

WO SHI XIAO XIAO JUN MI

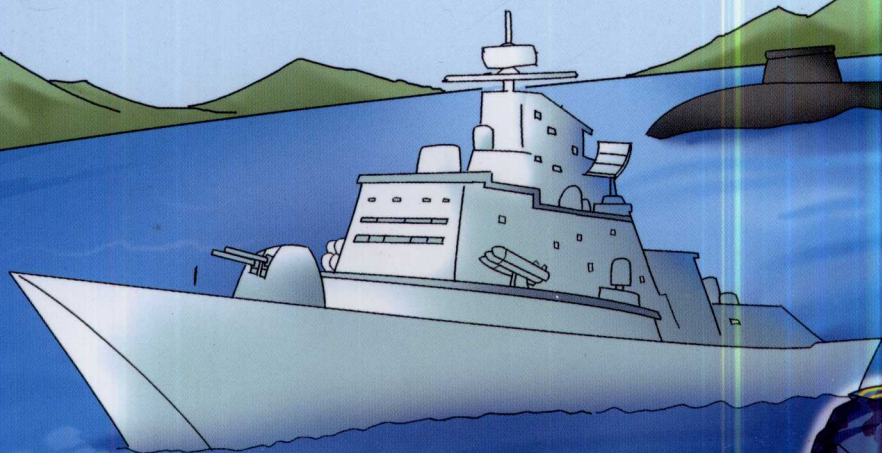


我是小小军迷  
WO SHI XIAO XIAO JUN MI

常丁丁◎编著

小军迷和你一起DIY

# 手把手教你 做航模



北京燕山出版社  
BEIJING YANSHAN PRESS

# 手把手教你做航模

常丁丁

北京燕山出版社

# 目录

第一章 航模萌芽：早期航模.....	3
第一节 航模是怎么出现的.....	3
第二节 古代的飞行梦.....	6
第二章 航模成长：模型飞机.....	17
第一节 模型飞机是怎么来的.....	17
第二节 什么是模型飞机.....	21
第三节 模型飞机的翼型.....	26
第三章 航模时代：航模家族风采.....	31
第一节 纸模型飞机.....	31
第二节 橡筋模型飞机.....	35
第三节 滑翔模型飞机.....	37
第四节 遥控模型飞机.....	41
第五节 线操纵模型飞机.....	52
第四章 航模天地：航模制作.....	57
第一节 航模工艺.....	57
第二节 纸模型飞机的制作.....	64
第三节 电动模型飞机的制作.....	67
第四节 手掷模型滑翔机制作.....	70

# 第一章 航模萌芽：早期航模

20 世纪初，美国的莱特兄弟在世界的飞机发展史上做出了重大的贡献。1903 年，他们制造出了第一架依靠自身动力进行载人飞行的飞机“飞行者”1 号，并且获得试飞成功。他们因此于 1909 年获得美国国会荣誉奖。同年，他们创办了“莱特飞机公司”。自从飞机发明以后，飞机日益成为现代文明不可缺少的运载工具。它深刻改变和影响人们的生活。飞机发明之后，航模也得到了迅速的发展。

## 第一节 航模是怎么出现的

### 一、热气球和氢气球的诞生

1782 年 11 月，法国人蒙哥尔费兄弟利用麦秆点燃后产生的热气，使一只以柳条为骨架、外部蒙有纸皮的气球升空，这被公认为世界上第一只成功飞行的近代热气球（直径 12 米、高度 17 米）。

1783 年 9 月，法国人蒙哥尔费兄弟用热气球载着绵羊、公鸡和鸭子升至 450 米高度。法国国王路易十六赐名“蒙哥尔费气球”。

1783 年 11 月 21 日，法国人罗泽尔与达兰德斯侯爵乘坐“蒙哥尔费气球”经过 20 分钟的水平飘飞，安全降落，完成了人类首次自由飞行。

1783 年 12 月，法国科学家夏尔与助手罗伯特乘坐世界上第一只载人氢气球，自由飘飞 2 小时后，安全降落。然后再次升空，一度飞到 2750 米的高度，实现了氢气球的首次载人飞行。后来，随着氢气球的不断完善，很快便替代了热气球。

1784 年 6 月，法国人蒂布勒夫人与弗勒朗先生乘坐气球上升到 2600 米，并飞行了 45 分钟。蒂布勒夫人成为世界上最早参加飞行的女性。

1784 年，法国军官梅斯涅设计出拥有动力装置的雪茄形飞艇草图，该图成为新一代轻于空气的飞行器——“飞艇”的蓝图。

1784 年，法国颁布了第一个关于气球飞行的法令——《警察法令》，宣称未经许可气球不准起飞，这是人类历史上最早出台的航空法规。

1794 年 4 月，法国成立气球部队——“航空连队”。这支气球部队后来

投入法奥战争，成为世界上第一支参战的飞行部队。

1794 年 10 月，法国成立了世界上最早的航校——国民航空学校，用于培养气球飞行员。

1803 年，比利时人罗伯逊利用系留气球升入 7000 米高空进行了电火花试验。这是人类首次利用飞行器在空中进行科学试验。

1830 年下半年，美国人克雷顿乘气球经过 9 小时的漫长飞行，投递了世界上第一封“航空邮件”。

1850 年，气球开始应用于大气探测。

## 二、飞艇的黄金时代

1852 年 9 月 24 日，法国人亨利·吉法尔研制成第一艘飞艇（机械力气球），长 43.89 米，直径 11.9 米，气囊容积 5472.4 米立方，总升力大于 2 吨。它第一次装有三角形尾舵和 2.2 千瓦蒸汽机，用以驱动直径 2.13 米的三叶螺旋桨（110 转 / 分）。飞艇用 3 小时左右飞行了 28 千米，做了人类第一次有动力载人可操纵飞行。真正的飞艇问世了！

1884 年 8 月，法国人列纳尔上尉成功试飞了由电动机驱动飞艇。

1887 年，天津武备堂教员华蘅芳自制的直径 1.66 米的氢气球放飞成功。这是中国人自制的第一个现代氢气球，开创了中国人制造航空器的先河。

在 1887 年 8 月的上旬，天津县知县卢本斋和天津武备堂教员孙筱槎、参军姚某三人，在共同参考外国气球后，决定对小型氢气球作出改良，经由他们制造出小型氢气球，在试飞时其高度达到 30 多米，而后因绳断裂而飞走。清政府大臣李鸿章在天津视察的时候，在天津督署门前演放过天津武备堂自制的大型氢气球 1 个和小型氢气球 3 个，并且都进行了成功的回收。

1900 年 7 月 2 日，经过 6 年努力的德国的齐伯林伯爵，成功研制出可载 1 名飞行员和 5 名乘客的第一艘充氢硬式飞艇，并且试飞取得成功。该艇型号为 LZ-1，直径 11.73 米，长 127 米，两台 16 马力的发动机使飞艇速度达到 22.53 千米 / 时，用防水布组成 17 个气囊，容积 11300 立方米，升力 13 吨。在 20 世纪 20 年代以前，齐伯林飞艇几乎主宰了世界的大半个天空。这是齐伯林在 1918 年前研制成功的 113 艘飞艇中的第一艘。1901~1902 年间，有外国人在中国上海的张家花园（味莼里）做了载人气球飞行表演及跳伞表演。这是中国大陆首次出现的载人升空飞行。

1914 年 8 月，轻于空气的飞行器技术已达到了相相对较高的程度。另



一方面，重于空气的飞行器技术却不是很不成熟，还不能对飞艇造成威胁。第一次世界大战爆发后，德国陆军和海军分别建立了自己的飞艇舰队，但这一时的空中优势并没有让德国在战争中取得最终的胜利。

1929年8月8日，LZ-127“齐伯林伯爵号”飞艇开始了人类历史上第一次可控的环球飞行，从美国的新泽西州开始出发，途经德国、前苏联、中国、日本，于8月26日回到洛杉矶市。整个航程历时21天7小时34分。飞艇的发展在齐伯林飞艇环球飞行的成功下取得了可观的进展。据相关资料记载，在20世纪20~30年代，美国总共建造了86艘飞艇，英国建造了72艘，德国建造了88艘，法国建造了100艘，意大利建造了38艘，前苏联建造了24艘，日本也建造了12艘。这段时期无疑是飞艇发展的鼎盛时期，所以，人们把这段时期称作飞艇的“黄金时代”。

1937年，“兴登堡号”飞艇在美国新泽西州失火坠毁，这就是著名的“兴登堡空难”。从那以后，包括齐伯林飞艇在内的整个飞艇运输产业急速下滑，不久便被新兴的民航飞机取代了。

### 三、热气球体育运动

#### 1. 国际热气球发展现状

当今世界，热气球技术已日臻完善，吊篮中液化气瓶、仪器仪表、燃烧器一应俱全（一般有两个燃烧系统）。热气球已发展成为一项体育运动，在发达国家发展很快，世界各国热气球总数已超过2万个，几乎每天都有比赛和活动。

热气球体积庞大、色彩艳丽、比赛场面壮观，其特有的广告效应已被人们广泛认同，可口可乐、摩托罗拉、柯达等大企业都成立了自己的热气球队。

热气球运动安全性高、老少皆宜，现已逐步发展成为一种新兴的旅游休闲方式。

#### 2. 中国热气球发展现状

1982年，美国人福布斯将现代热气球带到中国。

1983年，中国航协派人到美国学习热气球驾驶技术。

1985年10月，我国开始自行设计生产热气球并通过部级鉴定。

1986年，我国首次举办热气球培训班。

1987年9月，我国第一次实现热气球跳伞。

1988年10月7日，中国航空运动协会气球委员会成立。

1990年4月，飞行员张福太、杨贵元、庞利亚驾驶热气球飞越琼州海峡。

1990年10月，民航局正式颁发热气球飞行执照。

1991年8月，我国热气球代表队赴加拿大参加第十届热气球世界锦标赛。

1992年9月，北京举办首届北京国际热气球邀请赛。

1999年1月，我国运动员首次成功飞越黄海，飞行距离640千米，飞

行时间 7 小时 42 分。

1999 年，由北京中航体育发展有限公司承办的第一届全国热气球锦标赛在秦皇岛举行。

1999 年 12 月，中国航空运动协会派热气球队赴澳门参加庆祝澳门回归表演活动。

进入 21 世纪后，我国每年都要举行多次热气球比赛和大型表演活动，活动范围遍及全国各地，国际交流更加频繁。热气球运动符合现代人求新、求变、求刺激的心理，逐渐发展成为继攀岩、蹦极、滑翔之后的又一休闲娱乐热点。

热气球运动本身兼有体育、娱乐、探险、旅游、广告发布等多重功能，热气球在中国大地逐渐热起来。

#### 四、遥控飞艇的新发展

1937 年，“兴登堡号”飞艇在美国坠毁后，飞艇产业沉寂了很多年。

20 世纪末至今，氦气制造成本的下降和遥控技术的进步给小型遥控飞艇的发展创造了条件。

遥控飞艇在军事方面可用于反潜侦察、空中预警、空中侦察、边防海域空中监控、军事警务、空中试验等；民用方面可广泛用于空中广告、飞行表演、航摄、科研探测、遥感测绘、空中监控、电力架线、森林防火、应急事件现场监控、旅游观光、航空考古等领域。其中，空中广告、飞行表演应用广泛，尤其是航摄、遥感测绘已经发挥了很大的作用。

## 第二节 古代的飞行梦

### 一、木鸟

木鸟是我国古代研究者模仿飞鸟用竹木制造的模型。由于制造年代、地区、形状的不同，因而有各种不同的名称，如木鸢、木鸦、木鹊、鸡、鹄、鹤、凤等，性能也有很大的差别。有的能飞起来，有的只能扇动翅膀做出飞行的姿态，有的只具有鸟类的外形。

有记载的最早研制木鸟的人是鲁班《墨子·鲁问》中说：“公输子削竹木以为鹊，成而飞之，三日不下。公输子自以为巧。墨子谓公输子曰：子之为鹊也，不如匠之车辖。”这里没有写明造木鹊的年代。公输子即公输般，春秋鲁国人，也叫鲁班，大约生于公元前 506 年。造木鹊的时间约在距今 2400 多年以前。鲁班是当时天下闻名的工匠，发明过许多木工工具和其他机具。他制造木鹊，从材料、技术上都具备条件，飞起来也有可能。只是“三

日不下”如果理解为连续飞行三天不着陆就不可信，可能是夸张或相传过程中走了样子。

再就是墨子造木鸢的记载。《韩非子·外储左上》中说：“墨子为木鸢，三年而成，飞一日而败。”弟子曰：“先生之巧，至能使木鸢飞。”墨子生于春秋战国之际，大约是公元前 468 年，宋国人，后久居鲁国，是一位思想家和科学家。他出生晚于鲁班 30 多年，制造木鸢的时间也会相应晚些。那时的国家小，相隔时间又短，所以墨子很可能了解鲁班造木鸢的细节。“三年而成”相当真实地反映制造木鸢的难度。这里没有说是否三年只造了一只，比较大的可能是在三年中做了许多试验，经过多次失败最后才成功。弟子们高度评价墨子之巧，可见当时造木鸢属尖端技术，非普通人之所能。甚至不是墨子的弟子们即当时为数不多的知识阶层所能掌握的。“飞一日而败”如果理解飞一天才下来，那还是夸张的，“败”有损坏、摧毁的含义，如果理解为在一天的试飞中损坏了，那就可能比较真实。

木鸢和木鹊都是不载人的飞行器，正是现代意义的航空模型。对于此事的真实性问题，东汉王充有过评论：“儒书称鲁班墨子之巧，刻木为鸢，飞之三日而不集。言其以木为鸢飞之，可也；言其三日不集，增之也。”王充距离鲁班墨子年代较近，约 500 年。他是一位很有名望的唯物主义哲学家，一贯力排神妖法术邪说。他站在科学立场上，排除儒书记载的夸大部分，肯定他们制造过木鸢并飞起来的可能性，这是很有意义的。从王充的这一评论还可以看出另一点：那时人们对造木鸟并且飞起来已经不是不可思议的事情了。记载中某些不实的成分，并不妨碍承认鲁班和墨子造木鸟主要事实的本身。

南朝宋范曄编的《后汉书·张衡传》有张衡的“木雕独飞”的记载，宋朝李昉等人编的《太平御览》叙述得更详细些：“文士传曰：张衡曾作木鸟，假以羽翮，腹中施机，能飞数里。”张衡（公元 78~139 年），东汉安帝时期人，是我国古代杰出的科学家。他精通天文，曾任掌管天文的太史令官职，发明了用水力传动的浑象仪和地动仪。张衡具有丰富的天文、水力和机械等多方面的知识，制造木鸟是完全可能的。撰写《后汉书》离张衡年代只差 300 年左右，书中的记载应该说是比较可靠的。“独飞”可以理解为不依赖



支撑、不依赖牵引（比如风筝）的独立的飞行。《太平御览》还对木鸟的构造做了叙述：木鸟的外面有模仿鸟类的翅膀和羽毛，木鸟的身子内部装有机械。但是没有具体说明这些机械的构造和工作原理。不过既然有机械，就肯定不是滑翔模型或风筝，因为两者皆无须“腹中施机”。张衡的浑象仪的内部是用齿轮传动的，所以张衡制造齿轮传动扑动翅膀的木鸟并不困难。只是“能飞数里”可能有些夸张。《太平御览》始编于公元 977 年，距张衡年代有 800 多年，有些出入也是难免的。

唐朝苏鹗的《杜阳杂篇》也有关于木鸟的记载：“飞龙士韩志和，本倭国人也，善雕木作鸾、鹤、鷗、鹄之状，饮啄动静与真无异。以关戾置于腹内，发之则凌云奋飞，可高三丈，至一二百步外始落下。”

我国从春秋到唐代都有人研制木鸟。木鸟外形和构造的记载大体一致，只是记载具体程度不同。早期的木鸟由于和著文记载相隔时间较长，中间经过辗转传述，所以比较概略，许多具体构造被简化了。后期的木鸟和著文记载相隔时间较短，因此比较具体详细。飞行性能的记载却不大相同，甚至有悖常理：鲁班的木鸟“三日不下”；墨子的木鸟“飞一日而败”；张衡的木鸟“能飞数里”；韩志和的木鸟“高三丈，至一二百步始落下”。飞行性能大相径庭！其原因大概也是和著文相隔时间长短有关。早期相隔时间长，中间经过“接力”式的相传，难免有些不实和夸大。后期的木鸟和著文相隔时间较短，因此比较接近实际。其中《杜阳杂篇》记叙韩志和的木鸟相隔时间最短，其飞行性能是完全可以实现的。

不过这也确实说明：从鲁班到韩志和中间历经 1300 多年漫长的岁月，木鸟的飞行性能确实进展不大。这是因为这种直接模仿鸟类扑翼飞行的方式难度很大，就是利用现代科学技术也还未尽其善。古代只有简单的工具，只有竹木等普通材料，研制扑翼飞行器就更加困难了。所以只有个别杰出的科学家、能工巧匠敢于进行研制，取得有限的成果。这类方式的载人飞行也有人试过，例如公元 9~23 年的王莽时代，就有“取大鸟翮为两翼，头与身皆著毛，通环引纽、飞数百步堕”的人（《前汉书·王莽传》），但没有实用价值。木鸟的研制还是停留在模型试验阶段。作为模型的木鸟也未能普及，宋以后就不再见记载，木鸟也就失传了。（关于扑翼人的飞行方式专家们有不同的见解：一种认为“飞数百步”人力扑翼做不到，只能是从高处向下的滑翔飞行；另一种认为滑翔不必“通环引纽”，且文中并无居高临下之词，应是扑翼飞行。至于“飞数百步”确实做不到，但夸张之笔屡见不鲜；两种方式兼有并不矛盾。）

木鸟是人类研制飞行器的第一种尝试。可惜这第一步就犯了方向性的“错误”。不过，这种“错误”是很难避免的。当初，人们只能从最熟悉、最直观的鸟类飞行的方式着手。而且研制木鸟是扎扎实实的科学试验。只有经过这些试验才能发现弯路，促使人们重新选择新的途径。从这个意义上讲，木鸟是人类探索航空的开路先锋，也是航空模型的始祖。

另外，过去难于实现因而被抛弃的模式，在新的技术条件下有可能成功而重新被利用。航模爱好者没有放弃对扑翼机的研究。1982 年我国由《航空模型》、《中学科技》等 8 家杂志社组织过一次全国扑翼模型飞机通讯赛，最好成绩 2 分 29 秒。1983 年举行过一次国际扑翼模型通讯赛。扑翼模型飞机已开始进入竞赛项目的行列，是一个有待于进一步研究和开发的航空模型项目。目前，为驱赶危及机场飞行安全的各种鸟类而研制的由电动机和模型内燃机驱动的遥控扑翼猎鹰模型飞机，留空时间已达到 20 分钟，其外形和飞行性能已经达到了非常完美的程度。古老的木鸟已经在航空模型爱好者手中获得新生。

## 二、风筝

风筝是一种固定翼面重于空气的航空器。全世界都公认风筝是我国发明的。法国人把风筝叫做“飞唐”，德国人叫做“飞龙”，都是有中国含义的名词。美国国家航空和空间博物馆里有一块醒目的字牌，上面写着“最早的飞行器是中国的风筝”。

现在掌握的关于风筝起源的最早文献是唐朝赵昕的《息灯鹞文》，其中有：“我闻淮阴巧制，事启汉邦，楚歌云上，或云子房”。宋朝高承的《事物纪原》中说：“纸鸢俗谓之风筝，古今相传云，是韩信所作。高祖之征陈稀也，信谋从中起，故作纸鸢放之以量未央宫之远近，欲以穿地隧入宫也。盖昔传如此，理或然矣。”根据这些记载，一般认为风筝是韩信发明的。发明的时间如果按楚汉垓下之战算，是公元前 202 年；如果按韩信“谋反”时间算是公元前 196 年。

不过根据上述文献就肯定韩信发明风筝也还存在问题。韩信作为军中主帅在两军决战关头，哪有工夫去研制并非作战主要武器的风筝？这是其一。再者，风筝是人类历史上的重大发明。从航空意义上讲，风筝是人类探索航空的重大突破。它首次实现了器械持久稳定的升空，并且获得了实际应用，其中包括载人升空。从科技意义讲，风筝已不是直接模仿鸟类的扑翼飞行，而是采用了固定式翼面，对空气动力有了相当深刻的认识，为飞机的发明奠定了基础。这是一个难度很大的课题，绝非某一个人在战场上临阵磨枪所能完成且达到那样完美程度的。其三，唐代文献尚泛指“淮阴巧制”，到了宋朝就特指淮阴侯韩信了。两者概念相似但并不相同。

比较可靠的观点是：我国汉代已经有了可供使用的风筝，韩信的军队成功地使用过风筝，由此可见，风筝的发明在汉代以前。

对于风筝发明的实践基础，学者们的观点比较一致：即人们在旌旗、树叶的飘动，在鸟类平伸翅膀的翱翔，在江河船帆的启示下了解到空气动力，进而发明了风筝。但问题还在于，树叶、飞鸟、旗幡远古就有，那时并没有诱发出风筝。直到人类使用了风帆后，不但知道风力的存在和巨大的威力，而且逐渐掌握了驾驭它的方法。特别是掌握了侧风、逆风驶帆的技术后，就进一步弄清了帆面与风向角度不同所形成空气动力的关系，加上固定风帆的

桅杆、桁条、支索等，原理以及构造上和风筝就已经很接近，在这个基础上发明风筝就是水到渠成的事情了。

原始风筝的外形很像帆，风筝的骨架类似帆的桁条，风筝的拉线如同帆的支索，有些风筝的主骨架也叫“龙骨”，与船体的名词相同。如果说风帆孕育了风筝，那么风筝的诞生地就不会是沙漠、草原或山地、丘陵，而必定是湖泊密布、船运发达的水乡。古代江淮一带正是这样的地区，具有最充分的发明风筝的客观条件。所以《息灯鹞文》中的“淮阴巧制”，即风筝起源于淮阴一带，倒是合情合理的。

在古代，风筝曾经被用来做通信工具。549年南北朝时期，在南京的台城，梁武帝被侯景围困于此。武帝的下属羊侃献出一计，此计是讲诏书藏在风筝里放出城外以搬救兵。虽然最后风筝被敌人射落，联络并没有取得成功。但这件事却表明了在我国很早的时候就开始使用风筝作为通信工具了。这件事情在唐代李亢的《独异志》、宋代高承的《事物纪原》、司马光的《资治通鉴》里都有记载。

北宋欧阳修和宋祁编的《新唐书·田悦传》中也有关于利用风筝通信的记载。唐朝782年，田悦领兵围困临洛。城中守将张伾利用风筝带着书信放出，高度一百多丈。田悦命其兵将截射，但箭达不到风筝的高度，所以无法将其射落，最终联络成功了，得到了马燧的救兵。

古代战争的主要形式之一便包括了攻城和守城。以上两例虽相隔200多年，但其联络方法则极其相似，可见利用风筝进行联络已经不是个别的战例了。

《资治通鉴》有一则风筝载人升空的记载。北朝北齐天保十年（559），文宣帝高洋为了巩固自己的统治，决定处死他的政敌元姓的全部成员。高洋从佛教“放生”中联想到一个奇特的办法：把元姓人押解到金凤台，强迫他们抓住一个巨大的风筝，然后连风筝带人放到空中，囚徒被作为“放生”的活物。囚徒们在空中当然不能长久支持，先后被“放生”（摔死）了。只有元黄头长久坚持，他和风筝一起在紫陌台安全着地。高洋还是没有放过他，立即派人把元黄头抓回来处死了。高洋用这类方法杀害元姓和拓跋家族700多人，是一场十分奇特、十分残酷的杀戮。不过通过这一事件，可以推想出当时已有足以乘人的大型风筝，并且已经有了风筝载人升空的试验和知识。

