

学术引领系列



国家科学思想库

中国学科发展战略

航天运输系统

中国科学院



科学出版社

014033190

N12

36

V6



国家科学思想库

中国学科发展战略

航天运输系统

中国科学院



科学出版社

北京



北航

C1721913

N12
36
V6

001330310

“中国学科发展战略”丛书白以院士为主
体，众多
人调查和广
泛讨论共同完成



中国科学院图书馆

图书在版编目(CIP)数据

中国学科发展战略·航天运输系统/中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2014

(中国学科发展战略)

ISBN 978-7-03-037913-9

I. ①中… II. ①中… III. ①航天学-学科发展-发展战略-中国
IV. ①V4-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 134036 号

丛书策划: 侯俊琳 牛 玲

责任编辑: 侯俊琳 杨婵娟 / 责任校对: 鲁 素

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 黄华斌 陈 敬

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

本书定价

科学出版社

地址: 北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100071

电话: (010) 64015000

网址: 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

*

2014年5月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2014年5月第一次印刷 印张: 11 3/4

字数: 217 000

定价: 58.00 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：詹文龙 朱道本 陈 颢

陈宜瑜 李 未 顾秉林

工作组

组 长：周德进

副组长：王敬泽 刘春杰

成 员：马新勇 林宏侠 张 恒

申倚敏 薛 淮 张家元

钱莹洁 傅 敏 刘伟伟

根据学科发展战略研究总体研究工作计划，我们特别注意到学

习、领会、李耳《老子》第41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。”

中国学科发展战略·航天运输系统

工作组

组 长：刘竹生

成 员：彭小波 侯 雄 李贵成 申 麟

代 坤 刘 伟 张 永 康磊晶

高朝辉 张 菽 孙伶俐 李 进

李宇飞 单文杰 于 霞 高晓明

张承志 王颖昕



总 序

九层之台，起于累土^①

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快速发展,而且也为人 才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！



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专家学者一道，共同研讨“航天运输系统”学科发展战略，推动前沿科学理论的发展。

航天运输系统是确保人类开展航天活动的重要前提和基础，是发展空间技术、开发空间资源、确保空间安全的基础，是牵引航天产业发展的龙头。从战略意义上讲，航天运输系统的技术水平代表着一个国家自主进出空间的能力，也体现着一个国家最终利用空间和发展空间技术的能力，是一个国家航天能力的基础，也是综合国力的象征，应处在优先和重点发展的地位。

我们要为航天运输系统领域的研究和发展搭建学术交流与合作的平台，共同探讨航天运输系统发展的新途径、新技术和新理念，更好地指导航天运输系统领域的发展，加快我国从航天大国向航天强国迈进的步伐。

感谢众专家学者和我们分享航天运输系统领域内的丰富经验和研究成果，为航天运输系统领域的研究注入新的思路和活力。众所周知，探索宇宙与空间，离不开强有力的航天运输系统，尤其是开展以研究宇宙、物质和生命为目标的深空探测，更需要航天运输系统具有较强的运载能力。以探知宇宙为目标的航天运输系统的发展，可以充分提升技术能力，极大拓展人类的认知领域。

* 该序为刘竹生院士在2012年2月中国科学院学部“航天运输系统科技前沿论坛”交流会上的讲话，文字略有删减。



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,中国运载火箭技术研究院依托自身在航天运输系统领域取得的成就、技术优势和突出地位,结合国内外航天运输系统领域的发展现状及趋势,提出了开展航天运输系统学科发展战略研究的建议。

航天运输系统是发展航天技术最重要的基础,其技术水平直接关系到一个国家航天领域的发展水平。随着科技的发展,作为航天技术重要支撑的航天运输系统,其发展前景势必将更为广阔,而前瞻性地开展航天运输系统学科发展战略研究尤为重要。

在中国科学院学部学科发展战略研究指导组的指导下,中国运载火箭技术研究院研究发展中心成立航天运输系统发展战略研究工作组,组长由刘竹生院士担任。自开展研究以来,航天运输系统发展战略研究工作组本着“精诚合作,共谋发展”的精神,在中国科学院院士工作局的指导下,全面深入开展航天运输系统学科发展战略研究,推进建设航天科技工业新体系,力争为中国航天事业的发展做出更大的贡献。

