

地球科学新的研究机遇

..... 美国国家科学院国家研究理事会

地球与生命科学部

地球科学与资源委员会

地球科学新的研究机遇委员会

张志强 郑军卫 等 译校



科学出版社

地球科学新的研究机遇

.....美国国家科学院国家研究理事会.....

地球与生命科学部

地球科学与资源委员会

地球科学新的研究机遇委员会



张志强 郑军卫 等 译校

科学出版社

图字: 01-2014-0713

This is a translation of *New Research Opportunities in the Earth Sciences* by Committee on New Research Opportunities in the Earth Sciences at the National Science Foundation and National Research Council

© 2012 National Academy of Sciences. First published in English by the National Academies Press. All rights reserved.

图书在版编目(CIP)数据

地球科学新的研究机遇 / 美国国家科学院国家研究理事会编;
张志强等译校. —北京: 科学出版社, 2014. 11
书名原文: New research opportunities in the earth sciences
ISBN 978-7-03-042130-2

I. ①地… II. ①美… ②张… III. ①地球科学-研究 IV. ①P

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 232452 号

责任编辑: 邹 聪 白 丹/ 责任校对: 彭 涛

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

*

2014 年 11 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2014 年 11 月第一次印刷 印张: 11 3/4

字数: 190 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

美国国家科学院

——科学、工程和医学领域的国家咨询机构

美国国家科学院是一个由致力于促进科学和技术进步，并将其应用于公共福利的优秀学者所组成的民间的、非营利性的自治组织。自 1863 年由国会批准成立以来，国家科学院的使命就是为联邦政府提供科学和技术事务的咨询。拉尔夫·J. 赛瑟罗恩博士是国家科学院院长。

美国国家工程院成立于 1964 年，根据国家科学院章程，作为杰出工程师的平行组织。国家工程院在行政管理与成员选举上具有自主权，与国家科学院共同承担为联邦政府提供咨询的责任。国家工程院还主管工程计划，旨在满足国家需求，鼓励教育和研究，并表彰工程师的突出成就。查尔斯·M. 维斯特博士是国家工程院院长。

医学科学院是由国家科学院于 1970 年组织成立的，以确保行业内杰出专家能够审查与公众健康有关的政策。依据国会赋予国家科学院的职责，医学科学院要为联邦政府提供咨询服务，旨在识别医疗保健、研究和教育方面的重要问题。哈维·V. 芬伯格博士是医学科学院院长。

国家研究理事会由国家科学院于 1916 年组织成立，以便联系广泛的科学和技术团体，服务于科学院目标——增进知识以及为联邦政府提供咨询。按照国家科学院的既定方针，国家研究理事会作为国家科学院和国家工程院的主要执行机构，为政府、公众和科学技术团体服务。国家研究理事会由国家科学院、国家工程院和医学科学院共同管理，拉尔夫·J. 赛瑟罗恩博士和查尔斯·M. 维斯特博士分别是国家研究理事会的主席和副主席。

www.national-academies.org

美国国家科学基金会地球科学新的研究机遇委员会

THORNE LAY (主席)	加利福尼亚大学圣克鲁兹分校
MICHAEL L. BENDER	普林斯顿大学新泽西分校
SUZANNE CARBOTTE	哥伦比亚大学, 纽约
KENNETH A. FARLEY	加利福尼亚理工学院, 帕萨迪纳
KRISTINE M. LARSON	科罗拉多大学博尔德分校
TIMOTHY LYONS	加利福尼亚大学河滨分校
MICHAEL MANGA	加利福尼亚大学伯克利分校
HO-KWANG (DAVE) MAO	华盛顿卡耐基研究院, 华盛顿特区
ISABEL P. MONTAÑEZ	加利福尼亚大学戴维斯分校
DAVID R. MONTGOMERY	华盛顿大学, 西雅图
PAUL E. OLSEN	哥伦比亚大学, 纽约
PETER L. OLSON	约翰·霍普金斯大学, 马里兰州巴尔的摩
PATRICIA L. WIBERG	弗吉尼亚大学, 夏洛茨维尔
DONGXIAO (DON) ZHANG	南加利福尼亚大学, 洛杉矶

