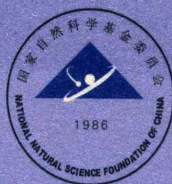


学术引领系列



国家科学思想库

中国学科发展战略

空间科学

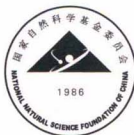
国家自然科学基金委员会
中国科学院



科学出版社



国家科学思想库



中国学科发展战略

空间科学

国家自然科学基金委员会
中国科学院

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

空间科学 / 国家自然科学基金委员会, 中国科学院编. —北京:
科学出版社, 2019.4

(中国学科发展战略)

ISBN 978-7-03-060553-5

I. ①空… II. ①国… ②中… III. ①空间科学-学科发展-
发展战略-中国 IV. ①V1-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第029940号

丛书策划: 侯俊琳 牛 玲

责任编辑: 朱萍萍 牛 玲 吴春花 / 责任校对: 王晓茜

责任印制: 张克忠 / 封面设计: 黄华斌 陈 敬

联系电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年4月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2019年4月第一次印刷 印张: 27

字数: 468 000

定价: 198.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

中国学科发展战略

联合领导小组

组 长: 丁仲礼 李静海
副 组 长: 秦大河 韩 宇
成 员: 王恩哥 朱道本 陈宜瑜 傅伯杰 李树深
杨 卫 汪克强 李 婷 苏荣辉 王长锐
邹立尧 于 晟 董国轩 陈拥军 冯雪莲
王岐东 黎 明 张兆田 高自友 徐岩英

联合工作组

组 长: 苏荣辉 于 晟
成 员: 龚 旭 孙 粒 高阵雨 李鹏飞 钱莹洁
薛 淮 冯 霞 马新勇

中国学科发展战略·空间科学

战略研究组

组 长：顾逸东

成 员（以姓氏笔画为序）：

万卫星	叶培建	吕达仁	刘竹生	许厚泽	李依依
李惕碚	吴岳良	余梦伦	陈建生	欧阳自远	罗 俊
周秀骥	赵玉芬	赵国屏	胡文瑞	胡敦欣	饶子和
祝世宁	徐建中	涂传诒	焦念志	魏奉思	魏炳波

工作组

太阳物理和空间物理学

组 长：王 赤 颜毅华

成 员（以姓氏笔画为序）：

任丽文	李 晖	易 帆	宗秋刚	夏利东	黄 静
曹晋滨	窦贤康	谭宝林			

空间天文学

组 长：张双南 吴伯冰

成 员（以姓氏笔画为序）：

王仲翔	王建民	方陶陶	冯 骅	刘晓为	刘润球
刘富坤	纪 丽	余文飞	沈志强	范一中	周济林
袁为民	袁业飞	夏俊卿	黄 晶	常 进	梁恩为
詹 虎	窦江培	薛永泉	戴子高	魏建彦	

月球与行星科学

组 长: 李春来

成 员 (以姓氏笔画为序):

刘建军 刘建忠 邹永廖 郑永春

空间地球科学

组 长: 吕达仁

成 员: (以姓氏笔画为序):

万卫星 许厚泽 孙 强 周秀骥 胡敦欣 段民征
焦念志 魏奉思

空间生命科学

组 长: 商 澎

成 员 (以姓氏笔画为序):

王常勇 邓玉林 龙 勉 庄逢源 刘 红 刘永定
孙野青 孙喜庆 李艳梅 张 涛 陈国强 杭海英
呼延霆 郑慧琼 段恩奎 曾长青 赫荣乔 蔡伟明

微重力科学

组 长: 康 琦 张元仲 潘明祥

成 员 (以姓氏笔画为序):

