

GEOSS 条件下固体地球灾害的广义遥感监测

吴立新^{1,2}, 刘善军¹

1. 东北大学 3S 与数字矿山研究所, 沈阳 110004

2. 中国矿业大学 3S 与沉陷工程研究所, 北京 100083

[摘要] 地质灾害、地震灾害与矿山灾害是中国的主要固体地球灾害, 地壳运动变化与岩石受力灾变是固体地球灾害发生的根源。通过分析岩石受力灾变辐射异常实验研究及固体地球灾害遥感监测实践研究的国内外现状, 提出了综合多种电磁与非电磁手段, 构建全方位、多层次的卫星-航空-地表-地下四位一体、立体协同的广义遥感监测体系。论述了突破经典遥感信息融合的局限, 从时间、空间和物理尺度研究和挖掘广义遥感信息中多种物理量之间及岩石灾变前兆之间的内在机理与关联规律的必要性。为提高固体地球灾害前兆识别的可行性与可靠性, 分析了在 GEOSS 条件下构建固体地球灾害广义遥感监测体系的有利契机和若干前沿问题, 包括广义遥感信息融合理论、固体地球灾害前兆识别模型等。

[关键词] 固体地球灾害; 全球对地观测; GEOSS; 广义遥感; 监测预警; 防灾减灾

[中图分类号] P237

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)06-0005-07

Generalized Remote Sensing for Solid Earth Hazards Under Condition of GEOSS

WU Lixin^{1,2}, LIU Shanjun¹

1. Institute of RS/GPS/GIS and Digital Mine Research, Northeastern University, Shenyang 110004, China

2. Institute of RS/GPS/GIS and Subsidence Engineering Research, China University of Mining Technology, Beijing 100083, China

Abstract: Geological hazards, tectonic earthquake and mine hazards are three kinds of chief solid Earth hazards in China, caused by the crust movements and rock disastrous fracturing due to overloading. By analyzing the present situations of experimental researches on electromagnetic radiation from overloaded rock and on remote sensing related with solid Earth hazards, it is suggested to establish a 3D coordinated integrated remote sensing system with all kind of electromagnetic and non-electromagnetic techniques being applied and satellite-based, airborne-based, surface-based and underground-based monitoring units being integrated. The limitation of information fusion theory for classic remote sensing should be overcome so as to search for and to mine out at temporal, spatial and physical scales the correlated mechanisms and laws between multiple physical parameters inside the generalized remote sensing information. In order to improve the reliability in identifying the precursors related with solid Earth hazards, the feasibility of establishing a generalized remote sensing system for the monitoring solid Earth hazards in the condition of Global Earth Observation System of System (GEOSS) is analyzed. Meanwhile, some important issues including the information fusion theory for generalized remote sensing and the identification model for the precursors of solid Earth hazards are discussed.

Key Words: solid Earth hazard; global earth observation; GEOSS; generalized remote sensing; monitoring and prewarning; hazards prevention and reduction

CLC Number: P237

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)06-0005-07

收稿日期: 2007-02-05

基金项目: 国家杰出青年基金项目(50525414), 测绘遥感信息工程国家重点实验室开放基金项目

作者简介: 吴立新, 男, 沈阳市和平区文化路 3 号东北大学 3S 与数字矿山研究所, 教授, 主要从事矿山开采沉陷、数字矿山、遥感减灾及 GIS 理论与算法研究; E-mail: awulixin@263.net

固体地球灾害(包括地质灾害、地震灾害与矿山灾害等)发生的根源是地壳运动变化与岩石受力灾变,进行地壳岩石受力灾变监测预警是固体地球灾害防灾减灾的关键。地壳运动变化与岩石受力灾变孕育与发展过程中,必然产生多种可探测的电磁与非电磁信号异常,而经典遥感没有顾及应力作用对目标辐射信息的影响。不同监测手段未能系统地协同工作,不同监测信息未能有机地融合分析,这制约了固体地球灾害监测预警科学与技术的发展。全球对地观测集成系统(GEOSS)为固体地球灾害监测预警提供了新的条件。综合多种电磁与非电磁手段,构建全方位、多层次的卫星-航空-地表-地下四位一体、立体协同的广义遥感监测体系,实现经典遥感、非接触式测量及地球物理测量的优势互补、融合强化,进而系统揭示固体地球灾害的前兆规律,提高灾害前兆识别的可靠性,是固体地球灾害研究的前沿。

1 中国固体地球灾害面临的形势

因地理区域、地壳环境与地质条件的特殊性,中国是世界上固体地球灾害最为严重的国家之一。由地壳岩石受力灾变引发的地质灾害、地震灾害位列中国四大自然灾害(气象、地震、地质、海洋)之首;且岩石受力灾变还与人类工程活动叠加形成多种人为地质灾害,如山体滑坡、开采沉陷、矿山滑坡、矸石山爆棚、大型隧道坍塌等。

据不完全统计,中国境内发育有特大型滑坡 140 余处,较大型滑坡 2 200 处以上;仅全国铁路沿线分布的大中型滑坡就达 1 000 余处,平均每年中断交通运输 44 次。近 10 年来,每年因崩塌、滑坡等地质灾害造成死亡的人数超过 1 000 人,经济损失达 300 多亿元。

