

汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1) 钻探施工概况

樊腊生¹, 贾军², 吴金生¹, 赵远刚¹, 尤建武³

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川成都 611734; 2. 北京探矿工程研究所, 北京 100083; 3. 四川省地质矿产勘查开发局四〇三地质队, 四川峨眉山 614200)

摘要:介绍了汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)的施工情况以及取得的经验和教训。在施工中,克服了钻孔涌水、垮塌和地层极为破碎等困难。采用低失水、高密度和具有良好润滑性能的泥浆体系,解决了由地应力导致断层泥膨胀和缩径的技术难题。采用半合管取心技术,在破碎地层中也能获取原状性好的岩心。

关键词:科学钻探;汶川地震断裂带;钻探施工

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)12-0005-04

Overview on Drilling Operation of the WFSD-1 in Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project/FAN La-sheng¹, JIA Jun², WU Jin-sheng¹, ZHAO Yuan-gang¹, YOU Jian-wu³ (1. The Institute of Exploration Technology of CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China; 3. 403 Geological Brigade of Sichuan Exploration and Development Bureau of Geology and Mineral Resources, Emeishan Sichuan 614200, China)

Abstract: This paper introduces the drilling operation of the WFSD-1 of the Wenchuan earthquake fault scientific drilling (WFSD) project as well as the experience gained and lessons learned during the hole drilling. Some extreme technical difficulties in the drilling operation, such as hole gushing water, broken formation, borehole collapse and tight hole, were overcome. A mud system with low water loss, high density and good lubrication properties was put to use to resolve mud expansion in fault gouge and diameter shrinkage resulted by geostatic stress. A two-haves tube coring technique was used to remain core in undisturbed state even in broken formation.

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

0 引言

汶川地震断裂带科学钻探(WFSD)项目属科技部“十一五”国家科技专项。该项目的任务是在龙门山“北川-映秀”断裂及龙门山前缘安县-灌县断裂附近实施4口科学群钻的基础上,开展地质构造、地震地质、地震物理、流体作用等多学科研究和测试。

一号孔(WFSD-1)是汶川地震断裂带科学钻探项目的第一个钻孔,该孔位于四川省都江堰市虹口乡,在“5·12”汶川特大地震的主断裂带上。孔深585 m以浅地层为破碎的火山岩,下部为三叠系须家河组沉积岩。为满足地学研究的需要,对钻探工艺,特别是取心技术提出了严格的要求,不仅岩心采取率要求高,而且必须保持岩心的原状结构。

中国地质科学院探矿工艺研究所为WFSD-1

孔项目承担单位,四川省地勘局四〇三地质队为钻探施工单位。WFSD-1孔于2008年11月6日正式开钻,于2009年7月12日钻达终孔深度1201.15 m,总施工时间267.33天(含测井),其中钻探施工238.5天。图1所示为WFSD-1孔钻探施工的主要程序和工程进展情况。

WFSD-1孔的钻探施工极其艰难,在该区域没有可供参考的钻探资料的情况下,施工期间克服了频繁余震、钻孔涌水、地层破碎和垮塌的困难,解决了由地应力作用导致的断层泥孔段缩径和全孔保持岩心原位结构的难题。各项技术指标达到了设计要求,为地学研究提供了优质的岩心样品。

1 基本情况

设计孔深1200 m,终孔孔深1201.15 m;

收稿日期:2009-11-20

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:樊腊生(1964-),男(汉族),江苏金坛人,中国地质科学院探矿工艺研究所教授级高级工程师,汶川地震科学钻探工程中心钻井工程部副主任,探矿工程专业,从事科学钻探工作,四川省成都市郫县成都现代工业港(北区)港华路139号。

