

贵州雷山县 CK1 地热勘探井施工技术

赵 岩, 仲玉芳

(河北省煤田地质局第二地质队, 河北 邢台 054001)

摘 要:通过对贵州省雷山县 CK1 地热井的特点及施工难点的研究, 提出了地热井的钻进及完井工序的要求及改进, 并针对现地勘单位地热资源开发的实际情况进行了总结和分析, 找出了存在的问题及解决的办法。总结了地热田的开发经验。

关键词:地热井; 勘探; 钻井

中图分类号: P634.5; TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 1627-7428(2014)10-0032-04

Construction Technology Applied in CK1 Geothermal Exploration Well in Leishan of Guizhou/ZHAO Yan, ZHONG Yu-fang (The Second Geological Team of Hebei Provincial Bureau of Coalfield Geology, Xingtai Hebei 054001, China)

Abstract: Based on the study on the characteristics of CK1 geothermal well in Guizhou and the construction process, the requirements and improvement are put forward in drilling and completion processes of geothermal well. The summarization and the analysis are made on the actual situation of geothermal resources exploitation by present geological exploration units, the existing problems and solutions are found, which provide the experience for geothermal field exploitation.

Key words: geothermal well; exploration; drilling

地热作为一种清洁能源, 已成为医疗保健、旅游、休闲娱乐及温泉种植养殖等产业发展的重要载体, 对促进区域经济发展具有十分巨大的拉动作用。贵州省雷山县某公司特委托我队实施地热勘探井的施工任务。通过该井基本查明勘查区热储单元结构及地质特征, 评价地热资源求取相关参数。

1 地层特点与钻井难点

1.1 地层特点

区内热矿水的形成条件受区域构造的控制, 主要受控于北东向多期复活断裂(西江正断层带), 西江正断层是勘查区内地热流体的导热、导水通道。如图 1 所示, 该断层走向北东, 倾向北西, 倾角 $45^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 。地层断距一般在 2000 m, 最大者可达 5000 m。断层北西盘以硅化、小挠曲、羽毛状裂隙等为特征; 南东盘以千枚化、劈理发育和具拖拉褶曲为特征。断层两盘角砾岩、破碎带极为发育; 区域上沿断裂带上升泉发育。该断层形成于雪峰期, 加里东期有剧烈活动, 喜马拉雅期也有活动, 系多次活动断层。该断裂受晚近期构造运动影响, 具有差异性, 继承性, 断距、断裂深大的特点为区域沟通深部上地幔热源, 地下水向下深部渗流提供了良好通道。

1.2 地层特点及井身结构

根据地质剖面图(见图 1)结合该区物探报告,

该井地质特点及井身结构如表 1 所示。

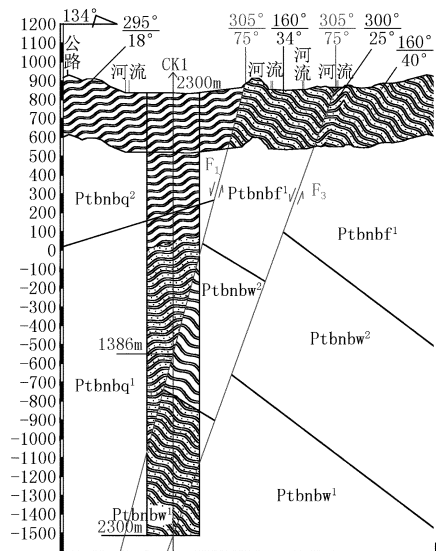


图 1 贵州省雷山县丹江镇陶尧地热水资源勘查地质剖面图

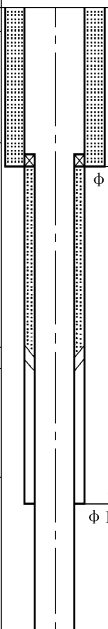
1.3 钻井难点及对策

由于该区域以西江断裂(F1)为区内主干构造, 力学性质上具扭压性特征, 倾角高陡, 地面实测倾角较大, 一般在 $45^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。在倾斜的层状地层中钻进时, 地层倾角越大, 成层性越强。钻头在破碎呈倾斜的层状岩石时, 由于两侧破碎的不均衡产生的增斜力, 迫使钻头改变方向, 造成孔斜。本孔采用满眼钻具的防斜。保证下部钻铤有尽可能大的刚度,