美国国家研究理事会工作人员

MARK D. LANGE	研究主任
JASON R. ORTEGO	研究助理
COURTNEY R. GIBBS	项目助理

美国国家研究理事会地球科学与资源委员会

CORALE L. BRIERLEY (主席)

Brierley 咨询有限责任公司, 科罗拉多州高原牧场

KEITH C. CLARKE

加利福尼亚大学圣塔芭芭拉分校

DAVID J. COWEN

南卡罗来纳大学哥伦比亚分校

WILLIAM E. DIETRICH

加利福尼亚大学伯克利分校

ROGER M. DOWNS

宾夕法尼亚州立大学帕克分校

JEFF DOZIER

加利福尼亚大学圣塔芭芭拉分校

WILLIAM L. GRAF

南卡罗来纳大学哥伦比亚分校

RUSSELL J. HEMLEY

华盛顿卡耐基研究院, 华盛顿特区

MURRAY W. HITZMAN

科罗拉多矿业学院, 戈尔登市

EDWARD KAVAZANJIAN, JR.

亚利桑那州立大学, 坦佩

ROBERT B. McMASTER

明尼苏达大学, 明尼阿波利斯

M. MEGHAN MILLER

UNAVCO 公司, 科罗拉多州博尔德

ISABEL P. MONTAÑEZ

加利福尼亚大学戴维斯分校

CLAUDIA INÉS MORA

洛斯阿拉莫斯国家实验室, 新墨西哥州

BRIJ M. MOUDGIL

佛罗里达大学, 甘斯威尔市

CLAYTON R. NICHOLS

艾奥瓦国家工程与环境实验室 (退休), 华盛顿州海洋公园

HENRY N. POLLACK

密歇根大学, 安阿伯

JOAQUIN RUIZ

亚利桑那大学, 图森市

PETER M. SHEARER

加利福尼亚大学圣迭戈分校

REGINAL SPILLER

Azimuth 投资有限公司

RUSSELL E. STANDS-OVER-BULL

阿纳达科石油公司, 蒙大拿州比灵斯市

TERRY C. WALLACE JR.

洛斯阿拉莫斯国家实验室, 新墨西哥州

美国国家研究理事会工作人员

ANTHONY R. DE SOUZA

主任

ELIZABETH A. EIDE	高级项目主管
DAVID A. FEARY	高级项目主管
ANNE M. LINN	高级项目主管
MARK D. LANGE	项目主管
SAMMANTHA L. MAGSINO	项目主管
JENNIFER T. ESTEP	财务副主管
NICHOLAS D. ROGERS	财务副主管
COURTNEY R. GIBBS	项目助理
JASON R. ORTEGO	研究助理
ERIC J. EDKIN	高级项目助理
CHANDA IJAMES	高级项目助理

中 文 版 序

本书简要介绍了美国国家研究理事会（NRC）地球科学新的研究机遇（NROES）委员会的研究认识和建议。受美国国家科学基金会（NSF）委托，NROES 委员会需确定未来 10 年地球科学领域具有高优先级的新兴和潜在研究机遇，包括表层地球过程和深部地球过程以及诸如海洋与大气科学、生物科学、工程科学、计算机科学和社会与行为科学之间的跨学科协同研究。NSF 还要求 NROES 委员会确定出支撑这些新兴和潜在研究机遇所需的关键仪器和设施。