王双峰 刘 亮 余建定 张 海 张 博 张首刚
陈徐宗 罗兴宏 周泽兵 赵建福 段 俐 徐升华
翁立军 曹则贤 靳常青 解文军 潘建伟

国际调研工作组

组 长：杨 帆

成 员（以姓氏笔画为序）：

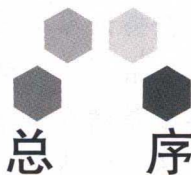
王海名 王海霞 范唯唯 郭世杰 韩 淋

秘书组

组 长：张 伟

成 员（以姓氏笔画为序）：

巴 金 刘 艳 张九星 张颖一 韩 培 靳召君



白春礼 杨 卫

17 世纪的科学革命使科学从普适的自然哲学走向分科深入，如今已发展成为一幅由众多彼此独立又相互关联的学科汇就的壮丽画卷。在人类不断深化对自然认识的过程中，学科不仅仅是现代社会中科学知识的组成单元，同时也逐渐成为人类认知活动的组织分工，决定了知识生产的社会形态特征，推动和促进了科学技术和各种学术形态的蓬勃发展。从历史上看，学科的发展体现了知识生产及其传播、传承的过程，学科之间的相互交叉、融合与分化成为科学发展的重要特征。只有了解各学科演变的基本规律，完善学科布局，促进学科协调发展，才能推进科学的整体发展，形成促进前沿科学突破的科研布局和创新环境。

我国引入近代科学后几经曲折，及至上世纪初开始逐步同西方科学接轨，建立了以学科教育与学科科研互为支撑的学科体系。新中国建立后，逐步形成完整的学科体系，为国家科学技术进步和经济社会发展提供了大量优秀人才，部分学科已进入世界前列，有的学科取得了令世界瞩目的突出成就。当前，我国正处在从科学大国向科学强国转变的关键时期，经济发展新常态下要求科学技术为国家经济增长提供更强劲的动力，创新成为引领我国经济发展的新引擎。与此同时，改革开放 30 多年来，特别是 21 世纪以来，我国迅猛发展的科学事业蓄积了巨大的内能，不仅重大创新成果源源不断产生，而且一些学科正在孕育新的生长点，有可能引领世界学科发展的新方向。因此，开展学科发展战略研究是提高我国自主创新能力、实现我国科学由“跟跑者”向“并行者”和“领跑者”转变的

一项基础工程，对于更好地把握世界科技创新的发展趋势，发挥科技创新在全面创新中的引领作用，具有重要的现实意义。

学科发展战略研究的核心是结合科学技术和经济社会的发展需求，在分析科学前沿发展趋势的基础上，寻找新的学科生长点和方向。在这个过程中，战略科学家的前瞻引领作用十分重要。科学史上这样的例子比比皆是。在1900年8月巴黎国际数学家代表大会上，德国数学家戴维·希尔伯特发表了题为“数学问题”的著名讲演，他根据过去特别是19世纪数学研究的成果和发展趋势，提出了23个最重要的数学问题，即“希尔伯特问题”。这些“问题”后来成为许多数学家力图攻克的难关，对现代数学的研究和发展产生了深刻的影响。1959年12月，美国物理学家、诺贝尔奖得主理查德·费曼在加利福尼亚理工学院举行的美国物理学会年会上发表了题为“物质底层大有空间——一张进入物理新领域的请柬”的经典讲话，对后来出现的纳米技术做出了天才的预见。

学科生长点并不完全等同于科学前沿，其产生和形成不仅取决于科学前沿的成果，还决定于社会生产和科学发展的需要。1841年，佩利戈特用钾还原四氯化铀，成功地获得了金属铀，可在很长一段时间并未能发展成为学科生长点。直到1939年，哈恩和斯特拉斯曼发现了铀的核裂变现象后，人们认识到它有可能成为巨大的能源，这才形成了以铀为主要对象的核燃料科学的学科生长点。而基本粒子物理学作为一门理论性很强的学科，它的新生长点之所以能不断形成，不仅在于它有揭示物质的深层结构秘密的作用，而且在于其成果有助于认识宇宙的起源和演化。上述事实说明，科学在从理论到应用又从应用到理论的转化过程中，会有新的学科生长点不断地产生和形成。

不同学科交叉集成，特别是理论研究与实验科学相结合，往往也是新的学科生长点的重要来源。新的实验方法和实验手段的发明，大科学装置的建立，如离子加速器、中子反应堆、核磁共振仪等技术方法，都促进了相对独立的新学科的形成。自20世纪80年代以来，具有费曼1959年所预见的性能、微观表征和操纵技术的

