

学术引领系列



国家科学思想库

未来10年 中国学科发展战略

地球科学

国家自然科学基金委员会
中国科学院



科学出版社

中国科学院
中国工程院



未来10年
中国科技发展战略

中国科学院

地球科学

中国科学院地球研究所
地球科学研究所



中国科学院
地球研究所



国家科学思想库



未来10年 中国学科发展战略

地球科学

国家自然科学基金委员会
中国科学院

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

未来 10 年中国学科发展战略·地球科学/国家自然科学基金委员会, 中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2012. 1

(未来 10 年中国学科发展战略)

ISBN 978-7-03-032981-3

I. ①未… II. ①国…②中… III. ①地球科学-科学研究-发展战略-中国-2011~2020 IV. ①P

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 253679 号

丛书策划: 胡升华 侯俊琳

责任编辑: 陈超 杨婵娟 马云川 / 责任校对: 钟洋

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

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

*

2012 年 3 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012 年 3 月第一次印刷 印张: 21 1/2

字数: 438 000

定价: 65.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

联合领导小组

组 长 孙家广 李静海 朱道本

成 员 (以姓氏笔画为序)

王红阳 白春礼 李衍达

李德毅 杨 卫 沈文庆

武维华 林其谁 林国强

周孝信 秦大河 郭重庆

曹效业 程国栋 解思深

联合工作组

组 长 韩 宇 刘峰松 孟宪平

成 员 (以姓氏笔画为序)

王 澍 申倚敏 冯 霞

朱蔚彤 吴善超 张家元

陈 钟 林宏侠 郑永和

赵世荣 龚 旭 黄文艳

傅 敏 谢光锋

战略研究组

组 长	安芷生	院 士	中国科学院地球环境研究所
副组长	陈运泰	院 士	中国地震局地球物理研究所
	吴国雄	院 士	中国科学院大气物理研究所
成 员	(以姓氏笔画为序)		
	王铁冠	院 士	中国石油大学
	戎嘉余	院 士	中国科学院南京地质古生物研究所
	吕达仁	院 士	中国科学院大气物理研究所
	朱日祥	院 士	中国科学院地质与地球物理研究所
	李曙光	院 士	中国科学技术大学
	欧阳自远	院 士	中国科学院地球化学研究所
	金振民	院 士	中国地质大学(武汉)
	周秀骥	院 士	中国气象科学研究院
	程国栋	院 士	中国科学院寒区与旱区工程研究所
	翟裕生	院 士	中国地质大学(北京)
	薛禹群	院 士	南京大学

秘 书 组

组 长	张志强	研究员	中国科学院资源环境科学信息中心
副组长	姚玉鹏	研究员	国家自然科学基金委员会地学部
	申倚敏	处 长	中国科学院院士工作局
成 员	(以姓氏笔画为序)		
	丁志峰	研究员	中国地震局地球物理研究所
	孙卫东	研究员	中国科学院广州地球化学研究所
	李建平	研究员	中国科学院大气物理研究所
	延晓冬	研究员	中国科学院大气物理研究所

沈树忠	研究员	中国科学院南京地质古生物研究所
施俊法	研究员	中国地质调查局发展研究中心
蔡运龙	教 授	北京大学
蔡演军	研究员	中国科学院地球环境研究所

总序

路甬祥 陈宜瑜

进入 21 世纪以来，人类面临着日益严峻的能源短缺、气候变化、粮食安全及重大流行性疾病等全球性挑战，知识作为人类不竭的智力资源日益成为世界各国发展的关键要素，科学技术在当前世界性金融危机冲击下的地位和作用更为凸显。正如胡锦涛总书记在纪念中国科学技术协会成立 50 周年大会上所指出的：“科技发展从来没有像今天这样深刻地影响着社会生产生活的方方面面，从来没有像今天这样深刻地影响着人们的思想观念和生活方式，从来没有像今天这样深刻地影响着国家和民族的前途命运。”基础研究是原始创新的源泉，没有基础和前沿领域的原始创新，科技创新就没有根基。因此，近年来世界许多国家纷纷调整发展战略，加强基础研究，推进科技进步与创新，以尽快摆脱危机，并抢占未来发展的制高点。从这个意义上说，研究学科发展战略，关系到我国作为一个发展中大国如何维护好国家的发展权益、赢得发展的主动权，关系到如何更好地持续推动科技进步与创新、实现重点突破与跨越，这是摆在我们面前的十分重要而紧迫的课题。

