

中国科学院国家科学图书馆

科学研究动态监测快报

2010年12月15日 第24期（总第102期）

地球科学专辑

中国科学院资源环境科学与技术局

中国科学院规划战略局

中国科学院国家科学图书馆兰州分馆

中国科学院国家科学图书馆兰州分馆
邮编：730000 电话：0931-8271552

甘肃省兰州市天水中路8号
<http://www.llas.ac.cn>

目 录

地球科学计划

从IGCP计划看中亚成矿域研究..... 1

固体地球科学

Geology: 从断裂带构造认识断层滑动行为..... 6
M8地震模拟刷新高性能计算记录..... 8
扩大地震灾害研究的效用..... 10
研究表明热环境帮助加速地球生命起源..... 13

2010年总目次

2010年《科学研究动态监测快报——地球科学专辑》1~24期总目次..... 14

地球科学计划

编者按：当前，我国的矿产资源有以下几大特点：总量大，但人均拥有量低；种类齐全，但结构不合理；分布相对集中，但与经济区域不匹配。随着我国经济的不断发展，对矿产资源的需求越来越大，矿产资源的供需形势也将越来越严峻。地处亚洲大陆中心的我国新疆及与之相邻的广袤地区在地理范围上构成了中亚成矿域，该区面积上千万平方公里，是全球矿产资源潜力最大的区域。与此同时，第二亚欧大陆桥综合运输体系这一安全的陆路资源通道横贯中亚成矿域。因此，凭借巨量矿产资源供给能力和资源通道的特殊功能，中亚成矿域构成了我国资源安全体系的不可缺失的重要组成部分和举足轻重的一翼。国际地学计划（IGCP）自实施以来，开展了多项与中亚成矿域有关的研究项目，如1989年开始的IGCP 283项等，这些项目在一定程度上反映出了中亚成矿域的研究动向，我们在此对其作一简析。

从 IGCP 计划看中亚成矿域研究

新疆及其东西邻接的广袤区域，是一个资源环境极为相似的巨型自然单元，在地质上属中亚成矿域。这一区域东起贺兰山，西到里海，南接青藏高原，北跨阿尔泰山地，总面积近1 000万 km²，我国约占270万 km²（国家305项目办公室，2010）。中亚成矿域赋存着巨量的矿产资源，哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦等国已发现超大型金属矿床32处。其中，铜储量在百万吨以上的大型铜矿10余处，仅卡尔马克尔铜矿储量就达2 100万吨以上。蒙古国境内新发现的多处大型铜矿中，奥尤陶勒盖铜矿铜储量更是达到了2 600万吨以上。因此，加强中亚区域地质矿产研究，不仅有利于提高国内矿产资源的可供性，也有利于利用国内外矿产资源，特别是利用中亚邻国的巨量矿产资源。

1972年，联合国教科文组织（UNESCO）和国际地质科学联合会（IUGS）联合发起了一项新的科学计划，即国际地质对比计划（IGCP）。1974年，该计划开始正式实施。2001年2月5日—8日举行的IGCP科学执行局第29次会议决定，将国际地质对比计划（International Geological Correlation Programme, IGCP）改为国际地学计划（International Geoscience Programme），但英文简称仍保留IGCP。IGCP是一个国际多学科交叉计划，它涉及到地质科学的不同领域，旨在通过长期的共同研究、会议、实地考察以及讲习班等形式，促进世界各国科学家在地质问题研究上的国际合作，尤其是发达国家与发展中国家科学家之间的互动。

IGCP计划自实施以来，开展了多项与中亚成矿域有关的研究项目。总的来看，这些项目大致分为两个方面，一是基础地质领域的成矿背景研究，二是成矿作用研究，其中，大量研究集中于成矿背景方面。

1 成矿背景研究

中亚成矿域经历了 10 亿年的构造演化，最早可以追溯至罗迪尼亚（Rodinia）超大陆时期，最近则可以追溯至冈瓦纳超大陆时期。在地理位置上与中亚成矿域密切相关的主要概念有：古亚洲构造域、中亚褶皱带、阿尔泰构造拼合体（Altaids）、中亚造山带、横贯亚洲巨型构造带等。

1.1 中亚成矿域的地质构造演化研究

(1) IGCP 283

IGCP 283 项“与古亚洲洋有关地区的构造演化及动力学研究”于 1989 年 2 月在巴黎十七次 IGCP 执行局会议上获得通过，研究期限为 1989—1993。研究范围包括该区域各主要造山带，具体研究内容包括：沉积作用；变形、变质作用；岩浆活动；深部构造以及构造演化。该研究力图阐明古亚洲域巨缝合带岩石圈和上地幔的结构特征及其地球动力学规律，是板块学说运用于大陆的重要验证。

(2) IGCP 420

IGCP 420 项“显生宙大陆增生：东—中亚造山带的证据”由法国雷恩大学（University of Rennes）的江博明教授和俄罗斯科学院西伯利亚分院（Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences）的 Dobretsov 教授于 1996 年 10 月联合向联合国教科文组织提交。1997 年，该项目得到了批准，执行期为 5 年（1997—2001）。IGCP 420 项目包括六个研究区，分别是：西伯利亚西部、西伯利亚东部、蒙古、新疆—内蒙、中国东北和哈萨克斯坦，这六个研究区分别由六位科学家主持。该项目主要研究内容包括：①显生宙地壳增生研究；②碱性、过碱性花岗岩成因研究；③与花岗质侵入体有关的成矿作用研究；④构造分析与构造建模。

(3) IGCP 480

中亚造山带是欧亚大陆内部规模最大的造山系统，浓缩了自中元古代末至中生代全球构造演化的关键信息。为了以结构和构造研究为基础，建立中亚地区跨越边界的构造单元和边界，科学家们提出了一个新的 IGCP 项目（编号 480）——中亚造山拼合体的结构和构造的关系：大陆生长与陆内变形的意义。该项目实施期限为 2004—2009 年，旨在建立构造单元、地层、火成单元、变质单元间的系统联系，探索“中亚造山拼合体”的构造地质和大地构造关系，及其对大陆生长和陆内变形的意义。项目主要研究内容包括：①识别中亚造山带俯冲过程中的主要构造边界是前缘碰撞还是弧前的走滑重复边界；②高压—超高压变质杂岩的剥离机制；③蛇绿岩的大地构造背景及其对古构造恢复的重要性；④构造单元的古地理位置；⑤晚古生代和中生代构造及大型沉积盆地的成因；⑥印度—亚洲碰撞作用的远程效应；⑦地幔柱的辨别及其对大地构造过程的作用。

