

# 汶川地震断裂带科学钻探项目尾管固井技术的应用

樊腊生<sup>1</sup>, 张伟<sup>2</sup>, 李前贵<sup>1</sup>, 李旭东<sup>3</sup>, 赵远刚<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734; 2. 中国地质调查局, 北京 100037; 3. 江苏省地矿局第六地质大队, 江苏 连云港 222023)

**摘要:**介绍了汶川地震断裂带科学钻探项目钻探施工过程中尾管固井技术的应用情况。针对该项目钻探施工的复杂地层条件, 研发了适合于破碎地层和小套管间隙的无接箍尾管固井技术, 关键技术包括尾管管柱设计、尾管下入及钻柱分离技术和施工工艺、适合于破碎地层和小套管间隙条件的尾管固井浆液设计和施工工艺。采用研发成功的尾管固井技术, 在该项目的二号孔和三号孔中共进行了4次下尾管作业, 均获得了成功。

**关键词:**汶川地震; 地震断裂带; 科学钻探; 尾管; 倒扣接头; 固井

**中图分类号:** P634; TE256<sup>+</sup>.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)09-0032-07

**Application of Liner Cementation Technology in Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project/FAN La-sheng<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>, LI Qian-gui<sup>1</sup>, LI Xu-dong<sup>2</sup>, ZHAO Yuan-gang<sup>1</sup>** (1. The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. China Geological Survey, Beijing 100037, China; 3. No. 6 Geological Brigade, Jiangsu Geology & Mineral Exploration Bureau, Lianyungang Jiangsu 222023, China)

**Abstract:** This article introduces the liner cementation technology and its application in Wenchuan earthquake scientific drilling project. According to the conditions of complex formation in this drilling project, liner cementation technology which is suitable for broken formation and small annulus between borehole and casing string, has been developed. The key points of this technology include liner string design and installation and cementing slurry design and construction. This technology has been successfully used in 4 liner cementation operations.

**Key words:** Wenchuan earthquake; earthquake fault; scientific drilling; liner; buckle connector; cementation

## 0 前言

汶川地震断裂带科学钻探(WFSD)项目有5个钻孔, 目前已完成一号孔(WFSD-1)、二号孔(WFSD-2)、三号孔的先导孔(WFSD-3P)和三号孔(WFSD-3)的钻探施工任务。WFSD-1、WFSD-3P孔采用小口径地质勘探取心钻进的方法和工艺, 逐级取心逐级下套管固井; WFSD-2、WFSD-3孔主要采用 $\varnothing 150$  mm口径取心钻进, 在需要下套管时扩孔钻进后下入套管固井(上部 $\varnothing 273$ 、 $\varnothing 219$  mm套管内下入 $\varnothing 168$  mm活动套管)、然后继续以 $\varnothing 150$  mm口径取心钻进。

由于龙门山断裂带历史上发生过许多次地震, 地层破碎的严重程度罕见, 4个钻孔从开钻到完钻基本上全部在破碎地层中钻进, 钻进施工条件十分恶劣, 钻孔垮塌、扩径、缩径和漏失等诸多困难同时存在, 除了给取心和钻进带来了很大困难之外, 还导致钻探事故频发。针对这种极端恶劣的施工环境和复杂的地质条件, 不得不采取多下套管的施工方法。

孔深1201.15 m的WFSD-1孔(设计孔深1200 m)下入5层套管( $\varnothing 168$ 、 $\varnothing 146$ 、 $\varnothing 127$ 、 $\varnothing 108$ 、 $\varnothing 89$  mm); 孔深551.54 m的WFSD-3P孔(设计孔深400 m)下入4层套管( $\varnothing 146$ 、 $\varnothing 127$ 、 $\varnothing 108$ 、 $\varnothing 89$  mm); 孔深2283.56 m的WFSD-2孔(设计孔深2000 m)下入5层套管( $\varnothing 273.0$ 、 $\varnothing 219.1$ 、 $\varnothing 168.3$ 和 $\varnothing 139.7$  mm尾管、 $\varnothing 108$  mm尾管); 孔深1502.30 m的WFSD-3孔(设计孔深1200 m)下入6层套管( $\varnothing 273$ 、 $\varnothing 219$ 、 $\varnothing 168$ 、 $\varnothing 127$  mm和 $\varnothing 89$  mm尾管、 $\varnothing 73$  mm尾管)。

WFSD-2孔设计时采用3层套管程序, 实际施工时因孔内情况复杂、钻进施工困难提前下入各层套管, 钻进施工到后期需下入 $\varnothing 139.7$  mm尾管满足下部的 $\varnothing 122$  mm取心钻进要求, 完井时下入 $\varnothing 108$  mm尾管(筛管)满足长期监测要求。WFSD-3孔设计时采用3层套管程序, 实际施工时因孔内事故、钻进施工困难下入4层套管, 钻进施工到后期需下入 $\varnothing 89$  mm尾管满足下部的 $\varnothing 77$  mm取心钻进要求, 完井时下入 $\varnothing 73$  mm尾管(筛管)满足长期监测

