

中国科学院地学部
地球科学发展战略研究组

21世纪 中国地球科学 发展战略报告

STRATEGIC REPORT:
CHINA'S EARTH SCIENCE
DEVELOPMENT FOR 21ST CENTURY

中国科学院地学部
地球科学发展战略研究组

21世纪 中国地球科学 发展战略报告

STRATEGIC REPORT:
CHINA'S EARTH SCIENCE
DEVELOPMENT FOR 21ST CENTURY

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书基于对国内外地球科学发展历史与现状的总结,从21世纪国际地球科学发展的大背景和大趋势出发,从我国地球科学发展的国家战略需求着眼,深刻阐述了国际地球科学发展的特点与前沿趋势,系统思考了我国地球科学发展的战略方向,提出了至2020年我国地球科学发展的目标与战略定位、系统凝练和提出了我国地球科学应当重点研究的8个重大科学领域——行星地球的物理、化学、生物过程及其协同演化,海洋的物理和生物地球化学过程及其资源环境效应,陆面地表过程、资源环境、人类活动与可持续发展,天气、气候系统和空间天气的变化与趋势预测,全球变化与地球系统科学,矿产资源和能源的形成机制、勘查新技术与可利用性,水资源与可持续发展,自然灾害与防治等,阐述了这些领域的研究内容与研究方向,同时指出了地球科学基础研究的重要性,提出了我国地球科学发展的条件平台与能力建设等方面的问题及实现途径。

本书的读者对象为政府科研管理和学科规划人员、地学科研人员、高等院校师生等。

图书在版编目(CIP)数据

21世纪中国地球科学发展战略报告/中国科学院地学部地球科学发展战略研究组. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-022242-8

I. 2… II. 中… III. 地球科学-发展战略-研究-中国-21世纪
IV. P5

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第081945号

责任编辑:侯俊琳 郭勇斌 宋旭卜新/责任校对:赵桂芬

责任印制:赵德静/封面设计:黄华斌

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

*

2009年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2009年1月第一次印刷 印张:35 1/4 插页:1

印数:1—3 000 字数:700 000

定 价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

《21 世纪中国地球科学发展战略报告》

地球科学发展战略研究组

组 长：安芷生 院士 中国科学院地球环境研究所

副组长：苏纪兰 院士 国家海洋局第二海洋研究所

周秀骥 院士 中国气象科学研究院

成 员：孙 枢 院士 中国科学院地质与地球物理研究所

孙鸿烈 院士 中国科学院地理科学与资源研究所

陈 颢 院士 中国地震局

陈运泰 院士 中国地震局地球物理研究所

李廷栋 院士 中国地质科学院

汪品先 院士 同济大学

吴国雄 院士 中国科学院大气物理研究所

郑 度 院士 中国科学院地理科学与资源研究所

地球科学发展战略研究工作组

组 长：张志强

成 员：延晓冬 李丽娟 高 锐 王东晓 蔡演军 郑军卫

李建平 梁 涛 王 涛 段安民 张 明

序

地球科学是认识行星地球的形成、演化以及与人类自身生存和发展休戚相关的气候、环境、资源、灾害、可居住性、可持续发展等的一门自然科学，是人类社会发展的支柱性、基础性科学，与人类社会的发展进步息息相关。

20 世纪 60 年代以来，来自技术进步和社会需求的巨大推动力，使得地球科学获得了前所未有的快速发展。板块构造理论的形成与发展，推动了大陆漂移、海底扩张和地幔对流等相关问题的研究，深化了对全球构造和运动的认识；反映全球冰量变化的深海氧同位素曲线的建立，提出了环境变化全球性和多旋回性的理论。60 年代末，宇航员首次登上月球，并带回月球岩石样品，这为人类提供了认识地外其他星体、将地球与其他星体进行比较研究的直接机会；同时，地球和月球上陨星和撞击坑的研究，将地球科学引入研究行星地球和行星科学的领域。80 年代以来，随着全球环境变化问题的日益突出，出于人类可持续发展的战略需要，全球环境变化研究得到普遍关注和快速发展，可持续发展问题得到各国政府和社会的高度重视，地球系统科学思维在地球科学中得到普遍接受，地球系统科学成为地球科学的前沿领域，地球科学研究进入新的发展阶段。

随着地球科学的快速发展，社会发展对地球科学的需求越来越强烈，地球科学研究的组织化、规模化、平台化程度不断提高，地球科学的研究越来越依赖技术手段、研究平台的进步和对自然界真理的追求，地球科学的发展日益与经济社会的需求相结合。因此，

