



2012-2013

*Report on Advances in  
Aeronautical Science and Technology*

中国科学技术协会 主编  
中国航空学会 编著

航空科学技术  
学科发展报告

航空科学技术  
学科发展  
研究报告

中国科学技术出版社



2012—2015

# 航空科学技术 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN  
AERONAUTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

中国科学技术协会 主编  
中国航空学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

2012—2013 航空科学技术学科发展报告 / 中国科学技术协会主编; 中国航空学会编著. —北京: 中国科学技术出版社, 2014.2

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-6531-7

I. ① 2… II. ① 中… ② 中… III. ① 航空—科学技术—学科发展—研究报告—中国—2012—2013 IV. ① V1-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 003726 号

---

策划编辑	吕建华 赵 晖
责任编辑	包明明
责任校对	何士如
责任印制	王 沛
装帧设计	中文天地

---

出 版	中国科学技术出版社
发 行	科学普及出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编	100081
发行电话	010-62103354
传 真	010-62179148
网 址	<a href="http://www.cspbooks.com.cn">http://www.cspbooks.com.cn</a>

---

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	282 千字
印 张	11.75
版 次	2014 年 4 月第 1 版
印 次	2014 年 4 月第 1 次印刷
印 刷	北京市凯鑫彩色印刷有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-6531-7/V·66
定 价	42.00 元

---

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

2012—2013

# 航空科学技术学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN  
AERONAUTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

首席科学家 张新国

## 专 家 组

组 长 张新国

副组长 刘大响 钟群鹏 冯培德 曹春晓 杨凤田

成 员 (按姓氏笔画排序)

王英勋	甘晓华	冯培德	刘大响	孙晓峰
李玉龙	李恒芳	杨凤田	吴桐水	何 友
张 军	陈仁良	陈迎春	周德云	赵越让
钟群鹏	施岳定	栗牧怀	殷云浩	唐长红
益小苏	曹春晓	焦宗夏	蔡小斌	廖文和
魏金钟				

撰写专家 (按姓氏笔画排序)

王 永	王 焱	王少萍	王文萍	王生楠
王发民	王延奎	王英勋	王黎静	车 军
卢子兴	叶正寅	史永强	朱之丽	朱永峰
刘家富	刘善国	许国康	苏炳君	杜 刚
李 晶	李士途	李开省	李玉龙	李运祥
李怀学	杨春信	肖华军	吴 松	何 智
余 策	宋科璞	张 健	张田仓	张汝麟
张晓斌	张翔伦	张聚恩	张慧娟	陆志东

陈 敏 陈元先 陈亚莉 陈国平 尚建勤  
尚耀星 岳 明 金 捷 周 锐 周洪飞  
郝卫东 段海滨 侯志霞 施岳定 党举红  
郭 宏 郭生荣 郭兆电 唐 强 黄 佑  
黄 勇 黄铁山 常 红 董春林 董登科  
锁红波 程 农 程志军 焦宗夏 焦裕松  
蔡志浩 蔡茂林 谭申刚

学术秘书 余 策 张 雪 安向阳 肇晓兰

# 序

科技自主创新不仅是我国经济社会发展的核心支撑，也是实现中国梦的动力源泉。要在科技自主创新中赢得先机，科学选择科技发展的重点领域和方向、夯实科学发展的学科基础至关重要。

中国科协立足科学共同体自身优势，动员组织所属全国学会持续开展学科发展研究，自2006年至2012年，共有104个全国学会开展了188次学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告155卷，力图集成全国科技界的智慧，通过把握我国相关学科在研究规模、发展态势、学术影响、代表性成果、国际合作等方面的最新进展和发展趋势，为有关决策部门正确安排科技创新战略布局、制定科技创新路线图提供参考。同时因涉及学科众多、内容丰富、信息权威，系列学科发展报告不仅得到我国科技界的关注，得到有关政府部门的重视，也逐步被世界科学界和主要研究机构所关注，显现出持久的学术影响力。

2012年，中国科协组织30个全国学会，分别就本学科或研究领域的发展状况进行系统研究，编写了30卷系列学科发展报告（2012—2013）以及1卷学科发展报告综合卷。从本次出版的学科发展报告可以看出，当前的学科发展更加重视基础理论研究进展和高新技术、创新技术在产业中的应用，更加关注科研体制创新、管理方式创新以及学科人才队伍建设、基础条件建设。学科发展对于提升自主创新能力、营造科技创新环境、激发科技创新活力正在发挥出越来越重要的作用。

此次学科发展研究顺利完成，得益于有关全国学会的高度重视和精心组织，得益于首席科学家的潜心谋划、亲力亲为，得益于各学科研究团队的认真研究、群策群力。在此次学科发展报告付梓之际，我谨向所有参与工作的专家学者表示衷心感谢，对他们严谨的科学态度和甘于奉献的敬业精神致以崇高的敬意！

是为序。

A handwritten signature in black ink, reading '韩明' (Han Ming), written in a cursive style.

