

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

海洋科学

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

海洋科学

中国科学院

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

海洋科学/中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2016.1

(中国学科发展战略)

ISBN 978-7-03-045117-0

I. ①海… II. ①中… III. ①海洋学-学科发展-发展战略-中国 IV. ①P7-12

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第132952号

丛书策划: 侯俊琳 牛 玲

责任编辑: 石 卉 杨婵娟 王茜艳/责任校对: 李 影

责任印制: 张 倩/封面设计: 黄华斌 陈 敬

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1月第一版 开本: 720×1000 1/16

2016年1月第一次印刷 印张: 19 1/2

字数: 394 000

定价: 148.00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·海洋科学

专家组

组 长：苏纪兰

成 员：冯士筴 胡敦欣 汪品先

刘瑞玉 秦蕴珊 唐启升

张 经 陈大可 翦知潜

赵美训 孙 松 戴民汉

工作组

组 长：李家彪

成 员：陈大可 陈建芳



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的手段。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。

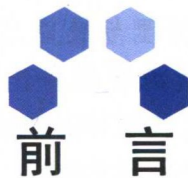
在全社会范围内创造一种允许失败、自由探讨的科研氛围；尊重学科发展的内在规律，让科研人员充分发挥自己的创造潜能；充分尊重科学家的个人自由，不以“任务”作为学科发展的目标，让科学共同体自主地来决定学科的发展方向。这样做的结果往往比事先规划要更加激动人心。比如，19世纪末德国化学学科的发展史就充分说明了这一点。从内部条件上讲，首先是由于洪堡兄弟所创办的新型大学模式，主张教与学的自由、教学与研究相结合，使得自由创新成为德国的主流学术生态。从外部环境来看，德国是一个后发国家，不像英、法等国拥有大量的海外殖民地，只有依赖技术创新弥补资源的稀缺。在强大爱国热情的感召下，德国化学家的创新激情迸发，与市场开发相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



前言

学科的可持续发展是实现科学技术重点突破与跨越发展的基础，是推动以科学为基础的技术创新与经济增长的重要保障。海洋科学作为一门学科，其发展历史并不长，尚处于快速发展期，但其内在学科发展动力相当强劲，这部分缘于当今社会、经济、军事发展对海洋及其空间和环境资源的需求。随着当今社会对全球化需求和对全球变化关注的与日俱增，海洋科学研究的重要地位更是上升到前所未有的高度。为了总结和梳理海洋科学的发展规律，展望其发展趋势，建设和完善我国海洋科学学科体系、强化我国海洋科技的综合竞争力，中国科学院学部发起了学科战略研究，亦即本书写作的初衷。

众所周知，一级学科的学科和人才基础均有赖于二级学科的积淀，但学科所寻求的拟解决的问题往往针对的是各二级分支学科的集成，也就是说，我们研究的对象并非是局部的，而是系统的。海洋科学作为一门一级学科，研究的是系统水平上的海洋及其时空演变规律，以及其在地球系统中的作用。而其学科的发展和积淀，则体现于物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学、海洋地质学等分支学科的发展与进步。在海洋科学作为一门一级学科的层面上，近期已有一些侧重重大科学问题导向的战略研究，如中国科学院的“创新 2050：科学技术与中国的未来”丛书之《中国至 2050 年海洋科技发展路线图》（科学出版社，2009 年），以及国家自然科学基金委员会和中国科学院的《未来 10 年中国学科发展战略·海洋科学》（科学出版社，2012 年）。本书在充分汲取这两个战略研究精华的基础上，更为细致地对海洋学科各分支学科

的内涵和发展规律进行了梳理与展望，并拟通过对若干重大交叉科学问题的阐释与展望剖析海洋学科作为一级学科的发展趋势。

本书以海洋科学总体发展规律、特点和趋势为切入点，分别对海洋科学各主要二级学科（物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学与海洋地质学）进行了详细剖析。各分支学科则从学科简介、历史回顾与学科发展、学科发展现状、发展前沿与趋势等几个方面进行深入论述。海洋地球物理学是海洋地质学的重要分支，由于它在一些重大科学理论的建立中起了关键作用，在第五章中特别对其作重点讨论。此外，本书还选取了当前几个具有重要意义的国际海洋科学研究热点，如海洋变异与气候、海洋碳循环、陆-海相互作用、海底深部过程与地球环境工程等进行了分析。对每一个重要研究热点则从国内外研究现状、重要命题论述与举例、我国今后发展方向需求等几个方面进行细致的阐述。

