,防空型,生产了 197 架,电子战及侦察型。该机已于 1992 年停产。

“狂风”战斗机的武器系统可根据各国的要求进行选装。对地攻击型安装二门机炮,7 个外挂架可选装“响尾蛇”式、“天空闪光”式、“麻雀”式等空对空导弹;AS30、“幼畜”式、GBU-15、“海鹰”式、“鸬鹚”式等空对地导弹;“ALARM”或“哈姆”反辐射导弹;以及各种激光制导炸弹、集束炸弹、减速炸弹、燃烧弹、炸弹和火箭弹。防空型除机炮外,主要武器是中距和近距空对空导弹。电子战型取消了机炮,可带“响尾蛇”空对空导弹。

“狂风”战斗机也是第三超声速战斗机的代表机型。它第一次投入实战是在 1991 年的海湾战争。当时英、意、沙特等国空军装备了约 131 架“狂风”对地攻击型和防空型,是除美国外出动架次最多的多国部队战斗机,作战损失率为 0.33%。它的主要作战任务是攻击伊拉克机场,限制伊飞机起飞,使用“阿拉姆”导弹攻击伊军防空阵地,压制其防空火力;侦察伊军“飞毛腿”导弹发射架,空中战斗巡逻等,为海湾战争的胜利发挥了重要作用。

80 年代初,英国、德国、意大利为研究下一代战斗机,于 1983 年 5 月联合提出“EAP 试验机”计划,目的是为研制新一代战斗机发展必要技术。在此基础上,1984 年 7 月,英国、德国、法国、意大利、西班牙五国的国防部长达成协议,联合发展一种 90 年代使用的先进战斗机,当时这种战斗机被命名为“欧洲战斗机”(EFA)。它的假想敌是前苏联的米格-29 和苏-27。法国因要求不同,于 1985 年 7 月退出这项计划转而独立研制新一代战斗机。1986 年完成概念研究,1987 年 12 月完成概念细化发展工作。90 年代初为降低成本,又对方案进行调整,由

发展先进技术转变成直接研制新一代战斗机,并改名 EF2000,着眼于 21 世纪使用。

EF2000 采用全动式鸭翼、三角翼布局,机翼前缘有自动调节的缝翼。发动机采用两台,腹部进气道。机载设备采用一体化设计。飞机主要用于空战,也兼顾对地攻击。1994 年 3 月 27 日欧洲战斗机“EF2000”首次试飞成功。该机是目前世界最先进的战斗机之一,具有一定的隐身能力。它在技术和性能上介于第三代与第四代超声速战斗机之间。

EF2000 翼展 10.50 米,机长 14.5 米,机高约 4.0 米,机翼面积 50 平方米。它的最大起飞重量 21 吨,装两台推力为 60 千牛的 RB. 199 - 122 加力涡扇发动机。该机最大飞行速度 M2.0,作战半径 463 ~ 556 千米,起飞着陆距离 500 米。它的武器系统包括 1 门机炮,全机共有 13 个外挂点,可选装各种近距、中距空对空导弹和空地武器。

1996 年 9 月 2 日,在范堡罗航空展览会开始的当天,英国政府宣称该型战斗机将投入批生产,英国国防部也声明英国皇家空军将采购 232 架 EF2000 飞机。继英国之后,其他国家也先后做出批生产的决定。总采购架数可达 600 架。

第 5 节 中国的“歼”系列战斗机

中国的航空工业是从修理、仿制起步的,尔后过渡到自行研制。中国飞机编号采用机种的第一个字打头,歼击机用“歼”、轰炸机用“轰”、运输机用“运”、直升机用“直”等。教练机、侦察机等改型用相应的第一个字组合,如歼教 - 7、轰侦 - 5 等。另外,中国的飞机第一种生产机型往往用 5 来表示,如歼 - 5、运 - 5、轰 - 5 实际上是相应机种的第一个生产型。以后的型号再累进上去。歼 - 5 是中国第一种批生产的喷气式战斗机。1954 年 10 月,国家作出了仿制喷气式歼击机歼 - 5 的决定。它的原准机是前苏联高亚声速喷气战斗机米格 - 17Φ。

1955 年初,沈阳飞机厂开始研制歼 - 5 飞机。苏联提供了全套飞机图纸、技术文件、工艺规程和大部分工艺装备。此外,还有两架样机,15 架份飞机散件,10 架份锻件与原材料,8 架份外构件,5 架份标准件。在苏联专家的指导下,研制工作进展很快,1955 年 4 月投入装配试制,1956 年 7 月完成飞机总装,同年 7 月完成全机静力试验,7 月 19 日由吴克明驾驶进行了首次飞行,很快投入定型成批生产。

歼 - 5 在开始仿制时,沈阳飞机制造厂还在建设之中。为了赢得时间和速度,工厂采取基建、生产、培训同时进行的方针,并且采纳了前苏联专家的建议,实行总装、初装、组合件装配、零件加工“四阶段平行交叉作业”法。从开始试制到试飞成功,只用了 481 天,对于年轻的中国航空工业来说,速度是相当快的。歼击机的仿制成功,迅速投产和大量装备部队,使中国一跃进入当时世界上掌握喷气技术的少数国家之列,在中国歼击机发展史上写下了光辉的一页。歼 - 5 飞机对于壮大中国空军、保卫中国的领空具有重要意义。研制歼 - 5 获得成功,使中国的航空工业建设者深受鼓舞。他们很快将目光投向新的目标超声速歼击机。

1958 年 3 月,沈阳飞机厂开始仿制苏联在 1955 年刚投产的新型超声速歼击机米格 - 19,

其中国编号为歼-6。该机装有两台涡轮喷气发动机,采用大后掠角梯形机翼和全动式水平尾翼。1953年该机在试飞中平飞速度达到声速的1.4倍。该机的最大平飞速度为1452千米/时,实用升限为17500米,最大航程为2200千米。

在仿制米格-19的过程中,苏联仅提供了设计图纸,工艺技术资料全部由中国自己编制,工装设备也是中国自己制造的。当时正值“大跃进”时代,研制人员干劲十足,仅用8个月时间便完成了零件加工、飞机装配和静力试验。1958年12月17日,飞行员王幽怀驾机首飞上天。1959年4月,该机通过了国家验收投入批生产。

1961年,中国与前苏联政府签署协定,前苏联向中国转让二倍声速高空高速歼击机米格-21Ф-13飞机及发动机的制造特许权。从1961年起,航空研究院和所属沈阳飞机设计所开始全面分析米格-21的技术资料。1964年初,沈阳飞机制造厂开始试制定名为“歼7”的米格-21。1965年11月完成静力实验。1966年1月17日,经过两年零四个月的艰苦奋斗,飞行员葛文墉驾驶歼-7飞机首次升空。此后进行了一系列试飞科目,证明飞机性能良好,最大平飞速度达到声速的2.02倍。1967年6月,歼-7定型投产。同时生产歼-7的还有新建成的贵州和成都飞机厂。歼-7后来进行了多次改进改型,生产量较大,并且用于出口。

歼-5飞机的改进型主要有两种,即歼-5甲全天候截击机和歼教-5喷气式教练机。两种改型都曾大批生产。歼5甲参照苏联的米格-17ИФ进行设计,是成都和沈阳飞机厂共同完成的。它加装了雷达,前机身加长并加粗,改变了内部系统成品的安装位置。全机的新零件达到50%。歼-5甲的试制周期为三年零三个月,于1964年12月定型投产。歼教-5是在歼-5甲的基础上研制的教练型,由成都飞机厂研制的。1965年初研制工作开始,1966年底定型投产。

歼-6飞机的改型有四种,它们是:歼侦-6超声速侦察机,从1967年到1976年改装研制出低空、高空到夜间型侦察机多种型别;歼教-6教练机,1973年,沈阳飞机厂研制成功中国的第一种超声速教练机——歼-6Ⅲ飞机,用于培养能驾驶歼-6的飞行员。该机采用推力更大的“涡喷6甲”发动机并缩短翼展,增大弦长,机头增加进气锥。改进后爬升率有所提高,而且操纵灵活,速度更快。歼-6甲歼击机由贵州飞机厂于1976年研制成功。该机安装了全天候雷达,另装霹雳-2空空导弹。70年代以后,歼-7成为装备我空军的主力机型。成都飞机厂根据部队使用歼-7的实践,深挖歼-7飞机的潜力,研制了一系列改进型。

1981年,为改进军队航空装备,成都飞机设计研究所、成都飞机公司和贵州飞机公司共同着手试制新的改进型高中空全天候歼击机——歼-7Ⅲ。该机采用了全天候雷达和比较先进的火控系统,提高了飞机外挂导弹和火箭的能力,并装配了新研制的涡喷13发动机。飞机的救生装置、供油系统、部分结构和外形也作了改进。成都飞机设计研究所负责飞机设计,成都飞机公司负责机身制造、总装和试飞,贵州飞机公司负责机翼和主起落架制造。1984年4月,歼-7Ⅲ首次试飞成功,当年12月底完成了全部试飞科目。歼-7Ⅲ改型步伐比以往任何一次改型迈出的步子都大,它标志着我国飞机研制的水平达到了一个新的高度。

80年代以来,成都飞机公司引进国外机载设备,根据国外用户的需要进行改型先后研制

了歼-7A、歼-7B、歼-7M三种飞机并出口到国外。其中歼-7M应用了从国外引进的7项电子火控设备,改装防鸟玻璃,机翼增加了外挂,还应用了国内8个配套改进项目。飞机雷达测距大并能对抗电子干扰,通信电台先进,具有平行显示、高精度快速射击和对地攻击能力。该机在研制过程中曾到国外试飞打靶,各科成绩良好。1985年,国外订货的歼-7M飞机全部按合同交付。

1961年,在航空研究院成立后,系统的基础研究和应用研究活动逐步地展开。1964年,高空高速歼击机的研制活动再次展开。根据国外高速轰炸机的发展情况,我国提出研制一种高空高速防空截击机,对付来犯的敌超声速轰炸机,当年10月,沈阳飞机设计所提出了单台发动机和双台发动机两种新机方案,其性能指标大都超过了米格-21。单发方案计划采用一台推力为8500千克的涡扇发动机,双发方案计划采用两台米格-21的发动机。前一方案导致歼-9,后一种方案导致歼-8。这两种飞机的性能当时均与美国F-4B相当,速度约为M2.2,升限20000米,基本航程1600千米,重量约10吨。经过方案论证,采纳了比较稳妥、可靠、已具有一定技术基础、风险比较小的双发动机方案。1965年5月17日,总参谋长罗瑞卿批准双发动机方案的技术战术指标和研制任务。飞机命名为歼-8。由沈阳飞机设计研究所和沈阳飞机厂承担研制任务。

歼-8飞机的最大速度为M2.2,最大升限20000米以上,最大爬升率200米/秒,基本航程1500千米。该机拟安装改进设计的航炮和空对空导弹以及搜索距离较大的雷达。飞机采用机头进气,大后掠角,小展弦比,薄三角翼,下平尾,双腹鳍的空气动力布局形式,选用两台涡喷7甲发动机。歼-8飞机的研制工作从1965年9月起全面展开。1969年7月5日上午9点30分,飞行员尹玉焕驾机升空,在两次通过试飞现场上空后安全着陆。1979年12月31日,经过15年的艰苦努力,歼-8终于由国家军工产品定型委员会批准定型。

歼-8飞机的成功,标志着中国终于具备了独立设计研制歼击机的能力,标志着中国实现了歼击机从仿制到自行设计的飞跃。80年代以来,中国又先后研制出歼-8的改进型歼8-I和歼-8II。这两个改型在机载设备和发动机方面有较大改进,具有全天候拦截和对地攻击能力。

歼-8II歼击机采用两侧进气道,突破了我国歼击机的传统布局形式。它是以米格-23和苏-19为主要作战对象。该机机长22.72米,三角翼布局,翼展9.344米,最大起飞重量17.8吨,最大平飞速度M2.2,最大航程2215千米。装两台“涡喷13甲”发动机,单台加力推力6600千克,它可带雷达制导的“PL-4”空对空导弹,具有全天候拦射能力和对地攻击能力。1984年6月12日,“歼-8II”飞机进行了首次试飞。

“歼-9”方案主要用于高空高速截击,因而要求重量轻、速度快、升限高、作战半径大。后来提出“双二五”指标要求,即最大速度为M2.5,升限为25000米。1965年4月12日,三机部下达“关于开展歼-9飞机方案设计”的通知,要求在两方面进行论证和比较:一是突出歼击性能,一是突出截击性能,这样它的速度分别是M2.3和M2.4~M2.5,升限20000~22000米,作战半径为350~450千米。飞机总重控制在14吨左右。1966年4月1日,三机部向国防科

工委呈报了“歼9飞机设计方案”。方案提出“歼-9”截击机的最大速度为M2.4,升限20 000~21 000米,最大航程3 000千米,作战半径600千米,最大续航时间3小时,最大爬升率180~200米/秒。飞机采用三角翼布局,除采用两侧进气道外,其他外形与歼-7、歼-8均相同。

“歼-9”性能、方案及进度后来经过多次调整,研制工作也进进停停。1976年形成了歼-9的最后设计方案:鸭式布局、60°三角翼、两侧进气、机长18米,可带两枚“霹雳-4”型空对空导弹,最大有效射程8千米。1975年又对它的性能指标进行了调整,最大速度为M2.4~M2.5,升限23千米,基本航程2 000千米,作战半径600千米。1980年,由于各种原因“歼-9”的研制停止。

1969年,根据越南战争和中东战争的经验,机动性是战斗机空战获胜的重要因素,于是空军提出研制一种机动性能好的空战战斗机,以作为“歼-6”的后继机,这就是“歼-11”空战歼击机。沈阳飞机制造厂根据机动性能要求,提出了几种方案,包括装两台“涡喷6丙”发动机方案,装一台“涡喷7”发动机方案和选用一台军用“斯贝512”发动机方案。经过分析研究,最后设计方案选用圆锥形机头、常规三角翼布局、两侧进气。动力装置为一台加力“斯贝”发动机。武器系统为两门30毫米机炮,可挂两枚空对空导弹,也可选用炸弹或火箭弹。飞机的机长15.76米,翼展8.695米,机身最大直径1.4米,正常起飞重量8 700千克,最大平飞速度M2.0~M2.2,实用升限19 000米,航程2 352千米,续航时间2小时48分。这个型号最后也下马了。

1969年,根据几次局部战争的经验,中国空军提出研制一种低空性能好、机动性好、能短距起落、维护简明的轻型战斗机。南昌飞机制造厂根据空军的要求,提出了歼-12设计方案。

歼-12的设计从1969年7月开始,8月总体方案获得批准。它采用圆锥形机头,蜂腰形机身,头部进气,后掠式下单翼,装一台“涡喷6乙”发动机。它装有2门机炮,可挂2枚空对空导弹。翼展7.192米,机长10.664米,最大起飞重量5 295千克,最大平飞速度M1.38,实用升限17 400米,最大航程1 167千米。第1架原型机于1970年12月26日首次试飞。最初设想歼-12飞机的总重4 000千克,最大速度M1.5,起降滑跑距离为200米,后由于飞机超重,发动机推力不足,试飞中未能达到M1.5的速度,其他性能也有所降低。

1974年,决定将“歼-12”投入小批生产。其生产型第一架于1975年7月1日进行了试飞。到1978年1月,该机共进行了135架次飞行。它的某些性能超过了“歼-6”歼击机。但在1978年2月,国家对新机型进行清理,空军认为“歼-12”的性能不够理想,决定不列入装备,从而下马。

1971年底航空工业部门着手下一代歼击机的设计。经过几年的调研,1974年提出了“歼-6”后继机的战术性能指标。在方案论证过程中,最大的问题是缺乏适用的发动机。到1976年底决定采用一台“涡喷6”加力涡扇发动机。这个方案后来称“歼-13”。设计方案的技术数据是:翼展10.4米,机长17.48米,双三角翼,全动式平尾,正常起飞重量11.66吨,最大平飞速度M2.0~M2.45,最大航程2 340千米。经过一系列的试验和研究,对方案进行了修改和调整。1981年,由于空军装备规划调整和收缩新机研制战线等原因,该机停止研制。

第 6 节 战略轰炸机的研制

二战期间,美国研制的几种战略轰炸机在对德、日进行战略轰炸中发挥了极其重要的作用。除了在战场上的巨大破坏作用外,对德、日的心理打击和威慑作用也许更大。由于这个作用,当核武器出现后,大型战略轰炸机作为载机,成为核威慑力量的重要组成部分。因此,美国的二战后极为重视战略轰炸机的发展。当然,由于军事思想的演变和国内的争论,轰炸机研制曾出现一些波折。

在轻型轰炸机研制方面,二战后早期出现了一些型号,但很快这些机种就遭淘汰或不再发展了。像北美航空公司的 B-45“旋风”、波音的 B-50“超级堡垒”、马丁公司的 B-57“入侵者”、康维尔公司的 B-58“盗贼”超声速轰炸机、道格拉斯公司的 B-66“毁灭者”等,载弹量大的约 12 吨,小的只有 7 吨,产量多的只有数百架。其原因主要是攻击机和战斗轰炸机的发展,使传统的轻型轰炸机失去了它的作用。现代战斗机的载弹量和攻击能力,已经相当于或超过了二战时的中型轰炸机,因而轻型轰炸机这样一个机种在美国、前苏联等国基本上消失了。

美国战略轰炸机向大型化发展的第一个信号是诺斯罗普公司于 1942 年开始设计的“XB-35”飞翼式轰炸机,采用 4 台发动机。“B-35”的翼展达 52.43 米,机翼面积 360 平方米,起飞重量高达 94.89 吨,大大超过“B-29”。它装有 4 台功率 2 237 千瓦的发动机,驱动后缘安装的四副旋翼。它的载弹量为 4 540 千克,乘员 12 人,最大飞行速度 630 千米每小时,航程 12 000 千米。为保证有良好的稳定与操纵性能,它的襟翼、副翼设计十分考究。它于 1946 年 6 月 25 日首次试飞。由于飞翼式飞机超越了时代,“XB-35”未继续发展下去。用“XB-35”改成喷气式飞翼轰炸机“XB-49”的工作也未进行下去。

“B-36”是康维尔公司于二战后期开始研制的,原型机 1946 年 8 月 8 日首次试飞。它的尺寸和重量又大大增加,翼展 70.14 米,机长 49.4 米,最大起飞重量达 186 吨,近乎相当于“B-29”的三倍。最初它采用六台活塞式发动机,后来又在外翼安装了四台喷气发动机,形成了活塞与喷气混和动力。它的载弹量和载油量都很大,载弹量达 39 吨,约为“B-29”的四倍,航程高达 12 070 千米。但由于速度太慢,它的生产量和使用都不大。

波音公司是喷气时代美国战略轰炸机的主要研制商。40 年代末研制了有名的六发动机喷气轰炸机 B-47“同温层喷气”,最大起飞重量 100 吨。1953 年 1 月 30 日原型机试飞。它的技术特点是采用了后掠翼和喷气发动机。与 B-29 相比,它的载弹量和航程提高不大,但最大速度达到 965 千米/小时。B-47 是美国当时主力中程轰炸机,生产了 2 300 架。不过到 60 年代它就退出了现役。

战斗机在向高速发展的同时,轰炸机也朝高速方向努力。美国在 50 年代末研制了一种三倍声速战略轰炸机“B-70”。它的最大起飞重量高达 240 吨,速度达 3 倍声速。生产的两架原型机第一架于 1964 年 9 月 21 日试飞,第二架于 1965 年 7 月 17 日试飞。后来第二架于

1966年6月8日同“F-104”相撞坠毁。由于美国战略思想的变化,“B-70”的研制工作停止。

战略轰炸机与防空武器就像“矛”和“盾”,它的发展与防空武器变化很有关系,可以说二者此消彼长,平行发展。当防空兵器以亚声速截击机和高炮为主时,战略轰炸机也是亚声速的;当防空兵器以超声速战斗机和早期地对空导弹为主时,战略轰炸机的研制方向也转向超声速;当防空兵器中包括空中预警机和性能较高的地空导弹时,轰炸机的研制重点便转向低空突防轰炸机;当防空系统中配置了装备有下视能力导弹的战斗机、技术先进的预警机、严密的地空导弹和高炮防空火力网以后,隐身战略轰炸机就应运而生了。

美国从二战后研制的战略轰炸机的主要作战思想是携带大量炸弹或核武器从高空深入敌国领空进行大规模战略性轰炸,载弹量、航程是追求的主要指标。这一思想的最好体现是“B-52”战略轰炸机。前苏联的战略轰炸机研制水平比美国落后。为同美国抗衡,研制了旋翼式远程战略轰炸机“图-95”和“米亚-4”。英国也曾研制过战略轰炸机,后来也放弃了研制计划。目前,有能力研制战略轰炸机的国家只有美国和俄罗斯。其数量和品种比战斗机少得多。

战略轰炸机的发展与战斗机有所不同,它的研制费用大大高于战斗机,研制周期和更新周期也较长。因此,战略轰炸机的型号较少,且只有美国、英国和前苏联曾重点研制战略轰炸机。而英国政府因花钱太多后来取消了研制计划。60年代中后期,由于洲际导弹的性能和威力越来越高,曾引发了一场关于战略轰炸机是否已经过世的争论,从而影响到其发展。但本着各尽所长、优势互补的军事理论和政策,美国长时间占主导地位的三位一体核战略中,远程轰炸机仍是其中的重要一员,因而后来又得到高度重视。

在50年代中期,投入服役的战略轰炸机主要有美国的“B-52”,前苏联的“米亚-4”和“图-20”,以及英国的“三V”轰炸机(“火神”、“胜利者”、“勇士”)。这些轰炸机都是亚声速飞机,具有较大的航程和载弹量。

“B-52”战略轰炸机是由美国波音公司研制的,其作战思想是高空突防,1955年开始装备部队。该机作战高度是12000米,最大航程16000千米,最大飞行速度为1040千米/小时,最大载弹量达27吨。挂装空对地导弹可达20枚,或选装巡航导弹、炸弹和核弹,是名付其实的飞行武器库。

“B-52”是寿命极长的战略轰炸机,在1991年的海湾战争中仍为主力轰炸机。在过去几十年,“B-52”经历过三次重大的技术改型。第一次是在60年代,由于当时地空导弹的发展,“B-52”改为低空突防战略轰炸机。因而加装了地形回避系统,并配备了最大射程为960千米的“猎犬”式核导弹,可以攻击敌方地空导弹阵地。第二次改进是在70年代初,是为对付新研制的低空目标地空导弹而改进的。为了进一步加强“B-52”的低空突防能力,“B-52”加装了电-光操纵系统和电子战设备,并可携带20枚短距攻击核导弹。第三次重大改进在70年代末,由于前苏联开始装备具有下视能力的导弹的战斗机,美国对“B-52”轰炸机的攻击电子系统全面更新,并挂装射程达数千千米的巡航导弹,从而可在敌防空火力之外实施攻击。目

前美军使用的主要是“B - 52H”。

“图 - 20”是前苏联远程战略轰炸机,又名“图 - 95”。1954 年投入生产。“图 - 20”装有 4 台涡轮旋翼发动机,最大航程 12 000 ~ 14 000 千米,最大速度为 855 千米/小时,实用升限 15 000 米。载弹量 15 ~ 25 吨,可以携带鱼雷、核弹和空对地导弹。

50 年代末到 60 年代初,美国和前苏联分别开始研制超声速战略轰炸机,其中包括美国的“B - 58”、“B - 70”轰炸机和前苏联的“图 - 22”轰炸机。“B - 58”于 1962 年停产,而“B - 70”则根本没有生产。“图 - 22”也只生产了几架就停产了。这些超声速战略轰炸机之所以命运不佳主要是由于两个原因:一个是当时弹道式战略导弹取得重大进展,战略轰炸机被认为已不必要了;另一个原因是由于地空导弹的发展,战略轰炸机的高空生存能力下降,而远距攻击的机载武器又尚未发展成熟。

地空导弹等先进防空武器的出现对亚声速战略轰炸机是极大的威胁。60 年代,根据这一新形势,美国和前苏联先后提出研制能进行低空突防、避开地空导弹实施纵深攻击的超声速战略轰炸机,出现的两个重要型号:美国的 B - 1“枪手”和前苏联的图 - 160“海盗旗”。

“B - 1”轰炸机长达 20 年的曲曲折折研制史恰恰反映了当时进攻与防御武器交叉发展、航空军事思想不断演变的历史。它前后经历了 5 届总统任期,花费了上百亿美元。它是一种变后掠翼低空亚声速、高空超声速战略轰炸机,高空(15 240 米)最大速度为 2.2 马赫,低空(30 米)0.9 马赫。巡航速度 0.85 马赫,最大航程 9 815 千米。机上配有地形跟踪雷达和前视雷达,从而保证了良好的贴地性能。B - 1 于 1974 年 12 月首次试飞,1977 年卡特政府认为巡航导弹可以取代“B - 1”而下令停止生产。1981 年里根政府恢复了“B - 1”的生产,并对之做了大量的改进,命名为“B - 1B”。“B - 1B”不仅具备航程远、机载设备先进、载弹量大等特点,而且具有一定的隐身能力。

“B - 1B”的武器系统也十分强大,作战威力甚至超过了“B - 52”。它可带的攻击武器包括 8 枚 AGM - 86B 巡航导弹、24 枚 AGM - 69 近距攻击导弹、12 枚 B - 28 核弹、84 枚 227 千克 MK82 炸弹,8 个外挂点可带 14 枚巡航导弹、8 枚 B - 28 核弹、14 枚 B - 43 核弹、14 枚 MK84 或 44 枚 MK82 炸弹。目前美国空军装备有 81 架“B - 1B”轰炸机。

除了“B - 1”战略轰炸机外,美国在 60 年代还将“F - 111”战斗轰炸机改装成“FB - 111”变后掠翼高速战略轰炸机,它的最大飞行速度为 2.2 马赫,载弹量为 9.5 吨,航程 6 000 千米。它可带巡航导弹、空地导弹、核弹和常规炸弹。

前苏联的“图 - 26”战略轰炸机被西方称为“逆火式”,它是“图 - 22”中程轰炸机的改进型,也称“图 - 22M”。其最大飞行速度为 2 马赫,航程 9 000 千米。“图 - 26 逆火式”战略轰炸机是世界上第一种服役的变后掠翼的专用战略轰炸机,具备较好的低空突防性能。它装有两门机炮,可带 1 枚核弹,或 15 枚 500 千克炸弹,机身下可装 1 枚空地导弹,机翼下可挂 2 枚空地导弹。它的装备量约 135 架,也没有投入实战使用。

“海盗旗”图 - 160 是前苏联研制的另一种变后掠翼战略轰炸机。该机于 70 年代中期开始研制,1978 年装备部队。它的翼展 55.7 米,机长 54 米,起飞重量 275 吨,超过了美国的

“B-1B”和“B-52”。它的航程远,速度快,最大航程可达15 000千米,最大平飞速度M2.3。机上可挂装20枚巡航导弹和近程攻击型的核导弹、空地导弹和常规炸弹,最大载弹量16.33吨,是一种技术水平高、性能出色、作战能力较强的战略轰炸机。目前俄罗斯的装备量约13架。从未使用过。

到目前为止,继“B-1”、“逆火式”和“海盜旗”之后,最新的、也是世界最高水平的战略轰炸机是美国的隐身战略轰炸机“B-2A”。从发展趋势看,新一代战略轰炸机最突出的性能要求就是隐身特性好。“B-2A”战略轰炸机在对付雷达、红外探测装置方面是非常有效的。“B-2A”战略轰炸机主要用于执行突防任务、摧毁敌人纵深目标。它可以携带核武器和常规武器,其中包括巡航导弹、近距攻击导弹和制导炸弹,攻击力和摧毁力极强。在1999年的科索沃战争和2003年的伊拉克战争中,“B-2”都投入了使用。

第7节 隐身军用机的发展

美国隐身技术的探索开始得最早,取得的成就最大。从50年代开始,美国先后研制出了采取隐身措施的多种侦察机、半隐身轰炸机、全隐身侦察机、全隐身战斗机和轰炸机。

“U-2”是美国洛克希德公司1954年开始研制的高空战略侦察机。领导研制的是著名飞机设计师克莱伦斯·约翰逊。它自开始设计起就严格保密,工厂设在加州人烟稀少的莫哈维沙漠,取名“臭鼬工厂”。“U-2”侦察机研制的目的是深入前苏联领空进行纵深侦察。为不被发现甚至击落,它采用了一些有利于隐蔽的措施。首先,尽量提高它的飞行高度,采取的措施包括降低飞机重量,不安装任何武器,采用大展弦比的细长机翼,看起来就像一架滑翔机一样。它的升限超过20千米。在达到一定高度并进入前苏联领空后,关掉发动机,就可以无声无息地进行隐蔽飞行和侦察。其次,它的机身和机翼内部装满了燃料,从而保证它具有很大的航程和续航时间。

为提高侦察飞行的隐蔽性,“U-2”采取了一些隐身技术:机身上涂满黑色的“铁漆”涂料。这种涂料能吸收部分雷达波,可以降低雷达波的反射强度。“U-2”侦察机的改进型“TR-1”侦察机也采有了与“U-2”飞机类似的隐身技术。但它比“U-2”系列飞机飞得更高、更远,而且机上电子设备也更加齐全完善。

“U-2”飞机的飞行高度仍然有限,并且隐身特性不高,因此曾多次被前苏联和中国击落,使美国人大丢面子。因此从1959年开始,洛克希德公司按美国空军的要求开始秘密研制飞机速度为声速的三倍、飞行高度达30千米的远程战略侦察机。这就是有名的SR-71“黑鸟”。1962年4月,该机的原型机A-12进行了首次试飞。60年代中期,SR-71开始投入使用,被美国空军用来进行全球性的战略侦察,搜集军事情报。SR-71侦察机的高空最大飞行速度可达M3.2,是飞得最快的常规飞机。它的飞行高度最大可达30千米以上。由于长时间高速飞行时的气动热十分严重,机身最大温度可达600℃,因此整个飞机结构的93%以上采用了耐

高温的高强度钛合金。

SR-71 是一种半隐身飞机,采用了当时发展出来的多种隐身技术措施:机身表面喷涂了黑色的、能吸收雷达波的铁漆,并用了许多专门研制的特殊材料和涂层;在气动外形设计上也采用了多种隐身技术措施。它没有水平尾翼,采用三角形机翼,机翼前缘根部的边条一直向前延伸到机头,与机身融为一体,光滑过渡,形成翼身融合体结构;飞机机身细长,前机身截面呈菱形,后部扁平。这样既可降低雷达散射截面,又能降低空气阻力,提高飞行性能,双垂尾内倾 15° ,能够消除雷达波的角反射效应。这些措施都使其雷达波散射强度大大减弱,提高了隐身性能。据称,SR-71 侦察机自研制成功后,几乎每天都出动侦察,但从未被击落过。这与它的隐身特性有很大关系。1990 年 1 月 26 日,SR-71 正式退役。

美国的 B-1 超声速战略轰炸机为了实现低空突防,采用了一些隐身技术,包括翼身融合体、细长机身布局和采用雷达波吸收材料和涂层等,使它的雷达反射截面积相当于一架小型战斗机,只有 B-52 的十分之一。1983 年 3 月首次试飞的 B-1B 更广泛地采用了隐身技术,从而大大提高了隐身性能。它的雷达反射截面积只有 B-1A 的十分之一,即相当于 B-52 的 1%。

B-1B 新采用的隐身技术中,最重要、效果最显著的是变原来的挡板式进气道为长而曲折的所谓“蛇形进气道”,并内装两个加热导流片。这是因为旋转的风扇是雷达波的强反射体,当飞机接近轰炸目标时,它对迎面雷达波的反射很强,从而大大增加雷达波散射截面积。“蛇形进气道”和导流片的采用,遮挡了风扇,即使有少量雷达波进入风扇,它的回波经来回反射和吸收也很难从进气道口反射回去。

B-1B 的其他改进隐身性能的措施有:新改进的机头雷达天线罩、机翼前缘天线罩,增加翼根整流包皮并对机翼后缘进行修形,襟翼等增升装置和尾翼都涂上吸波材料涂层,座舱挡风玻璃上采用真空电子镀膜层,使雷达波不能进入座舱内,机身头部、机身和平尾涂有波吸波材料,头部和后部雷达天线安装隔框做成倾斜式的。这些措施使 B-1B 成为一种准隐身轰炸机。

上述几种飞机都不是真正的隐身飞机。目前已经服役的全隐身飞机只有美国的 F-117 战斗机、B-2 轰炸机。

F-117A 是洛克希德公司研制的世界上第一种全隐身战斗机轰炸机。它的研制始于 1978 年。在美国的战斗机系列中,有 F-18 和 F-20,中间的空缺使人猜测它可能就是 F-19。为此,一些头脑灵活的商人还设计制造了 F-19 飞机玩具,居然十分畅销。在经过 10 年严格保密之后,美国空军于 1988 年 11 月才向外界承认确有这种隐身战斗机存在。这项被认为是二战以后最机密的军事项目引起世界各国的广泛关注。1989 年 12 月 20 日,F-117A 首次参战,初显神威。在 1991 年的海湾战争中,F-117A 担任了开路先锋、啃硬骨头的重任,一时间声名大振。

F-117A 是专为夜间攻击设计的战斗轰炸机,因此它的绰号叫“夜鹰”。它配备有红外下视和前视两个系统。F-117A 属于高亚声速隐身战斗机,最大飞行速度略超过声速,巡航速度

则低于声速。它的翼展长 13.2 米,机长 20.1 米,机高 3.78 米,正常起飞重量 23.8 吨。为降低雷达散射截面,它采用了极为奇特的气动外形设计,机身下表面和机身上表面由许多块小平面合为一体的多面锥体,形成前锥、上锥和后锥,机翼的前缘就是机身前缘的延伸。这种外形出乎人们的意料之外。但它是气动与隐身一体化设计的杰作。由于机载雷达探测范围一般在飞机水平面上下 30° 的角度内,因此 F-117A 的大多数表面与垂直面的夹角均大于 30° ,可以把雷达波的大部分散射到上半球内,通常不会形成极为有害的镜面反射,即使有面积也很小,因而绝大部分反射波能量不会返回到雷达方向。F-117A 机身表面和平面转接处的设计使反射波集中于水平面内的几个狭窄的区域内,而不像常规飞机那样全方向反射,这样就可使两个波束之间的微弱反射信号与背景噪声难以区分。另外,由于反射信号区域很窄,以致使雷达不能接收到连续的反射信号,因此雷达难以确定接收到的信号代表一个飞机目标,还是一种噪声。

对地面雷达来说,飞机下表面是强反射体,因此 F-117A 的下表面本着“吸”的原则,采用吸波复合材料结构并采用吸波涂层。这样,地面雷达无论从哪个方向照射,都会被下表面吸收或一定程度的散射。机翼布局有效地将发动机进气道和机身遮住,并采用网状格栅隐蔽,使雷达波难以进入高反射性的发动机风扇。雷达回波信号强度极弱,地面雷达很难探测到它。

飞机的前后缘都是雷达波的强反射体,这些反射体决定了雷达波的主要反射方向。为使反射波束尽可能窄,F-117A 的机翼前后缘设计成尖锐笔直,机体表面其他边缘也尽可能与前后缘平行,这样整个飞机的雷达反射波束会集中于少数几个预先选定的方向上,避开雷达探测方向。为使一些细部的雷达波散射信号也集中在这几个方向上,一些不连续区域如驾驶舱边角线、起落架舱门、发动机舱门前后缘和武器舱门边缘都设计成锯齿状,角度也设计成使反射波方向与几个主波束方向一致。

F-117A 没有水平尾翼,两个垂直尾翼呈 V 字形,夹角小于 90° ,这样雷达波被散射到特定的窄区域内,不会形成全向散射,也不会产生角反射器效应。F-117A 的垂直尾翼是全动的,具有垂直尾翼和方向舵双重功能。取消了水平尾翼和升降舵,其纵向和横滚操纵依靠机翼后缘内外安装的襟副翼完成。

除气动外形设计和吸波材料与涂层等隐身措施外,总体设计的隐身措施还有不设武器挂架,没有副油箱,外表异常干净利落。F-117A 还采取了红外隐身措施。如尾喷管下唇口较长并有上翘的挡板,以遮挡发动机红外辐射。喷管排气前与冷空气充分混合,使排气温度只有 66,大大提高了红外隐身效果。

B-2 是美国第一种全隐身轰炸机。它是位于加利福尼亚州的诺斯罗普飞机公司研制的。它的研制始于 1978 年,原定是一种高空突防轰炸机。1981 年在里根政府决定恢复 B-1 超声速轰炸机研制时,考虑到它是 60 年代构想的,难以突破预想的未来前苏联防线,因此只是作为 B-52 的后继机。为适应 20 世纪末甚至 21 世纪低空突防的需要,必须采用全隐身式设计。1981 年 10 月,美国空军与诺斯罗普公司签订了价值 73 亿美元的合同,大力

发展 B-2 隐身轰炸机。1983 年美国空军修改了研制计划,使之成为一种可进行低空突防的隐身轰炸机。

1988 年 11 月 22 日,诺斯罗普公司一个厂房的大门徐徐拉开,一架颜色灰暗、模样奇特的飞机在乐曲声中缓缓推出,最后停放在一个该机图案前。这就是美国空军历时 10 年,花费大量人力物力研制的 B-2 隐身轰炸机的首次公开亮相。经全面测试和滑行试验后,1989 年 7 月 17 日 B-2 原型机进行了首次试飞。以后又进行了两次试飞,进行了飞机性能和飞机系统试验。B-2 隐身轰炸机长 21.3 米,翼展 52.4 米,机高 5.18 米,最大起飞重量 168.7 吨,最大武器载荷 22.68 吨。它是一种亚声速飞机,飞行速度为 $M0.72 \sim M0.85$,升限 15.2 千米,航程 11 200 千米。可以携带常规炸弹、核弹和导弹武器。

由于强调隐身性能,B-2 采用了对隐身极为有利的飞翼式布局,它没有水平尾翼,连垂直尾翼也取消了,整个飞机外形呈光滑曲面。从飞机前部看,只有机身上表面有三个隆起的鼓包,中间较大的是座舱,两边稍小的是发动机进气道。机翼的前缘像两条笔直的射线,以机头为起点向后延伸,后掠角为 40° 。机翼后缘呈锯齿形,由 10 条直边缘构成,这些直边缘按角度分成两组,每组边缘相互平行,并与两个前缘平行。这样,可将雷达波仅向两个方向反射。

两个进气道除由机翼部分遮挡外,也采用锯齿状前缘,齿边分别与机翼前后缘平行。进气口的形状是扇形,并设辅助进气口,发动机内置在长长的 S 形进气道之后。发动机喷气通过扇形二元喷管,沿机翼上表面与后缘锯齿交汇处排出。这种设计既有利于降低雷达散射截面积,还能降低红外辐射。

除气动设计隐身措施外,B-2 大量使用吸波特性好的复合材料和结构。它是使用各种复合材料最多的飞机。这些复合材料包括石墨碳纤维材料、蜂窝状雷达吸波结构,有些地方还涂有雷达吸波材料涂层。B-2 的所有燃料和武器系统全部在机体内,因此外形异常“干净”。据称,它在正常探测距离下的雷达散射截面积与一只大鸟相当,约 0.1 平方米。B-2 还采取一系列红外和可见光隐身措施,如将尾喷管置于机身上部,采用无加力涡扇发动机,在燃料中填加特殊物质以减少尾迹,引入冷却气流降低排气温度等。

气动与隐身一体化设计要求采用特殊的低雷达波散射外形,这样有可能大大降低空气动力性能。F-117 外形的气动特性不好,只能进行高亚声速飞行。B-2 轰炸机的速度也不高。这是一个重大缺陷。新一代的战斗机,如美国的 F-22 将以全新的技术解决隐身问题,同时外形也具有良好气动性能。多种技术的运用可使之具有高机动性和敏捷性以及超声速巡航能力。

F-22 战斗机是为了取代 F-15 战斗机而研制的第四代空中优势战斗机。它采用了相对常规的外形设计,综合平衡了隐身性能、超声速巡航性能、敏捷性和维护性。飞机气动部件包括机翼、水平尾翼和两个垂直尾翼。它的气动隐身设计原则是:翼身融合体布局,边条、机翼、尾翼和垂尾的前缘相互平行,后缘相互平行,使雷达反射信号只向几乎垂直与侧面的方向反射,避开了正前方和正后方;两个垂直尾翼向外倾斜,避免侧向发生镜面反射;

采用可变弯度的自适应机翼前缘,可降低常规襟翼、副翼等的雷达波反射截面积;发动机进气口呈平行四边形,向侧下倾斜,气流通过较长的进气道进入发动机,这些措施都是为了降低雷达反射截面积。

与 F-117A 周身涂满很重的雷达吸波涂层的作法不同,F-22 将雷达吸波材料只用在机翼和尾翼边缘以及进气道内腔等处,这样可降低飞机的重量。由于这些技术措施的采用,使 F-22 具有良好的隐身性能,气动特性也能够达到设计要求,比 F-15 的多项战术性能指标高出很多。由于在隐身性能与气动特性上取得折衷,其隐身特性不如 F-117A,雷达反射截面积约 0.5 平方米。

第九章

民用飞机的历史发展



✈ 这是英法联合研制的“协和”式超声速运输机,1976 年投入使用。“协和”号的设计在技术上是十分成功的,特别是在气动外形设计上首次利用了脱体涡型产生升力,导致了飞机空气动力学设计上的一场革命。但它在商业上却是个失败者,主要因为其经济性差,载客量小,航程短,噪音声染严重。2003 年,英法两国先后作出决定中止“协和”号的一切商业飞行。

航空技术在第一次世界大战中获得迅速发展。虽然战争是航空技术得到普遍应用的最早领域,但是推动航空技术发展的最持久动力在于它在商业领域中的应用前景。在两次世界大战之间的这段时间内,为航空技术在民用领域的发展提供了动力和机会。正是在这个时期,民用航空得到第一次长足的发展。民用航空在两次大战间得到长足发展的原因除了商业上的吸引力和时机已经成熟外,还有一点是因为一些政府看到飞机的军事潜力而试图通过发展民航来为军事航空发展积蓄力量,这在德国表现的尤为明显。无论如何,通过两次大战间 20 年的发展,航空技术真正确立了它在民用和军用历史舞台的作用。

喷气技术的诞生促进民用航空技术新时代的到来。新式的喷气式客机的出现使我们这个星球变小了,人们真正可以做到在纽约吃早饭到伦敦吃午饭。飞机虽未使汽车、火车和轮船变得过时,但它已是现代文明不可缺少的交通工具。在现代民航飞机领域中美国到目前为止仍占有统治地位,其中又以波音公司最为显赫。但欧洲的空中客车公司正对美国飞机制造厂商构成威胁。超声速客机虽有速度上的巨大优势,但它的发展几经周折,前景尚不明朗。

第 1 节 现代民航客机的诞生

在第一次世界大战以前,欧洲已经进行了一些民用航空飞行的试验。例如:1910 年 8 月 10 日,英国进行了航空邮递运输的试验。1911 年 2 月 18 日,法国也进行了航空邮递试验。1911 年 9 月 19 日,意大利又进行航空邮递飞行试验。1910 年 6 月,德国首次用硬式飞艇开辟客运航空线。1911 年 7 月 4 日,英国飞行员进行了第一次航空货运飞行。1914 年第一次世界大战爆发,大部分民用航空飞行都被迫停下来。各国的航空技术力量都集中起来为战争服务。但是反过来,战争又使得大量的人力和物力集中到航空领域,短短的四年间,航空技术有了突飞猛进的发展。在战前,飞机可以说尚处在实验阶段,但当战争结束时,飞机已成为现代战争中不可缺少的武器,它的运载能力、飞行速度有了很大提高。飞机生产能力也大大增长,从战前的每年几十架达到战后的数千架甚至上万架。

第一次世界大战结束后,新生的航空工业遇到了第一次打击。一方面是战时遗留下来的大量的军用飞机;另一方面是战时形成的大量的过剩的生产能力。过剩危机使欧洲航空事业陷入了困境。正是在这个时候,欧洲和美国航空企业和飞行员开始了民用航线的开辟工作。经过几年的努力,遍布欧美的空中航线网已近基本建成。由于当时的飞机较小,航空客运业普遍亏损,欧洲国家只能靠政府补贴经营航空客运,而美国则依靠航空邮政收入补贴客运。可以说此时新型旅客机的问世已成为航空客运发展的关键。航空公司和飞机制造商经过近 10 年的经营,都清楚的预见到,一旦有了合适的客机,航空旅客运输将比邮运更加有利可图。于是潜在的市场力量引导着飞机向大载客量、高速度和更舒适的方向发展。

早在 1925 年,福特汽车公司的飞机制造部就推出了现代客机的雏型——全金属、三发动机的福特型客机。该机有 11 个座位。1927 年经过改进座位数增加到 14 个,航程为 912 千米,

飞行速度为 170 千米每小时。但福特型客机不具备流线型外型,机舱内部也很狭窄。当时美国各航空公司使用的客机以木质为主。最有代表性的是福克型飞机。它装有三台功率为 313 千瓦的发动机,载客 14 人,航程 1 150 千米,速度也是 170 千米每小时。可见全金属飞机在性能上并无优势,且由于全金属结构飞机造价较高,所以很难与木质结构飞机竞争。

然而,木质结构飞机有一个致使的弱点,这就是它的安全性较差。正是安全性引导全金属飞机进入客机发展的主流。1931 年 3 月 31 日,一架美国环球航空公司的福克型客机在堪萨斯州坠毁。本来这只是当时经常发生的事故中的一件而已,但由于遇难者中有一位闻名全美的橄榄球教练,因而引起举国震动。全国上下一致指责环球航空公司和它的木质客机。这次空难从根本上动摇了公众对木质飞机的信心。各大航空公司纷纷转而订购福特全金属客机。飞机制造商们也加快了研制新型全金属客机的步伐。

1930 年波音公司已经开始研制全金属客机。这就是航空史上著名的波音 247 型客机。波音 247 是第一架真正现代意义的客机。它具有全金属结构和流线形外型,起落架可以收放,采用下单翼结构。机上装有两台功率为 410 千瓦的发动机,巡航速度 248 千米/小时,航程 7 766 千米,载客 10 人,并可装载 181 千克邮件。机上座位舒适,设有洗手间,还有一名空中小姐。

波音 247 于 1933 年首次试飞成功。由于机上乘坐条件大大改善,且速度较一般客机提高了几十千米/小时,所以很受航空公司欢迎,仅联合航空公司一家就订购了 60 架,价值 400 万美元。这是当时世界上最大的一笔客机交易,它使波音公司的生产线在一年内都处于饱和状态,无暇应付其他公司订货。这一点后来证明是灾难性的,它引出了一个强大的竞争对手 DC 系列飞机。

环球航空公司在 1931 年的空难后,被迫淘汰了所有的木质客机,换用福特型全金属客机。但福特客机的性能明显低于波音 247,于是环球公司向各飞机制造商发信,招标设计新客机。1932 年 8 月 2 日,道格拉斯公司的总裁道格拉斯(D. W. Douglas)收到了环球航空公司的招标信。信中对新客机的设计提出了要求:全金属结构,装三个发动机,载客 12 人,航程 1 600 千米,飞行速度在 230 ~ 250 千米/小时之间,装有最先进的电子设备。

道格拉斯公司在当时的规模并不大,历史上曾为邮政部设计制造过邮政飞机。道格拉斯公司由于缺少订货,财政上正处于危急时刻,环球公司的招标信无疑是雪中送炭。道格拉斯迅速招集助手们研究新飞机的设计方案。他们认为环球公司提出的设计要求不过是一个改进了的福特式客机,根本无法与波音 247 竞争。为此他们根据波音 247 的设计提出了一个新的方案。新方案与波音 247 类似,只装有两台发动机,外型是流线形,起落架可以收放,其他指标与环球公司的要求一致。显然这架飞机如果成功将超过波音 247。

两个星期以后,道格拉斯公司把方案送到了位于纽约的环球航空公司总部。对于该方案,环球公司的领导人赞叹不已,但对双发方案表示怀疑。于是环球公司向道格拉斯公司提出了一个十分苛刻的条件,即新飞机应能在环球公司的所有机场上用一个发动机起飞。道格拉斯公司考虑再三接受了这一条件。1932 年 9 月 20 日,道格拉斯公司正式与环球航空公司签订

了合同,此刻道格拉斯公司已经停产两天了。1933年6月22日,新飞机的样机装配完毕,它被命名为DC-1。该机长18.3米,翼展25.9米。机身两侧各有一台530千瓦功率的发动机,巡航速度320千米/小时,航程1600千米。机体呈流线形,机舱内部舒适,还加装了隔音装置和暖气系统。

1933年7月1日开始,DC-1进行了为期6个月的试飞,各项指标均达到了要求。最后一项试验是单发动机起飞。试验地点选在了海拔1375米的温斯洛,这是环球公司海拔最高的机场。试验结果是DC-1不仅能顺利用单发动机起飞,而且只用一台发动机飞行了380千米,比同行的福特式客机提早15分钟到达了预定的降落地点。

可以说DC-1取得了巨大的成功,特别是单发起飞、飞行和降落在当时是罕见的。这足以证明DC-1是一架好飞机。然而面对DC-1的卓越表现,环球公司却举棋不定。原因是波音247此时已经投入航线,效果很好。环球公司倾向于首先订购一批波音247飞机。

但是,天无绝人之路。波音公司由于正忙于为联合航空公司生产波音247飞机,拒绝了环球公司的订货要求。在这种情况下,环球公司只好全力以赴支持DC-1的研制与生产。环球公司买下了试飞的DC-1,并订货20架,但要求将座位数增加到14个。道格拉斯公司的工程师们发现,虽然只增加了两名乘客,但工作量几乎等于设计一架新的飞机。这个改进的飞机就是DC-2。它的机身比DC-1略长,发动机功率增加到每台567千瓦,航程仍为1600千米,巡航速度略低于DC-1,为300千米每小时。

1934年5月11日,DC-2首次试飞成功,5月19日便投入航线运营。由于性能优异,环球航空公司又把定货增加到31架。在1934年下半年举行的英国-澳大利亚拉力赛中,DC-2在运输机组名列榜首,令人更为惊讶的是,它的到达时间仅次于速度组的第一名。所以DC-2具有载客量大和速度快的综合优势。优良的性能使DC-2订货大增。这些订货不仅来自美国国内,而且来自欧洲和亚洲。美国陆军和海军也订购了63架作为军用运输机。

1935年底,道格拉斯公司应美洲航空公司的要求把DC-2加长加宽,使之成为拥有14个卧铺的夜班飞机,命名为DST(意为道格拉斯卧铺运输机)。然而这种夜班卧铺型并不受欢迎。于是,道格拉斯公司将卧铺取消,改装为21个座位。这种拥有21个座位的飞机就是民用飞机历史上赫赫有名的DC-3客机。

DC-3装有两台功率为895千瓦的发动机,巡航速度达到331千米每小时,航程为3400千米。载客量根据不同飞行距离和舒适程度可按21到28人布置,最多时可达32人。由于载客量较DC-2增加了50%,从而大大降低了按每座千米计算的运行成本,一举改变了航空公司经营客运亏损的局面,使民用航空客运业务可以不需补贴就能独立发展。这是民用航空确立自己在商业上的地位的关键一步。正如美洲航空公司总裁所说:“DC-3是第一架使客运也能赚钱的飞机。”

DC-3的出现使波音247等客机受到致命打击。1937年初,一直以波音247客机为主的联合航空公司也向道格拉斯公司订购了15架DC-3客机。1938年后,DC-3成为美国航空公司干线运输的主力机种。根据1942年的统计资料,在美国15个主要航空公司拥有的322

架干线客机中,DC-3 占 260 架,DC-2 占 8 架,波音 247 占 25 架,其他各类飞机 54 架。道格拉斯公司飞机占领了美国客机市场的 80% 以上。

客运成本的降低,刺激了美国航空客运的发展。航空客运量自 1937 年后直线上升,1939 年达到 300 万人次,1940 年达到 400 万人次。可以毫不夸张的说,DC-3 的问世是民用航空史上的一个重要的里程碑。

DC-3 自 1935 年问世以来,共生产了 13 000 余架,二战时期美国军方就订购了 1 万架(军用运输机编号是 C-47 和 C-53)。DC-3 是历史上产量最高的民航机种,也许可以说在产量上它是空前绝后的。甚至在 20 世纪 70 年代的越南战场上还可以看到它的身影。它在民航史上的地位也是空前的,它不但使民航终于在世界范围内确立了地位和声誉,还通过建立立体化交通运输体系使世界面貌发生了根本性变化。二战时间,DC-3 改成 C-47 和 C-53 军用运输机,大量生产,连前苏联也根据专利生产了这种飞机,取名“里-2”。

DC 系列最初几种客机取得的巨大成功使道格拉斯公司认识到,飞机公司的飞机研制应当紧跟市场,以航空公司的需要为前提。从 DC-1 到 DC-7,直到喷气式的 DC-8 和 DC-10,都是应航空公司的要求研制的。30 年代后期和 40 年代,道格拉斯公司研制了 DC-4、DC-6 运输机。这些飞机只取得了有限成功。二战期间,美国政府要求大量提高飞机制造公司的生产能力,使军用飞机产量达到每年 50 000 架。这使道格拉斯公司的规模急剧膨胀,并建立了完全由公司控制的分公司。几年中,道格拉斯公司是盟军方面军用运输机的主要供应商,但也无法满足实际的需要,于是根据政府的计划又组建或兴建了一些工厂,受道格拉斯公司领导,生产军用运输机。战争期间,道格拉斯公司的五大生产厂生产了 30 980 架飞机。

第 2 节 民航喷气时代的到来

波音 237 和 DC-3 的出现,使民航运输发生了革命性变化。从波音 247 到 DC-3,从 DC-7 到“星座”,这些在历史上赫赫有名的飞机在世界范围内架起了空中交通网,人们的出行和交往更加快捷方便了。上述这些客机都是采用活塞式发动机、旋翼推进的,其速度已接近极限。如果要使飞机飞得更快,就必须采用新的推进技术,或曰新型发动机。这就是喷气推进技术和依据喷气推进技术制成的喷气式发动机。第二次世界大战中,航空技术取得了巨大的进步,其中最为重要的是喷气推进技术的诞生和初步发展。它的出现改变了整个航空技术的面貌,并推动了民用航空运输的再次革命。

喷气飞机早在 1939 年便诞生了。二战末期和二战后不久,英、美、苏等国就将喷气战斗机和喷气轰炸机推向了实用化。那么,喷气发动机能否用于民航客机呢?喷气发动机的故乡英国给出了答案。英国德·哈维兰公司研制的“彗星”式喷气客机表明,喷气发动机不仅可以用于客机,而且还能带来革命性的变化:飞行速度更快、飞行高度更高、乘坐更加舒适,潜在的优势还有:航程更远、载客量更大。

20 世纪 30 年代中期以后,世界民用飞机市场几乎被美国几家公司垄断了。面对这一情况,英国开始筹划大型客机研制计划,以期在二战结束后能够生产出可与美国飞机竞争的新型客机。1942 年 12 月,英国飞机生产部长组建了一个委员会,主席是布拉巴宗勋爵,着手对英国准备在战后生产的民用运输机制定规划。1943 年 2 月,该委员会推荐了几种飞机方案,其中有的是在已有的轰炸机基础上改制的。考虑到未来的需求,委员会感到必须设计全新的大型飞机,才能在战后具有竞争力。布拉巴宗委员会后来提出建议,由布里斯托尔公司开始发展用于战后运输的巨型飞机“布拉巴宗”号。这种飞机是当时最大的飞机之一,翼展高达 70 米,机长 54 米,最大起飞重量 131.54 吨。它装有 4 台 1 864 千瓦(2 500 马力)的活塞发动机,带动 8 只旋翼。飞机的最大速度为 402 千米/小时,航程为 8 850 千米,载客 100 名。为了制造这架空前的庞然大物,公司修建了一个专用的大型机库,机场跑道也得到加长和加强,为此还拆除了一些建筑物,道路也被改道。

1949 年 9 月 4 日,“布拉巴宗”号首次试飞。这个巨型飞机采用了大量新的制造技术,由此导致造价昂贵。而且由于采用活塞式发动机,它的速度不高,经济性很差。对此英国关于是否将该机投入生产和使用有过长期争论。喷气客机的出现,打消了方方面面的争论。在进行了几年的试飞后,1952 年这项计划被迫停止。惟一的一架试飞用的飞机于 1953 年 10 月被拆散。

布拉巴宗委员会有着广阔的眼界。在 1943 年规划新型客机时,推荐的方案不仅仅是活塞动力的,还有喷气动力的。其中之一是采用刚刚出现不久的喷气发动机,能够飞越大西洋,并以 645 千米每小时的速度飞行的旅客机。委员会希望避开与美国相比处于劣势地位的活塞式旅客机,用这种全新的概念飞机挑战美国的民航机霸主地位。正像德·哈维兰本人所说的:“战争快要结束时,一开始我们想实施‘彗星’计划,很明显,由于美国在二战期间主要负责生产运输机和轰炸机,在和平到来时,美国就会在远程客机的制造上具有绝对竞争优势。踩着美国的足迹跟在后面亦步亦趋地追赶一点用也没有,我们惟一的办法——与我们原有的、逐步推进策略完全不同——便是大步跳跃,以便使美国在几年之内都无法追上我们。答案似乎就在喷气式发动机上,因为我们知道,英国在这方面已经走到了美国的前面。”“彗星”式客机计划采用密封座舱,可载货物 1 000 千克。这就是“布拉巴宗四号”飞机,由德·哈维兰公司负责研制,该公司给予的编号是 DH-106。在进行方案讨论过程中,它的性能指标发生了一些变化。

1943 年德·哈维兰公司开始了一系列的研究,焦点集中于发动机的布局上。由于当时喷气发动机推力较低,必须用三台才能完成客机的推进任务。最初提出几种设计方案,三台发动机都是以“品”字形安装在飞机尾部。1944 年,由于性能要求发生了变化,将载货能力提高到超过 1 吨,动力系统便由三台发动机改成了四台发动机。相应的,飞机布局也发生了重大变化,将尾部安装改为两两对称安装在翼根部。

“彗星”喷气式客机的研制得到了英国政府的支持,同时也得到航空公司的热情鼓励,英国“海外航空公司”发挥的作用尤其突出。该公司对这种首创性的喷气式客机表现出异乎寻常的坚定信心。早在 1946 年 10 月,该公司就表示将订购 8 架“彗星”飞机,后来实际上购买了

9架。航空公司订购飞机也是靠政府补贴的,用于改进研制喷气发动机的250万英镑专款也是政府资助的。可以说,“彗星”计划是英国政府与美国飞机制造公司的一场较量。

“彗星”式飞机的总设计师是曾设计过“蚊”式飞机的著名飞机设计师毕晓普。德·哈维兰公司的设计人员没有估计到喷气式客机设计方面面临的新困难,认为只要按活塞式飞机设计方法设计一个普通的机壳,装上喷气发动机即可。另外,该公司为节省资金,还采取了一个相当冒险的策略:按设计图纸制造飞机直接进行试飞,不经过整体力学试验。1946年5月“彗星”式飞机的方案是采用后掠式下单翼,后掠角 40° ,尾翼也带有后掠角。飞机可载客24名。后来机翼后掠角改成 20° ,尾翼改为平直式,座位数增加到36个。座舱采用密封增压式,保证乘客在高空飞行时较舒适。发动机采用四台本公司自己生产的“鬼”式离心式喷气发动机,单台推力19.789千牛。1949年7月27日,“彗星”号进行了首次试飞。10月25日,它完成了一次从英国哈特费尔德到利比亚的贝内托的往返飞行,平均速度721千米每小时。

1951年1月9日,为英国海外航空公司生产的第一架“彗星”1号出厂,经过一年的试飞,于第二年4月交付海外航空公司。5月2日,该公司就将这架飞机投入到伦敦至约翰内斯堡的航线。由于航线较长,“彗星”飞机的航程较短,因此这条航线是按六个阶段完成的。尽管如此,它的飞行时间也比活塞式客机短得多。其他订购该机的用户还有法国和加拿大。应航空公司的要求,飞机座位数由36个增加到44个。这种飞机的编号改为“彗星”1A。

在“彗星”式刚刚投入航线时,它以速度优势吸引了众多的航空公司前来订货。在改进型“彗星”2号刚完成设计时,飞机的订单就达到了47份,其中19份是订购“彗星”1型,28份是订购2型。对英国和德·哈维兰公司来说,最令他们感到兴奋的是,这种飞机还打入了美国市场。1952年10月,美国泛美航空公司订购了3架当时还在设计阶段的“彗星”3号。数量虽然不多,但意义十分重大。它标志着英国冒险创新性地研制世界第一种喷气客机的决策是正确的。“彗星”2号安装了罗罗公司的“阿旺”轴流式涡喷发动机,推力有了较大增加,机身长度也略有增加,从而增加了座位数。由于后来的几次事故,影响到飞机在航线服役,有些订单也被航空公司单方面取消了。对此,英国也没有丝毫办法。航空公司的理由非常充分:你们的飞机不安全!“彗星”2号共生产了18架,有13架被英国皇家空军购买,2架用于飞行员训练,8架用于军用运输,另外3架用于特殊任务,其余5架用于民航运输。军用型“彗星”2号使用到1967年。

“彗星”喷气式客机的出现使民航客运的平均速度由400千米/小时提高到800千米/小时,其意义是十分重大的。然而不幸的是,该机自投入使用后,接连出现了几次重大的空难事故。据统计,自1952年投入航线到1970年,重大事故就发生了21起,直接导致乘客死亡的事故就有11起。最惨重的一次发生在1970年7月3日,“彗星”4型客机满载112名乘客,结果所有乘客包括机组人员全部遇难。还有7起也是机组与乘客全部死亡。

第一起死亡事故发生在1953年3月3日。一架加拿大太平洋航空公司订购的“彗星”1A飞机在交付飞行时,中途转场在卡拉奇机场起飞时坠毁。机上5名机组成员和6名乘客全部遇难。据事后分析,这次事故发生的原因是起飞时机头抬得过高,导致飞机失速。看来这是一

起人为的操纵失误。当时主驾驶员比较年轻,经验不足也是重要原因之一。当天飞机起飞时,时间又选在了夜间,环境因素也是不利的。

第二起死亡事故发生在同一年的5月2日。一架英国海外航空公司的“彗星”1号飞机在进行正常定期航班飞行时,发生了机毁人亡事故。航线是印度的加尔各答到英国伦敦。起飞后6分钟,飞机坠毁。机上6名机组成员和43名乘客全部遇难。事故分析得出的事故原因是:飞机通过雷雨云时导致结构载荷过大破坏。结构载荷过大可能是两个原因造成的,一是在雷雨云中遇到了强气流;一是飞行员操纵失误和失去操纵进入了雷区。

第三起死亡事故发生在1954年1月10日。一架海外航空公司的“彗星”1号从罗马飞往伦敦。飞机在意大利境内巡航飞行,机毁人亡。机上全部6名机组成员和29名乘客全部遇难。当时的事故调查认为:飞机事故是由于机身增压舱结构疲劳破坏引起的。理由是:过去的试验显示增压舱抗疲劳性能较低,增压舱是发生破坏的第一位置,残骸分析显示,增压舱确实出现了破坏现象;飞机出现的其他破坏问题不是在这次事故中发生的。

1954年4月8日,一架南非航空公司的“彗星”1号在从罗马到开罗间的正常商业飞行时,飞机在巡航阶段坠毁在意大利靠近拿波里的地中海海域。机上7名机组人员和14名乘客全部遇难。由于没有打捞到残骸,对事故的分析是推测性的,但基本结论也是由于机体疲劳破坏引起的空中解体。

短短的一年时间,交付的9架“彗星”1号客机就有4架坠毁,其中3架又是在空中解体的,这不能不引起英国政府和航空专家重视。为此,英国海外航空公司被迫停止了该机的业务飞行,由一个庞大的专家组展开了历史上少有的详尽调查。在四次事故中,第一次可能属于飞行员操纵失误,第二次可能是飞机在巡航飞行时遇到了湍流,后两次完全是由于结构破坏导致空中解体,而引发结构破坏的元凶是机体结构的疲劳。这次事故调查结束了“彗星”1号的生命,换来的是飞机设计师和结构专家首次注意到金属在连续受到增压和减压作用会发生疲劳,从而使结构强度降低。“彗星”1号由于巡航高度较高,在上升下降过程中就连续受到这种气压增减的疲劳作用。正是由于“彗星”1号的教训,一门新的学科“疲劳力学”诞生了。

“彗星”飞机疲劳破坏事故带来的不仅仅是付出“彗星”1号全部停飞的代价,更重要的是英国在喷气式民航机的领先地位被别的国家超越了。“彗星”发生的事故在世界范围内引发了喷气式客机究竟有没有发展前途的广泛争论。在英国尤其如此,不论赞成方还是反对方获得胜利,终究耽误的宝贵时间无法挽回。在此后的几年中,德·哈维兰公司卧薪尝胆,大刀阔斧地对“彗星”号客机进行了重新设计,尤其是结构着重进行了加强。改进设计的“彗星”3号换装了更大推力的发动机,加长了机身。但它只生产了一架,主要用于进行了结构方面的试验工作,为后来大幅度改进服务。

“彗星”4号是最终改进的成果。英国海外航空公司对德·哈维兰公司是相当支持的,一次就订购了19架。第一架于1958年4月27日进行了首次飞行。1958年10月4日,两架“彗星”4号客机从大西洋两岸同时起飞,向对岸飞去,引起了一次短暂的轰动。尽管这种飞机也是相当成功的,但昔日“彗星”1号的一时辉煌也未能重现。“彗星”4号的改进是相当大的,它

的载客量提高到 81 人,后来的“彗星”4C 最大可载客 101 名;最大载重航程提高到 4 168 千米。但这时它面对的是强大的美国波音和道格拉斯公司的竞争,这两家公司以波音 707 和 DC-8 雄霸了远程客机市场。“彗星”4 在生产了 20 架后于 1962 年停止生产。

几次重大事故虽然没有葬送喷气式客机,但却彻底毁掉了德·哈维兰公司。“彗星”2 和 3 订货的取消,使该公司无力继续进行改进设计,只好向政府伸手。英国为了保住“彗星”飞机,直接拨款 650 万英镑给德·哈维兰公司,使之暂时渡过了难关。在“彗星”4 于 1958 年走下生产线时,英国首相麦克米伦发去了贺电,贺电中说:“‘彗星’客机的复活表明我们对这种先进的产品充满了信心,整个国家都会为这架飞机能够带领世界走入喷气时代而感到自豪。”美国航空界也称赞德·哈维兰公司在构想、研制和制造世界第一架喷气式客机的过程中表现出了非凡的远见卓识、大智大勇和精湛技术。这些赞美之辞德·哈维兰公司都当之无愧,但语言挽救不了这家公司。到 20 世纪 50 年代末,公司因缺少订货而难以为继,于是不得不宣布“投降”。1959 年 12 月 17 日,德·哈维兰公司与霍克·希德利公司达成了合并协议。新公司仍然称霍克·希德利公司,实际上等于德·哈维兰公司被兼并了。从此,德·哈维兰公司的名字在英国消失了。

苏联制造成功的第一架喷气式客机是著名的图波列夫设计局研制的“图-104”客机。它是在中程轰炸机“图-16”的基础上改进而成的。1954 年开始制造,1955 年 6 月 17 日第一次试飞成功,1956 年 9 月投入航线使用,成为 20 世纪 50 年代末 60 年代初前苏联民航的主力干线客机。

图-104 装有两台涡轮喷气发动机,可以搭载旅客 50 人。与“彗星号”相比,“图-104”有许多不足,如耗油率高、机内装修差、起降性能不好等等。特别是前苏联的机场设施和地面交通状况与喷气式客机不匹配,一度出现了极其混乱的局面,引起了广泛的批评。于是前苏联的民航部门一方面投资改进地面基础设施;另一方面与图波列夫设计局合作改进“图-104”。1957 年,70 座的“图-104A”问世了。1959 年 100 座的“图-104B”首先运行在莫斯科至列宁格勒(现在的圣彼得堡)航线上,1960 年达到了每天 15 个班次,单程飞行时间仅 1 小时。“图-104B”装有两台推力为 96.6 千牛的涡轮喷气发动机。巡航速度 800 千米/小时,航程 3 100 千米。到了 60 年代中期,前苏联的各主要城市间已经主要由喷气式客机承担空中运输任务了。

1955 年 5 月 27 日,法国西南航空公司试飞成功世界第一架支线喷气式客机“卡拉维勒”号。“卡拉维勒”号大量采用了“彗星”号的设计,如“彗星”号的机头,罗尔斯-罗伊斯公司的发动机等等。但是它也有许多独创之处。最引人注目的是,它的发动机放在了机身的尾部。这样的设计好处主要有两个:一是机翼处的空气流场不会受到发动机的干扰;二是旅客几乎听不到发动机的噪声。第二条优点为“卡拉维勒”号赢得了大批订货。甚至美国的联合航空公司也订购了 20 架,用于纽约——芝加哥的航线。卡拉维勒号的重大意义在于它第一个向飞机制造商们提示了客舱内的噪声强度将成为喷气式客机能否赢得市场的一个关键性指标。

使喷气式客机真正得到全世界的承认,公认的在商业上最为成功的干线喷气式客机是美

国波音公司的“波音 707”客机。这倒并非是“波音 707”在技术上比“彗星”号和“图 - 104”有什么根本的不同,而是由于它在每个技术细节上都做得相当成功,从而形成了综合的技术优势。另外,“波音 707”在市场方面的机会也是很好的。首先美国国内市场是民航客机最大的市场;其次,“彗星”号由于事故退出了欧洲市场,“卡拉维勒”号则是支线飞机不会与波音竞争;最后由于当时东西方的壁垒,“图 - 104”根本不可能大量进入欧美市场。

波音公司是美国历史最长的、实力最强大的飞机制造厂商之一。1947 年,波音公司应美国空军轰炸机司令部的要求,研制成功“B - 47”喷气式轰炸机。该机是集当时先进技术于一身的大型飞机。它采用 6 台涡轮喷气发动机,飞行速度达到 970 千米每小时,是当时飞得最快的轰炸机。它成功地运用了后掠翼,使喷气式飞机的性能得到充分发挥。B - 47 是美国第一种大型喷气式飞机,对美国喷气推进事业产生了重大影响。最直接的就是 B - 52 轰炸机和波音 707 客机的问世。1952 年 4 月,波音公司在 B - 47 的基础上研制成功 B - 52 重型轰炸机。该机具有很强的续航能力,1957 年它用了 45 小时 19 分完成了首次环球不着陆飞行。

军用喷气轰炸机的研制成功,使波音公司坚信喷气推进技术也是民用客机的发展方向。1950 年,波音公司得知英国的“彗星”客机已经试飞成功。这个消息不仅在波音公司,就是在全美国也引起不小的震动。一些国会议员提出由政府资助研制喷气客机的议案,但未获得批准。波音公司董事长艾伦与波音公司的设计人员和管理人员进行了广泛的讨论,认为以波音研制大型喷气轰炸机的经验,研制比“彗星”更好的客机完全有可能,但关键问题是建造一架原型机的成本很高,客机的研制成本会转嫁到机票上,他们拿不准乘客会不会为缩短旅行时间甘愿花更多的钱。于是波音公司与他们的老客户泛美航空公司商谈。但各航空公司都不能给出肯定的订货数量,因为这些航空公司也无法预测喷气客机的市场究竟有多大。尽管如此,新飞机的设计工作已经开始,这就是“波音 707”(编号 367 - 80)。这项工作进展很快,到 1950 年年中便形成了初步设计方案。当年秋天,艾伦去英国伦敦参观法恩巴勒航空展览,“彗星”首次公开露面给他留下深刻印象,他认为喷气客机将是未来民航机的发展方向。

回到美国后,是否将已经提出初步方案的“波音 707”投入研制的问题仍然没有定论。尽管他本人主意已决,但这决不是凭他个人感觉就能决定的事情。在走访几家航空公司时,没有一家愿意订购还在纸面上的飞机。无奈,艾伦决定自己来开拓市场,自筹资金投入研制。他指示研究人员对建造一架原型机的成本有多大进行测算。1952 年 4 月答案出来了,生产一架原型机约需要 1 300 万美元。波音公司认为,这个风险值得去冒。1952 年 4 月 22 日下午,波音公司董事会正式做出决定将新型的“波音 707”客机投入研制生产。

1954 年 7 月 15 日,“波音 367 - 80”原型机试飞成功。它装有 4 台喷气发动机,航程 5 800 千米,载客 105 名。尽管波音总裁艾伦对新飞机有充分的信心,但毕竟市场不是他和波音所能左右的。考虑到这一点,367 - 80 的设计具有双重目的,它既可以作为旅客机,也能作为军用运输机。即使民用市场没有充足的订货,也可以寻求军方的购买。367 - 80 原型机的成功并未马上给波音公司带来定货,倒是美国空军看上波音公司的研制能力把开发喷气式空中加油机 KC - 135 的任务交给了波音公司,使波音公司摆脱了困境。KC - 135 借用了 367 - 80 的设

计和技术,很快就研制成功了。1954年7月15日,KC-135进行了首次试飞。机长41.53米,翼展39.88米,机高11.68米,最大起飞重量134.7吨。这些指标都与367-80非常相似。美国空军第一批就订购了28架。这种飞机连同后来的改型共生产了820架,一直是美国空中加油的主力机种。

1955年7月,波音公司得到美国空军的许可,在KC-135的基础上发展民用客机“波音707”。但是20世纪50年代中期,航空制造业还是低谷。这时的各大航空公司已为订购旋翼式飞机耗尽了财力。为数不多的喷气式客机订货竞争十分激烈。在1955年的联合航空公司的订货会上,波音公司的367-80输给了道格拉斯公司的DC-8。DC-8的问世晚于367-80,但是它的客舱剖面略宽于367-80,并在续航能力上优于367-80,更重要的是道格拉斯公司与联合航空公司自DC-3问世以来的长期合作关系是波音公司无法相比的。倒是老合作伙伴泛美航空公司于1955年10月13日订购了20架,合同金额1亿美元。但同时该公司又订购了35架DC-8,价值1.6亿美元。

在喷气式客机的第一轮较量中,“波音707”暂时输给了道格拉斯DC-8。这是波音公司所不甘心的。为了争夺当时看来还相当有限的市场,波音公司立即着手进行了两项重大的技术改进。第一项是加宽波音707的客舱,使之不逊于DC-8;第二项是进行洲际型客机的设计。这两项措施导致了“波音”707-120型和707-320型的诞生。“波音707-120”客机可以搭乘181名旅客,320型则可搭乘189名旅客。二者的机身都在原707飞机的基础上加宽加长。波音公司的这一努力取得了积极的成果,它的销路开始打开。除泛美航空公司的订货外,美国航空公司、法国航空公司和德国、瑞士的航空公司纷纷订购。

1957年12月20日,第一架“波音707-100”进行了首次试飞。泛美航空公司订购的第一批6架称“波音707-121”型,于1958年交付。令波音公司感到欣慰的是,1959年5月12日,一架波音公司生产的“波音707-320”型客机被选为“空军一号”总统座机。这件事为波音公司飞机制造史写下了光辉的一笔。1959年10月19日,“波音707-320”客机首次从纽约不着陆飞至伦敦,航程5000多千米,开始了定期越洋远程民航航班飞行。泛美航空公司还用707-320建立了世界上第一家环球乘客服务航线,从而名声大噪。

“波音707”客机成功地打破了道格拉斯公司对民用客机市场的几十年的垄断,使波音公司在客机生产上能与道格拉斯公司相抗衡。“波音707”的成功还证明了波音公司的远见卓识:航空工业必须两条腿走路,必须尽快把先进技术应用在民用飞机的发展上。幸亏有了这一英明的决策,波音客机才形成了一个强大的系列,占据了当今民用客机市场霸主的地位。目前在世界航空运输市场上,在每5架干线客机中至少有3架是波音飞机。

道格拉斯公司的DC-8是在航空公司的要求下,被动投入研制的。自DC-3问世以来,该公司以DC-4、DC-6和DC-7系列活塞式旅客机雄霸民用干线飞机市场,其垄断地位持续了20多年。由于DC-7的改型已能完成不着陆飞越大西洋的航空运输任务,因此道格拉斯公司对喷气式客机并不看好,反而认为喷气式客机运营成本过大而无市场潜力。泛美航空公司是美国各大航空公司中惟一对喷气式客机抱有极大信心的,但当时只有波音公司计划研

制大型喷气式客机。泛美航空公司希望在喷气式客机研制方面形成竞争局面,从而对使用方有利。泛美公司的总裁特里普在波音、道格拉斯和洛克希德三家公司中游说,试图说服后两家公司加入到喷气客机研制中来。但这两家公司都不感兴趣。后来在泛美开出比较诱人的价码后,道格拉斯公司终于心动了,决定研制 DC-8 喷气式客机。该机 1955 年投入研制,1958 年 5 月 30 日首次试飞。由于它的性能比“波音 707”略有优势而一炮打响。1959 年 8 月 31 日,DC-8 正式投入航线运营。

“彗星”客机希望改革世界航空运输的面貌,但“出师未捷身先死”。它的未竟事业由后继者“波音 707”和 DC-8 完成了。自此,航空运输发生了深刻的变革,世界变小了,人们的交往更加方便快捷了。自 20 世纪 50 年代末开始,再也没有人怀疑喷气客机的巨大价值和效益了。

第 3 节 “波音”系列与“麦道”系列

波音公司自“波音 707”客机之后又依次推出了一系列喷气式客机,领导着干线客机的潮流。

“波音 727”是继 707 之后波音公司研制的一种重要的喷气式客机,它创造了销售 1 800 余架的世界纪录。“波音 727”属于中短程客机,上装三台涡轮风扇发动机,具有较好的起降性能和中短程经济性。它创意于 1958 年,当时的背景是美国市场上中短程客机需求量增加。各大飞机制造厂商都在为此做出努力。按照惯例,波音公司董事会必须在事先得到美国四大航空公司中的两家的意向性订货条件下,才有可能批准研制新的大型飞机。这四大航空公司是:联合航空公司、泛美航空公司、东方航空公司和环球航空公司。

当时波音公司面临的情况是,四大航空公司中的环球航空公司由于财政困难难以购买任何型号的新飞机,泛美航空公司则已决定购买洛克希德公司的飞机,剩下的两家公司虽然同意订货,但是却提出了不同的技术要求。联合航空公司由于在丹佛的机场位于高原,所以要求四发动机配置,而东方航空公司出于经济性的考虑只愿意购买双发动机的飞机。

为了能同时满足两家的要求,波音公司只好采取折中方案,采用三发动机的配置。采用三发动机配置的一个首要问题是三台发动机摆在什么位置。是采用三台尾部安装的发动机,还是采用两台发动机吊挂在机翼下、一台发动机在机身尾部,曾经有过激烈的争论。波音公司为此专门成立了两个平行的设计小组,各自独立的设计出一个最佳方案,然后进行比较。经过仔细的比较论证,最后选定了三台发动机的方案。其主要的原因是,尾部安装发动机可以明显的改善阻力性能,这对满足短跑道起飞的要求是特别有利的。其次,这种布局发动机动力系统比较集中,从而可以节省建造费用,并改善机上的乘坐环境。

“波音 727”是在 1964 年 2 月投入航线运营的,第一批在东方航空公司和联合航空公司服役的是“波音 727-100”型飞机,它能载客 131 人。1967 年波音公司又推出了 727-200 客机,载客 189 人,1972 年正式投入航线运行。此后,波音公司对 727 飞机不断进行改进,一直到

1984 年波音 727 才退出生产线。这种飞机的成功为波音公司赢得了很高的声誉和进一步的发展资金。

波音公司为了争夺美国短程客机市场,于 60 年代提出研制“波音 737”的设想。1965 年后期,道格拉斯公司生产了 80 至 125 座的 DC-9 短程客机,这促使波音公司在技术上有所突破。为此他们提出了一种独特的设计方案,即采用下单翼、翼下发动机短舱的布局。这种布局的好处是:失速特性好,能减轻结构重量,机身长度减小;飞机重心控制方便,发动机短舱安装高度低,便于进行维修。

“波音 737”问世后,立刻就卷入了与 DC-9 的竞争之中。道格拉斯公司对 DC-9 进行了一系列的改型,如 DC-9-10、-20、-30、-40、-50 和 DC-9 超 80 等。从性能上看,DC-9 与“波音 737”类似,不相上下。例如 1967 年投入使用的 DC-9-30 载客 110 人,飞行速度为 907 千米/小时,航程 2 400 千米,燃油消耗率为 0.034 9 千米/每客座千米。1968 年投入航线的波音 737-200 先进型客机载客 115 人,飞行速度为 927 千米/小时,航程 2 600 千米,耗油率为 0.035 3 千克/每客座千米。但是,由于道格拉斯的 DC-9 抢先进入市场,且可以在短跑道起降,因而大受欢迎。为了应付这一局面,波音公司推出了一种多组件的砂石地起落架,它使 737 能在未铺道面的简易跑道上起降,从而夺回一部分市场。截止到 80 年代中期,“波音 737”与 DC-9 处于平分秋色的态势。

60 年代中期,客机生产厂和航空公司对民航的发展前景纷纷看好。他们都预测到民航客机需求量的增长率在 15% 以上。人们普遍认为,要适应这一发展必须制造一种大型宽体客机。

1965 年波音公司恰巧投标军用运输机 C-5A 失败。C-5A 是一种比当时任何运输机都大一倍的飞机,尽管波音公司的备选方案是无懈可击的,但是它的要价实在太高了,因此输给了洛克希德公司。后来美国空军装备的 C-5A 是洛克希德公司生产的。

当波音公司察觉到 C-5A 在竞争中难以获胜时,立刻寻求把为 C-5A 准备的技术转移到民用领域,即研制后来称为“波音 747”的宽机身客机。波音公司研制 747 的计划得到了泛美航空公司的支持,一开始泛美航空公司就正式订购了 25 架,并意向性的订购了另外 8 架。在泛美航空公司的带动下,其他公司也采取行动,很快就达到了波音公司预计的最少的投产产量 50 架。

然而“波音 747”巨型客机的上马,无论在当时看还是从现在看都是一场前所未有的赌博。研制这种极其昂贵的飞机,充满了不确定的因素。例如波音公司既缺乏资金,又缺乏厂房设施。事实上波音公司不仅要建造前所未有的巨型飞机,而且要建造世界上最大的飞机厂房。波音公司承认的对“波音 747”计划的投资起点是 7.5 亿美元,这已经相当于公司的全部可动用的资产。而且更有甚者,泛美公司认为起始的投资至少应为 20 亿美元。面对这些可怕的数字,波音公司的领导人说“想到这些,我们心里就冒汗。”

从美国政府方面看,“波音 747”计划与当时政府的紧缩政策相抵触。当时的约翰逊总统决心要限制越南战争升级对通货膨胀的影响。而波音公司的 747 计划不仅要建造巨大的新飞

机和新厂房,还要修造通向厂房的铁路、购置特种车箱运送飞机部件。幸好泛美航空公司的副总裁熟悉华盛顿上层关系,亲自出马游说,使“波音 747”巨型客机研制计划得到政府的特许权。

对于波音公司来说,747 计划的另一关键是选择发动机。按照以前的决策惯例,发动机应由航空公司圈定。但是这一次则不同,所有的航空公司对 747 所用的高涵道比发动机都一无所知,因此甘愿听凭波音公司决定。如果当时从技术实力出发,首选的发动机制造商应为通用电气公司。通用电气公司在高涵道比技术和温度控制技术方面处于领先地位,而且通用电气公司还承担了 C-5A 发动机的研制工作。波音公司当然希望能将 C-5A 的发动机技术移植到“波音 747”上来。但是在 1965 年到 1966 年,通用电气公司的任务十分饱满,无力再进行新发动机的研制。

通用电气公司的退步,使得英国罗耳斯·罗伊斯公司跃跃欲试。从 50 年代起,罗·罗公司就想打入美国市场。这次罗·罗公司提出了一种远远领先于通用电气公司发动机的设计方案。为此波音公司几次组团到英国考察,最后的结论是罗·罗公司无法实现自己的设计。特别是罗·罗公司提出的专卖协议,即今后所有的“波音 747”飞机都不得安装其他公司的发动机,是波音公司所不能接受的。通用电气公司和罗·罗公司退出竞争之后,波音公司只有转向普拉特·惠特尼公司。而普·惠公司也正由于在 C-5A 发动机的竞争中输给了通用电气处于无耐的境地,所以双方一拍即合。

自此“波音 747”正式上马,开始了为期 4 年的艰苦历程。难题一个接着一个,而且没有一个难题是在制定计划时所料想到的。波音、泛美和普·惠都深深卷入到这场风险极大的赌博之中。

在 70 年代初期,航空公司的哲学是“大的就是好的”。他们认为宽机身客机一旦成功,将是一本万利的。这就给研制工作带来了无穷无尽的麻烦。“波音 747”宽机身客机需要新一代高涵道比发动机。新发动机的研制周期要比新飞机长得多。最困难的是所谓“平方-立方”法则,即要把一架飞机加大时,其总体尺寸按放大倍数的平方增加,而重量则近似按立方增加。一架新飞机为满足客户的要求,总要增大尺寸,但飞机重量更大的增加会给发动机带来额外负担。这一平方-立方法则往往把新机的研制逼入困境。“波音 747”正是陷入了这一困境。在签订协议时,泛美与波音商定 747 的起飞重量不超过 300 吨,普惠公司也承诺提供单台推力为 182.5 千牛的涡扇发动机,并在“波音 747”交付 3 年内将推力提高到 200 千牛。然而由于发动机研制拖延了进度,使原定的“波音 747”于 1968 年 12 月 17 日首次试飞的计划难以实现。

经过一系列紧急磋商,泛美、波音和普·惠集中到两个补救方案上。一是由泛美和普·惠提出的,要求将计划推迟半年,以给修改发动机留下时间;二是由波音公司提出的,进度不变,从现有发动机中挤出更多推力。因为波音公司认为机体的研制已经开始,拖延半年将会使公司损失 2.5 亿美元。波音威胁普·惠说,如果坚持推迟计划,波音将被迫放弃 747 计划。他们知道,发动机制造商花在新产品上的钱比飞机制造商更早、更快,因而 747 一旦被搁置,普·惠公司的损失将更加严重。果然不出波音公司所料,普·惠公司被迫接受了波音的方案。不过

事后证明,这一方案几乎是灾难性的。

普·惠公司由于无法在现有发动机中获得更大的推力,只有提高发动机的工作温度。由于温度的提高,“波音 747”在试飞几个月后,发动机出现了变形,结果使发动机的推力进一步降低,油耗进一步加大。这一问题使波音、泛美和普·惠之间陷入激烈的争吵。他们互相指责,波音指责泛美的超重要求和普·惠的发动机设计,泛美指责波音的总体设计有问题,普·惠则埋怨飞机重量已大大超过发动机的设计能力。

尽管争吵不休,1968 年 9 月 30 日,波音公司仍然举行了盛大的“波音 747”出厂典礼。庞大的机体陆续出厂后,最棘手的仍然是发动机存在的过热问题没有解决。1969 年 2 月 9 日,“波音 747-100”进行了首次试飞。在 747 试飞过程中,共用了 87 台发动机,其中 60 台完全报废。有一段时间里 4 架试飞的波音 747 中只有一架能起飞升空。“波音 747”投入航线的日期是 1970 年 1 月 21 日,当飞机刚滑行到跑道时,其中一台发动机就开始过热。当然,三方都不可能将“波音 747”存在的问题公诸于众。面对载客量和航程都比以往的客机大出一二倍的客机,航空公司纷纷订货。到 1969 年底波音公司收到的“波音 747”的订单就有 188 架之多。

发动机的不匹配,使泛美航空公司运营成本大增。泛美的领导人甚至要对波音公司提出控告。波音公司的反应是要转控普·惠公司,在普·惠公司则要提出反控。最后,泛美提出在一些关键技术问题未解决之前,每架“波音 747”购价要降低 500 万美元作为私了。波音公司和普·惠公司被迫接受,但普·惠公司只愿承担 50 万美元。1971 年,泛美航空公司亏损达 5 000 万美元。泛美这时已为“波音 747”计划投资了 10 亿美元,显然这个时候它别无选择,只能与波音公司共存亡了。波音公司这时的境况更惨,发动机的困扰使波音 747 不能及时交付,而飞机不能及时交付就得不到贷款。整个公司的运行已经成为问题。

直到 70 年代中期以后,普·惠公司终于使其 JT-9D 发动机过关,波音公司才稳住了阵脚。1978 年整个民机市场回升,对“波音 747”的需求量大增。波音公司开始迎接不暇。随着波音 747 发动机效率的不断提高,各航空公司为“波音 747”配套的设施也不断完善,它成为航线中效率最高、最可靠、最安全的客机。随后,波音 747 在市场上的地位越来越稳固,它售出的总数逐渐超过了 DC-10 和洛克希德 L-1011 的总和。从此,波音公司登上了客机市场霸主的位置。

“波音 747”的各种型号是当今载客量最大、航程最远的洲际型宽体客机。它的最大起飞重量可达 394 吨,最大航程可达 13 398 千米。该机翼展 64.44 米,机长 70.66 米,机高 19.41 米。装有四台推力为 252~258 千牛 JT-9D 涡扇发动机,可选用不同的型号,也可根据航空公司的要求选装罗·罗公司等的发动机。它有基本型、客运型、货运型、客货混合型、洲际型和国内型等多种改进改型。座舱布置可根据需要采取不同的型式,如分成一等舱、公务舱和旅行舱等。一等舱的座位空间较宽敞,服务也相对好些。旅行舱票价最便宜。对于短距航线,也可全布置成旅行舱或经济舱,可提高载客量。“波音 747”最新改型是“波音 747-400”型。它的最大特点是加装了翼梢小翼,改善了经济性。不同型号和座舱布置

的波音 747 载客数据如表 9-1 所列。

表 9-1 不同型号波音 747 载客数

波音 747 - 100B	452	波音 747 混合型	266
波音 747 - 200B	366 ~ 452	波音 747D 国内型	568
波音 747 - 300B	400 ~ 490	波音 747SR 短程型	537
波音 747 - 400	420	波音 747LB 加长国内型	716

进入 70 年代以后 50 年代末研制的中短程客机面临着更新换代。波音公司看准了这一机会,提出了研制“波音 757”的计划。它将作为 727 和 737 的替代机型。

“波音 757”是一种 190 座的半宽体中短程客机,它是在 727 的基础上,通过加长机身、采用翼吊式新型高涵道比涡轮风扇发动机研制而成的。“波音 757”用的涡轮风扇发动机的涵道比在 5 至 8 之间,是一般涡轮风扇发动机的 2 倍,从而发动机的效率大大提高。超临界机翼是波音 757 的又一项重要的改进。所谓超临界机翼是一种上表面比较平坦,下表面鼓起,后缘部分有下弯的机翼。风洞实验表明,这种机翼能够推迟激波的来临,因而阻力较小。除了上述重大的技术改进外,“波音 757”还采用了优质的铝合金、钛合金和复合材料,使飞机的重量减轻了 500 千克以上。“波音 757”于 1982 年 2 月投入使用。

“波音 767”是一种宽机身中远程客机,用以争夺波音 707、DC-8 退役后留下的市场空缺。“波音 767”计划是与 757 同时提出的,二者在技术上的共同点很多。两种飞机的驾驶舱、辅助动力装置、空调设备、发动机舱、机翼工艺基本相同。液压系统的通用性达 95%。此外“波音 767”也采用了新型高涵道比涡轮风扇发动机和超临界机翼。但是“波音 767”的机身较 757 宽 1.24 米,属于半宽机身结构。这样的结构既适用于采用舒适的两条机舱过道布局;又能适应货运时已有的标准集装箱和货盘。此外“波音 767”更多的采用了优质合金材料和复合材料,结省重量 800 千克以上。在生产 767 的过程中,波音公司采取了广泛的国际合作的策略,先后参与该机生产的国家有加拿大、意大利和日本的公司。这些公司主要是承担有关机身、机翼等部件的制造工作。

20 世纪 90 年代以后,波音公司采取渐改策略,对“波音”737、747、757 和 767 进行了系列化的改型发展工作,取得了可喜成就,既节省了研制新机的成本,又长期稳定地占据了民机市场的主导地位。“波音 737”型自早期的 -100、-200、-300、-400、-500 型之后,1993 年又宣布进行新一代系列改型,包括 737-600、-700、-800 和 -900 型,其第一种与 1998 年投入服役。最新型“波音 737-900”与 2000 年 8 月进行了首次试飞。它的机长 42.1 米,翼展 35.7 米,机高 12.5 米,最大起飞重量 78.24 吨,载客量 177~189 名。它是该系列中飞得最远、飞得最高、载客量最大、使用最经济并且乘坐最舒适的改型。在过去 35 年中,各种改型的“波音 737”已售出了 4 800 架。这是喷气民航机史上生产量最大的飞机,且今后数十年还将有很高的订货量。

“波音 747”目前只生产各种 747 - 400 型。波音公司还计划将该型进行加长,研制新的“波音 747 - 400”,它的最大起飞重量可达 412.77 吨,载客 416 名。与欧洲空中客车的 A3XX 相抗衡,波音还曾计划研制“波音 747X”。它可载 430 名乘客,航程 16 640 千米,加长型可载客 504 ~ 522 名。如果有足够的订货,这项计划就将启动。截止到 2000 年底,各种波音 747 已售出 1 215 架。

“波音”757 和 767 也都在进行改型,但相对不那么活跃。757 有 - 100、- 200 等改型。截止到 2000 年底,各种型号的波音 757 共交付了 1 027 架。波音 767 早期有 767 - 200、- 300 等型号。90 年代波音公司将该机型增程,产生了 767 - 200ER、- 300ER 和 767 - 400ER 等改型。最新改型 767 - 400ER 的载客量由最初的 181 名增加到 275 名,航程大大提高,达 12 250 千米。该机首架于 2000 年 8 月交付美国三角航空公司,9 月 14 日正式投入服役。截止 2000 年底,波音 767 共交付了 800 余架。与此同时,波音喷气式客机的总订货量不断攀升,到目前为止订货量突破了 15 000 架。当前正在使用的波音喷气客机则超过了 11 000 架。

自 20 世纪 30 年代以来,道格拉斯公司一直依靠着一系列的旋翼飞机主导着民机市场。波音公司则屈居第三,排在第二位的是洛克希德公司。然而在喷气时代到来时,波音公司不失时机的抓住了机会,推出了“波音”系列的喷气式客机。相反道格拉斯公司却在研制远程喷气客机的巨额投资面前犹豫不决。尽管他们一度靠“DC - 8”喷气式客机与“波音 707”相抗衡,但由于未将主要精力集中于此,因此在短暂的领先之后,很快败给了波音。

DC - 8 是道格拉斯公司第一架喷气式客机,它于 1959 年 9 月首次出现在美国国内航线上。该机装有 4 台喷气式发动机,可载客 178 人。首批服役的 DC - 8 为 DC - 8 - 10 系列。后来推出的 - 20 系列采用了功率更大的发动机。DC - 8 的洲际航行型是 DC - 8 - 30。它的改进系列还有 DC - 8 - 50、- 60、- 70、超 80 型等。改型之多足早期波音 707 无法相比的。

1960 年波音公司推出高度成功的 727 飞机,又一次打破了均势。道格拉斯公司则推出 DC - 9 客机应战。DC - 9 尽管又遇到了波音 737 的竞争,但是由于其优良的性能,还是赢得了不少客户,给困难重重的道格拉斯公司带来了一线转机。于是道格拉斯公司又做出决定用 DC - 8 的加长型向波音 707 干线客机挑战。客观的讲,DC - 8 加长型是一架性能很好的飞机,但是它的运气不好。首先,波音公司的 747 计划吸引了航空公司的注意力,其次道格拉斯公司在财力分配上不集中,公司决定同时上三个改型方案,这对财力已经十分紧张的道格拉斯公司来说是难以负担的。结果一项英明的技术决定变成了不切实际的挥霍行动。它不仅造成了研制成本的提高、速度放慢,而且引起了管理上的混乱,使得销售势头很旺的 DC - 9 飞机生产速度减慢,那些不能按时拿到飞机的航空公司怨声载道,有的甚至诉诸法律,使得道格拉斯公司不得不付出巨额赔偿。更另人难以理解的是,道格拉斯公司在此时不仅不思收缩战线,反而又增加了 DC - 9 的三个改型型号。公司的领导人沉湎于 DC - 9 供不应求和 DC - 8 加长型的乐观之中。1966 年,飞机的制造成本上涨到难以控制的程度,道格拉斯公司面临着严重的财政困难。到了年底,银行界对道格拉斯公司完全失去信心,破产已是在所难免。公司的承保人提出必须将道格拉斯公司与其他公司合并。1967 年 1 月 13 日,麦克唐纳公司买下了道格拉斯公

司的 30 万股股票,宣布兼并道格拉斯公司。这就是后来的麦克唐纳·道格拉斯公司,简称麦道公司。

麦道联合公司的成立,使航空工业的同行们都感受到了强烈的火药味,意识到今后的竞争将更加激烈。波音公司在道格拉斯公司困难的时候得到的好处最大,特别是 737 飞机,尽管晚于 DC-9 问世,但却平分了 DC-9 的市场。然而最受威胁的是洛克希德公司。洛克希德公司从 1966 年开始研制三台发动机的宽体客机 L-1011,1967 年新成立的麦道公司也加入了竞争,提出了 DC-10 的方案。DC-10 的加入使客机市场的竞争日趋激烈。各大航空公司总裁不断的开会磋商,以图在 DC-10 和 L-1011 之间做出选择。对于飞机本身大部份公司倾向于 L-1011,但是由于洛克希德公司是第一次研制大型喷气客机,而且安装的是英国罗罗公司的发动机,所以 DC-10 又有着一定的吸引力。最后的结果是 DC-10 与 L-1011 打了个平手。一部分公司采用麦道的 DC-10,另一部分公司则采用洛克希德公司的 L-1011。与此同时,还有正在研制的波音 747 宽体客机。

麦道公司的 DC-10 虽然跻身于民机市场,但是它并不走运。1975 年 5 月 25 日美国航空公司的一架 DC-10 在芝加哥坠毁,机上 273 人全部遇难。美国联邦航空局下令所有 DC-10 停飞,并吊销了 DC-10 的适航证。这是第二次世界大战以后采取的最为严厉的措施。芝加哥空难使公众对 DC-10 信心陡降。许多航空公司取消了订货。一些没有 DC-10 的公司也借机进行宣传,以没有 DC-10 来招徕顾客,正像今天的感冒药广告往往宣称“本品不含 PPA 一样”。这样一来使拥有 DC-10 飞机的公司受到很大损失。当然损失最大的还是生产厂家麦道公司。

对 DC-10 事故的调查,成为喷气时代最详尽的事故调查,但结果却非常出人意料。从各方面看 DC-10 是一架很好的飞机,但它的飞行纪录却很糟糕。每 1 000 小时的灾难性事故接近两次。因此,专家们认为 DC-10 之所以事故率高,主要问题出在管理上,麦克唐纳公司兼并道格拉斯公司后,不熟悉商用飞机的经营之道,从而使 DC-10 在维护保养等技术规程的制定上缺乏精益求精和严肃认真的态度,从而大大削弱了公司在民机市场上的竞争力。

由于 20 世纪 90 年代美国及欧洲一系列宇航承包商之间大合并的影响,也由于麦道公司自身经营的问题,波音公司为取得美国第一宇航大公司的地位,开始与麦道商谈合并事宜。1996 年 12 月,两家公司终于达成协议,正式宣布合并。这项合并实际上是波音吞并了麦道,合并后的新公司仍称波音公司,麦道连名字也不存在了,只是成为新波音公司的一个分部。

在干线客机领域,90 年代最引人注目的事件之一是第五代喷气式客机的研制。第五代喷气式客机主要型号有美国“波音 777”、“麦道 MD-11”、“欧洲 A330/A340”和俄罗斯的“图-96”等。这一代飞机在设计上除增加载客量、提高适应性外,继续探索降低油耗,提高经济性。采用的技术措施有:安装耗油率更低、排污更小、噪声更低、涵道比更高、推力更大、维护性更好的涡扇发动机,加大复合材料的用量,进一步加大展弦比,加装翼梢小翼提高气动效率,采用超临界翼型或高效亚音速翼型。这些机型也都将有系列改型,并不断采用新技术,使经济性等指标更好。

1994年4月9日,波音公司与60多家供应商联合研制的新型波音-777远程客机出厂,成为全世界关注的热门焦点。它于1995年2月2日进行了首次试飞,并于4月11日访问了中国。这架飞机之所以引人注目,主要原因是在研制和生产过程中没有一张图纸,完全是采用计算机设计的。单单这一点就导致了大型飞机设计的革命化。虽然它只安装了两台发动机,但载客量和航程几与四发的波音-747相当。它的典型数据(波音-777-200)为:机长63.73米,翼展60.93米,机翼面积427.82平方米,最大起飞重量229.5吨,最大巡航速度M0.87。基本型的载客量介于“波音-767-300”和“波音-747-400”之间,约为300人。根据不同的市场需求,波音-777可安装不同的座位数从305人到375人,如果采用全经济舱布局可提高到440人,航程则可从6575千米直到13668千米。波音公司还计划生产加长型波音-777,若按全经济舱布置最多可装载乘客550人。

MD-11是1985年确定设计方案,同年在巴黎航展第一次透露细节。设计方案公布后,1986年获得92架订货。1986年12月正式决定上马,1989年1月第一架飞机出厂,1990年1月10日进行了首次试飞。它采用四发布局,机长61.21米,翼展51.66米,机高17.6米,最大起飞重量273.3吨,最大载重航程9270千米。它的最大载客量323名,基本型最大航程可达12987千米。由于订货量少,加之它比生产已久的波音747晚得多,因此公司不得不将生产线关闭。

喷气时代大型旅客机的竞争十分激烈,没有哪一家公司能够长久地保持优势。竞争取得胜利只是暂时的,未来的竞争更加激烈。在全世界范围内,还可看到美国与欧洲之争。这更是非常引人入胜的航空大事件。

第4节 “空中客车”的迅猛崛起

第二次世界大战以后,除了东欧与苏联外,世界干线客机市场几乎都由美国厂商所垄断。20世纪70年代,英国、法国、前西德和西班牙组成了空中客车公司,生产干线客机。在与美国厂商的竞争中,空中客车公司取得了巨大的成功,从而形成了与波音公司和麦道公司相抗衡的三足鼎立的局面。空中客车公司的成功是西欧各国航空工业合作的结果。这种合作是有着深刻的地缘政治、历史传统和技术经济基础的。就地理位置而言,西欧国家相距很近,整个面积也不及美国的五分之一,而且交通十分发达,在西德和意大利生产的零部件可用汽车、火车、轮船、直升机或其他运输工具迅速送到英国和法国组装。

20世纪50年代,看到发展航空工业的巨大经济、政治、国防和科技价值,法国致力于恢复和发展航空工业,原西德和意大利开始重建航空工业,欧洲的航空工业得到了较快发展,并积累了许多先进的航空技术。但是,欧洲国家土地面积小,经济势力较弱,单靠一个国家根本不足以同美国抗衡。欧洲共同体十个成员国的总面积还不到美国的十分之一。美国在政治上虽同属西欧盟友,但总想以家长自居,在许多重大问题上指手划脚,这是欧洲国家不能接受的。在