开展地球科学的发展战略研究,促进地球科学在社会发展中发挥更大的作用,成为国际地学界促进地球科学发展的重要途径。

中国科学院地学部一直重视地球科学的发展战略研究,20 世纪 80 年代以来先后组织开展了多次战略研究,出版了《中国地球科学发展战略的若干问题——从地学大国走向地学强国》(1998)、《地球科学——世纪之交的回顾与展望》(2002) 等战略研究报告,对我国地球科学的发展起到了重要推动作用。2002 年 10 月,中国科学院地学部常委会提出了关于“21 世纪中国地球科学前沿” 研究计划,并成立了地球科学发展战略研究组和地球科学发展战略研究工作组,开展此项工作。经过中国科学院地学部院士和专家、地球科学发展战略研究组和地球科学发展战略研究工作组长达五年多的艰辛努力,最终完成了《21 世纪中国地球科学发展战略报告》。

该书从国际地球科学发展的大背景和大趋势出发,从我国地球科学发展的国家战略需求着眼,既突出地球科学学科发展的国际前沿,又强调我国的实际国情,基于对国内外地球科学学科发展历史与现状的总结,阐述了 21 世纪地球科学发展的战略思考,分析了地球科学发展的特点与趋势。

该书提出了我国地球科学发展的战略目标与方向:至 2020 年,中国地球科学研究达到国际先进水平,在地球科学研究的多个领域跻身国际前列,引领国际某些重要领域的发展。报告凝练出对地球科学分支和交叉学科发展及支持我国经济社会可持续发展具有重大意义的 8 个重大科学问题:行星地球的物理、化学、生物过程及其协同演化,海洋的物理和生物地球化学过程及其资源环境效应,陆面地表过程、资源环境、人类活动与可持续发展,天气、气候系统和空间天气的变化与趋势预测,全球变化与地球系统科学,矿产资源和能源的形成机制、勘查新技术与可利用性,

水资源与可持续发展，自然灾害与防治。报告对这些问题的国内外进展、研究内容和方向予以阐述，提出了研究上述问题和促进我国地球科学发展的条件平台与能力建设的对策建议，同时指出21世纪地球科学研究并不是纯粹的学科研究，还要面向市场、面向用户、面向地球的管理，为人类社会发展服务。