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: 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, 中国地质调查局汶川地震科学钻探工程中心钻井工程部主任, 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。

要求。

### 1 WFS-2 孔小间隙无接箍 $\varnothing 139.7$ mm 尾管固井技术

二号孔(WFS-2)是布置在汶川“5.12”地震主震断裂映秀-北川断裂带上的主孔,位于四川省都江堰市虹口乡,设计孔深 2000 m,实际终孔孔深 2283.56 m。WFS-2 孔的实际钻头顺序: $\varnothing 377$  mm  $\times$  47.80 m— $\varnothing 253$  mm  $\times$  638.01 m— $\varnothing 200$  mm  $\times$  1349.50 m— $\varnothing 150$  mm  $\times$  1859.78 m— $\varnothing 122$  mm  $\times$  2283.56 m;实际套管顺序: $\varnothing 273.0$  mm  $\times$  47.80 m— $\varnothing 219.1$  mm  $\times$  637.60 m— $\varnothing 168.3$  mm  $\times$  1296.60 m— $\varnothing 139.7$  mm  $\times$  (1258.13 ~ 1859.78 m)— $\varnothing 108.0$  mm  $\times$  (1836.73 ~ 1973.67 m)。从孔深 499.03 m 开始连续取心,孔深 1859.78 m 以浅采用  $\varnothing 150$  mm 口径取心钻进(岩心直径 93 ~ 101 mm),需要下套管时扩孔钻进到需要的尺寸;下部采用  $\varnothing 122$  mm 口径取心钻进(岩心直径 74 ~ 76 mm)。

#### 1.1 封固段(1296.60 ~ 1859.78 m)基本情况

(1)地层情况:1296.60 ~ 1680.00 m 为花岗岩、闪长岩、凝灰岩;1680.00 ~ 1710.00 m 为沉积岩(断层角砾岩、碳质泥岩、缩径膨胀);1710.00 ~ 1859.78 m 为花岗闪长岩、凝灰岩。

(2)上层技术套管: $\varnothing 168.3$  mm  $\times$  7.32 mm 套管(N80Q)下深 1296.60 m, 通径 150.5 mm, 接箍  $\varnothing 177.8$  mm, 偏梯形螺纹(BTC扣)。

(3)孔斜:顶角在  $1^\circ \sim 3^\circ$  之间,1853 m 处顶角为  $3^\circ$ 、方位角为  $312^\circ$ 。

(4)井径:在出  $\varnothing 168.3$  mm 套管后 1350 ~ 1485 m 多处扩径(扩径段岩性一般为闪长岩、凝灰岩),多处超过 203 mm,井径最大处达 239 mm,平均井径 169.6 mm。

(5)温度:1853 m 处约  $48^\circ\text{C}$ 。

(6)取心钻进钻井液性能:密度  $1.32\text{ g/cm}^3$ , 动切力 10 Pa, 塑性粘度  $30\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。

(7)钻进阻卡情况:在  $\varnothing 150$  mm 取心钻进至 1698.66 m 时起钻遇阻,多次串动,开动转盘串动拉出;取心钻进至 1719.76 m 时提钻遇阻、憋泵,强行开转盘,循环泥浆提拉解卡;在 1763.48 ~ 1773.06 m 孔段取心钻进下钻时多次在 1695.00 m 遇阻;取心钻进至 1773.93 m 时提钻至 1655.36 m 遇阻,活动钻具无效,开泵循环泥浆解卡。

#### 1.2 技术难点

(1)上层套管的通径 150.5 mm,为满足后续

$\varnothing 122$  mm 取心钻进的要求,需下  $\varnothing 139.7$  mm 尾管,在无合适尾管悬挂器的情况下,只能采用尾管坐孔底的技术方案。所设计、加工的倒扣接头、尾管头、无接箍套管、浮箍、浮鞋等工具需一次成功,满足固井及后续安全钻进的需要。

(2)本次作业是非常规小间隙尾管固井,理论环空间隙仅约 5.15 mm,下尾管摩阻大,且尾管难居中,有发生粘附卡套管的风险;注替水泥浆施工压力高,施工时间长,对水泥浆性能要求高;地层破碎,孔壁受外界扰动易坍塌、掉块。

(3)封固段的上部井径较大(1296.60 ~ 1349.50 m 孔段是三开  $\varnothing 200$  mm 钻进孔段),下部孔段存在缩径现象,特别是 1680.00 ~ 1710.00 m 沉积岩孔段缩径膨胀明显。

(4) $\varnothing 89$  mm 钻杆和  $\varnothing 139.7$  mm 尾管内径不同,无法用胶塞碰压,对计量替浆量要求高。

(5)无成熟可靠的技术经验可供参考。

#### 1.3 无接箍尾管固井工具的研制

主要包括  $\varnothing 139.7$  mm 无接箍尾管的扣型及倒扣接头、尾管头、浮箍、浮鞋等的设计。

##### 1.3.1 $\varnothing 139.7$ mm 无接箍尾管

尾管采用 P110 钢级的  $\varnothing 139.7$  mm  $\times$  7.72 mm 套管料,经测量外径在 140.7 ~ 141.0 mm 有 30 根、 $\varnothing 140.3 \sim 140.7$  mm 有 11 根、 $\varnothing 140.0 \sim 140.2$  mm 有 12 根,以外径 140.5 mm、内径 125.0 mm 设计直连螺纹(图 1)。

