

2016年地球科学热点回眸

王晓醉^{1,2}, 彭军还¹

1. 中国地质大学(北京)土地科学学院, 北京 100083

2. 《武汉大学学报·信息科学版》编辑部, 武汉 430072

摘要 2016年,地球科学的各分支学科均取得了一系列研究进展,呈现出“传统地球科学”向新一轮“地球系统科学”转变的特点。遴选了全球变暖趋缓及其影响等研究热点和最新发现,回顾了2016年地球科学领域的重大事件,并分析了地球科学的发展趋势。

关键词 地球科学前沿;研究热点;重大科技事件

地球科学是一个庞大的超级学科体系群^[1],其研究对象为整个地球,包括自地心至地球外层空间十分广阔的范围,是由固体地球(核-幔-岩石圈)、流体地球(大气圈、水圈、土壤圈和生物圈)、社会地球(智慧圈-人类作用)和行星地球(太阳系-银河系)组成的一个开放的复杂巨系统,称为地球系统(Earth's System)^[2],其组成和现象如图1所示。

从分类上说,地球科学包括大气科学、地质学、地球物理学、地理学及其他衍生学科。2016年,地球科学各分支学科均取得了一系列研究进展,但总体来说,当代地球科学发展的特征是地球系统科学作为整体观和方法论同地球科学各学科的互动,是“传统地球科学”向新一轮“地球系统科学”认识的转变。地球系统科学侧重于研究地球各圈层之间的相互作用和演化过程的动

力学关系探讨,以建立“行星地球统一理论”作为长远的追求目标。因此,本文遴选全球变暖趋缓及其影响、空气污染与中国雾霾、2011年东日本大地震同震滑动研究、地球早期海洋的演化与生物进化、内陆水体和海洋的碳循环、基于 GEOTRACES 等计划开展的北大西洋和南大洋痕量元素组成研究等研究热点,并盘点了国土资源“十三五”科技创新规划提出“三深一土”目标、2016年11月13日新西兰发生8.0级地震、《巴黎协定》正式生效、2016中国矿产勘探取得若干突破性成果、中国发射多颗地学卫星、中外科学家首次在琥珀中发现恐龙标本等地球科学领域发生的重大事件。

1 研究热点

1.1 全球变暖趋缓及其影响

政府间气候变化专门委员会(IPCC)第5次评估报告指出,自19世纪中期有观测记录以来,全球年平均气温上升了0.8℃左右。然而,全球气温升温趋势在最近十几年明显减慢。英国气象学家 Knight 等最早于2009年提出这个问题,他们指出相对于1979—1998期间,全球地表温度增温速率在1999之后10年间明显偏低,此即全球变暖趋缓(停滞)现象^[3]。此后至2015

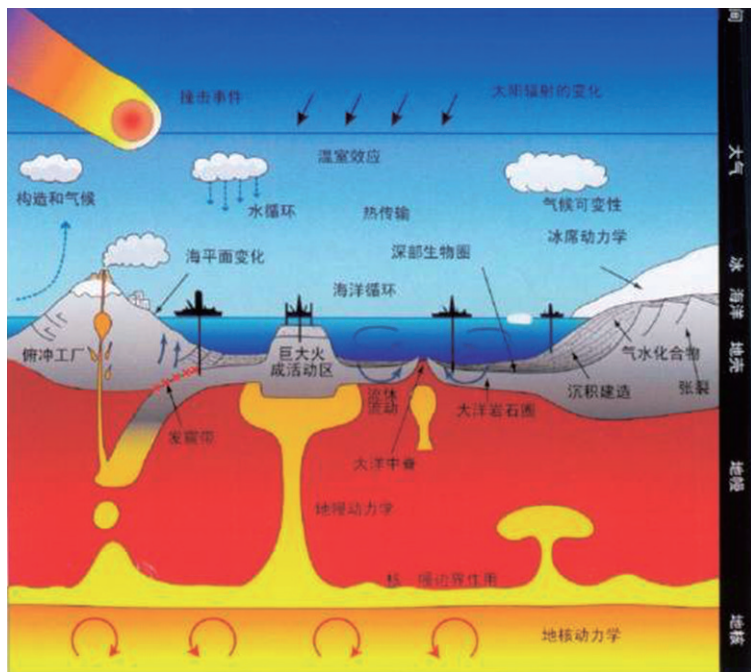


图1 地球系统的组成、作用和现象^[2]

收稿日期:2017-01-01;修回日期:2017-01-06

作者简介:王晓醉,博士,研究方向为空间数据分析与3S数据集成,电子信箱:wangxiaozui@qq.com;彭军还,教授,研究方向为In SAR数据和高光谱感,电子信箱:pengjunhuan@163.com

引用格式:王晓醉,彭军还. 2016年地球科学热点回眸[J]. 科技导报, 2017, 35(1): 36-46; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.01.005

年,围绕该问题的科学研究已形成一个特色鲜明、引人注目的热点前沿,位列地球科学领域 Top 10 热点前沿第 3 位。《Nature Climate Change》2014 年 3 月专题刊发了气候科学专家对全世界热议的近年来地球表面温度升高的趋势突然减缓问题的系列讨论。从国家和机构层面看,美国对该现象的研究占据绝对领先优势,中国、德国并列世界第 6 位^[4]。

多数科学家认可近十几年来全球变暖停滞的事实,并认为太阳活动处于低位相、大气气溶胶(自然和人为)增加、海洋吸收热量是变暖停滞的可能影响因子,其中海洋(尤其是 700 m 以下的深海)对热量的储存可能是变暖停滞的关键。国际耦合模式比较计划第 5 阶段中的模式并未精确地描述各种有利降温影响因子的近期位相演变,因而其模拟的近期增暖趋势较观测偏强。由此推断,变暖停滞主要是自然因素造成的,并且预测变暖趋缓将在近几年或几十年内结束(依赖于太平洋年代际振荡的位相转变),未来气温将仍主要受到温室气体增加的影响而表现出明显的上升趋势。因此,目前的全球变暖趋缓不大可能改变到 21 世纪末全球大幅度变暖带来的风险。展望未来的研究热点包括:精确估算全球气温和海洋热含量的变率及其不确定性,海洋年代际信号(太平洋以及大西洋的年代际振荡)的转型机制,存储在深海的热量将在何时返回海洋表面及其对区域气候的潜在影响。

值得注意的是,即使全球变暖趋缓,但南极冰川依然处在“水深火热”之中。科学研究表明,2002—2009 年西南极洲冰川的坚冰消融了几百米。该发现支持假说:在 21 世纪头 10 年的中期,阿蒙森海湾冰架下的温暖海水流入显著增加了。

西南极洲阿蒙森海湾分布着一些地球上消融速度最快的冰川(图 2)。温暖的海水通过大陆架流入冰架下方空穴内,缓慢侵蚀冰块,这在冰川接地线附近尤为明显,所谓接地线指的是冰川底部与海水最初接触的位置。但是,



图 2 南极洲罗斯海的一只帝企鹅,现在这里已经设立了全球最大的海洋保护区(图片来源:Paul Nicklen/NGC)

