

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

基本天文学

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 PUBLICATION FOUNDATION



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

基本天文学

中国科学院



科学出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

基本天文学/中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2016.11
(中国学科发展战略)
ISBN 978-7-03-050670-2

I. ①基… II. ①中… III. ①天文学-学科发展-发展战略-中国
IV. ①P1-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 272971 号

丛书策划: 侯俊琳 牛 玲
责任编辑: 朱萍萍 郭学雯 / 责任校对: 李 影
责任印制: 张 伟 / 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>

北京京华虎彩印刷有限公司 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 B5

2016 年 11 月第一次印刷 印张: 19 3/4

字数: 330 000

定价: 98.00 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·基本天文学

研 究 组

专题组负责人：孙义燧 黄 珉

专 题 组 成 员：艾国祥 李济生 廖新浩

李志刚 李东明 黄天衣

刘伟伟 董国轩 刘庆忠

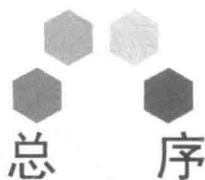
工作组负责人：黄 珉

工 作 组 成 员：吴 斌 胡小工 朱 紫

周济林 徐 波 陈 力

赵长印 傅燕宁 李孝辉

秘 书：董晓军



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，我们特别注意到学科发展的以下几方面的特征和趋势。

^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。”

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、工艺科和医学科，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，即探求真理的目标。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！



2012年4月，经中国科学院数学物理学部常委会讨论通过并经中国科学院院士工作局^①批准，中国科学院学部学科发展战略研究项目“基本天文学及其应用发展战略研究”正式启动。2012年6月8日，项目成立了由11名院士和专家组成的基本天文学及其应用发展战略研究专题组及由11名在第一线从事基本天文学及其应用研究和教育的中青年学术骨干组成的工作组。

2009年年初，国家自然科学基金委员会与中国科学院学部决定合作开展2011~2020年我国学科发展战略研究。在国家自然科学基金委员会和中国科学院学部的领导下成立了天文学科战略研究组及秘书组，在2010年完成了《2011~2020年中国天文学科发展战略研究报告》。本书拟在此研究报告的基础上，针对国际上基本天文学及其应用研究的现状、发展趋势以及我国蓬勃发展的相应的观测设备和研究工作，进一步对我国近年来基本天文学及其应用在设备建设和研究方向等方面进行深入的调研和讨论，提出我国基本天文学及其应用的发展战略框架、发展举措与建议。

结合基本天文学及其应用研究领域的实际情况，专题组和工作组共同商定了本书的基本内容和撰写提纲。共包括以下7个方面内容：战略地位、发展规律与发展态势、发展现状、发展目标与建议、优先发展领域与重要研究方向、国际合作、保障措施。

本书作者认为，近年来，我国在基本天文学领域投入的经费大

^① 2013年更名为中国科学院学部工作局。

幅度增加，基本天文学研究和教育有了长足发展，逐步形成了从人才培养、仪器设备研制、观测和理论研究到应用服务的较完整体系，具有了一批在国内外有影响的学术带头人和优秀创新研究群体，研究队伍的年龄结构趋于合理。我国基本天文学及其应用研究已经取得了一批在国际上有相当显示度的成果，总体水平在发展中国家中位居前茅，在国际上也成为一支不可忽视的力量。但是同发达国家相比，目前我国基本天文设备、研究和教育的水平仍然存在着很大差距。根据对国内外基本天文学研究现状和发展趋势的分析，建议未来 10 年我国基本天文学领域的发展目标是：突出重点，建成和运行若干个在国际上有一定影响的与基本天文学有关的大型地面和空间天文观测设备；加强投入，筹建基本天文学国家重点实验室；充分挖掘国内已建设备的潜力，利用国际开放的设备和数据开展基本天文学研究；在重点大学中大力发展基本天文学的教育和研究，积极培养优秀人才；加强理论研究，提出创新思想、观点和理论，力争突破，使我国基本天文学在设备和研究队伍的整体水平上有一个飞跃，做出在国际上有重大影响的工作，并在满足我国战略需求中发挥更大的作用。

根据上述发展目标，本书提出了我国天文学在未来 10 年内的 6 个优先发展领域和重要研究方向。

本书强调指出，基本天文学及其应用的发展中最关键的是人才队伍建设。因此，必须花大力气培养年轻人才，特别是优秀的“将”才和“帅”才。要大力支持中国科学院和高校联合，加强基本天文学教育，扶持研究队伍，并继续增加基本天文学教育和研究经费的投入。

本书作者认为，当代基本天文学及其应用的发展都离不开广泛的国际合作。我国要大力推进重大设备的国际合作计划，特别是推进以我国为主导的大设备的合作项目；要积极鼓励多种形式的人才交流，广泛吸引和组织海外学子和优秀科学家参与发展我国的基本

天文学研究，包括合作研究、联合培养研究生、举办各类学术讨论会和讲习班等。

本书按基本天文学及其应用领域的研究内容共分为九章。第一章为天体测量学，由朱紫、陈力执笔。第二章为天体力学，由周济林、周礼勇、孙义燧执笔。第三章为时间频率，由李志刚、李孝辉执笔。第四章为相对论基本天文学，由黄天衣、黄斌执笔。第五章为历书天文学，由傅燕宁执笔。第六章为行星内部结构与动力学，由廖新浩、季江徽、徐伟彪执笔。第七章为天文地球动力学，由黄乘利、黄斌执笔。第八章为深空探测与导航，由徐波、王小亚执笔。第九章为人造天体动力学与空间环境监测，由赵长印、吴连大、赵海斌执笔。此外，许多专家为撰写各章内容提供了很好的素材和帮助，除在各章表示谢意外，在此一并表示诚挚的感谢。