航空产品上依赖美国,势必更加受制于美国,无法做到独立自主,经济利益也受到很大威胁。面对这种形势,欧洲国家试图通过合作在经济、科技和军事方面逐步做到自主,并做出很大努力。

50年代初,英国在研制喷气客机方面走在了世界前列。但由于出现了几次重大事故,使英国航空工业的声誉受到极大影响,而美国的喷气客机抓住这个机会推向了全世界。到60年代,西方航空公司的大型客机主要从美国采购,英国出售客机的数量很少。在这种情况下,英国政府于1964年组成一个由普鲁登勋爵领导的委员会来研究如何振兴英国的航空工业。经过长时间研究,该委员会提交了一份报告,把英国航空的工业基础和有限的国内市场与美国雄厚的工业基础和巨大的飞机市场进行了对比,指出美国的飞机制造公司由于产量较大,生产持续时间长,而且成本比英国的同类产品低10%~20%。如果考虑全部因素,那么美国航空工业的生产效率比英国高3倍。工业基础和市场问题是由国家的实际情况决定的,经过努力也不会有较大改观,因此该报告提出解决英国航空工业危机的可行办法,就是通过与其他国家,特别是法国和原西德进行联合,发挥这些国家的整体力量,只有这样才能保持住欧洲的航空工业,并有可能同美国竞争。报告还指出,英国还看不到有与美国飞机公司进行合作的现实前景。

在此前几个月,英国航空大臣杰克斯曾提议研制一种“欧洲空中客车”飞机。当普鲁登报告提交后,英、法两国便开始讨论这种飞机的技术要求。根据这个计划和英法政府的意愿,英国霍克·希德利公司、法国布雷盖公司和法国北方飞机制造公司组成NBN集团,设计了5种NBN飞机方案。不久,法国航空工业进行改组,布雷盖公司被达索公司兼并,法国政府指令必须由法国南方飞机制造公司参加“空中客车”计划,于是布雷盖公司和北方飞机公司只得退出。

西德对这项计划也持积极态度。1965年12月23日,西德成立了联邦德国空中客车公司,参加到英、法的空中客车计划。1966年1月,英、法、德3方政府举行第一次会议,会议通过了欧洲空中客车计划的三方伙伴:英国的霍克·希德利公司、法国的南方飞机制造公司和西德的空中客车公司。这次会议还确定了共同研制开发的客机机型,即前面提到的五个方案之一NBN100,它就是A300的前身。

1966年初,“空中客车”设计组对研制的新飞机进行了广泛调查和论证。从当时的航空公司运营情况看,中短程客运是航空运输的龙头,占了70%左右,因而飞机的主要竞争领域是中短程航线客机。另外,从客运量的迅速增加看,繁忙、拥挤的航线要求飞机具有较大的载客量,因而“空中客车”选择了宽体方案,能载300名乘客。最后,考虑到面对美国的竞争,新飞机必须具有技术的先进性和运营的经济性。这几项指标的确定是空中客车取得成功的关键。1966年10月15日,“空中客车”计划的参加公司要求三国政府提供财政支持,并确定将研制的飞机为“空中客车”A300,A为“空中客车”的缩写,300是指300座位的意思。

正在这个时候,美国航空公司副总裁科尔克根据当时的民航运输情况,给美国波音、麦道和洛克希德公司送去一种比波音747飞机小的民航机方案,要求载客量为270~345名,航程为3400千米。双发、宽机身、中短程是其设计特点。但波音等公司都有自己的飞机研制项目,已有的飞机不能满足这些要求,而它们又无力研制一种全新的飞机,科尔克的愿望未能在

美国实现,但这却给欧洲带来了绝好的机会。

1967年9月26日,英、法、德三国首次举行了部长级会议,决定迅速开始“空中客车”的研制,它属于宽体、大型、双发、中短程客机,能满足科尔克的要求。三国政府协议规定,A300客机总体研制和发展费用19亿英镑,英国承担37.5%,法国承担37.5%,原西德承担25%。发动机主要由英国罗罗公司承担,其中研制费用罗罗公司承担75%,法国承担12.5%,原西德承担12.5%。协议还规定,飞机各系统及设备主要由西欧供应,组建一家国际合营性公司负责A300的销售。预定A300于1971年初首次试飞,1972年取得适航证,1973年正式交货。

有了政府的支持,又有了三国三大航空公司英国航空公司、法国航空公司、德国汉莎航空公司的意向性订货和罗·罗公司对发动机性能的许诺,A300的研制迅速铺开。不久,空中客车研制就遇到了困难。一是承担发动机研制的罗·罗公司虽然表示愿意研制A300的发动机,但它更希望为美国洛克希德公司的L-1011客机研制发动机。这使法、德两国非常恼火。由于两种飞机对发动机性能的要求不同,该公司又无力同时研制两种新发动机,结果使空中客车陷入困境。

1968年,法国为了重振航空工业,戴高勒总统任命法国航空界权威人士齐格勒主管南方飞机制造公司。齐格勒是客中客车的坚定支持者。在他的努力下,空中客车计划开始复活。当时面临的重大问题仍然是发动机。为了适应现有的美国和欧洲发动机,设计人员将A300的尺寸缩小,起飞重量只有125吨。它可以适应已经出现的美国的JT9D和CF6-50发动机,以及可能出现的罗·罗公司RB211功率增大发动机。RB211是罗·罗公司为洛克希德L-1011客机研制的发动机。新的方案称为A300B,载客量减少到250人。1969年初,A300B进入详细设计阶段,惟一要最后确定的是发动机。除了RB211外,美国通用电气和普惠公司的发动机也在选择之列。

选择英国的还是美国的发动机带有强烈的政治色彩。由于当时英国还不是欧共体成员,法国人对其有很深的成见。考虑到选用美国的发动机有利于“空中客车”进入美国市场,且罗·罗公司能否按时交付发动机还是问题,因此法国和德国都倾向于采用美国通用电气公司的发动机。三个国家代表表决的结果是二比一赞同选用美国发动机,理由是采用美国发动机有利于保证进度,对A300打入美国市场也有利。这个结果使英国当即表示退出“空中客车”计划。

英国的退出对“空中客车”计划又是一个沉重打击,因为英国霍克·希德利公司承担了A300关键性的机翼的研制,这方面法国和德国都没有经验和能力。德国在这项计划承担的资金已和法国相同,因而更加为客中客车的命运担忧。西德政府面对这一形势,想出了一个聪明的解决办法:由德国资助7000万美元支持霍克·希德利公司完成机翼的研制,霍克·希德利公司当然乐于接受。英国退出带来的问题终于得到了解决。

1970年1月1日,法国南方飞机制造公司与其他公司合并,成立了国营法国宇航公司。新公司与德国空中客车公司经研究确定共同组建一个管理性机构——空中客车工业公司。这个公司并没有研制生产的能力,但它能通过下达指令对相应飞机公司的设计、制造等进行管

理。每一家公司都必须分担空中客车公司向外承诺的义务。公司不管理财务,是否上新型号以及财政预算等重大决策问题由政府研究决定,但对设计、生产、销售的大多数问题有权直接做出决定。

1971年12月23日,西班牙的CASA公司以4.2%的股份加入到空中客车工业集团公司。不久,荷兰福克公司和国家航空航天研究所、比利时空中客车公司也加入到该集团。1979年1月,英国重新加入空中客车集团,主要公司是新的英国航宇公司和皇家航空航天研究院。这时的投资比例是:法国占37.9%,西德占37.9%,英国占20%,西班牙占4.2%。空中客车的动力装置为适应市场竞争的需要,采取了灵活的方式,可根据用户的要求选装不同的发动机。采用的发动机有英国罗·罗公司的RB211-524,美国通用电气公司的CF6-50及-80,美国普惠公司的JT9D-59/-7R4及PW4000系列和国际合作研制的CFM56-5和V25000等先进的涡扇发动机。

空中客车集团由上述国家的主要航空航天工业公司组成。它的规模和能力超过了美国波音公司和麦道公司。据统计,80年代初空中客车集团下属公司从业人员达17.76万人,科研人员1.3万人,净资产105.3亿美元。相比之下当时波音公司从业人员为9.67万人,净资产75.9亿美元,麦·道公司为72451人,净资产46.2亿美元。空中客车公司直接从事空中客车产品的雇员约2.3万人。空中客车集团这样的势力是能同美国竞争并立于不败之地的有力保证。

空中客车A300B是最先推出的机型。具体分工为:法国宇航公司负责含驾驶舱和机头段、中机身下部和发动机吊架以及整个机体的总装工作;英国的霍克·西德利公司负责机翼的研制;西德空中客车公司负责机身其他部分和垂尾,并负责机翼的总装;机翼前缘、襟翼、副翼由荷兰负责;机身的主舱门、起落架舱门和平尾由西班牙负责,最后短舱由麦道公司提供。

世界多数航空公司使用惯了波音和麦·道的飞机,对“空中客车”这个大型客机的新生儿没有多大兴趣。自1974年首次交付使用到1978年以前,它只向四家航空公司销售了38架,且主要是空中客车集团的成员国。当时在法国图鲁兹工厂机场篱笆旁有16架A300无人问津。

然而天无绝人之路。1978年春,形势突然发生了变化,燃油价格的飞涨和航空公司的激烈竞争,产生了对载客量大、经济性好的客机的迫切需求,而美国的飞机要么容量小,要么耗油高,只有空中客车公司有这样的飞机,这就是A300B。一时间默默地停放在图鲁兹机场的16架飞机销售一空,新的订单接踵而来。到1979年底航空公司购买A300B的订货量已达300架。这个数字对大型客机来说是相当高了,空中客车公司当初自己也未曾料到。这一成功,确立了空中客车公司在民航机制造领域的地位,为以后的系列飞机发展奠定了坚实的基础。

A300B的成功除了有某些运气外,更主要的是在设计时就广泛对市场需求进行了调查,并通过采用新技术使它保持技术上的领先。它采用的“后加载尖峰”翼型和先进的控制系统在大型客机中都是首次,改善了经济性和操纵的简易性。双发动机布局进一步降低了油耗。就连它的货舱设计也比当时的飞机优越。

当 A300 系列的销路看好之时,考虑到航空公司对 200 座飞机的需求,法、德两国政府和航空工业界经过多次谈判,于 1978 年 10 月达成协议,研制 200 座级的 A310 客机。为降低研制成本,A310 广泛采用了 A300 的技术,从总体上看它实际上是 A300 的缩短型,其机载设备也是通用的。A310 也采用了许多新技术,典型的是首次采用高效超临界翼型,在机翼面积减小的情况下,通过提高展弦比和最大厚度,保证在机翼内部有足够的载油空间,升阻比和经济性进一步改善。此外 A310 大量使用了复合材料,减轻了机身重量。这些改进使 A310 具有很好的性能,成为中短程客机的佼佼者。同 A300B 相比,它的座千米费用降低了 15%。它的大小同波音 757 相似,但性能却和比它大的波音 767 相当。

为适应短途干线和支线的需要,空中客车公司又开发了全新的 120~180 座的客机 A320。它是双发布局,窄机身,单过道。它的外形与前面的飞机相似,机身直径和长度有所减少,但技术上仍保持先进性。由于 A300 和 A310 奠定的良好声誉,加上技术上的先进性和在研制之时的成功宣传,使 A320 在首次飞行前就获得了 439 架订货,这是前所未有的事情。A320 从外表看并无特别之处。但是深入其内部就不难发现其技术水平是相当高的。A320 的最大特点就是采用了电传飞行操纵系统。电传飞行操纵系统的优点是取消了传统的钢索和滑轮,并采用全新的控制准则。如果没有驾驶员的操纵信号或操纵信号不恰当,则飞机自动保持在适当的航迹上。因此 A320 的安全性高于同类飞机。特别是当电传操纵系统失灵时,备用机械系统仍可完成控制,使飞机安全着陆。由于技术上的先进性,A320 的销售形势很好,有可能超过 1 600 架大关。

从 A300 到 A320,空中客车公司的干线飞机覆盖了中短程中、小载客量的飞机,构成了与波音 737、757、767 系列和麦道 MD-80、90 系列客机竞争的局面。但在中远程航线客机上,“空中客车”公司还是空白,不过该公司对未来踌躇满志,信心十足。为了全面同美国的波音 747 和 DC-10 竞争,空中客车公司决定在 90 年代研制新的中远程大型客机。它们的目标是载客量上要达到 400 人以上,航程要达到 10 000 千米以上。这导致 A330 和 A340 的问世。

A330 是双发大型客机,载客量为 420 人,不同的改型载客量和航程等性能指标有所不同。A330-200 载客量为 228~288 名,航程为 9 172 千米。加长型载客量可增至 420 人。它于 1987 年设计,1992 年 11 月 2 日首次飞行。A340 机体与 A330 相似,四发远程客机,载客量 375 名。A340-300 的航程达 13 250 千米。它于 1991 年 10 月首次飞行。它们在技术上也有许多创新,包括采用了变弯度机翼和加装翼梢小翼,经济性超过了波音 747-200-300 和 MD-11,比波音 747-400 略差。这两种飞机都有系列改型,包括 A330-200、-300 和 A340-200、-300、-500、-600、-800。A340 系列的 A340-500 和 -600 都是在 1997 年开始研制的,A340-500 载客 313 名,航程 15 800 千米,是目前航程最远的干线客机。A340-600 可载客 400 名,航程 13 900 千米。该机于 2001 年 4 月 23 日进行了首次试飞。并参加了巴黎航展进行公开飞行表演。目前两架飞机共飞行了 90 次,飞行时间 250 小时。第三架试验飞机也将投入试飞。

A340 的最新型号是 A340-800,长期以来称作 A3XX,现改为 A380。它经过广泛的论证,

终于在 2000 年 12 月被批准研制。它的座位数可达 555 个,是惟一可以同波音 747 - 400 相抗衡的改型。在尚未投入试飞的情况下,它已获得了 50 架订货和 42 架意向性订货。预计它可于 2005 年投入使用。

欧洲空中客车工业公司的干线客机产品在技术和商业上都取得了极大的成功。经过不足 30 年的发展,到 2001 年 6 月 30 日,该公司的确定客机订货量已达 4 375 架,已交付了 2 661 架,其中 A320 系列的订货量最大。在项目开始的 12 年即 1996 年即突破 1 000 架大关,目前已达到 1 509 架。A300 订货 580 架,交付 502 架;A310 订货 260 架,交付 255 架;A319 订货 710 架,交付 354 架;A321 订货 401 架,交付 203 架;A330 订货 406 架,交付 196 架;A340 订货 309 架,交付 199 架。1996 年空中客车公司生产了 124 架客机,1997 年为 190 余架,1998 年达 228 架。1994 年空中客车飞机的订货量首次超过波音公司,使波音这个世界客机老大的地位开始从根本上动摇。为同波音抗衡,空中客车公司决定集中全部精力控制成本,以对抗来自波音 737、747 和 777 的压力,加速 A340 的改型,使其洲际航程能力能与波音 747 竞争。空中客车公司将加速 500 座以上超大型客机 A380 研制计划,以在未来的竞争中立于不败之地。空中客车公司的今后目标是向世界第一逼近。

欧洲空中客车工业公司从无到有,经历了 30 多年的风风雨雨,能够发展到今天的实力,原因是多方面的。其中最主要的原因就是西欧各国采取了以合作代替竞争的战略,集中了各国有限的人力、物力和技术力量,使西欧的航空工业的优势得以充分的发挥出来。空中客车公司面对美国宇航公司合并的形势,也计划进行重大的结构调整,即将原来的经济利益集团式转变为真正的单一实体公司。目前四个伙伴公司英国宇航公司、法国宇航公司、德国戴姆勒 - 奔驰公司和西班牙飞机制造公司正在加紧磋商,准备进行重组,以应对来自美国的压力。

第 5 节 超声速客机的命运

喷气式客机趋于成熟后,人们又把注意力放到超声速客机身上。如果民航客机能够实现超声速飞行,将使飞机速度提高两倍以上,大大缩短长途飞行的时间。但是超声速客机的命运并不像亚声速客机那样一帆风顺。经过了近二十年的努力,目前只有两种超声速客机在航线上使用。这就是英法联合研制的“协和”号和苏联的“图 - 144”客机。

实际上自 60 年代以来,世界上共有三个型号的超声速客机投入研制,除了上述的“协和”号的“图 - 144”以外,还有美国波音公司的波音 2707 - 300。它的马赫数设计为 M2.7,计划载客 250 人。后来由于波音 2707 的研制方案出现了反复,以致进度落后于协和号。后来美国政府又撤消了对波音 2707 的财政支持,波音公司被迫放弃这一计划。

从计划起源上看,前苏联的超声速客机晚于协和号,但首次试飞却早于协和式。60 年代初,当前苏联得悉美国、西欧准备研制超声速客机后,仓促上马研制超声速客机。由图波列夫设计局研制的图 - 144 在外形上与“协和”号非常相近,特别是当前苏联驻英使馆人员曾因窃

取“协和”资料被大批驱逐的消息披露后,航空界的专家们普遍怀疑图-144抄袭是“协和”号的,并戏称图-144为“协和斯基”。

图-144与“协和”式一样采用下单翼结构,狭长的三角翼,无平尾,可下垂的机头。四台发动机也分别下挂在机翼下侧。图-144的巡航速度为2.35马赫,最大航程6500千米,载客140人。图-144的设计方案于1965年9月在前苏联公开展出。1968年12月31日,第一架原型机制成并进行了试飞,创下了一项世界第一的纪录。经过大约3年的试飞,图-144进行了重大的改动,并于1973年投入批生产。据称图-144共生产了30架。

1973年6月3日,图-144在参加巴黎国际航空展览时,突然坠毁,机上人员全部遇难。根据当时的报道,参展的图-144已经试飞过100余次,飞行时间约300小时。在此次航展上,该机共进行了两次飞行表演,且都是在协和号表演之后进行的。6月2日进行的第一次表演是专门为专业人员举行的,6月3日的则是为35万观众进行的公开表演。

在表演中,图-144曾三次穿场而过。在最后一次穿场飞行时,按计划应表演低空、低速飞行,飞行高度在100米左右。飞机放下了起落架,垂下机头整流罩,并放下前置操纵面,像一只大鸟掠过机场,然后开始爬升。当飞机爬升到1500米时,突然机头低下来,机腹左侧出现闪光。在场观看的一些有经验的驾驶员惊呼道:“飞机出事了!”当飞机的俯冲角拉平到 45° 角时,左翼断裂。飞机翻了个身,随后整个飞机在空中肢解。飞机坠落在距机场几千米外的村庄,砸死了几个人,毁坏了15家农宅,6名机上人员全部死亡。

事故后,法国有关部门组织了调查,前苏联方面有8人参加。关于事故的原因做出了各种推测,如前操纵面失速,发动机熄火等等。

值得注意的是美国方面也组织人员进行了调查,他们买通了法方人员,拿到了图-144发动机的一些残骸。美国方面认为图-144发动机的改进型被用在图波列夫“逆火”式轰炸机上,因此对图-144发动机的研究可以分析出“逆火”式轰炸机的一些重要参数。

图-144的坠毁,是超声速客机第一次发生的重大事故。这一事件使前苏联推迟了该机交付民航使用的时间表。直到1976年12月,图-144才开始在国内航线上使用,主要是用来进行货运和邮运。1977年11月,图-144在莫斯科到阿拉木图的航线上定期运载旅客。大约在百余次飞行之后,又因发生事故而暂停了飞行。

1979年苏联生产出图-144的改进型图-144D,采用涡轮风扇发动机,它在经济性、噪音等方面都有很大改进,在1981年投入航线使用。但后来因苏联民航当局认为运行收益不大,没有继续发展使用。

“协和”式超声速客机的构想相当早。50年代,喷气发动机、后掠翼和面积率的应用,战斗机已经实现了超声速和二倍声速飞行。在新技术、新思想以及一个个成功的新型号的激励下,美、苏、英、法等国纷纷开始探索研制超声速大型飞机超声速轰炸机,一个个富有科学技术挑战性的计划被提了出来。当时,英国皇家飞机研究院也开始研究超声速战斗机和轰炸机问题。1954年2月,皇家飞机研究院空气动力学部成立了一个研究小组,研究高亚声速和超声速战斗机和轰炸机的可行性。在小组的一次会议上,负责人谈到皇家飞机研究院一直致力于先进

作战飞机的研究,而现在的和平年代为探索民用飞机提供了绝好的机会。他认为,新一代的客机应当是高亚声速喷气式的,而下一代将是超声速的。在这种情况下,这个小组便开始了超声速客机的初步研究和设计工作。

研究小组做出的第一个规划目标是:设计两倍声速客机,航程达到中远程,至少能从欧洲大陆飞越大西洋到达纽约。在这个目标指导下,研究小组利用现有技术进行了初步设计:细长机身,两头为尖锥形,中间为细圆形,这样可以大大减小超声速波阻;展弦比为2的梯形机翼;常规尾翼组件。为了改善起飞降落时的低速特性,提高升阻比,计划采用大面积襟翼,以保证在低速时有足够的升力系数。乘客数初步定为52座。

进一步研究表明,这项设计达不到预定目标。机体很重,载客数却很少。据估计,如果航程定为从伦敦直飞纽约,那么飞机起飞重量约为136吨,而载客数仅有15名,座营运成本将是常规的亚声速客机的5倍以上。显然这项设计是失败的。即使把航程定得短一点,中途着陆加油一次,载客量也只有50人。运营成本仍然很高。小组在1955年4月提交了一份报告中指出:任何采用薄的平直翼设计、能飞越大西洋的超声速客机,都没有商业上的竞争力。

1956年初,皇家飞机研究院基于后掠翼技术和面积率理论,提出了一项马赫数1.2的超声速客机方案。航程仍以飞越大西洋为基本目标,乘客数应与亚声速客机相当。方案设计的特点是大后掠、薄翼型机翼、蜂腰状机身(面积率),机身形状也不是圆柱形。另一个备选方案是M形机翼,即内半机翼前掠,外半机翼后掠。当时新技术的发展,喷气发动机成熟和这两个方案的提出,导致英国于1956年11月5日成立了超声速运输机委员会。在此之后,又提出了马赫数为2的指标,并出现了几种设计方案。

详细考察表明,M1.2后掠翼方案达不到航程指标,其他问题也很多。M型机翼方案在以M1.15速度飞行时,通常期望被大气吸收的强激波,在转弯或异常天气条件下可能聚集起来引起大面积地面破坏。二倍声速的方案有多种,如大后掠机翼方案,用鸭翼代替尾翼,但升阻比特性并没有显著改善。把机身埋在大型机翼下面的飞翼方案,升阻比特性和载重都不佳。霍克·希德利公司提出结合高尾翼和大展弦比后掠翼,升阻比有所改善,但估计对地面破坏作用很大。布里斯托尔公司提出198型设计,有几种不同的布局,其中最引人注目的是细长三角翼布局,装6台发动机。后来将机型改小,装4台发动机,客座数110座。这两个方案影响较大。除上述种种方案外,还有为提高低速性能而采用可变后掠翼方案。但这会带来增重、增加复杂性和不安全、配平困难等问题。所有方案几乎都有低速性能差,或制造复杂的问题。细长三角翼成了首选,但也有气动效率不高的缺点。

50年代中期到60年代初,正是三维分离和涡动力学蓬勃发展的时期,而且已经取得了惊人进展并且许多理论上的预言已得到了风洞试验的证实。更为重要的是,为涡动力学做出开创性贡献的一大批卓有成就的气动学家如屈西曼、马斯克尔、威伯(J. Weber)、史密斯(J. H. B. Smith)等人都集聚在超声速运输机委员会,屈西曼还担任了气动力研究部负责人。这些人掌握的新气动理论背景和承担的超声速客机方案设计任务的完美结合,最终导致了“协和”式飞机优美的细长S形前缘机翼这一关键设计方案的出现。

我们可以把“协和”式方案的形成分为四个阶段。第一个阶段是前面介绍的涡动力学,即勒让德、马斯克尔、屈西曼、威伯等人的理论研究。他们的研究成果表明,细长机翼前缘结构产生内分离而形成漩涡。这种脱体涡能给主翼段提供很大的非线性升力。这种非线性升力在低速或大迎角形态下更加明显,对全部升力贡献更大。

第二阶段,屈西曼以他丰富的理论背景和敏锐的直觉抓住了这个全新的气动升力机理,与马斯克尔合作,于50年代中期系统研究了可控流动分离问题。亦即,前缘产生分离而形成的有利旋涡(脱体涡)是否稳定,是否能控制它从机翼后缘拖出,以保证漩涡产生的非线性升力确实能在设计中使用。经过他们的努力,证实了脱体涡在一般情况下是稳定的,通过机翼形状的优化设计可保持脱体涡在整个翼面上不会破碎。他们的结论是:“为了满足在整个飞行范围内保持流型相同这个条件,分离线必须保持在同一位置,即它们必须固定在突角和气动锐缘处。由此可见,锐缘作为控制流动的手段比以往所认识的更加有价值。”所以,屈西曼道出了有效利用脱体涡的机翼形状设计:“因而上述推理的自然结果就是大后掠的尖前缘(可能还有尖侧缘)和几乎平直的尖后缘的平面形状,即各种大后掠、细长、锐缘三角机翼的某种变形。”

第三阶段是完成细长机翼气动力设计原则的转变,即必须证明上述原理的确能导致一架能满足既定目标的飞机。它能完成所要求的任务,而且在低速飞行和高速飞行要求之间必须没有根本的矛盾。超声速飞机低速性能的改善制约着大型飞机的发展。低速性能主要包括起飞和着陆阶段的升力系数和升阻比。这两个参数很低意味着起飞、着陆距离很长。为弥补这个缺点,英国的格利弗斯(A. A. Griffith)曾提出采用多台小发动机直接提供垂直升力的设想。理论分析和风洞试验都表明,细长S前缘三角形机翼由于有效利用了脱体涡升力,因而完全能满足在低速、大迎角情况下,提供所需要的升力。风洞实验表明,“协和”式S形细长翼在 20° 迎角时,升力比迎角为 60° 的直机翼提高了113%,其中63%是由前缘脱体涡产生的非线性升力。

第四阶段是具体设计,包括综合选择机身长度、体积、翼展、展弦比等参数来最大限度地减少波阻、涡阻、摩擦阻力和提高升阻比,以求得最佳参数值。屈西曼根据各种阻力的分布,找出了一组最佳参数:为保证总阻力最小,半翼展/机长比应在0.25左右,展弦比为0.5左右,体积系数(机体体积与翼面积 $3/2$ 次方之比)为0.04左右。以这些参数设计的完整协和式飞机阻力降低25%,超声速巡航时最大升阻比为7.4,低速时最大升阻比高达11.6。它的特性与后掠翼飞机显著不同:后掠翼飞机巡航时升阻比最大,低速时由于增升装置,升阻比显著下降。细长机翼在低速时升阻比比巡航时要大得多。

“协和”式飞机就是在这样几个过程中脱颖而出。它是理论与设计结合的结果。正如屈西曼所说:“新型飞机并不是系统地研究了一系列机翼几何形状得出的结果,也不是任何优化过程的结果。它是运用基本流体力学进行推理的结果。”

“协和”号的正式研制始于1962年。“协和”飞机的机体研制由改组后的英国飞机公司和法国国营宇航公司共同进行。发动机由英国罗罗公司和法国国营航空发动机公司共同研制。

最初的计划是研制两架原型机,研制费1.5亿英镑。1966年英法双方决定扩大研制规模,增加两架预生产型和两架供静力试验和疲劳试验用的机体。研制费增加到5亿英镑。协和飞机的原型机于1965年初开始制造,1969年4月9日比图-144晚了5个月进行了首次试飞。1971年底和1972年初两架生产型也交付并投入试飞。1976年1月,协和号投入航线飞行。至此,英法已投资8亿英镑,超过预算的5亿。

“协和”号飞机自1976年投入使用到2003年,共飞行了27年,运载旅客200万人次以上,尽管航空界对其褒贬不一,但它取得的技术成就对今后航空事业的发展无疑是有着巨大的影响的。然而,尽管在技术上“协和”号是成功的,但在商业上它却是个失败者。“协和”号有三个影响其商业性能的弱点:第一,经济性差,由于成本高“协和”号的票价比亚声速飞机的头等舱还贵出20%。如此昂贵的票价使大多数乘客望而却步。航空公司也不敢多订货。第二,航程短。协和号的航程为6230千米,这一航程无法发挥超声速飞机的优势。特别是在太平洋航线上,“协和”号难以发挥作用,这些航线仍然是亚声速飞机的天下。第三,噪声污染严重。协和式由于音爆水平高,所以被限制不得在大陆上空进行超声速飞行。噪声可以说是“协和”号商业失败的关键性因素。美国联邦航空局的第36条规定指出新的喷气式飞机的进场噪音范围是102~108分贝,起飞噪声在93~108分贝。这一限制使“协和”号难以在美国境内飞行。英国官方评论说,第36条规定是美国对欧洲航空业的最最大的非关税壁垒。

由于噪声问题和经济性差,美国各大航空公司纷纷终止了与英法签订的订货合同。这对“协和”号的发展是一个严重的打击。不过,“协和”号的设计在技术上是十分成功的,特别是在气动外形设计上首次利用了脱体涡型产生升力,导致了飞机空气动力学设计上的一场革命。

2000年,“协和”号从未发生灾难性事故的神话终于被打破了。5月25日下午4时42分(当地时间),100名来自德国、丹麦、美国和奥地利的乘客,在花都巴黎搭上豪华的“协和”式客机,准备去纽约和厄瓜多尔作为期两周的旅行。不想,约两分钟后,由于飞机起火坠毁,他们和9名机组人员、4名地面上的无辜者一起葬身火海,令人为之痛惜。

这架法航AF4590航班客机是由德国戴尔曼旅游公司包租的,从巴黎附近的鲁瓦西机场起飞。飞机起飞不久就着了火。一名机场行李搬运工说:“飞机的发动机起火,火焰有二、三十米长。”另一名目击者指出是左翼发动机起火,飞机打算转回来,但失去了高度,它艰难地试图升空,但是掉了下来。下午四时四十四分,飞机掉落在巴黎附近的高乃斯镇,撞到了一家旅馆,马上发生大火。火有3米高,10来米宽。飞机被全部烧毁,连骨架也辨认不出。离旅馆废墟30米左右的地方,可以看到两块飞机的座舱。尽管大批救护人员及时赶到现场,但爱莫能助,只能眼睁睁地看着大火燃烧,救不出一条人命。

英法两国专家对事故进行调查后表明,“协和”号坠毁的原因是一只起落架轮胎在跑道滑跑时与细小的石块摩擦导致过热而着火。破碎的橡胶块甩出冲向机翼,将里面安装的油箱击破,燃油泄出,引起大火,进而使左侧发动机失去推力。第二号发动机失灵且起落架无法缩回,轮胎爆胎,但前进冲力已达300千米每小时,驾驶已无法停止飞机起飞。同时与第二号并列的第一号发动机也发生故障。发动机推力的不平衡使“协和”飞机偏离航线,并导致整个飞机失

控而坠毁。

经过一年多的调查和部分改进、试验后,伦敦当地时间 2001 年 7 月 17 日 14 时(北京时间 7 月 17 日 22 时)在发生空难一年后,英国航空公司的一架“协和”式客机成功地完成了首次超声速试飞。它在英国时间下午两点从伦敦希思罗机场起飞,在大西洋上空飞行大约 3 小时 20 分钟,在下午 6 点返回伦敦西部的皇家空军机场。在试飞过程中,“协和”飞机达到了最高设计速度——2 200 千米每小时。2003 年,英、法两国决定,“协和”号超声速客机永久退出航线。

超声速客机经过如此的风风雨雨,到目前还不能说已有了光明的前景。尽管美国和欧洲都有计划要研制新一代的超声速客机,但是它们是否可以在经济性上与亚声速飞机相竞争,在环境保护上不遭反对,在航程上达到 8 000 千米以上都还是未知数。不少专家对超声速客机持有乐观态度,他们认为,“协和”号是 60 年代的技术代表,以现在的技术水平,要达到“协和”的性能,飞机的重量可以减少一半,油耗也可以减少一半。美国航空航天局在进行下个世纪飞行器预测的时候,把超声速客机列在了其中,他们认为在 21 世纪初有能力发展出拥有更大的运载能力、更大的航程和低于亚声速飞机运行成本的超声速客机。20 世纪 90 年代后期,欧洲、俄罗斯和美国都提出了新的第二代超声速客机研制计划。

第二代超声速客机出现了若干种方案。法国提出的未来超声速运输机方案为:载客 200 人,最大起飞重量 210 吨,巡航速度 $M2.5$,航程 8 000 千米,耗油率约为“协和”式的一半。美国提出的远程超声速客机方案为:载客 300 人,最大起飞重量 200 吨,巡航速度为 $M2.7$,航程为 10 186 千米。若采用层流技术可使航程提高到 15 000 千米。俄罗斯图波列夫设计局也推出了第二代超声速客机图-244 的基本方案,载客量 250 人,飞行速度 $M2.5$,航程 12 500 千米。

上述方案主要性能指标相似:最大飞行速度 $M2.0 \sim M2.5$,航程 11 000 ~ 15 000 千米,载客量 250 ~ 300 人。只有这样才能充分发挥它的速度优势,实现跨太平洋航空运输。第二代超声速客机是否能够研制成功主要取决于以下几大难关:一、环境相容性,音爆、噪声和排气不能超过范围;二、经济生命力,飞机价格、运行费用等综合起来不应超过现有亚声速客机很多,票价应与头等舱相当;三、技术可靠性,要研制出在经济上有生命力并具有环境相容性的超声速客机,必须在发动机、气动、结构、材料、电子设备和系统上有新的突破。

有预测表明,根据目前的进展,2005 年可望研制出先进、安全、经济并与环境相容的第二代超声速客机。美国有的飞机公司甚至还构想了速度达到 2.5 倍声速的跨大气层客机。

第十章

航天先驱与液体火箭



✈ 美国航天先驱戈达德和他设计的第一枚液体火箭。1926年春3月26日,戈达德和妻子以及两个助手在沃德农场进行了世界上第一枚液体火箭的发射试验。火箭总长约3米,顶部是0.6米长的发动机,它连接了两个推进剂贮箱,用两个长约1.5米的细管将液氧和汽油传送到燃烧室中,输送方式是高压氮气挤压法。点火后飞行2.5秒,上升高度12米,距离56米。虽然这枚火箭的性能并不理想,但它开创了人类航天的新纪元,打开了液体火箭技术的大门。

航天的发展走着一条几乎与航空完全不同的道路。航空研究一直到 20 世纪都是理论远远落后于实践,或者说航空发展在整个 20 世纪以前都是走着一条经验式或半经验式的道路。因此有人把航空飞行器的研制看作是“工匠”的事业。这条道路十分漫长,这完全是航空实践活动缺乏理论指导的缘故。航天的发展却与此有很大的不同。它从一开始就有相对完善的理论为指导。首先是宇宙、天地、时间和空间概念的形成和近代天文学知识的积累,然后是相应的基本理论如牛顿定律的建立,接着是火箭理论和实践以及航天学的创立。正是由于这个原因,航天的发展比航空要快得多。从 20 世纪初航天学理论的建立到人造卫星发射成功,只经历了短短的 50 年。因此可以说,航天学理论的率先建立大大加速了航天时代的来临。而在航天学理论和火箭运动理论建立的过程中,活跃着一大批有卓越贡献的航天先驱者。在理论方面最著名的是俄国的齐奥尔科夫斯基,法国的埃斯诺-贝尔特利,美国的哥达德和德国的奥伯特。

第 1 节 俄国的齐奥尔科夫斯基

利用火箭进行太空飞行的设想可以说是俄国航天先驱者齐奥尔科夫斯基首先明确阐明的。1857 年 9 月 17 日,齐奥尔科夫斯基出生于俄罗斯梁赞州的伊热夫斯科村(靠近莫斯科),取名康斯坦丁。他的父亲是一位森林管理员,平时喜好发明,但没有取得很大成就。他的母亲玛丽亚·伊凡诺夫娜出身于艺术家庭。他们家境贫寒,虽然齐奥尔科夫斯基自小热爱读书,但他的父亲却没有能力送他到更好的学校学习。他受到的惟一正规教育是在伊热夫斯科的乡村学校里获得的。不幸的是,他在 10 岁的时候,由于患了严重的猩红热病而使听觉几乎完全丧失。从那时起,齐奥尔科夫斯基几乎同外界隔断了联系。他这样回忆说:“由于猩红热引起的后遗症,我的听觉受到了损害。耳朵近乎全聋,我成了邻近的儿童嘲笑的对象。这个生理障碍把我同人们疏远了,但却促使我发奋读书,积极努力,喜好幻想以忘却这些恼人的事。”

由于无法进学校学习,他的母亲以极大的耐心在家里给孩子补课。没有正规教育,他只能靠借到的几本书进行顽强自学。自身的严重疾病使他养成了顽强和坚毅的性格,同时由于他很少同外界进行联系和交往,所能看到的书又十分有限,因此他对许多科学的新发展很少了解。齐奥尔科夫斯基的兴趣主要在理论方面,特别是数学、物理学和天文学等。

齐奥尔科夫斯基 16 岁的时候,父亲送他到莫斯科去求学。虽然他仍无法在学校里学习,但这里的环境显然比乡下优越得多。他在莫斯科的三年多时间里几乎完全钻进图书馆里。在自学过程中,有关飞行和星际航行问题已经开始强烈地吸引着他。这方面的兴趣在很大程度上是受到凡尔纳科幻小说的影响。齐奥尔科夫斯基在 1911 年回忆说,“在过去很长时间里,我也和其他人一样,认为火箭不过是一种少有用处的玩具。我已很难准确回忆起我是怎样开始计算有关火箭的问题。对我来说,第一颗太空飞行思想的种子是由著名的儒勒·凡尔纳的幻想小说播下的,它们使我在头脑里形成了确定的方向。我开始把它作为一项严肃的活动。”从

那以后,齐奥尔科夫斯基开始关注与这类问题有关的科学理论。

有一天,齐奥尔科夫斯基在自学过程中,遇到了一个作用和反作用定律的问题。他通过这条定律大胆地设想:如果有一天发生了一场巨大的爆炸把地球炸成碎片,那么这些地球碎片的引力中心将仍然保持在原来绕太阳运行的轨道上。这实际上就是引力中心不变定律。后来作用与反作用定律以及引力中心不变定律成了他解决宇宙航行问题的基础,当时他只有19岁。

在顽强的自学之余,齐奥尔科夫斯基开始凭借有限的科学知识进行太空飞行可能的方式的研究。由于当时还很小,他的想法还非常幼稚。有一天,他忽然想到了利用离心力。这使他极度兴奋,以为发现了通向星际空间的道路。齐奥尔科夫斯基后来回忆说:“当时我简直高兴得发狂,那一晚我整夜都无法入睡。我慢慢地,在莫斯科的大街上徘徊,一直思考着我的发现的伟大意义。但到了第二天黎明,我终于认识到我的推理是错误的。那时我的失望之情正像刚才兴奋之情一样强烈。那天晚上的情形一直深深地留在我的记忆之中。30年后的今天,我仍然时时地梦想着利用我自己的机器到遥远的星星上去,心情同那天晚上一样激动。”

虽然受到凡尔纳的强烈影响,但一开始就觉得他建议的大炮发射方法是行不通的。他在自学过程中掌握了反作用原理,这是他研究太空飞行问题的重要基础。早在1882年3月28日,他就在日记中记下了这样一段话:“考虑一只充满高压气体的桶。如果我们在桶的一端开一个口,气体就会通过这个小口逃逸出来形成一股连续的气流,气体的弹性使之在向空间排出气体粒子时,会连续地反作用于桶本身。结果是桶子将发生连续的运动……因为作为一个一般法则,在自由空间里的直线或曲线运动总是伴随着物质的连续损失。”

刻苦自学使齐奥尔科夫斯基获得了大量的科学知识,也为他后来的研究工作奠定了重要基础。1878年秋,他轻而易举地通过了中学教师的资格考试,被分配到波罗伏斯克县担任中学教师。在可怜的中学当教师工资虽然微薄,生活艰苦,但对他来说似乎是理想的生活出路。这为他进一步学习和进行试验创造了条件。不过那里的信息渠道仍然很不畅通,因此与外界隔绝的状况仍无多大改善。

1892年,齐奥尔科夫斯基移居到卡鲁加的波洛维斯克,在那里仍然担任中学教师。这时他的研究方向转到轻于空气的飞行器——飞艇上面来。当时还未出现性能优良的可操纵飞艇。考虑到内燃机的重量太大,齐奥尔科夫斯基研究了解决的方法。他通过计算认为,只要飞艇的体积做得足够大,可以弥补发动机的不足。此外,他建议采用全金属结构以及细长体形状。他遇到的一个主要困难是无法确定空气产生的阻力,于是他决定自己实验以确定这一关键的问题。

这时齐奥尔科夫斯基已经不再是完全孤立和默默无闻了。他同门捷列夫和许多科学家有了较多的接触和交流。莫斯科自然科学爱好者学会也邀请他去作关于飞艇的报告。报纸也请他写文章。他写的文章尽管文字难懂,但他的那些奇特的思想使不少读者很感兴趣。齐奥尔科夫斯基在一定程度上有了些知名度。它的这些交往也为他的研究带来了经济上的鼓励。彼得堡科学学会为他提供了475卢布,热情的读者也捐助了55卢布。这笔钱对他的研究和实验来说并不算多,但却在精神上给了他极大的鼓励。他为研究气体动力学问题,特地于1891年

建造了俄国第一座风洞。这段时间他还研究过飞机。由于经费不足,实验工作没有取得很大进展。

经过这样一些努力和工作,齐奥尔科夫斯基认识到,像飞艇或者飞机这类大型工程问题,靠一个人在业余时间里摸索,很难得到有实际意义的成果。因此他觉得自己还是应当进行理论研究,这样靠个人的力量有可能取得一些有价值的进展。这时,早期太空飞行思想又回到了他的思考中,而且越来越强烈。逐渐地,对太空飞行问题的研究占据了他的主要精力。

实际上,有关航天飞行方面的问题,齐奥尔科夫斯基一直在断断续续地进行着研究和思索。大约在1878至1879年,为了研究生物在飞行环境中的反应问题,他设计了一种研究加速度对生物体影响的装置。1883年,他在一篇名为《自由空间》的手稿中,首次指出利用反作用装置作为外太空旅行工具的推进动力的可能性。他对这种火箭动力的定性解释是,火箭运动的理论基础是动量守恒定律。在这篇手稿中,他还分析了在没有空气阻力的空间的运动,画出了宇宙飞船的草图,并且计划采用陀螺装置使飞船在飞行中保持稳定。这些有关太空飞行的思想在1893年发表的科幻小说《月球上》和1895年写的《地月现象和万有引力效应》中得到了进一步发展。1896年,他开始从理论上研究星际航行的有关问题,进一步明确了只有火箭才能达到这个目的。1897年,齐奥尔科夫斯基推导出了著名的火箭运动方程式。

齐奥尔科夫斯基首先研究的问题是太空飞行用的运载工具。19世纪末,康格里夫火箭在俄国还在一定范围内使用着。他认为在宇宙空间没有空气的情况下,惟一能够使用的运输工具是火箭。这种依据作用与反作用原理的火箭完全可以在真空中飞行。这里的一个关键问题是如何使火箭达到能克服地球引力的高速度。齐奥尔科夫斯基经过几年潜心研究,于1898年完成了航天学经典论文《利用喷气工具研究宇宙空间》,但这篇论文直到1903年才在莫斯科的《科学评论》杂志上发表。接着,他又于1910年、1911年、1912年、1914年在《航空报告》上发表了多篇关于火箭理论和太空飞行的论文,较为系统地建立起了航天学的理论基础。

《利用喷气工具研究宇宙空间》内容涉及到与火箭和航天飞行有关的各个方面的问题。首先,作为科学研究和探测工具,齐奥尔科夫斯基分析了现有运输装置的不足。他指出:“到目前为止,小型不载人并且能携带自动科学仪器的气球也不可能到达22千米高。”随着高度的增加,由于高空大气密度急剧降低,制造飞得更高的气球几乎有不可克服的技术上的困难。“现有的大炮炮弹的初速度很难达到1.2千米每秒,在这样的条件下,炮弹大约只能飞到75千米高。但由于炮弹的过载太大,落地时又易于受到撞击而损坏自动仪器,因此利用炮弹作为工具携带科学仪器的方式也不可靠”,所以,“我建议利用反作用机械研究高空大气。我所指的反作用机械就是火箭。”

接着齐奥尔科夫斯基运用变质量运动理论,推导出了火箭运动的基本方程,从而使火箭的理论更趋于完善。这个公式后来被命名为齐奥尔科夫斯基公式。在这个公式的基础上,他又推导出了火箭在重力场中的运动方程式。这两个简单公式奠定了火箭运动的理论,具有重要的实际意义和理论价值。根据这两个公式,齐奥尔科夫斯基建立了火箭质量比的概念,即火箭起飞前的质量与火箭燃料耗尽后的质量之比,并由此指出质量比的重要意义。他还首次提出

了火箭推进剂比冲的概念,认为比冲越大,火箭性能越好。通过对上述公式的分析,齐奥尔科夫斯基得出了如下若干重要结论:

一、火箭能够达到的最大速度直接与喷气的相对速度成正比,如果燃料燃烧的速度增加一倍,火箭能达到的最大速度也增加一倍;

二、火箭的最大速度随着火箭质量比的增加而增加。其关系是,如果火箭和燃料的重量以几何级数增加,则火箭的最大速度以算术级数增加。

齐奥尔科夫斯基由此还推导出了火箭要克服地球引力所要具备的最小速度即第一宇宙速度为8千米每秒。为了达到火箭的最高性能,他研究了各种可用的燃料,根据计算他指出,液氢液氧是火箭发动机最理想的推进剂,因为这种组合比冲最大能量也最大。另外,他考虑了发动机的冷却、推进剂输送方式、发动机燃气舵控制以及火箭飞行控制等具体技术问题。

火箭运动理论大致有了一个完整的框架后,齐奥尔科夫斯基又对星际航行问题进行了研究和展望。他设计并画出了载人宇宙飞船的草图,研究了载人宇宙飞行的种种问题,包括载人飞船内如何保持适宜的温度、压力、湿度等条件,飞船内空气和水的净化和重复使用问题,二氧化碳的吸收问题,利用绿色植物提供氧气的问题,以及宇航员如何克服起飞时的高过载问题等等。他还研究了太空飞行对人类社会的影响以及人类的前景等问题。在1911年发表的《利用喷气工具研究宇宙空间》下半部分中,齐奥尔科夫斯基详细地描述了一艘载人宇宙飞船从发射到进入轨道的全过程,内容涉及飞船起飞时的壮观景象,超重对宇航员的影响,失重效应以及人的感觉和飞船内物体的奇异表现,不同的高度看地球的迷人景观,天空的景色等。人们读来有如亲临宇宙飞船登天的感觉。

齐奥尔科夫斯基1903年、1911年、1914年发表的三篇同一标题的论文可以说构成了一个相当完整的航天学理论体系,其中有许多研究发现或论述在航天史中属于第一:

1. 首次明确提出液体火箭是实现星际航行的理想工具;
2. 首次较全面地研究了各种不同的液体推进剂,并提出液氢液氧是最佳的火箭推进剂;
3. 首次推出火箭在真空中运动的关系式,并计算出火箭的逃逸速度;
4. 首次提出了火箭质量比的概念,并阐述了质量比的重要性;
5. 首次画出了完整的宇宙飞船的设计草图;
6. 首次提出了液体火箭推进剂的泵输送方法;
7. 首次提出了火箭发动机燃烧室的再生冷却方法;
8. 首次提出利用陀螺仪实现宇宙飞船的方向控制;
9. 首次研究了失重对生物和人的影响,并提出了减轻失重和超重不利影响的措施;
10. 首次开展了失重和超重对小动物影响的试验;
11. 首次提出利用植物改善舱内环境和提供宇航员食物的措施;
12. 首次研究了火箭在大气层中运行时的空气动力加热问题;
13. 首次提出空间站和太空生物圈设想;
14. 首次提出利用太阳光压推进宇宙飞船的思想;

15. 首次提出太空移民思想。

齐奥尔科夫斯基早期的著作大都是发表在读者面比较窄的专业科学杂志上,拥有的读者主要是科学家。但科学家大多对此不感兴趣,并且报深深的怀疑态度。在扩大齐奥尔科夫斯基航天学理论的影响方面,科学作家雅克夫·佩雷尔曼发挥了重要作用。他在读了齐奥尔科夫斯基的论文后,大加赞赏。他同齐奥尔科夫斯基建立了亲密联系,并且以齐奥尔科夫斯基的论文为基础,改写成通俗的太空飞行科幻小说。这样读者面急剧扩大,从而大大地提高了齐奥尔科夫斯基的知名度,但在一般人心目中,很少把他当作一个科学家看待。他那些杰出的航天学论文未能引起俄国政府和科学家们的重视,同时他的这些成就也不为欧洲和美国科学家所知。

十月革命之后,齐奥尔科夫斯基的工作得到了苏联政府的鼓励。第一次世界大战后,齐奥尔科夫斯基发表的第一篇著作是关于太空飞行的科幻小说《地球之外》。这类著作在苏联通常是很受欢迎的。由于齐奥尔科夫斯基的科学幻想都建立在他的大量研究基础之上,因而《地球之外》在苏联读者中赢得了很高的声誉。齐奥尔科夫斯基本人也越来越为苏联人民所知。

1919年,齐奥尔科夫斯基发表了关于多级火箭的论文《太空火箭列车》。他在这篇文章中指出:“所谓火箭列车,我指的是把几枚火箭纵向串联起来,有的在空气中工作,最后的几级进入行星际和恒星际空间。但只有最后一级能够到达宇宙空间,其他各级由于速度不够而返回地球。单级火箭如果要达到宇宙速度,它必须携带大量的燃料。因此,为了达到第一宇宙速度,即每秒8千米,燃料的重量至少是火箭结构重量的4倍。这将使反作用推进装置的设计高度复杂化。而火箭列车可以达到很高的宇宙速度,同时也能把燃料的携带比率限制在可以实现的范围之内。”齐奥尔科夫斯基列出了一个换算表格,显示出多级火箭各级达到的最大速度与喷气速度之比。其中,如果喷气速度为3千米每秒,那么需要7~8级的火箭才能达到足够的宇宙速度,最后一级将成为一颗人造地球卫星。

虽然齐奥尔科夫斯基的著作当时没有引起很大的重视,但已有不少人开始研究他的论文。与此同时,火箭和太空飞行的研究也已在美国和德国开始。由于戈达德和奥伯特等人的影响,一大批航天爱好者投入到火箭的研制中去。这种形势反过来影响到了苏联。1924年,苏联政府组织人力认真考察了齐奥尔科夫斯基已经发表过的论文,并且重新印行了他的1903年的论文和佩雷尔曼通俗化了的幻想小说。在莫斯科,一批学生成立了太空飞行协会。1929年,莫斯科和列宁格勒也成立了两个有关研究组织,专门研究火箭及太空飞行问题。齐奥尔科夫斯基也被邀请加入这些组织,并成为科学上的指导者。

看到他所倡导的火箭研究已经在一定程度上展开,齐奥尔科夫斯基感到由衷的欣慰。他在1930年发表了一篇论文《致宇航学家》。他说:“我远未能研究和解决问题的各个方面,也不能企图完全解决把太空飞行思想的可能性变成现实的问题。”他因此说,“我将指出未来火箭的各种设计要求。通常这些要求被设计者忽视了(法利尔因此献出了生命)。”接着,他着重谈了火箭研制中必须注意的安全性问题,特别是关于火箭发动机方面。这些问题涉及到火箭

研制中至关重要的推进剂、推进剂输送、燃烧室冷却、材料以及制造等各个方面问题,对火箭发展具有很大的指导意义。

齐奥尔科夫斯基还对奥伯特的工作进行了评价。他说:“奥伯特的实验是最好的示范,但在安全方面还不能完全符合要求。对于其他航天学家就更没有什么可说的了。这就是为什么现在还远没有取得令人满意的结果的原因。对于伟大的科学来说,这是不幸的。但尽管如此,他们仍然是遵循着科学的道路前进,任何人都不应当失望。”

在生命的最后时间里,齐奥尔科夫斯基仍然在不停在工作着。他晚年写作并在去世后发表了一篇关于太空飞行展望的文章《太空火箭工作:1903-1927年》(1936年发表)。在这篇文章中,齐奥尔科夫斯基系统总结了他在火箭和航天学研究过程中所做的工作和取得的成就。然后,他对航天的未来可能发展阶段做了划分。这些阶段包括:火箭汽车、火箭飞机、人造卫星、载人飞船、空间工厂、空间基地、太阳能的充分利用、外太空旅行、行星基地以及恒星际飞行等。

齐奥尔科夫斯基为航天事业的发展贡献了毕生精力。他建立了液体火箭运动理论和太空飞行基本理论,为航天学的建立做出了巨大贡献。他是位多产的科学家,一生发表了580篇科学论文和科学幻想作品。这些著作是他在科学领域辛勤耕耘的见证,也是航天史的宝贵遗产。

随着世界范围内火箭和太空飞行研究热潮的兴起,齐奥尔科夫斯基的名望在迅速增长。1932年在齐奥尔科夫斯基75周岁生日时,苏联的各大报纸和杂志都刊登了有关他的事迹和科学成就的长篇文章,斯大林也向他发去了生日贺电,一时间这位老人成了苏联杰出的英雄。他在新的时代里感到充满了希望。他在给斯大林的信中表达了他的兴奋之情:“我在航空、火箭和太空飞行方面的一切工作都是为了布尔什维克和苏维埃政府——人类文化发展的卓越领袖。我充分相信在他们的领导下,一定能够成功地完成这些伟大的事业。”

1911年8月12日,齐奥尔科夫斯基在给航空评论杂志的编辑伏罗比耶夫的信中,写下了这样一段名言:“地球是人类的摇篮,但人类不可能永远被束缚在摇篮里。它首先小心地探索大气层的边缘,然后将把控制和干预能力扩展到整个太阳系。”可以告慰这位伟大的先驱者的是,他所构想的太空飞行包括载人太空飞行目标,都首先在他的故乡苏联——俄罗斯实现。今天,齐奥尔科夫斯基这位伟大的航天先驱者的大部分预言已经变成了现实。

第2节 法国的埃斯诺·贝尔特利

埃斯诺·贝尔特利(R. E. Peltaire, 1881—1957)1881年11月8日出生于法国巴黎。他的父亲是一位纺织机械制造商。由于受到父亲的影响,他在孩提时代就对机械问题发生了浓厚的兴趣。13岁的时候,父亲送给他一个玩具火车。为此,他自己设计并组装了一个完整的电路装置。这个小小的电路包括干电池、电灯、开关,用作他的玩具火车的信号装置。1898年在他只有17岁的时候,他布置了一个物理化学实验室,研究无线电报。这时,他已表现出了富有

创造性的发明才能。在实验过程中,除了使用购买或仿制的元件外,他自己发明了许多简单的实验元件。1902年,埃斯诺·贝尔特利获得了他的第一项发明专利:一种敏感性很高的电子延时器。他还研究过冶金、电子、磁学、液压、热力学等,获得了200多项专利,在科学技术领域中取得了非凡的成就。

大约在1907年,埃斯诺·贝尔特利即开始进行航天学理论研究。为了广泛传播航天学思想,他于1912年2月和11月分别在俄国的彼得堡和法国巴黎物理学会发表演讲,宣传他的航天学理论。他在巴黎物理学会上的演讲后来发表于法国《物理学杂志》上,选了一个令人费解又似乎同内容毫不相干的题目:“关于无限减轻发动机重量的可能性的结果的思考”。

他在这篇论文中开门见山地指出:“无数的权威人士认为,人从一个行星到另一个行星的旅行完全是一种幻想。他们没有经过认真思考和研究就认为这种幻想是不可能实现的,因此几乎没有人试图研究实现这种幻想的物理学条件。”他进一步指出:“星际间没有空气,因此飞机不能在星际空间飞行。但现有的科学知识告诉我们,有一种发动机不需要空气支持它的飞行……这种发动机就是火箭”。

“常有人认为,火箭是通过喷气作用于空气使之产生反作用而产生推力的。这种思想的前半段是正确的,而后半段是错误的。火箭在真空中能够像在空气中一样正常工作,甚至工作得更好。考虑一个简单的例子,把机枪装在汽车上,每开一枪,汽车和机枪组成的系统都要向后移动。按着已经建立起来的力学原理,子弹的动量和汽车、机枪的动量大小相等,方向相反。火箭也是基于动量守恒原理,其中喷射气体类似于弹头,但它是连续的。”

这段表述定性地描述了火箭的工作和飞行原理。然后,埃斯诺·贝尔特利又基于动量守恒定律和能量守恒定律推导出了火箭在真空中运动的方程式,求出火箭的逃逸速度:每秒11.28千米。在这些工作的基础上,他又研究了月球火箭,并把火箭从地面发射到在月球上着陆分成三个阶段:加速、惯性飞行、减速。他分别计算了每个飞行阶段需要的时间。第一阶段为24分9秒,第二阶段为48小时30分,第三阶段为3分46秒。同时还计算了发动机及燃料的重量、发动机效率和功率。他没有指明这种火箭采用什么燃料,但在文章中他讨论了氢氧燃料和镭的能量。这也许是第一次阐述利用核能实现太空飞行推进的思想。

在研究和计算了月球火箭之后,埃斯诺·贝尔特利又研究了火星和金星火箭,计算了火箭的飞行速度和飞行时间。他最后说:“我们现在考虑的火箭飞行速度是十分惊人的。但据我们所知,至少有一个天体能够达到这样的速度,这就是哈雷彗星……如果设想一枚1000千克的火箭装有400千克镭,我们可以看到,这些镭足以使火箭到达金星并且返回。这种高能的奇特工具足以实现载人去最近的行星旅行。”

这篇演讲当时引起了很大震动,但大部分人的反应是怀疑和否定。然而,这却是一篇基于科学理论做出的严密的科学预言,几乎不带有任何幻想的成分。它同俄国的齐奥尔科夫斯基1903年发表的那篇论文具有同等重要的意义。他们的这些论文被看作是航天学诞生的标志。

第一次世界大战后,埃斯诺·贝尔特利继续研究火箭的逃逸速度和火箭重量比的问题,同时还进行实验和航天学的宣传工作。由于他的航空工程成就已使其具有很高的知名度,他在

航天学宣传方面的工作也产生了广泛的影响。他是法国航天学会的创始人之一。1927年6月8日,他在法国航天学会上作了题为“星际飞行的可能性”的报告,再一次引起强烈反响。他在报告中首先评价了美国的戈达德、德国的奥伯特、霍曼和法利尔的研究和试验工作,然后详细讨论了火箭的运动理论、外层空间的环境条件、火箭的发射条件、火箭的过载、宇宙飞船的设计、运载生物和人的条件以及太空飞行的重要意义等问题。他还讨论了火箭发动机的各种燃料的性能,其中对原子能发动机作了乐观的展望。

1930年,埃斯诺·贝尔特利把他过去20多年的研究成果进行了全面系统的总结,出版了《航天学》一书。这部著作论述了火箭发动机、宇宙飞船以及太空飞行的各个方面的问题。除上面提到的外,他还研究了火箭发动机的气体动力学和气动热力学问题、宇宙飞船的飞行轨迹和轨道转换,该书内容涉及到天体力学、天体物理学、物理化学、弹道学和生物物理学。他还把相对论原理首次运用到火箭运动的理论研究中去。《航天学》涉及面广、内容丰富、论述透彻、结论明确,被誉为航天学的百科全书。

埃斯诺·贝尔特利宣传和鼓励航天学研究不遗余力。他进行了大量演讲,发表了许多论文。他到过苏联,也到过美国进行演讲活动。更为重要的是,在1928年2月1日,他还同法国银行家安德列·路易·赫尔共同创设了航天学 REP-Hirsch 奖,以鼓励那些对航天学理论和实践做出巨大贡献的人。第一届 REP-Hirsch 奖授给了德国航天先驱者奥伯特。这笔奖金对他出版《通向宇宙之路》提供了很大帮助。可以说在使航天学普及和为人们所理解和接受方面,埃斯诺·贝尔特利的贡献超过了齐奥尔科夫斯基和戈达德。

20年代初,埃斯诺·贝尔特利同两位助手计算了利用火箭发射几吨重炸药到几百千米甚至几千千米处的可能性。得出的结论是:未来的大型火箭可能发展成大规模杀伤性武器,许多火箭齐发,能够在数小时之内向远在几百千米远的敌人领土发射上千吨炮弹。不久,德国火箭研究工作开始活跃起来,并且引起军方的重视。这就使埃斯诺·贝尔特利意识到问题的紧迫性。1928年5月20日,他起草了一份关于火箭武器的秘密报告,递交给他的朋友费里耶将军。费里耶将军又把它转交给上司。这份报告指出,以现在的技术水平,完全可能制造成功喷气速度在2.6千米每秒、射程在2260千米以上的火箭武器。他还特别分析了射程为600千米的火箭,研究了重量比,采用汽油和四氧化二氮作为推进剂和戈达德实验的高能火药推进剂问题。报告的最后,埃斯诺·贝尔特利还以经济学的观点比较了火箭武器和航空炸弹的优劣。他认为,远程火箭武器将成为未来的特种大炮。但是,他的报告未引起上层人士的重视。

在极其困难的情况下,他开展了一些火箭发动机的设计和实验工作,主要内容包括推进剂的注入方式、喷注器、推进剂混合比调整节、点火试验、推进剂贮箱设计、喷管设计等。他设计的发动机在试车时,最初产生了0.98千牛的推力。到1936年,达到了2.94千牛的推力、60秒的工作时间、喷气速度约2400米每秒。按照他本人的估计,这意味着发动机可以把100千克重的火箭发射到100千米的高度。

埃斯诺·贝尔特利虽然没有实际研制出火箭,但他的火箭设计思想却是相当先进的。这一时期,他的理论研究工作仍在继续。1934年,经过补充修订,他又出版了《航天学》第二版。

在本书中,他阐述了航天器利用高转动惯量陀螺实现三轴稳定的方法。在讨论宇宙飞船再入大气层时,他建议采用两个步骤:稠密大气层外利用火箭发动机制动,稠密大气层内利用降落伞减速。他对火箭运动理论、燃烧气体膨胀、燃烧热力学进行了更为详尽的研究。由于这些成就,埃斯诺·贝尔特利获得了法国民用工程师协会大奖。1936年,他终于如愿以偿,成为法国科学院院士。这说明,他在航空航天领域中辛勤开拓和所取得的成就已经得到了科学界的承认。

埃斯诺·贝尔特利的晚年生活过得相当凄惨。不知为什么,他同税务部门发生了许多不愉快的争执,最后搞得连家具都被扣留了。不过,可以告慰这位杰出的航空先驱者和航天学奠基人,他生前看到了他的许多航天学思想和理论得到应用和实现。他还有幸看到世界第一颗人造卫星发射成功。1957年12月6日,埃斯诺·贝尔特利在法国去世,享年76岁。那一天,在大西洋彼岸的美国卡那维拉尔角,美国在发射其第一颗人造卫星时发生了震动世界的大爆炸。这也许是上帝有意为埃斯诺·贝尔特利安排的一次隆重的葬礼。

第3节 美国的罗伯特·戈达德

液体火箭是齐奥尔科夫斯基、埃斯诺·贝尔特利等火箭与航天先驱者所极力倡导的。但由于条件所限,他们没有完成液体火箭的研制,而只能进行一些理论研究工作。20年代初,另一位航天先驱者、美国的罗伯特·H·戈达德(R. H. Goddard, 1882—1945)终于研制成功了液体火箭。由于他的非凡工作和影响,很快在世界范围内掀起了液体火箭研究热潮。十几年后,液体火箭便达到了实用化。

戈达德1882年10月5日出生于美国马萨诸塞州的伍斯特城的一个新英格兰后裔家庭。戈达德的父亲厄内姆·戈达德思想开明。他们家很早就安装了电灯,并买来当时还算是奢侈品的留声机。这两件东西几乎使年幼的戈达德完全着了迷。

戈达德在16岁以前都是在波士顿度过的。少年时代的戈达德体弱多病,常常不能上学。但他毫不在乎,坚持不懈的自学。由于受到电学的强烈吸引,有一次他拆开了一个干电池,取下电极把它连在自己的双脚上,试图用身体储存电能。他曾回忆说:“我能记起的最早科学实验可以追溯到我只四五岁的时候,当时我们住在马萨诸塞州的罗克斯布里。我以前曾听说有人赤脚沿地毯摩擦产生了电火花,我也看到过利用勒克朗谢电池能产生电。于是有一天,我从电池上取下锌皮,缚的脚上沿沙石路来回摩擦。然后,我站在一个低矮的篱笆上并跳开。我就这样不断地试着,摩擦更长的距离,努力使自己相信会跳得更高。我母亲看到我在作这项研究后便警告说,你要小心,实验可能会真的成功,可是你也会永远飞去,不再回来了。在母亲的这次警告之后,我藏起了锌棒,再也没有重复作这个试验。”

戈达德的脑子里经常会冒出一些奇思异想。有一次,他带领几个小朋友试图花一星期时间挖一条通向中国的隧道。还有一次,他设计并准备制造一架永动机。戈达德一直对飞行十

分向往。曾有一段时间,他计划制造一只能永久留在空中的铝制气球,但最后没有取得成功。

对未知世界的强烈好奇心使戈达德在学习上刻苦努力。由于喜欢追求新奇的东西,他一直热衷于阅读美妙的科幻小说。凡尔纳的《从地球到月球》以及威尔斯的《星际战争》使他在少年时期就对太空飞行无限渴望。美国作家加莱特·舍维斯所写的《爱迪生征服火星》也引起他的极大好奇。这些科幻小说为戈达德的奋斗指明了方向。他回忆说,“正是威尔斯美妙的心理学手法把故事讲述得生动异常。完成这样的壮举的可能方式和意义成了我始终都在思考的主题。”正是由于这个原因,他对威尔斯一直非常崇拜和感激。1932年4月20日,他曾写信给威尔斯,讲述了《星际战争》对他的事业产生的巨大影响并表达了他对这位著名作家的感谢之情。他最后说:“我不知道我还能为此项事业工作多少年,但我希望一直到生命结束。不可能有已经完成的思想。对于‘飞往恒星’来说……这是一个需要几代人才能解决的问题。因此,无论一个人自己能够作多少贡献,他总有一种刚刚开始时的兴奋。”

在高中学习期间,戈达德一直在思考太空飞行的实现方法问题,并且笔录了大量随时出现在脑海里的新思想。在有吸引力的学校学习,加上有热情、优秀的教师,那是很令人高兴的。大约在1901年12月,也就是他进这所学校的第一年,他写了一篇关于太空飞行的短文,送交给《大众科学月刊》杂志。文章谈到把几门大炮按蜂巢状安装在一起,然后讲述了发射的思想是如何提出的,还引证了太空中流星体的频率数据,但是这篇文章没有被发表。

1904年戈达德进入伍斯特综合技术学院。他把志向定在自己喜爱的物理学上。他的丰富想像力和好奇心在学校里是很著名的。他曾在一篇作文《1950年的旅行》中描述了一种管形真空隧道,电磁力能够使机车悬浮在隧道中。这样机车就会在几乎没有阻力的情况下运行。他估计在这条建在波士顿与纽约间的隧道中运行的机车,可以达到1930千米每小时的高速度,从而使波士顿到纽约的旅行时间只需10分钟,而不是通常的8小时。40年代后期,美国通用电气公司的欧文·兰米尔曾认真研究了戈达德的这一设想。结果表明,如果建成这样的隧道,机车运行速度可以达到8050千米每小时,证实了戈达德的思想。因此,1950年美国有关方面把这一概念的专利追授给了戈达德。

但太空飞行之梦是不可能消失的。此后不久,他又开始构思各种太空飞行的可能方案,并将这些想法记录下来。这些思想非常多样化。到1909年12月28日,他共写下了26种飞行方法的摘要,还有进入太空的意义、携带仪器的意义、从地球上发射的意义等。这些设想涉及到火箭及航天的各个方面,有许多是航天新思想的首次阐述。下面是戈达德的一些原始记录摘要:

利用在大气层中缓慢的推进,举起一磅(0.45千克)的重量到达极大高度所需炸药的最大重量(1908年4月4日);多级火箭(1909年1月24日);利用液氢和液氧、四氧化二氮和甲烷作为火箭的推进剂(1908年6月9日);液体燃料在高压下燃烧产生连续推进(1908年6月11日);氢氧火箭的一般理论(1910年8月10日);离子流的反作用产生火箭推进(1906年9月6日);应用与静电斥力有关的太阳能(1907年7月);利用液氢和液氧冷却喷管(1909年4月6日);利用气球以极大的初始高度举起一个爆炸推进装置(1907年6月);把照相机送往远距离

行星并返回地球(1908年6月19日),并在它运行路径的预定点上靠引力进行导引(1908年6月24日);用光敏电池实现自动操纵(1908年10月15日);在新月时把炸药送到月球表面上,使之发出某种特殊的彩色光线(1908年12月26日);在着陆前绕行星旋转实现减速(1908年6月24日);在火箭上使用翼面(1909年4月6日);在月球上生产氢和氧(1910年2月10日);从一个行星上自动发射信号(1908年8月18日);减轻操纵者失重效应的意义(1910年11月27日)。

在伍斯特综合技术学院学习后期,戈达德已开始研究火箭,但只限于火药火箭,所做的工作是测量火箭的推力和飞行速度。1908年,他毕业并获科学学士学位,留在学校任仪表员。不久,他又进入克拉克大学攻读硕士学位,导师是韦伯斯特教授——亥姆霍兹的得意门生。韦伯斯特是一位思想开明的学者,鼓励戈达德发展个人的爱好。戈达德除了论文研究外,又开始思考火箭问题。这时他已经认识到火药火箭的固有缺陷。1909年2月2日,他在日记中写到:“只有用液体燃料才能提供星际航行所需要的能量。”这是他最早的液体火箭思想。

1910年,戈达德以“衍射理论”论文获得硕士学位。第二年,他又获得了博士学位。他当时的笔记本写下了大量研究心得、数学计算和公式推导,形成了火箭运动理论的初步框架。1913年他通过计算发现,如果使用能量效率为50%的硝化纤维燃料火箭,则用91千克的初始重量就可以使0.45千克的载荷达到逃逸速度。

由于长年的劳累,戈达德不幸患了严重的肺结核病。但他对疾病满不在乎,药品就放在实验室,病一发作便服上一剂。医生的忠告对他无济于事。正如他在给友人的信中所说的那样:“生命是如此短暂,而世上又有那么多事情需要我们去完成,这是令人着急的事。我们应当冒点风险,去做那些我们力所能及的工作。”

1913年5月疾病康复后,戈达德开始为两个关于火箭推进的专利写材料。第一个是第1102653号专利,1914年7月7日获得;另一个是第1103503号专利,1914年7月14日获得。这两项专利内容涉及到什么是最接近于“戈达德火箭”这一问题的答案。这些设想曾经在小模型试验上获得满意结果。其中包括燃烧室设计的重大改进,对燃烧物或爆炸材料连续送入燃烧室的方法也进行了重大改进,而且都证明能产生相当满意的结果。这两项专利涉及三个基本原理,即:

- 一、燃烧室和喷管的应用;
- 二、固体或液体推进剂输入燃烧室的方法,能够产生持续的或不连续的推力;
- 三、多级火箭的使用,每一级当推进剂燃烧完后,即自行脱落。

1914年戈达德返回克拉克大学。他决定基于理论计算进行火箭研究。物理系对他的研究给予了很大鼓励,但拿不出钱来支持他的计划。戈达德只好从自己的工资里省钱购买实验用的材料。他的第一步工作是重新研究和试验火药火箭。他通过船用信号火箭的试验发现,火药火箭的燃烧效率只有大约2%,燃烧速度也只有约300米每秒。他进而发现,火箭的热效率同火箭的燃烧室和喷管的形状关系极大。于是他动手进行不同形状、大小和结构的燃烧室和喷管试验。由于火药火箭在工作过程中,其燃烧室和喷管是不断变化的,因而实验的可控性

很差。于时他又设计了专门的钢结构实验件,继而又用无烟火药代替黑色火药,终于获得了一种高效率的无烟火药燃烧室和喷管的设计专利,其效率达到60%,燃烧速度超过1 800米每秒。

1915年,戈达德在克拉克大学升任副教授,工资有所增加,但这些钱用于科学实验仍显得微不足道。于是他向基金会求助。他把他的专利和准备进一步研究的计划写成报告,送交各基金会。但不久他的申请报告就被一个个基金会退回了。最后在报告递交给在华盛顿的史密森研究院时,收到院长瓦尔考特的一封回信,询问戈达德需要多少钱。戈达德提了一个保守的数字5 000美元,瓦尔考特很快寄来第一笔1 000美元。

戈达德把过去的结果进行了检查和分析,对许多问题进行了澄清。他考虑到了火箭在发射过程中的变重量问题、火箭的重量比问题,通过推导计算出火箭达到期望高度所需的初始质量,估计每一种情况下火箭携带0.453 6千克载荷时的发射重量。进而他又计算出了火箭的逃逸速度为11千米每秒,指出只有液体多级火箭才能达到这个目的。然后,戈达德又进一步研究和实验了火箭的燃烧室,弄清了火药火箭不仅效率低,喷气速度小,而且推力极不稳定。这样到1917年,戈达德已有充分的论据证明,液体火箭才是宇宙飞行的理想运载工具。

美国宣布参加第一次世界大战后,在史密森研究院的强烈要求之下,美国政府委托戈达德研制火箭武器。戈达德在几个助手的帮助下,在加州的帕萨迪那威尔逊天文台一个车间里进行秘密试制。他们设计了两种火箭,一是发射距离较远,类似炮弹作用的火箭武器;另一种是短距离用发射管发射的反坦克火箭弹。1918年11月,戈达德和助手在马里兰州的一个试验场为美国陆军进行了反坦克火箭弹的发射试验,表现出良好的性能。但他研究的火箭还没有批量生产,战争就已经结束了。戈达德又回到了克拉克大学继续从事研究。

在其后的6个月中,戈达德将过去的全部研究工作和取得的成果进行了系统总结,最后完成了一篇报告,题为《到达极大高度的方法》,递交给史密森研究院。1919年底,该院将其作为研究院论文发表,它共69页,编号71卷第2号。论文共分4章:“简化运动方程至最简单形式”;“常规火箭的效率”;“把一磅载荷送到大气层各个高度所需最小重量的计算”;“把一磅载荷发射到无限高度所需的最小火箭重量”。戈达德在论文中建立了火箭运动的基本理论,指出火箭必须达到8千米每秒才能克服地球的引力。他讨论了固体火箭问题,利用固体火箭进行高空科学研究的问题。他通过计算列表给出了火箭到达各个高度时所要求的最小初始重量。最后,他又通过计算得出要发射一磅有效载荷(科学仪器)到达月球情况下,火箭所需的最小重量,以及验证火箭到达月球的方法。他指出:“即使有可能在某一个方向上把一块质量送入月球,但要证明这一点是一件很困难的事情。惟一可靠的方法应当是把某种发光物质在新月期间送到月球的表面,并采取某种方式使弹着点发光,它可以通过地球上的大功率望远镜看到。”他计算出了用一英尺望远镜能够“刚刚看到”和“明显看到”所需发光粉的质量。

在这篇论文的最后,戈达德指出:“把发光粉送到月球表面的计划,尽管是一件非常有趣的事情,但不一定有明显的科学意义。可是,在我们讨论的一般问题上已经取得了某些进展,包括许多这里还未提及的重要之点,它们必将引起科学上的兴趣。这方面的发展肯定有许多

实际上的困难,但并不是建立在虚无之上。”

戈达德的论文在美国引起了很大反响,其中有客观的报道,有基于科学知识的疑问,更有尖刻的嘲笑。《纽约时报》在1920年1月13日的一篇评论中说:“这位戈达德在克拉克大学获得了教授职位并得到了史密森研究院的资助,可他竟不知道作用与反作用原理,也不知道产生作用力必须有反作用对象而不是虚无的真空。说这些似乎有点可笑,然而他也许正是缺少这种在中学就已教授的知识。……儒勒·凡尔纳曾有过一二个符合科学的断言,但除此之外,他在深思熟虑的情况下似乎也犯了戈达德所犯的同样错误。这位法国人可以得到原谅的是他是一个幻想小说家,但要是有一个不是写冒险小说的科学家犯这种错误时,就令人难以理解了。”戈达德对那些无理的嘲笑采取克制态度,而对那些科学上的质疑则尽量予以答复。他耐心地回答了每一个技术性问题,包括火箭是否能在真空中飞行这样的老问题。

此后,戈达德把精力集中在液火箭的研究上。他研究了液体燃料和液体氧化剂的贮存和输送方法,研究了各种可能的燃料包括丙烷、乙醚和汽油,最后选择了汽油。1921年12月,戈达德完成了第一台液体火箭发动机的研制。第二年,他利用这台发动机在马萨诸塞州的沃德农场进行了大量静态试验,但结果并不是很满意。经过改进设计后,虽然有所提高,但燃料输送效果仍不理想。这几年发生的一些事影响了他的工作。1925年,他又试制出了第三台发动机。

1926年春,这台发动机连同火箭都已准备就绪。火箭总长约3米,顶部是0.6米长的发动机,它连接了两个串向推进剂储箱,用两个长约1.5米的细管将液氧和汽油传送到燃烧室中,输送方式是高压氮气挤压法。3月26日,戈达德和妻子以及两个助手在沃德农场进行了世界上第一枚液体火箭的发射试验,取得了很大成功。戈达德在报告中描述了火箭试验的情况:“火箭试验在下午2:30进行。经过2.5秒后,上升高度达12米,飞行距离达56米。”虽然这枚火箭并不理想,但它开创了人类航天的新纪元,打开了液体火箭技术的大门。

这次试验成功后,戈达德又对火箭结构进行了改进,把发动机放置在火箭的尾部,采取了保持火箭稳定飞行措施。同时,他对发动机的燃烧室进一步改进使之能提供最大的燃烧效率。1929年7月29日,戈达德的3.36米长的新火箭进行了试验。它的头部装有气压计、温度计和照相机。照相机对准两个仪表,当达到最大高度时,降落伞的弹射开关同时打开相机快门,这样便可记录到火箭在最大高度时大气的温度和压力值。这次试验火箭的飞行高度为32米,水平方向飞行了53米。降落伞装置保证了仪表在落地时没有损坏。

这期间戈达德研究和试验的经费主要来自史密森研究院的资助。随着试验规模的扩大,经费显得不足了。恰在这个时候,曾在1927年驾机单人飞越大西洋的林白于1929年秋对戈达德的工作和液体火箭发生了兴趣。11月,林白专程访问了戈达德。戈达德的工作给他留下了深刻印象,他深信火箭是人类实现太空飞行的惟一运输工具。林白当时是一位声名极高的美国英雄,他的话有相当的说服力。当他说服丹尼尔·古根汉姆给戈达德的研究资助时,这位向来热情支持航空事业的慈善家给克拉克大学拨去十万美元供戈达德使用。这样戈达德不再为钱的问题忧心。为使他能够集中精力工作,克拉克大学特别批准戈达德两年的研究休假。

戈达德新一阶段的工作主要是研究火箭的可靠性,其次是探索火箭的飞行控制方法。几个月后,他研制了一枚长3米左右,重只有16千克的火箭。它的发动机可产生1.333 7千牛的推力,工作时间20秒。1930年12月30日,这枚火箭在发射试验时,飞行了600多米高,最大速度达到800千米每小时。这是一个相当的了不起的成就。

戈达德采用的火箭控制方式是在发动机喷管中加装燃气舵。当它发生偏转时,可控制喷气的方向和推力矢量,达到操纵火箭飞行姿态的目的。为了控制这个燃气舵,他采用小型陀螺敏感火箭姿态的变化,然后由操纵机构控制燃气舵的偏转。这是一种保持火箭稳定的自动控制系统。1932年4月19日,第一枚具有这种陀螺稳定系统的火箭进行了试验。结果发现燃气舵的作用不够明显,因而需要进一步改进。这时美国经济处于大萧条时期,而且古根汉姆也去逝了,研究资金又没有了着落。当年7月20日,戈达德回到了克拉克大学,进行物理学教学工作并在史密森研究院的有限资助下,做一些小规模火箭研究。

从1935年开始,戈达德又通过反复设计和试验,认真考察了火箭发动机的燃烧室和喷管、燃料输送系统、降落伞回收系统,尤其对燃烧室的冷却作了大量研究,并进行了K、L、P等系列的静态和发射试验。其中有的火箭达到了2 700米的飞行高度。下面是戈达德在液体火箭研制领域取得的里程碑式的成就:

- 1925年12月6日,火箭发动机成功地点火工作了24秒;
- 1926年3月26日,第一枚液体火箭发射试验成功;
- 1926年4月3日,第二枚液体火箭发射试验成功,飞行高度16米;
- 1929年7月17日,第四枚液体火箭试验成功,飞行了53米;
- 1930年12月30日,第五枚液体火箭试验成功,飞行高度600米;
- 1932年4月19日,首次采用陀螺控制燃气舵的火箭飞行试验成功;
- 1935年3月8日,首次安装降落伞的火箭试验成功并首次超过了声速;
- 1935年3月28日,液体火箭飞行高度达到1 450米;
- 1935年5月31日,首次在火箭上安装了高度计,飞行高度达2 330米;
- 1935年12月17日,液体火箭发动机在工作时推力达到2.09千牛;
- 1941年1月6日,新的发动机的推力达到了4.38千牛。

戈达德在液体火箭的理论和试验方面取得了巨大的成就。但从另一方面讲,戈达德从1926年发射成功第一枚液体火箭,到1941年已整整15年。这么长的时间的辛勤努力换来的成就并不令人满意,而且从资金方面看,他要比德国甚至美国喷气推进实验室宽裕得多。固然液体火箭作为全新的技术学科是影响他取得更大的成就的原因之一,但更重要的是他的研究方法出现了很大偏差。他本人对自己工作过于保密,不肯向外界透露工作的任何细节和遇到的困难。他似乎抱定这样一个想法:他在液体火箭研制上是走在最前列的,他遇到的问题别人更无法解决,而其他对他的研究感兴趣的人无非是想从他那里捞到好处。这种与世隔绝的态度使得他对于一些可能并不很难的问题走了大量的弯路。

冯·卡门曾对戈达德的工作给予了尖刻的,同时也比较实事求是的评述。他说:“保密有

保密的坏处,它往往使科学家不知不觉地犯方向性的错误。比如,我听说戈达德花了三四年时间为他的探空火箭搞回转仪。其实,这纯粹是白浪费时间。因为高空火箭在飞行中根本就不需要回转仪这样复杂的仪器来保持稳定。……我相信,戈达德晚年一定很生气,因为他在火箭方面毫无成就,而通用航空喷气公司和其他一些部门都使火箭日渐成为一门工业。戈达德之所以和现代火箭技术无直接关系,正因为他自己走进了一条死胡同。戈达德是个有发明天赋的人,并且具备良好的科学基础,然而他却不是一个科学创造者,而且为人又过分谨慎。要是他相信别人,我认为,他早就把实用高空火箭搞成功了,这样的话,他的成就就要大得多。可惜,他既不听别的专家的意见,又不肯吐露自己取得的成就,结果使自己原地踏步,停滞不前。”

1941年珍珠港事件后,美国宣布参战。在战时的几年中,美国政府曾努力发展火箭武器,戈达德也一度参与工作,但毕竟时间太短,他的研究未能在战争中得到应用。1945年8月10日,在日本投降前4天,戈达德因喉疾离开了人世。航天史上的一颗巨星陨落了。他的一生献给了他所谓谓的“最迷人的应用物理学”——火箭和航天事业。

戈达德获得了极高的荣誉。许多大学授与他名誉博士或教授称号。克拉克大学建立了戈达德纪念馆。他留下的大量火箭装置和零部件,珍贵的实验记录成为航天史的宝贵遗产。今天,航天事业已取得了巨大的成就。在短短的几十年内,人类在航天领域里已经实现了戈达德在20世纪初提出的设想。正如他1914年在一次演讲中所说的那样:“很难说什么是不可能的,因为过去的梦想即是今天的希望,明天的现实。”

第4节 德国的赫尔曼·奥伯特

奥伯特是德国后裔,1894年6月25日出生于阿尔卑斯山北部矿区的一个小城希比乌。他和其他航天先驱者一样,很小的时候就对火箭和太空飞行发生了浓厚的兴趣。他的这方面兴趣主要来自凡尔纳科幻小说的影响。他在一篇自传中回忆说:“在我11岁的时候,母亲送给我一份礼物,儒勒·凡尔纳所写的著名的《从地球到月球》和《环绕月球》。这两本书我至少读了五六遍,到最后我几乎都能背诵下来。”从那时起,太空飞行成了他思考最多的问题。据他本人所说:“尽管我对这些故事怀有浓厚的兴趣,但我在12岁时就已经认识到:像凡尔纳描述的那种利用大炮把载有乘客的炮弹发射出去进行太空飞行的方式,是不可能实现的。即使有可能在技术上制造成功这样的大炮,在巨大的加速度下,炮弹内的旅行者无疑会粉身碎骨。”

在中学期间,奥伯特就开始根据所学的数学知识进行推算,看看飞出地球需要多大的速度。当时他已经得出了逃逸速度近似为11千米每秒。由于认识到大炮不能胜任太空飞行的任务,他挖空心思考虑其他的办法。正像许多科幻小说中描述的那样,他想到了离心力,又想到了磁力,但很快就认识到这些方案都是不可行的。他说:“由于认识到大炮无法应用,我开始思考其他的解决方法或运输工具,以达到11千米每秒的速度,把飞船推出地球引力之外。”

中学毕业后,身为医生的父亲希望子承父业,因此于1913年送奥伯特到慕尼黑大学学习医学。但奥伯特的兴趣不在医学上面。幸好该校允许学生在主科之外选修两门其他课程,他便选择了数学和天文学。他在刻苦学习的同时,常常思考太空飞行的可能性等使他着迷的问题。他回忆说:“从一开始,我的心中就始终装着儒勒·凡尔纳设计的用来降低登月时吸引力和用以制动改变太空飞行方向的火箭。我逐渐认识到,反作用推进提供了惟一一种实现太空飞行的方式,而且,巨大的火箭将在未来用于宇宙飞船,尽管这种火箭看起来已与我们的想像相去甚远了,这种状况就如我设计的电动宇宙飞船一样。”

第一次世界大战爆发后,奥伯特被征入奥匈帝国部队服兵役,编入医务兵种而被送到前线的一个医院。这里虽然是前线,但不是交战激烈的地方,因此比较安宁平静,好像不是在战场。这里的医生们整天无事可做,部队也因此对他们没有很强的纪律要求。这为奥伯特提供了一个研究自己感兴趣的问题的好机会。于是,他开始对太空飞行理论进行数学推导。开始的工作是很困难的。许多知识特别是物理学对他来说还很陌生,数学推导工作难以进行下去。他只好做一些最基本的事:从头思索已经掌握了的知识,并从中做出可能的推论,然后进一步思考太空飞行需要解决哪些基本问题,并由此做出自己今后应当学习的课程计划,以待将来有机会学习补充这些必要的知识。不过在这期间,他也构想并且设计出了一种远程战争火箭,并于1917年把设计报告送交德国战争部。这个火箭武器采用液态空气和酒精作为推进剂,利用陀螺连同伺服机构操纵舵面的方法控制火箭飞行。

过了很长时间,奥伯特终于收到一封官方来信。信中简单地否定了奥伯特的火箭设计:“根据经验可知,火箭根本不可能飞到5千米以上的高空,也不会看到今后会有什么重大改进。另外,火箭的精度也很有限。”这些话简直是在重复过去的老调,说明他们根本没有弄懂奥伯特的设计思想,或者根本没有读完全部报告。处于无奈,他只好继续从事一些基础性的研究。作为一名医学生,他对一些与航天医学有关的问题作过思考,其中之一是失重对人的生理和心理的影响。为此,他故意使自己在游泳时溺水,或注射麻醉剂来体会失重感。通过这些“实验”,奥伯特认为,短时间的失重对人并没有不良影响。

战后,奥伯特于1919年回到慕尼黑大学,后来又转入汉堡大学。几年中他如饥似渴地学习有关数学、物理学和天文学课程。经过几年的努力,到1922年他的航天学和火箭运动理论已基本成熟。他充分认识到太空飞行的运载工具研制已经不是一种推测。他认为只有火箭才能在没有空气的太空中飞行。他相信人可以乘坐这种飞行器到太空中飞行并且可以保证安全。

奥伯特对他的研究成果进行了整理,写成了一篇论文。他把论文交给当时有名的科学家普朗特征求意见。普朗特看了后对他说,论文的基本推论是正确的,但为了能使人信服,还必须进一步完善。他指出了几个论文中存在的问题,劝他回去作一些修正。

奥伯特原准备用这篇论文申请海德堡大学博士学位,但遭到拒绝。对此他没有懊恼,而是报这样的想法:“不要紧,我将证明我能够成为一个伟大的科学家……尽管没有博士学位。”由于这次打击,他不再申请学位了,而是决定进行实干。他后来曾对美国听众说:“在美国,人们

经常称呼我博士。可是我必须指出,我不是博士,而且我也决不想成为一位博士。”

奥伯特说服了在慕尼黑的一家出版商,出版这篇论文,奥伯特为此支付了大部分的费用。1923年初,他的这篇理论性论文终于问世,定名为《飞往星际空间的火箭》。奥伯特在导言中开门见山地提出了以下四个论点:

- 一、以目前的科学知识水平,能够制造出一种机器,它可以飞到地球大气层以外的高度;
- 二、经过进一步改进,这种机器能够达到这样一种速度,使它不受阻碍地进入以太空间而不返回地球,甚至能够摆脱地球的引力;
- 三、这种机器可以制造成载人的形式,而不会危及他们的安全;
- 四、在一定条件下,制造这样的机器是有益处的。这样的条件可望在几十年内发展成熟。

在正文中,奥伯特分三部分讨论了上述问题。第一部分研究火箭运动的一般问题,包括火箭的运动方程、火箭的逃逸速度、火箭的速度可以达到发动机的喷气速度等等。第二部分描述了他构想的高空火箭B型,包括火箭的设计细节。他特别强调采用液体燃料作为火箭的推时剂,指出用液氧和酒精作为火箭推进剂的优点,讨论了利用火箭进行高度大气研究的可能性。这一部分还对火箭技术的未来发展进行了展望。第三部分他描述了理论上的宇宙飞船,研究了飞船飞往月球、火星和金星的问题。他对构想的反对意见进行了答复。总之,《飞往星际空间的火箭》是一部相当全面的关于火箭和太空飞行的著作。

奥伯特原希望他的著作能引起科学家的兴趣和注意,因此这本书理论性较强。他等待来自职业科学家的批评。但同他的愿望相反,学术界的反应很冷淡。在此后的一段时间里,虽然有几个科学家发表文章评论他的著作,但往往都是以挖苦和嘲笑的口吻,很少有基于科学知识和科学方法上的讨论。这使奥伯特十分伤心。令奥伯特感到意外的是,公众对这本书怀有极大的兴趣,都竞相购买,第一版很快销售一空。在读者当中,年轻人尤其喜爱奥伯特的书。但这并没有使奥伯特感到特别高兴。

一天,一个年轻的科普作家马克斯·法利尔找到奥伯特,表示可以把奥伯特的著作改写成通俗化的作品。如果这部作品能够出版,那么就会造成更大的影响,同时也能为火箭研究筹措经费。奥伯特同意了法利尔的建议。此后的一段时间,为了生计,奥伯特在一所中学教授数学。法利尔改写后的著作名为《冲入太空》。尽管他的写作方式尚嫌古板,但由于比原来通俗得多,因而更受读者欢迎。

由于得不到经费,奥伯特只好在教学的同时,对他的著作进行完善和充实。他准备把它扩充成两卷本,但只完成了前一卷,定名为《通向宇宙之路》。这部书于1929年出版。

1928年情况有了转机。德国著名导演弗利兹·朗格准备拍摄一部科幻故事片《月球女郎》。他邀请奥伯特去柏林担任这部电影的技术顾问。朗格是一位闻名于世的名导演,他导演的每一部电影在德国都会引起轰动。因此奥伯特对此非常高兴。他觉得可以通过这项工作引起投资者的兴趣,为火箭研究争取资金。当年秋天,奥伯特请假来到柏林。

奥伯特为电影拍摄设计了一个巨大的载人飞船。其头部是降落伞舱和宇航员座舱,下面装有发动机、燃料箱和12个大型锥形喷管。飞船四周有4个纵向起稳定和操纵作用的翼面。

无论看起来多么壮观,这个飞船只不过是一个供拍摄电影用的道具。奥伯特天生腼腆。他非常希望电影公司能够资助他研制真的火箭。这个心中的秘密长时间羞于出口。最后,他终于鼓起勇气向朗格说出了自己的想法,但他对需要多少钱没有任何概念。朗格很能理解他的心情。他自己也对火箭怀有浓厚的兴趣。他向 UFA 公司经理婉转地说,出钱支持奥伯特研制真正的火箭是值得的。如果在《月球女郎》首映的当天实际发射一枚火箭,这对公司的经济效益会产生积极的影响。但固执的公司经理认为,朗格的电影从来都是极有影响的,再附加一个发射火箭的场面并无必要。无奈,朗格只好建议他本人自愿出一笔钱,同时公司出同样数目的钱。这样电影公司经理才勉强同意了。

钱有了,但奥伯特却不知道从何着手。他没有丝毫技术工作经验,甚至不知道从何处购买必要的工具和材料。最后他只好通过广告雇用了两个年轻人,一个是德国前飞行员鲁道夫·内贝尔,另一个是在德国学习滑翔的苏联人亚历山大·谢列维斯基。

奥伯特和两个助手对机械问题都不太熟悉,因而火箭研制工作一开始进行得极为缓慢。他设计的火箭呈鱼雷形,长约 1.8 米。发动机呈锥形,两侧各有一个斜孔,用于推进剂注入。推进剂采用汽油和液氧。这枚火箭的燃烧室为卵形,下面是一个锥形喷管。火箭在发射到达最大高度时,可以利用降落伞回收。由于在研制过程中遇到了不少困难,电影快完成拍摄时,火箭还远未达到发射状态。电影公司尽管没有兑现许诺的款项,但却对奥伯特火箭寄予很大希望。公司公共关系部甚至已经为这枚火箭的发射写好了广告词:“我们的电影讲述的是一个未来的故事。但这个故事实际上已经开始,这一点奥伯特火箭的飞行便是最好的证明。”

为了赶在电影首映式时发射火箭,奥伯特只好简化设计。他重新设计的火箭实际上只是一个铝管,上端有一组喷管,管内装有一支木炭,周围包着一层液氧。当木炭自上而下燃烧时,可产生喷射气体使火箭向上飞行。但这一努力没有取得成功,原因是要求燃烧速度均匀一致的木炭无法得到。这个打击使奥伯特又一次极度失望。他同助手连招呼也没打便一声不响地离开了柏林回到他的家乡。

1929 年 10 月 15 日,《月球女郎》在柏林首次上演。奥伯特也被邀请参加了首映式。在场观看的人都万分兴奋和激动,只有奥伯特除外。尽管电影获得了极大的成功,但奥伯特因为火箭没有研制成功而充满了失望。

但 1929 年又是为奥伯特带来杰出声望的一年。他因《通向宇宙之路》一书而获得了首届 REP-Hirsch 国际航天学成就奖。鉴于奥伯特对航天学理论做出的巨大贡献,首次奖金数额由 5 000 法郎增为 10 000 法郎。当奥伯特听到这个消息时,他简直不敢相信。他打电话给威利·李,小心地问:“你不认为这一定是有人在跟我开玩笑吗?”