1.2 与中亚成矿域有关的全球构造演化研究

(1) IGCP 321

IGCP 321 项（冈瓦纳的离散和亚洲的增生）于 1991 年得到 IGCP 委员会的批准，执行期为 1991—1995 年，由来自中国、法国、日本的三位科学家负责。该项目旨在通过古地理、地质构造、地层学、沉积学、地球物理学（特别是古地磁学）、岩浆活动、变质作用、地球化学、成矿作用等的多学科综合研究，来探讨冈瓦纳的裂解，以及各种前冈瓦纳陆块及碎片的裂谷—飘移—拼合—增生历史。在项目实施过程中，来自不同国家的科学家开展了多项双边和多边合作研究，其中，来自中国和俄罗斯的科学家联合开展了中亚—蒙古构造带的研究，中国的地质学家还对古亚洲洋、特提斯洋、秦岭造山带进行了系统的研究。

（2）IGCP 376

IGCP 376 项（劳伦—冈瓦纳古陆的连接关系）由来自阿根廷、智利、加拿大的三位科学家负责，执行期 5 年（1994—1998）。该项目旨在精确验证中—晚元古代罗迪尼亚超大陆的形成假说，及其在晚元古代的裂解，以及古生代劳伦与冈瓦纳大陆之间的相互关系。该研究获得了主要克拉通及楔入地体的高质量古地磁数据，并应用包括地体示踪技术（动物群省、详细的锆石地质年代与同位素年代）在内的综合地质研究方法测定了这些克拉通和地体的地质记录。通过对地球物理学、地球化学与地质数据的集成分析，检验了现有的假说，并形成了一系列中元古代—早古生代的复原地图。

（3）IGCP 421

IGCP 421 项（北冈瓦纳中古生代生物事件——与地壳动力学有关的生物地理格局）由法国和澳大利亚的两位科学家负责，执行期 5 年（1997—2001）。该项目分析了中古生代（从晚奥陶纪至早石炭纪）时期北冈瓦纳大陆边缘广大地理区域的生物事件，特别是全球生物大灭绝及复苏事件，以及横跨该地理区域的生物多样性迁移事件。项目的基础研究成果提高了北冈瓦纳中古生代地层对比的精确性，增进了对地壳块体行为的了解，有助于对在这一关键时期导致 Pangea 古陆形成的地球动力学事件的深入探索。由于该项目改进了用于矿产和石油勘查的基础数据，因此具有重大现实意义。

2 成矿作用研究

（1）IGCP 373

IGCP 373 项主要开展“欧亚含矿火成岩系统的对比、解析与岩浆—水热演化”研究。该项目研究内容涉及酸性火成岩系统（包括侵入岩和喷出岩）形成及其演化的所有方面，主要包括：地球动力学环境和地壳结构；岩浆起源与酸性熔岩的形成；岩基与含矿花岗岩体剖析；岩浆的化学与结构演化；物理化学平衡与侵位机制；岩浆与成矿事件的时间尺度与阶段；矿—岩浆模拟；伟晶岩/细晶岩的形成；从岩浆流动出溶到大气水—岩相互作用的水热演化、水热交代、矿化作用及风化作用。这一系列不同系统的比较研究有助于确定周期性发生的成岩作用的特征，并发展出描述

长英质火成岩系统的岩浆模式、岩浆—水热模式、以及高温至低温的水热演化模式。因此，该研究对了解壳幔相互作用、花岗岩的起源与演化过程、以及水热交代与成矿作用具有重要意义。

(2) IGCP 473

作为 IGCP 373 项目的一个后续项目，IGCP 473 项“中亚矿床成因：以地理信息系统为现代地球动力学背景下的综合分析”于 2001 年秋季提交 IGCP 委员会。2002 年 2 月初，IGCP 委员会批准了 IGCP 473 项目的资助，执行期 5 年（2002—2006）。IGCP 473 项目主要集中于乌拉尔—阿尔泰（Uralides-Altaids）造山拼合体的地球动力学研究，以及以地理信息系统为基础的成矿学研究。其研究区域主要包括哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦，以及俄罗斯联邦的毗邻地区。IGCP 473 项研究将帮助克服所提出的动力学分析问题，并将考虑成矿的限制因素。通过研究地壳各演化阶段的相互关系、岩浆作用和跨越国界的矿石建造，该项目将完成所提出的主要研究目标——整合当前的所有数据，包括以前从 INTAS-93-1783 中获得的数据，以及从 IGCP 373 项目中获得的新数据，目的在于将中亚的大地构造单元与其矿产资源状况结合起来，以增生构造运动期间地壳生长为背景，查明成矿演化，最终建立一个统一的中亚成矿地球动力学模型。项目将选定一些矿床地点开展具体研究工作，通过野外考察和现代化的实验室方法获得有关矿石、矿化岩石、围岩蚀变及围岩的数据，并根据国际最优方法建立主要矿床的成因模式。

(3) IGCP 486

IGCP 486 项主要研究 Au-Ag-Te-Se 的各种类型成矿作用（热液、岩浆、变质），试图从微观尺度到造山带尺度为在实验室工作的科学家和那些在野外工作的科学家之间搭建一个平台，项目执行期为 5 年（2003—2007）。项目主要目标是通过矿床的时空分布、矿床矿物学以及控制金属和矿物分布的内在和外因因素研究，了解导致 Au-Ag-Te-Se 聚积的地质过程。项目的一个重要任务是对欧亚大陆和世界其他生产地区、以及具有潜力的地区进行比较、分析，这在该项研究中具有重要意义。该项研究的范围十分广泛，涉及矿石分布、矿物组合、共生次序，矿床形成的物理和化学条件、成矿流体的特征和来源、以及选矿的化学和机械过程等各个方面。

3 讨论与分析

从 1989 年开始实施的 IGCP 283 项，到 1997 年开始实施的 IGCP 420 项，再到 2004 年开始实施的 IGCP 480 项，IGCP 一直在关注中亚成矿域的成矿背景问题，特别是其构造演化问题。为什么要关注构造问题，而且一直在关注？因为，在整个成矿过程中，构造是控制一定区域中各地质体间耦合关系的主导因素，是驱动成矿流体运移的主要动力，又是矿体最终定位的场所，它与成矿流体、成矿作用构成了密切联