中国大陆由于断裂活动及构造地震造成的危害也相当严重。如东昆仑构造断裂活动引发的 2001 年昆仑山口西里氏 8.1 级地震,造成青藏铁路线严重破坏。川青藏地区是我国西部大型工程(如青藏铁路线、青藏公路、川藏公路、二郎山大隧道等)集中区,也是未来 5~25 年国家级大型工程(如滇藏铁路、南水北调西线工程、岷江水利工程等)集中建设区,受该区断裂活动影响,其工程地质环境与场址安全隐患十分严重。

中国是世界采矿大国,同时也是矿山灾害多发、频发国家。与岩石受力灾变有关的灾害如冲击矿压(岩爆、煤爆、矿震)、顶板垮落、地表塌陷、地裂缝、边坡失稳、矸石山爆棚等频繁发生。近年来矿山灾害呈不断上升趋势,危及社会稳定和生命、生产安全,仅 2005 年 1 月 1 日~12 月 11 日,全国煤矿企业共发生死亡 10 人以上的特重大事故 55 起,死亡 1 668 人,同比 2004 年,增加 17 起,715 人;抚顺西露天矿南、北两侧边坡多次发生大滑坡与地表开裂事件。

可见,防灾减灾,尤其是岩石受力灾变引起固体地球灾害的机理、规律、前兆及其有效识别与监测预警,

是亟需研究和重点突破的重大科学前沿与关键技术问题,是构建和谐社会的保障,是关系到生产安全、工程安全、公共安全和社会持续稳定发展的大事。

2 国内外研究现状分析

数十年来,围绕不同类型固体地球灾害的监测预警问题,国内外开展了大量的岩石受力灾变辐射异常实验研究与固体地球灾害遥感监测实践研究,总结分析如下。

2.1 岩石受力灾变辐射异常的实验研究

岩石破裂电磁辐射(EMR)现象研究最早可追溯到 1933 年,俄国学者斯捷潘诺夫发现岩盐塑性变形时出现带电现象;之后,舍夫佐夫等发现长石标本在变形或破坏时表面出现正电荷^[1]。20 世纪中后期以来,为探索地震中的发光现象,Nitsan^[2]、Yamada 等^[3]、Cress 等^[4]、Brady 等^[5]、钱书清等^[6]、刘煜洲等^[7]、郭自强^[8]等进行了岩石变形和破裂过程 EMR 现象研究,发现了 20 Hz~7 MHz 的 EMR 以及光辐射,并提出了压电效应、逃逸电子轰击效应等多种机理假说。

在岩石破裂的红外辐射(IRR)探测方面,近年研究十分活跃。1987 年,法国学者 Luong^[9-10]率先利用热成像技术研究了混凝土破裂过程中的 IRR 现象,之后又对岩石破坏过程中的 IRR 进行了探索。20 世纪 90 年代初,耿乃光等^[11-12]、邓明德等^[13]针对震前卫星热红外异常现象进行了地壳岩石加载与摩擦滑移过程的 IRR 实验探索,证实了岩石受力破裂过程的 IRR 现象,得到了一些定性认识,进而提出发展“遥感-岩石力学(RSRM)”(或“遥感岩石物理学”)的思路。1996 以来,吴立新等^[14-26]围绕矿压红外探测与地震红外遥感问题,进行了大量的 RSRM 基础实验研究,发现了一系列重要的岩石物理-力学现象,得到了一批定性、定量结果,如:①岩石破裂前存在明显的 IRR 前兆;②脆性岩石单轴加载过程中应力-平均 IRR 温度及机械能-IRR 能之间呈线性关系;③部分岩石存在违背 Kelvin 定律的热力耦合现象;④岩石摩擦滑动中出现强烈的 IRR 效应;⑤模拟构造(雁列断层、共线非连通断层、交汇断层)活动灾变前存在 IRR 异常现象。

此外,刘培洵等^[27]、刘力强等^[28]等也进行了相关实验,得到了一些相似结果。美国 NASA 的 Freund^[29]基于大块花岗岩及斜长岩的中心加压红外观测实验观测到岩石表面 IRR 强度变化幅度超过环境温度现象,提出了“P-hole”假说,认为岩石变形或微破裂时产生的孔穴正电荷(简称“P-hole”)随着应力的作用会传递到岩石表面,并在表面重新结合释放能量,进而产生 EMR。

总之,岩石受力灾变过程的 EMR 实验研究确证:岩石加载变形及破裂过程中,会产生从微波到紫外、从几个 Hz 到甚高频的 EMR。但过去的实验研究多停留在单一频段,很少使用多个波段进行对比实验和定量关联研究,更没有关注岩石破裂灾变 EMR 前兆特征与识

别模型。而且在实验设计中,实验模型较为简单,通常用完整、干燥的岩石进行实验,没有顾及地壳岩石的复杂性(含有水、气、空隙、裂隙、断层等)和盖层的多样性(土层、植物层、耕土层等),导致实验结果的实际应用受到限制。