直到目前为止,确切的冰块消融程度仍未得到充分量化。

Ala Khazendar 及同事使用 NASA “冰桥行动”收集到的航测数据,检测南极阿蒙森海湾的波普(Pope)、史密斯(Smith)和科勒(Kohler)3 个冰川的消融速度和接地线位置变化,分析表明,2002—2009 年冰川消融明显但不均衡:史密斯冰川每年消融多达 70 m,厚度总计下降了近 500 m。2009—2014 年,温暖的海水流入有所减少,使波普和科勒冰川消融减弱;但是,史密斯冰川的接地线后退至一个深槽,导致冰川消融持续严重。这些发现表明,接地线

后退和温暖的海水流入变化对冰川消融速度产生了影响^[5]。

1.2 空气污染与中国雾霾

同为气象科学的研究领域,空气污染依然是各国科学家关注的焦点之一。在 Web of Science 核心合集中搜索,2016 年共发表有关空气污染的论文 5038 篇,有关 PM_{2.5} 的论文 4207 篇。在 4207 篇论文中,中国学者占了最多的比例,而来自美国的论文占了 1180 篇,其余还有英国、加拿大、意大利等国。可以看出,PM_{2.5} 浓度过高造成的污染引起了世界各国科学家的注意。图 3 为中国某城市在雾霾笼罩下的天气。



图 3 各地雾霾

来自中国科学院地球环境研究所、美国德州农工大学等机构的研究人员通过对中国两个大城市(北京和西安)的大气观测和实验室模拟实验发现,NO₂液相氧化SO₂是高效硫酸盐形成的关键。指出中国灰霾与伦敦烟雾具有相同的化学反应过程,大气细颗粒物上二氧化氮(NO₂)液相氧化二氧化硫(SO₂)是中国当前灰霾期间硫酸盐的重要形成机制。通过对西安和北京的大气进行观测,发现在灰霾期间的高湿度条件下,硫酸盐浓度迅速增加,SO₂在气溶胶液相转化成硫酸盐随着相对湿度的增加而成指数型增长,同期伴随着高浓度的氮氧化物(NO_x)和氨气(NH₃)。NO₂可在大气气溶胶液相中快速氧化SO₂,生成硫酸盐,在灰霾天高浓度NO_x条件下,反应更为显著。1952年伦敦烟雾事件的发生具有类似机制。在污染的环境中,这种SO₂氧化过程会加速硫酸盐生成速率,并促进硝酸盐和二次有机气溶胶的形成,从而加剧灰霾的发展。在硫酸盐形成过程中,通过实施NH₃和NO_x控制措施来进行干预可以有效减轻灰霾的程度。研究指出,当前中国进行大气SO₂有效减排控制的同时,亟需进一步加强NO_x、NH₃和挥发性有机污染物的减排控制^[6]。科学家的关注点还包括空气污染与城市化和城市热岛效应之间的关系,减少二次气溶胶的前体物的水平有可能减少空气污染等。科学家发现,在稳定气象条件下,北京的PM_{2.5}浓度从1973—2013年显著增加,而风速则相对稳定,表明人类活动是空气污染增加的主要责任人。城市化指标例如人口和机动车数量都和北京的PM_{2.5}浓度显著正相关。2004年以后,随着能源消耗和机动车数量增加,PM_{2.5}浓度增长速度比2004年快了很多。为了实现中国持续的城市化目标,需要更好的城市化策略以控制空气污染等环境问题^[4]。Lee等发现,空气污染会使中国大陆城市夜间温度升高,并表明治理雾霾具有减少呼吸道疾病和缓解城市高温的双重收益。使用卫星观测和气候模型模拟分离这些彼此冲突的效应,并估测了污染对中国大陆

城市热岛效应的影响。研究发现,雾霾在夜间加重了热岛效应,而且能通过吸收额外的辐射,让城市温度升高0.7℃之多。这一效应最强的是内蒙古、西藏和新疆的半干旱城市,但稍弱一些的效果在各地均有体现^[7]。

对于北京2014年出现的APEC蓝的现象,科学家研究发现,APEC会议期间二次气溶胶的水平有了显著降低。研究认为,这一降低与相对应的二次气溶胶颗粒物前体物水平的减少紧密相关,前体的减少让二次气溶胶减少。但是地面的一次气溶胶水平没有明显变化,这可能是由于本地重型车辆排放,烹饪和生物质燃烧的存在带来的。因此,可认为,“APEC蓝”的实现主要是由于排放控制显著减少了二次气溶胶的作用,虽然山谷间的微风循环也发挥了一些作用^[8]。

气溶胶颗粒物不但是PM_{2.5}的成因之一,也是导致喜马拉雅山脉和青藏高原的许多冰川变薄的原因之一。模型模拟显示,冰川变薄主要是因为出现黑碳气溶胶或者说煤烟,其散热特性导致空气和冰面加热。科学家使用双碳同位素指纹分析技术,确定了喜马拉雅山脉和青藏高原地区的大气和冰雪表面的碳黑粒子的化学特性。从青藏高原北部提取的样本的特性表明,碳黑粒子主要来自中国的化石燃料(约占样本的66%)。与此相对,从喜马拉雅山脉提取的碳黑粒子样本由生物燃料和化石燃料均等构成,它们来自印度次大陆北部的印度河-恒河平原^[9]。

1.3 2011年东日本大地震同震滑动研究

2011年3月11日,太平洋西向俯冲的日本海沟地区发生9.0级地震,该次地震是日本有地震记录以来震级最大的一次地震。日本列岛处于太平洋板块、欧亚板块、北美板块和菲律宾海板块的共同作用地区,板块构造运动比较强烈,为火山和地震多发地区。太平洋板块在日本海沟地区向西以约8~9 cm/a的速度俯冲到欧亚板块之下。该俯冲带的地震包括浅、中和深源地震。震源深度由海沟地区向西到中国东北

地区逐渐加深到600~700 km,且浅源和深源强震活动均非常活跃。此次大地震引发了海啸,最高达到40 m,同时还引起了日本全国至少有14座活火山周边的地震活动趋于活跃。

东日本大地震是目前为止日本震级最大、破坏最大的一次大地震,是地球内部运动和能量爆发的突出表现,为科学家研究地震发生原理和地球内部运动提供了丰富的数据记录。2016年该领域的研究位列中国科学院发布的地球科学领域Top 10热点前沿第8位^[4]。

众多学者以某种或多种同震观测做约束对此次地震同震破裂过程或静态位错进行反演。多数反演结果表明此次地震的震级为地震发生是一个断面上突发性破裂、滑动的结果,破裂过程中会激发出来不同频段的地震波,这些地震波会在地震仪上记录下来。地震破裂过程反演就是通过地震仪上记录的波形往回推断断面上破裂过程、位移分布等。如果断层面上某个区域同震位移较大,则地面的变形和破坏也相对较大,灾害会比较严重;另外,破裂的方式也会影响灾害的轻重,如破裂前方持续时间长是可能的重灾区。此外,地震反演得到的同震位移较小的区域,不仅地壳变形量小,破坏也会相应减小,但出现位移亏损,能量集聚比较明显,爆发强余震的可能性就比较大。

