



2012-2013

*Report on Advances in
Space Science and Technology*

中国科学技术协会 主编
中国宇航学会 编著

航天科学技术
学科发展报告

中国科学技术出版社



2012 - 2013

航天科学技术 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN
SPACE SCIENCE AND TECHNOLOGY

中国科学技术协会 主编
中国宇航学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

2012—2013 航天科学技术学科发展报告 / 中国科学技术协会主编,
中国宇航学会编著. —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 978-7-5046-6538-6

I. ① 2… II. ① 中… ② 中… III. ① 航天—学科发展—研究报
告—中国—2012—2013 IV. ① V4-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 003714 号

策划编辑	吕建华 赵 晖
责任编辑	夏凤金
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	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	420 千字
印 张	18.75
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 978-7-5046-6538-6/V·67
定 价	66.00 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

航天科学技术学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN
SPACE SCIENCE AND TECHNOLOGY

首席科学家 许达哲

专 家 组

组 长 王礼恒

副组长 杜善义 包为民 黄培康

成 员 (按姓氏笔画排序)

于登云	马淑雅	王礼恒	王崑生	冯克明
包为民	龙乐豪	刘子强	刘占卿	刘国青
江 帆	齐春棠	余梦伦	张柏楠	张贵田
李 明	李仲平	李莹辉	杜善义	杨孟飞
沈 清	沈维伟	陈善广	卿寿松	崔宗胜
黄培康	龚知明	董光亮		

撰写专家 (按姓氏笔画排序)

丁 柏	万玉民	于登云	马世俊	马淑雅
文树梁	方宝东	王 伟	王 军	王 宏
王 勇	王 晶	王 磊	王旭辉	王建儒
王梦魁	邓湘金	冯 炎	冯克明	卢 鹍
史兴宽	史宏斌	龙乐豪	仲崇斌	任 方
任立明	刘 民	刘 阳	刘 鹰	刘一武
刘子强	刘文平	刘正高	刘国青	刘学文
刘朝霞	刘碧野	刘慧宁	向树红	吕新广

孙国江	成永军	朱北园	许成进	齐春棠
何 涛	余梦伦	吴 坚	张 伟	张 勇
张 瑛	张小平	张正平	张国亭	张泽平
张柏楠	张洪华	张贵田	张晓铀	张晓敏
张翼飞	李 明	李双庆	李仲平	李孝鹏
李应选	李国欣	李念滨	李海波	李海涛
李莹辉	李跃生	李福秋	杨 斌	杨宏林
杨孟飞	汪 勃	沈 清	沈维伟	肖 杜
肖 琦	陈 杨	陈凤熹	陈文晟	陈金盾
陈祖奎	陈海鹏	陈鸿麟	周传珍	孟 松
孟松鹤	易 忠	郑新华	南向谊	姚 娜
姜思宇	洪义强	胡 军	赵春章	卿寿松
夏 晶	夏志勇	容 易	徐迩铤	顾长鸿
顿赛英	高 颀	高晓颖	崔 红	崔万兆
梁宗闯	盛 磊	黄 薇	黄培康	龚龙庆
龚知明	彭 兢	董光亮	谢 军	谢天怀
韩 冰	韩先伟	解建喜	翟志宏	裴雨辰
谭云涛	樊世超			

学术秘书 杨俊华 龚金玉 张 弛 王 佳 张 瑶

序

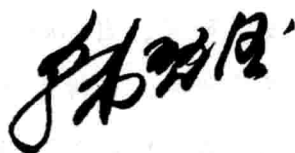
科技自主创新不仅是我国经济社会发展的核心支撑，也是实现中国梦的动力源泉。要在科技自主创新中赢得先机，科学选择科技发展的重点领域和方向、夯实科学发展的学科基础至关重要。

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 stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Ming, positioned above the date.

