

汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD - 4S 孔取心钻进技术

朱旭明¹, 张晓西¹, 翟育峰², 赵远刚³, 项洋¹, 喻西¹

(1. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074; 2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004; 3. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

摘要:汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD - 4S 孔是为了进一步了解汶川地震主滑移带情况, 取得更为全面完整的地质资料, 于南坝地区四号孔附近靠近地表破裂带的位置所补充施工的穿过汶川地震主滑移带的浅孔。主要介绍了汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD - 4S 孔针对钻孔地质条件复杂、孔内岩心采取率低等难题所采用的关键工艺和技术措施, 并对其应用成果进行了分析和总结, 通过从地层情况、施工过程、取心钻具、冲洗液技术以及事故处理等几个方面的详细论述, 为以后对复杂地层选用合理的取心技术提供重要参考依据。

关键词:科学钻探; 汶川地震断裂带; WFSD - 4S 孔; 复杂地层; 冲洗液; 事故处理

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 7428(2015)12 - 0001 - 05

Core Drilling Technology Used in Borehole WFSD - 4S of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project/ ZHU Xu-ming¹, ZHANG Xiao-xi¹, ZHAI Yu-feng², ZHAO Yuan-gang³, XIANG Yang¹, YU Xi¹ (1. China University Of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. No. 3 Geological Brigade, Shandong Geology & Mineral Exploration Bureau, Yantai Shandong 264004, China; 3. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: The borehole WFSD - 4S of Wenchuan earthquake fault scientific drilling project is a shallow supplemented hole through Wenchuan earthquake main slip band for further understanding the main slip of the Wenchuan earthquake to get more comprehensive drilling data, which is located near the surface rupture zone by the fourth hole in the Nanba region. The paper introduces the key technology and measures applied in the borehole WFSD - 4S of Wenchuan earthquake fault scientific drilling project for the difficulties of complex geological conditions and low core recovery. The results of its application were analyzed and summarized; the detailed discussion was made on the formation conditions, the construction process, coring drilling tools, drilling fluid technology and accident treatment, which will provide important reference for the selection of reasonable coring technology in future complex formation drilling.

Key words: scientific drilling; Wenchuan earthquake fault; borehole WFSD - 4S; complex formation; drilling fluid; accident treatment

1 概述

2008 年 5 月 12 日的汶川地震(Ms8.0)使龙门山断裂带中映秀—北川断裂和安县—灌县断裂同时破裂, 形成了 270 km 和 80 km 长的地表破裂带。为了研究地震发震机理、断裂行为、机制及开展地震监测和预报, 由国土资源部和中国地震局共同组织实施了汶川地震断裂带科学钻探工程项目, 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。该项目沿具有大同震位移量的不同断裂带上盘地方已设置完工了 5 口井, 其中 WFSD - 1 孔和 WFSD - 2 孔布

置在映秀—北川断裂带南段具有 6 m 同震垂直位移量的都江堰市虹口乡八角庙村; WFSD - 3P 孔和 WFSD - 3 孔布置在安县—灌县断裂带具有 4 m 最大同震垂直位移量的绵竹市九龙镇清泉村。WFSD - 4 孔位于映秀—北川断裂带北段具有强烈走滑作用的平武县南坝镇地区, 终孔深度为 2338.77 m。由于该钻孔设计为定向斜孔, 设计深度为 3350 m, 难度较大, 最终该钻孔未能穿过汶川地震主滑移带而提前终孔。为了进一步了解汶川地震主滑移带情况, 取得更为全面完整的钻探资料, 由山东省第三地质矿产勘查院进行施工, 在南坝地区四号孔附近靠

收稿日期: 2015 - 10 - 16

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(WFSD)”项目之“科学钻探与科学测井”课题

作者简介: 朱旭明, 男, 汉族, 1990 年生, 中国地质大学(武汉)在读硕士, 地质工程专业, 湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号, zxm9044915@163.com; 张晓西, 男, 1957 年生, 教授, 主要从事钻探新技术、新工艺、新方法的研究与钻探工程专业教学工作, zxxcug@126.com。

近地表破裂带的位置补充一口穿过汶川地震主滑移带的浅孔——WFSD-4S孔。

汶川科钻 WFSD-4S 孔于 2014 年 9 月正式开工,至 2015 年 6 月顺利终孔,历时近 1 年,克服了钻孔地质条件复杂、孔内岩心采取率低等难题,终孔孔深 1204.18 m,终孔孔径 122 mm,取心孔段岩心采取率 99.23%,平均回次长度 2.95 m,全孔平均机械钻速 0.76 m/h,在 1085 m 钻穿主地震断裂带。该孔各项技术质量指标完全满足合同要求,达到了地学研究的目的,被专家组验收评审为优质工程,并将作为地震监测及预报孔继续使用 10 年以上,为研究地震发震机理及开展地震监测和预报提供有力的保障。

