

我国“十二五”期间的科学钻探活动

张伟

(中国地质调查局,北京 100037)

摘要:介绍了我国“十二五”期间主要的科学钻探项目实施情况,主要有“深部探测技术与实验研究专项”中的科学钻探、汶川地震科学钻探、松辽盆地科学钻探工程项目“松科二井”项目、铀矿科学深钻、东南沿海第一口干热岩科学钻探、大陆架科学钻探、长白山天池火山科学钻探、胶莱盆地白垩纪科学钻探、海洋科学钻探、冰心钻探等,以及在项目实施过程中开展钻探技术研发获得的成果,并对我国科学钻探的发展进行了展望。

关键词:科学钻探;钻探技术;进展;十二五

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)04-0018-06

Scientific Drilling Activities of China during the “12th Five-year Plan” Period/ZHANG Wei (China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: This article introduces the scientific drilling activities of China during the “12th Five-year Plan” period, including the implementation results of main scientific drilling projects and drilling technical R&D achievements obtained while conducting scientific drilling projects. In addition, the prospect of China’s scientific drilling is discussed.

Key words: scientific drilling; drilling technology; progress; “12th Five-year Plan”

“十二五”期间,我国的科学钻探形势大好,科学钻探活动蓬勃开展,科学钻探项目和钻孔数量之多,历史上从未有过。科学钻探已成为地学研究人员研究和了解地球的有效手段,在资源、环境和灾害等与人类息息相关的诸多领域中起着越来越重要的作用。在推动地球科学发展的同时,科学钻探还有力促进了钻探技术的发展和进步。

1 我国“十二五”期间的科学钻探活动

1.1 “深部探测技术与实验研究专项”范围内的科学钻探活动

“深部探测技术与实验研究专项”(SinoProbe)由中国地质科学院组织实施,国土资源部归口管理。作为“地壳探测工程”的先导计划,该计划的任务目标是:围绕“地壳探测工程”的全面实施,解决关键探测技术难点与核心技术集成,形成对固体地球深部层圈立体探测的技术体系;在不同自然景观、复杂矿集区、含油气盆地深层、重大地质灾害区等关键地带进行试验、示范,形成若干深部探测实验基地;解决急迫的重大地质科学难题热点,部署实验任务;实现深部数据融合与共享,建立深部数据管理系统;积

聚、培养优秀人才,形成若干技术体系的研究团队;完善“地壳探测工程”设计方案,推动国家立项。

该专项下设8个项目,其中有3个与钻探有直接关系。这3个项目实施的结果是:在南岭成矿带,西藏罗布莎,甘肃金川,云南腾冲和安徽庐枞、铜陵矿集区等地部署实施了8口科学钻孔,总进尺约16000 m;在山东莱阳盆地开展了科学钻探选址预研究;开展了万米大陆科学钻探装备研制;开展了13000 m特深科学钻井钻探施工技术预研究。

1.1.1 金川科学钻孔

金川科学钻孔位于甘肃省金川市,于2012年4月26日开钻,终孔深度2185.56 m,终孔直径76 mm,由山东省第三地质矿产勘查院承担施工。地学研究目标:探测金川铜—镍—钴—铂矿床的成矿深度和深部资源潜力;探索金川岩体的深部岩浆房,研究岩浆硫化物矿床成矿的深部过程和成矿机制,评价金川岩体外围的超镁铁岩的资源潜力和潜在的钻探靶区。

1.1.2 罗布莎科学钻孔

山东省第三地质矿产勘查院在西藏罗布莎施工了2口科学钻孔:第一口深度为1883.79 m,终孔直

收稿日期:2016-01-29

作者简介:张伟,男,汉族,1954年生,中国地质调查局汶川地震科学钻探工程中心总工程师,教授级高级工程师,探矿工程专业,博士,北京市房山区长阳镇九洲溪雅苑小区 A2-601(102488),zhangwei@wfsd.org。

