



2010-2011

*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



NLIC 2970700911

航空科学技术 学科发展报告

中国科学技术出版社





2010-2011

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



NLIC 2970700911

中国科学技术出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2010—2011 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,2011.4
(中国科协学科发展研究系列报告)
ISBN 978-7-5046-5812-8

I. ①2… II. ①中…②中… III. ①航空-技术发展-研究
报告-中国-2010—2011 IV. ①V1-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 040476 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62173865 传真:010-62179148

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京凯鑫彩色印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:11.25 字数:270 千字

2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:34.00 元

ISBN 978-7-5046-5812-8/V·57

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

2010—2011 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

顾问组 刘大响 钟群鹏 冯培德 崔尔杰 曹春晓
杨凤田

专家组组长 张聚恩

成员 综合报告:航空科学技术学科发展研究

张聚恩 吴松 赵群力 陈江

陈亚莉 阮中慈 王红 郭兆电

党举红 周德云 樊会涛 丁全心

李锋 江爱伟 王岩 杨万魁

专题报告:旋翼飞行器及其系统发展研究

唐正飞 朱清华 谢文秀 杨力

蒲增强 陈仁良 张呈林

无人飞行器及其系统发展研究

肖亚辉 党进宝 祝小平 张小林

马晓平

飞行力学学科发展研究

赵利群 唐硕 沈宏良 唐胜景

乔建军

飞行试验技术发展研究

赵利群 周自全 全昌业 周占廷

王启 乔建军 李朝辉

飞行技术发展研究

郑孝雍 熊杰 关立欣 吴旭勇

徐建民 何永威 黎新 余江

王大海 赵廷渝 李卫东 罗晓利

航空安全管理学科发展研究

栗牧怀 李 敬 陈艳秋 张 元

罗 敏 孙奕捷 戎 梅 曾 亮

史亚杰 刘新灵

空中交通管理学科发展研究

张 军 张学军 朱衍波

航空地面保障技术发展研究

王立文 邢志伟 蒋立辉 于之靖

航空可靠性系统工程发展研究

王自力 赵廷弟 陈 新 李建军

康 锐 屠庆慈 曾天翔

航空复合材料学科发展研究

张佐光 刘卫平 张宝艳 关志东

张博明

学术秘书 王晓舟 余 策 肇晓兰 张 雪

序

当前,诸多学科发展迅速,学科分化、交叉和融合愈加明显,新的学科不断涌现。开展学科发展研究,探索和总结学科发展规律,明确学科发展方向,有利于促进学科内部、学科之间的交叉和融合,汇聚优势学术资源,推动学科交叉创新平台的建立。

开拓和持续推进学科发展研究,促进学术发展,是中国科协作为科学共同体的优势所在。中国科协自2006年开始启动学科发展研究及发布活动,至今已经编辑出版“学科发展研究系列报告”108卷,并且每年定期发布。从初创到形成规模和特色,“学科发展研究系列报告”逐渐显现出重要的社会影响力,越来越受到科技界、学术团体和政府部门的重视以及国外主要学术机构和团体的关注。

2010年,中国科协继续组织了中国化学会等22个全国学会分别对化学、心理学、机械工程、农业工程、制冷及低温工程、控制科学与工程、航空科学技术、兵器科学技术、纺织科学与技术、制浆造纸科学技术、食品科学技术、粮油科学与技术、照明科学与技术、动力机械工程、农业科学、土壤学、植物保护、药理学、生理学、药理学、麻风病学、毒理学22个学科进行学科发展研究,完成了近800万字、22卷学科发展研究系列报告以及《2010—2011学科发展报告综合卷》。

本次出版的学科发展研究系列报告,汇集了有关学科最新的重要研究成果、发展动态,包括基础理论方面的新观点、新学说,应用技术方面的新创造、新突破,科技成果产业化转移的新实践、新推进等。一些学科发展报告还提出了学科建设的对策和建议。从这些学科发展报告中可以看出,近年来,学科研究课题更加重视服务国家战略,更加重视与民生关系密切的社会需求,更加重视成果的产业化转移;学科间的交叉融合更加明显,理论创新与技术突破的联系结合更加紧密。

参与本次学科发展研究和报告编写的专家学者有1000余人。他们认真探索,深入研究,披沙拣金,凝练文字,在较短的时间里完成了研究课题。这些工作亦是对学科建设不可忽略的贡献。

在本次“学科发展研究系列报告”付梓之际,我由衷地希望中国科协及其所属全国学会不断创新思路,坚持不懈地推进学科建设和学术交流,以学科发展研究以及相应的发布活动带动各个学科整体水平的提升,在增强国家自主创新能力中发挥强有力的作用,以推进我国经济持续增长和加快转变经济发展方式。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '陈明' (Chen Ming), written in a cursive style.