地震仪、强震仪、GPS、海啸记录、海底压力仪器可以直接或间接记录到地震同震地表速度、加速度和位移等信息。对同震滑动的研究需要利用同震位移观测资料、GPS数据、InSAR数据、水准和强震动观测资料反演断层滑动,对反演模型时的模型精度评价;对震后形变的时空特征进行研究;通过多源地震、海啸观测数据进行反演或联合反演推算海啸源模型进行近场海啸精确预警等。利用空基观测(space_based)系统对地震断层进行研究是新的研究趋势之一。空基观测部分包括GNSS系统和各种卫星(如InSAR卫星、光学/光谱卫星等)^[10]。近年来,蓬勃发展的空基技术使得大面积、系统性地观测地震

高发危险区域有了可能性。SAR系统可以生成数字高程模型(DEM),而DEM对于绘制地震断裂带地图是十分重要的。图4说明了如何利用卫星资料观测和解释地震断层和形变。空基系统带来的变化,驱动了能解释短时地表形变和断裂带和构造景观长期演化的模型系统的进展。

科学家也注意到重力信号提示对地震的预警。地震会导致地球重力场发生变化,但是到目前为止,只在震后检测到重力场静态变化。根据理论预测,在地震波到达之前,可在全球范围内检测到地震发生时产生的瞬时重力变化(如同重力信号的一个提示)。Jean-Paul Montagner及同事通过检查2011年日本东北地方太平洋近海地震数据,首次检测到可在地震波到达之前观测到的重力信号提示。因此,发现重力信号提示可提供更早的地震预警,如2011年日本大地震,此次地震引发灾难性海啸,造成福岛核电站泄漏事故。

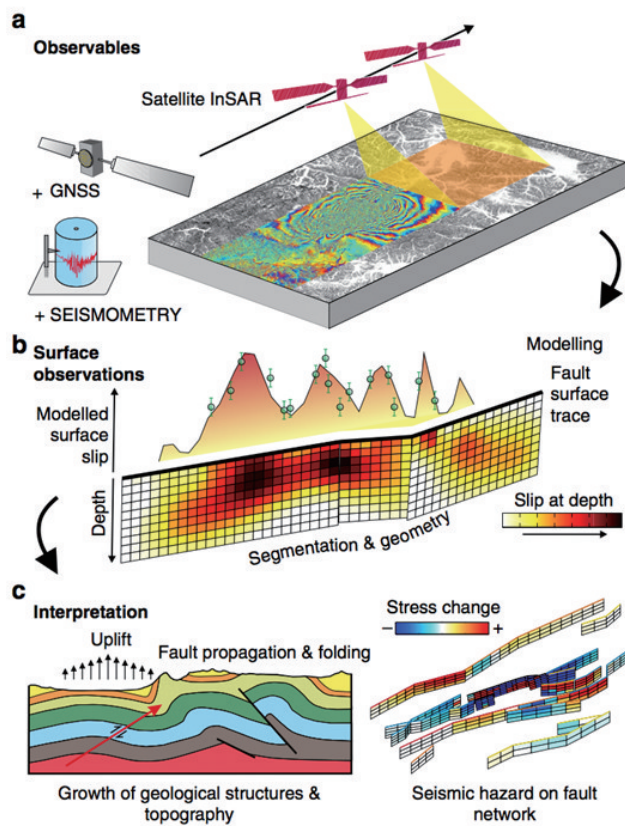


图4 空基系统对地震断层进行研究(图片来源:《Nature》)

作者提醒,虽然这种方法蕴含巨大潜力,但是它要求在传统地震仪的基础上,建立重力梯度仪(检测重力信号的仪器)网络^[11]。

1.4 地球早期海洋的演化与生物进化

生命起源是自然科学的重大研究课题,需要多学科的联合与聚焦。天体生物学、地球生物学的快速发展及其与其他学科的交叉、融合为人们深刻认识生命起源、早期演化和生物-环境相互作用打开了新的窗口,并提供了丰富的资料。但目前仍然存在很多问题需要多学科的进一步聚焦和深入研究。

近年的研究表明,地球生命可能起源于距今39~36亿年之间。水是生命产生的必需条件。一般认为地球海洋至少在39亿年前就已经存在。因此,研究地球早期海洋的演化与生物进化,对生命的化学演化具有重要意义。对地球早期海洋的演化与生物进化的研究一直是地球科学的热点之一,位列汤森路透发布的2016地球科学领域Top

10 热点前沿第4位。

地球早期海洋的演化与生物进化的研究热点包括对海洋早期代表性生物的研究和对微生物岩的研究,通过研究有望对重大历史地质事件的原因和机制进行解释。科学家使用了基于系统发生学的方法

来估计了一种像海豚的标志性的海洋爬行动物——鱼龙。鱼龙随着时间推移的多样性,并且和例如海洋化学和海平面高度等环境数据进行了比对。他们发现鱼龙在白垩纪早期一直是高度多样化的,而最后的鱼龙的演化速率越来越低。研究者的数据支持气候变化是海洋生态系统变化的主要驱动力的观点,不支持鱼龙是被其他海洋爬行动物和鱼类打败了的假说。另外,这项研究发现了一个早期的灭绝时间(大约1亿年前)也降低了鱼龙的多样性^[9]。因此,研究者认为鱼龙的灭绝是个两部分的过程,该成果发表在2016年的《Nature Communication》上(图5)^[12]。

1.5 内陆水体和海洋的碳循环

碳是地球上生命有机体的关键成分,它以CO₂、碳酸盐及有机化合物等多种形式在环境中不断循环。大量研究表明,全球碳循环的动态变化与气候变化及人类活动影响着密切关系。海洋碳循环是全球碳循环的重要组成部分,是影响全球变化的关键控制环节。海洋作为一个巨大的碳库,具有吸收和储存大气CO₂的能力,影响着大气CO₂的收支平衡,研究碳在海洋中的转移和归宿,对于预测未来大气中CO₂含量乃至全球气候变化具有重要意义。与海洋相比,虽然内陆水体(如河流、湖泊等)的面积经常小到被忽略,但由于内陆水体对人类活动排放的碳有着强烈的汇集,内陆水体富营养化对其生产和分解过程有着强力拉动,内陆水体的碳源汇功能十分活跃,因而内陆水体对陆地碳循环会产生重要影响。

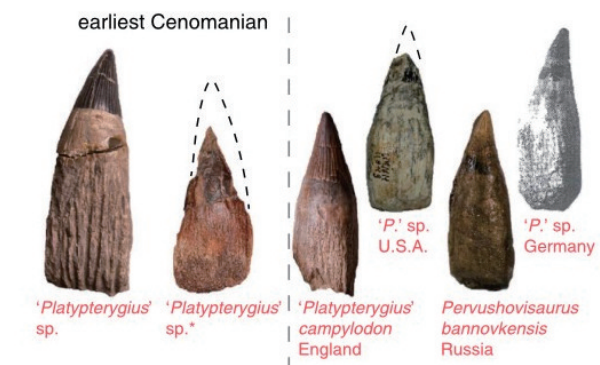


图5 不同世代鱼龙的牙齿化石(图片来源:《Nature Communication》)

