

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

地球生物学

中国科学院



科学出版社

中国科学院
中国科学院



“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国学科发展战略

地球生物学

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

地球生物学

中国科学院

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

地球生物学/中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2015. 6

(中国学科发展战略)

ISBN 978-7-03-044931-3

I. ①地… II. ①中… III. ①地球科学—学科发展—发展战略—中国
②生命科学—学科发展—发展战略—中国 IV. ①P-12 ②Q1-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 128484 号

丛书策划: 侯俊琳 牛 玲

责任编辑: 牛 玲 侯彩霞 / 责任校对: 韩 杨

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

*

2015 年 7 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2015 年 7 月第一次印刷 印张: 24 1/2 插页: 6

字数: 450 000

定价: 158.00 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：李 婷

副组长：王敬泽 刘春杰

成 员：钱莹洁 马新勇 申倚敏

薛 淮 张家元 林宏侠

冯 霞 赵剑峰

中国学科发展战略·地球生物学

专 家 组

组 长：殷鸿福

成 员：孙 枢 欧阳自远 戎嘉余
焦念志 周忠和 刘 羽
童金南 H. Richard Lane

秘 书：龚剑明

工 作 组

组 长：谢树成

成 员：（以姓氏拼音为序）

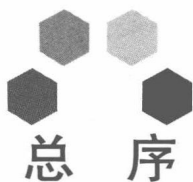
曹长群 董海良 樊隽轩
黄定华 史晓颖 王永标
肖 湘 朱 敏

秘 书：陈 林

撰 写 组

组 长：谢树成

成 员：殷鸿福 欧阳自远 史晓颖
曹长群 董海良 肖 龙
肖 湘 黄定华 李一良
王永标 蒋宏忱 侯卫国
罗根明 黄咸雨 杨 欢
刘 邓



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。”

科学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，探索真理的目标。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。

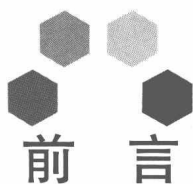
在全社会范围内创造一种允许失败、自由探讨的科研氛围；尊重学科发展的内在规律，让科研人员充分发挥自己的创造潜能；充分尊重科学家的个人自由，不以“任务”作为学科发展的目标，让科学共同体自主地来决定学科的发展方向。这样做的结果往往比事先规划要更加激动人心。比如，19世纪末德国化学学科的发展史就充分说明了这一点。从内部条件上讲，首先是由于洪堡兄弟所创办的新型大学模式，主张教与学的自由、教学与研究相结合，使得自由创新成为德国的主流学术生态。从外部环境来看，德国是一个后发国家，不像英、法等国拥有大量的海外殖民地，只有依赖技术创新弥补资源的稀缺。在强大爱国热情的感召下，德国化学家的创新激情迸发，与市场开发相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



为了分析当前国际地球生物学的发展特征、动向和趋势，提炼地球生物学的重大科学问题及符合我国发展需求的重大战略研究方向，经中国科学院地学部批准，“地球生物学与天体生物学学科发展战略研究”项目于 2011 年 10 月正式立项。殷鸿福院士担任该项目的负责人。

两年来，该项目分别在北京、武汉、上海等地组织了 3 次专家组会议、3 次工作组会议、3 次国内学术研讨会、2 次国际学术会议。孙枢、殷鸿福、欧阳自远、戎嘉余、傅家谟、李廷栋、张国伟、林学钰、李曙光、金振民、翟明国、舒德干、赵国屏、刘丛强、焦念志、周忠和等 17 位院士先后参加这些会议的讨论，他们为推进我国地球生物学的发展，特别是对本书一些关键内容的撰写提出了许多建设性意见，在很大程度上提高了本书的前瞻性。

本书是在项目执行过程中，在各种讨论会的基础上，由地球生物学相关领域的专家撰写而成。既有地球科学领域的专家，也有生命科学领域专家参与撰写。全书共 8 章，第一章由谢树成、殷鸿福编写；第二章由史晓颖、李一良、曹长群编写；第三章由曹长群编写；第四章由谢树成、罗根明、黄咸雨、杨欢、刘邓编写；第五章由董海良、王永标编写；第六章由董海良、肖湘、蒋宏忱、侯卫国编写；第七章由肖龙、黄定华、肖湘、李一良编写，欧阳自远院士对第七章进行了指导和修改；第八章由殷鸿福、谢树成编写。全书由殷鸿福、谢树成统一修改和统稿。