径56 mm;第二口深度为1477.8 mm,终孔直径95 mm。钻探项目实施时间为2009年6月—2012年7月。地学研究目标:探测西藏罗布莎超镁铁岩铬铁矿床的成矿深度和深部资源潜力;查明铬铁矿在该超镁铁岩体中分布特征和赋存规律;探讨铬铁矿的成矿条件和成矿机制;查明铬铁矿赋矿岩体超镁铁岩的岩体特征、成因和构造背景;评价罗布莎超镁铁岩体的资源潜力和潜在勘探靶区。

1.1.3 腾冲科学钻孔

腾冲科学钻孔位于云南省腾冲市,施工时间为2012年5月20日—2013年9月8日,终孔深度1222.24 m,终孔直径152 mm,由河南省地矿局第二地质环境调查院承担施工。地学研究目标:研究腾冲地块的构造演化、火山喷发旋回、岩浆演化序列、地热异常区分布、地热泉水的开发利用潜力,揭示大型韧性走滑剪切带走滑过程及其对青藏高原物质向东南的流动和逃逸所起的作用,以及对地块内新生代火山岩盆地的制约。

1.1.4 庐枞科学钻孔 LZSD-1 孔

庐枞科学钻孔 LZSD-1 孔位于安徽省枞阳县钱铺乡,施工时间为2012年5月21日—2013年6月9日,终孔深度3008.29 m,终孔直径77 mm,由安徽省地矿局313地质队承担施工。地学研究目标:揭示与成矿有关的岩体、基底、盖层的空间分布,建立地壳结构模型和异常解释“标尺”,推断深部地质构造环境、探讨成矿物质迁移—富集机制、总结成矿规律,为深部找矿指明方向并提供一套具有可操作性、技术先进、经济合理、预见性较强的钻探施工技术方案。

1.1.5 铜陵科学钻孔 TLSJD-1 孔

铜陵科学钻孔 TLSJD-1 孔位于安徽省铜陵市,施工时间为2012年9月—2014年7月,终孔深度2467.33 m,终孔直径96 mm,由安徽省地矿局321地质队承担施工。地学研究目标:通过对矿集区侵入岩、火山地质、地球化学、蚀变矿化的热液系统等预研究,配合地球物理的研究成果和局部地区大比例尺的地质填图,确定深部找矿最有利的靶区,建立地球物理异常解释的“标尺”,研究矿集区金属矿床的垂向分布规律,建立区内成矿模式,进行深部成矿预测。

1.1.6 庐枞矿集区刘墩 ZK01 孔

庐枞矿集区刘墩 ZK01 孔位于安徽省合肥市庐

江县砖桥镇刘墩乡,施工时间为2011年8月17日—2012年3月24日,终孔深度2012.35 m,终孔直径77 mm,由中国地质科学院勘探技术研究所承担施工。地学研究目标:验证庐枞矿集区重要地球物理异常和深部成矿有利区,为矿集区探测研究提供地下实物样品,建立综合测井通道。

1.1.7 南岭科学钻孔 NLSD-1 孔

南岭科学钻孔位于江西省于都—赣县间,施工时间为2011年6月25日—2013年7月22日,终孔深度2967.83 m,终孔直径97 mm,由安徽省地矿局313地质队承担施工。地学研究目标:揭示与成矿有关的岩体、基底、盖层的空间分布,建立地壳结构模型和异常解释“标尺”,推断深部地质构造环境、探讨成矿物质迁移—富集机制、总结成矿规律,为深部找矿指明方向并提供技术方法组合,为进一步进行更深层次地球物理探测和科学超深钻实施奠定基础。

