

# 相山地区河元背深钻 CUSD2 孔钻探技术

李生海<sup>1,2</sup>, 段志强<sup>1</sup>, 韩园园<sup>1</sup>, 刘晓阳<sup>3</sup>, 李军委<sup>4</sup>, 王琦<sup>1</sup>, 王强<sup>1</sup>

(1. 核工业二七〇研究所, 江西南昌 330200; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北武汉 430074; 3. 核工业北京地质研究院, 北京 100029; 4. 核工业二〇八大队, 内蒙古包头 014000)

**摘要:**相山地区河元背深钻 CUSD2 孔设计直孔孔深 1800 m, 于 2014 年 11 月 28 日开钻, 至 2015 年 3 月 26 日钻进孔深 1535.02 m, 达到地质目的层位, 顺利终孔, 历时 119 天。该工程选用国内首台 XY-8DB 型电传动立轴式岩心钻机, 成功施工 P 口径(Ø122 mm)绳索取心钻进至 1535.02 m。主要介绍了该孔的钻探施工技术。

**关键词:**深部钻探; 钻探技术; 电传动立轴钻机; 绳索取心

中图分类号: P634 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2015)10-0006-05

**Drilling Technology of Heyuanbei Deep Drilling Hole CUSD2 in Xiangshan Area**/LI Sheng-hai<sup>1,2</sup>, DUAN Zhi-qiang<sup>1</sup>, HAN Yuan-yuan<sup>1</sup>, LIU Xiao-yang<sup>3</sup>, LI Jun-wei<sup>4</sup>, WANG Qi<sup>1</sup>, WANG Qiang<sup>1</sup> (1. Research Institute No. 270, CNNC, Nanchang Jiangxi 330200, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 3. CNNC Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China; 4. Geologic Party No. 208, CNNC, Baotou Inner Mongolia 014000, China)

**Abstract:** The vertical depth of Heyuanbei deep drilling hole CUSD2 in xiangshan area was designed for 1800m and it spent 119 days (the drilling started on November 28, 2014 to March 26, 2015) to have the drilling depth of 1535.02m, reaching the geological target horizon. The first domestic XY-8DB electric drive spindle coring rig was chosen for this project construction, with P size (122mm in diameter) core drilling to 1535.02m. The paper introduces the drilling construction technology for this borehole.

**Key words:** deep drilling hole; drilling construction technology; electric drive spindle coring rig; wire-line core drilling

## 1 工程概况

### 1.1 项目来源

相山地区河元背深钻 CUSD2 孔是“江西相山铀矿田河元背勘查区深部钻探项目”中施工的第一个钻孔。项目承研单位为核工业北京地质研究院, 钻探施工单位为核工业二七〇研究所。

河元背深钻 CUSD2 孔钻探的目的是在前人工作和高精度物化探测量的基础上, 通过直接的深部钻探岩心取样, 研究相山铀矿田深部铀多金属成矿元素迁移富集机制、深部控矿因素和成矿环境、不同岩体的成因及演化规律、标定物化探测量成果等, 揭露该地区铀多金属深部矿化特征, 从而提升相山矿田的经济效益, 形成热液型铀矿田勘查和开采的示范作用。

河元背深钻 CUSD2 孔设计直孔孔深 1800 m, 于 2014 年 11 月 28 日开钻, 2015 年 3 月 26 日终孔, 孔深 1535.02 m, 达到地质科研目的层位, 终孔孔径 122 mm。经专家组验收, 钻孔质量完全符合地质科

研要求。

### 1.2 地理位置

河元背深钻 CUSD2 孔场址位于我国最大火山岩型铀矿田—相山矿田的西部, 位于江西省抚州市乐安县北部, 行政区划属于乐安县湖溪乡管辖, 距离乐安县城约 20 km, 距离与浙赣线相连的向乐铁路终点江边村约 15 km。

