

四川省宣汉县钾盐普查 ZK001 参数井钻井施工技术

蒋太平, 李果民, 丁红卫

(四川省地质矿产勘查开发局一一三地质队, 四川 泸州 646000)

摘要:以四川省宣汉县黄金口钾盐普查 ZK001 井钻探工程为背景,从井身结构、钻具组合、钻井液工艺、取心技术、井斜控制、深部抽水试验等方面,总结研究了钾盐参数井的钻井施工技术。针对施工过程中超长裸眼段钻进、井漏、长段膏盐层钻进等技术难题,通过优化钻具组合,调整钻井液性能,随钻堵漏等措施,工程得以顺利完成。

关键词:钾盐参数井; 钻井; 长裸眼; 钻井液; 固井; 深部抽水试验; 长段膏盐地层

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)07-0025-05

Drilling Construction Technology of ZK001 Parameter Well for Potassium Salt Survey in Xuanhan County of Sichuan Province/JIANG Tai-ping, LI Guo-min, DING Hong-wei (113 Geological Team of Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Luzhou Sichuan 646000, China)

Abstract: With the background of well ZK001 drilling project for potassium salt survey Xuanhan County of Sichuan Province, the drilling construction technology of potassium salt parameter well is summarized in well structure, drilling tools combination, drilling fluid technology, coring technology, well deviation control and deep pumping tests. In view of the technical difficulties such as super-long open hole drilling, hole leakage and long-section gypsum salt layer drilling in the construction process, by the countermeasures of optimizing drilling tools combination, adjusting the performance of drilling fluid and lost circulation control while drilling, the project is successfully completed.

Key words: potassium salt parameter well; drilling; long open hole; drilling fluid; well cementing; deep pumping test; long section of gypsum salt formation

1 工程概况

钾盐为四川省地质勘查基金“十二五”末及“十三五”规划中重点支持勘查矿种,在勘查规划中专门规划了宣汉黄金口钾盐评价区。ZK001 井是在该区设置的多口参数井中的一口。井位布设于四川宣汉县普光镇西北方向 2 km,交通便利。

2 地质概况

区内地层主要包括侏罗系的下沙溪庙组(J_{2xs})、新田沟组(J_{2xt})、自流井组(J_{1zl})、珍珠冲组(J_{1zh});三叠系的须家河组(T_{3xj})、雷口坡组(T_{2l})、嘉陵江组(T_{1j})。ZK001 井实际揭露地层情况见表 1。

3 钻井设计及技术要求

(1)ZK001 井,设计井深 3550.00 m,完钻口径 150.9 mm。

(2)对雷口坡组一段、嘉陵江组五段取心,取心长度 150~160 m。

表 1 ZK001 井实际揭露地层情况

地 层	底界深度/m	岩 性 描 述
侏罗系下沙溪庙组(J _{2xs})	584	粉砂岩、砂岩、长石砂岩
侏罗系新田沟组(J _{2xt})	1384	粉砂岩、细砂岩、长石砂岩、泥岩
侏罗系自流井组(J _{1zl})	1876	泥质粉砂岩、砂岩、砂质泥岩、灰岩
侏罗系珍珠冲组(J _{1zh})	2132	泥岩、砂岩、灰岩
三叠系须家河组(T _{3xj})	2552	页岩、砂岩、泥岩
三叠系雷口坡组三段(T _{2l} ³)	2728	灰岩、云岩、夹硬石膏的灰岩
三叠系雷口坡组二段(T _{2l} ²)	3004	云岩、夹硬石膏的灰岩
三叠系雷口坡组一段(T _{2l} ¹)	3165	硬石膏夹云岩及砂屑灰岩
三叠系嘉陵江组五段(T _{1j} ⁵)	>3227	硬石膏、盐岩互层,膏质灰岩

(3)全孔岩心分层采取率 < 70%,矿层不低于 80%,矿层的顶、底板采取率 < 80%,残留岩心不得超过 0.20 m。

(4)对雷口坡组三段以下至嘉陵江组五段以上井段做抽含钾卤水的抽水试验。

4 施工难点

(1)超长裸眼井段钻井液护壁及井身质量控制。

收稿日期:2018-03-12

基金项目:四川省地质勘查基金项目“四川省宣汉县黄金口钾盐普查(续作)”(编号:川国土资函[2017]107号)