明朝王逵的《蠡海集》记载有利用风筝测量风力和风向进行空中气象观察的记载。明代还有利用风筝携带炸药包放到敌营上空的武器，到达后利用“碰”的原理投放炸药包和引爆。这在当时是很先进的武器，风筝简直成了轰炸机，轰炸目标可以从容选择，其命中率可想而知。

以上是风筝在科研、通信和战争等各个方面的应用。在这个过程中，玩赏风筝悄悄发展起来，并且逐渐成为风筝家族中的主要成员。当然，玩赏风筝还不是竞赛风筝，但它是竞赛风筝的基础，为竞赛风筝的发展创造了条件。

风筝作为玩具始于唐朝（618~907）。唐代政治统一，国势强盛，经济

文化比较发达，具有发展玩赏风筝的良好环境。唐代著名诗人李商隐（813～858 年）的《燕台》诗中有“西楼一夜风筝急”的句子。唐僖宗时期诗人商辇（887）写过一首《风筝诗》，描述了当时放风筝的情景：“夜静弦声响碧空，宫商信任往来风。依稀似曲才堪听，又被风吹别调中。”

两首诗都是写夜间放风筝。夜间一般地面风小，空中风大，叫做“罡风”，碧空之夜尤其如此。可见此时风筝已能放得很高，致使声音“依稀”了，风筝留空时间可以维持很长。风筝上有比较复杂的声响，随着风速和角度的变化发出不同的声调，宛如天宫乐曲。那时社会上崇尚音乐，放风筝该是高雅之举了。由于夜间放风筝，有些人把五彩灯笼挂在风筝上，犹如天灯在星际游动。这样的风筝工艺极其精巧，材料采用丝绸等品种，其身价可想而知了。

《息灯鹞文》中说：“一灯所值，兼两百铢。”古代 24 铢合一两，两百铢计银八两多。因此这时的风筝不是平民百姓的玩物，而是帝王富豪大户的专属。

这种情况，风筝当然谈不到普及。用纸代替贵重的丝绸糊制风筝是向民间普及的契机。明代陈沂的《询刍录》中记有“五代李邕于宫中作纸鸢，引纸乘风为戏。后于鸢首以竹为笛，使风入竹，声如箏鸣”。以管代弦、以纸代丝绸是风筝工艺的两大改革。李邕是五代后汉隐帝时宫中的工匠。因此，纸糊风筝起源于 947～950 年之间。北宋著名画家苏汉臣（约 1020～1061）画过一幅儿童放风筝的画，证明这时风筝已经进入儿童世界。此画距李邕用纸做风筝的时间只有 100 年左右。可见风筝普及的速度是很快的。

南宋人周密在他的《武林旧事》中记述了南宋初年放风筝的情景：“桥上少年郎竞纵纸鸢，以相勾引，相牵剪截，以线绝者为负。此虽小技，亦有专门。”这是放风筝的新花样，是一种对抗性很强的竞赛。因而能提高兴趣，并且能吸引许多观众，同时也促进放风筝技艺的提高。这种“相牵剪截”的竞赛方式一直流传至今。这种风筝要求操纵灵活以及高强度的牵引线和熟练的操纵技术。所以虽然属于玩耍一类的“小技”，也得有人专门去研究它，甚至成为一种职业。《武林旧事》在“小经纪”标题下，有“风筝”一项；在“诸色技艺人”标题下，有“放风筝”一项，其中列出“周三、吕偏头”两个人名，可见当时民间已有扎制风筝的艺人，已有出售风筝的店铺和放风筝的好手。这些人名气不小，颇似现代的球星，以至于把他们的大名记入书中。

宋代风筝一方面向民间迅速普及，在上层社会依旧保持着浓厚的兴趣。南宋王明清的《挥尘后录》中记有这样一个故事：北宋末年的徽宗皇帝，他不理朝政，却很爱放风筝。有一次他在宫中放风筝断了线，风筝落到百姓家中。因为是宫中圣品，百姓们立即送回。宰相上朝时奏明此事，徽宗皇帝赵佶抵赖不肯认账。

明代风筝更加普及。以风筝为题材的诗文和戏曲更多。例如明朝著名的画家兼文学家徐谓就写了 37 首咏风筝的题画诗，其中一首为：“我亦曾经放鸢嬉，今年不道老如斯。哪能更驻游春马，闲看儿童断线时。”可见画家本

人就是一个风筝迷，从小酷爱，年既老而不衰。诗中的“断线”应是宋代流传下来的“相牵剪裁”的竞斗方式。明朝史玄的《旧京遗事》有“京师风高，不许放纸鸢”的记载。因为京师建筑密集，放风筝的人越来越多，夜间带许多灯笼上去，风大时容易发生火灾。需要政府下令禁止（如当今有些城市禁止放鞭炮），说明放风筝已经多得简直泛滥成灾了。

清朝宫廷中放风筝仍然盛行。清明时节太监们常在宫中放大型风筝。有的线桅子3尺多高，人拿不动要用支架固定，简直成了绞盘车，可见其线又粗又长。风筝放到空中任其飘游，傍晚把线剪断，风筝随风飞去，叫做“放晦气”。慈禧太后曾派太监专程到天津让老艺人魏元泰糊制女寿星骑仙鹤风筝。末代皇帝溥仪当年的住所保存着3只风筝：一只蝴蝶、一条鲇鱼和一条龙头蜈蚣，全是北京风筝艺人金忠福的作品。

清代民间风筝继续发展和普及。张岱在他的《陶庵梦忆》中记述了康熙年间扬州放风筝的情况：“扬州清明，城中男女毕出，家家展墓……童稚放纸鸢。”号称扬州八怪的郑板桥写过一首《怀潍县》的诗：“纸花如雪满天飞，娇女秋千打四围，五色罗裙风摆动，好将蝴蝶斗春归。”其场面之大、风筝品种之多由此可见一斑。郑板桥是乾隆年间的进士，曾任潍县县令，该诗反映了清朝放风筝的情况。这些事例说明放风筝的习俗已经很普及。

潘荣升的《帝京岁时纪胜》对北京放风筝的记述更加详细：“清明扫墓，倾城男女纷纷出四郊。担酌挈盒，轮毂相望，各携纸鸢线轴，祭扫毕即于坟前施放较胜。京制纸鸢极尽工巧，有价值数金者”。

《红楼梦》第70回用了很大篇幅描写贾府放风筝的情景。第22回探春出了一首诗谜：“阶下儿童仰面时，清明妆点最相宜，游丝一断浑无力，莫向东风怨别离。”谜底也是风筝。这是富家子弟喜爱风筝的缩影，也说明作者及文人对风筝的熟悉和浓厚的兴趣。该书创作于乾隆年间，反映的也是清朝前期放风筝的情况。

从以上情况可以看出清朝前期风筝发展的主要趋势：从京师大都市扩展到一般城市；从帝王富豪扩展到平民百姓，几乎到了家家户户；还有一个重要的变化，放风筝的时间由晚上为主转变为白天为主，对风筝的观赏价值从声响灯光转向形象和色彩，这些方面可谓是“极尽工巧”，发展迅速。

清朝前期放风筝的季节都是在清明。清道光之后，放风筝的季节逐渐提前和扩展。说明人们放风筝的兴趣更浓，忍耐不到一年一度的清明时节了。也说明风筝的性能有了提高，这一时期出现了铤身风筝，能适应各种风力和城市窄小场地。富察敦崇的《燕京岁时记》有这样的记载：“京师十月以后则有风筝，……风筝即纸鸢，缚竹为骨，以纸糊之。制成仙鹤、孔雀、沙雁、飞虎之类，绘画极工。儿童放之最能清目。有带风琴锣鼓者，更抑扬可听，故谓之风筝。”该书写于光绪32年（1906），反映清朝后期的情况。其他地方也大同小异。例如《成都通览》就有类似的记载：“风筝即纸鸢，蜀中市乡镇俱有小儿放之，惟成都尤多。俗云：杨柳青、放风筝。十冬月即有放

之，至春三月止。”

风筝在我国实际上早已遍及城市和农村。流传这么广，这样长盛不衰，是有它深远根源的。首先风筝是一种航空器，风筝的普及是人们向往天空向往航空的反映；放风筝又是一种良好的户外体育活动。古人认为放风筝能清目和泄内热，受到社会的支持；普通风筝构造简单、成本低廉、飞行性能稳定，容易掌握，因而有广泛的适应性；风筝和艺术相结合，为风筝的发展开辟了新的天地。这方面清朝以后发挥得淋漓尽致，出现了许多绝代佳作。例如北京“风筝哈”第二代传人哈长英的四只软翅风筝曾获得 1915 年巴拿马万国博览会银质奖。天津“风筝魏”魏元泰的 14 件作品获得了 1914 年巴拿马博览会的金牌和奖状，为内忧外患、受尽欺凌的中华民族争得了荣誉，成为轰动一时的大新闻。

但是，作为运动竞技就相形见绌了。古代放风筝主要是玩耍、观赏和攀比。虽然也有“较胜”和类似现代空战模型的“相牵剪裁”这些很好的竞赛方式，使单纯性的放风筝变为互相竞赛的风筝运动。但是，这些尚属于个别地方的自发行为，没有形成统一的规则和一套竞赛体制，这方面的发展还是很不够的。反过来说，这种古老的航空模型在通过规范竞赛以促进普及，促进飞行技艺的提高方面还存在着巨大的潜力。为了充分利用风筝这一古老的航空模型项目，中央国防体育俱乐部 1953 年编写的《一级航空模型小组活动提纲》选用了风筝，安排一个单元的活动内容。该“提纲”于 1954 年以中央体委的名义颁布实行，为风筝的继承和发展起到了积极的作用。1955 年中央国防体育俱乐部制定《航空模型竞赛暂行规则》时，把风筝列为航空模型的一个正式项目，对竞赛风筝的几何尺寸、线长、比赛方法和成绩评定等做了具体的规定。1986 年国家体委群体司制定了《风筝竞赛规则（试行）》，把风筝列为一个体育竞赛项目。

### 三、孔明灯

孔明灯相传是由三国时的诸葛亮所发明。216 年，诸葛亮被司马懿围困于阳平，无法派兵出城求救。诸葛亮制成会飘浮的纸灯笼，系上求救的信息，选准风向放飞，终于求得救兵。后世就称这种灯笼为“孔明灯”，并传入民间，一直发展到现代。

下面介绍一款小孔明灯的制作和放飞方法。

小孔明灯的结构可分为主体与支架两部分。主体是用薄纸做成的一个直径 400 毫米、高 400 毫米倒置的纸桶（开口向下）。选用不透气的纸（如拷贝纸），越薄越轻越好，也可以由塑料膜制成（用胶带粘贴）。支架是用直径 0.2~0.3 毫米、长 1300 毫米的漆包线（或铁丝）制成。将纸桶的开口处折一个 5~10 毫米的边，把漆包线弯成圆环粘在里面，再用直径 0.2 毫米的漆包线做径向支架，沿直径方向与圆环支架（漆包线）连接。连接后径向支架会略向下弯，在中心的最低点用漆包线固定一小团棉花，小孔明灯就制作完成了。



放飞时，先把纸桶打开，口朝下用手扶着，然后将棉花浸上酒精并点燃。当纸桶里的空气被加热到一定程度时，手会微微感到灯体有上升的力。此时松手，孔明灯便会冉冉飘向空中，有时会飞到几十米高。等酒精燃烧完，孔明灯会慢慢落回到地面。需要注意的是：放飞时一定要有人监督，选择无风或小风天在开阔的下风处、没有可燃物的地方进行。

在我国福建、台湾、海南的许多地方，每逢喜庆日子或盛大的节日，都会像放焰火一样放飞成百上千的孔明灯来增加喜庆气氛，有的地方还有在元宵前后放飞孔明灯祈福的习俗。在空旷的地方或靠近水面的地带放飞孔明灯，尤其是在晚上，千百个孔明灯在夜空飘浮，非常壮观、有趣。

孔明灯的灯体排开空气的重量是它在空气中所受到的浮力，灯内的空气被加热时，体积大大膨胀，大量空气被排出灯体。当灯体重量加上灯内剩余空气总重量小于浮力时孔明灯便开始升空。

#### 四、流星

“流星”是利用燃烧火药喷射推进的烟花，最早出现于宋朝，开始主要用于军事信号，后来成为玩具。这种玩具的种类很多，名称也不一样。南宋时叫“流星”，元、明时叫“起火”。现在北方人叫“旗花”或“窜天猴”，上海人叫“九龙”，南方有的地方叫“冲天炮”。

流星是喷气反作用推力原理的最早应用，是现代火箭的雏形。

“火箭”这个名称最早出现在三国时期。诸葛亮一出岐山攻打陈仓时，守将郝昭就用过火箭。不过那种火箭是带硫黄烟硝等燃烧物的箭，只起燃烧作用，不起推进作用。真正利用火药起推进作用的箭出现于什么年代，多数人认为不晚于公元12世纪的南宋时代。从火药的发明到利用反作用推力火箭的出现，大约经过了500年，这中间有漫长的发展和演变过程，其中也包括火箭的模型——流星的发展过程。

宋仁宗康定元年（1040）开封已经有了生产火药的兵工厂。宋高宗绍兴二年（1132），陈规守卫德安时使用过喷火的武器。金哀宗天兴元年（1232），金人驻守开封防守元兵时也用过喷火武器。这种武器当时叫“火枪”或“飞火枪”。是在竹筒或纸筒中装上火药，一端开口，一端封严，点火后火药燃烧向前喷出火焰而形成杀伤力。传说喷火距离一丈多，而且能持续一段时间。这种武器类似现代的火焰喷射器，在当时无疑是很先进、很厉害的武器，因此得到军事家的重视和广泛利用。

在同一时代，火药也用作民间的烟花。当时叫做“花”或“花筒”。原理和飞火枪相同，只是尺寸较小而已。“花筒”也可说是飞火枪的模型，是武器到玩具的演变。后来，人们还在火药中添加发光成分，夜间燃放时喷出各种颜色的火光，五彩缤纷，使人眼花缭乱。

“花筒”或“飞火枪”都还不是火箭，不过已经应用了火药迅速燃烧的急促喷射作用。花筒喷火的同时也产生后座力，飞火枪的使用者必定深有感受。花筒放在地面向上喷花时，后坐力一般表现不出来。但喷花时常会因某

些偶然的原因（例如地面不平）而倾侧，这时后坐力就立即表现出来了。花筒本身会旋转起来或横冲直撞，形成一种新的景观。南宋孝宗年间（1163～1189）出现了新品种的烟花，当时起了一个很形象的名字，叫做“地老鼠”。宋理宗（1225～1264）初年的一个春节，理宗和恭圣太后在皇宫里看放烟火，忽然一个“地老鼠”窜到太后宝座底下，吓得她急忙站起来就跑，放烟火的技艺人险些被治罪。

“花筒”和“地老鼠”原理相同，构造也大体一致。但后者已经有意识地应用了喷气反推力的原理，是认识上的一次飞跃，是人类应用火箭技术思想的萌芽。类似“地老鼠”这样的烟花一直流传了下来，并且发展了许多新品种。

“地老鼠”的运动毫无规律，毕竟美中不足：窜到柴草堆等地方容易引起火灾；窜至人群中还会引起惊恐乃至烧伤，甚至如前所述那种闯下惊动圣驾的弥天大祸。于是，促使人们去改进。最简单的办法是在“地老鼠”身上前后装上环，两环套在铜丝上，利用架设的铜丝当导轨。这样，“地老鼠”就老实了，只能沿导轨前进，不仅能水平走，而且也能倾斜向上。并且走得快、走得直，宛如天上的流星。于是这种改进了的“地老鼠”被称为“走线流星”。

南宋周密（1232～1298）在他的《武林旧事》中记载了“走线流星”。

“走线流星”产生于南宋后期。在这里初次解决了导向问题，也是一个不小的进步。但“走线流星”也并不完美。架设走线是很麻烦的事，那时的铜线是昂贵的器材，难于普及。再者一条固定的线上走来走去，千篇一律，时间长了会使人乏味。于是人们希望有不用走线的流星，这就是说要解决流星自身走向的问题。

经过长时间的实践，这个问题也解决了。方法是在花炮身上加一条“尾巴”，通常用竹竿或苇秆。这样，燃放时由于重力的原因，尾巴始终向下，因此能沿接近垂直的轨道上升，常常能飞几十米高。终于丢掉了“走线”这根拐棍，作为烟花的流星诞生了，这个进步是很大的。流星本身既有喷射动力又能定向前进，应当说是完整意义的火箭模型了。它大概产生于南宋末年。这种流星和原始火箭（带喷射推进的箭），已经几乎没有什么差别了。

和花筒同时代出现的花炮还有一种叫做“高升”的品种（俗称“双响”或“二踢脚”），是一种特殊的类型。这种炮体内装有两节火药，燃放时把炮身置于直立位置，先点燃下面一节火药，火药爆炸后产生高压。由于上面和四周都很结实，下面比较薄弱，所燃气从下口喷出产生向上的反作用推力。这个推力把炮体推向空中，第二节火药在空中爆炸，因此叫“双响”。这种花炮应用的也是喷气推进原理，只不过喷射时间短促而已。它有点像导弹。第一节火药起着运载火箭的作用；第二节火药相当于弹头。和流星相比，双响没有专门定向的部件。双响从南宋流传到现在，品种规格很多，是花炮家族中响当当的成员。



## 第二章 航模成长：模型飞机

18 世纪，气球诞生，人类飞行的意愿得以实现，开始了探索蔚蓝天空的第一步。与此同时，模型飞机开始迅速发展，模型飞机的性能、设施越来越完善，种类也越来越多。现在，模型飞机已经成为广大青少年喜欢的玩具，也是飞机模型爱好者的至爱。

### 第一节 模型飞机是怎么来的

#### 一、模型飞机的出现

1852 年法国人吉法尔发明了蒸汽机飞艇。但是，飞艇依然身躯庞大、行动滞缓，它难以经受 4 级以上的风，这种风力在空中是常有的，因而很不方便，也不安全。后来德国兴登堡号飞艇空中起火，艇上 36 人全部遇难，从此结束了飞艇的商业性飞行。

轻航空器的缺陷造成的挫折，迫使航空先驱们把视线转向重于空气的航空器。可是，研制重于空气的航空器的难度要大得多。前面至少有四道难关：第一要选定正确的形式。第二要弄清这种航空器的复杂的原理。第三要筹集相当数额的研制基金。这种航空器当时看不到盈利的前景，在它还没有诞生的时候，谁肯慷慨解囊。第四是要由完全没有驾驶过飞机的人去试飞性能上肯定有重大缺陷的飞机。

要研制出重于空气的航空器，所有这些问题都必须解决。当时全部技术问题都没有现成的答案。例如根据牛顿定理推出的关于倾斜平面空气动力的计算公式，其理论升力小到足以使人完全丧失信心。体会最深的是当时亲身研究的人们。莱特就这样说过：“看到作为一切飞行机器制造根据的计算公式都不可靠，简直是在黑暗中摸索……真理和谬误混合在一起，分辨不清。”

就拿其中似乎较为简单的选定飞行机器形式的问题为例：重于空气的航空器可以采用三种形式，即扑翼式、固定翼式和旋翼式。由于可供人们模仿的对象只有飞鸟，势必把人们的注意力集中于扑翼的形式。英国举办过一个展览会，所有 62 件航空器展品中，扑翼形式竟有 60 件，定翼形式的模型只有 2 件。这个比例反映当时人们的认识和研究的方向。早期许多优秀的先驱们在此终生徘徊。英国一位大名鼎鼎的物理学家以讽刺的口吻预言：“对于

除气球以外的其他空中飞行器，我连最小分子那样小的信心都没有。”

这些问题不可能仅仅从理论的分析中获得解决。它们只能从试验中取得经验，从无数经验上升到新的航空器的理论，试验是通向成功唯一的道路。试验从哪里着手？当然可以直接设计制造载人的飞行器进行试飞。但是，由于前面提到的那些原因，这样做势必耗费巨大，周期漫长，且充满着危险，成功的希望渺小，飞行机器研制的先驱们深知这一点。他们大都不约而同地采取了另外一种方法，即模型试验的方法。通过模型试验，弄清飞行中的各种问题，取得一些必要的的数据，最后才设计制造载人的飞行器。在这个过程中，模型飞机扮演着主要的角色。模型飞机是在对飞机的探索过程中产生的，是研究飞机不可缺少的手段，是攻克研究飞机难关的先锋。

被英国人誉为航空之父的乔治·凯利爵士是现代飞机布局的奠基人。他最早阐明重于空气的航空器的飞行原理，确立了现代飞机的基本布局，制造出第一架滑翔机并进行了载人飞行。他的这些成就同他的模型飞机的试验是分不开的。凯利 23 岁时就曾制作过类似竹蜻蜓那样的直升机模型。1804 年他利用风筝改装成一架模型滑翔机，这架模型在他的笔记中做了详细的记载：“一个 154 英寸的纸风筝固定在木杆上，靠一段木条支持在木杆的前部，并使它（与木杆）成 6 度角。木杆在风筝后面延伸，连接一个尾巴。尾巴由两块 20 英寸 2 直角相交的平面组成。……重心靠装在前面的配重来调整。如在水平方向以 15 英尺 / 秒的速度投出，它将支持本身的重量滑行 20~30 英尺。如以大约 18 度角朝上投出，它将以 15 英尺 / 秒的速度沿一条直线均匀前进。……尾巴向左或向右的极小的倾斜，便会像船舵那样改变航向。”

这是一个极其重要的试验。这架模型标志着现代固定翼飞机基本布局初步完成。这架模型也是从风筝到飞机历史性进程的中间环节，我国古代发明的风筝在欧洲发生了突变。凯利正是在这种模型试验的基础上于 1809 年制造了人类第一架载人滑翔机，并且顺利试飞成功。滑翔机和上述模型十分相似，只不过多了一个乘人的机舱。

此后凯利的注意力集中在动力上，把希望寄托于翼尖的帆（扑动的翼尖），继续利用模型进行试验。1843 年他制造了以蒸汽机为动力的模型飞机。以后又制作了以橡筋为动力的扑翼模型飞机。由于蒸汽机的效率和“翼尖的帆”动力形式的限制，凯利始终没有攻下飞机的动力作用这一难关。尽管这样，正如威尔伯·莱特 1909 年所说：“他（凯利）把飞行科学推进到一个以前从未达到的水平。”

## 二、模型飞机的发展

凯利的追随者英国人威廉·塞缪尔·亨森，继承了凯利的事业。他的兴趣极其广泛，1840 年他开始研究飞行机器。和凯利一样，他首先制作了许多没有动力的模型滑翔机。三年以后，1843 年亨森制造出有动力的模型飞机并且试飞初步成功，可以飞越 19~24 米。这一试验的重要意义在于：亨森在继承凯利模型的基础上，放弃了“翼尖的帆”的扑翼动力形式，明确选

定了定翼加螺旋桨动力的形式，从而完成了现代飞机的布局。这一重大突破也是在模型飞机上首先实现的。

在这个基础上，亨森 1843 年设计了一架名叫“空中蒸汽汽车”的飞机，矩形机翼面积 418 平方米，鸟形尾翼，三轮式起落架，设计全重 1360 千克，准备采用蒸汽机作为动力驱动螺旋桨。这个设计获得了专利。可惜亨森没有制造这个庞然大物的经费和设备，也没有十分的把握，研制工作陷入停滞状态，制造始终未能进行。