### 1.3 河元背深钻 CUSD2 孔主要钻遇地层

0 ~ 33.64 m 第四系覆盖层。主要为土壤及残积、坡积、冲积、淤积的粘土和砂砾。

33.64 ~ 740.85 m 碎斑熔岩。灰黑色, 岩石具斑状结构, 基质为玻基结构, 块状构造。斑晶以石英、长石为主。可钻性达到 8 ~ 10 级。

740.85 ~ 1255.87 m 流纹英安岩。紫红色, 岩石呈斑状结构, 基质为微晶结构, 块状构造。可钻性达到 8 级。

1255.87 ~ 1535.02 m 黑云母石英片岩。灰黑

收稿日期: 2015-05-25; 修回日期: 2015-09-10

基金项目: 中核集团龙灿工程“相山基础地质研究”(编号: LCD116)

作者简介: 李生海, 男, 汉族, 1985 年生, 副经理, 工程师, 中国地质大学(武汉)在读硕士研究生, 地质工程专业, 从事钻探技术和生产管理工作, 江西省南昌市莲西路 508 号, 66425120@qq.com。

色,岩石主要由石英、长石、黑云母等矿物组成,片状构造。可钻性达到8级。

#### 1.4 钻探技术要求

该钻探工程为铀矿地质科研钻探,具体施工要求如下。

(1)钻进方法:金刚石绳索取心钻进,全孔取心。

(2)孔径:终孔孔径 $\leq 75$  mm。特殊情况下,终孔孔径 $\leq 60$  mm。

(3)岩心采取率:即全孔平均取心率为90%以上(不含构造破碎带),构造破碎带为65%以上。

(4)孔斜:钻孔终孔顶角 $\geq 15^\circ$ 。

(5)孔深校正:每钻进100 m进行一次孔深校正,见矿、见标志层(目的层)、遇换径处、岩性变换带、断裂通过地段、处理重大事故后或终孔时必须立即校正孔深,每次孔深误差 $\geq 0.5$  m/100 m,及时消除并记录清楚。

(6)原始记录:各种原始记录要准确、详细、整洁,必须按回次及时填写报表及岩心牌。原始记录包括钻孔情况登记表、钻探班报表、孔深校正表、钻进过程中水位观测记录表等按提供格式填写。

(7)简易水文地质观测:必须按钻孔地质设计要求进行施工,钻进过程中如遇涌水、漏水等现象,必须记录在班报表上,并及时通知水文地质人员观测。

(8)封孔:钻孔完工后,按照《封孔通知书》的要求封孔。

(9)测井:施工机台要及时测井、配合取样和现场科研工作,测井前必须用清洁冲洗液冲孔达到测井的规范要求。

## 2 钻进难点与技术措施

### 2.1 钻进难点

相山地区钻进中出现的施工难点主要如下。

(1)钻进时效低。碎斑熔岩中石英、长石含量高,岩石表现为坚硬致密弱研磨性特征,钻进时钻头工作层中的金刚石极易被磨,金刚石不能自磨出刃。

(2)岩心采取率低。构造破碎带的岩心破碎严重,进入岩心管后会充满岩心管的全部横断面,岩心与岩心管之间没有间隙,继续钻进时,岩心被挤压得越来越实,导致岩心堵塞。

(3)钻孔易跑斜。黑云母石英片岩片理产状陡,属于强造斜地层。在钻进时钻孔易弯曲,出现顶

角上漂现象。

### 2.2 技术措施

针对以上几个施工问题,我们采取以下技术措施。

(1)使用同心圆尖环齿金刚石钻头。该钻头在唇面结构设计上减少了与岩石的接触面积,增大了单位面积比压,有利于齿尖刻入岩石,使岩石表面产生微裂缝,起到提高钻进效率的作用。

(2)选用PQ阀式双作用液动冲击器。液动冲击器加在绳索取心钻具上增加了轴向冲击作用,可减少构造破碎带的岩心堵卡,避免了堵塞造成的岩心磨损,提高破碎带岩心采取率;同时使得钻压有效地作用在钻头上,使金刚石回转过程中产生了微冲击体积碎岩作用,增加了金刚石在同样钻压情况下的压入深度,提高碎岩量,从而提高钻进时效;液动冲击器在孔底提供一定频率的振动冲击作用,可以有效降低钻压,从而减小由钻柱弯曲引起的孔斜,同时,在冲击和回转力的联合作用下,孔底岩石以体积破碎为主,可以减小由于地层不均产生的偏心力矩所造成的孔斜,提高钻孔质量。