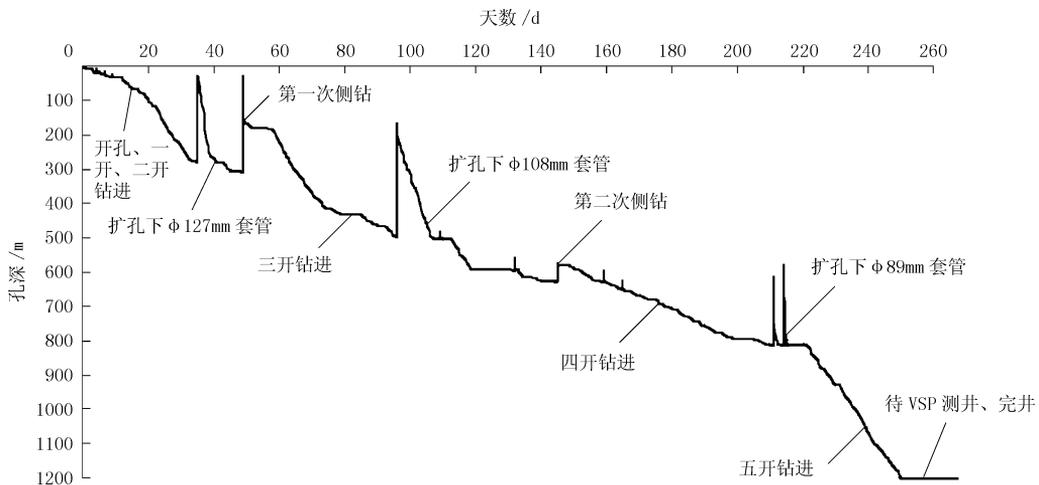


图1 WFS-1孔的钻进施工进度曲线图

设计顶角 10° , 终孔顶角 13.5° ;

设计方位角 136° , 终孔方位角 168° ;

设计岩心采取率 $\geq 85\%$ (全孔取心), 实际 94.3% ;

设计套管层次(不含孔口管) 2层($\phi 108$ 、 89 mm), 实际套管程序(不含孔口管) 4层($\phi 146$ 、 127 、 108 、 89 mm)。

2 钻探施工情况

2.1 主要钻探设备

采用钻机为 HXY-6 型岩心钻机, 泥浆泵为 BW-150 和 BW-320 型泥浆泵, 钻塔为 SGX17 型钻塔, 发电机为 GF 交流工频柴油发电机组和 STC-15 型三相交流同步发电机。

2.2 钻探施工过程及综合技术指标

在 WFS-1 孔施工过程中, 下了 4 层套管(图 2), 两次实施侧钻($\phi 127$ mm 套管断裂后切削侧钻和缩径卡钻后绕障侧钻), 形成 3 个孔段(WFS-1、WFS-1-S1 和 WFS-1-S2), 发生 3 次重大孔内事故($\phi 127$ mm 套管断裂 1 次、缩径卡钻 2 次)。累计取心钻进总进尺 1368.29 m, 其中绳索取心钻进进尺 817.78 m; 岩心采取率 94.3% , 岩心原状性好; 总回次数 1042, 其中绳索取心回次数 594, 绳索取心提钻 33 次。平均机械钻速 1.07 m/h, 平均回次进尺长度 1.31 m, 纯钻时间利用率 21.08% (图 3), 台月效率 172 m。全孔顶角在 $9^\circ \sim 13.5^\circ$ 之间、方位角在 $136^\circ \sim 168^\circ$ 之间(图 4)。具体施工情况如下。

2.2.1 开孔钻进(0~4.78 m)