收稿日期: 2014-03-28; 修回日期: 2014-06-24

作者简介: 赵岩(1984-), 男(汉族), 河北邢台人, 河北省煤田地质局第二地质队钻探工程师, 勘查技术与工程专业, 从事钻探技术与泥浆管理工作, 河北省邢台市桥东区北康庄, 18003396345@126.com。

表 1 地层特点及井身结构

岩层	代号	底界深度/m	地 层 岩 性	井身结构	下套管依据
第四系	Q	5	粘土为主,可能有卵石层		泵室段使用 Ø244.5 mm 套管封固上部地层,加固井口
清水江组二段	Ptbnbq ²	510	岩性为灰、深灰色薄层至中厚层变余凝灰岩为主,夹少量变余砂岩及凝灰质板岩		
清水江组一段	Ptbnbq ¹	1380	岩性为灰、深灰色凝灰质板岩、绢云母板岩、变余细粒砂岩,夹少量变砾岩		Ø177.8 mm 套管下至乌叶组一段顶部,封固断层带及上部地层,为打开下一目的层做好准备。本段套管使用实管与滤水管结合形式组成,孟式止水器下深 1350 m 水泥浆封固孟式止水器以上 780 m 环空。封固环空较长,孟式止水器间添加水泥伞 2 个,间隔≥5 m,防止水泥浆下沉,使得水泥浆能在套管与井壁间的环状间隙可上返到指定位置
断层		1400	断层角砾岩		
乌叶组二段	Ptbnbw ²	1606	岩性为灰黑至黑色薄层含炭质绢云母板岩或千枚岩,有时夹变余砂岩、粉砂质板岩,受断层影响,岩体可能较破碎		封固目的层(备用,视地层稳定情况决定是否下入 Ø127 mm 套管)
乌叶组一段	Ptbnbw ¹	2300	岩性以浅灰色厚层至块状变余砂岩及石英岩为主,夹粉砂岩千枚岩,有 F3 断层穿过,受断层影响,岩体可能较破碎		

稳定器与井眼之间的间隙尽可能小。满眼钻具能承受较大钻压,因而能获得较高的机械钻速。

开孔使用纤维素(CMC)控制滤失量,并提高钻井液粘度,达到净化孔底悬浮钻屑的能力。CMC 抗温 120 ℃,抗温性较差,随孔深的增加而加速老化,影响本孔安全钻进。本孔中后期施工使用抗温性能较优的“大钾”(KPAM),抗温可达 160 ℃,作包被剂;铵盐(NH₄HPAN)抗温可达 150 ℃,调整滤失量,来满足本孔深井段的施工。

本井施工裸眼井段较长,钻孔较深,起下钻摩阻大。二开后增添使用改性沥青粉(KAHM),堵塞和覆盖微裂缝,形成较坚韧的泥皮,改善孔壁稳定性;还可起到润滑钻具降低摩阻的作用。

二开后钻具分阶段使用耐磨胶套,减轻钻具对表层套管的“鞭击和研磨”作用。避免钻柱与套管长期磨损而破裂。

2 钻井设备及参数优配

2.1 钻井设备

主要施工设备如表 2 所示。

表 2 主要设备

序号	名称	型号	规格	数量
1	钻机	TSJ-3000/445	3000 m	1 台
2	井架	A27-90	27 m	1 套
3	循环系统 钻井泵	QZ3NB-350	3NB-350	1 台
4	动力系统 电动机 1 号	Y355M2-6	250 kW	1 台
	电动机 2 号	Y280M-4	110 kW	2 台
5	发电机组 发电机		200 kW	1 台

2.2 钻头选型(见表 3)

表 3 钻头选型

井段/m	钻头直径/mm	钻头型号	甄 选 说 明
0~600	311.2	HA537G	滑动轴承橡胶密封,可承受较高钻压,孔深较浅时使用性价比比较高
600~1700	215.9	HJT537G	滑动轴承金属密封,除可承受较高钻压外,较橡胶密封类钻头使用寿命长 35%,钻孔较深时使用可增加钻进时间
1700~2300	152	HJT617G	由于深孔岩石研磨性增加而调高钻头的抗研磨级别

2.3 参数优配(见表 4)

表 4 参数优配

井眼直径/mm	钻具组合	易斜地区钻进参数			平缓不易斜地区钻进参数		
		钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/(L·s ⁻¹)	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/(L·s ⁻¹)
311.2	塔式钻具	50~80	43~63	20~24	80~200	43~93	20~24
215.9	满眼钻具	80~140	63	18~20	140~180	63	18~20
	光钻铤	80~120	63~93	18~20	140~180	63	18~20
152	光钻铤	50~60	63	13~16	50~70	63	13~16