为了打破这种僵局，亨森的合作者哲学家和工程师约翰·斯特林费洛建议首先制作一架按比例缩小的模型，以验证飞机设计的正确性。1844~1847 年期间，制造了一架翼展为 6.1 米的模型飞机和一台质量为 4.5 千克的动力蒸汽机，带动两副推进式螺旋桨。由于动力不足和质量太大，模型只能在地面滑行，或沿斜坡向下做动力滑翔。此后亨森移居美国，斯特林费洛在英国继续研究，又进行了多次模型试验，始终没有成功。主要原因是动力问题，因为当时的蒸汽机难以胜任登天的使命。

亨森之后，研究飞机的中心由英国转向欧洲大陆。1850 年法国人彭诺德以橡筋为动力设计了一架模型飞机，用木杆做机身，以金属丝做机翼的骨架蒙上薄纸，以两根粗翎做螺旋桨桨叶。据介绍，他的这种模型飞机能飞 200 英尺高。定翼加螺旋桨的布局终于得到了充分的验证。可见，真正的动力飞行也是首先在模型飞机上实现的。在还没有内燃机的条件下，航空先驱们终于找到了橡筋这种高效能动力加上模型试验的手段，才迈出了这重要的一步，使飞机的研究继续前进。

根据类似的原理，法国海军军官费利克斯迪唐普尔·德拉克鲁瓦于 1858 年制造了以金属发条为动力的模型飞机，也获得了成功。

稍后，俄国海军军官莫札依斯基于 1876 年在彼得堡表演了他自己设计的模型飞机。他的模型也是以发条为动力。有的模型能载 1 千克的重物或军官佩剑一类小货物，他的模型更加完善了。在这些试验的基础上，他于 1878 年完成了自己飞机的设计。1882 年 7 月 20 日在彼得堡附近的红村教练场进行了载人试飞。这次试飞虽然没有完全成功，但是，这也是有历史意义的尝试。

被称为波兰航空之父的切斯拉夫·坦斯基于 1894 年设计了一种双机身推进式橡筋动力模型飞机。这种模型机翼的安装角是可调的，水平尾翼有明显的负安装角。可以看出，至少利用这种模型对俯仰平衡及安定性进行了深入的调试和研究，并且从中取得了相当深刻的认识。

德国人奥托·李林达尔兄弟也是飞机发明过程中的重要人物。他们是最早的滑翔飞行家，于 1889 年出版了《鸟类飞行——航空的基础》一书，其中就指出了弓形截面机翼才能获得最大的升力。1891~1896 年期间在柏林附近的飞行场地进行了两千次以上的滑翔飞行，积累了丰富的经验。李林达尔兄弟从小酷爱航空，13 岁时哥俩用羽毛编制一副翅膀，进行人力飞行的



尝试。在柏林技术学院紧张的学习期间，他们挤出时间研制了几种模型滑翔机，由于没有场地，他们就由窗口向外手掷试飞。在模型试飞中，他们发现了重心位置和飞行状态有密切的关系。李林达尔后来滑翔飞行时用移动身体改变重心位置的办法来控制飞行，这个办法就是从模型中得来的。这无论在理论上、飞行操纵的实践中都具有重大的意义。李林达尔还利用模型滑翔进一步研究试验弯曲翼型的性能，后来发展成为著名的奥托理论。

塞缪尔·皮尔庞得·兰利是杰出的航空科学家，美国研制飞机的先驱和奠基人。他的动力飞机的试飞比莱特兄弟的试飞早 9 天。可惜飞机的部分结构被弹射机构缠住，飞机失去控制落入水中。但是，他的设计是接近成功的。数年后寇蒂斯修好了这架飞机，只稍加改进，就试飞成功了。兰利的研究也主要是通过模型飞机来进行。他 50 岁才开始研究航空。在开始阶段即 1895 年前后，他先后制作过 80 多架各种模型飞机，其中包括串式模型。这时的模型多数以橡筋为动力，许多模型飞行很成功，有一架橡筋动力模型飞机平稳地飞越花园的草坪。1896 年前后，兰利进而研制以蒸汽机为动力的模型飞机。先后制造了 6 架，前 4 架没有成功，后两架成功了，其中有一架飞行 1230 米远。看到兰利的这些成就，美国政府决定委托他研制裁人的飞机。1898 年兰利设计了一架以内燃机为动力的载人飞机，飞机的布局大体上和原来的模型相同。在制造全尺寸飞机之前，1901 年兰利制造了原型机四分之一缩小尺寸的模型飞机进行试飞，也获得了成功。我们不妨就兰利的航空生涯做两点小统计：他从事航空研究的时间总共约 13 年，其中研制模型飞机的时间 11 年之久，研制飞机的时间仅为 2 年；兰利研制的模型飞机不少于 87 架，研制的飞机只有 1 架。研制模型时，失败多于成功，但他最后成功了。模型上的失败只付出很小的代价，却从中得到许多启发。兰利研制飞机时失败虽然只出于次要机构的原因，但损失却很严重，以至于招来社会上的非议，不得不终止其研究。1903 年 10 月 7 日和 12 月 8 日，兰利研制的“空中旅行者”号飞机（也有称“机场”号）曾两次从华盛顿市郊波托马克河上一游船顶棚发射架上做过不载人弹射起飞，但均因飞机机体与发射架发生碰撞而坠入河中。

美国人莱特兄弟是公认的飞机的发明人，莱特兄弟特别注意学习前人的经验。尤其是从李林达尔那里吸取许多极为宝贵的东西。尽管这样，莱特兄弟仍然借助模型进行了许多试验。他们研究了李林达尔的数据，发现了一些疑问。在这种情况下，他们不像李氏兄弟那样进行几乎是无休止的滑翔，而是改用风洞进行模型试验，这些试验大大提高了设计水平。莱特兄弟飞机的一个重大改进是通过反向扭转机翼实现横侧操纵（相当于副翼的作用）。这个方案也是在模型试验中发现和完成的。莱氏飞机的另一个重大特点是采用鸭式配置，从而大大提高了俯仰安定性和减少机翼失速的概率，这在初期试验是非常重要的。这个方案也是通过模型和风筝的试验确定的。莱特兄弟的飞机试飞十分成功。

我国飞机研究先驱、爱国华侨冯如在美国开办广东制造机器公司以研制飞机，1910 年试飞成功，其性能优于当时美国的其他机种。孙中山先生观看过冯如的飞机，高度评价他的成就。冯如研究飞机的途径是先收集各种资料，提出种种方案，然后做成模型进行试飞，在试验中不断改进，最后才设计制造载人飞机。为了争取支持，冯如多次带着自己的模型深入华侨中进行飞行表演，宣传制造飞机抗击帝国主义瓜分中国的侵略和保卫祖国独立的意义。冯如的爱国热情深深打动了华侨同胞，模型飞机出色的表演使大家信服了他的技艺，于是很快就筹集到制造飞机的资金。

## 第二节 什么是模型飞机

### 一、模型飞机的分类

模型飞机是一个大家族，种类繁多，不同种类的模型飞机不仅外观各不相同，而且飞行性能、方式、用途也各不相同，现列出常见的几种模型飞机。

#### （一）自由飞类

这种类型的模型飞机，顾名思义就是模型飞机在飞行中不能受人为了的操纵与控制，但运动员可以提前调整好模型飞机的预计飞行状态，模型飞机在出手后按预计的调整姿态自由飞行，这类模型通常以滑翔机为主，优秀的模型可以在空中连续飞行几个小时，常见的有如下几类。

##### 1. F1A 牵引模型滑翔机

这种模型本身没有动力，在机身下装有牵引钩，起飞时，运动员用一根很长的牵引线牵引模型飞机，像放风筝一样，到达一定高度后，模型飞机脱离牵引线开始自由滑翔。

##### 2. F1B 橡筋动力模型滑翔机

这种模型以橡筋带动螺旋桨做动力起飞，待橡筋动力释放完，转入自由的无动力滑翔状态。

##### 3. F1C 发动机动力模型滑翔机

这种模型和橡筋动力模型滑翔机十分相似，只是动力系统由橡筋动力改为了发动机动力。

##### 4. F1D 室内模型飞机

这种模型飞机的重量极轻，有些甚至只有几克重，它只能在气流相对平静的场合如室内大厅或体育馆内飞行。

## （二）线操纵类

这种类型的模型飞机与自由飞类的模型飞机最大的区别是，线操纵模型飞机可以用细钢丝绳人为地对模型进行俯仰姿态的控制，但模型飞机只能在以操纵者为中心的半球面区域内进行圆周飞行，常见的有如下几个项目：

### 1. F2A 线操纵竞速模型飞机

这种模型飞机的飞行速度很快，为了减小模型的飞行阻力，模型的外形通常做成不对称的结构。

### 2. F2B 线操纵特技模型飞机

这种模型飞机在空中飞行时可以由操纵者控制模型完成各种特技动作，我国在此项目上一直占据国际领先地位。

### 3. F2C 线操纵小组竞速模型飞机

小组竞速模型飞机是三架模型飞机同时在场地上飞行，这类模型飞机不仅飞行速度很快，而且在飞行中要多次加油，每架模型都配有一名操纵手和一名机械师。

### 4. F2D 线操纵空战模型飞机

这种模型飞机两架同时在空中飞行，每架模型的尾部都挂有一条彩色纸带，操纵者控制自己的模型，用螺旋桨去切断对方模型的彩带进行“空战”。

## （三）遥控模型飞机

通过无线电遥控设备来对模型飞机进行远距离的控制，这便是遥控模型飞机。由于遥控模型飞机可以像真飞机一样完成三维空间的飞行动作，而且还具有像真性、技术性和趣味性，因此遥控模型飞机成为了目前世界航模运动的主流项目之一。

### 1. F3A 遥控特技模型飞机

这种模型飞机在空中飞行时要完成很多不同难度的特技动作，有些特技动作甚至连真飞机都难以完成，它是各种固定翼模型飞机项目中最具技术性的，也是世界最流行的项目之一。

### 2. F3B 遥控模型滑翔机

这种模型飞机没有动力，必须依靠外力牵引起飞，操纵者可以控制模型飞机的滑翔姿态，它主要比赛模型的留空时间、飞行速度、定点降落。

### 3. F3C 遥控模型直升机

遥控模型直升机的结构、飞行方式和真直升机大同小异，而且遥控模型直升机可以做出很多真直升机无法完成的动作，它也是国际上最流行的项目之一。

### 4. F4C 遥控像真模型飞机

这种模型飞机按照真飞机的外观缩比制作，飞行状态、控制方式、基本结构几乎都和真飞机相似，是目前世界各国航模爱好者使用最多的一种模型飞机。

上述都是比较常见的一些分类，但实际的航模种类比这些要丰富得多。

## 二、模型飞机常用术语

以下介绍的术语仅针对常规布局的模型飞机。

- 1.机翼：产生升力的翼面。
- 2.水平尾翼：水平安放在机身后部的翼面，起俯仰安定作用。
- 3.垂直尾翼：垂直安放在机身后部的翼面，起方向稳定作用。
- 4.机身：连接机翼与尾翼的结构。
- 5.螺旋桨：将发动机动力转化为拉力的一种装置。
- 6.发动机：动力系统。
- 7.起落架：在起飞和降落阶段用来在地面滑行的机构。
- 8.翼型：机翼的剖面形状。
- 9.前缘：机翼前部的边缘。
- 10.后缘：机翼后部的边缘。
- 11.翼尖：机翼两端的边缘。
- 12.翼根：机翼中央的部位。
- 13.翼弦：机翼前缘到后缘之间的连线。
- 14.翼展：两端翼尖之间的距离，即机翼的长度。
- 15.机长：机身的总长度。
- 16.升力：由机翼产生的向上提升的力，克服飞机在飞行中的自身重量。
- 17.重心：飞机重量的集中点。
- 18.压力中心：机翼升力的集中点。
- 19.上反角：机翼上翘的角度。
- 20.后掠角：机翼向后倾斜的角度。
- 21.安装角：翼弦和机身轴线保持的夹角。
- 22.迎角：飞行中翼弦和相对气流的夹角。
- 23.副翼：机翼后缘的活动舵面，控制飞机的横侧动作。
- 24.方向舵：垂直尾翼后缘的活动舵面，控制飞机的方向动作。
- 25.升降舵：水平尾翼后缘的活动舵面。

## 三、模型飞机的平衡和稳定性

所谓稳定的飞行就是模型飞机的上升角（或下滑角）、倾斜坡度、转弯的半径及速度的大小（方向例外）等始终不变或变化不大。例如，模型飞机进行稳定的盘旋上升或下滑，线操纵模型飞机的盘旋飞行等便是稳定飞行。至于弹射模型滑翔机和橡筋动力模型飞机在上升过程中便不是稳定的飞行。它们在上升过程中的飞行姿态、速度、盘旋半径等不断进行改变。不过无论什么模型飞机，只要它在飞行过程中表现正常，没有出现什么盘旋下坠或俯冲的危险时，一般都称这个模型飞行很稳定。这是通俗的说法，并非严格的物理学上的用语。

模型飞机的稳定飞行也有两种：一种是完全平衡状态的稳定飞行，另一种则只是部分平衡了的稳定飞行。所谓完全在平衡状态就是说模型飞机的所

有力互相抵消，所有力对模型飞机的重心产生的力矩也互相抵消。这时候模型飞机只能做等速直线飞行。这种稳定飞行在现代的模型飞机中是少见的。另一种稳定飞行如盘旋上升，模型飞机只是部分达到平衡。模型不会不断加大倾斜，力矩是平衡的，但升力的水平分力却始终存在着并作为向心力使模型飞机转弯，因此力是不平衡的，要想得到这样的稳定飞行只要使力矩和一部分力平衡即可。

不过模型飞机在稳定的飞行时还必须要有适应外界突然变化的能力才行。如果突然受到突风或上升气流等影响而改变了原来的飞行姿态，它应该有自动复原的本领，这种能力通常称为模型飞机的稳定性。模型飞机之所以能够飞行很稳定，稳定性是一个重要因素，没有稳定性或者稳定性不好的模型飞机根本就不能飞行。

模型飞机在空中飞行时可以整架在移动，也可以绕着重心转动。一般为了方便起见假设模型飞机的转动是绕着三根轴来转的，这三根轴都通过重心而且互相垂直。模型飞机左右倾侧时绕纵轴转动，俯仰时绕横轴转动，机头左右偏转时绕竖轴转动。模型飞机可以想象是先后或同时绕着这三根轴转动，同时模型飞机的重心在空间运动。譬如盘旋时，模型飞机一方面绕竖轴转动同时也绕纵轴转动一个角度使模型飞机向转弯的方向倾斜。如果是盘旋上升，那么还要绕横轴把机头抬起来，等到进入稳定盘旋后，那就是始终保持着绕竖轴的转动即可。模型飞机上面当然实际没有这样的三根轴穿过模型飞机机身，这不过是为了研究方便而假设出来的。

模型飞机的平衡和稳定性本来是两个不可分割的特性，而且互相有关联。如果模型飞机根本不平衡，在飞行中不能保持一定的姿态，那么稳定性便没有实际意义。反之，如果模型飞机只能在绝对安静的空气中才平衡，一点风浪也经受不起，没有足够稳定性，那也是不行的；这种平衡无法实现，因为绝对安静的大气是不存在的。

不过在考虑这两个问题时可以先把它们分开，而且在实际飞行中也应该仔细观察来判别哪些是平衡问题哪些是稳定性问题。例如，牵引滑翔机在脱钩后即开始急转弯盘旋下坠。判断模型飞机是由于稳定性不好呢，还是由于

模型飞机根本就不平衡？主要看模型飞机方向舵偏转大不大，如果模型飞机的方向舵偏转太大，无论多稳定的飞机也会盘旋下坠。可是另一方面，如果方向舵只要稍微多动一点便引起盘旋下坠，那的确是稳定性有问题。稳定性好的模型在方向舵位置多偏一点时也不应该出现危险情况，最多转的圆周直径小一点儿、急一点儿而已。

#### 四、模型飞机的基本要求

模型飞机有不同类型、不同项目、不同级别以及不同的功能。随着科学技术的进步，又不断引进新材料、新工艺和新型结构，但无论怎么发展和提高都脱离不了性能和结构这两方面的基本要求。

##### 1. 性能要求

性能要求主要有：气动性能要求、稳定性要求和操纵性要求。

气动性能：主要是升力系数大、阻力系数小、平飞速度大、着陆速度小、爬升率大、升限高、航程远、载重大等。

稳定性：模型飞机在飞行时，作用在模型飞机上的各种力和力矩要处于平衡状态。当受到外部干扰时，能及时恢复原来的平衡状态。

操纵性：模型飞机在各种飞行条件下，都能按照要求改变其运动状态，而且操纵灵敏省力。

##### 2. 结构要求

不同类型、项目、级别的模型飞机结构不同，但基本要求是一致的，首先是要坚固。模型飞机的结构是由各种构件组成的，要使每个构件在规定的外载荷下安全工作，应满足强度、刚度和稳定性三个基本要求。

（1）足够的强度：构件在承受外在载荷下，抵抗破坏的能力，以保证在规定的使用条件下不发生破坏。

（2）足够的刚度：构件受载荷后，抵抗变形的能力，以保证在规定的使用条件下，不产生过分的变形，也就是说构件在受力后的变形不超过容许范围。即不使飞机失去操纵性和稳定性。刚性不够的飞机（特别是在承受阻力时）在飞行时会在某一临界速度时发生危险的抖振。

（3）足够的稳定性：结构在一定的载荷作用下，有保持原有平衡形式的能力，以保证在规定的使用条件下，不产生失稳现象。

构件在载荷作用下，产生不能保持原有平衡形式的现象称为失稳。如细长杆件在轴向受压时，当所加压力达到或超过一定的载荷作用后，构件会突然变弯，并且往往是明显的弯曲变形。

（4）结构要轻：构件在满足以上三个基本要求下，越轻越好。重量减少可以改善飞机的飞行性能。增加经济性，可以增加载重量。减轻结构重量的方法：可把各构件做得在它们承受载荷时，其应力都在同一程度（均力化），以及使用好的材料、减少非受力件的数量与减小尺寸等。

综上所述，飞机在使用中必须满足以上结构要求。在构造上要能承受住各种外在载荷。而结构在承受载荷时必然会在结构系统内引起各种力的相互



作用。

## 第三节 模型飞机的翼型

### 一、翼型

翼型就是机翼的截面形状。现代模型飞机所用的翼型一般可分为六类：平凸型、对称型、凹凸型、双凸型、S型和特种型。这六种翼型各有各的特点，每种翼型一般能符合某几种模型飞机的要求。

翼型各部分的名称。其中中弧线（或中线）的形状、翼型的厚度和翼型厚度的分布对翼型性能的影响是最大的。中弧线是翼型上弧线与下弧线之间的距离中点的连线。如果中弧线是一根直线与翼弦重合，那就表示这个翼型的上表面的弯曲情况和下表面完全一样，这种翼型称为对称翼型。普通翼型中弧线总是向上弯的。S翼型的中弧线成横放的S形。

通常不用长度单位表示翼型的厚度、中弧线的弯曲度和翼型最高点，这是因为同样的翼型可以应用在各种大小不同的飞机上。如果用具体长度表示翼型形状，那么，在设计计算时就会很不方便。现在一般都用百分数来表示翼型资料对这些长度，而不是用厘米或米来计算，基准长度是翼弦。例如翼型厚度是1.2厘米，弦长10厘米，那么翼型厚度则用12%来表示，即翼型厚度是翼弦的12%。这样的表示方法用起来就会很方便，无论应用在什么样的飞机上，这种翼型的厚度始终是12%。大家只要牢记基准长度是弦长，就可以很容易算出实际的翼型厚度来。此外，计算前后距离也以弦长为基准，也是用百分数表示，而且其出发点都是前缘。例如，翼型最高点在30%弦长处，那么，这就表示翼型最高的地方离前缘的距离等于全翼弦的30%。

### 二、翼型的名称和牌号

翼型有很多不同的种类，而且形状各异，所以每种翼型都有一定的名称或者牌号。以前的翼型多数是用发明者或研究机关的名称来命名，如茹科夫斯基翼型、哥廷根翼型等。模型飞机用的翼型通常也是用发明者的名字表示，如汉斯汉申翼型、古布菲翼型等。

航模爱好者常用翼型的来源主要有两个方面：

（1）一些国家的航空研究机构经过风洞试验的翼型。这些翼型资料往往还附有特性曲线。

（2）有些翼型是航模爱好者自己设计和改进而来。一般这类翼型都是经过模型飞机的实际飞行并证明其性能的良好，其中也有一些翼型是经过风洞试验的。

一般情况下，航模爱好者自己设计的翼型都会用集体或设计者的名字再

加上它的序号来表示这种翼型的名称。例如 BH-10，其中“BH”是“北航”（原北京航空学院）汉语拼音的缩写字母，数字“10”是所试验的第 10 种翼型。

在航模爱好者设计的所有翼型中，“B”系翼型（或称“B”系翼型）是最值得着重介绍的。这种翼型是由匈牙利著名的航模爱好者班尼狄克所设计的，采用 4~5 位数字来表示翼型的几何特性。例如，在翼型 B-12307-b 和 B-6556-d 中第一、第二位数字表示翼型的最大相对厚度。前一种翼型的 12 表示厚度为 12%弦长，后一种翼型的 6，表示是 6%弦长。

翼型中弧线最高点距前缘的距离是用中间两位数字来表示的。30 和 55 各表示等于 30%和 50%弦长。

最后一位数字表示中弧线最大弯度。7 和 6 各表示等于 7%和 6%弦长。

在 B 系翼型数字后面往往附有一个小写的拉丁字母，而这个小写的拉丁字母是用来表示中弧线的类型，它的含义是：

a——中弧线是圆弧曲线；

b——中弧线是椭圆曲线；

c——中弧线由椭圆曲线和双曲线组合而成；

d——中弧线为任意曲线；

e——翼型上、下弧线在尾部重合为一条线；

f——翼型后缘部分很厚，最后突然变尖；采用这种翼型的机翼，其后缘的强度和刚度一定要注意加强。

在中弧线弯度和翼型厚度相同的条件下，还可设计出很多不同的翼型。所以，在后面这个小写字母的后面还可加上分母数字，用以区分不同种类的翼型。例如 B-8356-b，B-8356-b / 2 及 B-8356-b / 3 等，它们用来表示设计的先后次序。

航空研究机构试验的翼型有些也可以用在模型飞机上。这些经某些国家航空研究机构试验而得的翼型，都采用研究单位名称的缩写字为“姓”，并用表示试验系列或编号的数码或字母作为“名”。例如 Clark-Y（克拉克-Y）（美国）；哥廷根 499 或 Go-499（德国）；MVA-321（德国）。

这里要着重介绍美国国家航空航天局的前身 NACA 研究的一系列翼型。他们研究过的翼型很多，也采用数字表示翼型的几何特性。在模型飞机上常用的 NA-CA 翼型分两个系列，即 4 位数字翼型和 5 位数字翼型。现以 4 位数字翼型 NACA-6409、NACA-23012 为例，将有关数字的含义说明如下：

第一位数字表示中弧线最大弧高，6 就是 6%翼弦长度；

第二位数字表示中弧线最大弧高的位置，4 表示在 40%翼弦长度（从前缘向后量）；

第三、第四位数字表示翼型最大厚度，09 即 9%翼弦长度，这类翼型最大厚度都在 30%的地方，4 位数字翼型都这样，所以不再标出来。

根据这个规律可以知道，NACA-6412 翼型与 NACA-6409 翼型基本上相同（中弧线完全相同），只是前者的最大相对厚度不是 9%，而是 12%。

如果第一、第二两位数字是 0，表示这类翼型是对称翼型。如 NACA-0009 表示是最大相对厚度 9% 的对称翼型。

NACA 翼型不但在真飞机上使用很广，在模型飞机上也常常采用。如 NACA-6409、NACA-6412、NACA-0018、NACA-23012 等都是常用的模型翼型。