2014年2月5日

前言

为贯彻落实全国科技大会和《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》精神，促进学科发展和原始创新能力的提升，提高我国科技自主创新水平，充分发挥科技社团作为国家创新体系重要作用的作用，作为中国科协的一级学会，中国宇航学会曾于2007年参加撰写学科发展报告。这次是中国宇航学会第二次参加中国科协组织开展的学科发展报告的撰写工作。

航天科学技术作为一门探索、开发和利用太空以及地球以外天体的综合性科学技术，在我国经过了半个多世纪的发展，已广泛应用到国民经济、国防建设、文化教育和科学研究的众多领域，极大地增强了我国的经济实力、科技实力、国防实力和民族凝聚力。近几年，我国的载人航天和探月工程都取得了新的突破，取得了举世瞩目的成就，中国航天技术的发展进入了一个新的历史时期。在新时期、新形势下，我们面临着如何继续保持并加速中国航天事业的发展战略，不断推进航天科学技术创新的问题，积极开展学科发展研究是探讨这一问题的重要工作。

《2012—2013 航天科学技术学科发展报告》由综合报告和17个专业领域报告组成，系统性地阐述了我国航天科学技术的现状与发展，重点关注我国航天科学技术近五年的最新进展，比较我国航天科学技术与国外先进国家之间的差距，明确我国航天科学技术在未来几年的发展方向。本报告的撰写工作得到了国防科技工业局、总装备部、中国航天科技集团公司和中国航天科工集团公司等有关单位的高度重视和大力支持，航天领域的许多院士、专家和学者都积极参与了本报告的撰写、研讨和审定工作。在此，对以上单位和各位专家的辛勤付出和大力支持表示衷心感谢！

希望通过《2012—2013 航天科学技术学科发展报告》的出版，更好地引领学科发展，促进航天科学技术的创新与进步。

中国宇航学会
2013年10月

目 录

序	韩启德
前言	中国宇航学会

综合报告

航天科学技术学科发展现状与前景展望	3
一、引言	3
二、研究进展	4
三、国内外研究进展比较	32
四、发展趋势及展望	41
参考文献	50

专题报告

航天运载器专业发展报告	55
航天器专业发展报告	66
载人航天器专业发展报告	78
深空探测器专业发展报告	91
航天制导、导航与控制技术专业发展报告	105
航天推进专业发展报告	120
航天测试发射专业发展报告	132
航天测控专业发展报告	142
航天材料专业发展报告	152
航天医学工程学专业发展报告	166
航天空气动力学专业发展报告	177
航天制造工艺专业发展报告	190

航天电子信息专业发展报告	201
航天质量与可靠性专业发展报告	218
航天技术应用产业发展报告	230
航天计量与测量专业发展报告	240
航天试验专业发展报告	250

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Discipline Development of Space Science and Technology	265
--	-----

Reports on Special Topics

Advances in Space Launch Vehicles	269
Advances in Spacecraft Design	270
Advances in Manned Spacecraft	271
Advances in Deep Space Exploration Probes	271
Advances in the Aerospace Guidance, Navigation and Control Technology	272
Advances in Aerospace Propulsion	274
Advances in Space Launch	275
Advances in Space TT&C	276
Advances in Aerospace Materials	277
Advances in Space Medico-Engineering	277
Advances in Aerospace Aerodynamics	279
Advances in Aerospace Manufacturing Technology	279
Advances in Aerospace Electronics and Information	281
Advances in Space Quality and Reliability	282
Advances in Aerospace Electronics and Information	283
Advances in Space Metrology and Measurement	283
Advances in Space Test	285
索引	287

综合报告

航天科学技术学科发展现状 与前景展望

一、引言

外层空间是人类共同的财富，探索外层空间是人类共同的追求。21 世纪以来，人类步入了探索与开发利用外层空间的新纪元，随着经济社会发展需求的日益迫切，越来越多的国家积极参与航天活动。航天科学技术已经成为现代社会最具影响力的高技术之一，极大地促进了生产力的发展和人类文明进步。

中国政府一直把航天事业作为国家整体发展战略的重要组成部分，始终坚持为了和平目的探索和利用外层空间。经过多年的发展，特别是近年来的快速发展，我国航天事业取得了以载人航天、月球探测等为代表的一系列举世瞩目的成就，在若干重要技术领域跻身世界先进行列。航天活动在国民经济建设、社会发展和科技进步中发挥着越来越重要的作用。

航天科学技术是一门探索、开发和利用太空以及地球以外天体的综合性科学技术，是开展航天活动的重要物质技术基础。2008 年初，为综合反映当时我国航天科学技术发展状况和水平，在中国科学技术协会领导下，中国宇航学会组织航天各专业领域的有关专家学者，开展了相关学科研究，以此为基础，撰写并发布了《2007—2008 航天科学技术学科发展报告》，取得了良好的社会效应。