2014年2月5日

# 前 言

党的十八大报告强调指出：“科技创新是提高社会生产力和综合国力的战略支撑，必须摆在国家发展全局的核心位置。”航空科学技术以其高度的综合性，在应用诸多基础学科和应用学科的创新成果的同时，也推动了这些基础学科和应用学科的科技創新。又因为其具有关系国防安全和高经济附加值的特点，也一直是大国军事和经济博弈的焦点。近两年来，航空领域诸多重点型号相继首飞，中国航空事业呈现井喷式发展，为我国国防事业发展进步乃至综合国力的提升作出了突出贡献。

中国航空学会作为航空技术学术团体，一直把开展学术交流、推动学科发展作为基本职责之一，自2006年以来已是第四次承担中国科协组织的学科发展报告撰写工作，根据分期分批进行总结、研究的原则，本报告重点收录了飞行器设计、空气动力学、飞机结构设计及强度、航空推进系统、飞行器制导、导航与控制系统、航空制造技术、航空机电、人机与环境工程等专业方向的重要进展、发展趋势、与国外对比和我国对策建议等内容。

本研究报告由中国航空学会组织百余位专家学者参与研究，数十位专家撰写，包含1个综合报告和8个专题报告。相信我们的工作，对广大航空科技工作跟踪、了解、把握学科发展动态，深入开展科学研究，推进学科交叉、融合与渗透、推动多学科协调发展，促进科技创新具有非常积极的意义，同时为关注航空发展的业外人士提供有益参考。

中国航空学会

2013年11月



# 目 录

序 .....	韩启德
前言 .....	中国航空学会

## 综合报告

中国航空科学技术发展报告 .....	3
一、引言 .....	3
二、我国航空科学技术发展现状 .....	4
三、我国航空科学技术国内外比较分析 .....	15
四、我国航空科学技术展望与对策 .....	25
参考文献 .....	29

## 专题报告

飞行器设计发展研究报告 .....	33
空气动力学学科发展研究 .....	45
飞机结构设计及强度专业发展研究 .....	62
涡轮 / 冲压组合动力技术发展研究 .....	84
航空制造技术学科发展报告 .....	103
航空机电综合学科发展报告 .....	116
人体与环境工程专业科学技术发展研究 .....	125
飞行器制导、导航与控制系统学科发展研究 .....	144

# **ABSTRACTS IN ENGLISH**

## **Comprehensive Report**

Advances in Aeronautical Science and Technology .....	161
---	-----

## **Reports on Special Topics**

Advances in Aircraft Design and Analysis .....	166
Advances in Aerodynamics .....	167
Advances in Aircraft Structural Design and Strength .....	168
Advances in Turbo-ramjet Combined Cycle Engine .....	168
Advances in Aeronautical Manufacturing Technology .....	170
Advances in Integrated Aviation Electromechanical Technology .....	171
Advances in Human and Environmental Engineering ( HEE )	
Science and Technology for Aviation .....	172
Advances in Aircraft Guidance, Navigation, and Control .....	173
索引 .....	175

---

# 综合报告

---



# 中国航空科学技术发展报告

## 一、引言

航空科学技术是关系国家安危和国民经济可持续发展的战略性高技术，该学科涉及众多专业技术领域，技术综合性高，带动性强。随着电子、信息、材料、能源等专业技术的发展，航空技术的各个专业领域都在发生着日新月异的变化。考虑到对航空科学技术的各学科专业进行研究的工作量非常庞大，中国航空学会航空科学技术发展年度报告在 2006 年参加中国科协组织的学科发展研究工作时就确定了分批进行重点研究的原则。2006 年，重点研究了飞行器设计、飞机结构与强度、航空推进系统、飞行控制系统、惯性 / 组合导航系统、航空电子、人机与环境工程、航空材料、航空制造技术 9 个专业领域；2008 年又研究了民用飞机、浮空器、空气动力学、航空仿真、航空液压、航空仪表与测试、应急救援、航空电气工程、航空维修工程等专业技术；2010 年在涉及航空科学技术各主要专业的基础上，更侧重无人飞行器、直升机、飞行力学、飞行试验、航空安全、飞行技术、空中交通管理、航空地面保障、航空复合材料、航空可靠性工程等，均附有专题研究报告。2012—2013 年的学科发展研究，是第二轮研究，内容上将第一轮第一期的研究领域作为重点专题研究，保证航空科学技术学科发展研究的完整性和连续性。为了利于各专业领域研究的完整和连贯，对这些专业领域的研究时间跨度不限于 2012—2013 年，而是尽可能完整地反映几年来的进展。通过对航空科学技术各专业分期分批进行总结、研究，逐步对我国航空科学技术学科的发展情况形成一个基本完整的描述。