2 施工概况

2.1 施工设计要求及完成情况

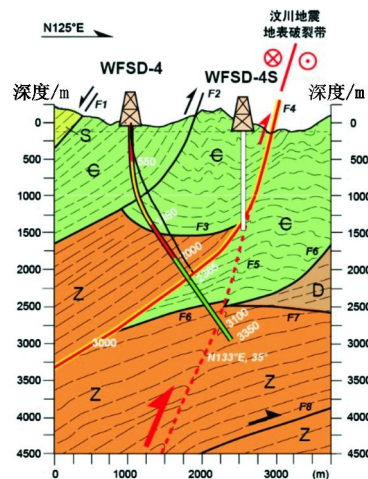
- (1) 钻孔深度:1200 m(实际终孔 1204.18 m);
- (2) 钻孔倾角:90°(终孔顶角为 28°);
- (3) 终孔直径:122 mm;
- (4) 取心要求:0~800 m 孔段不取岩心,800~1200 m 孔段要求全取心,岩心采取率 > 85%(自孔深 799.94 m 至终孔 1204.18 m 取心,岩心采取率 99.23%);
- (5) 岩心直径:76 mm;
- (6) 完井要求:采用筛管套管下至井底完井。套管(筛管)每 5 cm 钻 2 个 Ø12 mm 的小孔(872.48~1130.07 m 孔段下入总长 257.59 m 的筛管)。

2.2 地层情况

WFSD-4S 孔地区发育有震旦、寒武、志留和泥盆系变质地层,其中主要钻遇地层为寒武系地层。震旦系地层为千枚岩、结晶灰岩、变砂岩和硅质白云岩;寒武系地层主要为变砂岩,深灰色,变余砂质结构,块状或层状构造,局部夹有薄层含碳质钙质板岩,灰—灰白色,变余砂质/泥质结构,块状构造,组成物质主要为砂质/泥质,相对完整,部分坍塌掉块;志留系地层为千枚岩夹变砂岩、灰岩;泥盆系地层为石英砂岩、粉砂岩和泥岩,该地区褶皱和断裂发育。图 1 为汶川科钻 WFSD-4S 孔钻探地质设计方案。

2.3 钻孔结构及套管程序

一开钻进(0~30.6 m):采用 Ø219 mm 硬质合金钻头全面钻进至孔深 30.6 m,下 Ø219 mm 套管 30.6 m 并固井。



WFSD-4S(白线):垂直孔(顶角 0°)孔深 1200 m,0~800 m 孔段不取心;WFSD-4(黑线):实际钻探倾斜孔(2338.77 m 孔深),设计孔深 3350 m。

图 1 WFSD-4S 孔钻探地质设计方案

二开钻进(30.6~582.16 m):采用 Ø165 mm PDC 钻头全面钻进至孔深 582.16 m,下 Ø146 mm 套管 551 m 并固井。

三开钻进(582.16~1204.18 m):采用 Ø122 mm 金刚石钻头钻进至终孔孔深 1204.18 m,从孔深 799.94 m 开始采用半合管提钻取心。下 Ø89 mm 套管 1130.07 m,其中 0~872.48 m 段为普通套管,872.48~1130.07 m 段为筛管,筛管总长 257.59 m。在 1082.87~1090.77 m 孔段位置对应长为 7.9 m 的单根筛管,以确保日后对断裂主滑移带流体的正常监测。如图 2 所示。

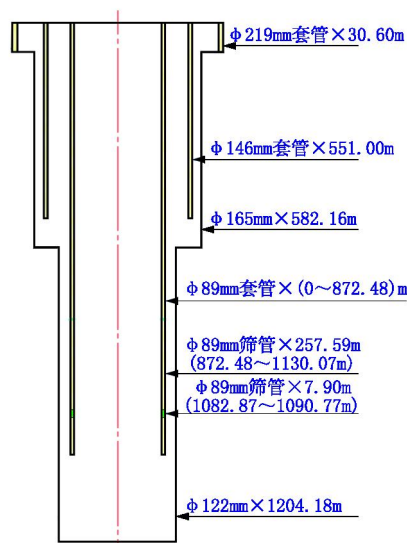


图 2 WFSD-4S 孔实际钻孔结构和套管程序

2.4 钻具组合及钻进参数

2.4.1 钻具组合

从上至下依次为:

Ø219 mm 钻头 + Ø219 mm 钻具 + Ø219 mm 变
Ø114 mm 变丝接手 + Ø114 mm 钻杆;

Ø165 mm 钻头 + Ø165 mm 钻具 + Ø165 mm 变
Ø114 mm 变丝接手 + Ø114 mm 钻杆;

Ø122 mm 钻头 + Ø122 mm 钻具 + Ø122 mm 弹卡
室 + 变丝接手 + Ø60 mm 石油钻杆。

2.4.2 钻进参数

钻进过程中主要通过优化和调整钻进规程参数使钻速达到最优,以获得最佳的钻进技术经济指标。根据具体地层情况及所选用的钻探设备机具,各孔段分别采取了如表1所示的钻进参数。

表1 钻进规程参数

孔序	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)	泵压/MPa
一开	15~20	95	230	0.5
二开	15~30	95	230,375	0.5~2.0
三开	25~30	95	230	4.0~5.0

2.5 取心钻具

汶川地震断裂带在龙门山断裂带历史上多次地震作用下,地层强烈破碎,并含有部分极松散无胶结地层和强水敏性断层泥岩地层。已完工的5口井在钻进施工中常常遇到钻孔垮塌、扩径、缩径和漏失等诸多问题,取心和钻进都极为困难,钻探和测井事故频发,处理事故耗费了大量的时间和经费。因此,如何在极破碎、松散地层中高效、优质地取心钻进是WFSD钻孔施工重点需解决的问题。

半合管取心技术是汶川地震科学钻探为保证取心的原状性所采用的主要取心方法。通常,半合管取心方法主要应用在钻取软的、易被冲蚀的岩矿层,由于受到施工成本和钻具加工条件的限制,在一般的工

程中很少使用。而在汶川地震科学钻探中,由于对岩心原状性的特殊要求,几乎全部采用半合管取心。WFSD-4S孔取心钻进使用的半合管钻具规格为Ø122 mm,长度有3 m和4.5 m 2种。尽管在破碎地层易发生堵心,但也通过采用4.5 m长半合管完成了回次进尺4.6 m的纪录。

采用半合管提钻取心,用分段PVC塑料管(Ø82.6 mm×2.8 mm)盛装岩心,直接放入岩心箱,避免了对岩心的扰动,很好地保证了岩心采取率及原状性(如图3所示)。

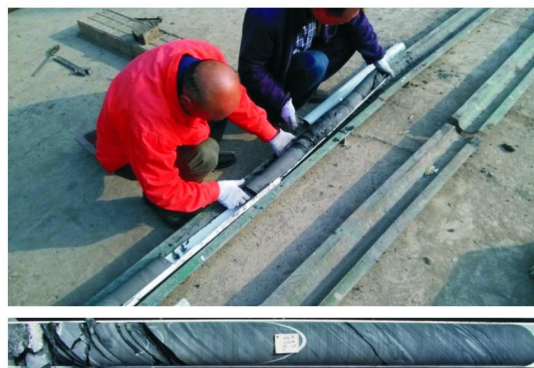


图3 PVC管盛装岩心(上)和半合管所取岩心(下)

从孔深799.94 m至终孔,半合管提钻取心所用的钻具为中国地质科学院勘探技术研究所设计的KZ122型单动双管取心钻具(如图4所示)。该套钻具采用全泵量开式润滑轴承的方法,保证了优良的单动性能。冲洗液大部分流过轴承腔水道实现对轴承的润滑,小部分横向流过心轴上与轴承腔连通的侧水眼,清除轴承体内的积污、润滑滚珠(只要心轴侧水眼与轴承腔水道间存在压差,就有液流横向通过)。该钻具应用于整个取心孔段,有力地保证了取心效率及质量。

所用的取心钻头为电镀金刚石钻头(见图5),

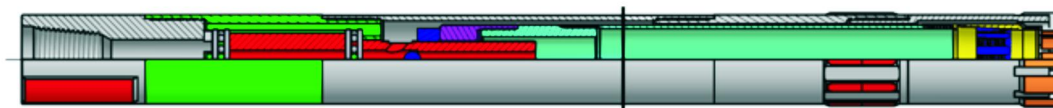


图4 KZ122单动双管取心钻具

由勘探技术研究所设计、福建省南平市延平区蓝桥钻头厂加工制作,该钻头适用于中硬—坚硬、卵石、砂岩等地层的钻进,适应性强、效率高、使用寿命长。该类钻头共使用137回次,累计进尺404.24 m,取心长度401.12 m,岩心采取率99.23%。共使用该