了解各碳库尤其是海洋和内陆水体的碳循环过程及其动态变化,通过物理、化学和生物反馈机制来认识上述碳库碳循环与气候变化、生态系统、人类活动等的相互作用与影响过程已经成为当前地球科学领域研究的热点。当前研究主要集中在揭示内陆水体(如河流、河流网络、湖泊、水库、湿地等)和海洋的碳降解和碳排放以及上述碳排放如何抵消碳汇。陆地到海洋的碳通量如何受人类因素的影响以及不断变化中的沿海海洋碳循环也都是该热点前沿致力于解决的问题。

边缘海作为连接陆地和海洋间物质及能量交换的枢纽,在全球海洋碳循环中扮演着重要的角色。中国边缘海的有机碳埋藏量约占全球边缘海沉积物有机质埋藏量的10%,其中陆源有机质的埋藏量约占全球边缘海沉积物陆源有机质埋藏量的8%。若假定非现代有机质(陈化土壤有机质和古老有机质)主要是陆源物质,则中国边缘海非现代有机质的埋藏量约占中国边缘海总有机质埋藏量的46%(图6),与全球边缘海沉积物中陆源有机质的平均比例(44%)相当。这些表明,中国边缘海在全球海洋碳循环中具有重要地位,相关研究发表在2016年的《Geochimica

et Cosmochimica Acta》^[13]上。

1.6 基于 GEOTRACES 等计划开展的北大西洋和南大洋痕量元素组成研究

近年来,学术界逐渐认识到痕量元素在海洋生态系统动力学及碳循环中的重要作用,并考虑系统地研究全球痕量元素及其同位素的海洋生物地球化学循环,从而逐渐形成了一个新的国际科学研究计划“痕量元素及其同位素的海洋生物地球化学研究”(GEOTRACES)。该计划旨在研究特定痕量元素(如铝、锰、铁、锌、铜、镉、钍等)及其同位素在全球海洋的分布情况以及上述元素的源、汇和内部循环情况;研究痕量元素及其同位素对全球变化的响应,帮助理解古海洋环境的演变过程以及预测未来海洋环境的变化^[4]。

2016年度地球科学领域新兴前沿“基于 GEOTRACES 等计划开展的北大西洋和南大洋元素组成研究”利用近期开展的数次 GEOTRACES 测量等活动,在北大西洋和南大洋的痕量元素组成研究方面取得了重大进展,多项成果发表在《Science》、《Nature》等顶级期刊上。2014年,瑞士苏黎世联邦理工学院的研究人员对北大西洋溶解铁的来源进行了定量研究,同时还对末次冰期

南大洋的铁施肥(Iron Fertilization)进行了研究。美国夏威夷大学、伍兹霍尔海洋研究所、英国利物浦大学等机构基于近期 GEOTRACES 测量的结果,分析了北大西洋和南大洋主要颗粒物的元素组成,研究了上述区域海洋的铁、锰、镉、铝等痕量元素的浓度、外部来源、内部循环以及富集等过程。在过去的1个世纪,由于含铅汽油的使用,人为排放量使得天然海洋铅(Pb)的来源占比极小(图7)。科学家通过同位素测量等手段,重新审视含铅汽油几乎完全停止使用后的热带北大西洋自然及人为的铅来源。研究结果显示,大西洋表面水体中,来自矿物粉尘的天然铅比例高达30%~50%,这反映了全球努力减少人为铅排放量的成效,相关研究发表在2016年的《Nature Communication》上^[14]。

1.7 “一带一路”重要矿产研究

2013年9月、10月,中国国家主席习近平在出访中亚和东南亚期间,先后提出共建“丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”的战略构想(简称“一带一路”,图8),迅速得到国际社会高度关注和相关国家积极响应,为地学合作与发展带来了新的历史机遇。

“一带一路”整体为一拼合大陆,大陆岩石圈历经多期、多旋回聚合-裂

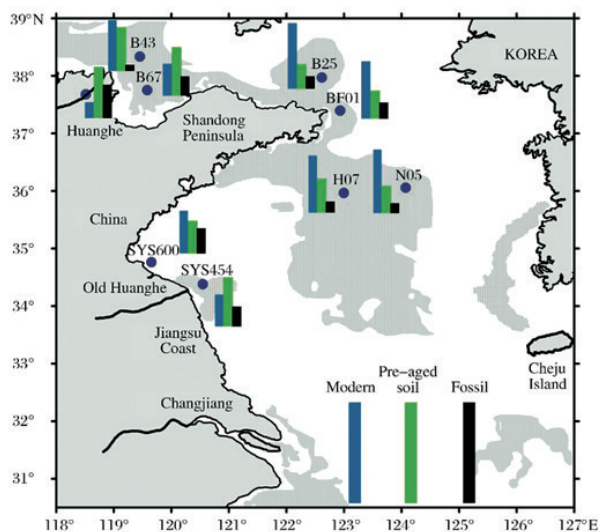


图6 通过¹³C、¹⁴C双同位素三元模型估算渤、黄海表层沉积物中现代有机质(蓝色)、预陈化土壤有机质(绿色)和古老有机质(黑色)占总有机质的相对比例(图片来源:《Advances in Earth Science》)

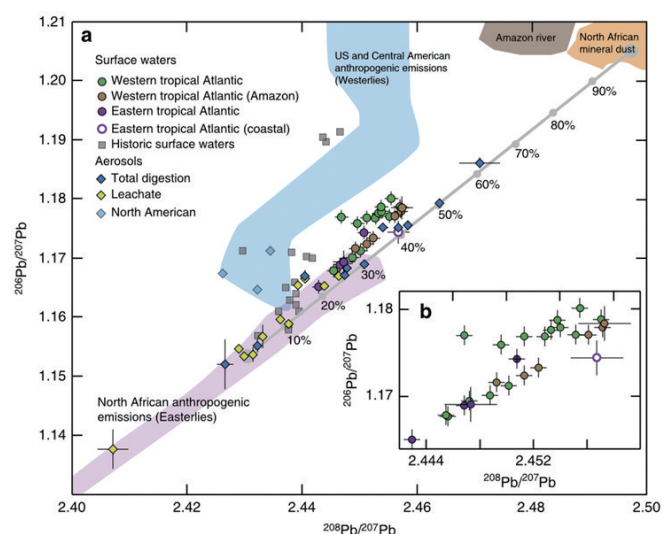


图7 地表水和气溶胶样品源检验的铅同位素比较(图片来源:《Nature Communication》)



图8 “丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”示意
(图片来源:《Environmental Earth Sciences》)

解,地质构造演化复杂。该区涵盖了欧亚板块、澳大利亚-印度板块、非洲板块及阿拉伯板块,主要分布有太古宙、早元古代、晚元古代固结的地台。区内造山活动带发育且演化复杂,古生代、中生代及新生代造山带展布整个区域,其中乌拉尔-蒙古构造活动带、昆仑-祁连-秦岭构造活动带、特提斯-喜马拉雅构造活动带及太平洋构造活动带倍受地学工作者关注。“一带一路”地区复杂的地质构造演化历史为成矿提供了有利的环境,比全球成矿域和巨型成矿区带,该地区横跨全球的劳亚、特提斯、冈瓦纳及环太平洋四大成矿域,12个全球巨型成矿区带,“一带一路”地区赋存矿产种类多样,矿床类型丰富,大型-超大型矿床多。该地区拥有石油、天然气、煤炭、铀、铁、铜、铝、铅、锌、金、锰、钾盐、钨、锡、钼等矿产资源种类,是全球地学理论创新,发现新的、更多的能源和金属、非金属矿产的重要地区。