航空科学技术是工程性很强的学科，其进展与工程技术成就紧密相连，其成果应用特别是集成性应用往往通过工程技术成就体现，本研究工作力求从学科进展的视角对航空科学技术的发展进行分析研究，通过对我国航空科学技术的新进展、新成果、新见解、新观点、新方法、新技术及时总结并与国际先进水平进行比较研究，分析航空科学技术学科发展动态、总趋势及前沿热点；对照国家经济社会发展战略需求，分析我国航空科学技术发展前景，提出重点研究方向的建议。

## 二、我国航空科学技术发展现状

随着创新型国家建设进程的不断深入，航空科技的战略性地位更加突出。2008年，国家对航空工业进行了重组，并加大了对航空科技创新的支持力度，从而使航空科学技术进入新的快速发展阶段。2012—2013年，以C919客机、歼-20、歼-31、运-xx等为代表的一批航空新产品的研制也取得重要进展，标志着飞机、直升机、无人机、航空动力等航空专业领域的科学研究取得了较为全面的新突破。

### （一）飞机总体

飞机总体技术是对飞机总体方案设计技术、优化技术和系统集成技术的总称。飞机总体技术水平的高低对于航空产品的最终性能和市场竞争力具有非常大的影响。近年来，我国在飞机总体技术研究和工程应用方面都取得了显著进展。

#### 1. 两型五代战机歼-20和歼-31研制取得显著进展

歼-20是成都飞机工业集团为解放军研制的最新一代双发重型隐形战斗机，用于接替歼10、歼11等第三代空中优势/多用途歼击机的未来重型歼击机型号，该机将担负我军未来对空、对海的主权维护的作战使命。首架原型机于2011年1月11日在成都实现首飞。歼-20采用了单座、双发、全动双垂尾、DSI鼓包式进气道、上反鸭翼带尖拱边条的鸭式气动布局。机身涂深墨绿色涂装，远观近似于黑色。侧弹舱采用创新结构，可将导弹发射挂架预先封闭于外侧，同时配备国内最先进的新型空空导弹。其设计布局上，没有采用美国的F-22和俄国T-50的常规布局，而是采用了独特的升力体边条翼鸭式气动布局，此布局使飞机拥有优秀的超音速阻力特性，良好的大仰角升力特性，大仰角稳定性和控制性。2012年5月12日，编号为2001的歼-20验证机飞赴阎良试飞中心进行试飞。数日后，编号为2002的歼-20验证机首飞成功，2013年7月6日，编号为2002的歼-20验证机再次转场阎良试飞中心，开始定型试飞。

歼-31是中国沈阳飞机公司正在研制中的双发单座中型第五代战斗机。歼-31采用常规气动布局，具备DSI进气道、梯形主翼、倾斜双垂尾及内置弹仓等，其外观具有典型的隐形战机特征，歼-31于2012年10月31日完成首次飞行测试。歼-31的总体布局和外形类似美国洛克希德·马丁公司设计的F-35闪电II攻击战斗机；但前移的菱形垂直尾翼设计与美国空军现役最先进的隐形战机F-22猛禽战斗机相似。不同于F-35的是，歼-31采用了双发动机设计，目前原型机搭载的是俄罗斯制造的克里莫夫RD-93发动机。

#### 2. 大型运输机运-xx首飞成功

运-xx运输机是由中国西安飞机工业集团研发的重型军用运输机，为有史以来中国

研制的最大型军用飞机。西飞负责包括总装在内的大部分制造事务，沈飞、成飞、陕飞、哈飞及上飞参与部件研制生产。与中国目前使用的伊尔-76运输机相比，运-xx的电子设备有了改进，载重量亦有提高。2013年1月26日，运-xx首次飞行试验成功。其后，运-xx大型运输机又于2013年4月20日在西部某试验基地进行了第二次试飞。运-xx的第二次成功试飞表明其各项关键技术更趋成熟。