作者简介:蒋太平,男,汉族,1967年生,教授级高级工程师,工程硕士,主要从事固体岩心钻探、石油天然气钻井等工作,四川省泸州市江阳南路 21 号,jtpjtp@126.com。

二次开钻后 $\Phi 215.9$ mm 口径的裸眼井段长达 2515.71 m,需针对性地选择钻井液体系,实时优化维护钻井液性能保持井壁稳定性。

(2)井漏。根据邻井资料显示在须家河组 (T_3xj)顶部裂隙发育,钻井存在很大漏失风险。

(3)长段膏盐层钻井液维护。雷口坡组长段石膏层,易造成钻井液钙侵,影响井壁稳定性。

(4)技术套管固井止水。二开井段存在多个压力窗口,固井质量难予保证。

(5)深部抽水试验,抽水深度 >3000 m。钻井结束后需进行抽卤水试验,要求在钻孔中进行一层三次三落程 ($T_2l^2 + T_2l^1 + T_1j^5$) 抽水试验,同时观测流量和水位。

5 钻探施工

5.1 钻井设备

选用了 ZJ-40 型石油钻机,施工能力满足 ZK001 井设计深度及技术要求。主要钻井及附属设备见表 2。

表 2 主要钻井及附属设备

名称	单位	数量	型号	功率/kW	载荷/kN
井架	套	1	JJ225/42-K		2250
底座	套	1	DZ225/6-K		2250
天车	台	1	TC-225		2250
游车	台	1	YG-250		2500
大钩	台	1	DG220		2200
动力机	台	3	G12V190PZL	1000	
泥浆泵	台	2	3NB-1300A	960	
钻井液循环罐	个	5	9000 mm \times 2100 mm \times 20000 mm		
固控系统	震动筛、除泥器、除砂器、离心机、真空除气器				
井控系统	FZ35-35 双闸板防喷器、环形防喷器、节流管汇、防喷管汇、远程控制系统				

5.2 井身结构

依据该区域的地质构造特点及邻井资料,ZK001 井设计三开成井,实钻井身结构如图 1 所示。

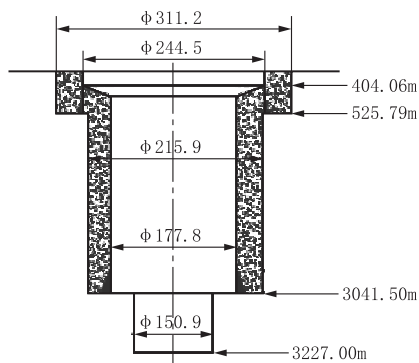


图 1 井身结构

一开使用 $\Phi 311.2$ mm 钻头开孔,钻穿下沙溪庙组,下入 $\Phi 244.5$ mm 套管 525.79 m。采用插入法固井工艺,水泥浆返至地面,封隔上部松散地层,为井口控制和后续安全钻井创造条件。

二开使用 $\Phi 215.9$ mm 钻头,钻至雷口坡组三段,下入钢级 TP95S 的 $\Phi 177.8$ mm 套管 2637.44 m。为保证固井质量达到止水目的,采用正注反挤的固井工艺,正注工序水泥浆返至 1400 m,反挤工序水泥封固 404.06 ~ 1400 m 井段。采用声幅检测,固井质量合格,达到止水要求。

三开使用 $\Phi 150.9$ mm 钻头,全面钻进至雷口坡组一段,换川 6-4 取心钻具 + $\Phi 150.9$ mm 取心钻头,钻至嘉陵江组五段 3227.00 m,裸眼完井。

5.3 钻具组合及钻井参数

根据井身结构及地层特征,全面钻进井段选取防斜塔式钻具组合,转盘采用 133.4 mm 方钻杆传动;为提高机械钻速并达到防斜、纠斜目的,二开部分井段采用螺杆 + 转盘回转配合 MWD 设备复合钻进。钻具组合见表 3。