2.4 钻具组合优化依据

牙轮钻头适用性较强。其牙齿与井底的接触面积小,比钻压高、工作扭矩小、工作刃总长较大,因此牙轮钻头可适用于多种性质的岩石。但我们地勘行业施工地热井时虽然也使用牙轮钻头,但使用效果较差。这与我们钻具组合不合理有很大关系。使用的钻铤少,所给到钻头的压力较小,钻头比钻压很小,达不到额定的比钻压值,降低了钻头进尺能力。应根据钻头及设定的最大钻压,得出钻铤的中和点距钻头的距离,结合设备的提升范围,确定钻铤数量,达到合适的比钻压值,以提高牙轮钻头的使用效果。满眼钻进才可以发挥效果,以快保满,以满保直。钻进中采用强化措施,不仅使钻进速度快,且井径规则,才能打直井。

各次开钻,由设计牙轮钻头(3A)最大钻压计算钻铤长度。

$$\varnothing 311.2 \text{ mm } 3A \quad W_M = 200 \text{ kN}$$

$$\varnothing 215.9 \text{ mm } 3A \quad W_M = 180 \text{ kN}$$

$$\varnothing 152 \text{ mm } 3A \quad W_M = 70 \text{ kN}$$

由零轴向应力截面确定:

$$L_z = \frac{P_B + 0.981 H A_P \rho_m}{q_c - 0.981 \rho_m (A_c - A_P)}$$

式中: L_z ——零轴向应力截面距钻头距离,m; P_B ——设计最大钻压,N; H ——井深,m; A_P ——钻杆横截面积, cm^2 ; ρ_m ——钻井液密度, g/cm^3 ; q_c ——单位长度钻铤在空气中的重力, N/m ; A_c ——钻铤横截面积, cm^2 。

(1) 一开:($\varnothing 241 \text{ mm DC}$, 内径 76.2 mm , $q_c = 3230 \text{ N}/\text{m}$)。

$$L_z = \frac{200000 + 0.981 \times 600 \times 1.15 \times 23.36}{3230 - 0.981 \times 1.15 (411.5 - 23.36)} = 75.34 \text{ m}$$

$$L_{z\text{实}} = 75.34 + 24 = 99.34 \text{ m}$$

为防止送钻不均,零轴向应力截面落在钻杆上,应在计算的基础上添加一个安全系数,取 24 m ,来确定钻铤的长度。下同。

钻铤实际长度 112.8 m 满足要求。钻具全重 37.426 t ($\text{DC } 28.171 \text{ t}$, 悬重 31.9 t) 在设备提升(钻柱质量 $_{\max} = 57 \text{ t}$)范围之内。

(2) 二开:($\varnothing 159 \text{ mm DC}$, 内径 57.1 mm , $q_c = 1346 \text{ N}/\text{m}$)

$$L_z = 144.62 \text{ m}$$

$$L_{z\text{实}} = 144.62 + 24 = 168.62 \text{ m}$$

钻铤实际长度 169.2 m 满足要求。钻具全重 52.556 t ($\text{DC } 24.243 \text{ t}$, 悬重 44.47 t) 在设备提升(钻

柱质量 $_{\max} = 57 \text{ t}$)范围之内。

(3) 三开:($\varnothing 121 \text{ mm DC}$, 内径 57.1 mm , $q_c = 681 \text{ N}/\text{m}$)

$$L_z = 177.85 \text{ m}$$

$$L_{z\text{实}} = 177.85 + 24 = 201.85 \text{ m}$$

钻铤实际长度 206.8 m 满足要求。钻具全重 53.442 t ($\text{DC } 15.3 \text{ t}$, 悬重 44.86 t) 在设备提升(钻柱质量 $_{\max} = 57 \text{ t}$)范围之内。

2.5 钻具组合

2.5.1 一开

(1) $\varnothing 311.2 \text{ mm } 3A \times 0.30 \text{ m} + \varnothing 241 \text{ mm DC} \times 4 \text{ 根} + \varnothing 203 \text{ mm DC} \times 4 \text{ 根} + \varnothing 178 \text{ mm DC} \times 4 \text{ 根} + \varnothing 127 \text{ mm DP} \times 120 \text{ m} + \varnothing 89 \text{ mm DP}$ 。

(注:3A——牙轮钻头,STB——稳定器,DC——钻铤,DP——钻杆,下同)

