

编者按:汶川地震断裂带科学钻探项目以研究地震为目标,对于减灾、防灾意义重大。项目共计划施工5口科学钻孔,目前4口钻孔已完钻,WFS-4号孔也于2012年8月6日开钻。由于汶川地震断裂带历史上频繁发生地震,地层严重破碎,钻探施工条件极端恶劣。另一方面,地学研究对钻探施工提出了很高的要求。这一系列情况对该项目的钻探施工带来了很大的困难,对钻探施工技术提出了极大的挑战。通过该项目钻探工程技术人员的艰苦努力,克服了重重困难,针对施工中的技术难题开展了技术攻关和创新,取得了较好的施工效果,为地学研究提供了高质量样品和数据,使我国深孔复杂地层钻进、取心、护孔技术水平得到提高。该项目钻探施工中采取的技术措施和经验,对于我国的深孔复杂地层取心钻探施工具有很好的参考价值。因此,特组织此专栏,供同行们学习参考。

汶川地震断裂带科学钻探项目钻探施工进度综述

张伟¹, 贾军², 胡时友³, 樊腊生³

(1. 中国地质调查局, 北京 100037; 2. 北京探矿工程研究所, 北京 100083; 3. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川成都 611734)

摘要:介绍了汶川地震断裂带科学钻探项目的钻探施工进度,包括钻探施工进度、施工中遇到的技术难题以及为解决这些技术问题采取的技术措施和取得的成果。

关键词:汶川地震;地震断裂带;科学钻探;进展

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)09-0001-05

Overview on Drilling Construction Progress in Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project/ZHANG Wei¹, JIA Jun², HU Shi-you³, FAN La-sheng³ (1. China Geological Survey, Beijing 100037, China; 2. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China; 3. The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: The paper introduces the drilling operation of Wenchuan earthquake fault scientific drilling project, including drilling progress, technical problems encountered while drilling with the corresponding measures and the achievements obtained during drilling operation.

Key words: Wenchuan earthquake; earthquake fault; scientific drilling; progress

1 概述

汶川地震断裂带科学钻探(WFS)项目的科学目标是:通过在位于四川的龙门山断裂带施工科学钻孔,获取地下深处的地学信息,研究地震活动的规律和发震机理。完钻后,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。该项目作为科技部科技支撑计划的一个专项,由国土资源部和中国地震局共同组织实施,国土资源部为项目负责部门。项目的具体实施工作由中国地质调查局汶川地震科学钻探工程中心承担。该项目于2008年10月启动,原计划于2011年12月结束,由于地震断裂带地层强烈破碎,钻探施工难度很大,进展比预期要慢,经科技部批准延期到2014年6月。

汶川地震断裂带科学钻探项目总共计划施工5口科学钻孔,钻井工程的组织实施由中国地质科学院探矿工艺研究所承担。钻孔的部署和进展情况见表1。

2 汶川地震科学钻探项目的钻探施工进度

2.1 WFS-1孔

WFS-1孔于2008年11月4日开钻,于2009年7月12日钻达终孔孔深1201.15 m。取心钻进进尺1368.29 m,岩心采取率94.3%^[1]。该孔原计划的钻探施工工期是3个月,实际用了8个多月,主要原因是因为地层严重破碎和强烈缩径,导致孔内事故频发^[2]。该孔施工期间发生较大钻探事故3起、测井事故一起,进行了2次侧钻,重复进尺183.11

收稿日期:2012-08-08

基金项目:科技部科技支撑计划专项“汶川地震断裂带科学钻探(WFS)”项目之“科学钻探与科学测井”课题

作者简介:张伟(1954-),男(汉族),湖北恩施人,中国地质调查局汶川地震科学钻探工程中心总工程师,中国地质大学(武汉)客座教授,探矿工程专业,博士,负责组织汶川地震科学钻探项目的钻探和测井施工工作,北京市西城区阜外大街45号院,zhangwei@wfsd.org。