类钻头6只,且终孔时有一只胎体较为完好,仍可继续使用,平均寿命67.37 m。

2.6 冲洗液

根据地层复杂情况与钻孔结构设计,结合汶川科钻之前各孔冲洗液使用情况,对WFSD-4S孔



图5 电镀金刚石钻头

冲洗液性能提出了如下要求:

- (1)能形成薄而致密的泥皮,并且韧性好,失水量低,具有优良的防塌性能;
- (2)能适于配制高密度冲洗液以平衡地层应力,防止地应力造成的缩径和孔壁坍塌;
- (3)具有一定的抑制能力,避免泥页岩、断层泥等水化膨胀造成孔眼缩径;
- (4)具有优良的流变性能,能很好地携带和悬浮岩屑,减少循环压力损失,防止孔塌和孔漏的发生;
- (5)具有优良的润滑性能,防止卡钻和减小管材的磨损。

根据上述要求,选择使用以LBM为主添加其他冲洗液处理剂的双聚冲洗液体系。LBM基浆具有良好的携粉、润滑、降失水、防塌功效,可以根据钻孔实际情况加入重晶石粉、CMC、聚丙烯酰胺等处理剂来提高冲洗液的性能。对于冲洗液的控制主要体现在2方面:一方面调整其性能,抑制岩石粘土矿物的水化作用;另一方面提高其密度,平衡地层压力,最大限度地降低地层横向塑性流动。

该冲洗液体系配方为:1 m³水+30 kg LBM粉+10 kg 改性沥青+20 kg 碳酸钙+10 kg 降失水剂+10 kg 防塌减阻剂+3 kg 包被剂。

其主要性能参数指标是:漏斗粘度44~56 s,密度1.07~1.19 g/cm³,失水量4~6 mL/30 min,含砂量0.01%~0.04%。

LBM冲洗液体系具有造壁性好、抑制性好、对地层适应性强等优点,充分保障了项目的顺利进展。

2.7 钻孔事故处理

2.7.1 断钻杆事故

处理断钻杆事故共计2次。第一次为2014年9月29日至9月30日,钻至182.6 m处时,钻杆折断,采用 $\varnothing 114$ mm钻杆+ $\varnothing 114$ mm公锥处理3次完毕,耗时2 d;第二次为2014年10月2日,钻至206 m处时发生钻杆折断,采用 $\varnothing 114$ mm钻杆+ $\varnothing 114$ mm公锥处理1次完毕,耗时8 h。

2.7.2 钻杆脱扣事故

2014年10月16日,钻至478.9 m处,发生钻杆脱扣事故,钻具与最下一节钻杆掉落井底,系丝扣严重磨损,无法用公锥。采用 $\varnothing 114$ mm钻杆+ $\varnothing 114$ mm母箍成功捞起脱扣钻杆,恢复正常钻进,此次脱扣事故处理耗时14 h。

钻杆在孔内承受拉伸、压缩、弯曲、扭切等复杂应力,易产生疲劳破坏;地层中所存在的酸性气体和溶解盐类对钻杆进行腐蚀破坏,这些都促进了诸如断钻杆事故、钻杆脱扣等事故的发生。此外,井径规则性、螺纹密封胶、钻具组合及钻井工艺等因素交互作用的结果易导致钻杆事故的发生。因此,为防止该类事故的发生,在保证钻杆材料强度的前提下,做好钻杆的维护与管理,在提下钻杆时要注意检查钻杆腐蚀情况及接头处螺纹磨损情况,根据具体情况分析确定主要影响因素并采取相应措施。

2.7.3 卡钻事故

2014年10月20日,钻至517.16 m处,发生卡钻事故。钻具提拉不动,也无法转动。利用反丝钻具,在12 m处 $\varnothing 89$ mm钻杆断。这是由于 $\varnothing 60$ mm钻杆变 $\varnothing 89$ mm接手处未焊接,其接头处强度不够,导致钻杆断落孔内,用锥子将 $\varnothing 89$ mm钻杆起出,换成 $\varnothing 114$ mm钻杆。强力起拔钻具仍提拉不动,向孔底灌柴油,浸泡30 min后,尝试提拉与转动钻具,间隔1 h提拉一次,无效果。孔底柴油全部上返后仍无效果。决定采用解卡剂,先对返浆性能进行测试,失水量8 mL/30 min,泥皮薄,且该处地层为炭质板岩,粘附卡钻的可能性不大,分析是板岩掉块造成的卡钻。在等待解卡剂到位的同时孔内继续冲孔,反复回转上拉。

配好解卡剂后往孔内灌注,计算好替浆水后到预定位置停待数小时后上顶,强拉未能解卡。继续冲孔,处理孔内废浆。采用反丝钻杆进行反钻杆工作,钻杆从主动钻杆和 $\varnothing 114$ mm钻杆变丝公扣处反开,卸下后换机上钻杆,上 $\varnothing 114$ mm反丝公锥。由于钻杆靠边,锥子前端较粗无法顺利进入钻杆,提钻