这次获奖虽然为奥伯特带来了很高的声望,但火箭研究情况并未因此而有所好转。奖金数量对试验火箭来说还嫌太少,而且还要支付过去柏林厂家为他生产零件的欠款。他的助手内贝尔建议发射一枚火药火箭以取悦于民,遭到奥伯特和德国星际航行协会成员的强烈反对。奥伯特在寻求资金时,得到帝国化学研究所的热情鼓励。该研究所表示,如果能够发射成功一枚火箭,他们将宣传鼓动有关部门提供资助。这是奥伯特得到的最好答复了。他又开始了新

的火箭设计工作。这次设计的火箭很小。在几个协会成员包括里德尔,以及刚加入协会的年轻人冯·布劳恩的帮助下,这枚小火箭终于制造成功。1930年7月30日,奥伯特小火箭在地面试验时,在90秒时间内产生了0.0686千牛的推力。这么小的推力还不足以使火箭离开地面。尽管如此,这次试验仍然是一次空前的成功。不久,奥伯特工作的中学向他发出了最后通牒,告诉他不能无限期不来学校工作,否则学校只能将其除名。无奈他只好回到那所中学继续教书。

奥伯特在那所中学平静地工作了8年。期间只进行了一点航天学的理论研究。柏林的火箭爱好者几乎已经把他给忘了。第二次世界大战爆发后,奥地利维也纳工程学院邀请他去参加火箭研究。这使他非常激动。他一到那里便发觉情况不对。维也纳工程学院在德国空军的控制之下。为他提供的全部研究力量只有一个助手,研究设备也极其简陋。这使他隐约感到,德国让他研究火箭是假,避免他为别国服务是真。

不久奥伯特又被转入德累斯顿工程学院,让他研究大型火箭的燃料泵。这所学院归德国陆军控制。让他在此工作也不是研究火箭,而是考察他对德国是否忠诚,以便最终将他送到德国秘密火箭研究基地——佩内明德。奥伯特看清了问题的真相后大为愤怒。他强烈要求回家。当时他仍是罗马尼亚公民,因此德国当局肯定不会让他离开,因为他对火箭知道得太多了。他只有两种选择:要么加入德国国籍,要么进集中营。他只能选择前一个,加入德国籍。1941年,奥伯特被派往佩内明德火箭研究基地。

当时的佩内明德,大型火箭研制已取得很大进展。奥伯特在那里未能介入到V-2导弹的研制之中。他提出的研制防空导弹设想没有被采纳。1945年盟军占领了佩内明德后,奥伯特也被俘虏。但由于他没有直接参与V-2的研制工作而被释放。战后不久他来到了意大利,准备在那里进行火箭研究。但那里的情况令他失望。后来他又回到了德国,并且在纽伦堡的一所学校教了一段时间书。这期间,他被选为德国太空研究协会名誉主席。

1953年,奥伯特又返回费厄赫特家中,一直在家中住到1955年。从1954年3月起,他终于获得承认过去是一个民用公务员而得到了养老金。1955年,在冯·布劳恩的提议下,奥伯特被邀请来到美国,加入了红石兵工厂。1958年他在美国退休。

奥伯特一生为火箭运动理论和航天学做出了巨大贡献。他不但建立了火箭和航天学的基本理论,而且他的杰出著作影响到整个欧洲,吸引了一大批年轻人投身到火箭和航天事业中来。他的著作直接引导了冯·布劳恩等人从事航天技术研究,进而为航天事业的发展做出了突出成就。1927年成立的德国星际航行协会就是他的著作的产儿,他本人还一度担任了该协会的主席。正是由于这些原因,奥伯特被誉为欧洲火箭和航天学之父。在人类航天史上,他具有和齐奥尔科夫斯基及戈达德同样重要的地位。

第5节 液体火箭的实用化发展

20 世纪 20 年代以前,齐奥尔科夫斯基等 4 位航天先驱者建立了比较完善而系统的火箭运动和太空飞行的基本理论。到了 20 年代中期,他们的理论和非凡成就已逐渐被世人所知,并且在一定程度上得到了承认。在这些先驱者的卓越思想和伟大著作的影响和激励下,欧洲和美国等许多国家都有不少热血青年自发组织起来,成立了有关火箭研究和太空飞行的研究协会或有关组织。这些行动使液体火箭得到了很大发展。可以说,从航天学理论创立到 40 年代德国液体火箭的技术高峰,二三十年代的火箭研究组织是其中极其重要的承上启下的环节。成立最早、存在时间较长、影响较大的主要有德国星际航行协会和美国火箭学会。值得指出的是,正是德国星际航行协会的工作和造就的火箭专家最终对德国战时火箭研制做出了巨大贡献。德国战时火箭研究和发展的远程火箭达到了二战结束前的世界最高水平。其他有影响的还有美国火箭学会、喷气推进实验室、苏联喷气推进研究所及英国星际航行协会等。

德国星际航行协会创始人是温克勒(J. Winkler)和法利尔(M. Valier)。该协会于 1927 年 6 月 5 日成立。参加首次会议的只有 12 人,包括容克斯飞机公司工程师温克勒、柏林大学生物系学生威利·李(W. Ley)、建筑工程师瓦尔特·霍曼(W. Hohmann)以及马克斯·法利尔等人。会议推举温克勒担任主席。会议确定协会的宗旨是:验证并应用奥伯特的理论,进行火箭与太空飞行的理论和试验研究。由于他们的最终目标是研制宇宙飞船,因此把座右铭定为“宇宙飞船万岁”。协会还决定创办一个刊物《火箭》。为了扩大影响并在公众中宣传航天思想,协会决定编辑出版一本介绍太空飞行知识的著作《太空飞行的可能性》。出版后得到热烈反响,又吸引一批年轻人加入到协会中来,其中就有当时只有 19 岁,还在柏林工业大学学习的冯·布劳恩。

温克勒从 1925 年即开始研究火箭推进问题,后来又开始设计液体火箭。他和助手设计的第一枚火箭是 HW-1 号。它的三只直立的管子分别装高压氮气、液氧和液化气;上端连接了一个燃烧室,火箭重 3.18 千克。1931 年 2 月 12 日,这枚火箭在发射时,只上升了大约 2 米便一头扎进了大海。1931 年 3 月 14 日,火箭在第二次试验时,成功地飞行到 300 米的高度。这是欧洲第一枚试验成功的液体火箭。

温克勒研制的第二枚液体火箭 HW-2 号计划达到 5 000 米高度。它的外形呈葫芦形,上下分别是两个大型推进剂贮箱,用于装液氧和甲烷,下端是一个燃烧室并连接喷管。火箭的主体高度为 2 米,于 1932 年火箭制造成功。1932 年 10 月 2 日上午,当向火箭加注推进剂时才发现,液氧和甲烷阀门因海水腐蚀遭破坏而渗漏。此时已经骑虎难下,军事观察员已经来到了试验场地,德国海军舰只已经为这次发射封锁了海面,他们只好决定冒险发射。火箭点火后,周围的可燃气体引发火箭发生爆炸,这次挫折使温克勒对火箭的热情尽失,他默默地回到容克斯飞机公司,以后再也没有从事火箭研制。

德国星际航行协会成立初期,经费来源比较困难,进行的工作也很分散。为了尽早研制发射一枚液体火箭,他们计划先从小火箭开始,第一枚“小火箭”由内贝尔设计。它与火药火箭外形非常相似,由一个圆筒和一个直杆组成,直杆起稳定和作为汽油箱双重作用,圆筒由铝制成,其内部是空心的,起液氧储箱作用。头两枚在1931年春天试验时都发生了爆炸,第三枚小火箭在点火发射时,只上升了约20米。虽然不很理想,但却极大地增强了会员们的信心。经过修复后,小火箭于1931年5月14日进行了第二次发射试验,飞行高度达60多米。

继小火箭成功之后,他们决定研制新的液体火箭,取名“推进器”,第三枚小火箭也更名为“推进器”1号。“推进器”2号的发动机是新设计的,仍采用高压氮气注入方式,安装了性能更好的燃料阀。火箭尾部装有4个稳定片,发射时不需要发射架。1931年5月23日,“推进器”2号点火起飞后不久便倾斜飞去,经过一段时间的飞行后冲向一颗大树。实际测量表明,这次试验火箭飞行了5.4千米。推进器3号在试验过程时,上升了1600多米高。

1931年8月,新设计的单杆推进器首次试验便上升了1千米高,而且降落伞正常打开,火箭安全着陆。以同样的发动机又制造了一枚更大的火箭,可以加装更多的推进剂。这枚火箭在试飞时,达到了1650米的最高飞行高度。10月17日,推进器在另一次试验时,上升了1500米高,飞行了1千米远。如果不是因为降落伞工作不正常,成绩可能会更好。这枚火箭取得了极大成功,也使其名声远扬。一家电影公司专门拍摄了火箭飞行的镜头,在德国公众中留下了深刻印象。

德国星际航行协会在活动的5年内,作了大量开拓性的努力。他们的献身精神在技术史上是少有的。爱因斯坦的女婿马利亚诺夫后来说:“印象最深的是他们的工作热情。他们大多数都是在军事部门受过训练的军官……他们生活得像隐士一样。他们没有一个人当时结了婚,没有一个人喝酒或抽烟。”在短短的5年内,德国星际航行协会共举办了23次火箭和太空飞行展览,进行了270次火箭发动机点火试验,进行了87次火箭发射试验。

美国火箭学会的发起人大多是职业作家或业余作家,这批人有一个共同的爱好就是都喜欢阅读和创作科学幻想小说。1930年4月4日,在纽约哈罗尔德论坛报记者爱德华·彭德利(E. Pendray)家中,12个人聚集在一起,发起成立了美国星际航行协会。在成立大会上,《幻想故事》杂志的编辑戴维·拉舍(D. Lasser)被选为协会的第一任主席。1930年7月,该协会正式出版了刊物《会志》。它后来改名为《航天学》,接着又改名为《美国火箭协会杂志》,最终又变成了《喷气推进》。1931年彭德利夫妇访问欧洲,带回了德国星际航行协会活跃的火箭研究和试验的消息。这使协会感到应当进行火箭研制。不久,新会员不断增多,一批有较深的科学知识素养,又有广泛工程实践经验的人加入协会,使美国星际航行协会会员的主体发生了重大变化。他们已不再是纯粹的幻想家了,而是有着数学、物理学、化学、电子、冶金和工程技术背景的专门人才。1931年夏,美国星际航行协会决定进行火箭研制工作。鉴于协会的重点发生了变化,为了突出协会当前的研究以及液体火箭的价值,决定将协会改名为“美国火箭学会”。学会成立了一个委员会,开展第一枚液体火箭的研制工作。彭德利和佩尔斯负责第一枚火箭的设计,并按照美国火箭学会的缩写命名为“ARSI”号。

“ARS1”号火箭长约 1.68 米,头部呈弹丸形,下部是发动机。支承头部发动机的是两根管子,分别充当推进剂储箱。推进剂是液氧和高挥发性汽油。液氧靠自身形成的压力进入燃烧室,燃料则由高压氮气注入燃烧室。1932 年 11 月 12 日,“ARS1”在纽约城外进行了静态试验,发出了约 0.206 千牛推力。但它在首次飞行试验时,只上升了一二米高。1933 年 5 月 4 日,改进的“ARS2”号在试验发射时,上升了 76 米高,然后开始倾斜,接着液氧箱脱落,最后火箭发生了爆炸。

为了进一步广泛开展火箭设计工作,美国火箭学会设立了两个设计组。彭德利负责设计“ARS3”号火箭,谢斯塔(J. Shesta)负责设计“ARS4”火箭。“ARS4”与以往两种火箭大不相同。它长 2.1 米,带有一个燃烧室和 4 个喷管。1934 年 9 月 9 日,它在发射试验时飞行了 15 秒,上升高度 120 米,水平距离 366 米。第二次试验时,它上升了 408 米,水平飞行 483 米。

由于“ARS4”号的成功,学会决定停止与前两种火箭相似的“ARS3”的研制,并且决定将火箭和发动机研制工作分开,优先开展发动机和试验台的研制。于此同时,美国火箭学会其他成员分别进行火箭结构设计、冷却、火箭运动理论以及火箭应用方面的广泛研究。1936 年,埃弗里科诺(A. Alficano)基于学会进行的大量研究和试验,设计了一枚高空火箭。这项设计为他和学会赢得了第二届 REP-Hirsch 航天学大奖,使美国火箭学会在世界范围内树立起了自己的地位。

美国参加第二次世界大战后,美国火箭学会同海军签订了价值 5 000 美元研制一台 0.44~4.4 千牛推力液体火箭发动机的合同。1943 年,他们设计并制造出推力达 1 360 千克的发动机。这台发动机在飞机助推起飞试验时,取得了一定的成功。该学会的反作用发动机公司后来继续设计、改进新发动机。1945 年,他们设计了几种导弹,1946 年制造出 4 台推力达 26.5 千牛的发动机。美国贝尔公司的 X-1 试验机采用这种发动机于 1947 年首次突破了音障。

美国加州理工学院喷气推进实验室的建立应当归功于该院古根汉姆航空实验室几位富于创新精神的青年人:年轻的捷克籍研究生马林纳(F. Malina)、火箭爱好者帕森斯(J. W. Parsons)和福尔曼(E. S. Forman)等。1936 年初,空气动力学实验室的研究和学术报告吸引了帕森斯和福尔曼。这两个人都是自学成才,曾制造过火药火箭。他们一心想试验液体火箭,但又力不从心,于是决定找加州理工学院帮忙。1936 年 2 月,马林纳、帕森斯和福尔曼经过讨论后,决定成立火箭研究小组,设计高空探测火箭。不久史密斯(A. M. O. Smith)、阿诺德(W. Arnold)和中国留学生钱学森也加入到火箭小组中来。

在进行火箭飞行理论研究的同时,他们因陋就简,制造了一个不带冷却的发动机,推进剂选择氧气和甲醇。由于冯·卡门的支持,他们获准可以在实验室里进行小型发动机试验。从 1936 年 10 月 29 日到 1937 年 1 月,进行了多次点火试验。后来,冯·卡门觉得火箭一词在公众心中已名声不佳,因此,将火箭研究小组改名为喷气推进实验室(即 JPL)。他们既开展火箭推进、发动机热力学等理论问题,也开展推进剂、燃烧控制、燃烧室冷却以及推进剂输送方面的实际问题。他们试制成功当时很出色的固体推进剂,进行了发动机的设计与试验。美国参战后,喷气推进实验室曾与美国陆军合作,研制用于提高重型飞机起飞速度的火箭发动机,并且

取得了满意的成果。在推进剂方面,不但试验了多种液体推进剂,还率先试制成功固体复合推进剂。

1943年夏,冯·卡门收到来自英国的报告,第一次了解到德国大规模发展导弹的情报。在研究了报告后,钱学森和马林纳起草了《关于远程火箭运载器的评价和初步分析》,冯·卡门为此写了一个备忘录。他们分析了当时国际火箭研究的动向,指出立即动手制定远程导弹发展计划的重要意义。经过计算,他们得出结论说:以当时的技术水平为基础,一枚4.54吨(1万磅)重的液体火箭射程能达到120千米。1943年11月,报告和备忘录都递交给美国军事当局。1944年1月,美国陆军炮兵部的巴内斯将军要求喷气推进实验室承担远程喷气推进导弹武器的研究与发展计划,这就是炮兵和加州理工联合计划(简称“ORDCIT计划”)。

由于发动机和导弹外型的不同,“ORDCIT计划”最初包含4个型号:“单兵A”,固体推进剂发动机推进;“单兵F”,“单兵A”的有翼型;“下士E”,采用液体推进剂发动机;“下士F”,采用涡轮泵驱动输送推进剂的液体发动机。1944年12月1日至16日,“单兵A”共进行了24次发射实验,平均射程为16.5千米,最大射程为18.3千米。“单兵F”主体和“单兵A”相同,只是外部布置类似飞机。1945年4月1日至13日,“单兵F”共发射了17次,也取得了相当大的成功。二战结束后不久,喷气推进实验室研制成功美国第一种探空火箭——“女兵下士”。1945年9月26日至10月25日,“女兵下士”探空火箭进行了发射试验。在10月11日的试飞中,一枚“女兵下士”达到了72.8千米的飞行高度,超过了原来的设计指标。这是美国第一枚取得高度成功的探空火箭,为后来美国探空火箭以及运载火箭的发展提供了直接的技术基础。

苏联在二三十年代,也有几个火箭及太空飞行研究组织。早期的先驱者除齐奥尔科夫斯基外,还有灿德尔和康德拉丘克。灿德尔发表过多篇论文,提出燃烧火箭金属壳体提供更大推力、避免死重的设想。康德拉丘克在1919年完成了《征服星际空间》一书,全面研究引力效应、环境阻力、飞船发射方式、太空飞行器结构、过载影响、飞行器稳定与控制等问题。他还讨论了建造太空站和登月等问题。有趣的是,他提出了一个月球轨道对接的登月方法,与60年后美国阿波罗登月计划采用的方法非常相似。

1924年,在灿德尔倡议下成立了星际交通协会。1925年,乌克兰的基辅成立了“乌克兰太空研究协会”。1928年6月,列宁格勒气体动力学实验室也开始研制助推火箭。1929年4月,该实验室成立第二分部,开始研究液体火箭发动机和电火箭发动机。刚从列宁格勒大学毕业,年仅21岁的格鲁什科担任了该部主任。1931年,又有两个研究小组成立:一是莫斯科喷气推进研究小组,一是列宁格勒喷气推进研究小组。前者的代表人物有灿德尔、科罗廖夫、吉洪拉沃夫等。后者的代表人物有拉祖莫夫、雷宁和科学幻想小说家佩雷尔曼。1932年4月,莫斯科反作用研究小组创建了实验火箭工厂,科罗廖夫担任实验工厂厂长。为了开展火箭研究和设计,实验厂下设四个组:灿德尔领导第一组,负责液体火箭发动机和飞行火箭研制;第二小组由吉洪拉沃夫领导,负责研制火箭发动机和火箭;第三小组由波别多诺斯采夫领导,负责冲压火箭发动机和固体推进剂火箭的研制;第四小组由科罗廖夫领导,主要研制他感兴趣的火箭飞机“RP-1”以及后来的“RP-218”双座飞机。

吉洪拉沃夫领导的第二组研制了苏联第一枚液体火箭“09”号,采用胶状汽油和液氧作推进剂。1933年8月17日,这枚半液体火箭发射成功,飞行高度400米。几天后,另一枚改进的“09”号火箭上升了1500米高。这是苏联第一种液体火箭。灿德尔设计的“OR-2”发动机也取得了成功。它采用液氧和汽油作为推进剂,可产生约0.687千牛的推力。装备这种发动机的GIRD-X号火箭是灿德尔领导设计的。1933年11月25日,苏联第一枚全液体火箭GIRD-X试飞成功,飞行高度约80米,水平飞行了150米。

为了便于统一领导,在图哈切夫斯基元帅的直接领导下,莫斯科和列宁格勒小组与气体动力学实验室于1933年10月31日联合起来,成立喷气推进科学研究所。原气体动力学实验室主任、军事工程师克莱门诺夫被任命为研究所所长,科罗廖夫担任副所长。30年代后期,喷气推进研究所在火箭研究设计方面也取得了一定成绩。1936年,以吉洪拉沃夫为首设计了一枚大气研究火箭。它采用杜什金设计的12-K发动机,推力0.294千牛。火箭长3.2米,重100千克,设计飞行高度为10.8千米,头部装有降落伞和探测仪器载荷。1936年4月16日,这枚探空火箭进行了第一次飞行。1937年8月15日,另一枚火箭飞到了3千米高度。1937年底,研究所还设计了更大的R-05火箭。它采用M-29发动机作动力,推力1.716千牛,工作时间37秒。1938~1939年间,喷气推进研究所还设计了R-10两级液体火箭,两级均采用液氧和酒精作为推进剂,第一级发动机的推力为1.57千牛,第二级推力为0.373千牛。此外,第一级周围还捆绑四个固体助推器,这样可产生高达一吨的起飞推力,估计R-10可飞行40千米高,最大速度接近4倍声速。但这些火箭都未能研制出来。

战争爆发后,这类研究工作基本上停顿下来。从1929年到1945年,苏联的火箭技术在各方面都取得了重大突破。特别重要的是,这一时期涌现出了大批火箭专家,包括格鲁什科、科罗廖夫、吉洪拉沃夫等,他们为苏联发展火箭、导弹和航天技术做出了巨大贡献。

由于战争的影响以及各国政府未能充分认识到火箭的价值,因此在二战以前美国、英国、法国以及苏联都未能研制出实用的火箭武器,只有德国例外。1942年,德国率先研制成功火箭武器,为战后导弹与航天事业的发展指明了方向。

从20年代末开始,德国陆军炮兵局抽调专人研究火箭的未来发展潜力和用于现代战争的可能性。陆军炮兵局研究与发展部主任卡尔·贝克尔(K. Baker)是热情的支持者。他于1929年秋领导研究与发展部开始探索喷气推进问题以及火箭用于运载炸弹的可能性。刚刚完成工程硕士学位的年轻军官多恩伯格(W. R. Dornberger)上尉被指派负责具体研究工作。当时德国星际航行协会还在进行研究工作,多恩伯格专门去访问过几次,目的是从那里了解一下液体火箭研制的情况。多恩伯格从德国星际航行协会挑选了四个人:冯·布劳恩、鲁道夫·内贝尔、克劳斯·里德尔以及瓦尔特·里德尔。1932年10月1日,冯·布劳恩正式加入陆军导弹计划部。1932年底,多恩伯格火箭研究小组的架子基本搭成。

他们的第一项工作是设计推力为2.667千牛的液体火箭发动机。这项工作由冯·布劳恩主持进行。1933年1月,一台发动机进行了静态点火试验,取得了成功,工作了1分钟,产生推力1.373千牛力。与此同时,开始设计第一枚试验火箭A-1和改进型A-2。1934年12

月初,两枚 A-2 火箭进行了发射试验,达到 2.4 千米的飞行高度。

A-2 火箭的成功给多恩伯格和冯·布劳恩以很大信心。他们一方面准备研制更大的试验火箭 A-3,另一方面着手兴建大规模、完全封闭的秘密火箭研究基地。1935 年 12 月,他们在巴尔干海岸发现了一个小渔村,这里人烟稀少,气候适宜,加之靠海交通和发射火箭都很方便,且利于保密。到 1936 年 3 月,基地的基本设计蓝图已勾画完成。至 1938 年,这个基地终于投入建设并很快完成,这就是著名的佩内明德火箭基地。

A-3 和 A-5 都属试验火箭,发动机推力都是 14.7 千牛,工作时间 45 秒的火箭发动机。1938 年夏,第一枚不带制导控制系统的 A-5 火箭在试飞时取得了初步的成功。1939 年秋,第一枚装全制导系统和降落伞的 A-5 试验取得了高度成功。1939~1940 年仅一年时间,A-5 就进行了 25 次发射,试验了 3 种制导系统,取得了很大成功,为 A-4 设计提供了重要依据。A-4 的发射重量为 12 吨,发动机推力 245 千牛,工作时间 65 秒,可携带 8 吨推进剂。总体性能参数确定后,他们又计算了 A-4 火箭的技术参数,包括发动机推力、燃烧时间、重量比,研究了火箭的制导与控制、结构设计等问题。新的火箭技术性能大大超过了 A-3 和 A-5,要跨越很大一个台阶,涉及到大量的基本理论和实验技术问题。

完整的 A-4 火箭在当时来说真是一个庞然大物。其外形呈完美的流线型细长体:火箭长 14.03 米,最大直径 1.66 米,底部连同稳定尾翼在内最大宽度为 3.56 米。头部锥形弹头长 2.01 米,装有一个撞击式引信。弹头与储箱之间是控制设备舱,长为 1.41 米。储箱段总长为 6.21 米,上端为液氧箱,下端是酒精箱,分别装 5 吨液氧和 3.5 吨酒精。储箱下面是发动机组件,长 4.4 米。四片对称安装的稳定翼长 3.95 米,后掠角约 40 度,面积各约 6 平方米,它的外侧有一个小小的可动操纵面。A-4 发动机的燃烧室大致呈球形,直径约 74 厘米,喷管喉部直径 40 厘米,喷口直径 74 厘米,燃烧室和喷管总长 1.9 米,喷管膨胀比为 3:4,燃烧室与喷口压力比为 20:1,燃烧室压力大约在 20 个大气压,比冲 220 秒。发动机推力的理论值为 0.27 千牛。整个 A-4 火箭的起飞总重量约为 12.5 吨。

1942 年 6 月 13 日,第一枚“A-4”火箭在试验时失败。1942 年 8 月 16 日进行的第二次发射试验取得了部分成功。1942 年 10 月 3 日,第三枚“A-4”火箭再次发射。火箭上升 41 秒后,速度达到 2 千米每秒,54 秒后,发动机按程序停车,火箭开始自由飞行,此时最大速度为 5 600 千米/秒。最后,火箭上升到 85 千米高,飞行距离 190 千米,离目标距离 4 千米。

这是火箭及航天史上具有重要意义的事件。多恩伯格在当天晚上举行的庆祝会上发表演讲时兴奋地说:“我们的火箭今天达到了近 96 千米的高度,因此打破了先前由巴黎大炮神话般地发射炮弹所达到的 40 千米高的纪录……我们利用火箭进入了太空,并且首次——这是正确的声明——利用太空为地球上的两点架起了桥梁,我们证明了利用火箭原理进行太空飞行是切实可行的,这在科学技术史上有着决定性的意义。除了陆地、海洋和空中交通外,现在还可以加上无限广阔的宇宙空间作为未来洲际航行的一个中介。这是宇宙航行新纪元的曙光。今天,1942 年 10 月 3 日,是人类旅行乃至太空飞行新时代的第一天。”他还对冯·布劳恩说:“你知道我们今天所完成的工作有什么意义吗?今天,宇宙飞船诞生了。”

1944年5月16日,德国最高统帅部下达了使用“V-1”巡航导弹的命令。不久,又下达了使用“V-2”导弹作战的命令。1944年9月6日傍晚,德国向英国第一次发射了两枚“V-2”导弹,但都失败了。9月8日,德国向英国伦敦发射了第一枚“V-2”,炸弹在伦敦市区爆炸。这是“V-2”首次成功袭击英国本土,在伦敦引起了很大的恐慌。从1944年9月6日到1945年3月27日,德国共发射了3745枚“V-2”导弹,其中有1115枚击中英国本土,2050枚落在欧洲大陆的比利时安特卫普、布鲁塞尔、列日以及其他地区。还有582枚用于发展、改进和训练发射。在所有发射的V-2中,有74%落在目标周围30千米以内,这些导弹又有44%落在10千米的范围内。从袭击英国造成的人员伤亡看,V-2共炸死2724人,炸伤6476人,建筑物的破坏也相当大。这些损失显示了“V-2”火箭武器的威力,但并没有起到德国当局希望的那种能挽回败局的战果。

随着德军在各条战线节节败退,佩内明德基地的各层人士都在捉摸退路问题。1945年1月底,冯·布劳恩同基地上层科学家和军官秘密聚会,讨论究竟是仍留在基地,还是向从东部逼近的苏联红军投降,或向南投奔美军。最后,他们决定向南撤离,向美军投降。这批技术人员投降后,受到了美军的审讯。1945年7月19日,美国国防部特别制定了一项命名为“文件夹”的计划,旨在将德国火箭专家和技术人员连同导弹和资料运往美国。1945年7月23日,托弗托伊接到向美国引渡德国专家的命令。8月初,他将命令转告冯·布劳恩等127位专家。根据“文件夹”计划,这些科学家将到美国为陆军工作一年,待遇完全同美国军人一样。合同结束后,个人的去留自便。由于他们在美国得到重用,因此原有的技能得到充分发挥,并且把新的思想落实到航天计划之中,对美国航天技术的发展做出了巨大贡献。

1945年6月1日,苏联红军从东线占领了佩内明德基地。但这时,这个高度秘密的火箭基地几乎已经人去楼空,苏军只俘虏了一批二、三流的火箭技术人员和一些导弹零部件,斯大林对此极为不满。除苏美外,英国和法国也获得了部分火箭专家和火箭硬件。

由于德国火箭专家的努力,在第二次世界大战期间,德国火箭技术终于达到了实用阶段,并且达到了世界液体火箭技术的最高水平。战后,德国火箭技术的转移形成了许多国家发展航天技术的重要基础。美国、苏联、法国、英国、甚至中国都从德国火箭技术中获得了相当大的教益。这是德国对世界航天史的重大贡献。

第十一章

航天时代的来临



✎ 这是人类历史上第一颗人造地球卫星——苏联的“卫星”一号,1957年10月4日发射成功。它进入近地点215千米,远地点947千米,轨道倾角65度,周期96.2分的椭圆形轨道,在轨道上运行了92天,绕地球飞行约1400圈,于1958年1月4日再入大气层时烧毁。这颗卫星发射成功,标志着人类航天时代的到来。

在齐奥尔科夫斯基发表《利用喷气工具研究宇宙空间》等几篇杰出的论文后,很快就出现了不多的几位热心且富有献身精神的读者。早期最著名的是工程师灿德尔。他第一个在前苏联把液体火箭变为现实并领导了几个火箭及航天研究团体。这些团体的成立又吸引了一大批新生力量,涌现出像科罗廖夫、格鲁什科、吉洪拉沃夫那样一批火箭专家。在政府的支持下,他们在20世纪30年代先后发射成功液体火箭、火箭飞机。尽管在30年代末到二战结束时,苏联的火箭研究陷入停顿,但大战后,正是这批专家构成了苏联航天发展的核心力量。他们的不懈努力和出色成就促成苏联成为第一个进入航天时代的国家。另外,战后美国对苏采取的扼制策略以及推行的原子外交政策,也促使苏联把发展导弹武器作为与美国抗衡的主要因素。发展战略导弹为苏联率先研制成功第一枚洲际导弹并进而发射成功第一颗人造卫星奠定了坚实的基础。

第1节 洲际弹道导弹的发展

第二次世界大战结束后,东西方关系急剧恶化。随着“冷战”的爆发,二战时维系的苏、美、英盟友关系迅速演变成敌对的两大阵营。美国为扩大其在欧洲的影响力,扼制苏联,全面制定马歇尔援助计划,苏联则于1948年6月宣布切断西方与柏林间的水陆交通线,实行柏林禁运,并重新扩大军事编制。1948年11~12月,“大柏林”正式分裂成两个城市;1949年4月4日,北大西洋公约组织正式成立,以美英为首的西方国家首先拉起了自己的阵营。1952年,北约吸收了联邦德国。由于战后国际局势的急剧变化,苏联的对外政策和战略思想发生了重大变化,而1947年正是变化的转折点。1943~1945年在德黑兰、雅尔塔和波茨坦举行的三次“三巨头”会议中,斯大林基本表露出苏联战后的战略和政策。他主张将战时同盟关系延续到战后,以苏美英三国合作为基础。他后来赞同罗斯福关于建立世界性组织的设想,并指出,联合国的成员国应该有所选择,限于战时和同盟国一起作战的国家,以免形成对苏联不利的大多数,联合国的安理会应该强有力,“拥有用武力保护国际安全的某些必要条件;坚持大国一致原则,主张规定大国拥有广泛的实质性的否决权,以便必要时可以抵制美英。这一切努力都在冷战声中化为泡影。

冷战对抗需要的是实力,特别是军事力量。经过四年的战争,苏联的航空技术获得了很大的发展。苏联空军已一跃成为世界上少数几个最强大的空军之一。在战斗机方面,苏联无论是数量上还是质量上都足以同美国相抗衡了,即使有差距,也并不很大。但在战略轰炸机上,苏美的差距实在太大了。“像彼-2”、“伊尔-4”和“图-2”轰炸机很难称得上是战略轰炸机,同美国的“B-29”无法相比。

斯大林指示图波列夫设计出飞到美国进行轰炸,然后再返回苏联的轰炸机。但图波列夫明确指出,由于技术上的原因,这样的轰炸机难以在短时间内制造出来。于是,斯大林又指示米亚西谢夫设计远程轰炸机。但该设计局推出的“米亚-4”远程轰炸机虽然可以飞到美国,

但无法返回苏联,航程仍然不够。它的速度不快,性能不高,在试飞时许多飞行员因事故丧命。正是在原子弹还没有着落,战略轰炸机研制不出的情况下,斯大林把希望寄托在火箭身上。

德国用“V-2”导弹袭击英国是二战后期的重大事件,斯大林对此亦有所闻。当苏联军队大举进入德国时,他们同时也带有搜罗德国军事科学家的使命。可是,以布劳恩为首的几百名主要火箭专家还在苏军来到之前向美军投降,苏军俘获的只是一批二三流的技术员。对此,斯大林曾大发雷霆。他对谢洛夫将军和托卡提上校发脾气说:“我们打败了德国军队,占领了柏林和佩内明德,但是美国却得到了德国的火箭专家,真是泄气!怎么让这种事发生的呢?”

1946年3月,苏联举行了战后最高苏维埃第一次会议,通过了第四个五年计划,即《恢复和发展国民经济的五年计划》。根据当时的世界形势和斯大林提出的指导思想,这个五年计划把重工业的重建和发展提高到极大的高度上,因为重工业的发展是国防工业的有力后盾。计划从法律上确定了坚决提高国防能力的各项措施,对当时出现的各项有军事意义的新技术如喷气技术、新型发动机技术、原子弹技术和火箭技术给予高度重视。3月18日,代表们通过的法令明确规定了纯军事性质的任务:“保证继续提高苏联的国防能力,并向苏联武装力量提供最新的军事技术装备。”为此,苏联一方面大力发展核物理,为研制核武器作准备;另一方面加强核弹头远程运载问题的研究。

考虑到当时轰炸机与美国的差距颇大,且一时还赶不上美国,原子弹正在加速发展,斯大林指示全力发展弹道导弹,以便能发射核弹头轰炸美国的本土。1947年3月15日,斯大林在克里姆林宫最高层决策会议上说:“德国的科学家发展了许多有趣的玩意儿,像洲际导弹就是其中之一,可以使战争完全改观。你们知道这种武器的重大战略价值吗?这大概是对付杜鲁门那家伙最有力的一招。所以,我们必须努力,能制造洲际导弹对我们实在太重要了。”

斯大林的战略思想很快得以贯彻实施,他也在许多场合下都谈到发展洲际导弹的意义。为此还发生过有趣的一件事。奥地利火箭专家桑格尔在战时曾设计了一种火箭推进的“半球轰炸机”。他向纳粹提交了专门报告,试图让德国组织研究和生产这种可打到美国实施报复性轰炸的武器,但纳粹当局对此未予理睬。战后,桑格尔的报告有两个复本落到了苏军手上。斯大林对此极为关注,他指定人员仔细研究桑格尔的设计方案,据说他甚至还派出秘密人员设法把桑格尔引渡到苏联,这又一次说明斯大林对火箭武器的重视程度。

1949年8月27日凌晨4点,苏联终于爆炸成功第一颗原子弹。10月1日,共产党领导的中华人民共和国诞生。这两件事为苏联敢于继续同西方对峙提供了举足轻重的力量和声势,同时对美国震动极大。在国际事务中,所谓的真理和正义常常靠边站,而自己的实力才是主要的,苏联原子弹的威力正在于此。

赫鲁晓夫上台后,东西方关系出现时好时坏的冷战僵持局面。赫鲁晓夫一方面在努力同美国改善关系,另一方面在一些关键问题上又不肯让步。他也懂得,双方改善关系的意向都伴随着自己的利益,要使自己有利就得靠谈判,而谈判也要有实力作后盾。因此,他在反斯大林的同时,把斯大林的军事技术战略继续下来,并且进一步推向深入。

20世纪50年代,世界范围内又发生了一系列重大事件,有几件事使美国势力影响在减

弱。对此,杜鲁门和艾森豪威尔曾扬言要使用原子弹。1958年9月爆发了一次台湾危机,中国开始炮轰金门、马祖岛。美国政府明确声明,如果对峙继续下去,美国不排除动用核武器的可能性。当时,苏联已拥有了洲际核导弹。赫鲁晓夫于1958年9月20日向艾森豪威尔发出了警告:“那些企图用原子武器攻击中华人民共和国的人不应该忘记,另一方也拥有原子弹和氢弹,并有发射它们的手段……向中国人民挑起战争必然意味着将有美国人的儿子死去,这也等于点燃了一次世界大战的导火线。”美苏双方都已经用了最明白不过的语言表达了战略核威慑的意思,都发现这种核威慑的力量。苏联一贯重视发展洲际导弹的政策,原因正在于此。不过,加速发展洲际导弹从客观上为发展航天事业直接或间接奠定了极为重要的技术基础。

1947年10月30日,苏联组装的第一枚“V-2”导弹在苏联斯大林格勒附近发射成功,射程为270千米。在德国火箭技术的基础上,苏联又开始仿制“V-2”导弹。这枚仿制的短程导弹命名为“P-1”(P为俄文“胜利者”第一字母)。在“V-2”基础上改进设计的“P-2”仍采用酒精和液氧作为推进剂,其射程为590千米。苏联对“P-2”的技术改进措施主要有:改进发动机冷却系统,减少液体燃料的含水量,提高燃烧室的压力和温度,加长火箭发动机喷管。

与此同时,著名火箭发动机专家格鲁什科开始设计“RD-1/RD-3”系列液体火箭发动机,尔后又研制出“RD-101”火箭发动机。这种发动机装在改进的“P-2”导弹上,成为“SS-3”导弹。它是一种中程弹道导弹,其射程达到1800千米。1952年至1953年间,格鲁什科又领导设计了“RD-103”火箭发动机,它采用煤油和液氧作为推进剂,真空推力为490千牛。“RD-214”火箭发动机具有4个燃烧室,推力为725.7千牛,研制于1955~1957年。它的推力是可变的,通过调整涡轮泵气体发生器的推进剂供给量实现。以它为动力研制的“SS-4”中程导弹长20.7米,射程为2000千米。这种导弹的特点是采用可储存推进剂硝酸和煤油,因此提高了导弹的机动性和应变能力。这枚导弹于1956年4月首次进行飞行实验。

中程弹道导弹研制成功后,苏联又紧接着开始研制远程火箭。1955年,苏联成立“人造地球卫星委员会”,负责人造卫星和运载火箭的研制,科罗廖夫担任了运载火箭的总设计师。

研制洲际弹道导弹存在许多技术困难,一是研制大推力的液体火箭发动机,一是突破多级火箭技术。在火箭发动机的研制过程中,火箭发动机总设计师格鲁什科起了关键性作用。

苏联第一枚洲际导弹命名为“P-7”。它是两级液体火箭,由一个配置在中央的较长芯级和4个配置在其四周的较短的助推级并联而成。采用这种结构形式既可以避开第二级发动机高空点火的困难,又可降低火箭的总高度。第二级(芯)长28米,最大直径2.95米,向下逐渐收缩,到尾段处直径为2.2米。助推器全长19米,最大直径3米,呈圆锥形,顶端锥角约 10° ,每个助推器底部装有一个翼展约0.9米的稳定底翼,用以改善火箭的操纵性能。助推器和芯级都是独立的系统,各有自己的推进剂储箱和发动机,彼此之间没有液压和气管路连接,只保持电路连接。助推器通过两个承力结构和芯级固定在一起。

“P-7”导弹的两级发动机均采用格鲁什科主持设计的液氧和煤油发动机。中央芯级装有一台“RD-108”发动机。四个助推器各装一台“RD-107”发动机。这两种发动机均于1954年开始设计,都采用四燃烧室布局,性能和结构也很相似,所采用的基本部件均相同。在工作

参数上,“RD-107”发动机的地面推力为 820.8 千牛,真空推力 1 000 千牛,真空比冲 314 秒,燃烧室压力 60 个标准大气压。“RD-108”的地面推力为 745 千牛,真空推力 912 千牛,比冲 315 秒,燃烧室压力 52 个标准大气压。由于这种发动机安装的推进剂储箱要大的多,因此它的工作时间也长的多,达到 300 秒以上。

为了使火箭在飞行中保持稳定和进行姿态控制,助推器四个主燃烧室附近装有 2 个小型游动发动机,可以作 $\pm 45^\circ$ 摆动,以提供火箭的控制力。在发动机喷管垂直的情况下,每台助推器所产生的推力有 10% 是由游动发动机提供的。第二级(芯级)所不同的是,它在四个主燃烧室周围装有 4 个小型游动发动机,以提供姿态控制力,它也可以作 $\pm 45^\circ$ 的摆动。

“P-7”导弹全长约 29 米,最大宽度约 10.3 米,起飞重量 267 吨,最大起飞推力 4 766 千牛。它在设计上有如下特点和技术战略:

一、在大推力火箭设计上,没有单纯着眼于大幅度提高单台发动机的推力,而是在推力较易实现的水平上,大胆采用多燃烧室方案;

二、避开了采用可摇摆的主发动机所带来的结构复杂、技术难度大的问题,采用相对简单的游动发动机提供姿态控制力;

三、在助推器和主级连接上,采用了尽量减少耦合的设计思想,从而使火箭在某个(或几个)燃烧室工作失常情况下,也能完成预定任务,提高了可靠性;

四、避开了火箭发动机高空点火的困难,采用主级和助推级同时地面点火方案,实现了设计的简单性和火箭的可靠性;

五、在设计中就考虑到它的适应性和通用性,因此它很容易改制成航天运载火箭。

由于在研制第一枚洲际弹道导弹中,一个很重要的指导思想和方针是要抢在美国人的前面发射,因此“P-7”在研制过程中采取了上述简化措施并避开了急切之下难以解决的技术难点。由于苏联已于 1949 年成功地爆炸了第一颗原子弹,因此加速发展能携带核弹头发射到美国、日本本土上的洲际运载工具就显得尤为重要。果然,苏联实现了当初的目标。1957 年 8 月 21 日,世界上第一枚洲际弹道火箭“P-7”成功地进行了全程试射试验,射程达到 8 000 千米。这次成功具有多种意义:一是苏联抢在美国之前(提前 6 个月)发射成功洲际导弹,这使全世界东西两大阵营的军事力量对比发生了某种深远的变化,也在某种程度上提高了社会主义阵营的国际地位;二是为苏联率先跨入空间时代奠定了坚实的技术基础。苏联塔斯社于 1957 年 8 月 27 日报道说:

“多级远程洲际弹道火箭于日内发射。”

“火箭试验进展顺利,完全证实计算和所选定的结构是正确的。火箭在前所未有的高度上完成了飞行。在短时而大距离的飞行之后,火箭在预定区域降落。”

“从得到的结果表明,这种火箭有可能发射到地球上任何地区。”

意味深长的是,塔斯社在报道洲际导弹成功的消息之后还说:“最近,苏联进行了一系列核武器和热核武器爆炸试验……这些试验取得了圆满的成功。”把洲际运载火箭和核武器同时报道显然是一种暗示,表明苏联已经具有了把核武器直接发射到美国本土的能力。

虽然“P-7”导弹(又称“SS-6”,警棍)以世界上第一枚洲际弹道导弹而获得极大的名声,但从实际使用上看,它并不具备战略价值。这主要是因为它的各级发动机采用了不可储存的液氧和煤油作为推进剂,因此它的机动性、灵活性和应变能力受到极大的限制。不过,以它为基础研制的运载火箭在苏联早期航天事业中立下了汗马功劳,世界第一颗人造卫星就是用它发射成功的。后来经过系列改型,它还用于载人航天发射。

第2节 第一颗人造卫星的诞生

研制人造地球卫星的思想由来已久。早在1687年牛顿就在《自然哲学的数学原理》中谈到有可能以极大的初速度抛出一颗不再落回地球的物体(人造地球卫星)。他这样写道:

“行星依靠向心力,可以保持在一定的轨道上,这只要考虑一下抛射体的运动就可以理解了:一块被抛出的石头由于其自身重量的压迫下不得不离开直线路径,它本应按照开始的抛射方向走直线的,现在在空气中划出的却是一条曲线,它经过这条弯曲的路径最后落到了地面上,抛出时速度越大,它落地前走得就越远。因此我们可以假定抛出的速度不断增大,使得它在到达地面之前能划出1、2、5、10、100、1 000英里的弧长,最后一直增加到超出地球的界限,这时石头就要进入空间而碰不到地球了……”

“但是,如果我们现在想象物体从更高的高度沿着水平方向抛射出去,例如从5英里、10英里、100英里、1 000英里或更高的高度,甚至高达地球半径的许多倍,那么,这些物体就会按照其不同的速度并在不同高度处在不同重力作用下,划出一些与地球同心的圆弧或各种偏心的圆弧,它们在天空沿着这些轨道不停地转动,正像行星在自己的轨道上不停地转动一样。”

牛顿的这段话明白无误地阐述了人造卫星的原理及其实现的可能性。19世纪末和20世纪初,有许多科学家和文学家分别从科学上和文学上探讨了人造卫星的可能性。但随后的50年中,由于人们在火箭研制的道路上还未取得革命性的进展,加之两次世界大战的影响,研制人造卫星直到20世纪50年代才再次提到议事日程上来。

为了科学研究的需要,第二次世界大战后许多国家都有科学家研究发射人造卫星的可能性,并建议为了和平目的和开发宇宙的需要研制发射人造地球卫星。1946年9月在巴黎召开的第6届国际实用机械会议上,美国加州理工学院的马林纳和索末非宣读了《利用火箭远离地球的问题》,倡导发展用于研究外层空间的火箭。美国的海军航空局和空军的兰德公司(Rand Project)也曾建议于1951年发射小型卫星。由于科学家们的呼吁,美国国防部于1948年12月向国会提出由军方研究地球卫星的计划。1951年举行的第二届国际航空联合会议又有许多人提出发射人造卫星和载人太空站的倡议。英国国际航行协会的盖特兰德等人于1952年3月22日提出利用三级火箭发射人造卫星的建议。这些科学家的极力倡导和许多有关太空飞行文章的预测,不仅引起了许多政界人士包括美国总统艾森豪威尔和杜鲁门的注意,更引起了一般公众的极大兴趣。国际地球物理年(IGY)的创办是为了给参加的各国科学家们

提供共同研究地球环境的机会,这就使人们更加清楚地看到发展人造卫星的必要性。1954年夏,国际无线电科学协会(ISRU)和国际地形学和地球物理联合会(IUGG)通过了在地球物理年(1957-1958)间发射一颗人造卫星的决议。这一决议得到美、苏等国的支持和响应。

在苏联,由于一批科学家和火箭专家的鼓吹,人造卫星计划也得到赫鲁晓夫的支持。

苏联第一个人造卫星的热心倡导者是吉洪拉沃夫。早在1934年,他就在列宁格勒举行的首届全苏同温层研究会议上所作的《应用火箭飞行器研究同温层》的报告中,提出用火箭把人造卫星发射到同温层和宇宙空间的设想。二战后,他又重新着手人造卫星研究工作,并组织了一个研究高空载人火箭飞行器的专家小组,进行了大量研究和计算工作,证明多级火箭原则上可使重物达到第一宇宙速度。这一思想正好同科罗廖夫一致,在他和火箭专家格鲁什科的积极争取下,吉洪拉沃夫在1948年的军事弹道科学院的年会上,作了题为《在现代技术水平下借助空间火箭达到第一宇宙速度和制造人造地球卫星的可能性》的报告。这次报告引起了科学家们的充分注意。于是,吉洪拉沃夫卫星研究小组的研究工作获得了一定程度的重视。

1954年,吉洪拉沃夫提出论证人造地球卫星可行性和必要性的建议,他在《关于人造地球卫星》的报告中,充分论证了利用二级火箭可以达到第一宇宙速度并可用于发射人造卫星。他和“卫星小组”的工作对科罗廖夫提供了启示。当时苏联正在研制中程导弹和二级洲际弹道导弹,科罗廖夫认为导弹稍加改进就可以作为发射卫星的运载火箭。

1954年5月26日,科罗廖夫致函苏共中央:“遵嘱呈上吉洪拉沃夫同志《关于人造地球卫星》的报告。”在附信中,他指出:“目前正在研究的末速度为7000米/秒的新产品有可能使人造地球卫星于近年内制成。用减少若干有效载荷的办法,可使发射卫星所需要的末速度达到8000米/秒。我认为,现在成立一个科研机构,对卫星的初步探索工作以及进一步详细研究与此有关的种种问题是适宜的。”1955年6月25日在提交给苏联科学院的报告中,科罗廖夫指出:“利用火箭飞行器实现超远距离和实际无限高度的超高空飞行,在原则上是可能的。目前,制造人造地球卫星和进行载人高空飞行研究星际空间的火箭飞船日趋接近现实。”

科罗廖夫的四处游说获得了显著的效果。科学院的审查委员会主席凯尔迪什和科学院院士谢多夫等都给予了高度重视。这样,1956年1月30日苏联政府正式做出在1957~1958年内研制人造地球卫星的决定,2月开始制定卫星的技术要求。苏联政府的这一行动和来自美国的发展计划,极大地加快了苏联人造地球卫星的研制速度。

苏联的第一颗人造卫星计划包括四个组成部分:(1)研制运载火箭;(2)建设发射场;(3)研制卫星本体和星上科学仪器;(4)建立地面测控网。

研制运载火箭任务实际上同发展洲际弹道导弹是一致的。为了发射人造卫星和达到第一宇宙速度的要求,对“P-7”导弹进行了改进,主要的是取消了武装部有效载荷。这枚运载火箭是科罗廖夫主持设计和研制的,定名“卫星”号运载火箭。它的总起飞推力为4883.7千牛,为当时世界上最大的航天运载火箭。

在将“P-7”洲际导弹改装成“卫星”号运载火箭时曾作了一些改动。为了将所需要重量的卫星送入预定轨道,需要调整芯级发动机的工作状态,以获得最好的效果。这就是先把芯级

发动机的起飞推力调小到 588.4 千牛左右,级间分离后芯级才以 912 千牛的主推力工作。“卫星号”运载火箭在发射卫星过程中,起飞时 5 台发动机在地面同时工作,产生约 3 785.4 千牛的起飞推力。飞行 120 秒后,将四个助推级抛放,这时火箭的飞行高度大约为 50 千米,飞行速度为 3 200 米/秒。然后芯级以最大推力继续工作 180 秒,将火箭加速到卫星入轨所需的 8 千米每秒的速度。

苏联在 1954 年就做出了建立航天火箭发射场的决定。科罗廖夫等参加了火箭发射场的选点和发射场各项业务的计划以及对设计任务的分析研究。首座航天发射场定在哈萨克斯坦苏维埃社会主义共和国境内的丘拉塔姆地区,离拜科努尔不远的沙漠地,东经 63 度 20 秒,北纬 46 度,1955 年 1 月开始建设,定名为拜科努尔航天发射场。发射场东西长 80 千米,南北宽 30 千米。发射场由发射区、保障区和监控站等组成。经过多年的建设,发射区包括中心发射区、东发射区和西发射区。中心发射区的主要设施有:总装测试厂房、控制测试大楼、大型地面发射区、地下发射井、推进剂贮存库、液氧工厂和其他辅助设施以及行政管理、训练和住宅等建筑。发射场和周围地区还建有大量的地面测控网。

人造卫星本体和星上设备是吉洪拉沃夫主持设计的。1956 年底,他建议“卫星造得小点,简单一点,最好为 30 千克重”。科罗廖夫支持这一建议,他认为“第一颗卫星的外形应当简单而富于表现力,要近似于自然天体。在人们的意识中,它将是人类航天时代开始的永恒象征。”为了在全世界范围内引起充分的震动,他还指出:“我们不能忽视目前进行的试验所具有的历史意义……无线电发射机应该有这样的波长,让世界各地的无线电爱好者能够接收到它的信号。重要的是,要计算好第一颗卫星的轨道及其光学性质,使地球上所有人能亲眼看到它的飞行。”他于 1957 年 1 月 5 日向苏联政府建议准备发射卫星,一颗重 30~50 千克,用于第一次发射;一颗重 1 200 千克(后来成为第三颗卫星)。第一颗卫星的关键是要保证发射的绝对成功和让世人能感觉到它的存在。由于获知美国曾在 1955 年 9 月试验了运载火箭并有可能在几个月内发射人造卫星,科罗廖夫还建议把原订在 1957~1958 年国际地球物理年期间发射第一颗卫星的计划提前,改为先发射两颗简易卫星,只携带最简单的必要仪器。

苏联的第一颗人造卫星代号“ЦМ-1”,它的外形是一个铝合金的密封球体,直径 0.58 米,重 83.62 千克。卫星周围对称安装四根弹簧鞭状天线,倾斜伸向后方,其中一对长 2.4 米,另一对长 2.9 米,卫星内部充以 0.12 兆帕(1.3 大气压)的干燥氮气。下半球壳表面是热控制系统的辐射表面,上半球壳外部装有隔热层。苏联科学院确定卫星的主要科学探测项目有:测量 200~500 千米高度的大气速度、压力、磁场、紫外线和 X 射线等数据,卫星上还携带试验动物,用以考察动物对空间环境的适应能力。为此卫星本体内安装了电池组、无线电发射机、热控制系统组件、转接元件、温度和压力传感器和其他探测仪器。电池组由 3 个银锌电池构成,电池组中央矩形槽内安装两台交替工作的无线电发射机,工作频率分别为 20.005 和 40.002 兆赫。

苏美两国在发射人造卫星上展开了一场争夺战。在 1955 年 7 月 29 日国际无线通信联合会第三次大会召开之前,美国总统艾森豪威尔就宣称美国正在进行发射人造地球卫星的准备工作。苏联科学院院士谢多夫在这次大会上也宣布苏联打算在国际地球物理年期间发射一颗

到几颗卫星。但由于种种原因,苏联人抢在了前面,1957年6月,苏联科学院院长斯米扬诺夫宣布苏联的地球物理年卫星运载火箭已准备就绪。当时“P-7”洲际导弹已开始进行首发前的准备工作,第一颗人造地球卫星“СП-1”也接近完成。种种迹象表明,苏联在这场争夺战中似乎稳操胜券。

1957年8月,“P-7”洲际导弹首次试验成功。于此同时,改装“卫星”号运载火箭的工作也在科罗廖夫的领导下迅速进行。1957年10月4日晚,“卫星”号运载火箭携带世界上第一颗人造地球卫星“СП-1”号在苏联拜科努尔航天发射场发射成功。它先进入近地点215千米,远地点947千米,轨道倾角65度,周期96.2分钟的椭圆形轨道。它共在轨道上运行了92天,绕地球飞行约1400圈,并于1958年1月4日再入大气层时烧毁。这颗人造卫星在技术上进行了星内温度压力试验,地上大气密度测量和电离层研究,并用卫星探测出几百千米高空的空气阻力。但同它的科学研究结果相比,它的政治影响和对科学技术发展的影响更加深远。

1957年10月4日午夜,莫斯科电台向全世界公布了苏联首颗人造地球卫星已成功发射进入轨道的消息。塔斯社宣称:“人造地球卫星开辟了星际航行的道路。”不久,世界各地都能通过无线电接受到这颗卫星从天空发射出来的“的……的”声响。在政治上,它表明苏美太空竞赛的第一个回合的胜利者是苏联。由于苏联的广泛而成功的宣传,以致于在世人的眼中,苏联在科学上占据了领导地位。对全人类来说,它标志着航天时代真正到来了。

第3节 美国弹道导弹的艰难发展

苏联在1957年研制成功世界第一枚洲际导弹和发射成功世界上第一颗人造卫星两项伟大的成就,已永远载入世界航天史册。这两项开创性的技术第一的殊荣与美国无缘,这是美国人不情愿但又不能不承认的事实。在进入航天时代的先后上,苏联抢在了前面。苏联率先跨入航天时代的原因是多方面的。这里除了有技术水平、技术策略方面的原因外,还与两国政府在政治、经济、军事、外交政策以及对火箭、导弹、航天的基本态度有极大的关系。从实际的发展过程看,美国恰恰在导弹、航天的指导思想以及战略决策上犯了严重错误,最终在进入航天时代方面落后于苏联,原子外交政策与对战略导弹的错误认识是其中十分重要的原因。

在第二次世界大战即将结束之际,美国的科研部门认为在战后的和平环境中应当更广泛地利用新的工具研究高空大气和宇宙线,这也是重点转移的行动之一。美国陆军、海军的研究机构对此也极为关注,相继提出了各种研究计划。在这样一种情况下,1945年2月20日美国战争部正式批准建立“白沙”试验场,为各部门进行高空科学研究提供一块园地。这是美国第一项重大的火箭应用研究和试验计划。它对美国战后液体火箭的发展起到了一定的刺激作用。

第一批“V-2”导弹的技术人员共7个人,在冯·布劳恩的带领下,于1945年9月29日抵达波士顿,在那里他们同美国陆军进行了接触,并被吸收到陆军炮兵部。不久,他们被派往

德克萨斯州布里斯,负责指导“V-2”导弹的组装和技术指导。到1945年12月,陆续到达这里的德国火箭专家已达120人,这批专家为美国战后进行“V-2”火箭高空大气研究计划做出了重大贡献。

“V-2”高空试验计划结束后,冯·布劳恩小组开始研制美国第一种大型导弹“赫尔墨斯”。不过,“赫尔墨斯计划”在1954年便下马了,只进行过模型试验。赫尔墨斯计划带有试验特征,陆军部似乎没有给予太大的关注。从硬件本身看,这个计划也没取得很大成就,但在几年的探索中,冯·布劳恩小组掌握了包括控制与制导在内的许多新技术。赫尔墨斯计划的另一个直接结果是,它导致了陆军“红石计划”的制定和实施。而“红石计划”的主体、科技人员也正是冯·布劳恩火箭专家小组和通用电器公司中参与过赫尔墨斯计划的人员。由于德克萨斯州已不适应大型导弹的发展工作,经陆军部批准,1952年4月至11月,他们陆续迁到阿拉巴马州亨茨威尔的“红石”兵工厂。组成“红石”兵工厂的人员包括500多名军人,130多名原冯·布劳恩小组成员。“红石”兵工厂在美国早期导弹和航天计划中都做出了巨大贡献。

1950年6月朝鲜战争爆发后,美国陆军部指示“红石”兵工厂进行射程为800千米弹道导弹的可行性研究。随着战事的扩大,这项导弹计划获得很高的优先权。为了争取时间,当时决定广泛借鉴“V-2”火箭技术和赫尔墨斯计划获得的经验,采用现成的液体火箭发动机。随着计划的进行,陆军对这种导弹的性能要求有所改变,射程由800千米减少到320千米,要求具有机动性并能携带核弹头。1952年4月8日,这种短程导弹被正式命名为“红石”导弹。1953年8月20日,“红石”导弹在佛罗里达州的卡纳维拉尔角航天发射基地进行了首次试验发射。这次试验取得了部分成功,它只飞行了约7.3千米远。从1953年到1958年,“红石”导弹共进行了37次试验性发射。1958年6月,“红石”导弹正式装备部队,但它的服役寿命很短,1960年便被新的“潘兴”导弹所取代。但“红石”导弹对美国早期航天事业做出了重大贡献。

50年代中期,美国开始意识到和苏联的导弹差距,于是不仅恢复了过去的大型导弹计划,而且新制定了一些弹道导弹计划。“丘比特”中程导弹便是1955年由美国海军和陆军联合提出的。“丘比特A”中程导弹基本上采用了“红石”导弹的模式,但具体设计有了重大发展。它长18.4米,直径2.67米,采用铝合金制造箭体,起飞重量约50吨。它采用一台北美航空公司火箭动力公司研制的“S-3D”液氧/煤油火箭发动机,起飞推力666.9千牛。在导弹制导和控制方面,“丘比特”导弹有许多重大改进,它采用长平架安装燃烧室和喷管控制飞行弹道,利用脉冲小发动机控制火箭姿态和稳定。1957年5月1日,美国第一种中程弹道导弹进行了首次发射试验。1957年5月31日,一枚“丘比特A”在试验发射时取得了高度成功,射程达到2400多千米,弹道最大高度480千米。从1960年开始,“丘比特A”中程导弹正式装备部队。它在美国导弹和航天史上的重大意义不仅在于它是第一种中程核导弹,而且它的改装型直接用于发射美国第一颗人造卫星。

美国率先进行洲际导弹研制的是陆军航空兵。这在很大程度上归功于阿诺德将军的远见卓识和大胆决策。作为陆军航空兵的负责人,早在1945年他就组建了一个由冯·卡门等专家组成的空军顾问团,研究战后空军装备的发展动向。当冯·卡门和马林纳等人经过研究认为

10年内可生产出射程在1万千米的弹道导弹时,阿诺德将军便指示有关部门立即着手进行可行性研究和设计。1946年4月19日,又制定了“MX-774计划”,目的是研究火箭武器的能力并朝洲际导弹这一最终目标努力。“MX-774计划”是美国第一种洲际导弹“阿特拉斯(Atlas)”的前身。1948年中期,3枚MX-774研制成功,这是美国首次采用摆动喷管控制的大型火箭。它们分别于7月13日、9月27日和12月2日进行了发射试验。

1949年苏联爆炸了第一颗原子弹和1950年朝鲜战争爆发,使美国对远程导弹的观念和政策有了一定改变。1949年中,杜鲁门总统批准投资在卡纳维拉尔角兴建8000千米射程的导弹试验场。1950年1月30日,杜鲁门又下令发展氢弹。1950年秋,兰德公司完成了导弹可行性研究,充分肯定了远程火箭武器的重大军事价值。在这种新的背景下,美国空军又于1951年1月16日同康维尔公司签订了研制MX-1953试验型远程导弹的合同,要求射程达到8800千米以上。但空军方面对这项计划并不特别热心,投资方面十分小心吝啬,计划时间表拖得很长。

1953年情况发生了重大变化。美国首次得到了苏联加速发展洲际导弹的可靠情报。美国的氢弹研制进展顺利,而原子能委员会亦表示大幅度减小原子弹体积和重量也难以在几年内实现。这促使美国空军对自己的政策进行了重新检查。空军部长托尔伯特(H. E. Talbott)委任他的特别科学助理加德纳(T. Gardner)负责远程导弹性能的可行性评估。1953年秋,加德纳建立了一个战略导弹评价委员会,由著名科学家冯·诺伊曼(J. von Neumann)担任主席。该委员会充分研究了国际和国内导弹的发展动向,以及当时技术上的突破,于1954年2月10日提交报告指出,根据原子弹和氢弹取得的进展以及火箭技术的发展,洲际弹道核导弹可望在6年甚至更短的时间内研制成功。在这个紧急关头,美国必须加速发展洲际导弹,以抢在潜在对手苏联前拥有远程核打击能力。这份报告引起空军和美国政府的重视。1954年6月1日,空军授权施利威尔(B. A. Schriever)准将全面负责“阿特拉斯”导弹计划。7月1日,美国政府首次投资100万美元发展洲际导弹。1955年3月,“阿特拉斯”计划获得最高级A1优先权。

“阿特拉斯”导弹充分吸收了“MX-774”导弹的成果,它有5大技术特色:箭体与推进剂贮箱同体结构;可摆动发动机喷管;可分离战斗部;底部捆绑助推器;装有游动发动机和分离火箭。控制方式采用过半惯性导航同地面站遥控结合的办法,后来的又改为自主性全惯性导航方式,飞行的轨迹和姿态控制方式是可摆动发动机喷管与两个主发动机侧部安装的脉冲发动机结合的方法。这使导弹的控制更加迅速、精确和有效。它的动力装置是由一台推力为2535千牛的LR-105发动机和两台侧部安装的推力为667千牛的LR-89助推发动机组成,均采用液氧和煤油作推进剂,北美航空公司火箭动力分部研制。三台发动机共用一套储箱。它的典型的飞行方式是:主发动机和助推发动机同时点火后,火箭开始垂直起飞。当助推发动机工作145秒后,分离小火箭将其分离,这样使导弹重量减轻3.6吨。然后主发动机继续工作125秒,这时导弹的速度约为25750千米每小时,分离火箭开始工作,将弹头分离开来。它的射程达8000千米。

由于装备弹头型号和当量的不同,“阿特拉斯”导弹有多种型号。它的主体直径为 3.05 米,底部最大宽度 4.87 米,装备 MK2 弹头的箭体长 23.13 米,装备 MK3 和 MK4 弹头的箭体长 25.15 米,装备 MK5 弹头的箭体长 24.1 米。导弹的起飞重量约在 116 吨左右,起飞推力 1 597 千牛。

“阿特拉斯”A 型纯粹是试验型,它的目的是试验助推发动机性能和分离情况。“阿特拉斯”B 是安装全部动力装置的试验型导弹。1958 年 8 月 2 日,“阿特拉斯”B 在首次试射时,射程超过 4 000 千米。1958 年 11 月 28 日,一枚“阿特拉斯”B 进行了全程试射试验,落点距离达 9 660 千米。自 1958 年 12 月 23 日到 1959 年 8 月 24 日,“阿特拉斯”C 型进行了 6 次试验发射,主要用于研究弹头的烧蚀防热性能。“阿特拉斯”D 是实用性洲际导弹。它于 1959 年 7 月 28 日进行了首次成功的发射试验,全部指标都圆满达到。9 月 9 日,美国正式宣布“阿特拉斯”D 型洲际导弹装备部队。后来的试验和改进表明,“阿特拉斯”导弹潜在射程可达到 15 000 千米。此后,“阿特拉斯”导弹又发展了 E 型和 F 型,它们的主要特点是采取地下井发射方式。1965 年,“阿特拉斯”导弹被全固体的“民兵”洲际导弹取代。

美国第一种洲际导弹“阿特拉斯”自有它的许多先进之处,但为全程飞行的可靠而采取的一级半结构只能是权宜之计。当助推器工作完后,只是发动机分离掉,而巨大的箭体储箱仍随着火箭一起运行,对提高质量比和射程方面都很不利。种种原因导致新型的“大力神(Titan)”洲际导弹计划的出现。1955 年 5 月 2 日,美国空军正式批准施利威尔小组提出的“大力神”研制计划,马丁公司承担了“大力神”导弹的研究和发展任务。

“大力神”I 型为 2 级结构,全长 27.4 米,最大直径 3.05 米,总重约 99.8 吨,发动机均采用液氧和煤油作推进剂。第一级装两台 YLR-87 火箭发动机,总推力 1 333 千牛,第二级装 1 台 YLR-91 火箭发动机,推力为 266.7 千牛,两种发动机都是“航空喷气公司”研制的。1959 年 1 月 6 日,只有第一级是活性级的试验性大力神进行了发射试验,后来的几次全活性级试验表明,“大力神”I 射程可达到 9 650 千米。1962 年 4 月,美国战略空军司令部宣布“大力神”I 装备部队。但它只服役 3 年便退役了,代之以新型的“大力神”II 型。它于 1962 年 3 月 16 日试射成功,1963 年正式服役。它可携带 2 000 万吨级核弹头,射程达 15 000 千米。

“阿特拉斯”和“大力神”洲际导弹作为美国第一代远程核导弹,在东西方早期“确保相互摧毁”战略中发挥了巨大作用。更为重要的是,它们的民用改进型为美国的航天事业做出了巨大贡献。自 50 年代末以来,它们分别和不同上面级组合,形成了一系列性能不同、运载能力不同的航天运载火箭,发射了上千枚人造卫星、宇宙探测器和载人飞船。直到 21 世纪初,“大力神”、“阿特拉斯”(又译成“宇宙神”)派生型运载火箭仍是美国主要的军民、用大型运载火箭。

第4节 美国人造卫星研制历程

美国在20世纪40年代和50年代初,先后就人造卫星和运载火箭研制的可能性和潜在的科学技术及军事价值进行了广泛的研究和讨论,工作之细致远远超过了苏联。然而由于美国政府和军事当局缺乏长远眼光,并且犯了指导思想和政策、决策的错误,致使人造卫星和运载火箭研究长期没有进入工程发展阶段,贻误了大好时机,以致于后来未能追上苏联的发展步伐。

40年代后期,美国有许多单位和个人探讨了人造卫星的可能性、运载火箭以及卫星应用等相关问题。这些研究虽然取得了一定的成果,产生了不同程度的影响,但美国政府并没有给予重视。50年代,随着“国际宇航联合会”的创立(IAF),关心人造地球卫星和进行高空研究的个人和团体越来越多。1950年9月30日,在一批热心人的倡导下,第一届国际宇航大会在巴黎举行。这次会议的一个重要成果是决定创立“国际宇航联合会”,并推举奥地利火箭专家桑格担任联合会第一任主席。这是世界航天形势发生转折的重要标志。1951年9月3日,在伦敦召开的第二次国际宇航大会上,国际宇航联合会正式创立,会议决定以国际合作方式进行飞往月球和其他行星的研究,并预言在10年内可以将50吨的卫星送上450千米的地球轨道。

在第二次国际宇航大会上,英国“星际航行协会”的盖特兰德等人发表了题为《最小的卫星运载器》的报告,产生了很大影响。这篇报告的一个特点是,考虑到将卫星送入轨道是第一位的,因此第一颗卫星应该是很小的。同一年,美国火箭协会成立了太空飞行特别委员会,旨在研究人造地球卫星的应用以及人造卫星计划的制定问题。同年,冯·布劳恩等许多火箭专家连续在美国《矿工》杂志上发表有关人造卫星和太空飞行的文章,引起美国各界对太空飞行的兴趣和关注。杜鲁门总统还特地请格罗斯博士(A. V. Grosse)调查发射一个“美国月亮”的各项准备工作,看看能否发射一个大型气球卫星,以便全世界都能在晚上看到。

美国第一个真正的人造卫星计划出自美国陆军弹道导弹局“红石”兵工厂冯·布劳恩小组。他和弹道导弹局的同事们对人造卫星和太空飞行始终怀有满腔热情。去美国多年,他确实受到重用,但由于导弹发展比人造卫星大占上风,因此冯·布劳恩只能把孩提时代的理想用文字表达。到美国后,他发表了大量文章和著作,热情鼓吹太空飞行。这类著作有《火星计划》、《征服月球》、《越过空间前沿》、《高层大气物理学和医学》。在承担“红石”导弹和“丘比特”导弹研制的同时,他就一直在考虑将“红石”导弹改装成运载火箭的可能性。他认为,如果在“红石”导弹上面加装几级固体火箭,那么最末一级完全可以达到第一宇宙速度。利用这种小型火箭,不需多少时间就可能发射成功第一颗美国卫星。这就是“轨道器”计划的最初设想。

美国海军研究实验室始终热心于人造卫星。陆军弹道导弹局的设想使他们感到制定一项

切实可行的卫星计划的时机已经成熟。于是,他们同冯·布劳恩等进行了接触。1946年6月25日,海军研究实验室和陆军弹道导弹局联合发起在华盛顿召开了一次非官方会议,参加会议的代表有海军研究局和研究实验室的萨丁(A. Satin)、胡佛(G. W. Hoove)、冯·布劳恩、施利德特(R. H. Schlidete)、美国国防部的牛顿(P. W. Newton)以及辛格等科学界和工业界代表。他们认为目前出现的许多人造卫星设想均不适合海军研究实验室的科学需要。为了在短时间内发射科学卫星,他们认为利用陆军的“红石”导弹加装固体上面级完全有可能实现这一目标。

1954年8月3日,海军研究实验室的代表和陆军弹道导弹局又一次在亨茨威尔聚会。冯·布劳恩在会上介绍了利用改装的“红石”导弹发射人造卫星的技术细节。这项计划的目的是,在最短的时间并以相当低的费用改装“红石”导弹,并利用其他可能得到的部件,制造卫星运载火箭。这次会议正式提出“轨道器”计划(Project Orbiter),它是美国陆军和海军的联合发展计划。陆军弹道导弹局负责将“红石”导弹改装成运载火箭,海军研究实验室负责研制人造卫星。会议还认为,这个计划是进入航天的第一步,以后还将发射更大、功能更全的科学和应用卫星。

1955年5月23日,“红石”兵工厂再次举行“轨道器”计划会议,这次会议的一个成果是产生了一份以弹道导弹局长梅达里斯(J. B. Medaris)将军和冯·布劳恩名义的报告《基于陆军炮兵局发展导弹的部件研制小型卫星运载火箭》。这份报告已先期报送白宫和其他有关单位,方案的批准则由国防部负责。在美国国防部还没有决定是否执行轨道器计划的时候,艾森豪威尔总统已正式批准了研制和发射国际地球物理年卫星的方案。总统新闻秘书哈格特(J. C. Haterty)在新闻发布会上说:“总统已于7月29日批准了一项计划,美国准备发射小型、不载人、绕地球飞行的人造卫星,作为美国对国际地球物理年贡献的一部分。”

1955年春,海军研究实验室原“海盗”探空火箭计划小组提出了一个“先锋”计划,空军有关单位也提出了一个用“阿特拉斯”导弹改装成运载火箭发射卫星的计划,航空喷气工程公司和马丁公司也提出了各自的卫星计划。所有这些计划都递交到国防部特别能力研究委员会即“斯特沃特”委员会(Stewart Committee)。经过几个月的研究论证,包括斯特沃特在内的许多委员会成员都认为“轨道器”计划最有可能发射成功人造卫星。但如果批准轨道器计划,那么发射人造卫星的工作将影响丘比特导弹的研制。“阿特拉斯”方案也有这个问题。因此1955年8月4日,斯特沃特委员会宣布海军研究实验室的先锋计划作为地球物理年发射卫星的计划。

陆军弹道导弹局事后反复要求国防部能批准“轨道器”计划,并指出“轨道器”计划并不是想同“先锋”计划竞争,而是想作为补充方案。国防部研究与发展政策委员会也提请国防部长注意,考虑到时间因素应当把“红石-轨道器”计划作为替代方案。但这一切都未能奏效,国防部长威尔逊宣布取消先锋计划以外的一切人造卫星计划。

国防部的决定是对弹道导弹局的一个重大打击,但国防部取消其他人造卫星计划并不等于完全消除一切与卫星有关的研究活动,而且冯·布劳恩也不会完全忘掉人造卫星。正像冯·布劳恩在事后的一篇文章中写的:“我们在亨茨维尔的人们不可能在心里抹掉人造卫星

的思想,我们也不会中止与卫星有关的硬件发展。”在梅达里斯和冯·布劳恩的努力下,陆军弹道导弹局和喷气推进实验室制定了一项合作计划,在“红石”导弹的基础上发展多级火箭,在公开目的上,这种多级火箭主要用于弹头再入的防热研究。这就是有名的“丘比特 C”多级火箭计划。

当然,这一计划的另一层含义也是很明显的。美国一位航天史学家曾写道:“实际上,在国防部下令取消‘轨道器’计划和所有卫星计划后不久,美国航天界流传着一种说法:陆军准备发射一颗人造地球卫星,以同海军的‘先锋’计划抗衡。这颗卫星可以解释为远程导弹发射失败,控制系统失灵而导致一场‘事故’,意外地把卫星发射到了轨道上。”

“丘比特 C”是 3 级火箭,它的第 1 级与“红石”导弹基本相同,只是长度增加,可以携带更多的推进剂,采用新的偏二甲肼和液氧发动机,推力比“红石”导弹略高,为 368.7 千牛,但工作时间比“红石”长得多。第 2 级环形安装 11 枚喷气推进实验室研制的“小上士”固体火箭,长约 1.37 米,直径 15 厘米,单台推力 6.67 千牛。第 3 级由 3 枚“小上士”火箭组成,它装在第 2 级的环内,能提供 24 千牛推力。“丘比特 C”火箭长近 20 米,底部最大直径 1.78 米,火箭总重约 28 吨。

1956 年 9 月 20 日,第一枚“丘比特 C”试验火箭在卡纳维拉尔角发射,成功地把一个载荷送到 1100 千米高处,最后落在 5500 千米远的地方。第二次发射是在 1957 年 5 月 15 日,这次试验“丘比特 C”顶端装了一个准备用于“丘比特”中程导弹的模型头锥,由于制导装置发生故障,试验件没有收到。1957 年 8 月 8 日的第三次试验取得高度成功。三级火箭将三比一试验模型送到了近 1000 千米的高空。它再入大气层时的速度达到 19300 千米/小时。最后,降落伞成功地在 2140 千米之外将其回收。这是世界第一次从外层空间安全回收人造物体。连续进行的三次试验证明了烧蚀防热方法的有效性,为美国的远程导弹发展解决了一个关键的技术问题。

“丘比特 C”取得成功后,陆军再度要求批准“轨道器”计划,但仍无结果。苏联试验成功洲际导弹和发射成功人造卫星的消息传到美国,立即引起了极大的震动和冲击。苏联划时代的航天成就给美国人带来的是自卑、失望、痛心和对美国科学技术的怀疑,更严重的是开始担心美国的安全。氢弹之父特勒(E. Teller)在电视讲话中说,如果苏联“在技术上超过我们,那么他们无疑将决定世界的未来”。他抱怨说,由于美国的科学技术落后于苏联,我们“在一场比珍珠港事件更重要更伟大的战争中失败了”。参议员塞明顿说:“除非我们的防御政策作根本性的改变,否则,苏联将进一步由领先发展到成为霸主。如果这件事不幸发生了,那么我们的地位将变得无足轻重。”国会多数党领袖约翰逊(L. B. Johnson)在民主党会议上说:“我们现在卷入或必须参与的紧急竞赛,不仅仅是拥有远程弹道导弹的竞赛,尽管它也异常重要。这是比任何超级武器都重要的竞赛。它决定了无上的地位——一种统治整个地球乃至太空的地位。”

新闻机构更加不留情面地挖苦和批评政府在这场竞争的失败。《纽约时报》在 11 月 10 日的编者按中说:“国家安全委员会……不但应当重新接受新的思想,而且应当迅速寻求有效

的补救办法,使美国在这场不仅是军备和声望的竞赛,而是生存的竞赛中重新获得领导地位。”

报纸上的讽刺漫画到处可见。有的报纸上还登出了打油诗讽刺美国的落后:

“噢,小小的卫星高高飞翔,
莫斯科造的广播在上安装。
你告诉我们这是共产主义的蓝天,
你告诉世界山姆大叔睡得正香。”

艾森豪威尔在回忆录中描述了当时的状态:“这一伟迹在整个自由世界掀起了一股恐怖的浪潮。报纸、杂志、电台和电视的评论员同街上的群众,异口同声地对这个表明不能再把俄国人视为落后,表明他们甚至在一切大规模的科学竞赛中打败了美国的铁证,深表懊丧。”艾森豪威尔也承认:“试图贬低这一成就或无视它对我们发生的警告都是无济于事的。我们必须加倍努力来保证在导弹和其他科学计划方面取得最大限度的进展。”

1957年10月9日,艾森豪威尔总统在电视讲话中,首先向苏联取得的伟大成就表示祝贺。接着,他通报了“先锋”计划的进展情况,指出美国的卫星计划正在顺利进行。他还告慰美国人民说,苏联发射成功人造卫星并没有对国家安全带来威胁。他说,之所以将卫星同导弹分开是保证科学卫星计划不带任何军事色彩,卫星获得的资料也向全世界公开,“如果我们的用于科学目的的人造卫星计划和军事计划合并起来,就可以在某个时候制造一个运行中的美国人造卫星,但是这样将有害于科学目的和军事进展”。新任国防部长麦克尔罗伊(N. McElroy)亦宣称:“就人造卫星本身说来,它并没有使我引起恐惧,一点也不。”

苏联发射成功第一颗卫星的消息才真正促动美国政府改变战略决策。弹道导弹局局长梅达里斯和冯·布劳恩第二天便向白宫请求执行“轨道器”计划。陆军部长布鲁克(W. M. Brucker)表示,陆军弹道导弹局“在做出决定之后四个月即可把一个卫星送入轨道”。冯·布劳恩也说:“对我们来说,只要计划得以批准,最多需要六个月时间。”10月25日,斯特沃特委员会终于批准“轨道器”计划。11月8日,国防部长授权陆军准备在1958年3月前发射两颗卫星。一周后,陆军弹道导弹局收到一笔用于卫星发射的350万美元专款,第一颗定于1958年1月30日发射。

鉴于“丘比特C”取得的突破,将其改制成运载火箭已不很困难,主要一点是提高它的末速,使之达到8千米/秒的第一宇宙速度。这枚运载火箭被命名为“朱诺-1”号,它是在“丘比特C”的基础上加装了一枚小上土固体火箭构成的一枚4级火箭。准备发射的卫星是喷气推进实验室设计制造的“探险者-1”号,它呈柱形结构,长约1米,直径0.15米,重仅4.8千克,上面装有范·艾伦(J. A. van Allen)博士设计的探测仪器——盖革计数器。为了保证发射和入轨的成功,发射的程序设计为:前3级火箭与第4级分离后,由第4级火箭加速把卫星送入轨道,这时星箭不再分离,而是一同入轨。因此“探险者-1”号在轨道上的实际长度达2米,重量约14千克。

1958年1月31日,在卡纳维拉尔角,“朱诺-1”号火箭将“探险者-1”号卫星送入了360

千米 \times 2 534 千米的地球轨道,从而使美国也跨入了航天时代。“探险者-1”号卫星虽然个头很小,但取得的科学成就却很大。这颗卫星在远地点处,星上的盖革计数器停止了计数。范·艾伦博士分析后认为,这是因为在这个高度上存在环绕地球的辐射带(后称范·艾伦带),使计数器达到饱和之故。范·艾伦辐射带是人类认识近地空间环境的第一个伟大发现。有趣的是,“探险者-1”号卫星一直在轨道上运行了12年,直到1970年3月31日才坠毁。不过由于电源之故,从1958年5月23日起,它就成了名符其实的在轨道上运行的铁块。

美国陆军弹道导弹局后来又研制了“朱诺-2”号火箭,运载能力比“朱诺-1”号提高了3倍。1958年到1961年,“朱诺-2”号共进行了10次发射,有效载荷包括“先驱者”3号、4号深空探测器和“探险者”7号和8号卫星。虽然只有4次取得完全成功,但仍获得了极其有价值的高空科学探测资料。陆军弹道导弹局“红石”兵工厂还构想了“朱诺-3”号、“朱诺-4”号和“朱诺-5”号运载火箭。前两种还在纸面上便已夭折,“朱诺-5”号的研究后来导致巨大的“土星”系列运载火箭的诞生。

与“轨道器”计划的成就相比,美国第一个卫星计划——“先锋”计划就显得不那么突出了。该计划与“轨道器”计划有非常相似的起源。50年代初,美国海军研究实验室在承担“海盗”探空火箭计划的时候,研究、设计和制造人员就形成了发射地球卫星和研究月球和近地行星探测用的发射工具的思想。由于都是一些科学家和工程师,因而他们所关心的主要是利用这些全新的探测工具研究近地空间,而不是它们的纯军事意义。1954年国际地球物理年特别委员会关于发射人造卫星的决议促使海军研究实验室进一步探索将海盗火箭改装成运载火箭的可能性。1954年到1955年春,他们的可行性研究最终导致“先锋”计划(Project Vanguard)的出笼。

1955年7月5日,海军研究实验室的罗森博士(N. W. Rosen)起草的“先锋”计划正式报告《一个科学卫星计划》提交给美国国防部。这份报告初步勾画了人造卫星的科学价值、卫星的发射工具、卫星的跟踪遥控以及发射卫星需要解决的问题。这份报告还提出了“先锋”计划的几大优点:“先锋”计划使用的运载火箭质量比大,因而能够发射更大的有效载荷;“先锋”火箭采用可摆动发动机喷管,因而控制更加可靠;“先锋”火箭具有进一步提高发射能力的潜力。此外,海军研究实验室的报告还列举了另一个优势:发展以“海盗”火箭为基础的运载火箭并不会丝毫妨碍正在加紧进行的军用弹道导弹的研制。经过不那么顺利的研究,国防部于1955年9月9日批准了海军的“先锋”计划。在这项计划中:国防部负责整个计划的领导,美国科学院负责为人造卫星设计科学研究项目,美国科学基金会负责承制“先锋”运载火箭。为协调各项组织和设计工作,美国海军特别设立了“先锋”计划办公室,海根(J. P. Hagen)博士被任命为主任。

尽管当初设计时“先锋”火箭采用“海盗”探空火箭作为第一级,但最后的方案却和“海盗”相去甚远。发动机完全更新,推力164.75千牛,工作时间142秒。第二级是全新设计的液体火箭。发动机是航空喷气工程公司设计的采用白发烟碳酸和偏二甲肼作为推进剂的火箭发动机,推力32.36千牛。发动机喷管也可以作正负偏转,提供飞行轨道控制。第二级的上端是

一个小型设备舱,内部装有3轴陀螺平台参照系、自动驾驶仪、时间控制计算机、点火控制系统和执行伺服机构。仪器舱上面是第三级固体火箭,推力为13.73千牛。第三级顶端装有“先锋”卫星。

“先锋”号卫星由国际地球物理年委员会和美国科学院联合设计实验项目,有几种不同的尺寸并带有不同的科学仪器。“先锋”1号为试验卫星,直径仅16.3厘米,重1.47千克,内装一台跟踪信标机和测量星内外温度的传感器。“先锋”2号卫星直径50.8厘米,重9.8千克,带有测量太阳X射线、地球云层和磁场传感器。先锋3号重45千克,内部装23千克探测仪器。

虽然“先锋”计划小组以及各承包公司这几年一直在不懈地努力,但由于这是一项十分庞大的工程,需要解决许多新的技术问题。因而“先锋TV-2”火箭第一级试验还未进行,苏联已抢先发射成功第一颗人造地球卫星。11月3日苏联发射了第二颗重型卫星后,再次给美国人以重大心理打击。美国公众的强烈反响和对美国卫星的企盼,使“先锋”计划无法按正常的科学程序进行。1957年10月,艾森豪威尔召见负责导弹计划的国防部官员和“先锋”计划负责人海根博士,了解导弹和卫星计划的进展情况。海根博士汇报说,如果“TV-2”试验顺利的话,将在12月份发射第一枚完整的“先锋”火箭进行试验。海根博士还强调,这仅仅是一次试验。

可是白宫新闻秘书哈格特在10月11日新闻发布会上却宣布:“先锋”计划将在不久发射一颗美国卫星。换句话说,白宫新闻官把首次进行完整的“先锋”火箭试验当成发射一颗卫星而开出了空头支票。这使“先锋”计划人员陷入尴尬的境地。正如海根回忆说:“白宫的消息发布给我们海军‘先锋’计划的全体人员和国防部带来了突如其来的重大冲击。可是,已没有可能更改或澄清哈格特发布的声明,因为新闻媒介已经早早‘上船了’,把我们首次进行完整的运载火箭试验说成是准备发射第一颗‘先锋’卫星。”海根还说:“事后看来,这真是一个不幸的事件,由于它,‘先锋’计划和美国的声望不得不再次承受巨大的和不必要的压力。”无奈,“先锋”计划领导人员只好决定冒险在第一次全箭试验时发射第一颗“先锋”号卫星。

1957年12月6日发射卫星的消息宣布后,美国新闻界纷纷派出采访团来到卡纳维拉尔角,许多政府官员和附近的老百姓也云集于此,而成千上万美国人则在电视机前等待着观看第一颗美国卫星发射的实况转播。但“先锋”TV-3火箭的发射却是一场惨败。火箭点火后不到2秒,上升了约2米时,由于发动机故障而失去推力,整个火箭折回发射台上,接着是爆炸和浓烟。这次失败对美国人自尊心的打击之深是可想而知的。

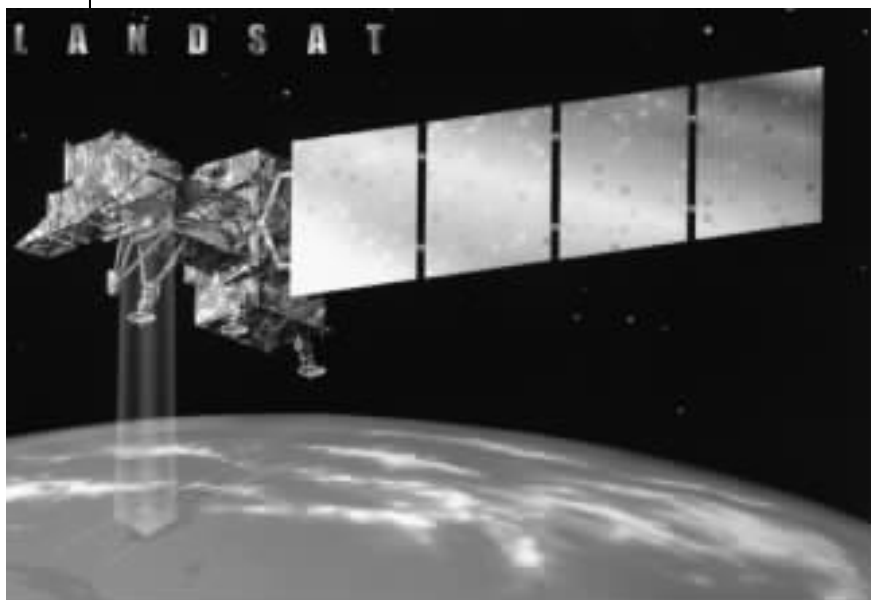
1958年2月5日,另一枚“先锋”运载火箭在发射时再次失败。直到1958年3月17日,“先锋”TV-4号火箭才首次把“先锋”1号卫星送入地球轨道。这颗卫星仅有1.4千克重,难怪赫鲁晓夫嘲笑说美国的人造卫星简直像一个葡萄干。1958年5月、6月和9月,3枚实用型“先锋”运载火箭在发射卫星时,由于上面级发生故障,均遭失败。1959年2月17日,第四枚实用“先锋”火箭才把“先锋”2号卫星送入轨道。接着,“先锋”SLV-5和SLV-6在4月和6月发射时,同样是由于上面级故障而失败。1959年9月18日,最后一枚“先锋”火箭SLV-7

号将“先锋”3号卫星发射入轨。从1957年到1959年,美国用全部11枚“先锋”运载火箭进行卫星发射尝试,只有3次取得成功。

冯·布劳恩把美国落后于苏联的原因归结为1955年以前,美国政府没有真正重视人造卫星和太空飞行问题。他说:“美国在1945至1951年间没有值得一提的弹道导弹的计划。在这些年间,俄国人显然为他们的巨大的火箭计划奠定了基础,这六年是无可挽回地丧失了……目前的困境不是由于我们现在努力不够,而是我们在战后的最初6年或10年里努力不够。”

第十一章

空间技术的应用概况



这是美国陆地卫星 7 号。民用卫星有多种类型,包括通信卫星、气象卫星、资源卫星等等。其中通信卫星对人类社会的经济、文化影响最大,其次是地球资源卫星。美国的陆地卫星系列是国际上著名的地球资源卫星系列。此外,法国、俄罗斯、中国、日本、印度以及欧洲都研制并发射成功了大量地球资源卫星。

苏美第一颗人造卫星相继发射成功后,在继续发展大型运载火箭的同时,也开始了卫星应用的探索。这一时期对航天技术的深化和应用化发展具有十分重要的意义。随着卫星开始投入使用,在不断探索过程中逐步形成了各种应用卫星系列。目前主要的民用卫星有通信卫星、气象卫星、资源卫星等,它们是经济效益和社会效益最大的卫星类型。可以说,各种应用卫星改革了世界面貌。在冷战的气氛下,苏美两国还大力发展军用卫星,发射了上千颗各种军用卫星。另外,天文卫星和探测器也获得了很大发展,人类揭示宇宙奥秘又有了全新的工具和手段。总之,航天技术对科学、社会、经济、文化、军事等产生了广泛而深远的影响。

第 1 节 传播信息的通信卫星

自从人类发明了电话和电报,远距离快速通信才成为可能。最初,人们只能通过有线的方式实现电话和电报传输,这就是有线通信。有线通信需要架设远距离通信线路,耗资惊人。电磁学的发展,诞生了另一种通信方式——无线电。利用无线电通信,可以不需要线路,但无线电通信也有其问题。我们知道,无线电波是直线传播的,由于地球表面是圆弧状,距离较远处就收不到信号了。解决这个问题的办法是建设一个个信号中转站,每个中转站的距离是 30 ~ 50 千米。这样做耗资很大不说,对于越洋通信,不可能在大洋中建设这样的中转站。假如采用中转站的形式实现北美到西欧的通信,那么中转站天线的高度要达到 640 千米。这显然是无法做到的。因此为了实现跨大洋通信,人们寄希望于海底电缆,这又回到了有线方式。

早在 1858 年,第一条横贯大西洋的海底电缆就建成了。由于操作员操作失误,给电缆加了 2 000 伏电流,使辛辛苦苦铺设的电缆毁于一旦。后来,又曾建设了几条越洋电缆,但由于没有合适的水下放大器,话音信号经过如此之远的距离衰减十分厉害,以致于这条电缆实际上不能完成远距离电话通信任务。水下放大器研制成功后,1950 年建成了从美国佛罗里达州到古巴哈瓦那的实验海底电缆。接着在 1956 年又建成了一条横跨大西洋的海底电缆 TAT1。这条电缆耗资达 2 500 万美元,但通话能力很低,只能同时进行 36 对双向电话通话。于是后来又陆续建成了从 TAT2 到 TAT5 大西洋海底电缆。1970 年建成的 TAT5 虽能进行 720 对电话通话,但仍然跟不上急剧增长的越洋通话的需要。由此可见,海底电缆通信不但耗资巨大,通信能力也不够。

看来,无论是地面台站接力式的无线通信方式还是海底电缆的有线通信方式,都无法满足日益增长的对信息传播的需求。那么进行远距离通信还有什么方法呢?

马可尼发明无线电报后,无线电报开始广泛应用。于是人们又开始探索无线电波远距离传播问题。电离层的存在和电离层反射电磁波的特性,使之成为远距离无线电通信的一种新途径。第二次世界大战前,利用电离层反射实现全球无线电广播初步实验成功。我们今天经常通过短波收音机收听地球另一面的无线电广播。广播信号就是通过地球上空数百千米高的电离层反射的。这种方式虽然至今仍在广泛采用,但它存在许多缺点:受太阳的影响极大,干

扰严重,衰减厉害,且保密性差,对此人们都深有体会。例如,收听这种广播在白天和夜晚效果不同,但都有噪音大的问题。因此,这也不是理想的远距离通信方式。

为了解决距离远、容量大、效率高、抗干扰强、保密性好的通信问题,人们又进行了大量研究工作。1945年,德国人利用雷达向月球发射了一个短波脉冲信号,几秒钟后,他们在接收机上接收到从月球反射回来的信号。虽然信号极其微弱,但这是第一次把地球外物体用于中继传递无线电信号。1946年,美国陆军通信兵开始利用月球作为信号中继站进行远距离无线电通信实验,取得了很大成功。尽管反射回来的信号很弱,只有发射信号能量的7%,但实验证明了利用地球外物体进行远距离信号中继的可行性。月球距离地球很远,月面的土质吸收电磁波很厉害,因此不适于作为信号中继站。如果利用一个不太高的物体,它能接收地面发出的信号,并能将信号放大再发回地面,也就是说把原来在地面上的无线电信号中继站搬到几百甚至上万千米高的太空,那么远距离通信问题就会得到圆满解决。人造卫星诞生后,这个设想终于变成了现实,这就是通信卫星。

粗略地说,苏美第一颗人造卫星都是一种通信卫星。因为卫星都可以向地面发回无线电信号。美国1958年12月18日发射的“斯科尔”卫星携带有艾森豪威尔总统圣诞祝词的录音带,在圣诞节期间向地球播放。它也可看作是一种通信卫星。1960年8月12日,美国发射了“回声”1号气球卫星,它是一种用聚脂薄膜做成的大型反射气球,表面喷涂极薄的一层铝膜,能反射98%的微波信号。它于1960年8月18日首次进行了图象转播实验,取得了成功。8月22日,美国又利用它首次进行了跨大西洋的通信实验,也取得了很大成功。1962年4月24日,“回声”1号首次成功地进行了电视传输实验,成为世界头条新闻。

第一颗真正的通信卫星是美国于1962年7月10日发射的“电星”1号。它是一颗实验卫星,轨道高度为952千米 \times 5632千米。卫星重77千克,星上装有简单的无线电通信中继装置和太阳电池。两个星期后,欧美第一次实现了横跨太平洋卫星直接通信。尔后的一年多时间里,美国先后发射了两颗低轨道通信卫星“电星”2号。它们都是为了解卫星通信性能的实验卫星,目的是为设计更加实用的通信卫星服务。

前苏联早期的通信卫星由于火箭运载能力低,本土远离赤道,因此采用4颗夹角为90°的“闪电”通信卫星,以大椭圆轨道交替实现24小时的电视节目、电话和电报传递。这种大椭圆轨道通信卫星往往需要多颗卫星才能实现24小时通信,而且给地面台站的跟踪、转换、接收等带来很大困难。因此,要使通信技术革命化,必须采用地球静止轨道通信卫星。

大运载能力运载火箭如美国的“德尔它”和前苏联的“闪电”号和“联盟”号火箭的研制成功,使发射静止通信卫星成为可能。1963年2月14日,美国用“雷神-德尔它”火箭首次发射了“辛康”1号静止通信卫星。但由于星上无线电信号装置失灵,这颗卫星未能进行通信服务。7月26日,美国又发射了“辛康”2号通信卫星,进入大西洋上空的同步轨道。由于它的轨道倾角是28°,所以它相对地面并非静止,而是走一条8字形路线。1964年8月19日,美国又把“辛康”3号同步卫星直接送入国际日期变更线(东经180°)附近的赤道上空,成为第一颗真正的静止通信卫星,利用这颗卫星成功地转播了东京奥运会的实况。

尽管美国的几颗早期同步通信卫星不很完善,但在通信实验中已显示出巨大的应用价值。1964年,在一些西方国家的倡议下,成立了国际通信卫星组织,初期美国占53%的股份。1965年6月28日,国际通信卫星组织发射了第一颗国际通信卫星1号“晨鸟”。这颗卫星呈圆筒状,直径0.72米,长0.59米,重39千克。当年这颗卫星进行240路的电话商业服务。此后近30年,国际通信卫星组织先后发射了国际通信卫星2、3、4、5、6、7、8、9号通信卫星,共有80颗以上。每一代的性能都大幅度提高。例如1980年发射第一颗国际通信卫星5号重1000千克,卫星上有4个展开式抛物面向太阳。该卫星有2路电视频道,12000多条话路。2001年发射的国际通信卫星9号共有56个转发器(42个C波段,14个Ku波段),寿命高达14~19年。

卫星技术的发展使通信发生革命性变化的一个重要方面是移动通信正在全世界开始普及。这是过去无法想象的。美国经20年建成的导航星全球定位系统虽然出于军事导航目的,但在过去几年中已成功用于全球个人移动通信中。鉴于国际信息业的发展趋势,目前一些国家的大公司出于商业目的,在80年代末90年代初又提出了几项大规模移动通信卫星系统计划。例如,美国摩托罗拉公司提出了“铱”系统计划,在7个轨道平面660千米高的轨道上布置66颗小型通信卫星,实现全球移动通信。该系统耗资33.7亿美元,于1998年11月建成使用。2000年3月因大面积亏损而关闭。2001年,该系统又重新开通。“全球通”系统也已部署完毕并开通。

随着卫星通信技术、数字技术和计算机技术的发展,一方面由于卫星功率和地面接受灵敏度的不断提高,卫星通信较高频段的开发应用以及卫星天线方向性的改善,使得小型地面接受装置(甚小孔径通信终端,即VSAT)得以出现。1984年,美国首先开始运行VSAT网,很快以成本低和使用灵活而迅速推广到欧洲、澳洲和亚洲。成为卫星通信的一个全新发展方向。与常规的大型地面站通信方式相比,VSAT通信网主要有以下特点:

1. 可提供多种业务:如提供数据、话音、视频图像、传真和计算机信息等多种信息的传输;
2. 设备投资和使用费用较低,一般可为用户节省40%~60%;
3. 具有较大的网络灵活性,网内用户可直接通信;
4. VSAT网的信道误码率较低,比地面站形式低几个数量级;
5. 设备和系统的可靠性较高;
6. 用户不受地理位置和地面站的限制,使用范围大大扩展;
7. 维护简单,易构成广播通信方式;
8. 保密性好。

由于VSAT通信网具有上述优点,它可在各个领域获得广泛应用,如交互式计算机通信;各种信息数据的发送、接受和交流;银行金融结算;电视会议以及电视教育;商品交易和定货;移动通信、电子邮件、股票交易、自动出纳等等。

大功率(几百瓦量级)转发器技术的进步以及VSAT技术的成熟,使电视直播卫星投入实用成为可能。电视直播卫星是卫星把电视信号直接送到用户接收机上,无需经过地面台站的

转发,这对于提高接收质量、方便移动用户和边远地区用户十分有利。美国在 1974 年发射成功具有大面积天线的 ATS-6 通信卫星,首次实现了直接电视广播和双向视频通信。80 年代中期以后,欧洲和日本也开始发展电视直播卫星和建立直播卫星电视系统。用户只须使用 45 厘米天线和小型接收装置就可直接收看卫星发送的新闻、体育、娱乐和信息服务节目。

利用卫星进行电视直播使用户能够直接收看卫星转发的电视节目。但以往一个卫星转发器只能转发一套电视节目,一个带有 32 个转发器的电视直播卫星最多也只能转发 32 套电视。进入 90 年代,美国成功地发展出数字视频压缩技术。利用这一技术,电视图像可以经数字化处理、压缩,这样原来一个转发器只能转发一套电视节目,经压缩后可以转发 4 套电视节目或 8 套电影节目,一颗带有 32 个转发器的卫星现在可以转发 128 套电视或 256 套电影。这一技术使人们通过直播卫星看到上百套电视电影节目成为可能。1993 年 12 月 18 日,美国发射了第一颗商用电视直播卫星,1994 年又发射了第二颗。这两颗直播卫星可为用户提供 175 套电视节目,使卫星电视直播进入了一个新时期。

人们将当今的时代称作信息时代,信息时代需要先进的信息传播手段。通信卫星可以说是一种革命化的信息传播工具,它使人类社会、经济、文化和人们的生活方式发生了革命性变化。通信卫星能够产生巨大的经济效益。应用通信卫星可产生直接效益、二次效益和三次效益。直接效益是直接经营通信卫星业务的部门产生的效益,二次效益是直接应用通信卫星的部门如通信部门产生的效益,三次效益是通信终端用户产生的效益。目前一颗中等容量的通信卫星有 24~30 个转发器,每个转发器年租金 200 万美元,这样一颗卫星的总年租金将达 0.48~0.60 亿美元。如果按话路租用计算,一颗卫星按 12 000 路计算,每条年租金 800 美元,则一年的总租金达 960 万美元。按 1989 年一份报告估计,通信卫星产生的年直接效益达 60 亿美元。美国两家咨询公司对通信卫星的效益进行了分析。提交的报告指出,国际通信卫星组织承担了 60% 以上的国际通信业务,年收益达 5 亿美元。如果考虑二次、三次效益,通信卫星产生的效益将放大许多倍。

一项研究表明,通信部门使用国际通信卫星使通信工业的年收益达 80 亿美元,这项二次收益比直接收益放大了 15 倍。考虑终端用户的三次收益,则又会放大很多倍。据估计,终端用户使用国际通信卫星而获得的收益达 400 亿美元,这个值比直接收益放大了 80 倍。如果把全球的通信卫星业务全部计算在内,估计通信卫星每年所获得的经济效益可达 3 910 亿美元(1989 年)。这些收益分解在主要终端用户上,大致情况是:银行业务 400 亿、商品贸易 100 亿、电视广播 250 亿、新闻出版 180 亿、交通运输 450 亿、保险业务 280 亿、制造业 260 亿、零售推销 300 亿、政府部门 200 亿、计算机 240 亿。

卫星通信的发展能够促进社会整体通信产业的发展。利用通信卫星建立通信系统,具有建设周期短、投资少、不受或较少受地理条件的限制,其优越性比其他任何通信手段无法相比的。举例来说,要建设西藏与成都间、新疆与兰州间的电话通信系统,若用铺设电缆的方法需要投资 10 亿元,如果采用通信卫星,投资不到 1 亿元,而且建设周期短、覆盖面积大、通信效果好。在电视广播方面,用地面微波系统年维护费用为 1.1 亿元,且只能覆盖 80%,利用卫星系

统年维护费只有 0.7 亿元,且能覆盖 100% 的国土面积。从投资看,地面微波系统至少是卫星的两倍。

通信卫星还会产生无法估量的社会效益。以卫星电视教育来说,无论对于发展中国家还是发达国家都十分重要。它可以解决边远地区师资缺乏、教育设施差的问题,对普及教育和培养师资都起很大的作用。通过卫星开展电视教育,可以对广大农村和边远地区进行文化和科技知识教育,对于农业经济的发展起到巨大作用。通信卫星在电视教育、医疗卫生、文化娱乐、灾害预报等方面产生的效益十分巨大,对社会进步起重大作用,而且影响非常深远。

第 2 节 测云卜雨的气象卫星

气象观测和预报与国民经济和人们日常生活息息相关。由于气象与农业、自然灾害预防、交通运输、人们日常出行都有密切关系,因此气象研究和预报在古代就引起了人类的高度重视。中国古代劳动人民根据长期的观察和经验积累,总结出许许多多预报天气情况的农谚,像“天上勾勾云,地下雨淋淋”、“蚂蚁搬家,大雨哗哗”都是连儿童也耳闻能详的农谚。但是,天气的变化是复杂的,太阳、海洋、河流、湖泊、山脉都会影响天气。有一个十分形象的说法,在南美热带雨林一只蝴蝶扇动一下翅膀,几天后可能会给西欧带来一场大雨。这个说法虽然有些夸张,但却道出了这样一个实际情况:细小的因素也会给天气带来重大影响。

每天的天气是怎样变化的呢?气象学家认为,天气变化取决于大气扰动的发展和运动。地球只有一个大气层,因此大气扰动的范围极大,从几百千米乃至数千千米,而且在一昼夜间,大气扰动的影响可扩展到上千千米。预报一个地区的天气情况,就需要对周围广大地区的大气状况进行监测,范围要上万平方千米。如果要进行几天后天气的预报,则需要半个地球的气象信息。如果预报时间再长,则必须依靠全球气象资料。这么多气象信息资料从哪里来呢?

