

学术引领系列



国家出版基金项目



国家科学思想库

“十二五”国家重点图书出版规划项目

# 中国学科发展战略

## 载人深空探测

中国科学院



科学出版社

学术引领系列



国家出版基金项目  
NATIONAL PUBLISHING FUND PROJECT



国家科学思想库

“十二五”国家重点图书出版规划项目

# 中国学科发展战略

## 载人深空探测

中国科学院

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

载人深空探测/中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2016.11  
(中国学科发展战略)

ISBN 978-7-03-050109-7

I. ①载… II. ①中… III. ①载人航天器-空间探测器-学科发展-发展战略-中国 IV. ①V476.2-12

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第235600号

丛书策划: 侯俊琳 牛玲

责任编辑: 侯俊琳 田慧莹 崔慧娟 / 责任校对: 张怡君

责任印制: 张倩 / 封面设计: 黄华斌 陈敬

编辑部电话: 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

\*

2016年11月第一版 开本: 720×1000 1/16

2016年11月第一次印刷 印张: 15 1/2

字数: 271 000

定价: 78.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 中国学科发展战略

## 指 导 组

组 长：白春礼

副组长：李静海 秦大河

成 员：王恩哥 朱道本 傅伯杰

陈宜瑜 李树深 杨 卫

## 工 作 组

组 长：李 婷

副组长：王敬泽

成 员：钱莹洁 马新勇 薛 淮

冯 霞 林宏侠 王振宇

赵剑峰

# 中国学科发展战略·载人深空探测

## 工作组

组 长：叶培建

成 员：果琳丽 张志贤 田 林 王 平  
李志杰 齐 玢 保 石 张海联  
彭祺擘 尚海滨 徐 瑞 陈金盾  
李 楨 关亚凤 刘 振 张泽旭  
黄铁球 姚 娜 吕晓辰 赵 欣  
陈百超 党兆龙 姜海富 张 斌  
吴世臣 李春红 王 硕 李 民



## 总 序

---

# 九层之台，起于累土<sup>①</sup>

白春礼

近代科学诞生以来，科学的光辉引领和促进了人类文明的进步，在人类不断深化对自然和社会认识的过程中，形成了以学科为重要标志的、丰富的科学知识体系。学科不但是科学知识的基本的单元，同时也是科学活动的基本单元：每一学科都有其特定的问题域、研究方法、学术传统乃至学术共同体，都有其独特的历史发展轨迹；学科内和学科间的思想互动，为科学创新提供了原动力。因此，发展科技，必须研究并把握学科内部运作及其与社会相互作用的机制及规律。

中国科学院学部作为我国自然科学的最高学术机构和国家在科学技术方面的最高咨询机构，历来十分重视研究学科发展战略。2009年4月与国家自然科学基金委员会联合启动了“2011~2020年我国学科发展战略研究”19个专题咨询研究，并组建了总体报告研究组。在此工作基础上，为持续深入开展有关研究，学部于2010年底，在一些特定的领域和方向上重点部署了学科发展战略研究项目，研究成果现以“中国学科发展战略”丛书形式系列出版，供大家交流讨论，希望起到引导之效。

根据学科发展战略研究总体研究工作成果，我们特别注意到学

---

① 题注：李耳《老子》第64章：“合抱之木，生于毫末；九层之台，起于累土；千里之行，始于足下。”

科发展的以下几方面的特征和趋势。

一是学科发展已越出单一学科的范围，呈现出集群化发展的态势，呈现出多学科互动共同导致学科分化整合的机制。学科间交叉和融合、重点突破和“整体统一”，成为许多相关学科得以实现集群式发展的重要方式，一些学科边界更加模糊。

二是学科发展体现了一定的周期性，一般要经历源头创新期、创新密集区、完善与扩散期，并在科学革命性突破的基础上螺旋上升式发展，进入新一轮发展周期。根据不同阶段的学科发展特点，实现学科均衡与协调发展成为了学科整体发展的必然要求。

三是学科发展的驱动因素、研究方式和表征方式发生了相应的变化。学科的发展以好奇心牵引下的问题驱动为主，逐渐向社会需求牵引下的问题驱动转变；计算成为了理论、实验之外的第三种研究方式；基于动态模拟和图像显示等信息技术，为各学科纯粹的抽象数学语言提供了更加生动、直观的辅助表征手段。

