

# 无人飞行器及其系统发展研究

## 一、引言

近年来，随着信息技术的迅猛发展，世界范围内掀起了无人机系统发展的新高潮。无论军用领域还是民用领域，无人机系统及其相关技术都得到了快速发展。

现代无人机早已不是靶机、航模的代名词，其应用已覆盖军事、准军事与民用等领域，可以完成诸如战术侦察、地域监视、目标定位、火炮校射、电子侦察、电子对抗、通信中继、地理测绘、灾害调查等任务。

无人机（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）是由动力驱动、机上无人驾驶的航空器的简称。无人机系统（Unmanned Aircraft System, UAS）是以无人机为主体，配有相关的分系统、能完成特定任务的一组设备。无人机系统通常由空中部分和运行支持维护系统组成。无人机系统的主要特性包括无人性、交互性、自主性。无人性即不考虑飞行员的因素使得无人机可以执行各种危险、肮脏、枯燥任务、大大拓展无人机任务空间并能降低系统的研制、生产和使用成本。其次无人机系统特别要注重交互性。无人机间的互操作需求与无人机和有人系统间的需求一样重要。开发通用无人机接口、建立和扩展互操作和标准化所进行的大量工作将支持所有无人系统的互操作。高自主性是无人机的一个发展趋势，同时无人机的自主性与可靠性和生存性密切相关。通过技术的进步提高无人机的自主性能够扩展无人机的适用范围、使其效率在更大范围内得到发挥。关于自主性等级的划分一直处于不断演进的过程中。美国 FY2011–2036 Unmanned System Integrated Roadmap 中关于无人机的自主等级简化为人操作、人委派、人监督、完全自主等四个等级。

## 二、发展现状

### (一) 总体发展态势

在军用无人机领域,无人机装备呈现出日益明显的系列化倾向,装备的级别在向高级别和低级别两端延伸。随着现代战场实时信息网和人工智能技术的发展,无人机自主工作和人机之间信息交换能力有了很大提高,保证了无人机能够最大限度地发挥其特有的长处,从而使无人机技术成为未来战争中最有影响的技术之一。特别是随着美军“零伤亡”作战概念的提出和无人机在近期多次局部战争中的突出表现,更加证明了无人机在现代战争中的作用日益突出,也进一步巩固了它在武器装备体系中的地位。

许多国家对无人机都有需求,但各国无人机的发展情况相差甚远,除了技术水平外,对无人机的认知程度和需求导向是重要的因素。

美国的国家战略是维持在全球的霸权地位,在世界各地不断进行着一定规模的局部战争,而人员伤亡是使美国政府深感头痛之事。在这样的战略背景下,美国提出了“零伤亡”的战略目标,推出“非接触作战”等战争方略。无人机以其固有的特点,成为其实现战略意图,并减少人员伤亡的最理想的作战工具。因此,美国大力发展包括无人机在内的“非接触”作战装备。美国空军于1997年专门成立了无人机作战实验室,探索和论证无人机作战概念,探讨无人机与无人机、无人机与有人机实施联合作战的最佳方式。从2002—2010年,美国国防部6次更改无人机发展路线图,各军种对无人机的发展也制定了全面规划,从基础技术到型号背景和未来项目演示验证无不加速推进,并取得飞速进展。在海湾战争、科索沃战争、阿富汗战争、伊拉克战争等多次局部战争中,投入“全球鹰”、“捕食者”为代表的数百架无人机,直接参与军事行动,收到明显效果。据报道,在1999年科索沃战争中,美军摧毁了塞军70%的防空设施和作战指挥系统以及40%的弹药库,其目标信息全是由无人机提供的。在反恐行动中,美国也在境外修建无人机基地,用来打击“基地”等恐怖组织,而且逐渐成为猎杀的主要手段。

2011年10月,美国国防部第7次发布新版无人机系统综合路线图,进一步指导各军种无人机的发展。指明今后无人机的发展应具有协同作战能力,适应新的机群作战模式,实现无人机之间、无人机与有人机之间的协同作战,同时要提高隐身能力,增强智能化,使无人机成为未来重要的作战装备。美国在大幅削减防务开支的情况下,对无人机装备和研发的费用却不降反增。所有这些,都将加速美国无人机的发展,对原有成熟的无人机实施升级改造,同时加大新型无人机的研发,促使像X-47B、X-45C等这样的无人作战飞机尽快进入实用阶段,并加快高超声速无人机的验证,突破关键技术。不难看出,美国无人机的发展处于世界领先水平,其国内的需求导向是其发展的重要因素。