相关研究大多聚焦于巨型成矿带成矿规律及勘查技术等理论方法上,为满足“一带一路”建设资源需求提供成矿理论和找矿方法方面的支撑。另外一些研究则着重关注“一带一路”能源资源合作开发上,认为中国从油气合作先行,与“一带一路”沿线国家和地区开

展全方位、高水平、深层次的能源资源合作。此外,科学家还将关注点伸向了“一带一路”开发时的环境保护问题,建设新的可持续发展的丝绸之路的相关研究刊登在2015年的《Environmental Earth Sciences》上^[15]。

2 重大科技事件

2.1 国土资源“十三五”科技创新规划提出“三深一土”目标

2016年5月30日,国家主席习近平在全国科技创新大会上指出,“从理论上讲,地球内部可利用的成矿空间分布在从地表到地下1万米,目前世界先进水平勘探开采深度已达2500米至4000米,而我国大多小于500米,向地球深部进军是我们必须解决的战略科技问题……深海蕴藏着地球上远未认知和开发的宝藏,但要得到这些宝藏,就必须在深海进入、深海探测、深海开发方面掌握关键技术。空间技术深刻改变了人类对宇宙的认知,为

人类社会进步提供了重要动力,同时浩瀚的空天还有许多未知的奥秘有待探索,必须推动空间科学、空间技术、空间应用全面发展。”^[16]

为此,国土资源“十三五”科技创新规划,制定了以向地球深部进军为统领,全面实施深地探测(图9)、深海探测、深空对地观测和土地工程科技“四位一体”的科技创新战略,确立了“三深”战略领域跻身世界先进行列、土地科技水平显著提升的总体目标。

深地探测战略的目标是,2020年形成深至2000 m的矿产资源开采、3000 m的矿产资源勘探成套技术能力,储备一批5000 m以深的资源勘查前沿技术,显著提升6500~10000 m深的油气勘查技术能力,争取2030年成为地球深部探测领域的“领跑者”,有效拓展第二找矿空间和地下发展空间,为人类认识和利用地球提供“中国范本”。

中国深空对地观测的使命与目标是:形成满足全国、全球、深空3个层次的空间信息数据保障(装备)体系;创新对地观测理论方法和模型,创建支撑全国、全球、深空创新应用的智慧对地观测应用系统;构建对地观测技术与装备研发、自然资源与环境变化监测、能源资源勘查、深空探测四大技术创新体系,引领国际研究方向,2020年部分国际领先,2030年国际领先。需重点突破的关键技术包括高灵敏度航空地球物理仪器探测器、遥感传感器研发技术,对地观测大数据管理与智能化高效

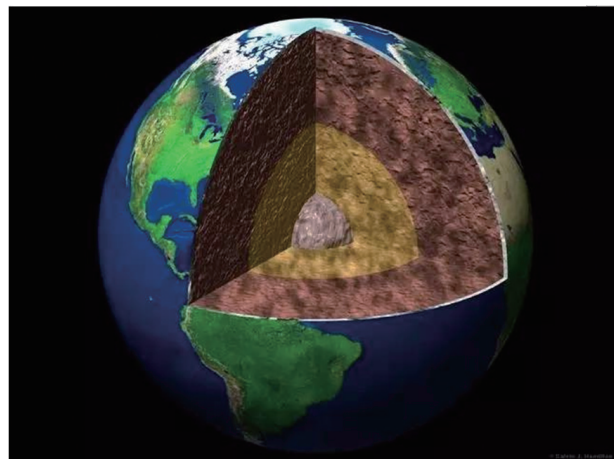


图9 地球内部分层

处理方法与技术,多源异构数据融合、集成与联合反演理论与技术,信息综合、知识挖掘理论与技术。

中国深海探测科技创新面向“国家重大需求、国民经济主战场和世界科技前沿”,坚持“需求导向、自主创新、全面发展、开放合作”原则,按照“立足管辖海域、聚焦国际海底、拓展两极深海”总体思路,着力提升深海探测能力和水平,实现中国深海探测从“跟跑、并行”到“领跑”。

2.2 2016年11月13日新西兰发生8.0级地震

2016年11月13日,新西兰发生地震。根据中国地震台网测定,北京时间11月13日19:02在新西兰(南纬42.53°,东经173.05°)发生8.0级地震,震源深度10 km。此次强烈地震引发了海啸,但由于海浪波峰离居民区较远,海啸并未造成人员伤亡。地震发生后到当地时间11月14日8:00为止,又发生了大大小小余震几千次,其中5.0级以上余震20几次,最大余震达到6.2级。据新西兰政府的初步估计,地震将造成约15亿美元的损失。

新西兰位于太平洋板块与印度洋板块的交界地带,是板块碰撞挤压的地带,属于环太平洋火山地震带的一部分。本次地震将凯库拉地区的海底表层推高数米,维多利亚大学驻惠灵顿生命科学学院沿海生态实验室主任Jeff Shima教授表示,深受地震影响的地区将经历海洋生物数量和组成结构的显著变化,并且复苏重建将需耗费几年时间。

截至12月20日,2016年全球共发生7级以上地震16次,其中8级以上地震1~2次。8级地震为11月13日新西兰8.0级地震,因此,2016年全球地震活动水平与往年比大体相当并偏弱(图10)。同时,2016年全球地震还呈现出时空活动不均匀,印度板块北边界及附近大震持续活跃的特点。

2.3 《巴黎协定》正式生效,全球进入落实气候变化行动的新时代

由近200个国家共同努力达成的全球气候协议《巴黎协定》于2016年11

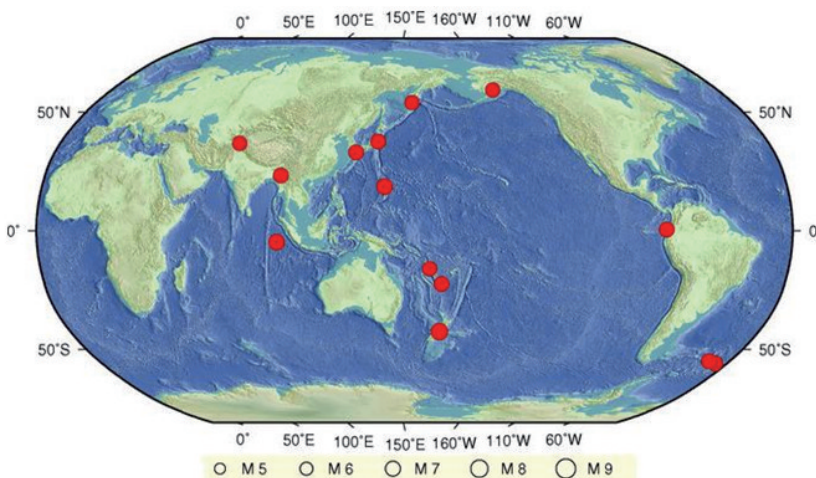


图10 2016年全球7级以上的地震(图片来源:中国地震局)

