

# 汶川地震断裂带科学钻探项目 钻探事故预防与处理技术

吴金生<sup>1,2</sup>, 贾 军<sup>3</sup>, 段玉刚<sup>2</sup>, 李正前<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734; 3. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

**摘 要:**汶川地震断裂带科学钻探工程的地层条件十分复杂, 岩层破碎, 膨胀缩径, 不确定因素多, 出现多次卡、断、落等孔内事故, 但都科学诊断、成功处理。通过优化钻进方法、钻具结构及泥浆体系等多种事故预防措施, 最大限度地减少事故发生, 保证了科学钻探工程的顺利进行。

**关键词:**汶川地震; 地震断裂带; 科学钻探; 事故预防; 事故处理

**中图分类号:** P634.8   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-7428(2012)09-0049-04

**Drilling Accident Prevention in Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project and the Treatment Technology/WU Jin-sheng<sup>1,2</sup>, JIA Jun<sup>3</sup>, DUAN Yu-gang<sup>2</sup>, LI Zheng-qian<sup>2</sup>** (1. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 3. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The formation conditions of Wenchuan earthquake fault scientific drilling project are very complicated. Broken rock formation, lost circulation and borehole shrinkage are encountered frequently. As a result, many drilling accidents, such as drill pipe sticking, drilling pipe breaking, objects dropping and so on happened and were successfully solved. Technical measures for preventing accidents, including scientific diagnosis and optimizing drilling method, drill tool structure and drilling mud system, have been taken to minimize accidents and ensure the smooth progress of scientific drilling project.

**Key words:** Wenchuan earthquake; earthquake fault; scientific drilling; accident prevention; accident treatment

## 1 概述及难点

汶川地震断裂带科学钻探项目是在汶川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”断裂旁侧实施 5 口科学群钻。龙门山断裂带自公元 1169 年以来, 共发生破坏性地震 25 次, 其中 6 级以上地震 20 次。“5.12”发生震惊世界的 Ms8.0 大地震后, 余震也有几万次。在此断裂带进行科学钻探施工的难点在于:

(1) 地层破碎、膨胀缩径, 坍塌、掉块、漏失、涌水时有发生。汶川地震属于逆冲型地震, 地应力释放慢, 特别是钻进断层泥时, 地应力强烈释放, 膨胀缩径。

(2) 地学研究要求高。取心直径大(取心钻孔直径 150 mm); 采取率要求高, 每回次 85% 以上; 对岩心原状性要求极高, 须采用半合管取心; 钻孔深, 最大钻孔深度达 3000 多米。

(3) 不可预见因素多。地层状况不详, 钻进深

度不确定, 孔身结构变数大, 钻进参数难以掌握。

汶川地震断裂带科学钻探是对钻探技术的极大挑战!

## 2 事故的发生及类型

钻探施工中孔内事故主要分为卡钻、断钻具、落物、测井事故, 还有套管事故、固井事故等。截至目前, 汶川地震断裂带科学钻探项目的 4 口钻孔中共发生孔内事故 21 次, 其中卡钻 6 次, 断钻具 7 次, 井下落物 2 次, 测井事故 3 次, 套管断裂 3 次。

造成孔内复杂与事故的因素有地质因素与工程因素, 要及时科学诊断。

## 3 事故的预防措施

对于地层条件十分复杂的钻探工程, 要在钻探施工过程中完全避免孔内事故几乎是不可能的事情。尽管科学钻探不可预见性因素很多, 任何事故

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(WFSD)”项目之“科学钻探与科学测井”课题

作者简介: 吴金生(1970-), 男(汉族), 安徽人, 成都理工大学在读博士, 中国地质科学院探矿工艺研究所高级工程师, 地质工程专业, 从事钻探技术及科学钻探研究工作, 四川省成都市郫县成都现代工业港(北区)港华路 139 号。

的发生都有一定先兆,应采取“预防为主”的原则,提前做好预防措施,同时建立应急预案,对可能出现的事故做好工具物资的充分准备。针对汶川地震断裂带科学钻探工程的特点,采取了以下预防措施。

### 3.1 加强钻探施工管理工作

(1)检查入孔钻具,定期探伤,定期报废。肉眼看得见的入孔钻具,采用“一看”、“二摸”、“三量测”,对钻具胀扣、丝扣磨损、裂纹等认真检查,不合格的严禁使用;肉眼不好判断的入孔钻具,采用超声波与磁粉探伤仪进行探伤;超过使用寿命的钻具定期报废。