1.1.8 深部大陆科学钻探装备研制

“深部大陆科学钻探装备研制”课题为深部探测专项第九项目“深部探测关键仪器装备研制与实验”下设的第五课题,由吉林大学承担。课题组经过联合攻关,成功研制了我国首台“地壳一号”万米大陆科学钻探钻机,填补了我国在超深孔科学钻探钻机领域的空白;自主研发了高转速大扭矩全液压顶驱系统、高精度自动送钻系统、自动化排管装置、智能化铣钻工、自动猫道和科学钻探钻机数字化样机。通过在“松科二井”钻探工程的应用,表明该钻机及关键技术装备性能可靠,满足施工需要,全面提升了我科学钻探装备整机及关键部件的设计和加工水平。

1.1.9 科学超深井钻探技术方案预研究

“科学超深井钻探技术方案预研究”是“深部探测专项”第五项目“大陆科学钻探选址与钻探实验”的第六课题,其主要任务是:深入分析国内外超深井工程技术的最新研究成果;详细解剖我国13000 m深度科学钻孔可能遇到的技术难题,提出相应的解决方案;在一定实验数据的基础上先期进行一些方案探索性研究,并对方案所涉及的需要进一步攻关的课题进行梳理,编制出3~5年的攻关计划;提出超深钻总体设计方案,以指导今后具体的研发工作。该课题设置了14个专题,涉及13000 m特深科学钻井施工的主要方面,包括总体技术方案、钻探设备、

井身结构和套管程序、钻进技术(取心钻进、全面钻进和扩孔钻进)、井身轨迹控制技术、钻杆柱、井底动力钻具、钻井泥浆、井壁稳定性、井内事故预防以及钻井数据采集和处理等。该课题由中国地质科学院勘探技术研究所牵头,我国地质钻探领域的主要研究单位和相关的大学都参与了该项研究工作。

1.2 汶川地震科学钻探项目

“汶川地震断裂带科学钻探”是在2008年汶川特大地震发生之后,我国快速启动的一个地震科学钻探项目,该项目作为“十一五”国家科技专项进行组织实施,参照国家科技支撑计划管理办法进行管

理。该项目研究目标是:在汶川特大地震和复发微地震的源区——龙门山“北川-映秀断裂”及龙门山前缘“安县-灌县断裂”傍侧实施科学群钻,通过钻探获取地下深处的地学信息,开展地质构造、地震地质、岩石力学、化学物理、地震物理、流体作用和流变学等多学科的研究、观测和测试,研究地震活动的规律和发震机理。完钻后,将在钻孔内安放地震探测仪器,建立长期地震观测站,为未来地震的监测、预报或预警提供基本数据。在此项目范围内,共施工了6口科学钻孔(见表1)。钻探施工由中国地质科学院探矿工艺研究所组织实施。

表1 汶川地震断裂带科学钻探钻孔施工情况

孔号	孔位地点	施工时间	终孔深度/m	终孔直径/mm	承担施工单位
WFSD-1	四川都江堰	2008.11.04—2009.07.12	1201.15	76	四川省地矿局403队
WFSD-2	四川都江堰	2009.07.13—2012.02.09	2283.56	122	北京市地质工程设计研究院、陕西煤田185队
WFSD-3-P	四川绵竹	2009.09.14—2009.12.08	551.54	76	四川省地矿局403队
WFSD-3	四川绵竹	2009.12.08—2012.02.21	1545.82	76	安徽省地矿局313队
WFSD-4	四川绵竹	2012.08.06—2014.02.11	2338.77	150	陕西煤田185队
WFSD-4S	四川绵竹	2014.09.22—2015.05.22	1204.18	122	山东省第三地质矿产勘查院

1.3 松辽盆地科学钻探工程项目“松科二井”项目

松辽盆地科学钻探工程项目由中国地质调查局组织实施。项目的主要任务是施工“松科二井”,地学研究目标是:结合已完成的“松科一井”,将实现“两井四孔、万米连续取心”,构成全球首个近乎完整的白垩纪陆相沉积记录,从而获取白垩纪时期亚洲东部高分辨率气候环境变化记录。将传统地质学百万年的时间分辨率提高到万年的尺度,为预测未来全球时间尺度气候变化趋势提供更为科学的依据。“松科二井”位于黑龙江省安达市,设计井深6400 m,终孔直径150 mm,于2014年4月13日开钻,2016年1月29日钻达4527.52 m。钻井施工组织单位为中国地质科学院勘探技术研究所。