(2) $\varnothing 311.2 \text{ mm } 3A \times 0.30 \text{ m} + \varnothing 178 \text{ mm DC} \times 8 \text{ 根} + \varnothing 127 \text{ mm DP} \times 120 \text{ m} + \varnothing 89 \text{ mm DP}$ 。

2.5.2 二开

(1) $\varnothing 215.9 \text{ mm } 3A \times 0.25 \text{ m} + \varnothing 214 \text{ mm STB} \times 1.39 \text{ m} + \varnothing 159 \text{ mm DC} \times 1 \text{ 根} + \varnothing 214 \text{ mm STB} \times 1.39 \text{ m} + \varnothing 159 \text{ mm DC} \times 1 \text{ 根} + \varnothing 214 \text{ mm STB} \times 1.39 \text{ m} + \varnothing 159 \text{ mm DC} \times 16 \text{ 根} + \varnothing 127 \text{ mm DP} \times 100 \text{ m} + \varnothing 89 \text{ mm DP}$ 。

(2) $\varnothing 215.9 \text{ mm } 3A \times 0.25 \text{ m} + \varnothing 159 \text{ mm DC} \times 10 \text{ 根} + \varnothing 127 \text{ mm DP} \times 100 \text{ m} + \varnothing 89 \text{ mm DP}$ 。

2.5.3 三开

$\varnothing 152 \text{ mm } 3A \times 0.2 \text{ m} + \varnothing 121 \text{ mm DC} \times 22 \text{ 根} + \varnothing 89 \text{ mm DP}$ 。

3 钻井工艺

3.1 一开(0~600 m)

一开井段易井斜,钻具组合(1)按设计“吊打”钻进。在破碎带、软硬互层交界面,取钻压与转速上限,待钻至一定深度后恢复正常参数,防止因在地层交界变化,由钻进参数不当造成的孔斜。维持钻井液中高粘度,确保悬砂携屑、勤划眼修复井壁,保证井眼畅通。不在易塌层段定点循环。一旦发生井塌,划眼时,选用小排量开泵,逐渐增大泵量,并提高泥浆粘度(粘度提高 $10 \sim 15 \text{ s}$)避免憋漏地层引起更严重的坍塌,下套管前,起钻挂卡超过 50 kN ,须用钻具组合(2)进行通井,然后用 20 m 套管柱进行通井。

钻井液维护处理:一次性配置膨润土浆 80 m^3 (水 + $0.4\% \text{ Na}_2\text{CO}_3$ + 10% 钠膨润土)、密度 $1.08 \sim 1.10 \text{ g}/\text{cm}^3$ 的膨润土浆开钻。钻进过程中逐步补充

预水化膨润土浆和 0.3% CMC 胶液(CMC 胶液应置于不同容器中分别调制),保证钻井液具有较强的携砂能力。一开井径较大,钻井液环空返速 0.29 m/s,较低,不利于环空岩屑净化。增加循环时间,每次加钻具依然受阻,不能到底,采取划眼的同时配置 5 ~ 10 m³ 钻井液(水 + 15% ~ 25% 土 + 1% Na₂CO₃ + 0.75% CMC;马氏漏斗粘度计无法测量粘度)打入孔内循环 16.1 min 后,至添加钻具顺利到底。发生同类问题均重复一次上述方法。一开钻完后充分洗井,调整好钻井液性能,确保下表层套管、固井施工顺利。

3.2 二开(600 ~ 1700 m)

二开钻进使用钻具组合(2)。钻水泥塞时将污染严重的钻井液放掉,其余钻井液加入浓度 0.3% ~ 0.5% 小苏打胶液清除钙离子。钻水泥塞和 Ø159 mm 钻铤出套管鞋前,钻压要求控制在 10 ~ 30 kN。二开开始采用 15 ~ 17 L/s 钻进 140 ~ 200 m,后改用钻具组合(1),使用设计泵量钻进。满眼钻具钻进期间每钻一单根,快速划眼一次,并适当循环,保证井眼清洁,避免沉砂卡钻。下钻平稳操作,漏失井段钻具下行速度 ≥ 20 m/min;下钻到底提前一个单根开泵循环;控制起下钻速度,遇有挂卡,不得高于当时悬重的 30 kN,否则开泵倒划眼或下放畅通井段调整钻井液性能后再试起钻;每起 3 柱钻具向井内灌满钻井液一次。加长防磨套使用,使表层套管井段每 5 根钻具不低于 1 个,并且每起趟钻检查一次,及时更换、调整。