希望该书的出版能够对我国地球科学未来10~20年的创新发展发挥促进作用。

中国科学院地学部主任

秦大河

2008年9月25日

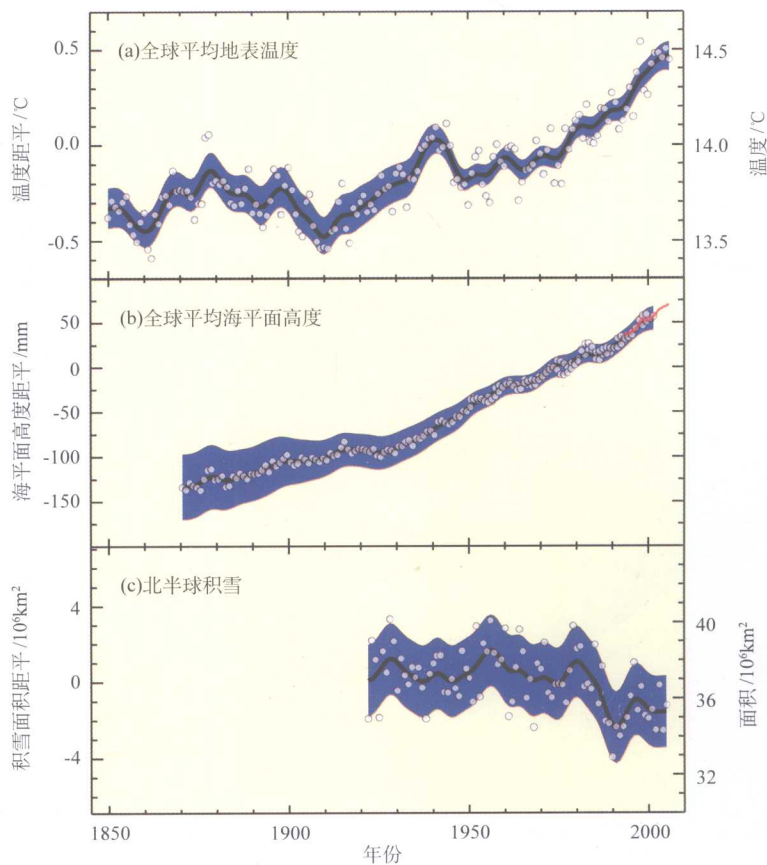


图 9-1 全球平均地表温度 (a)、由验潮站 (蓝色) 和卫星 (红色) 资料得到的全球平均海平面上升 (b) 以及 3~4 月北半球积雪 (c) 变化的观测结果 (相对于 1961~1990 年平均值, 平滑曲线表示 10 年均值, 圆圈表示年值, 阴影区为不确定性区间) (IPCC, 2007)

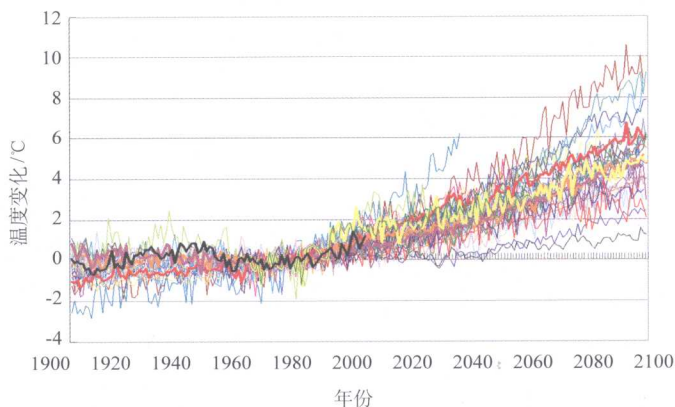


图 9-4 气候模式和排放设计对 20 世纪、21 世纪中国气温变化的模拟和预估 (秦大河等, 2005)

气候模式和排放设计包括: CCC-GG, CCSR/NIES-GG, CSIRO-GG, DKRZ-GG, GCM7-GG, GFDL-GG, HADL-GG, LASG/IAP2-GG, NCC/IAP T63-GG, NCAR-GG, CCC-GS, CCSR/NIES-GS, CSIRO-GS, DKRZ-GS, GCM7-GS, GFDL-GS, HADL-GS, LASG/IAP2-GS, LASG/IAP2-GSS, NCC/IAP T63-GS, NCAR-GS, RegCM/CN-GG, RegCM/CN-GS, CCSR/NIES2-A1, CCSR/NIES2-A2, CCSR/NIES2-B1, CCSR/NIES2-B2, CCSR/NIES2-SRES4, CCC-A2, CSIRO-A2, ECHAM4/OPYC-A2, GFDL-A2, HADL3-A2, NCAR-A2, CCC-B2, CSIRO-B2, ECHAM4/OPYC-B2, GFDL-B2, HADL3-B2, NCAR-B2, GCM-SRES, NCC/IAP T63-A2, NCC/IAP T63-B2

目 录

序	1
绪言	1

上篇 21 世纪地球科学发展的思考

第一章 地球科学发展的历史与现状	9
第一节 地球科学各分支科学的发展	9
第二节 地球科学发展的驱动力	16
第二章 国际地球科学发展的特点	18
第一节 国际地球科学发展的特点	18
第二节 国际地球科学研究的方向	22
第三章 我国地球科学发展的特点	27
第一节 我国地球科学发展简史	27
第二节 我国地球科学发展的特点	28
第四章 21 世纪我国地球科学发展的方向	30
第一节 战略定位与目标	30
第二节 重大科学问题	33
第三节 实现途径	34

中篇 21 世纪我国地球科学研究的若干重大科学问题

第五章 行星地球的物理、化学、生物过程及其协同演化	41
第一节 固体地球科学发展的未来——大陆动力学新理论体系的建立	42
第二节 地球深部圈层相互作用与地球动力学	58
第三节 大陆地质过程与全球构造	68
第四节 生命过程与环境的协同演化	81
第五节 地球生物学与天体生物学	91
第六节 太阳系探测及类地行星演化的共性与特性	98
第六章 海洋的物理和生物地球化学过程及其资源环境效应	131
第一节 近海海洋物理过程及其环境效应	133
第二节 海洋生物地球化学过程及其资源环境效应	139
第三节 海岸海洋海陆过渡带环境变化及其资源环境特征	149