松辽盆地大陆科学钻探工程“松科二井”是全球第一口钻穿白垩纪陆相地层的大陆科学钻井,受到国际地学界的广泛关注。该项目被列为国际大陆科学钻探计划(ICDP)项目,并得到了ICDP的资助。

1.4 铀矿科学深钻项目

在“十二五”期间,中核集团核工业北京地质研究院在江西相山组织实施了一个铀矿科学深钻项目,其目的是:开展大型热液型铀矿深部成矿机理、铀成矿的极限深度、深部构造和地质体及重要地质要素界面识别、深部铀矿化示踪等许多重大科技和

找矿问题的深入研究,推动成矿理论创新,开辟铀资源深部外围“第二找矿空间”,带动勘查技术的发展。为完成项目的地学研究目标,计划在江西相山铀矿田施工4口科学深孔,现已完成3口。完成情况如下。

CUSD1孔是我国铀矿科学钻探第一深孔,于2012年7月21日开钻,施工时间283天,终孔深度2818.88 m,终孔直径122 mm。

CUSD2孔施工时间为2014年11月28日—2015年3月26日,终孔深度1535.02 m,终孔直径122 mm。

CUSD3孔于2015年7月18日开钻,终孔深度1616.18 m,终孔直径122 mm。

CUSD4孔设计孔深1800 m,将于近期开钻。

1.5 东南沿海第一口干热岩科学钻探项目

我国东南沿海第一口干热岩科学钻孔“干热一井”是中国地质科学院水文地质环境地质研究所组织实施的“大型盆地和东南沿海典型地区深部水文地质调查”项目内容之一,其目的是:通过钻探及测井,得到温度与深度的变化关系,剖分孔内地层岩性,标定主要断裂,研究深部干热岩赋存特征和成因机制,为我国干热岩资源开发提供基础。该孔位于福建省漳州市东泗乡清泉林场,设计终孔深度4000

m,设计终孔直径 152 mm,于 2015 年 5 月 21 日开钻,2015 年 12 月 31 日孔深超过 3100 m。

1.6 大陆架科学钻探项目

“大陆架科学钻探项目”属国家海洋地质工程专项,由中国地质调查局青岛海洋地质研究所组织实施。该项目旨在通过在陆架钻探取心进行地学研究,探讨我国(亚洲地区)新生代地质演化历史中的构造运动和地貌演化、陆源物质从源到汇、亚洲季风形成与演化、海陆变迁及其环境效应等关键科学问题。该项目的第一口钻孔 CSDP-01 孔已于 2013 年 6 月完成施工。CSDP-01 孔终孔深度 300.1 m,由青岛海洋所施工。该项目的第二口钻孔 CSDP-02 孔设计孔深为 2000 m,设计终孔直径 95 mm,于 2015 年 3 月 29 日开钻,2016 年 1 月 29 日的孔深为 1760.68 m。该孔位在我国南黄海海域,作业水深 20~30 m,施工单位为山东省第三地质矿产勘查院。

1.7 长白山天池火山科学钻探项目

长白山天池火山科学钻探是中国地质调查局沈阳地质调查中心承担的国土资源部公益行业基金“长白山火山监测与现今活动性研究”项目的工作内容之一,其目的是:取得长白山天池火山地下深处的实物资料及测温信息,为天池火山的形成过程及危险性评估提供基础资料,为长白山地区地热资源开发和利用提供新方向。在该项目范围内,施工了 4 口科学钻孔,其深度分别为 27.7、220.2、403 和 644.8 m。