钻井液维护处理:将一开钻井液净化后用于二开钻进,钻井液补充配方(水 + 8% 钠膨润土 + 0.1% NaOH + 0.2% ~ 0.4% KPAM + 0.2% CMC + 0.5% ~ 0.6% NH₄HPAN + 1% ~ 2% KAHM)随井深的延伸逐步减少 CMC 用量,使用抗温性能较优的包被剂 KPAM,配制成胶液补充;NH₄HPAN 调整滤失量,辅以 KAHM 封堵破碎带层理微裂缝,避免泥浆滤液侵入地层,起到降低泥饼摩阻。

3.3 三开(1700 ~ 2300 m)

三开裸眼井段较长,钻井液排量满足设计要求,提高携岩能力。泵压下降,即停钻检查,地面未查出原因,应起钻检查钻具。避免钻井液“短路”引起沉砂卡钻及钻具失效。

钻井液补充配方:水 + 6% 钠膨润土 + 0.1% NaOH + 0.3% KPAM + 0.2% PAC + 0.6% ~ 0.9% NH₄HPAN + 2% KAHM。F1 断层与 F3 断层之间的影响带,可能破碎,需高分子泥浆护壁。增加 KPAM

与 KAHM 的使用量,不定期加入 PAC 胶液,保持钻井液对 Ca²⁺ 的抑制性。

4 止水固井

4.1 第一次固井(为表层套管下入后的固井)

将表层套管连接浮鞋下入距离井底 3 m 处,灌满排空,连接水泥头及固井管线,低泵冲打通,分阶段提高泵速,循环量不少于 2 个循环,要求振动筛干净,井眼内无沉砂。后泵入 5 m³ 前置液(清水),注水泥浆 19.21 m³ (水灰比 0.5,密度为 1.85 g/cm³),投顶胶塞,高泵速替泥浆 28.31 m³,至尾浆出鞋到内外平衡前,然后缓慢替浆到碰压。停止顶替,憋压 2 h。泵压未降,证明孔内不漏水,固井成功。

4.2 第二次固井(为技术套管下入后的固井)

技术套管套管柱采用传统的逆止阀泵入压浆法固井,用 42.5R 优质水泥浆 10.13 m³。Ø89 mm DP 连接套管头将技术套管下到指定深度,倒开套管头起出套管头。下 Ø89 mm DP 连接逆止阀丝扣,泥浆泵通过钻杆将前置液(清水)和水泥浆从旋流短节(孟式止水器上第一根管底部加焊钢板封闭,在管体上沿螺旋线割 20 个 Ø89 mm 的圆形返浆孔,使旋流上返,利于替泥浆,提高注水泥质量;旋流短节上端焊接逆止阀)压入环空,换用适量清水清洗钻杆内残留水泥浆。用水泥封闭两级套管重叠部分的管间环状间隙,保证了地热井的封闭质量。

5 洗井

下江群乌叶组(Ptbnbw)与西江断裂段热储层(1386 ~ 2300 m)为本井的主要取水段。洗井时,先下钻头扫通逆止阀与下部盲板,下钻至含水层底部清水冲扫钻孔,目的是用清水把井内泥浆替换出来,用毛刷刷洗井壁充分暴露目的层裂隙,增大洗井化学液的接触面积,为下一步化学洗井做准备。

用焦磷酸钠(浓度 0.8% ~ 1.0%)分 2 次浸泡取水段(每次浸泡 12 h)可使附在井壁上不易脱落的泥皮脱落,后用清水冲洗,直到水清砂净。在孔口处封住环空采用盐酸(浓度 10%)压入洗井,注入盐酸的量为整个取水地层井筒容积的量,在注入盐酸后每间隔 30 min 注入一次清水(共注入 3 ~ 5 次)使盐酸充分反应,以达到避免堵塞裂隙通道增加裂隙的宽度及出水量的目的。将酸液注入含水层孔隙内,待洗井液全部灌完后,用清水将钻杆柱内的酸液顶出,即可停泵,保持灌酸压力至反应时间结束。

(下转第 40 页)

利于成功护壁。为便于降低钻井液的循环压力和护壁,需要钻井液具有较大的上返环空截面,同时,较大的孔径也有利于处理孔内事故。因此,针对该孔的特点和总结以往经验基础上,在第 5 次钻进施工中采取了 Ø150 mm 薄壁金刚石钻头开孔,HQ 口径终孔的方案,最终事故终孔,终孔深度 570 m,钻孔结构参数见表 7。

