

汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD - 4S 孔冲洗液技术

王鲁朝¹, 李晓东², 翟育峰¹

(1. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004; 2. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:针对汶川地震断裂带科学钻探项目四号孔浅孔(WFSD-4S)地质条件复杂,孔壁稳定性差,坍塌、掉块严重等问题,采用了双聚防塌冲洗液体系。该体系具有良好的稳定性和流变性,携屑能力强,防塌效果好,在WFSD-4S孔钻进施工中取得了良好的应用效果。通过对冲洗液配方的优化和性能参数的合理调整与维护,较好地解决了WFSD-4S孔的钻进技术难题,为顺利完成钻孔施工奠定了坚实的基础。

关键词:汶川地震断裂带;科学钻探;破碎地层;双聚防塌冲洗液;WFSD-4S孔

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)02-0027-05

Research on Drilling Fluids Technology for WFSD - 4S Hole of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project/WANG Lu-zhao¹, LI Xiao-dong², ZHAI Yu-feng¹ (1. The Third Geological Team of Shandong Bureau of Geology and Mineral, Yantai Shandong 264004, China; 2. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: The geological conditions were extremely complicated with poor wall stability and severe sloughing problems in WFSD-4S hole of Wenchuan earthquake fault scientific drilling project. To solve the above problems, the drilling fluid system of bi-polymer anti-sloughing system was adopted in the drilling construction, which had excellent properties of stability, rheology, cuttings carrying and anti-sloughing, and presented effective application result in WFSD-4S hole drilling construction. Through optimizing the formula of drilling fluid and rationally adjusting and maintaining the performance parameters, the technical difficulties in WFSD-4S hole drilling were successfully solved, which laid a solid foundation for smooth completion of drilling construction.

Key words: Wenchuan earthquake fault; scientific drilling; broken formation; bi-polymer anti-sloughing flushing fluid; WFSD-4S hole

受汶川地震影响,龙门山断裂带中的映秀-北川断裂和安县-灌县断裂同时破裂,分别形成长达270 km和80 km的地表破裂带。为研究地震的发生机理、断裂行为和机制,同时进行地震监测和预报,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,沿着不同断裂带上盘设置并完工了5口群钻。其中,四号孔(WFSD-4)位于映秀-北川断裂带北段的平武县南坝镇地区,该段具有强烈的走滑作用。为进一步了解汶川地震主滑移带情况,取得更加全面的地质资料,在四号孔附近靠近地表破裂带的位置加布了一口穿过汶川地震主滑移带的浅孔(WFSD-4S)。

1 WFSD-4S孔概况

1.1 地质概况

WFSD-4S孔地区发育震旦、寒武、志留和泥盆系变质地层。震旦系地层为千枚岩、结晶灰岩、变砂岩和硅质白云岩;寒武系地层为变砂岩、板岩和硅质岩;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,自北西向南东依次有断面产状由深到浅逐渐由缓变陡的韧性剪切带,断裂上盘是志留系茂县群千枚岩夹灰岩、变砂岩,下盘是震旦系和寒武系。

发育的地层由老到新如表1所示。

钻遇地层主要在寒武系油房组地层中,该地层由变质砂岩、凝灰质砂岩、粉砂岩夹板岩组成,变形

收稿日期:2016-03-28;修回日期:2016-10-10

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“重点成矿带钻探冲洗液关键技术与示范”(编号:12120113097400)

作者简介:王鲁朝,男,汉族,1974年生,工程师,地质工程专业,从事钻探管理及工艺研究工作,山东省烟台市芝罘区机场路271号。

通讯作者:李晓东,男,汉族,1984年生,工程师,应用化学专业,从事冲洗液技术研究与应用工作,北京市海淀区学院路29号,lixid@bjiee.

com.cn。

表 1 WFSD-4S 孔地层岩性及可钻性

地层	岩性	可钻性级别
青白口-蓟县系桂花桥组	变质基性火山岩夹变质中、酸性火山岩	4~6
下震旦统木座组	变砂岩、凝灰质砂岩	5~7
下震旦统蜈蚣口组	千枚岩夹变砂岩	5~7
上震旦统水晶组	一段硅质白云岩、灰岩,二段千枚岩与结晶灰岩互层,三段硅质白云岩	5~7
下寒武统邱家河组	碳硅质板岩夹硅质岩	4~6
下寒武统油房组	变砂岩、凝灰质砂岩	5~7
志留系茂县群	千枚岩夹灰岩、变砂岩	5~7
志留系韩家店组	二段绢云板岩、灰岩,三段变砂岩、绢云板岩	5~7
下泥盆统平驿铺组	石英砂岩夹粉砂岩、杂砂岩及泥质粉砂岩	3~5