学科作为知识体系结构分类和分化的重要标志，既在知识创造中发挥着基础性作用，也在知识传承中发挥着主

体性作用，发展科学技术必须保持学科的均衡协调可持续发展，加强学科建设是一项提升自主创新能力、建设创新型国家的带有根本性的基础工程。正是基于这样的认识，也基于中国科学院学部和国家自然科学基金委员会在夯实学科基础、促进科技发展方面的共同责任，我们于2009年4月联合启动了2011~2020年中国学科发展战略研究，选择数、理、化、天、地、生等19个学科领域，分别成立了由院士担任组长的战略研究组，在双方成立的联合领导小组指导下开展相关研究工作。同时成立了以中国科学院学部及相关研究支撑机构为主的总报告起草组。

两年多来，包括196位院士在内的600多位专家（含部分海外专家），始终坚持继承与发展并重、机制与方向并重、宏观与微观并重、问题与成绩并重、国际与国内并重等原则，开展了深入全面的战略研究工作。在战略研究中，我们既强调战略的前瞻性，又尊重学科的历史延续性；既提出优先发展方向，又明确保障其得以实现的制度安排；既分析各学科自身的发展态势，又审视各学科在整个学科体系和科技与经济社会发展中的地位作用；既充分肯定各学科已取得的成绩，又不回避发展中面临的困难和问题；既立足国内的现状与条件，又注重基础研究的国际化趋势。经过两年多的战略研究工作，我们不断明晰学科发展趋势，深入认识学科发展规律，进一步明确“十二五”乃至更长一段时期推动我国学科发展的战略方向和政策举措，取得了一系列丰硕的成果。

战略研究总报告梳理了学科发展的历史脉络，探讨了学科发展的一般规律，研究分析了学科发展总体态势，并从历史和现实的角度剖析了战略性新兴产业与学科发展的关系，为可能发生的新科技革命提前做好学科准备，并对

我国未来 10 年乃至更长时期学科发展和基础研究的持续、协调、健康发展提出了有针对性的政策建议。19 个学科的专题报告均突出了 7 个方面的内容：一是明确学科在国家经济社会和科技发展中的战略地位；二是分析学科的发展规律和研究特点；三是总结近年来学科的研究现状和研究动态；四是提出学科发展布局的指导思想、发展目标和 development 策略；五是提出未来 5~10 年学科的优先发展领域以及与其他学科交叉的重点方向；六是提出未来 5~10 年学科在国际合作方面的优先发展领域；七是从人才队伍建设、条件设施建设、创新环境建设、国际合作平台建设等方面，系统提出学科发展的体制机制保障和政策措施。

为保证此次战略研究的最终成果能够体现我国科学发展的水平，能够为未来 10 年各学科的发展指明方向，能够经得起实践检验、同行检验和历史检验，中国科学院学部和国家自然科学基金委员会多次征询高层次战略科学家的意见和建议。基金委各科学部专家咨询委员会数次对相关学科战略研究的阶段成果和研究报告进行咨询审议；2009 年 11 月和 2010 年 6 月的中国科学院各学部常委会分别组织院士咨询审议了各战略研究组提交的阶段成果和研究报告初稿；其后，中国科学院院士工作局又组织部分院士对研究报告终稿提出审读意见。可以说，这次战略研究集中了我国各学科领域科学家的集体智慧，凝聚了数百位中国科学院院士、中国工程院院士以及海外科学家的战略共识，凝结了参与此项工作的全体同志的心血和汗水。