除此之外，在模型飞机上还采用了一些对现有翼型加以改进而得的“新”翼型。例如  $1/2\text{NACA}(6406+6409)$  或写作 NACA-6407.5，这是将两个中弧线相同但厚度不同的翼型相加，取其最大相对厚度平均值而得到的“新翼型”。

MVA-301-75，即保持 MVA-301 翼型中弧线不变而把厚度改薄到原来的 75%。

克拉克-Y-6%，是将最大相对厚度为 11.7% 的克拉克-Y 翼型减薄到 6% 的“新翼型”。实际上这些翼型的中弧线也改变了。

### 三、翼型的选择

翼型的选择是指对现有翼型的选择，使之满足模型飞机设计的要求。

#### 1. 翼型的升力与力矩

适当增加翼型的弯度是提高翼型升力系数和最大升力系数的有效手段，常用的弯度约为 2%~6%，尤其 4% 比较常见。

适当前移最大弯度位置也可以提高翼型的最大升力系数，失速形式为前缘失速。最大弯度位置靠后，最大升力系数降低，但是可以取得比较缓和的失速特性。

对称翼型的最大失速特性远不如有弯度的翼型，但是它的速度特性比较好，尤其是航模飞机如果要做比较多的特技飞行，尤其是倒飞特技时，对称翼型的优点就比较明显。

增大对称翼型的最大升力系数的方法主要是通过增加前缘半径、加厚翼型头部来实现的。

翼型头部是确定大迎角下气流分离流动，从而决定最大升力值及其他重要的几何参数。

薄翼型的头部半径对最大升力系数影响不大，但中等翼型所受的影响就增大很多。适当增加翼型的头部半径还可以提高翼型的升力线斜率。

适当增加翼型的厚度也可以使最大升力系数增加，对常规的 NACA 翼型，一般在相对厚度 12%~15% 达到最大升力系数，有些特殊翼型还要高。

低速时适当增加翼型最大厚度还可以提高翼型的升力线斜率。

雷诺数对翼型最大升力系数的影响有的很大，有的很小。因此，当评估升力储备时就要考虑所选的翼型在机翼系统中的实际使用雷诺数，如果最大升力系数差值超过 0.1，则不易在翼梢使用这种翼型。

当机翼的展弦比大于 5 时，从安全角度考虑，应该选择翼梢翼型的最大升力系数比翼根的要大。

翼型的后缘角增大将使后部的边界层增厚，容易导致分离，使得升力线斜率下降，但后缘角接近于零则会给加工制造和强度、刚度带来麻烦。

翼型的零升力矩是由翼型的弯度决定的。对称翼型的零升力矩为零，零升力矩太大会增加配平阻力。

## 2. 翼型的阻力

对低速和亚声速飞机，阻力主要来自摩擦阻力，因此常选择小弯度层流翼型来减少阻力。

## 3. 翼型的使用范围

翼型的选择受飞机要完成的总任务的影响，例如，飞机的飞行速度限制了翼型的参数选择，每减小 1% 的相对厚度可以增加 0.015 的临界马赫数；对超声速军用飞机，翼型参数只能在 4%~8% 之间较薄翼型和较薄前缘半径翼型间选择，而低速飞机可以在 12%~18% 之间选择，亚声速飞机可以在 10%~15% 之间选择。

## 4. 平面形状的影响

由于平直机翼和后掠机翼的根部流动特性不一样，因此，对平直机翼适用的翼型对后掠机翼不一定适用，反之亦然。大展弦比机翼，为了防止翼尖失速造成飞机安全问题，翼尖处翼型的最大升力系数一般要比翼根处翼型的大。

## 四、层流边界层

边界层概念是普朗特于 1904 年提出的，但直到 1924 年才通过试验证实了层流边界层的存在，并发现层流边界层具有最小的摩擦阻力。

当时飞机的机翼基本都采用带肋或拉紧的布蒙皮、波纹状轻金属、翘曲的胶合板或多用大量圆头铆钉连接，所以其表面经常很粗糙或外形不准确。英国国家物理实验室的试验表明，采用粗糙布蒙皮的机翼阻力比光滑机翼阻力大 70%。

在 20 世纪 30 年代后期，当单机翼飞机（采用收放式起落架）开始替代双机翼飞机之后，飞机设计师们开始把注意力转移到如何在细节设计阶段尽可能减小飞机基本构型的阻力上。

当飞机设计师们认识到蒙皮摩擦阻力的大小取决于边界层从层流到湍流的转捩位置，并希望让机翼的蒙皮光滑到能产生足够的层流范围（He70 飞机的机翼为 200%）时，便开始进行大量降低表面摩擦阻力可能性的研究。

例如，采用最合适的表面粗糙度标准；通过改变翼剖面形状改变压力分布等。1936 年有人预测全层流机翼蒙皮可使蒙皮摩擦阻力减小到当时蒙皮阻力的 10%。但是当时的风洞试验表明在机翼上存在大范围层流的可能性很小，而 1937 年琼斯在豪克·哈特飞机上进行的飞行试验证实，机翼上确实在一定范围内是层流。

风洞试验和飞行试验结果的矛盾引起 NACA 的雅克布斯等人的关注，经研究发现，由于当时风洞的气流湍流度高于飞行时大气湍流度，导致风洞试验时模型边界层提前转捩。随后他们在 NACA 建造低湍流度风洞，并于 1938 年投入使用和进行了卓有成效的减阻研究。

雅克布斯提出应按预定压力分布确定翼型形状，这是一种认识上的突破。

层流翼型基本原理是在气流达到接近机翼后缘升压区之前，尽可能在更长的距离上继续加速，就可以推迟转捩，也就是使机翼的最大相对厚度位于 40%~50% 弦长处，以尽量后移最小压力点。

NACA 早期发展的层流翼型有 NACA1 系列、NACA2-5 系列和 NACA6 系列。前苏联发展的层流翼型有 C-5-18 等。

虽然层流翼型被广泛应用，但当时并没达到应有的减阻效果，这主要是由于层流的产生对机翼表面光滑度要求很高，已经超出当时的加工水平。另外，其所要求的光洁度很容易被寄生在机翼前缘的昆虫、尘土、雨雪和起飞时溅在机翼前缘上的泥土破坏。

1. 薄翼型阻力小，但不适合大迎角飞行，且失速特性不佳，适合高速飞机；
2. 厚翼型阻力大，升力特性较好，不易失速；
3. 特技飞机用全对称翼型，因正飞或倒飞差异不大；
4. 滑翔机用升阻比大的翼型以增大滑降比；
5. 三维特技飞机用前缘特别大的翼型以便于大迎角飞行。

## 第三章 航模时代：航模家族风采

航模家族是十分庞大的，我们经常见到的有纸模型飞机、橡筋模型飞机、模型滑翔机、遥控模型飞机和线操纵模型飞机，随着航模运动的发展，航模家族也得到了扩大。航模逐渐成为众多航模爱好者喜欢的玩具。

### 第一节 纸模型飞机

#### 一、有趣的纸模型飞机

在所有的纸模型当中，纸模型飞机是最有趣的。在没有动力和控制设备的情况下，纸做的汽车不能跑、纸做的舰船不能游……只有纸模型飞机可以带着你的梦想飞上蓝天，可以载着你的思绪飞向远方……

纸模型飞机，顾名思义就是纸制模型飞机。制作纸模型飞机的材料主要是纸，工具也很简单，一把剪刀就行了，而最简单的折纸飞机只要一张纸，不需要任何工具。所以，纸模型飞机作为航空科普项目很容易普及，深受人们尤其是青少年的喜爱。当然，要制作一架精美的、性能卓越的纸模型飞机，还会用到各种大小不同、形状各异的刀、剪、尺、棒、镊子、夹子等专业工具，甚至用到先进的计算机数控（CNC）设备。然而通过一系列学习、制作和试验你会发现，工具和材料并不是最重要的，你的想象力和创造力才是解决问题的制胜法宝！

在掌握了纸模型飞机的要领后，你会发现制作纸模型飞机十分快捷，成本很低，这个特点可以使你有机会制作和放飞更多种类的纸模型飞机，了解飞机的过去、现在并创造飞机的未来。

纸模型飞机的制作和飞行是一个从简单到复杂的过程，简单的几分钟就可以完成，复杂的可以让你辛苦地干上好几天。你可以独自完成一个相对复杂的制作过程，也可以和同伴分工协作，共同分享乐趣。

纸模型飞机的制作与飞行是一种动手动脑的脑力开发活动，通过这一系列前后紧密相关的活动，我们可以从中了解和掌握一些航空及航模运动的基础知识，体验航空前辈留给我们的智慧结晶和勇敢精神。同时也可以进一步



培养我们的观察能力、分析能力、动手能力、发现问题和解决问题的能力。

纸模型飞机放飞的条件要求低，不像遥控模型飞机那样放飞时对场地、天气等条件要求较高，无论是室内还是室外，只要你随手轻松地一掷，美妙的感觉就会飘然而至。

纸模型飞机的活动形式多样，可以给你带来内容丰富、形式多样的趣味活动。如纸模型飞机制作的评比，通过模型飞机外观评价模型制作者的做工是否准确、精细；制作出的模型飞机是否精致并具有观赏性；也可通过模型飞机飞行距离的远近、空中滞留时间的长短以及飞行动作的准确性和完美性等进行比较，这样不但能够提高航模运动的趣味性，而且还能够吸引更多的人参与航空运动。

在纸模型飞机的制作，尤其是像真纸模型飞机的制作和飞行过程中，了解各个历史时期的著名飞机和相关的重大事件是很有意义的。比如在制作 P-40 战斗机的时候，你就会接触到“飞虎队”在抗日战争期间痛击日本侵略者的故事。所以，纸模型飞机也是爱国主义教育的好教材。

孙中山先生曾经写下“航空救国”四个大字。因为不论过去还是现在，航空都代表着探索和奉献精神，体现着最新的科技成果，是国家综合国力的象征。更重要的是：它映射出的是一个大国的荣耀和尊严！

通过纸模型飞机的制作与飞行，航空爱好者可以了解世界航空工业的发展情况，而且还可以看到我国航空工业的发展成就，以及与国外航空工业的差距，从而激发大家立志航空报国的热情。

纸模型飞机的制作和试验不单是手工劳动，它有着丰富的历史背景和科技发展背景，既然要做纸模型飞机，就要了解一些飞机的知识，否则就成了照猫画虎！

1900~1902 年间，美国的莱特兄弟进行了 1000 多次滑翔试飞，终于在 1903 年制造出了第一架依靠自身动力进行载人飞行的飞机——“飞行者”1 号，并且获得试飞成功，从此开创了航空的新时代。

在莱特兄弟成就的促进下，法国飞行员路易·布莱里奥驾机成功飞越英吉利海峡，降落到了英国国土上。

第一次世界大战爆发时飞机走上了战场，执行侦察、搜索、通信、轰炸和空战等任务，从此战火开始在天空弥漫。飞机经过战火的洗礼后，性能有了大幅度的提高，航空理论也日渐成熟。

第二次世界大战的整个过程中，飞机更是无所不在，参战各方都投入了大量的空中力量，飞机在各方面的应用几乎发挥到了极致。英国首相丘吉尔在演讲中赞誉英国皇家空军：“在人类战争史上，从来没有这么少的人对这么多的人做过这么大的贡献！”

第二次世界大战后，航空科技的发展更是突飞猛进，随着喷气发动机技术的诞生和成熟，飞机的速度突破了声速，后来超过了两倍声速甚至 3 倍声速，飞行高度突破了 3 万米，人们现在已经可以实现不着陆环球飞行了！

短短的 100 年，人类从仰望天空到俯瞰大地，羽翼日渐丰满，视野不断扩大。之后的 100 年，又会是什么样子呢？

自己动手，体会航空先驱的艰辛，分享他们的快乐，让思绪轻快飞扬。

真飞机和纸模型飞机都有机翼、机身、尾翼，而且功能也是基本一样的，精致的像真纸模型飞机外形能和真飞机几乎一模一样。当然，纸模型飞机的尺寸要比真飞机小很多，重量也轻很多。

## 二、纸模型飞机的分类和特点

纸飞机首先可分为纸模型飞机和纸飞机模型。简单地说：能飞的叫模型飞机，不能飞的叫飞机模型。

对于纸飞机爱好者来说，纸模型飞机可以定义为：用纸制作的，以飞行或飞行试验为目的的，各主要部分的形状和功能与真飞机相同或类似的模型飞机。不管它飞得好坏，甚至能否飞行，我们都称它为纸模型飞机。这样定义的深层意思是：昨天不能飞的或飞不好的纸模型飞机，通过今天的探索和试验，明天也许就会展翅飞翔！

相对于纸模型飞机，纸飞机模型则可定义为：用纸制作的，不以飞行为目的的，各主要部分的形状与飞机相同或相似的，主要用来展示的飞机模型。

不难看出两者的区别：纸模型飞机偏重于飞行，而纸飞机模型则偏重于工艺和展示。但这并不意味着纸模型飞机就不需要精美的外观。

从像真度方面，纸模型飞机可以分非像真纸模型飞机、简单像真纸模型飞机和像真纸模型飞机。

非像真纸模型飞机：不考虑它是否像哪一型号的飞机或哪一类飞机，只考虑飞行性能和制作的简便。这类纸模型飞机重量轻、阻力小、飞行性能优异、制作简单但精度要求高。

简单像真纸模型飞机：参照具体某一种型号或那一类飞机的真实形状和比例，同时考虑飞行性能和制作的简便。这类纸模型飞机因为要包括一些与飞行无关但又要像真飞机的一些部件，所以重量一般大于非像真纸模型飞机，阻力也更大，飞行性能一般。制作比非像真纸模型飞机要复杂一些，耗时间也长一些。

像真纸模型飞机：严格参照具体某一种型号真实飞机的形状和比例，在考虑飞行性能的同时还要与真飞机形似、神似，制作复杂精密，耗时间长。这类纸模型飞机因为包括了更多与飞行无关的细节部分，重量和阻力都很大，所以飞行的性能大打折扣。但是，如果你能静下心来，完成这样一件作品，在它从你面前优雅飞过的一瞬间，巨大的成就感会立刻让你激动不已。大多数人在完成了这样精美的作品之后，怕在飞行中摔坏不舍得飞了，于是，纸模型飞机就变成了纸飞机模型。

其实在众多的航空模型种类当中，纸模型飞机的制作相对简便，容易取材，飞行条件要求低，作为航空模型的入门是最合适不过的。但因为材料本身的限制，飞行性能绝不是最好的，所以一味地追求飞行性能是不可取的。

通过纸模型飞机的制作和试验，了解更多的航空知识，掌握更多简单的飞行原理才是我们应该追求的目标。

所以，从非像真纸模型飞机的制作和放飞过程中，我们可以学到简单的飞机和飞行知识，而从像真纸模型飞机的制作和飞行试验中，我们可以学到更多航空历史和更详细的知识。

纸模型飞机从制作的角度，可以分为折纸模型飞机、剪折纸模型飞机、拼粘纸模型飞机和大型结构纸模型飞机。

### 1. 折纸模型飞机

用一张纸，只通过折叠的方法制作的纸模型飞机为折纸模型飞机，折纸模型飞机制作最简单，几乎不需要借助任何工具，折叠方法也很多，制作时间一般只需几分钟。由于制作过于简单，很难保证形状的准确性，所以飞行性能一般，更谈不上像真度了。但折纸模型飞机却是纸模型飞机的第一步，按要求精确操作折出的纸模型飞机在大多数情况下留空时间长，飞行性能好。

### 2. 剪折纸模型飞机

用一张纸，通过折和剪的方法制作的纸模型飞机为剪折纸模型飞机。

剪折纸模型飞机的制作也很简单，工具就是一把剪刀而已。由于剪掉了多余的部分，纸飞机变得更轻，也更像一架飞机。

剪折纸模型飞机展开后是连续的一张纸，并没有粘或拼其他部件，但有时为了保持纸模型飞机形状的准确性，我们可以把某些部分用胶水粘起来，这样一来，纸模型飞机的外形和飞行性能都会有所提升。

### 3. 拼粘纸模型飞机

把几个经过裁剪和折叠的纸制部件拼插或粘接在一起而制作的纸模型飞机，可分主体式和分体式。

主体式：把一个或几个小的部件拼插或粘接在一个主体上，实际就是在剪折纸模型飞机的基础上增加一些部件。

分体式：几个大小相当的部件拼插或粘接在一起。

由于可以拼插和粘接，纸模型飞机各个部件的相对位置更容易变动，结构可以更合理，飞行性能会有很大提升，像真度也随之会有很好的改善。但由于部件增多，工艺增加（折、剪和粘），所以制作的难度加大，所需制作时间会有所延长，出现废品的概率增加。所以要求我们的制作计划更周密，工作更仔细。对于剪折纸模型飞机，一般可以先画好草图，然后依照草图剪出。拼粘纸模型飞机由于部件多，而且部件之间的形状、位置关系是复杂而精确的，所以一般要画出准确的工作图才能开始制作。在制作时发现原来的设计不合理时，需要及时改进。

初学者在刚开始制作时可以选用套材，就是已经设计印刷好的纸模型飞机材料，通过套材的制作和练习，从中摸索设计方法和技巧，为将来设计自己的纸模型飞机打下基础。

纸模型飞机的套材分两种：需要自己剪裁的和已经闷切成形的。

第一种就是把纸模型飞机的工作图印制在优质的白卡纸上，制作时按要求把各个部件剪下来并进行拼粘。

第二种是把纸模型飞机的工作图印制在优质的白卡纸上，并把各个部件的形状切出，但为了不使部件散落，部件与非裁切部分有几个点是相连的，制作时只需将部件取下，进行拼粘就可以了。但由于闷切工艺的限制，这种飞机一般不会很复杂。

#### 4. 大型结构纸模型飞机

大型结构纸模型飞机指机翼内有翼肋、机身内有隔框、尺寸相对较大的、外形更符合空气动力学的纸模型飞机。

由于内部有了支撑，外形更准确，结构更牢固，飞行性能会有很大提升，像真度也随之会有很好的改善。这类纸模型飞机部件特别多，需要对各部件进行编号管理，工艺流程要仔细设计，制作的难度大，制作时间也很长。所以大多数爱好者在初期不宜制作这类模型飞机，待有了一定的制作功底后再深入研究。

从飞机的发展历程来看，最初的飞机结构简单，材料种类少，涉及的工艺也相对较少，所以飞行性能不好；而现代的飞机结构越来越复杂，加工精度越来越高，加工工艺几乎涵盖了所有工业体系，使用的材料种类越来越广泛，飞机的飞行性能比以前大幅提高。

## 第二节 橡筋模型飞机

### 一、橡筋模型飞机的种类

橡筋模型飞机有很多种分类方式，概括起来主要有以下几种：

#### 1. 按结构形式分类

橡筋模型飞机按照结构形式可分为杆身和舱身两种。

(1) 杆身橡筋模型飞机是用一根木条做机身，动力橡筋悬挂在机身下面，它的机翼和尾翼用吹塑纸加工或用轻质聚苯乙烯发泡材料压制成形的，也有用传统的竹条或细桐木条做成，在机翼和尾翼的上表面蒙一层薄纸。这种杆身橡筋模型飞机结构简单、制作容易，是初学者和中小學生开展科普活动最好的模型之一。

(2) 舱身橡筋模型飞机的机身是用桐木片、桐木条（或轻木片、轻木条）组成方截面的前机身和构架式的尾管，或用桐木片（轻木片）和玻璃纤

维布在模具芯棒上卷成复合材料的圆截面前机身。20 世纪 80 年代用过厚 0.3~0.4 毫米、直径 28~30 毫米的铝管做前机身，现在最先进的是专门为橡筋模型飞机生产的碳纤维前机身管和碳纤维铝箔复合的轻质尾管。舱身橡筋模型飞机的动力橡筋装在前机身管内，机翼和尾翼采用性能优良的翼型，上下弧都蒙棉纸或热塑膜，这种舱身模型气动性能好、强度大、外形美观，比杆身模型飞行性能好很多，竞赛用的国际级橡筋模型飞机（F1B）、二级橡筋模型飞机（P1B-2、F1G）都采用舱身模式。

## 2. 按起飞方式分类

橡筋模型飞机按照模型起飞方式可分为陆上起飞和水上起飞两种。

（1）陆上起飞是绕好橡筋后双手或单手在地面放飞。竞赛规则规定，放飞时允许用力掷出和跳跃。

（2）水上橡筋模型飞机起落架下面装有 3 个浮筒，必须在水面自主起飞。浮筒用轻质发泡塑料或构架制作，外涂防水层。3 个浮筒的总排水量必须是全机重量的 1.5~2 倍，才能保证模型在水面上安全起飞。我国运动员曾经打破水上橡筋模型飞机飞行距离和飞行高度两项世界纪录。

## 3. 特种橡筋模型飞机

### （1）伞翼橡筋模型飞机

伞翼橡筋模型飞机有一副柔性的三角形伞翼，没有水平尾翼和垂直尾翼，制作、调整都容易，而且不易损坏，很适合在青少年中普及。20 世纪 90 年代开始至今，由教育部、国家体育总局、共青团中央、中国科协、中国妇联 5 部委联合举办的有百万中小学生参加的“飞向北京”全国青少年航空模型比赛，就采用过这种模型。

### （2）橡筋模型扑翼飞机

人类早就向往能像鸟一样飞上蓝天。橡筋模型扑翼飞机就是按仿生学原理，模拟鸟类飞行。绕紧橡筋，平稳放手，模型就会扑动双翼，产生升力和推力，像小鸟一样飞翔，动力结束后，模型滑翔降落。这种模型飞起来栩栩如生，非常有趣，深受少年儿童喜爱。

### （3）橡筋模型直升机

橡筋模型直升机和真直升机一样，机身上面装有旋翼，还装有面积较大的轻质、半像真平面机舱，用于平衡旋翼的反扭矩，绕紧橡筋沿垂直方向一放手，模型垂直上升，然后飘落下来，这种模型可以在室内放飞，也可以在小风天气下室外放飞。模型飞机能上升到几十米高，是一种很适合孩子们玩的模型飞机。

### （4）橡筋直线竞速模型飞机

这种模型使用较粗的橡筋束，绕紧后螺旋桨高速旋转，模型放飞后，保持 2 米左右的高度沿直线高速飞行。在 50 米的测速距离内测量模型的飞行速度，记录飞行时间。我国优秀运动员孙毅曾在 1979 年第四届全国运动会航空模型比赛创纪录飞行中，以 156.79 千米 / 时的成绩打破世界纪录。

### （5）室内橡筋模型飞机

室内橡筋模型飞机很轻，采用优质的轻木条或草茎制成，机翼、尾翼表面蒙上涂布油膜，用极细的金属丝做张线来保持模型的形状和各部分的相对角度。直径很大的螺旋桨也是由很细的轻木条构架制成，外表和机翼一样蒙上涂布油膜。国际级室内橡筋模型飞机（F1D）技术要求规定：模型的翼展不超过 650 毫米，模型不包括橡筋束的重量不得小于 1 克。真是用“蜘蛛网”和“肥皂泡”组成的模型。室内橡筋模型飞机只能在封闭的室内空间飞行，飞行动力由几根很细的橡筋提供，飞行速度很慢，每秒只能飞 0.2~0.5 米。调整好的室内橡筋模型飞机在较高的体育馆内可以飞 30 分钟以上。普及级的室内橡筋模型飞机翼展为 300~450 毫米，不包括橡筋的重量在 3~5 克。机翼、尾翼用棉纸或透明的薄膜做蒙皮，这种模型比赛时能飞 10 分钟以上。