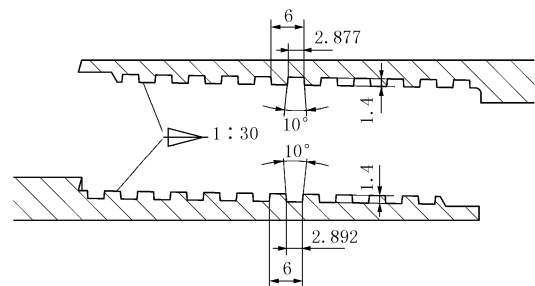


图 1  $\varnothing 139.7$  mm 无接箍尾管螺纹

螺纹的密封形式为  $75^\circ$  台肩密封及 4 mm 手拧紧密距的螺纹过盈啮合产生的接触压力,螺纹上扣的紧扣扭矩  $5000\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

根据螺纹连接危险截面及管体的最低极限强度计算的螺纹抗拉强度见表 1(拉伸效率 0.45),螺纹的抗拉强度计算公式为:

$$P_j = A_{cr} U_p$$

式中: $P_j$ ——螺纹的抗拉强度, N;  $A_{cr}$ ——螺纹连接危险截面的面积,  $\text{mm}^2$ ;  $U_p$ ——管体的最低极限强

表1  $\phi 139.7$  mm 无接箍尾管螺纹抗拉强度计算结果

项目	螺纹抗拉强度/kN		
	根部	根部1扣	根部2扣
母螺纹	1322.4	1286.2	1250.0
公螺纹	1349.3	1313.4	1277.5

度,MPa,P110管体  $U_p = 861.85$  MPa。

### 1.3.2 倒扣接头、尾管头

倒扣接头(图2)上部和 $\phi 89$  mm 钻杆连接,采用钻杆接头扣(NC38),下部反扣和尾管头连接,采用尾管螺纹的扣型(但锥度为1:12,便于正转倒扣)。

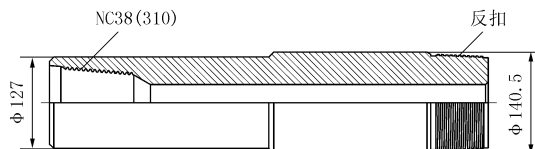
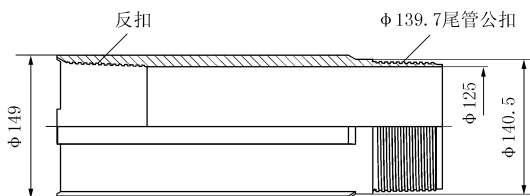


图2 倒扣接头

尾管头(图3)上部反扣和倒扣接头连接,有2级喇叭口(倒角、锥度螺纹),下部和尾管连接,尾管头外径149 mm 起扶正在上层 $\phi 168.3$  mm 套管内的作用,外表面开有水槽满足循环和固井的需要。

图3  $\phi 139.7$  mm 尾管头

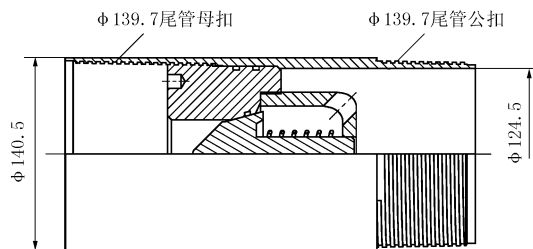
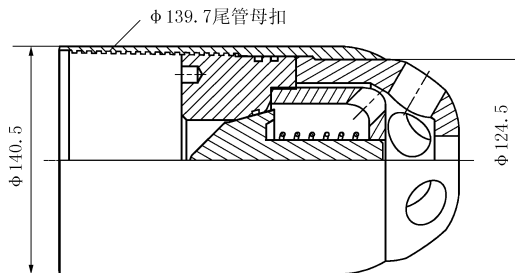
### 1.3.3 浮箍、浮鞋

无接箍尾管用的浮箍(图4)、浮鞋(图5)受内、外径的限制,采用铸造铝加工内部零件(阀座、阀芯等),密封处采用O形密封圈,阀座采用上顶(尾管公扣端面顶)下挡(浮箍、浮鞋本体的内台阶)的结构形式。

## 1.4 无接箍尾管固井施工设计

### 1.4.1 下尾管及固井前准备

#### 1.4.1.1 钻孔准备

图4  $\phi 139.7$  mm 浮箍图5  $\phi 139.7$  mm 浮鞋

(1)要求钻孔畅通,孔壁稳定,无沉砂,无严重缩径和扩径;

(2)对1680~1710 m 孔段进行 $\phi 148/165$  mm 偏心扩孔;