系的系统。对于中亚成矿域而言，区内近东西走向的天山山脉和北西—南东走向的阿尔泰等山脉，与位于它们之间的巴尔喀什盆地、准噶尔盆地、伊犁盆地、吐哈盆地等构成了陆内大型盆山耦合的地貌格局；乌拉尔—南天山缝合带、斋桑—佐伦—呼玛缝合带（涉及部分），与夹杂于其间的科克切塔夫地块、伊塞克地块、巴尔喀什—伊犁地块、图瓦—蒙古等地块形成了不同块体与缝合带镶嵌的格局。因此，中亚成矿域内分布着具有截然不同的成矿背景且形成不同类型矿床的地体，但是，到目前为止，这些地体的性质和演化历史仍然不明，以致于对该区的地质构造及演化尚未达成相对统一的认识，所以，IGCP 一直在进行这方面的探索，以期能够更好地查明该区的构造演化模式及地质背景，来准确探讨该区的成矿规律。同时，这也是合理划分该区成矿区带并科学部署矿产资源勘查工作必须面对且给出回答的重大地质问题。

中亚成矿域经历了 10 亿年的演化，其初始演化始于罗迪尼亚超大陆时期，之后又经历了其他一些超大陆旋回，如劳亚、冈瓦纳等。这些超大陆不仅导致了多细胞动物生命的兴起，而且还深刻影响了在其之后的大地构造、古地理、古环境和地球化学变化。此外，超大陆的聚合、增生与裂解对这一时期及之后的造山作用过程还具有显著的控制作用。因此，IGCP 321、IGCP 376、IGCP 421 等相继开展了与中亚成矿域有关的全球构造演化研究。尽管这些研究在范围上可能远超出了中亚成矿域的界线，但是从中我们应该可以发现并了解中亚成矿域的形成和演化在全球地质构造体系中的地位和作用。同时，这也是中亚成矿域目前存在的一个首要关键科学问题（朱永峰，2009）。陆松年（1999）认为，罗迪尼亚超大陆的形成和裂解制约着元古宙及后期矿产的形成和分布，因此，Rodinia 超大陆的重建将有助于对早期连续中元古代成矿区块体的现代分布做出解释，而且也有益于在众多大陆矿产勘探计划和地球演化的总体评价中提供一个有力的框架背景。所以，国际地学界不仅仅关注中亚成矿域本身的地质构造演化，还十分注重中亚成矿域在全球岩石圈形成与演化过程中的关键作用。

岩浆是一种重要的成矿物质来源，岩浆的发生、运移、聚集、变化及冷凝深刻地影响着成岩成矿作用。中亚成矿域所产出的大多数矿床与其广泛发育的古生代花岗岩类岩石密切相关，为了进一步对这些花岗岩的侵入时代、来源、成因和地球动力学过程进行研究，以更好地认识该地区大陆地壳的形成过程，了解这一富矿造山带的成矿作用，IGCP 373、IGCP 420 项等开展了这方面的有关研究。传统的方法主要是对各种地质数据进行定性研究，从而总结成矿模式及成矿规律，但是，这未能很好地利用这些数据的空间属性，所以 IGCP 473 开展了以地理信息系统为基础的中亚矿床成因研究。由于认识到在实验室工作的科学家（从事矿物学实验分析或微观分析）与那些在野外从事矿床学研究的科学家之间明显缺少联系，所以 IGCP 486

开展了以欧亚特定类型矿床为基础的案例研究。

总体而言，成矿理论的创新依赖于对基础地质的深入研究，通过提高基础地质研究程度和对成矿环境与成矿前提的认识来带动找矿的重大突破，早已成为地学界的共识，切实加强中亚成矿域基础地质研究（地质构造、构造演化、增生造山等），扎实推动有关工作，孕育着大陆成矿理论创新的重大机遇。

参考文献：

- [1] 国家 305 项目办公室. 国家重点基础研究发展计划(973 计划)《中国西部中亚型造山与成矿》项目与成果. www.xj305.gov.cn/show.asp?newsid=7633. 2010.
- [2] 姚玉鹏. 国际地质对比计划项目“显生宙大陆增生：东—中亚地区的证据”简介. 科学通报, 1997, 42(10): 1119- 1120
- [3] 肖文交, 舒良树, 高俊, 等. 中亚造山带大陆动力学过程与成矿作用. 新疆地质, 2008, 26(1): 4- 8
- [4] 朱永峰. 中亚成矿域地质矿产研究的若干重要问题. 岩石学报, 2009, 25(6): 1297- 1302
- [5] 陆松年. “IGCP 440 项: Assembly and Break-up of Rodinia”研究项目已获批准,研究工作即将启动. 前寒武纪研究进展, 1999, 22(1): 61- 65

(赵纪东 编写)

固体地球科学

Geology: 从断裂带构造认识断层滑动行为

对于地震和断层物理学研究而言，探索断裂带构造和地震行为之间的联系是至关重要的。地震代表滑动行为的一种结果，摩擦熔化和假玻璃熔岩为动态破裂过程中的局部滑动提供了证据（Sibson, 1977; Cowan, 1999; Cashman et al., 2007）。无震滑动则代表滑动行为的另一种结果，在无震滑动中，蠕变与断裂带内普遍存在的剪切作用有关。然而，最近的研究表明，这种看法过于简单化。事实上，构造断层在一系列模式上都失败了，这些模式包括蠕变和瞬态应变模式、慢地震与静地震模式、低频地震模式、构造断层震颤模式、以及震后余滑模式（图 1）。

经过长时间的研究，许多研究者（Tocher, 1960; Beroza and Jordan, 1990; Linde et al., 1996）已经认识到断层的滑动模式非常复杂，其涉及到存在或不存在地震辐射（seismic radiation）的瞬时加速度。然而，直到十几年前，破裂模式（如构造断层震颤）才被逐渐知晓（Obara, 2002; Rogers and Dragert, 2003），当前的研究主要集中于介于地震滑动和无震滑动之间的滑动行为（Amoruso and Crescentini, 2009; Brown et al., 2009; Johnson et al., 2009）。

图 1 突出显示了不同断层滑动模式的不同时间常数，这些时间常数从几秒钟（动态地震破裂）到几天（震颤偏移），直至一年或一年以上（震后余滑和无震蠕变）。Scholz（1998）的模型保留了孕震区的基本概念，也就是孕震区的上方和下方都存

在无震滑动，该模型指出，地震的瞬态滑动模式，包括震颤和超低频地震（very low frequency, VLF），主要发生于孕震区上倾（updip）和下倾（downdip）界限内的过渡带。这种观点与近期的观测一致，但由于瞬时滑动定位技术的改进这一观点可能需要完善。已知的滑移行为范围使得有关断裂带结构和断层滑动行为间的关联理论更为完善，但同时也提出了一些重要问题，包括：①慢滑断层物理学与地震物理学之间有怎样的联系？②震颤和其他形式的准动态破裂是否发生在断层（主控动态破裂例）的同一区段？③什么因素控制着断层慢滑的偏移速度？④这些瞬态滑动模式是否产生于其所发生的断裂带的独特结构？⑤是否可以区分在动态破裂、无震蠕变、以及其他形式断层作用过程中所形成的断裂带构造？