2.2 固体地球灾害遥感监测的实践研究

固体地球灾害是复杂环境中的复杂现象,可以采用多种手段进行监测。例如,地质灾害监测技术有应力监测、形变监测、声发射(AE)监测、地质雷达监测、EMR 监测、全球定位系统(GPS)与全站仪测量、三维激光扫描等多种;地震灾害监测技术有地应力监测、地形变监测、地磁监测、微震监测、地下水位监测、EMR 监测及其他异常信息监测等多种。过去,固体地球灾害监测手段大多为单一、接触式、散点分布的非连续探测,未考虑监测要素之间的相关性及其监测对象与周边环境的关联性,不能实现大面积、全天时、全天候、综合、系统的动态监测。因此很难及时、准确、连续、全面地获得区域内固体地球灾害的动态信息,难以全面了解灾害孕育、发生与发展过程,影响了灾害前兆的正确识别与及时预警。

20 世纪 80 年代以来,国内外有关热红外、电离层、干涉合成孔径雷达(InSAR)、重力、电磁波等的遥感研究表明,遥感信息异常与固体地球灾害存在一定关联性。随着卫星遥感技术的快速发展,将传统的单点式监测扩展到了基于卫星遥感的面(场)监测,卫星遥感技术已成为固体地球灾害监测预警的一种有效手段。

在地质灾害遥感监测方面,近景数字摄影测量、三维激光扫描、InSAR、差分 InSAR(D-InSAR)、三维层析等现代测绘、遥感与地球物理技术,在边坡稳定性及大型岩土工程稳定性监测中得到了成功应用^[30]。但实践中也发现,单一的遥感监测手段往往难以保证监测精度,需要将多种监测方法进行集成使用,以提高精度和可靠性。

在地震遥感监测方面,20 世纪 90 年代以来,随着高新技术在地球科学中的应用,特别是空间对地观测技术和数字地震观测技术的发展,对现代地壳运动、地球内部结构、地震震源过程、地震前兆图像的观测,在分辨率、覆盖面、动态性等方面都有了飞跃式的发展^[31]。卫星热红外遥感技术用于构造地震短临预报与分析研究得到了越来越多的关注和肯定^[32-36],利用红外遥感手段探测现今断层活动也得到了一些可喜结果^[37],但其机理尚不十分清晰,时空强三要素的准确性与可靠性有待提升。近年,InSAR 技术和以人工角反射器为辅助的 PS InSAR 开始用于活动断裂监测与分析,效果较好,有望成为地壳运动和断裂活动性监测分析的新手段。

在矿山灾害遥感监测方面,目前国内外在岩石受力产生冲击矿压、岩爆、煤爆、煤与瓦斯突出、滑坡、地面沉降等方面,已应用 EMR、AE、D-InSAR^[38]、微震、遥感影像等手段展开研究。采动应力的集中、岩层运动与破坏是冲击矿压、煤与瓦斯突出等煤矿重大灾害事故

的原因^[39],矿山灾害的遥感监测行之有效,但实践也证明依然有不少局限性。若将遥感监测与其他地面、地下监测技术相结合,探索一种多手段集成、多信息融合的监测预警体系,可望取得新的突破。

3 构建固体地球灾害广遥监测体系

遥感技术用于固体地球灾害监测预警具有明显优势。但是,无论是常规监测还是卫星监测,无论是面向形变监测的 PS InSAR,还是面向热辐射异常的红外遥感技术,均存在一定的应用局限;所获数据异常与受力灾变前兆之间是否具备一一对应关系及其定量关系如何,尚缺少研究。

按照遥感定义(遥远的感知),固体地球灾害过程中各类异常信息的非接触式监测也应属于遥感的范畴。由于经典遥感是指地物目标在静态条件下(即应力不变)电磁波(可见光、红外、微波)信号的感知与分析(物性和几何),没有将遥感监测与目标应力状态测量结合起来进行综合研究与利用,因而经典遥感未能顾及应力作用对地物遥感信息的影响。事实上,实验与实践已充分证明:岩石受力破裂与摩擦滑移过程会引起多种可探测的显著 EMR 异常。因此有必要扩展经典遥感的内涵。

为此,建议将一切利用电磁与非电磁信号、远离目标体进行直接和间接感知与测量的方式统称为广义遥感(Generalized Remote Sensing, GRS, 简称广遥),包括经典遥感、非接触式测量和地球物理测量等^[40]。通过将包括热红外遥感、PS InSAR 和高分辨率(空间、时间、光谱、位置)遥感、地应力测量、AE 测量、地球物理勘探、三维激光扫描、近景摄影测量在内的各类广遥技术综合起来,构建立体协同的固体地球灾害广遥监测体系,以实现对于固体地球灾害的高空间精度、高时间分辨率和多参数校验的监测、分析与预警。

构建卫星-航空-地表-地下立体协同的广遥监测体系,并与小卫星计划结合,是未来固体地球灾害监测预警的必由之路。中国将于 2007 年发射的环境与灾害小卫星星座(简称 HJ2+1, 2 颗光学遥感卫星,1 颗雷达遥感卫星)和第二阶段的“HJ4+4”(4 颗光学遥感卫星,4 颗雷达遥感卫星),可望实现对多种应力(如采动应力、化学力和活动应力等)作用下固体地球灾害过程的广遥监测。通过 HJ 小卫星信息与其他广遥信息的优势互补与融合分析,可望提高固体地球灾害监测与前兆识别能力,实现固体地球灾害监测预警的自主创新,并推进中国 HJ 小卫星星座的实施及其在固体地球灾害广遥监测中的应用。卫星-航空-地表-地下立体协同的固体地球灾害广遥监测原理与体系架构如图 1 所示。