2011年3月

前 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,该学科涉及许多专业技术领域,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日新月异的变化。同时,航空技术的高度综合性、高度复杂性以及发展周期长特点,也使研究航空科学技术各学科专业的工作量非常庞大。因此,中国航空学会从开始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。研究工作在涉及航空科学技术各主要专业的基础上,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、航空制造技术等专业领域;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年则侧重于旋翼飞行器、无人飞行器、飞行力学、飞行试验、飞行技术、航空安全管理、空中交通管理、航空地面保障、航空可靠性系统工程、航空复合材料等。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。

本研究报告由1个综合报告和10个专题报告组成,中国航空学会组织百余位专家学者参与研究,几十位专家撰写。报告主要研究近两年航空科学技术学科的发展情况,其中部分专题在2006年、2008年两次研究中未涉及,因此本次研究中也包括了近几年的情况。希望本研究报告为各位关注航空发展的人士提供有益参考。

中国航空学会
2011年1月

目 录

| | |
|----------|--------|
| 序 | 韩启德 |
| 前言 | 中国航空学会 |

综合报告

| | |
|-------------------------|------|
| 航空科学技术学科发展研究 | (3) |
| 一、引言 | (3) |
| 二、我国航空科学技术发展现状 | (3) |
| 三、我国航空科学技术国内外比较分析 | (14) |
| 四、我国航空科学技术发展展望与对策 | (25) |
| 参考文献 | (29) |

专题报告

| | |
|---------------------|-------|
| 旋翼飞行器及其系统发展研究 | (33) |
| 无人飞行器及其系统发展研究 | (41) |
| 飞行力学学科发展研究 | (47) |
| 飞行试验技术发展研究 | (55) |
| 飞行技术发展研究 | (64) |
| 航空安全管理学科发展研究 | (80) |
| 空中交通管理学科发展研究 | (97) |
| 航空地面保障技术发展研究 | (114) |
| 航空可靠性系统工程发展研究 | (126) |
| 航空复合材料学科发展研究 | (137) |

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

| | |
|---|-------|
| Advances in Aeronautical Science and Technology | (153) |
|---|-------|

Reports on Special Topics

| | |
|---|-------|
| Advances in Rotorcraft Technology | (159) |
| Advances in UAV and Its Integrated System | (160) |
| Advances in Flight Mechanics | (160) |

| | |
|---|-------|
| Advances in Flight Test Technique | (161) |
| Advances in Flight Technology | (163) |
| Advances in Aviation Safety Management | (163) |
| Advances in Air Traffic Management | (165) |
| Advances in Aviation Ground Support | (166) |
| Advances in Aviation Reliability System Engineering | (167) |
| Advances in Aviation Composite Materials | (168) |
| 后记 | (169) |

综合报告

航空科学技术学科发展研究

一、引言

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。

随着《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》和《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十二个五年规划的建议》的颁布,作为高端制造业重要组成部分的航空产业迎来更好的发展机遇,我国的航空科学技术也将进入一个更快的发展时期。在这种情况下,开展航空科学技术学科发展研究,对于落实科学发展观,促进航空科学技术又好又快地发展具有十分重要的意义。

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。2009~2010年,以C919客机、AC313、蛟龙600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)飞机总体技术

飞机总体技术是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。主要体现在:

1. C919 客机研制取得显著进展

C919客机是我国自主研发的150座级大型客机,具备安全、经济、舒适、环保等主要特点。其基本型全经济级布局为168座,混合级布局为156座,设计经济寿命为9万个飞行小时/30个日历年,标准航程型设计航程4075km,增大航程型设计航程为5555km,可满足航空公司对不同航线的运营需求。