此外，还有橡筋动力旋翼模型、鸭式模型、飞翼模型、串式模型等，这些比较少见，就不作详细介绍了。

### 二、橡筋模型飞机的特点

（1）以橡筋束作为动力。比起内燃机和电动机结构简单、使用方便、价格较低，只要用手摇钻等方法把橡筋束绕上足够的圈数，就能释放出一定的能量。

（2）橡筋束所释放出来的扭矩是变化的。传递到螺旋桨上的扭矩自然也是变化的，也就是说，橡筋动力是一种不断变化扭矩和输出功率的“发动机”。这给螺旋桨的设计和模型飞机的调整带来了许多困难，这也是橡筋模型飞机的趣味和魅力所在。所以，国内外有许多航模爱好者喜欢这个项目。

（3）为了使绕紧的橡筋束能量不一下子释放出来，而是较慢地、比较均匀地释放出来，就要为模型设计一个直径很大的螺旋桨，螺旋桨的直径在机翼翼展的三分之一以上。为了保护螺旋桨和减小滑翔阻力，高级橡筋模型飞机螺旋桨都做成折叠式的，旋转时打开，停桨时两片桨叶收在机身的两侧。

## 第三节 滑翔模型飞机

### 一、认识滑翔机

在遥远而又古老的年代，在神话传说故事中，有许多关于地球人期盼升空飞翔的美好愿望和朦胧幻想，如女娲补天、嫦娥奔月，或是普罗米修斯飞天盗火等等。鲁班是我国古代著名的土木建筑工匠，他耗费 3 年的时间研制成一只木鸟，并让这只木鸟进行了试飞实验。据说木鸟能“连飞三日不下地”。中国东汉时期，著名的发明家张衡也造出了可以飞行的木鸟，该木鸟相当于原始的飞机模型。在中国唐朝的时候，有个叫韩志的士兵，他也

研制成了一种木鸟，据说该木鸟可飞“三丈高，二百步远”，其腹内设有“机关”（指驱动机械），这应该算得上是古代比较成功的一具航空模型。

1809 年夏季，英国人凯利在约克郡制成世界上第一架全尺寸载人滑翔机，该型飞行器曾多次载着凯利飘飞到“几码远”的地方，因此有人称凯利为“（滑翔）飞机创始人”。1849 年，凯利的载人滑翔机载着一名 10 岁男孩，由人力牵引，从山坡上向下滑翔飞行成功，飞行高度数米。1853 年 8 月，80 岁高龄的凯利造出第二架可载人的滑翔机，并乘坐这架滑翔机飘飞过一个小山谷，这是成年人首次乘滑翔机的自由飞行。

1891 年，德国航空开拓者李林塔尔发表了《鸟类的飞行——航空的基础》一文并正式开始研究滑翔飞行。他每次飞行一般为半分钟，滑翔距离在 200~300 米之间。

1894 年，李林塔尔用改进后的滑翔机从山坡上跳下，滑翔了 350 米，获得巨大的成功。

1896 年 8 月 9 日，李林塔尔在试飞中受伤，于次日去世。在 6 年的时间里，李林塔尔坚持进行滑翔实验达 2000 余次，先后使用过 18 种滑翔机，其中 12 种是单翼机。李林塔尔是人类早期探索飞行史上极具影响力的人物，并为后人发明飞机积累了宝贵的经验。

100 多年过去了，滑翔机在人类发明飞机的历史上起到了重要的推动作用。如今，滑翔机依然没有退出历史舞台，而是作为一项体育运动继续发展着。

运动滑翔机分初级滑翔机和高级滑翔机。初级滑翔机主要用于训练飞行，高级滑翔机主要用于竞赛和表演。

## 二、飞机和滑翔机

飞机是依靠发动机产生的拉力（或推力）使飞机前进，机翼产生升力使飞机升空飞行。飞机在飞行过程中发动机始终处于不间断的工作状态中。对绝大部分飞机来说飞行中发动机熄火都是属于故障。发动机熄火后飞机也能滑翔，但是滑翔比很小，是高度下降很快的应急的迫降状态。对模型飞机来说也是这样，一旦发动机熄火，操纵员必须立即选择最佳的降落航线，把模型飞机操纵回来，否则也只能任意降落。

滑翔机则是一种没有动力的飞机，它依靠外力升空，进入滑翔。滑翔机也可以依靠自身附带的动力升空，在升空后关闭发动机进入滑翔。自身附带动力的滑翔机叫动力滑翔机。动力滑翔机的动力只是用来作为爬升取得高度的手段，它的主要飞行状态是滑翔。滑翔机或动力滑翔机在飞行时都要寻找上升气流，让滑翔机在上升气流中翱翔。滑翔机在取得一定高度后也可作特技飞行。而在模型滑翔机中，对动力规定更为严格，在航空模型的竞赛规则中对许多动力滑翔机严格规定动力时间，并不允许第二次起动发动机。

由于滑翔机和飞机的飞行状态不同，因此在气动设计上较大的区别：  
①滑翔机的翼载荷比较小，而飞机的翼载荷比较大；②滑翔机的展弦比较大，



而飞机通常展弦比要小一些。由于这些不同，滑翔机的载重能力较差，目前滑翔机主要用于体育运动。

### 三、模型滑翔机的种类

模型滑翔机的种类很多，可以从起飞方式、气动布局和控制方式来进行分类。

#### 1. 按起飞方式分

##### (1) 动力模型滑翔机

动力模型滑翔机以自身附带的动力产生拉力（或推力），使滑翔机升空。升空后关闭动力，进行滑翔。按不同的动力可分为：

- ① 内燃机动力模型滑翔机，附带的动力为活塞式发动机；
- ② 电动模型滑翔机，附带的动力为电动机；
- ③ 橡筋动力模型滑翔机，附带的动力为动力橡筋；
- ④ 火箭助力模型滑翔机，附带的动力为固体火箭发动机。

##### (2) 弹射模型滑翔机

弹射模型滑翔机以橡筋等能储能的物质为动力，以外力形式使模型滑翔机获得初速度，弹射起飞，升空后进入滑翔。按不同的弹射方式可分为：

- ① 橡筋弹射模型滑翔机，以橡筋为弹射质，直接弹射起飞；
- ② 软弹射模型滑翔机，以橡筋为弹射质，连接一根绳索，利用橡筋索的储能和绳索的长度弹射升空。

##### (3) 手掷模型滑翔机

以运动员手臂的力量，将模型滑翔机掷向空中，进入滑翔。它又可分为：

- ① 手掷模型滑翔机，完全依靠手臂力量，按手掷方法不同可分为直掷式手掷模型滑翔机和旋转式手掷模型滑翔机，由于旋转后的初速度更大，可以使滑翔机获得更高的高度。

- ② 山坡模型滑翔机，在山坡迎风面将模型掷入空中，利用山坡上升气流进行翱翔。

- ④ 牵引模型滑翔机用一根牵引线，以人力或电动绞车牵引模型滑翔机升空，脱钩后进入滑翔。

- ① 人力牵引的模型滑翔机。

- ② 电动绞车牵引的模型滑翔机。

#### 2. 按气动布局分

##### (1) 常规型模型滑翔机

它与真滑翔机相似，有机翼、尾翼、和机身，尾翼安装在机身尾部。

##### (2) 飞翼型模型滑翔机

它是没有水平尾翼的滑翔机，通常采用 S 形翼型和较大的后掠角

##### (3) 鸭式模型滑翔机

它是水平尾翼放在机翼前面的滑翔机，飞行方向看起来与普通的滑翔机相反，莱特兄弟试飞的滑翔机就是鸭式滑翔机。

#### (4) 串式模型滑翔机

它的机翼和水平翼面积几乎相等，重心在两者中间。

#### (5) 多翼模型滑翔机

多翼模型滑翔机有 2~3 个机翼。

### 3. 按控制方式分

按控制方式分类又可以分为无线电遥控模型滑翔机和自由飞模型滑翔机。前各种形式的模型滑翔机基本上都可做成遥控或自由飞的。

#### (1) 无线电遥控模型滑翔机

常见的遥控模型滑翔机有以下几种。

- ①摇控活塞式模型滑翔机；
- ②遥控电动模型滑翔机；
- ③控火箭助推模型滑翔机；
- ④控弹射模型滑翔机；
- ⑤控手掷模型滑翔机；
- ⑥控山坡模型滑翔机；
- ⑦遥控牵引模型滑翔机。

#### (2) 自由飞模型滑翔机

常见的自由飞行模型滑翔机有以下几种。

- ①活塞式动力模型滑机；
- ②电动模型滑翔机；
- ③筋动力模型滑翔机；
- ④箭助推模型滑翔机；
- ⑤射模型滑翔机；
- ⑥掷模型滑翔机；
- ⑦引模型滑翔机。

### 4. 自由飞牵引模型滑翔机

自由飞机的牵引模型滑翔机。根据竞赛规则规定，按不同的技术标准，可以分为以下级别。

①PIA-1，一级牵引模型滑翔机。最大翼展 650 毫米，最小飞行重量 30 克。

②PIA-2，二级牵引模型滑翔机。最大升力面积 14 平方千米，最小飞行重量 80 克。

③F1H，牵引模型滑翔机。最大升力面积 18 平方千米，最小飞行重量 220 克。

④F1A，国际级牵引模型滑翔机。最大升力面积 34 平方千米，最小飞行重量 410 克。

### 四、牵引模型滑翔机的特点

牵引模型滑翔机是一种由运动员用一根规定长度的牵引线牵引模型飞机升空，在脱钩后进入按事先调整好的轨迹和姿态进行自由滑翔，用来进行留空时间比赛的模型飞机。牵引模型滑翔机是一种没有动力、没有废弃物、

完全环保的科技体育项目。

牵引模型滑翔机的牵引过程在规定的竞赛时间和规定的牵引场地内不受限制。运动员可以牵着自己的模型滑翔机作较长时间的满场跑的牵引飞行过程,以寻找最佳的气流状态,因此对牵引运动员的身体素质有较高的要求。运动员坚持训练,可以大大提高自身的健康水平和身体素质,以适应全天候比赛的要求。

国际级牵引模型滑翔机比赛的预赛轮次多达 7 轮,而且每轮都是有效成绩。如果有 2 人或 2 人以上全满分还要进行加时赛。因此全场每一轮比赛中都不允许有一丝失误,在一场高水平的比赛中,一定意义上就是比谁不失误,因此对运动员临场素质要求很高,要有处理各种突发情况的应变能力。

国际级牵引模型滑翔机一场比赛的预赛要进行 7 轮,而只允许审核 4 架模型滑翔机,因此每轮比赛一定要保证及时回收。不论是在训练还是比赛中,回收模型滑翔机都是一个重要课题,因此全队要通力合作,发扬团队精神是保证回收的最主要条件。

由于牵引模型滑翔机没有动力,因此提高成绩唯一的途径是提高和改进模型滑翔机的综合性能,因此牵引运动员一定要熟悉空气动力学等基本飞行原理,要理论联系实际,融会贯通。

国际级牵引模型滑翔机的竞赛允许运动员在规定时间内和规定场地内满场跑,给了运动员寻找上升气流最大的机动灵活条件,因此也更加要求牵引运动员提高牵引技术和寻找、判断上升气流的能力,要学习、熟悉和合理运用低空气象知识。

综上所述,环保、健身、临场素质、团队精神、精通飞行原理和寻找上升气流是国际级牵引模型滑翔机项目的六大特点。

## 第四节 遥控模型飞机

### 一、遥控模型飞机的结构

遥控模型飞机的制作过程十分复杂,在这里我们了解一下遥控模型飞机的重要组成部分。

#### 1. 舵机

舵机是遥控设备的执行机构,一般用来带动舵面。最简单的舵机要算单向或双向的吸铁了,后来出现过许多种构思巧妙的机电式舵机,进而又出现过采用气阀控制的气动式舵机……如今,使用最为广泛的是机电结合的比例舵机(少数微型简易模型除外)。

在以往的概念中,比例舵机是附属于遥控设备的一个附件,买来一套日

本设备总带有几个重达 40 多克的大舵机，若是不够用要另配一个还得高价购买，这在 20 多年前确实是有用的，因为那时流行的是使用内燃机的模型飞机，飞机震动很大。然而技术不断向前发展，随着遥控电动模型飞机的广泛开展以及 9 克以下的超小型舵机的不断涌现，凡搞电动模型者大多数都需要自己另配小型舵机，而把那些随设备买来的大舵机扔在一边，久而久之，浪费很大，变成了对生产商的一大讽刺。

对于比例舵机的技术要求，首先是看重量大小与其摇臂（或转盘）输出的扭力矩大小，当然是希望重量轻、扭矩大，但这二者往往互相矛盾，选择时要综合考虑。还有一项指标是反应速度，单位为秒 / 60 度（即摇臂每旋转 60 度所需要花的时间），当然是希望越小越好，不过这项要求主要是针对需要快速反应的竞赛型飞机，对一般模型不必太严格。以上三项都是可以测量的指标，而其实对于“回中性能”（即当操纵动作完毕后，将操纵杆释放时舵机摇臂回到起始位置的能力）的要求比上述这些更为重要。“回中性能”可以从根本上体现出舵机的机械精度与电子线路的综合品质。

比例舵机有塑料齿轮与金属齿轮之分。目前市场上的舵机，凡不加注明者都是塑料齿轮的，其缺点是受到冲击（动作中的力量突变或者着陆时的撞击）容易打坏齿轮。金属齿轮自然就不易损坏了，但两者价格相差很大。

舵机还有带不带轴承的差别。最近，Futaba 公司又推出一种用无刷电机来作为伺服电机的舵机（以往用微型有刷电机），其质量与精度当然无可挑剔，但零售价高达 1400 元，令人望而却步。

对于舵机的选购，只要指标符合要求，质量上有足够的可靠性就可以了，多年来上海队参加全国比赛的遥控电动模型滑翔机所用的舵机，都只是 P&C 公司生产的一般国产舵机而已。

## 2. V 形尾翼混合器

目前，采用 V 形尾翼的模型已经较多，尤其是电动模型滑翔机。V 形尾翼的左右两个舵面由各自的舵机分别带动，然而我们在打舵时，无论是操纵方向还是操纵升降，都只需要像常规尾翼那样拨动第 1 通道（方向）或第 2 通道（升降）中的一根操纵杆。如何能在拨动 1 通道的时候使 V 形尾翼的两个舵机都动起来，并使两个舵面同时向左或向右动作呢？又如何能使我们在操纵 2 通道的时候使 V 形尾翼的两个舵机都动起来，并使两个舵面同时向上或向下动作呢？这就需要实现 V 形尾翼的混合控制（简称 V 尾混控）。

人们早期曾使用机械结构来实现 V 尾混控，制作难度较大，成本太高。现在已经都靠电子线路来实现了。现在的中高档遥控设备发射机本身就都已具备这项设置功能。可是在低档或某些老式中档设备里没有混控功能怎么办呢？没有关系，只要在飞机上的接收机与舵机之间加装一个很小很轻的由电子线路构成的 V 形尾翼混合器，便可以实现这一功能了。

在模型上装上 V 形尾翼控制器后，方向控制与升降控制与升降控制的舵量仍分别由摇控器上的 1 与 2 两个通道控制，包括微调也一样，似同常规

尾翼的模型。V 形尾翼混合器上面没有任何需要调整的东西，使用起来很方便。

### 3. 光电式转速表

在模型飞机的研究与放飞过程中，经常需要测试螺旋桨的转速，因此，转速表是非常有用的工具，用内燃机的模型如此，电动模型就更是如此了。

早期，人们用的转速表是机械式的，测量时需要把测量头上的橡皮端子与转轴中心直接接触，这会直接影响被测物的转速。自从光电管问世之后，机械式转速表便被光电式转速表淘汰了。而光电式转速表也分为两类，早期的是通过指针式表来读数的，不够精确，这种表至今还有人在用。现在市场上销售的都是数字显示光电式转速表了，通常在表上设有 2 叶、3 叶、4 叶等不同类型螺旋桨转速测量的挡位，同时还可以用来测量几个简单挡位的电压。现在市售的转速表基本上都很准，只是在感光灵敏度和附属功能方面有一些差别，不过无关紧要。转速表是一种通用工具，不仅在航模研究上要用，在工业、科研等许多场合都有用。

### 4. 模拟飞行训练装置

模拟飞行是一种以电子游戏机的形式让模型飞机显示在电脑屏幕上，用遥控器加以模拟操纵的训练方式。经过许多年的发展，目前这类设备已日臻完善，不仅飞机与场景形象逼真，而且飞机姿态随着舵面的动作量也已能做得越来越逼真。供训练用的飞机品种（像真机、特技机、直升机、3D 机、滑翔机等）也已多达十几种。

采用模拟训练的优越性是不言而喻的，它既可以达到一定程度的训练目的，又可以绝对地免除风险和损失。虽然它与“真实”还存在一定的差距，但对于任何一种模型的初学者入门训练是大有好处的。

目前市售的模拟飞行训练装置包括一张光盘（软件）和一根连接线。训练时先把软件装入电脑，然后用连接线把电脑与你所用的遥控器连接起来，便可开启电脑按该软件的指示说明使用。当然，使用的遥控器必须是 4 通道以上的，并且背后具有连接训练线的插孔（在购买连接线时请注意相配）。所用的电脑设备也需要具备反应速度比较快的 DVD 光驱。

## 二、遥控飞机的操纵

由于模型飞机需要从地面滑跑起飞并进行降落滑跑，因此对地面状况有一定要求，适合模型飞机起飞与降落的场地有以下几种：

（1）沥青或水泥跑道，这种跑道平坦干净，是最适合模型飞机起飞和降落的地面材质，但这种场地大多为专用场地，数量较少。

（2）草坪跑道，这种跑道要求地基平坦扎实，草皮经过人工修剪。但这种场地毕竟地面比较粗糙，小型飞机在滑跑时阻力较大，颠簸剧烈，因此它更适合滑翔机模型或大型模型飞机起飞降落。

（3）土质跑道，土质地面如果能碾压得平整扎实的话，还是适合模型飞机起飞降落的，但由于土质地面毕竟会有细小的沙石，会损伤发动机，因

此要注意地面的清洁和模型器材的维护。

至于说多大的场地适合模型飞机的飞行需要,这还要考虑模型飞机的大小与飞行特性,尤其是和操纵者的操纵水平有关。

对于初学者来说,跑道的长度至少在 50 米,宽度至少在 15 米。四周的环境要空旷,不能在人群密集的区域,或有高大建筑物及建有工业场所涉及安全问题的场地飞行。最后还要考虑风向的因素,尽量避免使模型在侧风中飞行。

### 三、遥控模型飞机的飞行

模型飞机一般需要用副翼、升降舵、方向舵、油门来控制在空中的飞行姿态。

1.副翼:副翼是控制模型飞机横侧动作的舵面,表现为模型飞机向左或向右的倾斜与滚转。副翼操纵杆向左压(称左压杆),此时左副翼向上翘、右副翼向下翘,模型飞机向左倾斜或滚转;副翼操纵杆向右压(称右压杆),此时左副翼向下翘、右副翼向上翘,模型飞机向右倾斜或滚转。

2.升降舵:升降舵是控制模型飞机俯仰动作的舵面,表现为模型飞机抬头或低头及正、倒筋斗动作。升降舵操纵杆向后拉杆(称拉杆),此时升降舵上翘,模型飞机抬头向上爬升或做正筋斗;升降舵操纵杆向前推(称推杆),此时升降舵向下翘,模型飞机低头向下俯冲或做倒筋斗。

3.方向舵:方向舵是控制模型飞机改变方向动作的舵面,表现为机头左转或右转。方向舵操纵杆向左扳,此时方向舵向左偏,模型飞机向左改变航向(如果在地面滑跑时则改变滑跑方向左转);方向舵操纵杆向右扳,此时方向舵向右偏,模型飞机向右改变航向(如果在地面滑跑时则改变滑跑方向右转)。

4.油门:油门是控制模型飞机飞行速度和发动机拉力大小的机构,表现为模型飞机高速飞行或低速飞行。油门杆向前推,汽化器风门开度大,发动机转速提高,模型飞机高速飞行。油门杆向后收,汽化器风门开度小,发动机转速降低,模型飞机低速飞行;当油门杆收至最低,汽化器风门开度最小(约 1 毫米),发动机保持怠速工作;当油门微调至最低位置,汽化器风门关死,发动机停车。

#### 四、遥控模型飞机的飞行技巧

初学者在练习飞行的过程中需要一位技术熟练的教练员进行手把手的辅导，完全通过书本的知识学会操纵技术并找到飞行的感觉几乎是不可能的，但书本的知识可以让初学者了解操纵技术的全过程，以免在飞行中“现学现练”而导致手忙脚乱。

此外，还可以利用电脑飞行模拟器来练习操纵技术，这样不仅可以熟练操纵技术，还可以避免摔飞机，提高安全性。

##### 1. 直线飞行

直线飞行是所有飞行动作的基础，它决定着操纵者是否可以控制住模型飞机，因此应该踏实认真地掌握好直线飞行的技术要领。

在模型飞机舵面保持中立的位置时，模型飞机并不能长时间地保持直线飞行。模型飞机受到风或气流的影响，会逐渐发生偏航直到不能稳定地飞行，必须在模型出现偏航时及时进行修正，才能控制模型飞机在空中保持直线飞行。

在直线飞行中出现的偏航主要有两种，即方向的改变和俯仰姿态的改变。

（1）方向偏航的修正。例如当模型飞机出现右偏航时，先向左压副翼，使模型飞机飞回到原航线，因为此时机翼还处于向左倾斜的状态，因此要压右副翼摆平，模型飞机继续按原航线飞行。

压副翼时的幅度大小要根据模型飞机偏航的多少而定。模型飞机偏航得多，修舵量相对较大；模型飞机偏航得少，修舵量相对较小。修舵控制模型飞机飞行的轨迹要柔和，在偏航多时不要试图迅速将模型“扳回”原航线，以免使模型飞机出现剧烈摆动而难以控制。

如果模型飞机只是机翼出现微小倾斜，但还没有偏离航线，那么只需要迅速摆平机翼即可。

请记住，机翼向哪个方向偏斜就会朝哪个方向转弯，模型飞机要想朝哪个方向转弯就必须朝哪个方向倾斜机翼。因此想要飞好直线先要学会观察机翼的状态。

（2）俯仰偏航的修正。当模型飞机出现抬头爬升时，先推杆使模型飞机飞回到原航线，然后稍拉杆使模型飞机恢复平飞，继续按原航线飞行。

每次修舵的舵量和速度都要依模型飞机偏航的状态而定，模型偏航小，修舵量要小且速度较快；模型偏航大，修舵量要大且速度稍慢，以保证模型柔和地回复到正常的航线中。每次尽可能在模型飞机出现偏航迹象之前就要发现，及时进行修正。

由于模型飞机的俯仰稳定性一般要高于横侧稳定性，因此在飞回到原航线时的摆平修舵量较小。

直线飞行中常出现的操纵毛病是“蛇形飞行”，模型飞机在空中的飞行轨迹呈连续不断的S形。出现这样的情况一般是操纵者的反应比模型飞机的



动作慢造成的，当模型飞机出现较大的偏航时操纵者才修正，或当模型已经恢复正常姿态，可是操纵者的修正还没有结束（操纵杆没有回中，还在给舵），结果对模型修正过度，模型继续向相反的方向偏航，这样继续操纵下去，就导致了模型飞机的“蛇形飞行”。因此，要避免这种情况的发生，应该做到“四要”：第一，要及时发现模型飞机的偏航状态；第二，要及时地进行修正；第三，修舵量要适度；第四，舵面回中要及时。

## 2. 水平转弯

当模型飞机飞到航线的一端需要进行 180 度水平转弯，这样航线才能连贯下去。

当模型飞机飞到转弯半径的切线处时，先压左副翼，使模型飞机向左倾斜机翼（30~40 度的坡度），然后副翼操纵杆回中，同时适当拉杆（拉杆量要能保持模型飞机在平飞状态下转弯），并在持续保持拉杆的状态下使模型飞机向左盘旋转弯，当转弯将要完成、机头马上要对正航线时，向反方向压副翼摆平机翼，紧接着当机头对正航线时升降舵回中，转弯动作结束，模型飞机再次进入直线飞行。