4 固体地球灾害广遥监测信息的融合

固体地球灾变特征表现为多模式、多状态、多谱段、多层次、多尺度的可测物理量,如应力、温度、形变、

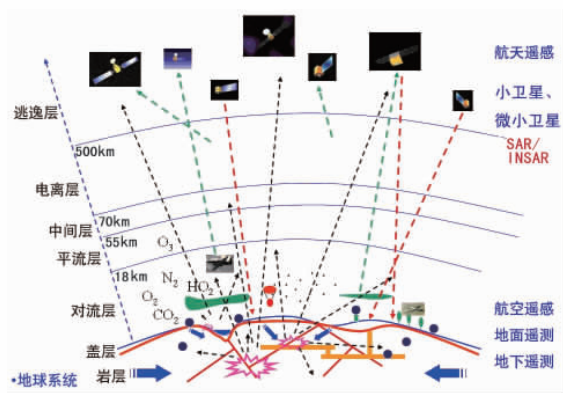


图1 固体地球灾害的广义遥感原理与框架

Fig. 1 Principle and framework of generalized remote sensing for solid Earth hazards

AE、EMR(特别是热辐射和微波辐射)。这些物理量并非孤立和杂乱无章,而是相互关联和有秩序的。某些信息之间表面上互斥,但本质上并不矛盾,而可能是相关协同和互补强化的。如矿压红外探测基础实验研究揭示煤压加载破裂过程中的IRR、AE及电阻率异常之间是可比且显著相关的^[14];大量的岩石破裂EMR实验与实践研究也充分证明岩石破裂过程中EMR与AE是显著相关的。可以推断:若构建多手段同步观测体系,通过多种广遥信息融合,能够解决单一信息源无法识别或难以准确识别固体地球灾害前兆的科技难题。

因此,需要突破经典遥感信息融合的局限,从时间、空间和物理尺度挖掘和阐明广遥信息中多种物理量之间及岩石受力灾变前兆之间的关联机理与规律,开展广遥信息融合机理和灾变前兆识别方法的研究,构建多尺度、多层次、多主题的固体地球灾害前兆识别理论与方法体系,建立各类固体地球灾害的广遥前兆识别模型,全面提高固体地球灾害前兆识别的可行性与可靠性。

信息融合本质上是一种对多源信息进行综合处理的技术。在经典遥感领域,经多源遥感影像配准后,从数据层、特征层和决策层进行融合处理,可以获得比单一信息源更高的分类和识别精度;对多时相遥感影像进行配准和变化检测,则可以实现对地学现象与过程的动态监测。但是,固体地球灾害广遥信息融合存在三大问题:①参与融合的信息源具有异构(点、面)、多位(空中、地表、地下)、多谱(可见光、近红外、热红外、微波等)、多参(辐射、温度、应力、应变、声波等)和多态(瞬态、暂态、恒态)特点,需要突破和拓展经典遥感信息融合的理论体系,发展广遥信息融合理论与前兆识别方法;②岩石灾变的广遥前兆往往是弱信息,需要突破和拓展狭义遥感影像融合中强调主信息的方式,突出异常信号和弱信息的提取,发展新的融合算法;③复杂干扰环境下广遥信息的不确定性相当明显,需要克服狭义遥感信息融合重处理、轻精度的缺陷,研究广遥信息融合中的不确定性与可靠性问题。

5 GEOSS 与固体地球灾害广遥监测的契机

5.1 全球对地观测集成系统

新世纪开篇以来,人类已迈出构建天地一体化对地观测系统的坚实步伐。国际社会提出了跨国家、跨组织对现有和待建的对地观测系统进行统一整合和协调集成,构建一个由多系统组成的综合、协同和持续发展的全球对地观测集成系统(Global Earth Observation System of Systems, GEOSS)。GEOSS的实质是一个包括卫星对地观测系统在内的“多系统组成的集成系统”,是各类对地观测系统之间的有机联合和集成协同,是一个分布式集成系统^[40]。GEOSS包括实地(in situ)(含地基(surface-base)和海基(ocean-based))、空基(airborne-based)和天基(space-based)观测,使用卫星、浮标、地震仪等设备,每个子系统均由观测、数据处理与存档、数据交换与分发组件构成。GEOSS的目的是协调目前全球各自独立运行的各种监测平台、资源和网络,弥合系统之间的鸿沟,支持系统间的协同工作,逐步建设,以保障监测和跟踪全球各个角落地球环境的变化,为全球性、国家性、地区性、部门性环境、健康、灾害等社会公益事业的政策制定、决策与服务提供更快、更多、更好的数据与信息基础。