仪器——扫描隧道显微镜和原子力显微镜终于相继问世，为纳米结构的测量和操纵提供了“眼睛”和“手指”，使得人类能更进一步认识纳米世界，极大地推动了纳米技术的发展。

作为国家科学思想库，中国科学院（简称中科院）学部的基本职责和优势是为国家科学选择和优化布局重大科学技术发展方向提供科学依据、发挥学术引领作用，国家自然科学基金委员会（简称基金委）则承担着协调学科发展、夯实学科基础、促进学科交叉、加强学科建设的重大责任。继基金委和中科院于2012年成功地联合发布了“未来10年中国学科发展战略研究”报告之后，双方签署了共同开展学科发展战略研究的长期合作协议，通过联合开展学科发展战略研究的长效机制，共建共享国家科学思想库的研究咨询能力，切实担当起服务国家科学领域决策咨询的核心作用。

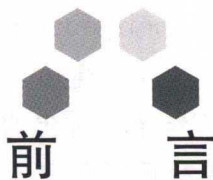
基金委和中科院共同组织的学科发展战略研究既分析相关学科领域的发展趋势与应用前景，又提出与学科发展相关的人才队伍布局、环境条件建设、资助机制创新等方面的政策建议，还针对某一类学科发展所面临的共性政策问题，开展专题学科战略与政策研究。自2012年开始，平均每年部署10项左右学科发展战略研究项目，其中既有传统学科中的新增长点或交叉学科，如物理学中的软凝聚态物理、化学中的能源化学、生物学中的生命组学等，也有面向具有重大应用背景的新兴战略研究领域，如再生医学、冰冻圈科学、高功率、高光束质量半导体激光发展战略研究等，还有以具体学科为例开展的关于依托重大科学设施与平台发展的学科政策研究。

学科发展战略研究工作沿袭了由中科院院士牵头的方式，并凝聚相关领域专家学者共同开展研究。他们秉承“知行合一”的理念，将深刻的洞察力和严谨的工作作风结合起来，潜心研究，求真唯实，“知之真切笃实处即是行，行之明觉精察处即是知”。他们精益求精，“止于至善”，“皆当至于至善之地而不迁”，力求尽善尽美，以获取最大的集体智慧。他们在中国基础研究从与发达国家“总量并行”到“贡献并行”再到“源头并行”的升级发展过程中，

脚踏实地，拾级而上，纵观全局，极目迥望。他们站在巨人肩上，立于科学前沿，为中国乃至世界的学科发展指出可能的生长点和新方向。

各学科发展战略研究组从学科的科学意义与战略价值、发展规律和研究特点、发展现状与发展态势、未来5~10年学科发展的关键科学问题、发展思路、发展目标和重要研究方向、学科发展的有效资助机制与政策建议等方面进行分析阐述。既强调学科生长点的科学意义，又考虑其重要的社会价值；既着眼于学科生长点的前沿性，又兼顾其可能利用的资源 and 条件；既立足于国内的现状，又注重基础研究的国际化趋势；既肯定已取得的成绩，又不回避发展中面临的困难和问题。主要研究成果以“国家自然科学基金委员会—中国科学院学科发展战略”丛书的形式，纳入“国家科学思想库—学术引领系列”陆续出版。

基金委和中科院在学科发展战略研究方面的合作是一项长期的任务。在报告付梓之际，我们衷心地感谢为学科发展战略研究付出心血的院士、专家，还要感谢在咨询、审读和支撑方面做出贡献的同志，也要感谢科学出版社在编辑出版工作中付出的辛苦劳动，更要感谢基金委和中科院学科发展战略研究联合工作组各位成员的辛勤工作。我们诚挚希望更多的院士、专家能够加入到学科发展战略研究的行列中来，搭建我国科技规划和科技政策咨询平台，为推动促进我国学科均衡、协调、可持续发展发挥更大的积极作用。



《中国学科发展战略·空间科学》是中国科学院技术科学部推荐，作为国家自然科学基金委员会—中国科学院发展战略联合学科研究的项目，于2016年初正式启动，成立了由技术科学部、数学物理学部、化学部、生命科学和医学学部、地学部的25名院士组成的战略研究组，组织了8个工作组，邀请了100多位空间科学各领域的科技骨干开展战略研究，并参加报告撰写。