月4日正式生效(图11)。新协议为2020年后全球合作应对气候变化指明了方向和目标,具有里程碑意义。



图11 艾菲尔铁塔亮起绿光,以庆祝《巴黎气候协议》签署
(图片来源:Geoffroy Van Der Hasselt/Anadolu Agency/Getty)

《巴黎协定》于2015年12月达成。它的生效填补了《京都议定书》第一承诺期2012年到期后一直存在的空白,使得国际上又有了一个具有法律约束力的气候协议。按照这一协定,各方将共同加强应对气候变化威胁,使全球温室气体排放总量尽快达到峰值,以实现将全球气温控制在比工业革命前高2℃以内,并努力控制在1.5℃以内的目标。

但《巴黎协议》并不是2016年签订

的唯一一个全球气候协议。2016年10月6日,联合国下属的国际民用航空组织限制了国际航班的温室气体排放。10月15日,197个国家同意修正旨在保护臭氧层的《蒙特利尔议定书》,逐步淘汰氢氟烃(一种通常用于空调中的强大温室气体)。10月28日,各国还打破了长达4年之久的僵局,决定在南极洲罗斯海建立全球最大的海洋保护区。

2016年11月19日,《联合国气候变化框架公约》缔约方会议第22次会议(COP22)在摩洛哥马拉喀什落幕。这是《巴黎协定》生效后的首次气候变化缔约方大会。会议通过了关于《巴黎协定》第一次缔约方大会的决定和《联合国气候变化框架公约》第22次缔约方大会的决定,并通过了《马拉喀什行动宣言》(Marrakech Action Proclamation)。《马拉喀什行动宣言》的发布标志着全球进入落实气候变化行动的新时代。

马拉喀什气候大会期间,又有11个国家批准了《巴黎协定》,这11个国家的温室气体排放量约占全球温室气体排放量的9%。目前,共有111个国家批准了《巴黎协定》,覆盖了全球约77%的温室气体排放量。《巴黎协定》邀请各国制定并提交温室气体低排放长期发展战略。在马拉喀什气候大会上,美国、墨西哥、德国和加拿大是第一批向《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)提交气候变化发展战略的国

家。美国提交了《美国21世纪中期深度脱碳战略》，承诺到2020年CO₂排放量比2005年减少17%；到2050年CO₂排放量比2005年减少80%。墨西哥承诺到2030年温室气体排放量减少22%。这是第一个发布2020年后国家气候行动计划的发展中国家。德国政府重申了到2050年温室气体排放量比1990年下降80%~95%的目标，并就气候行动制定了政策性的目标和规划。加拿大检查了温室气体减排途径与2050年温室气体排放量比2005年下降80%的目标是否一致，确定了电力、能源、林业、农业、废弃物、清洁技术等方面的关键目标和框架。

2.4 2016中国矿产勘探取得若干突破性成果

中国自2015年起对地质调查工作进行了战略性业务结构调整，能源地质调查投入不断加大。2016年，在油气调查方面，瞄准新区新层系，取得重大新突破。重点针对中国南方海相地层开展页岩气基础地质调查，主要工作分别部署在四川盆地及周缘、武陵山褶皱带、滇黔桂地区、中扬子地区和下扬子地区等。主体工程部署均位于中国长江经济带，有12口井获得油气页岩气重大突破或发现。包括贵州遵义安页1井(图12)^[17]、四川华蓥华地1井、安徽宣城港地1井等。

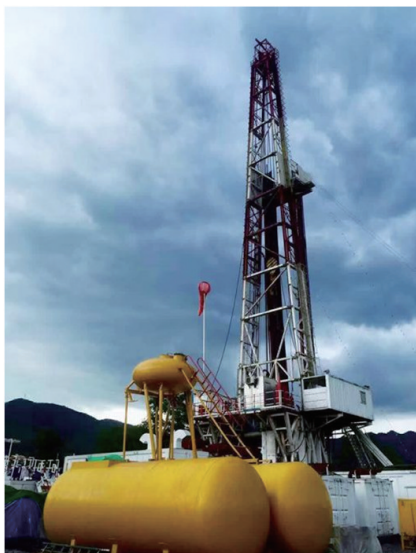


图12 安页1井
(图片来源:《中国国土资源报》)

其中宣城市宁国市“港地1井”发现5亿t页岩油储量，价值约1575亿美元。这一重大发现，开辟了中国海陆交互页岩油气的勘查新区，为安徽皖江地区页岩油气勘探提供了有力支撑。

遵义安页1井是中国首次在四川盆地以外南方复杂构造区取得页岩气勘探重大突破，有望成为新的工业气田。此次勘探提出了油气高产富集新理论，创新提出了深水陆棚相页岩、稳定的构造保存、地层超压“三位一体”的页岩气富集高产理论，实现了由传统的盆地找油气向造山带找油气、由正向构造向负向构造找油气的历史性转变。建立了“逆断层封堵向斜成藏、常规与非常规油气共生共存”的油气成藏新模式，实现了由传统的盆地找油气向造山带找油气思路的重大转变，对南方复杂地质构造区油气勘查具有重要指导意义。

何继善、康玉柱等7位院士认为，安页1井油气调查的重大突破是历史性、里程碑式的，对中国南方复杂地质构造区和贵州省油气勘查可谓开天辟地，圆了中国地质工作者和贵州人民60多年的油气梦。

北方新区新层系油气地质调查在银额盆地、鄂尔多斯盆地、松辽盆地外围等均取得进展。突泉盆地首获轻质原油，为“百年大庆”持续接替资源勘查指明了方向。新疆地区的油气地质调查中，共圈定勘查区块15个，招标5个，

4个成功出让。其中柯坪1井在塔里木盆地柯坪断隆勘探空白区首获油气显示，扩大了塔里木盆地油气勘探范围。准噶尔盆地博格达山前带博参1井钻探发现23 m油层，扩大有利勘探面积2万km²。

2016年8月29日，中国石化宣布，在塔里木盆地——顺北油田勘探取得重大商业发现，力争“十三五”建成150万t原油生产基地(图13)。顺北油田位于塔里木盆地中西部，是中国石化在碳酸盐岩海相石油勘探的新发现，资源量达到17亿t，其中石油12亿t，天然气5000亿m³。顺北油田的发现扩大了中国石化在塔里木盆地的勘探领域。顺北油田为奥陶系碳酸盐岩裂缝-洞穴型油藏，原油品质高，平均埋藏深度超7300 m，具有超深、超高压、超高温的特点，是中国石化在塔里木盆地新地区、新领域、新类型获得的重大油气突破，扩大了中国石化在塔里木盆地的勘探领域。