(2)综合录井,对钻孔异常及时预测。工程录井参数包括钻压、转速、扭矩、泵压以及钻进速度等,钻探人员可以通过工程录井随时掌握起下钻速度和遇阻情况,还可对孔涌、孔漏、钻具失效、钻头异常、

溜钻、顿钻、减震器失效及孔塌等进行预测。

### 3.2 优化钻进方法、钻具结构和施工工艺

#### 3.2.1 优化钻进方法

采用螺杆马达+转盘+液动锤复合钻进,实现孔底低钻压高转速高效钻进。对于深孔大直径破碎地层,转速降低,可减少钻具对孔壁扰动,有利于孔壁稳定和降低卡钻事故发生的可能性。此外,这种驱动方式还有利于降低孔斜和“狗腿”度。

#### 3.2.2 改进钻具结构

将取心钻具外管螺纹扣高由 1.0 mm 增加到 2.0 mm,丝扣强度大大提高。端面由平面改为 15° 倒角,增加咬合面积。去掉上扩孔器,减少薄弱环节,钻具的连接强度大大提高(参见图 1)。

#### 3.2.3 短回次钻进和划眼



图 1 钻具改进对比图

钻进膨胀缩径地层时,如 WFSD-2 孔在 1680 ~ 1710 m 时,缩短回次进尺,若遇异常,立即提钻检查;下钻时,提前逐单根划眼,直到孔内顺畅后才开始钻

进。从图 2 可以看出,下钻提前划眼,划眼时出现突然憋泵,通过反复开泵,强力转动转盘,拉转结合,最大拉力达 750 kN(钻具质量 38 t),才恢复正常。

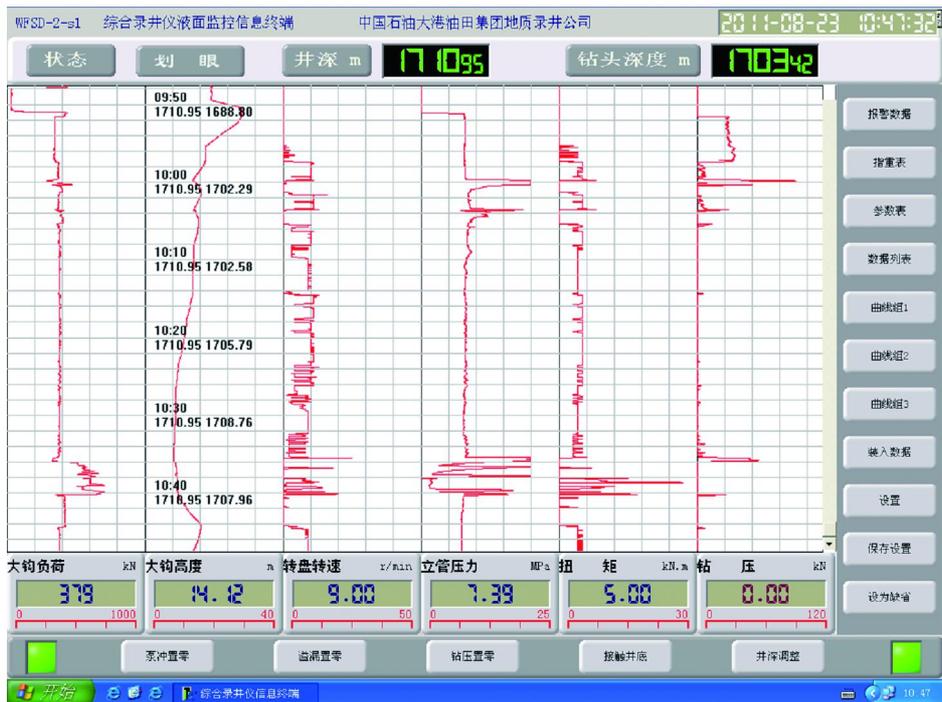


图 2 划眼录井图

### 3.2.4 在膨胀缩径地层采用偏心扩孔

为WFSD-2孔四开小间隙(5 mm)下套管顺利,采用偏心扩孔器(图3)对1680~1710 m缩径段进行局部扩孔,最大扩孔孔径达165 mm,通过测井资料,可以看出扩孔后孔径增大,后下 $\varnothing 601$  m技术尾管十分顺利并成功固井。