四是科学方法和工具的突破与学科发展互相促进作用更加显著。技术科学的进步为激发新现象并揭示物质多尺度、极端条件下的本质和规律提供了积极有效手段。同时，学科的进步也为技术科学的发展和催生战略新兴产业奠定了重要基础。

五是文化、制度成为了促进学科发展的重要前提。崇尚科学精神的文化环境、避免过多行政干预和利益博弈的制度建设、追求可持续发展的目标和思想，将不仅极大促进传统学科和当代新兴学科的快速发展，而且也为人材成长并进而促进学科创新提供了必要条件。

我国学科体系系由西方移植而来，学科制度的跨文化移植及其在中国文化中的本土化进程，延续已达百年之久，至今仍未结束。

鸦片战争之后，代数学、微积分、三角学、概率论、解析几何、力学、声学、光学、电学、化学、生物学和工程科学等的近代科学知识被介绍到中国，其中有些知识成为一些学堂和书院的教学内容。1904年清政府颁布“癸卯学制”，该学制将科学技术分为格致科(自然科学)、农业科、工艺科和医术科，各科又分为诸多学

科。1905年清朝废除科举，此后中国传统学科体系逐步被来自西方的新学科体系取代。

民国时期现代教育发展较快，科学社团与科研机构纷纷创建，现代学科体系的框架基础成型，一些重要学科实现了制度化。大学引进欧美的通才教育模式，培育各学科的人才。1912年詹天佑发起成立中华工程师会，该会后来与类似团体合为中国工程师学会。1914年留学美国的学者创办中国科学社。1922年中国地质学会成立，此后，生理、地理、气象、天文、植物、动物、物理、化学、机械、水利、统计、航空、药学、医学、农学、数学等学科的学会相继创建。这些学会及其创办的《科学》、《工程》等期刊加速了现代学科体系在中国的构建和本土化。1928年国民政府创建中央研究院，这标志着现代科学技术研究在中国的制度化。中央研究院主要开展数学、天文学与气象学、物理学、化学、地质与地理学、生物科学、人类学与考古学、社会科学、工程科学、农林学、医学等学科的研究，将现代学科在中国的建设提升到了研究层次。

中华人民共和国建立之后，学科建设进入了一个新阶段，逐步形成了比较完整的体系。1949年11月新中国组建了中国科学院，建设以学科为基础的各类研究所。1952年，教育部对全国高等学校进行院系调整，推行苏联式的专业教育模式，学科体系不断细化。1956年，国家制定出《十二年科学技术发展远景规划纲要》，该规划包括57项任务和12个重点项目。规划制定过程中形成的“以任务带学科”的理念主导了以后全国科技发展的模式。1978年召开全国科学大会之后，科学技术事业从国防动力向经济动力的转变，推进了科学技术转化为生产力的进程。

科技规划和“任务带学科”模式都加速了我国科研的尖端研究，有力带动了核技术、航天技术、电子学、半导体、计算技术、自动化等前沿学科建设与新方向的开辟，填补了学科和领域的空白，不断奠定工业化建设与国防建设的科学技术基础。不过，这种模式在某些时期或多或少地弱化了学科的基础建设、前瞻发展与创新活力。比如，发展尖端技术的任务直接带动了计算机技术的兴起



与计算机的研制，但科研力量长期跟着任务走，而对学科建设着力不够，已成为制约我国计算机科学技术发展的“短板”。面对建设创新型国家的历史使命，我国亟待夯实学科基础，为科学技术的持续发展与创新能力的提升而开辟知识源泉。

反思现代科学学科制度在我国移植与本土化的进程，应该看到，20世纪上半叶，由于西方列强和日本入侵，再加上频繁的内战，科学与救亡结下了不解之缘，新中国建立以来，更是长期面临着经济建设和国家安全的紧迫任务。中国科学家、政治家、思想家乃至一般民众均不得不以实用的心态考虑科学及学科发展问题，我国科学体制缺乏应有的学科独立发展空间和学术自主意识。改革开放以来，中国取得了卓越的经济建设成就，今天我们可以也应该静下心来思考“任务”与学科的相互关系，重审学科发展战略。