(3)为保障尾管顺利下入,要求通孔2次( $\phi 149.2$  mm 牙轮钻头+2只 $\phi 119$  mm 稳定器, $\phi 149.2$  mm 牙轮钻头+3只 $\phi 119$  mm 稳定器);

(4)最后一次通孔调整泥浆性能,并充分循环泥浆(QZ3NB-350泵),加润滑剂400 L,泥浆性能要求:密度 $< 1.30$  g/cm<sup>3</sup>,粘度30 s左右。

#### 1.4.1.2 工具、设备等准备

(1)清理废浆池、放置水箱;

(2)套管串的试连接、丈量编号、通畅、清扣;

(3)备好前置液、后置液、替浆(量)准备。

#### 1.4.2 下尾管及循环措施

##### 1.4.2.1 下 $\phi 139.7$ mm 尾管作业要求

(1)套管及倒扣接头、尾管头、浮箍、浮鞋等下入前丈量、编号,认真核对,按顺序统一排列、编号,下 $\phi 89$  mm 钻杆时,长度及数据要准确;

(2)套管内丝扣必须清理干净;

(3)做好孔口的清理工作,准备好下套管工具(提升短节、卡瓦、安全卡瓦);

(4)套管吊上钻台时,严防碰撞;

(5)入孔套管要均匀涂抹套管丝扣油;

(6)对扣时用自由钳上扣,确认入扣后再用液压大钳上扣;

(7)卡瓦要坐牢,安全卡瓦要上紧;

(8)套管上扣扭矩按5000 N·m计。

##### 1.4.2.2 下 $\phi 139.7$ mm 尾管

(1)浮鞋、浮箍及前3根套管,上部尾管头及前2根套管要焊接,焊时沿周边进行3段焊,每段5 cm;

(2)要控制尾管下放速度,每根在40 s左右,特别在1685~1705 m 漏层时, $\phi 89$  mm 钻杆1立根应控制在2~3 min;

(3) 每下5根尾管(钻杆5柱)灌满泥浆;

(4) 下尾管串到1250 m( $\varnothing 168$ 套管内)、1750 m各循环一次,尾管下到预计孔深后,循环泥浆1周;

(5) 人工灌浆时,要不停地活动尾管柱,上下活动范围不少于3 m,循环或注替(水)泥浆时先用小排量顶通,再逐渐增加至230 L/min排量循环;

(6) 下完尾管,准确记录大钩负荷,下 $\varnothing 89$  mm钻杆要丈量准确,尾管下到设计孔深,记录大钩负荷(为倒扣的依据)。

#### 1.4.2.3 循环措施

主要目的是破坏泥浆凝胶结构,降低开泵泵压。

(1) 下尾管到 $\varnothing 168$  mm套管鞋时循环泥浆,时间 $\leq 30$  min;

(2) 下至1750 m循环泥浆;

(3) 循环泥浆排量先用低挡顶通,然后根据泵压情况适当增大排量,循环时根据情况适当活动套管,活动范围3 m以上;

(4) 尾管下到位后,先上下活动钻具3~5次后再开泵循环,严格监测泥浆池液面和返浆情况,循环2周。

### 1.4.3 水泥浆体系、用量及混拌程序

#### 1.4.3.1 水泥浆体系

水泥浆配方为:夹江G级水泥+微硅+降失水剂+减阻剂+缓凝剂+消泡剂,设计密度1.70 g/cm<sup>3</sup>。

#### 1.4.3.2 水泥浆用量(表2)

表2  $\varnothing 139.7$  mm无接箍尾管固井水泥浆量

类别	井径/mm	钻杆或者套管 外径/mm	顶深 /m	底深 /m	段长 /m	体积 /m <sup>3</sup>	考虑附加量后 体积/m <sup>3</sup>	附加 系数
返出尾管顶部20 m体积	153.6	88.9	1239	1259	20	0.25	0.25	1.0
套管重合段环空体积	153.6	139.7	1259	1296.4	37.4	0.12	0.12	1.0
裸眼段环空体积	169.6	139.7	1296.4	1859	562.6	4.08	4.49	1.1
50 m尾管水泥塞体积	124.0		1809	1859	50	0.60	0.60	1.0

注:水泥浆总量5.46 m<sup>3</sup>。

#### 1.4.3.3 混拌程序

(1) 第一次3 m<sup>3</sup>水泥浆配制加量及混拌程序:在配浆池中先加清水2.0 m<sup>3</sup>,再依次加入消泡剂3 kg(0.1%)、缓凝剂9 kg(0.3%)、减阻剂50 kg(1.67%)、降滤失剂125 kg(4.17%)、微硅150 kg(5%),边加入边搅拌均匀(BW280/30型泵自循环),最后加入夹江G级油井水泥3 t,边加入边搅拌,搅拌均匀,取样测量密度,密度变化小于0.03 g/cm<sup>3</sup>时结束搅拌,将搅拌好的水泥浆(约3.1 m<sup>3</sup>)泵入水箱备用。