2008 年以来，以重大科技专项工程为牵引，我国航天科学技术获得了快速发展。月球探测工程顺利实施，嫦娥一号成功实现“精确变轨，成功绕月”的预定目标，嫦娥二号成功开展环绕拉格朗日 L2 点、飞越图塔蒂斯小行星等多项拓展性试验，标志着我国已经跨入具有深空探测能力的国家行列；载人航天工程取得新进展，成功研制并发射了神舟七号飞船、神舟八号飞船、神舟九号飞船、神舟十号飞船和天宫一号目标飞行器共 5 艘载人航天器，并取得了航天员出舱活动、自动和载人交会对接等里程碑性的重大突破，标志着我国已经实现了载人航天工程第二步第一阶段战略目标；北斗卫星导航区域系统建设顺利完成，正式向亚太地区提供连续无源定位、导航、授时等服务；高分辨率对地观测系

统重大科技专项全面启动实施,系统首颗卫星——高分一号卫星成功发射;长征系列运载火箭共完成 70 次发射任务,把多个航天器成功送入预定轨道,运载火箭可靠性显著增强,型谱进一步完善,高密度发射能力明显提高,新一代运载火箭工程研制取得重大进展;人造地球卫星基本形成了气象、海洋、资源、通信广播、导航定位、空间科学、技术试验等卫星系列和环境减灾卫星星座,特别是风云三号、海洋动力环境卫星、天链一号系列数据中继卫星等的成功发射,使我国应用卫星的性能和业务服务能力得到了进一步提升;航天技术应用水平和效益大幅提高,风云系列卫星实现了对各种灾害的有效监测,海洋卫星对海冰、海温、风场等的预报精度显著提高,资源卫星广泛应用于资源监测管理和城市规划,环境与灾害监测预报小卫星星座为重大自然灾害救援提供了支撑,通信广播卫星在广播电视传输、远程医疗、远程教育、抢险救灾、重大突发事件处置等方面发挥了重要作用,北斗卫星导航系统已在交通运输、海洋渔业、通信授时和减灾救灾等领域得到初步应用。

为全面客观反映 2008 年以来我国航天科学技术发展概貌,并且体现学科发展报告的连续性和系统性,2013 年初,中国科学技术协会和中国宇航学会再次组织航天领域相关专业技术人员,共同研究完成并发布《2012—2013 航天科学技术发展报告》。本报告作为《2007—2008 航天科学技术学科发展报告》的延续和拓展,在原有航天运载器技术,航天器技术,载人航天器技术,月球探测器技术,航天发射和测控技术,空间动力学与飞行力学技术,航天推进技术,航天制导、导航与控制技术,航天电子技术,航天材料技术,航天制造工艺技术,航天质量与可靠性技术重点专业领域的基础上,增加了航天医学工程学、航天计量与测量技术、航天试验技术和航天技术应用重点专业领域。

本报告主要从最新研究进展、国内外比较和未来发展趋势及展望三个方面,对航天科学技术 17 个重点专业领域 2008 年以来的发展状况进行了系统的介绍。在最新研究进展方面,回顾总结和科学评价了我国航天科学技术学科的新进展、新成果、新见解、新观点、新方法、新技术;在国内外比较方面,在了解和掌握国际最新研究热点和前沿研究方向的基础上,重点对我国与国外先进国家在航天科学技术领域上的差距进行了比较和评价;在未来发展趋势及展望方面,深入分析了我国航天技术学科发展的战略需求,提出了未来 5 年优先发展领域和重点研究方向。

二、研究进展

2008—2013 年是中国航天科学技术快速发展的时期,在此期间,我国航天事业取得了举世瞩目的成就,航天科学技术取得了长足的进步和诸多重大进展:在航天运载器技术方面,长征系列运载火箭累计发射 85 次,成功完成以载人交会对接和探月工程为代表的一系列国家重大工程的发射任务;在航天器技术方面,成功研制了多个系列的空间飞行器,初步形成了遥感卫星、通信卫星、导航卫星和对地观测卫星等多个系列,各类应用卫