以色列的无人机发展更有特点,虽然就人口数量和国土面积而言属于小国,但是由于历史和民族等多种原因,与周边的阿拉伯国家在政治和军事上处于对立状态。严峻的环境

和自身的特点,使他们非常注重可代替人执行各种任务的无人机的发展。所以在无人机发展方面起步早,有着较丰富的经验。研制并投入使用的“哈比”、“苍鹭”等更具创新思维的一系列无人机,在低速、中小型战术无人机和长航时无人机方面具有特色和优势。

俄罗斯和欧洲、亚洲、非洲的国家和地区也都根据自身的需求制订无人机发展线路图,推动无人机的发展。

在民用无人机领域,型号发展迅猛,应用领域不断扩大。无人机在国土资源勘查、抗震救灾、环境保护等关键民用领域已得到了广泛应用,并在航空救援、电力巡线、气象探测、农林作业、安全执法、野生动物管理、无人机货物递送或交付、石油勘探等领域孕育着新的需求。

在农业领域,装有自动驾驶仪和喷洒设备的旋翼和固定翼无人机,可在预先设定的地块内喷洒种子、药剂、粉剂等作业。此外,装有航拍设备和自动驾驶仪的便携式无人机可以作为个人休闲娱乐、感受操控无人机的乐趣以及获得感兴趣的地面图像的工具,也可用于电视、电影相关镜头的拍摄。这一类应用的技术门槛较低,使用十分方便,已成为世界各国电视电影拍摄过程中获取空中拍摄图像的主要手段,具有广阔的推广前景和巨大的市场潜力。

美国是军用无人机大国,受限于法律和法规,民用无人机发展落后于军用无人机,主要民用无人机应用来源于军用无人机改型。NASA 成立了无人机应用中心,专门开展无人机的各种民用研究,包括天气预报、地球变暖、冰川消融、森林大火、飓风、热带风暴等环境监测等研究工作。主要民用“伊哈纳”无人机是军用“捕食者”无人机的一种改型,翼展 20 米、巡航高度 1.2 千米。其他进入民用领域的无人机有“大乌鸦”无人机、RQ-16 沙漠蜘蛛、Shadow 200B 无人机等。日本的民用无人机主要是雅马哈 RMAX 无人机系统,该无人机由日本农业航空联合会负责管理(JAAA),对无人机及操作人员采用注册管理,其中无人机 2000 多架、操作人员 1 万余人,主要用于农作物播种、农药喷洒作业。

## (二) 国外发展现状

目前,全球已有 30 多个国家共研制出了近 300 种无人机。美国、以色列是其中的佼佼者,代表着当今世界无人机研制的最高水平;欧洲以法国、英国、德国等国为代表,通过技术引进、联合研发等形式加紧发展无人机;俄罗斯凭借着深厚的技术底蕴,不断探索无人机的先进设计技术;世界其他国家和地区结合自身的实际情况,通过引进、测仿、合作等多种形式大力发展无人机产业。

美军自 1986 年成功使用以色列研制的“先锋”无人机后,在两次伊拉克战争、科索沃战争、阿富汗战争中广泛使用了各型无人机,无人机已经成为美国所有军种及其同盟国提供 ISR(情报、监视和侦察)服务的主要装备。目前已研制开发出上百种无人机,装备部队的有十几种,1300 多架(不包括微小型),正在开发的无人机达数十种,涉及侦察、电子对抗、通信中继、攻击作战等任务领域。大型无人机方面,2014 年初美国海军成功

完成了 MQ-4C “海神”无人机的首飞测试。该系统共飞行了 81 小时, 达到了 18000 米的高度。作为 P-8A 巡逻机的互补机型, “海神”能够协助其完成一些核心任务, 同时增强海军的海上巡逻和侦查能力。“海神”的任务覆盖范围超过 699 万平方千米, 能够提供航程为 3700 千米的全天候情报收集、监视和侦查能力。在中小型战术无人机方面, 除了对现役无人机进行新一代技术升级(自主起降、新式发射回收、新能源、新通信技术)研发外, 还提出了生物无人机、垂直起降模块化货运无人机等新概念无人机方案。