1.8 胶莱盆地白垩纪科学钻探项目

胶莱盆地白垩纪科学钻探工程由中国地质科学院地质研究所组织实施。该工程旨在采集高质量岩心样品,为调查胶莱盆地充填序列、岩石地层组成,及研究胶莱盆地不同时期的原盆地形态、岩相古地理、古环境、古生态,以及火山夹层、事件地层、层序地层特征等。该项目的 JK1 孔已完钻。该孔位于山东省胶州市,终孔深度 664.70 m,终孔直径 76 mm。

1.9 冰心钻探

2013 年 1 月 21 日,我国深冰心钻机在南极昆仑站安装完成后,进行了第一钻的试钻探,成功钻取了一支长达 3.83 m 的冰心,标志着中国深冰心钻探计划的启动。我国计划用 4 年时间在此钻取超过 3000 m 的深冰心,以获得 100 万年以上时间尺度的地球气候与环境变化的信息。

冰心不仅记录着过去气候环境自然变化的信

息,而且记录着过去人类活动对于气候环境的影响。冰心研究通过从冰川(包括冰盖和冰帽及其他类型的冰川)中钻取冰样,破解冰心环境密码,检测过去气候与环境变化、监测现代气候与环境变化、预测未来气候与环境变化。

除了在南极开展冰心钻探之外,我国还一直在青藏高原开展冰心钻探活动。

1.10 海洋科学钻探

从 1998 年以来,我国的科学家一直在参与海洋科学钻探活动。我国于 1998 年加入大洋钻探计划(ODP),于 2004 年加入综合大洋钻探计划(IODP)。这 2 个计划结束后,我国于 2013 年 10 月加入国际大洋发现计划(IODP),年付会费 300 万美元。在综合大洋钻探阶段积累的基础上,于 2014 年 1—3 月成功组织实施了新十年 IODP 的第一个航次——南海 IODP 349 航次,促使我国进入探索海洋成因的地球科学研究新阶段。2014 年 6 月,科技部办公厅发文正式成立新一届中国 IODP 管理机构,包括中国 IODP 工作协调小组、中国 IODP 专家咨询委员会以及中国 IODP 办公室。

2 科学钻探对钻探技术发展的促进作用

科学深孔取心钻探施工是一种特殊的钻探施工,它既不同于地质岩心钻探,又不同于石油钻探。科学深钻施工对象多为硬岩并且取心多,钻孔深度和直径大,需要采用特殊的方法和技术,施工时间长、费用高,属于高难度钻探工程。如果钻进中遇到破碎地层、水敏性地层、漏失地层、缩径地层等复杂地层,则更是难上加难。为了解决科学钻探施工中遇到的技术难题,实现科学钻探项目的地学研究目标,科学钻探项目的实施单位在项目实施过程中开展了大量钻探技术研发和攻关,其结果:一方面解决了钻探技术难题,实现了地学研究提出的要求;另一方面使钻探技术得到了发展,钻探技术水平得到了提高。

“十二五”期间取得的主要的科学钻探技术研发成果如下。

2.1 “地壳一号”万米大陆科学钻探钻机

由吉林大学牵头,成功研制了我国首台“地壳一号”万米大陆科学钻探钻机,填补了我国在超深孔科学钻探钻机领域的空白。自主研发了高转速大扭矩全液压顶驱系统、高精度自动送钻系统、自动化

排管装置、智能化铁钻工、自动猫道和科学钻探钻机数字化样机。通过在“松科二井”钻探工程的应用,表明该钻机及关键技术装备性能可靠,满足施工需要,全面提升了我国科学钻探装备整机及关键部件的设计和加工水平。