星初成体系，卫星应用与服务产业初具规模，航天产品出口与商业发射服务均取得了实质性突破；在载人航天器技术方面，我国成功研制并发射了神舟七号飞船、神舟八号飞船、神舟九号飞船、神舟十号飞船和天宫一号目标飞行器共5艘载人航天器；在深空探测方面，圆满完成探月工程一期任务后，又成功发射了探月工程二期先导星的“嫦娥二号”，突破和验证了地月直接转移等关键技术，并在完成月球探测后开展了L2点探测和小行星交会飞越探测等扩展任务。此外，在制导与测控技术、航天推进技术、航天电子信息、航天测发与测控、航天材料技术、航天医学工程学、航天空气动力学、航天制造工艺、质量与可靠性技术、航天计量与测量技术、航天试验技术、航天技术应用等诸多专业技术领域进展显著，为中国航天科学技术的整体发展打下坚实的基础。5年来各学科专业发展具体情况如下。

（一）航天运载器技术

中国航天运载技术经过五十余年的发展，取得了举世瞩目的成就，有力地支撑了以“载人航天”和“探月工程”为代表的国家重大工程的成功实施。长征运载火箭经历了由常温推进剂到低温推进剂、由末级一次启动到多次启动、从串联到并联、从一箭单星到一箭多星、从载货到载人的技术跨越，具备了发射低、中、高不同地球轨道不同类型卫星及载人飞船的能力，近地轨道运载能力达到8.6吨、地球同步转移轨道运载能力达到5.5吨，入轨精度处于国际先进水平，能够满足不同用户的多种需求。现有长征火箭还具备向月球及太阳系深空发射航天器的能力。

在2008—2013年期间，我国航天运载器技术在航天发射服务、在役运载火箭技术改进、新一代运载火箭研制、上面级等空间运载器研制、重复使用运载器研制等各方面取得了重大的进展。

1. 在航天发射服务方面

长征运载火箭在2008—2013年期间共进行了85次发射，占44年全部发射任务的45%，成功率达到98.8%，出色地完成了高密度发射的任务，可靠性、运载性能以及发射能力得到了进一步提高。尤其是2011年、2012年，我国运载火箭发射次数连续两年稳居世界第二，进一步巩固了我国航天大国的地位。特别值得一提的是，在这6年中，长征运载火箭成功完成一系列国家重大工程的发射任务。长征二号F火箭先后完成五次发射，分别将神舟七号飞船、天宫一号目标飞行器、神舟八号、九号、十号飞船准确送入预定轨道，为我国载人航天工程出舱行走和交会对接任务的顺利实施作出了重要贡献。长征三号甲系列火箭用14次发射将16颗北斗导航卫星送入轨道，有力支撑了北斗导航区域组网的完成。长征三号甲系列火箭分别成功发射嫦娥二号和嫦娥三号，为月球探测工程的顺利实施奠定了坚实基础。

2. 在役运载火箭技术改进方面

为适应运载火箭持续高密度发射任务的需求,提高运载火箭可靠性和适应性水平,长征系列火箭开展了大量技术改进工作。长征二号丙运载火箭研制双星串联内支撑结构和分离系统,控制系统实现冗余设计;为满足空间交会对接任务要求,长征二号 F 火箭进行了改进研制,新设计 4.2 米直径的整流罩、控制系统采用系统级冗余方案、采用迭代制导技术,入轨精度达到长征系列火箭历史最好水平;长征三号甲系列火箭不断丰富构型,我国首个非全对称外形的长征三号丙火箭于 2008 年首飞成功,采用大型串联双星外支撑结构的长征三号乙改进型火箭于 2012 年首飞成功,成功应用天基测量技术,优化测试流程,显著提高发射适应性。

3. 在新一代运载火箭研制方面

为满足我国空间站工程、探月工程及未来航天器发射任务需求,经过多年论证和关键技术研究,我国相继开展了高可靠、低成本、无毒无污染、适应性强、安全性好的新一代运载火箭的工程研制,以全面提高我国运载火箭的整体水平,实现我国运载火箭的更新换代。目前,新一代大型、中型、小型运载火箭工程研制进展顺利,均已进入试样研制阶段,对提高我国运载火箭的整体技术水平和任务适应性具有重要意义。