### 3. 舰载机歼-15首飞成功

歼-15为重型舰载型战斗机，由沈阳飞机工业集团承担研制，融合了歼-11B的技术，装配鸭翼、折叠式机翼，机尾机身下部装有具有舰载机特征的着舰尾钩；起落架强度高，前轮能够迎类似美国海军舰载战斗机拖曳弹射方式。该机配置国产电子扫描阵列雷达及航电综合系统；机体使用复合材料的用量较苏-33多。该机具有航程较远、作战半径较大、武器挂载量大的优点，可以执行对空、反舰及对地攻击等多种任务，性能接近美国海军的F/A-18E/F“超级大黄蜂”。

2009年8月，歼-15进行了首次飞行测试。2011年4月25日，第二架歼-15原型机进行了飞行测试。歼-15采用了由FWS-10发动机改型的FWS-10H涡扇发动机。起飞推力提高至12800kg，改善了加速性，发动机具有更为敏捷的推力瞬变能力和速度响应特性，满足了舰载战斗机在起飞、复飞或逃逸性能上的需求，保证了比陆基发动机更强的抗畸变能力。2012年11月22日，首架歼-15原型机在辽宁号航空母舰上成功进行着舰测试和起飞测试。

### 4. 民用飞机研制不断取得突破

C919是由中国商用飞机有限责任公司（以下简称中国商飞）研制中的168~190座级窄体干线客机，专为短程到中程的航线设计，属于单通道150座级，标配168个座位，最多可容纳190个座位。C919项目于2008年11月启动。2009年9月8日，C919外形样机在香港举行的亚洲国际航空展上首次公开亮相。按计划，C919将于2014年首航，2016年交付航线起用。C919的尺寸与空中客车A320飞机非常近似，机身宽3.96m，高4.166m，机身截面积为 $12.915\text{m}^2$ ，翼展为33.6m，有效载荷为20.4t。巡航速度0.785Ma，最大飞行高度12100m。标准版航距为4075km，增程版航距则为5555km。C919将首先配备进口的引擎和航电设备以及来自外国公司的其他关键部件，其后根据国内相应产品和技术逐步成熟，将采用国产配套产品，不断扩大国内产品与设备的配套比例。飞机将在上海完成设计和总装。

## （二）直升机

2012—2013年，我国在直升机研制、生产能力方面取得长足进步。武直-10、武直-19、直-15、AC-313等新机型相继成功首飞，倾转旋翼飞行器关键技术研究取得了新突破。

### 1. 武直-10 惊艳亮相，军用直升机取得重大突破

武直-10 是中国人民解放军陆军装备的一种中型攻击直升机，是中国自行研制的第一款同类机种。由昌河飞机工业公司与哈尔滨飞机制造总公司共同负责研究及发展。武直-10 可以携带空对空及空对地导弹，能在接敌隐蔽处发动进攻，具有极强的战场生存能力。其技术指标与综合能力十分先进，专家指出其在世界武装直升机排名上可以达到世界前三。2012 年 11 月 18 日，武直-10 正式列装中国人民解放军陆军航空兵部队。

除武直-10 外，武直 19 也于 2011 年列装。武直 19 于 2010 年立项、当年完成详细设计、当年进入总装，原型机于当年 7 月成功首飞，2011 年服役。直-19 可利用航炮、空空导弹，同低空固定翼飞机、武装直升机等进行空中格斗。该机可与武直-10 实现不同档次的高低搭配，改善装备的配置格局；两款国产武装直升机的研制成功和先后列装，结束了我国没有专用武装直升机的尴尬，是陆军航空兵装备建设的重大成就。

### 2. 民用直升机发展取得一批重要成果

在民用直升机方面主要有中欧联合研制的直-15，以及 AC313。直-15，也称欧直 EC175，是一种 7 吨级中型运输直升机，由欧洲直升机公司和哈尔滨飞机工业集团联合研发，于 2008 年 2 月 24 日，以 EC175 的名义在美国休斯敦举办的国际直升机博览会上正式推出。该项目研发成功后，中法双方各自建立总装生产线，向各自负责的市场区域销售直升机，并且为用户提供售后支援服务。首批 EC175 直升机于 2012 年交付。欧洲直升机公司计划在其后 20 年，销售约 800 ~ 1000 架 EC175。