以前的办法只有一个,就是在全球范围内建立气象观测站。为了研究天气,全世界已建成成千上万座气象站,单单我国就有 2 360 多个。这些观测站日复一日地监测着大气,对气压、气温、水汽、云量、风速进行测量。此外,人们还采取其他手段探测高空大气的情况,如气象气球、探空火箭、遥控飞机等。它们携带各种气象仪器,测量高空大气的参数。这些仪器能够获得一定数量的气象信息,为地面气象站提供补充,但也无法覆盖更大的范围,且观测时间有限。地球表面实在太大了,高山、高原、戈壁、极区,以及占地球表面三分之二的广博的海洋,那里根本不可能建设观测站。即使在陆地上,高山、高原、戈壁、极区等人迹罕至的地区又占了相当大的部分,在那里建设气象观测站也十分困难。这样气象资料大量空缺,这就使气象研究和预报所依据的数据和资料不充分,难以做到及时准确的预报。

50 年代初,火箭事业的发展以及大量关于发射卫星进行科学探测的建议,使人进一步设想利用卫星进行气象观测的价值。但气象部门对此感到怀疑,代表人物是美国气象局局长福克斯勒。就在他试图证明这个设想完全是荒谬的过程中,他得出了完全相反的结论:卫星可能

成为气象观测的最佳手段。于是,威克斯勒这个气象卫星的怀疑者后来转变成有力的支持者。

人造卫星诞生后,由于威克斯勒的坚持,最初的气象观测试验开始了。1959年2月17日美国发射了“先锋”2号卫星,这个卫星上装有望远镜和光电管,计划对经过区域的云层光辐射进行拍摄。由于没有精确控制好,卫星没有获得任何云层光辐射信号。1959年8月7日发射的“探测者”6号再次进行试验,它成功的拍摄到一片月牙形地球和墨西哥上空的云图。

美国军方对卫星用于气象观测进行了较长时间的研究。1959年4月,他们将研究工作和已取得的成果移交美国宇航局。宇航局在此基础上很快研制出第一颗气象卫星“泰罗斯”1号。它于1960年4月1日发射成功。“泰罗斯”是英文“电视与红外观测卫星”的缩写,它用电视摄像机拍摄地表及云层图像,研究这些图像用于天气预报的可能性,用红外探测器测量大气热辐射及温度。它在运行期间,共拍摄了23 000张云层照片。尽管由于卫星本身不稳定等因素造成图像质量不高,但它却显示了卫星进行气象观测的可行性和巨大价值。此后一个时期,气象工作者便利用云图与实际的天气系统变化发展进行对比,形成了一系列判读云图的原则,例如把云图上的云按亮度、构造、颜色、高度、外形、大小来划分。这些工作为卫星气象学奠定了重要基础。从1962年4月15日起,美国正式利用云图分析进行天气预报了。

到1964年,美国又发射了“泰罗斯”2号到“泰罗斯”8号卫星。这些卫星都取得了很大成就。“泰罗斯”2号用于勘察海上浮冰。1961年7月12日发射的“泰罗斯”3号则用于搜索飓风。这颗卫星不负重望,从1961年7月到1964年12月,它向全世界发出了1 000多次风暴预警,预报了118个飓风,避免了无数财产和生命损失。袭击美洲大陆的“卡拉”号飓风是少有的大飓风。由于“泰罗斯”3号在3天前就准确预报它的到来,从而使受威胁地区的居民得以疏散,使生命财产的损失出奇的小,只有少数几个人丧生。有人估计,“泰罗斯”3号卫星工作期间至少避免了几十亿美元的损失。1年后发射的“泰罗斯”5号也用于飓风搜索。它在工作期间也取得了很大成绩,被誉为“飓风猎手”。

1965年1月22日,“泰罗斯”9号发射成功。这个卫星进行了重大改进,一是卫星的相机能够连续发送拍摄的图片,这样世界各地的接收站都能接收卫星实时发送的卫星云图,这对及时进行云图分析和天气预报极为有利;二是卫星首次采用了太阳同步轨道,不但能够拍摄整个地球的表面图像,而且由于卫星的偏转正好与地球绕日转动速度一致,卫星在进行拍照时能够获得最好的太阳光照条件;三是卫星的定向技术得到改善,从而使拍摄图片的变形得以消除。

气象卫星的出现为气象观测提供了革命化手段。气象卫星观测的地域广阔、观测时间长、观测数据汇集迅速,因而能提高气象预报的质量,对长期天气预报更有重要意义。气象卫星所提供的气象资料已被广泛用于日常气象业务、气象科学、大气物理、海洋学和水产学的研究。

气象观测对气象卫星的要求相当严格。除必须有很好的轨道和姿态保持精度、可靠性高、寿命长外,星上仪器的数量和质量也是关键性的因素。早期“泰罗斯”系列卫星带有试验性质。卫星装有红外扫描辐射计和地球辐射仪,一对小型电视摄像机。电视摄像机使用的1.27厘米的摄像管,因而拍摄的云图照片分辨率低,质量差。1966年后,美国建成了“泰罗斯”业务卫星系统,提供全天全球范围的气象观测资料。该系统由两颗“艾萨”(“美国环境科学服务

局”的缩写)气象卫星组成。它们都位于太阳同步轨道,轨道倾角 102° ,轨道高度1400千米。“艾萨”气象卫星装有2.54厘米的大型电视摄像机,拍摄的云图质量有了明显的提高。到1969年,“艾萨”气象卫星共发射了9颗。但第一代卫星的精度和容量仍不能满足气象研究和观测的需要。

1970年1月23日,美国发射成功第一颗第二代气象卫星“艾托斯”1号。“艾托斯”气象卫星也位于太阳同步轨道,它的观测能力相当于两颗“艾萨”号卫星。从1970年12月11日发射的第二颗“艾托斯”卫星开始,这个系列被重新命名“诺阿”(美国“国家海洋大气局”的缩写)。“诺阿”系列是国际著名的太阳同步轨道气象卫星系列,共发射了14颗。它们的观测能力、精度和寿命都迅速得到提高。它主要用于获得局部地区高分辨率卫星云图。

从60年代开始,美国制定了一项雨云卫星计划,它的目的是建立一个气象观测系统,满足全国科学家和气象台进行研究和预报的要求。1964年到1978年间,美国共发射了7颗雨云卫星。它为发展气象卫星新技术和建立第三代卫星气象观测系统作出了重大贡献。第三代太阳同步轨道气象卫星系统命名为“泰罗斯”-N,1978年开始投入使用。该系统采用“诺阿”系列卫星,同一时期保证在轨道上同时有两颗卫星,它们的轨道面相互垂直,即相差 90° 。第一颗“诺阿6”号于1978年10月13日发射成功,进入一条高1288千米倾角 99° 的太阳同步轨道。此后每隔两三年发射一颗,到1994年12月30日发射到“诺阿”14。其中1993年发射的“诺阿”13号因太阳电池故障而无法使用。美国还计划制造和发射3颗“诺阿”系列卫星。

“泰罗斯”-N气象观测系统的“诺阿”系列卫星性能有了较大提高。它除了能够获得可见光和红外波段的昼夜相片外,还增加了紫外波段测量功能,能得到更精确的海面温度图以及识别雪和海水的资料。卫星上还装有高分辨率红外探测器,平流层探测器以及微波探测器,能够获得大气资料的垂直分布。卫星上还装有一个太阳环境监测器,测量质子、电子和 α 粒子密度,用来预报太阳扰动。目前,世界许多国家包括中国都接收“诺阿”卫星发回的气象资料。

低轨道气象卫星和太阳同步轨道气象卫星的特点是观测精度高,但视野相对较小,预报的范围有限。60年代中期,由于大推力运载火箭的发展,静止轨道气象卫星应运而生。1966年12月7日,美国发射了第一颗静止气象卫星“应用技术卫星”1号,以后又发射了两颗这种卫星。这些卫星是为发展新的静止气象卫星服务的,它们证明了静止气象卫星的价值,能连续观测地球表面近乎三分之一的广大地区。70年代中期,美国发展了第一代实用静止气象卫星“地球静止业务卫星”,英文缩写是GOES。卫星外形呈圆柱体,高2.6米,直径1.9米,重294千克,寿命为3年。它装有40厘米口径的可见光和红外扫描望远镜,可见光和红外自旋扫描辐射仪。它能够通过对连续观测的云图进行数据处理,获得风速和风向的资料,并有较高的精度。卫星能昼夜观测云层运动,测定温度分布、云系和风速,每三小时向地面发回一次适用的云图资料。此外,它还能够转发地面观测台站探测资料。静止气象卫星能够监视大范围天气系统的演变情况,极轨气象卫星则观测特定地区天气系统的细部,二者相互补充为气象研究和精确天气预报服务。

GOES气象卫星的两颗样星分别与1974年5月和1975年2月发射成功。第一颗实用卫

星 GOES-1 于 1975 年 10 月 16 日发射成功。1977 年 6 月 16 日 GOES-2 发射入轨。1978 年 6 月 16 日又发射成功 GOES-3 号。第二颗样星和这三颗实用星的定点位置相差 40° 左右,形成全球观测能力。到 1995 年为止,GOES 卫星共发射了 10 颗。它们为全球气象观测和各国气象预报事业做出了突出贡献。

前苏联发展气象卫星的工作晚于美国。从 1962 年开始,前苏联利用一些宇宙系列卫星进行了气象观测试验工作,包括宇宙 44、58、100、118 等。后来研制出“流星”系列近极轨气象卫星。1969 年 3 月 26 日开始发射“流星”1 型实用气象卫星,到 1981 年共发射了 31 颗。1975 年开始发射“流星”2 型,到 1993 年共有 21 颗发射并投入使用。欧空局自 70 年代开始发展第一代静止气象卫星“欧洲气象卫星”。1977 年和 1981 年,分别发射了两颗静止气象卫星。1988~1993 年又发射了第三、第四、第五和第六颗“欧洲气象卫星”。从 1991 年起,欧空局已着手研制第二代静止气象卫星。日本也很重视气象卫星,自行研制了“葵花”系列静止气象卫星。第一颗是 1977 年由美国德尔它火箭发射的。第二和第三颗则用自己的 N-2 火箭于 1981 年和 1984 年发射成功。1989 年 9 月 6 日,日本用 H-1 火箭发射了第 4 颗“葵花”卫星,1993 年又发射第 5 颗“葵花”。印度也自行研制了多用途气象卫星。

60 年代初,中国已对气象卫星技术和大气遥感问题进行了初步探索。从 70 年代起,中国开始接收国外气象卫星发出的资料,对云图分析、红外和微波遥感以及天气预报进行了大量研究工作。80 年代,引进了美国“泰罗斯”-N 系列气象卫星单站接收处理系统,1986 年 10 月 1 日,中国首次在电视中播发了卫星气象云图和气象预报。1988 年 9 月 7 日和 1990 年 9 月 3 日,中国先后发射成功两颗“风云一号”极轨气象卫星。在这两颗卫星正常工作期间,中国气象预报工作采用了自己的高质量卫星云图。除使用“风云一号”卫星的云图外,中国通常都是接收和使用美国的“诺阿”极轨气象卫星和日本的“葵花”同步轨道气象卫星的资料。1997 年 6 月 10 日,中国成功发射了第一颗“风云二号”静止气象卫星。第二组“风云一号”也相继发射成功。目前中国的卫星云图已实现了自给。

气象卫星的社会价值已越来越明显。当今,全世界约有 50 多个国家处于台风威胁之中。据粗略统计,每年平均财产损失达 60~70 亿美元。由于气象卫星及时预报每次台风的早晚和移动情况,使有关地区能较早采取预防措施,只此一项即可减少约 10 亿美元的财产损失。由于气象卫星的价值,世界各主要国家都极其重视气象卫星的发展。目前,发射的气象卫星已达 150 颗以上。新技术新设备的不断更新,使气象卫星的观测能力不断提高。全球性的气象卫星观测网大大提高了气象预报的精度和及时性,并能预先预报灾害性天气,为社会发展作出了巨大贡献。可以预计,气象卫星在社会、经济、环境、科学技术乃至军事的重要作用还将日益显著。

气象卫星是对地观测卫星中十分重要的一种。日常气象预报是气象卫星的基本功能之一。气象卫星资料还可用于数值预报、中长期天气预报和气象科学研究。它还可广泛用于地球环境的动态监测。利用极轨卫星上甚高分辨率扫描辐射计的资料可以监视地表和海表特征,服务于森林火灾监视、洪涝、农业病虫害、作物产量、渔业、海冰、泥沙等监测。卫星图像可

以监视海冰情况,对远洋运输至关重要;卫星图像可以监测河口泥沙,对航运、水利、港口的建设和发展十分重要;卫星图像还可用于监测土壤温度、地表温度、高原积雪、沙尘暴、城市热岛、地震前兆、森林虫害、地质构造、海洋水色、环境污染等,对科技、经济、环境以及人类生活各方面都有深刻的影响。

第3节 探矿寻宝的资源卫星

对地观测卫星又称遥感卫星是应用卫星的一大类型,其中各种地球资源卫星是和人类生活联系最密切、在国民经济中应用潜力最大的实用型卫星之一。早期发射的大量卫星虽都兼有对地观测任务,但由于许多相应的技术和设备还没有出现,获得的有关资料难以辨认,因此对地球资源的探测并没有取得多大成果。70年代,由于卫星姿态控制精度的提高,新型遥感仪器和高分辨率照相机的出现,专用的地球资源卫星终于出现。虽然与其他许多卫星相比,地球资源卫星出现的较晚,但它的发展却相当迅速。目前许多航天大国都拥有了自己的地球资源卫星系统,为国家带来了很大的经济效益和社会效益。

地球资源卫星的出现与许多相关技术的发展有着密切联系。一项十分重要的基本技术是红外探测技术。早在二次世界大战期间,军事部门非常关心的一个问题是透过伪装弄清里面藏着的军事装备。例如,在丛林中,坦克和大炮等装备被用绿色伪装掩盖着,利用空中侦察怎样才能把这些装备识别出来呢?

科学家们通过一些观察和研究发现,红色并不是严格的红,绿色也不是严格的绿。这是由于自然光并非单一频率造成的。如果对两个红色目标进行拍摄,并在镜头前放置滤色镜,使透过光的光谱变窄,这样就会发现这两个红色目标的颜色是有差异的。一个可能红中微微带黄,另一个可能是红中微微带蓝。这些微小的差别我们人的肉眼分辨不出来,但在滤色镜和感光片下,差别就显现出来了。

科学家们由此又进一步设想,如果用感光范围更宽、包括红外的感光片进行拍摄会发生什么情况。红外线是人的眼睛看不到的,但底片上能显示出来。美国加州大学教授科威尔在40年代中期首先进行了一项这类研究。他所关心的问题是导致小麦、谷物大量减产的病害——秆锈病。他十分惊奇地发现,原来难以区分的健康植株和受害植株在冲出的底片上很容易区分,因为后者的颜色带有暗黑色。

这一发现对农业有重大意义。因为在早期人眼尚未察觉前就发现这种病害,可以及早采取措施抑制病害的蔓延,避免大面积减产。

然而,这个发现并不为很多人所知,倒是首先引起军事部门的注意。由这个发现进一步设想,既然用红外底片可以区分健康的和染病的植物,也一定能够区分有机物和无机物。情况正是如此,在一般条件下,植物都有一种能发出波长十分精确的红外线的特性。用红外底片拍摄,不同的植物会显示出色调不同的红色,把底片制成相片,得到的不是天然彩色照片,而是一

种假彩色片。在假彩色片上,死了的植物呈现黑色,健康植物则是红色,无机物呈现蓝色。

这个重大发现为军事部门进行空中侦察、揭露伪装提供了可能。利用红外假彩色片,可以将隐蔽在丛林中的武器装备轻易识别出来,因为这些装备在假彩色片上是蓝色,而森林植物是鲜艳的红色。越南战争时期,美国利用这项技术发现了许多隐蔽在丛林中的道路、重武器和暗堡。红外探测于是成为军事侦察中非常重要的技术手段,日益得到广泛应用。

上述发现揭示了这样一个事实,大自然中的任何物质,不论是有生命还是无生命,都以它们自身特有的方式发射、吸收和反射电磁波辐射,从而给出不同物体特有的频谱“标记”,这种特有规律在物理学上称物体的光谱特性。也就是说,大自然物质有它自己的“指纹”。例如,植物几乎不反射蓝色,而非生物特别是雪反射蓝色较强;又如,阔叶林(白杨、白桦等)反射红外辐射比针叶林(松、杉等)更强,小麦反射绿色光谱段最强,木本植物、森林景观和枯萎植物在不同光谱段的反射特性是不同的。如果把这些“指纹”纪录下来,并进行详细识别,那么就有可能揭示出大自然的许多奥秘,包括植物生长、矿藏、海洋、江河以及人类的活动等各方面信息。对于金属矿藏,它虽然深埋在地下,但由于金属受太阳照射会辐射出热量,春天表层积雪会将这个特性反映出来。这些认识形成了遥感技术的基础。

空间遥感并未这样很快变成现实。一是航天时代刚刚开始,一切都处在探索阶段,空间遥感似乎还很遥远;二是上面所说的红外探测技术只受到军方重视,一般人还不很了解;三是人们普遍对在那么高的轨道上运行的卫星能够分辨地面的细小物体感到怀疑;四是对“指纹”的识别还没有任何经验。

对地球资源进行观测,必须掌握大量的不同资源的信息特征即光谱特性,也就是说要首先建立大自然的“指纹库”,以便能够识别资源照片上的不同资源。从60年代中期开始,美国科学家已开始有意识进行这项工作了。美国密执安大学红外光学实验室在1962年就进行了“地球资源光谱信息”的研究。首先要弄清的是不同物质在光照下的指纹特征,其次是找出这些指纹在哪些波段下的差别最大。这样,除了用红外底片纪录外,还须用各种不同的电磁波如微波波段进行拍摄,得出的照片与红外照片迭在一起,形成假彩色照片,即所谓的多光谱照片。实验的第一步,他们采集了许多岩石、沙土、植物到实验室,测出它们的反射特性,得出了许许多多的“指纹”,然后又到野外进行实地测量,搜集自然状态下不同物体的电磁波反射特性。这样,“指纹库”规模越来越大,并且在不断更新。下一步工作就是通过实际的太空拍摄,检验这个思想究竟是否可行。

1969年3月,美国“阿波罗”9号飞船第一次将四台光谱照相机带到太空,其中三台加装可透过可见光的滤光镜,一台加装可透过红外线的滤光镜。用红外底片拍摄,得到了纯植被专题地图。与此同时,航空测绘实验工作也在进行,得到的照片与地面照片对比,检验空中测绘的准确性并进行修正。到60年代末,科学家从空中和太空鉴别各种植物的准确性可达95%。植物生长情况、庄稼收成、病虫害情况也都能区分开来。

1966年美国宇航局提出了“地球资源观测卫星计划”。在大量研究和实验的基础上,美国于1972年7月23日发射了世界上第一颗地球资源卫星,即“陆地卫星”1号。“陆地卫星”位

于高度约 920 千米的圆形太阳同步轨道上,倾角 99° 。1975 年 1 月 22 日,美国又发射了“陆地卫星”2 号。这两颗卫星承担起了对地观测和资源勘探的任务。卫星上带有多光谱扫描仪、反波束光导管摄像机、宽频磁带记录仪和一套数据收集和转发系统。它们每天绕地球旋转 14 圈,每一圈观测或拍照的范围为一个 185 千米宽的条带,每帧照片幅度为 183 千米 \times 98 千米。第二天卫星轨道向西偏移 159 千米,这样每天拍的照片与前一天有 24 千米的的重迭区。经过 18 天后,卫星轨道又回到原来的地方,实现对同一地区重复拍摄。

地球资源卫星装有各种遥感仪器。这些仪器按工作波段可分为两类:可见光和红外遥感器,包括机械式多谱段扫描仪、电荷耦合器件阵列、返束光导管摄像机和专题绘图仪等;微波遥感器,包括微波辐射计、微波散射计和合成孔径雷达等。

美国的“陆地卫星”显示了巨大的应用价值。它不但在找矿方面发挥了巨大作用,而且可以考察农业作物种类、生长状况、收成情况、地质结构、地质断层、岩石类型、土壤特性、地面含水线、地表水源分布、工业污染程度。1982 年 7 月 16 日美国在白沙试验场发射了重 2 000 千克的“陆地卫星”4 号,进入近地轨道后不久就出现了故障。1984 年 3 月 1 日,又发射了“陆地卫星”5 号,接替 4 号卫星。“陆地卫星”于 1979 年由美国商业部管理进入商业经营。由于它的成功,1985 年又开始研制新一代地球资源卫星“陆地卫星”6 号和 7 号。1993 年,“陆地卫星”6 号发射升空。它的发射重量为 2 800 千克,运行轨道是高 705 千米的太阳同步轨道。其全色波段空间分辨率达 15 米。

70 年代后期,美苏等国又开始研制和发射专门用于海洋勘察的海洋资源卫星。美国 1978 年 6 月发射的“海洋卫星”1 号与末级火箭连在一起重约 2.3 吨,带有 5 种遥感仪器,包括 L 波段合成孔径雷达、雷达高度计、微波散射计、微波辐射计、可见光和红外扫描辐射计。它可以观测海水特征、海水漂移、水陆界面、海水波浪、海面温度、海水分布和海面风、海流、海冰岛屿等,也可以寻找鱼群、绘制航路和海底地形图。80 年代国际海事卫星组织的成立,为人类认识海洋、利用和开发海洋、预报海事灾害发挥了巨大作用。

其他国家也加入到研制地球资源卫星的行列,前苏联在 70 年代曾研制和发射了几颗试验性地球资源卫星,被混编在宇宙系列卫星中。1979 年 5 月 17 日,前苏联发射了新一代地球资源卫星的第一颗“宇宙”1099 号,进入一条很低的地球轨道。在地球资源卫星领域,除美国外取得成就最大的是法国。1986 年 2 月法国发射了第一颗耗资 4 亿美元的地球资源卫星“斯波特”1 号。这颗卫星重 1.85 吨,分辨率 10 米,超过了美国的陆地卫星。它在运行期间,通过向别国出售资源卫星照片,取得了可观的经济效益,估计每年可获利 4 000 万美元。1990 年、1993 年、1998 年“斯波特”2 号、3 号、4 号资源卫星相继发射成功,给法国带来很大的经济效益。

欧洲空间局几大成员国和加拿大联合研制了“欧洲遥感卫星”1 号。研制计划始于 1981 年,经过 10 年的研究,“欧洲资源卫星”1 号于 1991 年 7 月发射成功。这颗卫星带有微波遥感器,代表了 90 年代微波遥感的技术水平。卫星的主要遥感器包括有源微波仪、雷达高度计、扫描辐射仪、精密微波测距测速仪。卫星运行在 777 千米高的太阳同步轨道上。这颗卫星得到

国际关注,已有十几个国家计划付费接收该卫星的遥感资料。重 2 516 千克的“欧洲遥感卫星”2 号于 1995 年 4 月 20 日发射成功。它增加了全程跟踪扫描辐射仪。

日本对资源卫星也十分重视。1987 年 2 月和 1990 年 2 月日本发射了两颗海洋观测卫星,为日本获得了大量有关海洋资源和环境的数据。1992 年 2 月,日本又发射了第一颗地球资源卫星“芙蓉”1 号。日本还计划研制和发射“先进地球观测卫星”和“热带降雨观测卫星”。前者将装备包括美国和法国提供的遥感仪 8 台。后者主要用于测量热带降雨量,为研究全球能量循环提供资料,美国将提供卫星平台和遥感仪器。这些卫星不单用于资源勘察,还兼有环境监测功能。

降美、俄、法、欧、日外,印度也对遥感卫星极为重视,1988 年和 1991 年,印度自行研制的第一代两颗遥感卫星由前苏联的运载火箭发射升空。1993 年和 1995 年印度的第二代两颗遥感卫星也发射入轨。这些卫星对印度资源勘察、环境探测、农业观测等作出了巨大贡献。中国发射的 17 颗返回式卫星也兼有资源勘测任务,在农业、渔业、环境、林业、矿业等方面取得了大量有价值的遥感资料。中巴合作研制的“资源一号”和“资源二号”卫星分别于 1999 年和 2000 年发射成功。

地球资源卫星的应用范围实在太广泛了,它已远远超出了“资源”这一范围。在农业方面能够估计作物的产量、估计土壤含水量、早期预报病虫害、报告森林火灾、野生动物调查、渔讯探测等,在环境监测方面能够调查内陆水资源、监视海岸侵蚀、进行地震和火山探测、地理绘图和地质学研究、大气流以及海湾污染调查、臭氧层监视等,在矿物调查方面,能够通过岩石的光谱特征和地形的类型来识别矿物种类和储量、对地下能源进行查明和估计储量、勘察海洋石油资源等。

地球资源卫星是经济效益极高的多用途卫星。地球资源卫星目前已形成了仅次于通信卫星的第二大航天产业。资源卫星已越来越成为一种多用途的遥感卫星。它至少有 40 多种以上不相重复的用途。在美国,地球资源卫星每年可获取几十亿美元的收益。自 1977 年至今,美国总获益高达上千亿美元。据美国农业部估计,地球资源卫星每年给美国农林牧业至少带来 30 亿美元的收益。前苏联地质学家利用资源卫星的遥感照片,一年内取得经济效益约 4 000 万卢布,寻找石油和天然气方面的经济效益超过 1 亿卢布。前苏联自己估计,向国土资源卫星投资 1 卢布,就可为国家创造 10 卢布的收入。我国利用返回式遥感卫星和国外资源卫星的图像,在寻找金矿、煤矿、铀矿、油气矿、有色金属矿等方面取得了丰硕成果。新疆塔里木油田的发现也得益于资源卫星图像。据统计,包括气象卫星和资源卫星资料应用在内,我国遥感技术的经济效益十分明显,投入产出比为 1: 25。资源卫星的社会与经济效益都十分明显。

第 4 节 天文卫星与探测器

天文学是最古老的科学学科之一,但直到近代以前,人们对天体宇宙的认识还相当粗浅。

哥白尼建立了日心说后,天文学才走上健康发展的道路。伽利略时代,望远镜的发明使天文观测有了全新的手段,可以说望远镜对于哥白尼日心说地位的确立起到了至关重要的作用。但是,利用地面望远镜所能观察到的宇宙和星星的细节仍然十分有限。航天时代以来,天文观测有了全新的革命化手段。短短几十年间,上百个探测器和科学卫星发射了,科学家可以就近甚至直接登陆观测一颗颗过去可望而不可及的天体。航天技术的发展促使空间天文学的诞生。现在,人类的创造物已飞出太阳系,正向宇宙深处漫游。天体和宇宙的奥秘正一个个向人类展示。

自苏美第一颗卫星发射成功后,宇宙空间研究便开始了。早期的卫星大都带有探测宇宙物理环境的仪器,获得了一批有重要价值的成果。在卫星技术和运载火箭技术逐步成熟后,专用的空间探测器和天文卫星出现了。探测器研制和发射,主要着眼于观测研究太阳系中的天体。它们使天文观测手段发生了革命性的变化,不但能够就近观测,甚至还能直接登陆被观测天体,直接获得极有价值的第一手资料,从而极大地丰富了太阳系研究成果。人类发射的第一枚探测器是月球探测器,尔后逐步开始发射金星、火星、外行星探测器。

观测研究月球也是逐步深入的。首先是向月球发射简单的无人探测器,尽可能靠近月球进行就近观测,接着是向月球发射能够精确定向的探测器,使之击中月球进行探测(硬着陆),然后是发射带有制动装置的复杂探测器,使之能够在月球上软着陆或成为绕月球飞行的卫星,最后是发射载人飞船登月考察。向月球发射探测器必须满足两个基本条件,一是它要达到每秒 11.2 千米的第二宇宙速度;二是必须准确计算和控制飞行方向,使之尽可能靠近甚至击中月球。在早期的月球探测过程中,运载火箭的推力又是关键中的关键问题。如果运载能力不够,探测器根本就不可能离开地球。这样就完不成任何空间探测任务。开始阶段的一些失败,往往也都是出自运载火箭上面。1958 年 8 月到 12 日,美国共发射了 4 个“先驱者”号探测器。第一个探测器在发射到 16 千米高时,运载火箭发生了爆炸,探测器也粉身碎骨。10 月 11 日发射的“先驱者”2 号,已经达到距地球近 11 万 4 千千米的高度。但由于运载火箭的能力不足,未能将探测器加速到第二宇宙速度,因此最终这几个探测器都落回了地面。不过,它们虽然没有获得关于月球的探测资料,但做出了其他一些重要发现:“先驱者”1 号第一次测量了范·艾伦辐射带的范围,并获得了有关行星际空间磁场的第一批测量数据。1959~1960 年间,美国相继发射了 4 个先进的“先驱者”号探测器。它们装有小型火箭发动机。由于运载火箭表现欠佳,发射全部失败。

1959 年 1 月 2 日,前苏联发射了“月球”1 号探测器,取得了很大成功。它到达了离月球只有 5 000 千米的地方。它测量了月球和地球的磁场、宇宙线的强度、太阳辐射、以及星际分子等数据。9 月 26 日,这个探测器进入日心轨道,成为第一颗人造行星。9 月 26 日,前苏联发射的“月球”2 号探测器取得了极大的成功。它是第一个击中月球的人造物体,在撞到月面之前,向地球发回了有关月球磁场和辐射带的重要资料。10 月 4 日发射的“月球”3 号探测器则第一次观察到月球神秘的背面,并拍摄到月球背面约 70% 的面积,意义十分重大。

1961~1964 年,美国发射了 6 颗新型“徘徊者”号探测器。这些探测器只有 4 号和 6 号击

中了月球,但未发回任何有用的数据。在该系列中,表现最出色的是1964年7月28日发射的“徘徊者”7号。它不但成功地到达了月球表面,而且在击中月球之前,发回了4300张精细清晰的月面电视照片,它在离月面1600米拍摄的最后一张照片的分辨率高达0.4米。后来美国又发射了“徘徊者”8号和9号探测器,也取得了高度成功,它们为登月选择预定点做出了出色贡献。

60年代中期,苏美两国开始尝试发射月球探测器在月球表面软着陆。从1963年开始,前苏联尝试发射了10个探测器,都没有获得成功。1966年1月31日,前苏联的“月球”9号终于实现在月面上软着陆。在4天的工作寿命期,“月球”9号发回大量关于月球的资料,包括着陆周围的全景图。1966年3月31日发射的“月球”10号则成为第一个人造月球卫星,运行在350~1017千米的轨道上,对月球及周围环境进行了长时间的观测,获得了大量宝贵的科学资料。美国在月面软着陆方面又一次输给了前苏联。1966年6月2日,美国发射的“勘察者”1号探测器才首次实现软着陆。它在着陆后的6个月中,共向地球发回了11237张照片,几乎都是高分辨率的彩色照片。尔后又有几个“勘察者”号实现了月面软着陆,获得了大量极有价值的探测资料。

美国采取载人登月方式从月球上采集土壤样品,而前苏联在登月计划进展缓慢的情况下,发射无人探测器取回了月球土壤样品。1970年9月12日,前苏联用“质子”号运载火箭发射了先进的“月球”16号探测器。这是第一个能自动挖掘月球样品并且自动返回的探测器。它的下降舱1860千克,于9月20日在月面富海降落。随后按地面指令在0.35米深处采集了0.12千克月球样品,装入回收舱,于24日返回地球。1970年11月10日,前苏联又发射了“月球”17号探测器,它装有一个能在月面上自动行走的月球车。“月球”17号探测器登月后,八个轮子的月球车在月面上进行了10个半月的考察。前苏联在1976年以前,还发射了“月球”21、22、23、24号探测器。大量的月球科学探测和研究成果使人类对月球有了完整而真实了了解。在月球上看到的景象是:黑色的天空、蓝色的地球、明亮的星星和耀眼的太阳。它的表面一直承受着太阳风和流星体的轰击,经受着温度剧烈变化的侵蚀。总而言之,这是一个死寂的世界,没有任何生机。

在发射月球探测器的同时,观测金星和火星的行动也已开始。1960年3月11日,美国发射了第一个金星探测器,它创造了飞行距离3650万千米的记录。但探测器上面的电池系统发生了故障,导致无线电系统通信中断。1960年10月,前苏联先后发射了两个金星探测器,也遭失败。1961年初,前苏联又尝试进行金星探测,但只进入了地球轨道。2月12日,前苏联从在轨的重型卫星上发射成功“金星”1号探测器,于5月20日从距离金星约10万千米处飞过,最后进入了日心轨道。1962年秋,前苏联又发射了两个金星探测器,同样也没有取得成功。美国在1962年发射了两个“水手”号探测器,“水手”2号于12月14日在离金星34800千米处飞过。它发现金星没有磁场或辐射带,表面既干燥又焦热,温度可达425℃,大气压力是地球的20倍。

1965年11月16日,前苏联发射了重960千克的“金星”3号探测器。它于1966年3月1

日首次击中金星,成为第一个到达另一个行星的人造物体。但在进入金星大气层时,要么是系统故障,要么是没有承受住表面大气的高压和高温,它没有发回任何资料。1967年1月12日,前苏联发射了重达1100千克的“金星”4号探测器,取得了极大成功。它在距离金星45000千米的地方释放了一个直径1米的密封舱。这个密封舱承受住了300个重力加速度的过载,利用降落伞进入了金星大气层。它发回了距离金星表面只有25千米高时的探测数据。

20世纪60年代末,前苏联和美国都在尝试发射探测器在金星表面软着陆。1970年8月17日苏联发射的“金星”7号探测器取得了高度成功,它成功地于12月15日首次实现在金星表面软着陆。这个探测器着陆舱重495千克。它第一次获得了金星表面的数据:温度为475℃,压力为75~105个大气压。1972年,前苏联又发射了两个金星探测器,其中“金星”8号在金星表面软着陆成功,进一步对它的一些物理参数进行了探测。1975年6月8日,前苏联发射了重达4650千克的“金星”9号探测器。它由轨道舱和下降舱组成。10月22日,它的着陆舱成功地在金星表面着陆,轨道舱则成为第一颗人造金星卫星。着陆舱的降落过程为:进入金星轨道,着陆舱分离,轨道舱进行轨道校正,进入环金星轨道,着陆舱最后以每秒6~8米的速度着陆。它向地球发回了53分钟的探测资料,包括金星表面的电视图像。稍后发射的“金星”10号也取得了很大成功,发回了65分钟资料。1978年5~9月间,美国发射了两个“先驱者-金星”探测器。1号进入了环绕金星的轨道,详细研究了金星附近空间,用雷达探测了被大气迷雾遮掩的金星表面。2号探测器在与金星相会之前3周,释放出4个锥形探测器,进入了金星大气,发回了67分钟的探测数据。前苏联发射的“金星”11号和12号都实现了软着陆,对金星进行了较详细的研究和考察。

为了解金星表面的全貌,美国研制了“麦哲伦”号金星探测器。这个探测器重3.37吨,主要仪器是一部合成孔径雷达。它的使命非常简单:对金星表面地理面貌进行全面测绘。1989年5月4日,航天飞机“亚特兰蒂斯”号将“麦哲伦”号探测器发射升空。然后它利用自身的发动机推动进入飞往金星的轨道。1990年8月10日,“麦哲伦”号进入金星轨道,9月15日开始了对金星表面的测绘工作。美国宇航局已经根据它发回的资料,绘制出第一张完整的金星地图。探测器还进行了其他一些工作:绘制金星表面立体图像;表面重力测定和表面详查等。

今天我们对金星的认识,主要来自这些探测器的探测结果。无论是金星、启明星还是维纳斯,听起来都那么动听,而实际上金星上面的环境极为恶劣。金星的半径为6073千米,同地球非常相近,平均密度只比地球略小。但大气密度却为地球的100倍,因而大气压力也近地球大气压的100倍。金星大气中,二氧化碳约占97%以上,氮约占3%,其余有微量的一氧化碳和水蒸气。令人吃惊的是,金星大气中有一层厚约20~30千米的由浓硫酸组成的云层。由于密度大、二氧化碳浓度大,强烈的温室效应使金星表面的温度极高,也使金星表面的温差极小。那里在温度上几乎没有白天、夜晚、季节和纬度的差别。金星表面的风速不大,但随着高度增加,大气环流运动非常剧烈。在60千米高空,风速达到100米每秒,而地球上台风的风速仅有32米每秒。而且金星大气中的闪电和雷暴现象频繁,规模和强度之大是地球上闻所未闻的。

在金星上看天是橙黄色的,就连山岩、石头也是橙黄色的。通过探测器的观测研究,我们发现了许多金星的新现象,也有许多谜团令人不得其解。例如,金星的自转方向与地球相反,是自东向西,因而在金星上看到的是太阳西升东落,金星自转周期很长,达243天,而公转周期却只有224.7天,也就是说金星的一天比一年还长,在一个金星年中只能看到两次太阳西升东落。另外,太阳系九大行星至今唯独金星没有发现磁场,这是行星物理学的一大悬案。

对火星的探测几乎和金星同步进行。前苏联从1960年开始,先后发射了4个火星探测器,均告失败。1962年11月1日,前苏联又发射“火星”1号火星探测器,也未能同火星相会。1964年11月28日美国发射了“水手”4号探测器,成功地飞过了火星,最近距离只有1000千米。在这样近的地方发现火星上布满环形山,那里没有运河,也没有水。它还第一次拍摄了火星表面的照片。1969年初,美国发射了“水手”6号和7号火星探测器,向地面传送了200张火星照片。

1971年5月,美国和前苏联共发射了5个大型火星探测器。其中“水手”9号则取得了很大成功,它进入了一条周期大约为14小时的火星轨道,成为第一颗人造火星卫星。这个探测器获得了大量关于火星的资料,共拍摄并发回了7000多张火星和其卫星的照片。前苏联这一时期发射的3个火星探测器有2个进入火星表面,但未获得有用的资料。1973年7~8月间,苏联又发射了4个重3950千克的火星探测器,分别为“火星”4~7号。“火星”4号在与火星相会前失灵。“火星”5号成功地进入了火星轨道,发回了一些数据。“火星”6号进入火星大气后就没有消息了。“火星”7号没有进入火星大气,而是进入了一条日心轨道。美国于1975年8~9月发射了两个先进的“海盗”号火星探测器。它们重达3400千克,都由轨道舱和着陆舱组成。着陆舱分别于1976年7月20日和9月3日在火星软着陆成功。它们在火星表面工作了3个月之久,发回了不少探测数据和照片,从而加深了人们对火星的认识。

火星即使在今天仍然是人们最关心的行星,甚至对它的偏爱比过去更加强烈。这主要是因为许多科学家对这颗同地球最相似的行星寄予厚望,希望它有一天可能会成为人类的救世主。因此,在新一轮空间探测中,前苏联和美国都把火星作为最主要的研究目标之一。1988年7月7日和12日,前苏联发射了两个专门探测火星及其卫星的探测器:“火卫一”1号和“火卫一”2号探测器。但这两个探测器一个中途失踪,一个进入火星轨道后出现了故障,以致不能正常工作。这样,“火卫一”探测器计划便以失败而告终结。90年代后期,俄罗斯制定了“火星94”和“火星96”计划,后者在1996年11月16日发射时,因“质子”号火箭第四级故障而失败。

1992年9月25日,美国利用“大力神”3运载火箭发射了“火星观测者”号探测器,开始了美国火星探索计划三部曲中的第一步。然而,“火星观测者”在没有达到火星之前就丢失了。1996年11月7日,美国用“德尔它”2号运载火箭发射了“火星全球勘察者”号探测器。这颗探测器比“火星观测者”号轻,但安装的仪器相似,计划完成“火星观测者”的大部分任务。它于1997年9月11日进入火星轨道,对火星大气、表面特性、湿度和矿藏进行了勘测。它还研究了火星地貌、重力场和表面组成。

1996年12月4日,美国又用“德尔它”2号火箭发射了“火星探路者”号探测器。它仅重890千克,带有一台小型火星漫游车。漫游车上带有成像仪、光谱仪和大气结构仪。1997年7月4日美国独立日,“火星探路者”到达火星,开始了进行新一轮火星探测工作。7月7日,美国宇航局公布了它的一个重大发现:火星表面曾经有大规模的洪水。火星漫游车在探测器着陆点周围漫游,进行了大量科学探测,对火星环境、岩石和土壤进行了前所未有的考察和研究,获得了具有重要意义的新发现。“火星探路者”由于是新一轮火星探测中第一个到达火星的探测器而倍受宇航界和天文学界广泛关注,也是新闻报道的热门话题,在公众中也产生了极大影响。特别是在前苏联的两个“火卫一”探测器、“火星”96探测器和美国的“火星观察者”探测器先后失败的时候,“火星探路者”号取得的成功和做出的发现更显得异常突出。

火星的尺寸比地球小,直径约为地球的一半,质量只有地球的十分之一。火星的表面异常荒凉,是赤红色的不毛之地。大气中的尘埃使天空呈现橙红色。长期以来,人们对火星的赤红色一直迷惑不解。通过各种探测器发回的资料分析,原来火星土壤中含有大量氧化铁。长期受强烈的紫外线照射,铁就生成了红色和黄色的氧化物。这种氧化物遍布于火星表面,因而火星就像上一个生了锈的世界。火星大气非常稀薄,只有地球的五十分之一,主要成分是:二氧化碳占95%,氮占3%,还有少量氧气和水分。火星表面昼夜温差很大,可达上百度。

对木星、土星等外行星的探测进行得较晚。1972年3月3日,美国用“德尔它”运载火箭发射了第一个外行星使者:“先驱者”10号探测器。它探索和研究的主要目标是木星。这个探测器只有260千克,带有10多种仪器。大约飞行了半年后,“先驱者”10号探测器进入火星与木星间的小行星带,在通过这些小行星时没有受到损害。1973年12月3日,“先驱者”10号探测器到达整个旅途距木星最近处,约13万千米。在它掠过太阳系这颗最大的行星时,发送回来300张中等分辨率的木星和其卫星的照片。它还探测到木星的一些物理参数。发回的资料表明,它所俘获的辐射带强度是地球周围范·艾伦带强度的10000倍,它的巨大脉动磁场一直延伸到土星附近。在飞过木星之后,“先驱者”10号利用木星的巨大引力加速,向太阳系边缘的冥王星轨道飞去,于1986年10月通过冥王星平均轨道,因而成为第一个飞出太阳系的人造物体。

1973年4月6日发射的“先驱者”11号探测器于1974年12月掠过木星,最近距离只有4.3万千米。它利用木星的引力场加速,进入了一条大弧线轨道,朝土星方向飞去。1979年9月1日,“先驱者”11号从距离土星约3.4万千米处飞过,发回了关于土星两个巨大的光环的资料。由于所走过的路线不同,它很晚才离开太阳系,时间是1990年2月。

具有深远历史意义的是,这两个最早发射的外行星探测器都带有一张表明地球方位和大致特征的“名片”。上面画着地球人的形象、太阳系相对于14颗脉冲星的位置、地球的方位等信息。它们经过800万年的飞行后,可能会同某一颗具有生命的恒星及行星系相会。

1977年8月20日和9月5日,美国发射了第二代“旅行者”2号和“旅行者”1号探测器,它们的主要任务是详细考察木星和土星,以及它们的主要卫星。“旅行者”1号于1979年3月5日从距离木星27.8万千米处飞过,后又于1980年11月逼近土星。“旅行者”2号于1979年

7月9日在距离木星64.3万千米处掠过,并花了1年多时间于1981年8月20日靠近土星。由于这两个探测器性能优良,它们拍下了非常完美的木星、木星卫星、木星大气和旋涡照片,拍摄了土星、土星环及其卫星照片。对木星大红斑的拍摄照片对它的本质有发新的认识:木星大气有一个巨大的旋涡,红色、橙色、黄色、褐色、蓝色条纹时隐时现,交替变换。这个大红斑看起来像是静止的,实际上是绕粒状中心逆时针旋转的云团。大红斑之谜初步解开。它们对木星、土星、天王星、海王星及其卫星的观测获得了许多重要的新发现。“旅行者”1号在考察完土卫六后,于1988年11月离开太阳系。“旅行者”2号于1989年10月离开太阳系,朝全天最亮的恒星天狼星飞去。

“旅行者”号探测器同样肩负着寻访地外文明的历史使命。它们各带有一套反映人类状况的镀金铜质声像片和一枚金刚石唱针,可保存10亿年左右。声像片的116幅照片和图表基本上反映了全人类形态、工作、生活、文化、艺术、科学技术以及地球环境、自然界各种现象、生物、生态的概貌。录音带上有55种语言的问候语和各种自然现象的声音以及27首世界名曲的录音。它们作为地球的使者,携带介绍地球与地球人的珍贵礼物,漫游于茫茫宇宙,期待能有一天与地外文明相遇。这个机会虽说犹如大海捞针,十分渺茫,但地球人仍然对它们寄予厚望。

“先驱者”和“旅行者”都是从几颗大行星旁边飞过,距离仍然较远,观测的时间也很短。美国在80年代初就开始研究发射在这两颗行星上登陆考察的探测器。它们分别是考察木星的“伽利略”号和考察土星的“卡西尼”号。由于美国航天飞机的惨重事故,计划的执行大大推迟了。“伽利略”号已到达木星并近乎完成了使命,“卡西尼”号正在接近土星途中。

1989年10月18日,“伽利略”号木星探测器由航天飞机携带发射升空,开始了长途旅行。它肩负的主要任务有:一、对地月系统进行如下观测研究:寻找温室效应气体,使用分光计探测地球赤道上空平流层的水分,测量地球遥远磁层内的等粒子体,从3200万千米处拍摄地球和地月系统照片,研究月面物质的组成等;二、对木星大气进行深入观测研究,测定木星大气的化学成份,大气中云粒子性质和云层位置,大气的辐射热平衡,研究大气的环流和动力学,研究高层大气和电离层,探测木星的等离子分布、高能粒子分布、能源及其组分、木星磁层的相互作用;三、研究木星系统:长期观测木星及其卫星系统。

“伽利略”木星探测器是迄今为止发射的最先进、最昂贵的深空探测器。它重约2550千克,造价达15亿美元。它上面除有通信、数据传输等系统外,还装备有15个科学探测仪器,主要有:多种照相机、分光计、磁场和粒子测量仪、高度粒子探测仪、等离子体探测仪、等离子体波分系统、尘埃探测仪、重粒子计数器等。整个探测器由两大部分组成,一是轨道舱,一是下降舱。轨道舱上有一个直径达5米的天线。“伽利略”装有两级发动机,用以提供转移飞行的动力。

1995年12月,“伽利略”号木星探测器终于到达木星。在此之前5个月,它先释放了下降探测器。这个重339千克的探测器在木星引力下加速,以18万千米每小时(每秒50千米)的速度冲入木星大气。在烧毁前的1小时宝贵时间里,它首次获得了木星组成物质和深层大气

的重要信息。

1996年1月22日,美国宇航局公布了“伽利略”下降探测器传回的木星大气层数据的初步分析结果。这个探测器遇到了极其强烈的狂风和湍流,风速达到530千米每小时,比估计的快180千米每小时。这表明木星风与地球风的形成原因不同:它主要由木星深处释放的热量造成的,而与太阳照射的角度和水的凝结无关。木星大气比预计的干燥得多,含水量极少,也没有地球大气中的那种云。木星大气成份与太阳相似,主要由氢和氦构成,但氦的含量只有预计的一半,其他元素如氖、碳、硫、氧的含量也比预计的低。科学家认为,对木星大气数据的分析,可能会改变目前关于木星和太阳系其他行星形成过程的理论,将使科学家重新思考地球生命的奥秘。

对太阳的观测研究可以说进行得最为充分,这主要是因为太阳对人类生活的影响最大。就天文观测来说,研究行星、宇宙等目前主要是为了增加人类的知识财富,它们与人类的切身利益并不大。但太阳则不同,对太阳进行研究将对地球、生物、环境等有直接影响。太阳对地球和人类活动的影响最大,同时也最直接。太阳的行为与活动和地球的大气、温度、气象以及灾害都有着千丝万缕的联系。深入认识和了解太阳,将会有助于人类更好地生存。同时,太阳是离我们最近的一颗恒星。对于天文学研究来说,研究宇宙的起源和演化必须首先研究一颗恒星,而我们的太阳提供了一个最好的样本。它研究起来最方便,而且也最具代表性。因此,基于人类生活和科学上的理由,关于太阳的探测和研究一直是非常活跃的。

到目前为止,各国发射了大量太阳观测卫星,并形成了几大系列。探测器发射得不多,两颗最重要的太阳探测器一个是尤利西斯探测器,一个是SOHO探测器。

80年代以前的太阳研究取得了丰硕成果,但都是进行平面研究。已发射的卫星都绕地球轨道运行,因而观测的太阳主要限于黄道带附近。80年代末,美国和西欧合作,开创了一项立体研究太阳的“尤利西斯太阳探测计划”,发射探测器对太阳极区进行首次观测研究。1990年10月6日,美国航天飞机“发现号”将美欧共同研制的“尤利西斯”太阳探测器送入太空。

“尤利西斯”探测器重只有385千克,装有一台钚²³⁸核发电机。整个探测器价值达7.8亿美元,装有9台专门用于观测太阳表面现象以及特性的科学仪器。“发现号”将它送入地球轨道后,利用自身的三级发动机把它推进到太阳南北极区轨道,探测太阳风、太阳极区和星际空间。“尤利西斯”太阳探测器也走了一条迂回的道路。1992年初,它远离地球达6.69亿千米。1992年2月8日,它到达距木星最近点,离木星表面只有37.8万千米。尔后,它借助木星的引力和强磁场作用偏离航线垂直飞起,脱离太阳系黄道面,并于1994年10月飞越太阳的南极。一年后,它又飞往太阳的北极,首次实现了对太阳进行立体观测。

太阳系与我们所处的宇宙相比,不过是沧海中的一滴水,时值今日,人们对宇宙的认识还相当粗浅。不识宇宙真面目,只缘身在宇宙中。今天,我们连宇宙究竟有多大,宇宙的年龄有多长,星系是如何形成和演化的等一系列基本问题所知甚少。揭开宇宙一个又一个奥秘是摆在人类面前的艰巨任务。宇宙实在太大了,进行宇宙天文学研究,除了进行理论推测外,长期以来只能通过被动地接收来自宇宙深处的各类天体发出的信息,对它们的性质、距离、大小以

及演化进行分析。过去人们只能通过光学望远镜进行观测,接收到的只是天体辐射出的可见光。40年代一门新的学科诞生了,这就是射电天文学。人们又可通过射电望远镜接收天体发出的射电信息。但可见光波段和无线电波段都只是很窄的电磁波段,远远不能覆盖天体发出的全部电磁波信息。为了全面深入地研究宇宙和遥远的天体,必须极大扩展接收辐射电磁波的范围,包括 γ 射线、X射线、紫外线、红外、微波波段。航天时代以来,美国、苏联和欧洲发射了大量天文探测卫星,涉及 γ 射线波段、X射线波段、紫外波段、红外波段和可见光波段。

在各种天文卫星中,最重要、名声最大、影响最大的当属美国的哈勃太空望远镜。1990年4月24日,航天飞机“发现”号将“哈勃”太空望远镜发射升空,进入610千米高的地球轨道。“哈勃”望远镜主体结构呈圆柱形,长13米,宽4.27米,总重12.5吨。它的两侧各有一块太阳能电池板,展开后望远镜的最大宽度可达13.7米。“哈勃”太空望远镜由三大部件系统组成:光学部件、科学仪器、保障系统。光学部件是一架卡塞格伦式光学望远镜。入射光由3米宽的舱门进入,射到直径2.4米的主镜上,再反射到在它前面4.88米处的副镜上。副镜将光线聚焦后,重新再返回到主镜,从主镜中央小孔穿过到达焦平面。考虑到振动、温度、重力等变化的影响,主镜和副镜上各有24个和6个作动器,用于进行调节,使聚焦光线能到达焦平面。

“哈勃”太空望远镜上的科学仪器有5个,包括广角行星照相机、暗弱天体照相机、暗弱三体摄谱仪、戈达德高分辨率摄谱仪和高速光度计。太空望远镜上还装有精确制导敏感器,它可测出“哈勃”太空望远镜到目标天体的距离。测量精度是地面望远镜的10倍。整个太空望远镜的设计从各方面来讲,都是相当先进的,观测能力大大超过了地面所有的任何光学望远镜和已有的天基望远镜。据估计,“哈勃”太空望远镜能观测到27等星那样微弱亮度的恒星,比地面上5米口径望远镜观察到的星光暗50倍。

自发射到目前,已经过去了11年。期间,还于1993年、1997年和1999年三次对它进行了修理和仪器更换。“哈勃”望远镜在投入天文观测后,得天独厚,获得了一些重大发现,令科学家们激动不已。它的最初目的是通过对中子星、脉冲星、类星体和黑洞的观测,深入研究宇宙的起源、结构、组成和演化等难题。1991年,“哈勃”望远镜成功地观测到距离地球17万光年的大麦哲伦星云旗鱼座的第三个轮形星云;成功地拍摄了超新星1987A的清晰照片;它重新量度了大麦哲伦星云的距离为 $169\,000 \pm 5\%$ 光年,而在此以前,误差高达 $\pm 30\%$ 以上。1992年初,美国天文学家托德·劳尔在亚特兰大的一次会议上根据“哈勃”太空望远镜发回的资料,公布了一项十分惊人的大发现:首次在银河系临近M87的星系中央,确认存在一个巨大的黑洞。这是迄今为止证明黑洞存在的最直接证据。1992年4月,“哈勃”望远镜发现了一颗最亮的恒星,其温度比太阳高33倍。1992年5月,它发现宇宙中最古老的星系有新星形成。

“哈勃”望远镜取得了丰硕的科学成果。全世界20多个国家有2000多名科学家利用它进行了10余万多次科学观测,并在分析的基础上撰写了数千篇论文。它取得的主要成就有:一、增进了人类对宇宙年龄和大小的了解;二、证明某些星系中央存在超高质量的黑洞;三、观察了数千个星系和星系团,探测到了宇宙诞生早期的“原始星系”,使科学家有可能跟踪研究宇宙发展的历史;四、对神秘的类星体和其存在的环境进行了深入观测;五、更深入揭示了恒星

的不同形成过程 ;六、对宇宙诞生早期恒星形成过程中重元素的组成进行了研究 ;七、揭示了已死亡的恒星周围气体壳的复杂组成 ;八、对猎户座星云中年轻恒星周围的尘埃环进行了观测 ,揭示出银河系中存在其他行星系统 ;九、对苏梅克彗星与木星相撞进行了详细观测 ;十、对火星等行星的气候情况进行了观测 ;十一、发现木星的两颗卫星大气层中存在氧。

科学家们预言 ,在未来的太空和宇宙观测中 ,它有可能做出最为激动人心的科学发现 ,让人们看到宇宙大爆炸后 10 亿年内星系形成的整个过程 ,为科学家们提供有关黑洞、行星、恒星和星云的活动细节 ,以解答数不清的关于宇宙及天体的奥秘 ,如宇宙起源之谜、宇宙年龄之谜、神秘的黑洞之谜、类星体之谜等。

第十二章

军用卫星的系列化发展



➤ 这是美国的第三代国防支援卫星 (DSP), 主要用于导弹监视。美国自 20 世纪 70 年代开始, 已经发展了三代国防支援卫星, 共发射了 21 颗。导弹预警卫星是军用卫星的一类, 其他军用卫星还有侦察卫星、核探测卫星、导航卫星等。

军用卫星系统多种多样,从用途上看包括侦察卫星、导弹预警卫星、军用导航卫星、军用气象卫星、军用通信卫星、反卫星系统以及不久的将来可能会出现各种天基武器系统。在人类发射的全部卫星中,军用卫星约占三分之二,而侦察卫星又占军用卫星的一半。可见各发达国家对军用卫星的研制和发射都是极为重视的。

第 1 节 明察秋毫的侦察卫星

侦察卫星的概念由来已久。20 世纪 40 年代末美国兰德小组的研究报告详尽地分析了卫星的军事侦察应用潜力。20 世纪 50 年代初,美国军方和民用科研部门也提出了多种卫星侦察的研究报告。为了侦察苏联和其他国家核武器的发展状况,美国曾多次派出 U-2 飞机深入别国领空侦察。派出 U-2 自然能获得一些有用的情报,但它侦察的范围太小,而且容易被击落,经常遭到被侵略国的强烈抗议。因此 U-2 侦察飞机的名声一直很差。50 年代末,为了全面了解苏联的导弹和核武器状况,美国开始研制侦察卫星。利用卫星进行侦察有许多好处。第一,人造卫星位于几百千米高的轨道上,视野广阔,一张卫星照片可覆盖几千甚至几万平方千米的区域,而普通航空照片只有 10 几平方千米。第二,卫星运行速度很快,能在短时间内对非常广大的地区进行侦察,采用特殊轨道其侦察范围可覆盖整个地球表面。第三,卫星在轨道上运行不受领土和地理条件的限制,大大优于其他侦察手段。正因为如此,照相侦察卫星受到美国和前苏联的高度重视,至今已发展到第六代,发射总数近 1 200 颗。目前最先进的照相侦察卫星是美国和前苏联高度机密的军事技术,极少透露其细节。

1959 年,美国中央情报局制定了“发现者”侦察卫星计划,旨在进行综合性军用侦察试验。“发现者”卫星头 11 次发射均未成功。在进行两次试验发射后,1960 年 8 月 18 日发射的 D14 才首次成功地从空中回收了胶卷暗盒,获得了低分辨率的侦察照片。从照片中,判读辨认出前苏联东北部的一个军用机场,初步显示了卫星照相侦察的重大意义和潜力。这一成功导致美国空军和中央情报局于 1960 年 8 月 25 日联合成立一个专门组织来管理美国的空间侦察计划,这个组织后来改称美国国家侦察办公室。这是一个绝密组织,神秘的面纱笼罩了长达 30 年。直至 1992 年美国国防部才首次正式承认这个组织的存在。在国家侦察办公室的领导下,美国空军和中央情报局各自研制并运行自己的侦察卫星系统。

侦察卫星最初被混在“发现者”卫星中。“发现者”计划是公开的项目,后来当卫星侦察技术逐步成熟后,美国中央情报局又制定了绝密的“日冕”侦察卫星计划。这两个计划前后相接,持续到 1972 年夏。这期间,共发射了试验型和实用型侦察卫星 144 颗,成功 102 颗,回收了 165 个胶卷盒。卫星侦察照片的分辨率从最初的仅 15 米提高到后期的 1.5 米,对掌握前苏联和其他国家的战略军事情报立下汗马功劳。直到 1995 年夏,美国才公开了这些卫星拍摄的侦察照片。在“日冕”计划执行后期,后续计划已经开始,二者有所交叉。

“发现者”系列卫星根据技术性能和任务又包括几个型号。头三个卫星完全是试验型的,

试验项目有暗盒回收、三轴稳定和极轨道发射等。中间还有几颗是试验监视核爆炸的。“发现者”1号是1959年2月28日发射的,卫星进入极轨道后失去控制,5天后坠毁。后来的两颗也未取得成功。此后开始了“发现者”A系列,卫星是用阿金纳火箭上面级改装的,采用美国英太克公司研制的“锁眼”HK-1相机,上面带有9.1千克胶卷。第一颗D4是1959年6月25日发射的,但没有进入轨道。此后又发射了从D5~D13共9颗,这些卫星不是没有进入轨道就是胶卷回收失败,后几次只好进行试验发射。1960年8月10日发射的D13号试验卫星回收舱在海上回收成功。1960年8月18日发射的“发现者”D14号首次取得成功,在空中回收了胶卷盒。它拍摄的侦察胶片长达1080米,覆盖面积约为前苏联国土面积的五分之一。

从“发现者”D16开始,卫星换装HK-2相机。主体采用阿金纳B火箭,长度和重量有所提高,推进剂贮量增加到950千克,携带胶卷18千克,侦察分辨率提高到9米左右。这个系列称“发现者”B,正是从这个系列开始使用了秘密名称“日冕”。第一颗是1960年10月26日发射的“发现者”D16,但未进入轨道。此后,装HK-2相机的“发现者”卫星又发射了9颗。最后一颗是1961年10月23日发射的“发现者”D33号。在此期间,“发现者”B系列中有的开始使用新型HK-3相机。这种侦察卫星的总重提高到约1150千克。由于相机性能提高,其侦察分辨率提高到4~6米。第一颗是1961年8月30日发射的D29,后在空中回收成功。从D30开始由C-130运输机空中回收。到1962年1月13日为止,装HK-3相机的“发现者”B共发射了6颗,4颗成功。

最后一颗以“发现者”命名的侦察卫星是D38。它于1962年2月27日发射。由于“发现者”/“日冕”系列卫星均使用“锁眼”相机,美国侦察办公室从这颗卫星开始将美国的侦察卫星称为“锁眼”号。这颗卫星采用的是第四种改型相机,因而卫星称“锁眼”HK-4号。“发现者”计划到此已经结束,以后的卫星命名为“日冕”计划。HK-4号的最大特点是前后安装了两架成30°角的HK-3相机,从而可获得目标的高度信息。它分辨率没有提高。

从1963年8月开始,由于换装新的相机,产生了HK-4的改进型HK-4A侦察卫星。它的长度有所增加,总重大致不变,能携带73千克胶卷,分成两个暗盒,可分两次回收,分辨率提高到3米。由于轨道保持系统得到改进,它的寿命也提高到7天。另一个重要改进型号是HK-4B,它的重量提高到1860千克,分辨率提高到1.5米。其主要特点是安装了太阳能电池,相机带有滤光镜,并能选择目标进行曝光。它的寿命增加到19天。“锁眼”HK-4A号的第一颗于1963年8月25日发射,最后一颗于1969年9月22日发射,共计发射了52颗,成功46颗。HK-4B号的第一颗于1967年9月15日发射,最后一颗于1972年5月25日发射。共计发射17颗,成功16颗。

按照分辨率进行划分,上述卫星都属于“普查”型的,只能粗略侦察大目标。其中“发现者”A和B系列、“锁眼”HK-4系列属第一代“普查”卫星,“锁眼”HK-4A和HK-4B则分属第二代、第三代“普查”型卫星。在“普查”卫星投入使用期间,“详查”型卫星研制成功并投入使用。普查和详查同时使用,互为补充。

美国空军研制的“锁眼”HK-7“甘比特”是美国第一种真正的“详查”型照相侦察卫星。

它同第二代“普查”卫星同时互补使用,可称为第二代“详查”卫星。卫星主体也是在阿金纳上面级基础上研制的,直径不变,长度有所增加,总重1 860千克。它的照相机口径为96厘米,带有两个胶卷暗盒。在运行期间,变轨发动机可使其近地点降到137千米,因而分辨率进一步提高,达到0.5米。自1963年7月12日首次发射到1967年6月4日为止,前后共发射了38颗,36颗获得成功。它往往与普查型HK-4A同时发射。HK-7执行的重要任务之一是侦察前苏联SS-7和SS-8洲际导弹的部署情况,监视反弹道导弹基地。

“锁眼”HK-8号是美国第三代“详查”卫星,它是HK-7的重大改进型。卫星长度和重量进一步提高,长12.6米,重3 000千克,照相机口径1.14米。它带有更多的推进剂,轨道最低点也仅有135千米。由于个头大,它改由大力神火箭发射。据估计它的分辨率可达0.15米,寿命超过50天。它的重要改进之一是尾部装有大翼展太阳能电池板。自1966年7月29日首次发射,到1984年4月,HK-8号共发射了53颗。它与第三代“普查”型卫星HK-4B搭配使用。当第四代“大鸟”号投入使用后,它又与“大鸟”配合,以其高分辨率对普查选定的目标进行详细侦察。

上述侦察卫星均采用回收胶卷的形式发回侦察信息,卫星轨道较低,寿命也较短,侦察实效性不高。20世纪60年代初,美国空军研制了一种试验型电子传输型侦察卫星“萨莫斯”。利用扫描仪将侦察信息转换成电信号再发回地面的方式有许多优点,包括获得侦察信息极时,甚至可实现实时侦察,寿命能够显著提高。主要缺点是分辨率较低。60年代初,这种卫星发射了几颗便停止了。原因是照片分辨率很低,仅30米,从照片中区分不出所拍的影像是前苏联还是中国。

美国的第四代照相侦察卫星就是有名的“大鸟”号,编号是“锁眼”KH-9,洛克希德公司研制,由空军负责运行。它将普查与详查合为一体,为美国立下了汗马功劳。

“大鸟”号卫星也是在“阿金纳”火箭上面级基础上改进而成,主体由一个大型照相机舱和一个柱形推进级构成,总长达15.2米,推进级直径3.05米,总重达11吨以上。它带有两块大型太阳能电池板和1只直径达6米的数据传输天线。“大鸟”卫星主要侦察设备是两台照相机。其中详查相机的焦距长达2.44米,分辨率高达0.15米,可识别出地面上单个士兵等小军事目标。所拍照片分装在4~6个特制暗盒中,先后弹出并由地面回收。它的广角照相机用于普查,获得的信息通过光电扫描仪转换成电信号后传回地面。它的分辨率较低,约为0.6米。除可见光照相机外,卫星上还装有红外摄影仪、红外扫描仪、多光谱摄影机等。红外装置可获得更多的侦察信息,包括目标的动态信息,如机场的繁忙程度、哪些飞机发动机正在工作着、哪些刚停机不久、停机坪上飞机飞走的前后次序等。“大鸟”卫星上带有大量推进剂,可以在拍摄完后抬高轨道,寿命大大延长,可达50~220天,最长为275天。因此,它的发射频率和数量大大低于前三代。一般每年发射一到两颗。从1971年1月15日到1986年4月18日,“大鸟”号共发射了20颗。

美国第五代照相侦察卫星是“锁眼”KH-11,美中央情报局给它的绰号是“凯南”。“锁眼”KH-11吸收了“大鸟”号的技术成就,并做了重大改进。卫星上侦察设备的最大特点是:

用光电侦察设备取代了以往各代采用的传统胶片式照相侦察设备。这样就不需要进行胶卷回收或扫描传输了,可以提高获得信息的速度,达到实时侦察的目的。这种光电式侦察设备称 CCD 相机,即电荷耦合固体成像相机。这是 20 世纪 70 年代中期发展的新技术,把卫星侦察手段推向了一个新阶段。CCD 相机除具有红外扫描仪和多光谱扫描仪的特长外,还有其自身的特点:一是时效性好,能及时、准确、连续提供侦察情报;二是信息量丰富,能够获得地球表面天然和人工的地形、地物、地貌、海上和空中各类目标的图像信息,比普通照片的信息多得多;三是获得信息受环境条件影响小;四是使信息便于计算机自动处理,有利于提高部队的自动化程度和反应速度。这种相机在能见度较差、太阳照射角较低时,分辨率比一般回收式胶卷更好,在普通胶片不能曝光成像时,它也能获得较好的图像。它获得图像的方法是利用一排排微型光敏元件,将地物信息转换成电信号,利用通信卫星传输回地面,地面再将电信号转换成图像。这样大大提高了获得情报的速度,每分钟可获得 8~12 幅照片。“锁眼”KH-11 卫星初期重量为 10.8 吨,后增加到 13.5 吨,长度也增加到 19.5 米,直径 3.05 米。它的外形很像“哈勃”号太空望远镜,两个太阳电池板平行安装在主体两侧。该系列卫星也由美国空军领导实施,TRW 公司承担研制工作。除 CCD 相机外,它还装有红外和多光谱侦察设备,能进行夜间侦察并能识别伪装。“锁眼”11 号能在白天和黑夜识别出导弹、火箭、火车等目标;能揭露伪装;能识别出庄稼和自然植物;能从森林掩盖下识别出人工物体;能区分士兵和平民;还具有测视能力。

第一颗“锁眼”KH-11-1 卫星于 1976 年 12 月 19 日发射,最后一颗于 1988 年 11 月 6 日发射,共计发射了 9 颗,其中后 3 颗卫星在海湾战争中立下了很大的功劳。据称“锁眼”KH-11 号照相侦察卫星的分辨率在 1984 年已达到 0.15 米。

在“锁眼”KH-11 卫星基础上,美国又改进研制了“高级锁眼”KH-11 照相侦察卫星,它长时间被外界称为“锁眼”KH-12。它装有改进型大功率反射式望远镜,其镜面直径约 3.8 米,镜头焦距 2.4 米,总长 13 米。为防止大气层引起的畸变,上面安装的自适应光学仪器可以改变反射镜的表面形状,校正图像。用这种望远镜加多谱段 CCD 装置,可将侦察信息转换成电信号,实时传回地面。卫星上还装有对红外线特别敏感的热红外成像仪和能在多种不同波段工作、监听微波通信信号与电话交谈信号的接收电子设备。从理论上讲,它的低轨道分辨率可达到 4.17 厘米,实际分辨率也达 10 厘米,可识别出导弹上的部件,辨别出是士兵还是平民。另外,它的星载雷达可以实现全天候侦察。

“高级锁眼”KH-11 总重量为 18.1 吨,其中侦察设备等重 11.3 吨,推进剂重 6.8 吨,比“锁眼”KH-11 多了 1.4 吨,它的尾部装两个大型太阳能电池板,每个长约 13.7 米,宽约 4.11 米,卫星翼展 35 米。由于推进剂更多,它可机动到较高轨道上进行普查,也可机动到最低时的 160 千米进行详查。这样它的寿命提高到 5 年以上。在进行轨道推进剂补充后,它最多可工作 15 年。卫星采用的轨道倾角不大于 57° ,可以覆盖地球表面的大部分。其主要望远镜口径约为 3.68~3.8 米。由于“高级锁眼”KH-11 重量很大,当时只有航天飞机能够将它发射到轨道上。后来出现的“大力神”4 号火箭也可以将其发射入轨。“高级锁眼”KH-11 比“锁眼”

KH-11 直径增大,长度也有很大提高,估计可达 26.7 米。

第一颗“高级锁眼”KH-11 卫星于 1989 年 8 月 8 日由航天飞机“哥伦比亚”号发射成功。第二颗于 1990 年 2 月 28 日由航天飞机“亚特兰蒂斯”号发射,但不久即在轨道上爆炸。此后,发射“高级锁眼”KH-11 的任务改由“大力神”4 火箭在西部的范登堡空军基地发射,轨道也采用太阳同步轨道。据估计“高级锁眼”卫星的价值约为 7.5~10 亿美元,“大力神”4 的发射成本约 3~3.5 亿美元,这样计算起来,它的总成本在 11~13 亿美元。第三颗是 1990 年 6 月 8 日发射的,第四颗是 1992 年 11 月 28 日发射的,第五颗是 1995 年 12 月 5 日发射的,最近 1 颗——第六颗则是 1996 年 12 月 20 日发射的,它们运行在高 250 千米×1 000 千米、倾角 97° 的太阳同步轨道上。目前后 3 颗卫星都在正常工作,与“长曲棍球”雷达卫星和电子侦察卫星组成轨道侦察网。该卫星发射的颗数和时间都是分析家们根据种种蛛丝马迹推测的,只有 1996 年 12 月 20 日发射的那颗是公开承认的。

美国还研制了作为“高级锁眼”KH-11 补充的雷达侦察卫星“长曲棍球”。它除能全天候工作外,还可以揭露伪装,进行大面积高分辨率侦察,同时侦察方式相当灵活,可把普查和详查结合起来。这种卫星寿命估计长达 7 年以上,必要时还可带回地面修理,延长使用寿命。

“长曲棍球”卫星星体呈八棱柱体,尺寸为 12.2 米×4.4 米,总重 14.5 吨,价值 5 亿美元,只有航天飞机或“大力神”4 型火箭能将它发射到轨道上。它的主要侦察设备是一台大功率合成孔径雷达,它主动向地面发射微波波束,可以穿透厚厚的云层并能在夜间侦察。在特定的波长上还能穿透几千米深的干土,然后接收并识别从地表及地下目标反射的微弱回波信号。它获得的信号传送到地面,由计算机修整、合成为清晰的图像。它的像元分辨率可达 30 厘米,能探测到小至 1 米的目标,据称可识别并跟踪坦克、车辆、舰船以及导弹运输车。

1988 年 12 月 2 日,美国亚特兰蒂斯号航天飞机把第一颗“长曲棍球”号卫星送入轨道。它的轨道高度为 600~700 千米,倾角 57°。这个轨道几乎可覆盖整个俄罗斯领土。“长曲棍球”卫星发射后,与“高级锁眼”一起组成双星侦察体制,实现 24 小时全天候、全天时侦察。它们获得的侦察信息相互补充、印证,使侦察情报更加可靠。按照美国国防部的计划,美国最终将用 8 颗“先进锁眼”KH-11 卫星和“长曲棍球”共同组成一个全球图像侦察网,形成一个以侦察卫星和战略打击力量相结合的“战略侦察—打击系统”。1991 年 3 月 8 日发射的可能是第二颗“长曲棍球”卫星。1995 年 12 月 5 日发射的“美国”116 可能是第三颗“长曲棍球”卫星。据推测,美国还将发射 4 颗改进型“长曲棍球”雷达侦察卫星。

前苏联从 1962 年开始发射照相侦察卫星,频率很高,初期平均每年达 30 多颗,至今已发展了五代以上。总的来讲,前苏联的侦察卫星比美国晚一代,卫星分辨率、寿命等指标比美国同一代卫星差。由于寿命低,前苏联用增加发射数量的办法弥补。目前,俄罗斯侦察卫星发射数量大大降低,并采取三代共用的方式。此外,法国、以色列都发射了自己的照相侦察卫星。

电子侦察卫星主要用于监视敌方军事通信、雷达等情报。美国电子侦察卫星共发展了三代,第一代是“搜索者”,卫星重量约 1 500 千克,运行轨道高为 305 千米×634 千米,倾角 82°,在轨寿命 560 天。第二代是“流纹岩”,1973 年 3 月 6 日发射了第一颗。在此期间又研制了

“百眼巨人”和“牧人小屋”卫星。20世纪80年代中期,美国电子侦察卫星进入第三代“大酒瓶”时期。

在电子侦察卫星方面,美国最先进的是“大酒瓶”号,它属于第三代,也是当今最先进的电子侦察卫星。卫星轨道重量高达3600千克,对电子侦察卫星来说,这是相当重的。如果加上上面级发动机,重量达5~6吨。卫星上装有全波段无线电接收机,可以监听和分辨所有频率的信号。它的太阳能电池板总长度达30.5米。为了监听全波段通信信号,它采用了两副大口径碟形天线,直径达22.5米。一副用于接收雷达、通信和无线电频率变化等电子信号,一副用于向地面接收站回送信号。它的首要任务是截获前苏联导弹试验的遥测编码信息,其次是监听雷达信号及其他微波通信、无线电通信甚至步话机的信号。它的价值达3亿美元以上。

1985年1月25日航天飞机“发现”号飞行时将第1颗“大酒瓶”卫星送入近地轨道。然后卫星利用自己的上面级发动机推进,最后进入了地球同步轨道。这种卫星共发射了4~5颗。

前苏联的电子侦察卫星也比美国发展得晚。1967年3月16日前苏联用“宇宙”号小型运载火箭发射了第一颗电子侦察卫星宇宙148号。该系列共发射了64颗。第二系列从1967年10月30日发射的宇宙189号开始,共发射38颗。第二代重型电子侦察卫星从1978年开始发射,定位精度有了较大提高,据称对辐射源的探测已达到了10米精度。第三代从1984年9月28日发射的宇宙1603开始,它的显著特点是机动性强,更容易对特定地区进行定向监听侦察。卫星重达4.5~6吨。前苏联计划用6颗卫星组成电子侦察网。

照相侦察卫星和电子侦察卫星不愧是太空中的“千里眼”和“顺风耳”。在几次局部战争中,侦察卫星获得的情报都派上了大用场。美国和前苏联利用侦察卫星情报,作为外交谈判和削减核武器谈判的筹码,发挥了不可替代的作用。另外,照相侦察卫星与资源卫星非常相似,美国政府已决定将早期侦察卫星照片公开发售,将换来很大的经济效益。

第2节 监视导弹的预警卫星

自从人类研制成功核武器和把核弹头发射到上万千米远的火箭后,洲际核导弹就成了威力最大、破坏力最强、国际最敏感的威慑武器。美国投在广岛的原子弹只有约两万吨当量,但也造成了数十万人死亡。如果一枚当量数千万吨的洲际导弹射向某一国家,那么造成的巨大破坏将是难以想像的。核武器及洲际导弹有如此之大的破坏力,而人类目前对它却有些无可奈何。人们现今可能采取的措施大致有这样几种,一是进行大规模削减核武器谈判,尽可能减少核武器数量,达到最终消除核武器的目标;二是像美国那样采取“相互确保摧毁战略”,其基本思想是:由于目前已有多个国家拥有洲际导弹,如果一个国家胆敢向另一个有核国家实施核打击,那么这个国家也会进行核报复,结果是两败俱伤。这样,任何国家都不敢轻易动用核武器。“相互确保摧毁战略”要求有足够的摧毁性核反击力量;三是消极防御,在出现核警报时,迅速钻进深深的地下防空洞;四是积极防御,像美国曾经搞的“星球大战”计划那样,在敌洲际

导弹来袭时,用各种地基或天基武器将其摧毁。

核谈判是很困难的,尽管前苏联和美国削减核武器的谈判已取得了很大进展,但要达到全面禁止和彻底销毁核武器的目标还相差甚远。而且至今仍有一些国家在跃跃欲试,梦想成为有核国家的一员。采取“相互确保摧毁战略”带有很大的冒险性,而且这一战略有导致更大规模的核军备竞赛的危险。所以在20世纪50年代,发生核战争的危险始终是存在的。为了使受到核攻击时的破坏减少到最小,必须能对敌人核导弹的发射进行尽早预报,也就是预警。这是美国和前苏联长期关注的问题。无论是消极防御还是积极防御,争取较长的预警时间是最重要的一点。

洲际导弹都是垂直发射的,在飞行上千千米高后开始转向弹道飞行,最后再入大气层飞向目标。一般它从发射到攻击目标要飞行上万千米,而整个过程的时间一般只有四五十分钟。美国为了提早监视前苏联的洲际导弹,曾花了5年时间于60年代初建成了“北美弹道导弹预警系统”,配有直径42米的巨型天线,作用距离4500千米的超远程雷达网。这些系统都是在地面上,由于地球表面是弯曲的,只有当导弹上升到250千米以上时,雷达才能探测到目标,预警时间只有十几分钟,这对于处于一级战备的战略空军和导弹部队也许还来得及,但对全国军队进入备战状态、居民疏散隐蔽就来不及了。由于人造卫星站得高,看得远,航天时代以来,利用高高地运行在地球轨道上的卫星进行导弹预警就成为自然而然的选择了。

导弹预警卫星上最主要的探测器是红外探测器。导弹在点火发射时,发动机会喷射出长长的烈焰,这种由高温气体形成的喷焰会辐射强大的红外线。卫星上装的红外探测器对红外线非常敏感,它能在导弹刚刚发射时就探测到其尾部喷气,可以提前向地面报警。因此,应用预警卫星可以赢得半小时宝贵的预警时间,从而给自己的指挥部门以应变的和准备的机会。

美国最早的导弹预警卫星试验始于空军的“米达斯”计划,意为“导弹防御警报系统”。计划的构想从50年代就已开始。“米达斯”卫星很小,呈长长的筒状,就像一架照相机镜头。它上面带有红外探测器。头两颗“米达斯”卫星分别于1960年2月26日和5月24日发射,一颗发射失败,另一颗进入一条484千米×511千米的轨道,但两天后因遥测系统故障而失灵。1961年7月12日和1961年10月21日发射的“米达斯”3和4号取得了成功,试验表明它们可提供15分钟的预警时间。“米达斯”4成功地在“大力神”导弹发射后90秒钟探测到它的尾焰。到1971年为止,“米达斯”试验预警卫星共发射了12~15颗。

“米达斯”计划用于探测和预警导弹发射。在执行这个计划期间,美国国防部和太阳能委员会还联合研制和发射了专门用于探测核爆炸的卫星“维拉”号。50年代末,美国开始研究如何监督禁止核试验条约的执行情况,当时提出的办法是用携带核试验探测装置的卫星。原子弹与氢弹等核爆炸与常规炸药爆炸有很大不同,它能释放出特有的辐射,如中子辐射、X射线、 γ 辐射、电磁波等,也能发出常规的可见光。核试验监测卫星就是通过遥感这些辐射来探测全球范围内的核试验的。

在“米达斯”计划之后,美国国防部正式制定了导弹预警卫星计划,公开的名称是“国防支援计划”(DSP)。第一代卫星称“综合导弹早期预警卫星”(IMEWS)。卫星由美国TRW公司

研制,长约7.1米,直径3.05米,重820千克,设计寿命约3年。主要设备是一台长3.66米的红外望远镜和电视摄像机。望远镜的探测器由2048个硫化铅探测元件组成。卫星上装太阳能电池板,长7米,功率达400瓦。之所以称综合型预警卫星是因为它还带有核爆炸探测装置,能探测核试验。

第一颗卫星在1970年11月6日发射后不久失效。第二颗和第三颗分别于1971年5月5日和1972年3月1日发射,都进入了地球同步轨道。第四颗和第五颗分别于1973年6月12日和1975年12月14日发射。这4颗卫星构成了美国最早的导弹预警网。第一代卫星共发射了7颗。第二代导弹预警卫星是长2.78米,直径1.91米的柱形体,地面重量1670千克。除了有4个太阳电池板外,它的外表也都贴有太阳电池,总输出电能达到680瓦。它的主要探测设备是一台长3.63米,口径0.92米的施密特红外望远镜。它的敏感器有了很大改进,探测元件达6000个。其设计寿命为3年,并朝5年寿命的目标努力。第二代的第一颗卫星DSP6于1976年6月26日发射,到DSP13号1987年11月29日发射,第二代导弹预警卫星的正式部署完毕。

第三代“国防支援计划”卫星早在80年代初就已在考虑。这一代卫星寿命延长到7~9年。它安装了两个工作在不同波段的红外探测器,不但提高了对导弹喷焰的敏感性,甚至可以探测到战斗机发动机开加力时的红外辐射,而且降低了对欺骗性的激光的敏感性。卫星上也带有探测核爆炸的装置。另外,卫星还安装了可见光电视摄像机,主要用于目标识别,监视卫星系统工作情况,提高探测效率。卫星长10米,直径4.2米,发射重量2360千克,价值约1.8亿美元。它上面装有3.66米口径高灵敏度红外望远镜和先进的电子设备。它带有4个尾部安装的太阳电池板,能提供1.3千瓦电能。它还装有核防护装置以及为星球大战计划进行试验的装置。它的另一个特点是机动性很强,可以从地球同步轨道机动到大椭圆轨道。与第二代卫星相比,它不但灵敏度高,生存能力强,而且寿命长,从5~7年提高到9年。

第一颗卫星DSP14于1989年6月14日在大力神-4首次发射时送入地球同步轨道。第二颗DSP15在1990年11月13日发射后在轨道上失灵。DSP16于1991年11月24日由航天飞机发射入轨。头两颗卫星后来因热控制系统故障而失灵。DSP17于1994年12月22日发射。原计划到1994年会形成由5颗预警卫星组成的导弹预警网,但直到目前也未能实现。

前苏联的导弹预警卫星计划同样比美国晚。据称,第一颗导弹预警卫星是1967年5月发射的宇宙159号。1968年12月又发射了宇宙260号。这两颗卫星用于预警技术探索。1972年,前苏联正式提出试验性的导弹预警卫星计划。该计划共进行了4年时间。1976年前苏联实用型导弹预警卫星系统开始发射,该预警系统称“眼睛”系统,其第一颗卫星是1976年9月19日用“闪电”号火箭发射的宇宙520号。它的重量约为1260~1600千克,轨道高度为750千米×39470千米。由于前苏联远离赤道,因此这一代卫星系统采用这种大椭圆轨道,其典型的轨道是600千米×40000千米,周期12小时,计划由9颗卫星组网,轨道间隔40度。此后组网工作正式开始,到1980年形成由3颗卫星组成的初期预警网,1982年计划扩展到9颗。此后卫星的发射一直在进行,经过不断的替补更换,到1987年6月4日宇宙1849号发射成

功,原计划的9颗预警卫星网全部建成,首次达到了全球覆盖的预警能力。

前苏联的“眼睛”预警系统大约可提供30分钟的预警时间。同美国预警系统类似,它不但可以进行导弹预警,而且也能探测核爆炸。这个大椭圆轨道的预警系统自建成之日起,一直在不断发射新的卫星代替失效或到寿的卫星。1988年共发射了4颗,1989年发射了2颗,1990年发射了6颗,1991年没有发射,1992年发射了4颗,1993年发射了3颗。卫星的寿命逐渐延长,从原来的数个月提高到近5年,因此年发射频率也在减少。1994年和1995年各只发射了1颗。

前苏联在研制和发射第一代“眼睛”大椭圆轨道导弹预警卫星网的同时,也在积极发展第二代静止轨道预警卫星网“预报”系统。“预报”系统的第一颗卫星是1988年4月26日用“质子”号火箭发射的宇宙1940号。前苏联对第二代预警卫星一直保密,直到1993年俄罗斯才承认“预报”预警系统的存在。当时还公布了预警卫星的照片。第二颗卫星是1991年2月14日发射的“宇宙2133”号。第三颗是1992年9月10日发射的“宇宙2209”号,1992年12月17日又发射了第四颗“宇宙2224”号,1994年7月7日又发射了第五颗“宇宙2282”。这样到1994年夏,在轨的四颗预报系统卫星组成了最初的静止轨道导弹预警网。按计划“预报”预警系统将由9颗卫星组成预警网,但近几年未看到俄罗斯有发射其它几颗“预报”系列的报道。

导弹预警卫星经过几十年的发展和应用,暴露出一些严重的缺点。卫星上没有自卫装置,易受反卫星武器的攻击,生存能力差;卫星地面站是大型固定场区,也易受到攻击;卫星上的红外探测器采用圆锥扫描,灵敏度得不到充分发挥,红外扫描仪只能探测导弹主动飞行段喷出的尾焰,不能探测导弹弹体,因而基本上不具有跟踪导弹的能力;另外,它对战术导弹和作战飞机等红外辐射相对较小的目标的探测能力较弱。针对这些,美国和俄罗斯都在积极发展预警卫星新技术,希望能够解决上述问题,研制和部署能够探测和跟踪弹道导弹、战术导弹、作战飞机,利用多种光谱段遥感仪实现战略预警和战术预警相结合的高级预警系统。

第3节 万里指向的导航卫星

导航也是卫星应用的重要领域之一。导航卫星主要为地面、海上、空中和空间用户提供导航定位参数,是为飞机、潜艇及舰船进行导航的专用卫星。这些用户为了准确航行到达目的地,必须时时刻刻了解是否运行在正确的航线上,包括经度和纬度,有时还需要知道速度方面的信息。导航卫星能够提供上述运输工具所需要的导航信息。随着应用的深入,人们发现导航卫星还能用于提供精确的定位信息,从而大大扩展了导航卫星的应用领域。今天,一般人所熟知的还是它的定位功能。

导航卫星上装有专用的无线电设备和测距仪、计时器。用户接收卫星发来的无线电导航信号,通过多普勒测速或时间测距分别获得用户相对于卫星的距离或距离变化率等导航参数,并根据卫星发送时间、轨道参数求出定位瞬间卫星的实时位置坐标,从而定出用户的地球位置

坐标(二维或三维位置)和速度矢量分量。在实际应用中,通常由几颗卫星组成导航卫星网,具有全球和近地空间的整体覆盖能力,这意味着世界各地用户都能依靠导航卫星进行导航定位。

1957年,美国约翰·霍布斯金大学应用物理实验室的研究人员,在跟踪观测前苏联发射的第一颗人造卫星时提出了这样一个问题:既然在地球上,可以根据已知观测站的位置测出卫星的位置,那么,反过来利用已知卫星的位置,也应该可以测出地面观测者的位置。这就是导航卫星的基本设想。

20世纪50年代末,美国海军为了解决“北极星”潜艇执行长期任务的导航问题,提出了研制“子午仪”导航卫星的计划,1958年12月与约翰·霍布斯金大学应用物理实验室签订了研制“子午仪”卫星的协议。“子午仪”卫星主体呈八棱柱形,高25.4厘米,宽45.7厘米。卫星一端伸出四个小型太阳能电池板。卫星底部有一根长达22.9米的稳定杆,杆子末端带有一个重约1.36千克的质量块。稳定杆起重量梯度稳定作用,使卫星天线始终对地定向。卫星总重约55~59千克。主要导航设备有晶体振荡器、导航电文存储器、遥控接收机和双频发射机。第一颗“子午仪”卫星于1959年用“侦察兵”火箭发射,可惜没有成功。1960年4月13日,第二颗卫星“子午仪”1B成功地发射到373千米×745千米、倾角 51° 的近地轨道上。这颗连同后来发射的几颗都是实验性的。1963年12月,第一颗实用型“子午仪”卫星5B-2号发射成功。1964年6月第一颗定型的“子午仪”卫星5C-1号发射,并交付海军使用。

为提供全球导航能力,“子午仪”卫星采取组网形式,由6颗卫星组成,分布在6个等间距极轨道平面内。轨道高度多为800千米的圆轨道,有的高度为1000千米左右。到1967年,组网工作完成,这个导航卫星网被命名为“海军导航卫星系统”(即NNSSS)。此后,经常性地用“侦察兵”火箭发射新卫星以替换失效或到寿命的卫星,使网上始终保持有6颗卫星正常工作。这些卫星有的寿命超过了5年,有一颗甚至达到了11年。到1968年,“子午仪”卫星共发射了23颗。

利用“子午仪”卫星,用户每隔90分钟可利用卫星定位一次。通过用户接收机上的计算机进行计算,每次定位需要8~10分钟。单频接收机定位精度约80~100米左右,双频接收机导航定位精度可提高到15~25米。美国1972年对“子午仪”卫星进行了改进,对大气阻力和太阳风压引起的轨道摄动进行实时补偿,提高了轨道预报精度。1981年又对“子午仪”卫星进行了重大改进,并重新命名为“新星”。第一颗于1981年5月14日发射,轨道高度约1180千米、倾角 109° 。到1994年,仍有2颗“新星”在轨道上工作着。80年代中期,“子午仪”卫星改为用“侦察兵”火箭进行双星发射,卫星又称“奥斯卡”。第一对于1985年8月3日发射升空。到1993年底,“子午仪”导航星座共有8颗“子午仪”卫星和2颗“新星”卫星在轨工作。

对高速飞行的飞机、运载火箭和导弹,“子午仪”系统就显得不够了。一方面定位间隔太长,对高速运动的用户定位极为不利;二是精度低;三是只能提供二维定位信息,不能提供用户高度信息;四是不能给出用户的速度信息。这些问题导致美国后来又发展了全新的“导航星”全球定位系统(即GPS系统)。

“导航星”全球定位系统是美国国防部 60 年代提出研制的系统,目的是为美国陆海空三军提供统一的全球性精确、连续、实时的三维位置和速度的导航和定位服务。“导航星”全球定位系统共有 21 颗实用卫星和 3 颗备用卫星组成,采取中高轨道,均匀分布在 6 个轨道面内,高度约 2 万千米,倾角 63° 。21 颗“导航星”分为 3 组,第 1 组轨道重量 760 千克,第 2 组轨道重量 840 千克,第 2A 组轨道重量 930 千克,发射重量 1 881 千克。导航星上的主要专用设备有:高稳定度原子钟、导航电子存储器、双频发射机等,导航信号采用加密的伪随机噪声光谱编码调制。用户只要配有合适的接收机和数据处理设备,就能同时接收 4~6 颗卫星发送的导航信号,并根据信号传送时间,计算出用户的精确位置。它的定位精度在 16 米以内,测速精度优于 0.1 米/秒,计时精度优于 120 毫微秒(300 万年误差 1 秒)。这个系统可用于为飞机、舰船、坦克、步兵、导弹及低轨卫星等提供全天候、连续、实时、高精度的三维位置、时间和速度的精确定位信息。

1978 年 2 月 22 日第一颗导航星由“宇宙神”火箭发射成功,到 1980 年 4 月 26 日共发射了 6 颗,其中 1978 年发射了 4 颗,1980 年发射了 2 颗。组成初期试验导航网,对指定区域提供 4~6 小时的导航服务。这些卫星的寿命为 5~10 年。1981 年和 1983 年各发射了 1 颗。1984 年发射了 2 颗。到 1988 年第一组 12 颗“导航星”全部发射,轨道上的卫星有 7 颗正常工作。1989~1990 年第二组 9 颗“导航星”由“德尔它”火箭发射。到 1990 年 10 月 1 日,轨道上共有 16 颗“导航星”在工作,每天可以提供 14~22 小时的二维定位服务,对于三维导航定位,则能提供 9~17 小时的服务。

从 1990 年 11 月 26 日开始,第 2A 组“导航星”开始发射。到 1993 年 10 月 26 日,第 21 颗导航星在卡纳维拉尔角发射升空,标志着整个“导航星”全球定位系统已经建成。此后又发射了 3 颗备用星。1994 年 3 月 9 日,美国又用“大力神”2 号运载火箭发射成功最后一颗——第 24 颗导航星,从而使这项历时 20 年、耗资 100 亿美元的导航星全球定位系统全部建成。此后,每年都发射新的导航星以替代失效或到寿的卫星。截止到 1995 年底,在轨工作的 24 颗“导航星”都是第 2 组和 2A 组,编号分别是第 22 号到 36 号,最早发射的是 1989 年 2 月 14 日。这种替补工作将一直进行下去。

与“子午仪”的多普勒测速定位原理不同,“导航星”采用时间测距原理。各卫星同步发出卫星星历表、时钟校正参数、信号延迟参数、卫星状态参数和识别信息等导航信号,用户接收机在某一时刻同时接收 4 颗星发出的导航信号,接收机计算机根据卫星发送信号时间和电磁波的传播速度,可以算出用户相对于 4 颗卫星的距离(称伪距离)。以这 4 颗卫星为中心,以它们相对用户的距离为半径作 4 个球面,如果 4 个球面交汇于一点,这个点就是用户的位置。否则就用导航星上的时钟校准接收机时钟,重复计算使球面汇于一点。这样用户的三维位置坐标(经度、纬度和高度)就确定了。通常用户在地球任何位置至少能同时“看到”6 颗以上的导航星,从中选出位置最佳的 4 颗进行连续的实时三维定位和测速。

“导航星”全球定位系统可实现 24 小时全球定位,导航定位精度大大高于“子午仪”卫星,每次定位时间也大大缩短,几乎可以“实时”显示用户的位置和速度信息。由于实现了全自动

快速译码计算和显示,用户进行导航定位就像使用计算器一样方便。“导航星”信号编码分 P 码(精确码)和 C/A 码(粗捕获码)两种。精确码定位精度约为 16 米,而粗捕获码定位精度只有 100 米。向民用用户开放的是粗捕获码。1993 年以前,中国用户还能接收到精确码,此后美国政府规定:只有美国及其盟国的军事用户才能不受限制地使用精确码。这样我国就只能接收到粗捕获码进行定位,这对许多应用领域特别是动态用户(如飞机、舰船)是完全不够的。1996 年 3 月 28 日,美国政府又声称将恢复开放精确码。外国用户为利用“导航星”进行精确导航和定位,可以采取建差分台方法。采用这种方法可将定位精度提高到几米。

“导航星”全球定位系统是被动式导航定位系统,即用户只需接收卫星发出的信号而无须向卫星发射信号,因而用户接收装置可以做得非常小巧,一般在几千克左右。美国开发的飞机用接收机尺寸为 76 毫米×178 毫米×304 毫米,重量仅 5.45 千克。美国海湾战争中使用的接收机有的只有 0.81 千克,尺寸仅 22 厘米×9 厘米×5 厘米。

导航星全球定位系统不仅为美国三军提供导航服务,而且也已于民用和移动通信服务。美国政府 1993 年许诺,各国民用用户可以在 1995~2005 年间免费使用该系统 10 年。由于这个原因,90 年代后,许多国家有大量公司在开发不同用途的导航星全球定位系统接收装置,应用领域遍及社会经济各个方面,GPS 的开发和应用已形成前景十分广阔的技术产业。GPS 的应用前景十分光明,除用于飞机、船只、导弹等的导航定位、战术导弹制导外,还可用于航天器定位、全球授时、地形测绘、地质勘探、资源调查、城市规划、国界测定、海岛与礁石联测、山体测高、测量板块和地壳运动、交通管制、工程建设等等。鉴于 GPS 系统取得的巨大成功,美国还计划对其进行改进和扩充,计划研制和发射 51 颗新的导航卫星组成规模更大、应用更加广泛的导航星全球定位系统。

前苏联的早期导航卫星使用与“子午仪”卫星完全相同的方法,所用频率也相同。1967 年 11 月,前苏联发射了第一颗导航卫星宇宙 192 号。卫星重量约 800 千克,运行在高度约为 1 000 千米、倾角 80°的轨道上。经过近 5 年的试验,到 1978 年前苏联建成由 3 颗卫星组成的第一个低轨道导航卫星星座。

前苏联新一代中高轨道全球导航卫星网(GLONASS)分两阶段建设。第一阶段计划发射 10~12 颗卫星,到 1992 年 3 月 11 日组网完成。第二阶段将把该系统卫星数扩大到 24 颗星,包括 3 颗备用星。重量分 1 300 千克和 1 400 千克两种,轨道为 19 000 千米的圆形,比美国的导航星略低,倾角 64.8°,比美国的大。这有利于高纬度地区的导航定位。卫星上的双频发射机发射的导航信号频率分别为 1 250 和 1 604 兆赫。这个系统包括 3 个轨道平面。前苏联后来开始用大推力的“质子”号运载火箭发射,这样可以做到一箭三星,从而提高了导航星的部署速度。1995 年 12 月 14 日俄罗斯用“质子”火箭发射了最后一组三颗导航星“宇宙”2323 号、2324 号、2325 号,这样全部 24 颗星都已发射。除丢失了两颗外,其余 22 颗星组成了一个可供全球导航定位的卫星网。它们分布在 3 个轨道平面内,其中两个轨道各为 7 颗,一个轨道为 8 颗。在标准模式下(相当于美国的粗码),定位精度为 50~70 米。1994 年以前发射的卫星寿命为 3 年,后来提高到 5 年。

像美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS 那样的导航定位系统能够实现全球导航定位,但建设这样一个系统耗资极大,周期很长,一般国家无力承担这样大的工程。虽然其他国家可以免费使用美国的导航系统,但所能得到的定位精度不高,而且完全受制于人。1982 年美国几位科学家提出的双星导航定位概念可以以较低的费用,在较短的时间建成这样一个系统。据估计,双星定位可使定位精度达到 10 米以内。而且这种方法还能将导航、定位和通信三者结合起来,因而大大扩大了应用领域。利用双星体制只能进行区域导航定位,但也能覆盖整个中国和东南亚地区,而且也能扩展到进行全球定位。近年来提出的还有三星定位体制,美国的“吉奥星”系统和法国的“定位卫星系统”都采用三星制。

正像飞机的出现使战争从二维空间扩大到三维空间,战场不再有后方与前方之别,战争变得更加残酷一样,军用航天系统的出现使战火蔓延到第四维太空,全面的空地海天大战将使全世界陷入巨大的灾难之中,这是任何人都不愿意看到的。所幸人们只在科幻片中看到这样的战争场面,希望它永远不会变成现实。到目前为止,最大规模的空地海天一体战争是海湾战争,但空间系统产生的作用主要是支援。近 40 多年来,军事大国在把攻击性武器引入太空方面也十分谨慎,种种国际条约也对此严加限制,这对全人类来说是件大好事。我们也在呼吁,应当在全球范围内达成一个强制性的公约:发展军用航天系统只能限于非攻击性的支援性军用航天器,决不能把大规模杀伤性武器引入太空。

第十四章

载人宇宙飞船研制与运行



这是美国宇航员怀特在 1965 年 6 月参加“双子座”4 号飞行期间，进行的美国历史上第一次太空行走。他身上连了一根长索，利用小型机动系统活动，最远时离飞船约 3 米左右，除身体有些旋转外，一切均正常。不幸的是，怀特在 1967 年 1 月进行阿波罗计划的首次载人飞行的训练过程中，因飞船失火而牺牲。

从希腊的卢奇安到英国的哥德温,从法国的凡尔纳到俄国的齐奥尔科夫斯基,无论是神话传说,还是科学幻想,乃至科学的探讨,太空飞行这一主题无一例外总是以人作为主体。由于载人太空飞行最能激发人们的想像,最能使人激动,也最能体现人类的智慧和奋斗精神,因此20世纪初众多的火箭先驱者都将载人太空飞行作为最终的努力方向。也许正是由于这个原因,即使在战争年代,英国星际航行协会也在探讨载人登月问题,德国佩内明德的火箭专家也在设计载人火箭飞行器。

50年代到60年代初,运载火箭的极大发展,各种卫星的出现以及高空生物试验取得的进展,使载人航天技术很快发展成熟。虽然从技术上看,载人太空飞行是人造卫星和洲际导弹之后的逻辑发展,但由于东西方冷战和苏美太空竞赛,为在世界上获得更大的政治利益和宣传效果等诸因素,都或多或少加速了载人太空飞行计划的制定、实施和取得成功。

第1节 开创性的“东方”计划

人造卫星发射成功后,航天技术逻辑发展的下一步显然就是载人航天。实际上,载人太空飞行是20世纪初一大批航天先驱者梦寐以求的事业。作为火箭专家和齐奥尔科夫斯基的崇拜者,科罗廖夫也同样把载人航天作为他的主要努力方向,并千方百计以他的影响力促成载人航天飞行一步步成为现实。苏联在1957年发射的第二颗人造卫星上便有密封舱和生命保障系统,里面装了一只名叫莱卡的小狗。这颗卫星实际上可以看作是第一宇宙飞船,而莱卡也可看作第一名宇航员。在卫星点火、发射、加速、入轨以及失重等飞行条件下,这只小狗感觉似乎很好。

按着时间的尺度和技术发展的状况,从人造卫星到载人飞船的过渡应当有一个较长的时间,这不仅是由于技术问题并不是那么容易得到解决,更重要的也许是还存在那么多的新问题没有认识得很清楚,如太空生物医学方面、太阳辐射方面以及微流星等等。正是因为载人太空飞行这样一个史无前例的伟大事业同时对人的生命来说有很大的冒险性,因此在正常情况下,必须在一切相关问题都已圆满解决、新问题都已得到充分认识、近乎万无一失的情况下,才会最终把人送上地球轨道。但是,50年代末的政治、军事、科技以及感情等各种因素的综合,导致正常的科学规程被打破了,竞争意识占据了主要地位,第一颗人造卫星获得的利益已经相当可观,第一次载人太空飞行将会加倍带来更大的政治利益。

作为卫星号运载火箭的总设计师,科罗廖夫非常清楚苏联和美国运载火箭的状况。虽然苏联的头两颗人造卫星比美国最初的一系列卫星重得多,但苏联当时只有一种运载火箭,而美国则至少有两种运载火箭,而且由于解除了不得干扰弹道导弹的禁令,美国的阿特拉斯、雷神、大力神导弹均有改装成大运载能力运载火箭的潜力。因此科罗廖夫认识到,第一颗人造卫星只能一时地显示苏联的优越性,如果再不做出新的努力,这种势头不可能保持多久。实际上,进入1958年后,美国发射人造卫星的数量和获得的科学成就很快超过了苏联。由于“卫星”

号运载火箭还具有改装成大型运载火箭的潜力,因此科罗廖夫感到,只要抓紧时间并做出努力,苏联有可能尽早发射成功载人飞船。1958年期间,科罗廖夫向赫鲁晓夫通报了利用现有技术,改进P-7火箭,实现载人太空飞行的可能性。

苏联领导人赫鲁晓夫对太空计划也显示出异乎寻常的兴趣,这或许是基于政治和外交上的考虑。第一枚洲际导弹试射成功,第一颗人造卫星发射入轨,都为社会主义阵营、对苏联及他本人带来了莫大的政治利益。对赫鲁晓夫来说,苏联航天技术的每一次重大成就都有助于苏联国际地位的提高,有助于加强他在外交谈判上的力量,也有助于提高他个人的威望。由于他本人性格上的特点,他也确实在各种场合下不失时机地夸耀苏联的新成就。例如,1959年9月14日苏联的“月球-2”号探测器击中月球,成为人类第一个送上月球的物体,实现了戈达德40年前的梦想。赫鲁晓夫常以此为傲。他在访问美国时,对美国领导人说:“月球-2号已将苏联的勋章挂在月球上。”为了增加戏剧效果,他还真的赠送给艾森豪威尔总统一枚苏联勋章。1960年在他访美之前,曾要求发射一枚火星探测器,以壮他访美的声势。但是事与愿违发射失败了。由于这些原因,加之1958年10月后美国大肆宣传其载人的水星计划,强烈的好胜心理和同美国竞赛的决心促使他很快做出决定,加速推进苏联载人太空飞行计划。

按照苏联著名航天专家、第一颗人造卫星的设计者吉洪拉沃夫的说法,苏联早在1956年11月就开始了载人太空飞行的初步规划工作,其中包括载人登月飞行。科罗廖夫在设计第一枚洲际导弹及卫星号运载火箭过程中,起飞推力很大和留有较大的余量或许就是为了为载人航天做技术准备。事实上,苏联用于载人航天的第一种运载火箭东方号大致就是在“卫星”号火箭基础上加装第三级构成的,其他改进只是换装推力更大的发动机。这些先驱性的工作表明,苏联航天界早已有了解人太空飞行的思想准备和行动。这也恰恰是苏联最先取得成功的关键原因之一。

载人航天面临着许多要解决的新问题。过去人们一直在从理论上和间接的实验上研究失重对人的生理和心理状况的影响,包括身体各部位的协调、血液的流动,以及思维的活动等等。研究者几乎都认为短期的失重对人身体的不良影响不大。苏联的探空火箭也曾大量地进行生物和小动物的高空实验,取得了某些初步成果。苏联第二颗卫星也许是失重反映的最好验证了。那只叫莱卡的小狗在失重状态下似乎感觉不错,只是卫星无法回收而终归丧命。这次试验似乎表明短期失重大动物产生的影响并不是很大,因而增强了人们对载人飞行的信心。

载人太空飞行的另一个重大问题是太阳辐射和微流星对宇宙飞船和宇航员的影响。苏联和美国利用探空火箭和早期人造卫星携带专门的宇宙线探测仪和微流星收集器。过去人们一直认为,微流星可能会对飞船带来很大威胁,但大量试验和探测表明,微流星的数目、密集度和大小并不像原来想像的那么严重,防护措施也不必那么复杂,宇宙线和太阳辐射也可以通过特定的防护措施加以屏蔽。这些问题按照当时的技术水平,都是可以解决的。

1958年苏联载人太空飞行的研究工作正式推进起来。到1958年8月,不同方案的可行性研究先后完成。从各种报告来看,首次载人太空飞行应采取何种形式明显地分成两种观点。一种主张类似于美国那样,首先进行亚轨道飞行,即载人飞船只在地球轨道上飞行一段,而不

是绕地球飞行一周。主张这种观点的人认为,亚轨道飞行可以充分利用现有的技术成果,而且能保证较高的安全性,利用亚轨道飞行取得的经验可以为下一步轨道飞行创造条件。另一种观点则认为首次飞行即应采取轨道飞行方式。经过一番热烈的讨论,在科罗廖夫的支持下,最后决定直接进行载人轨道飞行。理由是:第一,亚轨道飞行几乎要做与轨道飞行完全相同的工作和努力,难易程度并没有很大差别;第二,轨道飞行面临的重大问题无非是长时间的失重和太阳辐射及流星体的影响,这些问题可通过几次不载人实验加以认识;第三,亚轨道飞行也要解决最关键的再入和回收这一严峻的问题,从安全上看,这两种飞行方式差别不太大;第四,亚轨道飞行的成果比轨道飞行逊色得多。