加工导向后继续下钻,吃上钻杆后上顶锥子脱扣,提出锥子,发现其磨损严重,换锥子后同样加工了导向继续下钻。由于锥子的刚度偏低,极易磨损,故加工石油锥子与喇叭口导向。在反钻杆期间,发生了吸附卡钻事故。将柴油倒入孔内,计算好替浆水后浸泡了约40 min,连顶带拉都不见效果。柴油反出后采用洗衣粉水替浆。孔内返出洗衣粉水后采取大泵量冲孔,同时钻机不停地上顶起拔。多次尝试后解卡。提钻后套管全部提出,吸附卡钻事故处理结束。由于洗衣粉水破坏了泥皮,导致泥皮中的岩粉、大颗粒都掉落到孔底,洗衣粉水的携粉能力有限,不能很好地将大颗粒岩屑携带出钻孔。为了能将孔底大颗粒岩屑排除,采用低固相LBM,降低原来冲洗液中LBM含量,再加入纤维素提粘来提高洗衣粉水的携粉能力。由于冲洗液性能太差造成孔壁出现坍塌现象(由于洗衣粉水冲洗起来以后会生泡沫,从而密度降低,不能很好地悬浮加入的LBM粉,造成冲洗液分层,起不到很好的护壁效果),为了安全起见开始排浆换浆,提上来后取粉管装满岩粉。考虑到上返流速的限制,加0.3%的抗盐共聚物及包被剂提高冲洗液粘度。至2014年12月2日晚上7点左右钻具带钻头顺利提出。卸开钻具后还带上来掉了在孔内的打捞锚卡瓦。下入 $\varnothing 165$ mm金刚石全面钻头,若孔底存在未完全消灭的扶正器碎片的话可以直接消灭,并且可在进尺效率变低的时候提钻换复合片钻头。至此,卡钻事故处理完毕,共耗时43 d。

钻进过程中,由于各种原因造成的钻具陷在井内不能自由活动的现象,称为卡钻。主要有吸附卡钻、沉砂卡钻、井塌卡钻、键槽卡钻、缩径卡钻、落物卡钻、砂桥卡钻、泥包卡钻及钻具脱落下顿卡钻等。地层构造情况、冲洗液性能不良、操作不当等都可能造成卡钻,必须针对具体情况进行分析,以便有效地解卡。

吸附卡钻的发生多是由于孔壁形成较厚的泥皮以及地层孔隙压力和冲洗液液柱压力之间存在压差。吸附卡钻事故虽是各类卡钻事故中最好处理的,处理方法大致为强力活动、震击解卡以及浸泡解卡。但是如果处理不当,往往会引发别的事因而加剧事故复杂程度,在处理每个步骤时都必须谨慎。使用解卡剂处理吸附卡钻事故时要尽量地采用大泵量不间断冲洗,在解卡剂未全部替出孔口前,绝不能

停泵。另外,使用解卡剂解卡浸泡时间一定要充分,随地层特性及冲洗液性能而异,少则十几分钟,多则几十个小时,在浸泡的同时要不断尝试上顶、起拔解卡。

3 结语

(1)在WFSD-4S孔钻探施工中,借鉴了WFSD-4孔钻探施工的宝贵经验,采取了一系列技术措施,解决了地震断裂带钻探施工中存在的岩层破碎钻进困难、岩心采取率低等技术难题。

(2)采用半合管的取心工艺,解决了破碎地层取心质量技术难题,为地学研究提供了原状性良好的岩心。

(3)采用以LBM为基浆的双聚冲洗液体系,该体系具有造壁性好、抑制性好、对地层适应性强等优点,保障了项目的顺利进展。

(4)对于钻进事故要以预防为主,在准确判断事故类别后,要果断采取相应措施。

参考文献:

- [1] 张伟,贾军,胡时友,等.汶川地震断裂带科学钻探项目钻探施工进度综述[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):1-5.
- [2] 张伟,樊腊生,吴金生.汶川地震断裂带科学钻探项目中取心钻进方法应用的演变[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):61-64,68.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 贾军,李旭东,樊腊生,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-2孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):6-11.
- [7] 赵远刚,樊腊生,杨明奇.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-3-P孔钻探施工概况[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):18-21.
- [8] 朱恒银,朱永宜,张文生,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-3孔施工技术与体会[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):12-17.
- [9] 庄生明,吴金生,张伟,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-4孔取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,41(9):126-129.