在对数百份近期完成的报告和研究成果充分调研的基础上，NROES 委员会开展了对具有高可能性的研究方向及其所需新研究设施的确定和评价。研究认识到许多关键的学科进展和学科发展正在呈现，一个高优先性的需求是维持 NSF 学科基础研究计划的核心基础研究行动。许多具有广泛影响的重要机遇涉及一些超出基础研究核心计划框架的行动，其或许能通过关注多学科行动得到揭示。NROES 委员会确定出 7 个涵盖主要动力地球系统的研究主题，这些动力地球系统只能通过跨学科的方法来实现完全地定量表征，其范围和学科参与的组织与 NSF 地球科学处深部地球过程（DEP）和表层地球过程（SEP）计划相关。这些研究主题是：①早期的地球；②热化学内在动力及挥发物分布；③断裂作用与变形过程；④气候、地表过程、地质构造和深部地球过程之间的相互作用；⑤生命、环境和气候间的共同演化；⑥耦合水文地貌-生态系统对自然界与人类活动变化的响应；⑦陆地环境的生物地球化学和水循环，及全球变化对它们的影响。此外，对支撑许多研究机遇的精确地质定年需求的增大，激发了对 NSF 如何支持地球化学设施的重新思考，这些设施必须既能实现方法创新、培养下一代地球化学家，也能服务于几乎不能使用常规样品定年的新兴需求。NROES 委员会的建议将会对自然灾害、能源资源和可持续环境的社会应用以及对地球系统的基本认识产生影响。

很高兴看到《地球科学新的研究机遇》中文版即将出版，报告中的基

本认识适合于所有国家的地球科学研究机遇与挑战。报告提到的维持核心学科研究的需求和支撑跨学科研究的新机制对所有地球科学研究计划而言也都是适用的。

NROES 委员会主席 *Thorne Lay*

2014 年 4 月

A graphic consisting of four gray circles arranged horizontally. The first circle contains the word 'Preface', the second 'For', the third 'Chinese', and the fourth 'Version'. The circles are connected by thin horizontal lines extending from the left and right sides.

Preface For Chinese Version

This report summarizes the findings and recommendations of the United States National Research Council (NRC) Committee on New Research Opportunities in the Earth Sciences (NROES). The NROES Committee was tasked by the United States National Science Foundation (NSF) to identify high-priority new and emerging research opportunities in the Earth sciences over the next decade, including surface and deep Earth processes and interdisciplinary research coordinations with fields such as ocean and atmospheric sciences, biology, engineering, computer science, and social and behavioral sciences. NSF also requested that the NROES Committee identify key instrumentation and facilities needed to support these new and emerging research opportunities.

An extensive review of hundreds of recent reports and studies was conducted to identify and evaluate high potential research directions and new facilities that will be required. It was recognized that many key disciplinary advances and discoveries are progressing and there is a high priority need to sustain core basic research efforts in the US NSF discipline-based research programs. Many of the key opportunities for broad impact do involve efforts that extend beyond basic core program structures, and may be exploited by focusing attention on multi-disciplinary efforts. The NROES Committee identified seven topics involving major dynamic geosystems that can only be fully quantified by interdisciplinary approaches, organized by scale and disciplinary participation related to the US NSF-Earth Sciences Deep Earth Processes (DEP) and Surface Earth Processes (SEP) Sections: ①the early Earth, ②thermo-chemical internal dynamics and vol-

atile distribution, ③ faulting and deformation processes, ④ interactions among climate, surface processes, tectonics, and deeper Earth processes ⑤ co-evolution of life, environment and climate, ⑥ coupled hydrogeomorphic-ecosystem response to natural and anthropogenic environmental change, and ⑦ cycling of water, carbon and geological materials in terrestrial ecosystems. In addition, the expanding need for accurate geologic dates for many of the research opportunities motivates consideration of restructuring how NSF supports the geochemical facilities that must both innovate methodologies, train next-generation geochemists, and service burgeoning demand for what is almost never routine dating of samples. The NROES Committee recommendations should have impact on societal applications of natural hazards, energy resources, sustainable environments, and fundamental understanding of geosystems.

It is a pleasure to see the Chinese version of the NROES report, as the basic findings are universal for Earth science research opportunities and challenges confronting all nations. The need for sustaining core disciplinary research and new mechanisms to support interdisciplinary research is truly common to all Earth Science research programs.