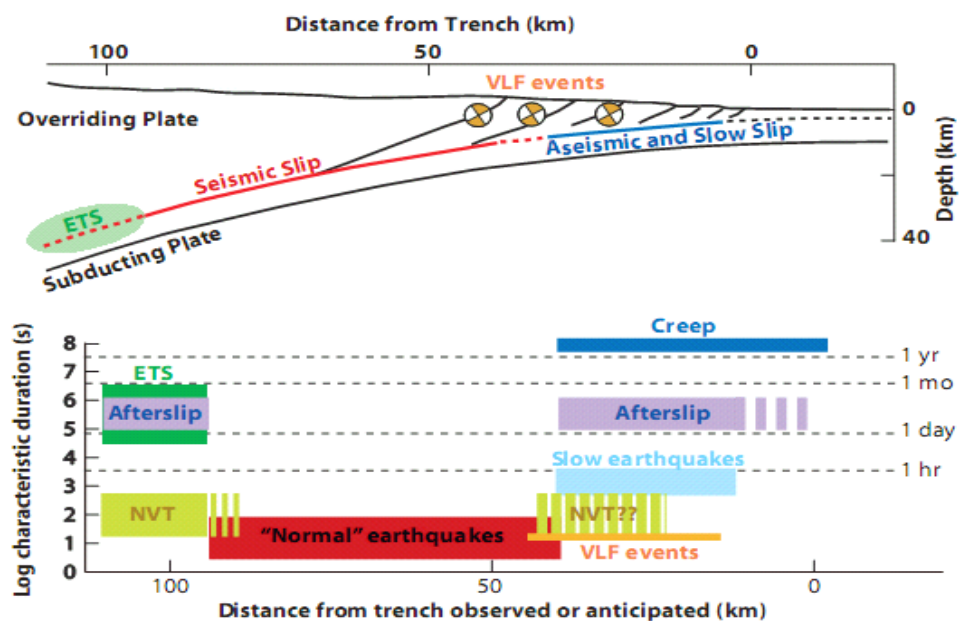


图1 俯冲带的断层滑动行为及不同滑动行为的持续时间
(NVT—非火山震动、ETS—幕式震颤和滑移、VLF—低频地震)

Fagereng 和 Sibson (2010) 提出了有关这些问题的新见解。其研究表明，mélange 俯冲带内指定位置所记录的断层滑动反映出了地震滑动模式和无震滑动模式间的分离。传统观点认为，地震和震颤（或蠕变事件）限于断层的不同区段。Fagereng 等从这一传统观点出发，证明断裂带的带异质性造成了流变和应变速率的空间变化，从而导致了多种破裂模式的产生。这种异质性可能产生于阻抗比（competency contrast）(Fagereng and Sibson, 2010) 或摩擦组成行为的变化 (Marone et al. 2009)。估测表明，相比于粘土富集区或阻抗物质较少的区域，断裂带内更多的阻抗区段和局部化剪切中的更多硬化区将导致较低的断裂韧度和较高的脆性行为。这可能引起断裂带的自然分割，以致对地震成核与地震形成产生影响 (Wesnousky, 1988)。因此，在断层地震周期的早期（剪切带定位不充分），断层滑动的瞬态模式可能更为常见。

混合模式的断层滑动行为突出了孕震区定义的复杂性。孕震区的传统定义完全依靠震源的位置，所以提出了基于地震成核的观点。由于滑移空间分布的解析技术得到改善，所以产生了另一种孕震区定义：地震期间的同震滑动区。因为动态破裂能够在有条件的稳定区域于地震核区上倾和下倾界限内传播，所以孕震区的范围可以超过核区。正因此，Fagereng 和 Sibson (2010) 认为，复杂的、混合模式的断层滑动行为可能出现于这一有条件的稳定过渡区。

混合模式断层滑动行为（某一断层位置）的另一种解释涉及摩擦稳定性的剪切局部化作用。一项广泛的实验室研究表明，当剪切变得更加局部化时，会增加断层滑动的不稳定趋势 (Collettini et al., 2009)。最近的研究表明，断裂带组构和叶理表面的粘土层对断层强度，以及摩擦流变能力与剪切局部化间的关系具有决定作用 (Collettini et al., 2009; Schleicher et al., 2010)。因此，了解断裂带的微结构和剪切构造的作用将帮助人们从断裂带结构观测中认识断层的滑动模式。

20 世纪 70 年代到 80 年代初期，摩擦规律和稳定性模型得到使用，在这样一种背景下，断层滑动行为的观测范围是不可预料的。虽然现代摩擦组成定律 (friction constitutive law) 能够描述断层滑动行为的所有内容 (Marone, 1998; Scholz, 1998; Rubin, 2008)，但是，将速率-状态摩擦定律 (rate-state friction law) 整合入地震模型后，便能够描述滑动成核现象、动态破裂传播、以及瞬态地震余滑和蠕变。然而，这些摩擦定律主要是经验性的，目前对其基本过程还知之甚少，其关键构成参数也并未通过实验数据和实地观测模型得到充分限制。现在，为了对处于复杂混合模式的断层滑动行为之间的时空相互作用能够有更多了解，我们必须对断层滑动行为的全面观测、摩擦组成定律、仪器观测、以及断裂带实地研究进行综合或集成。目前，Fagereng 和 Sibson 开展的研究工作就代表了这样一种重要的新方向。

(杨景宁 译)

原文题目: Learning to read fault-slip behavior from fault-zone structure

来源: <http://geology.gsapubs.org/content/38/8/767.full>

M8 地震模拟刷新高性能计算记录

2010 年 11 月 18 日，来自美国一个多学科科学团体的研究人员在新奥尔良举行的 2010 年超级计算机大会 (Supercomputing 2010, 简称 SC10) 上展示了目前世界上最先进的地震动模拟，即南加州 8 级大地震模拟计算，简称 M8 地震模拟。该项研究获得了贝尔戈登奖提名，贝尔戈登奖每年在超级计算机大会上颁发，旨在奖励高性能计算应用方面的杰出成就。

与以前的地震模拟相比，M8 地震模拟更为细致地描绘了圣安德烈斯断层南部 8.0 级地震将如何在更大范围内震动的情景。也许最重要的是，M8 地震模拟进行的这种计算在速度和效率方面都是世界领先的。