(3)使用S114绳索取心钻杆。钻杆直径较大,钻杆壁厚6.35 mm,钻杆总体刚度大,是H、N口径无法比的,对钻孔防斜起到显著效果。

(4)选用无固相冲洗液。无固相冲洗液性能除能满足现场施工工艺要求外,还可以起到提高钻进效率的作用。

(5)采用恒扭矩钻进方法。合理地匹配钻进工艺参数,严格操作技术,防止钻进过程频繁更改工艺参数,从而保证进尺速度平稳。

## 3 钻探设备

河元背深钻CUSD2孔选用的成套设备为国内第一台XY-8DB型交流变频电驱动立轴岩心钻机,是由中国地质装备集团有限公司和张家口中地装备探矿工程机械有限公司共同研发,是以XY-8机械立轴式岩心钻机为基本型,集成模块化的交流变频电驱动单元及数据采集单元,采用PLC与现场总线进行电气系统配置,采用智能化司钻房进行远程操控的新型深孔岩心钻探成套装备,满足3000 m S75(NQ)深孔取心勘探需求。河元背深钻CUSD2孔施工现场如图1所示。



图1 河元背深钻 CUSD2 孔施工现场

XY-8DB型成套设备主要包含6个部分:SG24型四脚管塔、XY-8DB型钻机、远程司钻房、变频装置电控房、BW300/16A型变频泥浆泵、SQ114/8型液压动力钳等。XY-8DB型钻机性能参数见表1。

表1 XY-8DB型钻机主要参数

项目	规格	参数	备注
钻进深度	75 mm(NQ)	3200 m	
	95 mm(HQ)	2500 m	
	114 mm(PQ)	2000 m	
提升系统	功率	90 kW-10级电机	变频电机(50 Hz)
	钢丝绳径	20 mm	
	单绳拉力	100 kN	
	游车绳系	3×4	
	钻塔承载	680 kN	
	钻塔高度	24 m	
	盘刹力矩	20000 N·m	
回转系统	功率	75 kW-10级电机	变频电机(50 Hz)
	最大扭矩	7870 N·m	
	最高转速	900 r/min	
打捞系统	最高绳速	250 m/min	
	最大拉力	25000 N	
	卷筒直径	450 mm	
	卷筒宽度	1000 mm	
液压系统	功率	7.5 kW-伺服电机	
	最高压力	14 MPa	
	功率	30 kW	变频电机(50 Hz)
	最大压力	16 MPa	
循环系统	最大流量	300 L/min	
	进水管径	76 mm	
	排水管径	51 mm	
	缸径	80 mm	

## 4 钻进工艺

### 4.1 钻孔结构

根据地质设计要求,终孔口径应 $\leq 75$  mm,综合

施工质量及设备管材情况,确定设计终孔口径为96 mm, $\phi 75$  mm口径作为备用口径。

在实际施工过程中,根据设备施工能力、岩层情况、孔内复杂程度等情况,对钻孔结构进行了调整。实际钻孔结构为 $\phi 150$  mm施工至42.18 m,下入 $\phi 146$  mm套管,然后 $\phi 122$  mm金刚石绳索取心钻进至终孔深度1535.02 m。