今年是“十二五”的开局之年，也是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》实施的第二个五年，更是未来 10 年我国科技发展的关键时期。我们希望本系列战略研究报告的出版，对广大科技工作者触摸和

了解学科前沿、认知和把握学科规律、传承和发展学科文化、促进和激发学科创新有所助益，对促进我国学科的均衡、协调、可持续发展发挥积极的作用。

在本系列战略研究报告即将付梓之际，我们谨向参与研究、咨询、审读和支撑服务的全体同志表示衷心的感谢，同时也感谢科学出版社在编辑出版工作中所付出的辛劳。我们衷心希望有关科学团体和机构继续大力合作，组织广大院士专家持续开展学科发展战略研究，为促进科技事业健康发展、实现科技创新能力整体跨越做出新的更大的贡献。



前言

地球科学是认识行星地球形成和演化的一门自然科学。它以各圈层包括大气圈、生物圈（含土壤圈）、岩石圈和水圈（含冰冻圈），乃至人类圈及其组成部分为对象，研究地球系统整体及各圈层相互作用的过程、变化、规律、机理及其相互关系等，以提高对行星地球的认知水平，创建表征行星地球的特征和动力学的理论；并利用获取的知识体系为解决人类生存与可持续发展中的资源和能源供给、生态环境保护、自然灾害防治等重大问题提供科学依据、有效途径与技术支持。地球科学发展的驱动力来自于社会进步和学科自身发展的需求，也来自于人类探索自然的强烈兴趣以及科学新技术和新方法的充分应用。

20 世纪 80 年代以来，随着全球资源、能源和环境问题的日益突出，全球环境变化成为公认的事实。与此同时，随着包括从外层空间对地球观测在内的地球观测系统的发展，地球系统科学逐渐成为地球科学的前沿领域。地球科学的研究目标、途径和理念随之发生深刻的变化，地球科学研究进入新的发展阶段。

在未来 10~20 年或更长时期内，地球科学面临探寻地球和太阳系行星与生命起源的协同演化；地球各圈层物质组成、运移及地球物理场对地球过程的基础作用；地球内部过程与板块构造；气候和环境变化规律与机理；行星地球的内部、外部和场的相互作用；地球资源开采、自然灾害（如地震、火山、干旱和暴雨等）减轻与地球环境的保护等前沿性和基础性重大科学和实践问题的挑战。这些挑战要求地球科学各分支学科及地球科学与其他学科之间实现交叉融合，强调采用新的观测、监测、探测、实验、分析、模拟和建立理论模型等先进技术手段，建立全球观测系统、数据网络、实验和管理的平台，并以此来认识、理解和适应人类赖以生存的行星地球及其变化。

为了落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》对基础研究的战略定位，从学科发展、科学前沿和国家紧迫需求等方面加强基础研究，国家自然科学基金委员会与中国科学院联合开展学科战略研究，旨在筹划未来，推动我国学科均衡协调发展，促进原创性成果和理论的诞生。希望通过充分研讨和广泛的咨询审议，提出 2011~2020 年我国地球科学的学科发展布局、优先发展方向和学科交叉的重大科学问题等，以期为国家发展基础研究提出政策建议，为相关基础研究的战略发展规划提供决策依据。

根据在路甬祥院士和陈宜瑜院士指导下的战略研究联合工作组和国家自然科学基金委员会地球科学部的统一部署,2009年5月中旬,地球科学学科发展战略研究组召开了第一次会议,决定按照大气科学、地理学、地质学、地球物理学、地球化学和地球系统科学六个“学科研究组”开展地球科学学科发展战略研究工作,并确定了各“学科研究组”的负责和撰写人员名单以及责任秘书名单。鉴于海洋科学和空间科学作为独立学科开展战略研究,本书不再涉及。