表1 汶川地震断裂带科学钻探项目的钻孔部署及其进展情况

钻孔名称	设计孔深/m	终孔直径/mm	钻孔地点	终孔时间	完钻孔深/m	施工单位
WFSD-1	1200	76	都江堰市虹口乡	2009年7月	1201.15	四川403地质队
WFSD-2	2000	150	都江堰市虹口乡	2012年4月	2283.56	北京101地质队、陕西煤田185队
WFSD-3-P	400	76	绵竹市九龙镇	2009年12月	551.5	四川403地质队
WFSD-3	1200	150	绵竹市九龙镇	2012年2月施工	1502.3	安徽313地质队
WFSD-4	3350	150	平武县南坝镇	2012年8月6日开钻		陕西煤田185队

m。测井次数也由原计划的3次增加到了6次。另外,2009年7月由特大暴雨引发的泥石流也使该孔的进度有所延缓。

2.2 WFSD-2孔

WFSD-2孔于2009年7月5日开钻,2012年2月9日钻达终孔孔深2283.56m。此后,在1356~1468m孔段,通过套管开窗侧钻进行了补取岩心钻进。该孔取心钻进进尺1905.53m,岩心采取率91.1%。由于地层条件恶劣,该孔的钻探施工极不顺利^[3],施工期间发生较大钻探事故5起、测井事故2起,进行了2次侧钻,重复进尺807.13m。该孔的施工进度也受到了2009年7月特大暴雨引发的泥石流的影响。

2.3 WFSD-3-P孔

WFSD-3-P孔设计孔深400m,于2009年9月14日开钻,2009年12月8日以551.54m的深度完钻。取心钻进进尺551.54m,岩心采取率95.1%。该孔施工期间发生较大孔内事故1次。

2.4 WFSD-3孔

WFSD-3孔设计孔深1200m,于2009年12月8日开钻,2012年2月21日钻达终孔孔深1502.3m。取心钻进进尺1548.44m,岩心采取率94.3%。该孔施工期间发生较大孔内事故3起,进行了2次侧钻,重复进尺526.52m。

3 钻探施工的困难及其原因

汶川地震断裂带科学钻探项目的钻探施工遇到了极大的困难,主要是地层强烈破碎和复杂所致,而这一切的总根源是龙门山断裂带历史上的多次地震。文献[4]对汶川地震发生的原因进行了介绍:印度洋板块向亚欧板块俯冲,造成青藏高原快速隆升。高原物质向东缓慢流动,在高原东缘沿龙门山构造带向东挤压,遇到四川盆地之下刚性地块的顽强阻挡,造成构造应力能量的长期积累,超过岩石的强度极限后,岩石发生破裂,地应力能量以地震波的形式突然释放,形成地震。由于产生地震的根源一直存在,因此一次地震产生和地应力得到释放后,岩体中的地应力又重新开始积累,直到下一次地震产

生。这种过程一直在循环进行,因此龙门山断裂带历史上经历了许多次地震。

在许多次地震的作用下,龙门山断裂带地下岩层整体破碎,“体无完肤”,严重程度罕见(图1~3)。钻进施工中钻孔垮塌、扩径(图4)、缩径和漏失等诸多困难同时存在,除了给取心和钻进带来了很大困难之外,还导致钻探和测井事故频发,处理事故耗费了大量的时间和经费。



图1 WFSD-1孔上部孔段的岩心

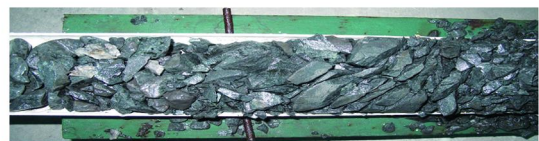


图2 WFSD-2孔1390m深度的岩心



图3 WFSD-3孔上部孔段的岩心

在钻进施工过程中,孔壁岩石受到各种机械扰动作用,包括:(1)回转钻进过程中的钻杆敲击作用;起钻过程中的抽吸作用;(2)下钻过程中的压力“激动”作用;(3)处理事故过程中孔内震击器的震击作用等。

在各种机械扰动作用的综合影响下,本身就破碎的孔壁岩石发生剥落,剥落物掉在孔内。若孔内有钻具,即形成卡钻或埋钻。地层破碎和孔壁岩石的剥落、掉块是卡钻事故的主要原因之一,WFSD-2孔扩孔钻进期间的2次卡钻事故和WFSD-3孔中试下套管时发生的卡钻事故,都是由于孔壁坍塌掉块引起的。

