

# 汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD-2孔防漏固井技术研究与应用

李前贵<sup>1</sup>, 李旭东<sup>2</sup>, 贾军<sup>3</sup>, 张培丰<sup>3</sup>, 李早元<sup>4</sup>

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734; 2. 江苏省地矿局第六地质大队, 江苏 连云港 222023; 3. 北京探矿工程研究所, 北京 100083; 4. 西南石油大学, 四川 成都 610500)

**摘要:**汶川地震断裂带科学钻探项目二号孔(WFSD-2)钻探施工过程中,地层破碎,坍塌、掉块严重,钻进过程中发生多次井漏。为防止固井过程中发生漏失影响固井质量,采用低密度防漏水泥浆常规单级固井工艺。经过多次水泥浆性能试验,调配出了既具有良好流动性、又具有触变性的低密度纤维防漏水泥浆配方。该低密度纤维防漏水泥浆体系在WFSD-2孔 $\varnothing 168.3$  mm套管固井中施工顺利,应用效果良好。

**关键词:**汶川地震;地震断裂带;科学钻探;低密度水泥浆;防漏;固井

**中图分类号:** P634.8; TE256<sup>+</sup>.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)09-0039-02

**Anti-leakage Cementing Technology with Low Density Slurry in WFSD-2 of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project/LI Qian-gui<sup>1</sup>, LI Xu-dong<sup>2</sup>, JIA Jun<sup>3</sup>, ZHANG Pei-feng<sup>3</sup>, LI Zao-yuan<sup>4</sup>** (1. The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. No. 6 Geological Brigade, Jiangsu Geology & Mineral Exploration Bureau, Lianyungang Jiangsu 222023, China; 3. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China; 4. Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan 610500, China)

**Abstract:** Due to the broken stratum, wall collapsing, landslide accidents and lost circulation happened frequently in the drilling of the second hole of Wenchuan earthquake fault scientific drilling project (WFSD-2). For preventing lost circulation during cementing, anti-leakage cementing technology with low density slurry was selected. Through multiple performance experiment of slurry, the formulation of low density slurry for anti-leak was optimized. This formulation was successfully adopted to cement the  $\varnothing 168.3$  casing in WFSD-2.

**Key words:** Wenchuan earthquake; earthquake fault; scientific drilling; low-density slurry; anti-leakage; cementation

## 1 WFSD-2孔概况

### 1.1 基本情况

WFSD-2孔位于四川省都江堰市虹口乡八角庙六组境内,钻孔位置海拔高度约1150 m,工作区处于四川龙门山中央断裂带,WFSD-2孔孔口距断裂带地表露头约650 m,距WFSD-1孔约300 m。钻遇地层为碳质页岩、砂岩、破碎松散的蚀变花岗岩等,具有破碎、裂隙发育、地应力高、缩径等特点。其中638.01~1212 m为三叠系沉积岩,岩性以碳质泥岩、页岩和砂岩为主,较破碎;1212~1369.80 m以蚀变花岗岩为主,夹少量的闪长岩,较破碎。

### 1.2 钻进复杂情况

扩孔钻进至孔深844.38 m,扭矩突然增大,卡钻,上下活动钻具,最大拉力达720 kN解卡(随钻震击器震击),憋漏(4 MPa)泥浆约10 m<sup>3</sup>。孔深

915.14 m,因下钻过快、钻压过大导致卡钻,上下活动钻具,最大拉力达1200 kN解卡,憋漏泥浆约7 m<sup>3</sup>。扩孔钻进至孔深1004 m卡钻,上下活动钻具,最大拉力达690 kN解卡,漏失泥浆约2 m<sup>3</sup>。全面钻进钻至1250 m,起钻过程中,憋压12 MPa左右,漏失钻井液2 m<sup>3</sup>,钻井液密度1.29 g/cm<sup>3</sup>;通孔下钻至899 m左右憋压12.2 MPa,漏失钻井液11 m<sup>3</sup>。

为确保该孔下部安全钻进,在钻至井深1369.80 m时决定下入 $\varnothing 168.3$  mm套管。考虑到钻进施工过程中频繁漏失的情况,为保证固井成功,决定采用低密度防漏水泥浆常规单级固井工艺。水泥浆采用漂珠微硅低密度防漏水泥浆,设计密度1.40 g/cm<sup>3</sup>,封固0~1350 m。

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:李前贵(1979-),男(土家族),湖南桑植人,中国地质科学院探矿工艺研究所,石油工程专业,博士,从事钻探工程工作,四川省成都市郫县成都现代工业港(北区)港华路139号,liqiangui@163.com。

## 2 固井难点及主要技术措施

### 2.1 固井难点

(1) 憋压易孔漏,下套管、循环、注水泥浆、顶替中必须考虑防止孔漏;

(2) 地层复杂,孔壁坍塌掉块严重,裸眼段较长;

(3) 起下钻遇阻遇卡严重,下套管有遇阻遇卡的风险。

### 2.2 固井主要技术措施

(1) 通孔,要求孔眼畅通,无垮塌、无沉砂;