欧洲各国无人机的发展近年来通过联合研制、直接购买等方式, 逐渐缩小了与美国的差距, 在发展中、小型无人机的同时, 也投入了巨大的人力和财力研制无人作战飞机。法国、英国、德国、瑞典、意大利等国先后启动了各类无人机项目。最具代表性的是由法国牵头研制的无人作战飞机“神经元”项目, 该项目有瑞典、意大利、西班牙、瑞士和希腊等国共同参与, 2006 年底完成了概念性论证, 2007 年开始开展研制工作, 2012 年完成首飞。英国国防部十分重视无人机的发展。英国联合以色列“塔迪兰”公司, 在“赫尔墨斯”-450 中空长航时无人机基础上研制了“守望者”长航时无人机。另悉, 2006 年开始秘密研发的“雷神”(Taranis)无人机的隐身技术于 2014 年获得突破性进展, 使其空中作战能力达到一个新的水平。土耳其于 2014 年 4 月对其新型国产战术无人机进行了首次试飞。该飞机采用倒 T 型尾翼, 最大起飞重量为 550 千克, 最大任务载荷为 70 千克, 续航能力为 20 小时, 最大作战高度为 6850 米。罗马尼亚宇航协会研发的“空中灵云”(Air Strato)高性能电推进无人机原型机于 2014 年进入测试阶段。“空中灵云”翼展 16 米, 适合在 18 千米高空的平流层飞行。它由电动机驱动, 内置电池可用 7 小时, 太阳能电池可用 3 天。“空中灵云”可携带 30 千克的载荷, 例如航空摄影和监视设备、科学仪器或执行其他任务所需的设备。

20 世纪 90 年代初, 由于缺乏经费等问题, 俄罗斯无人机的发展开始走入低谷。总体上看, 俄罗斯当前的无人机发展水平要落后于美国和以色列。近年来, 俄罗斯政府已意识到了这一问题, 开始高度重视发展军用无人机。俄罗斯的无人机研制单位除了雅科夫列夫、图波列夫和卡莫夫三家设计局, 还有苏霍伊设计局、米高扬设计局、伊尔库特公司等。据俄罗斯国防部副部长鲍里索夫透露, 俄罗斯已研制出重型攻击无人机, 既能歼灭各类目标, 也能完成侦察任务。众多专家认为, 俄罗斯与美国、以色列两大无人机强国的差距至少有 15 年。俄罗斯国防部承认在上述领域与美国存在差距, 但放豪言 5 年后便能赶超。此外, 基于鳐鱼无人机的无人作战飞机也在研制过程中, 但具体情况并未透露。

亚洲国家和地区近年来也在加快无人机的发展。日本、印度、韩国、巴基斯坦、中国台湾都已研制出自己的无人机。其中, 日本正在研制飞行高度 20 千米以上的长航时无人机; 印度从 20 世纪 80 年代起开始研制无人机, 并从以色列大量购买无人机, 印度引进的“搜索者”和“苍鹭”无人机数量已累计上百架之多, 目前正在全面引进“苍鹭”无人机生产线; 韩国从 80 年代末 90 年代初开始发展无人机, 现已具有较强的无人机研发能力。伊朗于 2010 年 8 月第一次公布了国产远程战斗无人机——“克拉”(前锋)。2014 年 8 月

伊朗公布了名为“克拉尔”-4 (Karrar-4) 和“莫哈杰”-4 (Mohajer-4) 的无人机。“克拉尔”-4 是由伊朗航空工业组织设计和制造的新一代无人机。该无人机可以跟踪入侵飞机, 并具有在高海拔地区操作的各种空中防御能力。“克拉尔”-4 无人机以微型涡轮喷气发动机为动力源, 巡航速度可达 700 ~ 800 千米/小时, 最大飞行高度为 7600 米, 最大航程 1000 千米。它既可在防空演习中模拟战斗机, 也可进行远程雷达干扰和战略侦察, 甚至还能当作巡航导弹使用。“莫哈杰”-4 是一种能够进行空中映射的拍摄测量无人机。

非洲具有竞争力的无人机制造商有限, 典型的为南非的 Denel 公司, 占全球市场份额的 0.26%。Denel 公司十分重视海外市场的开拓, 目前该公司正在和沙特合作研制一种可挂载武器的中空长航时无人机。由于政策原因, Denel 公司的无人机更加受到中东和非洲国家的青睐。此外, Denel 公司还希望开拓南美洲市场, 巴西空军提出了对中空长航时无人机的需求。该公司典型产品包括搜索者 (Seeker) 和航维 (Hungwe) 无人机等。

### (三) 国内发展现状

近年来, 中国开发了多种的无人机型号, 有重量仅仅几千克的手抛发射型无人机, 也有重量近 15 吨的大型无人机。预计在不久的将来, 中国将成为世界头号的无人机生产国, 生产大量军用和民用无人机。