实质上,GEOSS就是一个广义遥感系统,是经典遥感和实地观测的集成系统。GEOSS中的遥感特指空间卫星进行的可见光、红外和微波波段的高、中、低分辨率的对地观测,而空基、高空探测器及其他形式的近地表遥感,则统一划入实地观测范畴。所谓实地观测,被定义为局部进行或离目标体数公里以内进行的观测,包括利用地面观测站、飞行器、高空探测器、轮船、浮标等进行的观测^[41]。

GEOSS拟在减灾、健康、能源、气候、水循环、气象、生态、农业、生物多样性等9个领域给社会带来公益和进步。尤其在减灾领域,通过更好地协调各类监测、预报、风险评估和早期预警系统,达到减轻灾害损失的目的,并迅速应对局部地区、地区性和全球性的灾害,减少生命与财产损失。“GEOSS十年实施计划”^[42]中明确提出了与国际减灾战略(International Strategy for Disaster Reduction, ISDR)相一致的国际观测与早期预警系统,以加强认识和减轻自然灾害。作为GEOSS计划的制定、实施与协调的国际政府间对地观测组织GEO(Global Earth Observation),其成员身份是对联合国的所有成员国和欧盟开放的,且只要是从事对地观测及其相关活动并认同GEO,无论是政府间的、国际性的还是区域性的组织,都可以参与进来。中国是GEO的创始国之一。

5.2 固体地球灾害广遥监测的契机

GEOSS的构建,为固体地球灾害的广义遥感监测与防灾减灾提供了很好的契机。

美国在其对地观测系统(EOS)、全球卫星导航定位

系统(GPS)的基础上,开始向高精度、一体化、集约化对地观测系统迈进,正积极进行 GPS 升级和性能改进,现已完成了美国“一体化对地观测系统”(Integrated Earth Observing System, IEOS)的策略计划,并成立了各部委间对地观测协调组织 (Interagency Working Group on Earth Observation, IWGEO)。欧盟也在紧锣密鼓地推进由 30 颗卫星组成的伽利略 GPS 计划,欧洲空间局(ESA)提出了全球环境与安全监测计划(Global Monitoring for Environment and Security, GMES),建立一个由高中低分辨率对地观测卫星组成的观测系统,并与伽利略 GPS 一起为欧盟国家的环境(包括生态环境、人居环境、交通环境等)和安全(包括国家安全、生态安全、交通安全、健康安全等)提供实时服务,预期于 2008 年建成。

中国卫星对地观测系统自 20 世纪 70 年代起步迄今,已形成了较为完整的卫星研制、发射、测控和应用体系,为未来中国卫星对地综合观测系统的进一步发展奠定了良好的基础。不久的将来,中国将构建一系列地基、海基、空基、天基对地观测系统,实现全球卫星导航定位、对地观测、卫星通信、数据中继、数据集成和数据分发体系,并通过构建自己的 HJ 小卫星星座、定位导航卫星系统,将构建与 GEOSS 相适应的中国特色的天地一体化时空信息获取理论与技术系统。

新近出台的“国家中长期科学和技术发展规划纲要”^[43]中,提出了环境和公共安全两个重点领域的优先主题,其中有“全球环境变化监测与对策”(重点研究开发大尺度环境变化准确监测技术等)、“重大生产事故预警与救援”(重点研究开发矿井瓦斯、突水、动力性灾害预警与防控技术等)和“重大自然灾害监测与防御”(重点研究开发地震、台风、暴雨、洪水、地质灾害等监测、预警和应急处置关键技术等)。所列 16 个重大专项中,也有 1 项与 GEOSS 密切相关,即“高分辨率对地观测系统”。此外,还提出了进行“地球系统过程与资源、环境和灾害效应”和“复杂系统、灾变形成及其预测控制”优先支持方向的基础研究。可见, GEOSS 背景下,中国政府在防灾减灾科技发展方面迈出了稳健而坚实的步伐。

6 结束语

固体地球灾害是一个以地壳岩石为主要介质的复杂、综合的物理-力学过程,岩石受力灾变是固体地球灾害的根源,岩石受力灾变监测预警是固体地球灾害防灾减灾的前提。GEOSS 为固体地球灾害的监测预警提供了新的契机,综合多种电磁与非电磁手段,构建全方位、多层次的卫星-航空-地表-地下四位一体、立体协同的广义遥感监测体系,进行多层次、多尺度、多专题、多光谱综合、连续和协同的固体地球运动、变化与灾变过程监测,实现经典遥感、非接触式测量及地球物理测量的优势互补、融合强化,揭示岩石受力灾变的前

兆规律,可提高前兆识别的精准性与可靠性。广义遥感体系的构建、灾害目标几何与物理参量变化的连续协同观测、广义遥感信息的实时融合处理与分析、定量化反演与灾害模式识别等,是未来对地观测与固体地球灾害研究的前沿方向。

参考文献(References)