较强。

1.2 钻孔基本情况

WFSD-4S 孔位于四川省平武县南坝镇,海拔高程 690 m。井场位置处在涪江二级阶地面上南坝镇北东侧公里边,地形平坦,交通便利,距地表破裂带约 395 m。

WFSD-4S 孔施工设计要求及完成情况如表 2 所示。

表 2 WFSD-4S 孔设计要求及完成情况

	孔深/m	终孔直径/mm	岩心采取率/%	岩心直径/mm
设计要求	1200	≥95	>85	≥60
完成情况	1204.18	122	99.23	76

1.3 施工工艺及孔身结构

1.3.1 施工工艺与钻具组合

一开 0~33.6 m,全面钻进,Ø225 mm 复合片钻头+Ø114 mm 钻杆;

二开 33.6~552.46 m,全面钻进,Ø165 mm 复合片钻头+Ø114 mm 钻杆;

三开 552.46~799.94 m,全面钻进,Ø122 mm 金刚石钻头+Ø60 mm 钻杆;

三开 799.94~1204.18 m,采用半合管提钻取心,Ø122 mm 金刚石钻头+取心钻具+Ø60 mm 钻杆。

1.3.2 孔身结构

WFSD-4S 孔孔身结构和套管程序如表 3 所示。

2 钻进施工难点及冲洗液要求

2.1 钻进施工主要技术难点

2.1.1 孔壁易坍塌、掉块

表 3 WFSD-4S 孔孔身结构和套管程序

开钻次序	钻头尺寸/mm	钻达深度/m	套管尺寸/mm	套管下深/m
一开	225	33.60	168	33.60
二开	165	552.46	146	551.00
三开	122	1204.187	89	1130.00

WFSD-4S 孔处于地震断裂带,地层异常破碎,并伴有地应力,钻进过程中极易发生坍塌掉块现象,轻则使得钻具上(下)行遇阻,重则发生埋(卡)钻事故。以 2014 年 10 月 19 日的卡钻事故为例,在钻至 517.16 m 时发生掉块卡钻事故,在处理卡钻事故时,由于回转扭矩较大,钻杆扭断,先后使用柴油、解卡剂、洗衣粉等多种方法进行解卡,并利用反丝钻杆打捞孔内钻杆,由于解卡过程中加入的材料破坏了原有的泥皮,同时冲洗液受到污染,产生大量泡沫,密度降低,携带和护壁性能变差,导致孔壁坍塌,使得事故更加复杂,耗时 43 d 才处理完卡钻事故。

2.1.2 断层泥地层塑性变形

WFSD-4S 孔所在的龙门山断裂带在历史上发生过多次地震,地下岩层中断层泥十分发育。断层泥一方面在强地应力作用下,由于塑性变形引起径向流动,造成钻孔缩径;另一方面,断层泥中富含层状硅酸盐,如蒙脱石、伊利石和绿泥石等,这类粘土矿物吸水性较强,易导致钻孔缩径垮塌。

2.1.3 地层漏失

该孔主要钻遇高应力变质岩带,断层及破碎带容易产生循环漏失和孔壁失稳,导致孔内复杂情况的发生。地层中液体的外逸,会导致井涌、孔壁坍塌等事故。因此钻进中既要注意防漏、防塌,又要注意防涌。