根据学科发展战略研究整体工作计划的部署,地球科学学科发展战略研究组先后召开了四次会议,布置战略研究的撰写工作,根据进展进行交流和讨论,落实院士咨询的意见和建议,从而完善了战略研究并完成了本书。期间各学科研究组也曾进行多次交流和研讨,分析国内外发展现状、趋势和国家发展的紧迫需求;研究不同学科的特点、发展规律与战略地位;提出和建议本学科的发展布局、优先领域与重大交叉领域、国际合作与交流的方向和举措等。

总之,本书提出了2011~2020年我国地球科学学科发展的战略,旨在推动地球科学及其各分支学科的均衡布局和协调发展,发展我国地球科学的优势领域,促进我国相对薄弱但属国际主流的分支学科和领域的发展,鼓励学科间的渗透融合和新交叉学科的成长,扶持与实验、观测、数据集成和模拟相关的分支学科的发展,重视地球科学与数学、物理学、化学和生物学的交叉,加速学科创新型成果和理论的诞生。

在本书编写过程中,参与大气科学学科发展战略研究讨论和撰写的专家有:周秀骥,吴国雄,吕达仁,穆穆,张朝林,李建平,陈洪滨,廖宏,王殿勋,陆汉城,刘秦玉,王会军,陈建民,黄建平,董文杰,管兆勇,傅云飞,温之平,翟国庆,马耀明,曹杰,贺克斌,李国平,罗云峰,任小波,王岐东,丹利,夏茹娣,段安民;参与地理科学学科发展战略研究讨论和撰写的专家有:程国栋,宋长青,蔡运龙,冷疏影,刘卫东,齐清文;参与地质学学科发展战略研究讨论和撰写的专家有:金振民,戎嘉余,安芷生,翟裕生,刘嘉麒,薛禹群,王铁冠,莫宣学,翟明国,欧阳自远,柴育成,姚玉鹏,刘羽,施俊法,沈树忠,吴耀,王汝成,颜丹平,谢树成,侯增谦,张立飞,樊祺成,周力平,郭正堂,黄润秋,徐伟彪,肖龙,秦勇,钟宁宁,林畅松;参与地球物理学学科发展战略研究讨论和撰写的专家有:陈运泰,朱日祥,于晟,高锐,丁志峰,王椿镛,刘洪,吴庆举,胡圣标,冯锐,杨宝俊,张中杰,孙和平,吕庆田;参与地球化学学科发展战略研究讨论和撰写的专家有:李曙光,郑永飞,柴育成,郭进义,孙卫东,李献华,丁兴,尹庆柱,陈骏,郑洪波,彭平安,曾永平,胡瑞忠,吴福元,熊小林,段振豪,谢树成,储学蕾,徐义刚,祁示华,王春江;参与地球系统科学学科发展战略研究讨论和撰写的专家有:安芷生,秦大河,王颖,欧阳自远,姚檀栋,柴育成,姚玉鹏,张志强,延晓冬,沈树

忠，郭正堂，董文杰，罗勇，陈建民，谢树成，周广胜，左军成，宋献方，王二七，石绥祥，丁永建，杨修群，王斌，封国林，徐义刚，朱茂炎，姜彤，王焰新，严中伟，李春来，戴新刚，徐永福，高抒，吴庆宇，张小曳，朱彤，黄建平，杨新，陈星，周凌晞，刘滨，程晓，袁文平，成天涛，曲建升，郑军卫，蔡演军。

本书不仅是我国地球科学领域多位著名科学家和处在科研一线的青年学者们共同努力的结果，也是国家自然科学基金委员会和中国科学院重视的结果，同时也吸纳了众多专家学者的意见和建议。在此，我们谨向指导、关心和参加本项工作的专家和科学管理工作表示衷心的感谢。