C919客机全面按照国际民航规章和适航标准开展设计研制并进行适航审定,保证了飞机的安全性;C919客机采用新一代发动机,降低了燃油消耗,其座公里直接使用成本比

现有同类飞机低,具有较好的经济性;C919 客机采用加宽客舱和座椅宽度、配备新的机载设备等手段改善了舒适性;选用低噪声、低污染物排放发动机,提高了飞机的环保性。

自从 2008 年 C919 客机的研制工作全面启动以来,中国商用飞机有限责任公司邀请国内外 47 家单位 468 位专家组成了联合工程队,成立了由 20 位院士、专家组成的专家咨询组,完成了技术经济可行性研究,确定了总体技术方案、制造总方案 and 客户服务总方案。

2010 年 11 月 15 日下午,C919 大型客机 1:1 展示样机在珠海正式亮相。同年 11 月 16 日,中国商用飞机有限责任公司与中国国际航空股份有限公司、中国东方航空股份有限公司、中国南方航空股份有限公司、海航集团有限公司、国银金融租赁有限公司、美国 GECAS 公司签署了 100 架 C919 客机启动订单。按计划,2011 年 C919 客机将转入工程发展阶段,2014 年首飞,2016 年交付用户。

2. “蛟龙 600”水陆两用飞机正式立项

2009 年 9 月 5 日,中航工业集团公司正式对外宣布,启动大型灭火/水上救援水陆两栖飞机研制项目。“蛟龙 600”是一款单船身四发涡轮螺旋桨综合救援飞机,大小与 A320 空中客机相近,其最大起飞重量为 60t,可以在陆地和水面上起降。“蛟龙 600”拥有执行应急救援、森林灭火、海洋巡察等多项特种任务的能力,拟在 4 年内实现首飞,2014 年将可能取得中国民航型号合格证,并实现批量生产。

3. “海鸥 300”水陆两栖飞机首飞成功

“海鸥 300”是由中航工业特种飞行器研究所和中航工业石家庄飞机工业有限责任公司联合研制的轻型水陆两栖飞机,飞机长约 8m,高约 3m,在飞机顶部,安装发动机与螺旋桨,飞机内部安装 4 个座位,该机可以在陆地机场和简易跑道起降,并可在海拔 3500m 以下的高原地区起降。此外,该机在水中升降也很方便。在一个 1km 长、50~60m 宽的水面、1m 多深的水面环境中,飞机就可以起飞。

“海鸥 300”飞机最大起飞重量 1680kg,巡航速度 231km/h,最大航程 1300km。可用于公务飞行、飞行员培训、旅游娱乐、货物运输、缉毒缉私、海岸巡逻、搜索与救护、环境监测、森林巡防等。

2010 年 11 月 10 日,“海鸥 300”在石家庄首飞成功,并且在珠海航展上赢得了首架订单。目前,“海鸥 300”正在进行适航验证试飞,预计 2012 年 6 月交付用户。

4. 飞机总体技术研究不断取得突破

为了提高飞机总体设计技术,近年来,我国先后开展了扇翼飞行器机翼布局、热力耦合的飞机典型结构布局优化设计方法、飞机复合材料整体结构损伤智能监测方法、基于敏捷性等指标的飞行控制律连续设计方法、航空结构连接构件优化设计理论及其应用技术、飞机结构的耐撞性设计等技术研究,取得了一批新的研究成果,为新型飞机的研制和生产提供了新的技术基础。

(二)直升机

2009~2010 年,我国在直升机研制、生产能力方面取得长足进步。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新突破。

1. 直升机型号研制取得新进展

2009年12月17日,中法合作研制的 EC-175/Z-15 直升机在法国马赛成功首飞。该机是 6~7t 级 14~16 座先进中型多用途直升机,最高升限 7000m,由欧洲直升机公司与中航工业哈飞联合研发和制造。Z-15 直升机按照 CS29/CCAR-29 部适航条例的要求研制,填补了中国直升机谱系中 6~7t 级的空白。

2010年3月18日,大型民用直升机 AC-313 在江西景德镇首飞成功。AC-313 型直升机最大起飞重量为 13.8t,可一次性搭载 27 名乘客或运送 15 名伤员,最大航程 900km,具有高安全性、可靠性和舒适性,可广泛用于人员和货物运输、搜索营救、抢险救灾、医疗救护、旅游观光、公务飞行等航空领域。作为我国第一个大型民用直升机,该机完全按照适航条例研制,整机性能达到国际第三代直升机水平,填补了我国大型民用直升机研制的空白,使中国和欧洲各国、美国、俄罗斯一样具备了自主研制大型直升机的能力,在中国直升机发展史上具有重大意义。