Thorne Lay
Chair, NROES Committee
April 2014

译者序

地球科学是一门人类认识行星地球演化规律和利用所获得的行星地球知识为人类服务的最重要的、历史悠久的基础性自然学科。随着地球科学自身的不断发展和完善,以及人类社会对地球科学的需求越来越迫切,地球科学与其他学科之间,以及地球科学各分支学科之间的交叉融合研究越来越普遍,地球科学研究正朝着系统化、整体化、组织化、规模化、技术化、平台化、应用化方向发展。开展地球科学的发展战略研究,促进地球科学在人类认识自然和社会发展中发挥更大的作用,已成为国际地学界促进地球科学发展的重要途径。国际科学理事会(International Council for Science, ICSU)、美国国家研究理事会(National Research Council, NRC)、美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)、美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)、英国自然环境研究理事会(Natural Environment Research Council, NERC)、德国科学基金会(Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG)等有关研究与资助组织或机构均以超前的理念、超前的规划、超前的研究部署积极开展地球科学发展战略研究,规划地球科学的未来,推动地球科学学科的发展。

化石燃料、水资源的日益短缺,地震、海啸灾害发生的机理及减灾,气候变化引起的环境变化以及核扩散等问题的解决均需要对地球科学进行深入的研究,这使地球科学研究提升到了各国重要的国家战略高度。2001年NRC发布了NSF委托开展的《地球科学基础研究的机遇》(*Basic Research Opportunities in Earth Science*)报告,提出未来十年基础研究的机遇是,通过利用和扩大基础研究的能力探索行星地球,破译地球的历史、认识其目前的行为并预测其未来:发现、利用和保护自然资源;表征和减轻自然灾害;为商业和基础设施建设提供岩土工程支持;环境管理;用于全球安全和国防的地球监视。该报告指导了随后十年美国乃至全球地

球科学的快速发展,取得了许多重要的科学认识。2012年,NRC又发布了NSF委托开展的《地球科学新的研究机遇》(*New Research Opportunities in the Earth Sciences*)报告,指出未来10年地球科学领域新的研究机遇包括从地表到地球内部运动过程的研究,以及海洋与大气科学、生物科学、工程科学、社会科学、行为科学等领域的跨学科研究,涵盖7个研究主题:①早期地球;②热化学内动力和挥发物分布;③断裂作用及变形过程;④气候、地表过程、地质构造和深部地球过程之间的相互作用;⑤生命、环境和气候间的协同演化;⑥水文地貌-生态系统对自然界与人类活动变化的耦合响应;⑦陆地环境生物地球化学和水循环相互作用。这些研究机遇反映了未来10年地球科学重要的发展方向,对我国开展地球科学研究具有重要的指导和借鉴意义。

本书的翻译是在中国科学院“十二五”委托项目“资源环境科技发展态势监测分析与战略研究”的资助下,由中国科学院资源环境科学信息中心(中国科学院兰州文献情报中心)张志强研究员、郑军卫研究员负责,由张志强、郑军卫、赵纪东、王立伟、孙德强等20余位同志一起完成的,最后由张志强、郑军卫负责统稿和审校。在本书的翻译过程中,我们尽量坚持与原文一致,在不影响理解的情况下普遍采用直译的方式,希望尽可能多地向我国研究人员原汁原味地转述原作者的思想。但限于译者水平有限,书中难免有疏漏和错误,敬请读者指正。

美国国家研究理事会地球科学新的研究机遇委员会主席 Thorne Lay 先生专门为本书的中文版撰写了序,向中国读者介绍和推荐本书。

谨对以上在本书的翻译、校对、出版过程中作出贡献的各位先生和女士表示衷心感谢。



2014年4月28日

前言

本报告概述了地球科学新的研究机遇（NROES）委员会的新发现和如何迎接这些机遇的建议。受 NSF 领导，NROES 委员会开展了以下工作并向 NSF 地球科学处^①（EAR）提供建议：

（1）识别新的研究机遇。识别未来 10 年内地球科学领域具有高优先级的新研究机遇。这些领域包括表层地球过程和深部地球过程及与海洋科学、大气科学、生物科学、工程科学、计算机科学和社会科学、行为科学等领域的跨学科研究。