安芷生

地球科学学科发展战略研究组组长

2011年5月



摘要

一、地球科学特点、发展规律与战略定位

地球科学是认识行星地球形成和演化的自然科学。地球科学包括大气科学、地理学、地质学、地球物理学、地球化学、空间物理学和海洋科学等分支学科,以及各分支学科间的交叉学科。地球科学以各圈层,包括大气圈、生物圈(含土壤圈)、岩石圈和水圈(含冰冻圈),乃至人类圈及其组成部分为研究对象,研究地球系统及各圈层相互作用的过程、变化、机理及它们的相互关系等,以提高对行星地球的认知水平,并利用获取的知识体系为解决人类生存与可持续发展中的资源和能源供给、生态环境保护、自然灾害防治等重大问题提供科学依据、技术支撑与解决方案。地球科学的发展整体表现为微观更微、宏观更宏、交叉集成的态势,特别是进入 21 世纪以来,更加强调广泛采用最新观测、监测、探测、实验、模拟、分析和建立理论模型等先进技术手段,认识和理解人类赖以生存的地球和行星空间;同时面向市场和地球的管理,回答人类社会和经济可持续发展的相关科学问题,尤其是对人类生存和发展面临的资源、生态、环境、灾害和气候变化等的挑战,制订地球科学研究战略的优先目标和行动计划,为国家和社会公众服务。

本书所提到的地球科学主要涉及大气科学、地理学、地质学、地球物理学和地球化学五个分支学科及近年来发展起来的集成性的地球系统科学,其余分支学科则在丛书的其他学科发展战略中进行介绍。

大气科学是研究大气的结构、组成、物理和化学过程、演变规律、动力学机制、大气与其他气候圈层相互作用及其建模预测的一门学科,它是一门多学科交叉的综合性、基础性、应用性学科,既涉及数学、物理、化学等基础学科,又与海洋、资源与环境、空间、生态、农业、社会等学科密不可分,对促进邻近学科发展有着重要作用。大气科学在整个地球科学、环境生态研究中具有重要战略地位。大气科学研究的主要特点是通过观测、理论分析、数值模拟和实验室模拟等手段来认识大气中的各种物理、化学及生物过程的基本规律及其与

环境的相互作用机理,发展新的探测和实验手段,为天气、气候与环境的预报和控制提供理论和方法。近年来,观测技术、计算技术和理论的发展使大气科学发展成为拥有大气探测、天气学、大气动力学、气候学、大气物理学、大气化学、全球变化、数值模拟等众多分支学科的综合性学科。

地理学的研究对象是作为人类生存家园的地球表层及人地(即人类与地理环境)关系地域系统。地理学以人类环境、人地关系、空间关联为核心,以不同的尺度解读空间分布及其变化。地理学的关键概念包括空间、时间、地方和区域、尺度、系统、景观、人与自然、全球化、发展、风险等。地理学的这些关键概念是动态的、开放的,正如地理学本身是动态的、开放的一样。地理学以综合性和区域性为主要特色,已成为自然科学、社会科学和人文科学乃至工程技术之间的一座桥梁。

地质学主要研究地球(主要是岩石圈)的物质成分、物理化学性质、结构构造、地球形状及表面特征、地球的生成和历史、地球生命的发生及演化、地壳运动的形成和发展,以及进行上述研究的相关科学技术。本报告所指的地质学主要涵盖矿物学、火山学、沉积学、变质岩地质学、古生物学、地层学、地球生物学、构造地质学、地质历史学、前寒武纪地质学、矿床学、能源地质学、水文地质学、工程地质学、环境地质学、第四纪地质学等。地质学是地质科学所有学科的基础和先行,贯穿于地球科学研究的全过程,渗透地球科学领域、学科的方方面面。