图3 偏心扩孔器

### 3.2.5 优化钻孔结构设计

优化钻孔结构设计,为事故的处理留有余地,如事故的套铣处理。

## 3.3 优化泥浆性能参数

### 3.3.1 采用低失水、高密度及流变性好的泥浆

在断层泥膨胀缩径孔段,逐渐加大泥浆密度,采用高密度、低失水及流变性能好的泥浆,其泥浆性能参数为:密度 $1.15 \sim 1.30 \text{ g/cm}^3$ ,漏斗粘度 $30 \sim 35 \text{ s}$ ,初切力 $2 \sim 3.5 \text{ Pa}$ ,终切力 $8 \sim 11 \text{ Pa}$ ,失水量 $4.0 \sim 6.5 \text{ mL/30 min}$ ,泥饼 $0.2 \text{ mm}$ ,含砂量 $0.3\% \sim 0.4\%$ ,pH值9,动切力 $7 \sim 15 \text{ Pa}$ ,塑性粘度 $15 \sim 23 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,动塑比 $0.35 \sim 0.60$ 。实现平衡钻进,同时加入适量润滑剂。施工过程中,由于岩屑的加入,泥浆密度会自然增高,应加强固控。泥浆密度波动范围不大于设计要求的 $\pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ ,泥饼润滑系数应控制在0.18内。

### 3.3.2 及时调整钻进参数

根据工程录井参数,及时调整钻压、转速、扭矩等,根据地层变化、井壁的稳定性、环空间隙大小、泵压高低、返渣情况及时调整泵量。安装变频调速器,实现泵量的无级调节。

## 3.4 严格遵守操作规程

严格遵守《汶川地震断裂带科学钻探操作规程》,严禁强拉及强放。起下钻要平稳,遇卡以下放

为主,严禁强起硬拔,在钻具悬重的基础上附加力 $100 \text{ kN}$ ;遇阻以上提为主,严禁强压,遇阻超过 $50 \text{ kN}$ ,禁止强行下钻;及时接转盘(顶驱)循环钻井液,上下划眼,正常后继续起下钻;扩孔或全面钻进 $40 \text{ h}$ 左右应进行短程起下钻,以保持井眼规则、畅通;钻柱在裸眼孔段静停不允许超过 $3 \text{ min}$ 。

## 4 事故的处理

### 4.1 事故处理基本原则

事故处理应遵循“科学诊断、安全快捷及经济”的基本原则。“科学诊断”是关键,事故发生后,认真研究事故发生情况、事故性质、事故原因,同时摸清事故部位、事故头以及井内情况等,慎重制定事故处理方案。

### 4.2 卡钻处理及程序

卡钻事故处理最复杂。汶川地震断裂带科学钻探地层复杂、不确定因素多,卡钻事故频发,科学判断事故原因,正确掌握卡钻事故处理原则和程序,提高事故处理成功率。

(1)明确卡钻事故处理原则,为事故处理创造条件。卡钻事故发生后,应首先考虑的问题是为顺利解除事故创造条件。一是维持钻井液循环,保持井眼畅通;二是要保持钻柱的完整性;三是切忌将钻杆螺纹扭得过紧。

(2)掌握卡钻事故处理程序,为事故处理提供技术支撑。不同性质的卡钻事故,处理程序不尽相同。归纳起来,多数卡钻事故的处理,遵循以下8个处理程序,都是在本处理程序无法解决的情况下,才进入下一步:

第一步:保持水眼畅通,恢复钻井液循环;

第二步:活动钻具,上下拉压或扭转,以提拉为主;

第三步:若为粘附卡钻,注入解卡剂;

第四步:震击器震击+强力起拔;

第五步:爆炸松扣(或人工倒扣);

第六步:若强拉断,工具打捞(打捞矛、打捞筒等);

第七步:套铣反钻具;

第八步:侧钻(或磨铣)。

### 4.3 断钻具事故处理

钻具断裂主要发生在岩心外管和钻铤丝扣处。主要是因为岩心外管扣高较小,强度低;地层膨胀缩径或掉块卡钻,上提拉力过大;钻具交变应力作用,疲劳破坏。对于钻铤断裂,通常指稳定器下部连接