2010年11月8日,由中航工业集团公司研制的 AC-311 轻型多用途直升机在中航直升机公司天津分公司完成总装下线,并于当天上午首飞成功。AC-311 是两吨级直升机,使用一台 700 马力发动机,可以搭载 6 名乘客,AC-311 可执行警务、医务等多种任务。

2. 直升机技术预研取得了一批重要成果

通过开展直升机技术预先研究,我国在直升机的多学科优化设计技术、直升机隐身技术、直升机振动的主动控制技术、直升机噪声的分析预估技术、直升机复合材料结构设计制造技术、直升机飞行品质设计技术、无轴承旋翼设计与试验技术、直升机非定常尾迹空气动力学分析技术、先进旋翼桨叶设计技术、直升机非线性运动建模技术、直升机旋翼性能优化技术、直升机矢量推进技术、航空电子综合技术、刚性旋翼复合式直升机技术、倾转旋翼机关键技术等研究方面取得了一批新成果。

3. 直升机制造技术迅速发展

为满足直升机发展的需要,我国相继兴建了现代化的直升机部件加工及总装生产线,建立了数字化设计制造体系,在直升机工艺设计、工装设计/制造、零部件加工、装配等环节采用并行协同产品数字化技术,掌握了企业级产品数据管理(PDM)技术,实现了 CAD/CAPP/CAM/PDM 集成。突破了新材料点焊工艺、零部件可控气氛渗碳氮、真空无氧热处理、数控加工刀具防错工艺、激光铺层定位等一大批直升机制造核心和关键技术,使我国的直升机生产制造技术和能力得到了快速提升。

(三)无人飞行器系统

在信息技术的推动下,无人机已经成为发展速度最快的机种。目前,我国已经研制成功多种无人机,形成覆盖多种军民用任务领域的无人机产品体系。近年来,在微型无人机、长航时无人机和直升无人机研制方面也取得新的突破。

1. 翼龙-1 长航时无人机进入国际市场

翼龙-1 型无人机配有前视红外传感器和武器系统,总有效载荷能力为 200kg,根据任务需要,可携带前视红外传感器和合成孔径雷达,翼下可各挂重 50kg 的弹药。翼龙-1 型

无人机能执行侦察、电子对抗和对地攻击等任务,既可空投炸弹,又可发射轻型导弹。目前,翼龙-1型无人机已经完成包括武器发射在内的一系列飞行测试,并进入国际市场。

2. 无人直升机技术得到快速发展

近年来,我国的无人直升机技术发展迅速,国产的无人直升机在航空遥感、资源勘探、大地测绘等领域得到应用。南京模拟技术研究所研制的 Z-3 型无人直升机、天翔航空科技有限公司等 4 家单位联合研制的 V750 无人直升机、鹤翔航空技术有限公司研发的“WD100 型”无人直升机,以及汉和航空技术有限公司的多款小型无人直升机成功试飞,表明我国在无人直升机技术方面获得了新的进展。

3. ASN211 微型扑翼无人机研制成功

ASN211 是西北工业大学研制的微型扑翼飞行器,最大起飞重量 220g,翼展 600mm,最大飞行速度 6m/s~10m/s,飞行高度 20m~200m。该机组装简便,单个士兵即可携带。由于采用电池供电,不使用螺旋桨,也没有马达高速旋转时产生的噪音,在战场环境中难以被发现。ASN211 具有自主起飞和自主巡航的能力,可以按照预设的高度、速度、航线飞行。微型侦察相机装在机腹下方,可以实时获取地面目标信息。

(四) 航空动力

航空发动机是多学科综合的高科技、高难度、高附加值产品。20 世纪 90 年代初,我国开始了干线客机发动机的研究工作,同俄罗斯彼尔姆设计局合作完成了民用大涵道比涡扇发动机的关键部件之一——风扇/增压级试验件(GF90)的设计和试验,基本达到了设计指标。与 P&W 公司合作开展了 LP60 增压级的设计研究,与 RRD 合作成立了 JET 联合工程小组,在高压压气机设计方面进行了合作研究。