（2）识别重要设施和关键设备。识别支持这些研究机遇所需的重要设施和关键设备。

（3）描述合作机遇。描述上述新领域与 EAR 及其他的政府机构计划、行业计划和国际计划之间不断增强的合作机遇。

（4）提出新的途径。为帮助 EAR 培养下一代地球科学家、支持青年研究者、完善弱势组织参与该领域的研究提出新的途径。

按照任务目标的设定，NROES 委员会没有对现有的 EAR 项目或联邦政府其他的研究项目进行评估，也没有提出预算建议。本报告集中讨论了表层地球过程和深部地球过程中新的研究方向，这些研究方向与 EAR 的研究领域有显著交叉。虽然主要由 NSF 其他部门资助的研究方向还没有确定，但是，EAR 可以确定自己与 NSF 地学学部其他处〔海洋科学处（OCE）及大气与地球空间科学处（AGS）〕以及极地项目办公室（Office of Polar Programs, OPP）、生物学部（Directorate for Biological Sciences, DBS）、数理学部（Directorate for Mathematical and Physical Sci-

^① 地球科学处（EAR）是 NSF 地学学部（GEO）的一个下属部门，此外，GEO 还包括大气与地球空间科学处（AGS）和海洋科学处（OCE）。地球科学（Earth Science），相当于国内的固体地球科学（译者注），是整个地球科学（Geoscience）的一部分，研究重点为地球固体表面、地壳、地幔和地核，包括固体地球、大气圈、水圈和生物圈之间的相互作用。

ences, DMPS) 等进行跨界合作时的位置。此外, NASA、美国能源部 (Department of Energy, DOE) 和美国地质调查局 (USGS) 之间进行跨部门协调对寻求地球科学未来关键研究机遇也具有至关重要的作用。

在此以前, NRC 已发布了若干报告, 帮助确定了 NSF 在地球科学研究中的活动内容。早在 1983 年之前, EAR 筹集所有款项通过核心研究项目支持个人研究。基于《地质科学的研究机遇》^① 和《研究简报》^② 中提出的建议, EAR 创建了大量的跨学科项目, 其中包括仪器和设施 (instrumentation and facilities) 以及大陆动力学 (Continental Dynamics)。1993 年, NRC 的报告《固体地球科学与社会》^③ 记录了地球科学进展、地球科学技术的驱动因素、其组成学科的地位、大量重要的未解问题和许多绝好的研究机遇。同时, 该报告也描述了地球科学在全球化、高科技社会中具有的根本性的重要意义。2001 年的 NRC 报告《地球科学基础研究的机遇》^④ (*Basic Research Opportunities in Earth Science*, BROES) 明确指出新的研究前沿将出现在以下领域: ①关键带 (critical zone) 研究; ②地球生物学; ③地球和行星物质; ④大陆调查; ⑤地球深部研究; ⑥行星科学。上述学科前沿都遵循地球科学基础研究的社会相关性。NSF 和 EAR 在 BROES 报告中提出了几个重要建议, 尤其是重组部门结构, 增加在浅部地球动力系统 (shallow earth dynamical system) 和水文系统、关键带观测站、地球生物学方面的资源投入, 开展地球透镜计划 (Earth Scope) 的大型研究设备与设施建设计划。EROES 报告充分阐明了进行地球科学基础研究的价值。近十年来, 由于自然资源、自然灾害、地球科学工程、资源环境管理及国家安全地面监测等问题一直是政治与社会讨论和行动的焦点。因此, 与这些问题有关的争论只会日益激烈。

2011 年 EROES 报告与 2001 年 EROES 报告的一个重要区别是 EAR 组织结构的改进: 深部地球过程和表层地球过程两部门更适合应对地球科学不断变化的研究机遇。因此, 本报告的目的不是通过对现有项目的重新定义来发现研究机遇, 而是在现有项目的基础上支撑具有特别意义的地球系统研究。另一个重要区别是, 本报告研究中多个 EAR 研究团体通过研讨会报告和白皮书的形式对学科和跨学科的科学规划 (见附录 A) 进行了总结。EAR 研究团体的工作得到了方案管理者的大力支持, 产生了数量

① NRC. 1983. 地质科学的研究机遇. 华盛顿: 美国国家科学院出版社: 95.