的钻铤;丝扣磨损严重,胀扣;丝扣加工精度不够等。

断钻具事故常采用公、母锥,打捞筒(矛)及对扣打捞等。施工中发生的7次卡钻事故3次成功打捞,还有4次因孔内复杂,打捞无法进行,不得不采用套铣、磨铣等。

#### 4.4 落物事故处理

落物事故主要发生在WFSD-2孔,1次由于 $\phi 273$  mm套管鞋上碎裂的铝合金掉块落入孔内,造成下、上钻遇卡,后接方钻杆,回转循环泥浆解卡。另一次由于孔口操作人员疏忽大意,不小心将方补心绳套(约2 m)掉入井内,后用打捞矛,成功打捞出了绳套。

#### 4.5 测井事故处理

(1)穿心打捞(测绳电缆未断);

(2)如果测井电缆断裂,则先打捞电缆,再下打捞筒打捞仪器;

(3)若各种打捞无效,下单管钻具套捞。

本文重点介绍了卡、断、落、测井事故的处理措施,对于套管事故、固井事故、井斜、井漏、井喷等发生较少,甚至没有发生,在此不作介绍。

## 5 典型事故案例分析

### 5.1 WFSD-2孔卡钻定点爆炸松扣

#### 5.1.1 事故发生经过

WFSD-2孔 $\phi 200$  mm牙轮钻头扩孔至1330.23 m时,钻具跳动,进尺慢,提钻,在孔深1250 m处遇阻,强力起拔+震击器震击,最大起拔力达1100 kN,无效,钻具被卡死,开泵循环地层压漏。经计算,钻头实际位置为1250.51 m。

#### 5.1.2 事故处理

震击器+强力起拔无效后,先进行卡点估算(如下式),后经测卡仪测出卡点位置也在1230 m左右,即上稳定器位置,最后成功爆炸松扣。

卡点估算:

$$L = k\Delta L/P = 4905.6 \times 2.0/800 = 1226.4 \text{ m}$$

式中: $L$ ——卡点深度,m; $k$ ——计算系数; $\Delta L$ ——钻具的绝对伸长量,m; $P$ ——上提拉力,kN。

爆炸松扣施工程序:

(1)测卡点(或推算卡点);

(2)组装爆炸杆;

(3)分级上提井内钻具,分段紧扣,使卡点成为中和点;

(4)连接电缆并确定松扣位置;

(5)施加反扭矩;

(6)引爆。

### 5.2 WFSD-3孔卡钻“落鱼”套铣打捞

#### 5.2.1 事故发生经过

WFSD-3孔 $\phi 150$  mm取心钻进至1186.77 m时,发生卡钻,强力起拔,钻铤脱扣,孔内事故钻具: $\phi 150$  mm电镀钻头+ $\phi 150$  mm扩孔器+ $\phi 140$  mm岩心管+ $\phi 150$  mm扶正器4只+ $\phi 121$  mm钻铤4根,“鱼顶”孔深1142.44 m。如图4所示。

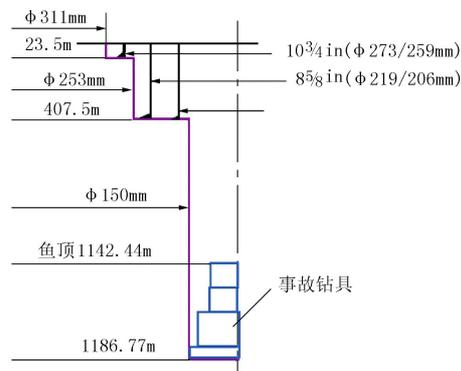


图4 “落鱼”结构示意图

#### 5.2.2 事故处理

采用各种打捞措施处理无效后,采用扩孔和套铣的方法处理完事故,回收全部钻具。

施工程序:

(1)回收 $\phi 168$  mm活动套管;

(2) $\phi 150/202$  mm扩孔钻进至“鱼顶”;

(3)套铣和反钻具:采用 $\phi 200$  mm套铣钻头(图5)+ $\phi 178$  mm套铣筒套铣钻铤,套铣一根,用反丝钻杆反出一根,反完钻铤后,用同样的方法套铣打捞出取心钻具和钻头。



图5 套铣钻头

### 5.3 WFSD-2孔电成像测井事故打捞

#### 5.3.1 事故发生经过

(下转第65页)