钻进参数原则上在须家河组以上软地层钻进,

表 3 钻具组合

开次	井段/m	钻具组合	备注
一开	0~525.79	12 $\frac{1}{4}$ in PDC 钻头 + 8 in 钻铤 6 根 + 7 in 无磁 1 根 + 7 in 钻铤 12 根 + 5 in 钻杆 + 133.4 mm 方钻杆	塔式防斜
二开	525.79~2103.75	8 $\frac{1}{2}$ in PDC 钻头 + 1 $^{\circ}$ $\Phi 178$ mm 单弯螺杆 + $\Phi 212$ mm 扶正器 + 7 in 无磁钻铤 1 根 (MWD 测斜仪) + 7 in 钻铤 6 根 + 6 $\frac{1}{2}$ in 钻铤 12 根 + 5 in 钻杆 + 方保 + 下旋塞 + 方钻杆 + 上旋塞	定向复合
二开	2103.75~3041.50	8 $\frac{1}{2}$ in HJT537GK 钻头 + 7 in 无磁钻铤 1 根 + 7 in 钻铤 6 根 + 6 $\frac{1}{2}$ in 钻铤 12 根 + $\Phi 127$ mm 钻杆 + 方保 + 下旋塞 + 方钻杆	塔式防斜
三开	3041.50~3079.74	$\Phi 150.9$ mm 钻头 + 310 \times 300 双母接头 + 5 in 钻铤 9 根 + 3 $\frac{1}{2}$ in 钻杆 300 根 + 410 \times 311 变径接头 + 5 in 钻杆 + 方保接头 + 下旋塞 + 方钻杆 + 上旋塞	常规
三开	3079.74~3227.00	$\Phi 150.9$ mm 钻头 + 川 6-4 取心筒双节 + 5 in 钻铤 9 根 + 3 $\frac{1}{2}$ in 钻杆 300 根 + 410 \times 311 变径 + 5 in 钻杆 + 方保接头 + 下旋塞 + 方钻杆 + 上旋塞	取心

注:1 in=25.4 mm,下同。

采用高转速、大泵量和适合的钻压;在坚硬、强研磨性的须家河组则采用大钻压、低转速、适当泵量。各

开次钻进参数见表 4。

在裂隙发育的易漏失地层,严格控制井内压力

表 4 各开次钻进参数

开次	地 层	井段/m	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/(L·min ⁻¹)	立管压力/MPa
一开	J ₂ xs-J ₂ xt	0~525.79	50~70	65	45	1~4.5
二开	J ₂ xt-J ₁ zh	525.79~2103.75	30~60	65+螺杆	32.5	8.0~13.5
二开	J ₁ zh-T ₂ l ¹	2103.75~3041.50	100~180	60	24~32.5	8.0~9.5
三开	T ₂ l ¹	3041.50~3079.74	30~50	60	18	15~18
三开	T ₂ l ¹ -T ₁ j ⁵	3079.74~3227.00	20~50	60	12~16	9~15

平衡,起钻时采取钻杆 3 柱一回灌,钻铤 1 柱一回灌的原则,并严格控制起下钻速度,防止井内压力“激动”与抽吸作用,降低井漏与井壁坍塌的风险。

5.4 取心技术措施

(1)优选高质量钻头,加强钻具管理,组装取心钻具后,调整好内外管间隙,做到每回次检查,不同岩性钻进及时调整间隙,原则上软地层间隙取低值,硬地层间隙取高值。

(2)简化钻具结构,优化钻具组合和钻井参数,达到降低摩阻和扭矩的目的,加强活动钻具,井内钻具静止不超过 3.0 min。上下活动钻具范围在 5.0 m 以上。

(3)由于取心钻具环空间隙小,钻井液流动阻力大,严格要求司钻操作,下钻平稳,严禁猛刹、猛放,遇阻不得超过 30 kN。

(4)加强固控设备的使用和维护,严格控制有害固相,保持钻井液具有良好的流变性、护壁性能。

(5)记录各种钻井参数,尤其是扭矩和悬重,及时对比分析,从现场数据分析判断井下状况。每打完一根单根认真进行划眼修整井壁,缩短停泵时间,避免掉块卡钻事故的发生。

(6)下钻离井底 5.0 m,开泵循环清洗取心筒,确保循环无异常后投入取心筒钢球,缓慢下钻至井底,取心钻进 30~50 cm 后逐渐调整到取心的最佳参数;连续加杆取心时,静压力不超过正常取心钻压的 50%。