第四节 边缘海及深海大洋	154
第七章 陆面地表过程、资源环境、人类活动与可持续发展	161
第一节 陆地表层现代自然过程及其资源环境效应	163
第二节 地表地球化学过程与生态环境和健康	172
第三节 缓变型地球化学灾害的监控与预测	180
第四节 青藏高原环境演变、表生过程及其影响与对策	186
第五节 大规模人类活动对气候和环境的影响及适应对策	196
第六节 人地关系与区域可持续发展	199
第八章 天气、气候系统和空间天气的变化与趋势预测	212
第一节 天气系统的变化与趋势预测	214
第二节 气候系统的变化与趋势预测	222
第三节 空间天气的变化与趋势预测	236
第九章 全球变化和地球系统科学	247
第一节 全球变化研究与地球系统科学	249
第二节 全球变化与亚洲季风-干旱环境系统的演变	264
第三节 全球变化的区域集成研究	272
第四节 全球和中国的气候变化	277
第五节 南、北极气候变化对全球和东亚的影响	290
第十章 矿产资源和能源的形成机制、勘查新技术与可利用性	301
第一节 大陆地质过程与大陆成矿作用	305
第二节 深层重要金属矿产资源的形成机制与勘查技术	309
第三节 重要矿产资源勘查的新理论、新方法和新技术	317
第四节 油气藏形成机制与开发研究	320
第五节 核能资源的形成理论与利用新技术	335
第六节 新能源和可再生能源概念、技术和应用开发前景	342
第十一章 水资源与可持续发展	351
第一节 水循环系统	352
第二节 水资源与可持续利用	360
第三节 地下水资源及其利用与环境 and 人类健康	370
第十二章 自然灾害与防治	380
第一节 地震灾害与减轻	381
第二节 气象灾害与防治	387
第三节 地质灾害与防治	400
第四节 海洋灾害与防治	406
第五节 重视火山灾害及其研究与监测	416
第六节 台风灾害及全球变暖的影响	423

第七节 自然灾害综合研究与减灾	428
-----------------------	-----

下篇 我国地球科学发展条件平台和能力建设

第十三章 观测系统	447
第一节 空间对地观测系统	448
第二节 陆地观测系统	456
第三节 数字地震观测系统	464
第四节 深部探测系统	470
第五节 海洋观测系统及海洋调查船管理系统	472
第十四章 地球科学钻探	479
第一节 海洋科学钻探	480
第二节 大陆科学钻探及中国大陆科学钻探整合计划	483
第三节 大陆环境科学钻探	487
第十五章 地球系统模拟器与数据同化	492
第一节 地球系统模拟器与数值模拟	492
第二节 资料同化系统	499
第十六章 地理空间信息平台	508
第一节 地理空间信息基础设施	509
第二节 网格——地理空间信息服务的新环境	514
第十七章 我国地球科学发展的能力建设	523
第一节 大型分析仪器设施及管理制度建设	524
第二节 数据平台与网络建设	527
第三节 地学教育与人才队伍建设	534
第四节 地球科学向公众和社会的开放	542
后记	551

绪 言

地球科学是历史悠久的自然科学门类。可以认为，地球科学是伴随人类和人类社会的诞生、发展和演化而出现的较早的自然科学，它离不开人类对赖以生存的地球环境和固体地球的发展与变化规律的认识，离不开人类为解决生存和社会发展问题而产生的对各种自然资源与环境的需求。因此，在某种程度上，地球科学可视为认知人类与其生存的行星地球和固体地球等系统相互作用和协同演化的科学。

地球科学是认识行星地球、地球环境的形成、演化规律与人类利用、管理地球以服务于人类进步的科学知识体系。20 世纪以来，地球科学的发展突飞猛进，现代地球科学在认识地球及其各圈层（包括人类圈）的起源、组成、演化和运行规律等基础理论方面，取得了一系列突破性的进展，提出并证实了大陆漂移、板块构造和全球环境变化等重大科学成果，发现了大量的能源和资源，初步构建了全球性立体化的地球科学观测、监测和模拟网络，实施了一系列重大国际地球科学研究计划，提出了地球系统科学和全球气候变化等重大科学思想，地球科学成为人类社会发展的支柱科学之一。

随着地质科学、地理科学、大气科学、海洋科学、地球物理学和地球化学等地球科学各分支学科的发展和日益成熟，以及先进的技术手段和研究平台的广泛应用，人类对行星地球发展演化规律的认识不断深化。人类社会对能源和各种资源的需求日益增加，人类活动引起的全球气候变化和全球变暖现象引起各国政府和社会公众的高度关注，地球科学家不得不超越地球科学的传统分支学科，以系统的、相互联系的全球观点，认识地球系统的整体行为以及自然与人类过程的相互作用，预测地球系统的变化规