AC313 型直升机是由中航工业直升机所和中航工业昌飞公司共同研制的、我国第一个完全按照适航条例的要求和程序进行研制的大型运输直升机，也是我国自行研制生产的唯一一种大型直升机，填补了我国大型民用直升机生产的空白。该机采用优化的气动外形、先进的旋翼桨叶翼型和配置，旋翼悬停效率高、尾桨抗侧风能力强，突破了我国大型运输直升机飞行性能限制瓶颈技术；采用先进的涡轴发动机、大功率传输能力的传动系统、球柔性复合材料旋翼系统以及综合化的航电系统，改进使用维护性和舒适性，结构、系统安全性等技术全面升级。该机总体性能已达到当今世界先进水平。AC313 可实现野外一般场地起降，具备了高原飞行能力，能更好地满足山区等复杂地区对直升机飞行性能的苛刻要求；适合在海洋气候条件下使用；能在各种复杂恶劣环境下执行人员、物资的运输及搜索救援、抢险救灾等任务。该机于 2010 年 3 月 18 日首飞。2013 年将完成所有适航试飞项目，获得型号合格证，投入商业化运营。

### 3. 直升机设计与制造技术飞速进步

在近年来几型直升机的研制生产中，先进制造技术发挥了重要作用。以 AC313 直升机为例，旋翼系统采用先进复合材料桨叶和钛合金球柔式主桨毂，机体为金属加复合材料结构，复合材料使用面积占全机的 50%，航空电子系统采用国际通行的 429 数据总线，实



现了数字化综合显示控制。整机性能达到国际第三代直升机水平。突破的关键技术主要有：传动系统满足 30 分钟的“干运转”安全性要求；燃油系统和机体结构满足抗坠毁及雷击安全性要求；驾驶员和乘员座椅通过抗坠毁动态安全测试；机体结构、操纵系统及旋翼系统满足鸟撞安全性要求；机载设备满足雷击和高强辐射场防护设计要求；座舱布局满足乘员应急撤离安全性要求；旋翼和复合材料结构满足基于损伤容限疲劳评定要求；机械系统满足高能转子破裂防护设计要求。

以武直-10 为例，其主旋翼有五片叶片，由 95KT 复合材料制成。该机型在直 9 基础上保持直-9 原型底部结构不变，按适坠性要求，对主体结构进行损伤容限设计改进。重新布置燃油系统，满足抗弹击、自密封的适坠性要求。对该机型操纵/控制、液压、电气重新设计；换装纵列/串座式窄机身驾驶舱布局，驾驶员在前，射手兼副驾驶员在后，装抗坠毁吸能座椅，在座舱周围采用局部装甲防护。起落架为后三点固定跪式设计，保证坠毁时乘员的安全。机身涂以吸波材料，大面积复合材料结构，平板驾驶舱玻璃，提高隐身能力。两侧采用短翼，每侧有两个外挂点，对武器悬挂装置进行重新设计，可同时挂 8 枚反坦克导弹/对空导弹+两个火箭弹发射巢，亦可以以 8 枚反坦克导弹加 8 枚对空导弹的配置共 16 枚起飞作战。

而武直-19 采用四桨叶 Starflex 星形柔性复合材料单旋翼，主旋翼桨叶前缘为抛物线形的桨尖，旋翼直径 12.01m，后机身采用涵道式尾桨，采用 H450 民用直升机的升力系统，安装 H425 直升机的传动系统、动力采用涡轴 8C/法国“阿赫耶”2C 引擎，对动力系统、传动系统、冷却系统进行适应性改进、对主减系统进一步改进，以便在直升机空重和最大起飞重量增加的情况下仍然保持较好的飞行性能。改进后武直-19 起飞重量增至 4500kg，空机重量增至 2350kg，可用燃油量增至 850kg，续航能力增加至 4 小时。武直-19 机身涂吸波材料，采用大面积复合材料结构，平板驾驶舱玻璃，涵道式尾桨等提高隐身性能。目前，其隐身和机动性能仍逊于“科曼奇”，但性能大体相当、且成本低，可以大规模取代服役的 SA342 小羚羊和直-9WA/Z。

### （三）航空动力

航空制造是制造业中高新技术最集中的领域，整个制造过程对材料、工艺、加工手段、试验测试等都有极高的要求，而航空发动机技术则是高新技术中的尖端代表。近年来，我国发动机事业在过去 50 年的技术积累下取得了较大进展。目前我国新的代战斗机开始装备部队，与此相对应的采用进口俄罗斯发动机配套的局面正在改变。太行发动机是我国自主研制的大推力涡轮风扇发动机，20 世纪 80 年代开始立项研制，2005 年完成定型，已部分列装歼-10、歼-11，其多型改型正在用于新战机的动力国产化；为第四代战斗机及舰载机等配套的发动机也在研制之中。用于配套高级教练机的岷山发动机，用于配套通用飞机的九寨发动机均在研制中；秦岭发动机是 20 世纪 70 年代引进英国斯贝发动机的国产衍生型，经历材料、附件等的国产化，同时吸取了更多的先进技术对其进行改进、