2.1.4 摩擦阻力大

钻机开启高转速易导致钻具与地层、钻具与套管摩擦增加,扭矩增大,加剧钻具磨损。

2.1.5 破碎地层取心困难

地震断裂带地层破碎,给取心造成较大困难,图 1 为现场取出的破碎岩心。

2.2 冲洗液性能要求

针对地层特点,结合 WFSD-4S 孔施工工艺,现场对冲洗液主要有以下要求。

(1) 具有优良的防塌护壁性能(API 滤失量 4~6 mL)。滤失量较低,能形成薄而致密的泥皮,且韧性好。

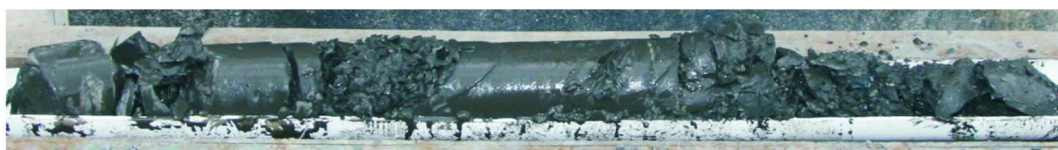


图 1 WFSD-4S 孔 1081 ~ 1083 m 孔段取出的破碎岩心

(2)适当的粘度(马氏漏斗粘度 30 ~ 50 s),特别是在较高密度时保持良好的流变性能。能很好地携带和悬浮岩屑,减少循环压力损失,减轻冲洗液造成的压力“激动”和对孔壁的冲刷。

(3)适当的密度。依据地层稳定性要求调整冲洗液的密度,防止由于地应力造成的缩径、孔壁坍塌掉块。

(4)具有较强的抑制能力,避免泥页岩、断层泥等地层由于水化膨胀造成缩径,以及造浆致使冲洗液粘度切力急剧增大。

(5)具有优良的润滑性能,降低摩擦阻力,减小钻具的磨损。

2.3 冲洗液体系选择

根据地层特点与钻孔施工工艺,借鉴汶川科钻其他钻孔的经验,施工过程中遇到的复杂情况主要以破碎地层及地层压力释放为主,重点做好地层的防塌、防掉块及防止孔壁缩径。选择的冲洗液体系以聚合物冲洗液体系为主,因此现场采用了双聚防塌冲洗液体系,并根据地层变化及施工工艺要求,辅以其它冲洗液处理剂适时对冲洗液参数进行调整。

2.3.1 体系组成

现场所用的处理剂及其加量和作用如表 4 所示。

表 4 现场所用的处理剂及其加量和作用

处理剂名称	代号	加量/%	作用
低粘增效粉	LBM	1.0 ~ 4.0	主要造浆材料
降失水剂	GPNH	1.0 ~ 2.0	降低滤失量
改性沥青	GLA	0.5 ~ 2.0	抑制泥页岩膨胀,护壁防塌
防塌减阻剂	GFT	0.5 ~ 1.5	封堵毛细管通道、软化粘结及润滑
随钻堵漏剂	GPC	1.0 ~ 3.0	封堵裂隙,强化孔壁
包被剂	GBBJ	0.1 ~ 0.3	包被絮凝岩粉,抑制造浆
增粘剂	GTQ	0.0 ~ 0.5	提高粘度和切力,降低滤失量

2.3.2 体系性能

在实验室进行冲洗液配方实验,分别按以下配方配制冲洗液,并测量性能,其结果如表 5 所示。

配方 1:3% LBM + 0.5% GPNH + 1% GLA + 0.2% GBBJ;

表 5 不同配方冲洗液的性能

配方编号	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	FL _{API} / mL	泥皮厚 度/mm	ρ/(g· cm ⁻³)
1	12	9	3	10.0	0.4	1.03
2	18	13	5	8.0	0.3	1.04
3	29	20	9	5.5	0.2	1.04
4	34	24	11	4.0	0.2	1.04

配方 2:4% LBM + 1% GPNH + 1% GLA + 1% GPC + 0.2% GBBJ;

配方 3:4% LBM + 1% GPNH + 2% GLA + 0.2% GBBJ + 0.2% GTQ;

配方 4:4% LBM + 2% GPNH + 2% GLA + 1% GFT + 1% GPC + 0.2% GBBJ + 0.3% GTQ。

3 WFSD-4S 孔冲洗液现场应用

3.1 冲洗液使用与维护

3.1.1 一开冲洗液使用与维护

一开 0 ~ 33.6 m,使用 Ø225 mm 钻头全面钻进,地层比较稳定,冲洗液以 LBM 为主,满足携带岩粉即可。现场使用 4% LBM + 0.3% GBBJ 的配方,漏斗粘度 30 ~ 40 s,密度 1.02 ~ 1.05 g/cm³。

3.1.2 二开冲洗液使用与维护

二开 33.6 ~ 552.46 m,使用 Ø165 mm 钻头全面钻进,该段地层以碳质板岩为主,地层破碎,坍塌掉块严重。上部使用冲洗液的配方为:4% LBM + 1% GPNH + 1% GLA + 1% GPC + 0.2% GBBJ。