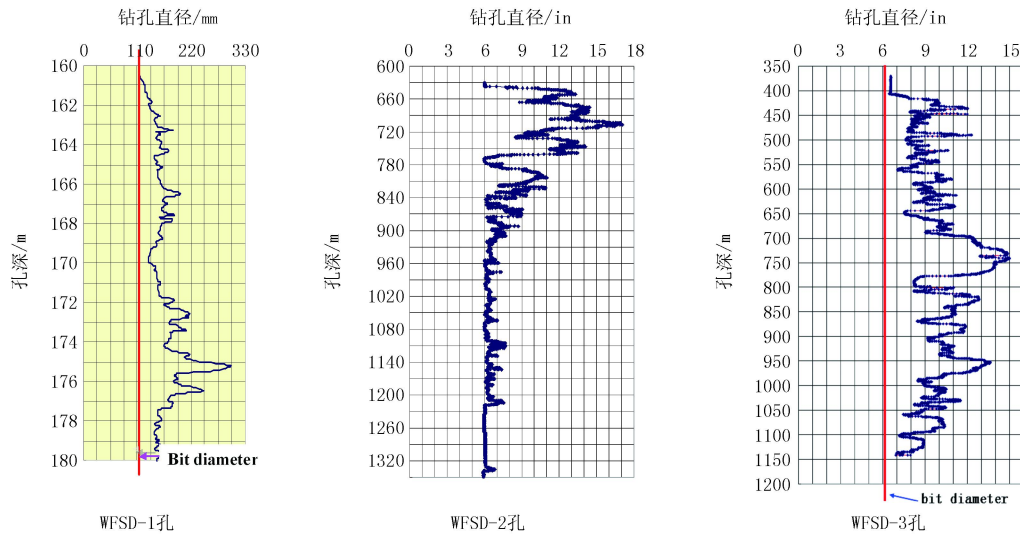


图4 井径测量结果显示钻孔坍塌扩径严重

除了孔壁坍塌掉块导致的卡钻之外,经常遇到的还有钻孔缩径导致的卡钻。龙门山断裂带在历史上发生过许多次地震,地下岩层中断层泥十分发育,厚度极大,例如在 WFS-1 孔中就遇到了几十米厚的断层泥^[5]。断层泥中含有蒙脱石、伊利石等粘土矿物,吸水膨胀性很强,成为钻孔缩径的因素之一。此外,钻孔形成后在地下岩层中产生了自由面,在地应力作用下,岩层产生朝着钻孔方向的塑性流动,使钻孔直径变小。以上两种因素往往会同时作用,可能造成钻孔严重缩径,钻具非常容易被抱死。WFS-1 孔在断层泥中钻进时就遇到了这样的问题,在孔深 590~625 m 孔段连续 3 次发生由于缩径导致的卡钻和钻具被拉脱、拉断事故^[2]。在其它 3 个钻孔的施工过程中,也都发生过由于钻孔缩径导致的卡钻事故。

破碎地层取心也是钻探施工中的主要问题之一。某些钻孔的一些孔段岩层强烈破碎,取心异常困难。譬如 WFS-2 孔在 1400~1470 m 孔段取心极度困难,尽管采取了各种措施,岩心采取率也只能达到 40%~50%,有时候甚至打空管。

4 汶川地震科学钻探项目钻探施工组织管理和技术措施

笔者认为,在这种极端恶劣的地层条件下进行钻探施工,完成好施工任务的前提条件是:(1)加强钻探施工组织管理;(2)加强技术攻关,通过有效的技术措施来解决钻探施工的安全、质量和效率问题。

4.1 汶川地震科学钻探项目钻探施工组织管理措施

汶川地震科学钻探项目的钻探施工由于地层条件复杂,取心要求严格,施工中大量采用新方法和新技术以及施工设计经常根据地质研究的要求进行变化等一系列特点,使得常规的钻探施工承包方式难以取得好的效果。参照中国大陆科学钻探工程项目组织实施的经验^[6],从 2010 年 9 月 WFS-2 孔下半段施工时开始采用“甲方指挥施工的日费制”,即甲方负责从设计、器材供应到施工指令下达等一系列决定性的工作,乙方(钻探队伍)按照甲方指令进行操作,甲方给乙方的报酬按日计费。

制定了“科学钻探与科学测井”课题实施管理办法,明确了课题每一个管理分组和主要人员的岗位职责,规定了办事制度和程序以及物资采购制度和程序。

针对钻探施工中的技术难题,中国地质科学院探矿工艺研究所和汶川地震科学钻探工程中心钻井工程部数次召开专题性的技术研讨会和专家咨询会,邀请有关大学、研究所、施工单位和管理部门的知名专家(涉及地质、石油、水电、煤田等部门)对钻探技术难题进行会诊并提出解决方案。此外,组织开展了技术攻关,联合国内有关的大学、研究所和企业开展了钻探技术与开发。一系列技术和管理措施的采取,为钻探施工的顺利进行提供了有力的保证。