(2) 重复上述步骤再配制3 m<sup>3</sup>水泥浆(配浆池)。

#### 1.4.4 注替(水)泥浆

(1) 下完尾管时用BW280/30型泵循环,循环正常后,倒BW280/12型泵再循环。用BW280/30型泵配制水泥浆,先在配浆池配3 m<sup>3</sup>,用BW280/30型泵打入水箱,再配3 m<sup>3</sup>。

配水泥浆流程:加足清水—加消泡剂—加缓凝剂—加降滤失剂—加微硅—加夹江G级水泥。

(2) 配完水泥浆后,BW280/30型泵注前置液(约1~1.5 m<sup>3</sup>),先用小排量顶通,再逐渐提高至230 L/min排量。

(3) 注完前置液即注水泥浆,先用小排量顶通,再逐渐提高至230 L/min排量,注水泥浆正常后,将

水箱中水泥浆放进配浆池。

(4) 注完水泥浆,立即倒换进浆管闸阀,用BW280/30型泵顶替水泥浆,先用小排量顶通,再逐渐至230 L/min排量。

(5) 替完浆尽快返出钻杆,退倒扣接头时,上提至中和点,转动圈数不大于6圈,无倒车,可试提钻具,悬重下降为钻杆重力,即证明已倒扣成功,立即起出1立根,开泵循环,并不停地上下活动或转动钻具,将多余的水泥浆替出井口,然后起钻候凝。

### 1.5 无接箍尾管固井施工过程

(1) 通孔;

(2) 尾管下至1859 m(尾管串: $\varnothing 89$  mm钻杆+倒扣接头+尾管头 $\times 0.33$  m+套管50根 $\times 589.56$  m+浮箍 $\times 0.23$  m+套管1根 $\times 11.29$  m+浮鞋 $\times 0.24$  m),用BW280/30型泵循环泥浆;

(3) 混拌水泥浆6 m<sup>3</sup>(混拌水泥浆时用BW280/12泵循环泥浆,保持尾管串的畅通);

(4) 连接管汇,注前置液(清水)1 m<sup>3</sup>;

(5) 注水泥浆6 m<sup>3</sup>,注水泥浆过程中,孔口返出泥浆量正常;

(6) 注后置液(清水)1 m<sup>3</sup>;

(7) 采用等体积顶替法,用BW280/30型泵注入钻井液10.51 m<sup>3</sup>顶替水泥浆(表3);

表3  $\varnothing 139.7$  mm 无接箍尾管实际固井施工数据

注水泥、顶替泵	BW280/30 型泵	注水泥压力	5 MPa
注入前置液量	1 m <sup>3</sup>	注入水泥浆量	6 m <sup>3</sup>
水泥浆密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	最大 1.69, 最小 1.64, 平均 1.66		
	单点: 1.65、1.64、1.65、1.69、1.67、1.68、1.68、 1.69、1.68、1.68、1.68、1.64		
注后置液量	1.0 m <sup>3</sup>	替钻井液量	10.51 m <sup>3</sup>
替钻井液时间	40 min	替压	4 MPa
使用材料: G 级水泥 6 t、微硅 300 kg 及添加剂降滤失剂(LT-2) 250 kg、减阻剂(SXY-2) 120 kg、缓凝剂(KH-1) 18 kg、消泡剂 6 kg			

(8) 替浆结束后开始倒扣施工, 程序如下: 将尾管坐放到位; 上提管柱, 使倒扣部位成中和点; 正转管柱 6 圈(倒扣); 再上提钻具, 若悬重下降至倒扣接头上部钻具重力, 证明倒扣成功; 立即起出 1 立根, 开泵循环, 并不停地上下活动或转动钻具, 将多余的水泥浆替出井口; 起钻侯凝。

## 2 WFS-2 孔 $\varnothing 108$ mm 尾管(筛管)完井技术

WFS-2 孔完成孔深 2283.56 m 钻探施工后, 需对上部孔段 1368 ~ 1466 m 进行补心作业。针对侧钻开窗的斜向器的回收技术的担心及尾管的加工时间长的考虑, 决定先补心后下筛管( $\varnothing 108$  mm 套管上每 50 mm 钻 2 个  $\varnothing 12$  mm 的眼)完井。

WFS-2 孔完成上部 1362.87 ~ 1468.38 m 侧钻补心施工后(开窗点孔深 1356m,  $\varnothing 139.7$  mm 尾管内), 顺利回收出斜向器。用  $\varnothing 117.5$  mm 牙轮钻头通井至 2234.15 m 发生埋钻事故, 反复处理(最大拉力 900 kN)无效后, 在孔深 1973.67 m 爆炸松扣(测卡位置 1973.67 m 左右)倒开扣。孔内残留“落鱼”260.45 m, “鱼顶”位置 1973.67 m。

### 2.1 尾管(筛管)准备

完井  $\varnothing 108$  mm 尾管采用筛管结构(不固井)封闭下部裸眼, 为长期监测提供通道; 完井  $\varnothing 114.3$  mm 衬管采用飞管结构封闭侧钻开窗窗口, 保证监测仪器顺利起下。