国内最早开发军用无人机的是航空三大院校: 北京航空航天大学、南京航空航天大学 and 西北工业大学 (西安爱生技术集团公司), 至今依然在开发军用无人机。其中西安爱生技术集团公司 (ASN Technology Group) 是中国最大的无人机制造商, 已开发出多个型号的军用无人机, 占据了国内的主要市场份额。包括卡车发射型 ASN-206 活塞发动机无人机及其改进型 ASN-207、ASN-104/5B 和 ASN-215。重 320 千克的 ASN-209 无人机采用双尾撑设计, 已发展出了多个衍生型号, 在 2011 年加入中国海军服役时被命名为“银鹰” (Silver Eagle)。

中国航空工业集团公司依托强大工业实力, 也跻身主要无人机制造商。中国航空工业集团公司下属成都飞机设计研究所研制的“翼龙”无人机重 1100 千克, 于 2007 年完成首飞, 2009 年完成开发。这种中空长航时 (MALE) 无人机与通用原子公司 (General Atomics) 的“捕食者” (Predator) 无人机非常相似, 能够搭载空对地导弹和制导炸弹。至少有 3 个国家已经购买了“翼龙”无人机; 中国也曾展示过涂有中国空军标志的“翼龙”无人机。

中航贵州飞机有限责任公司 (简称贵飞公司) 和成都飞机设计研究所联合研制的“翔龙”长航程 (7000 千米) 联翼/盒式机翼布局无人机是目前中国最大的无人机之一, 该机于 2009 年完成首飞。另外一种高端机型是贵飞公司的 WZ-2000 喷气式无人机 (之前曾被称作 WZ-9), 该机重 1700 千克, 于 2003 年 11 月成功首飞。WZ-2000 于 2008 年投入生产, 在 2009 年进行了武器测试。

沈阳飞机设计研究所和洪都航空工业集团正在为中国海军和空军开发“利剑”隐身无

人作战飞机。“利剑”无人机采用飞翼布局，于2013年11月完成首飞。

中国航天科技集团公司(CASC)/中国航天空气动力技术研究院(CAAA)的“彩虹-4”无人机重1350千克，航程达3500千米，能够携带2枚AR-1导弹和2颗FT-5制导炸弹，目前已在部队服役。“彩虹”系列无人机还包括双尾撑式“彩虹-91”(重110千克)、“彩虹-92”(重300千克)、“彩虹-803”(重18千克)、“彩虹-3”以及可折叠式“彩虹-901”。

中国航天科工集团公司开发的无人机有：HW-100“雀鹰”无人机(重6千克)、HW-200“腾飞”无人机、HW-300“刀锋”无人机和HW-600“天鹰”喷气式无人机。2014年11月，中国航天科工集团公司公布了WJ-500喷气式隐身无人机。

南京仿真技术研究所开发了Z系列无人直升机(Z-I、Z-2、WZ-3、WZ-5/B、WZ-6/B)，该系列无人机曾用于军事用途和准军事用途。2014年9月份，南京仿真技术研究所展出了舰载型WZ-5、WZ-5B和WZ-6B无人直升机。在9月份展出的还有成飞公司的VD200垂直起降固定翼无人机、FY-E喷气式高速隐身无人机和“海巡者(灵龙)”无人机(航程150千米，可在舰上发射和回收)。

在2014年中国航展上，成飞公司展出了新型“灵龙”无人机，该机起飞重量30千克，由弹射器发射，在2014年5月份进行了首飞。还有其他很多无人机参加了展出，比如“鸢鹰3”双发动机无人机、北方工业公司的“锐眼3”无人直升机、易瓦特科技公司的SVU-200旋翼无人机和中国航天科工集团的SH-1隐身无人机。

中国正在为军队开发和生产大量小型无人直升机和手抛发射型无人机(比如ASN-15、中航工业的“夜鹰”、航天11院的CH-802)。中国在积极从事无人机开发，并提出了各种各样的创新设计，如可充气旋翼停转式无人机、摆线驱动器、火炮或火箭发射平台等等。