② NRC. 1983. 研究简报. 华盛顿: 美国国家科学院出版社: 99.

③ NRC. 1993. 固体地球科学与社会. 华盛顿: 美国国家科学院出版社: 346.

④ NRC. 2001. 地球科学基础研究的机遇. 华盛顿: 美国国家科学院出版社: 168.

空前的详细、周密并具有时效性的科研机遇概述，部分内容具有适当的优先级。

考虑到 NROES 委员会的任务分配和许多团体在研究规划中巨大的前期投入，委员会没有召开任何另外的座谈会或研讨会，而是花费更大的力气在新近发布的具有广泛社会共识的文件上。然而，由于侧重听取领域内研究人员的意见，因此，并不是所有的研究领域（尤其是地球化学和构造地质学）已经做好了从多学科视角进行科研或接受学科“大挑战”的准备。NROES 委员会也从大学、学院、专业学会、涉及地球科学的联邦政府分支机构负责人中获得与以下内容相关的反馈意见：

（1）地球科学 10 年展望，包括与其他学科的联系。

（2）开展这一科学研究活动的合适范围，包括个人研究者、重大设施和“系统级”研究的作用等。

（3）支持上述研究活动所需的基础设施和设备。

资助地球科学主要项目的联邦政府分支机构（如 NSF、USGS、DOE、NASA）的管理者们也提供了未来研究方向和机构互动方面的看法和计划。受访者姓名和委员会咨询的其他个人名单见附录 B。委员会得出的结论或提出的建议凝聚了地球科学委员会众多成员的智慧。最后，委员会向在委员会组建和报告编辑过程中做出重要贡献的 NRC 项目负责人 Mark D. Lange 致谢；向在网站建设、文档跟踪与汇编、笔录和会议后勤等方面为委员会提供广泛协助的 NRC 成员 Jason R. Ortego 和 Courtney R. Gibbs 致谢。

研究委员会主席 Thorne Lay

译校 张志强

摘要

地球拥有一套复杂的、不断变化的系统，它控制着地球和生活在其上的人类所经历的过去的演化、如今的状况以及未来的环境。在过去的两个世纪中，地球科学的发展已经趋于成熟，正在发展的分支学科都致力于研究地球结构、演化过程以及详细的历史过程，其中，不断变化的地球系统涉及的跨学科特性正逐步被科学家们所关注。理论的发展与技术的改进正在推动地球科学的分支学科迅速前进，并发挥各自的作用。如今这些分支学科记录陆地变化的各种数据，观测从地表到地心的活动过程，并且通过错综复杂的动态模拟来研究这些变化对地球的驱动作用，所有的这些研究工作都需要持续坚持下去。然而，本报告所强调的短期内该领域的最佳研究机遇都涉及聚焦于过去及现在的特定动态地球系统的综合性多学科研究。

在 2001 年 NRC 的报告中，BROES 介绍了地球科学基础研究对 5 个方面的国家需求的支持：①发现、利用和保护自然资源；②自然灾害的特征及减灾；③地学技术对商业和基础设施发展的支持；④环境管理；⑤服务全球安全和国防的陆地监测。随着人类对相关问题重视程度的增强，这一趋势在今天更加紧迫，而且将持续至未来。现在世界关注的热点涉及化石燃料和水资源、危及成千上万生命的地震和海啸等自然灾害的发生及其所导致的巨大经济损失，与气候系统密切相关的环境变化，以及核武器的研制与测试，如此众多且急迫的社会议题需要地球科学方面的重要信息支撑。

这些国家需求驱使我们建立一个国家战略来持续推动地球科学各领域的基础研究和专业知识培训。本报告通过对未来 10 年研究机遇的评估发现了地球科学维持并增强其对社会贡献的诸多途径。NSF 是美国唯一对地球科学各核心分支学科的好奇心驱动研究和战略性研究都进行资助的联邦政府机构（相关活动通过 EAR 进行）。因此，EAR 相关计划的规范执