转弯过程中用副翼控制机翼的坡度既不能太大也不能过小，坡度太大机翼倾斜得厉害，模型飞机容易进入螺旋下坠状态，难以控制。坡度太小模型飞机转弯半径太大，两条航线相距太远也不利于操纵模型飞机。

转弯过程中如果模型飞机掉高度，说明拉杆量太小，需要及时加大拉杆量。如果转弯过程中模型飞机抬头爬升，说明拉杆量太大，需要及时减小拉杆量。总之，拉杆量的大小要以模型飞机能在一个水平面上转弯为准。

在模型飞机转弯结束之前（机头对正航线前）开始压反舵摆平。如果等机头完全对正航线（机身和航线平行）时再摆平，模型飞机转弯结束时就会“转过头”。

在转弯过程中，副翼和升降舵并不是一成不变的，要根据具体情况随时进行调整。如模型飞机在进入转弯初期坡度正常，但在转弯中坡度过大的时候要及时用副翼修正，使模型飞机随时处于正常的坡度。

初学者在练习水平转弯时，建议先练习左转弯再练习右转弯。

## 3. 标准航线

这是练习初级飞行技术应掌握的航线，它的路线比较简单，转角柔和，适合初学者练习。飞航线时最重要的是要控制好航线的位置，不能忽远忽近，这关系到能否准确自如地控制模型飞机。

## 4. 矩形航线

这一般是真飞机降落时采用的飞行路线，矩形航线在每个转角要完成 90 度转弯，在每个转弯的过程中，舵量要比水平转弯稍大，压舵和回舵也比水平转弯稍迅速。练习这种航线不仅可以练习作为标准降落航线，还可以熟练掌握转弯飞行技术。

## 5. 变更航线

这种航线很有实际意义，因为初学者很容易将模型飞离航线，这种练习可以帮助操纵者将偏离航线的模型纠正回航线中。变更航线时不要过于“粗暴”，致使模型飞机出现剧烈的波动或倾侧，应该由一条航线柔和地过渡到另一条航线。

## 6. 起飞

模型飞机一定要迎风起飞。

将模型飞机怠速放在跑道一端的中央，对正风向（操纵者最好站立在模型飞机正后方操纵）。柔和地将油门推至最大，模型飞机在跑道上加速滑行，在滑行过程中，用方向舵操纵杆控制模型飞机的滑跑方向，当模型飞机加速滑跑到足以起飞的速度时，柔和地拉杆使模型飞机抬头离地起飞，拉杆使模型飞机以约 30 度角爬升，当模型飞机到达安全高度时改平，模型飞机进入正常航线飞行。

在地面滑跑阶段，当发现模型飞机有偏航意图时就要及时修正滑跑方向，如果等偏航得过于明显时再进行修正，模型飞机就很容易在跑道上“画龙”，这时的模型飞机就难以控制了，对于初学者来说，此时应马上收油门停止模型飞机起飞。

另外还有一种投掷起飞的方法。即操纵者或助手单手持机身的重心位置，将模型飞机举在头部右前方，操纵者将发动机油门推至最大，将模型飞机沿水平直线向前用力投出，模型飞机平飞一小段距离，待积累到足够的飞行速度后逐渐抬头拉起，爬升到安全高度后摆平进行正常飞行。一般情况下只有在地面不能满足起飞要求时才会采用投掷起飞的方法，由于投掷起飞需要一定的技术，建议初学者不要轻易尝试，以免造成模型飞机损伤或发生意外。

## 7. 降落

降落是学习飞行技术初期最难掌握的飞行技术，因此要在有经验的教练的指导下多练习，既要胆大又要心细。

模型飞机一定要迎风降落。

降落可以分为三个过程：

（1）减速降低高度。当模型飞机准备降落时，首先对正跑道，将油门收至怠速状态，使模型飞机低速滑翔，适当推杆（根据模型飞机姿态决定推杆还是拉杆），使模型飞机以约 30 度角低速俯冲，随着高度不断降低，飞行速度也在逐渐减小，俯冲角度也应该越来越小。

（2）平飞。当模型飞机不断减小下滑角度，俯冲到距离地面约 1 米高度时，飞机应保持平飞状态，适当拉杆持续保持平飞状态，在平飞状态中，模型飞机飞行高度逐渐降低，而且飞行速度也进一步减小。

（3）落地。当模型飞机平飞、降低高度、机轮即将触地时，进一步加大拉杆量，使模型飞机保持抬头状态减速，使主轮先触地，前轮自然触地。最后模型飞机在跑道上滑跑，将发动机操纵杆微调收至最低，使发动机停止。

模型飞机借着惯性在地面滑行时，还要用方向舵控制模型飞机的滑跑方向，直到模型飞机完全停止。

上面三个过程是自然连贯在一起的，模型下滑是一条柔和的曲线。在降落过程中，飞行速度、下滑角度、抬头姿态都不是固定的，要根据模型飞机的具体状态而定。建议初次练习降落最好选在无风开阔的平坦旷野进行。

模型飞机在降落之前可以接标准航线，即在最后一个转弯之前便收油门降低高度，模型飞机可以在转弯过程中逐渐减速并适当降低高度，转弯结束后接降落程序。在技术熟练后也可以按矩形航线进行降落，路线更美观更逼真，但难度也更大一些。

刚开始练习降落时不必试图追求一次成功，可以采用低速低空通场的方式降落，一方面练习降落技术，一方面锻炼心理素质。多次低空通场练习中，总有几次会达到最合适的降落速度、姿态，抓住最好的时机急速降落，如有不妥可以再次复飞。

## 五、其他遥控飞机

### 电动 3D 花式飞行机

国际航空联合会拟定的特技模型飞机竞赛规则以及与之相应的各国自定的国内特技飞行规则（例如我国的 P3A），其特点是在所有规定动作都是在规定的航线上的一个假想垂直面上进行的，其整个飞行难免使部分爱好者感到过于刻板 and 枯燥，于是有些爱好者便另辟蹊径，玩起了 3D 花式飞行。

3D 花式飞机始于以内燃机为动力的特技模型飞机，近几年来，使用内燃机的 3D 飞行机似乎正在向着超大型化（翼展 2.5~4 米）和像真化的方向发展，而大量的 1 米左右乃至更小的 3D 飞行机则似乎已经被电动化了。这是由于“电动”比“油动”更干净、方便，易于小型化与轻量化的必然结果。

3D 这个名称在 FAI 的分类代号中本来是指绕标竞速项目（国际级 F3D 无线电绕标竞速模型飞机），不过这类模型玩者甚少。后来，世界各国的广大爱好者把那种无拘无束地在三维空间里的自编自舞甚至配以音乐伴奏的飞行方式称为 3D 飞行，所用的飞机随即被称为 3D 飞行机。起初 3D 机是用内燃机的，采用电动机的 3D 机出现后就被称为 E3D 机，现在 E3D 机已占多数。“3D 机”这个词似乎已是不分“电动”与“油动”而泛指所有的 3D 飞行机了。遥控模型直升机的 3D 飞行也在国外流行起来，我国从 2008 年开始将其列入了全国锦标赛项目。

3D 机必须具有很好的操纵性能，特别是必须在低速飞行的情况下要想既稳定又灵活。这就需要具有很大的推重比，它的静拉力必须是飞行重量的 1.3~1.5 倍以上。在模型实际上处于失速状态之下也能依靠各个舵面的协同工作而使模型随心所欲地围绕着三轴滚转自舞。

3D 机通常采用较短的矩形机翼，这是因为矩形机翼最不容易发生失速。在矩形主体后面通常沿整个后缘配以宽大的梯形副翼，以适应低速情况下的特技动作，提高机动性。

## 六、操纵摇控飞机的姿势

完美的飞行可以使人和模型融为一体，发挥双方的优势，弥补不足，人的操纵姿势、手法直接影响到模型的飞行轨迹。

正确的平飞姿势应该是以左脚前掌为圆心，右脚移动，三步转动一圈，身体保持正直，右臂自然伸直，两肩向左侧转动与手臂形成约 135 度夹角，眼睛从手柄上方观察到模型，形成一条直线，与模型的飞行位置保持一致。平飞时手腕应略带推杆角度，由于手腕向上是动作的反关节，运动行程有限，如果以掌心垂直于地面的角度长时间平飞极易造成疲劳，这样的调整可以有效降低肌肉的疲劳程度，在直角动作中这样可以适当增加拉杆动作的手腕角度，避免由于拉杆量不足用小臂上抬来补偿的痼癖动作。

特技动作进入前，脚步要比模型到达动作开始点的时间提早四分之一圈站位，上体正对（或略向左）动作空域位置，手臂在确保“拉住”模型的情况下，肌肉尽可能放松，这样才能灵活调动肌肉松弛程度，更好地控制手臂运行方向。运动时上臂带动小臂，圆动作时手臂跟随模型自然画圆弧，速率跟模型同步，这样能保证圆动作无棱角不要大角度和点歇式的单纯用手腕去操控模型。角动作则完全用手腕操纵，力求一杆动作果断，拉（或推）杆、回杆动作清晰，不要转动手腕，因为转动手腕不会改变两根操纵线的实际长短变化，也就不能使舵面产生改变模型姿态的任何变化，同时手臂不要拉扯模型，完成一个转角动作后手臂运行轨迹应同时跟上模型的飞行轨迹。在平时的训练中即使没有做到一杆到位，也不建议用微量调整的方式，因为这个过程是很短暂的，另外一旦形成这种调整的习惯，不利于操纵动作的定型和动作成功率提高，反而产生随时都想调整模型姿态的痼癖动作，只有在不断的大运动量强化训练中积极巩固，才能形成准确的操纵量和良好的操纵习惯。在过顶动作中，模型从上风点垂直拉起，手臂充分伸展，运行速度与模型飞行速度保持一致，在过顶的过程中可以随模型飞行位置不同匀速转体，也可以在到达头顶最高点后一次转体，但都要保持身体姿势正直，不能前俯或后仰，手腕保持相对固定，避免在高空没有参照物的情况下，模型发生飞行轨迹的改变。力中心都在一直线上，以中单翼布局为宜。翼型都选择对称翼型并且很厚，这样有利于获得比较均匀的飞行速度，并提高强度。方向舵和升降舵的面积都取得很大，甚至采用全动式方向舵。而尾力臂则都取得相当短，这是为了适应滚转的需要。

由于飞行过程中常要频繁侧飞，希望飞机在侧飞状态下也能多少有些升力，因此 3D 机的机身以具有较大的侧面积为佳，尤其是飞机头部。

为了取得 1.3~1.5 以上的推重比，3D 机在结构上必须做得尽量轻，然而在各个关键部位还是必须保证足够的强度（由于“电动”模型振动较小，这一点上相对“油动”模型较易处理）。

3D 机的螺旋桨需要直径大、螺距小。这样向后面吹风的面积也可以较大，有利于提高各个舵面的操纵灵敏度。直径与螺距的比值通常取 2 左右为

宜。

### 1. KT 板电动 3D 模型

航模界有这样一句话：只要动力强大，石头都可以使它飞起来。此话在内燃机模型上早已实现。现在在电动模型上也已做到，用 KT 板（覆上膜的泡沫塑料平板）做的各种各样的圆盘机、三角翼机、蝶形机、蛙形机等便是实例。从早先的认识来看，平板翼型不仅升力系数小，而且是最容易引起失速的，这类飞机能自由自在地飞行似乎令人难以置信。但仔细分析一下：这类飞机的动力装置都很强大，静拉力都已明显超过自重，达到 3D 机的基本要求。3D 飞行的概念便是让飞机的机翼基本上处于失速状态下，仅靠发动机的拉力和对舵面的控制来完成各种动作，既然如此，同样处于失速状态的平板与圆滑的对称翼型，在吊机状态下就没有明显的差别了，倒是在平飞状态下要注意小心操纵，让机翼与气流保持一个适当的迎角，这便是 KT 板 3D 机的奥秘所在。

### 2. 仿真类遥控电动模型飞机

除适合竞赛用的特技机、滑翔机、3D 机之外，更多的遥控模型飞机毕竟还是以普及型为主，其中有不少是厂家为了迎合爱好者的怀旧与好奇心，仿照历史上曾经有过的以及某些至今还在飞的真实飞机生产的仿真类遥控电动模型飞机。这些飞机大致可以分为两类：一类以上单翼机 J-3、赛斯纳以及双翼机 Ti-ger-moth 为代表，这些飞机的原型本身就具有良好的安定性，仿制成模型后很容易操纵；另一类则大多是仿制在第二次世界大战中立下过赫赫战功的著名战斗机，如“野马”（P-51）、“喷火”、P-40、“海盗”、BF-109、“零”式等。前一类飞机在改成模型时主要需将上反角加大至 8~10 度，尾力臂略微增长，或将水平尾翼略微放大即可，甚至尾部不改也可。而后一类仿真型战斗机则除了必须充分加大上反角之外，尾力臂与水平尾翼面积都需要充分放大，并且一般应当配有可操纵的副翼。更重要的是模型飞机的动力必须强而有力，否则将会非常难飞。

### 3. 超小型遥控电动模型飞机

近年来有一股强大的民间活动潮流，便是电动飞机的小型化和玩具化。如果说在以前谁做了一架 100 克以下的遥控电动飞机是比较稀奇的事，那么现在就连 10 克以下的超小型机也早已成为大批生产的玩具飞机了。电动飞机小型化首先离不开电机与电池的轻量化，随后则是控制机构与设备的轻量化。曾经在较长一段时间里阻碍模型向小型化发展的难题是舵机问题。21 世纪初，中国人解决了这个难题，开发出了利用双电机差速控制来实现转向的商品化超小型电动飞机，一下子把飞机重量降到了 50 克以下，这类飞机在全球市场上迅速推广，据粗略统计，前几年我国大陆一些工厂生产出口的双电机遥控飞机至少可达几百万架。但遗憾的是：由于生产商片面追求利润而未曾吃透技术关键，因而推广效果并不像预期的那样理想。许多飞机未能正常地实现遥控飞行，而会向单边倾斜下坠。究其原因主要是：模型单纯依

靠左右电机的转速差来实现转向控制，因而对两个电机的一致性要求很高，弄得不好模型会连直线飞行都难以维持，总是向转速低的一侧倾斜以致坠地。事实上就连某些进口品牌的电机，在同等条件下左右电机转速也尚有一定差别，生产时必须一对一对地精选才行。而国内有些高产的厂家使用廉价玩具电机不加筛选地盲目生产，致使飞机的两个螺旋桨转速相差较大（也有开始相差不大，但使用不久相差就会很大），因而出厂的大量飞机一出手就会向单边倾斜坠地，靠调整方向舵和操纵也纠正不过来，影响很差。此外，双电机差速控制的飞机从原理上讲就存在一个缺陷，那就是其操纵灵敏度会随着电力逐渐减弱而下降，尤其到了镍系列电池放电的后阶段尤为明显，飞机会越来越“不听话”以致失控，有经验者会在适当时刻操纵飞机提前着陆，而缺少经验、让飞机飞得又高又远以致最后来不及回收而把飞机丢失者也有。这是因为它不能像常规遥控设备那样采用 CUTOFF 功能提前切断电机电源，从而确保持有一定的电量来控制舵面滑翔回收。它根本没有舵面可以操纵，一旦电机停电它就只能自由飞了。

近两年来，双电机超小型飞机的发展势头已明显趋缓，这除了其固有缺陷之外，更重要的是近 4~5 年，舵机在小型化、轻量化和简易化方面又取得了很大的发展，北航冠天公司的“小飞侠”便是其中的典型。他们用极简易、轻巧的电磁结构，依靠分置在方向舵与垂直安定面两侧的线圈与磁棒在正反向通电时相互吸引或排斥来实现左右舵操纵（在不通电时为自由位置），整机飞行重量只有 28.5 克。类似的机构目前正在微型飞机上进一步推广发展，以致模型飞机重量已可缩小到 10 克以下。

关于超小型机，除了上面谈到的商品机之外，一些爱好者自己研制的高品位机当然就更为精巧了。在这方面，国内外许多航模爱好者把自己的聪明才智发挥得淋漓尽致。据介绍，有的超小型 3D 机可以在室内先穿过操纵者的裤裆，然后再“贴”到墙上，沿着墙壁像昆虫一样向上爬行，而后轻轻地与墙分离飞去，也有的在水面上吊机飞舞并不断让方向舵在水面上拍水，可谓无奇不有。

#### 4. 红外线遥控玩具电动模型

这类模型首次露面是在 2006 年 6 月的上海国际航模展览会上，由银辉公司推出的“小皇蜂”微型玩具模型直升机。这种玩具很容易掌握它的操纵，有的人甚至几分钟就可以学会，而且安全性极高，无论打到人或物都不会造成伤害或损坏。本身也很经得起摔打。因此，这类产品很快就在全世界迅速流行，至今至少已有几千万架之多。

目前，这种红外线遥控的电动玩具在固定翼模型飞机上也已经推广开来。

红外线遥控技术的突出优点是成本低，比无线电遥控更易玩具化，目前需要进一步研发提高的是：①对强光的抗干扰能力；②采用不同光谱或不同调制模式来实现多架飞机在同一室内一起飞行。

## 第五节 线操纵模型飞机

### 一、线操纵模型飞机类型

线操纵模型飞机是一种由人通过操纵手柄和钢丝直接控制模型飞机的舵面，而使其围绕操纵者做圆周飞行的模型飞机。线操纵模型飞机也是人类第一种可操纵的模型飞机。

线操纵模型飞机包括四种类型：线操纵竞速模型飞机、线操纵特技模型飞机、线操纵编组竞速模型飞机和线操纵空战模型飞机。国际航空联合会针对上述项目制定了国际级竞赛规则，并主办两年一届的世界线操纵航空模型锦标赛。

国际级线操纵竞速模型飞机代号为 F2A，要求使用排量 2.5 毫升的活塞式发动机，线长 15.92 米。测量飞行 10 圈（正好 1 千米）的时间，然后换算成模型飞机的时速。飞行 3 轮，取最好一轮成绩作为比赛成绩。

国际级线操纵特技模型飞机代号为 F2B，要求使用排量 15 毫升以下的发动机，在 7 分钟内完成 16 个特技动作。由裁判员根据规则评分，几名裁判员评分之和作为比赛成绩。要经过两轮预赛，两轮成绩之和作为预赛成绩，预赛前 15 名进入决赛。决赛进行 3 轮，3 轮成绩之和决定最终名次。

国际级线操纵编组竞速模型飞机代号为 F2C，比赛由 3 个飞行小组同时也在同一个赛场进行比赛。预赛、半决赛飞行 100 圈（10 千米），决赛飞行 200 圈。预赛两轮，最好成绩作为预赛成绩，前 15 名进入半决赛。半决赛两轮，最好成绩作为半决赛成绩，前 3 名进入决赛。决赛进行一轮，决定前 3 名名次。模型飞机要求使用排量 2.5 毫升的活塞式发动机，飞机油箱 7 毫升以下，这就决定了飞机在比赛中必须落地加油。每个飞行小组由飞行手和机械手两人组成。

国际级线操纵空战模型飞机代号为 F2D，要求使用排量 2.5 毫升以下的发动机并有有效消声器。由两名选手操纵各自的模型飞机同时在同一场地飞行，目的是咬掉对方模型飞机尾部拖曳的纸带。比赛采用双败淘汰制。

我国线操纵模型飞机运动首先开展的是线操纵竞速模型飞机项目。据记载，线操纵竞速模型飞机项目是在 1948 年举办的第二届全国航空模型竞赛上出现的。

### 二、线操纵模型飞机运动的项目

1956 年，我国开展了线操纵特技模型飞机项目。1980 年我国又开展了线操纵编组竞速模型飞机和线操纵空战模型飞机项目。



1978 年,我国加入了国际航空联合会,正式参加世界航空模型锦标赛。1984 年朱幼南获得国际级线操纵特技模型飞机个人世界冠军,这也是我国航空模型项目的第一个世界冠军。到 2006 年我国的国际级线操纵特技模型飞机一共获得了 16 个成年世界冠军和 1 个青年世界冠军。其中 1994~2002 年的五届世锦赛中实现了国际级线操纵特技模型飞机个人世界冠军和团体世界冠军的“双五连冠”,这既是中国航空模型史也是世界航空模型史上的第一次。

我国国际级线操纵竞速模型飞机项目和国际级线操纵编组竞速模型飞机项目的最好成绩是团体世界亚军;国际级线操纵空战模型飞机项目的最好成绩是个人第 6 名。

我国线操纵模型飞机项目经过几代人几十年的努力,取得了辉煌成就。

### 三、未来线操纵模型飞机的样子

#### 1. 技术准备

对于航空模型项目来说,模型飞机是基础,是最基本的保障。选手所用的飞机,全部是自己设计、自己制作的。模型飞机首先要保证的是飞行性能,要求它有良好的气动特性。

国际级线操纵特技模型飞机(F2B)的特点是在低空、小场地飞行。它的最低飞行高度是 1.5 米,最高 22 米,飞行速度可达 80 千米/时。完成一个飞行动作平均为 5 秒,而每个飞行动作平均要操纵舵面 20 次,最快的操纵时间要求 0.005 秒,最慢也要 0.02 秒。操纵过程还容易受外界湍流的影响。因此,线操纵特技模型飞机不仅要求有非常好的操纵性、稳定性和抗失速性能,还要求有非常出色的强度。

要达到以上要求,首先要在机翼翼型上做文章。我们采取加大相对厚度和前缘半径的方法。

早期的 F2B 模型飞机机翼最常用的翼型是 NACA0015。由于该项目模型飞机在做特技动作时,俯仰变化非常剧烈。国际级线操纵特技模型飞机竞赛规则要求方角动作(包括三角动作)的转角半径须在 1.5~2.1 米之间。为确保模型飞机在特技飞行中有良好的飞行稳定性和良好的失速性能。高水平的运动员将机翼的相对厚度逐步加大,由 1992 年的 15%~18%逐步提高至现在的 20%~21%。

随着机翼相对厚度的逐步增加,模型飞机的飞行性能有所改善。但机翼翼型的相对厚度不能无限制地增加。在对多架机翼相对厚度一样的模型飞机的对比飞行中发现,并不是每一架模型飞机的飞行性能都有相同的改善和提高,还出现过机翼相对厚度大的模型飞机的飞行性能不及机翼相对厚度小的模型飞机的现象,即模型飞机的机翼相对厚度的增大,并不等于模型飞机的综合飞行性能也在同步增加。

要达到改善性能的要求,还要加大机翼的前缘半径。前些年有人专门做过前缘半径的试验。做了两架模型飞机,它们的机翼翼型的相对厚度相同、

几何尺寸相同、共用一张图样，因机翼翼型的不同（主要是前缘半径的改变）而导致飞行性能发生较大的变化。前缘半径较大的模型飞机飞行性能较好。

经过多年的改进，现在已经找到了合理的尺寸范围。

国际级线操纵特技模型飞机项目的飞行是一个最“贴近”裁判的项目。它的飞行场地是一个半径 30 米的圆圈，评分裁判在飞行圈的边上。模型飞机的外观、美化、细致程度、制作工艺均会影响到裁判的评分。

所以多年来，确定了模型飞机仿真化的方向。模型飞机的原型均选用历史上比较著名而外形又美观的螺旋桨式飞机，再根据 F2B 的飞行特点在气动布局上进行改造，使之适合 F2B 的飞行。制作完成后，再根据特技飞行的特点及中国队的传统风格，对模型飞机的图案进行设计和涂装。