设计钻孔结构与实际钻孔结构对比见图2。

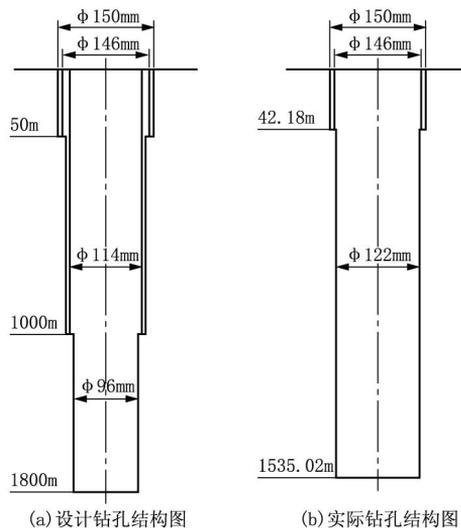


图2 设计钻孔结构与实际施工钻孔结构示意图

## 4.2 钻进方法

### 4.2.1 0~42.18 m孔段

采用金刚石单管钻进,钻具组合:主动钻杆+S114绳索取心钻杆+ $\phi 146$  mm单管钻具+ $\phi 150$  mm金刚石单管钻头。

### 4.2.2 42.18~127.86 m孔段

采用金刚石绳索取心钻进,钻具组合:主动钻杆+S114绳索取心钻杆+S114绳索取心钻具+ $\phi 122$  mm金刚石钻头。

### 4.2.3 127.86~1535.02 m孔段

采用金刚石绳索取心冲击回转钻进,钻具组合:主动钻杆+S114绳索取心钻杆+PQ液动冲击器+S114绳索取心钻具+ $\phi 122$  mm金刚石钻头。

## 4.3 金刚石钻头的选用

P口径( $\phi 122$  mm)金刚石绳索取心钻进深度1492.84 m,共使用 $\phi 122$  mm绳索取心钻头13个,其中包括同心圆三环槽型4个,同心圆四环槽型5个,主副水口型2个,高低齿型2个。河元背深钻CUSD2孔 $\phi 122$  mm金刚石钻头唇面结构见图3。

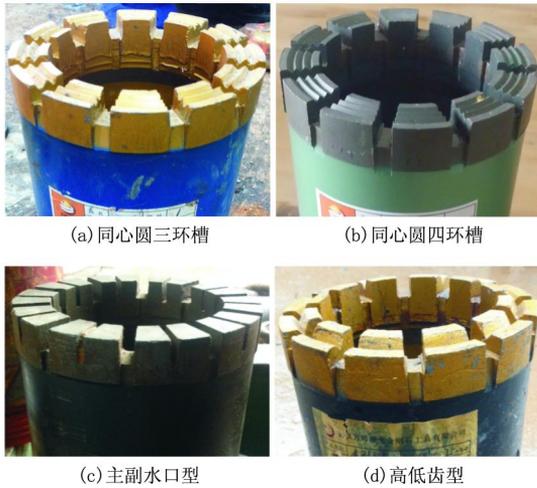


图 3 河元背深钻 CUSD2 孔  $\varnothing 122$  mm 金刚石钻头唇面结构

其中平均钻进时效为 1.65 m/h, 钻头平均使用寿命 114.83 m, 更换钻头最大孔深间隔 208.53 m (同心圆四环槽、HRC20—25), 更换钻头时间最大间隔 244 h。同心圆四环槽钻头在冲击回转工况下, 平均钻进时效达到 1.89 m。河元背深钻 CUSD2 孔不同类型  $\varnothing 122$  mm 金刚石钻头使用情况见图 4。

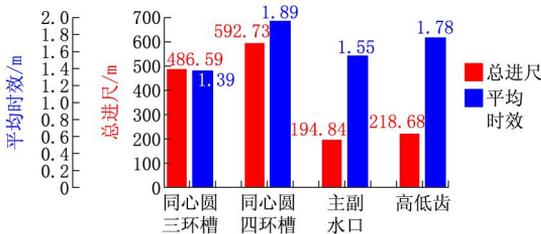


图 4 河元背深钻 CUSD2 孔不同类型  $\varnothing 122$  mm 金刚石钻头使用情况

#### 4.4 PQ 阀式双作用液动冲击器的使用

从 127.86 m 开始采用液动冲击器 + 金刚石绳索取心钻进, 总进尺 1407.16 m。液动冲击器共投入孔内 491 次, 正常工作 485 次, 非正常工作 6 次。在 42.18 ~ 127.86 m 孔段未用液动冲击器, 平均钻进时效为 0.78 m/h; 在 127.86 ~ 440.85 m 孔段使用液动冲击器后平均钻进时效达到 1.29 m, 提高了 65%; 在 1255.87 ~ 1535.02 m 孔段的黑云母石英片岩强造斜地层, 采用冲击回转绳索取心钻进, 顶角变化  $\leq 1^\circ/100$  m; 在钻进破碎地层时岩心采取率达到 99%。使用液动冲击器在构造破碎带采取的岩心见图 5。