美国南加州大学 (USC) 的南加州地震中心 (SCEC) 是该项目的主要协调单位, 圣地亚哥超级计算机中心 (San Diego Supercomputer Center, SDSC) 的研究人员为模拟提供了高性能计算和可视化科学知识。地震模拟的具体细节由圣地亚哥州立大学 (SDSU) 的科学家完成, 俄亥俄州立大学 (OSU) 的研究人员也是合作团队的一部分, 他们的共同努力提高了有关软件的效率。

虽然这类大地震 (M8) 发生的概率较低, 但技术的改进推动了此类地震模拟的进行, 现在, 这种模拟技术正使科学家花费比以前更少的时间来模拟更可能发生的其他地震情景。因为高性能计算模拟在目前地震灾害评估中发挥着最重要的作用, 而且得到了最为广泛的应用, 所以, 南加州地震中心的研究小组一直专注于进行相关模拟的计算技术及代码的最优化处理。

M8 地震模拟得到了美国国家科学基金会 (NSF) 的众多资助, 具体地震模拟过程利用超级计算机资源完成, 其中包括美国国家科学基金会在美国国家计算科学院 (NICS) 的 Kraken 超级计算机和美国能源部 (DOE) 在美国国家计算科学中心 (NCCS) 的美洲虎 (Jaguar) 超级计算机。南加州地震中心的 M8 地震模拟无论在地震科学研究方面, 还是计算方面都代表了世界最先进的水平, 超级计算机的计算能力每秒超过百万亿次浮点运算。

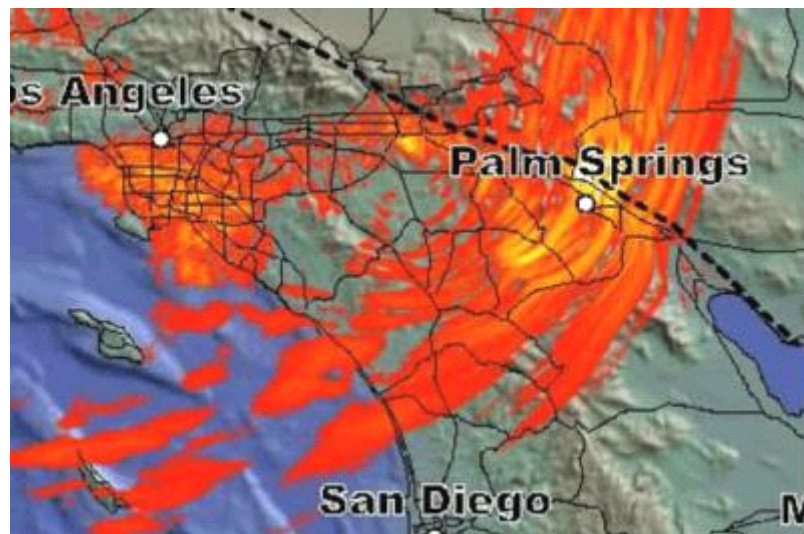


图 2 8 级地震发生 75 s 后的地面运动情况

Thomas Jordan 是南加州地震中心主任, 也是该项目的首席研究员。Jordan 表示, 该地震模拟是为了认识大地震的动态破裂过程及地震波的动力传播过程, 并根据震动频率要求工程师设计出合乎安全规范的建筑物。以前的地震模型只用于模拟地震时高层建筑物是如何响应的, 但新的地震模拟却可以用来了解更广泛区域内建筑物如何在地震中作出响应。

圣地亚哥州立大学的地球科学教授、进行该项研究的顶尖科学家 Kim Olsen 表示, 这种大规模模拟的科学结果非常有趣, 其模拟的地震细节在过去他们是无法看

到的。然而，由于所需的计算数量庞大，只有最先进的超级计算机才能够在一段合理的时间内完成这种模拟。圣地亚哥超级计算机中心的计算机科学家崔一峰表示，M8 地震模拟代表计算的一个里程碑，无论在运算规模还是运算速度方面都刷新了地震高性能计算的记录。M8 地震模拟也是有史以来在浮点运算方面进行的规模最大、最详细的大地震模拟，其为地震科学和建筑工程开拓了新领域，旨在减少生命和财产的潜在损失。

具体来说，M8 地震模拟模型可以持续模拟长达 6 分钟的地震动，而且模拟的地理覆盖面积最大，相当于一个体积约为 500 英里 (810 km)，长为 250 英里 (405 km)，宽 (深) 为 50 英里 (85 km) 的长方形。该项目组的最新研究创下了计算机处理器内核使用方面的一个新的记录，在美国田纳西州橡树岭国家实验室 (ORNL) 的 Jaguar Cray XT5 超级计算机上使用了 223 074 个计算机内核，实现了连续 24 小时每秒 220 万亿次的浮点运算。

南加州地震中心的信息技术部副主任 Phil Maechling 表示，他们在短短六年时间里，通过不懈努力，使得模拟的地震频率每二到三年便增加一倍，TeraShake 模拟中的地震频率为 0.5 Hz (或每秒中的周期)，在 ShakeOut 模拟中地震频率达到了 1.0 Hz，而现在，在该项研究中，地震频率增加到了 2.0 Hz。

从地震科学的角度来看，这些模拟可以用来研究地震波如何穿过建筑物并在地壳中传播，也可以通过研究来改善这些建筑物的三维模型。Jordan 表示，根据他们的计算，深沉积盆地 (如洛杉矶地区的那些沉积盆地) 受到的震动比通过标准方法预测的震动还要强烈。Jordan 还表示，通过改进模拟预测可以使震动情景变得更加逼真，他们还可以帮助工程师设计出更安全的新建筑物。总体而言，地震模拟结果有益于制定出更好的防震减灾政策，而且改进后的地震模型可以用于应急方案的更好规划。

(杨景宁 译 赵纪东 校)

原文题目: SCEC's "M8" earthquake simulation breaks computational records, promises faster and more detailed models of future earthquakes

来源: <http://www.scec.org/m8/>

扩大地震灾害研究的效用

2010 年 1 月 12 日，海地首都太子港发生 $M \approx 7.0$ 地震，造成 20 多万人丧生，这是海地历史上最惨重的地震之一。由于海地是世界上最贫穷的国家之一，这场灾难很容易追查到以下问题：建筑质量不达标，并缺乏现代地球物理研究机构 (可协助民间保护组织)。这种看法比较天真，而且，至少有部分是错误的。

2009 年 4 月 6 日，意大利中部拉奎拉市 (L'Aquila) 附近发生 $M \approx 6$ 地震，使拉奎拉市及周围地区受到严重破坏，造成 308 人死亡。幸运的是，相比于海地地震，此次灾难造成的破坏要小得多，这并不是因为意大利属于八国集团中的精英，也不