#### 2.1.1 尾管(筛管)及配件

尾管(筛管)串(图 6)主要由倒扣接头、尾管头、筛管、中接头、尾管引鞋等组成。

图 6  $\varnothing 108$  mm 尾管(筛管)串

(1) 尾管(筛管)采用  $\varnothing 108$  mm  $\times$  4.5 mm 的 DZ40 地质管材, 两头加工特 T102.5  $\times$  100.5  $\times$  6 母扣, 每 50 mm 长钻 2 个  $\varnothing 12$  mm 的眼, 由中接头(内径 95 mm)连接;

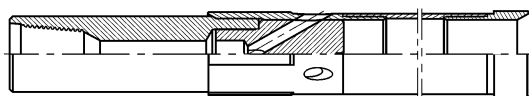
(2) 尾管引鞋采用球形形状, 坐孔底(内径 85 mm);

(3) 倒扣接头上部 and  $\varnothing 73$  mm 钻杆连接, 采用钻杆接头扣(NC31), 下部反扣和尾管头连接, 采用尾管螺纹的扣型; 尾管头上部反扣和倒扣接头连接, 有喇叭口(倒角), 下部和尾管连接, 尾管头外径  $\varnothing 119$  mm 起扶正在上层  $\varnothing 139.7$  mm 尾管内的作用、外表面开有水槽;

(4) 下套管时的提升采用提升短节( $\varnothing 89$  mm 钻杆吊卡), 套管坐孔口采用卡瓦及安全卡瓦。

#### 2.1.2 衬管及配件

衬管(飞管)串(图 7)主要由倒扣接头(采用下  $\varnothing 108$  mm 尾管的倒扣接头)、投砂接头、衬管头、衬管、衬管引鞋等组成。

图 7  $\varnothing 114.3$  mm 衬管(飞管)串

(1) 衬管采用  $\varnothing 114.3$  mm  $\times$  6.88 mm 的 N80 油管, 两头加工特 T108  $\times$  106  $\times$  6 母扣;

(2) 衬管引鞋采用内喇叭口结构, 内径 98 mm、外径 122 mm(保证投入的钢粒不掉入下部的套管内);

(3) 倒扣接头上部 and  $\varnothing 73$  mm 钻杆连接, 采用钻杆接头扣(NC31), 下部反扣和衬管头连接, 下部母扣和投砂接头连接; 衬管头上部反扣和倒扣接头连接、有喇叭口(倒角), 下部和衬管连接, 衬管头外径  $\varnothing 119$  mm 起扶正在上层  $\varnothing 139.7$  mm 尾管内的作用、外表面开有水槽; 倒扣接头、投砂接头和衬管头装配后钻 3 个  $\varnothing 20$  mm 眼, 保证从钻杆内投入的钢粒顺利到达  $\varnothing 139.7$  mm 尾管和  $\varnothing 114.3$  mm 衬管之间的环空, 满足上拉卡死倒扣的要求, 达到封闭侧钻开窗窗口的目的。

#### 2.2 完井施工过程

(1) 用  $\varnothing 122$  mm 取心钻具通孔到“鱼顶”, 大排量循环, 添加 300 L 润滑剂循环后提钻;

(2)  $\varnothing 108$  mm 尾管(筛管)下至 1973.67 m(尾管串:  $\varnothing 89$  mm 钻杆 + 接头 +  $\varnothing 73$  mm 钻杆 + 倒扣接头 + 尾管头  $\times$  0.29 m +  $\varnothing 108$  mm 套管 1 根  $\times$  8.5 m +  $\varnothing 108$  mm 筛管 15 根  $\times$  128.05 m + 尾管引鞋  $\times$  0.10 m);

(3) 上提至中和点, 转盘正转, 成功倒开扣, 提钻;

(4) 用  $\varnothing 89$  mm 钻杆 + 接头 +  $\varnothing 73$  mm 钻杆 + 接头 +  $\varnothing 60$  mm 钻杆 +  $\varnothing 90$  mm 下接头的钻具组合下钻至 1973 m, 用 pH 值 10 的清水替换孔内泥浆

(BW280/30型泵),提钻;

(5)  $\text{Ø}114.3$  mm 衬管(封堵侧钻开窗窗口)下至 1360.59 m(衬管串: $\text{Ø}89$  mm 钻杆+接头+ $\text{Ø}73$  mm 钻杆+倒扣接头+衬管头 $\times 0.19$  m+ $\text{Ø}114.3$  mm 套管1根 $\times 9.12$  m+衬管引鞋 $\times 0.06$  m),从钻杆内投入钢粒,上提 120 kN 卡死后正转倒开扣,提钻。