(7)下钻控制游车下放速度,分段顶泵、循环,由于环空间隙小,每次下钻都要分 2~3 段顶泵,防止对地层产生过大的“激动”压力,发生井漏。

(8)取心井段:3074.79~3227.00 m;取心工具为常见的川 6-4 取心筒(投弹式),取心钻具组合为:Ø150.9 mm 取心钻头+川 6-4 取心筒双节+5 in 钻铤 9 根+3½ in 钻杆 300 根+410×311 变径+5 in 钻杆。取心钻进参数为:钻压 20~50 kN,转速 60 r/min,树心钻压 10 kN,泵量 12~16 L/min。

5.5 钻井液技术

5.5.1 钻井液管理原则

(1)固相控制坚持“筛、除、淘、沉、捞、离”六字作业,最大限度地减少了有害固相的含量,为保持钻井液性能稳定打下了良好的基础。振动筛和除砂器的使用率 100%,使用离心机及时清除钻井液中的有害固相,保证钻井液密度无大的变化。

(2)在体系转换时,强化钻井液的造壁、护壁性能,对井壁的快速封堵,提高钻井液的抑制防塌性能,有效降低钻井液转换过程中及后续的钻井液钻进中因井壁失稳导致的事故。

(3)处理钻井液前坚持做小型试验,针对各种情况制定不同的处理方案,避免盲目处理。小型试验不仅可以节约钻井液材料成本,而且可以避免大幅度改变钻井液性能对井下安全造成不良影响。

(4)保证携砂能力的前提下尽量降低固相含量,既保证了高密度钻井液很好的流动性,又有力地加快了钻井速度。

(5)确保井控安全以及井壁稳定的前提下,易漏地层钻进采用近平衡钻进,降低井底与地层间压差。

(6)堵漏作业组织合理、迅速,措施得力。将堵漏钻具上提至距离漏层 50.0 m 以上打堵漏浆,使钻具避开漏层,整个堵漏过程中活动好钻具,保证钻具连续活动,避免粘卡。

5.5.2 钻井液配置及维护管理

钻井液主要以稳定井壁,平衡地层压力,携带、悬浮岩屑的原则进行配置。各开次钻井液性能见表 5。

(1)一开地层胶结松散,压实性差、易掉块、垮塌,采用低固相聚合物泥浆钻进,配置大分子胶液浓度 0.2%~0.5%,钻进中连续均匀加入,抑制地层粘土侵,防止自然造浆,控制钻井液密度上升,同时大分子胶液的补充加入,增强了钻井液的护壁性。

强化钻井液净化工作,加强机械四级净化,震动筛

表5 钻井液性能

开次	钻井液体系	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/s	失水量/[mL·(30 min ⁻¹)]	切力(终/初)/Pa	pH值	Cl ⁻ /10 ⁻⁶	含砂量/%
一开	低固相聚合物	1.05~1.07	28~30	<15	0/3	7~8		<0.8
二开	聚合物聚一磺	1.20~1.43	35~65	8~5	3/10	8~9		<0.3
三开	聚磺欠饱和盐水	1.30~1.35	38~50	<5	2/12	10~12	15万~16万	<0.2

使用率100%，除砂器、除泥器轮换使用，离心机每天使用2~3 h。同时化学净化加人工净化，大分子絮凝沉淀，每天人工清放振动筛锥形罐，确保了钻井液密度始终控制在1.05~1.08 g/cm³，粘度28~30 s，确保低密度快速钻进，防止密度上升影响机械钻速和压漏地层。

(2)二开长段裸眼，钻穿多个地层，出现地应力掉块、垮塌阻卡、井漏、气侵、长段石膏侵、长段泥岩粘土侵等，钻进过程中通过地层岩性分析及细致观察井下细小现象，有针对性地进行室内小型试验，以最低的成本投入，以最小的人力投入量完全满足各种工况的钻井液性能。二开钻井开始引入石灰粉提供钙离子，使其钻井液体系形成粗分散，能够容纳更多的劣质固相并具有良好的流变性。

(3)三开钻进目的层转换为聚磺欠饱和盐水体系，钻井液体系转换非常关键。体系转换第一循环周对钻井液进行充分护胶处理，第二循环周开始加盐，循环处理转换完后起钻更换取心钻具，取心钻进中继续加盐处理，初始控制氯离子浓度15万 ppm。长段取心钻进，环状间隙小，钻井液性能稳定、润滑性能好是关键。钻井液性能控制在：密度1.30 g/cm³；粘度44~48 s；pH值10.5。满足了小井眼取心作业要求，起下钻无阻卡现象。