本书凝聚了许多院士和专家学者的智慧和努力，不仅对国内外基本天文学及其应用的发展现状和态势进行了详细的评述，更对未来10年我国基本天文学及其应用的发展战略和措施提出了一些重要、有意义的思考和建议。

希望本书能给各级领导和相关部门在决策时提供参考，对从事各类基本天文学及其应用的教育和研究的专家有所启迪，并对研究生和大学生的入门和成长有所帮助。

最后，我们真诚地感谢热心参与本书编写工作、提供素材和建议的所有院士和专家学者，感谢国家自然科学基金委员会和中国科学院学部领导的指导和关心。

基本天文学及其应用的学科发展战略研究组

2016年7月



目前,国际上将天体测量学与天体力学、时间频率等研究领域统称为基本天文学(fundamental astronomy)。国际天文学联合会(International Astronomical Union, IAU)的第一学部(Division A)为基本天文学,按最新统计,有注册会员 1219 名(约占 IAU 注册会员的 7%),其中中国会员为 140 名,占总数的 11.5%。第一学部下设历书、天体力学与动力天文学、天体测量、地球自转、时间、相对论基本天文学、视向速度 7 个专业委员会以及目前隶属该学部的 7 个工作组:小地面望远镜的天体测量、国际天球参考架的多波段实现、基本天文学的数值标准(更新 IAU 最佳估计值)、基于脉冲星的时间尺度、UTC^①的重新定义、基本天文学的标准(SOFA,提供标准算法、模型和软件)和国际天球参考架的第三次实现。此外,还有一个与第六学部(Division F)联合的工作组:测绘坐标与自转根数。基本天文学是天文学可以直接服务于国民经济的重要学科之一。随着天文学的发展,基本天文学在不断地丰富学科内涵,拓展研究对象,进一步明确了在天文学乃至国民经济发展中的重要地位和作用。

一、基本天文学

基本天文学主要包括天体测量学、天体力学、时间频率、相对

^① 协调世界时,又称世界统一时间、世界标准时间、国际协调时间。英文表达为 Coordinated Universal Time, 法文表示为 Temps Universel Coordonné。英文(CUT)和法文(TUC)的缩写不同,作为妥协,简称 UTC。

论基本天文学、历书天文学和地球自转。

(一) 天体测量学

天体测量学是天文学最古老的二级学科之一，主要研究天文参考系以及天体的位置、形状、大小和运动精确测量。目前该学科的热点前沿领域包括多波段参考架的建立和参考架连接，天体测量精确资料在天文学研究中的应用等。近年来，银河系结构高精度甚长基线干涉测量技术（very long baseline interferometry, VLBI）天体测量技术的发展、依巴谷（Hipparcos）卫星星表的发表、Gaia 空间天体测量卫星的成功发射和新参考系的引入、时间尺度的完善和 CCD 技术的应用，使天体测量进入了一个新时代。

(二) 天体力学

天体力学也是天文学最古老的二级学科之一，主要研究太阳系天体、太阳系外行星的起源和稳定性。天体力学研究领域包括：摄动理论、定性理论、数值方法、非线性天体力学、后牛顿天体力学、历书天文学、太阳系与行星系统动力学、航天器动力学、行星形状和自转动力学、恒星系统动力学等。传统天体力学的研究对象主要集中在太阳系，包括太阳系大行星、小行星、彗星、近地天体等。20 世纪 90 年代大量海王星轨道外的小天体和太阳系外的行星系统的发现，给天体力学带来了许多崭新的研究对象，也促进了天体力学理论研究和观测方法的快速发展。

(三) 时间频率

时间频率领域原是天体测量的一个研究领域，主要研究时间系统的产生、保持、发播等。由于其与日常生活、深空探测和国防等联系日益密切，近年来逐渐成为基本天文学的一个单独组成部分。时间频率研究主要包括频率标准源、时间频率测量、守时技术、授时技术等领域。

(四) 相对论基本天文学

相对论基本天文学也是天体测量和天体力学研究的一个领域，主要研究在相对论时空框架下基本天文学的观测和理论问题。随着观测精度的不断提高，天体的运动已经无法用牛顿框架下的基本天文学解释了。相对论基本天文学应运而生，逐渐成为基本天文学中的新兴学科。它主要研究基本天文学在相对论时空框架下的观测和理论问题，包括天文参考系的相对论理论、天体测量的相对论归算、天体在相对论框架下的平动和转动理论、相对论框架下时空尺度问题和时间同步问题、引力理论的天体测量检验、相对论框架下天文常数和天文概念（如黄道、分点）的定义等。

(五) 历书天文学

历书天文学原是天体力学的一个研究领域，主要研究大行星、小行星、彗星等天体历表的产生、解释和天象预报。随着历书与空间探测、地球科学应用和国防等的联系日趋密切，现已逐渐成为基本天文学的另一个独立组成部分。其主要学科任务是建立天体运动理论和开展天文历书服务，包括高精度天文历书的编算和发布、新软件开发、资料维护和历书的网络建设等。

(六) 地球自转

地球自转的观测和动力学研究历来是天体测量和天体力学的子领域，主要观测和研究地极在天球和地球参考系中的运动。由于其与日常生活、导航、深空探测、国防等联系日益密切并且重要，近年来也逐渐成为基本天文学的一个单独组成部分。它主要研究地球自转的观测和动力学研究、地球自转参数的精确测定、天球和地球参考系的联结、地球自转新理论等。

与基本天文学及其应用有关的地面观测设备有：光电等高仪、子午环、光学和射电望远镜、原子钟等。与基本天文学有关的空间