现在，我们的模型飞机是以二战时期前苏联和英国的著名战斗机作为原型机。

## 2. 集训

像其他评分项目一样，国际级线操纵特技模型飞机项目由 5 名评分裁判评分。每名评分裁判根据每个动作的质量以 10 分制评分，评分乘以难易系数得出分数，所有动作的分数之和为该裁判给的分数。去掉最高分和最低分，3 名裁判分数的和为运动员的比赛成绩。

从比赛方式来分析，国际级线操纵特技模型飞机运动员的飞行是给裁判员看的，裁判员的评价至关重要，所以我们的训练要紧紧围绕裁判员来进行。

首先运动员训练飞行时，教练员在裁判员所待的位置，从裁判员角度来看运动员的飞行动作。通过无线麦克风（传声器），告知运动员应该如何飞行。

运动员操纵的飞机是在一个以自己为圆心的半球内飞行，而裁判员位置在圈外。运动员看到的动作轨迹同裁判员看到的是不一样的。例如，运动员飞一个圆筋斗，如果运动员看到的是正圆的话，那么裁判员看到的一定是椭圆。相反地，如果要让裁判员看到的是正圆，则运动员一定要飞成椭圆。教练员就要告诉运动员，什么情况下裁判员看到的动作轨迹是正圆。

这种训练方法是我国的独创，参加世界比赛时，裁判员一致评价中国运动员的动作最标准。

其次国内集训和比赛时，多同裁判员沟通，请裁判员给运动员讲解评分规则和标准。十几年来，通过这种方法，一方面培养了运动员，另一方面也使我国裁判员的水平得以提高。

由于国际级线操纵特技模型飞机项目的运动员距离裁判员非常近，所以我们在选才时对运动员的形体、相貌都有一些考虑。运动员的比赛服装选择和模型飞机美化均要考虑裁判员的因素。运动员的飞行风格也要考虑裁判员的认同。十几年来，我们在飞行风格上也对裁判员施加影响，但切记要一点一点地进行。

由于体育战略调整的影响，各地航空模型运动员的训练都不能保证，所

以国家集训队集训，就成了唯一的保证。我们采取短期、多次、大强度的训练方式。

国际级线操纵特技模型飞机项目世界锦标赛为每两年举办一次。

进入 90 年代，我们国家队选手开始使用意大利生产的“超级虎” 60 发动机。2000 年，国家队选手开始使用乌克兰生产的“探索” Retro-60 发动机。2004 年，选手开始使用 SAITO-FA56 四行程发动机。2006 年有的选手使用 SAITO-FA56 四行程发动机，有的选手使用 SAITO-FA82a 四行程发动机。

国际级线操纵特技模型飞机（F2B）的发动机在调整上均比较特殊。

模型飞机在飞行中，会有爬升和俯冲的情况。从比赛的要求来讲，模型飞机要在各种情况下尽量保持速度均匀。

由于国际级线操纵特技模型飞机不能在飞行中对发动机进行操纵，所以要建立一个发动机自我调节机制。方法是将平飞时发动机工况调整在一个偏富油的位置。当飞机爬升时，由于油箱在发动机下方，受重力影响发动机的供油有所减少，发动机马力开始增加以弥补爬升时所增加的动力消耗。当飞机俯冲时，由于油箱在发动机上方，受重力影响发动机的供油有所增加，发动机马力开始减少，抵消了俯冲时的加速。

如何将发动机的油门调整在合适的点上，要经过大量的实践。过去，进行地面调整的依据是发动机工作的声音。这是一个弹性很大的参照，调整精度不高。从 1994 年开始以发动机的地面转速为基准，同时参照其他因素（温度、气压、湿度、声音等）对发动机进行调整。基本做到了满足各种条件下比赛的需要。

以前一直使用较小直径和较大螺距及较大桨叶面积的螺旋桨。过去的理论认为模型飞机在头顶时，由于线操纵飞机的特点，此时几乎没有升力。这时要靠发动机的拉力。大螺距和大桨叶面积可以产生较大拉力。然而事物总是一分为二的。这样的螺旋桨虽然拉力大，但是在大风天气 45 度线以下容易产生较大加速，45 度线以上螺旋桨容易失速使飞机松线失去控制。现在我们开始采用螺距较小和桨叶较为细长的螺旋桨，它的特点是爬升时马力增加较快，而俯冲时又产生一定阻力，比较适合国际级线操纵特技模型飞机的飞行特点。

20 世纪 80 年代初，从软式油箱向硬式冲压油箱的转变是 F2B 动力系统的一个飞跃。现在又有相当多的人使用吸入式恒压油箱。硬式冲压油箱是利用发动机排气管内的压力来为油箱增压，使供油系统尽量减少由于油位高度的变化带来的供油量的变化。而吸入式恒压油箱，则利用液体特性和离心力作用，使油箱的油压保持恒定的同时，压力又比硬式冲压油箱的小。正好可以利用油位变化对发动机的影响，来达到调整飞机爬升和俯冲时速度的目的。

四行程发动机螺旋桨的选择：

SAITO-FA56 发动机使用直径 310 毫米、螺距 150~170 毫米的三叶桨。

一般在比赛的前一年组织为期一个月的国家集训队第一阶段集训，集训的主要内容是确定新模型和新发动机方案。通过不断地试验飞行和修改，得出方案是否可行的结论。该阶段集训如果确定新方案可行，则要求运动员回去按新方案制作模型。如果新方案不可行，则运动员还按老方案制作模型。

比赛当年组织第二、第三两个阶段集训，第二阶段集训主要是调整新模型和发动机。由于运动员经过长期的飞行训练，对原有模型的性能“烂熟于心”，已经形成条件反射。而手工制作的新模型一定同原有模型的性能不同，所以能否将新模型调整好，并适应新模型形成新的条件反射很关键。

第三阶段集训为期约 40 天，该阶段要大幅度提高训练强度，每天每个运动员要飞行 8 个起落，并且各种天气均要训练。该阶段的主要目的是对运动员的比赛动作“精雕细刻”。通过高强度的训练，使他们将飞行操纵深深地印在脑海里，对各种天气情况下的发动机、模型如何调整及各个动作的操纵要领做到正确掌握，以适应全天候的比赛。该阶段的训练要达到完全凭意识来完成飞行的程度。线操纵特技模型飞机，最快的操纵时间要求 0.005 秒，最慢也要 0.02 秒。机会稍纵即逝，完全没有思考的时间。所以只有通过平时的训练形成很深的条件反射才能达到要求。

国际级线操纵特技模型飞机项目的飞行训练还应该包括各种竞赛。比赛其实是最好的训练。所以在组织集训时，尽可能利用各种比赛机会，把摸索的新想法让运动员去实践，让裁判员来评判。每次国内比赛前教练员均给运动员布置任务，比赛结束后给每个运动员进行讲评。通过多年实践，证明这种方法很有效。另外在条件允许的情况下多参加国外的比赛。

## 第四章 航模天地：航模制作

航模制作实践是让航模爱好者在了解航模原理、组成、结构等的基础上,通过自己动手实践制作出自己喜欢的纸航模、电动航模以及滑翔机航模等各种航模。并在制作过程中加深对航模知识的理解,也使航模爱好者对航模更加充满兴趣。亲手制作航模,往往会使青少年产生美好的遐想,激励他们不停地追求。参加这项活动还可以学到许多科技知识,培养既善于动脑又善于动手和克服困难、勇于进取的优秀品质,促进德、智、体全面发展。下面让我们一起走进航模的制作实践天地。

### 第一节 航模工艺

#### 一、量具

直尺、三角尺、丁字尺、钢板尺、钢卷尺、角尺,这些测量长度和画线作图的工具,在学校,每个孩子都学会了使用。在这里要提醒两点请航模爱好者使用时注意:

(1) 有机玻璃、塑料、木质的尺的刻度随着温度的变化热胀冷缩,不可能很准确,使用时要用钢尺或游标卡尺校准。绘制工作图时最好用钢尺量尺寸,以免误差积累尺寸不准。

(2) 所有的直尺(包括钢尺)都有不直的可能,有个别1米长的钢板尺,画出的线是弯的,使用时一定要注意检查。

游标卡尺、千分尺(内径千分尺、外径千分尺)、万能角度尺是较精确的测量工具,可以测量外径、内径、深度、角度。长度精度可到0.01~0.001毫米,角度精度可到5',使用前要注意“0”刻度线检查,游标上的“0”刻线与固定刻度上的“0”刻线对齐,卡口应该合紧,不露光。

#### 二、工具

##### 1. 手工工具

各种刀具、木刨、锯、锉、钻、磨石、台虎钳、手虎钳、钢丝钳、尖嘴钳、锤子、剪刀、螺丝刀(十字形、一字形)各种扳手、丝攻、板牙、止血钳、毛笔、毛刷、底纹笔、C形夹、砂纸、砂纸板、手摇钻等。航模爱好者在不断的实践中都逐渐学会了使用,在日常居家生活中也经常使用。

每个航模爱好者都有一套得心应手的手工工具，要提醒大家的是：

(1) “工欲善其事，必先利其器”，要选购或自制高质量的工具，并且要注意工具的维护和保养，保证常用常新。

(2) 要注意正确使用，保证安全。

## 2. 电动工具

手电钻、砂轮机、电烙铁、电吹风、电烤箱等。使用电动工具时要注意：

(1) 所有电动工具使用前必须仔细阅读使用说明书，严格按照规定使用。

(2) 注意安全用电，使用后一定要及时拔掉插头，切断电源。尤其是电烙铁、电吹风类的电热工具必须用后断电，注意安全。

## 3. 普通机床

车、磨、刨、铣、钻床，是加工设备，模型飞机上的很多金属零件都需要这些设备加工，木制零件，尤其是硬质木零件的钻孔、铣削还需要在钻床、铣床上加工。有条件的少年宫、青少年科技活动中心，有一些简单的机床，在这里参加活动的航模爱好者能在辅导老师的指导下学会机床的操作，自己加工模型飞机上的金属零件。没有加工条件的航模爱好者，可将需要的金属零部件，绘制好图样送交工厂，请专业的师傅加工。

## 三、材料

### 1. 木材及木材加工

#### (1) 木材

制作模型飞机常用的木材有：轻木、桐木、松木、云杉、桦木、椴木、毛竹和层板。

①轻木，产于南美洲厄瓜多尔、巴西等热带地区，我国云南、海南岛曾试种成功，但质量不如原产地。轻木材质松软，纹理均匀，不易变形，密度很小，在 0.06~0.36 克 / 立方厘米之间，易加工，是制作模型飞机的好材料。可用来制作受力不大的零部件，如翼肋、水平尾翼、垂直尾翼、翼尖等部位的整形和填充材料，是竞赛型室内模型飞机首选材料。

②桐木，是指白花泡桐和紫花泡桐（不是梧桐、油桐等桐树树种），产于我国黄河下游和长江流域。在排水良好的沙质土中生长很快，白花泡桐比紫花泡桐生长更快。10 年生的树，平均胸径可达 40 厘米。经干燥处理的桐木密度在 0.2~0.4 克 / 立方厘米，密度小，木纹直而均匀，相对强度大，变形小，易加工，是我国特有的制作模型飞机的优质材料。常用于制作机翼前缘、后缘、辅梁、蒙板、翼肋、机身蒙板、橡筋模型螺旋桨等。

③松木，东北红松树高可达 50 米、胸径 1 米，产于我国东北长白山、小兴安岭、吉林山区，木材经干燥脱脂后密度在 0.4~0.7 克 / 立方厘米之间，纹理均匀，木质细密，不易变形，具有一定的弹性，易加工。松木材料主要用于模型飞机上的受力件。如：机翼主梁、机身纵梁，普及级模型的发动机架等。

④云杉，常绿高大乔木，产于我国秦岭以南至四川北部山区。材质优良，纹理细密，弹性比松木大，不易变形，密度约 0.5 克 / 立方厘米左右。为贵重木材之一。用于制造滑翔机和模型飞机上重要的受力件。如：机翼主梁、机身纵梁等。

⑤桦木产于东北、华北、西北及西南高山地区。木材黄白色，材质坚硬，纹理均匀紧密，密度较大，0.7 克 / 立方厘米左右，用于制作模型飞机的螺旋桨、发动机架等受力构件，是生产航空层板的主要原材料。

⑥椴木，紫椴、糠椴都是落叶乔木，产于我国东北、内蒙古、河北、山东等地，木纹非常均匀、细腻平直，韧性好、易加工，适合制作硬壳机身和像真实体模型。

⑦毛竹，产于长江流域以南各地，浙江、江西、湖南山区，毛竹高可达 20 米，直径 16 厘米，中部节长 40 厘米，竹材韧性强，篾性好，具有弹性，易于弯曲定型，是制作简易普及模型的好材料。

#### ⑧层板

a.航空层板，由桦木单板和酚醛胶膜纸压制而成的胶合板。有 0.5~3 毫米厚的不同规格，具有良好的耐水、耐气候和高力学性能。用于滑翔机制造，在模型飞机制作中 0.5、0.75、1 毫米厚的用途最广，常用作翼根部翼肋、隔框、加强片等需要高强度的地方。航空层板的密度为 0.8 克 / 立方厘米。

b.椴木层板，由椴木单板和酚醛胶膜纸压制而成的胶合板。高质量的可耐气候、耐水，密度比航空层板小，强度适当，较易加工，常用作机身隔框。

c.精制层板，也叫做木材层积塑料，用浸酚醛树脂胶的桦木薄单板，按一定要求进行配坯，在高温、高压下胶合而成的板材。具有较高的力学性能、绝缘性能和尺寸稳定性。用于制造无声齿轮、电气绝缘零件，纺织机械零件。在模型飞机上可制作高效率的螺旋桨。

现代条件下，航模爱好者都能买到已经加工成各种规格的航模制作专用木条和木片。

#### (2) 木材的加工

各种木材从原木横着锯成若干段，然后锯解成木板、木块。锯出来的湿木料架空堆成层放在通风的地方自然干燥或放进高温及空气流通的特殊干燥室中进行干燥。这个过程都在木材加工厂完成。

原木锯解的方法有以下几种：

弦切和半切的得材率较高，净切和径切得材率较低。用于制作模型飞机的材料最好是径切的。

#### (3) 木料的选择

①我们选择制作模型飞机的木片、木条尽可能选用径向锯解的径向木纹的材料。因木材的弦向收缩率大于径向收缩率，径向木纹的材料不易变形、强度较大，而且较容易加工。

②径向木纹的木片、木条上的木纹也不可能很直，弦切材料的木纹更是



弯曲的，在选择制作梁、前缘、后缘的木条时一定不会出现断纹，否则保证不了强度，而且容易变形。

③橡筋模型螺旋桨木块的选择。

a.必须选用径向木纹的材料，桨叶翼弦和木纹垂直。与年轮近似平行的弦向木纹的材料不能用。

b.两片桨叶要顺着落料，这样削出来的两片桨叶强度、弹性才能一致。

## 2. 金属材料

铝合金：模型飞机中不少零部件都要使用铝合金加工，如：机头、整流罩、控制机构、发动机机匣（铸铝）、汽缸（高强度铝）和活塞（高硅铝），把 0.01~0.03 毫米的铝箔和轻木片粘合成复合材料，制作机翼、水平尾翼。常用的铝合成的牌号是 LY12-CZ、LC4。

## 3. 粘结剂

快干胶：用于粘结木料。较稠的涂布油（硝基涂布清漆）可直接当作快干胶使用，也可以用赛璐珞片（如废乒乓球）等硝化纤维溶于香蕉水泡制出快干胶。用硝化棉溶于香蕉水泡制出来的快干胶是透明的。要注意的是硝化棉和香蕉水都是易燃品，使用时千万要注意安全。

香蕉水挥发很快，所以快干胶干固很快，香蕉水挥发后干固的仍是赛璐珞，抗水性能非常好，使用快干胶粘结的模型有较好的防水性能。而且，赛璐珞很轻，使用快干胶不会过多地增加模型重量。

快干胶还有一个特点，干固后涂上一滴香蕉水，胶合处会软化，利用这个特点，可以校正变形的模型，待香蕉水挥发后胶合处会重新固化。其他粘结剂固化后就很难再次溶化了。

502 胶（氰基丙烯酸酯粘合剂）：单组分，不用溶剂，室温瞬间固化，粘结强度很高，用于粘结木料、塑料、金属、橡胶、陶瓷、皮革等材料。使用时粘结表面要处理干净，必须干燥清洁，无灰尘或油脂，否则会影响固化速度和粘结强度。因其固化速度非常快，液态渗透性强，又不可能再次溶化，所以必须预先将粘结面的位置固定好，避免粘结时错位。很适合用于比赛时外场快速抢修模型。使用时要十分小心，注意别把手指粘住，更不能接触眼

睛，若不慎进入眼睛快用清水冲洗并立即找医生处置。502 胶保质期很短，购买时注意出厂日期，过期后浓度变大，固化速度变慢，粘结效果下降。长期储存应置放在 5 摄氏度以下冷藏室内。502 胶密度较大，渗透性强，用于轻木、桐木很容易渗透到疏松的木纹里，增加模型重量。

白乳胶（聚醋酸乙烯乳液）：用于粘结木材、聚苯乙烯发泡塑料。主要成分是聚苯醋酸乙烯酯，少量的乳化剂和过硫酸胺及二甲酸二丁酯，溶于水，使用时胶液太浓可用水稀释。这种胶干得较慢，胶合面积较大时，需要 24 小时才能固化。白乳胶价格便宜，对人体无害，缺点是固化慢，固化后受潮有点疲软，防水性能较差。

环氧树脂胶：用于粘结木料、各种金属、塑料、陶瓷及混凝土等材料本身与相互间的胶接与修补。出厂时一般都是双组分包装（二支牙膏形状）。环氧树脂类胶有以下部分组成：

环氧树脂：胶的基体，它决定了胶合剂的特性，树脂种类不同，胶合性能也不同。

固化剂：与环氧树脂发生化学反应，使其固化。通常使用低分子聚酰胺等复合物为固化剂。

增塑剂：提高胶的柔韧性，增加抗冲击强度。

填料：提高胶的内聚力、硬度和耐磨性，降低膨胀系数和收缩率。

溶剂：调节胶的黏度，便于使用。

树脂胶的固化剂、溶剂都有一定的毒性，使用时注意通风，最好戴上口罩。

环氧树脂胶粘结强度很大，固化后不怕甲醇等燃料侵蚀，一般用于重要位置的粘结，如发动机架、翼台等部位。

这类胶固化后基本不收缩，可以用于填补修复损坏的零部件。

使用环氧树脂胶有一定的技巧：

首先将需胶接的表面除油污、锈斑，用丙酮或汽油清洗粘接面，也可用砂纸打磨粘接面，粗糙的表面可以提高胶结强度。其次，根据实际需要由 A、B 两管中挤出同样体积组分，在玻璃板或其他洁净不吸水的表面上仔细将两组分调合均匀。然后将其涂在要粘接的表面上，粘合压紧后在常温下 2~4 小时的初步固化，24 小时后可达到最大强度。加温可缩短固化时间。

不同的环氧树脂胶，在使用时有不同的具体要求，有的固化时间短（10

分钟到 1 小时), 有的固化时间长 (24 小时), 严格按照使用说明书上要求的工艺操作, 才能取得良好的效果。

氯丁胶, 用于粘结橡胶、木材、铝塑板等装饰材料。可用丙酮稀释, 用于给普及级竞速模型机翼、尾翼蒙不带胶的涤纶薄膜。常用的氯丁类胶有: 801、806 等。

所有使用粘结剂的部位要注意, 在保证粘结强度的前提下, 尽量少用胶, 在上胶的位置不要有多余的胶堆结, 这样可以减轻构架的重量, 减少因胶固化收缩引起的变形。

#### 4. 涂料

涂布油 (硝基涂布清漆): 用于涂刷棉纸、绢给等模型机翼、尾翼构架蒙皮。涂布油收缩率大能张紧蒙皮, 形成薄膜柔韧性好, 不易开裂。涂刷时用香蕉水稀释, 控制好浓度, 用较稀的涂布油多刷几遍, 达到合适的张紧度。

腊克 (硝基木器清漆): 收缩率小, 涂刷后形成的薄膜较脆, 可打磨抛光, 较易龟裂。在其中加一点蓖麻油 (500 毫升加 1~2 滴) 可增加薄膜韧性, 但更减小了收缩率, 使用时要兼顾这两方面的性能。用于要求收缩率小的部件上, 避免变形 (如: 橡筋模型飞机的螺旋桨)。

有机玻璃涂料: 有机玻璃碎屑溶于三氯甲烷、三氯乙烯或苯等有机溶剂中形成的一种涂料。涂刷在模型表面形成一层有机玻璃薄膜, 可以防止甲醇燃料的侵蚀, 但含硝基甲烷的燃料仍会侵蚀。

硝基漆 (喷漆、自喷漆): 漆膜坚固耐磨, 强度较好, 有各种颜色, 色彩鲜艳, 可美化模型表面。硝基漆可防水和一般油类, 但甲醇、硝基甲烷发动机燃料能溶化硝基漆。用硝基漆美化的模型必须再喷涂上环氧清漆防护层。

环氧漆: 双组分包装出厂, 现用现配, 固化后漆膜牢固、耐磨蚀, 不怕甲醇和硝基甲烷侵蚀。环氧漆较重, 一般用于较大型的遥控模型和线操纵模型上。

#### 四、制作工艺技巧

下面着重讲述制作和装配的技巧和经验。

##### 1. 工作图的绘制

绘制工作图一定要仔细, 尤其是左右机翼分开的工作图, 翼展、翼弦、翼肋间隔等所有尺寸一定要用钢尺来量, 尽量减小误差。左右两半机翼两张工作图, 可在中间放上复写纸一次画出来, 以减小左右两半机翼的误差。在画翼肋间距时, 要把翼肋的厚度都画出来, 才能保证制作时翼肋间距准确。

##### 2. 木片的裁切

裁木条: 制作机翼翼梁或后缘时, 有时找不到合适的木条, 这时要用合适厚度的木片裁切。裁切时要注意: 压住木片的钢尺 (或木尺) 一定要平直, 最好按所需要的宽度用笔在木片上画一条线, 裁切时钢尺 (或木尺) 一定要压紧, 别移动, 裁切的刀片一定要顺木纹切, 第一刀不要切到底, 先切一条

浅槽，然后沿着浅槽切第二刀，第三刀把木片裁开。裁切时手持刀片一定要垂直于木片，不能左右倾斜，否则裁出的木条的侧面和底面不成 90 度。为了保证裁切出的木条侧面和底面垂直，可找一根较厚的平直木条作为“靠山”，刀片贴着“靠山”走，这样裁切出来的木条侧面一定是垂直底面的。

裁切翼肋毛坯：制作翼肋的木片尽量选用径向木纹的：竞时模型的翼型弯度较大，翼肋样板在木片上画样时，要把翼肋后部较窄的部分顺着木纹放置，尽量避免有断纹出现。

裁切足够数量的翼肋毛坯后，用很直的两根钢丝穿起来，按照削翼肋的常规办法削制翼肋。一板翼肋削制完成后，取下两边的样板，在一板完成的翼肋上开翼梁的槽一定要仔细，可先用刀切一个小于梁截面尺寸的切口，然后用什锦锉修锉，边修边将梁放在槽内试其深浅和松紧，直至合适为止。

### 3. 构架式机翼装配技巧

(1) 选择一块平直的装配工作板，长度要不小于装配机翼的翼展。可选用玻璃板、大理石板或经过平直校验的木质工作板。

(2) 把工作图用胶带纸固定在工作板上，所有要上胶的位置预先贴上胶带纸以防图样和构架粘在一起。

(3) 用插销把左右机翼的梁连在一起，左右两边机翼一起上胶，左机翼胶一个翼肋，右机翼胶一个翼肋……尤其是梯形机翼和梯形上反角，翼肋后面和后缘胶接的位置，一般翼肋后边留得太长，必须一个翼肋一个翼肋切到合适的长度。切记一定要左右两边相对应的翼肋要一起切，左 1 号右 1 号，左 2 号右 2 号……一定要一样长，才能胶接，这样才能保证左右两边机翼尺寸一致。