律和发展趋势及其对人类的影响，为人类生存、生活质量的提高和社会可持续发展，提供关于地球整体系统演化规律和动力学的系统科学认识，使地球科学走向以地球系统科学为特征的新时代。地球系统科学已成为上述地球科学分支学科之外发展迅速且生机勃勃的、具有集成特点的地球科学新分支学科。地球系统科学的时代预示着地球科学发展将表现为“微观更微、宏观更宏、综合交叉集成化”的发展态势。

地球科学的历史表明，地球科学发展的推动力源自学科自身发展、技术进步及其应用、社会发展需求和科学家的好奇心。人类对赖以生存的地球环境认知的客观需求，促进了地球科学各分支学科的发展、成熟，促进了地球系统科学的诞生和应用；技术进步及其广泛应用，极大地推进了地球科学研究的定量化、信息化和系统的集成模拟；社会发展的需求则是学科进步的永恒驱动力，并促进 21 世纪地球科学面向市场和地球管理；同时，注入科学家对行星地球和球外空间的极大兴趣，使地球科学与其他自然科学、社会科学交叉、融合，有助于形成具有基础性、创造性、前瞻性、应用性和社会性等特点的有机统一的地球科学知识体系。

面对地球科学发展的新形势，当代地球科学研究的目标还在于解决人类生存和发展所面临的生态、环境、能源、资源和灾害等一系列重大问题。同时，系统认知行星地球整体系统和各圈层的起源、形成、演化以及它们相互作用的自然规律，从而有效改善和合理适应人与自然和谐发展所面临的一系列困难的社会问题。

我国地球科学思想萌芽于远古时代。从我国自然科学发展史来看，地球科学也是我国最早发展的自然科学学科之一。20 世纪初，近代地理学、地质学、气象学首先在我国植根。30~40 年代，地球物理学和大气科学得以初步发展。新中国成立后，随着大规模建设的开展和苏联专家来到中国，包括地球化学在内的许多地球科学分支学科得到了快速发展，初步形成了较完整的地球科学学科体系。80 年代以来，随着我国改革开放和国民经济的高速发展，国外先进知识和技术的不断引进和应用使我国地球科学蓬勃

发展,形成了完整的地球科学研究和支撑体系,并不失时机地进入国际全球变化和地球系统科学领域的行列,在我国具有独特自然条件的有关领域,取得了许多国际瞩目的地球科学研究成果。21世纪初以来,随着知识创新工程的开展和科研经费的加大投入,极大地提高了我国在国际地球科学领域中的地位。

值得注意的是,我国的基本国情为地球科学的发展提供了强大的需求动力。我国人口多,人均资源少,经济发展整体水平低,自然灾害频发,生态破坏与环境污染现象难以遏制,这些问题的解决都离不开地球科学家的努力。我国地球科学研究肩负着应对国家可持续发展的一系列重大挑战的历史使命和神圣职责,因此,在制定我国21世纪地球科学发展战略时,要充分认识到我国特殊的国情;同时,还要充分利用我国独特的自然地理、地质和气候条件,并考虑国际地球科学发展的态势。

20世纪80年代末以来,中国科学院、科学技术部、国家自然科学基金委员会、国土资源部(原地质矿产部)、教育部、水利部、中国气象局、中国地震局、国家海洋局、环境保护部(原国家环保总局)、国家测绘局等单位分别提出了不同层次、不同学科的有关地球科学发展战略研究的报告、指南、计划或规划。例如,20世纪90年代初,原国家科委基础司和社会发展司、国家自然科学基金委员会地球科学部、中国科学院资源环境科学与技术局等多部门联合组织了“走向21世纪的中国地球科学”发展战略调研,出版了《走向21世纪的中国地球科学》(1995)。中国科学院地学部先后出版了《中国地球科学发展战略的若干问题——从地学大国走向地学强国》(1998)、《地球科学——世纪之交的回顾与展望》(2002)等战略研究报告。国家自然科学基金委员会地球科学部1991~1996年先后出版了《自然科学学科发展战略研究》的系列学科卷,其中包括地质科学、大气科学、地球物理学、地理科学、海洋科学、地球化学、大地测量学、空间物理学、土壤学、环境化学等地学卷;《21世纪初地球科学战略重点——“十五”优先资助领域》(2002)、《地球科学“十一五”发展战略》