现代科学不仅表现为其最终成果的科学知识，还包括这些知识背后的科学方法、科学思想和科学精神，以及让科学得以运行的科学体制，科学家的行为规范和科学价值观。相对于我国的传统文化，现代科学是一个“陌生的”、“移植的”东西。尽管西方科学传入我国已有一百多年的历史，但我们更多地还是关注器物层面，强调科学之实用价值，而较少触及科学的文化层面，未能有效而普遍地触及到整个科学文化的移植和本土化问题。中国传统文化以及当今的社会文化仍在深刻地影响着中国科学的灵魂。可以说，迄20世纪结束，我国移植了现代科学及其学科体制，却在很大程度上拒斥与之相关的科学文化及相应制度安排。

科学是一项探索真理的事业，学科发展也有其内在的目标，探求真理的目标。在科技政策制定过程中，以外在的目标替代学科发展的内在目标，或是只看到外在目标而未能看到内在目标，均是不适当的。现代科学制度化进程的含义就在于：探索真理对于人类发展来说是必要的和有至上价值的，因而现代社会和国家须为探索真理的事业和人们提供制度性的支持和保护，须为之提供稳定的经费支持，更须为之提供基本的学术自由。

20世纪以来，科学与国家的目的不可分割地联系在一起，科

学事业的发展不可避免地要接受来自政府的直接或间接的支持、监督或干预，但这并不意味着，从此便不再谈科学自主和自由。事实上，在现当代条件下，在制定国家科技政策时充分考虑“任务”和学科的平衡，不但是最大限度实现学术自由、提升科学创造活力的有效路径，同时也是让科学服务于国家和社会需要的最有效的做法。这里存在着这样一种辩证法：科学技术系统只有在具有高度创造活力的情形下，才能在创新型国家建设过程中发挥最大作用。

在全社会范围内创造一种允许失败、自由探讨的科研氛围；尊重学科发展的内在规律，让科研人员充分发挥自己的创造潜能；充分尊重科学家的个人自由，不以“任务”作为学科发展的目标，让科学共同体自主地来决定学科的发展方向。这样做的结果往往比事先规划要更加激动人心。比如，19世纪末德国化学学科的发展史就充分说明了这一点。从内部条件上讲，首先是由于洪堡兄弟所创办的新型大学模式，主张教与学的自由、教学与研究相结合，使得自由创新成为德国的主流学术生态。从外部环境来看，德国是一个后发国家，不像英、法等国拥有大量的海外殖民地，只有依赖技术创新弥补资源的稀缺。在强大爱国热情的感召下，德国化学家的创新激情迸发，与市场开发相结合，在染料工业、化学制药工业方面进步神速，十余年间便领先于世界。

中国科学院作为国家科技事业“火车头”，有责任提升我国原始创新能力，有责任解决关系国家全局和长远发展的基础性、前瞻性、战略性重大科技问题，有责任引领中国科学走自主创新之路。中国科学院学部汇聚了我国优秀科学家的代表，更要责无旁贷地承担起引领中国科技进步和创新的重任，系统、深入地对自然科学各学科进行前瞻性战略研究。这一研究工作，旨在系统梳理世界自然科学各学科的发展历程，总结各学科的发展规律和内在逻辑，前瞻各学科中长期发展趋势，从而提炼出学科前沿的重大科学问题，提出学科发展的新概念和新思路。开展学科发展战略研究，也要面向我国现代化建设的长远战略需求，系统分析科技创新对人类社会发展和我国现代化进程的影响，注重新技术、新方法和新手段研究，

提炼出符合中国发展需求的新问题和重大战略方向。开展学科发展战略研究，还要从支撑学科发展的软、硬件环境和建设国家创新体系的整体要求出发，重点关注学科政策、重点领域、人才培养、经费投入、基础平台、管理体制等核心要素，为学科的均衡、持续、健康发展出谋划策。

2010年，在中国科学院各学部常委会的领导下，各学部依托国内高水平科研教育等单位，积极酝酿和组建了以院士为主体、众多专家参与的学科发展战略研究组。经过各研究组的深入调查和广泛研讨，形成了“中国学科发展战略”丛书，纳入“国家科学思想库—学术引领系列”陆续出版。学部诚挚感谢为学科发展战略研究付出心血的院士、专家们！