“东方”号飞船选择什么样的形状也是一个争议很大的问题,也是一个综合性很强的问题。有人认为圆柱体最合理,有人主张采用圆锥体,有人建议半球形,也有人拥护球形。在听取了各方面意见和理由之后,科罗廖夫主张采用球形结构,也指出:“我赞成以球形作为宇宙飞船结构的意见。球形能够容纳下宇航员座舱和它返回地面用的降落伞。而且在一定的外形尺寸条件下,球形结构的内部容积最大。另外,球形还有明显的象征意义。”科罗廖夫显然懂得,采用球形结构的关键意义还在于,这种形状有利于减少再入时气动热流的不利影响,而且有利于在各种速度下保持稳定。在解决再入防热问题上,苏联的东方号飞船基本上沿用了弹道导弹的再入防热技术。洲际导弹再入大气层时,弹头的环境特点是高焓、高热流、高驻点压力,而且再入的时间较短。弹头表面产生严重烧蚀的主要因素是热化学烧蚀、机械剥蚀、较强的冲击和热应力,因此弹头都采用高密度烧蚀材料。而航天器再入的气动环境特点则是高焓、低热流、低驻点压力,而且再入时间长。两种再入环境的不同决定了防热措施的差异。但由于对这一问题还缺乏较多的研究和实验,因此东方号飞船仍然采用洲际导弹弹头采用的相对笨重的高密度烧蚀材料。后来,航天器才过渡到隔热性能好的低密度烧蚀材料。

“东方”号宇宙飞船系统方案的详细技术评价工作于1958年11月开始。到1959年初,第一艘载人飞船开始实际设计。与此同时,飞船各分系统的设计也分头进行,这些工作包括高度控制、通信、轨道转移等分系统设计。到1959年底,飞船的设计工作全部结束。

完整的东方号飞船由两部分组成,上端是球形乘员舱,直径2.3米,重2.46吨,乘员舱外部有两根遥控天线和顶端安装的通信天线,通信电线下端是一个小型通信电子设备舱。乘员舱侧旁有一个观察窗和一个弹射窗,内部除装有生命保障及食物外,还有一台电视摄像机,一个光学定向装置,一个宇航员观测装置和宇航员应答装置,宇航员按设计一直躺在弹射座椅上,生命保障系统可供宇航员生存10昼夜。东方号飞船的下端是仪器舱,它呈圆台圆锥结合体,最大直径2.43米,高2.25米,重2.27吨。在紧靠宇航员舱处有18个球形高压氮气和氧气瓶,用以为宇航员提供尽可能类似地面的大气环境。气瓶下面是圆台形仪器舱,它的侧面有3根鞭状天线,再往下则是反推发动机和内部推进剂储箱。底端还有两个通信天线。反推火箭用于飞船再入前变轨制动,发动机采用硝酸和苯氨作为推进剂,推力1.614吨,比冲266秒,推进剂重275千克,工作时间45秒。这个系统能把飞船的速度减到155米/秒。为简单起见,整个末级火箭和整个飞船是一同进入轨道的,因此轨道上的飞船总长达7.35米。

东方号飞船的轨道设计有一个突出的特点。它采用近地点只有 180 千米的低轨道,这样低的高度大气对飞船轨道衰减十分厉害。但这种设计有几大优点,一是如果制动火箭系统失灵,飞船可以在 10 天内逐渐衰减降低轨道,最终以不太大的再入速度返回地面;另一个好处是飞船设计可以不必考虑和设计复杂的轨道保持系统,简化了设计;第三个优点是,由于飞船不是垂直高速再入而是缓慢地大倾角再入,因而使烧蚀隔热设计更容易些,但随之也带来了一个严重缺点:飞船的再入和着陆点很难预测,而且往往离发射场地很远。

飞船的回收过程设计的很有趣。为了确保宇航员再入回收安全,科罗廖夫提出采用水星计划所设想的海上回收方案。但赫鲁晓夫却坚持第一艘苏联载人飞船必须在苏联领土上降落,理由是如果在公海上降落,西方航天专家和记者势必蜂拥而至,那么苏联的航天技术就会暴露在西方面前,不利于保密。这个要求使科罗廖夫等设计人员大为作难,因为在陆地上降落的安全性要差得多。如果采用火箭减速,那么系统设计和重量都会变得无法接受。如果用降落伞也必须相当大才能回收一个几吨重的飞船。最后不得不采用一个折衷的但仍带很大冒险性的方案:不回收返回舱而只回收宇航员,即在返回舱再入离地面 7 000 米左右后,将宇航员连同座椅一道弹射出去,并用降落伞回收,而返回座舱则任其硬着陆。这种办法看似比较安全,但实际上飞船在宇航员弹射时的速度比飞机快得多,宇航员用降落伞着陆能否成功还是个未知数。由于时间紧迫,已不可能进行充分的动物试验。

按整个“东方”计划,在正式载人飞行轨道之前,要进行几次不载人飞行,用于考察飞船在轨飞行过程中的设计特性和载生物及回收的可靠性。1960 年 5 月 15 日,第一艘“东方”号飞船发射,由于不回收,飞船没有隔热烧蚀层,只进行制动火箭试验。《真理报》于 5 月 16 日报道说:“在从飞船式卫星飞行过程中获得必要的的数据后,重约 2.5 吨的增压舱将与之分离。在这次发射中,不进行增压舱回收试验。在工作的可靠性得到了验证,并与飞船式卫星分离后,增压舱和飞船式卫星将在地面指令下开始下降,最后将考察它们再入稠密大气层后的情况。”

这艘飞船在轨道上共飞行了 3 天,5 月 18 日计划试验反推减速火箭,但由于点火时飞船的方向差了 180° ,结果飞船并没有进入下降轨道,相反进入了一个更高的轨道。再入控制减速失败了。1960 年 7 月 23 日,另一艘“东方”号飞船计划发射,但由于运载火箭发生故障,这艘飞船没有进入轨道。

1960 年 8 月 19 日,第三艘东方号飞船发射。这是一次完整的试验,考察整个发射、入轨及回收全过程的性能,为此飞船上载有两只小狗。这次试验东方号飞船在轨道上飞行了约 1 天。当反推火箭点火后,仪器舱与再入舱正常分离。在距地面有一定距离时,载有动物的小舱室弹出主舱外并安全回收,降落地比预期的仅差 10 千米。试验取得圆满成功。然而后面的两次试验却遭到了失败,一次是 12 月 1 日,另一次是 12 月下旬。前一次在回收时,再入角极大,极高的气动加热导致飞船烧毁,两只小狗因此丧命;后一次试验则是运载火箭第三级没有工作,飞船未能入轨。但据称飞船内的小生物舱安全回收。这两次失败给科罗廖夫带来沉重打击,甚至还导致他心脏病发作入院。为了保证宇航员的安全,不得不决定对飞船重新进行设计审查并补充进行不载人飞行试验。

经过几个月紧张检查和修改,1961年3月3艘“东方”号飞船运抵丘拉坦发射场,计划前两艘用于补充试验,第三艘正式用于载人飞行。1961年3月9日和3月25日,两艘飞船先后搭载一只小狗进行了飞行试验。在整个试验过程中,遥测结果表明飞船和试验动物一切正常。最后飞船均安全再入并成功回收。这些成就预示载人轨道飞行即将开始。

1961年4月3日,苏联政府正式批准进行载人轨道飞行。第一次飞行任务由尤里·加加林担任,如果临时状况不佳则由季托夫接替。1961年4月12日莫斯科时间9时07分,一枚“东方”号运载火箭将加加林乘坐的“东方”1号发射升空。这一历史性的飞行的时间过程是:

09时07分:“东方”1号飞船发射升空;

09时09分:“东方”1号运载火箭助推级和第一级脱落;

09时10分:运载火箭头部整流罩抛离;

09时12分:第二级火箭分离,第三级火箭发动机点火;

09时21分:第三级连同飞船进入180千米×230千米地球轨道;

09时49分:“东方”1号飞船进入地球阴影里;

10时09分:“东方”1号飞船离开地球阴影;

10时25分:反推发动机点火,飞船降低轨道准备再入;

10时35分:下降舱分离后进入大气层,距地面7.2千米高时加加林弹射;

10时55分:加加林落在萨拉托夫地区恩格尔城西南26千米处。

由于是第一次载人太空飞行,加加林在整个飞行过程中不需要进行任何操纵动作。另外,着陆过程比较复杂,最后加加林的落地点与预计点相差甚远。但这次飞行的意义却是极其伟大的。它实现了人类登天飞行的理想,把世纪初航天先驱者的理论变成了现实。

加加林绕地球飞行一圈还有着无可辩驳的科学意义,它证明人类在短时间失重状态下完全可以正常生活。加加林后来回忆说:“当失重出现时,我的感觉好极了。任何事情都很容易去做。真是不可思议,腿和胳膊感觉不到重量,物体在座舱内飘浮,我也离开了座椅,悬在了半空。”他在描述从舷窗看到的景象时说:“我第一次亲眼见到了地球表面形状。地平线呈现出一片异常美丽的景色,淡蓝色的晕圈环抱着地球,与黑色的天空交融在一起。天空中,群星灿烂,轮廓分明。但是,当我离开地球的黑夜时,地平线变成了一条鲜橙色的窄带,这条窄带接着变成了蓝色,复而又成了深黑色……”

加加林轨道飞行成功同样还有着深远的政治意义,苏联在载人飞行这一重要领域中又一次击败了美国。

继加加林之后,东方号飞船又进行了5次载人轨道飞行。1961年8月6日,宇航员季托夫乘坐“东方”2号飞船进入地球轨道。原定这次飞行只绕地球3圈,但出于某种政治上考虑,飞行时间延长到25小时。结果,季托夫患上了前所未有的天空病,在整个飞行过程中,他一直感觉不佳,许多计划进行的重要实验无法完成。他在头7圈进行的工作主要有:对地球进行了拍照,进行了飞船姿态控制试验。虽然他最后安全返回了地面,但由于太空病的影响使他永久告别了宇航员职业。

1962年8月11日,宇航员尼古拉耶夫乘“东方”3号飞船进入地球轨道。这次飞行持续了近4天。在他进入轨道第二天,宇航员乘坐“东方”4号飞船也进入了地球轨道。他们的轨道非常相似,两者相距仅6.5千米。由于飞船没有机动系统,他们的飞船一同进行了编队飞行。这为未来的交会对接积累了经验。在后来的飞行中,他们进行了重要的生物医学实验,并真正在舱内飘浮移动。8月15日,两艘飞船先后安全返回地面。经过1年左右的调整,1963年6月14日,宇航员比耶科夫斯基驾驶“东方”5号飞船升空。6月16日,世界第一位女宇航员捷列什科娃乘坐“东方”6号飞船升空入轨。这两艘飞船除各自进行生物医学实验和对地观察的任务外,也进行了编队飞行,最近距离只有5千米。6月19日,“东方”5号和6号飞船安全返回。这次,宇航员比耶科夫斯基创造了留空时间119小时的纪录。

苏联还计划在1963年夏进行东方7号的飞行。但由于计划调整,这次飞行被取消了。作为人类历史上第一个成功的载人轨道飞行计划,“东方”号计划取得了许多重大的历史性成就,包括几项第一和几项留空时间纪录。在这些方面,美国的“水星”计划无疑是大大逊色了。由于飞船的限制和其他原因,“东方”号飞船的飞行没有取得很多的科学研究成果,但在医学实验上特别是人在轨道飞行期间的反应和适应性方面却取得了重大成就,为新一轮载人太空飞行积累了丰富的经验。单是这一点,东方号计划的科学意义也值得永久载入航天历史史册。

“东方”计划之后,为同美国的“双子星”计划抗衡,苏联匆忙搞了一个“上升”计划。“上升”号飞船的具体内容参照了美国的“双子星”计划,但由于是一个过渡性,科罗廖夫并不打算完成与美国相同的任务。为投赫鲁晓夫所好,“上升”号飞船计划只进行3次飞行:第一次,载两名宇航员进行持续一天的轨道飞行,争取抢在美国人前面;第二次,载两名宇航员进行轨道飞行,并首次完成太空行走,也争取抢在美国人前面;第三次,载两名宇航员创造飞行纪录,在轨飞行时间达到两星期。这3次飞行任务计划在1964年底到1965年底之间完成。

“上升”号飞船长约5米,最大直径2.43米,总重5.32吨,只比东方号多出360千克,这大致相当附加设备的重量。“上升”号飞船载两人已嫌太小,但当改装近乎完成后,赫鲁晓夫又命令装上3人,要求在1964年革命节(11月7日)必须把3人同时送入地球轨道。无奈,设计人员只好突击修改座舱,并尽可能减轻飞船内部设备的重量。为了在窄小的座舱内塞三个座椅,他们绞尽脑汁,去掉许多科学仪器设备,甚至把维持舱内生命活动的保障系统也减到最低限度。然而舱内还是容不下3人。在束手无策的时候,再入回收部主任弗科蒂斯托夫想出一个“最狂妄”的办法:让3名宇航员脱掉宇宙服挤进“上升”号飞船。这看来是最冒险,也是能完成总书记命令的惟一办法了。这位工程师还真富有牺牲精神,他自告奋勇准备承担这次太空飞行任务。最后,3个座椅呈品字形紧凑地布置在座舱中,问题终于“解决了”。

1964年10月12日,在卫星号运载火箭基础上研制的“联盟”运载火箭把“上升”1号送入轨道,里面载着工程师弗科蒂斯托夫、宇航员科马罗夫和医学博士耶格罗夫,他们都只穿着轻便服装。由于目的是为争第一,这次飞行没有设计什么科学项目,只是发射升空、安全回收。他们乘坐“上升”号飞船在轨道上停留了一天,最后安全返回地面。这时地面上已发生了一个重大事件,那就是赫鲁晓夫下台了。这一次的冒险活动结束了,后来的“上升”飞船再也没有

同时派3人去冒风险,但苏联很长时间不愿公开同时载3人升空的真相。当西方记者问及“上升”号飞船为什么不装逃逸救生系统,宇航员不穿宇航服时,得到的回答是苏联的飞船可靠,连宇航服都不需要了。

1965年3月18日,“上升”2号发射升空。这次只载有两名宇航员:列昂诺夫和贝里亚耶夫。他们此行的目的主要是实现史无前例的创举:进行太空行走。在飞船进入轨道1个半小时后,列昂诺夫尝试第一次太空行走。他通过长约2.5米,内径1米气闸舱缓冲段,缓慢地进入开放空间,一根长5米的绳索把他与飞船连在一起。可是这次伟绩并不那么壮观,也不十分顺利。首先他一出舱外便遇到了旋转的麻烦,靠自身的能力没有办法消除。在停留约12分钟后,他按指令返回座舱,但又碰到另一个几乎致命的问题:在真空条件下宇航服膨胀起来,原来狭小的通道容不下、挤不进。经过几分钟的挣扎,列昂诺夫最后总算硬塞着返回了“上升”飞船。这次飞行除完成人类首次太空行走外,也未能进行更有价值的研究。他们在轨道上停留了1天零2小时,于3月19日返回地面。苏联曾计划发射“上升”3号飞船,实现在轨飞行时间两周。但这项计划取消了,原因包括1966年1月16日科罗廖夫因病逝世,赫鲁晓夫的下台等。

第2节 迟到一步的“水星”计划

“水星”计划(Project Mercury)所要达到的目标基本上与苏联的“东方”号载人飞船计划相同。在最初阶段,美国的载人航天计划和设想也遇到了与人造卫星相同的命运,甚至更差。因为除了能完成一次壮举之外,似乎还看不到它具有多么重要的实际意义。这点与洲际导弹有很大不同。从时间的情况看,美国提出载人航天飞行设想并不比苏联的晚,但是由于种种原因直到1958年底美国才正式批准把它列为国家计划。在“水星”计划正式执行后,美国所采取的基本步骤同苏联有相同的,有不同的。

早在40年代末,美国的许多军事和研究部门就开始了载人航天所必须的各种技术和可能性的研究工作。这一时期研究工作比较分散,目的不很明确,很难称得上是一项计划。50年代初,在相对活跃的弹道导弹和人造卫星研究的刺激下,载人航天研究开始进入起步阶段。1952年7月14日,美国航空咨询委员会执行委员会通过一项决议,指出“NACA将进行必要的努力致力于从80.5千米到无限高度,从10倍声速到逃离地球引力的载人和不载人飞行的研究”。这当然包括载人航天在内,但实际的执行情况却是:它的研究直接导致了著名的“X-15试验机”计划,此后几年,美国的主要精力花在弹道导弹和人造卫星研究上,载人航天因技术、经费以及政策的原因没有深入下去。

1956年3月,美国空军提出一项“载人轨道火箭研究系统”计划,代号7969计划,其主要目标是研制一种能在轨道条件下飞行并能回收的载人飞船。同年12月,有两家公司申请进行可行性研究,基本设想都是研制大型的载人卫星,打算用正在研制的“阿特拉斯”导弹加装“阿

金纳”上面级构成运载火箭作为发射装置。这时期,航空咨询委员会也积极参与,共同进行火箭运载工具、生命支持系统以及回收技术的研究。参与研究的宇航公司多达 11 个,它们关心的主要问题是运载火箭,而作为民用计划的卫星运载火箭都因运载能力太小而不能胜任载人计划,因此包括各大公司和航空咨询委员会都偏爱采用高度保密的“阿特拉斯”导弹。

载人飞船的研究是另一个至关重要的问题。它的关键是如何解决再入气动加热问题。这必须从飞船的外型几何形状着手。1952 年 6 月,艾姆斯航空实验室的爱伦通过研究和实验得出结论:钝体形状的飞船最适合于载人飞行,因为在再入大气层时将有 90% 的气动热散失掉,气动防热易于解决。许多大公司也在进行这项研究,提出的解决方案除有翼的外,大致都偏爱钝头体。在各种研究报告中,马丁公司、洛克希德公司和麦克唐纳公司的研究最为出色。马丁公司的方案是无升力装置的弹道式飞船,用“大力神”火箭发射,1961 年可进行轨道飞行。洛克希德的方案是钝锥体飞船,宇航员处在尾部,用“阿特拉斯-阿金纳”发射。麦克唐纳公司的方案是钟形,底部呈弧形,再入时底部在前,计划用“阿特拉斯”火箭运载,1959 年实现载人飞行。1956~1957 年间,航空咨询委员会也在研究飞船结构布局问题。在各种研究中,兰利研究实验室的费格特(M. A. Faget)领导的小组获得的结果最为重要。他们也偏爱钝体方案,值得指出的是,他们所选择的最终飞船外形与麦克唐纳公司不谋而合,极为相似。

苏联人造卫星发射成功促使美国加速导弹和卫星计划,也带动了载人太空飞行的深入研究。1957 年 11 月,航空咨询委员会代表在华盛顿汇报了载人航天的研究和设想。1958 年 1 月 29~31 日,航空咨询委员会在莱特-帕特森空军基地召开会议,旨在对各种载人轨道飞行器方案进行技术评审。会上提出讨论的有兰利实验室的两种方案:一是费格特提出的弹道式飞船方案,采用火箭制动和烧蚀防热相结合的再入回收方法;另一种是将载人驾驶舱设计成带有气动举力面,它可像飞机一样进行水平着陆。空军的几家合同承包商也报告了自己的方案。除上述 3 家公司外,诺斯罗普公司提出一种火箭推进-再入滑翔组合方案,康维尔公司提出球形方案,类似苏联的“东方”号;共和公司提出类似飞翼的方案;古德耶尔公司的方案大体与康维尔相同;贝尔公司和北美航空公司则提出在 X-15 基础上发展有翼宇宙飞船。各种方案加在一起达 12 种以上。这次会议之后,空军研究与发展部主任普特(D. Putt)中将写信给航空咨询委员会主席德莱登,邀请航空咨询委员会与空军联合进行载人太空飞行研究,但德莱登回信表示他们将于 1958 年开展独立研究。

1958 年 3 月 10 日,航空咨询委员会将上次会议中提出的各种方案加以系统化,提出三种备选方案:一是钝体、高阻力、零升力载人飞船,着陆时用降落伞回收;一种是采用有翼滑翔再入的飞船方案;第三种是两种方案的结合。这些报告比过去提出的粗略设想更进了一步,即设想和研究了飞船的运动、气动加热、稳定和姿态控制等问题。空军也不甘落后,他们于 3 月 10~12 日在洛杉矶召开了题为“最快地把人送上太空”(即 MISS)会议。国防部高级研究计划局主任约翰逊(R. Johnson)指出空军应承担这项任务。施利威尔将军指出,事情发展的比预料的快得多,无论来自国内还是国外的竞争都要求空军加紧行动。会议期间,空军提出了载人航天的 3 个步骤,其中最快地实现载人太空飞行方案是采用一种钝体、高阻力、零升力的弹道式

飞船,再入时用降落伞回收。他们在长期计划中,甚至还提出了太空站和载人登月的设想。

虽然这个时期纷纷出现各种载人航天计划和方案,各单位都独立行事,缺乏合作思想,局面十分混乱,但在载人航天的基本技术方面仍然取得了许多有价值的成就。在发射段救生方面,费格特提出了一种安装在飞船顶部的逃逸救生塔方案,它安装了一圈小型固体火箭,喷口朝斜下方,一旦因点火或其他原因出现紧急情况,启动小火箭可将整个飞船迅速脱离危险的运载火箭,然后再用降落伞或弹射方法落地。这种方式后来一直用于包括“阿波罗”飞船在内的救生。为了进行模型的设计和技术上的发射试验,兰利实验室的普塞尔(P. E. Purser)和费格特等专门设计了一种小约翰试验火箭,它由4个稍大的固体火箭组成第一级,4个稍小的固体火箭组成第二级。由于它很廉价,因而可大大节省实验成本。另外一项重要成果是宇航员的“轮廓座椅”(Contour Couch),用以减弱过载的影响。顾名思义,这种座椅同人的身体曲线紧密吻合,因而过载能均匀分散开来,达到保护宇航员的目的。在1958年7月的试验中,宇航员科林斯(C. C. Collins)等人承受住了20g的高过载。在再入气动力学方面,艾姆斯实验室的恰普曼(D. Chapman)发表了开创性的“再入行星大气研究的近似分析方法”一文,在几何形状、再入角等因素与气动加热的关系上获得了重大理论发现。上述成果在后来的载人航天计划中都获得了应用。

1958年8月8日,艾森豪威尔总统签署命令,指示载人太空飞行计划将由新成立的国家航空航天局负责。10月7日在宇航局正式成立一周后,第一任宇航局长格伦南宣布开始执行太空载人飞行计划,11月26日这个计划被命名为“水星”计划。其基本目标是:

1. 把一个人送上太空,使之绕地球轨道飞行;
2. 研究他在太空中的表现和工作能力;
3. 使之安全返回并回收人和飞船。

考虑到时间和竞争因素,宇航局还确定了“水星”计划的重要设计原则,包括用现有的技术、设备乃至成品、半成品以及最简单和最可靠的方法完成这一计划等。

为了集中领导,加速推进水星计划,宇航局于10月8日在兰利研究中心成立了“太空任务小组”,由兰利中心主任吉尔罗斯(R. Gilruth)负责,成员包括对太空飞行做出出色贡献的费格特、普塞尔、埃格斯(A. Eggers)、乔治·劳(George Low)等33人。他们在过去工作的基础上很快于11月提出了一份50页的报告“载人太空船说明书”,大致思想就是以前费格特等提出的钝体、零升力再入、火箭反推制动、烧蚀防护方案。他们将报告分别交给多家曾参与此项工作的公司,以期招标研制“水星”飞船。1959年1月9日,曾经提出类似方案的麦克唐纳公司被正式选为“水星”飞船承包商。太空任务小组在飞船防热方面,要求麦克唐纳公司研究采用各种不同方式,一是镀金属材料防热,一是烧蚀防热,另外飞船回收舱与防热结构之间采用可伸出的弹性结构,以吸收飞船在海上溅落时的冲击力。

太空任务小组选中的运载火箭共有4种。第一种是费格特设想的小约翰,它长11.6米,总重18.6吨,能将飞船模型推进到160千米高,达到6600千米每小时的速度。小约翰只用于进行逃逸系统的设计试验,成本只有“阿特拉斯”火箭的六分之一,但可以完成许多飞行试

验检验任务。第二种是“红石”导弹,它计划用于“水星”飞船沿弹道和轨道上升与下降飞行试验,为此,宇航局向克莱斯勒公司订购了8枚“红石”导弹。第三种是“丘比特A”导弹,它主要用于“水星”飞船模型的再入特性和回收试验,以验证飞船的设计。第四种是“阿特拉斯”导弹,它将最终用于载人“水星”飞船轨道飞行发射。1959年春以前,宇航局同各火箭研制单位先后签订了生产合同。

在“水星”计划中,运载火箭和飞船的结合部以及各部门的协调配合是相当重要的问题。为此太空任务小组和陆军弹道导弹部多次开会协调任务分工。1959年2月,他们初步达成如下协议:

- 一、太空任务小组负责协调工作的管理和技术指导;
- 二、弹道导弹局负责飞船分离前运载火箭的一切技术工作;
- 三、弹道导弹局负责运载火箭的回收工作(后考虑效益不高,确定运载火箭无须回收);
- 四、太空任务小组负责分离后宇宙飞船的飞行;
- 五、麦克唐纳公司负责水星飞船与火箭连接部的设计制造;
- 六、陆军导弹局负责飞船与丘比特火箭连接部的研制。

与此同时,太空任务小组还同空军有关部门商讨飞船与“阿特拉斯”导弹协调的种种事宜。太空任务小组还与海军方面达成协议,海军大西洋舰队负责回收水星飞船,在整个“水星”计划期间,海军负责担任美国大西洋海域从佛罗里达州的卡纳维拉尔角到百慕大一线의 勤务工作。

麦克唐纳公司研制的“水星”飞船主体可分成三个部分:圆台形乘员舱、圆柱形伞舱和较小的柱形减速伞舱。飞船总长约2.9米,底部最大直径1.8米,根据任务不同其重量范围在1.3~1.8吨之间。飞船的顶部还安装了一个逃逸救生塔,救生塔上端有一个三喷管固体火箭。大喷管是逃逸火箭,它可在1秒钟时间内产生约235千牛的推力,用于将飞船与火箭分离。另外的喷管能在1.5秒内产生2.45千牛推力,用于在正常加速后将逃逸塔抛掉。

“水星”飞船主体最上部分装有减速伞,它起着减阻和引导主伞的作用。中段是主伞舱,除装大型减速伞外,它的外部还装有8个俯仰和倾斜姿态控制喷管。乘员舱除宇航员座椅等生命保障系统外,还有宇航员潜望镜、照相机、姿态控制喷管等。座舱为密封舱,带有观察窗口,内部充以纯氧。在飞船底部装有3台推力为4.54千牛的制动火箭和3台推力为2.45千牛的调姿火箭。底部主体涂有烧蚀防热层。整个飞船上有18个姿态控制小喷管,由过氧化氢分解气化提供需要的微小推力。

“水星”计划的各种试验分成3个主要阶段,一是技术和设计验证,二是载人亚轨道飞行试验,三是载人轨道飞行。在麦克唐纳公司加紧研制“水星”飞船的同时,美国宇航局及太空任务小组、各研究中心、空军、陆军都在进行与“水星”计划有关的各项研究活动,包括运载火箭改制、生物的太空环境试验、地面遥测遥控网的建设、宇航员选拔和训练。为了检验“水星”飞船再入时的防热特性,1959年9月9日,在卡纳维拉尔角发射了一枚“大约翰-阿特拉斯”火箭,上面装有实体比例“水星”飞船模型,旨在考察烧蚀防热结构的实际效果。飞船底部采

用的烧蚀材料是结合苯酚树脂的玻璃纤维。这次试验取得了巨大成功。结果表明,采用这种防热方式的水星飞船可以承受高达 3 500 的气动加热温度。这次试验还获得了其他一些重要成果,包括飞船再入时的气动特性、飞船回收系统的特性、飞船与阿特拉斯火箭配合情况、飞船承受过载情况、飞船控制系统性能等。由于这次试验获得了大量成果,超出了预期的目标,因而美国宇航局决定取消其他类似的试验。有关试验数据和结果及飞船模型后移交给麦克唐纳公司,为真正的生产型飞船所吸收和应用,再入防热难关获得了圆满解决。

第一阶段的“小约翰”火箭试验从 1959 年秋开始,到 1961 年结束,历时约 1 年半。首次试验在 8 月 21 日,但火箭还未发射,第二级已错误点火。10 月 4 日第一枚“小约翰”火箭发射,虽然也出现了第二级火箭过早点火的故障,但使火箭飞行的条件更恶劣化,从而无意中获得了额外的成功。11 月 4 日的发射试验目的是验证逃逸系统的性能。但火箭发射后 10 秒救生塔才分离出去。12 月 4 日的第三次发射载有一只叫做山姆的猿。这次试验虽然同上次相似,但这只猿经历了短暂的失重,结果表明从医学角度大型动物可以经受上升与下降段的过载考验。1960 年 1 月 21 日又发射了第四枚“小约翰”火箭,这次又带了一只名叫“山姆小姐”的猿,在上升了约 14 千米后,逃逸火箭将飞船分离出去并安全回收。这些试验虽然取得了一些成果,包括失重、过载对动物的影响,飞船回收与海上溅落,但重要的逃逸救生系统的工作并不像预期那样,因此有必要进行改进。这前后又经历了近 1 年时间。宝贵的时间浪费对美国来说真是无法挽回的损失。

时间的贻误除“小约翰”火箭试验外,还来自另一次重要的发射试验,麦克唐纳公司于 1960 年 1 月 24 日交付了第一艘生产型“水星”飞船。5 月 9 日,这艘飞船首先在瓦尔普斯岛进行了逃逸系统、着陆系统、回收系统的试验,接着计划进行“水星”飞船与“阿特拉斯”火箭的组合试验。7 月 29 日,第一枚“水星-阿特拉斯”组合体在卡纳维拉尔角发射,其任务是检验结合部的设计、分离性能以及回收性能。但在发射后 59 秒,火箭上升 9 750 米高时,一切信号全部中断。“阿特拉斯”火箭工作失常,发生解体。由于这次试验主要是以更高的速度再入检验生产型“水星”飞船的防热特性,因此没有装救生塔,结果“水星”飞船 1 号(MA-1)以极高的速度冲向大海,粉身碎骨。这次失败使美国宇航局不得不修改计划,预期的飞行试验阶段也被打破了。“阿特拉斯”火箭结构的加强、工作失常的解决以及结合部的重新设计花费了半年时间。“阿特拉斯”与“水星”飞船的首次发射失败极大地影响了“水星”计划的进程。

在这段试验空白阶段,“红石”火箭原订进行亚轨道飞行,现在计划进行逃逸系统和再入试验。第二艘“水星”飞船与“红石”结合体(MR-1)于 1960 年 11 月 21 日进行了首次点火发射试验,然而这又是一次未曾预料事故,“红石”火箭点火后,随着几声巨响和一阵浓烟,它只是稍稍晃了晃便又停止不动了,发动机停止工作。不过,惟一的收获是飞船上面的逃逸塔抛落火箭却工作正常,将飞船上面的塔身分离,而飞船在箭上纹丝不动。乔治·劳在向格伦南汇报事故原因时说:“现在确认 MR-1 的失败是由于火箭尾部的点火线路插头所致,在点火后它被拉出了一英寸……这种插头是双相的,一长一短相差 0.5 英寸,两相与线路接通与断开的时

发动机的指令。两相断开间隔足以使继电器关闭。”这个故障看来是容易排除的,但第二天即11月8日,停顿了很多时间的“小约翰”火箭准备再试验一次,目的是检验逃逸系统。在火箭上升了约16秒种后,逃逸火箭和救生塔抛落火箭不像正常的那样先后点火,而是同时点火,结果使飞船没有从火箭上分离开来。这又是一次重大的失败。美国航天史家戴维·贝克总结说:“这真像是潘多拉宝盒突然被打开了,五颜六色的魔鬼挣脱了束缚蜂拥而出。”

几次失败使宇航局等单位面临着巨大压力。新年将近,苏联方面不断传来新进展消息,美国上下极其关注“红石”计划。于是宇航局决定在元旦以前必须进行一次成功的发射。陆军弹道导弹局(现已改为马歇尔航天中心)加紧改制出了一枚新的“红石”火箭。马歇尔中心表示:“11月21日的故障再也不会发生了。我们已经改进了地面导线和点火线路开关。”12月19日,MR-1A在卡纳维拉尔角点火发射。这次试验取得了成功。“水星”飞船进入了2102千米高的轨道。最后,它安全再入大气层并顺利回收。研究表明,飞船防热层承受住了再入大气层的气动加热,1960年总算有个较好的结束。但从整个“水星”计划来看,已经比1958年的计划目标逊色了许多。于是计划时间表不得不再次修改、顺延。

1961年春季有个良好的开端。1月31日MA-2的试验发射是一次综合性演练,飞船顶部乘坐动物宇航员——名叫汉姆的黑猩猩。这次发射按预计目标来看是一次不大不小的失败,“红石”火箭发动机控制电路未能按时切断,使飞船上升253千米,比预期高68千米。在返回时,反推火箭没有工作完便提前抛掉了。这些失误导致飞船的下落过载最大时达15g(正常为12g)。汉姆最后受了重伤。而从所获的成果看,这又是一次很大的成功。飞行过程验证了飞船的生命保障系统以及再入与回收系统。如果说这是一次部分成功,那么3月18日新改造的“阿特拉斯”火箭MA-2的试验则是一次完全的成功。在18分钟时间内,“阿特拉斯”火箭从点火发射到关机、逃逸塔分离、飞船分离、反推发动机点火、飞船再入、降落伞打开、海上溅落,一切都按计划完成。

在成功的鼓励下,为了与苏联竞赛抢先进行载人飞行,太空任务小组提议修改计划,提前进行载人航天飞行。但冯·布劳恩仍然对“红石”火箭的两次失败感到忧虑,认为还应按计划继续补做不载人试验。而吉尔罗斯和麦克唐纳公司分管“水星”飞船的耶德利(J. F. Yardley)两人都表示他们对“红石”火箭有绝对信心。在冯·布劳恩及马歇尔中心人员和卡纳维拉尔角试验人员坚持下,最终还是决定补做MR-2试验即MR-BD。这次试验于3月24日进行,取得了圆满成功。

4月12日苏联的加加林首次实现太空飞行后,美国的“水星”计划仍有许多事情要做。为了补偿一下美国人的心理不平衡,宇航局决定试射一枚“水星-阿特拉斯”(MA-3),飞船上装有模拟宇航员,以显示它具有了载人轨道飞行的能力。但4月25日火箭发射后40秒,遥测表明火箭没有按程序转向,而是始终垂直飞行。这显然是自动飞行控制系统发生了故障。无奈只好遥控自毁。好在此前发射的救生系统工作正常,将水星飞船与火箭分离。真是祸不单行,3天后即4月28日的“小约翰”火箭在试验救生系统的发射中,只取得了部分成功,由于一台发动机没有点火,使得救生系统工作环境条件发生了重大变化。不过这两次不太成功的试

验倒进一步验证了发射救生系统的工作性能。按照常规,在正式载人飞行试验之前,还应当进一步试验。但时间紧迫,这种结果也变得可以接受了。

1961年5月5日,命名为“自由”7号的“水星”飞船在卡纳维拉尔角由“红石”火箭发射升空,飞船上乘坐的是美国第一位宇航员阿兰·谢帕德(Alan Shepard)。这完全是一次弹道发射,飞船上升的最大高度为186千米。飞船正常分离后,又以弹道状载入大气层并安全回收。这种飞行方式被称为亚轨道飞行。据说在全部15分22秒的飞行过程中,谢帕德只有5分钟的失重经历。由于这是在苏联之后,而且成就也小得多,因此可以说在苏美载人太空飞行这场竞赛上,美国是彻底失败了。但这次飞行对美国来说具有深远的历史意义。为此,肯尼迪总统于5月8日在白宫为谢帕德授勋。时隔两个月,美国宇航员格里索姆(V. I. Grissom)于7月21日乘坐“自由钟-7号”飞船(MR-4)又一次进行了亚轨道飞行,基本过程同谢帕德完全相同。

1962年2月20日,宇航员格伦(John Glenn)乘坐“友谊”7号飞船(MA-6)升空。他驾驶“水星”飞船在260千米高的轨道上进行了3圈轨道飞行,历时4小时55分23秒。在飞行过程中,飞船也出现一些故障。在第一圈飞行的末尾,由于密封舱内的姿态控制系统发生故障,迫使他由自动操纵改为手动操纵。在第二圈飞行时,地面收到信号表明飞船防热层有可能与密封舱分离。按设计要求,防热层只在海上溅落前最后时刻才抛掉,以减小振动与冲击。如果它在轨道上脱落,飞船再入时必然烧毁。在返回时,地面控制中心指示格伦保留制动火箭装置,期望能较长时间维持防热层不与飞船脱离。幸运的是,除心理上造成很大恐慌外,格伦并没有遇到灾难性危险。原来那个信号是假的。

1962年5月24日,宇航员卡彭特(Scott Carpenter)乘坐“曙光”7号飞船又一次进行了3周轨道飞行。10月3日,宇航员谢拉(Walter Schirra)乘坐“西格玛”7号飞船绕轨道飞行6周,历时9小时12分钟。这次飞行的MA-8号飞船改进了姿态控制系统和对地通信系统,被认为是3次中最成功的一次。

美国宇航局一直计划能进行长达1天的轨道飞行。MA-8飞行之后,宇航员谢拉在10月7日召开的评价会上,介绍了他在9小时飞行中的感受。他认为更长时间的失重对身体不会有任何不利影响。这次会议决定进行长到1天的载人轨道飞行。时隔半年之后,一切工作终于准备就绪。1963年5月15日,宇航员库珀(L. Gordon Cooper)乘坐“信心”7号飞船(MA-9)进入了267千米×161千米的地球轨道。这次飞行绕地球22周,历时34小时19分49秒。在飞行过程中,库珀进行了正常的饮食和睡眠,考察了人在失重环境下工作和生活1天的生理反应。飞行还进一步验证了“水星”飞船的姿态控制系统、防热系统、生命保障系统、仪器仪表长时间工作的可靠性。这次飞行获得了极大的成功,为美国新的载人航天计划增强了信心。

MA-9实现长达1天的轨道飞行后,美国还准备发射MA-10计划进行更长时间的飞行。载人太空中心负责人向宇航局第二任局长韦伯建议继续进行“水星”计划,至少完成MA-10的任务。他们指出“水星-阿特拉斯”飞船具备在太空中飞行几天的能力。通过更长时间的载人太空飞行,可以获得更多的关于人在太空的认识,为“双子星”计划和“阿波罗”计划服务。

但考虑到“水星”计划所要达到的目标已经实现,为了集中精力进行“双子座”计划,宇航局在讨论了当时的局面之后,决定结束“水星”飞船的飞行。1963年6月12日,韦伯宣布:“‘水星’飞船将不再发射。”从而,历时4年8个月1周的“水星”计划正式宣告结束。在“水星”计划期间,高峰时有200多万人为之工作。1960年1月,美国国会统计委员会曾估计该计划将耗资34450万美元,而最终的结果是38413万美元,二者相差不大。

人们喜欢把“水星”计划同苏联的“东方”计划进行对比,而这种对比评价往往是很难的,不易做到公正。从时间先后上说,美国实现轨道飞行比苏联晚了10个月,苏联宇航员在轨时间多达382小时,而美国仅有58小时,还不足苏联的零头。造成这种差距有多方面原因。首先在苏联发射成功人造卫星以前甚至在美国宇航局成立以前,载人航天的研究工作在美国极其分散、混乱,而且没有得到政府的重视,在战略部署上美国先失一着;其次,虽然美国宇航局被赋予统揽民用航天计划的大权,但实际上宇航局与其他部门打交道上,这种权力就显得不够了。方案评审、设计招标、试验验证都需要有国防部以及其他部门的参与。可以说这种组织机构运行的效率完全不如苏联的真正集中统一领导的体制;第三,“水星”计划的制定显得过于复杂,为了试验不同的技术,计划使用4种(实际用了3种)需要大规模改制乃至重新设计火箭。一种火箭只能完成单一或有限几个试验任务,这不但造成了计划的复杂性,而且它们相互牵制,一个不成功影响一大片,从而造成时间的浪费;第四,“水星”计划比“东方”计划采用了更多未经过检验且需要较长时间试验的新技术,如发射救生系统、飞船姿态控制系统以及复杂的结合部。实际结果表明,正是试验这些新技术成败交替极大地贻误了时机;最后,在客观上1960年的美国大选对“水星”计划同时带来正反两个方面的影响。

但是,“水星”计划在技术上取得的成就却比东方计划更大。由于改进了多种导弹成为运载火箭,使美国在这方面取得了丰富的经验,加之还有其他几种导弹具有这种能力,这为美国未来的大型计划创造了必要条件,显得更加主动,而苏联当时还只有“卫星”号及其改进型运载火箭。第二,“水星”计划虽然在比较上显得复杂,但整个进程比较科学,具有推广的潜力,而苏联太重视争第一了,因此许多具体的方法明显粗糙。第三,通过“水星”计划美国发展了一些新技术,特别重要的是宇航员发射救生系统和飞船姿态控制系统以及后来广泛采用的再入与回收技术。而这些在“东方”号计划中都未能获得。由于美国积累了丰富的航天计划的管理经验,获得了许多载人航天技术的必要技术,加之美国政府的大力支持,终于使美国在几年后的“双子座”计划上击败了苏联,并进而完成了人类的空前壮举载人登月。

“水星”计划的科学成就主要在航天医学上,包括研究了宇航员在失重条件下的生理和心理效应、宇航员的进食和睡眠、太阳辐射对宇航员的影响、宇航员在太空环境中的工作和活动能力,这些成果为未来航天计划提供了宝贵科学资料。此外,“水星”计划在气象、地理、天文等学科上也取得了一些收获。宇航局载人航天飞行器中心“水星”计划管理副主任小布兰德(W. M. Bland, JR)在文章中说:“无疑,‘水星’计划为人类进一步研究不友好的环境——太空,奠定了基础。它取得的经验为完成后来的载人航天计划——‘双子座’计划和‘阿波罗’计划——增强了信心。”宇航局副局长德莱登说:“‘水星’计划仅仅是美国太空运输发展的第一

步……然而,它给我们提供了进一步发展的资料,把人类太空飞行的幻想和愿望变成了现实,并且为人类飞向月球和更远的地方提供了可能性。”

第3节 成就卓著的“双子星”计划

从实际的发展情况看,“双子星”计划(Project Gemini)是作为“阿波罗”计划的一个辅助计划出现的。但这项计划具有很大的独立性,从计划的构想和计划完成的任务都与“阿波罗”计划有所不同。不过,航天的发展具有很大的连续性以及技术上的继承性,美国载人航天的发展就遵循着由“水星”计划到“双子星”计划再到“阿波罗”计划这样一个过程进行的,先一项计划为后一个计划奠定了技术基础并提供必要的经验。美国在40年代就形成了许多关于载人登月的思想,当时人们隐约感到登月可能会成为美国载人发展的未来目标。但从“水星”计划到载人登月的过渡太大,水星计划获得的技术与登月的要求相差太远,因此中间必须有一个过渡性的计划。这种设想导致了后来的“双子星”计划。

1958年,美国宇航局总部和太空任务小组开始考虑“水星”计划之后美国的载人航天计划,以吉尔罗斯和费格特为首的太空任务小组对此尤为关心。他们认为这项计划应在“水星”计划已完成的任务基础上,主要实现两大目标:载人轨道飞行时间大大延长,达到1周以上;实现飞船在轨道上机动、交会和对接。不久,宇航局成立了由哥特(H. J. Goett)领导的载人太空飞行研究指导委员会,即哥特委员会,为美国的载人航天计划进行决策与规划。1959年5月26日,哥特委员会举行了讨论未来航天计划的会议,形成了在“水星”计划的基础上发展机动式载人宇宙飞船的建议。与此同时,兰利研究中心还报告了有翼载人飞船的设想。但有翼飞船的设想难度太大,因而哥特委员会的设想是美国宇航局比较青睐的。1959年中,麦克唐纳公司也在研究“水星”飞船改进、提高性能的可能性。但这一时期人们关注的主要问题还是载人绕月飞行和载人登月。

1960年夏,“水星”计划的执行情况促使宇航局把眼光放在不那么遥远的目标上。5月间,太空任务小组要求麦克唐纳公司研究在“水星”飞船基础上发展延长在轨飞行时间的可能性。经过一段时间的研究和工作,宇航局、太空任务小组和麦克唐纳公司获得一个重要共识:宇宙飞船在轨机动、交会和对接是未来载人航天计划的关键技术。1961年2月中,宇航局又与麦克唐纳公司共同研究“水星”飞船的改进问题。这里又提出完成另一项新的任务,即太空行走。这不可避免地要求新的飞船要能装载两名宇航员。这又带来了新的问题:新的飞船乘员舱必然急剧增大,这对于座舱布置、生命保证等来说会变得过于复杂。太空任务小组工程部主任钱伯林(J. A. Chambrlin)提出了一个有效的解决办法:将乘员舱内的设备以及备份生活用品等提出来,单独设一个设备舱,它放置在飞船的尾部,也采用于“水星”飞船类似的形状和防热办法。在再入大气层并大大减速后,设备舱被抛掉,降落伞只回收乘员舱和伞舱。这样,单纯改进“水星”飞船设想的“水星II”飞船现被改为“水星MKII”飞船。

与此同时,太空任务小组也在研究“水星 MKII”飞船的运载工具问题。由于这种飞船的体积和重量都大大超过水星飞船,“阿特拉斯”火箭能力不足,“大力神”II 运载火箭便成了优选对象。按照生产厂家马丁公司的估计,“大力神”II 运载火箭至少可将 3.5 吨载荷送入轨道。马丁公司甚至向宇航局局长助理西曼斯许诺说,“大力神”还可以发射在月球着陆的载荷。经过短时间的考察和分析,太空任务小组认为“大力神”运载火箭的运载能力介于“阿特拉斯”和“土星”火箭之间,而“水星 MKII”也恰好介于“水星”与“阿波罗”飞船之间,这样,就决定选用“大力神”作为“水星 MKII”飞船的运载工具。

美国总统肯尼迪于 1961 年 5 月 25 日正式提出执行“阿波罗”计划后,作为中间过渡性计划的“水星 MKII”的意义和任务便更加明确了。6 月初,钱伯林向宇航局领导汇报了方案研究的情况。6 月 9 日,宇航局召开了一次飞船设计评价会议。钱伯林对“水星 MKII”飞船的初步设计已经大大不同于原来的“水星”飞船。除了增加了设备舱外,最大的修改是取消了“水星”飞船的发射救生塔。理由是,经过较长时间的考察,运载火箭在发射时发生爆炸的机会极小,因此加上救生塔显得没有多大必要。但为了在应急情况下救生,新的飞船采用了弹射救生座椅。经过这一改进,飞船发射重量估计可减少 30%。另外,从新的能力上考虑,“水星 MKII”飞船增加了一套轨道机动、变轨及交会对接系统。

6 月 12 日,评价小组认为钱伯林的设计是有吸引力的,但觉得这样大的改动会造成预算超支。7 月 7 日,麦克唐纳公司自己搞出了三套方案,以提供给太空任务小组备选。一是在“水星”飞船基础上增加设备舱,乘员一人;一是类似钱伯林的方案,但简化设计,同样乘员一人;第三种是乘员二人的方案,与钱伯林方案大同小异。面对着这些设想,宇航局内部开始意见不一。乔治·劳认为应当尽量作小的改动,以便在 1964 年即可进行轨道飞行。但费格特则坚持载两人方案,并建议大改。刘易斯研究中心希尔维斯坦主任(A. Silverstein)认为,从“水星”计划的结束到“阿波罗”的开始,中间有较长的时间,因此“水星 MKII”最早在 1965 年才能发射。这么长时间内有必要设计出一种能力大大提高的飞船,而且由于肯尼迪的大力支持,经费问题容易解决。

1961 年 7 月 27~28 日,宇航局、太空任务小组(已改成载人太空飞行中心)和麦克唐纳公司联合召开了评审会议。这次会议决定采取钱伯林等提出的载两人的“水星 MKII”飞船方案。此后的两个月间,宇航局上下主要根据“阿波罗登月”的要求制定“水星 MKII”的各种任务。到 10 月 27 日,乔治·劳等已经正式制定了“水星 MKII”飞行的具体时间表,它共包括 12 次轨道飞行。第一次不载人飞行初步定在 1963 年 5 月,绕轨道飞行 18 周;接着在 1963 年进行两次载人飞行,历时 7 天,然后逐步练习在轨道上机动、交会及至对接,最后还要将飞行时间提高到 14 天。12 月 7 日,载人太空飞行中心主任吉尔罗斯在休斯顿正式宣布美国宇航局将执行载两名宇航员的新航天计划。由于“水星 MKII”在规模和目标上都与“水星”计划相去甚远,因而 1962 年 1 月 3 日,宇航局局长助理西曼斯将它改名为“双子座”飞船,“双子座”计划正式诞生。1 月中旬,吉尔罗斯组建了“双子座”计划办公室,钱伯林担任主任。

“双子座”飞船仍由研制“水星”飞船的麦克唐纳公司总承包,但除了外型外,“双子座”飞

船与“水星”飞船有许多重大的不同,主要体现在下面几个方面:取消救生塔、增加设备舱、改进轨道机动系统、增加交会与对接控制系统、增加对接装置、增加宇航员舱外活动设备。

“双子星”飞船由3段连接而成。最下面是圆台形的设备舱,里面装有电源系统、推进剂贮箱、轨道和姿态控制系统、通信系统、仪表设备以及生活用品。中间段是发动机舱,主要用于飞船离轨与再入控制。它除装有反推发动机及推进剂贮箱外,还装有机动发动机。最上段是载人飞船。这部分很像放大的“水星”飞船,内部装有两套宇航员弹射座椅、导航系统、电子设备以及生命保障系统,座舱内也采用纯氧环境。它的前端是一个降落舱,头部装有交会雷达、对接器以及再入高度控制系统。除此之外,载人舱还装有各种姿态控制系统、宇航员观察口、宇航员舱外活动舱口和设备。整个飞船总长度为5.6米,底部最大直径3.05米,其中乘员舱长3.35米,底部直径2.35米。根据任务的不同,“双子星”飞船的总重量在3.2吨至3.8吨之间。它的再入过程是:飞船在返回前先在轨道上抛掉设备舱,然后发动机舱的4台反推制动火箭点燃,将飞船推入再入轨道,最后再抛掉发动机舱,座舱像水星飞船一样单独再入大气层,下降到低空时打开降落伞,宇航员和座舱一道在海上溅落。

为了在轨道上完成变轨、机动、交会、调姿等各种任务,“双子星”飞船安装了全新的机动、交会和姿态控制系统,这个系统可完成各种机动和姿控动作。与“水星”飞船的过氧化氢喷嘴不同,“双子星”飞船的机动发动机均为正常意义下的火箭发动机,采用四氧化二氮和甲基肼作为推进剂,推力范围为0.11~0.445千牛之间,均可多次点火工作。这样的发动机共有32个之多,其中设备舱和反推制动发动机舱安装了16个。载人舱和伞舱安装的16台发动机称为再入控制发动机,它用于飞船与设备舱分离后,飞船再入轨道的控制,此外它还具有使飞船再入时有横向机动的能力,从而大大提高溅落的精度,同时也可以应急状态下选择新的着陆点。

反推制动发动机包括4台推力为11千牛的火箭发动机,它采用固体推进剂,工作时间5.5秒,发动机工作可自动完成或手动控制。当发动机启动后,首先将设备舱分离。在离轨大约40秒后,自身也与飞船分离。

为了顺利完成飞船在轨的全部交会与对接任务,双子星飞船发展了一套程序控制系统,包括惯导系统和数字计算机系统及伺服机构。计算机采用辅助磁带存储器,共记录了0.16兆比特程序指令。这套系统完成的主要任务是:给出运载火箭发射时间(发射窗口)指令;控制火箭飞行路径;给宇航员提供各种飞行参数并提示控制发动机操纵;提供目标飞行器运行参数,测量它与飞船间的相对参数;给宇航员提供飞船轨道机动、姿态控制、位置机动的操纵信号;给出飞船分离时间预期;提供分离后飞船的姿态及运行参数;控制飞船按正确参数离轨和再入。

水星飞船的任务时间为1天,而“双子星”飞船的任务时间一跃提高到14天,这对整个飞船的供电系统提出了更高的要求。普通化学电池功率小、寿命短,太阳能电池效率低且大面积电池帆板体积过大,星箭结合等问题当时还很难解决。因此,“双子星”飞船决定采用以前从未用于航天领域,且技术发展尚不成熟的燃料电池。这种电池由通用电器公司研制,它由两个分离的液氢和液氧储罐、阳离子交换膜、排水系统、散热系统和控制系统组成。用于“双子星”飞船的两组燃料电池的功率分别是45安时和15安时。在航天能源方向,“双子星”计划开创

了一个新的时代。

“双子星”飞船要完成的一项任务是宇航员太空行走、舱外机动。为了简化设计,它没有采用苏联“上升”号飞船那种安装过渡舱的办法。双子星飞船侧部各有一个矩形舱门,它具有极好的关闭密封性,可以在太空中打开和关闭。在执行舱外活动任务时,宇航员先使舱内氧气压力下降,采用宇航服的供氧系统呼吸。当舱门打开时,任凭舱内氧气散失。宇航员在太空中完成行走任务返回舱内并关闭舱门后再重新放出氧气,使座舱增压。这种方式在设计上比较简单,但需氧量增大。另外,为宇航员舱外活动,还特别设计了一种舱外机动系统,它有三个相互垂直的喷口,利用压缩氮气提供机动力。这一点也同“上升”号飞船大不相同。

除了解决上述关键性技术外,由于时间和任务上的新要求,“双子星”飞船还对其他一些系统进行了重新设计,包括驾驶舱环境控制系统、宇航员生命保障系统、食物及饮水、废物处理等。设计的着眼点是工作时间长和可靠性高,有些分系统还采取了备份的措施。飞船的乘员舱底部采用了与“水星”飞船相同的烧蚀防热系统,但取消了“水星”飞船那种溅落可伸缩减震系统。

1962年5月,麦克唐纳公司生产出“双子星”飞船比例模型,用于进行空投试验。北美航空公司为此生产了伞翼滑翔机。1962年5月24日,飞船模型首先进行了空投下降试验。这些工作持续到1963年底,检验了飞船的气动稳定性以及小距离机动和姿态控制能力。

1963年不仅是“双子星”计划面临困扰的一年,也是美国政治上发生重大变化的一年。11月22日肯尼迪总统遇刺身亡,约翰逊继任总统。1963年11月29日,约翰逊宣布将卡纳维拉尔角发射场命名为肯尼迪航天中心。宇航局内部为加强计划和各部门的协调,新任命几位局长助理担任协调工作。1964年1月,“双子星”飞船制造完毕,为此,载人太空飞行器中心制定了新的试验时间表:1964年3月进行第一号飞船“GT-1”弹道飞行,8月进行“GT-2”不载人轨道飞行,11月进行“GT-3”首次载人轨道飞行,1965年将进行“GT-4”载人发射,首次进行舱外活动。

“双子星 GT-1”飞船的设备舱和反推发动机舱全是模拟舱段,计划的调整决定把它用于轨道试验。1964年4月8日,一枚“大力神 II”将其送入轨道。在3圈轨道飞行中,遥测数据表明飞船内的情况达到预期值。4月12日,在进行了64圈轨道飞行后,飞船连同“大力神”第二级自动再入大气层烧毁。“双子星 GT-2”飞船是完整的飞船,只是用两个模拟物代替真宇航员。它计划进行轨道飞行,检验飞船的全部设计,但由于燃料电池解决的不太顺利,1964年发射未能实现。1965年1月19日,“双子星 GT-2”终于发射升空。它达到了171.3千米的最高点,飞行距离3422千米,历时18分16秒。这次飞行时间虽然短暂,但全部试验项目都圆满地完成。

1965年3月23日,“双子星 GT-3”飞船载宇航员格里索姆(G. Grissom)和约翰·杨(John Yong)发射入轨。这次飞行主要是考察飞船各系统和再入过程,因此飞行时间定为5小时。这次飞行除检验了飞船的基本性能外,取得的一项重要成果是:宇航员首次在轨道上实现了真正的飞船操纵、变方向和变速度控制。此外还进行了三项科学实验并拍摄了地球照片。飞船

在最后阶段顺利与设备舱分离,启动反推发动机,进行大气层、降落伞回收均很正常。

“双子星”4号飞船于6月3日发射。这次飞行任务由宇航员怀特(Edwin H. White)和麦克迪维特(J. McDivitt)承担,飞行时间提高到5天。在绕轨道第三圈时,怀特按预定计划在夏威夷上空打开舱门,进入了开放空间。他身上连了一根长索,利用小型机动系统,最远时离飞船约3米左右,除身体有些旋转外,一切均正常。他在舱外共活动了约21分钟。在飞行期间,他们还进行了科学和技术实验,医学测试,利用弹力器来维持肌肉的弹性,拍摄了许多舱外活动和地球大气的照片。由于飞船上的计算机失灵,原定飞行121圈的任务没有完成,只飞行62圈,于6月7日返回地面。这次飞行有两项成果超过了苏联:一是飞行时间近98小时,打破了苏联的纪录;二是首次进行太空机动行走。

“双子星”5号飞船于8月21日发射,计划在轨运行7天,宇航员是库珀(L. G. Cooper)和康拉德(C. P. Conrad),主要任务是进行轨道机动和交会练习。宇航员在太空中利用专门设计的“系统交会鉴定舱”评价交会雷达和导航系统。鉴定舱装有雷达应答机、信标机和闪光灯。在轨道上,它从辅助舱抛出,作为练习会合技术的靶标。这次飞船上首次安装了燃料电池,但遗憾的是发生了故障。飞船没能按计划与鉴定舱对接,鉴定舱失踪了。尽管如此,“双子星”5号完成了许多实验和对地观察项目,留空时间长达8天,绕地球120圈,取得了很大成功,预示了更长飞行时间的可能性。宇航局副局长德莱登在给约翰逊总统的信中兴奋地说:“双子星”5的成功扫除了通往太空飞行两星期道路上的障碍,它“为成功实现载人登月飞行并返回的计划提供了保证。”

“双子星”6号飞船计划完成对接任务,与之对接的目标舱是“阿金纳”上面级。“阿金纳”D在试验过程中应完成以下任务:一、向地面站实时发送数据,并储存来自地面站指令数据;二、接收并鉴定地面站和双子星飞船上的指令信息,并把这些信息转变成执行动作,控制目标飞行器的运行;三、可接收地面站和飞船的信息并发射跟踪信息;四、可接收地面站和飞船的指令信息并激励场地安全系统工作。

1965年10月25日,“阿金纳”作为“阿特拉斯”火箭的上面级在肯尼迪航天中心发射。但由于“阿金纳”的发动机点火失败而未能进入预定轨道。原定90分钟后发射“双子星”6号飞船的计划取消。为了验证双子星飞船的交会能力,宇航局决定发射“双子星”6和7号飞船,为宇航员提供在太空中对接训练的机会。这两艘飞船分别于1965年12月4日和12月15日发射,它们靠宇航员操纵完成了机动、接近和交会飞行,在间距只有40米的情况下持续飞行了7小时15分钟,最近时只有0.3米。第二天,即“双子星”7号飞行25小时51分钟后,宇航员完成了全部飞行任务,并实现了第一次受控再入,溅落点比预定点偏差只有13千米。“双子星”7号继续飞行3天,创造了在太空中持续飞行330小时35分钟,绕地球206圈的新纪录,于12月18日返回地球。

尔后的两艘飞船,1966年3月16日发射的“双子星”8号和6月3日发射的“双子星”9号,都未能实现与“阿金纳”对接的任务。“双子星”8号因一台姿态控制发动机失控而导致飞船快速滚转,“双子星”9号则发生对接机构整流罩不能释放的故障。但“双子星”9号的宇航

员塞尔南(E. A. Cernan)于6月4日进行了长达2小时的舱外活动,完成了预定的科学研究与实验任务。

1966年7月18日,“双子座”10号飞船载宇航员约翰·杨和科林斯(M. Collins)进入轨道。他们在太空中先后对未能完成对接任务的“阿金纳”3号和新发射的“阿金纳”10号进行了跟踪、会合。“双子座”10号用了约6小时时间完成了与“阿金纳”10号的会合与对接任务,此时距地面298千米。阿金纳的发动机正常工作了80秒钟,将双子座飞船结合体送到763千米的远地点,尔后发动机二次点火,又把“双子座”10号的远地点降到382千米,最后一次点火把“双子座”10号飞船推入377.6千米的圆轨道。“双子座”10号-“阿金纳”10号结合体持续飞行了四小时后,二者分离。不久,宇航员操纵飞船向37千米远的“阿金纳”3号机动,两小时后,两者相距只有3米。宇航员科林斯爬出舱外,依靠机动系统来到“阿金纳”3号上,完成了取样任务。最后,他们于7月21日安全返回地面。这次高度成功的太空对接与轨道机动是航天史上一项伟大的成就,这是完成“阿波罗”计划的关键技术,为载人登月开辟了道路,而且至此,美国在载人航天方面全面超过了苏联。

1966年9月22日和11月11日,“双子座”11号和12号飞船先后发射。这两艘飞船更加出色地完成了空间对接任务、舱外活动任务,进行了重力梯度实验、人造重量实验以及更长时间的生物医学实验。在双子座11号飞行期间,“阿金纳”一度将它推到1368千米的高度,宇航员康拉德激动地说:“我告诉你们,‘双子座’飞船升到1368千米高的轨道上,地球是圆的……。”它历时71小时17分钟,于9月15日返回地面。“双子座”12号的宇航员奥尔德林(E. E. Aldrin)曾3次走出舱活动,累计在开放空间活动5小时30分钟,他还从空间拍摄了第一张日蚀照片。11月15日,“双子座”12号安全返回地面,留空时间94小时34分钟。

“双子座”12号飞行任务的结束也标志着“双子座”计划的结束。整个飞行期间,宇航员共进行了52项实验,其中27项是实验和检验新技术,8次是医学实验,另外17项是科学实验。“双子座”飞船还在不同的高度上拍摄了1400张地球彩色照片。更为有价值的是,“双子座”计划对人在太空中长期工作和生活进行了更全面的研究。作为一项既是独立的又是过渡性的计划,“双子座”计划取得的许多开创性成就,为“阿波罗”计划提供了极其宝贵的经验和科技成果。这里简要总结如下:

- 一、提供了足够执行“阿波罗”计划的长时间飞行经验,包括生理、医学、生活等。
- 二、验证了飞船载人条件温度、供氧、压力系统长期工作的可靠性和寿命。
- 三、完成了最重要的飞行器交会与对接,为载人登月的月球轨道对接方案提供了有力的证据。
- 四、完成了长达2小时以上的舱外活动,为宇航员在月面活动做出了预言。
- 五、实现飞行器姿态控制、机动和变轨飞行。这是“阿波罗”计划必不可少的任务。
- 六、实现受控再入,提高了落点精度,为宇航员的安全提供了更大的保证。
- 七、飞船分成几段,在再入时只回收载人舱。“阿波罗”飞船也采用了这种格局。
- 八、“双子座”飞船的新型燃料电池获得了验证和改进,它成功用于“阿波罗”飞船。

九、“双子座”飞船存在的一些问题,如姿态控制系统的可靠性、救生系统故障、宇航服笨重、太空行走困难等被“阿波罗”计划广泛吸取并加以改进。

十、“双子座”计划还提供了宇航员训练、太空生活等方面的经验。此外,“双子座”计划的历次飞行对“阿波罗”计划任务的确定提供了直接的指导。

十一、远距离对地通讯获得发展和验证。

十二、地面各控制台站的工作满足远程太空飞行的要求。

第4节 中国载人航天新曙光

载人航天具有巨大的政治、军事、科技、文化和潜在的经济价值,中国航天人也早就开始了载人航天的探索和规划。60年代中期,受前苏联和美国载人航天热潮的影响,中国也就载人航天问题做了初步探讨。1965年,有关部门就开始探讨中国的载人宇宙飞船计划。在1965年8月9~10日由周恩来总理主持的中央专门委员会第十三次会议上,曾原则通过同意在1979年发射第一艘载人飞船的规划设想。1970年7月14日,毛泽东主席圈阅了“曙光”1号载人飞船宇航员选拔的报告。11月9日,国防科委委托七机部召开“三星一船”方案讨论会,确定用计划研制的新型环球导弹作为载人飞船的发射工具。11月27日,国防科委向周恩来总理、中央军委提出《关于研制载人飞船、通讯卫星、导航卫星的请示报告(草案)》,提出研制“曙光”1号载人飞船设想,此项计划被命名为“七一四”工程。当时提出的设想是,“曙光”1号载两名宇航员,最长飞行时间为8天,运载火箭准备用计划研制的环球导弹。争取1973年先发射无人飞船,成功后再于1974年发射载人飞船。

虽然那时中国已经研制成功运载火箭并发射了第一颗卫星,但由于导弹研制任务很重,加之技术基础仍然相当薄弱,因此载人飞船研制实际上并没有广泛开展起来。在此期间,有关用于发射飞船的火箭研制的争论一致在进行。争论的结果,由于在研的洲际导弹已能完成“后发制人”的任务,环球导弹的研制已无必要,因此于1974年2月决定停止环球导弹的研制。这样,载人飞船也就失去了发射工具的后盾。另一方面,就载人航天的必要性问题争论也很大。反对的意见是,苏美在搞竞赛,不是按实际需要进行的。如果将搞飞船的钱用在建水电站、化肥厂,更有实际效果。实际上,搞不搞载人航天,是受当时的综合国力决定的。

争论的结果是,不搞空间竞赛,先运用好地球的资源,发展应用卫星。从此中国的航天事业重点转向资源、气象、通信和返回式卫星的研制。1974年10月24日,国防科委、七机部联合向中央军委、中央专委报告,指出:自1970年起,七机部和有关单位开展了中国近地轨道载人飞船第一个型号“曙光”1号的研制工作,但进展十分迟缓,应对原方案作适当修改。

尽管如此,但中国计划研制载人飞船的消息还是不胫而走。特别是当中国多次发射并回收返回式遥感卫星之后,中国的载人航天计划更是受到国际关注。1976年3月1日,美国《新闻周刊》发表文章说:“据传说,16世纪一位名叫万户的中国发明家是真正的空间旅行先驱者

之一,他曾尝试坐在一把绑有两枚自制火箭的椅子上把自己送到空中去但是失败了。今天,中国人在把他们古老的火箭技术运用于空间飞行方面正在取得大得多的成就。中国在过去7个月里发射了3颗地球卫星。这些空间活动在技术上的复杂程度已使许多西方专家相信,中国的宇航员在70年代末将能环绕地球飞行。”

1976年12月11日,在中国成功回收了第三颗返回式卫星一天后,法新社发表文章指出:“中国昨天收回了12月7日发射的卫星。这证明,它在掌握这门空间科学的先进技术方面取得了进展。这次试验又引起了关于中国可能想把人送上空间的猜想。以前,当中国在1975年12月收回它的第四颗卫星时,也曾引起这样的猜想……去年,一些有名望的外国专家认为不用多久中国就要发射它的第一个载人飞船了。过了一个月,北京光明发表社论说,回收卫星是在空间技术和载人空间飞行方面的一个重要的里程碑,这说明外国专家的看法有道理。”

英国1978年1月1日《情报文摘》撰写文章说:“西方专家对中国空间计划进行了全面重新估计……如果北京领导人决心这样做的话,那么中国在今后5年内能够取得很大的进步,以致在尖端方面实际上将能够赶上美国和苏联……西方的专家之一,西德的波鸿天文台台长海因茨·卡明斯基经过考虑后的意见认为,事实上,如果北京决心做一番惊人的事情的话,中国随时都能够发射一个载人的宇宙飞船。有些美国专家远远超过了这一估计,他们在做了重新估计之后认为,中国有能力把人送到月球上去。”

实际上,改革开放后,中国的航天发展放在比较现实的基点上,也就是重点研制各种应用卫星和运载火箭。美国航天飞机研制成功,在世界范围内引起了强烈的反响。一时间,许多国家包括法、英、德、日,甚至印度都在积极探讨研制航天飞机甚至空天飞机问题。在这一热潮的触动下,中国的航空航天界也在研究、规划新时期航天发展问题。围绕航天飞机、空间站、载人飞船,专家学者们开展了大量先驱性研究工作。这些工作为中国航天技术的发展指出了大致的方向。

1986年3月3日,著名科学家王淦昌、王大珩、陈芳允、杨嘉墀等人联名向中央领导人提交了《关于跟踪研究国外战略性高技术发展的建议》,邓小平同志迅速做出重要批示,要求从速决断。根据邓小平同志的指示和国务院部署,由国家科委制定了高技术发展计划,定名为“八六三计划纲要”。该计划包括七大门专门领域,航天技术列入其中。

“八六三计划”系高技术跟踪计划,并非工程项目。但是,这项计划几乎立即就产生了强烈反响。1987年年2月号英国《空间飞行》发表《中国的航天活动》的文章,指出:“在70年代曾有消息报道说,中国正在制定载人航天计划,并公布了训练宇航员的照片。1986年9月,中国人说他们又开始了载人航天计划……中国已制造了一个航天飞机模拟舱,并正在选拔第一批宇航员。中国官员透露,由于理论和关键技术方面有重大突破,中国的载人航天在不久的将来就可成为现实……生命保障系统都已完成,宇航员食品、饮水和衣着等问题也已解决。中国现在已建成能进行一系列试验的航天研究中心,它将成为中国宇航员的训练基地。”

1987年6月29日《航空周刊》发表文章《中国正在发展未来载人航天技术》,说“中国为在90年代建立载人航天计划,已经开始发展技术和制定管理规划。中国的一些实验室和研究

所专门研究载人航天技术,而其空间官员正在研究制定具体计划,工程技术人员已经开始就该领域可以得到所需要的技术帮助试探美国公司代表。”还说:“中国宇航员的最好的飞行将在90年代作为美国航天飞机的有效载荷专家参加飞行。中国在三年前就开始研制航天服了。北京航天医学研究所还负责研制飞船环境控制技术。训练宇航员的载人航天飞行部已经成立。”

法国宇航员帕特里克·博德里在1988年秋访问中国后说:“如果中国政府拿出更多的钱投入航天计划,那么中国到2000年就可以把人送上太空,甚至在21世纪初发射航天飞机。从技术上讲,他们完全有能力进行载人的航天飞行。”

“八六三”高科技发展计划,将载人航天列为重要发展主题之一。为此,国内专家就采取何种形式发展载人航天进行了广泛讨论。当时大致出现了两种意见,一是像美国那样,优先发展可重复使用的航天飞机;一是像前苏联那样,优先发展空间站,并用载人飞船作为天地往返运输工具。

随着讨论的深入,许多问题变得明朗化。航天飞机技术先进、使用灵活,可完成天地往返运输、空间科学试验和航天器发射任务,可将火箭、飞船甚至空间站的功能集于一身,但存在的问题也非常明显:技术难度大、发射操作复杂、研制费用高、发射成本高等等。因此,在1992年正式制定载人航天计划时,提出研制和运行以空间站为核心的载人航天系统。空间站是在地球轨道飞行的实验室和 workstation,因此需要研制宇宙飞船作为联系地面与空间站的天地往返运输系统。这就是神舟号载人宇宙飞船的由来。由于这项计划是1992年1月由国家正式批准立项,因此中国的载人航天计划被称为“921”工程。

苏联于1961年完成了首次载人太空飞行,美国也于当年稍后把第一位宇航员送上了天。中国的载人航天计划虽比这两个国家晚得多,但并没有完全重复它们的载人航天发展道路,一开始就有较高的起点。“神舟一号”飞船由四个舱段组成,从下往上依次是:推进舱、返回舱、轨道舱和附加段。在飞船的顶端还有一个逃逸救生塔。推进舱装有火箭发动机,主要用于飞船的轨道控制,特别是飞船完成任务后进入返回轨道的制动。返回舱是飞船发射入轨和返回期间宇航员乘坐的舱段。它是飞船惟一回收的部分。在它的顶端还有一个伞舱,装有引导伞、减速伞和主伞。为了使返回舱在大气层中有效减速,主伞的面积高达1200平方米。轨道舱可装各种科学实验仪器,在运行期间宇航员可在这个舱段完成预定的科学实验任务。附加段实际上就是交会对接系统,用于将来与空间站交会对接。

在“神舟号”飞船的顶端有一个类似于小火箭的装置,这就是逃逸救生塔。苏联的“联盟”号飞船,美国的“水星”号飞船和“阿波罗”飞船,都安装了 this 装置。它的用途是当火箭在点火后不久出现故障时,将飞船急速弹出,脱离危险的火箭。一般而言,火箭在点火开始后一段时间容易出现故障。逃逸救生塔用于发射前15分钟到点火发射后3分钟内,出现问题时把返回舱迅速抛射而出。与主体火箭相比,逃逸救生塔小巧玲珑,但它的组成非常复杂,技术要求也相当高。在逃逸塔的周围安装有10台固体发动机,分为四种类型,从上至下依次为控制发动机、分离发动机、主逃逸发动机和高空逃逸发动机。前三种发动机负责39千米高度以下的

逃逸工作,而高空逃逸发动机则在 39~110 千米高度内发挥作用。这些发动机工作时间很短,推力很大。一旦因火箭故障逃逸发动机启动,在巨大的推力作用下飞船可迅速脱离火箭,在安全区以外着陆。

“神舟”号从各舱段组成上看,与 20 世纪 70 年代以前苏联的“东方”号、“上升”号 and 美国的“水星”号、“双子星”号和“阿波罗”号都有明显的不同,这就是它多了一个轨道舱。有了这个舱段,就能为宇航员提供更大的轨道活动空间,从而也就能完成一般早期宇宙飞船很难完成的任务,如空间科学观测和科学实验。换句话说,“神舟”号不仅仅是天地往返运输工具,它还具有了空间站的特征与功能。从技术水平和功能上讲,它确实与俄罗斯的“联盟”系列飞船非常相似。

在飞船生命保障系统上,中国在吸收、借鉴国外成功经验的基础上,充分地进行了各种地面模拟和太空动物试验,最大限度地使用已掌握的成熟技术,并使这一技术在中国首发的“神舟”号飞船上得到考验。“神舟”号首次飞行之后,中国载人航天工程负责人发表谈话时指出,中国载人航天工程的研制和建设体现了中国特色和技术进步,继承了中国业已成熟的航天技术,为走出一条符合中国国情的发展载人航天的路子进行了有益的探索;攻克了大量的关键技术,掌握了许多新技术、新工艺,提高了中国航天技术整体水平,带动了相关科学、技术的发展。

轨道舱外形为两端带有锥角的圆柱形,位于返回舱前面,这是为了增加宇航员的活动空间。它一般为宇航员在轨工作场所,里面装有多种试验设备和实验仪器,可进行对地观测。其两侧装有可收放的大型太阳能电池翼、太阳敏感器和各种天线以及各种对接机构。轨道舱是宇航员在轨道飞行期间的的生活舱、试验舱和货舱。

返回舱外形为大钝头倒锥体的钟形,位于飞船中部,是载人飞船发射和返回过程中宇航员乘坐的舱段,也是飞船的控制中心。它不仅和其他舱段一样要承受起飞、上升和轨道运行段的各种应力和飞行环境,而且还要经受返回时再入大气层阶段的减速过载和气动加热。舱内设置了可供 3 名航天员斜躺的座椅,座椅下方设有仪表盘和控制手柄、光学瞄准镜,还装有照明灯和通信设备等最必需的设备。“神舟”的返回舱容积是世界上已有的近地轨道飞船中最大的一个。

推进舱也是圆柱体。它紧接在轨道舱后面,通常安装推进系统、电源、气瓶和水箱等设备,起保障和服务作用,即为飞船提供动力,进行姿态控制、变轨和制动,并为航天员提供氧气和水。推进舱安装有 4 台大推力的主发动机和平移发动机,推进舱的两侧还装有 20 多平方米的主太阳能电池阵。整个飞船长约 8.65 米,直径 2.8 米,太阳电池翼最大宽度 19.4 米,飞船总重约 7.8 吨。在轨飞行最长时间达 20 天之久,超过了“联盟”号飞船和美国的“双子星”座飞船。

从宇航员的安全考虑,载人航天的技术难度远远超过发射应用卫星和返回式卫星。要保证宇航员安全进入太空和返回地面,必须解决三大技术难题。一是要研制出推力足够大、可靠性极好的运载工具;二是要研制出保证宇航员安全生活和工作的生命保障系统;三是要有可靠

的救生技术及安全返回技术。载人航天与不载人航天最大的区别就在于救生技术的应用和安全返回的绝对可靠。载人航天的救生装置有弹射座椅、逃逸塔、分离座舱和载人机动装置等。它们在飞行的不同高度发挥各自的救生作用。

飞船返回时需要启动反推火箭减速、调姿、进入返回轨道等技术,还要闯过三道难关:一是过载关,飞船高速进入稠密大气层时会产生巨大的冲击过载;二是火焰关,飞船返回与空气的剧烈摩擦会产生几千度的高温,必须对飞船进行可靠的防热设计;三是撞击关,飞船降落尽管有降落伞,但它的降落速度仍达 $8\sim 14$ 米/秒,必须采取防护措施。

中国载人飞船的发射装置是在“长征二号E”基础上改进而来的“长征二号F”,改进的重点是提高火箭发射的可靠性,降低起飞过载。为提高可靠性,“长征二号F”在“长征二号E”基础上增加了2个新系统,即逃逸系统和故障检测处理系统。同时,火箭的关键设备和部件都采取备份措施。火箭和飞船采取安全设计措施后,火箭飞行可靠性达97%,宇航员的安全性达到了99.7%。火箭全长58.343米,起飞质量479.8吨,起飞推力为604.4吨,芯级直径3.35米,助推器直径2.25米,可把8吨重的有效载荷送入近地轨道。

“神舟”号飞船从升空到回收历经12个阶段:火箭起飞,助推器分离;第1级火箭分离,抛掉头部整流罩;第2级火箭点火,船箭分离,飞船入轨;飞船展开太阳能帆板;飞船飞行,进行科学实验;飞船第1次调姿,返回舱与轨道舱分离;返回舱第2次调姿;返回舱与推进舱分离;返回舱进入大气层,进行升力控制;返回舱降落伞打开,缓冲发动机点火,返回舱着陆。

1999年11月20日6时30分,“神舟一号”飞船在酒泉卫星发射中心由长征二号F运载火箭发射升空;飞船返回舱于21日15时41分在内蒙古自治区中部地区成功着陆。这是一艘工程试验飞船。神舟一号飞船的成功发射与回收,标志着中国载人航天技术获得了新的重大突破。2001年1月10日,“神舟二号”飞船在酒泉卫星发射中心发射升空,飞船返回舱在轨道上飞行7天后成功返回地面。“神舟二号”飞船是第一艘正样无人飞船,技术性能有了新的提高,飞船技术状态与载人飞船基本一致。此次飞行,首次在飞船上进行了微重力环境下的空间生命科学、空间材料、空间天文和物理等领域的实验。2002年3月25日,“神舟三号”飞船成功发射。虽然这也是一艘正样无人飞船,但技术状态与载人飞船状态完全一致。通过这次发射试验,运载火箭、飞船和测控发射系统进一步完善,提高了载人航天的安全性和可靠性。此次飞行试验进行了大量实验,还首次进行了逃逸系统试验。2002年12月30日凌晨零时40分,“神舟四号”无人飞船在酒泉卫星发射中心发射升空。飞船在轨道上运行了8天,绕地球107圈,于1月7日安全返回地面。此次飞行,飞船共进行了三大科学实验,创造了中国空间科学实验的多项第一。

2003年10月15日上午9时,“神舟五号”飞船载着中国第一位宇航员杨利伟升空了。神舟五号所肩负的,不是一次普通的航天发射,它还将托起中华民族几千年的美好愿望——飞天之梦。短短的10分钟后,杨利伟和飞船一道进入了地球轨道。经过21小时14圈的飞行,16日晨安全返回了地面。中国的首次载人航天飞行画上了圆满的句号。10分钟是短暂的,21小时也不长,但这次飞行的意义十分重大——它实现了中华民族几千年的飞天之梦。

杨利伟首次进入太空取得圆满成功,他和国人一道共圆了飞天之梦,完成了中华民族上千年的夙愿。然而,载人航天的意义远不止此。载人航天在体现人类探索精神、提高国家声望、增强民族凝聚力、开阔人类眼界、强化国防势力、增进科技进步等方面的意义是直接的经济效益无法相比的。而且,载人航天可以通过技术转移等途径产生很大的经济效益。在载人航天向纵深发展之时,利用载人航天可以开展空间科学实验、空间天文观测、空间对地观测、空间军事应用、空间信息服务、空间旅游服务,开发空间能源资源、空间生产工艺并开展轨道加工与生产等,将产生极大的社会效益和经济效益。正是看到载人航天的巨大价值和长远利益,中国在完成载人航天飞行的第一个目标后,还将研制发射空间实验室、建设空间站,进一步完善载人航天大系统,为科技、经济、国防建设做出更大贡献。

第十五章

阿波罗登月计划始末



这是“土星”V号火箭载“阿波罗”11号飞船升空的场面。1969年7月16日至24日，“阿波罗”11号载阿姆斯特朗、奥尔德林和科林斯完成了首次登月任务。阿姆斯特朗在踏上月面瞬间时向全世界宣告：“对一个人来说，这不过是小小的一步，但对全人类来说却是一个巨大的飞跃。”这句话很快成了一句名言，是人类首次征服月球的象征。

在人类全部航天活动中,最激动人心的一幕莫过于阿波罗飞船载人登月了。从嫦娥奔月到凡尔纳的《从地球到月球》,人们都把月球作为太空旅行的首选目标。无论是科学家还是诗人,甚至普通老百姓,月球似乎最能激发人们的想像。当1969年美国宇航员首次踏上月球的表面时,人类千百年的梦想终于变成了现实。

然而,美国制定“阿波罗”登月计划的初衷是同前苏联进行太空竞赛。20世纪50年代虽然有许多科学家和工程师从科学的角度研究登月的可能性,但大都局限于理论探讨。20世纪50年代末,美国有许多部门也投入力量研究登月的问题,但美国政府对此持不支持态度。当前苏联在航天领域一次次领先,并首次完成了载人太空飞行时,美国政府再也坐不住了。以早期的研究为基础,美国终于正式制定了旨在击败前苏联的“阿波罗”登月计划。为了在载人航天领域击败苏联,显示所谓自由世界在科学技术方面的领先地位,美国为这项计划投入了巨大人力、物力和财力,整个计划持续10余年,耗资达255亿美元。本章我们将详细介绍美国阿波罗登月计划始末。

第1节 登月计划的决策

美国军方在历史上具有探险的传统。航天时代,美国各军种都十分活跃。在导弹计划中,陆、海、空三军都参与了导弹研制,只是后来才在政府的统一计划下将各军种研制发展的重点确定下来。在人造卫星计划中,陆、海、空三军也都有自己的计划,后来由于国防部的干预,才将海军研究计划局的“先锋”计划作为政府认可的正式发展项目。在载人航天计划中,各军种同样争先恐后,纷纷进行了自己的研究和规划。当美国宇航局成立后,由于这个新机构受命统揽美国的民用航天计划,才使几大军种的载人航天研究稍稍有所限制,但空军仍然在制定着具有军事意义的载人航天计划。长期的分散研究影响了资源的合理使用,但也为载人航天计划乃至登月计划奠定了重要基础。

美国陆军在20世纪50年代后期对载人航天计划进行了深入研究。由于陆军拥有一批以冯·布劳恩为首的德国火箭专家,因而陆军制定的计划一方面受这些人的触动,另一方面比其他军种更加雄心勃勃。冯·布劳恩刚被美军俘获后不久(1945年6月)写过一篇关于德国火箭技术的文章,他结合当时的技术进步情况,对火箭技术和太空飞行作了如下展望。他说:“在我们看来,在更遥远的未来,随着液体火箭的发展,可能出现如下几种发展前景,而其中的一些发展前景可能具有极为重大的意义。”他所说的发展前景就包括登月:“随着火箭技术的进一步发展,人类还可以到别的行星去旅行,当然首先要去的是月球。这类旅行的科学意义是十分明显的。就此,我们发现了全世界联合研究利用原子能和发展火箭的可能性,这将产生无法估量的影响。”1951年10月12日,一批德国火箭专家和美国专家在纽约召开了一次会议,与会者提出了月球探险战略。他们的设想是建造并发射三艘飞船,一是用于地球轨道的运输飞船,一是担任空间组装任务的地球空间站,一是登月飞船。登月飞船高约49米,底部宽度

33.5 米,总重量约 3 965 吨。在最初进行月球探险中,共发射三艘这样的飞船,两艘装 20 名工程师和科学家,另一艘装 10 人和 20 吨货物。在地球轨道上组装后,向月球进发,经 5 天时间到达月球,所带物资可供 50 人探险 6 周时间。工作完成后,50 人乘两艘飞船返回地球。这次会议的论文发表后,在读者中产生了很大影响。由于这个原因,迪斯尼公司特地组织拍摄了科幻电影《太空飞行》。

由于认识到美国在火箭发动机领域里的不足和考虑到未来载人航天计划的需要,1957 年 4 月冯·布劳恩专家小组开始了大推力并联火箭发动机方案的研究工作,并最终导致“土星”系列运载火箭的问世。此后的三年多时间里,他一直为争取计划的批准而到处奔波。为了得到批准,梅达里斯还向国会作证说:大型运载火箭是“太空研究和军事发展的关键。”

美国宇航局成立后,由于运载火箭迅速发展,特别是陆军弹道导弹局正在研制的土星系列运载火箭取得的成果,冯·布劳恩等提出了具有技术基础的登月设想。1958 年 12 月 15 日,宇航局局长格伦南和其他领导人在华盛顿听取了冯·布劳恩和他的两个助手介绍陆军弹道导弹和运载火箭的研制情况。冯·布劳恩的助手科勒在简要总结了陆军目前的运载火箭的能力后,强调提出未来的发展目标是研制少数几种能完成多种任务的运载火箭。他们把这种运载火箭的最大能力放在能实现载人登月的目标上。科勒指出,到 1967 年春,“我们将具有……把人送上月球的能力”。冯·布劳恩介绍了陆军弹道导弹局正在研究的一系列火箭发动机的情况,他还提出航空多发动机原理完全可以用于多级火箭上,亦即采用多发动机并联方法可以研制出大运载能力的运载火箭。他在谈到登月设想时,提出了 5 种可能的方法,一种是直接登月,另外 4 种是轨道交会法,他本人更偏爱轨道交会法,特别是地球轨道交会法。采用直接登月法“可能需要七级运载火箭,总起飞重量不低于 6 100 吨(1 350 万磅)。”

1959 年 1 月,冯·布劳恩在国会航天与太空研究评价委员会上,首先分析了美国航天技术发展的状况,然后指出利用正在研制的“土星”运载火箭,可以在 10 年之内完成载人环月飞行,此后可以实现载人登月。格伦南对冯·布劳恩等人的宏伟设想表示赞赏,但他认为宇航局的首要任务是“水星”计划和研制 F-1 火箭发动机。基于这一点,宇航局在 1 月底向艾森豪威尔提交了“国家航天运载工具计划”,提出应当研制四种大推力火箭发动机,但没有提及长远发展目标。

1959 年 4 月间,宇航局哥特委员会研究了研制大型运载火箭的可能应用以及水星后的载人航天计划,但没有提出明确具体的目标。1959 年 5 月,哥特委员会再次召开会议,规划未来航天计划。讨论的主题仍是“水星”计划、弹道航天飞行器和戴纳-索尔计划。但与会的宇航局航天飞行办公室的乔治·劳认为宇航局应当考虑更大的发展目标,例如载人行星探测、先进的核火箭以及载人登月的可能性。吉尔罗斯赞同乔治·劳的观点,认为水星计划后的另一个计划应当是载人登月,也就是“真正的航天飞行”,而不是仅仅在地球轨道上飞行。会议大致排出了水星计划后的大型航天计划序列:机动载人轨道飞行器、轨道空间站、载人环月往返飞行器、月球轨道研究飞船、载人登月、行星探测、火星和金星着陆。

1959 年,宇航局成立了计划和评价办公室,目的是为宇航局的长期计划决策提供咨询。

该办公室经过讨论,提出了“宇航局长期计划”报告,1960年初上交美国国会。报告指出,土星运载火箭将用于“水星”计划后的美国载人航天计划,载人环月飞行将在1966~1968年实现,载人登月将在计划批准的10年之后实现,大致是20世纪70年代中期。美国宇航局认为这个计划设想是充分的,能够为美国在太空奥林匹克竞赛中比别的国家赢得更多的金牌。

1959年5月27日,吉尔罗斯和太空任务小组成员正式开始讨论“水星”后载人航天计划,提出载人登月是“水星”计划后的逻辑发展。乔治·劳、费格特和冯·布劳恩都是登月飞行的热情鼓吹者。乔治·劳是宇航局新成立的载人航天飞行规划办公室主任。这个办公室只有三人,但据说权力很大,他的地位仅次于格伦南和西尔维斯坦而居第三位。乔治·劳对“阿波罗”计划的制定做出了重大贡献,可称得上是“阿波罗”计划之父。他四处游说,建议批准“阿波罗”计划。他的一个典型观点是:“载人航天飞行需要有一个远大目标来支撑,它应当是一个引人注目的焦点,这个目标就是登上月球。”他们的努力促成哥特委员会于6月25~26日再次召开航天政策和计划讨论会。会上分析了空间站、机动载人飞船以及环月飞行器等问题,但与会者大都认为,载人登月可同时完成上述任务,因此“水星”计划后最合适的是登月计划,这项计划还可作为载人火星着陆计划的中间环节。这次会议后来看作是“阿波罗”计划的重要决策会议,会后宇航局指示各中心研究载人登月应采取的具体方法。这表明宇航局制定登月计划的决心已定。1959年6月,在第二次哥特委员会会议上,乔治·劳终于促成将载人登月作为一个目标。他起草了一份文件《航天飞行的发展,高级技术和载人航天飞行的长期规划》,用8页的篇幅论述载人登月飞行,预计20世纪60年代末实现这个目标。1960年1月4日格伦南批准了哥特委员会的最后报告,正式确定“水星”计划后宇航局的载人航天计划是“阿波罗”计划。

1960年7月28、29日,美国宇航局和工业部门联合计划会议在华盛顿举行。在这次会议上,“阿波罗”计划经长期内部讨论之后首次向外界公布。乔治·劳指出:美国宇航局的未来载人航天计划是经过慎重的研究与讨论后制定的,它具有充分的理由和可行的办法,宇航局设计的未来宇宙飞船既能够绕月球飞行,也能在地球轨道上完成科学实验任务,“这些工作将为实现在月球和其他行星上着陆以及建立永久性轨道空间站奠定基础。”他对未来飞船的设计、需要发展的硬件和面临的困难进行了说明。他对参加会议的工业代表们说:“你们将以合同的形式被邀请参加飞船的设计研究工作。”乔治·劳最后声明说:他所描述的“阿波罗”计划“尚没有得到官方的支持”。在会议的第二天,费格特发表了关于登月计划的演讲。

总统科学顾问委员会成员在一份给总统的报告中,强烈支持宇航局的计划,并强调扩展航天计划的重要性:“我们已经陷入一场征服太空的竞赛中……由于种种原因,有的人把眼光放在不久即能作出新的和激动人心的科学发现上,有的人则感到他们很想把人送到宇宙前沿。但目前,促使我们不得不进一步努力的紧迫原因是国际政治局势。如果我们想继续保持我们的领导地位的话,我们就应当显示我们的技术能力。所有这些原因都要求我们进行这场高难度的、高投资的冒险。”乔治·劳指出:“事情越来越明显,载人登月应当作为最主要的计划。因此应当给阿波罗计划以应有的评价,把阿波罗计划和相关技术放在更坚实的基础之上。”

由于总统对“阿波罗”计划抱不支持的态度,乔治·劳决定不顾政府的反对,提前推进“阿波罗”计划的实施。1960年10月21日,他的工作组召开了“阿波罗”计划的第一次工作会议。到11月18日,讨论工作越来越具体化,包括飞船的重量。11月末,费格特访问了马歇尔中心,得到冯·布劳恩的支持。12月13日,“阿波罗”计划的日程表已经提出,大致是:1967~1968年完成载人绕月飞行;1969~1970年完成载人登月飞行。

这时候,格伦南的局长任期结束了,为了选一位新的宇航局长,约翰逊副总统拟定了17个人选,但都不愿意担当此任,主要原因是宇航局的前途不明。最后选择了韦伯。他并非科学家或工程师出身,而是政界人士。开始他也不同意。后来他发现副总统对航天事业抱强烈的支持态度,但韦伯感到获得真正的支持最终还应当是总统,因此他表示,除非总统亲自任命,否则他不会接受此职位。于是约翰逊安排韦伯与总统会面。肯尼迪说,我需要的是一位局长,而不是一位科学家。当天的会面肯尼迪并未表示大力支持航天计划。韦伯说,他希望当一位发现在航天领域需要做什么,并且努力去做的局长,而不是去管理已经制定的计划。

在宇航局上下为制定“阿波罗”计划而忙碌的时候,高层领导则忙于四处游说。1959年12月,太空飞行发展办公室向艾森豪威尔总统递交了一份经过总统科学顾问委员会和国防部修改的规划报告——美国国家航空航天局远期计划。报告除有关应用卫星和深空探测计划外,对未来载人航天也作了规划,其中远期目标包括载人登月。但艾森豪威尔明确表示,他只批准通信卫星计划。1960年年中,宇航局将研制第二代宇宙飞船的报告提交白宫,并申请有关的预算。这时宇航局提出的目标是载人环月飞行,而不是登月飞行,这一点引起了总统的注意。他指示总统科学顾问委员会负责研究宇航局提出的计划的“目标、任务和成本。”

由科学顾问委员会6人组成的特别小组提交的报告称“水星”计划是“有点玄乎的努力”。报告评价了土星火箭计划,指出宇航局在1970年利用它完成载人环月飞行似乎是可行的,但目前还没有适用的运载火箭能够胜任载人登月任务。报告还暗示,宇航局正在发展的大型运载火箭隐含着这样一层意思:载人航天领域真正重大的成就是载人登月。报告指出,载人航天飞行的动力主要来自于感情上和国家声望上,并没有科学技术上的基础。制定航天飞行计划不能建立在纯科学的基础之上。报告最后对载人航天计划的开销作了估计:水星计划将耗资3.5亿美元,载人环月飞行计划将耗资80亿美元,而载人登月计划将额外花费260~380亿美元。

1960年底,这份报告送交到艾森豪威尔总统手上。他对宇航局新计划的反应并不热情,主要原因是成本太高。他要求为制定这样雄心勃勃、花费高昂的计划提供坚实的理由。当得到答复说:当年西班牙女王伊莎贝拉就是在这种情况下支持麦哲伦的探险活动,并最终发现了美洲大陆的,而“阿波罗”登月计划正好可与之相比时,艾森豪威尔说:他不会将自己的“项链挂在登上月球的人的脖子上。”

艾森豪威尔不支持“阿波罗”计划的原因主要是:一、这项计划的费用实在太高了;二、这项计划的科学意义不大,花这么多钱不值得;三、总统任期将满,不愿在这个十分敏感的问题上陷得太深,把这个皮球踢给新总统是最明智之举。

他在1960年11月27日发表的国情咨文中说：“在太空研究中应当慎重选择，计划进行。声望是从起初的成就中得来的，而不是仅靠声势的壮观。我们必须不受国家间竞争的影响而过度地将金钱及人才从另一些同样重要的计划下撤出来作单方面的发展……”1961年1月12日他在最后一次国情咨文中所说的话表明了这种态度。在赞扬了一番宇航局取得的“惊人的进展”后，艾森豪威尔没有提及具体的未来航天计划，只是说：“美国人可以希望在空间探索方面取得新成就。在不久的将来，我们将可见到种种奇迹，如宇宙旅行者沿着轨道航行，把仪器送到月球表面，庞大有力的土星火箭飞船开始飞行，无人驾驶的飞船探索火星和金星。”当时许多人觉得如果他继续担任总统，他会毫不犹豫地砍掉“阿波罗”计划。

一般人对艾森豪威尔无可奈何，但雄心勃勃的年轻总统竞选人肯尼迪却在各种场合大肆攻击政府的太空政策。他多次呼吁苏美“导弹差距”，指责由于政府的失误导致美国的安全受到了可怕的威胁。在竞选之前的一次讲演时，肯尼迪说：“由于我们没有认识到在外太空争得第一会带来什么样的影响，结果给全世界造成这样一种印象：苏联正在积极行动，他们有确定的目标，他们知道如何完成这些目标，他们不断地取得进步，而我们则停滞不前……在世界的眼里，美国已经达到了它的最高峰，如同正午的太阳已经过去，接下来是漫长的下午，最后将日薄西山。”在另一次竞选演说中，肯尼迪的腔调简直就是在挑起一场太空竞赛，说：“我们正陷入一场同苏联的战略太空竞赛，我们失败了……控制太空在未来10年有着决定性的意义。如果苏联人控制了太空，他们就将控制地球，正像过去几个世纪里那些控制海洋的国家统治着各大陆一样……在这场关键性的竞赛中，我们不能甘愿居第二位。为了保证和平与自由，我们必须是第一。”“当今是探险的新时代，太空是我们伟大的新前沿”。

肯尼迪这些言辞激烈的演讲虽然很难说代表了他的真实思想，但在美国的影响确实很大。在美国宇航局内部，他的话成了大规模扩大航天计划的重要推动力。事实上宇航局正式确定执行“阿波罗”登月计划就与这位总统候选人公开表示要大力支持航天事业的态度有关。但担任总统后的肯尼迪的态度却发生了很大变化。他在1961年1月30日发表的第一篇国情咨文中，没有特别谈到公众关心的“水星”计划，也没有提到远期太空发展规划，只是说：“本届政府打算立即探索与苏联和其他国家进行合作的一切可能的领域，发挥科学的神奇力量而不是利用它的恐怖作用。具体地说，我现在邀请所有国家，包括苏联在内，同我们一起来制定一个天气预报计划，一个新的通信卫星计划和准备探索遥远的火星和金星。这种探索有朝一日可能揭开宇宙的最深奥的秘密。”他还谈到对太空竞赛的看法：“今天我国在空间科学和技术方面是领先的，而苏联则在把巨大的运载工具送入轨道的能力方面是领先的。如果这两个国家使这种努力脱离激烈的和造成浪费的冷战竞赛，他们就可以帮助他们自己，也可以帮助其他国家。美国将愿意同苏联和所有国家的科学家一起进行更大的努力，使所有的人都能享受这种新知识的成果。”

也许上任之初的肯尼迪总统没有很多时间考虑航天问题，也许他对航天并不真正感兴趣，他的许多做法与上任前的说法正好相反。按照传统，美国航空航天理事会主席一职应由总统亲自担任，但肯尼迪不愿担任这一职务，甚至打算撤消这个组织，后来由于热心航天事业的副

总统约翰逊的坚持,才保留了这个理事会,主席的职位则落到他的头上。可见肯尼迪就任总统之初确实对航天事业不感兴趣,也缺乏了解。不过,他也希望通过各种渠道了解航天的进展和它的实际意义。有文献说,约翰逊就是肯尼迪航天知识的启蒙者。肯尼迪还说:“关于太空政策和决策的制定方面,我将在很大程度上依赖副总统的建议。”但当时美国政府明显出现了两种截然相反的声音,总统科学顾问委员会的反对声和约翰逊领导的国家航空航天理事会的支持声。

两种态度都来自白宫内阁,而且支持者都是肯尼迪的忠实大臣,这使肯尼迪难以取舍了。于是他采取了放一放再说的办法。从1961年1月到4月美国的航天计划仍在过去的政策框架之下,“阿波罗”计划仍然没有着落。1961年2月8日,肯尼迪总统在一次记者招待会上答复有关美国载人太空飞行的提问时说:“我们对太空人的安全十分关心,不能为了提高我们的声望而将太空人送上去冒险。我们一定要等到尽可能的安全程度时才送太空人上去,即使我们在这方面输给苏联我也愿意。”

宇航局新任局长韦伯1961年2月14日走马上任后,便开始考虑扩大航天计划的规模了。16日他会见了预算署主任贝尔,讨论了增加宇航局预算的可能性。2月23日,他同国防部讨论了扩大宇航局的职权范围问题。2月24日,他听取了德莱登和西曼斯关于航天发展计划的汇报。他对“阿波罗”计划表示了浓厚的兴趣,他指出,太空计划不能单从其有限的技术价值来考虑,而应当把它放在“更广泛的国际和国内目标的框架中”。为了扩大航天发展计划,他在3月17日提交给预算署的报告中,要求在1962年为宇航局拨款30.8亿美元,比格伦南提出的预算高出30%。宇航局三巨头在同预算署负责人会面时,详细阐述了制定“阿波罗”计划的理由。韦伯声称,这些计划是为了“逐步消除由于苏联人取得的成功而造成的差距”。

3月22日,肯尼迪总统首次正式召见宇航局官员。参加这次会见的有韦伯、德莱登、西曼斯和约翰逊以及预算署署长贝尔和副署长斯塔特,总统科学顾问维斯纳、原子能委员会主席西伯格等人。会上德莱登汇报了“阿波罗”计划,指出这个计划的目标是载多人航天飞行,持续14天的飞行、发射研究实验室或实现载人登月,估计70年代即可实现登月的目标。韦伯说:“美国在航天领域的努力是基于一个十年规划。在1959年制定计划时,这十年规划要求我们紧密合作,逐渐缩小与苏联的差距……艾森豪威尔总统削减了“水星”计划后美国载人航天计划的投资。这个决定使宇航局的十年规划执行了不到一年就变得萧条了……而俄国人将在未来五到十年在太空探索的第一个有影响的领域击败我们。”在介绍了苏美的差距后,韦伯要求增加宇航局的预算,特别是“土星”运载火箭的投资。他谈到了十年规划中的重要目标,包括不载人月球和行星探测以及“水星”计划后的载人航天计划。他还说航天应当继续保持高速发展的势头,原因是:“美国的航天计划已经成为促使各国科学家和工程师广泛合作的积极力量。”

当天的会议肯尼迪并没有做出什么承诺。在第二天,他又召集约翰逊、威斯纳和威尔什等开会,在会上他们都表示应该支持加速推进“土星”火箭的研究。约翰逊和威尔什并没有建议立即批准“阿波罗”计划。在这种情况下,肯尼迪批准了宇航局关于增加预算的申请。

由于种种原因,在任期的头三个月肯尼迪并没有特别关注宇航局的大型航天计划。正如美国航天史家艾米所指出的:“美国在太空方面的努力不得不归功于苏联继续在太空方面的成就所施加的压力。在这种形势之下,宇航局的计划才被列入迅速发展之列。”

1961年4月初,美国情报部门已经向肯尼迪总统通报苏联很可能在4月15日发射载人飞船。4月10日,美国获悉苏联已在拜科努尔发射场竖起一枚大型运载火箭,它很可能是用于载人航天飞行的。11日晚,总统科学顾问维斯纳对肯尼迪总统说:“如果今天夜里探测到苏联人发射火箭是否需要叫醒你?”“不,明天早晨把消息告诉我。”

4月12日加加林乘坐“东方”号飞船完成了人类历史上首次太空飞行,引起了世界范围内的强烈震动。苏共中央委员会声称这项成就“体现了苏联人民的聪明才智,体现了社会主义的强大力量。”赫鲁晓夫说:“让资本主义国家追赶我们吧。”苏联宣传机构指出,加加林的飞行是胜利的社会主义优越性的证明,这次飞行是苏联在科学技术各方面具有全球领先地位的证据,尽管苏联有能力把这种优势转化成威力巨大的武器,但她更爱好和平和主张裁军。欧洲英国、法国、意大利等国几乎都对苏联取得的成就表示由衷的赞赏。

加加林首次太空飞行的成就对美国公众的刺激虽然不如1957年卫星那样强烈,但美国报刊仍进行了充分的报道和评价,基本态度是失望和沮丧。报纸大肆批评美国政府。《纽约时报》还将了肯尼迪总统一军,说“总统的想像力被他跟国会打交道遇到的麻烦窒息了。”该报还说,“中立国家可能会相信未来的霸主是苏联,即使我们的朋友和盟国也要离去了。我们的影响力正像赫鲁晓夫总理强烈希望的那样,将变得越来越弱了。”有一份报纸画了这样一幅漫画,趾高气扬的赫鲁晓夫拍着一只篮球大小的宇宙飞船,从看上去孩子气十足并且显得狼狈不堪的肯尼迪头上一跃而过。

加加林的轨道飞行在美国造成了第二次巨大的冲击波。肯尼迪在当天的记者招待会上说:“无论别人怎么失望,看到苏联在太空方面再次比我们领先一步,没有人比我更泄气了。”来自舆论和国会的巨大压力,使肯尼迪首次真正感受到太空的不可抗拒的吸引力,航天成就的巨大政治和外交影响力。4月13日下午,他要求重新审查美国的航天规划方案。4月14日他把韦伯和德莱登以及威斯纳、预算署长贝尔等人召到白宫,商讨美国应采取的对策。他开门见山地问道:“我们在什么地方能赶上和超过他们?我们能做些什么?我们能在他们之前实现环月飞行吗?我们能在他们之前把人送上月球吗?”