是因为意大利具有悠久的地震学研究历史，包括许多著名的大学、以及资金雄厚的意大利国家地球物理与火山研究所（Istituto Nazionale di Geofisica and Vulcanologia，运行着一个技术先进的国家地震台网），也不是因为意大利有一个独特有效的民事防护部（Dipartimento di Protezione Civile），能够使国民转危为安。拉奎拉地震造成的破坏比太子港小的根本原因在于一个较小的地震袭击了一个居民较少的地区。

这两起地震事件对科学界的震动不亚于实际的地面震动，事实上，其他任何破坏性地震都是如此。正如 Ari Ben-Menahem（1995）在其回忆录中表示：“1992年4月14日，欧洲中心地区发生了6级地震。尽管当时已经有了许多地震仪、计算机、以及地震学方面的专家，但是，并没能预测出此次地震。”因此，这再一次提醒人们，即使积累了自1755年葡萄牙里斯本（Lisbon）地震以来所有的地震知识，现在，我们仍然和当时一样对地震深感惊讶。

预测地震是人类一个古老的梦想。对地震的科学研究进行的越多，我们对地震的物理过程认识的也就越多。控制地震的物理过程是非线性的，同时，地震对难以测量的边界条件和初始条件十分敏感，因此，试图预测下一次破坏性地震事件很像预测轮盘的旋转结果一样，非常困难。

但是，这并不意味着地震是完全不可预测的，如同所有非线性特征极为明显的现象一样，可以在概率风险方面对地震进行预测。因此，抗震规范成为了地震灾害防御的根本。

所有国家都有抗震规范，但形式各不相同。由于遭受损害的主要是最古老、最破旧的建筑物，所以，相比于抗震规范规定的建筑内容，不同规范间的差异已经显得不太重要。在许多国家，如意大利，最近几年已经开始采用日趋严格的抗震规范，但是这些规范只针对新建筑或翻新建筑，并不包括那些旧建筑物（几个世纪前建成，大多位于意大利的城市中心）和处于高危状况的艺术古迹。

一般来说，地震灾害评估是地震备灾的指南。这涉及许多方面，从最初的建筑法规和一般的群众防护计划，一直到紧急行动计划（如紧急疏散）。太子港地震和拉奎拉地震都表明了这样一个事实：高科技时代在很大程度上仍然无法对抗破坏性地震。而且，拉奎拉地震还暴露了一个特别明显的事实：人们不能从地震学知识中期待奇迹发生，特别是，地震灾害研究对短期备灾行动的指导是无效的。这是为什么呢？

1995年，Boschi、Gasperini 和 Mulargia 对地震灾害进行了研究，并在《美国地震学会通报》发表他们的研究成果。这项工作的技术基础简单明了，通过两种渐近的物理行为（完全正则性——高斯过程；总随机性——泊松过程）建立了地震活动模型。在意大利，这种方法适用于独立定义的54个地震构造区。以这种方法对拉奎拉地区和西西里岛东南部地区所进行的评估表明，这两个地区未来5年发生 $M \geq 5.9$

地震事件的概率接近 1.0。

地震灾害研究中遇到了许多问题 (Mulargia and Geller, 2003)。首先, 这些研究缺乏稳固的物理基础, 而且本质上是半经验的: 大部分公式使用统计术语, 如泊松过程中的回归时间 (return times); 或依赖于幻想, 如应变补偿机制中的时间依赖; 或调用特征地震的同一复发规律; 或者, 在最近的一些公式中, 所描述的聚类仅依靠现象来定义。其次, 这些半经验的方法显然仅仅集中在人们感兴趣的大地震事件中, 但在实践中, 它们的发生率非常低。因此, 出现了低效率的统计推断。再者, 依赖于时间的地震灾害研究方法不得不面对古登堡-里克特定律 (Gutenberg-Richter law) 的挑战, 显然, 这将不可避免地把小地震事件的高集群性变成低概率性, 即每天至多发生 10^{-4} 次“大地震”事件 (Kagan and Jackson, 1994)。

由这些问题所得到的第一个结果就是: 不同灾害研究结果的可靠性是十分有限的, 尽管这些研究结果被认为应该予以适当考虑。在定量分析的情况下, 该方法 (Boschi 等的方法) 的有效概率比其表面声称值要低得多。在拉奎拉地震中, 估计的概率为 ~ 1.0 , 这比地震的实际发生时间提前了 15 年, 所以, 相对于一般的聚类推断, 有效概率后来被验定为每天发生 2×10^{-4} 次地震, 或每小时发生 10×10^{-5} 次地震。这些概率太低, 以致于不能支撑任何破坏社会生活的行动 (如紧急疏散等)。

拉奎拉地震特别说明了这样一个问题: 尽管发表该项地震灾害研究论文的第一作者, 自论文发表以来一直担任意大利国家地球物理与火山研究所 (意大利地球物理学研究主力, 负责意大利的地震监测) 的所长, 也就是说其处于领导地位, 但是, 自 2009 年 1 月以来, 持续发生的地震群虽然已经影响到拉奎拉地区, 可其并没有采取实际行动, 这是因为, 与地震事件发生的低概率相比, 紧急疏散将不可避免地造成远高于地震灾害的重大损失。

地震灾害研究的有效性在时间尺度表现为一个建筑物的寿命, 也就是 100 年, 很显然, 这种计算缺乏有效的社会时间尺度 (从数天至数月)。从积极的方面来看, 拉奎拉地震表明, 我们可以从中等时间尺度 (1~10 年) 探索灾害研究的效用。事实上, 海地地震和拉奎拉地震事件提醒我们, 地震破坏源自两个基本因素的组合: 地震的灾害性和脆弱性。具体来讲, 脆弱性主要是由地方建设扩大和破旧建筑造成的。拉奎拉地震强有力地证实了地震脆弱性的前一构成要素的作用 (主要是一维尺度上的), 震中附近的村庄 (相隔只有几公里) 被彻底摧毁, 而位于沉积物或新岩石上的同一建筑地点只遭受到轻微破坏。位点作用 (site effects) 的另一个典型例子就是历史名城拉奎拉市受到的破坏, 这主要源于片状地基构造, 其产生了频率为 3Hz 或 0.6Hz 的强烈共振, 其中 0.6Hz 的共振由软层上的刚性路面引发 (De Luca et al. 2005)。