航天运输系统学科发展战略研究的主要内容如下:系统梳理航

天运输系统发展历程,研究航天运输系统发展规律;展望航天运输系统中长期发展趋势;提炼航天运输系统发展需求和重大战略方向;从支撑航天运输系统发展的软、硬件环境建设条件出发,重点分析国内外相关行业政策、重点领域等核心要素。在此基础上,对我国航天运输系统学科的发展提出政策建议,保障和促进我国航天运输系统的持续、健康发展。

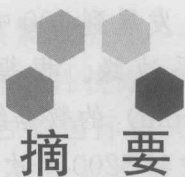
按照上述思路,航天运输系统发展战略研究工作组搜集阅读大量相关资料,策划书稿的篇章架构,先后组织多次研讨会,明确书稿内容。2012年,航天运输系统科学与技术前沿论坛顺利召开,百余院士、专家出席了论坛,分享了航天运输系统领域的研究成果,为课题研究贡献了思想。航天运输系统发展战略研究工作组逐字逐句对书稿进行多轮校对,最终形成本书。

本书由五章组成。第一章概述了航天运输系统领域对科学技术发展的促进作用;第二章从一次性运载火箭、空间运输航天运载器、重复使用天地往返运载器三方面,介绍了美国、俄罗斯、欧盟、日本、印度等主要航天国家和组织及我国航天运输系统的发展现状;第三章基于国外航天运输系统发展现状,总结其发展趋势,同时结合我国航天运输系统发展现状,分析我国航天运输系统的发展趋势及与航天强国的差距,对我国航天运输系统未来发展的关键技术进行了预测;第四章阐述了我国航天运输系统的发展需求,针对现状与需求,提出我国航天运输系统的重点发展方向;第五章从加强顶层设计、突出重点领域、人才培养等方面,提出对我国航天运输系统学科的发展建议。本书涉及的有关参考文献均附于书后。

课题经历了一年多的研究,汇集了众多航天运输系统领域专家学者的研究成果和心血,并得到了中国科学院领导、中国运载火箭技术研究院研究发展中心领导特别是科学技术委员会领导,以及相关领域专家的指导和大力支持,在此一并表示衷心的感谢!此外,还要感谢中国运载火箭技术研究院研究发展中心发展战略研究室、航天运输系统总体技术研究室、天地往返系统总体技术研究室课题组的同志们,他们为本书的编写付出了辛勤的劳动。

航天运输系统发展战略研究工作组

2012年8月



摘 要

航天运输系统是执行往返于地球表面和空间轨道之间、空间轨道与轨道之间及地外天体着陆和返回运输任务的运输工具的总称,包括载人飞船、载货飞船、运载火箭、航天飞机、空天飞机、应急救援飞行器和各种辅助系统等。它是发展空间技术、确保空间安全的基础,同时也是实现各类航天器快速部署、重构、扩充和维护的保障,更是大规模开发和利用空间资源的载体,是推动人类社会进步、促进新军事变革的重要力量。

作为现代科学技术的结晶,航天运输系统是现代科学技术高度的综合集成。航天运输系统的发展,使人类不再受限于地球引力,能够直接进入空间或通过各种空间探测器获取资料、信息,为人类认识宇宙空间自然现象、研究其内在规律提供了前所未有的条件。与航天运输系统学科相关的分支学科,如空间物理学、空间天文学、空间化学、地质和空间微重力学科等,也相继得到了不同程度的发展。

本书从国内外航天运输系统的发展现状入手,分析国内外航天运输系统的发展趋势,结合我国航天运输系统学科的发展现状,提出关于促进航天运输系统学科发展的意见和建议。

一、国外航天运输系统发展现状

第二次世界大战结束后,在德国 V-2 导弹技术的基础上,苏联成功研制了本国的运载火箭,发射了世界上第一颗人造卫星;美国也成功研制了自己的火箭,并且第一个实现了人类登上月球的梦想。这个时期,航天运输系统主要采用一次性运载火箭和飞船,运