韦伯报告说,在技术上我们并不比苏联落后,登月计划完全可以先于苏联取得成功,但必须采取类似于“曼哈顿”计划的措施,而且估计要花掉400亿美元。肯尼迪说:“当我了解到所有情况,我就会做出是否值得去做的决定……只要有人告诉我怎样才能迎头赶上。”他环视了一下每一个人,平静地说:“没有什么事情比这更重要了。”这次会面大家达成了一个共识:美国在航天领域只有一个机会能够领先苏联取得第一,那就是载人登月。肯尼迪表示“我们应当到月球上去”,但他对这样大的投资感到忧虑。

在以后的几天,宇航局的三个巨头十分忙碌,他们多次到国会向议员们回答一个又一个问题,举行一次又一次记者招待会。他们一遍又一遍地回答有关美国航天进展、航天计划以及未

来设想等问题。他们受到许多严厉的挖苦和指责。同时,他们还要为总统的决策准备材料。

4月19日,肯尼迪在白宫召见副总统约翰逊,让他就如何加速航天计划发表建议。约翰逊把他的主张向总统作了汇报,并说为了参加国会听证会,需要总统就关心的问题作出指示,并以备忘录的形式列出这些问题。20日,肯尼迪给约翰逊写一份历史性的备忘录。备忘录开列了5个总统最关心的问题,希望尽可能在最短的时间里予以答复。这5个问题是:“一,我们是否有机会通过在太空建立实验室,或通过环绕月球飞行,或用火箭在月球着陆,或用火箭载人飞往月球并使之返回的办法来击败苏联?我们是否还有其他的航天规划有希望获得奇迹般的结果,从而使我们能够获胜?二,它还要花多少钱?三,对现有的规划我们是不是以每天工作24小时的状态工作?如果没有,为什么没有?请就如何能够加快工作进度向我提出建议。四,在建造大型运载火箭时,我们的型号应当放在核燃料上、化学燃料上还是液体燃料上,或者以三者结合的形式?五,我们是否在尽最大努力?我们是否正在获得必要的结果?”“我已要求吉姆·韦伯、威斯纳博士、麦克纳马拉部长和其他有关人员与你紧密合作。我希望能最短的时间里得到有关这些问题的报告。”

在此之前,肯尼迪已要求约翰逊就“阿波罗”计划提出1963年的财政预算。他还不断听取这方面的建议和来自国会的反映。副总统约翰逊对美国国会十分了解,他认为在这种情况下提出大胆的计划可能不会遭到国会的反对。约翰逊还向肯尼迪转交了国会听证会的有关材料。了解到这些情况,肯尼迪已基本决定批准“阿波罗”计划。4月21日,肯尼迪向外界透露:“我们正在制定一项重大计划,它将给我们带来最好的希望,我们现在花相对较少的钱可以获得1967年、1968年、1969年需要花费数十亿美元才能获得的成果……此外,我们还在考虑是否还有别的选择,不计代价多少,能够保证我们能在一个计划上取得领先地位……如果我們能在苏联人之前登上月球,我们就会这么做。”这是肯尼迪首先向外界公开他支持“阿波罗”计划的立场。

按照总统的指示,约翰逊领导太空委员会对宇航局、其他有关部门、外交顾问专家、国会领导的能力作了总结。然后指示国防部长和宇航局在5月8日之前联合提交一份加速太空计划的报告。4月22日,约翰逊召集有关负责人开会。宇航局根据内部的规划和研究,作了如下报告:“在把载多人的太空实验室送上轨道方面,我们没有机会击败苏联……如果采取决定性的努力,我们有机会在完成载人环月飞行计划上击败苏联。”在谈到登月计划上,宇航局说:“如果我们能采取更大的一个步骤,制定一个载人在月球着陆并安全返回的计划,那么美苏两国都必须设计和制造全新的运输火箭和航天飞行器,这不仅是两个国家的激烈竞赛,也是两国科学家和工程师的技术竞争。从这个高技术的计划上讲,美国的科技专家认为美国政府、工业和大学具有足够的能力保证在登月飞行上领先于苏联。”宇航局在估计登月计划所需资金时指出,如果在1970年实现登月,将花费223亿美元,如果在1967年登月,那么就需要337亿美元。

宇航局的这个见解立即得到新任国防部长麦克纳马拉的强烈支持。4月24日约翰逊再次召开了一次大型讨论会,参加人员除了宇航局领导、国防部官员、科学顾问委员会成员、预算

署官员等外,还邀请了三位商界人士,他们是休斯顿建筑公司的乔治·布朗、哥伦比亚广播公司总裁弗兰克·斯坦顿、美国电力公司副总裁唐纳德·库克。请他们来主要是想了解公众对美国航天计划的反应和态度。另外,他还邀请了三位为美国航天事业的开创和发展做出重大贡献的航天专家,他们是马歇尔航天中心主任冯·布劳恩、空军系统司令部施利威尔将军、海军研究与发展部副主任海华德将军。约翰逊将总统的备忘录交给每人一份,要求他们以口头或书面的形式尽快发表自己的意见和建议。

施利威尔表示强烈支持载人登月计划。海华德同样表示支持登月计划,认为“阿波罗”登月应作为整个航天计划的核心,只有登月任务才能使人感觉到我们在加速航天计划。冯·布劳恩在4月29日向约翰逊提交了一份备忘录,他认为:“在把载三人飞船送上绕月球飞行的轨道方面,我们只有很小的机会能够领先苏联;在把机组人员送上月球表面(当然包括安全返回)上,我们就有十足的把握击败苏联,因为要完成这项任务,他们必须将运载火箭的性能水平提高10倍。因此在后一个太空探险的目标上,我们不需要同苏联竞赛,他们在这方面几乎毫无希望。”他相信,只要美国做出国家级的不懈努力,可望在1967或1968年把人送上月球。在备忘录中冯·布劳恩还强调:“目标越小越好,这样美国就能尽全力在1967或1968年把人送上月球。”

4月29日,约翰逊给肯尼迪一份备忘录,对总统提出的几个问题做了简要回答。这些回答是集中了各方面人士的观点后整理而成的,其中建议制定载人登月计划,并把它作为美国航天计划的核心任务。备忘录还建议加速研制运载火箭,包括“土星”火箭、“新星”火箭和“核”火箭。

与此同时,宇航局和国防部也在积极进行研究,按照约翰逊的要求联合起草一份备忘录。为此,宇航局组成了一个委员会进行研究。1961年5月6日,宇航局四位领导、国防部首脑和预算署负责人齐集五角大楼,准备拟定最后的关于加速美国航天计划的备忘录。由于经过以前的讨论,大家的基本态度是一致的,那就是把登月作为新计划的中心,另外还就其他项目进行了讨论,包括运载火箭、通信卫星、气象卫星等。在会议的最后,麦克纳马拉建议由西曼斯、夏普利、鲁贝尔三人将讨论的结果综合起来,写成备忘录。韦伯参加完白宫为谢帕德举行的庆祝会后也赶来,对草稿进行了修改。7日半夜时分,备忘录终于完成。这份报告的题目是《关于我国国家太空计划的建议:变化,政治,目标》,一般称“韦伯和麦克纳马拉备忘录”。这是阿波罗计划的重要决策文献。

5月8日,备忘录交到肯尼迪手上。5月10日,肯尼迪召集韦伯、德莱登、麦克纳马拉、维斯纳等9个关键人物开会,讨论了“阿波罗”计划的具体时间表和预算表。肯尼迪说,他准备毫不修改地批准有关“阿波罗”计划的报告,并最后向国会宣布他的这项决定。此后的两周内,肯尼迪还召集经济界人士讨论研究执行登月计划的可能花费。

1961年5月25日,肯尼迪总统在美国国会发表了一篇特别国情咨文。这是美国制定“阿波罗”计划的一份历史性文献。按照肯尼迪的说法,总统一年一度向国会汇报工作的惯例“在紧急情况下被特别地打破了”。他指出:“如果我们要在自由和暴政正在全世界进行的斗争中

获胜,如果我们要在争取人心的斗争中获胜,最近几周在空间方面的引人注目的成就,就像1957年的人造卫星一样,应该向我们大家表明人类这一冒险事业对各个正在试图决定应该走哪一条路的人思想上的影响。……现在是取得更大的进展,是美国进行一项新的、巨大的事业,是这个国家在空间成就方面发挥明显的领导作用的时候了。这种成就在许多方面可能成为我们在地球上的前途的关键。”这些言辞表明了他对美国航天计划在特殊情况下的意义的看法。

接着肯尼迪反省了过去的失误:“我相信我们拥有一切必要的人才和资源,但是,实际情况是,我们从来没有为取得这种领导地位作为必要的全国性的决定,没有调动全国的力量。我们从来没有具体规定紧迫的时间表上的长期目标,也没有对我们的力量和时间加以安排来保证实现这些目标。”

他进一步指出:“鉴于苏联人在巨型火箭发动机方面已经领先,这使他们有相当一段时间的领先,鉴于他们可能在今后若干时期内利用这种领先地位来取得更惊人的成就,我们需要进行新的努力。我们虽然不能肯定说我们有一天将占据首位,但是我们却可以肯定地说,如果不进行这种努力,我们就会居于末位。我们由于让世界充分看到我们所作的努力而多冒了一种风险,但是正如宇航员谢帕德的成就所表明的,在我们成功时,这种风险本身会提高我们的地位。然而,这不仅仅是一次竞赛。空间现在已经向我们敞开了,我们要分享它的意义的迫切愿望并不是受到其他人的努力的支配。我们要进入空间,因为凡是人类必须做的事,自由的人必须充分参加。”

在论述了扩大航天计划的意义后,肯尼迪宣布了他的决定:“第一,我相信,我们国家应当努力在这十年结束前,实现把一个人送上月球然后安全返回地球的目标。对长期探索空间工作来说,在目前时期没有一个空间计划比这更振奋人心、更吸引人或更重要了;也没有一个空间计划是如此难于实现和如此代价巨大的……尤其重要的一个目标是:第一次进行这种大胆飞行的人能够活着回来。但是,就其实际意义而论,这不是一个人前往月球,因为我们大家都必须为了把他送到那里去而努力。第二,……加速试制新星核火箭。这是一种技术性的事业。在这一事业里,我们已经朝着取得惊人进展方面走了很长一段路程。这种事业使我们有希望,有朝一日提供一种手段来从事甚至更振奋人心和更庞大的探索空间计划,也许前往比月球更远的地方,也许前往太阳系的尽头。”

肯尼迪最后重申了他作为政府首脑的决心:“让我说清楚这一点,我现在是要求国会和全国接受坚定地执行一种新的行动方针的义务。这个行动方针将继续许多年,并且将耗费极大的资金……如果我们只是不彻底地搞,或者在遇到困难的时候,不看到发展的远景,我认为最好根本不要搞。这是我们必须做出的一种选择。我相信,在国会两院的空间问题委员会和有关的委员会的领导下,你们将慎重地考虑这个问题……我相信我们应当到月球上去……如果我们还没有做此准备,我们就应当在今天决定。”

肯尼迪的态度也反映了国会议员们的心态。看到在太空领域苏联一次次领先,许多议员都表示出了不满,要求宇航局采取决定性的步骤。国会议员达达里奥在加加林历史性的飞行

之后说,美国应当“对争夺太空第一的目标有新的敏感性”。国会议员金说,没有人会记得“第二个不着陆从纽约直飞巴黎的人是谁。”他说:“在我们的太空探索竞赛中有几大重要突破或戏剧性的成就:第一颗人造卫星、第一个太空人、第一个月球人。头两个与我们无缘,苏联人抢了先。我们可以争取第三个,我认为它的价值更胜于前两个之和。因此我们仍在竞赛中。但我特别想知道的是,我们能否在登月这样的计划上超过苏联。”布鲁克斯的态度表现的更为露骨,他说:“我的目标就是……击败苏联”。议员富尔顿在召见韦伯时说:“告诉我们你需要多少钱,你需要多少我们这个委员会就批给多少。我对总是在苏联之后居于第二感到厌烦了。我要的是第一。”参议院太空委员会主席布洛克斯对韦伯说:“如果我们继续进行太空计划的话,那么目前压倒一切的事情是做出决定,以使我们在未来争得第一。”在连续几天召开的听证会上,类似的腔调层出不穷。国会议员安福索言辞激烈地说:“我希望看到我们国家以战时状态运转起来,因为我们正在战争状态。我希望看到我们的时间表加快一倍。我希望看到宇航局计划10年完成的事在5年实现……我希望看到宇航局创造几项第一,例如登月。”

由于美国国会在美国争夺航天领先地位、击败苏联的一般看法同政府一致,因此肯尼迪雄心勃勃的登月计划和庞大的资金预算几乎没有什么异议便在国会众参两院一致通过了。

在肯尼迪总统发表特别国情咨文,批准执行“阿波罗”登月计划后不久,宇航局主要领导人韦伯、德莱登、西曼斯联合向新闻界宣布了宇航局新的航天计划——“阿波罗”载人登月,并通报了预算情况和阿波罗计划要解决的主要技术问题。他们还指出,美国发展登月计划有许多有利条件,包括技术上已取得的成果,如大型火箭发动机、宇航员谢帕德的亚轨道飞行、美国政府和国会的大力支持。这项计划几乎立即得到新闻界的广泛支持。由于舆论界的广泛宣传报道,使阿波罗计划产生了巨大影响,美联社把它评为1961年最热门新闻。

第2节 “土星”系列运载火箭

在“阿波罗”计划制定和方案选择过程中,运载火箭始终是起决定性作用的因素之一。20世纪50年代后期,美国为满足将来航天任务的需要,开始研制两种运载火箭,一是“新星”号火箭,一是“土星”号火箭。由于技术和资金等方面的原因,加之航天任务的具体化,“新星”计划在60年代初中止了。“土星”火箭计划也经过多次调整,在确定为“阿波罗”计划的运载工具后,得到迅速发展。“土星”系列运载火箭各方面性能都远远地超过了美国所有的运载火箭。即使到21世纪初,也没有哪一种美国的航天运载火箭在运载能力上超过它。可以说,“土星”系列运载火箭代表了航天运载工具发展的一个阶段,它也为这一计划的总负责人冯·布劳恩带来了不朽的声誉。

1957年4月,美国陆军弹道导弹局开始探索新的运载火箭,它的第一级总推力高达6664千牛。当时这种运载火箭被命名为“超级丘比特”。研制这种火箭的目的是考虑到未来的可能需要,发射军用通信卫星、气象卫星、导航卫星以及空间探测器。国防部提出的要求是能将

9~18吨载荷送入近地轨道,或将2.7~5.4吨的探测器加速到第二宇宙速度。当时所有的火箭都满足不了这些要求。于是弹道导弹局构想了一种新的运载火箭,其核心和关键是研制单台推力达4 410千牛的F-1火箭发动机。在此之前,北美航空公司火箭动力分部曾进行过推力为1 666千牛的F-1发动机的可行性研究。该公司认为,陆军设想的F-1发动机不可能在几年内实现。于是,弹道导弹局决定采用多发动机并联方案,认为这是最快实现国防部提出的6 664千牛推力火箭的最可行方案。1957年12月,弹道导弹局向国防部提交报告《国家导弹与航天运载工具联合发展计划》。

1958年2月7日,国防部高级研究计划局成立。该局虽对大型运载火箭感兴趣,但却主张采用现有发动机而不是研制新发动机。于是,冯·布劳恩小组决定用8台“丘比特”火箭的发动机(即H-1)组成第一级。但冯·布劳恩小组仍没有忘记推力大、操纵简单、可靠性高的E-1发动机的发展。1958年7月18日,冯·布劳恩向国防部提交了一份报告,首先对国内各部门缺乏合作以及其他方面存在的问题提出了批评。报告指出,美国目前仅有三代运载火箭,即“先锋”火箭、“朱诺”和“雷神”、“宇宙神”和“大力神”,这些运载火箭的运载能力有限,不能适应未来发展的需要。报告指出,现已提出的第四代、第五代运载火箭,即推力分别为6 664千牛和24 500千牛的多发动机并联运载火箭,能满足70年代以前航天任务的需要。这些任务包括:发射载四人的空间站、把人送上月球、发射载50人的空间站、在月球上建立基地、或实现行星际航行。为了研制大推力发动机,1958年9月11日,弹道导弹局与北美航空公司火箭动力分部签订合同,研制H-1发动机。1959年2月国防部正式将这种新型运载火箭取名为“土星”号运载火箭。

上述火箭方案在提出之时,都只考虑了第一级,上面各级采用什么发动机的问题一度困扰着美国宇航局和弹道导弹局。当时出现了各种想法。为了确定“土星”火箭的上面级,1958年11月17日,宇航局、高级研究计划局、弹道导弹局、空军等单位成立了“土星运载火箭小组”,广泛讨论了各种可能采用的上面级。几次会议争论非常激烈,多种意见莫衷一是。但达成的一个共识是,陆军现有的弹道导弹由于稳定性不好,高空点火可靠性不高,不适于做上面级。围绕着是否采用液氢液氧发动机的问题,争论特别激烈。包括冯·布劳恩在内的一批专家认为应当采用成熟的技术,不要冒险采用还处在研制阶段的新发动机。但西尔维斯坦却极力主张采用液氢液氧发动机。他以在刘易斯中心多年研制发动机的经验指出,液氢液氧发动机不但能量高,而且具有独特的可靠性,是液体火箭发展的逻辑新一步。西尔维斯坦的观点影响很大,连冯·布劳恩也说:“他的观点‘确实有着坚实的基础,他成功地说服了其他成员’”。这样“土星”运载火箭的上面级最后决定采用液氢液氧发动机。

早期“土星”系列运载火箭的具体任务不包括载人登月,因此它的第一级采用推力不太大的H-1发动机8台并联,起飞推力7 291千牛。根据上面级采用的发动机的不同,它派生出土星A-1、土星A-2、土星B-1、土星C-1、土星C-2和土星C-3等型号。

除“土星”系列火箭外,美国宇航局还提出了“新星”号火箭方案,它的第一级计划采用8台推力巨大的F-1液氧和煤油发动机。由于这种火箭任务不明确,研制进展缓慢。

“土星”系列火箭在制定之初不是以登月为目的。1960~1962年间,在宇航局和国防部频繁研究“阿波罗”计划和登月方案过程中,“土星”运载火箭在图纸上也变更了许多次。由于“新星”火箭在技术、资金和时间上面临着困难,而且研制的必要性也不大,这种火箭后来放弃了研制。另外,随着推力更大的F-1发动机取得重大进展,马歇尔航天中心和阿波罗计划办公室认为,将“新星”火箭和“土星”火箭结合起来,即将F-1发动机用于“土星”火箭上,可以胜任载人登月的要求。在最终决定采用月球轨道对接登月方案后,“土星”运载火箭的最后布局也变得明朗化了。

新规划的“土星”系列运载火箭又增加了新型号“土星C-4”和“土星C-5”。它们都是三级火箭,第一级分别采用4台和5台F-1发动机并联,第二级分别采用4台和5台J-2液氢液氧发动机并联,第三级采用1台J-2发动机。土星C-4主要执行载人环月飞行任务,土星C-5则用于载人登月任务。后者的运载能力很大,可将113吨载荷送入近地轨道,可将41吨载荷送入月球轨道或在月球上着陆。土星C-1用于土星C-5火箭的发展工作,同时还可以执行飞船的轨道飞行和再入试验。以它为基础加装上面级形成的土星C-1B主要用于阿波罗飞船的地球轨道飞行任务。由于这三种型号的火箭已完成从试验到正式执行登月任务的全部工作,因此土星系列火箭的其他型号包括土星C-4就显得不必要而被放弃了。到1962年7月,宇航局最终确定了土星系列运载火箭的基本方案和各自完成的任务。1963年初,宇航局将土星C-1改为土星1,土星C-1B改为土星1B,土星C-5改为土星V。

“土星”系列运载火箭采用了4种发动机,尤其F-1发动机和J-2发动机不但大大超过了H-1和RH-10发动机,而且它们在20世纪70乃至80年代初一直是最先进的常规推进剂和液氢液氧发动机。

H-1发动机由北美航空公司承制。它相当于推力为666千牛的S-3D发动机(用于雷神导弹)的改进型。发动机采用管壁结构,燃料再生冷却,两个涡轮泵分别用于液氧和煤油的馈入。涡轮泵安装在燃烧室侧面上端,与主轴和推力向量成直角,这样可以保证高压管路的压力降为最小,从而降低了对研制泵的出口高压的要求。燃气发生器用液氧和煤油作推进剂,固体火药起点火。发动机的控制活门借助来自自主泵的燃料压力而动作。发动机瞬变过程受压力梯度程序控制,各种活门在预定压力下相继启动。热交换器安装于涡轮排气管上,使液氧通过热交换器产生气氧,以保证火箭上氧化剂储箱的增压。1958年12月31日,第一台H-1原型机交付进行静态试验。1961年10月27日,采用推力为735千牛的H-1原型机的土星I(代号SA-1)试验单级运载火箭成功地进行了首次飞行试验。

F-1发动机研制设想和初步工作早在1955年就已开始,负责研制的北美航空公司曾计划在1957年进行点火试验。它是一种一次启动、固定推力的可摆动发动机,采用液氧和煤油作为推进剂,其中煤油也用作涡轮泵润滑剂和液压控制系统工质。燃烧室和喷管用燃料冷却,延伸段用涡轮排气冷却。燃料中有30%直接进入燃烧室,其余70%经过冷却系统后再进入燃烧室。燃气发生器也用液氧和煤油的燃气驱动。涡轮泵是单一装置、单轴、直接驱动式,它直接安装于燃烧室的一侧。发动机动力循环采用高压燃料燃气发生器吹动涡轮。发动机研制和

试验过程为:1961年7月第一台发动机进行了主机点火试验;1962年7月F-1发动机进行了第一次全推力和全程点火试验;1963年秋北美航空公司交付第一台地面试验型发动机;1964年秋F-1发动机进行了额定状态飞行试验;1965年二季度交付第一批飞行型发动机;1966年9月F-1发动机完成了一系列鉴定试验。飞行型F-1发动机的海平面推力为6815千牛,工作时间127秒,比冲304秒。

H-1和F-1发动机是20世纪60年代常规推进剂火箭发动机的杰出代表。由于在研制过程中一直强调技术上的继承性、结构的简单性和性能的可靠性,因此尽管这两种发动机性能指标比以往的发动机有了很大提高,但它们的结构却变得更加简单。这体现在发动机外观上、燃烧室和喷管有很大的增加,但其他辅助设备却相对减少,此外附属部件有的采取简单化和一体化设计,从而使部件数量减少,连接界面减少,进而又减少了事故发生概率并提高了可靠性。

美国宇航局基于未来航天发展的需要,早在1959年就制定了研制大推力液氢液氧发动机计划。西尔维斯坦委员会经过多方征求意见和研究,把这种发动机的推力定为882千牛。1959年12月15日,该委员会正式提出研制报告。有5家公司参与这项竞争,结果北美航空公司火箭动力分部于1960年9月赢得了研制合同,这就是J-2发动机。由于考虑到载人需要,在研制合同上特别强调保证最大限度的安全性。

J-2发动机广泛借鉴了RL-10的研究成果,包括喷注器、燃烧控制,也吸收了刘易斯中心的研究成果。从1960年9月开始研制,J-2发动机于1962年8月进行首次250秒的静态点火试验,1965年2月第一次通过了作为加大推力的“土星”IB上面级的飞行试验,1966年1月完成额定推力(882千牛)发动机的飞行鉴定试验。推力为1024千牛的改进型J-2发动机于1965年7月12日开始研制,1966年8月22日通过了一系列鉴定试验。在美国航天飞机主动机出现以前,J-2一直是世界上最先进的液氢液氧发动机。它的真空推力高达1024千牛,燃烧室压力为50个大气压,比冲425秒,推重比57,工作时间高达500秒。

“土星”系列火箭是“阿波罗”计划中的一个重大项目,为了照顾到美国各州及各大航空与宇航公司,同时也发挥各公司的特长,保证最高质量地完成运载火箭的研制,“土星”火箭采取各级分包的方式,而不是将整个火箭交给一家公司研制。“土星”V的第一级S-1C承包给善于研制大飞机的波音公司,第二级S-II承包给对液氢液氧发动机做出突出贡献的北美航空公司,第三级S-IVB承包给大型民用飞机的先驱道格拉斯公司。控制系统分别由麻省理工学院、IBM等公司负责。

冯·布劳恩领导的马歇尔航天中心是土星运载火箭计划的领导核心,冯·布劳恩为此做出了卓越贡献。由于土星系列火箭各级分别承包给不同的公司,这种高度分散的研制方式要求马歇尔中心在整个计划的管理、组织、协调及技术指导方面起关键性作用。1962年,马歇尔中心的组织机构进行了重大调整。调整的主要目的是强化整个计划的管理而不是解决个别具体问题。1963年9月1日,马歇尔中心调整组建了研究与发展部和工业生产部。这两个部下设多个办公室,具体负责“土星”运载火箭的各个环节。冯·布劳恩要求每个承包公司定期上报研究信息,包括进展情况、存在的问题、解决的方式等。这样,马歇尔中心就会做到心中有

数。同时,马歇尔航天中心还发挥自己强大的技术和实验能力,帮助承包公司解决在研制中出现的技术问题。马歇尔中心的非凡工作保证了计划的顺利进行。

“土星”I 运载火箭主要用于试验,为研制“土星”IB 和“土星”V 服务。从 1961 年到 1965 年,该火箭共发射了 10 次,其中前四次都是装模拟上面级的单级火箭。这些试验广泛考察了第一级的结构、强度、气动特性、H-1 发动机、多级并联的性能。1964 年 1 月 29 日,第一枚二级“土星”I 进行了全程飞行试验,检验了二级 RL10 发动机的工作情况。此后,“土星”I 试验了“阿波罗”飞船模型的结构和气动设计、惯导平台的飞行试验。最后的 3 次飞行发射了 3 颗“毕加索”卫星。

“土星”IB 和“土星”V 运载火箭直接为“阿波罗”计划服务和应用。“土星”IB 总高度 56.2 米,与“阿波罗”飞船结合后 68.2 米,最大直径 6.6 米,发射重量 589.7 吨,起飞最大推力 7 288 千牛。它的低轨道运载能力为 18 吨,地球逃逸轨道运载能力 5.9 吨。自 1966 年 2 月 26 日到 1975 年 7 月 15 日共发射 10 次,主要用于“阿波罗”飞船载人或不载人训练飞行。最后一次用于“阿波罗-联盟”飞船联合飞行。

“土星”V 火箭的箭体高度是 85.6 米,连同“阿波罗”飞船在内总高 110.6 米,其中第一级 42.1 米,第二级 24.8 米,第三级 18.1 米,仪器舱 0.9 米。它的第一级和第二级直径均为 10.1 米,第三级和仪器舱直径 6.6 米。土星 V 发射重量为 2 870.9 吨,其中第一级 130.8 吨,第二级 36.16 吨,第三级 11.4 吨,中间级 4.5 吨,仪器舱 2.04 吨,推进剂总重量约 2 686 吨,火箭壳体 and 仪器重量仅 185 吨,推进剂重量占到了 93.5%。三级总的工作时间为 786 秒。其近地低轨道运载能力 104.3 吨,地球逃逸轨道运载能力 43.09 吨。火箭的零件数达 300 万个,单箭成本 1.85 亿美元,总研制费用 96 亿美元,占“阿波罗”总计划的 38.4%。它的使用情况是:自 1967 年 11 月 9 日到 1973 年 5 月 14 日共发射 13 次,其中 2 次不载人试验发射,2 次月球轨道飞行,1 次地球轨道试验飞行,7 次“阿波罗”登月飞行,1 次天空实验室发射,未曾失败过。

第 3 节 飞船系统的发展

在“阿波罗”计划正式被批准之前,美国宇航局已经在进行“阿波罗”飞船的可行性研究。1960 年 7 月,宇航局开始招标进行第一阶段的研究。在众多的竞争者中,康维尔公司、通用电气公司和马丁公司获得了可行性研究合同。这些公司的工作除对人机系统、生物医学、控制与导航等进行了规划外,还初步确定了飞船的大致结构,从上到下依次是指令舱、服务舱和登月舱。每个舱都有其必须的子系统、科学仪器等设备。飞船总重约 50 吨左右。

飞船的设计原则是:在保证圆满、安全地完成的情况下,强调研制的简单性,包括几个方面:一、应用成熟技术;二、强调硬件的可靠性;三、统一安全标准;四、减化飞行期间的维护和操纵;孤立故障,不影响其他工作,并增加地面辅助的工作量;五、简化操作;六、减少部件的界面;七、最大限度利用以前取得的成果。

第二阶段的研究从 1961 年 7 月开始。宇航局根据前阶段研究的情况,太空飞行器中心编制了指令 - 服务舱的设计说明书,要求在 11 月 9 日所有参加研究的公司根据说明书提交招标设计方案,然后通过对各种方案的评审确定定义研究的合同者。有 14 家公司先后提交了招标申请报告和设计方案。经过第一轮评价和筛选,最后剩下 5 家公司。按评估指数 5 家公司的排名次序是:马丁公司、通用动力公司、北美航空公司、通用电气公司和麦克唐纳公司。但在 1961 年 12 月宣布最后结果时,宇航局选定北美航空公司为“阿波罗”飞船系统的主承包商。这个结果除考虑了各公司的方案外,还融会了某种背景因素。北美航空公司同过去的航空咨询委员会和宇航局始终保持着紧密的联系,而且该公司在发展航天技术上一直是走在前列的,因此选择该公司作为主承包商有许多有益之处。北美航空公司又将“阿波罗”飞船的某些分系统转包给其他公司。在研制过程中,位于休斯顿的载人太空飞行器中心始终是研制工作的技术指导部门。

北美航空公司最后设计的指令 - 服务舱由两部分组成,高约 10.4 米,底部直径 3.9 米,总重量在 29 ~ 33 吨之间,造价约 6 500 万美元。服务舱呈圆柱形,长 7.4 米,指令舱呈圆锥形,长 3.2 米,重约 6 吨。指令舱分前舱、乘员舱和后舱。前舱装有对接探测装置和降落伞回收系统,后舱装有控制系统和推进剂。乘员舱为密封结构,容积为 10 立方米,可乘坐 3 名宇航员。由于它将在远离地球 38 万千米的地方长时间飞行,因此设计时特别强调安全性和可靠性。

为了能承受再入的高温和冲击,防辐射,指令舱为绝对安全进行了特别设计。它设计成内外两层,外层由铜合金和不锈钢制成,内层由几层钛合金板制成并加以密封。内外层之间有蜂窝状隔热层。外壳涂有防热的合成树脂。底部采用烧蚀防热层,厚度达 7 厘米。这些措施还有效地隔断了辐射,估计宇航员受到的辐射剂量小于 1 拉德,比普通 X 射线的剂量还要低。

指令舱大致可分为锥体顶端、前舱、乘员舱和后舱。锥体顶部主要用于同登月舱对接。前舱装有在地球溅落时用的各种仪器和控制设备,包括降落伞和姿态控制小发动机。乘员舱是宇航员工作、休息的地方,除登月外,宇航员在整个飞行时间一直呆在这里。乘员舱四周有复杂的仪器、仪表、开关系统,边上还有仪器框和存储框,分别旋转仪器以及食物、水、衣物、处理废物的设备。宇航员平时斜躺在契合人体的靠椅上。左边的靠椅是指令长的座位,他通常管理飞船的控制器,中间的是指令舱驾驶员的座位,他负责航向观测和操纵,右边的登月舱驾驶员座位,他主要负责监视飞船供电、供氧、燃料系统和通信线路。后舱有水箱、燃料箱、线路、水管以及姿态和方位控制小火箭等装置。指令舱是“阿波罗”飞船系统防护最严密的部分。指令舱有四个舷窗:两个观察窗、两个边窗,分别用于交会、对接、观察、拍照等用途。

服务舱是“阿波罗”飞船的后勤部分,呈圆柱体。它的构造比较简单,中央是一条通道,周围放置各种供应品、电源及仪器设备。它的前端是三组燃料电池和银锌蓄电池组,中部装有两个液氧贮箱和两个液氢储箱,供燃料电池使用。后面装有主发动机 12 个推进剂储箱,分别装有四氧化二氮和偏二甲肼。它的外面有散热器,姿态控制发动机,通信天线设备,包括二副甚高频天线、C 波段天线、四个 S 波段高增益抛物面天线、甚高频全向天线和科学探测仪器。

飞船的分系统有推进系统、制导与导航系统、姿态控制系统、稳定系统、通信及跟踪系统、

电源系统、环境控制系统、生命保障系统以及各种科学实验仪器设备等。指令 - 服务舱控制系统执行机构包括一台服务舱主发动机,采用可自燃点火的四氧化二氮和偏二甲肼作为推进剂,推力为 76 千牛。它可以快速启动和关机,能多次启动,推力亦可在较大范围内可靠调节。它主要用于飞船机动飞行,如中途修正、进入月球轨道、以及返回地球的推进等。反作用控制系统主要用于姿态控制和保持,中途进行微量修正,交会及停泊机动以及在主推进系统出现故障时作为应急推进系统。该系统共有 32 个小发动机,采用四氧化二氮和甲基肼为推进剂,推力均在 441 牛左右,可连续工作,亦可脉冲工作。在一次正常任务期间,该系统机动和修正次数达 200 次,要求每个发动机进行 6 000 ~ 8 000 次启动,32 台发动机一共要启动 10 万次以上。

载人飞船的设计,必须保证宇航员有一个安全和相对舒适的工作、生活环境,所以,飞船的环境特性是设计载人飞船的重要指标之一。为了满足这些指标要求,飞船专门设置了环境控制系统。飞船环境控制系统的功能主要是调节座舱和宇航服内的温度、湿度和压力,吸收人体新陈代谢的产物包括二氧化碳、热量和水蒸气,以及对座舱环境内含有少量的有害物质与臭气进行严格的控制,同时还提供宇航员必需的氧通风量、饮水和废物处理。

座舱大气在最初设计飞船时,采用了与“水星”和“双子座”飞船相同的 30% 大气压的纯氧环境。在“阿波罗”1 号失火事故后,起飞时舱内大气由原来的纯氧(容易起火)变成含氧 60%、含氮 40% (不易起火),气压比大气压力高 12%。进入轨道后,座舱全部为氧气,但压力比地面低。

与苏联在飞船内使用近似地面上的大气环境不同,美国的载人航天飞船都采用低压纯氧环境,其原因主要有以下四点:

第一,压力降低,飞船舱壁可以减薄,起飞重量就可减轻;

第二,在座舱内,仪器检查单纯一种气体的参数,技术上比较容易,同时用纯氧比混合气体更容易掌握;

第三,宇航服的活动性能和折迭性能,取决于衣服内部所加的空气压力。在常压情况下,宇航服不能折迭,宇航员活动非常困难,不能弯腰。阿波罗飞船的宇航服内压力较低,宇航员穿后比较容易弯腰,工作起来也比较轻便。即使如此,身穿笨重宇航服的宇航员也不可能像人们在地球上那么活动自如。通常,宇航员伸开手向下只能摸到地面以上 56 厘米的地方,向上最高只能伸到 183 厘米;

第四,在较高气压下,长时间使用纯氧,对人和动物机体能起致命的损害。在低压的情况下,则可使用纯氧达一月之久而不受到伤害。

另外,如果发生飞船被流星粒子撞裂的突发事件,导致气压突然下降,应急氧气呼吸会立刻跟上。由于宇航员有低压适应能力,不致因气压降低而产生病状的后果,甚至在气压突然降至真空状态,只要有氧气呼吸,也可免于死亡。

空气净化回路(或称氧再生器)包括座舱回路及宇航服回路,它的功能是消除人体代谢产物二氧化碳,从呼气、汗液和肠道排出的臭味以及吸附在座舱内的少量污染物质,使空气净化后重新循环使用。在正常情况下,座舱回路的净化是通过回流阀进入宇航服回路净化,座舱回

路中无单独的净化装置。宇航员呼出的二氧化碳被氢氧化锂吸附,循环的气体再通过过滤设备(过滤罐)和水分离器将杂质、臭味和潮气分离,然后再被送入舱内。氢氧化锂每12小时必须更换一次,每人每天需要消耗氢氧化锂1.2千克。当宇航员在舱内不穿宇航服时,宇航服回路的部分气流通过宇航服软管连接器上的一个小孔流入座舱,气流又通过座舱空气回流阀回到服装回路,将空气净化,并完成循环。

飞船座舱的舱温规定保持在 $16.5 \sim 26.5$,再入大气层时,最高不得超过 38 。宇航员可以使用座舱风扇。在飞向月球时,宇航员偶而会感到寒冷,但只要调节环境控制系统,温度就会回升到舒适水平。登月舱温度除减压和减压后的短时间外,一般保持在 $18.5 \sim 21$ 之间。环境控制系统还需要控制电子仪器与设备的温度,规定主要仪器不需要用舱内空气降温。

“阿波罗”飞船在执行登月任务时,需要飞行14天,因此可靠性要求极高。在研制过程中,它耗资也是很高的,研制总费用是79亿美元,占整个“阿波罗”计划的31.6%。

登月舱是“阿波罗”飞船系统的重要组成部分,它是月球轨道交会法的特殊产物。如果把“阿波罗”飞船指令服务舱看作是月球轨道上的空间站,登月舱就相当于往返于空间站或月面之间的一艘渡船。宇航局经过招标和评估于1962年11月7日选定格鲁曼公司为登月舱主承包公司。1963年1月14日签订研制合同。由于登月舱的特殊使命,因而对登月舱的设计要求是:与飞船指令舱分离和对接都比较容易,在月面软着陆可靠性高,从月面上起飞安全。因为登月舱近乎在真空条件下飞行,因而设计上不必考虑外形因素。

登月舱的结构设计经过了几次变动,但有一点很早就确定了,即登月舱应包括上升段和下降段两部分,因为这样做会使登月舱在离开月球时重量更小、起飞更可靠。1962年时提出的最初方案外形比较简单,下降段是圆柱形,下面有五个着陆支架,每个支架带有一个减震圆盘。上升段大致呈立方体,四周比较圆滑。考虑到五个支架在降落时不稳定原因,1963年对它进行了改进,改为装有四个着陆支架。它的总高度6.1米,直径约3米,总重量10.9吨。

此后几年,根据它的任务和月球表面的可能情况,对登月舱又进行了多次重大更改,包括加强了着陆架、修改了下降段和上升段的外形、修改并简单了发动机贮箱、修改了登月舱的防热结构、改变了外部设备布置等。这些修改使登月舱的外形看起来极为奇特,重量也增加14.5吨。格鲁曼公司设计的登月舱主体呈两个棱柱体,由4根悬臂式支柱支撑。飞行期间4根支柱均收起来。古怪复杂的舱段安装在四只细长的支脚上,看起来好像蜘蛛一样。登月舱连同四个支脚高6.06米,直径3.94米,起飞重量 $14.5 \sim 16$ 吨,价值5000万美元。

登月舱分下降段和上升段。下降段类似八边形的箱子,每边长为3.6米,宽2.4米。它不载人,因此未采用复杂的密封结构。下降段架在支脚上,每个支脚有一只盘子式的脚垫,以使登月舱不会深陷下去。脚垫的底部还伸出长1.5米的细探针,以试探着陆地点。下降段的底部安装了下降发动机,它采用可自燃点火的四氧化二氮和偏二甲肼作为推进剂,工作比较可靠,可多次点火,推力也可调节。在发动机周围设有8个舱框,用于安放各种仪器和工具,包括后来的月球车。下降段正面的支架上设有平台和扶梯,宇航员借此上下登月舱。

在登月舱子系统研制中,发动机是最关键也是最困难的,这主要是因为下降发动机要求在

476 千克 ~4.535 吨之间大范围可调推力。北美航空公司火箭动力分部在研制这种发动机过程中做出了关键性的贡献。最初在推力调节上出现了两种建议,火箭动力分部提出把氦气引入推进剂中,虽然流量保持不变,但单位时间馈入的推进剂量减少,从而达到减小推力的目的。美国空间实验室提出采用机械系统控制流速阀门和可变流量喷注器的办法,即通过控制压力、流量和燃烧室内混合比结合的方式,达到减推力目的。经过一年多反复论证,最后选定了后者。

下降段的上面装有上升段,其结构比下降段复杂得多。舱身大部分用铝和钛合金板制成,全部采用焊接,以保持最小的氧气泄漏消耗。上升段的前部是密封加压的乘员舱,它是一个高 2.33 米直径 2.12 米的柱筒。它分成两部分,一部分是二个宇航员的固定位置,另一部分是深 1.37 米的中间室。为了减少体积和重量,乘员舱设计得非常精简,以至于连座椅和宇航员睡觉的地方都没有,宇航员只能坐在地上靠着舱壁睡觉。

登月舱的主要设备有:二台电子计算机;一架光学望远镜;通信系统,包括 S 波段通信天线、C 波段天线、甚高频全向天线、甚高频回收天线等;二部雷达;电源系统;环境控制系统;制导与导航系统;飞行程序装置和警报系统等。主计算机主要用于制导与导航,副计算机只用于一项任务,即在出现紧急情况时自动控制登月舱迅速返回指令舱。二部雷达中,一部用于交会,负责跟踪指令舱发出的交会信号,另一部是着陆雷达,它在下降时向月面发射信号,以掌握离月面的高度和下降的速度等信息。在登月舱携带方面,最后采用在土星 V 火箭第三级与阿波罗飞船之间加一个结合部,在飞行开始阶段用于装登月舱。

阿波罗飞船研制的负责人乔治·劳曾说:“如果你问[在阿波罗飞船]所有分系统中哪个最重要、最复杂、在性能和精度上要求最高,这个分系统就是制导与导航系统。它的功能是:指引阿波罗飞船飞越 40 万千米的茫茫太空,操纵飞船进入精确的绕月飞行轨道,控制登月舱准确降落在月球表面预定点几码的范围内;导引登月舱离开月面后与指令舱会合,控制指令服务舱精确地返回地球,保证在 43.45 千米的再入‘走廊’内溅落。”这些复杂的功能为制导与导航系统研制提出了极高要求。不仅如此,“阿波罗”飞船各种发动机的点火、喷射、推力与时间都是根据这个系统测量的数据,经计算机计算得出并自动执行的。由于可见,没有这种高、精、尖的控制系統,“阿波罗”飞船就不可能完成预定的登月任务。

在阿波罗计划构想到论证阶段,由于任务复杂、持续时间长,因此宇航局一直认为导航与控制系统是能否完成任务的关键。而宇航局对导航系统最为陌生,所以他们很早就在寻找合适的研制者。最后,宇航局与麻省理工学院仪表实验室签订了“阿波罗”制导与控制系统。这个实验室在杰出的惯性导航专家德雷珀的领导下,一直为美国发展先进的陀螺与惯性导航设备。在接受了宇航局的任务后,该实验室经过可行性研究认为,“阿波罗”计划要求的控制系统完全可以实现。德雷珀本人对此更充满信心。他在致西曼斯的信中说:“我愿意自愿作为宇航员执行‘阿波罗’登月任务……我们仪表实验室的人员将全力以赴投入‘阿波罗’制导系统的工作,我肯定我们的努力终会取得成功……我想知道我们将填补的应用空白是什么。”德雷珀说自愿充当宇航员只是说明他对制导系统的成功抱有充分把握,因为他本人当时已经 60 多

岁了。

“阿波罗”飞船导航系统为全惯性导航。它有两种工作方式:第一,经常性地,定期进行导航测量,以改变飞船位置和速度参量;第二,周期性进行轨道预测以便在飞船脱离指定航向时利用动力系统对运动速度和方向进行小量修正。它除了一般惯导设备那样在开始时进行精确对准外,在飞行过程中还利用天文敏感元件为导航系统提供天文导航参数。测量值与期望值定期比较,提供参数修正值,达到精确控制飞船航迹的目的。

“阿波罗”飞船制导和导航系统的功能是使飞船遵循正确的航线飞行。它的精确程度决定着飞船能不能到达月球,以及能不能返回地球。为保证绝对可靠,飞船制导和导航有以下三条信息获取渠道。第一,由地面雷达监视飞船,并将所测得的数据,传给休斯顿中心的 IBM-360 型实时计算机处理,计算机将飞船目前的位置与速度由通信系统通知飞船的制导及导航计算机;第二,飞船本身的陀螺仪和加速度计等惯性测量仪测出的飞船方向和速度的变化,提供给飞船计算机;第三,宇航员在飞船内利用光学望远镜对特定的目标星进行跟踪,并将测量到的飞船位置和速度输入计算机。飞船计算机在收到这三条渠道的信息后,便与记忆系统储存的预定程序相比较,从而向飞船发动机系统发出校正航线的指令和数据。

第 4 节 “阿波罗”试验计划

在“阿波罗”计划硬件研制工作完成时,试验工作即紧锣密鼓地展开了。除了在研制过程的静态试验,如强度试验、高低温试验、真空试验、电器试验、振动试验等等外,还包括大量的飞行试验。这些试验全面考核了运载火箭的性能、制导与控制系统性能、飞船的防热特性和操作特性、登月舱设计以及火箭、飞船的适应性能、载人飞行试验的步步深入、载人月球轨道飞行以及登月舱的下降特性等。最后的飞行试验已基本上模拟了登月飞行的全过程。这些飞行试验的顺利进行,为最后取得登月成功铺平了道路。

“阿波罗”计划的试验工作共分四个阶段。第一阶段从 1960 年 10 月 27 日到 1965 年 7 月 30 日。这期间共发射了 10 枚“土星”I 运载火箭。前 4 次是亚轨道飞行,装有模拟第二级和“丘比特”运载火箭的头锥部。试验目的是考察 H-1 火箭发动机的性能、发动机多机并联技术、控制系统、共底贮箱结构、火箭振动、气动特性设计以及地面辅助系统等。4 次试验均获成功。1964 年 1 月 29 日以后进行的 6 次发射均是两级“土星”I 火箭,为轨道飞行,载荷是模拟阿波罗飞船。这些试验的目的是验证土星 I 运载火箭的推进、设计和控制系统,考察第二级 RL-10 发动机性能、“阿波罗”飞船与运载火箭结合性能、飞船的结构设计、气动特性、防热特性、飞船控制以及级间分离等。这些发射还将几颗探测卫星送入轨道,用以研究近地空间环境,研究微流星和宇宙辐射。试验轨道高度约在 185~750 千米之间,试验均达到预期目标。

第二阶段飞行试验从 1964 年 5 月 13 日开始,到 1966 年 1 月 20 日结束。试验内容是考核“阿波罗”飞船的发射逃逸系统。与“水星”飞船一样,“阿波罗”飞船又采用了发射逃逸救

生系统。通常,运载火箭在起飞阶段的危险性最大,因此为保证宇航员的安全,水星飞船上安装了逃逸救生塔,它装有一台推力很大、工作时间很短的固体火箭发动机。一旦在点火起飞阶段出现重大事故,这台发动机可点火将飞船迅速拉出,脱离危险的火箭,并在安全的地方用降落伞回收。如果起飞阶段正常,那么在一定高度上救生塔上面的几个小火箭起动,将救生塔抛掉。

第三阶段是生产型“阿波罗”飞船不载人试验。根据以前的试验结果,北美航空公司于1965年10月20日将第一艘编号为009的生产型飞船送往肯尼迪中心。1966年2月26日,“土星”IB运载火箭把“009”号飞船发射升空,这次飞行的任务代号是“AS-201”,A代表“阿波罗”飞船,S代表“土星”火箭,2表示第二种“土星”系列火箭即“土星”IB,1表示第一艘生产型“阿波罗”飞船。这是一次亚轨道飞行,飞船上升到488千米,飞行了320千米,历时32分钟。这次发射试验了运载火箭与飞船和其他载荷的结合、分离特性;考察了“土星”IB运载火箭第二级J-2发动机、指令舱与服务舱的分离;指令舱再入与回收;指令舱防热系统;服务舱发动机启动、关机和再启动;导航系统及控制系统以及遥测系统,获得了满意的结果。

1966年7月5日和8月25日,“土星”IB又进行了两次发射,前一次是轨道飞行,后一次是亚轨道飞行,分别装有一艘“阿波罗”飞船。有关运载火箭和飞船的试验项目均获得成功。AS-203主要考核“土星”IB火箭的轨道飞行性能和第二级J-2发动机工作性能,因而头部只装有一个简单的头锥和10吨液氢作为载荷,没有装真正的阿波罗飞船。这次飞行的轨道高度是185千米×189千米。8月25日发射的是AS-202飞船(飞船编号011)。这是一次亚轨道飞行,主要试验项目是飞船指令舱防热层在再入时的防热特性。飞船的飞行高度是1143千米,飞行距离是28.64千米,几乎是直上直下的飞行,再入时速度很高,对飞船防热层进行了检验,符合设计要求。

“土星”I和“土星”IB火箭的发射试验,比较全面地考核了H-1和J-2火箭发动机,多级并联技术、级间分离技术、飞船与火箭的结合性能、飞船的防热特性、逃逸救生系统和遥控、遥测系统,证明满足了设计要求。在这种情况下,美国宇航局决定进行第四阶段的载人飞行试验,以检验“阿波罗”飞船的设计与操纵。

火箭和飞船的不载人试验进行的比较顺利,全面考核了火箭设计、飞船设计、再入特性以及控制性能。不载人试验代替不了载人试验,许多重要的工作如环境系统、生命保障系统、飞船操作、飞船对接等都需要有人来完成。进入1966年,鉴于前期工作取得的成果以及飞船改进方面的进展,美国宇航员制定了第四阶段的载人飞行试验,所用的飞船是生产型“阿波罗”飞船,运载火箭在近地轨道用“土星”IB,在高轨道、奔月轨道或重载荷情况下正式启用“土星”V。1966年3月21日,宇航局宣布“阿波罗”计划的首次载人飞行试验将在年底进行,参加首次飞行的宇航员是古斯·格里索姆、爱德华·怀特和罗吉尔·查菲。格里索姆和怀特都是美国资深宇航员。

第一艘用于载人飞行的生产型飞船是“阿波罗”012号,1966年8月生产完毕,8月25日运往肯尼迪航天中心。这艘飞船与原来的飞船相比更改了100多个地方,格里索姆听到这个

情况后“心都要跳出来了”。为了适应新的修改,在正式发射这前,三位宇航员还要在这艘飞船上进行一些操作训练。首次载人飞行采用“土星”1B火箭,这次飞行的任务编号是“阿波罗AS-204”。

1967年1月27日在肯尼迪航天中心34号发射台上,一枚“土星”1B运载火箭上方安装着“阿波罗”012号飞船,搭乘的宇航员是格里索姆、怀特和查菲。这是一个例行的宇航员训练,以熟悉阿波罗飞船的操作。这次模拟试验相当逼真,拔掉了所有与地面设备的连线,整个飞船完全自主,电能都是由舱内电源供给。他们的训练工作还包括“插拔试验”,将有关的设备插头拔起,再插上,考察各分系统的工作是否正常。他们从午饭后登船,穿上宇航服、关闭了所有舱门、抽掉了座舱空气并输入低压纯氧,一切均与实际发射的状态相同。下午6时31分,突然指令舱内传来格里索姆的声音:“火”,接着又传来查菲的尖叫声:“我们这儿起火了。”接着他又喊到:“我们正面临着一场很猛烈的大火……让我们出去……我们被烧着。”由于指令舱门设计成非易开式,开启三道门用了5分30秒时间。到舱门打开时,三位宇航员已经牺牲了。

这次事故引起了美国上下高度重视,这是美国航天发展史上第一次直接与航天有关的宇航员死亡事故。新闻机构对飞船内部的设计大肆攻击,有广泛影响的《纽约时报》评论说,连中学生也知道不要使用纯氧环境,因为在纯氧环境下一个小小的火星也会引起一场大火,平时不易燃烧的物质也会熊熊燃烧起来,而美国宇航局那么多专家和北美航空公司连这点常识也不懂吗?无论如何解释也无济于事,关键是采取什么措施避免类似事故的发生。宇航局立即成立了调查委员会。面对新闻的压力,宇航员决定先发表简单的说明。西曼斯准备了一份给宇航局长的初步报告。2月14日,他又提交了第二份初步报告。报告指出,这场火是由火星引起,而非爆炸引起的。2月21日,事故调查委员会也提交了初步报告,报告谈到了起火的过程,但具体的引火物仍然不清楚。在4月5日《阿波罗204调查委员会报告》中,对事故原因进行了调查和分析,结果表明,这次着火是故障导线产生的电火花引起的。由于座舱内是纯氧环境,火花点燃了正常情况下不易燃烧的塑料制品。调查委员会还指出,“阿波罗”计划还显示了大量无知、懒惰和粗心的情况,总的来说是“失察”。没有一人认识到纯氧环境潜伏着巨大的危险。报告说:“尽管委员会还无法确定‘阿波罗’204飞船失火的准确着火点,但可以指出导致这场灾难的触发条件:1. 拉伯封闭的座舱连同氧气环境 2. 座舱内容易相互摩擦的可燃物品 3. 易受损坏的输电导线 4. 易受损坏的输送易燃和腐蚀性致冷剂管路 5. 无效的乘员逃生手段 6. 不充分的安全和医学保障措施。在确认可能导致这场灾难的原因后,委员会特别重视这些原因是怎样产生的。经过对这些原因进行深入分析,委员会的结论是:在致力于解决航天飞行许多困难的问题过程中,‘阿波罗’计划人员对那些看似普通但对乘员却是致命的问题没有给予充分注意。委员会的调查发现了许多有关设计、工程、制造和质量控制方面的疏忽和失误。”

报告认为,“阿波罗”飞船内管路的安装、布置,电缆、导线的铺设非常混乱,各系统安装彼此靠得很近,缺乏必须的隔离措施。调查委员会的报告长达3000多页,包括六大部分:委员会自己的调查、目击者的报告、012号飞船操作手册、21个调查小组的最终报告、管理与操作方

面的评价报告、有关证据时间次序表。

阿波罗 204 号事故受到的创伤在慢慢愈合。在最初几个月间,宇航局上下忙着应付配合事故委员会的调查。在后来的日子里,“阿波罗”飞船进行了极为严格的设计审查,调查委员会开会达 90 次以上,提出的改进之处达 1 697 项,实际实施的有 1 341 项。材料方面的关注最集中,共对 500 多种材料进行了 3 000 多次实验室试验。座舱内所有的尼龙材料都换成了贝塔纤维、特氟龙或玻璃纤维。舱内的电缆、管线进行了重新布置。这些管线外部都增加了保护套。内部环境确定为在地面阶段用 40% 的氧气和 60% 的氮气,进入轨道后再改成纯氧。另外,舱内还增加了防护罩,一旦出现烟雾或火苗可以紧急罩上。一切可燃材料全部换成耐火的、无火焰的材料,所有非金属材料在遇火后不会被破坏,供氧系统用耐火材料制造,指令舱进行了充分的耐火试验,舱门改成能迅速开闭的形式;发射台制定现场紧急情况处理程序,防止发生类似事故时手忙脚乱。

在试验飞行期间,“阿波罗”飞船是没有系列编号的。后来根据失事的三位宇航员家人要求,这艘 204 号飞船被命名为具有象征意义的“阿波罗”1 号,此前试验的 AS - 201 被命名为“阿波罗”1A 号,AS - 202 被命名为“阿波罗”2 号,AS - 203 被命名为“阿波罗”3 号。

由于“阿波罗”204 号的影响,一年多的时间耽误了。从 1967 年底到 1969 年底距肯尼迪总统提出的登月时间表只剩下二年,而这时首次载人飞行尚未进行,“土星”V 火箭还没有试飞过。时间紧迫,制定加速试验规划成了计划能否按时完成的关键。在 1967 年年中,载人太空飞行器中心有关人员讨论了未来的飞行规划问题,提出的新时间表是提高年发射频次,尽可能多进行有关载人和不载人发射试验。在“阿波罗”计划办公室主任乔治·穆勒的推动下,决定简化原来的试验计划。1963 年 10 月 29 日在一次载人空间飞行委员会会议上,他介绍了全活性试验思想,在人们都还表示惊愕的情况下,他便说:如果没有什么意见的话,他将在两天后通过电传发文提出新的试验程序表。这样,穆勒的“全活性试验”主张在一些部门开始并不十分情愿的情况下,得到了贯彻和实施。事实证明,这种新试验方法确实加快了时间进度,这是他的一大贡献。穆勒不仅对“土星”V 号火箭的首次飞行作出大胆的“全活性”决策,还对以后的飞行试验大刀阔斧地削减。他提出,在 1968 年以前“土星”V 共进行四次飞行试验,最后一次进行载人飞行。1969 年进行 5 次试验,最后一次完成登月任务。飞行任务部根据穆勒的设想,重新制定了“阿波罗”飞行计划。由于激进人物乔治·劳的建议,试验发射计划表比穆勒的设想又有很大削减。在 1967 年 9 月 20 日举行的一次会议上,乔治·劳和欧文·梅纳德向宇航局领导通报了新的试验计划。这个计划从第一枚“土星”V 号火箭开始,共进行七次飞行试验,第三次载人飞行,第四次试验登月舱,第五次进行高轨道飞行试验,第六次进行载人环月飞行,第七次进行首次载人登月飞行。

1967 年 11 月 9 日,第一枚“土星”V 火箭载“阿波罗”4 号飞船升空。发射场附近观看的人都感受到火箭起飞产生的巨大震动。有报道表明,它产生的共鸣声震得附近的建筑物嘎嘎作响,设在近 5 000 米外的哥伦比亚广播公司的电视摄影蓬顶被震塌,它的音量可与科拉卡托亚火山爆发时相比;从人类制造的声音看,“土星”V 火箭第一级的声响仅次于一次氢弹爆炸;

第一级产生的压力波远在 1 770 千米外的纽约地震观测台都测量到了。据说,在发射现场有一位观众说,他不怀疑这枚巨大的火箭能否飞上天,倒是担心佛罗里达州可能会沉没。

起飞后 135 秒,第一级中央发动机正常关机,15 秒后,周围的 4 台发动机关机。第二级底部的爆炸螺栓将两级分离,第一级上的 8 个小型固体火箭工作使之减速。第二级 5 台 J-2 发动机工作后,继续将火箭加速,前后工作了 6 分钟。最后第三级与第二级分离,三级上的一台 J-2 发动机点火工作。在工作了 2 分 25 秒后,火箭与飞船进入了 190 千米的高空,速度达到 28 014 千米每小时,即每秒 7.9 千米。经过几小时的无动力飞行,第三级第二次点火,将飞船加速到 40 250 千米/小时,比“双子星”飞船的再入速度高了 1.5 倍,然后再入大气层考核飞船头部防热层的设计。飞船的最大高度达到 10 879 千米。“阿波罗”4 号是“土星”V 火箭的首次试验飞行,结果相当成功。

1968 年 1 月 22 日,“土星”IB 将模拟飞船的头锥体(“阿波罗”5 号)送入轨道。此次飞行主要试验格鲁门公司研制的登月舱,它装在模拟锥体与第三级的接合部里。试验项目包括登月舱结构和设计,下降发动机和上升发动机的点火和工作。进入轨道 45 分钟后,在 222 千米的轨道上,运载火箭第三级同登月舱分离,登月舱姿态控制小发动机遥控启动,将其与飞船分离。绕地球运行两圈后,登月舱下降发动机点火 38 秒钟,进行下降试验。过了一段时间,在 961 千米高度上它再次点火 33 秒,又进行了上升试验。两次试验均获成功,这是“阿波罗”计划的一项重要成就。

1968 年 4 月 4 日,一枚“土星”V 发射了“阿波罗”6 号飞船。这次试验是完整的登月飞船的全面考核,包括“土星”V 号火箭、指令服务舱、登月舱。这次试验主要考察完整系统的结合特性和适应性,诸如飞船载荷、火箭各级的分离特性、分系统的运行、应急检测系统的工作等方面的资料,同时还鉴定了模拟从月球返回地球的条件下,高速再入大气层时指令舱的防热结构。在进入地球轨道后,“土星”V 火箭第三级在运行第二圈时再次点火,然后与飞船系统分离。接着利用服务舱主发动机点火推进,加速,达到从月球返回时的速度再入大气层。服务舱发动机点火时间长达 442 秒,比实际登月要求的喷射时间还长,服务舱主发动机把飞船推进到 22 209 千米的高度,最后飞船指令舱以 10 千米每秒的速度再入大气层。这次试验完成了全部预定的综合考察任务。

1968 年 10 月 11 日上午 11 时 2 分 45 秒,“阿波罗”7 号飞船载谢拉、埃塞尔和昆宁翰在一枚“土星”IB 火箭的推动下发射升空。火箭工作正常,10 分 30 秒后将飞船送入 227 千米×285 千米的地球轨道。几个小时后,飞船与火箭第二级分离,然后通过姿态控制系统小发动机喷射将飞船掉头,以第二级火箭为目标进行会合模拟。“阿波罗”7 号的首次载人飞行,全面考察了飞船系统的适应性和操纵性,服务舱发动机的工作特性,燃烧电池工作情况,飞船的电力系统、制导和导航系统、推进和控制系统。宇航员操纵服务舱发动机改变轨道,每次模拟会合均获得成功。经过长达 11 天的飞行,行程 650 万千米,“阿波罗”7 号按计划于 10 月 22 日返回地球,溅落在百慕大群岛东南的大西洋里,离预定溅落点仅差 2 千米。

1968 年 12 月 21 日,一枚“土星”V 火箭发射了“阿波罗”8 号载人飞船。发射试验除继续

验证人与飞船的适应性和飞船的性能外,还将进行环月飞行、远距离通信、近月环境考察等试验和探测工作。这次飞行的指令长是博尔曼,指令舱驾驶员是洛弗尔,登月舱驾驶员是安德斯。“阿波罗”8号飞船带有指令服务舱和发射逃逸救生系统,没有带登月舱系统。这是首次载人环月飞行,也是人类第一次到达月球附近,因而意义十分重大。

随着距地球越来越远,“阿波罗”8号不断创造飞行距离的纪录,地球越来越小,越来越能看清它的全貌。三位宇航员被地球美丽的景色吸引住了。博尔曼说:“我们看到了地球,它简直就像一只盘子一样。”他向担任通信任务的宇航员科林斯说道:“告诉康拉德,他的纪录被打破了。”康拉德和戈登在“双子星”飞行期间创造了飞行距离纪录,现在“阿波罗”8号很轻易地超过了他们的纪录,而新的纪录距离在不断延长。洛弗尔通过中央的窗子边看着地球,边指着分辨出的大目标:“佛罗里达、古巴、吉布拉提、非洲、中美洲、南美洲……”博尔曼对科林斯说:“告诉火地岛的居民准备好雨衣,那里好像有暴风雨。”

“阿波罗”8号飞越了约40万千米的路程,历时66小时,于12月24日4时40分到达了月球的背面,接着宇航员启动服务舱发动机4分钟,使飞船减速并进入100千米×310千米高的月球轨道。在绕月飞行第二圈时又启动服务舱发动机继续减速降低轨道,轨道高度约112千米。在这么近的距离亲眼看月球对整个来说还是第一次,宇航员的兴奋之情溢于言表。洛弗尔向休斯顿描绘了他看到的月球景色:“OK,休斯顿,月球基本上是灰的,没有颜色,看起来像是灰泥浆或某种深灰色的沙土。我们能够看到相当程度的细节。雨海看起来与地球上观察不一样。环形山之间并没有很多障碍。环形山都是圆的,数量相当多,有些看起来很年轻。有很多,特别是圆的,看来好像是流星或炮弹击中形成的。”稍后他又说道:“我们带来的月球轨道器拍摄的照片相当清楚。在月球的正面分辨目标完全没有问题。这里有适合降落的地方。它们都很容易分辨。”

“阿波罗”8号将在月球轨道上飞行10圈,每圈飞行时间2小时。在绕月球第8圈时,三位宇航员借电视转播,谈了他们代表人类首先到达月球领地的感想。在绕月球第9圈时,月球上的日落临近了。这一天刚好是圣诞节。在月球的圣诞之夜,宇航员远在38万千米之外向地球人轮流朗读《圣经》“创世纪篇”中的段落。博尔曼最后还加了一条特别问候:“作为‘阿波罗’8号的机组人员,我们要最后说声晚安,祝你们交好运,祝你们圣诞快乐,愿上帝保佑你们——所有在美丽的地球上的人们!”

“阿波罗”8号飞船绕月球飞行了10圈后,服务舱主发动机点火3分18秒,将飞船系统加速,脱离月球轨道,向地球方向飞回。经过长达57小时的惯性飞行,返回了地球,往返共用了147小时,安全溅落在太平洋夏威夷以南1760千米的洋面上。

1969年3月3日是“阿波罗”9号的发射日。参观这次发射的有美国新一届总统尼克松和副总统阿格纽。大约有200名新闻记者也来到了发射现场。上午11时一枚“土星”V火箭将“阿波罗”9号飞船推向天空。此次飞行的主要试验任务是:在地球轨道上进行登月舱的各种飞行步骤练习,内容有:指令服务舱分离、转位;指令舱与登月舱对接;登月舱下降发动机和上升发动机点火;指令舱与登月舱会合、对接;再入大气层飞船抛掉登月舱实现再入回收等。

基本飞行任务是检验登月舱和其与指令服务舱会合对接性能。另一项重要任务是试验用于舱外活动的新宇航服和便携式生命保障系统背包。这些都是登月时必不可少的装备。参加这次飞行任务的宇航员是指令长詹姆斯·麦克迪维特、指令舱驾驶员大卫·斯科特、登月舱驾驶员鲁塞尔·施维卡特。麦克迪维特是资深宇航员,参加了“双子座”4号的飞行,进行过会合对接训练,并完成过出色的舱外活动。斯科特则是“双子座”8号的宇航员,完成了美国首次太空对接。由于这是首次有两艘真正的航天器在轨道上飞行,为了指挥联络上方便,宇航局首次对登月舱和指令服务舱进行命名,“阿波罗”9号的指令服务舱称“橡皮糖”,登月舱称“蜘蛛”。经过10天零1小时的飞行,“阿波罗”9号绕地球运行了151圈,行程600万千米,于3月13日返回地球。宇航员回到地球后,美国副总统阿格纽特地为他们举行了庆功会。乔治·穆勒在评价这次飞行时说:“这是我们所见到的最成功的一次飞行……圆满完成了所有预定目标,从数量上讲,我们完成了比计划中更多的详细试验项目。”应当说,这次登月舱的首先载人飞行取得的成功,对阿波罗登月计划有着决定性的作用。

1969年5月18日12时49分,一枚“土星”V火箭将“阿波罗”10号飞船发射升空,开始了更富戏剧性的试验飞行。飞船称“查里·布朗”,登月舱称“窥探者”。宇航员分别是指令长托马斯·斯塔福德、指令舱驾驶员约翰·扬和登月舱驾驶员欧根·塞尔南。经过11分53秒后,进入190千米×184.5千米的地球轨道。飞行了两周进行必要的检查后,第三级于2小时33分25秒第二次点火,将飞船系统推入奔月轨道,此时飞船达到10.35千米每秒的逃逸速度,向月球进发。“阿波罗”10号的飞行任务是模拟除在月球着陆外的登月飞行全过程,是登月前的一次综合性预演。

这次发射的奔月轨道非常准确,预定要进行四次中途航向校正,这次只在26小时32分56秒进行了一次。经过这次校正,飞船进入月球轨道时,可以观察到第一次登月的预选着陆区静海。在漫长的奔月飞行时,他们又几次向地球发回电视图像。飞船起飞75小时56分,进入了月球轨道,轨道高度是315.6千米×110.4千米。5月22日,距从地球起飞99小时46分,斯塔福德和塞尔南又一次进入登月舱,检查了各种设备状况,打开对接通道。登月舱分离后,斯塔福德和塞尔南驾驶登月舱依靠下降发动机减速朝月面飞去,离月面最近时只有14.447千米。在这个高度上,斯塔福德对月球自动着陆器进行了试验,并对月球着陆的最后飞行程序作了练习。月球自动着陆器控制登月舱保持在一条椭圆形轨道上,以5900千米每小时的速度飞行,他们在静海上空进行了6分钟的观察。遗憾的是,他们带的电影摄影机坏了,未能在如此之近的地方拍摄月球表面,只带回几张照片。5月26凌晨,即起飞192小时3分23秒后,“阿波罗”10号飞船安全返回地球。

“阿波罗”10号的试验检验了除登月外的一切登月飞行程序,是一次里程碑式的试验。从上述的试验结果表明,“阿波罗”10号实际上已具备了载人登月的能力。“土星”V火箭已得到了充分验证,“阿波罗”飞船也两次进入月球轨道,登月舱性能和与飞船的分离、会合和对接试验圆满成功,下降发动机和上升发动机已两次得到可靠验证,因而登月目标已近实现,最后一步只差行动了。这个历史性的时刻最终由“阿波罗”11号飞船来实现。

第5节 “阿波罗”11号登月记

鉴于四个阶段的试验均取得圆满成功,并且综合演练了登月全过程,美国宇航局在“阿波罗”10号飞行试验结束后,宣布“阿波罗”11号将执行首次载人登月任务。具体任务和目标非常简单:完成载人登月并安全返回任务,完成月球考察和取样任务。然而,要完成这样的任务,美国宇航局、美国政府和上上下下各部门已经经过了近10年的不懈努力。“阿波罗”10号已经演练了除登月的全过程,“阿波罗”11号则要继续将全部过程完成,直到登上月球表面。虽然最后步骤只有一点差异,但意义却完全不同,因此“阿波罗”11号比“阿波罗”10号更受人关注。

担任首次登月任务的宇航员是:指令长尼尔·阿姆斯特朗,指令舱驾驶员迈克尔·科林斯,登月舱驾驶员爱德温·奥尔德林。“阿波罗”11号飞船被命名为“哥伦比亚”号,这是美国的别称。取这个名称是阿姆斯特朗提出的建议,原因是法国科幻作家凡尔纳那本家喻户晓的《从地球到月球》一书中,登月飞船就采用这个名称,而登月舱则命名为“鹰”号。

“阿波罗”11号的发射定在1969年7月16日。这一天,佛罗里达肯尼迪航天中心天气晴朗,气温很高。发射的时间预告是从28小时开始的,由于在发射前9小时有6小时的休息时间,因此实际预告时间是从发射前34小时开始,也就是美国东部时间7月14日下午11时32分开始的。为发射做准备的时间预告比发射时间还早,在发射前5天就开始了。这次飞行引起了全世界的关注,亲临发射现场的观众达百万人之众,新闻记者达5000人,还有200名国会议员,60名各国外交官,40位市长以及19名政府官员,包括美国副总统阿格纽、前总统约翰逊夫妇、前宇航局长韦伯等。尼克松总统在白宫向宇航员发来了祝辞。

离发射还有50秒,火箭和飞船全部改为内部电源供电。准备工作进行得很顺利。发射进入了最后的倒计时。倒数计时10秒时,第一级发动机点火装置点火,然后推进剂活门打开,在7秒左右时,第一级发动机点燃,向下喷出浓烈的桔红色火焰和气体。就在这一瞬间,向发射架和导流槽喷射高压水流,冷却发射架和发射台。

6、5、4秒,发动机已达到全推力,

3、2、1秒,发射!

这一激动人心的时刻是当地时间9时32分,格林威治标准时间下午13时32分。

巨大的“土星”V号火箭伴随着巨大的声响,带着“阿波罗”11号飞船徐徐离开地面上升。它担负着人类首次登上月球的使命飞着,速度越来越快。经过11分40秒的飞行,“阿波罗”11号进入地球停泊轨道,高度约187千米,运行周期约1小时28分。进入停泊轨道后,还将做有关飞船系统的详细检查,以根据情况决定是否继续执行登月任务。如果有重大问题出现,此时可以取消登月计划,像“水星”飞船那样直接返回地面。如果一切正常,那么飞船将在绕地球飞行的几圈内作好准备,并将飞行轨道调整到绕月飞行轨道。这是以前的“双子座”计

划所没有的。

当“阿波罗”11号绕地球继续运行到轨道与月球公转轨道相交点时,箭上导航与控制系统的加速度计和姿态敏感元件不断测量飞船的速度变化和姿态变化,并将这些数据送入箭上计算机内进行计算,在精确点上向第三级发动机发出再次点火和工作多少秒钟的指令。在火箭自地面发射时起2小时24分,休斯顿中心向飞船发出向月球方向进发的命令。第三级再次点火时间比预定时刻只提前了11秒,经过5分50秒的工作和加速推动,飞船加速到10.5千米每秒,此时距离地球的高度是328千米。这时飞船运行的路线并不是朝向月球的直线,而是偏离月球方向约30几度。这是由于月球本身要公转运行,等飞船到达月球时,将刚好同月球相遇。另外,“阿波罗”11号飞船沿曲线飞行,实际上是按照一条近地点只有200千米,远地点远在38万千米的月球之外的大椭圆轨道。设计这样的运行轨道是经过慎重研究的。由于自身是封闭的轨道,飞船完全可以以这样的速度惯性飞行,即使指令服务舱主发动机出现故障不能工作,飞船也能沿这条轨道自动运行绕过月球,并返回地球,所以这条惯性运行轨道也称自由返回轨道。

进入奔月轨道后,“土星”V号第三级的使命也快结束了,下面的工作是飞船指令服务舱掉过头来,把第三级上端结合部装的登月舱拉出来。飞船的掉头依靠的是周围安装的多台小型火箭发动机,也就是姿态控制发动机。这些小发动机的点火是宇航员发出指令,由计算机控制完成。当飞船掉过头来时,与第三级火箭相距30多米,比预计的20米远了些,因此在指令舱与登月舱会合的对接过程中,多消耗了些推进剂。不过,这也属于正常现象。

指令服务舱与第三级火箭不断接近,指令舱中的雷达在不断测试登月舱的方向和距离,并将数据送入计算机,计算机马上计算出来,向姿态控制发动机发出工作指令。在最后阶段,这些工作必须异常准确,否则一旦发动机推力过猛,或方向有偏差,那么会导致指令舱和登月舱相撞,引起破坏。所以在雷达工作的同时,最后的微小调整要靠肉眼来判断。指令舱驾驶员科林斯把指令舱窗上的刻度对准登月舱上的连接目标,最后指令舱顶端尖锥形连接器稳稳地插入登月舱的凹槽,三个勾环紧紧地啮合在一起。接着,指令舱稍稍向后退,将指令舱和登月舱连接部的12个卡子严密吻合在一起。这样,指令服务舱与登月舱的对接任务顺利完成。7月17日凌晨3时12分,指令服务舱与登月舱的对接工作结束。这时,第三级的任务全部完成,为了使它不影响飞船的运行,通过控制将它的发动机启动,送进离奔月轨道很远的绕太阳运行的轨道。

原计划“阿波罗”11号飞船在进入月球轨道时,需要做四次轨道修正,而现在只修正了一次,说明它从地球停泊轨道到奔月轨道的转换十分精确。这时,“阿波罗”飞船连同登月舱在内又一次掉头,指令服务舱在后顶着登月舱前进。

“阿波罗”11号进入奔月轨道并且完成与登月舱的对接任务后,接下来是漫长的惯性飞行。这期间飞船上服务舱的主发动机不工作,靠第三级工作时获得的第二宇宙速度进行惯性飞行。这样,飞船是安安静静、无声无息地向月球方向进发。这段飞行时间虽然长,但相对来说最安全,宇航员的工作也最少。这时,飞船开始绕中心轴旋转,旋转速度很慢,约每小时三

周。旋转的目的是避免飞船的一边长期受太阳照射,而另一面一直处在阴影下,因为这样会引起两温度的极不平衡,强烈的热胀冷缩效应会使飞船严重扭曲变形。

发射后 25 小时 5 分 30 秒,“阿波罗”11 号飞船飞到地球与月球的正中间,距地球和月球都是 19.3 万千米,此时的速度减到 1.56 千米每秒。飞船继续前飞,距离月球越来越近了,月球的引力明显开始起作用。由于在计算奔月轨道时,考虑了方向和速度以及地球引力等因素,没有考虑月球引力,因此在月球引力逐渐起作用时必须对轨道进行修正。在起飞后 26 小时 44 分 58 秒,飞船姿态控制发动机按指令工作了 3 秒钟,对奔月轨道进行了微小调整,这是第一次中途修正。

随着午夜来临,他们离地球越来越远,离月球越来越近,到发射后 62 小时,他们已离开地球达 34.6 万千米,距月球则有 6.1 万千米。这时月球的引力开始明显起来,因此计算飞船的速度必须考虑它相对于地球的速度是多少,相对于月球的速度是多少?此时此刻,通过测量“阿波罗”11 号对地球的速度是 0.89 千米每秒,对月球的速度是 1.12 千米每秒。在飞行途中,阿波罗飞船系统分别于 26 时 44 分 58 秒和 75 时 49 分 50 秒进行两次轨道校正。一切顺利。

在飞船发射后 70 小时,也就是 19 日晚 8 时 33 分,“阿波罗”11 号飞船终于飞到了地球引力与月球引力的平衡点,此时飞船距地球 37 万千米,距月球 2.8 万千米,飞船相对地球的速度进一步减到 0.84 千米每秒。月球就在眼前,宇航员们正在迎接第四天,也就是登月的日子。

结束了相对轻松的中途飞行,马上就进入了最繁忙、最关键、也是最令人兴奋的第四天了。宇航员经过一夜的休息,现在开始起床了。他们的睡眠很好,不像以前的宇航员总要服用安眠药才能入睡,阿姆斯特朗等三人到目前为止还没有吃过一次,真不愧是计算机选出来的最沉着、最冷静的人。他们现在将迎接人类前所未有的巨大的登月挑战。

在发射后 72 小时,飞船距离月球的距离是 1.70 万千米。又经过 3 小时 30 分的飞行,飞船相对月球的速度提高到 1.95 千米每秒,而与月球的距离只有 4 500 千米了。在登月前首先碰到的重大任务是让飞船系统进入绕月球飞行的轨道。要完成这一任务,必须使整个飞船系统每秒减速 0.80 千米每秒,否则就会错过了。在飞船与登月舱对接过程中,只用了小型制动发动机,而这次必须启动大推力的服务舱主发动机,并逆向喷气而减速,为此飞船应启动姿态控制小发动机掉转头来,服务舱在前、登月舱在后。按照原来制定的飞行程序,在离月面高 110 千米时减速 6 分钟,速度减低 0.877 千米每秒,即由 2.57 千米每秒减到 1.693 千米每秒。从地球上看来,减速过程正好在月球背面进行。由于这期间无法进行正常通信联络,因此必须做好充分准备,准确测出飞船的实际速度和方向,以输入到计算机,由它自动完成启动主发动机任务。

发射时间 75 小时 49 分 48 秒,计算机发出启动服务舱发动机的指令。服务舱发动机开始点火工作,发出正常的振动和声响。飞船速度不断降低,计算机立即根据雷达等测量的数据计算当时的速度,一旦达到了预期的速度便发出停火指令。这时,飞船已成功地进入了绕月飞行的轨道,整个飞船系统已成为一颗绕月飞行的卫星了。初始轨道是近月点 113 千米,远月点

312 千米。飞行一周的时间大约为 2 小时。绕月飞行两周后,还要再次在月球背面减速,降低轨道。在转到第三圈时,飞船系统按计划再次进行减速。当转到月球背面时,服务舱主发动机又一次启动。这一次发动机逆向喷射了 17 秒,降低速度 47 米每秒,这样轨道远月点更近了。此时飞船系统的轨道近月点是 101 千米,远月点是 120 千米,几乎成了圆形轨道。轨道修正后,“阿波罗”11 号飞船还要绕月球运行一天,以抓紧时间做完登月前的一切准备活动:详细检查登月舱,试验与地面和母船的通信联系,详细检查登月点和到达那里的路线等。

在发射后 81 小时,也就是 7 月 20 日中午时分,指令长阿姆斯特朗和登月舱驾驶员奥尔德林告别科林斯,准备进入登月舱。这个过程花了数小时时间。进入登月舱后,隔离舱门紧紧关闭,他们开始用登月舱内的无线电设备与休斯顿中心通话。现在,他们两位与科林斯已分属两艘飞船了,一个是登月舱鹰,一个是指令舱哥伦比亚,因此休斯顿与他们的通话呼叫名称也改了,两位宇航员按登月舱名称呼叫,即“我是鹰”而不是“我是阿波罗”。科林斯在指令舱内的呼叫也改成飞船本身的名字“我是阿伦比亚”了。“阿波罗”飞船和登月舱仍然对接在一起。已经绕月球飞行了 12 圈,还有一小时就要分离了,在此期间要对登月舱、着月点进行最后检查。飞船系统最后一次飞临预定着陆点静海上空。当它再次飞临时这个预先的登月点时,登月舱就要分离出来,并完成最后着陆任务。

1969 年 7 月 20 日是星期日,是预定的登月日子,“阿波罗”飞船和登月舱正飞行在月球的背面,当离开背面后,登月舱就要进行登月了。参加直接登月的三位宇航员无疑是异常紧张和激动的。在地面上,所有参加飞行指挥的人员和观察员也都紧张万分,因为登月阶段被认为是整个登月飞行中最复杂、最困难也是最危险的一个步骤。在指挥室后面的观察室里坐着宇航局各级领导,有局长佩因、副局长西曼斯,以及冯·布劳恩、西尔维斯坦、埃尔姆斯、佩特龙、德布斯、导航专家德雷伯和准备参加以后的飞行任务的宇航员和其他老宇航员。在指挥室里,除指挥人员外,还坐着载人太空飞行中心主任吉尔鲁斯、菲利普斯、载人太空飞行办公室主任乔治·劳、阿波罗计划主任穆勒以及斯莱顿、克拉夫特等关键人物。所有人都异常紧张地注视着。

在绕月球飞行过程中,登月舱发动机在飞船时间 102 时 33 分时点火减速,喷射时间 30 秒,每秒减速 22.26 米每秒,使它的轨道由近圆形变成椭圆形,其近月点已很接近月球了,远月点 105.8 千米,近月点 16.7 千米的椭圆形。在这个轨道上运行约半圈,这期间要检查登月舱上升发动机。登月舱在继续绕月球飞行时,姿态控制发动机一直在工作着,缓慢地调整着姿态,使之以最佳的直立状态着月。当登月舱逐渐接近近月点时,休斯顿指挥中心发来启动下降发动机的命令。在距月球 15 千米,距离着月点 480 千米处,下降发动机再次点火,小型制动发动机和精确调整发动机协同工作。

就在这当口,计算机警报灯突然闪亮了。警报灯是显示计算机系统故障的,它一亮,指示盘上就会出现指示故障类型的相应数字,但这时指示盘上并没有数字出现。显然,这个故障是事先没有预料到的。阿姆斯特朗和奥尔德林极力试图找出故障原因和排除方法,但一无所获。他们凝望着计算机和仪表板,想从中找到什么新的显示和线索。按计划,出现这种事情就该决

定中止继续下降程序,准备启动上升发动机返回轨道了。但如果这么做那就太可惜了。休斯顿中心指挥人员更加紧张,有人已经面如土色了。担任指挥工作的负责人克兰茨比较冷静,他立即判断出故障灯是由于计算机超负荷工作造成的,也就是说很可能因为计算机的能力和速度有限,而交给它计算和完成的任务太多,计算机无法在这种超负荷下正常工作。于是,指挥人员立即通知登月舱,把不必要计算的数据从计算机中撤出来,不要问为什么。阿姆斯特朗和奥尔德林遵照执行,果然红色警告灯熄灭了。一场虚惊结束了。后来他们才知道,他们除了打开着陆雷达外,还打开了交会、对接雷达,这些数据成了计算机的沉重负担。

这时,登月舱距离月球只有3 000米了,除了下降发动机继续喷射减速外,它的姿态也在继续调整,使之呈直立状态,喷口转向垂直向下喷射。就这样,登月舱“鹰”以抛物线轨迹缓慢地在月球“静海”区安全降落,距预定的着陆点向西南偏约9.5千米,是相当成功的。登月舱着月时的水平速度约为1.06米每秒,下降速度约为0.75米每秒。登月舱降落的时间是飞船时间(总起飞时间)102小时45分43秒,地面时间是美国东部时间7月20日下午16时17分42秒。

按计划,两位宇航员将在月球表面停留22小时,这时期主要工作是在登月舱内进行的,包括休息、观察和检查,下到月面上的时间仅为2小时。由于宇航员的身体状况以及月面的实际情况是否适于长时间停留还是未知数,因此他们的停留程序是不断根据情况调整的。最初,地面允许他们停留15分钟,阿姆斯特朗和奥尔德林的主要任务是作各种检查,包括舱内仪表和设备的工作情况,登月舱的倾斜情况,他们的健康状况,座舱供氧情况,动力装置情况以及月面的情况。上述情况检查确认正常后,地面上把停留时间延长到40分钟,继续作更详细的检查;后来又延长到2小时。经过反复细致地检查后,才能确定按计划,在月面停留22小时。

2个小时的检查结束后,按原来的程序,他们将用餐半小时,然后再睡眠休息4小时,醒来后再用餐,接着再进行2小时的检查,也就是说他们着陆后要等9个多小时才能打开舱门,来到月球上。然而,两位宇航员实在太兴奋了,他们似乎忘记了疲劳,迫不及待地想不吃、不睡、不休息,提前5小时进行首次登月考察。征得地面同意,他们没有进食和休息,在登月舱内进行了认真检查并观察了登月舱周围情况,又进行了2个小时的准备。他们检查了登月宇航服是否正常?生活保障系统是否能送氧气和冷却水?二氧化碳吸收装置是否能正常工作?无线电通话系统是否能正常工作?电视传输系统工作情况如何?氧气系统转换情况如何?这些检查工作必须慎之又慎。这些工作完成后,下一步工作是放掉登月舱内的氧气,使舱内减压,打开舱门。

首次踏上月球的是阿姆斯特朗。从电视屏幕上可以看到,漆黑的太空和白光闪闪的月面映在画面上半部,左侧往下是登月舱的黑影。以黑影为背景,穿着白色宇航服的尼尔·阿姆斯特朗沿扶梯一步一步走下来,身姿就像一幅剪影。在即将走下扶梯时,阿姆斯特朗说:“现在我在扶梯的最下端,鹰着陆支架的底盘已陷入三四厘米深,月面像是由细小的颗粒组成,景致真美。”他在着陆支架底盘上并拢双脚,两手抓着扶梯,然后若有所思地向月面迈出了左脚,轻轻地用靴子蹭着月球土壤,接着用力使劲踩了一下,既不滑也不下陷。于是他的右脚也下踩到

月面上 松开双手离开了登月舱。

就在这时 他通过无线电向远在 38 万千米的地球观众说出了在月球上面的第一句话：“对一个人来说 这不过是小小的一步 但对全人类来说却是一个巨大的飞跃。”这句话很快成了一句名言 是人类首次征服月球的象征。此时此刻的时间从他们在地球上起飞算是 109 时 24 分 15 秒时 地面时间是美国东部时间 1969 年 7 月 20 日晚 22 时 56 分 14 秒。这在人类历史上是值得特别纪念的时刻。

由于在月面上究竟能停多长时间还是未知数 为防止万一情况 阿姆斯特朗在检查了登月舱后 便开始拍照和采集月球土壤样品。15 分钟后 奥尔德林向月面走下。阿姆斯特朗为他拍了几幅照片。开始时他还小心翼翼 一步步慢慢往下走 到走下扶梯剩最后几级时 他迫不及待地跳了下来 然后又向前跳了一下 得意地说：“噢 能这样轻松地跳起来！”

阿姆斯特朗和奥尔德林掀开登月舱下降舱支架上一块金属板上的塑料盖。这是一块事先准备好的 长 22.5 厘米 宽 19 厘米的不锈钢纪念牌。上面镌刻着地球东西半球的平面图 以及由美国总统尼克松和阿姆斯特朗、奥尔德林共同署名的一段文字：“公元 1969 年 7 月 太阳系的行星——地球上的人类第一次在月球上留下了足迹。我们代表全人类来这里进行一次和平的旅行。”接着 奥尔德林从登月舱下降舱的一只箱子里取出带三角架的电视摄像机 拉开 30 米长的软线 安装到月面上。在安装之前 用摄像机围绕降落点周围拍摄了一圈 然后将画面设定在固定位置上 登月舱在中央偏左一点。当摄像机固定完后 他进入画面中间 把一面像铝箔包裹的旗帜一样的太阳风测量装置立在登月舱前。然后他们两人拿出尼龙做的美国国旗 插在月面上。

接下来的一项重要工作是采集月球样品。他们两人相互配合 将有代表性的或有趣的土壤和岩石标本一块块装进袋中 然后再装进样品收集箱内。采集的标本有月球表面的 也有土壤下面的 采集的方法是通过将一根管子打到表层下 采出里面的标本。接下来 他们在登月舱前方安装几种观测仪器 主要是激光反射器和月震仪。这两台仪器在地面上重达 80 千克 但在月球上他们拿起来毫不费力。激光反射器是由 100 个水晶棱镜纵横各 10 个排列起来的装置 用于在地面上精确测定地月距离。地面上发射激光经激光反射器反射回来后 根据发射到接收的时间 即可算出地月距离。月震仪用于测量月球发生的月震 它的灵敏度极高 测得的信号经无线电传回地面再进行分析。这台月震仪测量到的第一个信号是奥尔德林的脚步声。

预定的 2 小时 40 分钟的舱外活动很快要结束了 休斯顿下令让他们返回登月舱内 并嘱咐他们一定要将标本、摄像机录相带、胶卷盒等带回登月舱。他们收集到的标本共有 22 千克重。

阿姆斯特朗和奥尔德林返回登月舱后 盖紧舱盖 重新放出氧气 然后脱掉宇航服。在检查完舱内的各种装置后 再打开舱门 将背包、工具以及其他不必要的东西仍到月球上。首次月球探险活动结束了 剩下的时间是用餐、休息、睡觉。一觉醒来之后 还要进行艰苦的工作：返回轨道与指令服务舱会合 并返回地球。在此期间 地面指挥中心的医务人员一直在监测他

们的身体状况,基本情况良好。可是他们在登月舱内却难以入睡,原因是登月舱内空间小,温度又低。地面监视发现阿姆斯特朗处在似睡非睡状态,奥尔德林根本弄不清睡没睡着。

21日晚10时30分,休斯顿中心首先叫醒在指令舱中已经休息了8小时的指令舱驾驶员科林斯。22日晨零时15分,又叫醒在月面登月舱休息了7小时的阿姆斯特朗和奥尔德林。还有2小时40分就要离开月球了,登月舱和指令舱都很正常。他们起来后,指挥中心便安排下一步工作。起程回家的时间到了,登月舱上升发动机正常启动,它以登月舱下降段作为起飞平台,推动上升段徐徐离开月球。在上升发动机推进上升到70米高后,上升舱段周围安装的姿态控制小发动机也在工作,改变姿态和方向。在飞到144米高时,倾斜 40° ,飞到200米高时倾斜 52° 。登月舱边上升、边倾斜,正像在地球上发射卫星一样。它越飞越高,上升到18千米高时,变得与月球几乎平行,这时上升发动机停止工作。登月舱进入了一条近地点19.2千米,远地点83.3千米的轨道,一切正常。从起飞到与飞船对接成功,共用了3小时41分钟。

7月22日下午2时30分,也就是飞船绕月球飞行第30圈时,服务舱发动机启动,把飞船飞行速度由每秒1.60千米提高到2.58千米。这个程序进行得非常顺利。当飞船再次恢复联系时,已经离月球1051千米了。以后的工作相对轻松,除了例行的检查外,主要就是休息了。

“阿波罗”11号的回程旅行非常顺利,路途再没有必要进行校正。经过长时间的飞行,距地球越来越近,现在只有64000千米,飞行速度3.51千米每秒,并且还在不断加快。根据它的轨道情况,休斯顿中心已经预报出它将溅落的地点,在太平洋夏威夷西南1200千米处。休斯顿中心向飞船机组通报说,溅落地点的风速9米每秒,浪高1.2米,溅落的当地时间(日本时间)是7月25日早晨日出前10分钟,而美国的东部时间则是7月24日中午。“阿波罗”11号指令舱终于安全在海面上降落。当地的位置是北纬13度19分,西经169度9分的太平洋檀香山西南1500千米海域。降落的时间从地面起飞算起是195小时18分35秒(8天3小时18分),美国东部时间7月24日12时55分22秒,日本时间是7月25日凌晨1时50分22秒。

在阿姆斯特朗“我们已经降落”的话传来,休斯顿指挥中心全体人员起立,雷鸣般的掌声经久不息。全体控制与指挥人员热烈的握手,互相道贺。九天来,他们高度集中并成功地指挥着“阿波罗”11号的飞行,此时怎能不激动不已,热泪盈眶!