#### 4.5 恒扭矩钻进方法

钻进参数的匹配是以钻进时回转扭矩为基准, 根据钻进深度、岩层变化、钻头类型进行调整, 严格



图 5 使用液动冲击器在构造破碎带采取的岩心照片

控制回转扭矩在一定范围变化, 保证钻进稳定, 实际钻进参数见表 2。

表 2 河元背深钻 CUSD2 孔实际钻进参数

孔段/m	钻进参数				
	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	钻压/kN	泵量/(L·min <sup>-1</sup> )	泵压/MPa	扭矩/(N·m)
0 ~ 42.18	100 ~ 110	2 ~ 10	150	0 ~ 1.0	100 ~ 400
42.18 ~ 145.83	288	25 ~ 30	110 ~ 120	1.0 ~ 2.0	300 ~ 400
145.83 ~ 268.89	400	30 ~ 42	100 ~ 110	1.5 ~ 3.0	360 ~ 500
268.89 ~ 348.43	350	35 ~ 40	110 ~ 120	2.0 ~ 3.0	400 ~ 550
348.83 ~ 514.55	320	40 ~ 35	110 ~ 120	2.0 ~ 3.5	450 ~ 700
514.55 ~ 1104.60	300	40 ~ 23	110 ~ 120	3.0 ~ 4.5	500 ~ 1100
1104.60 ~ 1402.95	280 ~ 240	35 ~ 20	110 ~ 120	4.0 ~ 5.5	800 ~ 1400
1402.95 ~ 1535.02	260 ~ 220	30 ~ 15	110 ~ 130	4.0 ~ 6.0	900 ~ 1500

#### 4.6 冲洗液

冲洗液是钻探工程的“血液”, 承担着冷却钻头、携带岩粉、润滑钻具、保护孔壁等功能。深部钻探的冲洗液要求具有悬浮携带岩粉能力强、润滑性能好、护壁性能好、抗温性能强、流变特性好、地表净化程度高等特点。

河元背深钻 CUSD2 孔冲洗液循环系统布置见图 6, 选用的冲洗液类型为无固相冲洗液, 配方成分主要有 4 种: 聚丙烯酰胺、HV - CMC 纤维素、改性

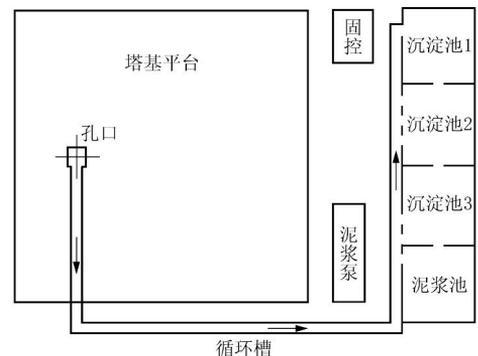


图 6 河元背深钻 CUSD2 孔冲洗液循环系统布置图

磺化沥青粉、特效润滑剂。冲洗液配方为:1 kg 清水 + 5 ~ 6 kg 聚丙烯酰胺 + 5 ~ 6 kg HV - CMC 纤维素 + 10 ~ 15 kg 改性磺化沥青粉 + 15 ~ 16 kg 特效润滑剂。其性能为:密度为 1.008 ~ 1.01 g/cm<sup>3</sup>, 粘度为 17 ~ 22 s, 失水量 7 ~ 8 mL/30 min, 含砂量 < 0.1%, pH 值 8 ~ 9, 润滑系数 0.17 ~ 0.20。

## 5 主要经济技术指标和质量指标

### 5.1 主要经济技术指标

河元背深钻 CUSD2 孔于 2014 年 11 月 28 日开钻,到 2015 年 3 月 26 日终孔,施工天数 119 天。钻孔总台时为 2848 h,其中计入台月的时间为 2800 h。其中纯钻进时间 993.70 h, 占总时间 35%; 辅助时间 430 h, 占总时间的 16%; 打捞岩心时间 630.2 h, 占总时间的 23%; 提下钻时间 152 h, 占总时间的 5%; 设备维修 60.1 h, 占总时间的 2%; 调试时间 144 h, 占总时间的 5%; 其它停钻时间(停电、放假、待料等)390 h, 占总时间的 14%。平均台月效率为 394.6 m。河元背深钻 CUSD2 孔时间分配图、月进尺和台月效率分别见图 7、图 8。