除专门的无人机之外，中国已将数百架歼-6战斗机改装成了用于实施对地攻击的武装无人机。

### 三、国内外比较分析

从研制的经费投入、技术储备、产品数量和从业人员的数量等方面来说，中国可以说是当今世界上仅在美国和以色列之后的第三个无人机大国。但从国内外无人机发展情况分析可以看出，无人机技术的发展是不平衡的。国外少数发达国家掌握着无人机系统的先进技术，除在军民领域广泛应用各种中低端无人机外，还研制和装备了大量高端无人机，把无人机的应用领域由靶标、战术战役侦察与对抗、战场监视与毁伤评估等向战略侦察与监视、侦察打击一体化、重点区域不间断普查及详查等方面发展，并进一步向无人作战、无人轰炸等领域扩展。同国外先进国家的无人机发展水平相比，下列因素一定程度上影响了我国无人机技术的发展水平：

(1) 缺乏无人机技术发展战略的整体规划和统一领导。目前，随着无人机系统的应用

逐渐广泛,研制和开发无人机系统的单位越来越多,除了传统的几家高校,更有大量实力强劲、经营灵活的民营企业,加之中航工业众多主机厂所、航天科工和科技集团以及中电集团、兵工集团的强势介入,使我国的无人机研发呈现出百花齐放、百家争鸣的景象,这对广大用户来说是好事,但从行业发展的角度来看,如果没有统一的规划和管理,势必带来无序竞争、低水平重复、行业标准混乱等问题。

(2) 动力问题成为无人机发展的瓶颈。和有人飞机一样,发动机也是无人机的“心脏”,好的发动机是无人机研发的前提和保障。目前,除了一些低端中小型无人机的动力外,其他无人机,特别是中高端无人机的动力装置要么依赖进口,要么利用有人飞机的动力装置改进,严重制约了无人机的发展。

(3) 先进的任务设备的缺乏限制了无人机的使用。无人机作为一种空中飞行平台,其价值所在是能够携带不同的任务设备来完成许多枯燥、危险和敏感的任务,因此,先进的任务设备是无人机发挥作用的重要手段,但同飞行平台相比,我们的各种任务设备和机载传感器的研发更加滞后。

(4) 可靠性、出勤率及战场生存力普遍较低。目前国内已经应用的无人机大多解决了有无问题,但在系统可靠性、任务出勤率及特别是战场生存力等方面与国外先进水平相比存在较大差距,尤其是对我们这种战时不掌握绝对制空权的国家而言,如何提高无人机的隐身能力,提高无人机的生存力是我们必须面对的现实。

#### 四、关键技术

无人机属高技术领域,具有自己的技术内涵与发展规律,随着各种新技术的出现与发展,必然会使无人机系统及性能产生巨大提升和拓展。

(1) 无人飞行平台先进综合设计技术。随着无人机性能指标更高/更快/更久/更远、军用无人机的可靠性/维修性/安全性/保障性/测试性、民用无人机的安全性/经济性/易用性/环保性要求不断提高,围绕新概念新布局、新能源新动力、新材料新结构等问题,无人飞行平台的设计将面临许多新的挑战,主要表现为:①需要越来越多地综合采用各相关专业领域里的新技术,以提高飞行器的气动效率和结构效率;②需要充分利用信息技术和多学科优化的方法,以更好地满足飞行器机动性、隐身性、经济性、安全性和保障性等方面的需求;③需要不断探索新概念飞行器的总体布局、控制原理等关键技术,为开发新一代飞行器创造条件。

(2) 先进动力装置技术。航空动力历来是航空技术的难点和关键技术之一,随着军用无人机技术的发展,对动力装置提出了越来越高的要求,新一代无人机迫切需要低油耗、高可靠性的高性能发动机:①航空转子发动机具有振动小、油耗低、重量轻、可靠性高等优点,非常适合于低速中小型无人机;②随着对高空长航时无人机和无人作战飞机的需求增长,对具有优良高空特性的高性能涡扇发动机的需求更加突出,如何针对无人机的特点研制大推重

比、低耗油量、高可靠性的涡扇发动机对未来无人机的发展具有重要意义；③太阳能发动机是一种具有发展前景的动力装置，可以使无人机实现真正意义上的“高空长航时”。

(3) 无人机先进导航与控制技术。先进的导航与控制系统在无人机系统中具有至关重要的作用，是决定无人机完成作战任务，提高生存力的关键。其中包括：①高可靠性通用飞行控制技术；②无人机高精度定位和自主导航技术；③任务/攻击/飞行综合控制技术；④实时任务重规划技术；⑤多机协同控制技术；⑥攻击型无人机精确制导技术；⑦侦察目标的精确定位技术。