远在数千千米外的溅落地,又是一番景象。三位宇航员降落后,早已在周围巡逻的直升机马上赶来,从直升机上吊放下隔离服,宇航员穿上隔离服并进行消毒,然后由直升吊篮将他们吊上直升机,最后飞向“大黄蜂”号航空母舰。尼克松总统正在上面准备接见三位勇士。

首次登月成功的阿姆斯特朗、奥尔德林和科林斯被送到载人太空飞行中心的月球资料研究所,继续进行隔离检查。由于当时对月球上是否有低级生命,如细菌和微生物不了解,为了不使可能存在的月球微生物污染地球,在这里对他们进行全面的隔离检查。到8月11日,终于判明无异常现象,他们才被解除隔离。虽然他们回到了家,但在一年内还必须经常接收检查。

“阿波罗”11号第一次月球旅行终于划上了圆满的句号,但带回的岩石标本的研究仍在进行。在岩石分析和微生物分析方面取得了一些成果,包括月球的年龄、月球结构等。同时发

现,月球上没有任何微生物,历史上也不曾有过微生物。不过,“阿波罗”11号登月成功的意义更大的是在政治、文化和社会方面,科学成果居于次要地位。这次成功实现了人类千百年遨游月球的理想,标志着人类征服自然的一次伟大胜利,具有划时代的历史意义。

第6节 “阿波罗”12~17号

“阿波罗”11号首次登月成功后,“阿波罗”12号即将踏上登月旅程。它的任务是测量月球磁场的大小及其方向,测量来自太阳的质子和电子通量,测量太阳风强度和成分,测量月面辐射气体,在新的着月点收集更多的土壤样品。

预定发射日前两天,在对“阿波罗”12号指令舱进行检查时发现燃料电池的液氢贮箱损坏。这时阿波罗13号也已整装待发,因此将13号上的贮箱换到12号上来。

1969年11月14日,在卡那维拉尔角肯尼迪航天中心,一枚巨大的“土星”V号火箭和装在顶部的“阿波罗”12号飞船竖立地39号发射台上。整个火箭与飞船系统高达110米。参加第二次登月飞行的宇航员是飞船指令长查理·康拉德,飞船驾驶员理查德·戈登和登月舱驾驶员埃尔·比恩。这次飞行也引起人们的极大关注,连美国总统尼克松、副总统阿格纽和国务卿基辛格等一批大人物也来到发射场。这是美国总统第一次亲临观看航天发射的盛况。所以美国宇航局进行了周密的准备和布置,以确保发射的成功。此次登月的“阿波罗”飞船称为“扬基·快船”号,登月舱称作“勇猛”号。11时22分,“土星”V火箭点火发射,“阿波罗”12号飞船慢慢地离开了发射台。

经过83个多小时的飞行,也就是起飞后第四天,“阿波罗”飞船系统已进入月球轨道。当服务舱推进系统点火后,飞船系统开始减速。经过5小时52秒的减速制动,飞船进入了一条环月轨道,其近月点116千米,远月点313千米。飞船绕这个轨道飞行一周的时间大约为40分钟。

飞船系统共绕月球飞行了12圈,为寻找预定着月点而进行轨道修正,对对接系统、登月舱电源系统、通信系统和生命保障系统进行检查。另外他们还通过电视摄像机对月球表面进行了拍摄,并将信号转送回地面。在绕月飞行第13圈时,指令长康拉德和登月舱驾驶员比恩进入登月舱,与指令舱分离,开始向月面降落。通过登月舱下降发动机点火制动,登月舱最后以4千米每小时的速度(每秒1.1米)缓缓降落在月面的“风暴海”区。此时的时间是11月19日凌晨3点。着陆点非常准确,与2年前美国发射的“勘察者”3号月球探测器相距仅163米。

登月舱降落后,两位宇航员经过几个小时的休整和检查后即下到月面上。第一次月面活动持续近4小时。他们进行了惯性基准测量,精确测定了登月舱的位置,测量了月球大气密度,进行了40分钟的电视转播,采集了月球岩石和土壤标本,安装了核动力月面实验装置,安装了太阳风收集器。月面实验装置包括月震仪、磁强计、太阳风分光计、过热离子探测器、冷阴极计。

在休息了8个多小时后,他们又进行了第二次月面活动。他们先走出数百米远放置了一个科学实验包,然后转了一个大圈,经过四个火山口,分别采集了一些月球岩石和土壤标本。最后,他们来到“勘察者”3号着月点进行考察,拍摄了大量照片,并把“勘察者”3号探测器上的一些零件,包括玻璃、导线及金属部件等和电视摄像机拆下带回登月舱,为科学家研究月球环境对金属器件的长期作用提供了有用的标本。后来科学家从带回的零件中发现,在宇宙空间细菌仍可以生存。他们步行的距离约2000米。这次活动从地球时间11月19日夜10时10分开始到11月20日晨1时11分结束,持续了3小时时间。两次月面活动共收集岩石和土壤标本34千克。他们在月面上停留的总时间为31小时30分钟,比“阿波罗”11号长得多。

在圆满完成了月面考察和采样任务后,康拉德和比恩乘登月舱的上升舱返回月球轨道,并与在轨的指令舱会合、对接。在经过60小时的飞行后,他们返回地球。整个“阿波罗”12号的登月飞行持续了10天4小时36分钟,于1969年11月24日结束。

两次登月成功后,对一般人包括新闻界人士来说,第三次登月就不那么有吸引力了。然而这次飞行却异常惊心动魄。虽然登月没有取得成功,但在飞船出现严重故障,宇航员面临死亡威胁的情况下,依靠正确指挥和熟练操纵,依靠人的智慧和勇气,终于化险为夷,体现了人类的勇敢顽强精神和科学技术的巨大威力。“阿波罗”13号宇航员正是以他们的顽强同危险斗争并取得胜利的不平凡经历而载入航天史册。

“阿波罗”13号在地面检查阶段就透着不祥之兆。原订飞行日期是1970年4月5日,但由于一系列问题不得不再推迟。首先是在发射台前,担任保安工作的人员在停车时,由于空气富含氧气,发动机的火花使汽车着火。在进行飞船服务舱内液氧箱泄氧试验时,发现第二号氧箱的出口损坏。为此,利用加热器将液氧气化并全部泄空,进行氧箱出口修理。过了几天在检查登月舱时,发现为下降发动机储箱增压的液氢储箱出了故障。另外一个不祥的事情是临阵换将。原定的指令舱驾驶员是马廷利,但由于他对风疹没有免疫力,后由替补宇航员斯威格特担任。最后,这次飞行的任务号码——13在一般人眼里也是极不吉利的数字。

1970年4月11日下午2时13分,“阿波罗”13号飞船载着三位宇航员升空了。这次登月任务的飞船命名为“奥德赛”,登月舱命名为“宝瓶座”。参加登月飞行的宇航员是指令长詹姆斯·A·洛弗尔,指令舱驾驶员约翰·L·斯威格特和登月舱驾驶员弗雷德·W·海斯。洛弗尔是一位经验十分丰富的宇航员。他参加了1965年“双子星”7号飞船、1966年“双子星”12号飞船的飞行,参加了1968年“阿波罗”8号的飞行。在阿波罗11号首次登月飞行中,他是指令长阿姆斯特朗的替补。由此可见他的宇航员生涯是非常辉煌的。

火箭起飞后,第一级工作正常。第二级启动后不久,箭体开始震动。虽然“土星”V火箭都会有所震动,但这次震动的幅度不断增大,导致液氧储箱的增压系统工作异常,终于使一台J-2发动机提前133秒熄火。另外4台J-2发动机为补偿推力不足而多工作了44秒。第三级发动机也多工作了9秒。最后飞船进入轨道的时间比预定的推迟了44秒,轨道参数也与预定的有些不同。但这并非大问题,可以通过中途校正来解决。经过2个多小时的飞行,第三级再次点火将飞船推向月球轨道。又过了1个多小时,宇航员们开始进行第一次电视转播。

经过2天多近56小时的飞行,到13日晚9时17分,飞行离地球已达30万千米。此时洛弗尔刚刚通过摄像机向地球上的观众道完晚安,宇航员们也准备在指令舱中休息时。突然,随着“砰”的一声巨响,斯威格特面前的红色警报灯可怕地闪亮起来,警铃也急促响起。斯威格特马上向地面报告:“喂,休斯顿,我们这里遇到了麻烦。”地面指挥中心说:“这里是休斯顿,请再说一遍。”洛弗尔说:“休斯顿,我们有麻烦了。飞船主电源系统B回路电压迅速下降。”

所有问题都是服务舱第二号液氧箱爆炸所致。由于液氧迅速泄漏,燃料电池无法正常工作,主电源之一停止工作。第二号液氧箱爆炸又将第一号液氧箱撕开了一道口子,引起氧气泄漏,压力也在逐渐下降。不久,三个燃料电池有两个停止了工作。如果第一号箱的氧气泄光,惟一的燃料电池也将停止工作。另外,由于气体外泄,像火箭发动机一样产生了反作用力,使飞船发生旋转。这些问题极大地影响着宇航员的安全。不说登月飞行无法正常进行,就是宇航员能否脱险也成问题。

服务舱已不能向宇航员提供氧气,也不能提供空调系统,电能使舱内保持适宜的温度。现在能依靠的只有登月舱了。那里有一套独立的生命保障系统,包括电能、氧气、水和食物等,但贮量有限。不过这是惟一的希望了。利用登月舱的推进系统及生命保障系统,将使飞船系统的重心等参数发生变化,需要全新的轨道校正资料,电、氧、水的实际消耗也要重新计算。

由于飞船已靠近月球,月球引力作用已经很强。如果立即掉头返回,必须有大大超过月球引力的很大制动力使飞船减速并返回加速。由于服务舱主发动机无法启动,登月舱发动机推力太小,这样做不能奏效。因此逃生的第一步是让飞船继续前飞,绕过月球后再启动登月舱发动机进入返回轨道。这样不仅可以较容易地摆脱月球引力,而且能加快飞船返回的速度,并且不会一次性耗尽全部推进剂。这种方案也是惟一可行的逃生途径,成败的关键问题有两个,一是登月舱发动机在与飞船对接的情况下能否正常工作;二是怎样进行方向校正。

在事故发生时,地面担任指挥任务的是飞行主任克兰茨。为了紧急设计返回救生方案,爆炸发生1小时45分后,他在休斯顿指挥中心组织人力进行利用登月舱返回地球的地面模拟试验。现场指挥工作由伦尼接替。在克兰茨的组织下,宇航员塞尔南、欧文和恩格尔分别操纵三个模拟器,研究返回地球的具体方法。经过分析计算和模拟,在发生爆炸的12小时后,休斯顿中心制定出一套完整的逃生方案,特别是返回轨道的设计,并立即通知飞船上的宇航员。

根据地面指令,洛弗尔和海斯从指令舱爬到登月舱“宝瓶座”号内。由于登月舱按设计只载两人,斯威格特只好躺在通道上。为了节省指令舱宝贵的能源,他们关闭了指令舱的动力。因为还要靠它再入大气层,动力装置必须有足够的推进剂制动减速。在起飞61小时30分钟,也就是地面时间14日凌晨2时42分,登月舱下降发动机进行第一次点火,在40%的低推力下工作了30.3秒。这次点火把飞船推到一条自由返回的轨道。在这条轨道上,月球的引力作用可将飞过的飞船拉回来,使之飞向地球。经过约16小时的飞行到14日下午6时15分,飞船从距月球约254千米高处飞过,进入月球的阴影区。

当25分钟后飞船出现时,它已被月球引力拉回返回地球方向。但通过地面的计算,这个轨道在返回时的落点是印度洋,飞行时间也较长,必须进行轨道调整。登月舱的推进剂有限,

发动机能否工作足够长的时间来调整轨道便成了关键。为此,对再次点火的程序进行了精确计算。在飞船飞行时间 79 小时 27 分,也就是 14 日 20 时 40 分,洛弗尔和海斯按计划进行登月舱发动机精确控制点火。此时,地面指挥人员都非常紧张。一些大人物,包括宇航局长汤姆·佩因、副局长乔治·劳等都亲临坐阵。按地面设计好的点火程序,下降发动机首先以 10% 的推力点火启动,接着在 21 秒内逐步将推力提高到 40%,以后又逐步达到全推力。这次启动非常成功,发动机前后工作了 4 分 26 秒。这次点火将飞船落点调整到太平洋,返回地球的时间也缩短了 9 小时。

登月舱是为在月面上的日照环境设计的,保温性很差。由于没有足够的能源来加热登月舱,所以在返回地球的几天里,登月舱内的温度一直很低,大约只有 3.3 摄氏度。寒冷使宇航员难以入睡,也使他们更加烦躁不安。但无论如何,为了生存就一定要坚持住,坚持就是胜利。在飞行过程中,地面人员不断给予他们安慰和鼓励。与此同时,地面已做好充分准备。由于服务舱损坏,飞船指令舱的精确溅落点很难预测,必须在广大的海域准备大量救生船只。为此,包括英国、前苏联在内的 13 个国家提供了舰船和飞机,协助救援工作。

4 月 17 日,“阿波罗”13 号飞船“奥德赛”接近地球。上午 6 时 52 分,洛弗尔在登月舱里启动 4 台姿态控制火箭,以校正轨道。7 时 14 分,斯威格特操纵指令舱,将服务舱分离。然后他们都回到指令舱,并对损坏的服务舱进行了拍照。由于登月舱“宝瓶座”已结束了它的不寻常使命,10 时 43 分将它脱离了指令舱。下午 12 时 07 分,“阿波罗”13 号的指令舱安全降落在太平洋海域里。美国总统尼克松特地赶往檀香山看望这几位幸免于难的宇航员。尼克松总统还将 4 月 19 日定为全国祈祷日,以感谢上帝拯救了宇航员。

这次事故后,美国宇航局提交了一个详细的调查报告。造成这次事故的直接原因是服务舱液氧箱内的两个很小的恒温器开关未按更改要求更换。原来设计时服务舱内所有电器都采用 28 伏电源。1965 年在更改时,将液氧箱加热系统改为采用 65 伏电源。加热系统更改了,但恒温开关忘记更换了,它仍是工作在 28 伏电压下。3 月 24 日在进行地面泄氧检查时,加热器一开动立即将恒温开关烧毁。由于恒温器失去了恒温的作用,在泄氧的 8 小时时间里,加热器也整整工作了 8 小时,使液氧箱的温度上升到数百度,严重破坏了附近电器线路的绝缘性。这一点成了飞船在飞行途中服务舱液氧箱爆炸的重大隐患。

“阿波罗”13 号登月失败后,美国宇航局对阿波罗飞船系统进行了全面的安全性设计审查,重新修改了服务舱的液氧箱和一些电器系统,并在指令舱增加安全设备。美国宇航局还计划在今后的登月飞行中,进行更多的科学探险和研究任务,为此宇航局将宇航员在月面考察的时间延长,最长达 24 小时。经过 10 个多月的修改和充分准备,“阿波罗”14 号于 1971 年 1 月 31 日发射,踏上了登月旅程。这次飞行的飞船称为“基蒂·霍克”,这是为纪念莱特兄弟制造的世界上第一架飞机的诞生地而命名的。登月舱称为“心宿二”,这是一个星座的名字。担任飞行任务的宇航员是指令长谢帕德,他是美国第一位太空人。指令舱驾驶员是罗萨,登月舱驾驶员是米切尔。

经过 103 小时 48 分的飞行,飞船进入月球轨道。在绕月球飞行了 14 圈后,指令长谢帕德

和登月舱驾驶员米切尔乘登月舱下降到月球弗拉·莫罗地区,与预定着月点相差仅 55 米。他们在月面上共停留了 33 小时 31 分,2 次下到月面上活动,总时间 9 小时 25 分。他们的主要活动有:采集了 44.5 千克月球岩石和土壤标本,包括第一次利用简单的双轮挖掘装置从火山口内采集标本;安放了第二台激光反射器;用电视摄像机向地球转播了他们在月面上活动的实况;在不同的地点进行了 21 次小型炸药包的爆炸试验,首次使用了手推式小车,车上装有测量月磁场的仪器;用“土星”V 火箭第三级击中月球进行月震试验;安装了核动力科学实验站;安放了计数太阳质子和电子的装置。谢帕德还进行了击打高尔夫球的试验。由于月球引力很小,尽管他身穿笨重的宇航服,但还是将球打到数百米开外。

两位宇航员结束月面活动,乘上升舱与轨道上的指令舱对接,然后驶离月球。“阿波罗”14 号的登月飞行持续时间为 216 小时(9 天),于 2 月 9 日顺利返回地球。

1971 年 7 月 26 日,“阿波罗”15 号飞船又出发了。飞船称为“奋进”号,登月舱称为“隼”号。参加这次飞行的宇航员是指令长斯科特,指令舱驾驶员沃登,登月舱驾驶员欧文。这次登月飞行为了扩大活动范围,首次带去了一辆特制的小型月球车。经过 4 天的飞行,斯科特与欧文于 7 月 30 日乘登月舱安全降到月面上。登月舱的降落地点是月球北半球的“雨海”附近。两位宇航员在月面上共停留了 66 小时 54 分(近 3 天),共进行了 3 次月面活动,总时间 18 小时 36 分。

他们的主要活动包括:对高山、峡谷和火山口进行了深入考察;安装了新的试验站;采集到月球最初形成时的结晶岩石;进行了自由落体实验;在月面上给纪念邮票盖章。这次登月一个重大的活动是首次利用四轮月球车行驶到 30 千米以外的地方进行考察和采集标本,采集总量 77 千克。在返回前,宇航员将电视摄像机放置在月球车上,转播了登月舱上升时的情景。沃登在轨道上利用服务舱中的“科学仪器间”全景测绘摄像机和分光计探测了月球表面物质成分、太阳 X 射线和粒子辐射的相互作用。在返回轨道与服务舱对接后,宇航员释放了一颗小型卫星。它绕月球旋转,用以探测月球辐射的 X 射线和 γ 射线。他们还长时间拍摄了月球图像。在返回途中,沃登在距地球 31.7 万千米的地方进入太空,进行了长达 38 分钟的舱外活动,包括取出胶片盒的工作。这次登月飞行共持续 12 天 17 小时,于 8 月 7 日安全返回。

1972 年 4 月 16~27 日,“阿波罗”16 号飞船又完成了第 5 次登月飞行。这一次飞船称为“卡斯珀”,美国一个城市名。登月舱称为“猎户座”。宇航员分别是指令长约翰·W·扬,飞船驾驶员马廷利,登月舱驾驶员查理·M·杜克。这次登月飞行的主要任务是对月球南半球的高地进行系统考察。约翰·扬和杜克驾驶第二辆电动月球车行驶到 27 千米外的地方,采集了近 100 千克标本。在登月点附近,约翰·扬和杜克安装了一台用于天文观测的紫外相机和分光计,借助钻机取到月球深处的岩石,带回了年龄长达 46 亿岁的岩石样品;安装了测量月球内部热流的探测器;安放了月震仪和太阳高度指示器。在笛卡尔高地活动期间,安装在月球车上的摄像机拍摄并发回了约翰·扬跳跃的镜头。他们还在轨道上释放了一颗卫星。

“阿波罗”计划的最后一次飞行是在 1972 年 12 月 7~19 日。“阿波罗”17 号飞船称为“美国”号,登月舱称为“挑战者”号。宇航员是指令长塞尔南,指令舱驾驶员埃温斯,登月舱驾驶

员施密特。施密特是第一位参加登月飞行的科学家——地质学家。这次登月发射时间首次选在夜间。登月点由施密特选定为“金牛座”山。宇航员塞尔南和施密特踏上月面后,进行了一系列活动,包括安装热流实验仪,利用两台引力计测量引力变化;寻找月球发生火山的证据;安放月面实验装置;乘月球车四处考察和采集标本。塞尔南和施密特捡到一些桔红色玻璃体,最初以为它出自火山爆发,但后来的分析否定了这一猜测。另外对岩石标本分析表明,月球内部可能存在冰形态的水。两位宇航员在月面上停留了 75 小时,三次月面活动的累计时间达 22 小时 4 分,是全部登月飞行中最长的一次。采集的标本共 110 千克,也是最多的一次。

应当说,“阿波罗”登月计划无论从科学上,还是从显示人类的能力上,它都是一项空前伟大的成就。通过实际月球探测和取样分析,人们对月球的年龄,月球的物质成分,金属丰度、月球构造,月幔厚度,月球的生成和演化等重大问题都有了更深入的认识和了解。对月球周围环境的认识也更进了一步。登月飞行开展了许多具有重大科学意义的实验。典型的有:热流实验,测量了月球内部的热损耗;月面引力实验,探索了在月面测量引力波是否存在;月面大气密度实验,通过实验测得月面大气密度只有地球大气的 20 万分之一,是高空真空状态;月球微流星实验,测量了到达月面的微流星质量、运动方向和速度,测量了巨型流星撞击月面溅射出的尘埃的运动方向、质量和速度;月震轮廓实验,用以推断月球表层岩石的种类;月球磁场强度测定实验等。这些实验和后来的月岩分析,对月球环境、形态、结构、演化有了全新的认识,这些成果对研究地球和宇宙的演化都有着重要的意义。月球演化史研究的一个重大成果是:通过月球结构和元素成分分析,基本上否定了月球是从地球分离出去的假说。

美国宇航局地外研究计划主任弗伦奇博士总结说:“在 1969 年和 1972 年间,地球上无数的科学家和工程师都支持 12 名宇航员探测月球。他们顶住没有空气和致死高温的月球环境,在月球上停留了好几天,有几位宇航员还驾驶月球漫游车在月面上旅行数英里。他们进行科学探测,安装科学仪器,以便探测月球的内部情况。他们收集到数百磅月球岩石和土壤,从此开始了利用另一个天体壳层的实际样品来解释它的起源和地质历史的首次尝试……但是在地球上,科学家们现在才开始了解‘阿波罗’宇航员带回的无价之宝的新知识。”

“阿波罗”计划从 1961 年 5 月开始,到 1972 年 12 月结束,历时约 11 年半。在工程高峰时,参加的企业约 2 万个,大学 200 所,科学机构 80 多个,总人数超过 30 万。整个工程耗资巨大,“阿波罗”计划共耗资 255 亿美元,峰值年份近 30 亿美元。

“阿波罗”计划获得的成功和取得的成就具有伟大的历史意义。在政治上,它终于使美国在航天技术的许多方面确立了领先地位,获得了极大的声誉。在科学上,它使人类对月球及近月空间有了首次直接的研究和认识。在技术上,取得了许多技术突破,不仅为后来的航天计划奠定了基础,而且许多新技术在国民经济的各个领域得到广泛应用。美国宇航局还取得了一系列宝贵的大型工程计划和管理经验。在经济上,它带动了整个美国经济的发展。美国蔡司公司提交的报告指出,“阿波罗”计划使美国经济增长率提高了 2%,物价指数下降了 2%,创造了 80 万个就业指标。蔡司报告还认为,美国 1958 年的国民收入为 4 062 亿美元,1968 年则达到 8 640 亿美元,1970 年又增至 9 046 亿美元,10 年间翻了一番,这也是“阿波罗”计划刺

激的结果。“阿波罗”计划获得的新技术广泛应用于社会,使美国国民收入到1978年又翻了一番,达到19414亿美元。

当然,对阿波罗计划的评价一直争议很大。对该计划的指责和强烈主要集中在两个方面,一是取得的科学技术成果不大,二是花钱太多。前面谈到,“阿波罗”飞船载人登月对月球和地月环境进行直接考察、研究和实验本身就是划时代的科学成就。它在技术上获得的突破对天空实验室计划和航天飞机计划都有直接影响,它的某些硬件还直接用于公认成就卓著的天空实验室上。它的技术带动社会经济发展的事例难以胜数。“阿波罗”计划的直接成果与花费相比可能少了一些。如果考虑各种间接效益,那么“阿波罗”计划取得的成就将难以估量。如果把它与近乎同时期美国越陷越深的越战相比,人们会作何感想呢?美国仅在1970年一年战争费用就高达1085亿美元,整个越战耗资3520亿美元。而越南战争纯粹是一场对美国、对越南都没有半点收益的大浩劫。

“阿波罗”计划的制定完全是政治因素决定的,但它的意义却远远超出政治之外,在军事、科技、文化和社会等多方面都产生了重大影响。“阿波罗”登月的成功体现了人类的探险与开拓精神,显示了人类的巨大创造力和能动性。从社会发展和人类进步意义上讲,它将作为20世纪最伟大的工程和壮举而载入史册。

第十六章

载人空间站技术的发展



► 这是正在建设中的国际空间站,预计 2006 年建成。届时它将由 12 个舱段组成,总质量达 450 吨左右,使用空间达 1 100 立方米,平均运行高度 460 千米,寿命 15 年。它将成为人类在太空中长期逗留的一个前哨,可用于试验新型能源、运输技术、自动化技术和下一代遥感器,推动流体力学、燃烧学、生命保障系统、反辐射危害等研究的发展,并对未来的太空探索产生重要影响。

空间站的出现是航天技术应用化发展以及越来越强调航天活动的效益直接促成的。从应用角度特别是长期效益上看,人造卫星和载人飞船都有其不足。人造卫星太小,装载的仪器设备有限,而且没有人照料,因此无法完成大规模空间科学技术活动;载人飞船虽然比卫星大得多,但对于空间加工等任务来说还嫌不够,而且它的轨道飞行时间很短(小于2周),因而无法进行需要长时间的科学技术活动。为了克服人造卫星和载人飞船的这些不足,就迫切需要有空间站来满足越来越扩大的空间活动。20世纪60年代中期,随着航天技术的进一步发展、空间应用化愿望的增强和太空竞赛意识的减弱,苏联和美国都开始了空间站的实际探索规划。经过5年多的努力,人类第一座空间站终于运行在地球轨道上了。

第1节 “礼炮”系列空间站

苏联在20世纪60年代中期先后完成了“东方号”计划和“上升号”计划后,开始制定新的远期航天发展计划。由于苏联准备继续同美国进行太空竞赛,因此载人登月是未来航天计划的重点。另一项主要计划是载人轨道空间站。为了执行这两项计划,苏联发展了巨型的H-1运载火箭和联盟轨道复合体。H-1火箭的进展不佳,在60年代末和70年代共进行了四次发射试验,均遭惨败,而“联盟复合体”计划也因航天计划的改变未能预期发展。但这项计划却导致了著名的“联盟号”飞船的诞生。“联盟号”飞船在70年代后苏联的载人航天计划中发挥了巨大作用。

1969年美国载人登月成功后,眼看着这场竞争失败了,苏联的航天计划重点发生了变化。1969年10月14日,苏联科学院院长凯尔迪什宣称:“我们不再有一个载人月球旅行的时间表。”他还披露,苏联的太空计划将集中到载人轨道空间站领域。实际上,苏联并没有立即放弃登月计划,倒是在继续探索研制直接登月的H-1运载火箭的同时,更加重视并加速了太空站的发展工作。

苏联60年代末开始把载人空间站作为未来航天计划发展的核心和一项国策,这不是偶然的。这里面不可忽视的一个原因仍然是在同美国竞赛。但这个原因随着东西方关系的缓和开始降为次要地位。另一个原因则是航天技术的应用。苏联始终认为,只有空间站才能在轨道上长期停留,它能保证宇航员在太空中长期生活和工作,这样才能完成大量人造卫星和载人飞船所不能完成的任务,才能充分开发和利用空间资源:长时间对地观测和天文观测、太空科学研究、微重力实验材料加工、生物制品生产、大型空间结构的组装。另外,载人空间站还可以执行侦察、预警、导航、通信等多种任务,这是苏联和美国都十分关心的问题。为了更远期的目标,如太空工厂、太空移民等,载人近地空间站是必要的基础步骤。勃列日涅夫本人就曾指出:“苏联科学界认为,建立宇航员轮流居住的轨道空间站,这是人类进入太空的途径。”

苏联在航天计划执行上十分重视采取慎重、稳妥和循序渐近的发展方法。因此,苏联的第一艘空间站“礼炮号”采取了如下设计原则:一、简单性,这样可以大大缩短研制时间;二、通用

性,尽可能采用已有的且比较成熟的技术,以较少的风险获得较大的成就;三、渐改性,努力使空间站具有较大的发展潜力。

礼炮号空间站大量应用了“联盟号”飞船的技术和成果。在60年代后期,“联盟”飞船设计和飞行为“礼炮号”空间站奠定的重要基础有:生活保障系统、轨道机动及姿态保持动力系统及动力系统、轨道对接技术以及控制技术,“联盟号”飞船发展的太阳电池电源系统也被用在礼炮号空间站上。这些基本设备和系统几乎可以不必作很大的改动就可以直接用于“礼炮号”上,因此不需要重新发展高难度的技术。此外,为了缩短研制时间,“礼炮号”采用比较简单的外形结构,实现比较容易,体积也尽可能适应运载火箭能力的限制一次发射,这样难度和风险又进一步减少。

“礼炮”系列空间站第一个是“礼炮”1号。它由3个直径不同的柱形舱段组成,总长约14.5米,总重约18.3吨。头部是直径2米的过渡舱,顶端有对接系统,用于同“联盟”飞船交会对接,作为宇航员和物资的通道。过渡舱装有2个矩形太阳电池帆板。中间是双圆柱体工作舱,长约9.1米,直径分别为2.9米和4.15米,内部工作舱容积为85立方米。尾部是仪器/推进舱,除装有必要的仪器外,还有一台主发动机,推力约4.12千牛,可多次启动工作,总工作时间达1000秒以上。主发动机舱两侧也装有2个太阳电池板,总面积约23平方米。

“礼炮”1号空间站主要系统包括:主控制系统,它既可自动进行,亦可由宇航员手控或地面遥控进行;方位和运动控制系统,用于对接操纵;发动机姿态与机动控制系统,用于轨道机动和交会操纵;无线电指令与电视控制系统;远距离通信系统;无线电遥测系统;电源系统;生活保障系统以及生物医学装置。这些基本系统与后继的礼炮号大致相同。

为了保证宇航员操纵空间站运行和完成既定的实验与观测任务,“礼炮”1号空间站设置了7个工作台。第一个是中央控制台,可乘坐两名宇航员。中央控制台也是其他6个工作台的信息汇合中心。第二个工作台位于前端,在此完成的工作有天文定向及导航、空间站操纵及观测等。第三个工作台位于中部,主要完成科学仪器操作任务。第四个工作台也位于工作舱中部,完成科学仪器操作任务和进行医学实验。第五个工作台位于过渡舱后段,主要进行天文观测和望远镜的控制。第六个工作台位于工作舱后段,在这里除完成第二号工作台的任務外,还操作一个小型“温室”,以进行植物生长实验。第七个工作台位于工作舱前段,操作对地观测仪器进行对地观测。从这些工作台完成的任务看,“礼炮号”空间站的功能远远超过了“联盟号”飞船。难怪苏联宇航科学家福克斯托夫自豪地说:“我们拥有一个巨大的空间站,里面装着好几吨重的探测设备,有望远镜、摄谱仪、光电光度计、电视设备等。在空间站的工作寿命期间,有许多实验可能不必把人送到空间站去就能完成,尽管研究方法只能由人来确定。”

1971年4月19日,也就是加加林首次进入太空10年之后,一枚“质子”号运载火箭将“礼炮”1号空间站送入200千米×222千米、倾角为 51.6° 的轨道上,运行周期88.5分钟。经过9圈的地面测控,“礼炮”1号运行和工作正常。接着苏联正式向全世界公布了这一消息,宣称苏联已拥有了世界上第一座空间站。勃列日涅夫在第二天说,“礼炮”1号的飞行是“征服太空的重要一步”。苏联宇航员贝雷格瓦说,具有定期互换宇航员能力的轨道站是70年代太空探索

的主要特征。无论如何,“礼炮”1号发射升空,标志着人类进入太空的一个新阶段的开始。

6月6日,“联盟”11号飞船载宇航员杜勃洛夫斯基、伏尔科夫和帕察耶夫进入轨道,经过6个小时的轨道机动,轨道与“礼炮”1号相同。第二天,两个航天器逐渐接近,在150米的距离上开始交会对接操作。这个过程也进行得比较顺利。在对接的同时,飞船电气系统和液压系统也同“礼炮”1号连接。经过压力调节并打开舱门后,宇航员进入了空间站。

从窄小的飞船到空间站,3位宇航员立时感到豁然开朗。杜勃洛夫斯基兴奋地说:“空间站真大,简直一眼看不到边。”他们先调节了工作舱的环境,开始了适应性工作。6月8、9日,他们操纵联合体进行了多次较大的轨道机动,一度使轨道变为259千米×282千米。从10日开始,他们按计划进行各种实验工作:测试空间站内辐射水平、分析宇航员血样、用 γ 射线望远镜进行天文观测、进行鱼类在“水”中运动实验、种植植物实验、用照相机拍摄地球。6月19日,他们利用“猎户座”望远镜进行了恒星观测。他们还研究了无线电信号的衰减,并对地球和地球天气现象进行了观测。到6月23日,他们打破“联盟”9号飞行18天的纪录。

6月28日,地面控制中心要求宇航员在次日返回。6月29日下午7时28分,“联盟”11号与“礼炮”号分离。1小时后,宇航员操纵飞船降低轨道准备再入。直到此时,一切都很正常。伏尔科夫向地面指挥员说:“一切正常。时间真长呵,地面上见。”然而,灾难降临了。在反推发动机点火后不久,指令舱的一个压力调节阀在与轨道舱分离时被打开了,舱内的空气很快泄出。由于宇航员没有穿宇航服,虽然降落伞安全将飞船回收,但宇航员早已因缺氧窒息而死。

1971年7月2日,苏联为3位牺牲的宇航员举行了隆重的葬礼。美国总统尼克松发去了唁电并派代表前去悼念。这场重大航天事故导致对“联盟号”飞船进行重大的修改,以提高安全性和可靠性。而“礼炮”1号空间站的使命也随之结束。它在轨道上运行了共175天。

“礼炮”1号空间站的飞行基本上是成功的。苏联在修改“联盟”飞船的同时,按照使用目的的不同对礼炮号进行了改制,形成了两种类型空间站。一种是军用型,一种是民用型。军用型空间站的外形和结构改变较大,它由3个舱段构成,两个直径与“礼炮”1号尾端相同的工作舱,一个是锥形的回收舱。太阳能电池板由原来的4个改为3个较大的,安装在空间站中段。内部系统的主要变化是增加了军用设备的比重。民用型空间站与“礼炮”1号相差不大,从外形看,主要改进是在中部安装了3个大型太阳能电池板。这两种改型在1972年中基本完成。

“联盟号”飞船的改进主要是提高安全性和可靠性。为此,乘员舱内的座椅由3个减为2个,在取消的座椅位置上增加了宇航员生命保障系统。为保证安全,飞船在轨道飞行以外的飞行段上,宇航员必须穿宇航服。另外,改进的“联盟”飞船取消了太阳电池,使用化学电池。这样它单独飞行的时间大大缩短,只有靠空间站充电才能延长飞行时间。1973年下半年,改进的“联盟”飞船12号和13号进行了轨道飞行,检验了飞船的性能并且试验了“礼炮”空间站的一些设备。

1971至1974年是苏联载人航天史上命运暗淡的3年。“联盟”11号事故阴影尚未散尽,“礼炮”号事故又接连发生。1972年,苏联已准备好发射军、民用“礼炮”号各一艘。苏联宣

布在 1972 年 7 月 29 日发射“礼炮”2 号(这是一座军用空间站),莫斯科电台还在 6 月 7 日说:“我们可以期望空间站成为不久的将来进行例行工作和进行复杂的观测的场所。”宇航员也作好了准备。7 月 22 日,苏联还报道,重达 45 000 吨级的“加加林”号测控船已开进大西洋执行测控任务。但后来就没有了音讯。不知为什么计划给耽误了。1972 年秋,苏联宇航员在 24 届国际宇航大会上解释说,“联盟”飞船还需要大量改进。

1973 年 4 月 3 日,“礼炮”2 号(又称钻石 1 号)终于在丘拉坦发射场由一枚“质子号”火箭发射升空。在飞行 20 圈后,主发动机通过遥控指令点火,进行了轨道变换。此后几天又进行了多次轨道调整,并于 4 月 8 日升到较高的轨道。正当“联盟”飞船准备载人起飞时,4 月 14 日“礼炮”2 号发生了故障。地面指令控制空间站上的发动机点火降低轨道,以准备同飞船对接,但发动机点火后便发生了可怕的爆炸,把天线、太阳电池等全部炸飞,信号中断。“礼炮”2 号的运动变得混乱而不可控制。在继续运行了 55 天后,“礼炮”2 号于 5 月 28 日坠入大气层烧毁。

这期间,美国的天空实验室已进入轨道。为了挽回面子,苏联在 5 月 11 日发射了民用型空间站。不知是运载火箭问题还是其他原因,它的轨道很低。它只运行了 11 天便于 5 月 22 日坠入大气层烧毁。接二连三的失败极大地影响了空间站的进度。在这种情况下,苏联不得不暂停以寻求解决的办法。这些修改工作又花费了 1 年多时间。出于面子上考虑,苏联没有公布这些事故,更没有透露失败的原因。关于“礼炮”2 号,苏联的说法是:“得到的信息将用于新的宇宙飞行器设计中去。”西方观察家还特别注意到这次没有使用“成功”二字。

1974 年 6 月 24 日,“礼炮”3 号又称(钻石 2 号)终于发射升空,进入一条 219 千米 \times 270 千米的轨道。“礼炮”3 号的内部设备发生了很大变化,设置了一条传送带跑道,用于宇航员日常锻炼。生活区内还有收音机、录音机和磁带图书馆。专用设备包括 4 架摄影机、太阳望远镜、摄谱仪、电视摄像机。“礼炮”3 号是一座军用型空间站。塔斯社称这座空间站的目的是“继续在空间进行人体生物和医学实验,为一些具有经济效益的任务收集数据,试验改进后的设计和空间站中的仪器设备。”

“礼炮”3 号在空间进行了多次轨道调整,证明一切正常。7 月 13 日,“联盟”14 号飞船载波波维奇和阿尔丘金进入轨道。一天后飞船与“礼炮”3 号对接成功。两位宇航员进入空间站开始工作。他们进行的科学研究包括天文和太阳观测、血样分析、微流星研究。其他工作苏联没有详细透露,只是说收集与国民经济有关的自然资源数据。人们猜测“礼炮”3 号的摄影系统长时间对准地球,其执行侦察任务是显然的。7 月 19 日,宇航员离开“礼炮”3 号,乘“联盟”14 号返回地面。在“联盟”15 号飞船与之对接失败后,“礼炮”3 号的任務基本上完成了。1975 年 1 月 24 日,“礼炮”3 号按指令点燃反推发动机,降低轨道并再入大气层。

民用型的“礼炮”4 号空间站于 1974 年 12 月 26 日发射,初始轨道完全与“礼炮”3 号相同。12 月 30 日,“礼炮”4 号在多次机动之后进入 338 千米 \times 351 千米的高轨道。1975 年 1 月 10 日,“联盟”17 号飞船发射。在同“礼炮”4 号对接后,宇航员开始进站工作。5 月 24 日,“联盟”18B 载两名宇航员进入轨道。他们在“礼炮”4 号上工作了 62 天。这两组宇航员在“礼炮”

4号上工作生活共计90多天,进行了大量研究和实验活动,取得了很大成功。他们还试验了新研制的捷联式导航定向系统。此后,苏联还于11月17日发射了不载人的“联盟”20号飞船,它完全靠自动系统与“礼炮”4号进行对接。这次试验的目的是研究专门的货运飞船补充燃料、运送物资的可能性,它导致了“进步”号货运飞船的出现。

“礼炮”4号于1976年2月16日坠入大气层。4个月后,军用型“礼炮”5号(钻石3号)空间站于6月22日发射入轨。期间它只接纳了两批宇航员。2月26日,“礼炮”5号的回收舱分离并安全回收。此后,它在轨道上进行了多次调整,最后于1977年8月28日再入大气层。“礼炮”5号虽然有人的时间不多,但也进行了大量研究和实验活动,试验了许多新技术和新设备。虽然这是一座军用航天站,但许多任务仍是民用性质,包括金属冶炼熔融实验、晶体生长实验、天文观测、气象、森林及海洋观测、植物生长实验和其他生物实验等,取得的成就相当突出。

第二代空间站包括“礼炮”6号和7号。这两座空间站要解决的问题除进一步提高安全性和可靠性外,另两项重大的变化是寿命长和扩展应用领域。要满足这两点,第二代空间站采取了多种措施。试验和实际运行表明,第一代礼炮空间站采用低轨道,为克服大气阻力进行轨道调节,必须以消耗更多的推进剂为代价。如果轨道高度保持在250千米,每年消耗推进剂为4.75吨,如果轨道提高到350千米,则推进剂消耗只有600千米。“礼炮”6号和7号正是采用这种较高的轨道。另外,为更最大限度地提高寿命,第二代空间站具有两个对接窗口,一个用于“联盟”号飞船对接,另一个用于轨道加油。为此,苏联专门发展了“进步”号加油飞船。它是在联盟号的基础上改制而成,里面的贮箱可装1吨推进剂。它的总重量在7吨左右。在正式使用之前,“进步”号飞船在70年代中期进行了两次发射试验。

“礼炮”6号和7号的外形尺寸大体同“礼炮”4号相同。但为了适应尾部安装对接窗口的需要,它的主发动机有了重大改变。它具有两侧安装的两个喷管,每个喷管推力为300千克。为了保证变轨、交会和对接的可靠性,新的空间站还安装了一台先进的综合自动控制系统。另外,为进行舱外活动,空间站上侧还有一个舱门和小型气闸舱。宇航员可通过这个门进入开放空间。此外,空间站内的生活保障系统和废物处理及水再生系统也进行了标准化改造。

新增加的专用设备主要有地球资源照相系统,它能够多路实时传送资源信息,广角对地观测系统,全波段大气数据望远镜,可应用于气象观测和天文观测,此外还有恒星望远镜、零重力实验系统、生物实验装置等。经过这些改进,“礼炮”6号总重约19吨,在轨运行时间可达5年。

1977年9月29日,一枚“质子”号运载火箭将“礼炮”6号空间站送入轨道。它最初的轨道为219千米×275千米。经过一周的调整,进入较高的340千米×349千米的轨道。接着准备接待宇航员来访。10月9日“联盟”25号飞船发射,但它与“礼炮”6号对接失败。12月10日,“联盟”26号发射,宇航员罗曼年科和格列契科开始进站工作。他们在轨时间为36天。12月10日,罗曼年科和格列契科进行了苏联航天史上的第二次太空漫步,时间长达88分钟。1978年1月10日,“联盟”27号发射并与空间站对接。这是首次由3个大型航天器对接在一起,联合飞行时间为5天。1月22日,“进步”1号飞船发射并与“礼炮”6号对接。宇航员通过

指令于 22 日进行了首次轨道加油。到 1979 年底,苏联又先后发射了 7 艘“联盟”号飞船和 6 艘“进步”号加油飞船。两年多的轨道研究取得了很大成就。

1979 年 12 月 16 日,苏联又发射了新一代的“联盟 T 型”飞船。它是在“联盟号”飞船的基础上改进而来的。它的改进包括:恢复了两个太阳能电池板;主推进系统进行了重新设计,推力为 315 千克;飞船姿态控制喷管重新配置。它的内部改动更大,生命保障系统、飞行控制系统和返回着陆系统进行了可靠性和自动化设计。设计师福克梯斯托夫声称它具有智能化特点,计算机可以对故障做出迅速判断和自动处理。另外,“联盟 T 型”飞船具有载 3 人的能力。3 天后,不载人的“联盟 T-1”与“礼炮”6 号自动对接,它们联合飞行时间近 100 天。

从“联盟 T-1”的发射到 1981 年 5 月,苏联又发射了 6 艘“联盟号”飞船和 5 艘“进步号”货运飞船和 3 艘改进的“联盟 T”飞船与“礼炮”6 号对接。整个“礼炮”6 号运行期间,苏联共发射了 16 艘“联盟号”飞船、12 艘“进步号”飞船和 4 艘“联盟 T”飞船。其中有两次载人对接失败。共有 33 名宇航员进站工作,载人总时间为 678 天,宇航员在轨最长时间为 185 天,由联盟 35 号的宇航员波波维奇和柳明创造,时间是 1980 年 4 月 10 日到 1980 年 10 月 11 日。

“礼炮”6 号在轨运行共达 58 个月。在宇航员进站工作期间,完成了大量科学观测、地球资源观测、人体生物医学研究和技术实验。更具有应用意义的工作则是进行了大量半导体、晶体生长实验和用结晶炉及合金炉进行了金属冶炼实验。宇航员还首次熔化了玻璃,这使苏联科学家十分兴奋。这项工作对于制造高性能的光导纤维有重大意义。另外,“礼炮”6 号还带来极大的国际影响。在 33 名宇航员中,捷克斯洛伐克、波兰、东德、匈牙利、越南和古巴各有一名在内。这是苏联获得的又一重大的政治收益。

1982 年 4 月 19 日,“礼炮”7 号空间站发射入轨道。为适应新的任务和长寿命,它作了一些小改动:空间站外壳增加了把手,便于进行舱外活动;太阳能电池板的头部设计成具有增加面积能力,以提供更多的电能;空间站核防护层加厚,以减少舱内放射剂量;另外,头部对接口加大,保证与大型的试验飞船对接的可靠性。内部的改变包括新设计了更舒适的座椅,增加了加温炉、空调器、改进宇航员锻炼设施。科学仪器也有所增加或更新。

5 月 13 日,“联盟 T-5”号飞船载宇航员别列祖瓦和列别多夫进入轨道并于 14 日与“礼炮”7 号对接成功,开始了新空间站的使用。6 月 25 日,“联盟 T-6”号飞船发射入轨与“礼炮”7 号对接。此后,“联盟 T-7”号等 8 艘载人飞船先后对接“礼炮”7 号成功,“联盟 T-8”号对接失败,“联盟 T-10-1”号发射失败。

“礼炮”7 号于 1986 年 6 月 25 日送走了“联盟 T-15”号飞船之后,便结束了它的使命。此后它又通过遥控进行了多次轨道调整。8 月 22 日,它进入 475 千米×475 千米的圆轨道。苏联预计它会在太空停留更长的时间,但由于 1986 年后太阳活动剧烈,引起大气层膨胀,使“礼炮”7 号的轨道逐渐衰减。经过 4 年多没有任务情况下的轨道运行后,1991 年 2 月 7 日,“礼炮”7 号再入大气层坠毁。

这座空间站在轨道运行期间,共接待了 10 批 27 名宇航员进站工作。他们在轨工作期间,创造了新的纪录。“联盟”10 号的宇航员基茨姆、索洛维耶夫和阿特科夫创造了在轨时间的新

纪录 237 天。他们于 1984 年 2 月 9 日升空,于 10 月 2 日返回地面。“礼炮”7 号的宇航员进行了 6 次舱外活动,累计时间近 23 小时。其他重要的活动还有:“联盟 T-6”号的宇航员通过气闸舱释放了两颗重 28 千克的业余无线电爱好者卫星,“联盟 T-13”号的宇航员在舱外对“礼炮”7 号的对接口进行了修理,空间站内宇航员最多时有 6 人。宇航员共进行了涉及各个方面的 120 多项实验,拍摄了 1 万张地球和天空照片,极大地丰富了空间科学宝库。

“礼炮”号空间站在应用上仍有很大的局限性。随着空间活动的扩大,这种相对简单、任务单一的空间站显得规模太小,不易扩展,从而限制了有效载荷的规模。另外,由于各种实验设备都集中在一起,不仅相互间干扰,而且出现重大故障时系统不易修理。这些都要求有更新的大规模空间站替换。在这种背景下,苏联又发展了第三代“和平号”空间站。

第 2 节 “天空实验室”空间站

美国的空间站设想早在宇航局成立时就已产生。宇航局在对未来 10 年的航天活动进行规划时,提出过许多发展任务,占主导地位的项目是空间站和载人登月。对这两项计划当时曾引起广泛的争论,有的建议优先发展空间站,有的认为应优先发展载人登月,还有的则建议把两者摆在同等重要的地位。在那个竞争意识很强的年代,宇航局的上层官员们更看重的是航天计划的政治意义和国际影响,希望造成更大的壮观声势。1960 年 4 月在一次规划会议上,吉尔罗斯指出“水星”计划之后宇航局应朝着如下目标发展:多人轨道飞行、多人绕月飞行、载人月球考察、载人行星研究。但在会议上,许多人特别是科学家则坚持应发展空间站。这使宇航局一时举足无措。1961 年 5 月 25 日肯尼迪提出登月计划后,这场空间站和载人登月的争论暂时平息了。空间站计划落了下风。在 60 年代初,宇航局的空间站只作了初步工作。

60 年代初提出的空间站概念和方案,主要受了 3 种因素制约,一是当时还没有人在长期失重环境下的经验,二是基于当时运载火箭的发射能力,三是对空间站的应用前景还比较模糊,因此这些方案设计工作并不细致。1960 年美国宇航科学院召开了一次空间站会议,与会者提交了许多关于太空站的论文和方案,其中最为引人注目的是洛克希德公司的方案。它非常类似于苏联的和平号空间站,是一种多舱室组成的轨道复合体。不同之处是它分成若干不同功用的舱室,而供人居住、进行科学实验和对接舱具有不同的环境条件,生活舱设计成有人工重力。此外,该方案计划用核推进,发射工具计划采用正在发展的“土星”级运载火箭。

宇航局的这些工作并没有考虑到国防部系统对空间站的要求,也没有明确的时间表,因此军事部门认为应当发展自己的军用载人航天系统,以满足国防的需要。美国空军于 1961 ~ 1963 年间提出了一个载人轨道实验室计划,准备研制 5 个小型太空站,它的硬件可以逐步改进,但总的思想是提供一个能载两名宇航员在轨道工作 2 ~ 4 周的实验室,进行载人太空侦察。

国防部批准这个计划带有试验性质,主要想通过它研究人在长时间太空飞行中的能力以

及有人太空侦察、探测、救援、跟踪的实际效果。1964 年底,美国宇航局在讨论制定“阿波罗”后的航天计划时,确定了后继项目“阿波罗应用计划”,这包括了“天空实验室”计划。空军的载人轨道实验室与宇航局的天空实验室一比较,即可看出空军的计划能力有限。在这种情况下,白宫方面在 1965 年 1 月要求宇航局和国防部提交各自计划的详细报告,以便为总统的决策提供依据。

1965 年 1 月 25 日,国防部要求重新确定载人轨道实验室的目标,以发展新的军事太空应用能力。经过紧张的讨论,该计划的目标确定为:发展新技术,以改进载人或不载人具有军事意义的太空运行的能力;研制实用太空系统的中间步骤;发展具有潜在军用价值的大型太空设施和轨道组装和服务能力;进行各种实验,以确定人在轨道操作军事系统的能力和效果。

经过半年多的工作,1965 年 7 月 9 日,国防部长麦克纳马拉和宇航局长韦伯向国家航空航天委员会报告说,轨道实验室和天空实验室并不是重复项目,二者都应该得到支持。这时,载人轨道实验室方案也有了很大变化。1966 年 11 月 3 日,一枚“大力神”火箭发射了第一个轨道实验室模型进行亚轨道试验。实验虽然取得了成功,但计划却面临着收尾了。1967 年后轨道实验室的任务又经过了几次改变,国防部期望它能具有更多的工作能力,特别是侦察和实时数据传输能力。但由于侦察卫星经过几年的发展已经能够得到分辨率较高的侦察情报,载人轨道侦察显得多余。另外,越战也要求国防部缩减科研方面的资金。也许更重要的是,载人轨道实验室计划的目标和应用一直没有十分明确地定义过。

在空军研究载人轨道实验室过程中,宇航局也在小规模地研究自己的空间站。1963 ~ 1966 年间,兰利航天中心会同道格拉斯和波音公司对载人轨道研究实验室进行了初步设计。1967 年,美国宇航局马歇尔航天中心独立提出了一项空间站计划作为“阿波罗”应用计划的一部分。为了强调节省资金,马歇尔中心提出尽可能多地使用“阿波罗”计划的部件和技术,同时也有利于加快进度。这个计划后来演变为“天空实验室”计划。由于 1972 年尼克松总统宣布美国将优先发展可重复使用的航天飞机,这样使宇航局有可能在将大部分人力和财力投入到航天飞机的情况下,发展花钱不多的天空实验室。

“天空实验室”计划有两个方面的目的:一是作为未来空间站计划的过渡环节,因此它带有试验性质;另一方面,科学家们感到“阿波罗”计划从科学研究角度上看,并没有取得令人满意的结果。因此天空实验室计划被赋予四大基本任务:1. 对太阳进行比较充分的观测研究;2. 进行较长时间的生物医学研究;3. 对地球资源进行细致的勘测;4. 进行更为全面的工程技术实验。从这些任务来看,主要从科学和技术利益着眼,不像“阿波罗”计划那样带有很大的政治冒险性。天空实验室在设计思想上,强调尽可能利用已有的硬件和技术,而一反过去高资金投入的现象。这说明美国在 70 年代初航天政策已调整到比较现实,不纯粹为政治服务的位置上。

1972 年在“阿波罗”计划结束后不久,美国总统尼克松向全国宣布批准“天空实验室”计划时,谈到了该计划的目标:天空实验室“不是促进外太空探测的深入,而是为了获得关于太空的新知识以改善地球上的生活。它将有助于发展研究地球资源的新方法,保护和增长全球

资源的新方法。它将进一步获得关于我们的恒星——太阳以及它对我们的环境产生的巨大影响方面的新知识。天空实验室上的科学家将完成医学实验,以便全面地认识人在太空中的生理和心理表现。而且,他们将完成技术实验,以发展在独特的太空环境下的工业生产新方法。”

天空实验室主体结构是“土星 V”运载火箭第三级 J-2 发动机的巨大液氢储箱,其总长度 8.9 米,直径 6.6 米。由于很长,在改制成天空实验室时在中间加了一层隔板将其分成上下两部分。上层是实验间,下层是生活间。生活间又分成四个室:起居室、用餐室、盥洗室和实验室。上层实验间十分宽敞,内部装有各种仪器设备以进行多种大型实验。改装的天空实验室主体称作轨道舱。里面除安装各种设备外,能为 3 名宇航员提供 292 立方米的的活动空间。轨道舱充有氧、氮混合气体,气压为 0.35 千克/平方厘米,温控与通风系统使气温保持在 21.1 摄氏度。

轨道舱的上面是过渡舱。它长 5.3 米,直径 6.6 米,内部可增压也可降压,以为宇航员提供一个过渡的通道。过渡舱又是天空实验室的控制中枢,里面装有供电控制、测试检查、数据处理、生命保障、通信及轨道控制等系统。在过渡舱的另一端是一个多用途对接舱,它长 5.2 米,直径 3 米,头部和侧面各有一个对接口,可同时与两艘飞船对接。对接舱除用于对接和作为宇航员的通道外,还用于进行太阳观测,对地观测和进行材料科学实验。天空实验室的主要供电系统是两个安装在轨道舱末端的太阳电池板,总面积 730 平方米,可产生约 20 千瓦电能供各种系统消耗,同时为镍-镉蓄电池充电,以备“黑天”时使用。

天空实验室最主要的科学仪器是“阿波罗”天文望远镜。它的主体是一个棱柱体,以构架的形式固定在对接舱上。在发射时,这些构架保证望远镜位置与天空实验室轴线一致。一旦进入轨道并同运载火箭分离,构架又可折转 90°,使望远镜与轴线垂直。在望远镜周围安装了 4 个较小的太阳电池板,总面积 142.5 平方米,最大输出功率可达 11 千瓦。阿波罗天女望远镜装有 4 种天线、多谱段照相机、电视摄像机、主望远镜,还有其他一些天文仪器。

由于天空实验室带有试验性质,加之为了简化设计,天空实验室没有安装轨道机动系统,这一点同苏联的空间站截然不同。因此,天空实验室本身不能进行轨道调整,只有当“阿波罗”飞船同它对接后,才能利用服务舱发动机改变组合体的轨道。这就使天空实验室本身灵活性较差,寿命也较低,但却带来简单的优点。

天空实验室各段组合在一起总长为 36 米,重 90.6 吨,内部有效容积达 247 立方米,包括太阳电池在内最大宽度达 27 米。规模比苏联的“礼炮”和“和平号”空间站都大。这些舱段的承包商为:麦道公司承包轨道舱和过渡舱,对接舱由马丁·马丽艾塔公司承包,“阿波罗”望远镜由马歇尔航天中心研制。天空实验室计划用“土星”运载火箭发射。

1973 年 5 月 14 日,一枚两级的“土星”V 运载火箭在肯尼迪航天中心点火发射。火箭第三级的位置上装着天空实验室。然而火箭升空后不久,一连串故障发生了。起飞后 63 秒,发现头部整流罩已经抛掉,地面控制中心的技术人员从测控设备上发现轨道舱上的微流星防护罩和太阳电池板展开之初出现不正常的遥测信号。10 分钟后,第二级火箭与天空实验室

分离。又过了8秒钟,天空实验室进入442千米的近圆轨道。在头两圈飞行期间,地面控制人员先后发出展开太阳电池板的指令。“阿波罗”望远镜按指令正常转折 90° ,4个电池板也顺利展开。但主体两个电池板则毫无反应。另外,遥测信号表明,微流星防护罩也未展开。这时,天空实验室对日表面温度急剧上升。原来,微流星防护罩既起防护流星作用,也起控制热量损耗和太阳热屏蔽作用。很明显,防护罩很可能在整流罩分离时失落了。

这些故障影响了计划中的宇航员进站工作,也严重威胁空间站的安全。在这种情况下,地面控制人员先采取措施将天空实验室的姿态改变,避免太阳光直射空间站。但这带来一个问题,“阿波罗”望远镜的太阳电池不能正对太阳,整个空间站电能不足,又使一些辅助冷却系统的温度降到接近结冰的程度。

与此同时,宇航局上下都在紧张地研究补救措施。那几天,宇航局各中心、主要承包公司和一些大学里,灯光彻夜通明,工程师、科学家和技术专家夜以继日地工作。在不到10天中,就空间站遮阳降温问题提出了许多方案。最后约翰逊航天中心请来宇航局技术服务部的金斯勒帮忙。金斯勒在了解了各种方案后,提出了一种操作安全的方法。他设计了一种遮阳伞,长7.2米,宽6.6米,所用材料是敷铝尼龙,能折叠起来放进一个筒里。宇航员在过渡舱通道里把这个筒放进里门内,然后把里门关上。宇航员用一个杆将这个筒里的伞骨慢慢推到空间站外。当这个遮阳伞脱离套筒时,弹簧就会把遮阳伞张开。

太阳电池板的故障估计是原来的铝防护屏破坏引起,一个被拉掉了,另一个则被碎片、螺栓或金属条之类的东西给卡住了。为了排除这些故障,马歇尔航天中心的工程师设计了一种能从3米以外的地方,巧妙处理这些碎片的工具。为使宇航员能顺利完成这些任务,并保证安全,宇航员还利用水下模拟空间站进行训练。

1973年5月25日上午,第一批宇航员康拉德、克尔温和韦茨终于乘坐“阿波罗”飞船由一枚“土星”IB运载火箭发射升空。经过8个小时的飞行,飞船开始接近天空实验室。近距离观察发现天空实验室的故障大致同地面的分析一致。第一次对接比较顺利,接着开始用餐,然后他们打开舱门准备修理太阳电池故障。克尔温抓住韦茨的双腿,韦茨从打开的舱口探出身子,试图用卡杆将卡住物挑开,但没有成功。尔后,他们把飞船脱开,靠机动接近太阳电池板,准备再次尝试。但铝片卡得很紧,总是挑不开。他们只好准备再次对接,重新想办法。可是对接遇到了麻烦,几次都没有成功,最后不得不再次打开舱盖,出舱拆去对接探头的一部分,然后再次尝试。对接终于成功了。

第二天,宇航员开始为空间站遮阳。这项工作进行得比较顺利。虽然遮阳伞没有完全张开,但也明显起了降温作用。他们小心地打开空间站的门,检查了里面有无毒气体。进站工作了一个多小时,使舱内温度降到了 31°C 。此后的几天,他们一方面进行了一些计划中的工作,另一方面研究太阳电池板的修理问题。6月7日,他们在舱外工作了3个多小时。他们先装了一根长7.7米的直杆,一端连在望远镜支架上,康拉德身上绑上一根安全带,爬到太阳电池板附近,把电缆剪钳口对准卡住的碎片,克尔温则使劲拉操纵绳索。最后,终于将收缩梁的卡塞物问题解决了。这个电池板终于伸了出来。

天空实验室几大故障成功的排除后,宇航局上下一片欢腾。尼克松总统特地发来贺电。他说:“我代表美国人民对你们成功地修理了世界上第一个真正的空间站,表示祝贺和赞赏。在你们离开地球的两个星期里,你们完成了比你们临行前的誓言:我们要修理好所有的东西,还要做更多的工作。既然人类在空间能像在地球上那样工作,我们大家现在都有了新的勇气。”

第一批3名宇航员在天空实验室上进行的科学活动有:用“阿波罗”天文望远镜对太阳进行了82小时的观测,回收了望远镜中的胶卷盒,拍摄了1000多万平方千米的地球照片,进行了大量生物医学实验。另外,他们还对空间站上的生活系统和生命保障系统进行了全面考察。这些研究表明,宇航员完全可以在太空环境中生活和工作更长的时间。经过28天的轨道飞行之后,3位宇航员于1973年6月22日返回地面。

1973年7月28日,第二批宇航员乘“阿波罗”飞船出发了。他们是比恩、加里奥特和洛斯马。“阿波罗”飞船带去了补给品以及维修物品和大量生物实验品。这次飞行计划把时间延长到59天,还计划试验单人喷气机动装置。

在这次飞行中,宇航员加里奥特和洛斯马完成了持续6个半小时的舱外活动。他们给太阳望远镜装上新的胶卷盒,安装了测量微流星的装置,检查了“阿波罗”飞船的推力器。他们还在空间站上面搭起了一个新的遮阳伞。这次飞行的科学工作除仍继续进行有关生物学、太空医学、太阳物理学、天文物理学的研究活动外,还完成了地球资源观测计划。为此,宇航员操纵实验室重新定向。这项计划中,宇航员使用了6种科学仪器:多光谱摄影机、地球照相机、红外多光谱扫描仪、微波辐射计和散射仪、高度计和L波段辐射计。

对太阳的观测时间共计300小时。通过“阿波罗”望远镜,宇航员拍摄了77600张X射线、紫外线和可见光光谱段内的日冕照片。这期间正是太阳黑子活动的宁静期,但太阳耀斑非常活跃。宇航员获得了太阳平静时和活跃时的对比照片和数据,拍摄了100多张太阳耀斑的照片。

第二次飞行进行的研究活动远远超过了第一次,而且比原计划多得多。原定对地球进行26次观测,实际完成了39次;原计划对太阳观测206小时,实际上超出了100小时。宇航员曾3次出舱活动,并一次完成了几项重要的修理工作。生物医学实验也获得了许多重要的成果。

1973年11月16日,第三批宇航员发射升空。他们是卡尔、吉布森和玻格。这次飞行计划持续更长的时间,为此带来了更多生活物品和体育锻炼物品。他们还带来了许多修理工具,以备出现故障时使用。他们为冷却系统装上了制冷剂,解决了冷却系统的泄漏问题。宇航员们还出舱更换了6台望远镜照相机内的胶卷,安装了尘埃和微流星、宇宙线和带电粒子测量仪,修理了空间站尾部的一个天线。宇航员们多次出舱活动,时间长达6个半小时。

宇航员们在空间站里进行了许多生物实验,研究了植物在太空中生长与在地球上生长是否不同的问题,研究了细菌在太空的生长情况。他们还进行了多次一位中学生设计的实验。宇航员按照程序,将一根细针插到排列在迷宫中的119个小孔中去。这个实验在地面做一次,太空中做了三次,返回后再做一次,以此来研究长期失重是否会削弱一个宇航员进行精细、灵

巧工作的能力。结果证明宇航员的眼手协调能力并未减弱。

在天文学领域,这组乘员获得了两项突出成果,一是观测到一颗新彗星。1973年3月7日,捷克天文学家科豪特克在研究小行星时,偶然在汉堡天文台拍摄的一些照片中发现了这个彗星,故名“科豪特克”彗星。这个彗星引起天文学界的关注。宇航局也指示天空实验室对它进行细致观察。12月13日,他们看到了“科豪特克”彗星,并立即进行了拍摄。从天空中看彗星每天可观察13次,持续时间长,观测更真实,没有干扰。卡尔兴奋地说:“对这样重大的事件,我们处在一个能看清内幕的位置上,将要看到其他人从未见到的景象,这个念头使我大为激动。”在观测期间,共拍摄了33张色彩丰富、非常清晰的彗星照片,对研究彗星组成有重要价值。

另一项重要成果是,宇航员吉布森孜孜不倦地对太阳表面进行观测,终于等到了一次耀斑爆发时的全过程。1月21日,太阳的一个活跃区出现了一个亮点并不断加强和增大。吉布森抓住了这个机会,连续拍摄了这个耀斑的全过程。在整个飞行期间,这段照片被认为是最具天文学价值的。此外,拍摄的有关太阳X射线、紫外线、可见光谱段的照片多达75000张。

宇航员在天空实验室进行的技术实验还有,利用电炉和电子束枪进行了空间焊接实验,后来证明焊接质量优于地面;进行了晶体生长实验、半导体掺杂实验,做出的晶体长达2厘米,比预期的长6倍,制造了全新的金锗化合物,这是一种低温下的超导材料。这些工作为太空生产积累了经验。

1974年2月8日,宇航员卡尔、吉布森和玻格乘坐“阿波罗”飞船返回地面。他们创造了在轨时间84天的最新世界纪录。整个“天空实验室”计划期间,9名宇航员在轨道上生活和工作了171天13小时14分钟,绕地球2476圈,旅程达1亿1280万千米。他们共进行了42小时舱外活动,记录了182842个太阳观测数据,获得了40286张地球照片。宇航员完成了16次医学实验,初步进行了材料加工实验,对此麻省理工学院的加斯特评价说:“了解了固化过程并得到化学上非常均匀的晶体,这毫无疑问将迎来材料加工的新纪元。”

“天空实验室”计划持续6年,耗资26亿美元。美国宇航界、政界和科学界都给予极高的评价。尼克松祝贺说:“在圆满结束这次超出人类知识范围的最长旅程的时候,我代表全体美国人民向你们表示祝贺。你们天空实验室飞行的卓越成就,把历史上那些伟大探险家的传统(他们面对着世界上那些地图上还没有的尚不为人所知的地区)和那些科学家的传统(他们解开了宇宙万物的奥秘)结合起来了。”科技人员们说:“天空实验室,世界上最大的空间站,人类进入太空最长的探险,增进了我们对宇宙的了解,再次揭示了我们的地球,完成了运载工具的重要维修。这是人类、机器和精神的真正的伟大成就。”宇航局局长弗莱彻也表达了他的兴奋之情。他说:“天空实验室基本上是一座实验性空间站。但是,它具备了许多标志未来飞行特点的因素。它已经把空间活动从令人惊心动魄的壮举变成了几乎是司空见惯的业务性例行工作。它为从60年代的登月到80年代、90年代利用空间造福于人类的有次序过渡作出了贡献。”他还说:“天空实验室证实我们正沿着正确的前进道路发展航天飞机。”

美国原计划在最后一批宇航员撤出后,天空实验室可一直运行到80年代初。当航天飞机

研制成功后,美国将发射航天飞机与它会合,再从航天飞机的货舱中将一个遥控回收系统释放出与天空实验室对接。地面控制系统将向这个自动装置发出指令,点燃其推进系统使天空实验室实现受控再入。但1978~1979年间,太阳黑子的活动日益频繁,引起了大气层的膨胀,这就使天空实验室的轨道不断衰减,而它上面又没有轨道控制系统抬高轨道。1979年7月11日,天空实验室终于坠入大气层烧毁,但仍有许多大的碎块落到地面上,有人发现了重达82公斤的合金蒙皮。幸运的是没有造成人员伤亡。至此,“天空实验室”计划偃旗息鼓。

第3节 “和平”号的辉煌生涯

尽管第二代“礼炮号”空间站运行时间和工作能力都有很大提高,但与迅速拓展的空间科学的要求还相差甚远,而且它的潜力有限,不能完成规模更大、专业性更强的科学技术任务。此外,它设计上存在的问题在长期运行过程中暴露了出来。

“礼炮”系列空间站采用舱段式结构,由几个不同形状和尺寸的舱段组成,所有的仪器设备只能装在舱段内和舱段外表面。这种设计思想使“礼炮”号空间站外形简单,容易实现,硬件少,造价较低,可以用“质子号”运载火箭一次发射入轨。它除了有投入工作迅速的优点外,不需要在轨道上对接组合或装配大型系统的复杂过程,因而风险和难度都比较小,安全性较高。但它的缺点也十分明显,规模小,不易扩展,从而大大限制了有效载荷的规模。由于所有仪器设备只能布置在舱段内,因此很难合理地布置站上的分系统和有效载荷,不同性质的载荷不能做到相互独立,不可避免地造成不期望的影响。而且由于各种载荷的安装十分紧凑,也使得出现重大故障时系统很难修理或更换。

“礼炮”号空间站的地面系统也存在很大问题。这些空间站只能利用在苏联国土上的7个地面站和12艘测量船进行测控和通信,每绕地球一圈,空间站只能与地面通信15~20分钟。因此,它们的使用和管理有很大的局限性,出现严重问题不能得到及时处理。

按照设计,有些系统的逻辑功能如供电系统的工作方式切换,需要由地面指令或宇航员操纵来控制。在不载人运行期间,一旦与地面失去联系,空间站的供电系统便会以无法预料的方式工作。空间站上所有的系统均供电不足,站内温度降到零度以下,气体组分控制系统停止工作,水和食品都已结冰,情况十分危急。

为了恢复“礼炮”7号的功能,苏联决定派宇航员前去修理。由于“联盟T”飞船上的交会无线电系统需要空间站的应答,因而在空间站失控的情况下必须使用另一种交会系统。1985年6月6日,宇航员达扎尼贝科夫和工程师沙维耶乘“联盟T-13”号飞船进入轨道。交会对接工作全部依靠手动,花费了整整两天时间。宇航员进入寒冷的空间站,设法稳定空间站缓慢翻滚,然后又调整了太阳电池板,使之对准太阳。在空间站恢复期间,他们只能短时间间歇在站内排除故障。6月11日,他们开始检查站内通信系统,更换了损坏的部件。到6月17日,恢复工作大体完成。苏联当天宣布“联盟T-13”的宇航员成功地使“礼炮”7号完全恢复

正常。

在轨道上修复“礼炮”7号空间站的活动确实是一次壮举,反映了苏联在空间与“死”站对接、手动交会等方面已具有很高的能力,同时也说明苏联在空间救援上迈出了一大步。于此同时,“礼炮”7号的这次事故也说明设计上存在较大漏洞。这些都需要得到解决。新一代空间站正是在这种背景下问世的。

“和平号”空间站计划正式制定是在1976年。经过几年的论证,已确定为组合式积木结构。80年代初戈尔巴乔夫上台后,极力推行“和平”号计划。在开放方针指导下,苏联期望和平号能尽可能扩大它的能力,以便为国外提供空间科学服务,提高它的经济效益。在和平号空间站主体研制的同时,苏联还研制了将来与和平号正式对接的科学实验舱。在“礼炮”6号和7号运行期间,这些实验舱先后发射升空与空间站对接,执行了试验和运送科学器材的双重任务,同时也为“和平号”的设计提供改进依据。

1981年4月25日午夜,苏联发射了第一个用于“和平”号的实验舱“宇宙1267”。它进入了一条同“礼炮”6号相似的轨道,然后进行了一系列轨道机动,轨道由193千米 \times 260千米变为264千米 \times 286千米。5月24日,它释放了一个回收舱。此后又经过20多天的飞行试验,它开始逐渐向“礼炮”6号靠拢,并于6月19日与之对接。苏联在6月21日对这次对接作了报道,并称之为“新的星舱”。“星舱”是一个外形很像军用型“礼炮”空间站的大型实验舱,总长约13米,总重近20吨。它带有一个重约5吨的回收舱和主发动机,未装科学仪器。在完成了验证任务后,它与“礼炮”6号一道坠毁。

1983年3月2日,苏联又发射了第二个实验舱“宇宙1443号”。苏联当时公布说:“宇宙1443号类似于人造地球卫星宇宙1267号的设计,”“目的是用于试验卫星上的各种系统和结构,包括与礼炮7号联合飞行。”由此看出它可能继续进行“宇宙1267号”的任务。

1985年7月19日,苏联发射了一个新的实验舱“宇宙1669号”。苏联称之为“支援卫星”,“类似于进步系列飞船”。它的任务可能与“和平”号没有直接关系,但很可能是用于改进“进步”号飞船以适应“和平”号的需要。在“礼炮”7号空间站对接并联合飞行35天后,它与“礼炮”7号分离并坠毁。9月31日,苏联发射了大型新实验舱“宇宙1686号”,10月2日与“礼炮”7号对接。苏联报道说:“携带的货物数量……大致与‘进步’号相当,包括推进剂、食物、气体发生器、新的科学仪器和零部件。”“宇宙1686号”是为“和平”号研制的实验舱,总重20吨。它不带太阳能电池板,也没有回收舱。它的显著特点是头尾各有一个对接口,在与“礼炮”7号对接的同时,还能对接一艘飞船。在与“礼炮”7号对接后,“宇宙1686号”一直没有分离,直到1991年一同坠毁。

在此时期,苏联还对“联盟T号”飞船进行了改进,新的飞船命名为“联盟TM”。“联盟TM”飞船的外形变化不大,但运送载荷能力有所提高。“联盟TM”的另两项重大改进是装有新型天线,可以和数据中继卫星联络。此外飞船上还装有新型对接系统,它可与“和平”号上选定的停靠口的轴线对准,而“和平”号本身在对接时不必作机动。“进步”号货运飞船也作了一些改进,发展成“进步M”飞船。它的重量增加到7.2吨,能向轨道运送2.7吨物资,它担负

的任务还有将空间站推向新的轨道。因此它只能对接在“和平”号纵轴部尾部的窗口上。

“和平号”空间站的主体仍然是一个舱段式结构。它的总长 13.13 米,最大直径 4.2 米,总重量 20.4 吨。它由 4 个基本部分组成:球形增压转移舱,直径 2.2 米,上面装 5 个直径均为 0.8 米的对接窗口,径向 1 个,侧部对称 4 个;增压工作舱,这是空间站的主体,总长为 7.67 米,两个柱形段的直径分别为 2.9 米和 4.2 米;不增压服务-动力舱,位于空间站尾部,长 2.26 米,直径 4.2 米。除装有主发动机和推进剂外,还装有天线、探照灯、无线电通信天线等;增压转移对接器,它长 1.67 米,直径 2 米,位于服务-动力舱中央,提供第 6 个对接通道。

与“礼炮号”空间站相比,“和平号”空间站的改进十分明显。第一,对接窗口由 2 个增加到 6 个,从而大大提高了空间站的工作能力。第二,首次使用了大面积砷化镓高效太阳能电池,包括 3 个太阳能电池板,总面积 98 平方米,能提供电能 10.1 千瓦。第三,站上装有 8 台计算机,它们控制各种系统和装置的工作,控制空间站的姿态和轨道,为宇航员提供各种显示数据,设备自动化程度很高。第四,“和平号”空间站上装有遥控机械臂,它有效地解决了实验舱难以在侧向停泊对接口归位的问题。第五,空间站主体内基本上不装科学设备,主要安装控制台、生活保障系统、身体锻炼设施、生活用品和休息室。第六,“和平号”空间站一开始就能与“宇宙 1700 号”数据通信卫星通信,使空间站每绕地球一周,可与地面通信 40 分钟,比“礼炮”号长得多。在东经 95°、西经 16°和 160°处 3 颗数据中继卫星发射后,“和平”号空间站已能实现与地面进行实时通信。第七,由于采用了积木结构,“和平”号空间站可以和 5 个大型专业实验舱对接,因而实验的规模和范围可以搞得很大,灵活性大大提高,整个空间站装置就位后,可为 2 到 6 名宇航员提供 400 立方米的有效空间,可以提供 30~36 千瓦的电力。这些与“礼炮”7 号相比跃上了一个新的台阶。

经过 10 年的概念讨论、设计、论证、组件发射试验、制造,到 1986 年“礼炮”7 号即将完成使命之际,新一代“和平”号的研制工作完成了。1986 年 2 月 20 日凌晨,一枚三级“质子”号运载火箭将“和平”号空间站主体发射升空,进入一条与“礼炮 7 - 宇宙 1686”复合体相似的轨道。苏联通过电视向全世界现场直播了这一壮丽的实况。苏联还公布了这个空间站设计方面的特点,并说它“……只是未来多用途、永久性载人复合体的一个基本舱段。这个舱段同专用轨道舱组合后,将用于科学和国民经济目的。”“和平”号的发射,标志着在近地轨道建造的第一个组合式空间站的开端,它的历史意义是十分重大的。经过 4 天的监视和控制,和平号多次机动并进入一条 324 千米×352 千米,倾角为 51.6°的轨道。

在 25 天的地面测控并且显示一切正常之后,1986 年 3 月 13 日,苏联发射了“联盟 T - 15”飞船。宇航员基齐姆和索洛维耶夫驾驶飞船于 15 日同和平号对接,并成为新空间站的第一批乘员。他们的主要任务是对空间站进行全面检查。3 月 19 日“进步”25 号飞船送来了生活给养。3 月 29 日,他们首次使用“宇宙 1700”中继卫星与地面进行了通信。宇航员进行的其他工作还有:安装科学仪器、检验各个对接口、对地观察。5 月 5 日,两位宇航员乘“联盟 T - 15”离开“和平”号,作轨道机动并于“礼炮 7 - 宇宙 1686 复合体”对接,完成了第一次空间转移飞行。6 月 26 日,他们乘“联盟 T - 15”再次返回“和平”号,并带来了“礼炮”7 号的 20 件仪器。

在完成仪器的安装任务并进行了计算机信息系统实验后,他们于7月16日返回地面。5月22日,试验型“联盟 TM-1”号飞船不载人发射,利用新的交会系统于5月23日顺利与“和平”号对接,检验了新的“联盟”号载人飞船的设计性能。

1987年2月5日,“联盟 TM-2”发射,两名宇航员是罗曼年科和拉维金。这次飞行的时间计划为10个月以上。除继续进行空间站全面检查外,还要进行生物医学实验、太空行走。另一项重要任务是,如果一切正常,他们将迎接第一个实验舱的到来并将它对接在预定位置上。3月3日,“进步”28号向“和平”号送去了许多大型仪器,包括广角地球物理观测设备、太空加工设备等。1987年3月31日,苏联用“质子”运载火箭发射了第一个实验舱——“量子”1号,开始了“和平”号积木空间站的正式组装工作。

“量子”专业实验舱共有5个。“量子”1号又称天文物理舱,它长5.8米,呈柱形,总重约20.5吨。“量子”1号有头尾两个对接口,前部与“和平”号空间站的尾部对接,后部可与“进步”号飞船对接。它由天文观测舱和服务推进舱组成,装有1.5吨科学仪器和2.5吨各种设备。内部装的科学仪器包括伦琴 X 射线观测台、紫外线天文望远镜和生物技术实验设备。参与这些设备研制有英国、荷兰、西德、欧空局和瑞士。

“量子”2号专业舱又称服务舱,长13.7米,总重约19.5吨。它的外面装着两个太阳能电池帆板,面积为53.2平方米。主推进系统发动机有两个喷管,单台推力3.9千牛,四个推进剂储箱均装在舱外。它的内部也有6个起稳定作用的动量陀螺,头部还有一个闸门舱,用于宇航员进行舱外活动。“量子”2号安装的科学仪器包括电视光谱综合装置、X 射线测量仪、自动旋转平台、西格马光谱综合装置、伽马-2 视频分光计和偏光计系统等。“量子”2号专门用于天文观测和对地观测,有效载荷总重10.7吨。

“量子”3号又名“晶体舱”。它长12.5米,总重约19.5吨,可带有效载荷10.6吨,内部有效容积60立方米。它有两个对接窗口,一个与“和平”号空间站对接,另一个可与“暴风雪”航天飞机对接。“量子”3号主要目的是微重力环境的材料生产,因此装有两个先进的微波熔炉。另外,它上面还装有紫外线、伽玛射线和 X 射线探测仪。

“量子”4号又名“光学舱”。它长约12.5米,总重19.5吨,可装10.6吨载荷并能提供60立方米的有效容积。“量子”4号主要用于远距离探测、高层大气物理研究和天体物理研究,上面装备的科学设备主要是各种谱段的望远镜和照相机。

“量子”5号又名“自然舱”或“生态舱”。它长12.5米,总重约19.5吨,可带有效载荷10.5吨。“量子”5号主要用于生态学研究,备有国际合作的测量仪器。这些仪器包括雷达、光学雷达、光谱仪、无线电高度表和射频频仪。它上面的专门仪器还能截获放置在原子能发电站附近和地震区域内的信标发出的报警信号。

“量子”1号发射后于4月12日同“和平”号硬对接成功。“量子”1号投入使用后完成了许多观测任务,头两年就进行了500多次天文观测,拍摄了上千张星空照片。它还第一次记录到著名的大麦哲伦星云中的 X 射线源。

4月21日,“进步”29号飞船发射并于23日同复合体对接,从而在航天史上首次出现了

四个大型航天器对接在一起的飞行器：“和平”——“联盟”TM2——“量子”1号——“进步”29号。7月22日，“联盟”TM-3号飞船发射入轨。宇航员是维克托连科、亚历山大罗夫和叙利亚人穆罕默德·法里斯。7月30日，维克托连科等人乘“联盟”TM-2号返回地面，罗曼年科和亚历山大罗夫继续留在站上工作。

1987年12月21日，“联盟”TM-4号飞船载宇航员季托夫、马纳罗夫和列夫钦科进入太空并于23日与“和平”号对接。5名宇航员共同在站内生活了7天，进行了一些科学研究活动。12月29日，罗曼年科、亚历山大罗夫和列夫钦科乘“联盟”TM-4飞船返回地面。在这一阶段的飞行中，罗曼年科创造了在太空工作和生活326天的新纪录。季托夫和马纳罗夫则留在“和平”号上。他们两人一直到1988年12月21日才返回地面，把在太空中生活和工作的时间纪录一下子提高到366天，其中在“和平”号上逗留364天，又创新的纪录。

1989年载人飞船只发射了一艘。9月6日“联盟”TM-8号载维克多连科和谢列布罗夫进入太空并于9月8日与“和平”号对接。这次飞行所不同的是带去了载人太空机动装置，像背包附在身后。它重220千克，有32个推力喷管，运行速度每秒30米。宇航员利用这个装置可在太空机动飞行6小时，可运送100千克重的物品并能救援在太空遇险的受难者。对“和平”号空间站，1989年的另一件重大事件是“量子”2号发射。11月26日，“量子”2号由“质子”火箭送入轨道。在与“量子”1号对接后，宇航员通过机械臂把它移到预定的侧向对接口归位。12月20日发射“进步”M-2飞船并于12月22日与“和平”号对接后，又在太空中构造出第一个由5个航天器组成的轨道复合体：“和平”——“量子”1——“量子”2——“联盟”TM8——“进步”M-2。这个复合体总长约32米，总重已达75吨。

1990年2月11日，“联盟”TM-9发射升空，两天后与“和平”号对接。5月31日“量子”3号专用舱发射，于6月10日与“和平”号对接。此后不久，又一个奇迹出现了。1990年8月1日，宇航员马纳科夫、斯特列卡洛夫乘“联盟”TM-10进入太空并于8月3日与“和平”号对接。这时“和平”号又组合成6个大型航天器组成的轨道复合体：“和平”——“量子”1——“量子”2——“量子”3——“联盟”TM9——“联盟”TM10，总重约达85吨。这个复合体联合飞行6天，到“联盟”TM9号8月9日返回为止。

1991年5月18日，“联盟”TM12发射升空。参与这次飞行的是阿尔采巴斯基和克里卡廖夫，还包括英国女科学家海伦·谢曼。这是以苏联名义进行的最后一次载人航天活动。苏联解体后，经过半个月的紧张筹措，“联盟”TM13号飞船载宇航员升空。

苏联的解体对原苏联航天计划的经费、组织、人事、管理以及协调都带来灾难性影响。按照“和平”号的设计构想和两年前的运行计划，“量子”4号“光学舱”和“量子”5号“自然舱”将分别于1991年底和1992年初发射。结果未能如愿。这两个舱的发射已推迟了多次。

1996年4月23日，“和平”号第5个实验舱——“自然舱”发射，并于3天后与“和平”号顺利对接，组装工作全部完成。完整的“和平”号空间站全长达87米，质量达123吨，有效容积470立方米。它作为世界上第一个长期载人空间站，自诞生之日起，共在轨道上运行了15年，大大超过了5年的设计寿命。它绕地球飞行8万多圈，行程35亿千米，进行了2.2万次科学

实验,完成了23项国际科学考察计划。共有31艘“联盟”号载人飞船、62艘“进步”号货运飞船与其实现对接,还9次与美国航天飞机对接和联合飞行。宇航员从这座“人造天宫”进行了78次太空行走,舱外活动的总时间达359小时12分钟。先后有28个长期考察组和16个短期考察组在上面从事考察活动,共有12个国家的135名宇航员在空间站上工作。宇航员在空间站上进行了大量生命科学实验、空间材料学和医学实验,取得极为宝贵的成果和数据。拍摄了许多恒星、行星的照片,进行了基本粒子和宇宙射线的探测,大大扩展了人类对宇宙的认识,还探索了从太空预报地震、火山爆发、水灾及其他自然灾害的可能性。

“和平”号空间站创下了多个世界第一:它是在太空工作时间最长、超期服役时间最长、工作效率最高、接待各国宇航员最多的太空站。俄罗斯宇航员波利亚科夫创造了单人连续在太空飞行438天的最高纪录。此外,“和平”号空间站还在试验人造月亮、空间商业化等方面进行许多有益的探索,获得了大量数据及具有重大实用价值的成果,为开发利用太空和人类在太空长期生活积累了丰富的经验。

苏联通过建造和运行空间站取得了巨大成就,特别是“和平”号运行的15年时间更是成果辉煌。在医学领域,研究了在太空使用的药物处方、宇航员飞行后的体力恢复方法。在生物学领域,研究了蛋白质晶体生长、高效蛋白质精制、特殊细胞分离、特种药品制备等。在材料和空间加工领域,进行了600多种材料实验,制造了半导体、玻璃、合金等35种材料。在对地观测方面,发现了10个地点可能有稀有金属矿藏,117个地点可能有油脉存在。在天文观测方面也做出了许多重大发现。此外,还开发了大量空间新技术。

“和平”号空间站在运行过程中积累了丰富的经验。苏联宇航员多次出舱修理站体或飞船、安装大型太阳能电池板、回收实验装置、演习太空救援等,创造了一个又一个作业奇迹。经过长时间的经验和改进,苏联的“联盟”系列飞船、“进步”系列飞船和“质子”号、“联盟”号运载火箭的性能、可靠性和安全性已相当完善。苏联运用这些工具已具备了例行出入轨道、进站工作、运送给养的能力。难能可贵的是,从1971年至今,苏联(俄罗斯)再也没有发生一起宇航员死亡事故,无论是火箭发射失败,还是与空间站对接失败,甚至飞船出现故障,宇航员都能安全脱险。这样的伟大成就令美国人感到自叹不如。

近几年,“和平”号一直在与自己的工作寿命相抗争。空间站的中央计算机已老化到了必须完全更换的地步。蓄电池在新千年到来之际的一个月内,先后两次异常放电,分别导致“和平”号与地面短暂失去联系和空间站局部停电。1997年6月发生的货运飞船撞穿“和平”号“光谱舱”的事故,不但使该舱被迫关闭,而且给空间站的外壳留下了难以修复的伤痕,站内气压曾三次下降。而15年来的宇宙陨石微粒撞击和空间站内部化学物品的腐蚀,已使“和平”号外壳70%的外体遭到腐蚀,坚固性下降了约60%。据统计,15年来“和平”号共发生了约1500次故障,其中近100处故障一直未能排除。“和平”号用遍体鳞伤来形容毫不过分,它日渐显露出工作寿命即将终结的迹象,再无回天之力。2001年1月5日,俄政府总理卡西亚诺夫签署了结束“和平”号空间站工作的政府命令,准备结束它辉煌的历史使命。

2001年3月20日,“和平”号空间站飞过了距地220千米的太空轨道。俄罗斯地面飞行

控制中心的专家在对“和平”号的轨道参数、飞行姿态等信息进行综合分析之后,接连发出了两个制动信号,启动了与“和平”号对接的“进步”MI-5号货运飞船的发动机。在发动机的反推制动下,“和平”号的飞行速度陡然下降,巨大的空间站开始快速向下飘落,并逐渐进入了预定的坠落轨道。在“和平”号绕地球飞行的最后两圈内,地面专家发出了最后一个制动信号。刹那间,重达137吨的庞然大物脱离地球轨道,向着南太平洋轰然坠落……这便是俄罗斯航天专家为“和平”号精心设计的大结局。

地球是人类的摇篮,但人类不能总生活在摇篮里。建立永久性太空城、重返月球、登临火星已成为人类美好而切合实际的理想。而“和平”号正是人类实现上述理想过程中的一个里程碑。人类在“和平”号计划中所掌握的太空舱建造、发射、对接技术,载人航天及太空行走技术,太空生命保障技术,航天医学、生物工程学、天体物理学、天文学知识,以及商业航天开发经验,都正在或将在国际空间站计划及未来的太空城和月球、火星基地规划中发挥不可替代的作用。“和平”号已经大大地超额完成了任务,它的光辉业绩将永载史册。

第4节 国际空间站的建设

70年代以后,无论是苏联还是美国,都把空间科学与应用作为航天发展的基本政策。美国宇航局一直没有停止大型空间站的概念研究。1975年,马歇尔航天中心与麦克唐纳·道格拉斯公司签订了一项载人轨道系统研究的合同。这项合同要求利用前一阶段的研究成果,既应当是天空实验室的进一步发展,同时强调它能支持更大的空间商业和操作活动。载人轨道系统的研究目标是在航天飞机/空间实验室的能力之外,确定未来载人航天计划的要求,支持更大的太空活动。这种轨道系统能够定期支持90天以上的载人活动,并可由航天飞机进行例行的访问。从70年代到80年代,美国宇航局研制未来空间站的指导思想是建造一座大型、多功能的空间研究和加工基地,因此规模十分庞大。当1981年美国航天飞机投入运行后,宇航局对这种空间站的设计和建造更加雄心勃勃。航天飞机虽然能完成运载火箭的某些任务特别是近地发射任务,但如果仅限于发射卫星的话,它的作用便太小了。作为能进行天地往返运输,能重复使用,能载人的新一代运输工具,要发挥它的最大潜能必须建立近地轨道空间站。这两项空间设施的协同配合,就意味着太空工业和商业化时代拉开了序幕。

1982年7月,美国总统里根颁布了一项新的国家航天政策。与以往的航天政策相比,新政策的侧重点在于航天发展的科学和经济效益,鼓励私人投资和促进国际合作。里根的航天政策还特别谈到了航天飞机,指出:“航天飞机是美国太空计划未来发展的主要因素,它能促进国家安全和民用航天计划的进一步合作,以保证充分而有效地利用国家资源。”“航天运输系统是美国航天计划的关键因素,”它“提供了完全适用的、低成本地例行进入空间的能力”,“美国政府的航天器应当按照发挥航天运输系统独特能力的最大效益的原则设计。”

在以往的研究基础上以及新的航天政策指导下,1982年宇航局局长贝格斯成立了由宇航

局权威人士组成的空间站任务组。它下设 4 个小组:任务要求工作小组,负责规划研究未来空间科学和应用对空间站的要求;系统工作小组,负责分析空间站的特点、具体任务、操作以及转换方面的问题;计划制定小组,负责研究空间站的研制和管理;概念发展小组,对空间站成本及工程发展进行分析,以争取得到批准并研究各分系统的协调一致问题。

经过一段时间的广泛研究,空间站任务组规划了未来空间站的三大基本功能:

1. 作为轨道中转站,把航天运输系统发射的低轨道载荷进一步送入其他各种轨道,从而可以大大提高载荷的发射能力;
2. 作为轨道服务设施,对各种航天器进行在轨修理、改进,以提高航天器的寿命和工作能力;
3. 作为轨道生产设施,在轨道进行材料、药品等各种贵重物品的加工,实现空间工业化和商业化。

这些基本功能要求空间站具有逐步扩大的能力。空间站概念发展小组对空间站的组成作了初步规划。它应当是由一系列航天器组成的近地轨道系统。这些分系统分布在近地轨道、极轨道和同步轨道上,包括载人、不载人、空间站主体、空间平台等。在分系统之间,还有轨道转移运载器、轨道运输运载器。

1983 年到 1984 年初,空间站任务组对空间站初期工程的基本组成作了规划。它包括一个位于 28.5° 轨道平面的空间站主体,可载 6~8 人,电能供应 75 千瓦。这个主体装有一个应用舱、一至二个实验室、两个服务舱、一个生活舱和一个多用对接舱,一个中继卫星。此外还包括一个极轨平台和一个共轨平台。

这些工作使永久空间站初现端倪,构成宇航局呈送白宫报告的基础。1984 年 1 月 25 日,美国总统里根在国情咨文中正式提出美国将在未来 10 年内发展永久空间站。他说:“只要我们愿意,美国总是最伟大的国家。我们能够再次证明这一点。我们可以实现到达遥远的星球,为了和平、科学和经济的利益实现在太空中生产和工作的理想。今晚,我命令国家宇航局,在 10 年之内发展永久性载人空间站。空间站的建立,将使我们的科学研究、通信、金属冶炼以及只有在太空才能生产的救生药品的发展发生更大的飞跃。”1985 年 2 月 6 日,里根总统重申了美国政府对发展永久空间站的态度。他说:“我们已经目睹了航天飞机的成功。现在,我们正着手发展永久性载人空间站。对自由企业来说,这是一个很好的机会,因为在未来的 10 年里,美国人和遍布于世界各地的朋友将一起在太空生活和工作。”

永久空间站计划正式制定后,美国国会不久也予以批准。整个 1984 年,宇航局仍在忙于空间站的规划和提出研制指导思想。这个综合性的空间站在设计、布局、结构及性能诸方面应遵循以下原则:1. 空间定向的灵活性;2. 低阻力和不平衡力矩;3. 各个发展阶段的可控能力;4. 建造、操作和发展都比较方便;5. 足够的结构强度;6. 对日观察和操作方面的考虑;7. 辐射测量因素和操作方面的考虑;8. 天线位置的视觉因素和操作方面的考虑;9. 航天飞机服务、用户载荷和操作的适应能力;10. 低发展和操作成本;11. 每一阶段载荷和操作的适应性;12. 各舱室和空间平台和相互间的通用性;13. 方便的维护和服务;14. 宇航员的安全性和构件的可靠性;15.

宇航员训练和活动区域的适应性 ;16. 推进和姿态控制系统的简单性 ;17. 对接口的简单性和通用性 ;18. 最佳技术选择。

经过重新规划,永久空间站的应用更加具体化。它应当具有如下应用潜力:1. 一个用于开发新技术和空间商品,以及进行科学研究的太空实验室;2. 一个地球和宇宙空间的永久性观察站;3. 一个对有效载荷和航天器进行补给、维修、改进、必要时修理的服务设施;4. 一个可供有效载荷和航天器停泊、作临时处理和再次发射的太空港;5. 一个拥有充裕时间工作并配备有合适设备的空间装配设施,可安装和检验大型构件;6. 一个依靠空间站人和服务设施,提供空间商品生产的制造厂;7. 一个有效载荷和零部件的轨道仓库;8. 一个未来的空间探索基地。

按照最初的设想,美国永久性空间站第一期的主体结构是一个巨大的十字形构架,总长120米,宽约78米。横梁的两端装有8块巨大的矩形太阳能电池板,总面积达1766平方米,它能为空间站提供75千瓦的电能。纵梁上下端各有一组供各种舱室连接的机构和大型天线。这就是所谓的动力塔式结构。空间站可对接6个专业舱,其中一个应用舱、两个实验室、一个服务舱和两个生活舱。计划发射工作于1992年开始,用航天飞机向500千米高28.5°倾角的轨道上发射空间站的基本构件,预计运送和装配第一期工程的空间站需7次飞行。随着任务的扩大,空间站可以进一步扩大规模。美国曾计划在90年代末将后期型空间站扩充完毕。届时,这种永久性空间站的总长度将达到1640米,最大宽度1220米。它的电源系统改用8个直径为200米的抛物面太阳能电池板,可产生300千瓦电能。最终的空间站专业舱由6个增加到11个,包括1个应用舱、3个实验室、1个服务舱和6个生活舱,可容纳18名宇航员进站工作。除空间站主体外,整个轨道设施还包括轨道机动飞行器、轨道运输飞行器、各种高度的自由飞卫星、多个不同轨道的多用途空间平台。

美国认识到未来的永久性空间站由于其规模、耗资和时间非一国所能胜任,所以从开始就考虑到国际合作问题。里根总统在任期间多次强调美国宇航局将邀请各国同行合作。1982~1983年间,美国宇航局曾邀请西欧、加拿大和日本进行共同的分析研究工作。1985年,欧洲空间局召开的罗马会议表示愿意参加美国的空间站计划。除计划国际合作外,美国还计划极大地鼓励私人投资,以避免过去只有政府投资的局面。

1985年4月,宇航局同竞争的宇航公司签订了8项B阶段的研究合同(确定与初步设计)。这一阶段的主要任务是进一步改进结构设计、提出分系统设计、确定关键技术,同时开始了高技术的研究工作。1986年1月“挑战者”号失事,使宇航局认识到自由号空间站必须根据航天飞机的实际发射能力进行修改。1986年9月,关键技术评价工作组对空间站的部件进行了评审,修改了结构方案。1987年又增加了三次详细评审,同时对航天飞机用于运输、组装和补给问题进行了研究评审。

由于种种原因,B阶段研究经过了21个月的漫长时间,最初确定的空间站基本结构是双龙骨形,即一个矩形龙骨框中间穿越纵梁,类似一个“中”字:龙骨长109.7米,宽44.5米,纵梁长153.3米。之所以选这种结构是因为龙骨结构能提供更多的位置对接专用舱,而且能提供更好的微重环境。各舱比较集中便于操作。但由于耗资多,预算连年削减。1987年底,宇

航局把双龙骨布局作为第二期工程,而第一期工程的空间站只是单一的纵梁,它长 110 米,两端的 4 组太阳电池可提供 75 千瓦电能,对接的舱段可容纳 8 名宇航员。6 个专业舱和空间平台的配制仍然保留。这样从 1995 年 3 月开始发射,可在两年内实现有人照料。

但是,美国永久空间站在与西欧和日本谈判合作问题时遇到重重困难。由于多方想法不同,8 次草签合作协议均未有成果。美国希望盟友只参与几个专业舱的研制,而欧空局和日本则希望参加包括空间平台在内的项目;美国希望空间站构件由航天飞机发射,而欧空局和日本提出应当使用“阿丽亚娜”5 火箭和“希望号”航天飞机;美国主张空间站既用于民用,也服务于军事,而别的国家则希望只用于和平目的。此外,在投资、计划、管理方面,双方也存在分歧。1987 年 11 月 17 日欧空局召开的会议统一了口径,并向里根总统提出了作为“最低限度的要求”,美国应同意下述四项条件:1. 参考“和平”号空间站;2. 属于欧空局的范围则完全由欧空局负责;3. 建立解决争端的制度;4. 建立适用的法律机构。

经过两年多的走马灯式谈判,美国与加拿大、欧空局和日本的国际空间站谈判终于在 1988 年 7 月上旬结束。最终谈判结果是:美国将提供空间站的总构架和工作分系统,包括生命保障系统、75 千瓦电能、实验舱和生活舱,还提供一个不载人极轨平台。加拿大将制造一个移动服务系统,用于空间站各分系统的组装、维修和服务。日本将提供一个长期同空间站连接在一起的增压实验舱。欧洲空间局提供一个增压实验舱、一个不载人极轨平台和一个载人的共轨平台。美国发展空间站硬件的费用约为 160 亿美元,欧空局承担 42 亿美元,日本承担 20 亿美元,加拿大承担 10 亿美元。9 月 29 日,四方代表再度签署有关空间站的协议,规定了有关空间站使用权、资源分配、经费、乘员、经营机构、地面管制中心、有效载荷运用中心、事故赔偿责任、意见决定方式等方面的必要条款。

1989 年确定的自由号空间站第一期工程的基本性能数据为:专业舱 4 个,对接口 20 个,增压舱容积 890 立方米,空间站总重 160 吨,提供电能 75 千瓦,乘员 8 人,环境控制为闭环式,乘员居留时间 90 天。各分系统的参数为:生活舱 20 吨,美国实验舱 31.5 吨,欧洲实验舱 23 吨,日本实验舱 20.8 吨,4 个资源舱 18.7 吨,标准气闸舱 2 吨,高压气闸舱 2.8 吨。

自由号空间站计划在美国既有许多坚定的支持者,又有许多反对者。这就使得空间站在过去的几年内飘乎不定。经费得不到满足,国会内部意见不一,甚至宇航局内有的高层官员也对它失去了信心,有的建议取消空间站计划。这就迫使宇航局不得不按国会的要求不断简化空间站的设计,缩小其规模。1991 年上半年,美国众议院拨款委员会提出取消空间站计划,使自由号空间站面临一次重大危机。由于布什总统持坚决支持态度,他本人甚至要动用否决权。经过参众两院激烈辩论,国会才通过了按原计划在 1992 年拨款 20 亿美元发展空间站。

在此情况下,自由号空间站再一次进行了较大的改动,形成了所谓单龙骨式结构。原计划由 4 组太阳电池提供电力,现已改为 3 组,提供的电能经两次降低,只有 30 千瓦;美国的生活舱和实验舱的体积减小,由 12 米改为 8 米长;乘员由 8 名改为 4 名;某些构件原在轨装配,现改为装配好后才发射;有效载荷在地面装入实验舱后一次发射入轨。经过这样的修改,原计划共需要 29 架次航天飞机发射才能达到永久载人能力,现只需要 17 次发射即可达到目的。

克林顿总统上台后,对美国航天计划进行了许多重大调整。他虽然表示继续支持自由号空间站计划,但要求进一步缩小其规模,压缩研制成本。宇航局所属各中心在1993年对空间站进行了全面审查,寻求廉价方案。到4月,提出了三种备选方案:A方案即缩小的单龙骨架结构,需耗资50亿美元,航天飞机飞行12次即可完成发射及组装工作;B方案即核心站方案,新研制一个大型压力舱,发射升空后再逐步对接欧洲舱和日本舱,经费约在70亿美元;C方案,保持原来设计,但取消居住舱,航天飞机飞行8次即可建成。克林顿于6月选定了A方案。但到了8月,该方案又被否决。于是宇航局于11月提出了名为“阿尔法”的修改方案,它实际上是将“自由”号与俄罗斯“和平”2号结合在一起,构成了一座全球空间站。它包括:一根主桁架;“和平”2号核心舱;“礼炮”号拖船;美国实验舱;美国居住舱;欧洲增压舱;日本实验舱;加拿大空间移动服务中心;太阳热动力发射装置和空间散热器等。计划这座全球空间站1997年达到可以接纳宇航员进站工作的程度,2001年全部建成,实现长期载人运行。整个发射工作需要12次“质子”火箭飞行,19次航天飞机飞行。

1993年夏美俄就联合建造空间站问题进行了频繁接触,商讨,于9月2日签署了两国共同发展国际空间站联合声明,形成了上面提到的总体设想。美国宇航局于11月公布了这个“新”方案,这是9年中第8次修改设计。

国际空间站由美国、俄罗斯、欧空局、日本共同建造,巴西也将为国际空间站提供一系列小型硬件设备。国际空间站的主要组成部分包括:俄罗斯建造的“曙光”号功能货舱,它是国际空间站的第一部分,包括推进、指挥以及控制系统;美国制造的“团结号”连接舱,这是第一个由美国建造的舱段,该部分是国际空间站上负责联接6个舱体的主要连接舱;俄罗斯制造的“星辰”服务舱,包括为第一批定居于国际空间站内的宇航员提供的居住舱、电力控制和维生系统设备舱,该服务舱包括3个压缩隔间和14个窗户;欧空局制造的哥伦布轨道设备舱,它是国际空间站上的一个实验室,它还将为国际空间站宇航员提供被称为自动迁移飞行器的往返工具;加拿大研制的机器臂,长17米,被称为移动服务系统,主要担负组装及维护职责,而且还可以提升重达100吨的巨型货物;日本实验舱,日本宇宙事业开发团研制,主要用途是为国际空间站提供一个实验室以及一个可以进行10次实验的外部平台;小型硬件设备,共包括6种,主要用于为国际空间站运输物资;由巴西国家航天局制造;微型增压后勤供应舱,由意大利空间局为国际空间站研制。

1998年11月20日,俄罗斯在拜科努尔航天发射场用一枚质子号重型运载火箭,成功地把国际空间站的第一个组件“曙光”舱送上了太空。曙光号首先被送入一条354千米×185千米、倾角51.6度的初始轨道。入轨后,它的天线和太阳能帆板即正常展开。12月4日,美国奋进号航天飞机又把节点舱“团结”号送入轨道,并对接到“曙光”舱上。宇航员于12月10日首次进入新站,在站内安放了通讯设备和备用服装等器材。1999年5月27日,航天飞机发现号执行“STS-96”任务,为空间站输送2吨补给品,完成太空行走任务,继续安装外部太阳能电池板。5月29日,发现号与国际空间站顺利对接,为空间站运去了电脑、工具、衣服和饮用水等物资。2000年5月21日,“阿特兰蒂斯”号航天飞机与国际空间站实现对接,为空间站送

去约一吨重的货物,其中包括“曙光”舱上使用的蓄电池。2000年7月12日,俄罗斯成功发射了国际空间站服务舱“星辰”号,并与空间站联合体顺利对接。该舱使空间站能够接待长期宇航考察组,加快了整个工程的建设。这个舱段是空间站的重要组件,是一个生活起居室,为宇航员提供的居住舱、电力控制和生保系统,并为进步号货运飞船提供对接口,为空间站提供姿态控制推进剂。2000年8月9日,俄货运飞船“进步 M1-3”与国际空间站对接,带去了2.4吨设备和货物。2000年9月8日上午8时航天飞机“亚特兰蒂斯”号发射,10日下午1时与空间站对接,为空间站带去3吨补给品,包括衣物、笔记本电脑、真空吸尘器、医疗和训练设备,以便为国际空间站迎来第一批“居民”做好后勤准备。9月12日,宇航员通过6小时太空行走为国际空间站安装了电缆等设备。2000年10月11日,发现号航天飞机执行“STS-92”号任务,也是航天飞机总第100次飞行,主要任务是安装 Z1 桁架结构,并为团结舱安装第三个增压适配器。宇航员通过4次太空行走,为空间站安装了一个对接舱门和一个用于安置陀螺仪和太阳能电池板的构架。

2000年10月31日,美俄3名宇航员搭乘“联盟 TM-31”号飞船从拜科努尔航天发射场升空,飞向国际空间站,他们是国际空间站的首批长期住户。美国宇航员威廉·谢泼德,俄罗斯宇航员尤里·吉德津科和谢尔盖·克里卡廖夫,其中谢泼德是站上指令长,吉德津科是飞船的飞行指令长兼驾驶员,克里卡廖夫是随船工程师。11月2日,他们正式进驻国际空间站,标志着国际空间站开始进入有人照料阶段。这是国际空间站建造的一个里程碑式的重要事件。2000年11月16日,俄罗斯成功地发射了一枚“联盟-Y”型运载火箭,把向国际空间站运送给养的进步 M1-4 号货运飞船送入轨道。2000年11月30日,航天飞机奋进号执行 STS-97 任务,为空间站安装了大型太阳能电池板。造价六亿美元的翅膀完全展开后,每副长达73米,比奋进号的翼展长出一倍,它可以提供足够电力。太阳能电池是航天飞机搭载过的重量最大、体积最大、构造也最复杂的国际空间站组件。

2001年2月14日,航天飞机“亚特兰蒂斯”号执行“STS-98”任务,进行了一次太空营救演习的假设预演。其间,两名宇航员为国际空间站安装了几件设备,包括一个价值14亿美元的实验舱。宇航员还从“亚特兰蒂斯”号的货舱里取下了一个盘状天线安装在国际空间站外部,作为国际空间站的备用天线。2001年3月8日,航天飞机发现号执行“STS-102”任务,运送安装了“命运”号实验室,意大利制造的“列奥纳多”号多功能服务舱,安装5吨仪器设备。3月9日航天飞机与空间站对接后,第二批宇航员正式进驻国际空间站。他们是指令长俄罗斯宇航员乌萨乔夫、美国女宇航员赫尔斯和男宇航员沃斯。截止到2001年8月1日,他们已经在站上工作了145天。“发现”号于3月18日离开空间站独立飞行,第一批驻站宇航员也结束了他们的工作使命,于3月21日乘“发现”号返回地面。他们的太空飞行时间为138天17小时39分。

2001年4月19日,“奋进”号执行“STS-103”任务,这次航天飞机飞行的主要任务是为空间站安装一个加拿大研制的机械臂。对接后,“奋进”号宇航员与国际空间站上的第二批长住居民将先利用空间站外的一个太空舱交换工具和其他物资。随奋进号升空的还有意大利研制

的“拉法埃洛”后勤舱,它携带了空间站需要的物资和实验器材。2001年4月28日,俄罗斯联盟号飞船发射,载有第一位太空游客蒂托。他被称作航天史上第一位真正的太空游客,产生了极大的影响。他在空间站上停留了8天后,于5月5日返回地面。

2001年5月19日,航天飞机“亚特兰蒂斯”号执行“STS-101”任务,完成了空间站舱段的改进工作,包括采用研制的计算机显示屏玻璃舱盖,安装了太空居住舱。2001年7月12日,航天飞机“亚特兰蒂斯”号执行“STS-104”任务,为空间站组装了联合气闸舱,它能适应美苏两种宇航服。此次任务还安装了高压气体组件,为舱外活动和服务舱提供气体。2001年8月10日,航天飞机“发现”号执行“STS-105”任务,为国际空间站送去了第三批长驻宇航员,他们是指令长库尔伯森、驾驶员弗拉吉米尔·德祖罗夫和空间站工程师米哈伊尔·图鲁林。12日,“发现”号顺利与空间站对接,三位长驻宇航员进入空间站。此次航天飞机除送去第三批乘员,接回第二批宇航员外,还送去了“列奥纳多”多功能服务舱。

目前,国际空间站运行在近地点379.7千米、远地点403.8千米的轨道上,绕地一圈用90分钟。截止到2003年12月,该站定于2005~2006年建成,届时它将由12个舱段组成,总质量达450吨左右,使用空间达1100立方米,平均运行高度为350千米(组装后升至460千米高的轨道),寿命15年。它将成为人类在太空中长期逗留的一个前哨,可用于试验新型能源、运输技术、自动化技术和下一代遥感器,推动流体力学、燃烧学、生命保障系统、反辐射危害等研究的开展,并对未来的太空探索产生重要影响。各国在国际空间站的建设和开发上的总支出约为1140亿美元,其中光建站就需要花600亿美元。

在组装过程中,美俄等国至少要进行43次太空飞行,以便把各种组件送入轨道,其中美国航天飞机要飞行34次,俄罗斯方面要进行9次飞行。美俄宇航员通过至少1800小时、144次太空行走才能将这些舱段和部件组装起来。在空间站初步运行期间,计划先后派51名宇航员进行17次长期考察。在今后15年内,总共将有45个长期机组到站上生活和工作。他们将开创载人航天的新时代。国际空间站也将成为夜空中最亮的物体之一,也是惟一可用肉眼看到的人造天体,是名副其实的明星。

国际空间站的建设标志着航天发展的一个新时期——航天技术应用化发展时期的开始。它的建成将对空间产品的商业化、空间科研的纵深化以及天地往来的例行化都具有重要意义。我们相信,国际空间站将大大推进新世纪航天技术与航天应用的发展。届时,航天技术对社会产生的影响将更加广泛而深远。