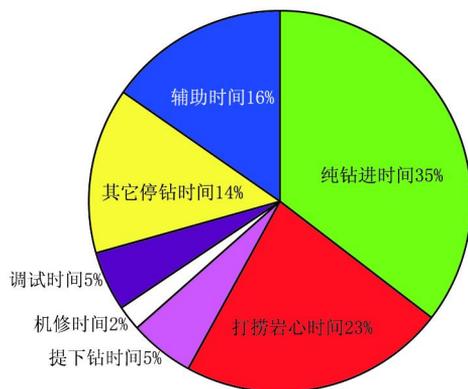


图7 河元背深钻 CUSD2 孔时间分配

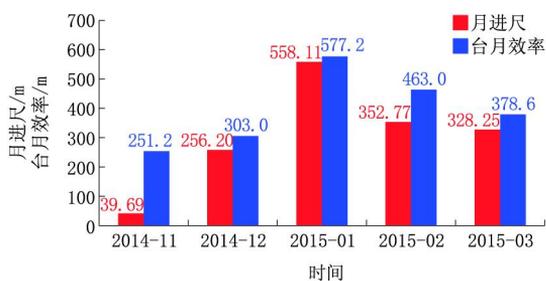


图8 河元背深钻 CUSD2 孔月进尺和台月效率

## 5.2 质量指标完成情况

### 5.2.1 岩矿心采取率

全孔岩矿心采取率平均为 97.75%。钻进取心孔段 1535.02 m, 取出岩心长度 1500.49 m。构造破碎带取心率达到 99%。达到质量指标要求。

### 5.2.2 钻孔弯曲

由测井资料得知,全孔最大顶角为 4.6°。0 ~ 1380 m, 顶角在 2° 以内; 1380 ~ 1535.02 m, 顶角逐渐增大, 最大到 2.6°, 符合质量指标要求。

### 5.2.3 孔深误差测量与校正

每次百米校正孔深误差均未超过 0.5 m, 符合质量指标要求。

### 5.2.4 简易水文观测

静水位观测, 停钻期间进行的水位观测, 开始时 1 ~ 2 h 观测一次, 逐渐延长到 4, 8 h 观测一次, 直至最后二三次测水位相同或相差在 2 cm 以内, 可认为水位已经稳定。河元背深钻 CUSD2 孔静水位为 16.5 m。根据测井资料得知, 水温情况: -26 m 为 20.21 °C, -500 m 为 32.55 °C, -1000 m 为 47.83 °C, -1535 m 为 61.23 °C。河元背深钻 CUSD2 孔平均温度梯度为 2.73 °C/100 m。

### 5.2.5 原始班报表

原始班报表、图表等资料齐全, 符合相关规范要求, 翔实、可追溯, 数据质量可靠。

### 5.2.6 封孔

严格按照地质提供的封孔设计要求进行封孔, 封孔质量达到质量要求。

## 6 结语

(1) XY-8DB 型交流变频电驱动岩心钻机在河元背深钻 CUSD2 孔的成功应用, 与普通立轴钻机相比, 具有低能耗、劳动强度低、数字化操控直观精准简便、安全防护可靠等特点, 有效提高钻进工艺的适应性, 提升符合操控和事故处理能力, 以及最大限度地避免了孔内事故和人身事故的发生。

(2) 河元背深钻 CUSD2 孔以深度 1535.02 m 顺利终孔, 创造了选用 XY-8 型岩心立轴钻机施工 P 口径 (Ø122 mm) 绳索取心钻进的最深钻孔记录。

(3) 河元背深钻 CUSD2 孔采用液动冲击器 + P 口径 (Ø122 mm) 绳索取心钻具 + 高效长寿金刚石钻头组合钻进方法, 在破碎带取心率、钻进时效、钻孔防斜方面取得了良好的应用效果。

(4) 河元背深钻 CUSD2 孔采用恒扭矩钻进方法,

(下转第 16 页)

## 5 结论

(1) 创新研制出不依赖于漏层孔隙及裂缝尺寸进行封堵的新型高效随钻封堵材料,具有适用范围广、堵漏效率高、酸溶率高及与钻井液配伍性好等优点,能够进入裂缝深部实施有效封堵,既可用于非储层堵漏又可用于储层堵漏。