5.6 井斜控制

钻具结构选用防斜、纠斜钻具组合，严格按设计要求测斜，用测斜数据指导钻井施工，确保钻井质量符合设计要求。

(1)打方钻杆时，每钻进2 m用水平尺校正方钻杆，确保开直井口。

(2)常规钻进井段每100 m测井斜1次，并且在井斜变化大和完井时加密对钻井的测斜工作；复合钻进井段采用无线随钻设备(MWD)时刻监控，发现井斜增大及时纠斜。

(3)更换钻具结构或钻头入井，以小钻压吊打钻进(设计钻压下限)，待扶正器进入新井眼后以正常钻压钻进。

ZK001井钻井施工历时126.5 d，完钻井深

3227.00 m，最大井斜80 m，井底闭合位移119.00 m，平均井径扩大率15%。录井工作中，钻时录井3227个、岩屑818件，全井累计钻井液录井474次，固井质量合格；取心11回次，平均岩心收获率93.71%。各项指标达到设计要求。

6 主要技术措施及应用

6.1 长段裸眼施工

二开井段长达2515 m，钻穿多个地层，各地层特性不尽相同。为满足多个层位钻进，钻井液采用分段处理维护。

(1)上部井段采用聚合物低密度钻井液，钻至井深1200 m，密度范围控制在1.05~1.20 g/cm³，以较低的钻井液密度保障工程上的快速钻进。

(2)钻进至1400 m自流井组段，井下掉块逐渐增多，返出粒径1~2.5 cm掉块增多，下钻到底开泵有后效现象。缓慢的分3次将钻井液密度提高至1.23~1.26~1.30 g/cm³，密度稳定在1.30 g/cm³井下恢复正常。

(3)自流井组、须家河组井段一直有轻微掉块现象，缓慢提高钻井液密度，同时加入沥青质材料对井壁进行封堵，降低虑失量，钻井液性能控制范围，密度1.43~1.44 g/cm³，粘度40~44 s，动切力6~6.8 Pa，泥饼厚度0.5 mm以内，初切3~4 Pa，终切10~11 Pa，pH值保持在9，井下掉块一直在可控范围内，起下钻畅通，接单根上提下放无阻卡现象。

6.2 井漏处理措施

钻进至须家河组四段井深2493 m，发生井漏，漏失总量22.6 m³，测得最大漏速13 m³/h。钻井液性能：密度1.44 g/cm³，粘度44 s；钻井参数：钻压130 kN，转速65 r/min，泵量25.7 L/min，泵压7.5 MPa。

井漏发生时机械钻速降低，钻时加长，地层岩性从岩屑上看泥岩逐渐过渡为砂岩，且有轻微跳钻现象，判断：(1)泥岩过渡到砂岩的接触面存在天然裂隙，发生裂缝性漏失；(2)砂岩钻开时未形成有效泥饼，发生渗透性漏失。

发现井漏后，安排专人测量钻井液量和钻井液

进出口密度、粘度,并立即将钻井液泵排量由 25.7 L/min 降低到 20 L/min,钻井液粘度从 44 s 提高至 60 s,改变钻井液流态,减小钻井液对井壁的机械冲刷以降低漏速,将钻井液密度由 1.44 g/cm^3 降低至 1.40 g/cm^3 减小液柱压力降低漏速。循环观察漏速减小,采用边钻边堵的方法堵漏。用加重泵缓慢、交替逐渐加入随钻堵漏剂 II 型 500 kg,复合堵漏剂 I 型 125 kg,云母片 125 kg。为不影响泥浆泵工况,堵漏材料控制在 1 h 加完,计算堵漏材料返出井口时间 80 min,提前关闭震动筛,使堵漏材料在井内循环充分作用。随着堵漏剂的逐渐加入漏失速度明显减小,经过 4 h 的循环堵漏处理,将泥浆泵排量由 20 L/min 恢复到 25.7 L/min 钻进正常,未发现漏失,堵漏成功。

6.3 技术套管固井止水

二开井段钻穿多个层位,且存在漏失情况,如采用常规固井方法,水泥浆外环上返时会漏失,无法返高至技术套管口,不能满足技术套管固井、止水目的。经优化固井工艺,采用正注反挤的固井方法,正注即插入式固井方法,经固井时顶替压力测算出水泥浆返高;反挤即借助封井器,从技术套管口与表层套管的环状间隙将水泥浆挤入,封固技术套管外环。经声幅监测固井质量满足设计要求。