空间科学的学科跨度大，分支领域多，因此本书分为八章。第一章是空间科学概论，第二~第七章分别涵盖了空间科学的6个分支学科领域，第八章是学科发展的政策建议。其中，第一章和第八章由战略研究组负责人顾逸东执笔，秘书组、国际调研工作组参加编写；第二章太阳物理和空间物理学由王赤、颜毅华编写；第三章空间天文学由张双南、吴伯冰编写；第四章月球与行星科学由李春来、刘建忠、郑永春编写；第五章空间地球科学由吕达仁、孙强编写；第六章空间生命科学由商澎、呼延霆编写；第七章微重力科学由康琦、张元仲、潘明祥、王双峰编写。国际调研工作组的杨帆等提供了大量国际调研资料，秘书组张伟等参加了有关章节的编写和统稿校阅工作，许多专家为本书的撰写提供了宝贵的材料、审阅修改意见和建议，在此一并表示感谢。

本书凝聚了许多专家学者的智慧和努力，对空间科学各领域的研究内容进行了全面阐述，对国内外空间科学的发展历史、现状和重要空间任务进行了系统梳理、总结，注重分析学科发展的特点和规律，把握学科发展趋势和方向，提出了我国空间科学各领域未来

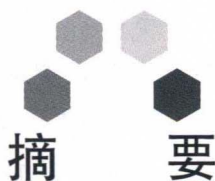
的发展目标、发展战略、项目部署和发展路线图，为我国空间科学的发展提供了有价值的思考和政策建议。

再次感谢为本书编写工作辛苦付出的各位同仁。书中的疏漏和不完善之处，敬请各位读者批评指正。

顾逸东

空间科学战略研究组组长

2018年3月4日



摘要

空间科学是以空间飞行器为主要工作平台，研究发生在地球、日地空间、太阳系乃至整个宇宙的物理、化学和生命等自然现象及其规律的科学。空间科学包括太阳物理学、空间物理学、空间天文学、月球与行星科学、空间地球科学、空间生命科学、微重力科学等分支领域。

1957 年第一颗人造地球卫星发射成功以来，人类开展了大规模的空间活动，共发射了 6000 多颗卫星和深空探测器及 300 多艘（次）载人航天器，其中约 900 颗卫星和深空探测器用于科学研究。进入太空开展科学研究，突破性地拓展了人类视野和活动疆域，开创了地面无法实现或受限的全新实验方法，革命性的发现源源不断，取得了辉煌成就，极大地丰富了人类知识，深刻地改变了人类的自然观和宇宙观，为当代科学技术发展做出了重大贡献。

一、空间科学的意义和战略价值

1. 基础前沿和重大科学问题的突破口

空间科学以发现新现象、探索科学规律为目标。其研究领域广阔，涉及太阳系乃至宇宙的起源演化、物质结构、生命起源、人类生存环境等当代重大基础前沿科学问题，以及空间特殊条件下物质运动规律等基础和应用研究，是充满新发现机遇的突破口。

空间科学集中了当代最具挑战性的基础前沿和重大科学问题。例如，暗物质性质和暗能量本质问题被形容为笼罩在物理学上的“两朵乌云”，空间研究将为破解该难题做出独特贡献；生命起源及地外生命之谜最可能在空间研究中得到解答；宇宙中存在地面无法

企及的极端物理条件，空间研究促进了宇观（宇宙学）和微观（基本粒子物理学）研究的融合，成为探究物质本源的前沿；太阳、空间物理、地球、月球和行星研究将更深入地理解太阳系和行星演化，并通过比较加深对地球变化趋势的认识；空间检验基本物理理论将达到前所未有的精度，并推动物理理论的发展。地球环境变化涉及经济社会发展和人类命运，而空间研究是理解这一复杂大系统问题的有效途径。

空间科学对重大基础前沿科学问题的研究将取得重大突破，可能催生新一轮的科学革命，是基础研究的战略必争领域。在过去的几个世纪中，我国已经屡次失去了在科技革命中有所作为的机遇，今后不可再错失机会。空间科学是我国实现基础科学研究重点突破的重要机遇，是我国建设科技强国的重大领域之一。

2. 推动航天科技发展的不竭动力

空间科学、空间技术和空间应用构成了航天领域的三大支柱。人类探究太空奥秘的渴望和空间科学不断获得的重大发现，成为激励空间活动持续发展的不竭动力。空间科学挑战极限的需求有力地牵引着空间技术向更高水平发展，促进尖端探测技术不断突破，是航天核心技术发展的强劲动力，也是空间应用的先导和基础。