地球物理学是利用物理学的原理、方法研究地球的地球科学分支学科,是一门观测及应用理论学科。它利用地球物理观测仪器,观测各种地球物理场,采用地球物理正演和反演技术,揭示地球内部介质的物理性质和物理参数,从而达到认识地球、了解地球的目的。作为探索地球内部物理性质的最有效的手段,地球物理学是地球科学的重要组成部分,也是我们了解这个星球的基础研究内容和手段。地球物理学在20世纪中后期得到迅速发展并取得了辉煌成就,促进了地球科学的整体发展。地球物理学涵盖的领域非常广泛,主要包括以深部地球探测研究为重点的固体地球物理学和地球动力学、以地震孕育发生物理过程研究为重点的地震科学、以油气地球物理勘探研究为重点的应用(或勘探)地球物理学、以全面发展测量理论和技术研究为重点的大地测量学、以高温高压研究为重点的实验地球物理等。

地球化学主要研究地球乃至宇宙的化学组成、化学演化和元素及其同位素运动规律。它运用现代物质科学的理论和方法研究元素及其同位素在地球与其他行星不同结构单元中的分布、迁移、富集和分异演化规律。地球的各个圈层都有物质组成和化学演化问题,圈层之间的物质交换又是地球系统圈层之间相互作用的主要形式之一,而人类面临的资源环境问题也无不是地球化学问题。

因此,作为地球科学的支柱学科之一,地球化学不仅肩负着解决地球科学基本理论问题——行星、地球、环境、生命、人类的起源和演化的重大使命,而且对人类社会探查资源、维持良好生存环境具有重要战略意义。地球化学的特色和发展主要体现在:地球化学示踪体系是精确定量动力学研究的支柱,元素及其同位素体系对自然演化过程和物质循环的示踪是地球化学研究的优势和特色;同位素定年技术是使地球科学研究向四维时空发展的重要支撑体系;实验地球化学是地球科学研究定量化的基础;物理-化学分析技术是地球化学研究的技术基础,地球化学前沿研究已经同当代物质科学的最新实验分析技术融为一体;地球科学研究在空间尺度上向微观和宏观拓展,为地球化学的发展提供了空前的发展机遇。

地球系统是由相互作用的大气圈、水圈(含冰冻圈)、生物圈(含土壤圈)、人类圈和岩石圈及与地球运行相关的太阳系因素构成的动力学系统。地球系统科学是研究与各子系统相互作用的地球整体系统的变化规律、动力学机制和发展趋势,以适应和管理这一系统变化的科学。由于地球系统科学从整体的、系统的和相互联系的角度,研究地球各子系统之间的相互作用过程及其与地球整体系统演化过程的关系与动力学,对地球科学及分支学科从宏观层面认识行星地球产生了革命性影响;催生了地球系统、生命系统和无生命系统(生命支持系统)的概念,物理-化学-生物过程、圈层和陆-海-气乃至自然过程和人类活动相互影响等概念;促进了全球变化科学、可持续发展科学等新学科的诞生和成长,因而成为研究全球环境变化和资源合理利用的重要理论基础。

二、地球科学发展现状、发展趋势、战略目标

目前,国际地球科学的研究正经历宏观与微观、行星地球和地外宇宙空间、从单学科深入与学科交叉和系统集成研究相结合等转变,并呈现以下发展特征:解决人类可持续发展面临的资源环境灾害问题成为地球科学发展战略的根本趋向;地球科学走向行星地球、外空间和生命协同演化研究的新阶段;将行星地球作为一个整体系统进行交叉集成研究;地球科学日益面向市场、服务用户、实现对地球的管理;新技术体系和信息、观测、研究平台成为地球科学研究不可或缺的支撑平台;全球和区域的大型合作研究计划成为地球科学研究的重要组织形式。

20世纪以来,沿袭我国历史悠久的地学萌芽思想和传统,在国外地球科学家的参与和国外地球科学发展的影响下,结合自身地域特色,我国逐步建立了现代地球科学学科体系。以1912年北京气象台的建立、1922年中国地质学会成立、1934年《中华民国新地图》的出版等为标志,大气科学、测绘科学、地理