6.4 深部抽水试验

ZK001 井抽卤水试验要求稳定流抽水,面临的困难主要是深度大(3000 m 以下),口径小($\varnothing 150.9 \text{ mm}$),抽水与水位观测同时进行。常规的电泵抽水、提桶抽水无法满足设计要求。

抽水采用油管连接试油泵,利用钻机提升系统提放抽油杆的连续抽水方式,测水位采用物探测井绞车将电缆从油管外环下入,满足边抽水边测井内水位的要求。

管式泵型号规格及参数:型号 25-225THC 型,泵体外径 57.15 mm,泵筒长度 10.4 m,柱塞长度 0.3~8.0 m,冲程长度 1.2~9.0 m,加长接箍长度 0.6~1.2 m,油管尺寸 $\varnothing 73 \text{ mm}$,抽油杆尺寸 CYB25。

两端未加厚 API 油管规格及参数:外径 73 mm,钢级 N80,壁厚 7.82 mm,段质量 12.8 kg/m,丝扣最小抗拉强度 722.6 kN,最小抗挤强度 90.83 MPa。

7 对钾盐钻井工程的几点体会

(1) 钻井液性能要有针对性,钻进各地层前要有

预见性、前瞻性,不能等井内出现问题再调配钻井液性能。钻井液以维护为主,处理为辅。钻井液处理剂都须经过充分水化后以循环周均匀加入,以“细水长流,均匀加入”的原则进行,避免钻井液性能大幅度变化而造成井下情况复杂。川东地区的长段石膏层钻进,钻遇石膏前对钻井液进行预处理:①除泥器控制钻井液内的粘土含量,适当降低钻井液内分散相间的结构力,改善泥浆流变性,辅以重晶石粉控制钻井液密度;②加入含钙离子的钻井材料,改善钻井液体系为粗分散,提高钻井液抗石膏侵能力,一般选用中钙(生石灰)为常用材料,加入总量控制到 0.25%,加入时不能一次到位,泥浆每循环一周,生石灰加量增大 1 倍,第一循环周加 1 袋(25 kg),第二循环周加 2 袋(50 kg),第三循环周加 4 袋(100 kg),依此类推;③适当提高钻井液 pH 值到 10~11,有效抑制钻井液内钙离子浓度。

(2) 该区域须家河组上部地层较完整,岩石可钻性较高,钻头使用寿命较长,建议选用螺杆+转盘的复合钻井工艺。经 ZK001 井时效分析得出,该段平均钻时为 30.41 min/m,而复合钻井工艺的平均钻时是 14.6 min/m,大大缩短了钻井周期。

参考文献:

- [1] 鄢泰宁,等.岩土钻掘工程学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [2] 熊虎林,张飞.新疆吉木萨尔县准页 4 井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(12):38-42.
- [3] 杜晓瑞,李华泰.钻井工具手册(2012 版)[M].北京:中国石化出版社,2013.
- [4] 陈广,郭少帅,王建波,等.焦页非常规页岩气井优快钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):17-21.
- [5] 范伟华,符自明,曹权,等.相国寺储气库低压易漏失井固井技术[J].断块油气田,2014,21(5):675-677.
- [6] 陈星星.涪陵页岩气田防漏堵漏技术应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):11-14.
- [7] 寿高松,王汉杰,焦页 60-1HF 井钻井液关键技术应用与探索[J].化工管理,2015,(11):172.
- [8] 高德利.易斜地层防斜打快钻井理论与技术探讨[J].石油钻探技术,2005,33(5):19-22.
- [9] 武汉地质学院,等.钻探工艺学(中册)[M].北京:地质出版社,1981.
- [10] 王勇军,赵长亮,郑宇轩,等.牛热四井膏泥岩钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):33-34.
- [11] 宋继伟,李勇.贵州省页岩气调查井施工工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):26-30.
- [12] 张家军,雷艳.水文地质深孔抽水试验工艺技术探索[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):40-45.
- [13] 张慧,于承朋,夏广强,等.银参 4 井钻井设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):33-37,41.
- [14] 俞宪生.彰武工区快速钻井工艺技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):29-32.