本书还根据海洋科学一级及二级学科的发展规律，展望了发展趋势。海洋科学是一门以观测为先导的学科，观测技术是其基石，因此科学与技术的协同发展始终贯穿着海洋科学的发展历史，也仍然是其重要发展趋势。同时，观测与模式的融合发展、海洋学科内部的及与其他地球科学分支的交叉融合也是其重要趋势。此外，当前海洋科学的发展还体现出在空间上趋于全球化与微尺度化并重，而在时间上则趋于同步化或准同步化。

最后，本书对制约我国海洋科学发展的的问题进行了分析。由于科研积累不足，我国海洋科学的人才队伍仍较为薄弱，且硬件条件偏弱，与先进国家仍存在较大的差距。尽管当前有了国家全方位的加大投入，海洋科学研究总体上仍缺乏全局的战略思想，缺乏全球、系统视野；缺乏长期、系统和有针对性的海洋科学观测。针对这些问题，本书对我国海洋科学今后的发展方向提出了建议：从战略科学的角度，着力培养高水平海洋研究人才与技术队伍，增强海洋科技自主研发能力，提高硬件水平；从国家层面角度，制订长期、系统的大型海洋科学观测计划，积极主动参与国际合作交流；同时，应大力推进运行管理机制改革，如部门协

调、平台共享、数据管理等，为我国海洋科学发展提供强有力的支持。

负责及参与撰写四个分支学科与五个研究热点的分别为：物理海洋学（陈大可、王伟、林霄沛、王桂华、管长龙、黄大吉、丁平兴、马继瑞、王凡）、化学海洋学（张经、戴民汉、王友绍、赵美训、陈建芳、杨桂朋、韩舞鹰、刘胜、康兴伦、王海增）、生物海洋学（孙松、孙晓霞、刘瑞玉、焦念志、高坤山、李新正、黄邦钦、黄良民、黄凌风、刘光兴、徐兆礼、方建光、于仁成、李超伦、魏皓）、海洋地质学（翦知潜、李家彪、杨守业、宋海斌、高抒、吴能友）、海洋变异与气候（陈大可、谢尚平、吴立新、杨海军、刘秦玉、杜岩）、海洋碳循环（戴民汉、尹志强）、陆-海相互作用（张经、杨作升、高抒、杨世伦、朱建荣、王菊英、黄晖、侯西勇、吴加学、施平）、海底深部过程（翦知潜、李家彪、周怀阳、吴能友）、地球环境工程（戴民汉、周宽波、陈鹰）。

总之，本书在关注海洋科学一级、二级学科的发展现状与趋势的同时，也对我国海洋科学的发展瓶颈、需突破的关键点等做了尽可能多的分析，希望能够为我国海洋科学的进一步发展提供参考。



摘 要

海洋覆盖了地球表面的 71%，是地球系统的重要组成部分，与地球各大圈层如大气圈、岩石圈、水圈、生物圈和人类圈紧密关联。海洋提供当今社会、经济、军事等发展对资源环境和空间的重要需求，也蕴藏着人类未来发展的丰富能源、矿产及生物资源，海洋更是人类日益关注的全球变化的重要参与者。因此，海洋科学研究的重要地位在全球和国内都提升到了前所未有的高度。

本书源自中国科学院地学部海洋科学学科发展的战略研究报告。在分析科技发展和国家需求的基础上，预测未来十年海洋科学学科发展的方向和趋势。

全书共有十章。第一章为引言，简要地介绍了海洋科学的内涵和发展历史。紧接的四章分别就海洋科学的四大分支学科，即物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学及海洋地质学，分析评述了国内外发展现况和未来趋势，并对我国在这些分支学科的未来发展提出了建议。随后的五章选取了当前国际普遍关注的、具有重要意义的海洋科学研究热点进行类似的分析、评述和建议，这五个热点分别是海洋变异与气候、海洋碳循环、陆-海相互作用、海底深部过程及地球环境工程。最后为结语，简要地回顾了制约我国海洋科学发展的瓶颈，并对我国海洋科学今后发展方向提出总的建议。