(4) 无人机测控与信息传输技术。无人机测控与信息传输技术应满足高空高速长航时无人机、无人作战飞机、多用途战术无人机、微型无人机等各类无人机系统对测控与信息传输的不同需求，解决好一定空域范围内无人机多品种、多架次、多系统测控与信息传输的协同和兼容工作，以及通用化、标准化、模块化、系列化等问题，重点突破如下关键技术：①高可靠、保密、宽频带、抗干扰的无人机通用数据链技术；②公用、互操作的无人机地面控制技术；③远程多目标无人机测控与通信网技术；④超宽带无人机激光数据链技术。

(5) 先进任务设备技术。无人机可携带的任务载荷的种类、功能在很大程度上决定了无人机的应用价值。随着无人机执行任务的多样化，必须大力发展无人机先进任务设备。主要包括：①监视侦察类设备：主要发展趋势是由分立单探测器到综合多探测器的多探测器转塔技术，整合前视红外、CCD 电视摄像机、激光测距/照射器等。监视侦察类设备还包括高分辨率的合成孔径雷达，激光雷达等。②通信类设备：为满足战场通信中继、通信情报任务，需大力提高天线效率、耦合信息处理技术，使无人机成为一种机载通信节点 CAN。③小型化的精确打击武器等。随着微电子技术、通信技术、计算机技术和航空技术的进步，无人机的任务载荷正朝着多功能、高性能和综合性的方向发展。

(6) 无人机通用技术。针对无人机在研制、试验、训练、使用、保障等方面的需求，开展全系统、全寿命相关关键技术攻关，最大程度的提高无人机的战技性能指标，提高无人机的作战使用效能，主要包括：①无人机综合保障技术；②无人机虚拟训练技术；③无人机故障预测、诊断技术；④无人机评定技术；⑤无人机可靠性、可维修性技术；⑥无人机系统可操作性设计技术；⑦任务环境对无人机效能发挥影响分析；⑧作战使用技术。

## 五、展望与对策

21 世纪的无人机将在未来的信息战、精确打击作战、无人作战和“陆海空天电”的五维一体化战场中大显身手，无人机的用途由作为靶机、执行侦察任务扩展到执行多种打击任务之后，必将演变成为一种高效费比、攻防兼备的全新概念武器，并将引起军队作战思想、作战样式和组织编制的一系列变革。为加快我国无人机产业快速有序发展，应以技术与管理并重，推行管理体制变革，完善相关技术标准。



(1) 大力发展无人机技术,完善其技术标准体系。无人机在军事、科研、民用、商务等方面有大量应用和广阔发展前景,并影响着我们生活的方方面面。发展无人机技术,促进无人机产业发展将极大地带动通航产业的发展,倒逼中低空改革和开放。在可以预见的未来,无人机将全面提升我国航空工业发展水平,并提供大量就业岗位。以军事和科研为目的,我国研发应用无人机技术已有近 50 年历史,但相关的标准化工作却起步较晚,发展缓慢,没有形成完整的标准体系,并且以通用要求为主,缺少具体的产品规范,对具体研制生产过程的指导性不强。目前共有国军标 40 项,标准体系结构和已发布标准的数量都远远不能满足实际生产的需要。与之相比,在民用领域,我国无人机标准还是一片空白,随着无人机技术的发展和快速增长的需求,亟需加快推进标准化工作。

在国际上,无人机发展很快,全世界参与研制装备无人机的国家和地区已由 30 多个增加到 50 多个,美国、以色列等国家和西欧最为领先。美国材料试验标准协会标准、美国军用标准、英国国防部防御系列标准,几乎涉及无人机的各个分系统,构成了一个完整的标准体系。同时,在无人机的电磁兼容性、可靠性、维修性、使用气候条件等配套方面都有专门的论述。而我国目前在这些方面还是空白。

为此,我们应理顺无人机标准化思路,按照综合标准化的方法,以标准先行,建立健全适合我国国情和无人机发展需要的专用技术标准体系,加快无人机基础、通用标准和急需标准的制定,实现新产品设计的系列化、标准化,从而有效地保证产品研制质量,促进我国无人机的规范化和有序发展。

健全无人机标准管理渠道,在技术上鼓励和促进研制高空、高速、长航时及微型化、智能化和隐身化的无人机系统为发展方向,对大力发展无人机技术,迅速开拓其在军事以及民用等领域的应用具有重要的战略意义,将进一步促进通航产业发展,产生巨大的社会效益。