(4) 翼根最外侧的翼肋胶接千万注意不能偏斜（一般和主梁垂直），稍有偏斜，将来与机身插接时就会出现缝隙。

(5) 左右两半机翼胶固化后取下，将下弧相对合在一起检查是否一致，若有翼肋间隔不等或稍有偏斜的情况可及时校正。

(6) 接上反角前，左右中段机翼和左右上反角都要将下弧相对合在一起，检查上反角切口处左右两边的前缘、翼梁、后缘裁切得是否一样长，打磨的斜口角度是否一致，以免两边上反角接得偏斜不一致。

(7) 竞时模型的翼型比较弯，构架完成后蒙皮上弧前面翼肋间有下凹现象，而下弧的后半段蒙皮容易向下凸起，这都破坏了翼型，影响气动性能。上弧前部下凹的现象可以在梁和前缘间加半翼肋或蒙板来解决。下弧后边向下凸的现象可以在梁和后缘之间加斜翼肋或在翼型下弧最弯处加一根较薄的辅梁来解决。这样做可以有效地改善滑翔性能。

### 4. 模型喷漆技巧

**第一步：组装完成后，喷匀 1000 号底补土。** 这样在检查组合上有没有缺陷时就会很方便；还有一个作用是可使后续喷上的油漆附着更结实；另外，这样做还能令小部件有沉重感、不会显得透明。

第二步：为了后面做“阴影色”打下基础，要在模型上喷匀 42 号漆(暗茶色)，同时进一步防止零件透明，并加强重量感：也可用 41 号红棕色代替。

第三步：在轮胎和负重轮的轮边缘喷（或手涂）上深灰色（注意！不是黑色）。然后在全车大面积喷涂 39 号漆(沙黄色)，但要在车身所有的分界线和边缘处留下些暗茶色的底漆。

第四步：用 193 号漆(德国棕)随意喷出棕色斑纹，这时使用 0.3 毫米或 0.2 毫米口径的喷笔，气泵压力不宜过高，如此喷出的斑纹边缘较实。

第五步：用 60 号漆（灰绿色)喷出绿色斑纹。注意要浅浅的喷，不要喷得过实，否则颜色就会过于突兀，有失真感。也可使用 192 号（德国绿），这样整体色彩会艳丽一些。

第六步：用“Zippo”油稀释棕黑色油画颜料，浅浅“渍洗”一遍后擦净，车身下部喷些棕黑以表现脏污感，之后轻轻以浅黄色的油画色“干扫”边缘及凸出的细节。

第七步：先将全车喷一遍亮光漆，再贴上水贴纸，防止水贴纸和车身光泽不统一。水贴纸软化剂是得力帮手，当然也可根据实际情况而不采用。

第八步：喷匀消光剂。这样，既降低了全车的亮度，增加了真实感；又可以保护水贴纸和漆层，至此完成制作。运用此步骤可保证作品基本入流。

#### 五、维修工艺精髓

模型飞机在试飞、训练、比赛过程中经常会损坏，除非是粉碎性的大事故，一般都能修复。维修模型的工艺精髓是：

1.损坏的部位往往是应力集中的地方，所以修复后的强度一定要比原来完好无损时的强。

2.断裂的碎片尽可能收集齐，复位要准确，不能错位、扭曲、变形，要利用工作板或平直的地方找好基准。

3.修复时先考虑强度、刚性，后考虑外观，在保证强度和刚性的前提下，先保证气动外形准确，再尽量保证外形美观。

## 第二节 纸模型飞机的制作

### 一、制作纸模型飞机的“纸”

大家都知道，许多飞机的主要材料是铝合金，但飞机上用的铝合金不是常见铝合金门窗用的那种，而是特种航空铝合金。很多人一直希望能用一种特种“航空纸”来制造纸模型飞机，但遗憾的是，到目前为止还没找到。

那么，特种“航空纸”应该是什么样子的呢？应具有什么特性呢？在哪里

可以找到呢？

它应该是：平整、均匀、细密、挺括、重量轻、有弹性、有韧性、易折叠、易剪裁、易粘合、厚度适中，还有加工完成后不易变形。

粗看起来好像绝大部分的纸都具有这些特征，但仔细看，你会发现这些指标许多都是矛盾的：厚纸挺括、刚度大，但重量大且不易折叠；薄纸质轻、易加工，但刚度小、不挺括，容易变形。

所以根据不同的用途选用不同的纸是最好的选择，比如做大飞机用厚纸，小飞机用薄纸；受力部分用厚纸，不受力部分用薄纸；用更合理的结构来克服受力后的变形；用其他材料弥补纸的缺陷等。我们经过很多实践发现，70~100 克的复印纸比较适合初级爱好者制作大多数纸模型飞机。这种纸容易购买，价格适中，基本符合“航空纸”的要求。复印纸在大超市和文具店都可以买到，70 克的较薄，100 克的较厚。A4 和 B5 纸大小适中，A4 纸的尺寸是 210 毫米×297 毫米，B5 纸的尺寸是 182 毫米×257 毫米。一般说来，厚纸价格要高于薄纸，相同克数的纸，价格越高的越好。平时，也可以多注意观察和收集各种不同类型的纸张。

不管怎样，制作模型飞机的纸张一定要精良，我们反对为环保“作秀”而用废报纸做模型飞机。精细规划才是节约之道，充分利用每一张纸，或在做试验时用废纸，做成品模型时用好纸。树立这样的节约观念，不管以后你从事什么工作，都会对你百利而无一害。

如果你在以后的制作中发现现有的复印纸已经不能满足要求了，你可以到特种纸商店，相信在那里你会有更多收获。如果有一天，你发现只有用钛合金才能制作你飞机上的某个部件时，那么，恭喜你，你已经是模型制作高手了！

下面，我们就看看一片纸能做出什么样的东西来吧！

纸可以很容易地被剪裁成各种平面形状：正方形、矩形、梯形、三角形、多边形、圆形等，只要有耐心，你能剪裁出任何形状。

在平面形状的基础上，经过加工，我们可以制作出很多立体部件：立方体、四面体、棱柱体、圆柱体、圆台、圆锥等。

把这些部件按一定的比例制作，并按一定的方式组合起来，那就是一架

飞机，一架简单的像真飞机模型。

我们用纸做的圆锥、圆台、圆筒做成机身，机翼和垂直尾翼是用纸直接裁成的，把它们粘在一起，一架“协和”喷气超声速客机就这样诞生了。

飞机的外部形状多为曲面，而纸飞机只能做出直棱面，就算再加上纸的轻微变形，也基本上做不出光滑的球面类的曲面，所以利用多段直棱面拼接可以形成一个类似的曲面。有时为了制作方便，就干脆把一段曲面简化成直棱面了。

## 二、制作纸模型飞机的工具

制作飞机时，一把剪刀就能做出各种不同大小及类型的纸模型飞机，而且大多数人开始时就是这么做的，随着制作水平的不断提高和对工艺的更高追求，你会拥有更多工具，将来甚至还可能有高级的数控激光切割机呢！

做折纸模型飞机时，你几乎不用任何工具，只要按照预定的方法折就可以了。做剪折纸模型飞机的时候，就要用到剪刀了。以后复杂的纸模型飞机就要用到更多工具，如美工刀、直尺、镊子、夹子等。

如果你想制作出精美的纸模型飞机，那就需要更多的工具了，如组合刻刀、画圆刀、塑胶垫板等。

1.剪刀——最常用的纸模型工具，可以剪出任意曲线和短的直线。

2.美工刀——最常用的纸模型工具，可以裁出长的直线和任意曲线。

3.直尺——常用的纸模型工具，可以测量部件长度，辅助美工刀裁出长的直线。

4.镊子——常用的纸模型工具，可以帮助放置细小部件。

5.夹子——常用的纸模型工具，可以在部件粘合过程中起固定作用。

6.组合刻刀——高级纸模型工具，可以精确划出任意曲线和短的直线。

7.画圆刀——高级纸模型工具，可以精确划出圆或一段圆弧，也可挖洞。

塑胶垫板——高级纸模型工具，可以防止刀具损坏桌面，提高部件质量。

所谓高级工具其实并不是很贵的工具，价格都在几十元以内。这些工具大多是带尖和带刃的，所以使用时一定要注意安全。当然，在制作过程中有一些小的伤害也是难免的，要学会简单的创伤处理方法，准备一些常用的外伤药品，但不要因噎废食，因为怕受伤就不用工具了。

## 三、剪折纸模型飞机的制作

剪折模型飞机比折纸飞机更像飞机、更专业，但制作并不十分复杂。

做模型飞机之前要熟悉要做的飞机，做到“成竹在胸”。

取一张 A4 纸，把裁好的半张 A4 纸对折，压平压牢。下边为折的一边，把粗线和虚线图形按一定比例复制到折好的纸上，然后用剪刀沿粗线剪下来。

头部把折叠在一起的两片纸沿虚线一起向下折，然后再向上折，紧密包裹缠绕住机头。

机翼和尾翼也沿虚线折好，翻过来，把另一侧机翼和尾翼也沿虚线折好，

然后把机翼和尾翼展平，这样你的第一架剪折纸模型飞机就诞生了。

把纸对折，然后再剪，这样一次就剪成了两面的形状，保证了飞机的对称性，提高了效率。

用购买现成的套材就方便多了，省去了复制图样的工作，只要按照印刷好的图样把飞机剪下来（直接剪或用美工刀切，一般不对折），然后按图示说明折，一架色彩漂亮的小飞机很快就做出来了。

剪折纸模型飞机部件只有一个，它包含了小飞机上所有东西，只需剪、切、折，工艺简单。但无论是外观还是飞行性能都称得上是真正的模型飞机了。

#### 四、拼粘纸模型飞机的制作

制作拼粘纸模型飞机时要用到前面提到的所有工艺，你大显身手的机会来了，几乎所有形式的飞机都可以制作出来了！

制作方法和剪折纸飞机的几乎一样，把裁好的半张 A4 纸对折，压平压牢。下边为折的一边，把粗线和虚线图形按一定比例复制到折好的纸上，然后用剪刀沿粗线剪下来。

头部把折叠在一起的两片纸沿虚线一起向下折，然后再向上折，紧密包裹缠绕住机头。

机翼和尾翼也沿虚线折好，翻过来，把另一侧机翼和尾翼也沿虚线折好，然后把机翼和尾翼展平，这架是下单翼飞机，把飞机放在装配区，机尾对着你，用剪刀把机尾上部剪开，把做好的垂直尾翼插在中间。用胶水把各个需要粘的地方处理好，这样你的第一架拼粘纸模型飞机就诞生了。

这是一架常规布局的下单翼飞机，你可以按真飞机的样子，给它加上各个控制舵面。

当然，在掌握了各种技法后，制作并添加一些小的部件对你已经不是什么难题了。关键问题是你对飞机的了解和发挥你的想象力。

## 第三节 电动模型飞机的制作

### 一、电动模型飞机的制作材料

电动模型飞机的制作材料是非常复杂的。不同的模型要用不同的材料。下面我们以“红嘴鸥-GW”为例，作简单的介绍：

“红嘴鸥-GW”分为 S 型和 T 型，S 型为不可控动力时间，依靠充电量的大小决定动力工作时间；T 型为可控动力时间，电动机工作时间由一个微型的电子控时器控制，可在设定的时间断电，使电动机停止转动。T 型机的



优点是充电饱满后可以多次起飞。由于控制了动力时间,可以减小放飞场地,也便于组织各项趣味比赛。

“红嘴鸥-GW”电动自由飞模型飞机套材是专为中小学生课外科技文体活动而设计生产的。套材中包含了用KT板切割成形的机身、机翼和尾翼,还有电动机、螺旋桨、机载可充电电池和转换开关(T型机配有电子控时器)、充电盒等部件,此外还配有用来组装粘接机体用的专用胶液等。充电盒用4节1号干电池作为充电电源,对机载小镍氢电池进行充电。学生的制作和放飞活动须在老师或家长的陪同指导下进行,以确保安全。

## 二、制作“红嘴鸥-GW”电动自由飞模型飞机

### 1. 工具

美工刀、直尺(300毫米)、小十字头螺丝刀。

### 2. 注意事项

(1) 在粘接部件时涂胶要均匀、适量、到位。涂抹时要用边角料将胶液迅速刮匀,用胶量不宜过多,粘接部位要粘牢。

(2) 对应的两个粘接面都要涂胶,部件涂胶后要风干3~5分钟(根据环境温度不同而定)。

(3) 粘接部件时边缘要对齐,翼尖高度要对称,机身不能弯曲,特别是在粘接机身上,下加强条时一定要保持机身平直,否则会影响飞行性能。

(4) 部件粘接3小时后胶液方可干固,此前不宜进行放飞。

(5) 进行粘接时要保持环境通风,使胶水气味及时随空气流出。

### 3. 组装

(1) (用美工刀切断机翼、机身、尾翼等部件的连接处后,由材料板上取下)。

(2) 将机翼彩色面朝上放在有直角的桌边并使压痕线对准桌边角。

(3) 用直尺沿压痕线压住。

(4) 用手轻轻按压外露的机翼部分,将机翼沿压痕线折弯成 形。

(5) 在左、右机身内侧(白色一侧)涂一层薄薄的胶,外缘对齐,粘合后放在平直的桌面上用直尺压平,使机身保持平直。

(6) 在前机身右侧板内侧(白色一侧)和机身右侧前部涂胶后粘合。

(7) 将开关/电池板和电线放入固定槽内,电池朝后。

- (8) 将配重油灰置入机头配重孔内压平。
  - (9) 将机身左前段内侧和机身左侧前部涂胶后粘合。
  - (10) 确认机身平直后，在机身上面涂胶，和上加强条粘合。注意：开口和粘接部必须粘牢。
  - (11) 在机身下面涂胶，和机身下加强条粘合。注意：粘接时机身要保持平直。
  - (12) 在前尾翼支架上涂胶后插入机身。
  - (13) 尾翼粘接处涂胶后插入前尾翼支架。
  - (14) 后尾翼支架涂胶后插入机身尾端。
  - (15) 在电动机支架固定槽内涂胶后将其粘到机身上（安装孔向后），电动机支架要与翼台平面吻合。
  - (16) 电动机轴朝后装入电动机支架并使螺丝孔对准固定座上的圆孔。
  - (17) 丝刀拧紧固定电动机的螺钉。
  - (18) 在翼台上面和电动机支架下面两侧涂胶将机翼与机身粘合。
  - (19) 将螺旋桨置入马达轴（桨叶有字无光面朝前），螺旋桨与马达之间要留 2 毫米间隙。
  - (20) 检查机翼安装是否对称：用直尺测量机翼，两翼尖与机身中线的距离应相等， $L_{左}=L_{右}$ 。
  - (21) 组装完成“红嘴鸥-GW”，本机设计重心为距机翼前缘 38 毫米处。
- #### 4. 充电
- 放飞前要选购 4 节 1 号电池放入电池盒内。模型飞机上的电源开关置于“下”位（动力关闭 / 充电位置）。

**S 型：**靠充电量（充电时间）的大小决定动力工作时间长短。将充电盒上的插头插入飞机上的充电插座内充电，1 分钟后拔开，充电即完成。充电电池使用一段时间后电压下降，充电时间要适当延长。

**T 型：**带有电子控时器，限定每次飞行的动力时间。将电池盒上的插头插入飞机上的充电插座内充电，直至电量充满为止。新的充电电池 3 分钟后拔开即可，随着电池老化，充电时间要随之增长。

#### 5. 放飞

- (1) 要在足球场、体育馆或大教室等较大的空间放飞模型飞机。
- (2) 室外放飞要选择无风天气进行。

(3) 放飞时，右手持机身重心部位，机身呈略微抬头状态，向前适量用力掷出。

(4) 掷出时模型不可抬头过高或用力过大、过小。

#### 6. 调整

“红嘴鸥-GW”电动自由飞模型飞机是 V 形尾翼布局，通过对左、右尾翼舵面和机翼调整片的偏转角度的调整来改变其飞行状态，使其达到理想的飞行姿态和优异的飞行性能。切记优化飞行性能是在反复调整试飞的基础上，一步一步改善得来的，以下是“红嘴鸥-GW”的调整方法。

(1) 试飞前先将右侧舵面向上抬起 0.5 毫米，左侧机翼调整片向下 1.5 毫米。

(2) 无动力手掷试飞正常状态：出手后平稳滑翔略带左转姿态。

(3) 动力飞行正常状态：出手后平稳左盘旋上升，盘旋半径约 15 米。

(4) 出现“头重”（俯冲）现象：可将尾翼舵面同时向上抬起或在机尾加适量配重。

(5) 出现“头轻”（上仰）现象：可将尾翼舵面同时向下调整或在机头加适量配重。

(6) 使飞机左转：需将尾翼右侧舵面向上抬起。

(7) 使飞机右转：需将尾翼左侧舵面向上抬起。

(8) 使飞机向左倾斜：需将左侧机翼调整片向上抬起或右侧机翼调整片向下压。

(9) 使飞机向右倾斜：需将右侧机翼调整片向上抬起或左侧机翼调整片向下压。

## 第四节 手掷模型滑翔机制作

### 一、弹射模型滑翔机的制作

#### 1. 机翼的制作

机翼是用来产生升力的，升力的大小与机翼形状，尤其是与机翼有很大的关系。因此，机翼制作好坏直接影响到飞行性能，必须认真做好。

拼木片要掌握好要领，在拼缝的时候两边都要保持平直，并保持与木片平面的垂直度。可用细砂纸将切好的外形四周磨平。拼缝应安排在靠机翼前缘。a、b、c、d4 条线是翼型的基准线，所以一定要按尺寸划准，并将上表面 ab 间及 cd 间的两个三角形部分锉去，这样，翼型的基本轮廓就构成了。再将前缘及上弧四个棱角磨去，将表面磨光，即做成光滑的机翼翼型。接着，

就到了机翼部分，在处理机翼的时候应该把机翼切成左机翼和右机翼两部分。只要按工作图画好中线，用刀片切断就可以了。注意刀片应从前后缘向中间划，否则就很容易令前后缘受到损坏。然后再用砂纸磨出机翼断面所要求的角度。最后把两部分机翼胶合起来。胶合时应使左、右机翼前后缘接缝处要完全吻合，否则就会使模型的飞行性能受到极大的影响。待胶干后机翼就成形了。

## 2. 尾翼的制作

在制作尾翼时，最需要注意的是木纹的方向，尤其是垂直尾翼的木纹应与底边互相垂直。

## 3. 机身的制作

一定要选用上下两边平行的木条作为翼台的材料。做纵梁的木条上边必须保持直线。以为这3条直线决定了机翼及尾翼的安装角差值。为了适应弹射模型滑翔机高速上升又适与低速滑翔的两个阶段需求。机翼及尾翼的安装角差值必须合理，否则就会很容易产生“翻筋斗”或者坠地的现象。

外型切好后，应该在翼台上边开槽，以便牢固地安装机翼，开槽的方法是：先在中线上用刀片划一缝，再沿着翼台左右两边斜着划两条缝，然后将前端多余部分切断即可。

## 4. 总装

第一步是尾翼与机身的结合，要求垂直尾翼与机身中线重合。可以用眼睛沿着机身中线从机头向尾部看作为检查的方法，这样看去，应该只看见垂直尾翼的前缘。

第二步是机翼与机身胶合。要求机翼上反角左右相等，机翼左右以驾驶员座位方向为标准，安装角相等。上反角检查的方法有两种，第一种是测量法，使水平尾翼左右翼尖距桌面高度相等，再使机翼左右翼尖距桌面高度相等。第二种是观察法。沿机身中心线从机头向尾部看，并调整视线高低，使水平尾翼一个翼尖与同侧机翼相碰，此时水平尾翼另一个翼尖也应与另一侧机翼相碰，就说明机翼左右上反角才相等。

安装角检查是用观察法，在观察上反角的基础上，重新调整视线高低，当机翼下弧在某一处只看见一条线时，整个机翼下弧应只见均匀的一条线，这说明左右机翼安装角相等。

第三步是加强条及弹射钩的安装，加强条削成三角形，其中两边要正好与机翼与机身吻合。

## 5. 橡筋绳

不可使用太粗的橡筋绳，使用两条截面为1×4的橡筋就可以了，也可以用普通的橡筋圈代替。

## 二、弹射模型滑翔机的调整试飞

调整试飞与制作相比具有更重要的意义。因为即使模型做得很漂亮，可是不掌握飞行要领，还是不能飞好的。所以在正式飞行前需要有调整试飞，这项工作不简单，一定会遇到不少困难，飞机也许会摔掉几次。因此制作时一定要不怕困难，结合学习的飞行原理，联系实际，做好调整试飞工作。

### 1. 试飞前的检查

任何飞机试飞前一定要经过室内检查，因为总装好的一架模型飞机难免某些部分会不合标准，我们就在室内先检查一下。检查的项目是：重心位置、机翼和尾翼变形情况。重心位置检查，用笔尖顶（或者直接用手指）重心处，如头重或头轻可加減橡皮泥来调整。

### 2. 手掷试飞

手掷试飞的目的是初步观察及调整模型的力矩。它的试飞方法是用右手拿着模型飞机重心位置，手举过头，机头稍微向下，对着风将飞机向前平行推出去，手掷滑翔的技巧：第一，手持部位要靠近模型的重心。第二，出手角应约和地平面成 10 度，接近于一般模型的滑翔角。几乎所有初学者都不自觉地向上升抛。出手角度太大时，模型前阶段爬升，然后会失速冲下来。第三，出手方向要保持直线，模型前后左右要保持平稳。多数初学者投掷过程中手臂绕肩走弧线。第四，出手速度要恰当，约等于模型的滑翔需用速度。同时要注意风速，一般都是迎风手掷，所以出手速度要相应减小。出手速度太大时，模型会先爬升然后失速下冲。出手速度太小时，模型将迅速低头下冲。

### 3. 试飞调整

试飞调整是挖掘模型性能的必不可少的步骤。

首先在模型头部用硬币，橡皮等进行配重，使整架飞机的重心位于图纸的重心位置，即距机翼前缘 33 毫米处。用胶水粘牢。随即进行手投试飞。投掷时候应使模型机身轴线和投出的方向指向一致。要用力适度，不大不小。根据飞机的飞行轨迹进行飞机重心的微调，达到最佳的飞行效果。

经过手掷试飞的模型飞机，是否能在天上自由飞翔呢？还不能，还要经过最后的试飞调整。因为手掷试飞中不能暴露的问题可能会在高速上升阶段中暴露出来，比如模型弹射时的倾侧角度、弹射角度及风向等，这就得依靠弹射试飞的方法来确定。

初次试飞应根据手掷试飞的情况来决定。比如，手掷试飞时模型是微微左转，那么弹射时模型应向右倾侧，因为模型刚弹出时速度很大，升力也很大，如不倾侧，升力迅速增加时会使模型在空中翻一个筋斗，使模型爬高能

力大大损失。我们将模型向右倾斜，则升力可分解为一个向右的水平分力和一个向上的垂直分力。向上的垂直分力克服重力使模型上升，向右的水平分力克服模型本身的左转力矩而成为向心力，使模型能平稳地右盘旋上升。初次试飞一般是正对风起飞，同时橡筋绳应拉得少些，待调整好后，再逐步增加橡筋的弹力。

除右上升左盘旋以外，上升方式还有多种，比如：翻半个筋斗在上升到最高点时做半个滚转后进入滑翔；右上升右滑翔（或左上升左滑翔）；直线上升，然后自动进入滑翔。对这些方法，我们可以通过反复实践及基本理论分析来进行试验。