按照学部“十二五”工作规划部署，学科发展战略研究将持续开展，希望学科发展战略系列研究报告持续关注前沿，不断推陈出新，引导广大科学家与中国科学院学部一起，把握世界科学发展动态，夯实中国科学发展的基础，共同推动中国科学早日实现创新跨越！



---

## 序

---

根据《中国科学院学部“十二五”工作规划纲要》，为发扬学部学术引领和决策咨询的支撑作用，倡导科学民主，鼓励学术争鸣，充分发挥中国科学院学部对我国科学技术前沿和未来创新发展的引领作用，我们在这里与领域内众多专家学者一起，共同研讨“载人深空探测”学科发展战略，推动前沿科学理论的发展。

人类必将从近地轨道走向深空，载人深空探测是载人航天技术和无人深空探测技术发展的必然结合，是带动航天技术实现跨越式发展的龙头。从战略意义上讲，21世纪上半叶以载人登火星为远期目标，近期以载人登月为起点的载人深空探测工程代表了一个国家认识、开发和利用地外天体资源的能力，也是一个国家综合国力的象征，因此是当前世界航天强国的重点发展方向，应当处于重点优先发展的地位。

为保证这本《中国学科发展战略·载人深空探测》能够体现未来载人深空探测领域的发展趋势和重点方向，两年多来，我们组织了多次高层次战略科学专家的咨询审议会议。本书由我国从事载人航天和探月工程的专家、学者主笔，他们既具有丰富的工程实践经验，也具备面向未来的创新活力和激情，加之勤奋的工作、多方面的协作，所以本书凝聚了运载火箭/航天器总体技术，动力与能源技术，空间热物理技术，制导、导航与控制技术，着陆回收技术，材料、结构与制造技术，载人环境与生命保障科学与技术，人机联合作业技术，原位资源利用技术，月球及行星科学，空间生命科学，航天医学等多位学科领域专家的战略共识，希望本书的出版能够对广大科技工作者触摸和了解载人深空探测学科前沿、认知和把握学科发展动态、传承和发展学科文化、促进和激发实践创新有所帮

助，与世界人民一起共同推动人类走向深空的伟大事业！



2016年3月



# 前 言

---

2010年6月3日，中国科学院发布《关于组织开展学科发展战略研究的意见》，指出：开展学科发展战略研究，是学部作为我国科学技术最高学术机构的基本职责，是学部对我国科学技术发展发挥引领作用的重要体现，也是享有国家最高学术荣誉称号的院士们应尽的义务和责任。

为贯彻落实《中国科学院学部“十二五”工作规划纲要》及中国科学院学部《关于组织开展学科发展战略研究的意见》，切实做好学科发展战略研究工作，充分发挥中国科学院技术科学部对我国科学技术发展的引领作用和院士的学术带头作用，中国空间技术研究院依托自身在载人航天和月球探测领域取得的成就、技术优势和总体地位，结合国内外载人深空探测领域的发展现状及趋势，由叶培建院士牵头提出了开展载人深空探测学科发展战略研究的建议。

载人深空探测是载人航天技术和深空探测技术发展的必然结合，是带动航天技术实现跨越式发展的龙头，其技术水平直接体现了一个国家的综合国力水平。由于实施载人深空探测工程的技术难度大、投资规模大、对未来航天技术的发展影响巨大，因此前瞻性地开展载人深空探测学科发展战略研究显得尤为重要。

在中国科学院学部学科发展战略研究指导组的指导下，中国空间技术研究院载人航天总体部成立了载人深空探测学科战略研究工作组，由叶培建院士担任组长。此外还有载人航天工程论证中心、北京理工大学、哈尔滨工业大学、大连化学物理研究所航天员科研训练中心、航天推进技术研究院 11 所，以及中国空间技术研究院所属的钱学森空间技术实验室、载人航天总体部、总装与环境工程部队等共计 10 余家单位参加了战略研究工作，在课题研究工作中多

次得到了北京理工大学胡海岩院士等专家的指导。课题工作组本着“放眼未来、实事求是、团结合作、共谋发展”的精神，在中国科学院院士工作局的指导下，结合当前规划论证中的载人登月工程、深空探测工程的路线图和国际走向，全面深入地开展了学科发展战略研究工作，前瞻性地判断和分析了未来载人深空探测领域的发展趋势和应优先发展的领域和重点方向，力争为我国载人深空探测领域指明发展方向，做好学科储备。