(2) 针对大庆油田致密气藏地质特征及深层水平井钻井难点,以聚胺和聚醚多元醇“双聚”抑制、封堵防塌剂为核心处理剂,配合研制的新型高效随钻封堵材料,开发出一套双聚胺基钻井液体系,并通过现场试验形成了深层水平水基钻井液技术。

(3) 室内研究及现场实践表明,研发的双聚胺基钻井液体系抗温高达 180 °C,抗岩屑侵在 20% 以上,极压润滑系数始终控制在 0.12 以下,具有较强的抑制、封堵防塌能力,井眼清洁能力,润滑防卡能力和储层保护能力,达到了“两低、两好、三适当”的水平,各项性能与油基钻井液接近,可满足深层水平井现场施工作业要求。

(4) 双聚胺基钻井液体系抑制、封堵防塌效果显著,成功解决了深层水平井漏失、垮塌、携屑、润滑问题和储层保护问题,井壁稳定,井径规则,能够满

足大庆油田深层致密气藏水平井钻井需要,应用前景广阔。

## 参考文献:

- [1] 刘永贵,周英操,等. 欠平衡钻井环空岩屑对井底负压的影响[J]. 石油学报,2005,26(6):96-98.
- [2] 周英操,高德利,等. 欠平衡钻井环空多相流井底压力计算模型[J]. 石油学报,2005,26(2):96-99.
- [3] 刘永贵,王洪英. 徐深气田气体钻井破岩机理的初步研究[J]. 石油学报,2008,29(5):773-776.
- [4] 刘永贵,周英操,等. 深层多压力层系气层判断新方法[J]. 石油钻采工艺,2005,27(2):1-3.
- [5] 马勇,崔茂荣. 加重剂对水基钻井液润滑性能的影响研究[J]. 天然气工业,2005,25(10):58-60.
- [6] 徐同台,洪培云. 水平井钻井液与完井液[M]. 北京:石油工业出版社,1999.
- [7] 沈伟. 大位移井钻井液润滑性研究的现状与思考[J]. 石油勘探技术,2001,29(1):25-28.
- [8] 刘永贵,罗桂秋,等. 影响徐家围子深探井钻井速度的因素分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(7):56-58.
- [9] 潘永强,刘永贵,梁勇,等. 深层水平井有机硅聚磺钻井液研究与应用[J]. 中国石油和化工标准与质量,2012,(2):29-30.
- [10] 汪海阁,刘希圣. 水平井段钻井液携带岩屑的实验研究[J]. 石油学报,1995,16(4).
- [11] 韩来聚. 胜利低渗油田长水平段水平井钻井关键技术[J]. 石油勘探技术,2012,40(3):7-11.

## (上接第10页)

保证扭矩的变化稳定在一定范围内,这一点在深孔钻进中至关重要。在施工中,没有发生过断钻杆、脱扣事故,这一成功经验,对今后其他深部钻孔施工具有非常好的指导意义。

(5) 河元背深钻 CUSD2 孔的竣工,锻炼了我所钻探队伍深部钻探的施工能力,积累了深部钻探的施工经验,培养了作风优良、技术精湛的深钻团队,为以后其它深孔钻探施工奠定了基础。

## 参考文献:

- [1] 刘晓阳,李大昌,叶雪峰. 中国铀矿第一科学深钻施工概况[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):297-304.
- [2] 陈师逊. 中国岩金第一深钻施工情况介绍[J]. 地质装备,

2013,(6):21-25.

- [3] 朱江龙,刘跃进,等. 我国深孔钻探装备的发展与展望[J]. 地质装备 2013,(6):9-14.
- [4] 李生海. 高效长寿命孕镶金刚石阶梯钻头在再里地区的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):121-123.
- [5] 朱恒银,蔡正水,等. 赣州科学钻探 NLSD-1 孔施工技术研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):1-7.
- [6] 孙建华,陈师逊,刘秀美,等. 小直径特深孔绳索取心口径系列及钻柱方案[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):1-5,17.
- [7] 廖国平,刘国经,李胜达,等. 绳索取心冲击回转钻具组合设计及应用试验[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):31-35.
- [8] 胡郁乐,张晓西,邓柏松,等. 深部钻探绳索取心孕镶金刚石钻头的关键技术[J]. 金刚石与磨料磨具工程,2011,31(4):54-57.