(2006) 等。原地质矿产部也开展了战略研究, 出版了《当代地质科学前沿——我国今后值得重视的前沿研究领域》(1993)、《国际地质科学发展动向》(2005) 等。国务院 2005 年发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020)》, 其中也包含了大量地球科学有关领域的基础和应用基础研究内容。

国家官方机构和广大地球科学工作者共同进行的地球科学发展战略研究, 聚焦发展前沿, 凝练发展目标, 提出发展措施, 指导研究实践, 有力地促进了我国地球科学的发展进程。当然, 我国地球科学研究战略的制定也要顺应国际地球科学发展的潮流, 抓住国际前沿和热点问题, 并有所创新。同时, 根据我国特点, 认真学习西方发达国家地球科学研究管理和基金组织制定的战略计划。例如, 美国国家科学基金会(NSF)、美国航空航天局(NASA), 以及英国、德国和法国等有关基金资助指南考虑地球科学发展的中长期科学路线图, 以超前的理念、超前的规划、超前的部署积极推动学科的发展。自 2004 年始, 中国科学院地学部常委会为了配合国家和中国科学院中长期科技发展规划的制定, 组织学部院士和专家开展我国地球科学发展战略的研究。在中长期规划的地球科学发展战略研究以及此前的地球科学学科发展战略研究的基础上, 集体撰写了《21 世纪中国地球科学发展战略报告》一书。本书基于对 21 世纪地球科学发展的思考, 提出了我国地球科学研究的发展目标: 至 2020 年, 中国地球科学研究达到国际先进水平, 在地球科学研究的多个领域中跻身于国际前列, 引领国际某些重要领域的发展。

这一目标的实现将取决于国家的投入、系统合理的政策、良好的机制保障和广大科技工作者的艰苦努力。借鉴历史经验, 我们有必要根据中国的实际情况, 以“任务带学科”, 探索地球科学发展前沿与国家需求高度统一的科学问题, 促进和推动我国地球科学的健康发展。因此, 本书着重讨论了涉及行星地球协同演化、海洋过程、陆面过程与人类活动、大气和空间天气、全球变化与地球系统、矿产资源和能源、水资源、重大自然灾害与防治八大重要科学问题

或领域，提出了进行上述八大科学问题研究的实现途径，其中包括制订大型研究计划、建立观测、分析和模拟实验平台、培养顶尖人才等。还强调进一步解放思想，全方位国内外开放，强化国际合作，培养市场和地球管理等全球意识，建立面向地球管理的人才队伍、平台和运行机制，鼓励自由探索，重视基础研究和公众参与等，促进传统学科和地球系统科学等新兴学科生机盎然地向前发展。

重要的是，强调上述八大科学问题，并不能涵盖当代地球科学基础研究的所有方面，科学家的好奇心和自由探索永远是学科发展的重要驱动力。在当前强调国家需求与科学前沿相结合的大形势下，我们应给基础研究留下足够的发展空间，而不该偏颇。

加强我国地球科学发展的能力建设是实现我国地球科学发展战略目标的基础和关键。现代地球科学的发展无不与研究平台设施的建设和高层次人才的培养密切相关。地球科学的能力建设包括：一是要建设地球科学仪器设施及其共享应用的管理制度；二是要建设科学数据共享平台与网络体系，促进和优化地学研究的信息数据环境；三是要建设适应地球科学发展的地学教育体系和人才培养模式；四是要向社会和公众普及地球科学知识，促进地学知识的社会应用，奠定地球科学发展的坚实社会基础和氛围。只有建设符合地球科学发展规律的地球科学能力建设机制，才能保障我国地球科学发展战略的实施。

总之，我国地球科学研究的发展，要准确把握国际地球科学发展的前沿，面向我国经济社会发展的战略需求，深刻认识我国自然和社会条件的特点，顺应国际地球科学发展的潮流和国内经济社会发展的大势；树立21世纪崭新的理念，即地球科学研究除了要进一步发展学科、学科交叉和综合集成研究外，还要面向市场、面向用户、面向决策层、面向地球管理，在真正为国家、用户、社会服务的过程中获得跨越式发展，迈进国际地球科学强国俱乐部，成为国际上有重要影响乃至发挥学科引领作用的地球科学研究强国。

(安芷生 张志强)