载能力从最早的几十千克,发展到 100 吨以上,活动范围从近地轨道拓展到月球乃至太阳系边缘。根据航天发射记录报告网站(www.spacelaunchreport.com)的数据统计,截至 2012 年 11 月 31 日,世界共进行各类航天发射 5200 余次。其中,苏联/俄罗斯 3100 余次,美国 1500 余次,欧洲 231 次,中国 173 次,日本 67 次,印度 38 次。

一次性运载火箭仍是目前人类进入空间的最主要运输手段。同时,世界各国为探索廉价可靠的可重复使用运载器技术,也开展了大量技术攻关和试验。

空间运输航天运载器是航天运输系统的重要组成部分,为了拓展航天运输系统的轨道转移运输能力,世界各国积极发展运载上面级技术,增强运载火箭的任务适应性,至今已研制了数十种各类上面级,如美国的半人马座 G、德尔它 4 上面级,俄罗斯的质子号 D 级、“微风”上面级和“弗雷盖特”(FREGAT)上面级等。这些上面级一般具有多次启动变轨能力,可以进行多星分配轨道部署,为发展轨道转移运输系统奠定了坚实的技术基础。

轨道转移运输飞行器具有多功能性、自主性、机动性和灵活性等特点,应用前景广泛,引起了世界各航天大国的关注。深空探测轨道器源于人类探索宇宙奥秘的驱动,自 1958 年人类首次探月活动开始,国外已经开展了对月球、太阳系内行星及其卫星、小行星、彗星等天体的探测,主要集中在月球和火星。据统计,截至 2011 年 8 月,人类对地球以外的太阳系天体开展的探测任务共约 226 次,以探测月球为主的任务约为 109 次,探测火星的任务约为 38 次。典型的有苏联的“月球号”系列探测器、美国的“火星全球勘测者”、“奥德赛”和“火星勘测号”等。其中有较多的深空飞行器采用深空探测轨道器进行探测器的运输。

可重复使用航天运载器是降低航天运输成本的有效手段,是未来航天发展的必然趋势。自航天飞机投入使用以来,研制可重复使用运载器一直是航天领域的热点,各主要航天研发机构纷纷开展相应的研究计划和技术验证。

在人类太空活动日益频繁的今天，一个国家拥有一个国际性的航天发射场，在政治、经济、科技方面都将获得巨大的战略利益。世界上主要航天大国为了占领国际航天市场，适应新型航天运载器、运载火箭发展的需要，改建或新建了一些航天发射中心，在提高发射效率、缩短发射周期、降低发射成本、保证发射安全等方面有了很大的进步，使航天发射中心朝现代化、大型化方向发展。

二、国外航天运输系统发展趋势

各主要航天国家十分注重航天运输系统发展的顶层谋划和战略管理，纷纷出台目标宏伟、规划长远的航天运输系统发展战略与规划，持续加大航天运输领域的投入，以重大工程或重大计划的实施带动空间技术和相关高技术领域快速发展。目前国外航天运输系统的发展主要呈现以下趋势。

(1) 一次性运载火箭技术仍将占据航天运载技术的绝对主导地位，并在不断改进。

美国、俄罗斯、欧盟、日本等主要航天国家和组织都建立了比较完整的运载火箭型谱，基本完成了更新换代。各航天大国目前所使用的新型运载火箭一般采用大直径芯级，使用无毒推进剂，近地轨道最大运载能力均超过 20 吨，地球同步转移轨道最大运载能力达到 10 吨级。

主要航天国家新研制火箭在不断提高运载能力的同时，强调降低成本，提高可靠性和发射成功率。众多新型运载火箭的研制成功，也导致国际发射市场的竞争更为激烈，除了传统的性能、价格竞争外，发射服务的快速、周到、高标准和高可靠性也成为竞争的重点。

(2) 深空探测和大规模空间设施建设任务，对重型运载火箭和空间组装技术的发展提出迫切需求。

各航天大国纷纷制订深空探测规划，美国计划 2025 年登陆火星，俄罗斯制订了 2040 年前的航天发展计划，目标是在 2025 年以前派遣宇航员登上月球，这些规划的实施对重型运载火箭研制提出