改造旧建筑和古建筑以抵御地震的主要问题在于成本。同时, 加固所有危险建筑物的成本也是无法承受的。“相对较高但实际却很低”的灾害研究的概率水平可以

被用于单一建筑物的地震脆弱性研究，以及土壤结构动态行为的实验研究，因为土壤结构动态变化被认为是确定结构损坏的最关键因素（Erlingsson, 1999）。

事实上，现在土壤和建筑物的被动模态分析技术（或自然输入技术）既迅速又廉价，其将地震的微颤动作为一个随机的宽带激发来测量动态响应（Lachet and Bard 1994; Huang and Lin, 2001）。通过这样的分析可以有效地识别最脆弱的结构，并且指导人们加固最迫切需要加固的地方，这将充分扩展不受时间约束（时间范围很长）的灾害评估，同时，给依赖于时间的灾害评估提供了存在的理由。

（杨景宁 译）

原文题目：Extending the Usefulness of seismic hazard studies

来源：<http://srl.geoscienceworld.org/cgi/content/full/81/3/423>

研究表明热环境帮助加速地球生命起源

地球上的生命到底起源于热环境还是冷环境，生命是否经历了足够长的时间才演化到今天这种复杂的程度，这些问题一直处于争论之中。最近，北卡罗来纳大学（UNC）教堂山分校（Chapel Hill）的研究人员通过研究温度对极缓慢化学反应的作用发现，热环境下生命演化所需的时间比预期的要短，该项研究成果发表在 2010 年 12 月 1 日的美国国家科学院院刊（PNAS）上。

启动化学反应的酶和蛋白质是整个自然界和人体的细胞生命的必需，随着时间的推移，这些分子变得更加复杂和特殊。为了了解现代酶的强大作用，以及它们的演化过程，科学家需要认识在没有这些酶存在情况下的反应速率。UNC 大学生物化学与生物物理学领域特聘教授 Wolfenden 领导的研究团队通过对化学反应速率的测量，估计其中一些化学反应持续了 20 亿年，并且没有酶的参与。

研究结果表明，一般情况下，温度对反应速率的影响程度变化很大。Wolfenden 则表示，在慢反应速率的测量过程中，反应速率越低，与温度的关系越密切。举例来说，当温度从 25℃ 上升至 100℃ 时，慢反应速率将增加 1 千万倍。这令人非常震惊，因为近一个世纪以来，普遍认为温度对化学反应的影响是温和的。特别需要指出的是，根据 1866 年的一项实验，反应速率要增加一倍，温度需要上升 10℃。Wolfenden 称，这项发现将改变人们对地球上第一个最原始生命形式的认识。

Wolfenden 的团队提出了这样一种假设：生命在温泉和海底热液喷口开始形成的时候，高温可能是影响反应速率的一个关键因素；此后，地球变冷，这为原始酶的演化以及其向复杂水平的变化提供了选择性压力。未来，该团队将应用其他方法对这一假说进行检验。

（赵纪东 译）

原文题目：Heat helped hasten life's beginnings

来源：<http://www.sciencedaily.com/releases/2010/12/101202124321.htm>

2010年《科学研究动态监测快报——地球科学专辑》1~24期总目次

★ 地球科学计划

地球系统研究远景规划的七类科学问题·····	(1.1)
美国国家海浪观测计划·····	(2.2)
21世纪地球系统预测计划·····	(4.1)
全球地震模型(GEM)行动计划·····	(6.1)
英国海洋科学战略(2010—2025)·····	(7.1)
英国海洋能源行动计划2010·····	(11.1)
美国国家航空与航天局公布新的“地球探险”研究项目·····	(12.6)
美国国家大气与海洋管理局(NOAA)下一代战略规划·····	(14-15.1)
地球系统分析、综合与模拟科学计划和实施战略·····	(16.1)
地球透镜计划2010—2020年科学研究方向·····	(17.1)
南大洋观测系统——初步的科学和执行战略·····	(18.1)
地球透镜计划的成就与挑战·····	(20.1)
美国白宫科技政策办公室(OSTP):实现和维持地球观测 ——基于美国地球观测组战略评估的初步计划·····	(22-23.1)
从IGCP计划看中亚成矿域研究·····	(24.1)

★ 地球科学前沿

南极冰冻圈融化速度减缓?·····	(2.13)
地球空间观测研究进展·····	(3.1)
新的地质时期——人类世·····	(8.1)
北冰洋科学钻探:下一个科技前沿·····	(11.9)
边缘景观:地表研究的新视野·····	(12.1)
太阳辐射管理(SRM)——以地球工程方法应对气候变化·····	(13.1)
关于地球地壳构造板块的新观点·····	(18.11)
最近十年国际地球科学领域研究前沿(2000—2010年)·····	(19.1)
北极海岸状况2010—科学回顾与展望·····	(21.1)
地球物理学家断言:需要修改地球深层水循环·····	(21.8)

★ 固体地球科学

研究表明洋壳形成是一个动态过程·····	(1.8)
科学家确定夏威夷热点的深部起源·····	(1.10)
地球上地幔熔体加速上升·····	(2.9)
富矿沉积和远古大气状况之间的关系·····	(2.10)
树叶化石揭示内华达山脉古气候·····	(2.12)
美国地质调查局确定2010年矿产资源外部研究计划(MRERP)资助项目·····	(3.9)

英国地质调查局将在南乔治亚岛建立地磁观测站·····	(3.11)
第五届国际岩石应力研讨会将在北京召开·····	(3.12)
Resolution 号科考船采集到迄今最深的钻孔样品·····	(4.9)
美国的矿产资源地质学：一场迫近的危机？·····	(5.6)
数字系统辅助灾后决策·····	(6.11)
英国地质调查局发布新的数字地质图·····	(6.12)
冰融面积不断扩大使格陵兰岛迅速抬升·····	(12.10)
俄罗斯地质部门 2030 年前发展战略简介·····	(13.12)
库克群岛政府批准成立海底采矿专责小组·····	(17.10)
加拿大政府致力于改善采矿业的环境绩效·····	(17.11)
末次冰期结束的新线索·····	(19.10)
美国将重振其稀土矿业·····	(20.12)
<i>Geology</i> : 从断裂带构造认识断层滑动行为·····	(24.6)
研究表明热环境帮助加速地球生命起源·····	(24.13)

★ 海洋科学

中国台湾将建设首座海底地震台站·····	(1.12)
斯坦福大学伍兹环境研究所海洋与河口项目·····	(4.11)
研究发现：以色列海平面高度曾不断变化·····	(4.12)
旨在减缓全球变化的海洋地球工程有可能加速气候变暖·····	(5.9)
英国将建新的综合性海洋研究中心·····	(5.10)
科学家确定南极洲附近热液喷口的可能位置·····	(6.9)
南大洋的风变化对深海产生的影响·····	(8.8)
研究发现：西地中海温度和盐度正在升高·····	(11.12)
MBARI 利用深潜器探测深海漏油·····	(11.12)
美科学家开展胡安德富卡海岭观测站部署的前期工作·····	(17.12)
格陵兰冰盖和南极洲西部冰盖的融化速度低于预期·····	(18.10)
深海泄露原油仍在海面下，将以脉冲形式到岸·····	(19.11)
海洋研究机构介绍·····	(21.10)