### 3 WFS-3 孔 $\text{Ø}89$ mm 尾管固井技术

三号孔(WFS-3)是布置在安县-灌县断裂带上的主孔,位于四川省绵竹市九龙镇,设计孔深 1200 m,实际孔深 1502.30 m。WFS-3 孔的实际钻头顺序: $\text{Ø}311$  mm $\times 23.50$  m— $\text{Ø}256$  mm $\times 407.50$  m— $\text{Ø}200$  mm $\times 816.26$  m— $\text{Ø}152$  mm $\times 1186.87$  m— $\text{Ø}122$  mm $\times 1202.57$  m— $\text{Ø}100$  mm $\times 1404.53$  m— $\text{Ø}77$  mm $\times 1502.30$  m;实际套管顺序: $\text{Ø}273$  mm $\times 23.50$  m— $\text{Ø}219$  mm $\times 407.50$  m— $\text{Ø}168$  mm $\times 815.29$  m— $\text{Ø}127$  mm $\times 1180.66$  m— $\text{Ø}89$  mm $\times (1160.49 \sim 1404.53$  m)— $\text{Ø}73$  mm $\times (1397.95 \sim 1502.30$  m)。全孔连续取心,孔深 1186.77 m 以上采用  $\text{Ø}150$  mm 口径取心钻进(岩心直径 93~101 mm),需要下套管时扩孔钻进到需要的尺寸;下部采用  $\text{Ø}122$ 、 $100$ 、 $77$  mm 口径取心钻进。

#### 3.1 尾管及附件准备

尾管串主要由倒扣接头、尾管头、套管、中接头、浮鞋等组成。

(1)尾管采用  $\text{Ø}89$  mm $\times 4.5$  mm 的 DZ40 地质管材,两头加工特 T84 $\times 82.5 \times 4$  母扣,由中接头(内径 78.5 mm)连接;

(2)浮鞋(图 8)采用  $\text{Ø}139.7$  mm 浮鞋(图 5)的结构形式,满足固井的要求;



图 8 浮鞋

(3)倒扣接头(图 9 左)上部和  $\text{Ø}60$  mm 外丝钻杆连接,下部反扣和尾管头连接,采用钻杆锥度螺纹;尾管头(图 9 右)上部反扣和倒扣接头连接,有 2 级喇叭口(倒角、锥度螺纹),下部和尾管连接,尾管头外径 112 mm 起扶正在上层  $\text{Ø}127$  mm 套管内的作用,外表面开有水槽满足循环和固井的要求,最小内径 78.5 mm。

#### 3.2 下尾管及固井施工

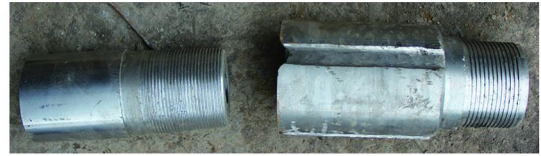


图 9 倒扣接头和尾管头

(1)用  $\text{Ø}100$  mm 取心钻具通孔到底,大排量循环,提钻;

(2) $\text{Ø}89$  mm 尾管下至 1404.53 m(尾管串: $\text{Ø}60$  mm 外丝钻杆+倒扣接头+尾管头 $\times 0.10$  m+变丝接头 $\times 0.175$  m+ $\text{Ø}89$  mm 套管 48 根 $\times 243.497$  m+浮鞋 $\times 0.27$  m),循环;

(3)人工搅拌水泥浆(42.5 普通硅酸盐水泥 1.8 t,水灰比 0.5、密度  $1.82$  g/cm<sup>3</sup>);

(4)注前置液(清水) $0.5$  m<sup>3</sup>;

(5)注水泥浆  $1.5$  m<sup>3</sup>;

(6)注后置液(清水) $0.2$  m<sup>3</sup>;

(7)采用等体积顶替法,用 BW300/12 型泵注入钻井液  $1.95$  m<sup>3</sup> 顶替水泥浆;

(8)替浆结束,将尾管坐放到位,上提至中和点,立轴正转,成功倒开扣,起钻候凝。

### 4 WFS-2 孔 $\text{Ø}73$ mm 尾管(筛管)完井技术

$\text{Ø}77$  mm 口径取心钻进完毕,先综合测井和测温,然后下  $\text{Ø}73$  mm 尾管(筛管)完井。

#### 4.1 尾管(筛管)准备

完井  $\text{Ø}73$  mm 尾管采用筛管结构(不固井)封闭下部裸眼,为长期监测提供通道。

尾管(筛管)串主要由倒扣接头、尾管头、套管、筛管、中接头、尾管引鞋等组成。

(1)尾管(筛管)采用  $\text{Ø}73$  mm $\times 4$  mm 的 R780 地质管材,两头加工特 T69 $\times 67.5 \times 4$  母扣,每 50 mm 长钻 2 个  $\text{Ø}10$  mm 的眼,由中接头(内径 63 mm)连接;

(2)尾管引鞋采用中接头去一头公扣加工成(内径 63 mm);

(3)倒扣接头上部和  $\text{Ø}50$  mm 外丝钻杆连接,下部反扣和尾管头连接;尾管头上部反扣和倒扣接头连接,有喇叭口(倒角),下部和尾管连接,尾管头外径  $\text{Ø}76$  mm 起扶正在上层  $\text{Ø}89$  mm 尾管内的作用,外表面开有水槽。

#### 4.2 完井施工过程

(1)用  $\text{Ø}77$  mm 取心钻具通孔到底,循环,提钻;