(2) 军民融合、军工改革,促进无人机军民融合式发展。军民融合首次被提升到国家战略高度,工信部正编制军民融合“十三五”规划。推进武器装备科研生产许可和装备承制单位资格联合审查,构建国家主导、需求牵引、市场运作、军民融合的无人机产业发展体系,促进无人机产业升级,使无人机产业成为军民融合的典范。在国家层面进行军工企业改革,军工企业资产证券化,引入民营资本,统一领导、军地协调、需求对接、资源共享,推动无人机军用产品和民用产品的有机结合,促进无人机军民融合式发展。

(3) 加强顶层设计,优化流程,逐步完善空域管理的法律法规。借鉴发达国家和通航大国的先进经验,我国作为国际民航组织(ICA0)公约的缔约国,应充分考虑按照公约要求和国际惯例对空域进行合理划分,在保障国家秘密和安全运行原则的基础上,进一步开放低空空域的使用范围和灵活使用方式。注重制度创新、加强管理,在管理权限分类、协调和审批等问题上进行有效的改革。整合资源,完善法律法规,健全标准体系,填补国内无人机监督管理的空白。根据动力类型、载荷种类、航空距离和续航能力的不同,对飞行器进行准确定义和分类,严格管控,使监管标准统一,企业有章可循,提高国内的航空

飞行器管理的安全级别和水平。

(4) 整合资源,以标准和验证测试为切入点,形成对军民无人机产业全方位支撑、服务的良好局面。依托国家级实验室,建立无人机系统检测认证机制和平台,逐步建立无人机验证场所和全国统一的综合信息监管网络等质量、可靠性验证监管平台,为企业和大众提供标准咨询、标准制修订、国际标准化服务、检测、认证等全方位一条龙服务。无人机飞行具有任务多样、区域散布、机动性高、情况复杂等特点,急需对飞行平台和载荷进行以电器安全、电磁兼容环境效应评估为主的各种试验验证,以避免硬件损坏,造成数据损失和任务失败。

目前国内针对无人机平台和载荷的电器安全和电磁兼容环境效应等评估尚处空白,需要制定相应标准、评估模型和检测规范,提供设计生产企业作为技术参考,提供用户、消费者作为采购依据,也可提供给工业、市场质量监督管理部门、行业协会进行有效的市场管理和抽查使用,产业需求非常巨大而迫切。

(5) 深入研究无人机遥感技术,逐步建立全国统一的综合信息网络服务平台,推进无人机遥感应用的深度和广度。无人机遥感作为无人机应用的一个重要组成部分,已成为继卫星遥感技术之后的新兴发展方向,潜力巨大,应用前景广阔。“十一五”、“十二五”期间在国家科技项目支持下,我国无人机遥感技术取得突飞猛进的发展。尤其是轻小型无人机遥感系统以其全天候、全天时、实时化、高分辨率、灵活机动、性价比高等优势,发展势头强劲。

虽然与美国、以色列等无人机先进国家相比,国内设计、生产水平较低,但近些年国内无人机遥感技术发展很快,尤其是在轻小型无人机遥感等领域有独特的建树,有些指标甚至超过他们,处于世界领先地位。应抓住这个机会,辅以科学的技术标准体系配套,整合现有无人机遥感资源,研发、装备新型无人机遥感资源,编制相关标准规范,建立无人机研发、生产、验证、作业飞行基地,构建全国无人机遥感管理网络等综合信息网络服务平台,统筹全国无人机遥感资源,形成较为健全的无人机遥感业务运行工作机制,快捷高效地服务于各行业、各领域用户,发展潜力非常大。

(6) 深度结合“北斗”、“高分”专项,加强自主知识产权的研究开发与应用。导航是无人机应用中重要的组成部分,基本任务是确定无人机的空间位置,并引导其按预订航迹飞行或机动作业。以前中小型无人机系统中广泛使用 GPS 作为主体导航定位手段,但由于我国没有建设大范围覆盖的地面 GPS 差分系统,民用 GPS 码的导航定位精度有限、实时性不高,为弥补这一现象,通常与惯性导航系统构成组合导航系统,却导致系统成本大幅增加;最重要的是 GPS 由美国国防部控制,我们将在很多方面受制于人,大范围应用潜藏巨大的风险。

中国自主研发、独立运行的北斗卫星导航系统,成为与美国的 GPS、俄罗斯的格洛纳斯、欧盟的伽利略系统兼容共用的全球四大卫星导航系统之一,是中国具有战略意义的重要信息通信基础和战略设施。为此,以北斗为代表的国有自主知识产权技术应用在无人机

等通航航空器上,对无人机定位精度、机动性能、可靠性、各无人机之间及与指挥所之间相互协调能力等都有很大提高,促使无人机系统得到更为广泛的应用,创造出更高的社会效益和经济效益。