2.2 “汶川地震断裂带科学钻探”复杂地层钻进技术

在“汶川地震断裂带科学钻探”项目中,针对龙门山断裂带极端恶劣的施工环境和复杂的地质条件,该项目的钻探工程负责单位中国地质科学院探矿工艺研究所组织了技术攻关,在取心钻进工艺方法、复杂地层泥浆体系和特殊钻进工具以及钻探设备等方面开展了大量的自主创新,在解决钻探技术难题方面获得了显著的效果。研发的主要成果包括螺杆马达/液动锤/长半合管取心钻进工艺、破碎地层取心技术、强蠕变地层钻进技术、交流变频高转速顶驱钻机、长孔段小间隙固井工艺5大方面。其中,螺杆马达/液动锤/长半合管取心钻进工艺属世界首创。

2.3 “松科二井”大直径深孔取心钻进工艺

在“松科二井”钻井工程实施过程中,中国地质科学院勘探技术研究所研制了KT-298型单动双管提钻取心钻具,采用转盘+螺杆复合钻进工艺,成功实现“同径取心,一径完钻”的技术路线,实现了大口径长钻程提钻取心。取心钻进直径311 mm,岩心直径211 mm,最大回次进尺>30 m,岩心采取率97%,取得了高效优质和低成本的施工效果。其中,Ø311 mm长井段连续取心钻进和Ø311 mm钻进回次长度>30 m,这2项都是在世界上首次实现。

2.4 高温钻井技术

为了解决“松科二井”深部(温度可能达到250℃左右)钻进和干热岩钻进将遇到高温问题,中国地质科学院勘探技术研究所、北京探矿工程研究所、中国地质科学院探矿工艺研究所、中国地质大学(武汉)等单位开展了一系列高温钻进技术研发,包括:Ø127 mm和Ø140 mm涡轮钻具、耐温250℃左右的泥浆体系、耐温280℃左右的高温测斜仪以及耐高温固井和堵漏技术等。

2.5 中国铀矿第一深孔的取心钻进工艺

在我国铀矿第一科学深孔的施工中,中核集团核工业北京地质研究院摸索了一套先进的大直径深孔绳索取心钻进工艺,对钻进体系中的要素,包括绳

索取心钻杆、液动锤钻具、金刚石钻头、泥浆体系和钻探施工组织管理等进行了优化,高效优质地完成了2818.88 m深孔施工,全孔平均岩矿心采取率>99%,台月效率391 m,创造了Ø122 mm深孔绳索取心钻进的全国纪录。

2.6 交流变频深孔取心钻机

结合科学钻探项目的实施,中国地质装备集团有限公司与中核集团核工业北京地质研究院、中国地质科学院探矿工艺研究所合作,研制出了两类3种新型的交流变频深孔取心钻机,即KZ30DB型钻机、XD-35DB型钻机和XY-8DB型钻机。与传统的深孔取心钻进钻机相比,这些钻机的共同特点是:能耗低,输出特性好,过载能力强,操控性好,顶部驱动钻进施工效率高和应付复杂情况的能力强。

3 总结和展望

(1)“十二五”期间,我国的科学钻探蓬勃开展,发展势头十分强劲,是我国历史上科学钻探活动最为活跃的时期。实施的科学钻探项目多,涉及面广。从地理的角度说,科学钻探项目涉及陆地、海洋、湖泊、极地和高原。从应用的角度说,科学钻探项目涉及矿产资源、能源、气候与环境、火山与地震等地质灾害等与人类的生存与发展息息相关的重大应用领域。

(2)在我国,已有越来越多的地学研究人员认识到科学钻探的重要性,并且在他们的研究工作中越来越多地采用科学钻探这一技术手段。这是因为,科学钻探是获得地下深处真实信息的唯一手段。地下深处的情况是复杂和多变的,科学钻探使得地学研究人员的研究成果更加真实、可信,水平更高。

(3)科学钻探的实施,使钻探技术得到长足发展,水平得到显著提高。在科学钻探项目中研发的钻探技术,可在地质矿产勘探以及石油、天然气等能源勘探中得到应用,并产生显著的效益。