2016年中国矿产地质调查工作主要围绕天山—北山、西南三江、大兴安岭等26个重点成矿区带，开展1:5万矿产地质调查，圈定找矿靶区，引导和拉动商业性矿产勘查以石墨、锂、萤石等战略新兴矿产为重点，开展攻关示范，发现了一批新的矿产地。包括新疆西昆仑新发现玛尔坎苏锰矿带、西藏班公湖—怒江探明千万吨级铜矿、西南三江成矿带云南北衙金矿新增100余t、上



图13 中国石油力争建成150万t原油生产基地(来源:人民网)

扬子东缘黔东实现锰矿重大突破、江南陆块南缘江西朱溪钨矿取得新进展、胶东成矿带金矿资源规模进一步扩等。

新疆地矿局 2016 年 9 月 25 日宣布, 在新疆和田地区和田县境内火烧云一带, 发现一处资源储量近 1900 万 t 的世界级超大型铅锌矿, 这也是目前中国资源储量最大铅锌矿。矿区位于海拔 5500 m 以上的高原无人区, 面积达 6.6 km²。矿体具有厚度大、埋藏浅、品位高等特点, 铅锌矿资源储量 1894.96 万 t, 其中, 可用于工业开采的储量达 1887.37 万 t, 占总储量的 99.6%。

在贵州威宁东峰-水城大湾地区发现铁-稀土矿层, 初步估算该区新增铁矿石资源量 2159 万 t, 新增稀土金属量近 10 万 t。在贵州黔西-大方地区发现了两处富锂铝土矿, 氧化锂最高含量高达 1.09%, 在贵州沉积型铝土矿中属于首次发现^[7]。

2.5 中国发射多颗地学卫星

2016 年中国发射多颗地学卫星, 包括北斗导航第五颗组网卫星、遥感卫星三十号、资源三号 02 星、高分三号、脉冲星试验卫星、碳卫星 TANSAT 等。

2016 年 2 月 1 日, 中国新一代北斗导航第五颗组网卫星成功发射。该卫星采用中国科学院导航卫星专用平台, 首次集成了自主研发的氢原子钟、高集成度空间抗辐照专用芯片等一批关键技术成果, 与先期发射的 4 颗新一代北斗导航卫星一起, 基本确立了北斗卫星导航系统的全球组网模式, 具有里程碑意义。2016 年 3 月 30 日 4:11, 6 月 12 日 23:30, 中国在西昌卫星发射中心分别用长征三号甲、长征三号丙运载火箭, 成功发射第 22、23 颗北斗导航卫星。其中第 22 星属倾斜地球同步轨道卫星, 卫星入轨并完成在轨测试后, 与其它在轨卫星共同提供服务, 将进一步增强系统星座稳健性, 强化系统服务能力, 为系统服务从区域向全球拓展奠定坚实基础。第 23 星属地球静止轨道卫星。卫星入轨并完成在轨测试后, 与其他在轨卫星共同提供服务, 将进一步增强系统稳健性, 强化系统服务能力, 为系统服务从区域向全球拓展奠定坚实

基础。

2016 年 5 月 15 日, 搭载遥感卫星三十号的长征二号丁运载火箭升空。当日 10:43, 中国在酒泉卫星发射中心用长征二号丁运载火箭将遥感卫星三十号发射升空。这次发射的卫星和运载火箭, 分别由东方红卫星有限公司和上海航天技术研究院负责研制。这是长征系列运载火箭的第 227 次飞行。遥感卫星三十号将主要用于科学试验、国土资源普查、农作物估产及防灾减灾等领域。

2016 年 5 月 30 日 11:17, 作为中国《国家民用空间基础设施中长期规划(2015—2025 年)》的首颗星, 资源三号 02 星在太原卫星发射中心成功发射。该星将与在轨工作的 01 星形成组网观测, 创新中国测绘方式, 增强中国获取地理空间信息的能力和时效性, 有望推动中国测绘事业蓬勃发展。源三号 02 星搭载 3 台三线阵相机、1 台多光谱相机和 1 台激光测距仪。据介绍, 与 01 星相比, 02 星将实现更高分辨率、更优异影像融合能力、更高图像高程测量精度, 可连续、稳定、快速获取高分辨率立体影像和多光谱数据, 大幅提升中国 1:5 万比例测绘的整体能力, 满足基础测绘、地理国情监测以及其他行业的应用需求。

2016 年 8 月 10 日 6:55, 中国在太原卫星发射中心用长征四号丙运载火箭成功将高分三号卫星发射升空。这是中国首颗分辨率达到 1 m 的 C 频段多极化合成孔径雷达(SAR)成像卫星, 也是高分专项“天眼工程”中唯一一颗“雷达星”。高分三号是世界上成像模式最多的合成孔径雷达(SAR)卫星, 具有 12 种成像模式。它不仅涵盖了传统的条带、扫描成像模式, 而且可在聚束、条带、扫描、波浪、全球观测、高低入射角等多种成像模式下实现自由切换, 既可以探地, 又可以观海。科学家相信, 高分三号将在海洋、减灾、水利、气象等多个领域“一展身手”, 为海洋监视监测、陆地环境资源监测和应急防灾减灾提供重要技术支撑, 使天基遥感跨入全天时、全天候、量化、米级的应用时代。

2016 年 11 月 10 日 7:42, 中国在酒泉卫星发射中心用长征十一号运载火箭, 成功发射了脉冲星试验卫星。该星主要用于验证脉冲星探测器性能指标和空间环境适应性, 积累在轨试验数据, 为脉冲星探测体制验证奠定技术基础。脉冲星被称作宇宙中的灯塔, 它们特征明显、易于辨识, 在宇宙中的定位位置比较精准。由于美国 GPS、中国北斗等卫星导航系统的精度, 很大程度上依赖于导航卫星上装载的原子钟的时间稳定度, 如果能依靠脉冲星自身发出的极为稳定的 X 射线脉冲信号, 为近地轨道、深空探测和星际飞行航天器提供高精度的位置、速度、时间等自主导航信息服务, 将可以实现航天器长时间高精度自主导航与精密控制。

2016 年 12 月 22 日 3:22, 中国首颗碳卫星 TANSAT 发射升空。本次发射的碳卫星作为中国首颗用于监测全球大气 CO₂ 含量的科学实验卫星, 以大气 CO₂ 遥感监测为切入点, 利用高光谱与高空间分辨率 CO₂ 探测仪、多波段云与气溶胶探测仪等探测设备, 通过地面数据接收、处理与验证系统, 定期获取全球 CO₂ 分布图, 使中国在大气 CO₂ 监测方面跻身国际前列。云与气溶胶探测仪的监测数据则有望支撑对 PM_{2.5} 及雾霾现象的科学研究。该卫星的成功研制和后续在轨稳定运行, 将使中国初步形成针对重点地区乃至全球的大气 CO₂ 浓度监测能力, 对充分了解全球碳循环过程及其对全球气候变化的影响, 提升中国在国际气候变化方面的话语权具有重要意义。

2.6 中外科学家首次在琥珀中发现恐龙标本

由中国地质大学(北京)邢立达与加拿大萨斯喀彻温省皇家博物馆瑞安·麦凯勒领衔的研究团队宣布, 发现了有史以来首个保存着恐龙标本的琥珀。这是一块出自缅甸有着 9900 万年历史的琥珀, 里面封藏了恐龙尾部组织, 上面有原始羽毛。“尾巴展开后长度约为 6 cm, 推测全身长度为 18.5 cm。”科学家给它取名“伊娃”。该研究成果发表于《Cell》出版集团旗下的《当代生物