第一章主要阐述了地球生物学的定义、学科地位与国内外发展现状，特别是对地球生物学的研究内容、重大科学问题及近几年的进展

进行了分析。第二到七章主要对当前的重点前沿研究领域进行总结,并指出了每个领域未来的突破方向。第二章是关于地球早期的地球生物学研究,涉及宜居行星的形成、地球生命起源,以及前寒武纪大气成氧、海洋水化学与微生物演化之间的关系。第三章主要总结了新元古代以来动物的起源、演化及其环境背景,特别是显生宙几次生物大灭绝事件及其可能的环境致因。第四章从生物地球化学角度分析微生物功能群对环境变化的响应和反馈。第五章从微生物与矿物、岩石之间的相互作用来分析微生物的地质作用。第六章总结了微生物对极端物理环境因子、极端化学环境因子的响应能力,并从能量代谢和分子基础探索生命演化的本质及其与环境的作用。第七章总结了太空环境对地球生命系统的影响,以及当前人们对地外生命探索的现状。第八章对中国地球生物学的发展提出了建议及措施。

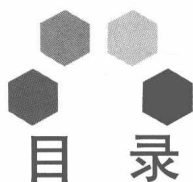
本书不仅涉及生命的演化,特别是动物的演化,还更多地分析了与生命演化相伴的地质环境条件,包括地球环境和太空环境,物理环境和化学环境;不仅阐述了不同地质环境对生命的影响,也从不同侧面涉及生物对环境的作用,特别是微生物通过元素的生物地球化学循环、矿物岩石的形成和分解等途径对地质环境所起的重要作用;不仅涉及当前国际研究前沿及其进展,也有未来突破方向的分析。如果说,2011年我们出版的《地球生物学:生命与地球环境的相互作用和协同演化》是对地球生物学的一些基本认识进行梳理,那么,这本《中国学科发展战略·地球生物学》是对地球生物学的未来发展进行一些探索,并专门开辟一章,把地球生物学向天体生物学进行了延伸。

本书一些图件的出版得到了诸多机构的许可,它们是爱思唯尔出版公司(Publishers of Elsevier)、约翰·威利父子出版公司(John Wiley and Sons)、马提亚斯·伯特哈尔特公司(Matthias Burkhalter)、自然出版集团(Nature Publishing Group)、美国矿物学会(Mineralogical Society of America)、美国航空航天局(NASA)科学出版集团(Science Publishing Group)等,我们对这些机构表示衷心的感谢。

本书的酝酿，是从 2011 年年底项目立项开始的，到本书的完成也就是两年多的时间。虽然各位编写人员兢兢业业，但由于时间仓促，难免挂一漏万。不当之处，敬请批评指正。

殷鸿福

2014 年 10 月



目 录

总序	i
前言	vii

第一章 地球生物学概述 1

第一节 地球生物学的定义、学科地位与发展现状	1
一、地球生物学的定义	1
二、地球生物学的研究对象	3
三、地球生物学的学科地位	4
四、地球生物学的特点	4
五、国际地球生物学的发展现状	5
六、中国地球生物学的发展现状	11
第二节 地球生物学的主要研究进展、重大科学问题和研究内容 ..	15
一、地球生物学的主要研究进展	15
二、地球生物学要解决的重大科学问题	23
三、地球生物学的主要研究内容、发展重点和应用前景	25
参考文献	29

第二章 早期生命起源、演化及其环境背景 38

第一节 宜居行星的形成与地球生命起源	38
一、早期地球环境与生命起源	39
二、氢、氮、磷和金属蛋白等生源要素的形成环境	44
三、最早的生命记录与早期生物圈	46
第二节 前寒武纪主要的微生物功能群及其演化	51

一、厌氧微生物与化能自养微生物群	52
二、光合自养微生物的出现及其对大气-海洋系统的影响	54
三、真核生物的起源与早期演化	57
第三节 大气成氧、海洋化学演化与微生物相互作用	60
一、大气成氧事件与大气圈演化阶段	60
二、海洋氧化与海水化学条件演变	67
三、大气-海洋系统演化与微生物相互作用	73
第四节 未来突破方向	80
一、大气成氧机制及其对地球环境的影响过程	80
二、海洋化学转换对元素化学循环的影响机制	81
三、地球早期环境演变对生命演化的控制机制	81
参考文献	82

第三章 新元古代以来生态系统的演变和环境背景

第一节 新元古代地球环境与后生动物起源、辐射	103
一、新元古代环境背景	103
二、埃迪卡拉纪动物起源与寒武纪生物大爆发	104
三、埃迪卡拉纪与寒武纪生物演化与环境的关系	109
第二节 古生代-三叠纪海洋生态系统演变与环境背景	112
一、古生代-三叠纪构造演化与环境背景	113
二、海洋生态系统演变与生物辐射事件	115
第三节 古生代-三叠纪海洋生物灭绝事件	122
一、奥陶纪末期生物灭绝事件	125
二、泥盆纪生物灭绝事件	127
三、石炭纪中期生物灭绝事件	128
四、二叠纪-三叠纪之交生物集群灭绝事件	130
五、三叠纪末期生物灭绝事件	131
第四节 未来突破方向	132
一、高精度年代地层框架	132
二、生物多样性的定量统计	132
三、地质事件过程的异同对比和模式分析	133
四、生物灭绝的环境机制	133
参考文献	136