大力发展空间科学，将有力地带动航天高新技术的跨越式发展，激发航天科技发展的内生动力和创新活力，推动我国航天事业健康、高质量的持续发展，促进我国实现从航天大国向航天强国的跨越，走中国特色的航天科技创新发展之路。

3. 创新驱动发展的重要阵地

空间科学的创新性和探索性催生出多种新技术，空间科学对高性能探测技术的需求有力地促进了光学、精密机械、特种材料、人工智能、激光、红外、极低温、高性能探测器和传感器等高新技术的创新，为国家创新发展提供源源不断的动力。

空间科学各领域的知识积累和成果转化将带动高新技术、新兴产业发展。太阳物理和空间物理研究、空间天气预报对保障空间活

动和地面大型设施安全具有基础性作用；空间地球科学研究为预测和应对全球气候变化，解决资源、环境、污染、灾害等急迫问题提供科学依据和技术手段；空间生命科学研究将获得创新的生物材料、药物和医疗技术，提高农、林产业水平，促进人民健康；微重力科学对流体和燃烧的研究对改进地面工业流程、提高能效、节能减排有重要贡献；微重力材料制备的研究，可为优化地面工业生产工艺、合成与开发新材料做出重要贡献；微重力基础物理研究推动了量子信息技术、高精度时间频率技术的发展和广泛应用，产生了重大效益。

4. 提升综合国力和国际影响力的重要途径

空间科学活动体现了国家目标和国家意志，也是人类求知欲和探索创新力的生动体现；其全球瞩目，广受关注，具有世界性影响，是体现国家科技进步和综合实力的重要标志；空间科学的广泛国际合作是开展对外交往的重要领域，对吸引青少年投身科学和提高公众科学素养具有不可估量的作用；空间科学活动具有显著的政治、科技、经济、外交和文化等意义，对提高我国综合国力具有重要作用。

二、空间科学的发展规律和特点

1. 科学驱动的空间任务

科学驱动是空间科学任务的本质特征，创新超越是空间科学项目的基本理念，空间科学项目以取得科学成果为出发点和最终评价依据。在项目酝酿时一般采用自下而上的方式，由科学家主导，经同行评议，确认项目的科学意义和创新性；纳入国家规划后在立项、指标确定、工程研制中仍需要发挥首席科学家和科学家团队的主动性与创新性，在工程实现和任务管理中始终贯穿科学目标导向；科学家在空间科学任务中具有关键作用，应在任务领导体制中体现；数据（样品）分析是空间科学任务获取科学成果的关键阶段，应加大投入力度，开放数据，发展模型和算法，活跃科学思想，阐释科学机理，最大化地促进科学成果产出。

2. 科学、技术与工程的高度结合

空间科学项目的遴选依据是创新的科学思想和先进可行的科学载荷方案，需要长期规划、征集提案、全面部署、先期预研、攻克关键、夯实科学和技术基础，推出具有国际竞争力的项目。体现科学特点的工程管理是空间科学任务成功的保证，要在航天工程严格管理的基础上充分体现科学任务的特点，以科学需求为主线，加强载荷与飞行器、天基和地面段的一体化设计及仿真，科学地确定系统方案和指标分配，反复权衡迭代，确保系统的科学能力；研制流程要安排飞行产品和地面科学分析方案（含软件）同步研发并相互验证，同时保证科学载荷测试的完备性和定量化水平；科学和工程技术的密切配合是实现科学目标的关键，需要各方专业人员大力协同，培育科学工程文化，培养科学、技术和工程融通的复合型人才队伍。

3. 国家科学规划的重要组成部分

空间科学几乎涉及全部自然科学领域，是各大基础学科中的前沿方向或重要分支。空间科学规划应成为国家整体科学规划的重要组成部分。

空间科学承载着探索发现使命，是融合高端技术的战略性科学领域，是国家科技发展战略的重要组成部分。空间科学与自由探索性的科学活动有很大不同，加之空间科学任务投入大、任务实施周期长、空间实验机会宝贵、风险高，因此在国家层面的统一规划、长期积累、周密组织是发展空间科学的内在需求，国家规划的科学性、长远性和支持的稳定性是空间科学可持续发展的重要保证。

4. 交流合作的活跃领域

基础性科学研究需要开放、交流、合作及知识体系的积累。空间科学的基础研究性质使其全球范围内的交流合作异常活跃，学术交流形式多样。各国航天机构大多将国际合作列为重要的发展政