★ 大气科学

美国科学家预测：2010 年飓风威胁将加剧·····	(8.7)
借助多种手段研究大气颗粒物对气候的影响·····	(12.8)
NASA 将对飓风进行近距离研究·····	(14-15.22)

★ 地球科学技术

首次接收到土壤湿度和海洋盐度监测卫星观测图像·····	(5.11)
能够检测卫星、气象仪器运行错误的新算法·····	(8.9)
NASA 绘制全球浮尘分布图·····	(8.11)

美国科学家成功建立动态 3D 地球表面模型·····	(8.12)
科学家利用卫星技术测量海洋的容积与深度·····	(12.11)
欧洲航天局将利用新型 Proba-V 卫星监测全球植被·····	(12.12)
新型防波栅栏可减少堤坝所受波浪的侵蚀·····	(14-15.24)
NASA 最新的 GOES 卫星准备就绪·····	(18.12)
碳测绘研究的突破性进展·····	(19.7)
NASA 卫星数据提升了流域污染检测水平·····	(19.8)
卫星探测到高空大气 7.7 亿吨粉尘物质·····	(19.9)

★ 地震科学

构建地震预报的新模型·····	(1.6)
斯克里普斯海洋研究所向智利地震点派出科考队·····	(7.10)
智利北部最新地震裂口监测·····	(7.11)
2010 年初以来全球主要地震活动分析·····	(9-10.11)
鲜水河断裂带未来的地震风险·····	(9-10.19)
中美科学家联合开展板内地震研究·····	(9-10.22)
MIT Technology Review: 中国缺乏地震预警系统·····	(9-10.23)
美国地质调查局加强地壳变化监测·····	(9-10.24)
Science: 圣安德烈斯断层深部地震的复发间隔研究·····	(13.6)
研究表明地震可能同步发生·····	(13.9)
地壳破裂并不总能引发大规模火山爆发·····	(13.11)
地层中细微的黏土可抑制大地震的发生·····	(14-15.21)
研究表明圣安德烈斯断层上的大地震比预想的更为频繁·····	(17.8)
San Andreas 断层 Carrizo 平原段地震破裂的平均时间间隔研究·····	(18.9)
Geology: 俯冲侵蚀对地震的作用·····	(20.9)
研究表明降雨变化可触发地震·····	(20.11)
海地地震研究产生意外结果·····	(21.9)
M8 地震模拟刷新高性能计算记录·····	(24.8)
扩大大地震灾害研究的效用·····	(24.10)

★ 玉树地震

国内外专家对玉树地震的成因分析及思考建议·····	(9-10.1)
克什米尔高原地震的救灾举措·····	(9-10.5)
玉树地震灾后救援面临的特殊挑战·····	(9-10.9)

★ 地球科学基金

美国 2010 财年地球科学预算分析·····	(5.1)
NOAA2011 年财政预算·····	(7.9)

版权及合理使用声明

中科院国家科学图书馆《科学研究监测动态快报》（简称《快报》）遵守国家知识产权法的规定，保护知识产权，保障著作权人的合法权益，并要求参阅人员及研究人员认真遵守中国版权法的有关规定，严禁将《快报》用于任何商业或其他营利性用途。未经中科院国家科学图书馆同意，用于读者个人学习、研究目的的单篇信息报道稿件的使用，应注明版权信息和信息来源。未经中科院国家科学图书馆允许，院内外各单位不能以任何方式整期转载、链接或发布相关专题《快报》。任何单位要链接、整期发布或转载相关专题《快报》内容，应向国家科学图书馆发送正式的需求函，说明其用途，征得同意，并与国家科学图书馆签订协议。中科院国家科学图书馆总馆网站发布所有专题的《快报》，国家科学图书馆各分馆网站上发布各相关专题的《快报》。其它单位如需链接、整期发布或转载相关专题的《快报》，请与国家科学图书馆联系。

欢迎对中科院国家科学图书馆《科学研究监测动态快报》提出意见与建议。

中国科学院国家科学图书馆

National Science Library of Chinese Academy of Sciences

《科学研究动态监测快报》(简称系列《快报》)是由中国科学院国家科学图书馆总馆、兰州分馆、成都分馆、武汉分馆以及中科院上海生命科学信息中心编辑出版的科技信息报道类半月快报刊物,由中国科学院规划战略局、基础科学局、资源环境科学与技术局、生命科学与生物技术局、高技术局研究与发展局等中科院职能局、专业局或科技创新基地支持和指导,于2004年12月正式启动。每月1日或15日出版。2006年10月,国家科学图书馆按照统一规划、系统布局、分工负责、系统集成的思路,对应院1+10科技创新基地,重新规划和部署了系列《快报》。系列《快报》的重点服务对象首先是中科院领导、中科院专业局职能局领导和相关管理人员;其次是包括研究所领导在内的科学家;三是国家有关科技部委的决策者和管理人员以及有关科学家。系列《快报》内容将恰当地兼顾好决策管理者与战略科学家的信息需求,报道各科学领域的国际科技战略与规划、科技计划与预算、科技进展与动态、科技前沿与热点、重大研发与应用、科技政策与管理等方面的最新进展与发展动态。

系列《快报》现有13个专辑,分别为由中国科学院国家科学图书馆总馆承担的《交叉与重大前沿专辑》、《现代农业科技专辑》、《空间光电科技专辑》、《科技战略与政策专辑》;由兰州分馆承担的《资源环境科学专辑》、《地球科学专辑》、《气候变化科学专辑》;由成都分馆承担的《信息科技专辑》、《先进工业生物科技专辑》;由武汉分馆承担的《先进能源科技专辑》、《先进制造与新材料科技专辑》、《生物安全专辑》;由上海生命科学信息中心承担的《生命科学专辑》。

编辑出版:中国科学院国家科学图书馆

联系地址:北京市海淀区北四环西路33号(100190)

联系人:冷伏海 朱相丽

电话:(010)62538705、62539101

电子邮件:lengfh@mail.las.ac.cn; zhuxl@mail.las.ac.cn

地球科学专辑

联系人:高峰 安培浚 赵纪东 王金平

电话:(0931)8270322 8271552

电子邮件:gaofeng@lzb.ac.cn; anpj@llas.ac.cn; zhaojd@llas.ac.cn; wangjp@llas.ac.cn