学》杂志^[18]。

这个标本保存了非常精致的羽毛形态学细节,包括其尾部上羽毛与羽囊的排列方式,微米级的羽衣特征。最重要的是,这些羽毛都具有纤细的羽干,长有交替的羽枝和连续且均匀的羽小枝,这些特征为羽枝融合形成羽轴时已具有羽小枝提供了依据。“此前,我们研究恐龙,只能通过化石研究。大部分化石只有骨骼形态得以保留,羽毛等只能保留一些印记,从没有这样‘鲜活’、立体地展现。”

3 未来热点

通过总结地球科学领域前沿热点、新兴热点和重要事件的基础上,结合《中国国家自然科学基金“十三五”发展规划》^[19],可以推断,未来热点将在重大前沿领域突出学科交叉,注重多学科协同攻关,促进地质科学在重要方向取得突破性成果,带动地球科学整个学科或

多个分支学科迅速发展。全球环境变化与地球圈层相互作用,天气、气候与大气环境过程、变化及其机制,人类活动对环境 and 灾害的影响,地表环境变化过程及其效应,海洋过程及其资源、环境和气候效应,地球观测与信息提取的新理论、技术和方法、地球深部过程与动力学,矿产资源和化石能源形成机理,地球环境演化与生命过程,日地空间环境和空间天气等方面是地球科学 2017 的重点研究领域。

《中国国家自然科学基金“十三五”发展规划》也列出了地球科学领域的十个优先发展领域。值得注意的是,在跨科学部的优先发展领域中,有关地学大数据与地球系统知识发现和重大灾害形成机理及其减灾对策赫然在列。地学大数据与地球系统知识发现的核心科学问题包括三维空间分析与时空数据挖掘方法体系;地学大数据规则化重构,地学大数据关联分析与统计预测,

快速、动态、精细全信息三维地学建模方法,三维地学空间数据结构模型,多维时空大数据组织、管理与动态索引,地学大数据计算理论、技术方法与知识发现,资源环境空间格局及其变化探测。重大灾害形成机理及其减灾策略的核心科学问题则包括强震的孕育环境、发生机理及预测探索,大陆活动火山成因机理与灾害和环境效应,重大滑坡、泥石流等灾害事件的成灾机理,极端气象灾害形成机理;水旱与海洋灾害风险形成机理,重大工程活动及致灾机理;不同类型自然灾害的诱发、成灾和灾害链,人类活动与自然灾害的相互作用,重大灾害的监控预警与风险评估等。

致谢: 本文撰写过程中得到中国地质大学(北京)蔡慧慧、卢婷、齐荣、郑丽婧、李永生、刘海英、彭玉萍、涂佳莉的帮助。

参考文献(References)

- [1] 汪新文. 地球科学概论[M]. 2版. 北京: 地质出版社, 2013: 1-5.
- [2] 刘本培, 蔡永龙. 地球科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 1-2.
- [3] 苏京志, 温敏, 丁一汇, 等. 全球变暖趋缓研究进展[J]. 大气科学, 2016, 40(6): 1143-1153.
- [4] 中国科学院科技战略咨询研究院, 中国科学院文献情报中心, Clarivate Analytics 公司. 2016 年研究前沿[R]. 2016: 18-26.
- [5] Khazendar A, Rignot E, Schroeder D M, Set al. Rapid submarine ice melting in the grounding zones of ice shelves in West Antarctica[J/OL]. Nature Communications, [2016-12-28]. <http://doi.org/10.1038/ncomms13243>.
- [6] Wang G, Zhang R, Gomez M E, et al. Persistent sulfate formation from London Fog to Chinese haze[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2016, 113(48): 13630-13635.
- [7] Sun Y, Wang Z, Wild O, et al. "APEC blue": Secondary aerosol reductions from emission controls in Beijing[J]. Scientific Reports, 2016, 6. doi: 10.1038/srep20668.
- [8] Cao C, Lee X, Liu S, et al. Urban heat islands in China enhanced by haze pollution[J]. Watare Communication, 2016, 7: 12509.
- [9] Li Chaoliu, Bosch C, Kang Shichang, et al. Sources of black carbon to the Himalayan-Tibetan Plateau glaciers[J]. Nature Communication, 2016, 7. doi: 10.1038/ncomms12574.
- [10] Li C, Bosch C, Kang S, et al. Sources of black carbon to the Himalayan-Tibetan Plateau glaciers[J]. Nature Communications, 2016, 7: 12574.
- [11] Montagner J P, Juhel K, Barsuglia M, et al. Prompt gravity signal induced by the 2011 Tohoku-Oki earthquake[J]. Nature Communications, 2016, 7. doi: 10.1038/ncomms13349.
- [12] Fischer V, Bardet N, Benson R B J, et al. Extinction of fish-shaped marine reptiles associated with reduced evolutionary rates and global environmental volatility[J]. Nature Communications, 2016, 7. doi: 10.1038/ncomms10825.
- [13] Tao S, Eglinton T I, Montluçon D B, et al. Diverse origins and pre-depositional histories of organic matter in contemporary Chinese marginal sea sediments[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 2016, 191: 70-88.
- [14] Bridgestock L, Van De Fliedert T, Rehkämper M, et al. Return of naturally sourced Pb to Atlantic surface waters[J]. Nature Communications, 2016, 7. doi: 10.1038/ncomms12921.
- [15] Li P, Qian H, Howard K W F, et al. Building a new and sustainable "Silk Road economic belt"[J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 74(10): 7267-7270.
- [16] “三深” 科技创新之路向何处去[N/OL]. [2016-12-20]. http://www.zgkyb.com/yw/20161108_35902.htm.
- [17] 高慧丽. 肩负使命 砥砺前行——2016 年地质调查工作回眸[EB/OL]. [2016-12-20]. http://www.cgs.gov.cn/xwl/ddyw/201612/t20161229_420178.html.
- [18] 科学家在琥珀中发现恐龙标本[EB/OL]. [2016-12-20]. http://news.sciencenet.cn/dz/dznews_photo.aspx?id=26845.
- [19] 国家自然科学基金委员会. 《国家自然科学基金“十三五”发展规划》[EB/OL]. [2016-12-20]. <http://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab405/info50064.htm>.

Hot topics review of earth science in 2016

WANG Xiaozui^{1,2}, PENG Junhuan¹

1. School of Land Science and Technology, China University of Geoscience(Beijing), Beijing 100083, China

2. Editor Board of Geomatics and Information Science of Wuhan University, Wuhan 430072, China

Abstract In 2016, earth science made a series of research progresses in all derived subjects, showing the characteristic of a transformation from "traditional earth science" to a new round of "earth system science". The paper selects the hot research topics such as the influence of global warming, new discovery, etc., and reviews the major events of 2016 in earth science.

Keywords frontier of earth science; research focus; major events

(责任编辑 刘志远)