4.2 汶川地震科学钻探项目钻探施工技术措施

4.2.1 深孔硬岩取心钻探装备

针对国内没有适合于大直径深孔绳索取心钻进施工的钻机的问题,中国地质科学院探矿工艺研究所联合中国地质装备总公司研发出了一套多功能、

低成本的深孔取心钻探设备 KZ3000 型钻机(图 5)和配套器具。该钻机的基本思路是,在地热转盘钻机上加装一套高转速液压顶驱系统和高精度给进控制系统,既可满足金刚石绳索取心钻进的要求,又可实现大口径扩孔钻进。该钻机能以 $\varnothing 150$ mm 口径钻进到 3000 m,可用于 3000 m 左右的科学钻探,还可用于深孔岩心钻探、地热钻探以及煤层气钻探。



图 5 KZ3000 型深孔取心钻机

4.2.2 硬岩取心钻进方法

对于复杂岩层条件的深孔取心钻进的工艺方法,进行了大量的技术经济学分析^[7]和实验研究,试验过的取心钻进工艺方法包括转盘提钻取心、顶驱提钻取心、顶驱绳索取心、螺杆马达提钻取心、螺杆马达/液动锤提钻取心。为开展大口径绳索取心钻进试验,专门研制了一套 $\varnothing 127$ mm 绳索取心钻杆,可用于钻孔直径 150 mm、深度 3000 m 的绳索取心钻进。对以上几种取心钻进方法试验的结果表明:在这种极端破碎的地层条件下,孔底马达驱动的取心钻进比转盘驱动和顶驱驱动更有利于钻孔的稳定,可提高钻头转速和机械钻速,减少对孔壁的敲击和卡钻事故。而再加上液动锤之后,可以使机械钻速和回次长度显著地增加。无论采用何种方法,取心钻进时都采用了半合管,其结果显著改善了岩心的原状性,为地学研究提供了高质量的样品。

汶川地震断裂带科学钻探项目的前 4 个钻孔取心钻进总进尺 5371.18 m,取得岩心总长 4979.14 m,平均岩心采取率为 92.7%。虽然通过采用半合管取心技术,解决了破碎岩层的岩心采取率低和岩心原状性差的问题,但最初施工时半合管取心钻进回次进尺短,导致提钻次数多,辅助时间长和钻探施工效率低。为了解决此问题,组织研发了长半合管取心钻具,将取心钻具的取心回次长度由 2 m 左右增加到 4~6 m,大大提高了日进尺效率。大量研究和试验的结果表明,适合于汶川地震科学钻探项目极破碎地层条件的深孔取心钻进系统是螺杆马达/

液动锤/长半合管/金刚石取心钻进系统(图 6)。



图 6 螺杆马达、液动锤和长半合管取心钻具

4.2.3 改善岩心采取率的技术措施

通过采取综合技术措施来提高极破碎地层的岩心采取率。采取的措施包括:

(1)采用隔水效果好的取心钻头(图 7),钻头水路结构的设计既要防止岩心被冲蚀,又要解决钻头下方地层被冲蚀的问题。



图 7 超前式隔水防冲蚀取心钻头

(2)采用带可收缩拦簧的取心钻具。在回次结束后,使拦簧收拢,兜住岩心,以避免破碎的岩心在起钻过程中被抖落。

(3)采用低排量,以减轻泥浆对岩心和地层的冲蚀作用。

(4)提高泥浆粘度和切力,以保证在较低排量时泥浆的携带岩屑效果。

4.2.4 预防卡钻事故的技术措施

卡钻事故主要有孔壁岩石坍塌掉块卡钻和钻孔缩径卡钻 2 种。

(1)对于坍塌掉块导致的卡钻,采取的预防和处理措施包括:

①采用防塌效果好的泥浆体系。主要采用以低粘增效粉(LBM)和改性沥青为主要原料的细分散钻井液体系;尽量维持低的失水量(3~6 mL);根据地层情况调整泥浆密度(1.05~1.55 g/cm³),在破碎带和井径较大的条件下钻进,将密度调得稍高一些,有利于孔壁稳定。

②遇到异常情况时采取正确技术措施和操作措施。

③简化孔内钻具组合。

(2)对于钻孔缩径导致的卡钻,采取的预防和

处理措施包括:

①加大泥浆密度,以泥浆柱的压力来平衡地层的缩径力。

②采取局部扩孔措施,使缩径带的钻孔直径变大,缩径卡钻的风险降低。

③降低泥浆失水量并采用抑制粘土矿物膨胀的泥浆处理剂。

④起钻回灌泥浆。

⑤扩孔钻进中采用短起钻(起到套管内、再下钻扩孔钻进)。

5 结语

汶川地震断裂带地质条件复杂,钻进的地层严重破碎,钻孔涌水、漏失、垮塌和缩径等诸多困难同时存在,给钻探施工带来了很大的困难。汶川地震断裂带科学钻探是对钻探技术的极大挑战。通过采取技术措施,解决该项目钻探施工中的技术问题,使我们的复杂地层钻进、取心、护孔技术水平得到提