(2) $\text{Ø}73$  mm 尾管(筛管)下至 1502.30 m(尾管

串:Ø60 mm 外丝钻杆 + 接头 + Ø50 mm 外丝钻杆 + 倒扣接头 + 尾管头 × 0.14 m + Ø73 mm 套管 3 根 × 14.88 m + Ø73 mm 筛管 18 根 × 89.25 m + 尾管引鞋 × 0.08 m);

(3) 上提至中和点,立轴正转,倒扣未成功;等待 5 h 后,立轴正转,成功倒开扣,提钻;

(4) 用 Ø60 mm 外丝钻杆 + 接头 + Ø50 mm 外丝钻杆 + Ø50 mm 外平钻杆的钻具组合下钻至 1142.00、1187.73 和 1502.30 m 处,分别用 pH 值 11 的清水替换孔内泥浆,替换完毕提钻。

## 5 结语

(1) 尾管固井可减少固井作业的套管和水泥等材料的用量,可明显节省固井施工时间和成本。

(2) 针对 WFS D - 2 孔四开孔段 (1349.50 ~ 1859.78 m) 钻探施工的复杂地层条件,研发了适合于破碎地层和小套管间隙的 Ø139.7 mm 无接箍尾管管柱和施工工艺。采用自行设计、加工的倒扣接头、尾管头、无接箍套管、浮箍、浮鞋等工具,运用通井(扫孔)一下尾管—开泵循环(分段)—注前置液—注水泥浆—注后置液—替浆—倒扣丢手—循环—提钻的下尾管固井工艺,一次圆满完成了小间隙(5.15 mm)无接箍 Ø139.7 mm 尾管固井作业,保证了后续 Ø122 mm 口径的取心钻进,满足了地学研

究对岩心直径的要求。

(3) 自制 Ø139.7 mm 无接箍套管及尾管附件的研制成功、小间隙下套管及固井的成功实施为 WFS D 项目下 Ø89 mm 尾管、Ø73 mm 筛管、Ø108 mm 筛管提供了宝贵的经验,为类似项目提供了可供参考的经验。

(4) WFS D 项目 4 次下尾管作业(2 次固井、2 次不需要固井)、1 次下飞管作业均获得了成功,但自制小直径尾管倒扣接头的反扣螺纹有待进一步优化,特别是尾管柱质量轻、需要固井时须慎重设计反扣螺纹,保证成功倒扣丢手。

## 参考文献:

- [1] 王照明. 自制尾管固井工具解决边远地区固井[J]. 钻采工艺, 1994, 17(3).
- [2] 张晓延, 赵让乾, 等. 简易尾管固井技术在地热井中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(12).
- [3] 贾军, 樊腊生, 等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFS D - 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).
- [4] 王达, 张伟, 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.
- [5] 林强, 郑力会, 等. 高温高压小井眼尾管固井技术应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(11).
- [6] 史交齐, 高连新, 等. 论无接箍式套管的性能、评价及应用[J]. 石油钻采工艺, 1998, 20(5).

(上接第 31 页)

表 5 WFS D - 2、WFS D - 3 孔取心钻头技术指标

孔号	钻头类型	回次数	进尺/m	岩心长度/m	岩心采取率/%	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	回次进尺/m
WFS D - 2	金刚石	452	1371.93	1253.69	91.38	2105.00	0.65	3.04
	PDC	141	260.42	226.88	87.12	396.17	0.66	1.85
	尖齿 PDC	71	234.49	220.70	94.12	315.83	0.74	3.30
	硬质合金	26	38.89	34.65	89.10	63.58	0.61	1.50
	小计	690	1905.73	1735.92	91.09	2880.58	0.66	2.76
WFS D - 3	金刚石	598	1214.59	1125.92	92.70	1582.93	0.77	2.03
	PDC	180	316.24	292.50	92.49	475.93	0.66	1.76
	硬质合金	9	14.99	11.80	78.75	23.00	0.65	1.67
	小计	787	1545.82	1430.22	92.52	2081.87	0.74	1.96
总计		1477	3451.55	3166.14	91.73	4962.45	0.70	2.34

(2) 尖齿 PDC 小钻压取心钻进技术在大口径坚硬、致密泥页岩、粉砂岩地层中,能较大的提高机械钻速;

(3) WFS D - 2 孔转盘 + 螺杆马达复合回转钻进、螺杆马达 + 液动锤复合回转冲击钻进的成功运用,不仅在深孔大口径取心钻进中获得了比转盘单回转钻进高的钻进效率,还能维护破碎地层的孔壁稳定;

(4) 半合管无损出心技术是在松散、破碎地层

中保持岩心原状性的有效技术手段。

## 参考文献:

- [1] 张伟, 贾军, 等. 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).
- [2] 王稳石, 朱永宜. 科学钻探复杂地层取心钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(S1).
- [3] 朱永宜, 王稳石. 松科一井(主井)取心钻进工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(9).
- [4] 朱永宜. KZ 型单动双管取心钻具的研制与应用[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(3).