中低空开放涉及国家领空安全、军民航协调、管理法规、技术标准的制定等等因素,需要政府统筹规划,统一指挥与协调才能稳妥推进。中国民航局(CAAC)于2009年6月26日下发《民用无人机空中交通管理办法》、2010年国务院、中央军委发布《关于深化低空空域管理改革的指导意见》、2013年11月18日下发的《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定》等文件,充分表明了国家对空域开放和无人机产业发展的极大重视。目前,国家相关部门、研究机构在紧锣密鼓地进行调查研究,备受业界关注的“低空空域管理使用规定”也正在广泛调研和征求意见过程当中。相信经统一筹划协调,国家将进一步开放空域、优化流程、逐步完善法律法规;顺应技术与市场的发展方向,以总体设计、标准先行的战略部署,应用综合标准化的方法,大力发展无人机技术、完善无人机技术标准体系建设,迎来前所未有的大发展。

## —— 参考文献 ——

- [1] Forecast International. The market for UAV reconnaissance systems 2014–2023 [R]. WUA14Q4–092.
- [2] 阿雯,魏国福.波音公司积极开拓无人机市场[J].飞航导弹,2009(9):13–14.
- [3] 高凯,张翼麟,王一琳.新兴国家典型无人机系统发展现状[J].飞航导弹,2014(8):21–24.
- [4] 单磊.通用航空业发展若干问题[J].开放导报,2015(2):86–88.
- [5] 李文正.无人机发展刍议[J].航空科学技术,2012(4):11–13.

撰稿人:马 斌 马铁林 黄大庆

## Advances in Rotorcraft and Its Systems

Rotorcraft, represented by helicopter, has always been a hotspot in the aviation field. This report summarizes the development and great achievements of rotorcraft and its systems in 2012—2015 at home and abroad, drawing a conclusion that military rotorcraft tends to pursue the performances of all-weather, high-speed, high mobility, low noise, stronger survivability, more advanced electronic equipment and weapons systems, while civil rotorcraft pays greater attention to civilian safety, reliability, economy and comfort. Besides, this report compares and analyzes the characteristics and development gap of rotorcraft and its system at home and abroad, puts forward corresponding countermeasures and future prospects, and provides a reference for science and technology workers of aviation researching in this field of technology. In summary, the contents of this report include the current situation of rotorcraft and its systems in China, the comparison between domestic and foreign development, and the development trend and countermeasures.

*Written by Zhu Qinghua*

## Advances in UAV and UAS

This report demonstrates the development status of UAV and UAS. In the field of military UAV, the UAV equipped with an increasingly obvious tendency of series. Research and development of military UAV are extending to both ends of the level. With the rapid development of civil UAV, the application field is continuously expanding. The development of UAV technology are unbalance in the world wide. While affirming the merits of our own UAV, the gap between the levels at home and abroad is also presented. The key technologies of UAV are analyzed and

reappraised detailedly. Those key technologies included but are not limited to the following: platform technologies, propulsion equipment, navigation and control, communication technologies, mission payloads, reliability, survivability, general UAV technology. With the emergence and development of various new technology, the performance of UAV and the capability of UAS will increasing enormously. The problems that will be probably faced with and demanded for solving in the future are analyzed in detail, which can provide certain reference for the development of UAV industry. Government approval of plans to open part of its low-altitude airspace to UAV. The UAV's standard system must be established and improved actively. At the same time, UAV industry as an important civil-military integration domain is actively promoted by the government.

*Written by Lin Bin*

## Advances in Aerodynamics

Aerodynamics focuses not only on the theories but also on applications. As a key indicator for the trend of aircraft development, aerodynamics plays an important role in solving critical technological problems to enhance the national defense strength. This report summarizes the achievements of the aviation aerodynamics over the past several years, including the latest progress as well as the comparison of the subject development in and out of China. Based on these, this report forecasts the development of aerodynamics and makes suggestions as to the future of the subject.

### **1. Study on Fundamental Theories**

In the project named "Aerodynamics and Flight Mechanics of Insect Flight" launched by the study of Bionic Aerodynamics, the generation mechanism of the high lift of insects was revealed based on the observation and theoretical analysis of the hovering flight of insects like fruit flies.

In this project, an effective zero mass jet excitation was proposed, the plasma circulation control technique was developed and many potential flow control methods like the laminarization drag reduction of large-scale airplanes during the high speed cruise was investigated.