4. 在上面级等空间运载器研制方面

为适应众多的应用卫星对轨道高度、倾角等的多样性要求及日益增长的低、中轨道移动通信卫星的发射需要,满足直接发射卫星进入 MEO 和 GEO 并执行空间探测任务的要求以及多星发射的需求,远征系列上面级已立项进入工程研制,分别用来与长征三号甲系列运载火箭组合使用执行一箭一星、一箭双星直接入轨发射任务和与长征五号运载火箭组合使用执行一箭四星直接入轨发射任务。

5. 在重型运载火箭及重复使用运载器研制方面

为满足未来更大规模的航天探测需求,我国也积极开展重型运载火箭的相关论证和重复使用运载器的探索研究。

(二) 航天器技术

初步建成了遥感、通信、导航三大应用卫星系统,并得到广泛应用。卫星遥感应用领域范围和规模不断扩大,初步形成了全国卫星遥感应用体系,自主数据源用户范围覆盖气象、测绘、减灾等 20 多个领域,国产数据占有率不断提高,加强了配套基础设施建设,业务化运行能力显著增强。遥感企业不断发展,遥感应用与软件公司比“十五”期间增加 30%;卫星通信广播发展迅速,应用日益广泛,应用产业已初步形成,在“村村通电话”

工程、远程教育和远程医疗中发挥了重要作用,金融、电力等几十个部门建立了卫星专用通信网,取得了显著的经济效益和社会效益。我国现有通信广播卫星运营企业3家,拥有11颗在轨通信广播卫星;卫星导航产业整体框架初具轮廓,形成一定规模,国家积极推进北斗导航系统应用工作,开展了“北斗二号民用市场开发与产业化专项”,一批企业经营业务取得长足进步,从事这一产业的约有800家,从业人员10万人,投资规模80亿~100亿元,2008年,卫星导航产业总产值达到了300亿元,近三年平均增长达到44%。

在遥感卫星方面,近五年来我国遥感卫星领域成绩显著;多颗新型卫星首发成功,在轨稳定运行的应用卫星数量持续增长,部分卫星实现升级换代;卫星设计能力和体系规划能力不断提升,遥感卫星体系规划取得重大突破。通过平台技术的发展,完善了资源、CAST、SAST等多个成熟的遥感平台,形成稳定的型谱产品,扩展了平台的应用。其中,2010年发射的天绘一号和2012年发射的资源三号卫星是我国第一代传输型测绘卫星,2011年发射的海洋二号卫星是我国第一颗微波海洋动力环境监测卫星。正在实施的国家重大专项“高分辨率对地观测系统”通过自主创新手段,解决影响我国遥感卫星发展和应用的关键技术,实现重点领域的跨越,引领未来遥感技术的发展,系统的建成将极大地增强我国对地遥感卫星的水平。

在通信卫星方面,2008—2012年,我国通信卫星的整体水平正向国际航天发达国家迈进。“天链一号01/02/03”3颗中继卫星作为基于东方红三号卫星平台的数据中继卫星在轨稳定运行,形成三星组网能力,可实现对中、低轨航天器近100%的轨道覆盖,使我国成为世界上第二个拥有全球覆盖能力中继卫星系统的国家。

在导航卫星方面,已发射了1颗试验卫星及14颗正式组网卫星,实现了无源卫星导航RNSS信号体制验证、RDSS业务稳定接续、导航卫星最简系统在轨验证和基本系统在轨验证等阶段目标,最终全面建成了区域卫星导航系统,正式提供导航服务。建成“3GEO+3IGSO”基本系统,具备了对重点地区提供卫星导航服务的能力,并于2011年12月27日开始为用户提供试运行服务。北斗区域卫星导航系统是第三个可为亚太大部分服务区域提供卫星导航定位和授时服务的系统,且服务性能指标已与GPS系统指标相当。随着北斗区域卫星导航系统建设完成,中国已成为世界三大卫星导航系统服务供应商。

在空间科学新技术试验卫星方面,已发射了多颗空间探测与技术试验卫星,主要包括:中国空间技术研究院研制的试验四号、实践九号、希望一号、新技术验证卫星一号,浙江大学的皮卫星。

(三) 载人航天器技术

2008—2013年,我国成功研制并发射了神舟七号、神舟八号、神舟九号、神舟十号飞船和天宫一号目标飞行器共五艘载人航天器,并取得了航天员出舱活动、自动和载人交会对接等里程碑性的重大突破,标志着我国已经实现了中国载人航天第二步第一阶段的战略目标。