2008 年 11 月 6 日采用 $\phi 172$ mm 硬质合金单管

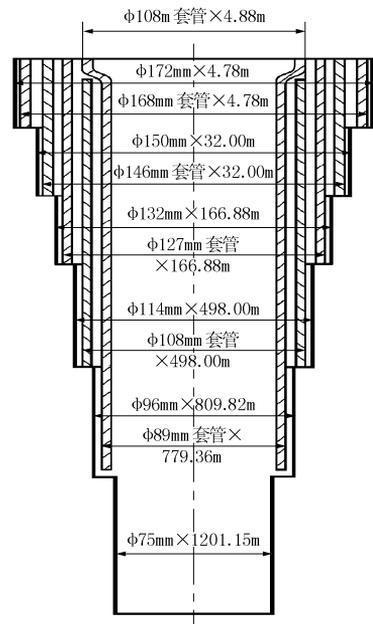


图2 WFS-1孔的钻孔结构和套管程序

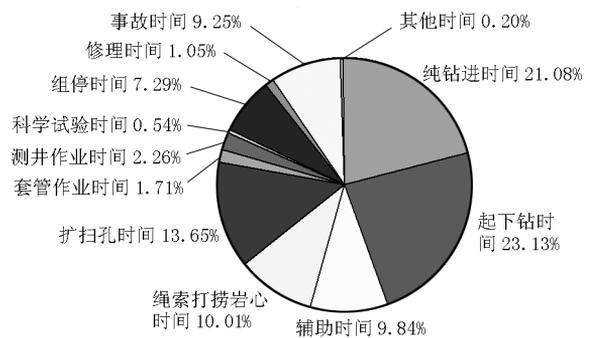


图3 WFS-1孔钻进时间分配

钻具开孔取心钻进, 钻进至 4.78 m 后下入 $\phi 168$ mm 孔口管 4.90 m。钻进中采用清水 + 0.3% SH 植物胶 + 400 mg/L PHP + 1% 广谱护壁剂的无固相冲洗液。

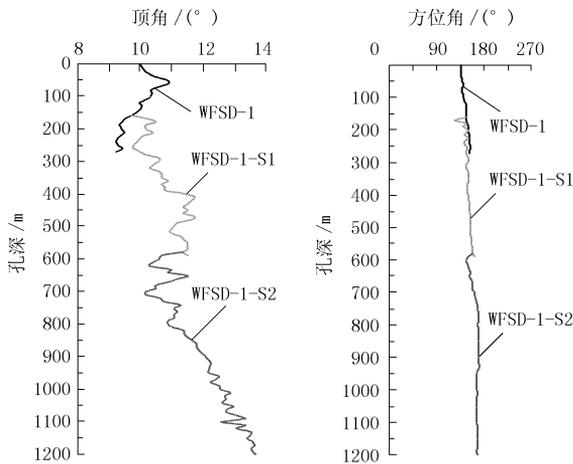


图4 WFSD-1孔施工过程的顶角、方位角(测井原始数据)

2.2.2 一开取心钻进(4.78~32.17 m)

主要采用 $\varnothing 110$ mm单动双管取心钻进至32.17 m。钻进至孔深6.16 m开始涌水,日平均涌水量 $60 \sim 90 \text{ m}^3$ 、孔口涌水头高度1.4 m。钻遇地层极为破碎,孔壁掉块频繁。采用 $\varnothing 150$ mm钻具扩孔后,下入 $\varnothing 146$ mm套管。该孔段施工遇到的主要问题是涌水,泥浆消耗大,尽管岩心采取率较高(89.5%),但原状结构保持的不好。

2.2.3 二开取心钻进(32.17~280.93 m)

二开取心钻进开始,首先采用灌浆水泥浆办法封堵涌水层,但效果不佳。初期采用 $\varnothing 102$ mm单动双管钻具配 $\varnothing 122$ mm/ $\varnothing 79$ mm金刚石取心钻头,取心钻进到66.12 m。因钻头底唇面积较大,平均机械钻速只有0.69 m/h。从孔深66.12 m把 $\varnothing 122$ mm口径调整为 $\varnothing 110$ mm口径取心钻进到280.93 m。采用 $\varnothing 132$ mm金刚石扩孔双层钻头($\varnothing 110$ mm钻头超前)扩孔至267.70 m。期间,采用YZX98型液动锤提钻取心钻进43个回次,进尺46.82 m,平均机械钻速0.75 m/h、平均岩心采取率94.8%、平均回次长度1.09 m,因难以保证岩心的原状结构,钻进效率没有明显提高,没有继续使用。从73.13 m开始改用半合管取心钻具,有效地解决了取心质量问题。尽管地层破碎,时常发生岩心堵塞,但岩心的原状结构保持完好。