物理海洋学以海水运动和海洋的物理性质为基本研究对象；相比大气，海水的密度和热容量均显得巨大，海水对光电又较不透明，海洋的这种特殊性使得物理海洋学成为海洋科学的基础，一直引领、促进和支撑着海洋科学其他一些分支学科的发展。

化学海洋学主要研究海水、海洋中溶解和颗粒态物质（包括生

命和非生命物质)的化学组成、性质,以及其间的相互关系和变化等;随着同位素示踪研究及痕量金属数据分析的发展,使用化学的原理和方法认识海洋中有关现象和过程成为各分支学科的重要手段之一。

生物海洋学主要关注海洋中的生命现象、生命活动如何随着海洋环境的改变而变化,以及海洋中的生命活动如何对海洋环境产生影响。海洋环境的特殊性导致浮游生物为海洋生产力的基础。20世纪80年代以后,伴随着先进技术的出现和与其他分支学科交叉合作研究的开展,生物海洋学发展迅速。

海洋地质学研究海底固态圈层的结构特征、物质组成和演化规律,研究海底固态圈层与水圈和生物圈的相互作用和耦合机理,以及由此产生的资源和环境效应;海洋地球物理学是海洋地质学的重要分支,由于它在海洋地质学一些重大科学理论的建立中起了关键作用,在第五章中特别对其作重点讨论。

由于其巨大的水体和热容量,海洋是全球水循环、热循环和碳循环中极为重要的一环,是地球气候系统的关键组成部分,并存储着气候系统的绝大部分记忆。海水巨大的热惯性在很大程度上决定了气候系统低频变异的时间尺度,并极大地减缓了全球变暖的速率。深入研究与气候相关的各种尺度的海洋过程和海气相互作用过程是当今海洋与气候科学的重大国际前沿课题,也是了解、预测和应对各类气候变化的基础和重点所在。

海洋还是全球巨大的碳储库,海水不仅储有比大气多60多倍的碳,而且吸收了自工业革命以来人类活动排放 CO_2 的48%左右,对大气中 CO_2 的增加和温室效应的加剧起到重要的缓冲作用。近些年来,人类活动排放的 CO_2 约有25%被海洋生态系统所吸收。然而,由于海洋碳汇时空尺度变化剧烈,涉及生物、化学、物理和地质过程,碳收支估算仍然存在很大的不确定性,其控制机理更是颇具挑战性的研究课题。

广义的海岸带与毗邻地区既是沿海国家社会和经济发展的主要区域,也是人类活动最活跃、最频繁的地带。尽管海岸带只占海洋

表面的 15%、水体积的 0.5%，但它对全球尺度的物质循环、气候变化以及海洋生态系统的健康具有重要影响。陆-海相互作用的研究地域是地球表面陆地、海洋、大气之间物质和能量交换集中的地带，是国际学科前沿的热点领域，同时是关乎我国沿海、海洋经济可持续发展的重大资源环境问题。

近半个多世纪以来，海洋科学的重大突破主要在于海底。新发现不仅使海洋科学从海面深入到海底，而且将海底研究从单纯的地质过程拓展到物理、化学和生物的各种过程，深海海底过程也是研究地球表层与深部间相互作用的切入点。大洋地壳记录了近两亿年来的地球演化历史，连续性好的大洋沉积也能完整地记录地球气候演变历史，而对地球环境历史的了解会有助于评价地球环境的现状和预测地球环境的未来。

虽然准确量化地球气候系统的温室效应尚存在诸多不确定性，但有观测温度记录以来的数据显示，地球表面正在增温，并与大气 CO₂ 浓度变化一致；而大气中温室气体的浓度随着人类活动的加剧逐年增加，必然加剧温室效应。应对气候变化的一种方案是干预，即通过工程技术手段干预地球气候系统的变化，即地球环境工程。这些地球环境工程方案中不少与海洋密切相关，而海洋生态环境的复杂性涉及许多关键科学问题，存在一定的生态风险。