(2) 在套管串中使用刚性扶正器4只,提高套管的居中度;

(3) 优选低密度防漏水泥浆配方;

(4) 优化地面施工工艺,严格控制水泥浆密度和施工排量。

## 3 防漏低密度水泥浆固井技术

### 3.1 水泥浆性能要求

根据孔下条件和地层承压能力,决定采用降低水泥浆密度来防止孔漏的方案。完钻时钻井液密度为 $1.35\text{ g/cm}^3$ ,考虑地层破碎,裂缝发育,为防止固井过程中发生漏失影响固井质量,设计水泥浆密度为 $1.40\text{ g/cm}^3$ 。在固井施工中,对稠化时间的要求非常严格,它是固井作业顺利进行和安全结束的时间保证。一般要求稠化时间在确保施工顺利的前提下尽可能地要短,以便缩短候凝时间,减少水泥浆析水。结合该孔的注水泥固井方式,依据固井设计要求,稠化时间为 $120\sim 200\text{ min}$ 。

水泥浆的过大失水能够改变水泥浆的流变特性,缩短稠化时间,促使其过早凝固,造成环空桥堵,因此要求设计水泥浆API失水量 $<50\text{ mL/30 min}$ 。

为防止固井及候凝过程发生孔下漏失,水泥浆体系采用“漂珠+超细水泥”低密度水泥浆体系,同时加入适量堵漏纤维,增强体系的防漏堵漏性能。

### 3.2 水泥浆配方研究

外加剂、外掺料种类及掺量是影响水泥浆物理性能的主要因素。根据紧密堆积理论,采用有效调配水泥、漂珠、超细水泥等不同粒度的颗粒级配,可形成低密度水泥浆体系。通过试验,研究和调整水泥配方中各组分水化特性和比例,可以获得满足施工要求的水泥浆配比。结合WFSD-2孔实际情况,通过室内对低密度水泥浆外掺料的种类和加量进行了系列试验,并对水泥浆早强剂、降失水剂、分散剂等外加剂加量进行了优选,经过多次水泥浆性能试

验,调配出既具有良好流动性、又具有触变性的水泥浆配方:夹江G级纯水泥:漂珠:微硅:超细水泥=65:25:5:5;添加剂:1%降滤失剂(LT-2)+1%减阻剂(SXY-2)+2%增强剂(SW-2)+0.2%堵漏剂(DL500)+0.02%消泡剂XP-1(水固比0.53)。

该水泥浆密度为 $1.40\text{ g/cm}^3$ ,水泥浆流动度 $21\text{ cm}$ ,滤失量 $46\text{ mL/30 min}$ ,稠化时间 $161\text{ min/70 BC}$ (实验条件: $35\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $20\text{ MPa}$ 、 $30\text{ min}$ );抗压强度 $9.1\text{ MPa}(24\text{ h},35\text{ }^\circ\text{C})$ , $3.8\text{ MPa}(48\text{ h},\text{常温})$ 。该配方水泥浆体系稳定,性能符合要求。

## 4 WFSD-2 防漏固井技术应用

根据电测井径、封固段长度及水泥附加量并考虑到可能会有少部分漏失,计算需水泥量 $25\text{ t}$ 。下完 $\text{O}168.3\text{ mm}$ 套管固井前钻井液性能为:钻井液密度 $1.35\text{ g/cm}^3$ ,粘度 $35\text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,滤失量 $5\text{ mL/30 min}$ ,滤饼 $0.5\text{ mm}$ ,含砂量 $0.2\%$ ,pH值9。

根据室内试验结果及现场具体情况,确定使用上述配方进行现场施工。固井现场施工过程如下:

(1) 通孔;

(2) 上下活动套管,用BW280型泵循环泥浆;

(3) 连接管汇,注前置液 $2\text{ m}^3$ ;

(4) 注水泥浆 $28\text{ m}^3$ ,注水泥浆过程中,孔口返出泥浆量少,漏失泥浆约 $15\text{ m}^3$ ;

(5) 开挡销,释放胶塞,注后置液 $1\text{ m}^3$ ;

(6) BW280型泵注入钻井液 $18\text{ m}^3$ 顶替水泥浆,最高泵压 $6\text{ MPa}$ ,水泥浆返出孔口;

(7) 替浆结束,缓慢打开水泥头上阀门,套管内无外溢,将套管坐放到位,拆管汇候凝。

水泥面预计返至地面,实际返至地面。水泥塞预计井深 $1280\text{ m}$ ,实测井深 $811\text{ m}$ 。

## 5 结论

(1) 经过多次水泥浆性能试验,调配出既具有良好流动性、又具有触变性的水泥浆配方:夹江G级纯水泥:漂珠:微硅:超细水泥=65:25:5:5;添加剂:1%降滤失剂(LT-2)+1%减阻剂(SXY-2)+2%增强剂(SW-2)+0.2%堵漏剂(DL500)+0.02%消泡剂XP-1(水固比0.53)。

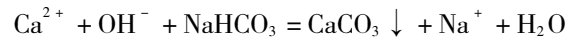
(2) 纤维防漏堵漏材料与漂珠、超细水泥组成的低密度水泥浆体系,能够满足WFSD-2孔复杂地层易漏孔固井的要求;在漂珠低密度水泥浆体系中