- [1] 萨多夫斯基 M A. 地震的电磁前兆[M]. 施良骥等,译. 北京:地震出版社, 1986.
SADOWSKI M A. Electromagnetic omens for earthquake [M]. SHI Liangqi, trans. Beijing: seismology Press, 1986
- [2] NITSAN U. Electromagnetic emission accompanying fracture of quartz-bearing rock[J]. Geophysical Research Letters, 1977, 4(8): 333-336.
- [3] YAMADA I, MASUDA K, MIZUTANI H. Electromagnetic and acoustic emission associated with rock fracture[J]. Phys Earth Planet Inter, 1989, 57(3): 157-168.
- [4] CRESS G O, BRADY B T, ROWELL G A. Source of electromagnetic radiation from fracture of rock samples in the laboratory[J]. Geophysical Research Letters, 1987, 14(4): 331-334.
- [5] BRADY B T, ROWELL G A. Laboratory investigate for the electrodynamics of rock fracture[J]. Nature, 1986, 321 (29): 488-492.
- [6] 钱书清, 任克新, 吕智. 伴随岩石破裂的 VLF, MF, HF, VHF 电磁辐射特性的实验研究[J]. 地震学报, 1996, 18(3): 346-351.
QIAN Shuqing, REN Kexin, LU Zhi. Experimental study of VLF, MF, HF, VHF electromagnetic radiation characteristics with the breakdown of the rock[J]. Acta Seismologica Sinica, 1996, 18(3): 346-351.
- [7] 刘煜洲, 刘因, 王寅生, 等. 岩石破裂时电磁辐射的影响[J]. 地震学报, 1997, 19(4): 418-425.
LIU Yuzhou, LIU Yin, WANG Yinsheng, et al. The effect of electromagnetic radiation during rock fracturing [J]. Acta Seismologica Sinica, 1997, 19(4): 418-425.
- [8] 郭自强, 周大庄, 施新觉, 等. 岩石破裂中的光声效应[J]. 地球物理学报, 1988, 31(1): 37-41.
GUO Ziqiang, ZHOU Dazhuang, SHI Xinjue, et al. Photo-sonic effect in process of rock fracturing[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1988, 31(1): 37-41.
- [9] LUONG M P. Infrared observation of failure processes in plain concrete [C]// Durability of building materials and component. Singapore: Pergamon, 1987, 2: 870-878.
- [10] LUONG M P. Infrared thermographic observations of rock failure[M]. Comprehensive rock engineering principles, practice & projects. Pergamon, 1993: 715-730.
- [11] 耿乃光, 崔承禹, 邓明德. 岩石破裂实验中的遥感观测与遥感岩石力学的开端[J]. 地震学报, 1992, 14(增): 645-652.
GENG Naiguang, CUI Chenyu, DENG Mingde. Remote sensing detection for rock fracturing experiments and the beginning of remote sensing rock mechanics[J]. Acta Seismologica Sinica, 1992, 14(suppl): 645-652.
- [12] 耿乃光, 于萍, 邓明德, 等. 热红外震兆成因的模拟实验研究[J]. 地震, 1998, 18(1): 83-88.