本书由五章组成。第一章由果琳丽、张志贤、王平等同志编写，论述了载人深空探测的概念和内涵，开展载人深空探测活动的必要性，实施载人与无人深空探测任务的差异以及推动实施载人深空探测任务的发展原则。第二章由田林、张志贤等同志编写，先介绍了载人深空探测领域的国内外发展现状，包括月球/行星科学、空间生命科学以及载人月球探测、载人小行星探测、载人火星探测的工程技术发展概况；然后介绍了国内月球探测任务及载人航天任务的概况；再介绍了推动实施载人深空探测任务涉及的国际相关法律问题；最后总结了载人深空探测领域的发展趋势。第三章由张志贤、王平、齐玢、李志杰、田林、黄铁球等同志编写，围绕载人深空探测任务中的如何保障人员精确可靠到达、着陆地外天体并安全起飞返回地球，如何保障人员在长期飞行及长期驻留任务时的居住及生活环境，如何保障人员在地外天体的大范围机动和作业以及如何保障人员长期任务中的健康和安全的4个方面分析了存在的突出科技问题。第四章由张志贤、黄铁球等同志编写，根据“任务牵引”的时间紧迫性和“技术推动”的核心瓶颈以及颠覆性技术优先发展的原则，提出了应优先发展的科学领域和重点方向，包括空间生命科学，航天医学，动力与能源工程技术，材料、结构及制造技术，原位资源利用技术和人机联合作业技术。第五章由果琳丽、张志贤等同志编写，提出了应该优先发展的重点学科，提出应加强学科顶层规划、无人深空探测与载人深空探测融合发展、以近地轨道空间站为平台逐步验证载人深空探测关键技术、实施载人深空探测基础能力提升工程、加强国家重大研发计划支持、参与并掌握制定

太空法律主动权的政策建议。

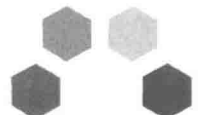
本课题的研究特点是指明了载人深空探测任务的未来发展战略，“去、登、回”是第一步，“驻”是第二步，“用”是第三步，核心是“人”，并围绕载人深空探测任务特点，梳理提炼了存在的突出科技问题及应该优先发展的学科方向。本课题历经两年多的时间，在研究过程中得到了中国科学院技术科学部领导、中国空间技术研究院载人航天总体部领导以及相关领域专家的指导和大力支持，在此一并致谢！同时感谢本课题组各参与单位的同志们，他们为课题的完成付出了辛勤劳动！

鉴于技术发展迅速，研究对象又具有前瞻性和不确定性，而工作组的水平和认识有限，因此对新事物的判断具有一定局限性，缺点甚至错误在所难免，敬请各位读者批评指正！

载人深空探测学科战略研究工作组

2016年3月





# 摘 要

---

## 一、载人深空探测概念和内涵

载人深空探测任务是指以月球、小行星、火星及其卫星为目标的有人类航天员直接参与的地外天体探测任务，是以月球为代表的深空探测工程和载人航天工程后续发展的必然结合。在 21 世纪上半叶科技进步可预见的范围内，载人深空探测可达目标包括月球、小行星、火星及其卫星。航天器的飞行包括去、登、驻、用、回等飞行过程，任务包括短期、中期、长期任务。

载人深空探测的必要性主要体现在以下五个方面：①从人类自身角度看，人类探索未知世界的本能及好奇心决定了人类参与深空探测是必然的；②从人类社会发展的角度看，人类社会生产力的持续发展的前进性与地球资源、生存空间的有限性之间的矛盾以及人类拓展生存空间的客观规律，决定了载人深空探测是必然的；③从人类特性角度看，人类区别于机器的生物特性和智慧特性决定了人类参与深空探测任务是必然的；④从国家与民族发展角度看，有人参与深空探测对国家未来抢占深空探测主动权和制高点有着不可估量的战略意义；⑤作为国家重大战略性科技工程，载人深空探测工程将引领我国空间科学研究和航天工程技术实现跨越式发展。

实施载人深空探测任务发展原则遵循“以有人参与为目的，先期开展多项无人深空探测任务，将无人与载人深空探测任务融合发展，逐步突破核心关键技术，带动科学技术的跨越式发展”的原则，这也是人类探索宇宙、走向深空的基本原则。