表 7 ZK1516 孔结构参数

开孔	孔深 /m	钻头直 径/mm	套管直 径/mm	地 层	备 注
一开	0~0.6 0.6~1.8	150	147	风积沙覆盖层 风化基岩	下套管 1.8 m
二开	1.8~120	123	114		下套管 120 m,PQ 绳 索取心、套管底部带 套管靴
三开	120~570	96.8			HQ 绳索索取心、无套管

一开和二开的套管与地层间隙之间灌注漏斗粘度 >50 s 的非分散性稠泥浆。研究证明,加大钻头外径可有效降低冲洗液在复杂地层中的循环压力,实现压力平衡钻进,为粘度较高的冲洗液提供了较好的使用空间,有利于处理孔内复杂事故。同时泵压的降低能很好地减轻冲洗液漏失,也能起到很好的护壁效果。

4 结 语

(1) 针对不同可钻性岩石的研磨性设计制造的 AⅡ-1、AⅡ-2 型 2 种新型专用钻头,有效地解决了钻头胎体崩刃、使用寿命低的问题。

(2) 夏日哈木矿区钻探实践表明,在同类地层

(上接第 35 页)

再次用清水冲洗,至水清砂净后下入 80 m³/600 m 热水潜水泵进行试水工作。

6 结 论 及 认 识

(1) 优选钻头、合理选择钻具组合、优化钻井参数是提高速度的必备条件。断裂带采用满眼钻进可有效防斜。

(2) 优选钻井液体系,优化钻井液性能,有利于深孔携屑、井壁稳定,为提高机械钻速提供良好的满眼条件。

(3) 固井止水质量较好。从管串开始做好每一项工作按照程序实施,保证了固井质量。

(4) 洗井效果较好。虽然达到合同要求,若洗井时辅以空压机振荡洗井,使管内、外的水柱产生压

和相同孔深情况下,全液压动力头式钻机发生孔内事故的几率远小于立轴式钻机,岩矿心采取率方面,全液压动力头式钻机也优于立轴式钻机。

(3) 现场实际应用发现,在硬、脆、碎特点的地层以及孔底漏失地层中通过对钻具涂抹 PID214 管材油脂能够明显减少钻具振动、钻具磨损过快、回转阻力过大的问题。

(4) 针对该矿区研制的冲洗液配方及堵漏工艺能够解决钻进过程中遇到的问题,该冲洗液配方携带岩粉能力较强,保证了孔底岩粉及时排出,提高了钻进效率。

(5) ZK1516 钻孔第 5 次施工采用三开式钻孔结构,加大钻头外径的方法有效地降低了冲洗液在复杂地层中的循环压力,为粘度较高的冲洗液提供了较好的使用空间,更有利于处理孔内复杂事故。

参考文献:

[1] 王冠,孙丰月,李碧乐,等.东昆仑夏日哈木矿区早泥盆世正长花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其动力学意义[J].大地构造与成矿学,2013,(4):685-697.

[2] 张林.青海拉陵灶火地区成矿地质特征及找矿远景分析[D].北京:中国地质大学(北京),2013.

[3] 李世金,孙丰月,高永旺,等.小岩体成大矿理论指导与实践-青海东昆仑夏日哈木铜镍矿找矿突破的启示及意义[J].西北地质,2012,(4):185-191.

[4] 翟育峰,王鲁朝,丁昌盛,等.西藏罗布莎科学钻孔冲洗液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):1-4.

[5] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.

差,水在涌入过程将井壁的泥皮冲毁,会加快洗井进程,缩短交井时间。

参考文献:

[1] 谭松成,段隆臣,叶雪峰,等.硬岩钻进用石油钻头研究现状及发展趋势[J].地质与勘探,2013,49(2):373-378.

[2] 刘同富,裴建忠,王安泰.胜利油田中深井优快钻井技术[J].石油钻探技术,2003,31(4):7-8.

[3] 卢予北.地热井常见主要问题分析与研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(2):43-47.

[4] 李明,林文彬.水井洗井技术的探讨[J].西部探矿工程,2008,(8):77.

[5] 穆剑,等.钻井液及处理剂评价手册[M].北京:石油工业出版社,2007.11.

[6] 刘希圣.钻井工艺原理[M].北京:石油工业出版社,1988.9.

[7] 塔里木石油勘探开发指挥部钻井监督办公室.钻井监督指南[M].北京:石油工业出版社,1999.7.

[8] 中国地质调查局.水文地质手册[M].北京:地质出版社,2012.