施工遇到的最大问题是 $\varnothing 127$ mm套管下至267.70 m时发生卡死、循环受阻。不得已采用反循环固井,固井质量没有达到设计要求,致使后续的钻进施工中发生了套管断裂。其次是全部孔段顶涌钻进,虽然在泥浆体系及配方上采取了一定的技术措施,但未能从根本上解决钻孔涌水问题。尽管下入 $\varnothing 146$ mm套管,也曾灌浆水泥浆和投泥球封堵,均

未能止住钻孔涌水,涌水量高达40 t/d。

2.2.4 三开取心钻进(280.93~304.26、179.85~505.67 m)

采用SDB110半合管钻具从280.93 m取心钻进到304.26 m(WFSD-1孔段),由于钻杆对 $\varnothing 127$ mm套管壁的敲打,固井质量没有达到设计要求,在最大钻孔超径处(166.88 m)发生 $\varnothing 127$ mm套管断裂事故,采用 $\varnothing 110$ mm金刚石钻头切削,侧钻出新孔段(WFSD-1-S1)。

从179.85 m采用SDB110半合管钻具取心钻进至184.67 m,灌注水泥浆封闭超径段,换96绳索取心钻进至505.67 m。然后,采用 $\varnothing 114$ mm扩孔钻具扩孔至498.00 m, $\varnothing 108$ mm套管下深498.00 m。在汲取 $\varnothing 127$ mm套管断裂事故的教训后,采取一系列技术措施,诸如:下套管前严格通孔程序、试下套管、下入套管期间分段循环、检验水泥浆性能、设计替浆密度和经过严格计算校核泥浆泵承压能力等。完善了 $\varnothing 108$ mm套管固井作业的程序,顺利地完成了 $\varnothing 108$ mm套管固井作业,并为后续钻进提供了安全保障。

2.2.5 四开取心钻进(505.67~625.80、583.07~812.48 m)

四开孔段首先采用S96绳索取心半合管钻具从505.67 m取心钻进到614.38 m(WFSD-1-S1孔段)。其间,因地应力的作用下,断层泥地层发生塑性流动,发生两次钻孔缩径卡钻事故,第一次在孔深590.76 m处,用 $\varnothing 50$ mm反丝钻杆反出HQ绳索取心钻杆及HQ钻具短节,孔内残留HQ外管+扩孔器+钻头(4.31 m),全部采用磨铣切削的办法处理。处理事故后钻进至625.80 m,再次发生缩径卡钻,并拉断钻杆。在处理第二次卡钻过程中,连续两套取心钻具被卡在孔底,造成事故套事故。最终决定采用LZ-89连续造斜器从580.07 m定向(降顶角、降方位角)侧钻绕障钻进,从583.07 m形成WFSD-1-S2孔段。

完成侧钻绕障后,更换高密度低失水泥浆体系(密度 $1.55 \sim 1.65 \text{ g/cm}^3$),采用提钻取心钻进至812.48 m。

在总结成功下入 $\varnothing 108$ mm套管和固井作业的基础上,实施在 $\varnothing 96$ mm钻孔内下入779.36 m深的 $\varnothing 89$ mm套管,并且要通过三十多米厚的断层泥是关系到整个钻井施工成败关键的一步。特别是利用岩心钻探常用的BW-150型泥浆泵注入水泥浆和替浆,其最高承压仅有8 MPa,既要满足大排量注

浆,也要满足高压替浆。经过严格细致的试验和计算,准确确定各项参数,在泥浆泵接近承压极限的情况下,水泥浆返出孔口,成功地完成了WFSD-1孔最艰难的一次固井施工。

2.2.6 五开取心钻进(812.48~1201.15 m)

从2009年6月13日开始,采用S75普通绳索取心钻具从812.48 m取心钻进到1201.15 m,钻进中采用无固相冲洗液,施工较为顺利,只是在969~979.53 m孔段钻遇1.04 m厚断层泥,曾出现钻孔局部缩径和少量掉块。

该段的钻孔顶角从 11° 逐步增大、终孔顶角 13.5° ,方位角基本稳定,终孔方位角 168° 。该段钻孔孔径变化较小,只是在972~975 m孔段钻孔超径比较严重,最大达186 mm。