“十五”期间,借助国家科研项目支持,对 GF90 和 LP60 又进行了深入的试验和研究,并建立了大涵道比涡扇发动机整机验证平台,为研究大涵道比涡扇发动机的关键技术提供技术支持和验证平台。同时,协同有关大专院校、科研院所在大涵道比涡扇发动机基础理论和创新研究(如降噪技术、大风扇叶片减振技术、优化设计)等方面取得了一批研究成果。我国虽然在大涵道比发动机的预研方面开展了一些工作,但尚无完整的发动机研制经验,整机研制刚刚起步,还有许多关键技术亟待突破。

经过多年的建设和发展,我国航空发动机行业在基础设施和条件建设方面发生了巨大变化,试验、测试、加工能力大大提高。目前,我国已经掌握了第三代航空发动机的设计和生产技术,并拥有大批先进的发动机整机和零部件试验和生产设备,为大涵道比涡扇发动机的研制和生产提供了设备设施保证。

近年来,我国航空发动机行业转包生产的数量和品种不断增加,由初期的简单零件加工,发展到包括各种盘、轴、环、机匣及密封件在内的几十种零件和组合件,与美国 GE 公司、美国普惠公司、英国罗罗公司、法国斯奈克玛公司、德国 MTU 公司等国际知名的航空发动机企业及 10 多个国家的客商建立了稳固的合作关系。转包生产的迅速发展为大涵道比涡扇发动机的批量生产奠定了一定的基础。

(五) 飞行力学

近年来,我国针对先进飞行器设计的需要,在消化、吸收国外先进技术成果的基础上,通过自主创新和发展,在飞行力学理论、方法和技术研究中都取得了新的突破。主要包括:

1. 非线性飞行动力学研究

针对先进战斗机隐身、高机动性等设计需求,我国基于非线性动力学系统理论,采用分叉分析方法研究飞行器的全局稳定性,揭示尾旋、机翼摇晃等失稳特性,并结合非线性动态逆控制、模糊逻辑、鲁棒控制等方法设计失稳改出控制律,取得一定成果。同时,将分叉分析方法与特征结构配置、鲁棒控制、动态逆控制等方法结合,开展过失速机动控制律初步设计,在构建全局控制律连续设计框架研究中取得初步成绩。

2. 弹性飞行动力学研究

随着复合材料用量的不断增加,飞行器呈现出轻结构、大柔性和低阻尼的特点,气动弹性及气动伺服弹性的影响越来越显著。为此,弹性飞行动力学成为飞行力学的又一重要研究方向。近年来,我国在弹性飞行器动力学建模、飞行品质分析及综合控制等方面开展了深入研究。如采用 Lagrange 方程和平均轴坐标系假设等方法建立弹性飞行器飞行动力学模型,采用模型降阶、模态分析等方法分析确定弹性运动对整机飞行品质的影响,并针对弹性飞行器存在的模型不确定性、鲁棒性和抗干扰性差等问题,研究基于飞行品质、抗干扰和噪声性能、鲁棒性等多目标的控制律综合设计方法,采用模型跟踪、 H_{∞} 控制、 μ 分析等方法进行弹性飞行器的控制律综合设计。

3. 非定常气动建模技术研究

大迎角非定常气动建模问题是四代机等具有过失速机动能力的先进高机动飞行器设计中面临的最具挑战性的问题之一。基于非定常流动机理,建立工程实用的非定常气动模型,是开展过失速机动、尾旋进入/改出等领域飞行动力学分析、飞行仿真、控制律设计及验证研究的基础。近年来,我国开展大迎角非定常气动建模技术研究,建立非线性微分方程、神经网络、模糊逻辑、线性状态方程等形式的非定常气动模型,并提出相应的风洞试验需求,取得重要的研究成果。

4. 民机飞行品质和适航性研究

随着国内大型飞机和通用航空器的迅猛发展,民机飞行品质和适航性研究成为国内飞行力学的重要研究内容。根据适航性要求,研究民机的性能和飞行品质特性,尤其是结冰、降雨等恶劣天气情况对飞行动力学特性的影响,保障飞行安全,是民机设计、研制的基础技术问题。我国开展了民机飞行品质等相关课题的研究,取得一定成果。

(六) 飞行试验

飞行试验按其性质和任务可分为型号飞行试验和研究性飞行试验。型号飞行试验是以特定型号的航空产品为试验对象而进行的试验,侧重于产品性能和可靠性的试验,为航空产品定型、投产和服役提供依据;研究性飞行试验侧重于基础理论和应用技术的探索、