- GENG Naiguang, YU Ping, DENG Mingde, *et al.* The simulated experimental studies on cause of thermal infrared precursor of earthquakes [J]. *Earthquake*, 1998, 18(1): 83–88.
- [13] 邓明德, 房宗绯, 刘晓红, 等. 水在岩石红外辐射中的作用研究[J]. *中国地震*, 1997, 13(3): 288–296.
DENG Mingde, FANG Zongfei, LIU Xiaohong, *et al.* Research on the action of water in the infrared radiation of the rocks[J]. *Earthquake Research in China*, 1997, 13(3): 288–296.
- [14] 吴立新. 煤岩强度机制及矿压红外探测基础实验研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 1997.
WU Lixin. Coal Strength Mechanism And Experimental Basic Study on Rock Pressure Infrared Detection [D]. Beijing: China Univ Min Tech, 1997.
- [15] WU L X, WANG J Z. Infrared radiation features of coal and rocks under loading[J]. *Int J Rock Mech Min Sci*, 1998, 35(7): 969–976.
- [16] WU L X, CUI C Y, GENG N G, *et al.* Remote sensing rock mechanics (RSRM) and associated experimental studies[J]. *Int J Rock Mech Mining Sci*, 2000, 37(6): 879–888.
- [17] WU L X, LIU S J, WU Y H, *et al.* Changes in infrared radiation with rock deformation [J]. *Int J Rock Mech & Min Sci*, 2002, 39(6): 825–831.
- [18] WU L X, LIU S J, WU Y H, *et al.* From qualitative to quantitative information: the development of remote sensing rock mechanics (RSRM) [J]. *Int J Rock Mech Mining Sci*, 2004, 41(3): 415–416.
- [19] WU L X, LIU S J, WU Y H, *et al.* Precursors for rock fracturing and failure—Part II: IRR T—curve abnormalities [J]. *Int J Rock Mech Mining Sci*, 2006, 43 (3): 483–493.
- [20] WU L X, LIU S J, WU Y H, *et al.* Precursors for rock fracturing and failure—Part I: IRR image abnormalities[J]. *Int J Rock Mech & Mining Sci*, 2006, 43 (3): 473–482.
- [21] 吴立新, 刘善军, 吴育华, 等. 遥感—岩石力学(I)——非连续组合断层破裂的热红外辐射规律及其构造地震前兆意义[J]. *岩石力学与工程学报*, 2004, 23(1): 24–30.
WU Lixin, LIU Shanjun, WU Yuhua, *et al.* Remote sensing rock mechanics (I): Laws of thermal infrared radiation from fracturing of discontinuous jointed faults and its meanings for tectonic earthquake omens [J]. *Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(1): 24–30.
- [23] 吴立新, 刘善军, 吴育华, 等. 遥感—岩石力学(II)——断层双剪粘滑的热红外辐射规律及其构造地震前兆意义[J]. *岩石力学与工程学报*, 2004, 23(2): 192–198.
WU Lixin, LIU Shanjun, WU Yuhua, *et al.* Remote sensing rock mechanics (II): Laws of thermal infrared radiation from viscosity—sliding of bi—sheared faults and its meanings for tectonic earthquake omens [J]. *Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(2): 192–198.
- [24] 吴立新, 刘善军, 吴育华, 等. 遥感—岩石力学 (III)——交汇断层粘滑的热红外辐射与声发射规律及其构造地震前兆意义[J]. *岩石力学与工程学报*, 2004, 23(3): 401–407.
- WU Lixin, LIU Shanjun, WU Yuhua, *et al.* Remote sensing rock mechanics (III): Laws of thermal infrared radiation and acoustics emission from friction sliding intersected faults and its meanings for tectonic earthquake omens [J]. *Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(3): 401–407.
- [25] 吴立新, 刘善军, 吴育华, 等. 遥感—岩石力学 (IV)——岩石压剪破裂的热红外辐射规律及其地震前兆意义[J]. *岩石力学与工程学报*, 2004, 23(4): 539–544.
WU Lixin, LIU Shanjun, WU Yuhua, *et al.* Remote sensing rock mechanics (IV): Laws of thermal infrared radiation from comprehensively—sheared fracturing of rock and its meanings for tectonic earthquake omens [J]. *Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(4): 539–544.
- [26] 吴立新, 刘善军, 吴育华. 遥感—岩石力学引论: 岩石受力灾变的红外遥感[M]. 北京: 科学出版社, 2006
WU Lixin, LIU Shanjun, WU Yuhua. Introduction to remote sensing rock mechanics: Infrared remote sensing for rock catastrophe due to overloaded [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [27] 刘培洵, 刘力强, 陈顺云, 等. 地表岩石变形引起热红外辐射的实验研究[J]. *地震地质*, 2004, 26(30): 502–511.
LIU Peixun, LIU Liqiang, CHEN Shunyun, *et al.* An experiment on the infrared radiation of surfacial rocks during deformation [J]. *Seismology and Geology*, 2004, 26(30): 502–511.
- [28] 刘力强, 陈国强, 刘培洵, 等. 岩石变形实验热红外观测系统[J]. *地震地质*, 2004, 26(30): 492–501.
LIU Liqiang, CHEN Guoqiang, LIU Peixun, *et al.* Infrared measurement system for rock deformation experiment[J]. *Seismology and Geology*, 2004, 26(30): 492–501.
- [29] FREUND F. Rocks that crackle and sparkle and glow—strange pre—earthquake phenomena[J]. *J Sci Exp*, 2003, 17: 37–71.
- [30] 王思敬. 中国岩石力学与工程的世纪成就与历史使命[J]. *岩石力学与工程学报*, 2003, 22(6): 867–871.
WANG Sijing. Centure achievements and new historical mission of rock mechanics and engineering in China[J]. *Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, 22(6): 867–871.
- [31] 陈颙, 陈运泰, 张国民, 等. “十一五”期间中国重大地震灾害预测预警和防治对策[J]. *灾害学*, 2005, 20(1): 1–14.
CHEN Yong, CHEN Yuntai, ZHANG Guo—min, *et al.* Forecast and early—warning and preparedness measures for great earthquake disasters in China during the period of the 11th Five—year Plan [J]. *Journal of Catastrophology*, 2005, 20(1): 1–14.
- [32] GORNY V I, SALMAN A G, TRONIN A A, *et al.* The earth outgoing IR radiation as an indicator of seismic activity [J]. *Proc Acad Sci USSR*, 1988, 30(1): 67–69.
- [33] 强祖基, 赁常恭, 李玲芝, 等. 卫星热红外图像亮温异常—短临震兆[J]. *中国科学(D 辑)*, 1998, 28(6): 564–573.
QIANG Zuji, DIAN Changgong, LI Lingzhi, *et al.* Abnormal brightness temperature in satellite thermal infrared image: omens of impending earthquake [J].