3 验收结果

WFSD-1孔的钻探施工技术指标和任务完成情况总结如下:设计孔深1200 m,完钻孔深1201.15 m;设计取心钻进进尺1200 m,实际取心钻进进尺1368.29 m(含侧钻取心进尺167.14 m);设计岩心采取率 $\geq 85\%$,实际岩心采取率94.3%;采取的岩心原状性好,满足了地学研究的需要;设计开孔方位角 136° 、顶角 10° ,实际终孔方位角 168° 、顶角 13.5° ;设计顶角变化率 $\leq 1.5^\circ/100$ m,实际顶角变化率 $0.3^\circ/100$ m。

2009年7月29日,中国地质科学院探矿工艺所、汶川地震科学钻探工程中心钻井工程部和地学部对WFSD-1孔现场施工进行了验收,得出结论:WFSD-1孔钻探工程施工完成了合同任务、符合《岩心钻探规程》六大质量指标要求,达到了地学和工程目的,经现场验收评为优质孔。

4 经验教训

(1)在钻进WFSD-1孔上部地层期间,钻孔一直涌水,无法实现正常循环,造成钻孔护壁差、钻孔垮塌、孔内沉砂多、钻井液浪费大。这一问题可以通过调整钻井液密度来解决的,在后续的WFSD-2孔、WFSD-3-P孔也存在这样的情况,将钻井液密

度提高到 1.15 g/cm^3 ,成功地得以解决。

(2)由于 $\varnothing 127$ mm套管串结构和下入工艺不合理,导致无法实现正循环固井,致使该套管在后续的施工中发生断裂,在断口166.88 m处偏出原钻孔轨迹,导致重复进尺137.38 m,不仅增加了成本,而且浪费了宝贵的时间。在后续的 $\varnothing 108$ mm和 $\varnothing 89$ mm套管作业中,强化了下套管和固井施工作业程序,顺利完成固井作业,在后续的钻进中没有发生套管方面的问题。

(3)钻遇断层泥孔段时,由于没有经验,发生第一次严重的卡钻事故后,没能及时采取有效的技术措施,致使发生后续的更严重的卡钻事故,两套取心钻具及公锥被“抱死”在孔底,不得已进行侧钻。侧钻以后,采用高密度低失水泥浆配合提钻取心,基本解决了断层泥孔段取心钻进问题。

5 结论

(1)在WFSD-1孔钻探施工中,采取了一系列综合技术措施,解决了地震断裂带钻探施工存在的岩层破碎、钻孔坍塌扩径、断层泥缩径、取心和护壁困难等诸多技术难题,为地震断裂带的钻探施工摸索和积累了宝贵的经验。

(2)采用半合管取心工艺,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好的优质岩心。

(3)采用高密度低失水泥浆体系,解决了钻孔垮塌、断层泥膨胀缩径的技术难题,为钻孔任务的完成提供了重要的保障条件。

(4)摸索出了一套适用于复杂地层条件的小间隙长孔段固井工艺,有效地解决了复杂地层钻孔护壁问题。

参考文献:

- [1] 王达,张伟,张晓西,等. 中国大陆科学钻探工程科钻一井钻探工程技术[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [2] 王达,张伟.“科钻一井”钻探施工技术概览[J]. 中国地质, 2005, 32(2).
- [3] 魏臣. 对依兰煤田钻孔缩径挤夹钻具事故的认识[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(10).

重庆三峡库区地灾防治项目通过验收

《国土资源报》2009-12-14消息 近日,重庆市三峡库区三期地质灾害治理项目顺利通过国家级竣工验收。自2001年7月三峡库区地灾防治工作启动以来,国家共下达专项资金79.10亿元,规划实施各类防治项目共6797个,涉及22个区县。目前已完成518个治理

项目的建设任务,19个治理项目进入扫尾阶段;覆盖重庆库区的群测群防和专业监测网络全面建成并投入使用;按照轻重缓急原则,实施搬迁避让项目354个,已搬迁39050人;规划的高切坡防护和深基础处理项目已全面完成。专家组认为,重庆三峡库区地灾治理工程质量合格,运行正常,满足三峡水库蓄水要求,同意通过国家验收。同时,建议进一步加强后期维护管理和监测工作。