(4)我国科学钻探强劲发展的趋势将在“十三五”期间得以延续。一些正在实施的科学钻探项目,如松辽盆地科学钻探工程项目“松科二井”、干热岩科学钻孔“干热一井”、大陆架科学钻探项目CSDP02孔和南极深冰心钻探、海洋科学钻探等,将继续实施。除此之外,肯定还有不少新项目将立项。

(5)在未来实施的“地壳探测工程”中,将施工深度超万米的特深科学钻井。施工这样的特深井,

难度巨大,有许多技术问题需要解决。从现在起,须组织开展特深科学钻井施工技术难题的技术研发和攻关,为特深科学钻井施工做好技术准备。

参考文献:

- [1] 董树文,李廷栋,高锐,等. 地球深部探测与实验研究[J]. 科学上海,2009,61(4):30-33.
- [2] 陈师逊,翟育峰,王鲁朝,等. 西藏罗布莎科学钻探施工对深部钻探技术的启示[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):1-3,9.
- [3] 朱恒银,蔡正水,王强,等. 赣州科学钻探 NLSD-1 孔施工技术研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):1-7.
- [4] 王军,满海波,刘狄磊,等. 铜陵科学钻探 TLSJD-1 孔钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):6-10.
- [5] 董向宇,李文秀,汤小仁,等. 庐枞矿集区刘墩 ZK01 深孔钻探工艺探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S2):195-198.
- [6] 周琦. 深部大陆科学钻探装备通过验收 [EB/OL]. <http://www.cgs.gov.cn/xwtzgg/cgkx/142664.htm>,2015-09-10.
- [7] 张金昌,刘秀美. 13000 m 科学超深井钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):1-6.
- [8] 张伟,胡时友,贾军,等. 汶川地震断裂带科学钻探项目钻探工程实施总结[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):94-101.
- [9] 曹龙龙,等. 松科二井三开井深达到 4000m [EB/OL]. <http://www.cgs.gov.cn/gzdt/gzdongtai/144951.htm>,2015-12-07.
- [10] 刘晓阳,李大昌,叶雪峰. 中国铀矿第一科学深钻施工概况[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):297-304.
- [11] 范建勇. 我国第一口干热岩科学钻探深井开钻 [EB/OL]. <http://www.cgs.gov.cn/xwtzgg/cgkx/31588.htm>,2015-05-25.
- [12] 滕艳,等. 大陆架科学钻探获重要进展 [EB/OL]. <http://www.cgs.gov.cn/xwtzgg/cgkx/142478.htm>,2015-09-02.
- [13] 滕睿钱程. 长白山天池火山科学研究“第一钻”顺利竣工 [EB/OL]. <http://www.cgs.gov.cn/xwtzgg/ywdongtai/23202.htm>.
- [13] 中国深冰芯钻机在南极昆仑站第一次试钻成功来源 [EB/OL]. <http://www.chinanews.com/gn/2013/01-24/4517705.shtml>,2013-01-24.
- [15] 中国 IODP 简介 [EB/OL]. <http://www.iodp-china.org/content.aspx>,2014-12-03.
- [16] 闫家,王稳石. 地调局勘探所研制完成首台国产 140mm 涡轮钻具 [EB/OL]. <http://www.cgs.gov.cn/gzdt/gzdongtai/145230.htm>,2015-12-16.
- [17] 杨锐. 地调局北京探工所超高温高压钻井液流变仪研发获重大技术突破 [EB/OL]. <http://www.cgs.gov.cn/gzdt/gzdongtai/142976.htm>,2015-09-22.
- [18] 张德龙. 地调局北京探工所国内首次涡轮取心钻进取得成功 [EB/OL]. <http://www.cgs.gov.cn/gzdt/gzdongtai/124849.htm>,2015-08-18.
- [19] 刘跃进,朱江龙,潘飞,等. 我国深孔钻探装备的发展与展望 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S2):18-23.