- Science in China (Series D), 1998, 28(6): 564–573.
- [34] 强祖基, 徐秀登, 货常恭. 卫星热红外异常—临震前兆[J]. 科学通报, 1990, 35(17): 1324–1327.
QIANG Zuji, XU Xiudeng, DIAN Changgong. Satellite thermal infrared abnormality: Omens of impending earthquake[J]. Science Bulletin, 1990, 35(17): 1324–1327.
- [35] 徐秀登, 强祖基, 货常恭. 临震卫星热红外异常与地面增温异常[J]. 科学通报, 1991, 36(4): 291–294.
XU Xiudeng, QIANG Zuji, DIAN Changgong. Satellite thermal infrared abnormal and land surface temperature increasment before shocking[J]. Science Bulletin, 1991, 36(4): 291–294.
- [36] LIU S J, WU L X. Study on mechanism of satellite IR anomaly before tectonic earthquake[P]. IGARSS, 2005, Korea.
- [37] 马瑾, 单新建. 利用遥感技术研究断层现今活动的探索——以玛尼地震前后断层相互作用为例 [J]. 地震地质, 2000, 22(3): 210–215.
MA Jin, SHAN Xinjian. An attempt to study fault activity using remote sensing technology——A case of the mani earthquake [J]. Seismology and Geology, 2000, 22(3): 210–215.
- [38] 吴立新, 高均海, 葛大庆, 等. 工矿区地表沉降 D-InSAR 监测试验研究[J]. 东北大学学报, 2005, 26(8): 778–782.
WU Lixin, GAO Junhai, GE Daqing, *et al.* Experimental study on surface subsidence monitoring with D-InSAR in mining area[J]. Journal of Northeastern University, 2005, 26(8): 778–782.
- [39] 钱鸣高, 缪协兴. 采动岩体力学: 一门新的应用力学研究分支学科[J]. 科技导报, 1997, 15(3): 29–31.
QIAN Minggao, MIAO Xiexing. Mining rockmass mechanics: A new research branch of applied mechanics [J]. Science & Technology Review, 1997, 15(3): 29–31.
- [40] 吴立新, 李德仁. 未来对地观测协作与防灾减灾[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(3): 1–8.
WU Lixin, LI Deren. Future earth observation cooperation and disaster reduction [J]. Geography and Geo-Information Science, 2006, 22(3): 1–8.
- [41] GEO. GEOSS 10-years implementation plan reference document[M]. ESA Publications Division, Netherlands, 2005.
- [42] GEO. GEOSS 10-years implementation plan [EB/OL]. [2006–03–26]. <http://earthobservations.org>.
- [43] 中华人民共和国国务院. 国家中长期科学和技术发展规划纲要[EB/OL]. [2006–02–10]. <http://www.gov.cn>.
The State Council of the People's Republic of China. Midium-term to Longterm National Planning Outlines for Science and Technology Development [EB/OL]. [2006–02–10]. <http://www.gov.cn>. (责任编辑 代丽)

封面文字说明

欧洲大型强子对撞机巨型磁体入地就位

2007 年 2 月 28 日, 欧洲核子研究中心 (CERN) 的工作人员将一个高 16 m、长、宽均 10 多 m、重达 1 920 t 的巨型磁体吊装入瑞士和法国边界地下深约 100 m、总长约 27 km 的环形隧道内。这个“世界上最重的”磁体是大型强子对撞机 (LHC) 的重要部件。

大型强子对撞机 (LHC) 是欧洲核子研究中心 (CERN) 建设的、目前世界上最大、最强的粒子加速器。粒子加速器和探测器是高能物理实验中的常用设备。探测器用来探测碰撞产生的微小粒子, 记录粒子能量、质量等信息。正在建设的这个强子对撞机上共有 4 个对撞点, 各装有一个探测器, 其中一个为 CMS (紧凑型 μ 介子螺线管) 探测器。此次吊装成功的巨型磁体就是 CMS 探测器上的重要组成部分。

大型强子对撞机将于 2007 年 11 月全面启动。它的启动将是粒子物理领域内具有里程碑意义的事件, 利用该对撞机开展的有关研究结果将有助于解开物理学领域的许多基本问题, 论证现存的宇宙起源理论——大爆炸学说的正确与否。

大型强子对撞机建成后, 其长达 27 km



的环形隧道可同时对两束粒子进行加速, 使粒子以接近光速的速度运动, 然后相撞, 据此重建宇宙大爆炸后亿万分之一的状态来探测物质的基本性质。有关科学家预测, 在这样的大型强子对撞机上, 每秒钟可以发生约 8 亿次这样的碰撞, 而每次碰撞都会产生一些亚原子碎片供科学家们筛选和研究, 从而找到假设中的 Higgs 玻色子。

玻色子理论是 1964 年由英国爱丁堡

大学物理学教授彼得·希格斯提出的, 它可用于解答物理学界一直没有解决的一个看似简单的问题, 即物质为什么拥有质量。科学家们希望通过大型强子对撞机寻找 Higgs 玻色子, 进而论证宇宙“大爆炸学说”。

大型强子对撞机内粒子的碰撞还有可能产生出“暗物质”, 有些天文学家认为, 整个宇宙的 80% 都是由这种物质构成的。科学家们还希望通过大型强子对撞机对我们生存的四维空间之外的空间维度进行探索, 打开人类所不知道的其他宇宙维度, 从而找到“第五维”的间接证据。

以上研究目标是否能够顺利完成, 目前尚是一个未知数, 但大多数科学家认为, 即使大型强子对撞机没有能够证明这些理论, 它能够顺利启动本身就是科学界的一个巨大成就。因为它最基础的功能就是能够再现宇宙大爆炸之后的物质条件和能量水平。

本期封面图片为大型强子对撞机的巨型磁体吊装入地下环形隧道时的情景, 由新华社提供。 (本刊记者 冯峰)