后因坍塌掉块较多,在钻进至 517.16 m 时发生掉块卡钻事故,处理事故过程中冲洗液被解卡剂等材料破坏。因此在原有配方基础上加入防塌减阻剂 GFT 和增粘剂 GTQ,加入防塌减阻剂后,电流由原来的 60 ~ 70 A 降至 50 A 左右,扭矩明显降低。调整冲洗液配方为:4% LBM + 1% GPNH + 1% GLA + 1% GFT + 1% GPC + 0.2% GBBJ + 0.3% GTQ。

配方调整后,冲洗液具有更好的润滑性能和稳定的携带性,保证了处理事故过程的顺利进行。调整配方前后冲洗液性能指标如表 6 所示。

3.1.3 三开冲洗液使用与维护

表6 二开冲洗液性能

孔段	FV/s	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	FL_{API}/mL	泥皮厚度/mm	pH 值
卡钻之前	25 ~ 35	1.05 ~ 1.12	5 ~ 7	0.3	8 ~ 9
卡钻之后	40 ~ 45	1.10 ~ 1.15	4 ~ 6	0.2	8 ~ 9

三开 552.46 ~ 799.94 m, 使用 $\varnothing 122$ mm 钻头全面钻进, 地层破碎依然较多, 冲洗液在二开配方基础上提高处理剂加量, 其配方如下: 4% LBM + 2% GPNH + 2% GLA + 1% GFT + 1% GPC + 0.2% GBBJ + 0.3% GTQ。

三开从 799.94 m 开始取心, 由于地层异常破碎, 部分孔段存在地应力, 不但需要冲洗液具有良好的护壁和携带性能, 还要保证取心质量, 因此对冲洗液要求更高。在该孔段进一步提高冲洗液密度, 以平衡地应力, 维持孔壁稳定, 防止应力性坍塌; 适当降低粘度, 若粘度过高, 则会导致泵压过高, 孔内压力增大, 存在压漏地层的风险; 若粘度过低, 则携带性变差, 同时对孔壁的冲刷加剧, 不利于孔壁稳定; 同时降低冲洗液的滤失量, 减少水对地层的侵害, 并改善泥皮质量, 利于孔壁的稳定。三开冲洗液性能如表 7 所示。

表7 三开冲洗液性能

孔段	FV/s	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	FL_{API}/mL	泥皮厚度/mm	pH 值
三开全面钻进孔段	40 ~ 50	1.10 ~ 1.20	4 ~ 6	0.3	8 ~ 9
三开取心孔段	35 ~ 45	1.15 ~ 1.20	4 ~ 5	0.2	8 ~ 9

3.2 冲洗液维护要点

现场冲洗液使用和维护应注意以下几方面。

(1) 在配制冲洗液时, 按配方的顺序依次加入, 每一种材料搅匀后再加入下一种材料, 其中包被剂和增粘剂在加入时应缓慢加入, 防止因搅不开成团块状, 造成材料浪费或堵塞莲蓬头。

(2) 冲洗液粘度保持在合适范围, 根据实际需要, 增减 LBM 加量来调节粘度, 当需要较高粘度时通过加入增粘剂来提高粘度。

(3) 若孔内阻力增加、扭矩变大, 则提高防塌减阻剂的加量, 可有效减少孔内摩擦阻力。

(4) 在破碎地层钻进时, 需增加改性沥青和随钻堵漏剂的加量, 以封堵填充裂隙, 改善泥皮质量。

(5) 包被剂是高分子聚合物, 消耗较快, 需要每个班在循环系统中加入 0.5 kg 的包被剂, 预溶成胶液加入冲洗液效果更好。

(6) 为预防因地层应力造成的坍塌掉块问题, 应及时提高冲洗液密度来稳定地层, 密度维持在 $1.10 \sim 1.20 g/cm^3$ 范围内。

(7) 保证固控设备的工作时间, 经常清理循环槽及沉淀池中的岩粉, 从而降低冲洗液中的固相含量。

3.3 冲洗液现场应用效果

通过双聚防塌冲洗液体系在 WFSD-4S 孔现场应用, 其效果主要如下。

3.3.1 护壁效果好

该孔地层破碎、局部倾角较大(见图 2), 极易发生坍塌掉块现象, 施工过程中使用双聚防塌冲洗液、并合理调配其性能后, API 滤失量控制在 4 ~ 6 mL, 可形成薄韧的泥皮, 利于孔壁稳定, 坍塌掉块现象明显减少, 起下钻通畅。