第十七章

美国航天飞机的发展



这是美国航天飞机发射的壮观景象。美国航天飞机自1972年开始研制,1981年首次完成轨道试飞。航天飞机总计飞行了113次。在航天飞机飞行的21年中,共有600多人次进入太空,发射的载荷总重量超过1360吨,在轨道总时间超过2.5年,带入轨道的载荷总数超过850个,发射的卫星和探测器60余个,回收的载荷20余个。它7次与和平号空间站对接;10余次同国际空间站对接;3次修理哈勃太空望远镜;完成了数百项无重力有关生命、植物、金属、材料方面的科学试验。绕地球飞行圈数超过1万圈,总航程超过5亿千米。

可重复使用的航天飞机是航天技术发展的新阶段,涉及到大量新技术,而且还必须有运载火箭和载人飞船的相关发展作为基础。到了20世纪70年代,这样的基础逐渐形成。这些基础包括:运载火箭技术开始发展成熟,载人航天的经验进一步丰富,对太空环境有了全面认识,基础理论和技术取得重大突破。另外,导致美国“航天飞机”计划产生的另一个关键因素是:航天发展不再是一场政治竞赛,美国越来越强调航天技术的经济和社会效益。

第1节 航天飞机计划的起源

20世纪60年代后期,在“阿波罗”计划已取得实质性进展之际,宇航局开始着手规划“阿波罗”后的美国航天计划。尽管当时提出过各种设想,但宇航局感到最现实的做法是发展大型载人空间站。这样就需要一种连接地面与空间站的运载工具。为了满足未来几十年的航天发射任务,这种运载工具应具有可重复使用、运载效益高、适应力强等特点。宇航局载人太空飞行中心在对前一阶段的研究成果进行分析后,向宇航局提出了研制航天飞机的设想。1968年2月28日,宇航局主管载人航天飞行的副局长乔治·谬勒在向美国国会太空委员会提交的报告中说,在未来几十年内,美国应大力发展航天飞机这种全新的航天运载工具。

1969年1月31日,宇航局分别与洛克希德公司、通用动力公司、麦克唐纳·道格拉斯公司、北美洛克韦尔公司签订了价值各为50万美元的合同,进行一种综合发射与再入运载工具的可行性研究。这就是美国航天飞机计划的A阶段,亦即可行性研究阶段。该阶段四个公司的研究结果构成了航天飞机设计的基础。1969年4月,宇航局成立了航天飞机任务小组。根据A阶段的进展情况,航天飞机任务小组开始把注意力集中到完全可重复使用的两级布局上。受此影响,上述四个公司到7月间开始围绕两级方案进行研究。

但这个时候,美国远未确定出“阿波罗”计划后的具体航天任务。为了对美国未来航天技术的发展方向做出规划,一直非常关心和支持航天事业的尼克松总统于1969年3月成立了高度权威性的太空任务小组。太空任务小组由副总统阿格纽全权负责,成员包括宇航局局长卡佩因、空军部长西曼斯(前宇航局副局长)和总统科学顾问杜布里奇;另外还设若干位观察员,他们是副国务卿约翰逊、原子能委员会主席希伯格和预算局局长麦约。这个小组的任务是指导制定“阿波罗”之后的航天计划,就有关政策的优先权帮助总统进行决策,对实施经费提出合乎实际的估计。

也许这些关键人物仍然沉浸在航天竞赛的气氛之中,或者准备乘“阿波罗”计划成功的东风,他们为美国未来航天计划提出了一个更加雄心勃勃的目标。1969年7月16日,也就是“阿波罗”11号飞船点火发射、踏上登月旅程的同一天,副总统阿格纽首次宣布了这个目标:“2000年前载人登上火星”。两个月后,太空任务小组向尼克松总统提交了一份正式报告——《阿波罗后航天计划》。这份报告的口气简直不亚于当年肯尼迪总统的阿波罗演讲:“太空任务小组在研究未来航天发展方向时,看到了‘阿波罗’11号的成功飞行所取得的许多重大成

就 我们把这些成就仅仅看作是 人类远期研究和利用太空的一个开始。”由于“看到对我们的太空研究持续增长的兴趣”，“看到在载人飞行计划中宇航员们做出的出色工作”，“认识到在计划管理、科学家、工程师和工人这些重要的国家资源上所具有的能力”，“认识到国家优先权方面的重要性”，因此美国应当保持载人航天的活力，并由此制定未来的计划目标。

尽管这份报告也指出应当重视航天应用方面的工作，包括地球资源、通信、导航、科学、技术与航天器等，但报告的中心却偏重于新的载人航天计划。报告指出：“在这个领域主要关心的问题是载人火星任务。我们相信，宇航局已经显示出组织能力和技术基础，加之‘阿波罗’计划的成功和其他成就，完全能够实现在 15 年内成功地把人送上火星的任务。”“作为发展各种新能力的核心，我们建议，美国应当把在本世纪末实现载人行星探险及载人火星任务的远期目标作为第一目标。”太空任务小组为总统提供了三个可供选择的时间表：第一个方案是，拿出几倍于“阿波罗”计划的努力，于 1983 年前把人送上火星；第二个方案是，如果工作开展不太紧张，估计在 1986 年可把人送上火星；第三个方案是，在 90 年代实现载人登上火星。

《阿波罗后航天计划》还指出，为了实现载人登上火星这一中心任务，应当同时或先期发展新的系统和新的技术，包括新的航天运输能力和空间站舱段。这些系统应强调如下原则：通用性、可重复使用性、经济性。

但是，这份报告所提出的目标几乎立即遭到尼克松总统的否决。他对太空任务小组提出的预算要求感到大吃一惊。因为即使执行保守的方案，载人登上火星的花费也远远超过“阿波罗”计划，其中最高时年度花费将达到 80~90 亿美元。当然，他否决火星计划的原因是多方面的。

首先，“阿波罗”计划虽然取得了成功，使美国击败了苏联，赢得了政治上的好处。但相比之下，投资 250 亿美元换来的科学技术成果并不大。在满腔热情逐渐降温之后，美国人民开始考虑花这么多钱搞载人登月是否值得的问题。显然在这种情况下，制定冒险和开销更大，意义不明确的火星计划不会得到公众和国会的支持。

第二，冷战的缓和使太空竞赛的势头开始减弱，因此制定航天计划不应当继续从政治上考虑。

第三，自动探测技术的进步，已发展到只花少量的钱就能得到有关行星的科学资料。关于这一点，苏联的自动月球取样机成功取回月球土壤样品就是一个很好例证。

第四，美国在越南战争中越陷越深，使美国的经济陷入困境。

第五，民主党操纵的国会抓住国内的不安定因素和人民对政府的失望情绪，大肆攻击共和党政府，民主党头面人物也拼命指责美国的航天计划，公开称“阿波罗”计划是可耻的浪费。

正是由于认识到方方面面的因素，尼克松最终决定取消花钱多、得不偿失的“火星登陆”计划。1970 年 3 月 7 日，尼克松总统给宇航局下发了一份重要文件。他强调在未来航天发展中，太空不再是国际间政治上竞争的场所，太空研究不再是一场竞赛。他指出：“我认为我们已经取得的成就有助于我们为未来的航天计划制定新的方向。由于过去的目标已经实现，而且又面临着今后的长远发展，我们现在必须确定新的目标，它必须具有 70 年代的时代感。

我们的计划必须建立在过去成功的基础之上,借助于已获得的高新技术。但我们必须认识到,我们这个世界存在着许多严峻的问题,因此领先地位的竞争应当考虑到我们的需要和我们的资源。这决不意味着我们的太空计划会变得萧条或终止。但是,对于遥远的未来和仍然是全新的宇宙,我们不应试图一下子做完全部事情。我们进入太空的步伐应当是连续的,而且必须获得平衡。”

接着,尼克松阐述了他对未来航天计划的具体看法:“我们应当减少未来太空运行的花费。我们目前的火箭技术已能在今后一段时间内提供可靠的发射能力。但从长远发展考虑,我们必须研究低耗费和不太复杂的向太空运送必须品的方式。这种能力,设计上可满足科学、国防和商业应用等方面的广泛需要,能帮助我们在太空计划的各个方面实现重要的节约。”

尼克松总统的态度可概括为两点:航天发展应当继续,但预算应当降低。这就意味着宇航局必须重新制定航天计划。面对着政府公布的宇航局1971年度预算的大幅度减少,宇航局局长佩因在1970年1月13日举行的记者招待会上说:“一个强硬的太空发展计划一直是我国获得国家声望的主要因素之一。可是在目前预算削减的情况下,我们认为宇航局必须寻求新的途径……宇航局必须正视一场管理上的挑战。我对此充满信心。”

在这种情况下,宇航局相当自然地把注意力集中在航天飞机身上。它不但有相当的规模,可使宇航局上万人在整个20世纪70年代有事可做,而且这项计划从技术、能力和经济上也具有很大的吸引力。美国航天飞机计划负责人汤普森在航天飞机首次试飞成功后回忆说:“……当我们总结戏剧性的‘阿波罗’登月探险计划时……我们认识到,政治和经济局势的急剧变化,巨额的花费将不再会得到公众的支持。但在一个可容忍的花费上,我们应当提供一个优秀的替代物——航天飞机,它将成为未来的一个基本建设工具。它将具有四种能力:能像火箭一样起飞,像宇宙飞船一样进入轨道,能承受2520℃的高温返回并再入大气层,能像普通飞机一样在大气层滑翔并着陆……与‘阿波罗’飞船不同,它必须是可重复使用的。”当时宇航局还列出了对国防部特别重要的能力:“1. 作为由宇航局和国防部联合使用的国家运输能力,以取代现有的12种不同的运载火箭;2. 为应付有关国家安全的突然事件,提供一种经过短时间的准备就能发射入轨,并完成各种任务具有足够机动性和横向机动距离的能力。”为此,航天飞机初步设计时,运载能力和载荷舱基本尺寸都优先满足国防部系统载荷的要求。

当宇航局把航天飞机确定为最优先项目之后,1970年下半年开始了多项有关航天飞机发展成本、有效载荷发射成本以及总体经济分析方面的研究。由于经济性研究都是建立在航天飞机能够承担美国80年代全部航天飞行任务的基础上的,因而得出的结论对支持发展航天飞机有利。但当宇航局1970年秋把这项计划报送白宫批准时,没有获得成功。原因除了考虑到反对的大有人在,管理与预算署也对宇航局提出的各项指标感到怀疑。宇航局领导估计,为了能使白宫及国会同意发展航天飞机,必须取得方方面面的支持,而1971年就成了非常关键的一年。1971年春,宇航局新局长弗莱彻走马上任。他回忆说:“航天飞机能否上马,就看这一年了。”这位局长一上任,立即开始了极为广泛的游说活动。

首先要做的重要工作是争取有国防部作后盾。为此,航天飞机的性能都是以国防部的

要求确定的。例如载荷舱尺寸长为 18.3 米,低轨道运载能力 29.5 吨都是国防载荷要求确定的,只有载荷舱宽度为 4.6 米是宇航局根据发射空间站舱体的需要确定的。另外,为了适应军事方面的需要,航天飞机还计划具有 1 770 ~ 2 410 千米的横向机动能力。虽然空军方面的支持态度并不十分强烈,西曼斯只是表示说“空军愿意具有这样一种能力”,但国防部却大力支持。国防部副部长派卡德还对弗莱彻说:“关于横向机动能力很可能是人为的……如果这一点会造成困难,那是很容易修改的。”但宇航局没有作这类修改,他们坚持说航天飞机必须全部满足国防部的要求。可以说,航天飞机的军事潜力和国防部的支持起了关键作用。

另一个关口是预算与管理局。尽管他们没有明确否认航天飞机,但 1971 年 5 月,预算与管理局通知宇航局,在今后的 5 年内,宇航局的经费不可能增加。宇航局预计发展航天飞机可能要 100 亿美元,但根据 1972 年拨款 32 亿美元来计算,用于发展航天飞机的预算只能达到 50 到 60 亿美元。在这种情况下,宇航局一方面加紧修改方案,以尽可能降低研制成本;另一方面则加紧做预算与管理局局长乔治·舒尔茨和常务副局长温伯格的工作。在讨论宇航局的预算之前,弗莱彻给温伯格写信表达了宇航局希望批准航天飞机的愿望:“1. 美国迫切需要航天飞机来提供例行地进入近地空间的能力 2. 航天飞机提供了继续进行美国载人空间飞行计划的能力,这种能力我们认为是带有根本性的 3. 如果还不拍板,美国宇航工业将受到重大损失 4. 航天飞机计划目前所形成的势头不可能再保持多久了。”

这些话确实对温伯格起了作用。他认为:“这是政府在那个时候应该做的一件事,我们需要向前发展,需要新的工程计划。”舒尔茨和温伯格都曾是航天飞机的反对者,现在都转而极力支持航天飞机计划。作为尼克松总统的亲信,他们两人的支持至关重要。但他们也表示:“需要经过更多的分析来研究降低航天飞机费用的可能性。”弗莱彻明确表态:“从预算的观点看,也许最重要的考虑就是对于给定尺寸及重量的有效载荷,我们必须选用一种研制费用最少的布局。”

在科学界,科学家们对航天飞机的看法不一,有的认为航天飞机能为太空科学研究提供新的手段,但有的认为从科学角度上看,航天飞机根本不必要。著名的空间科学家范·艾伦就带头表示反对。1971 年 7 月,弗莱彻给范·艾伦写了一封信,指责他在帮倒忙。他说:“从政治方面反对航天飞机的就够多的了……来自科学界的异议大可不必。我认为你是在落井下石。”不过,大多数科学家仍然希望美国的航天计划能继续进行,载人航天计划也应当继续。这也是间接支持航天飞机计划的态度。

国会方面在此期间召开了多次听证会。虽然有的议员反对航天飞机计划,但国会总的态度是航天计划应当继续。国会不再支持像阿波罗那样的探险计划,新的航天计划应更加强调科学和应用价值,应尽量减少发展成本。他们对航天飞机拥有的潜力表示高兴,但计划预算不应超过 50 亿美元。宇航局对此许下诺言。1971 年 12 月,宇航局就尺寸和载荷能力的不同估算了研制成本。对于 3 米 × 9 米载荷舱尺寸、13.5 吨运载能力;4.2 米 × 13.5 米载荷舱尺寸、20.25 吨运载能力;4.5 米 × 18 米载荷舱尺寸、29.25 吨运载能力,研制成本分别为 47 亿、50 亿和 55 亿美元。有效载荷发射成本分别为 484 美元/千克、367.4 美元/千克、259.6 美元/千克。

每次飞行成本分别为 6 600、7 500、7 700 万美元。

在白宫方面,总统科学顾问大卫和总统科学顾问委员会对航天飞机的态度经历了一个转变过程。开始他们对这项计划表示怀疑,后来也转而支持态度,但他们希望将航天飞机的尺寸进一步缩小,以大幅度降低成本。他们还对宇航局提出的航天飞机经济效益感到怀疑。看来,种种观念和建议都要尼克松总统亲自裁决了。

1971 年底,航天飞机的支持者不断向宇航局面授机宜,指点宇航局推荐航天飞机的策略。预算与管理局人员于 11 月底对宇航局说,由于航天飞机从经济上看,并无好处可言,那么对于“虚”的利益(例如国家威望、载人航天飞行等)就应该给予足够的强调。在此之前,国防部副部长派卡德在会见弗莱彻时说:“宇航局推荐航天飞机的途径‘全错了’,航天飞机可节省经费或者具有发射载荷的灵活性并不充分,而‘真正值得一提的是国家安全和所谓人在空间的存在这样一种虚的事情’。他还说:‘对航天飞机的主要支持来自国防部、国务院和基辛格是不足为奇的。’他要求组织一个高层班子开展航天飞机的论证。他后来又交待宇航局副局长乔治·劳说,要记住,这个论证‘别变得过于倾向于军用。’

宇航局根据这些情况,向尼克松总统递交了一份关于航天飞机重要性的报告,航天飞机对国家安全的意义作了如下描述:“航天飞机可以保持战备警戒状态。对可以预见的或突发事件做出快速反应,并可以大大提高对军事或技术的突然袭击做出反应的灵活性和及时性,如:迅速回收或更换与国家安全密切有关的失效或失误的航天器;检查来历不明和可疑的轨道飞行目标;捕捉、使其失效或者摧毁不友好的航天器;当航天器观察到地球或空间出现严重事件时,可用航天飞机迅速查明情况,救援处于困境或生病的宇航员或使他们摆脱困境。”

航天飞机的能力使尼克松总统大感兴趣。弗莱彻还告诉白宫:“加速航天飞机的工作可以在 1972 年底创造 8 800 个直接就业机会,而到 1973 年底会增加到 24 000 个。”就业历来是美国政府关注的焦点,特别是面临着总统大选。尼克松的高级顾问埃里希曼回忆说,这一点“在尼克松的思想中是很重要的考虑,因为它对总统的连任非常关键,‘具有不可比拟的重要性。’

另外,保持美国载人航天的领先地位也是一个重要因素。弗莱彻多次说:“为了美国自己和自由世界,美国不能放弃他的责任,在载人航天领域占有一席之地……因为如果别的国家有人在太空而美国没有,那是无法想像的,也是美国不能接受的。”这个观点也对尼克松起了作用。他把宇航员看成是美国人价值观的体现,对国会在 1971 年初否决超声速运输机计划“非常难过”,因为“这是一个大国应该做的事情。我们应该站在这一类应用技术开发的前沿。”

1972 年 1 月 3 日,尼克松批准了全尺寸航天飞机发展计划。他要求弗莱彻和乔治·劳亲自向他通报航天飞机计划。埃里希曼回忆说,尼克松对弗莱彻带去的航天飞机模型着了迷,“他抓住了这个模型,我简直不敢相信弗莱彻还能把它要回来。”尼克松对他们说,宇航局“应当强调民用,但也不要排斥军用”。他很“欣赏普通人也能乘坐航天飞机”这一点。在弗莱彻汇报了航天飞机的能力和效益后,尼克松显得很高兴。他说:“即使这不是一项好的投资,不管怎样我们也要干,因为航天飞行是件必须做的事。人们现在已经在空间飞行了,而且还要继

续飞行下去,我们应是其中最好的一部分。”

1972年1月5日,尼克松在白宫新闻发布会上正式公布了研制航天飞机的决定。他说:“我在今天决定,美国立即开始全新的航天运输系统的发展工作。研究这种系统有助于把70年代的太空前沿变成熟悉的疆域,使80年代乃至90年代人类的太空活动变得更加容易。”

“这种系统的核心是太空运载工具,它能够使地球与轨道之间的运输获得革命化的发展。”接着,尼克松阐述了航天开发和应用问题,一次性运载火箭的局限性,进而指出发展航天飞机的理由。他继续说:“新的系统完全不同于任何现有的运载火箭系统,这种系统的大部分部件可以回收并重复使用,甚至可使用100次。结果是,运行成本将降低到现有运载火箭的十分之一。”而且新的系统还使“飞行和再入更加安全,对乘客也没有特殊的要求……科学家和工程师真正有可能进入太空从事研究。”

尼克松在这篇讲话中还预期了航天飞机计划的时间。他说:“只要我们从现在开始努力奋斗,我们就能够在1978年把航天飞机送上太空,实现载人飞行,接着就可以投入实际运行了。”尼克松总统的最后决定消除了方方面面的异议,使美国继“阿波罗”计划之后又一项重大的计划——航天飞机计划轰轰烈烈地开始了。

第2节 方案演变与研制过程

1970年和1971年,宇航局的上层官员把主要精力放在争取航天飞机计划得到批准上。两年多时间的奔忙以及和各个权力部门讨价还价也影响到航天飞机方案的设计。因此在此期间,一方面航天飞机的概念研究在深入,另一方面基本设计方案也难以确定。有趣的是,不仅宇航局和宇航工业公司在致力于航天飞机的设计,国防部以至总统科学顾问委员会也在卖劲地搞各种备用方案。前后出现的许多方案经过技术评估的就达几十种。因此有人挖苦说:“每个部门都是航天飞机的设计师。”

在A阶段的可行性研究之后,宇航局认为可重复使用的两级航天飞机是最佳方案。在此基础上,宇航局决定进行更明确化的航天飞机B阶段研究(定义研究)。1970年2月18日后,波音公司和洛克希德公司、北美洛克韦尔公司、麦·道公司和马丁公司、TRW公司和泛美航空公司都围绕着宇航局提出的两级可重复使用航天飞机设计原则进行研究,并很快拿出各自的方案。1970年5月20日,宇航局选定了麦·道公司和北美洛克韦尔公司进行B阶段的发展工作,然后再从两家公司提交的方案中最终选定一家公司承包航天飞机计划。但由于受到航天飞机决策过程的影响,宇航局又在6月15日决定拓展A阶段的研究,并分别与洛克希德公司、克萊斯勒公司、波音公司和格鲁曼公司签订了合同。

波音公司和格鲁曼公司联合研究小组在宇航局载人太空飞行器中心的指导下,提出了三种可供选择的方案。第一种是一级半航天飞机方案,它由一架有动力、可重复使用的轨道器和一副可抛放的推进剂储箱构成。第二种是两级航天飞机方案,其第一级是一次性使用的弹道

火箭助推器,第二级是可重复使用的轨道器。第三种也是两级航天飞机方案,而且两级均可重复使用。第一级采用“土星”系列火箭的 J-2 发动机并捆绑固体助推器,第二级为轨道器,也装 J-2 发动机。洛克希德公司在宇航局马歇尔航天中心的指导下,提出了另一种一级半方案。克莱斯勒公司则研究了单级入轨可重复使用的航天飞机方案。

宇航局补充进行 A 阶段的研究是为了使定义工作更加全面细致,并且通过与 B 阶段的方案进行比较,希望航天飞机研究过程中可能出现的任何细节都在预先考虑之中,同时最终确定的方案又可保证是最经济、最可靠的方案。

B 阶段的研究从 1970 年 6 月开始,分三步进行。第一步是为期 3 个月的结构选择,第二步是为期 3 个月的系统选择。第三步是为期 5 个月的方案设计和费用估计。北美洛克韦尔公司提出的方案是,第一级为载人的助推器,第二级是载人的轨道器。两级都采用液氢/液氧火箭发动机,可重复使用 100 次以上。估计这种航天飞机系统的总重量为 1 500 吨。轨道器有两种方案。一种是直翼型轨道器,装两台火箭发动机和一台着陆用的涡轮风扇发动机,运载能力为 24 吨,最大横向机动距离为 320 千米。另一种是三角翼型轨道器,运载能力 9 吨,最大横向机动距离左右均为 2 400 千米。助推器为直翼,V 型尾翼,长 70 米,翼展 43 米,装有 12 台火箭发动机,最大起飞推力为 21 379 千牛。另外,它还装有 4 台涡轮风扇发动机用于回收着陆。

1971 年 1 月 19 日,美国宇航局高层官员和技术负责人在弗吉尼亚州召开了一次会议,讨论航天飞机的设计并确定航天飞机的性能参数。进行这项工作的主要依据是预算的限制和国防部对载荷等方面的要求。最后确定,载荷舱的尺寸为长 18.3 米,直径 4.6 米,能将 29.5 吨载荷送入 160 千米高的轨道上。为了满足空军方面对横向机动能力的高要求,宇航局决定采用三角翼轨道器布局。这带来了一个严重的技术问题,即再入气动加热更加严重。但为使国防部满意,宇航局还是忍痛做出这个决定。

围绕着这些已确定的参数,1971 年上半年,几家宇航公司又推出了几种方案,大致可分为两级串联和两级并联两类。串联的代表性方案是:采用较短的后掠翼式助推器,轨道器装在助推器顶部。它的高度 74 米,轨道器高度为 51.24 米。并联的代表性方案是采用较高的后掠翼式助推器,轨道器为背驮式附于助推器上,长 50.3 米。

宇航局根据这些方案又一次对航天飞机的结构进行了设计,同时对助推器也作了修改,将原来的 V 型尾翼改为垂直和水平尾翼结合。在经过风洞实验后,发现这种布局阻力很大,于是又把助推器改为三角翼,并且把火箭发动机数量增加到 14 台。轨道器在进行风洞实验后,也进行了多方面修改。最后确定的轨道器参数是:长 64 米,翼展 37.8 米,装两台 287 吨的火箭发动机和 4 台用于返回着陆的涡轮风扇发动机。在方案基本确立后,宇航局分别对航天飞机的防热系统、生命保障系统等作了方案论证,然后估算了生产两架航天飞机所需的费用。结果是,总研制费用超过 100 亿美元。这个数据远远超过了国会可能批准的 50 亿美元限额。这使宇航局大为作难。但为使计划得到批准,宇航局不得不组织力量重新修改方案。

到 1971 年年中为止,航天飞机系统的设计都是遵循如下指导思想进行的:两级结构、均可重复使用、均有驾驶员操纵、两级的独立性很强。由于轨道器的基本尺寸已根据载荷方面的性

能要求大致确定了,因此降低研制费用的措施大都是在助推级上做文章。到后来,这些措施又都集中在以各种不可回收的助推器来代替有人的助推级。但是,缩小和简化助推器的设计又给轨道器带来了困难:大尺寸的轨道器(长达60多米)在技术上不大可能实现。但到了1971年6月,专家们终于想出了一个绝妙的方法,突破了设计上的难题。这就是将轨道器内的液氢储箱搬出机体外,使它成为一个不可回收部件。这样,轨道器的尺寸大大缩小,重量也大大减轻,内部设计也大大简化,从而也就大大降低了研制费用。据估计,这种措施可降低研制费20%。

在此基础上,几家公司又迅速拿出了自己的设计方案。比较有代表性的两种方案都是串联型。这一阶段的设计方案后来被宇航局称为目标I。这个目标的特点是,除液氢储箱为不可回收的部件外,轨道器和助推级均可回收,上面均装有涡轮风扇发动机用于着陆,装有逃逸系统用于驾驶员应急救生。

进一步研究表明,如果把轨道器内的液氧储箱也移出体外还可以进一步简化设计,进而降低研制成本。同时原来的飞行程序是起飞时助推级单独工作,现也改为助推级和轨道器在地面同时点火。这样大大减轻了助推级的负担,于是目标I中那种大型助推级显得不必要。但轨道器的推进剂携带量却大大增加,从而使外挂的推进剂储箱变得很大。经过这样一些改进,原来的大型助推级改为两个较小的助推器。整个航天飞机的结构布局发生了根本性变化,它由最初的完全可重复使用的两级方案变为大部分可重复使用的三位一体方案:一架轨道器背负了一只巨大的、一次性使用的外储箱,在外储箱的两侧各有一只助推器。

这样的结构布局又大大降低了总的研制费用。曾经为宇航局进行航天飞机的经济性分析的数学公司指出:“在迄今为止研究过的并认定技术上可行的航天飞机布局方案中,带有外挂氢/氧储箱的助推轨道器的航天飞机方案是既经济又可取的方案。”该公司指出,为发展基于这种概念的并采用新技术达到全部能力的航天飞机,大约需要60亿美元,每次发射费用不超过600万美元。于是,宇航局于1971年12月正式选定了这种布局,但助推器采用什么形式还有争议,准备留待新的一年开始时再作定论。

对助推器进行分析表明,采用液体助推器需要有一套复杂的推进剂输送系统和一套控制系统。尽管有人提出采用气压输送推进剂的技术以代替大型泵技术,但这种方法没有在大型火箭上使用过,可靠性受到影响,而且发展这种技术又需要额外开支。经过比较权衡,最后还是从降低研制费用出发,选择了固体助推器方案。这是在1972年3月15日最后决定的。

原来估计采用液体助推器,它的直径高达6.73米,现改为固体助推器,其直径降到只有3.97米。这样,无论从安全上考虑,还是从技术上或经费上考虑,助推器都不需要由人驾驶回收。因此助推器上的生命保障系统、弹射救生系统均可省去,代之以自动的降落伞回收装置。于是助推器的设计、制造都得到简化,成本就降低了。轨道器也作了相应简化,取消了涡轮风扇发动机和宇航员逃逸系统。这样做带来的益处是降低了研制费,简化了设计,提高了有效载荷发射能力,返回地球时携带的有效载荷提高到15吨。但也因此带来了三大致命的弱点:大大减小了航天飞机的横向机动能力,航天飞机进场着陆灵活性很小而且不能作二次着陆;一旦

发射出现事故,宇航员无法应急救生。这三点都大大增加了宇航员的危险性。经过一年多反复改进设计,宇航局估计按照上述最后确定的方案,研制和生产5架航天飞机所需费用为51.5亿美元,基本上满足了国会所要求的50亿美元。于是,一切问题看来都似乎圆满解决了。

1972年7月26日,宇航局选定北美洛克韦尔公司为航天飞机轨道器主承包商并负责全部发射系统的组装。合同规定在今后的6年内,用26亿美元研制生产5架航天飞机的轨道器。首次轨道器滑翔飞行试验定于1976年,首次载人轨道飞行定于1978年。

宇航局选中北美洛克韦尔公司并非偶然。在过去的10多年中,该公司为美国航空航天事业的发展做出过非凡的贡献。在60年代,北美洛克韦尔公司研制了高空高速研究机X-15。X-15研究机在60年代多次创下有翼飞行器的速度和高度纪录。通过X-15试验机的研制,北美洛克韦尔公司积累了丰富的高空、高速、高过载、高气动加热飞行器设计和制造的经验。一般人都把X-15试验机看作是航天飞机技术上的先驱,洛克韦尔公司也就很自然担当起由X-15发展航天飞机的重任。在“阿波罗”计划期间,北美洛克韦尔公司也承担了关键的飞船指令舱的研制工作。在航天飞机发展初期,该公司还参与了航天飞机A阶段和B阶段的设计工作。这些不平凡的经历对于航天飞机轨道器研制显得非常重要,也非常有利。

与此同时,宇航局又选定锡奥科尔化学公司负责航天飞机固体火箭助推器的设计、制造、试验和鉴定。该公司是一个生产弹药、军用烟火和固体火箭的企业,具有生产火箭助推器的特长。该公司曾研制生产了民兵洲际导弹和三叉戟导弹的固体火箭发动机。美国空军的大力神IIIC运载火箭的大型固体助推器也是锡奥科尔公司研制的。宇航局还选定马丁·玛丽埃塔公司承包航天飞机外储箱的设计、研制和生产任务。

第3节 从“企业”号到“挑战者”号

航天飞机的研制工作从1973年开始铺开,按照1972年3月确定的最后方案,宇航局曾将这个布局方案定为“目标II”。航天飞机系统的大致尺寸为:轨道器长27.21米,翼展23.79米,机高17.39米。它的中部有一个长18.3米,直径4.6米的载荷舱。大型外储箱长47.1米,直径8.38米,两枚固体助推器长45.5米,直径3.7米。为了实现“普通人也能坐航天飞机”的设想,航天飞机在起飞过程中的最大过载限制在3g(重力加速度)以下,在返回时的过载限制在1.5g(重力加速度)以内。轨道器在轨运行的时间最长达30天。

轨道器是航天飞机系统最复杂的组成部分,也是目前最先进的载人航天器。它大致可分为前段、中段和尾段。前段是上下两层的宽敞机舱,上层为驾驶舱,下层为生活间,有效容积72立方米。在一般情况下,机舱内可承载7人,紧急情况下可增加到10人。中段是有效载荷舱,舱门分内外两层,由中间对开。舱门内层是辐射冷却器,外侧则是防热层。尾段除装有3台主发动机外,还包括控制动力系统和推进剂储箱。

轨道器的分系统异常复杂。这包括23只各种天线、5台计算机、各种控制、通信、导航和

操纵系统。在机头的上部和侧部、机尾处,共安装了46台大小推力的变轨与姿态控制发动机:2台推力为26.5千牛的轨道机动发动机,它们安装在主发动机的两侧,采用自身携带的甲基肼和四氧化二氮作为推进剂,用于主发动机关闭后的轨道器加速/变轨/交会以及返回制动的动力,它可以持续工作15小时,可以重复启动1000次;38台轨道器反作用控制系统,采用甲基肼和四氧化二氮为推进剂,单台推力为3.87千牛。这些发动机可重复启动50000次,累计工作时间20000秒,其中有14台装在机身头部,24台安装在主发动机两侧,用于轨道器姿态控制和交汇、入轨控制;6台推力为0.111千牛的游动发动机,可进行50万次启动,累计可达125000秒,用于精确姿态调整。这类发动机虽已用于以前的各种航天器,技术上比较成熟,但重复启动次数之多、工作时间之长是前所未有的。

研制轨道器需要解决的问题很多,最棘手的是主发动机和机身表面防热系统。正是由于主发动机和防热系统及其他方面的原因,致使原定1978年进行首次轨道飞行的计划一再拖延。

主发动机的技术和性能要求很高。与“土星”V运载火箭上的J-2发动机相比,它上了一个很高的台阶,其单台最大推力达到2059千牛,比J-2发动机的980千牛增加了一倍多。但这还不是关键所在。这种发动机还要求推力在65%~109%之间连续调节以适应航天飞机从发射到入轨整个过程不同阶段的不同要求,而且要能重复使用100次。它的燃烧室压力高达204个大气压,比J-2发动机高4倍,喷管面积比77.5,为J-2发动机的2.8倍;它的工作时间很长。主发动机在起飞过程中消耗推进剂数量很大,高性能的涡轮泵每秒向燃烧室内输送207升液氢和75升液氧。这些高性能要求对结构设计、材料选择、推进剂输送、发动机控制以及加工和制造都是极为困难的。

轨道器主发动机由宇航局马歇尔航天中心负责设计指导,洛克韦尔国际公司火箭动力分部研制。从1971年开始设计,经过3年多的努力,于1975年完成了方案论证和设计,接着开始生产。1975年6月,发动机系统开始试验,1977年3月通过了额定推力级的试验。但在1978年开始进行寿命试验(在性能保持稳定的情况下连续试车,一直达到55次重复启动,累计工作7.5小时为止)时,各种问题就暴露了出来。

经过逐步改进,直到1979年12月17日,轨道器主发动机才第一次成功地进行了9分10秒的试车,第一次试完额定工作时间。试车期间,三台发动机均进行了节流,从100%额定推力到90%,然后又调节到70%~80%的额定推力,各项性能指标都满足了设计要求。

轨道器表面防热系统是另一个技术难题。在以往的航天技术中,采用的防热技术大致有两类:一是辐射式防热系统,一是烧蚀防热系统(如返回式卫星和东方号飞船)。美国在五十年代研制X-15、X-24等高速试验机过程中,着手解决的一个技术问题便是防热系统设计。X-15试验机在钛和不锈钢骨架上使用镍合金,X-15A2型则采用烧蚀防热方法,X-20试验机采用了更复杂的防热系统。但这些措施都不能满足航天飞机轨道器的防热要求,结构不能太复杂、防热系统重量不能太大、能多次重复使用。经过反复研究论证,最后决定机身采用常规的铝合金结构,蒙皮表面安装高性能防热瓦。由于轨道器表面再入温度不同,故共发展

了4种防热瓦。

第一种是洛克希德公司研制的硅纤维带玻璃涂层低温可重复使用防热材料,用于机身和机翼上表面、垂尾等温度在 $370\sim 650$ 范围的区域,总面积为255平方米。第二种是洛克韦尔国际公司研制的带硅涂层的聚芳酰胺纤维毡柔性可重复使用低温防热材料,用于有效载荷舱门及中、后部机身两侧、机翼上表面内侧等温度低于 370 的区域,总面积为330平方米。第三种是洛克希德公司的硅纤维材料,它的表面涂有耐高温黑色涂层,用于前机身和机翼下表面、垂尾前缘和机身襟翼等温度在 $650\sim 1\,260$ 的区域,总面积为480平方米。第四种是沃特公司研制的预应力碳碳复合材料,用于机身头锥部及机翼前缘这些再入时气动加热最严重的区域,温度可达 $1\,590$,这种材料最高耐热温度可达 $1\,650$ 。航天飞机轨道器外表面防热材料总面积为 $1\,100$ 平方米,安装了24 000块防热瓦,总重约7吨,占结构重量的10%,大大低于其他任何航天器。

随着航天飞机的实际投入使用,防热材料也在不断改进。从第三架航天飞机开始,用高强度轻质组合纤维瓦代替了原来较重的低温防热瓦,减轻重量约400千克。同时,用新的柔性防热毡取代了部分温度范围在 650 以下的防热瓦。

航天飞机固体助推器是在“大力神 IIIC”运载火箭的助推器基础上研制的,但要先进得多,性能和要求也高得多。最初提出的方案有两种,即整体结构和分段结构。后考虑到分段结构能降低研制成本,便选定了锡奥科尔公司提出的分段结构方案。助推器壳体由11段组成,每一段上端有一个U形槽口,与上一段的下端相接在一起,并由177个螺栓固定。U形槽内侧与上段连接处装有两个直径约0.71厘米的U形密封圈,用于防止高温燃气泄漏。助推器壳体材料是1.27厘米厚的无缝钢管,内部可装填500吨推进剂,可产生约12 415千牛推力,由小火箭引燃。助推器尾部是直径为3.76米的喷管,根据计算机指令,依靠射流装置,可偏转 6.65° 角。助推器前端装有电子设备、应急自毁系统和回收系统。另外,固体助推器还有与外储箱连接的机构和8个分离小火箭。

外储箱是航天飞机系统中最大的部件,也是不可回收的部件。它的难度相对小些。它采用桁架蒙皮结构,所用材料主要是铝合金。外储箱空重34.6吨,可加注推进剂700余吨。在研制过程中,外储箱解决的重大技术问题有两个。一是加工制造问题,二是绝热问题。为了制造这个空前的庞然大物,马丁·玛丽埃塔公司设计制造了364件专门工具,其中包括24种大型设备,专门用于装5.23厘米厚的合金板卷成外储箱壳体的卷板机宽达13.68米,高9.42米,长14.59米。为了解决液氢汽化和泄漏问题,专门研制了新型的绝热材料:异氰尿酸酯泡沫。

航天飞机在研制过程中,一方面碰到许多技术问题,同时也面临着资金的严重不足。尽管宇航局采取了种种可能的措施,从其他航天计划中挤出经费用于航天飞机,但研制费还是不够,连年超支。1978年9月25日,宇航局宣布航天飞机的研制费可能比原计划增加8%~9%。宇航局只好向国会伸手,要求在1979年为航天飞机追加1.85亿美元。但这个数字很快发现远远不够,宇航局只得一再向国会申请,继续增加拨款。到1980年4月,宇航局透露整个计划费用将增加到89亿美元。在研制的紧要关头,如果政府不追加经费,整个计划将前功尽

弃。不要说4架航天飞机,就是一架也很困难。宇航局负责人为争取航天飞机尽早飞行,不得不频繁周旋于总统与国会之间。卡特政府考虑到航天飞机对国家安全有利,对科学研究和商业开发也有很高价值,因此表示同意为航天飞机计划追加经费。这样,航天飞机计划的费用问题才得以解决。

1976年9月17日,第一架航天飞机轨道器(运载器 No101)“企业”号在洛克韦尔公司组装完毕并于1977年1月31日从地面上运往阿拉巴马州的德莱登飞行研究中心,然后又用改装的波音747客机运抵肯尼迪航天中心。在进行严密的地面检查后,从1977年2月到5月,“企业”号航天飞机在波音747背负下进行了6次不载人空域飞行和5次载人空域飞行,以考查轨道器在飞行中的稳定等气动性能。与此同时,宇航员在地面的模拟器中进行操纵训练。1977年8月12日开始了载人自由飞行试验。它由波音747携带到8600米高,经过必须的检查后,空中释放,由宇航员操纵滑翔和进场着陆,前后共进行了8次。

经过9个多月的飞行试验,验证了航天飞机的气动设计、操纵特性、适应特性以及稳定特性,证明满足了设计要求。尔后,“企业”号又与外储箱结合在一起进行了一系列地面振动试验和强度试验,然后与助推器组合构成完整的航天飞机系统,完成了整机垂直振动等大型试验。企业号航天飞机的全部试验工作直到1979年4月才告结束。这样它的使命也就终结了。未来的全部工作都要由另外四架航天飞机来做。1979年1月25日,宇航局为它们进行了命名,轨道器102号为“哥伦比亚”号,109号为“挑战者”号,103号为“发现者”号,104号为“亚特兰蒂斯”号。

1979年3月24日,“哥伦比亚”号航天飞机完成了装配,由“波音747”空运到肯尼迪航天中心。由于在空运过程中,损坏了一些防热瓦,也由于企业号的试验未全部完成,“哥伦比亚”号的发射时间多次推迟。1980年11月29日,“哥伦比亚”号完成了发射前准备工作,并与外储箱和固体助推器组装移到39A发射台上。在正式发射之前,它的3台主发动机进行了点火试验。

1981年4月12日,正好是加加林首次进入太空20周年纪念日,“哥伦比亚”号发射升空。担任轨道飞行任务的是约翰·杨和罗伯特·克里平,主要目的是验证轨道器轨道飞行能力、稳定与操纵特性、再入与着陆特性,同时还试验入轨后货舱门的开闭特性以及机上惯性基准的建立。航天飞机的首次飞行从当地时间(美国东部时间)4月12日上午7时开始,到4月14日东部时间13时20分52秒结束,历时54小时23分,绕地球36圈,最后在加利福尼亚州爱德华兹空军基地降落。大约有100万人从世界各地赶到卡纳维拉尔角观看了这次发射,其中包括英国女王伊丽莎白二世、首次登月的阿姆斯特朗等。美国电视台现场直播了这次发射,因此全球大约有5亿多人观看了当时发射的盛况。

“哥伦比亚”号首次飞行的基本程序是:固体助推器点火,接着是主发动机点火,航天飞机起飞。约53秒后,航天飞机在7740米高处达到超声速。经过2分11秒的飞行,固体助推器脱落。此时的高度为50.48千米。8分32秒后,主发动机关机,航天飞机位于118千米的高度。30秒后,外储箱分离,航天飞机在188千米高处进入地球轨道。在轨道飞行阶段,宇航员

进行了轨道调整发动机点火试验、货舱门开闭试验、惯性测量试验、星定位试验、舱外活动、飞行控制系统检测、电视直播、睡眠、姿态发动机试验、座舱内气体组分及压力检测、更换二氧化碳吸收器等活动。所有计划中完成的任务都顺利完成。

1981年11月12~14日,哥伦比亚号进行了第二次轨道飞行。这次飞行检验了航天飞机的各种性能和实际使用能力,首次试验了加拿大研制的机械臂的操作能力。机上装有2.5吨科学仪器,开展了地球矿藏探测、太空污染测量、植物生长等科学实验活动。1982年3月22~30日,哥伦比亚号进行了第三次轨道飞行。这也是一次试验飞行,完成的任务包括机械臂操作试验、航天飞机各部位对温度的感应试验、昆虫在失重下的活动观察试验、多种植物在失重下的发芽生长试验。1982年6月27日~7月4日,哥伦比亚号进行了第四次飞行试验。它完成的任务包括再一步机械臂操作试验、材料加工实验以及科学观测。至此,航天飞机的轨道飞行试验宣告结束,共完成了95%的试验项目。总的看来,试验飞行获得圆满成功,可以进行业务飞行。

美国政府和美国宇航局对这些结果大为满意。1982年7月4日,里根总统借美国独立纪念日对航天飞机大加赞扬。他说:“航天运输系统的重要性就在于它将会为人类在通向太空的大道上提供完全实用的和有价值的服务。”宇航局则忙着制定一系列商业发射计划。1982年下半年,宇航局宣布了5年的飞行计划:航天飞机1984年飞行12次,1985年飞行14次,1986年飞行17次,1987年飞行17次,1988年则飞行24次,并请全世界的商业用户来签订发射合同。

1982年11月11~16日,“哥伦比亚”号进行了首次正式业务飞行,成功地在轨道上发射了美国的SBS-3卫星和加拿大的两颗兄弟通信卫星。于此同时,第三架航天飞机“挑战者”号也整装待命。1983年4月4~9日,“挑战者”号进行了首次轨道飞行,发射了一颗2.2吨重的数据中继卫星,两名宇航员进行了一次太空漫步,练习在空间使用工具,模仿修理,舱外活动时间近4个小时。1983年6月18~24日,“挑战者”号第二次完成轨道飞行。这次飞行发射了加拿大“兄弟”C2通信卫星和印尼的“帕拉帕”B1卫星。另外,宇航员还利用机械臂对一颗德国试验卫星斯帕斯进行了释放及回收实验。1983年8月30日~9月5日,“挑战者”号进行了第六次任务飞行。这次飞行取得了极大成功,它携带的有效载荷包括欧洲空间局的“空间实验室”1号。宇航员进行了73项实验活动,取得了一系列丰硕的成果。其中有一项重大发现是,在做向耳内喷冷热水的平衡功能实验时,纠正了曾于1914年获诺贝尔奖的关于内耳和人体平衡关系的理论。

1984年航天飞机共进行了5次飞行。1984年2月3~11日,“挑战者”号执行飞行任务时,发射的两颗卫星因卫星的问题未进入预定轨道。这次飞行的一个重要成果是,宇航员、有效载荷专家麦康德利斯于2月7日首次使用载人机动飞行器进行了舱外活动,留下了举世闻名的镜头。1984年4月6~13日,“挑战者”号进行了第五次飞行,其最大成果是成功地在太空修理了一颗失效达4年之久的太阳峰年探测卫星。1984年8月30日~9月5日,第四架航天飞机发现者号进行了首次飞行,释放了三颗通信卫星,并试验了大型太阳能电池板的灵活性和

耐久性。1984年11月8~16日,发现者号进行了第二次飞行。这次发射了两颗通信卫星并回收了两颗失效的卫星。

这些成功的飞行检验了航天飞机设计具有的各方面能力。但在费用和效益方面出现了很大的偏差。宇航局长贝格斯1984年7月对国会太空应用委员会说:目前航天飞机一次飞行的花费为1.5到2亿美元,而在商业发射中得到的最高补偿约为7100万美元。他补充说,宇航局计划在今后10年将发射费提高30%,这样就可以保持一年24次的发射飞行任务。国会通过了宇航局提高发射费用的议案。这意味着原来预计的可以大大降低单位载荷发射成本的愿望化为泡影。

1985年对美国宇航局来说是不大顺利的一年。一方面来自欧空局商业发射的竞争越来越激烈;另一方面国会希望宇航局自负盈亏,不再提供补贴,因此航天飞机承揽发射合同的优势大打折扣。而且,由于航天飞机也不像原来预想的那样操作简便、适应性强,因此美国空军也火上浇油,向国会申请资金重新生产一次性的运载火箭。1985年3月,宇航局长贝格斯对记者说:“今后的18个月,对航天飞机是极为关键的。如果我们要证明我们的勇气,显示我们的能力,我们就不得不突破那个宣言。”这个宣言指1982年的《五年计划》。这意味着将提高航天飞机发射的频率。

但是1985年航天飞机原订发射14次,而实际上只有9次。这些飞行任务取得了很大成就,但与宇航局的既定目标和人们的期望还相差甚远。由于为了提高竞争力,不得不因争取发射速度而忽略了一些重要问题。1986年1月12~18日,经过大修的“哥伦比亚”号重返太空,发射了一颗通信卫星,进行了20多项科学实验。华裔宇航员张福林参加了这次飞行。他成为继王赣骏之后,第二位华裔宇航员。对技术问题的忽略,终于导致灾难的发生。

1986年1月28日美国东部时间11时38分10秒,“挑战者”号航天飞机进行第10次发射,也是航天飞机的第25次飞行任务。在“挑战者”号升空后73秒种,猛烈的爆炸把轨道器炸成碎片,7名宇航员斯科比、史密斯、雷斯尼克、埃森·鬼冢、麦克奈尔、贾维斯和克里斯塔·麦考利夫全部遇难。这是航天史上最大的灾难性事故,使全世界受到巨大的震动。

事故发生后,里根总统下令取消一切计划中的航天飞机飞行并指定与这次飞行任务没有关系的有关人员组成一个独立委员会,负责调查事故的原因。美国政府为7名为航天事业献身的宇航员举行了隆重的葬礼。美国航天事业陷入了最黑暗、最悲惨的危机。

第4节 航天飞机运行新阶段

由前国务卿罗杰斯领导的“挑战者”号航天飞机事故调查委员会立即开始了广泛的调查工作。他们一方面组织人员打捞挑战者号的残骸,一方面对飞行的录像进行分析,并对各有关部门和人员进行访问。罗杰斯委员会很快就对挑战者号航天飞机事故的直接原因和发生的过程做出了结论。

发射段录像资料分析表明：在“挑战者”号升空后不久，右侧固体助推器后接合部因气体膨胀而略有变形（此属于正常现象），由于环境温度过低，O形密封圈弹性变坏，没有达到它原来密封的位置。密封性变差使接合部靠近外储箱的部位发生蒸发物泄漏。很快，灰色蒸发物变成浓黑的烟雾，这表明接合部密封部位的润滑剂、绝热材料和O形密封圈已受到燃气的烧蚀。当主发动机加大推力时，接合部出现了火舌。大约在起飞15秒钟时，火舌已发展成连续的清晰的羽焰。遥测数据表明，这时两个助推器燃烧室的压力不一致，右侧较低，说明接合部的泄漏在加大。

在此后的3秒钟，这个火焰成了一个高热的喷灯，对着外储箱烧烤，外层绝热层很快烧坏，接着又烧向铝蒙皮。当铝蒙皮也损坏后，急剧冒出的氢气立刻被点燃并向后顺气流冲击。液氢储箱的进一步破坏、右侧助推器的摆动撞击着液氧箱，巨大的冲击力使液氧箱底部撞坏。就在这一瞬间，大量氢氧混合物酿成巨大的爆炸。此时“挑战者”号的高度约14千米，速度达到M1.92。爆炸形成的超音速扩散的气团给“挑战者”号造成20倍重力的冲击，使之解体、四散开来。

罗杰斯委员会认为：“挑战者”号故障归因于错误地采用了对多种因素过于敏感的设计，这些影响因素包括：温度、实际尺寸、材料特性、工艺以及接合部对动力负荷的反应等。得出这些结论的理由如下：

1. 航天飞机上升时从后接合部冒出的烟雾是O形密封圈出现故障的最初迹象
2. 实验证据表明，由于固体助推器点火、燃烧压力和机身相对运动的影响，O形主密封圈和副密封圈上的套扣缝隙将分别增大0.74和0.43毫米
3. O形密封圈的弹性受温度影响很大，温度高时O形圈更快地恢复原状。实验表明，24摄氏度时受压的O形圈恢复速度比-1摄氏度时快5倍
4. “挑战者”号发射时的环境温度为2摄氏度，比以前发射的最低温度还低8摄氏度，估计右侧助推器后接合部300度处的温度只有-2.2摄氏度
5. 在以往24次航天飞机发射中，有21次的环境温度在16摄氏度以上，出现热损坏迹象（即腐蚀、泄漏、灰垢）有4次；而在16摄氏度以下发射的几次，每次都有一个或几个O形密封圈出现热损坏现象。由此表明，右侧助推器后接合部的O形圈，因受到各种因素尤其是过低的环境温度的影响，使其在点火期间没有堵住张开的缝隙，以致酿成这次空前的航天大灾难。

O形密封圈是一个始终存在争议的老问题。早在方案评审时，就有人指出接口设计不可靠。但据说弗莱彻对锡奥科尔公司的设计大加赞扬，认为这种设计是杰出的样板，具有创新特点，而且具有较大经济效益。按照该公司的设计说明书，这种双余度密封绝对安全，即使第一个密封圈没有进入应有位置，第二个也会自动进入应有的位置。但1977年固体助推器的一次点火试验打破了这个神话，点火后产生的力不是使接头卡得更紧，而是产生了难以预料的接头转动现象，引起连接处微小脱开产生了缝隙，使高温气体由此外漏。这明显是事故的征候。

但锡奥科尔公司并没有把它当作一个严重问题。他们在给马歇尔航天中心的报告中说，接头转动是一种自限制现象，点火后几百毫秒瞬间O形圈是会准确地弹入应有的位置的。马歇尔中心有关人员对此感到怀疑，他们向该工程的总负责人哈迪递交了几份备忘录，一再提醒

坚决不能接受这种接口设计方案。1978 年马歇尔中心固体火箭部主任米勒起草了一份备忘录,提出这种接口设计相当危险,它会产生“高温漏气而导致不堪设想的后果。”由于本着抢时间、节约资金以及其他原因,这些警告没有被采纳。

“哥伦比亚”号第二次飞行时,回收后的助推器进行检修时发现尾部接口处的第一个 O 形圈已被严重烧蚀,大约损坏了四分之一。为此 1982 年 12 月 17 日,接口和 O 形圈部件由原来的“关键冗余级”重新定为“关键一级”。尽管有人强调如果引起金属烧蚀,会导致飞行失败,如果烧透金属外壳,则会导致整个飞机起火、爆炸,以致机毁人亡。但马歇尔中心和锡奥科尔公司并未看到问题的严重性,认为这是“可以接受的冒险”。后来的一些试验显示这个 O 形圈损坏相当严重,几次发射不得不因此而推迟,因此到 1985 年夏,马歇尔中心和锡奥科尔公司才真正觉察到这是潜伏的隐患。在这种情况下,锡奥科尔公司才组织人力对接口进行重新设计。但工作却进行得很慢。而且,宇航局上下关心的焦点在主发动机上,助推器的问题或多或少地被掩盖了。有人建议立即停飞,但当时形成的势头不可能稍减。

由于来自欧洲的竞争,宇航局准备在 1985 年增加飞行次数。航天飞机并不像原来设想的那样,维护、检修和准备都相当复杂。所谓的航天飞机流水作业是复杂而又细致的工作。为了实现多飞的目标,工程管理人员、工程师和工人不得不长时间连续工作,经常以每天十几个小时的工作量工作几星期。罗杰斯委员会认为,航天飞机的许多关键人员的工作时间,已经超过了常人可承受的极限。因此违反操作规程、马虎大意、造成事故的现象时有发生。肯尼迪航天中心的一位工程师说:“人人都在为之欢呼的不可思议的‘航天飞机流水作业’是我所见到的工业装配中极其险恶的羊肠小道。”另外,由于备件缺乏,航天飞机只好采用拆东墙补西墙的方法,几架轨道器的某些部件相互借用。

航天飞机在研制过程中,一直受到经费的困扰。随着研制的进行,费用连年超支。宇航局一面开源节流,一面向国会伸手。为了平息超支引起的不满情绪,宇航局只得设法减少各方面的开支。1985 年当 O 形密封圈和连接部一再发出警告时,宇航局虽有改进的想法,但经费的限制和时间的耽误使宇航局难以痛下决心。据估计,如果全部修改接合部,要花费 3.5 亿美元,而且航天飞机要停飞一年。在这两项硬指标面前,宇航局决策的天平摆偏了。

针对助推器接合部存在的严重问题,完全改进又不大现实,所以锡奥科尔公司提出建议,反对在 11.6 摄氏度以下的环境条件下发射。但这个建议没有得到马歇尔航天中心负责发射管理的部门采纳。为了保证发射率,宇航局一再放宽发射条件,“挑战者”号的发射日期原订在 1 月 23 日。由于宇航员中有国会议员和里根总统特别提议的第一个普通公民——中学女教师克里斯塔·麦考利夫而特别引人注目。但发射日期因种种原因一推再推,最后选在 1 月 28 日。但在发射决策会上,锡奥科尔公司固体火箭发动机处主任麦克唐纳坚持要等到温度在 11 摄氏度以上再发射,而且他坚持说:“这个决定只应是一个工程技术上的决定,而不是一个管理程序方面的决定。”麦克唐纳多方面呼吁未能奏效。洛克韦尔公司的人员还提出低温造成航天飞机和发射台结冰也是危险的征候。但这个警告也未被上层决策人员听进去。

罗杰斯委员会经过大量调查后指出了航天飞机研制及运行方面存在的 10 大问题,并建议

在今后做严格的重新设计、检验、试验并加强质量、安全、管理以及决策方面的调整和完善。这10大问题是：

1. 发射挑战者号之前的决策过程存在许多问题，一是没有侧重抓安全的完善机构，二是没有倾听下面工程师们反对发射的意见；
2. 没有一个机构来宣传和掌握对发射应制定可取消什么样的约束条件。放松对发射的约束条件就是降低飞行的安全；
3. 马歇尔航天中心作为保障飞行的部门，理应同有关部门接头和联系。但该中心却有一种不良倾向，把隐患包揽起来，企图自己解决，而不同外界保持联系；
4. 在马歇尔中心的催促之下，锡奥科尔公司一反过去的观点，不顾本公司多数工程师的反对，建议发射“挑战者”号，这是错误的；
5. 此次事故有其历史根源。连接部设计本来是错误的，但宇航局和承包商不承认错误，不予修改，最后当作可以接受的飞行风险处理。到问题日益严重时，宇航局在书面和口头报告中仍大事化小，锡奥科尔公司则说什么“情况不理想，但可以接受”；
6. 毫无声色的安全计划。在一些极重要的会议上，没有安全代表、可靠性和质量保证人员参加。甚至在1月28日做出发射决策的会上也没有安全代表参加；
7. 飞行次数造成的压力过大，备用部件奇缺，能力和资源都不足；
8. 航天飞机万一出事故时的紧急迫降问题；
9. 再入后无动力滑翔，着陆存在着危险性；
10. 主发动机是要害部件。

罗杰斯委员会提交总统的报告最后说：“调查委员会竭力主张宇航局继续接受国家和政府的支持。该局是国家在空间探索和发展方面起关键作用的一个机构，它还是国家可以自豪和技术领先地位的一个象征。

“调查委员会称赞宇航局过去取得的宏伟成就并且预期将来还会取得感人的成就。报告中提出的这些调查结果和建议，预期将有助于未来宇航局的成功。这些成功既是国家所期待的，又是21世纪到来时所要求的。”

由于航天飞机停止发射，计划中的重要载荷无法入轨，美国不得不重新起用一次性运载火箭。真是祸不单行，1986年4月18日，空军的一枚“大力神”34D运载火箭在范登堡空军基地发射，几秒钟后发生爆炸。5月3日，一枚“德尔它”运载火箭携带一颗气象卫星升空，因主发动机过早熄火而失败。

为了重整宇航局，里根总统再次任命弗莱彻为宇航局局长。国会也同意拨款改进航天飞机和生产一架新的轨道器。弗莱彻在5月13日说：“航天飞机将继续飞行，但是要等到我们能确保将来的航天飞行既安全又可靠的时候才进行。在今后几个月中，将要做大量的、艰苦的工作。”5月14日弗莱彻又说：“我们的目标坚定不移，但是不能犯错误。随着挑战者号航天飞机和一次性使用运载火箭事故的发生，如果我们对恢复这个国家发射能力的迫在眉睫的挑战不能有效地做出反应，那么将来就会陷入困境。”弗莱彻估计航天飞机可望在1987年夏恢复发

射 这个日期又推迟到 1988 年 2 月 18 日。

美国宇航局从技术和管理两大方面重新进行航天飞机的改进和完善工作。1986 年 11 月完成了对航天飞机的管理机构全面改组,加强了集中领导,明确了各级部门的职责和分工,设置了独立的“安全、可靠性和质量办公室”,吸收了 6 名有经验的宇航员参加管理工作。他们不仅参与决策,而且还亲临发射现场,对发射与否有绝对权威。各个环节责任明确,取消了过去模棱两可的步骤和方法。

航天飞机本身也作了重大改进,重新设计和改装的部件达 500 个之多。固体助推器作了 40 处重大改进。航天飞机主发动机作了 39 处结构改进。轨道器作了 68 处重大结构改进和 210 处一般性改良,机翼、轮胎、刹车和前操纵轮也都得到改进。只有外储箱未作多大变化。据估计,航天飞机的这些改进耗资达 25 亿美元。航天飞机恢复飞行工作可谓慎之又慎。

固体助推器是改进重点。宇航局在调查了几家公司的设计方案和使用经验后,重新设计了较理想的连接件,将原来的 U 形槽改为楔口-楔口连接式,并增加了厚度,以防在燃气压力下发生变形。O 形密封圈完全重新设计,增加了直径、采用更富有弹性的 J 腈橡胶材料制造、由 2 个增加到 3 个。为解决 O 形圈低温变脆问题,在连接处外部安装了薄带式加热装置,保证其发射时温度不低于 20 度。为使连接处工作期间不转动,还采取了定位措施。另外,固体助推器的检测也使用了新研制的全自动检测系统。

由于研制过程中考虑经费问题和技术难度大,航天飞机取消了设计中曾有的应急救生系统。这次改进过程中增加了宇航员逃逸系统,弥补了这一重大缺陷。宇航局曾考虑了两种装置,一种叫动力弹射式,一种叫可伸缩桅杆式。通过试验和分析比较,桅杆式救生系统更简单、安全、重量轻。采用这种装置宇航员全部逃离航天飞机约需 90~100 秒,而动力弹射式需 112 秒。因此决定采用桅杆式。

可伸缩桅杆式逃逸系统是装在航天飞机驾驶舱左侧的长约 3 米的钢制桅杆,形成一个半径约 5 米的圆弧。在发生紧急事件情况下,宇航员用伞勾挂在杆上,两手扶住桅杆,依次滑向轨道器右翼下的舱门中。这个舱门可自动爆开。利用这个杆可使宇航员的身体顺应下滑气流,起导向作用。不过这种逃逸系统仍是初级的。由于宇航员发射时不穿宇航服,所以能够救生的高度在 7 000 米以下,而且由于这个系统在使用时要求轨道器的飞行相对比较平稳,如遇到轨道器剧烈翻滚的情况下,逃生十分困难。所以,像“挑战者”号一类事故实际上也是无法逃生的。

主发动机方面的改进包括完善电子控制装置、喷管操纵机构、温度传感器、涡轮泵叶片的设计。从 1986 年 6 月到 1987 年底,主发动机进行了 166 次试验,累计试验时间 60 000 秒,最长的两次达到 850 秒和 1 000 秒,还对一台发动机进行了 55 次启动试验。试验中对出现的部件松动现象、热交换器泄漏现象都作了及时处理。主发动机燃烧室经过镀镍处理,提高了可靠性。

机身防热瓦也作了改进和更换。为提高发射和返回的安全性,采取了三个方面的措施:改进着陆系统、设置紧急着陆减速网、增设紧急撤离滑梯。发射台也采取了多种安全措施。

1988年9月29日,在中断了两年又8个月后,航天飞机“发现者”号再度升空。可以说美国对这次飞行作了大量的准备,5名宇航员都是经验丰富的老宇航员,都参加过航天飞行任务。在4天的飞行中,宇航员释放了一颗数据中继卫星,进行了11项科学实验。考虑到航天飞机发射民用载荷成本高,美国宇航局决定从此次飞行之后,不再承揽商业载荷发射任务,而且每年航天飞机飞行次数也将减到9次左右。这些新情况表明航天飞机无论从能力上和经济效益上都大大地打了折扣,与第一阶段的目标相比有了较大差距。

1988年12月2~7日,“亚特兰蒂斯”号进行了恢复后的第一次飞行,执行了多种军事任务,包括发射一颗“长曲棍球”军用卫星。1989年航天飞机共发射了5次。这些飞行发射了多颗军用卫星、回收了重达10.5吨的科学实验卫星、发射了最先进的“伽利略”号木星探测器。此外还做了大量科学实验和科学探测。

航天飞机在1990年共进行了6次飞行。这些飞行除进行了大量例行的科学研究和实验外,还发射了一些重要的科学载荷。在第35次飞行中,“发现者”号成功地发射了耗资达15亿美元的“哈勃”空间望远镜,在第36次飞行中,“发现者”号发射了研究太阳极区的“尤里西斯”太阳探测器,在第38次飞行中,“哥伦比亚”号发射了一颗先进的天文观测“卫星”-1号。在沙漠盾牌行动期间,美国利用第37次飞行的机会用“亚特兰蒂斯”号发射了对伊拉克及海湾地区侦察的侦察卫星。

1991年航天飞机进行了6次发射(第39-44次)。在第39次飞行中,“亚特兰蒂斯”号释放了一个重17吨的伽马射线探测器。在第40次飞行中,“发现者”号释放了一个用于“星球大战”计划的科学卫星。在第43次飞行中,“亚特兰蒂斯”号发射了一颗导弹预警卫星。

美国宇航局为1992年安排了9次航天飞机飞行。1月22~30日,在第45次飞行中,“发现者”号航天飞机把占一半舱位的大型国际微重力太空实验室携带升空。在为期8天的飞行中,宇航员共进行了54次涉及材料科学和生命科学的实验。3月24日~4月2日第46次飞行中,“亚特兰蒂斯”号航天飞机携带了13种科学仪器,广泛研究了地球大气环境、太阳辐射以及人类活动对臭氧层的影响,此外还进行了天文观测、拍摄了许多天文和气象照片。

在此之前,用于替补“挑战者”号的新航天飞机“奋进”号也已准备就绪。从1987年8月签订合同到1991年4月25日出厂,“奋进”号的制造用了3年零8个月时间,耗资20亿美元。“奋进”号从外形上看与其他轨道器完全一样,但内部作了相当大的改动:加装了着陆用的减速伞;采用新的大存储量、高运算速度的计算机;使用新的导航系统和卫星跟踪器;改进了事件控制器、气体发生器、燃料泵、辅助电源;采用冗余密封和某些新材料;增加了推进剂携带量并改善了生命保障系统。经过这些改进措施,使奋进号的留空时间提高到28天,是现有轨道器的两倍。

1992年5月7日,“奋进”号发射升空。这次飞行(总第47次)有三项主要任务:对轨道器本身进行验证;对国际通信卫星6F3实施救援;进行空间站在轨模拟组装练习。救援卫星的工作真是惊心动魄,前后尝试了3次,终于在5月13日傍晚将卫星收回货舱并装上新的近地点发动机。14日凌晨,国际通信卫星6F3进入了大椭圆轨道。练习空间站组装活动在14日下

午进行,历时6小时,主要试验了大型构件在轨搬运和组装。5月16日,“奋进”号顺利返回地面。这次飞行还创下了宇航员4次舱外活动、最多有3人同时出舱、舱外作业时间一次达8小时30分的纪录。

1992年6月25日~7月9日,在航天飞机第48次飞行中,“哥伦比亚”号创下了航天飞机在轨飞行14天的纪录,首次达到设计最长时间指标。这次飞行共进行了31项材料、流体物理、生物、医学、燃烧等方面的科学实验,还进行了几百项小型实验。7月31日~8月8日,“亚特兰蒂斯”号完成了航天飞机的第49次飞行,成功地释放了欧空局研制的“尤里卡平台”1号。但在试验意大利研制的系留卫星系统1号时,因绕线电机系统故障而失败。9月12~19日,“奋进”号进行了第二次航天飞行,这也是航天飞机总第50次飞行。

美国航天飞机在1992年共飞行了9次,1993年共飞行了8次。在这些飞行过程中,重要的任务有:发射并回收了欧洲最大的卫星“尤里卡平台”,进行了修复“哈勃”望远镜的练习,开展了德国空间实验室D2的试验工作,开展了美国微重力有效载荷装置试验,发射了数据中继卫星。这期间最重要、最困难也最引人注目的是航天飞机“奋进”号于1993年12月2日至13日对哈勃太空望远镜成功地进行了修理。这是自“阿波罗”登月以来难度最大的一次太空飞行任务。1994年美国航天飞机共飞行了8次。2月3日至13日“发现”号的飞行是航天飞机第60次飞行,有一名俄罗斯人参加。从1995年开始,为建造国际空间站,美国航天飞机与俄罗斯的“和平”号空间站共进行了9次对接与联合飞行,取得了成功,其目的是试验与空间站的对接系统和进行建站练习。

航天飞机在运行过程中,不断进行各种改进。1986年的大改中,重新设计了固体燃料助推器、安装更多的传感器及为宇航员设计一个降落伞救生系统等。此外,为提高飞行的安全性,使用了新的更加安全可靠的主发动机和轻质铝锂合金外燃料箱,由此减少了3402千克自重,而提高了货舱的负载能力,改进了制动装置和保证短距离安全着陆的尾部降落伞,加强了对机翼前缘和货舱门内散热器的保护,以防止轨道碎片的影响等。

1999年对“亚特兰蒂斯”号的修改包括130多处,原有的4个阴极射线管显示屏及大量机械装置和仪表被拆除,取而代之的是一个可与最新式客机相媲美的具有彩色数字显示屏、新型导航系统和先进电子设备的现代化驾驶舱。通过这些先进的仪器设备,宇航员可在起飞和降落的关键8.5分钟里更快地获得和处理各种信息,这对于保证飞行安全是至关重要的。在尚无其他可替代航天器的情况下,延长航天飞机的使用期限是十分必要的。根据设计要求,每架航天飞机的使用寿命为重复飞行100次,因此美国宇航局认为,只要通过不断更新,这些航天飞机至少还可继续飞行15~20年。

美国航天飞机的重要改进还有:主发动机部分部件进行了重新设计,提高了可靠性;采用新的主发动机监测系统,提高了飞行的安全性;简化了发动机喷管设计,提高了可靠性;固体助推器进行了大规模的修改;外储箱采用新的结构材料,减轻了起飞重量;更换了座舱大部分显示系统,减轻了驾驶员的负担;采用了新的计算机和数据处理系统,提高了系统监视与管理能力;推进剂输送系统进行了重大改进。经过这些改动,航天飞机轨道飞行时间延长了近一倍,

载荷能力提高了 8 吨,每年运行成本降低了 40%,发射时的危险系数降低了 80%,飞行过程中事故发生次数减少了 70%。

2000 年 10 月 22 日“发现”号完成 STS - 92 飞行任务返回地面后,标志着美国航天飞机整整飞行了 100 次。其中“发现”号飞行了 28 次,“哥伦比亚”号飞行了 26 次,“亚特兰蒂斯”号飞行了 22 次,“奋进”号飞行了 14 次,“挑战者”号飞行了 10 次。在 100 次飞行过程中,共有 624 人次进入太空,发射的载荷总重量超过 1 360 吨,航天飞机在轨道上的总时间超过 2.5 年,折合入时数相当于 15 年。带入轨道的载荷总数超过 850 个,发射的卫星和探测器 60 余个,回收的载荷 20 余个。在 100 次飞行中,7 次与“和平”号空间站对接,6 次同“国际空间站”对接;3 次修理“哈勃”太空望远镜;发射了探测木星、土星、金星和太阳的探测器;完成了数百项无重力有关生命、植物、金属、材料方面的科学试验。航天飞机绕地球飞行圈数超过 10 000 圈;总航程超过 5 亿千米。

自 1998 年开始,美国航天飞机在建造国际空间站方面发挥了巨大作用。截止到 2002 年 1 月,它专门为发射空间站部件进行了 13 次飞行。期间,航天飞机宇航员还进行了大量科学研究与实验工作。然而,不幸的是美国航天再一次发生了灾难性重大事故。2002 年 1 月 16 日,“哥伦比亚”号航天飞机发射升空,执行国际空间站任务。这是“哥伦比亚”号的第 28 次飞行,也是航天飞机总第 113 次飞行。当预定任务圆满完成后,2 月 1 日“哥伦比亚”号离开国际空间站准备返回。在即将返回地面的时候,“哥伦比亚”号航天飞机发生了巨大的爆炸,机上的 7 名宇航员全部遇难。这是自 1986 年挑战者号失事后,美国航天事业的又一次大灾难。

经过半年多的事故调查,美国“哥伦比亚”号航天飞机事故调查委员会前后花费了 2 000 万美元,于 2002 年 8 月 26 日公布了一份长达 248 页的最终调查报告。调查专家一致认为,正是飞机左翼在升空 81 秒钟后遭到异物(从主燃料箱上脱落的泡沫绝缘材料)撞击并发生严重破损,最后导致其在返航进入地球大气层途中因超高温空气从伤口入侵,造成内部线路和金属部件融化和机毁人亡的可怕悲剧。

调查报告还指出:“NASA(美国宇航局)文化”对航天飞机的失事有不可推卸的责任,美国航空航天局管理层长期以来对安全问题的松懈是酿成此次悲剧的一个因素,美国航空航天局需要彻底的改革。在这份措辞尖锐的报告中,美国宇航局遭到了猛烈的抨击。调查委员会指出,该机构缺乏“强效安全文化”和有效的制衡机制,没有独立的安全程序,不善于学习和总结,如果美航空航天局不进行彻底改革,可预见的事故将会再次发生。报告同时指出,美国宇航局的机构文化,对安全问题的长期漠视起到了与泡沫材料相同的作用。

在“哥伦比亚”号航天飞机失事后,美国宇航局也一直在对航天飞机进行改进,并多次制定航天飞机重新发射的时间表。最初预计在 2003 年 3 月即可进行恢复飞行,后又推迟到 2004 年 8 月以后。无论如何,航天飞机重返太空将不会是一帆风顺。

航天飞机是世界航天史的一个重要里程碑,从研制成功至今已经飞行了 23 年。尽管它有不少不尽人意的地方,如原计划中提出的能力和经济指标没有完全兑现,接二连三的重大事故,许多技术问题还欠考虑,而且由于发射成本高,它已不适于商业发射,多限于大型载荷和实

验任务,但它仍然有大量一次性火箭无法比拟的优点,特别是轨道救援、卫星回收和维修、特殊有效载荷部署和更换以及对宇航员和有效载荷的较低要求等。这也是许多国家都制定了自己的航天飞机计划的原因。另外,通过“挑战者”号和“哥伦比亚”号失事的血的教训,其他国家在发展载人航天过程中,可以从中获得有益的经验。可以预计,当未来空间站成为航天活动的中心之时,航天飞机还将发挥不可替代的重要作用。

第5节 苏联的“暴风雪”号

自从1981年美国航天飞机首次进行轨道飞行以后,全世界关注航天事业的人们几乎都把目光放在航天飞机上面,一时间航天飞机成了街谈巷议的话题。可以说在某种意义上,美国宇航局在60年代末达到的声誉的巅峰重又在航天飞机的诞生之后再现了。1986年以前,美国宇航局的宣传和新闻界的鼓吹还使世人普遍认为航天飞机可以大幅度降低有效载荷发射成本,带来极大的商业利润,可以提高发射频度,甚至可以例行地进入宇宙空间。正是由于这些缘故,80年代前期连一些中等水平的航天技术国家都提出了自己的航天飞机甚或空天飞机计划。

80年代后期到90年代初,世界的政治和经济形势发生了巨大变化。美国航天飞机的长期飞行验证暴露出了固有的缺陷,它的价值因此大打折扣。另外各国对于航天竞争亦有了新的看法,这使得各国航天飞机计划进入90年代之后陷入低潮,有的甚至落入下马的境地。只有前苏联研制成功了航天飞机,但只进行了一次轨道飞行便偃旗息鼓了。

正像苏联其他航天计划一样,苏联一直对本国航天飞机研制的情况严格保密。因此长期以来,人们只能借助于苏联透露的蛛丝马迹、依靠间谍卫星偶然探知的情況,以及军用侦察飞机看到的情况进行分析和推测。因此在很长时间内,各国专家对苏联研制航天飞机的情况所作的描述和分析都带有不可靠的成分,特别是对于某些技术细节几乎一无所知。不过这些西方的信息还是为我们提供了有关苏联航天飞机的大致轮廓。

80年代末苏联发射成功第一架航天飞机“暴风雪”号后,外界对苏联航天飞机有了新的了解。加之苏联也制定了改革与开放政策,苏联对这方面的资料也开始向外界公开。这样我们介绍和分析苏联航天飞机的发展历程也就有了比较准确的资料。

苏联与美国发展航天技术的方针和政策有许多不同之处,这一点既有历史的原因,也有社会、经济、技术和文化背景的因素。在太空竞赛告一段落后,苏联优先发展空间站。结果使苏联的空间站在技术水平和空间应用成果方面都大大领先于美国。但集中精力发展空间站也带来一个问题,支持持续在太空中执行任务的空间站需要经常性大量发射运载火箭、载人或不载人宇宙飞船,把宇航员和各种物资运往空间站。由于它们均为一次性使用的,发射数量又如此之大,带来沉重经济负担。因此发展可重复使用的航天飞机便成了解决这一问题的可行办法。

苏联研制的用于载人登月的巨型H-1火箭数次试验遭到惨败后,登月计划被撤销。尔

后 科罗廖夫设计局的新任总设计师格鲁什科提出新的航天飞机计划。1974 年在国际宇航联合会会议上 苏联宇航员列昂诺夫在发言中说：“可重复使用的航天飞机研制工作正在进行。”在初步规划工作的基础上 1975 年苏共 25 次代表大会在制定 1976 ~ 1980 年第 10 个五年计划时 曾向各界征求过进行航天飞机计划的意见。最后 航天飞机计划得到正式批准 并于 1976 年开始实施。这就是苏联“暴风雪”号航天飞机计划的起源。

“暴风雪”号航天飞机最大的技术问题是实现防热和自动着陆。为了解决防热问题 苏联研制了 30 多种新材料。为了解决气动外形设计问题 苏联用小模型进行风洞试验获得了在 $M_3 \sim M_{10}$ 速度范围内的近似气动力系数。在这些工作的基础上 苏联采取了与美国航天飞机完全不同的研制策略 借助于“暴风雪”4 和“暴风雪”5 两种 1/8 缩比模型进行发射试验 以验证为全尺寸航天飞机发展的防热技术、自动控制技术和气动外形设计。

“暴风雪”4 模型主要用于试验暴风雪号航天飞机的碳碳防热系统。它长约 4.88 米 宽 2.74 米 重约 0.9 吨 比 50 型样机小得多。虽然它的总体外形与暴风雪号航天飞机不同 但它具有与“暴风雪”号相似的防热瓦和曲率相近的头锥。它的头部机身上有一个锥形凸出装置 是充气装置 使其在海洋上漂浮起来。1982 ~ 1984 年间 “暴风雪”4 模型至少进行了 12 次发射试验 其中 4 次是轨道飞行。虽然苏联对这些试验高度保密 并伪装混称宇宙系列卫星 但有几次回收的场面还是被西方侦察到 甚至还被拍了照片。

“暴风雪”4 首次轨道飞行是在 1982 年 6 月 3 日 由“宇宙”号运载火箭发射进入 191 千米 \times 230 千米的轨道上 这个模型的编号为“宇宙 1374”号。它飞越澳大利亚、南太平洋、中美洲、大西洋上空 经欧洲返回苏联上空 最后在南纬 17° 、东经 98° 溅落在南印度洋。回收区有 7 艘船只负责搜索和回收。有趣的是 紧随着回收船只的澳大利亚皇家空军海防巡逻飞机侦察到了这两次回收情况 并且还拍摄到相当清晰的照片。这成了当时轰动一时的新闻。

第三次轨道飞行是在 1983 年 12 月 27 日进行的 这架“暴风雪”4 的编号为“宇宙 1517” 回收改在黑海海域。不过这次试验还是被美日情报部门获悉。第四次试验是在 1984 年 12 月 9 日 这架模型编号为“宇宙 1614”号。它完成了近地轨道飞行一圈后再入并溅落在黑海中 历时 95 分钟。当时西方分析家基于各种侦察手段获得的情报分析 苏联在进行两种航天飞机的研制。上述四次飞行试验是小型航天飞机的缩比模型。

“暴风雪”5 是“暴风雪”号航天飞机的精确缩比模型。它重约 1.4 吨。苏联从未披露过这种高超音速验证飞机的消息。它主要用以验证“暴风雪”号航天飞机的气动外形设计 研究在 $M_2 \sim M_{16}$ 速度间的性能参数。为此对“暴风雪”5 的再入条件进行了特殊设计 以便获得与“暴风雪”号航天飞机对应的雷诺数。1983 年 7 月 4 日 “暴风雪”5 由“宇宙”号运载火箭发射 进行了首次亚轨道飞行 尔后又进行了至少 4 次亚轨道飞行。苏联利用“暴风雪”5 的亚轨道飞行 获得了与全尺寸航天飞机相类似的理想气动数据。

自 80 年代初以来 西方分析家一直在推测苏联正在研制一种巨型运载火箭 它的近地轨道运载能力达 100 ~ 150 吨。这可能就是为发射大型航天飞机服务的“能源”号运载火箭。不过长期以来 人们并不了解这种火箭的技术细节。1985 年 4 月 13 日 苏联首次发射了几乎相

隔一代的新型运载火箭。但事情过去 3 年后,苏联才公布消息说,这次发射是“能源”号巨型运载火箭的液体助推器的一次试飞。1987 年 5 月 15 日,“能源”号运载火箭进行了首次发射试验。此后,人们才逐渐了解到“能源”号运载火箭的一些详细情况。

“能源”号运载火箭是苏联进行航天活动的一种全新运载工具。苏联从 H-1 运载火箭的失败中吸取了许多重要的教训。其中主要的是,利用已有运载火箭进行渐改会有某种极限,一旦达到这个极限,运载能力难以继续提高,相反可靠性则大大下降。因此必须在适当时候开展全新研制工作。“能源”号火箭完全是从头开始的。

“能源”号运载火箭基本型由中央芯级和 4 个助推器构成。芯级装有 4 台单燃烧室液氢液氧发动机,每台可产生约 148 吨的海平面推力。这样芯级的总推力为 592 吨。这种新研制的高性能液氢液氧发动机使用次数可达数十次,这是苏联低温发动机技术的重大突破。设计人员以减少气动力损失的方法,满足了再生冷却要求和在液氢环境中材料的耐用性,保证了该发动机的高性能特点。据推测,这种发动机的比冲可达 485 秒,优于美国航天飞机主发动机。

助推器各有一台四燃烧室的 RD-170 发动机。这是一种早已投入使用的标准发动机,采用液氧和煤油作为推进剂。它的设计方案是最经济的,结构也最紧凑,就推力和比冲而言,这些发动机在同级中创造了最高的性能纪录,估计其比冲在 380 秒以上,推力为 740 吨。RD-170 发动机提高性能的主要措施是采用塞式喷管发动机。这是一种结构简单而又比较可靠的系统。塞式喷管发动机的结构坚固得多,它可在更高的压力下工作,因此是一种比较有效的发动机,其工作压力可达 500~800 大气压。

能源号运载火箭基本型高约 60 米,芯级直径为 8 米,助推器高 39 米,直径 4 米。用于发射航天飞机时,它的起飞重量为 2 400 吨,其中液氢液氧携带量多达 2 000 吨,它的起飞推力高达 3 500 吨。火箭在地面点火起飞后,当达到亚轨道速度时,芯级发动机开始分离。在此之前,一旦助推器的推进剂耗尽便成对与芯级分离。由于在陆地回收,头部的储箱仍然报废,但发动机可重复使用。芯级的情况尚不很清楚,有报道说它是分三段由降落伞分别回收的。

包括航天飞机在内的有效载荷并不能直接进入地球轨道,而是由“能源”号先送入亚轨道。然后利用有效载荷上的发动机加速进入轨道,航天飞机轨道器则利用自身的若干机动发动机入轨。据苏联宣称,在发射其他有效载荷时,“能源”号可将 18 吨载荷送入地球同步轨道,可将 32 吨有效载荷送入月球,可将 27 吨有效载荷送到火星和金星。

“能源”号运载火箭还可以加装 6 或 8 个液体助推器,这样起飞重量和起飞推力都将大大增加,低轨道运载能力将达到 185 吨以上。

1987 年“能源”号首次发射搭载了一个 100 吨重的模拟载荷。由于上面级发动机故障,载荷未能进入轨道,但“能源”号火箭本身是成功的。此时,人们认为苏联将用这种火箭作为航天飞机的运载工具。还有报道说,法国“斯波特”卫星拍摄到苏联航天飞机正安装在“能源”号火箭的侧面,处于待发状态。对此,苏联既不证实也不否认。1988 年 1 月 20 日,苏联才在电视节目里正式宣布,苏联不久即将发射自己的航天飞机,现在正进行最后的试验和检查。

苏联原计划在 1988 年上半年赶在美国“发现”号航天飞机重返太空之前发射航天飞机,

后因技术问题被迫推迟到 10 月 29 日。但当天在发射前 51 秒钟时,电脑发现用于安装火箭的回转仪安全平台,完成任务后未能退回到指定位置,航天中心只好宣布中止发射。

1988 年 11 月 15 日,苏联用一枚“能源”号运载火箭将“暴风雪”号航天飞机送入 250 千米高的预定圆形轨道,前后用了 47 分钟时间。这是由于能源号首先将航天飞机送入亚轨道之后,只有两个小型机载发动机推进的结果。“暴风雪”号自动绕地球飞行两圈,在轨道上运行 3 小时后,按预定计划于当天 9 时 25 分受控返回地面,准确降落在距发射场 12 千米外的机场。“暴风雪”号的首次不载人自动轨道飞行获得圆满成功。

“暴风雪”号航天飞机的尺寸和性能同美国航天飞机极其相似:长为 36.4 米,高为 16.5 米,翼展为 23.9 米,机身宽度 5.6 米,翼面积 250 平方米,座舱容积 70 立方米,货舱尺寸 18.3 米×4.7 米。它的性能数据为:起飞重量 105 吨,最大着陆重量 82 吨,最大发射载荷 30 吨,最大着陆载荷 20 吨。机组最多时乘员为 8~10 人,这也与美国航天飞机相同。但相比之下,苏联航天飞机还有许多自己的特色,某些方面比美国航天飞机更为合理:

1. 苏联航天飞机与“能源”号运载火箭是相互独立的,无需在轨道器上外挂储箱和助推器一起点火发射,从而使用时受限制较少。航天飞机仅仅是“能源”号的一种有效载荷。这样会大大降低事故率,提高了可靠性和安全性。

2. 苏联航天飞机没有主发动机,只是在尾部装了两个小型入轨发动机。这样大大降低了航天飞机的发射重量,节省了有效空间。因此在比美国航天飞机尺寸小的情况下,苏联航天飞机有效载荷舱尺寸和运载能力却大于美国航天飞机。而且由于省去了要求多次使用的主发动机,又进一步提高了航天飞机的可靠性和安全性,同时也减化了地面检修和发射前准备。

3. 由于尾部装有两台小型发动机,苏联航天飞机的进场着陆相对比较容易,横向机动距离较大,据称可以在紧急情况下进行二次着陆。这种有动力的滑翔和着陆显然比无动力滑翔方便得多,也因此安全得多。

4. 由于“能源”号火箭各级全部使用液体推进剂,苏联通过适当的故障防护措施可以保证在助推器或芯级中任一发动机故障情况下,火箭能继续飞行。这是使用固体助推器的美国航天飞机达不到的。在发射航天飞机时,“能源”号在故障条件下可将航天飞机送入较低的轨道,然后再返回着陆场,也可使航天飞机返回到发射场附近的地域。

5. 苏联航天飞机在大气层滑翔时,能像普通飞机那样借助副翼、操纵舵和减速板来控制。它还有减速制动伞,使它在较短的距离内停下来。

6. 苏联航天飞机与美国航天飞机的机翼形状略有不同。美国采用圆弧线型,苏联航天飞机机翼则棱角分明,虽然美国航天飞机机翼的空气动力学特性较好,但加工和装配比较复杂。

7. 苏联航天飞机装有计算机控制的自动飞行控制系统,它可以实现无人自动轨道飞行。这样在作为空间站服务工具时,它可以实现无人货运发射,从而减少对宇航员生命的威胁。

8. 苏联航天飞机的表面防热系统与美国航天飞机轨道器有所不同。整个“暴风雪”号的表面用 38 000 块由特别细的玻璃纤维和碳碳复合材料构成的轻型耐热陶瓷片所覆盖。除机身底部及机翼底部和前缘的陶瓷片是黑色外,其余均为白色。据称,这种防热片可承受

2 000 的高温。

“暴风雪”号的首次飞行采取无人自动轨道飞行方式,显示了很高的计算机和控制技术水平,令美国人感到震惊。按计划,苏联塔斯社指出,苏联航天飞机的主要用途是为轨道上的空间站服务,包括运送人员和设备,也可把使用期满的部件以及卫星送回地面或在轨修理。据美国人认为,苏联航天飞机还可能用于部署反卫星武器和反弹道导弹武器。

1989 年以后,由于苏联内部动荡、经济每况愈下,航天飞机载人计划一推再推。在极其艰难的情况下,1991 年载人的“小鸟”号(亦称“暴风雪”2 号)进行了地面实验。随着 8·19 事件苏联解体,原来的航天计划被蒙上了一层阴影。苏联解体后,俄罗斯经济状况不佳,维持空间站的运行已经力不从心,再无力继续航天飞机计划。除经济原因外,进入 20 世纪 90 年代后航天飞机的实际用途也不明确。正像一位苏联专家所说的:“可重复使用的航天器思想,无疑是很先进的,但在我们的航天计划中,还从来没有一个有效载荷超过 25~30 吨的。‘暴风雪’号就像一辆重型卡车在高速公路上空车奔跑。”由于经费紧张及目的不明确等原因,1993 年 6 月 30 日,叶利钦政府正式决定中止航天飞机计划。

结束语：

刚刚过去的 2003 年,是第一架飞机诞生 100 周年,也是航天学理论诞生 100 周年。百年以前,航空先驱者莱特兄弟克服了前所未有的巨大困难,试飞成功世界第一架飞机;航天先驱者齐奥尔科夫斯基以科学为强大的武器,撰写发表了航天飞行的开创性论文。100 年在整个人类社会的历史长河中不算很长,但航空航天技术在百年间获得了迅速发展。这 100 年,人类社会的面貌极大地改变了;战争样式因作战飞机的发展而变得更加残酷;旅行方式因大型客机的发展而变得更加迅捷;战争机器因洲际导弹的发展而变得更加恐怖;通信手段因通信卫星的发展而变得更加方便;气象观测因气象卫星的发展而变得更加准确;宇宙观测因天文卫星的发展而变得更加深入;空间科技因空间站的发射而更加活跃……

百年航空航天技术对人类社会的政治、经济、科技、军事、文化都带来了巨大影响。航空航天技术的发展引起了人类社会的巨大变革,影响到通信、气象、导航、冶金、材料、加工、医学、能源、军事、地质、矿产、农业、文化、科学探测、天文学研究等各个领域,是社会进步的强大动力。航空航天技术是典型的知识密集和技术密集的高技术事业。航空航天技术的发达程度,已经成为衡量一个国家科学技术、国防建设和国民经济现代化水平的重要标志之一。在新的世纪,人们将运用微电子技术、计算机技术、新材料、新工艺和新能源来发展性能更优良的各类飞行器,并扩大航空航天技术的应用范围。航空器将进一步向一体化、综合化和信息化的方向发展。新动力、新材料、新技术和新思想的运用将大大改善飞机的性能。未来的飞机将在载重能力、高速度、机动性、适应性和经济性方面取得新的突破。未来的航空运输事业将会更普及、更安全、更经济,为人类的工作、旅游和生活带来更多的方便;通用航空将在农业、牧业、渔业、森林、探矿、气象、体育、治安和环保等领域发挥更加重要的作用。21 世纪人们可以期望乘坐全新的旅客机用几小时时间进行洲际旅行,并且噪声低、污染小、更安全和更经济。未来的作战飞机综合性能更加出色,空中力量仍将是战争机器的核心。在航天领域,利用太空特殊环境,将能够获得新的科学技术发现和发明;从太空中获得信息、材料和能源将更加直接造福于人类;太空将成为人类频繁往来的新场所;航天活动将为解决人类面临的能源、生态、环境、人口等问题开辟多种新途径。

21 世纪开局之年,我们目睹了许多新的重大进展:欧洲空中客车公司正式启动巨型客机 A380 计划,它将使空中旅行更加高效;美国太阳能飞机“太阳神”进行了大量试飞,它将使航空应用领域大大拓展;第四代战斗机纷纷装备部队,它将大大提高军用飞机的作战能力;高超音速研究与试验频繁进行,它将使航空飞行的速度成倍提高;中国“神舟五号”飞船载杨利伟成功进行了首次轨道飞行,实现了中华民族古老的飞行之梦;应用卫星更新换代频繁,它将产生更大的社会效益;国际空间站建设如火如荼,它将使空间工业化的目标初步实现;“精神”号探测器在火星上顺利登陆,它使行星空间探测更加深入;“卡西尼”探测器即将到达土星,它将进一步加深人类对土星的认识和了解;2003 年欧洲空间局研制的“火星快车”号火星探测器乘俄罗斯“联盟”号运载火箭在哈萨克斯坦拜科努尔航天中心发射成功;2004 年 1 月该

探测器在火星轨道上发回火星南极上有水的信息……

天空与太空对人类的诱惑力是巨大的。正是为了揭开一个又一个宇宙之谜,人类曾经作过不懈的努力,今后还将作出新的更大的努力。2004年1月14日,美国总统布什发布了新的航天政策,为美国航天事业描绘出了一幅宏伟蓝图。布什指出,过去30年中,人类足迹没有跨出过比621千米更远的太空,而这不过相当于从美国首都华盛顿到波士顿的距离。美国在过去25年中也没有开发出新的载人航天工具。他说:“现在是美国迈出下一步的时候了。”他阐述了美国未来20年航天发展的目标:美国将在不晚于2008年对月球表面进行一系列无人探测,然后最早2015年、最晚不超过2020年将人送上月球,目标是不断延长在月球上生活和工作的时间。根据在月球上获得的知识和经验,美国下一步将准备派人对火星甚至更远的地方进行探索。除登月外,布什还提出未来美国载人航天的另外两大目标。一是于2010年完成美国所承担的国际空间站工作义务,之后将空间站研究重点转向太空旅行对人体的影响。为此,美国将尽快恢复航天飞机飞行,航天飞机今后几年主要任务是完成空间站组装,然后在2010年“退役”。另一个目标是研制名为“乘员探测飞行器”的新型载人航天工具,争取2008年完成开发和测试,最晚2014年进行首次载人飞行。它类似于“阿波罗”登月飞船的指挥舱,不仅可以代替航天飞机将宇航员和科学家送上空间站,而且可以将人运至更高轨道。

布什最后说:“有了在月球上得到的经验和知识,然后我们就可以做好进行下一步太空探索的准备了。将人类送上火星甚至更远的星球去……由进行更多太空探索而引发的幻想将激发年轻一代更加注重学习数学、科学和工程学知识,从而产生出新一代的发明家和科学先驱。这是美国宇航局面临的一个重大任务,我们认为你们会完成这一任务的。我已经告诉航空航天局局长奥基夫,让他对宇航局的所有目前太空飞行及太空探索行动进行一次评估,然后进行适当调整,以朝着我制定的目标努力。”

总之,航空航天在新世纪充满了光明,同时技术上的难关也会层出不穷。人类既拥有发展航空航天技术的大好时机,又面临着巨大的技术与文化的挑战。

参考文献

- 1 顾诵芬,史超礼,李成智,等.世界航空发展史.郑州:河南科学技术出版社,1998
- 2 顾诵芬,史超礼,李成智,等.世界航天发展史.郑州:河南科学技术出版社,2000
- 3 中国大百科全书·航空航天卷.第一版.北京:中国大百科全书出版社,1985
- 4 王道荫,等.面向21世纪的航空技术.第一版.北京:航空工业出版社,1994
- 5 史超礼,李成智.人类飞行的历程.第一版.北京:中国劳动出版社,1995
- 6 Gibbs-Smith, Sir George Cayley. Aeronautics, 1796 ~ 1855. HMSO Press, London, UK, 1962
- 7 Gibbs-Smith. The Invention of the Aeroplane, 1799 ~ 1909. Faber and Faber, London, UK, 1966
- 8 W. Wright. Our Aeronautical Research Road. The Aeronautical Journal, Vol. 16, 1912
- 9 C. Grahame-White. The Aeroplane, Past, Present and Future. J. B. Lippincott Company, London, UK, 1911
- 10 G. Brewer. Life and Works of W. Wright. Aeronautical Journal, Jul-Sep., Vol. 20, 1916
- 11 J. E. Hodgson. The History of Aeronautics in Great Britain. Oxford Press, UK, 1924
- 12 M. J. B. Davy. Interpretive History of Flight. HMSO, London, UK, 1937
- 13 O. Wright. How We Invented the Airplane. David McKay Company, New York, USA, 1953
- 14 P. Lewis. The British Fighters Since 1912. PUTNAM, London, UK, 1965
- 15 R. E. G. Davies. A History of the World's Airlines. Oxford Press, UK, 1967
- 16 J. F. Blashfield et al(ed). Above and Beyond: The Encyclopedia of Aviation and Space Science. New Horizons, Chicago, USA, 1971
- 17 E. M. Emme(ed). Two Hundred Years of Flight in America. AAS History Series, Vol. 1, Univelt Inc., San Diego, USA, 1977
- 18 Taylor and Munson. History of Aviation. New English Library, London, 1978
- 19 D. Kuechemann. The Aerodynamics Design of Aircraft. Oxford Pergamon, UK, 1978
- 20 C. Chant. Air Forces of WW I and WW II. Hamlyn, London, UK, 1979
- 21 J. H. Taylor et al(ed). Jane's Encyclopedia of Aviation. Jane's, UK, 1980
- 22 E. Jablanski. Man With Wing: A Pictorial History of Aviation. Doubleday, 1980
- 23 M. J. Taylor. The Illustrated Encyclopedia of Helicopters. Exeter Books, New York, USA, 1984
- 24 M. J. H. Taylor. Jet Fighters. Biston Publishing Co., London, UK, 1982
- 25 M. J. Tayloy. Commercial Aircraft. Exeter Books, New York, USA, 1983
- 26 P. M. Bowers. DC - 3 50 Years of Legendary Flight, TAB Books Inc., USA, 1986
- 27 W. Green. Modern Commercial Aircraft. Salamander Books Ltd, London, 1987
- 28 C. Brown. Wings of the Luftwaffe. Airlife Publishing Ltd, UK, 1987
- 29 M. Darlington(ed). Supersonic Fighter Development. R. Haynes Publishing Group, New York, USA, 1987
- 30 A. K. Marsh(ed). Stealth and Future Military Aircraft. Pasha Publications Inc. Arlington, USA, 1988
- 31 B. Gunston. Airbus: The European Triumph. Osprey Publishing Ltd, UK, 1988
- 32 M. J. H. Taylor. The Aerospace Chronology. Tri-Service, London, UK, 1989
- 33 B. Sweetman & J. Goodall. Lockheed F - 117A. Motorbooks International Publishers, USA, 1990
- 34 K. E. Tsiolkovsky. Collected Works of Tsiolkovsky. Vol. 2, NASA TT F - 237, 1965

- 35 R. Esnault-Pelterie. L'aeroplan et le moteur extra-leger. Esnault-Pelterie , L'aeroplan , vol. 15(1907)
- 36 R. H. Goddard. A Method of Reaching Extreme Altitudes. Smithsonian Institution , Washington , 1919
- 37 H. Oberth. Die Rakete zu den Planetenraumen. R. Oldenbourg , Munich , 1929
- 38 W. Dornberger. V - 2. Hust & Blackett , London , 1952
- 39 W. Ley. Rocket , Missils and Space Travel. Chapman and Hall , London , 1952
- 40 B. Williams et al. The Rocket Pioneers. Julian Messner , New York , 1955
- 41 T. Benecke & A. W. Quick. History of German Guided Missiles Development. AGARD , Verlag E. Appelham , Germany , 1957
- 42 W. H. Stillwell. X - 15 Research Results. NASA , SP - 60 , Washington , 1960
- 43 E. Emme. Aeronautics and Astronautics , 1915 - 1960. NASA , Washington , 1961
- 44 E. Stuhlinger et al(ed). From Peenemunde to Outer Space. Huntsville , Al. 1962
- 45 R. R. Gilruth. Projects Mercury and Gemini , NASA SP - 8. Washington , 1962
- 46 J. M. Grimwood. Project Mercury : A Chronology , NASA SP - 4001. 1963
- 47 NASA MSC. Mercury Project Summary , NASA SP - 45. Washington 1963
- 48 H. L. Dryden et al. Astronautics and Aeronautics , NASA SP - 4004. 1964
- 49 T. Alexander. Project Apollo : Man to the Moon. Harper , New York , 1964
- 50 M. Faget. Manned Space Flight. Holt , New York , 1965
- 51 E. M. Emme. An History of Space Flight. New York , 1965
- 52 G. Gurney. Walk in Spce : The Story of Project Gemini. Random House , N. Y. 1967
- 53 M. R. Sharpe. Yuri Gagarin : First Man in Space. Strode , Huntsville , 1969
- 54 W. G. Holder. Saturn Fire : The Moon Rocket. Messner , New York , 1968
- 55 Above and Beyond : The Encyclopedia of Aviation And Space Sciences. New Horizons , Chicago , 1968
- 56 I. Ivan et al. The Apollo spacecraft : A Chronology , Vols. 1 - 4 , NASA SP - 4301. Washington , 1969
- 57 J. M. West. (ed). Apollo 11 Preliminary Science Report , NASA SP - 214. NASA , Washington DC , 1969
- 58 I. Ivan et al. The Apollo spacecraft : A Chronology , Vols. 1 - 4 , NASA SP - 4301. Washington , 1969
- 59 J. M. Logsdon. The Decision to go to the Moon : Project Apollo and the National Interest. MIT Press , 1970
- 60 J. M. Logsdon. The Decision to go to the Moon : Project Apollo and the National Interest. MIT Press , 1970
- 61 C. Hacker. On the Shoudders of Titan : A History of Project Gemini , NASA SP - 4203. Washington , 1974
- 62 E. M. Cortright(ed). Apollo Expeditions to the Moon. NASA , Washington , 1975
- 63 Hacker , B. C et al. On the Shoulders of Titans : A History of Project Gemini , NASA-SP - 4203. 1977. GPO
- 64 L. F. Belew. Skylab , Our First Space Station. NASA , 1977
- 65 D. Baker. The Rocket : The History and Development of Rocket and Missile Technology. New Cavendish Books , London , 1978
- 66 R. Salkeld(ed). Space Transportation Systems , 1980 - 2000. NASA , 1978
- 67 C. Ezell et al. The Partnership : A History of the Apollo-Soyuz Test Project. NASA , Washington , 1978
- 68 C. G. Brooks et al. Chariots for Apollo A History of Manned Lunar Spacecraft , NASA SP - 4205. Washington , 1979
- 69 R. E. Bilstein. Stages to Saturn , A Technological History of the Apollo-Saturn Launch Vehicle , NASA SP -

4206. Washington ,1980

- 70 K. Gatland(ed). The Illustated Encyclopedia of Space Technology. Harmony Books , New York ,1981
- 71 D. Baker. The History of Manned Space Flight. Crown Pub. Inc. N. Y. 1981
- 72 NASA. The space Shuttle at Work ,NASA SP - 432. Washington ,1982
- 73 G. K. E. Pardoe. The Future of Space Technology. Frances Printer , London ,1984
- 74 W. von Braun & F. I. Ordway. Space Travel : A History. Harper & Raw Publishers , New York ,1985
- 75 M. Smith. Space Shuttle , US Winged Spacecraft : X - 15 to Orbiter. Haynes Publishing Group , Cal. 1985
- 76 M. Smith. Space Shuttle. Haynes Pub. Cal. ,1986
- 77 M. McConnell. Challenger , A Major Malfunction. Doubleday & Company , N. Y. 1987
- 78 D. Hart. The Encyclopedia of Soviet Spacecraft. Bison Books Corp. N. Y. 1987
- 79 P. Clark. The Soviet Manned Space Program. Salamander Books Ltd UK ,1988
- 80 H. U. Shipman. Humans in Space :21th Century Frontiers. Plenum Press , NY ,1989