高,能力得到增强。汶川地震科学钻探为地质钻探技术的发展提供了极好的机会。

参考文献:

- [1] 尤建武,曹其友,杨明奇,等.汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)不同取心方法的应用效果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(12):9-12.
- [2] 樊腊生,贾军,吴金生,等.汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)钻探施工概况[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(12):5-8.
- [3] 秦沛.对深孔大口径取心钻探工艺的一些认识——以WFSD-2号孔0~897.66 m段施工为例[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11):7-13.
- [4] 许志琴,李海兵,吴忠良.汶川地震和科学钻探[J].地质学报,2008,82(12):1614-1622.
- [5] 李之军,陈礼仪,贾军,等.汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)断层泥孔段泥浆体系的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(12):13-15,19.
- [6] 王达,严良,王柏轩.中国大陆科学钻探工程项目组织与管理研究[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2008.
- [7] 张伟,贾军.汶川地震科学钻探二号孔取心钻进方法的选择[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(7):5-7.

勘探所慧磁中靶系统在山西煤层气井对接成功

中国地质调查局网站消息(2011-09-11) 中国地质科学院勘探技术研究所的“慧磁”中靶导向系统于2012年8月30日,在山西省临汾市乡宁县成功引导水平井“延1-56-32VP1”与直井“延1-56-32V”一次对接连通。这是“慧磁”自主研发成功后,第二次进入煤层气领域,取得了一次钻进直接连通的优良效果,受到了业主中石化华东分公司的一致好评。

该工程属于典型的煤层气水平连通开采井,结构复杂,工艺先进。业主为中石化华东分公司,施工井队为内蒙古煤建3039队,定向服务单位为斯伦贝谢金地伟业油田技术有限公司。设计井组为V形,即两水平井与一垂直单井连通。本次对接的两井井口距离763.34 m,设计连通层位为山西组2号煤层,位于直井“延1-56-32V”井深842.00~846.8 m段。该井段原为玻璃套管,后用500 mm钻头扩孔,形成一个高4.8 m、直径0.5 m的圆柱形溶腔,以此作为对接靶区。由

于靶区直径仅为0.5 m,对接难度大,要求精度高,在对接作业中必须提供准确的测量数据供司钻人员及时调整钻进方向。勘探所工程技术人员于8月28日进入直井井场,精心准备和设计,经过3天的连续作业,成功引导钻头与溶腔一次对接连通。

“慧磁”中靶引导系统自2009年10月在土耳其工地成功地连通第一对井后,其应用领域正在不断地扩展,到目前已累计完成50余次中靶作业,中靶成功率100%。从国外钻井市场到国内钻井市场,从天然碱矿到盐矿,再到煤层气领域,“慧磁”打破了国外同类产品的技术垄断和高价的神话,逐步形成了本土化技术服务优势,为勘探所定向钻井技术走在先进行列做出了有益的实践。在未来的页岩气勘探开发市场中,“慧磁”中靶引导系统将发挥重要作用,为我国的页岩气勘探开发提供坚实有力的技术保障。

勘探所将开展大口径潜孔锤反循环钻进工艺及器具研究

中国地质调查局网站消息(2012-09-13) 由中国地质科学院勘探技术研究所承担的“矿山应急抢险救灾快速钻井技术研究及应用”项目日前通过了国土资源部组织的专家评审,该项目将开展大口径潜孔锤反循环钻进工艺及器具研究。

据了解,该项目是科技部设立的科研院所技术开发研究专项资金支持项目,项目将利用潜孔锤反循环钻进技术开展矿山应急抢险垂直救援孔施工,在常规井下救援的基础上开辟垂直救援通道,形成全方位多渠道救援方案,提高抢险救

援的成功率,同时为矿山通风孔、送料孔、瓦斯抽采孔的施工提供一种快速有效的钻进方法,促进矿山大口径深孔钻进技术的发展。

随着国家能源开发建设的不断加强,危机矿山勘探规划启动和实施,大口径潜孔锤空气反循环钻进技术将有很大的应用前景。该项目的实施,必将加快大口径深孔潜孔锤反循环钻具国产化进程和技术的提升,彻底改变过去大口径深孔钻进泥浆正循环工艺落后局面。