图2 现场取出的破碎地层岩心

3.3.2 取心率高

该孔要求取心率 $> 85\%$, 实际取心率高达 99.23%, 冲洗液保护岩心的效果非常好, 即使在破碎地层中也可有效保证取心率。

3.3.3 流变性好

冲洗液具有良好的流变性, 并根据具体情况调整性能, 既能满足携砂要求, 同时冲洗液中的岩屑又能在地表较好地沉降, 冲洗液使用周期长, 有效减少了冲洗液排放。

3.3.4 钻进效率高

采用双聚防塌冲洗液体系钻进时, 由于该冲洗液粘度适中、润滑性能好, 钻机可以开高速, 钻进效率高。

3.3.5 满足事故处理要求

钻至 517.16 m 时发生掉块卡钻事故, 在处理卡钻事故过程中加入的材料破坏了冲洗液, 导致事故复杂加剧。及时将原冲洗液全部排掉, 配制新的冲洗液, 加入增粘剂 GTQ, 将粘度提高至 40 ~ 50 s, 经过反复扫孔捞粉, 捞出大量掉块, 以直径 5 ~ 10 mm 掉块为主, 夹有大块, 如图 3 和图 4 所示。在处理事

故过程中,冲洗液保持的良好性能起到了关键作用,有效携带岩粉和护壁,保证了事故处理的顺利进行。



图3 孔内捞出的掉块

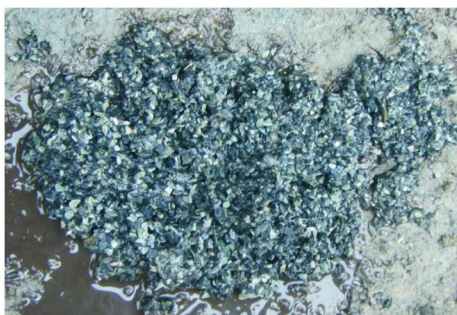


图4 清洗后的掉块

4 结语

(1) WFSD-4S 孔地质条件复杂,孔壁稳定性差,使用双聚防塌冲洗液体系满足了该孔复杂地层孔壁稳定及其特殊施工工艺要求。

(2) 双聚防塌冲洗液体系防塌护壁效果显著、抑制性强、润滑效果好,符合 WFSD-4S 孔复杂地质条件的要求。

(3) 冲洗液性能并非固定不变的,根据施工过程中遇到的实际问题,及时对冲洗液性能进行调整和维护具有重要意义。

(4) 使用双聚防塌冲洗液钻进效率高,冲洗液总体成本较低,综合效益显著。

(5) 双聚防塌冲洗液现场使用和维护方便,配浆人员容易掌握。

参考文献:

- [1] 王达,何远信,等.地质钻探手册[M].湖南长沙:中南大学出版社,2014.
- [2] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].山东东营:中国石油大学出版社,2005.
- [3] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [4] 王景章,纪卫军,陶士先,等.双聚防塌冲洗液体系在辽阳红阳三矿煤田深部补勘项目中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):216-218.
- [5] 李攀义,单文军,储伟,等.双聚防塌冲洗液体系在 GHW2 井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):12-15.
- [6] 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.
- [7] 陶士先,陈礼仪,单文军,等.汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD-2 孔钻井液工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):45-48.
- [8] 张统得,陈礼仪,刘徐三,等.汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD-3 孔泥浆技术的设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):41-44.
- [9] 张林生,陈礼仪,彭刚,等.汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD-4 井钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):146-150.
- [10] 朱旭明,张晓西,翟育峰,等.汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD-4S 孔取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):1-5.
- [11] 张统得,陈礼仪,贾军,等.汶川地震断裂带科学钻探项目钻井液技术与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):139-142.
- [12] 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.
- [13] 贾军.中国大陆科学钻探先导孔及扩孔钻井泥浆工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2003,(3):57-60.
- [14] DZ/T 0227—2010,地质岩心钻探规程[S].
- [15] SY/T 5426—2000,岩石可钻性测定及分级方法[S].