(下转第44页)

根据 WFS-3 孔钻孔结构设计要求,需要下入多层套管并采用水泥固井。此外,处理事故采取水泥封孔也会钻水泥塞。这些钻水泥塞的作业,在施工过程中均会对泥浆造成污染,以至于无法满足后续钻进需要,必须对其进行维护和处理。

水泥对泥浆的主要污染表现在钙侵与 pH 值的影响。主要原因在于水泥水化后产生大量的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 由于部分  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  能在水中电离成  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{OH}^-$ , 虽然  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  溶解度不高,但几百个 ppm 的含钙量就足以让钻井液失去胶体性质。泥浆遭受水泥侵之后滤失量、粘度、切力增大,泥饼变厚,导致泥浆性能急剧变坏,严重影响孔内安全。

根据水泥污染的主要原因,现场主要采用加入  $\text{NaHCO}_3$  以清除泥浆中的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{OH}^-$ , 加入  $\text{NaHCO}_3$  的反应式:



同时,在清除  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{OH}^-$  的同时必须降低体系的粘切,现场主要通过加入 SMT 和 KHm 等进行稀释,另外加入 S-1、CMC、SAS 等降低体系的失水量,保证体系的性能稳定。如 WFS-3 孔在下入  $\text{O}219 \text{ mm}$  套管水泥固井后泥浆性能急剧变坏,经过上述方法处理,性能逐渐符合钻进地层要求,其性能变化见表 3。

表 3 泥浆受侵污染的性能控制

钻井液参数	漏斗粘度 /s	表观粘度 /( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	塑性粘度 /( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	动切力 $\tau_0$ /Pa	静切力 $\tau_s$ ( $1'/10'$ )/Pa	失水量/( $\text{mL}\cdot$ ( $30 \text{ min}$ ) $^{-1}$ )	泥饼厚度 /mm	pH 值
固井前	40	25	14	9	1.5/8	6.8	0.6	9
钻水泥塞	73	38	28	10	4/20	13	0.8	12
处理后性能	44	28	20	8	2/8	5	0.5	10

#### 4 总结与认识

(1) 根据 WFS-3 孔钻遇的地层情况,结合孔壁稳定性理论分析,得出了可满足 WFS-3 孔钻进的优质泥浆体系。通过室内研究,优选出不同孔段使用的改性磺化体系和钾胺聚磺体系,并在现场得到成功应用。这对类似地层的防塌泥浆体系设计具有较好的指导意义。

(2) 现场泥浆性能维护是复杂地层钻探工作的重中之重,必须随时保持泥浆性能稳定在合适范围内,才能满足安全、高效的钻进要求。根据 WFS-3 孔施工特点,总结出在泥浆粘切控制、防泥包泥浆技术以及水泥钙侵处理技术上的一些做法,具有一

定的借鉴作用。

#### 参考文献:

- [1] 徐同台. 井壁稳定技术研究现状及发展方向[J]. 钻井液与完井液, 1997, 14(4).
- [2] 黄汉仁, 杨坤鹏, 罗平亚. 泥浆工艺原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.
- [3] 李之军, 陈礼仪, 贾军, 等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFS-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).
- [4] 周华安, 王德承, 杨兰平. 强抑制封堵性防塌钻井液研究及应用[J]. 钻采工艺, 1996, 19(2).
- [5] 徐同台, 卢淑芹, 何瑞兵, 等. 钻井液用封堵剂的评价方法及影响因素[J]. 钻井液与完井液, 2009, 26(2).
- [6] 吴隆杰, 杨凤霞. 钻井液处理剂胶体化学原理[M]. 四川成都: 成都科技大学出版社, 1992.
- [7] 樊腊生, 贾军, 吴金生, 等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFS-1)钻探施工概况[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12).
- [8] 李之军, 陈礼仪, 贾军, 等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFS-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).
- [9] 贾军, 樊腊生, 胡时友, 等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFS-1)小间隙固井工艺的研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12).
- [10] 张培丰. 龙门山地震断裂带地应力分布及其对井壁稳定的影响——以 WFS-2 井为例[J]. 地质与勘探, 2012, 48(2).
- [11] 姚晓, 周保中, 赵元才, 等. 国内油气田漏失性地层固井防漏技术研究[J]. 天然气工业, 2005, 25(6).

(上接第 40 页)

加入早强剂可以显著提高水泥浆的早期强度;良好的触变性能有效防止水泥浆的漏失。

(3) 该低密度纤维防漏水泥浆体系在 WFS-2 孔  $\text{O}168.3 \text{ mm}$  套管固井中水泥顺利返至地面。

#### 参考文献:

- [1] 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).
- [2] 张伟, 贾军, 胡时友. 汶川地震科学钻探项目的概况和钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1).
- [3] 胡时友, 宋军, 张伟, 等. 汶川地震断裂带科学钻探(WFS)项目钻探和测井课题的组织实施与管理[J]. 探矿工程(岩土钻