

罗布泊盐湖深部钾盐科学钻探2号井钻完井工艺

赵岩, 高亮, 王德, 肖明君, 刘现川, 张云, 白云勃

(河北省煤田地质局第二地质队(河北省干热岩研究中心), 河北 邢台 054001)

摘要:罗布泊盐湖深部钾盐科学钻探2号井(LDK02孔)完井深度为1200 m, 是罗布泊盐湖区第一口深部钾盐参数井。通过对松散层取心、高矿化度卤水钻井液、闭合定深取样技术的成功应用, 解决了卵砾石层及砂层取心、粘土层井段易缩径卡钻, 钻井液盐浸井壁掉块不稳定、坍塌等恶性孔内事故。同径止水工艺简化了钻孔结构; 定深取样技术保持水样原组分相对稳定, 对研究本区不同深度富钾卤水分布及时空演变奠定了基础。

关键词:罗布泊盐湖; 深部钾盐; 科学钻探; 松散层取心; 定深取样

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0351-07

Drilling and completion technology of No.2 Well of deep potash scientific drilling in Lop Nur salt lake

ZHAO Yan, GAO Liang, WANG De, XIAO Mingjun, LIU Xianchuan, ZHANG Yun, BAI Yunbo

(The Second Geological Team of Hebei Coal Field Geology Bureau (Hebei Province Dry Hot Rock Research Center), Xingtai Hebei 054001, China)

Abstract: Lop Nur salt lake deep potash scientific drilling Well 2 (LDK02) has a completion depth of 1200m, which is the first deep potash parameter well in Lop Nur salt lake district. The successful application of loose layer coring, high salinity brine drilling fluid, and closed depth sampling technology has solved malignant wellbore accidents such as easy shrinkage and sticking of drilling in gravel and sand layer coring, unstable block falling and collapse of drilling fluid salt immersion wellbore. The same diameter sealing process simplifies the drilling structure; The fixed depth sampling technology maintains the relative stability of the original components of the water sample, laying the foundation for studying the distribution and spatiotemporal evolution of potassium rich brine at different depths in this area.

Key words: Lop Nur salt lake; deep potassium salt; scientific drilling; loose layer coring; specify depth sampling

0 引言

罗布泊深部钾盐科学钻探工程2号井(LDK02孔)设计井深1200 m。该井是国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司实施的“罗布泊盐湖重点区深部钾盐资源调查研究”项目的组成部分, 2009年在罗布泊罗北凹地西北部实施了盐湖深部钾盐找矿1号井(LDK01孔)^[1-4], 首次揭示了罗布泊盐湖地区深部钾盐类矿物。为进一步通过钻井工程揭露罗布泊深部钾盐资源特征^[5-6], 布设了深部钾盐科学钻探工

程2号井(LDK02孔), 深度1200 m, 全井取心, 并在0~200、200~500、500~800、800~1200 m井段完成4次抽水试验及指定深度采取地层中卤水样(75件)。我单位负责该井的施工。

该井以探采结合的钻井方式, 通过应用环保型卤水聚合物钻井液、对取心器和取心钻头的优化改进、同径止水和分层抽水、定深取样技术等, 解决了卵砾石层及砂层取心、粘土层井段易缩径卡钻的问题, 完钻井深1200 m, 是目前罗布泊盐湖区第一口

收稿日期: 2022-11-04; 修回日期: 2023-02-15 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.055

基金项目: 国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司科技项目“罗布泊盐湖重点区深部钾盐资源调查研究”(编号: 新钾勘合字[2016]07号)

第一作者: 赵岩, 男, 汉族, 1984年生, 高级工程师, 勘查技术与工程专业, 从事钻探技术管理工作, 河北省邢台市襄都区河北工业大学科技园3号楼717室, 18003396345@126.com。

引用格式: 赵岩, 高亮, 王德, 等. 罗布泊盐湖深部钾盐科学钻探2号井钻完井工艺[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 351-357.

ZHAO Yan, GAO Liang, WANG De, et al. Drilling and completion technology of No.2 Well of deep potash scientific drilling in Lop Nur salt lake[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 351-357.

深部钾盐参数井。

1 钻井施工概况

1.1 区域构造

罗布泊地区在大地构造位置上位于塔里木地块、东天山褶皱带和北山褶皱带的交汇处,该区构造运动极为强烈,构造较为复杂,区内所分布的断裂主要有:孔雀河断裂、塞斯克断裂、疏勒河断裂、罗布泊南岸断裂及罗布泊东岸断裂等,2号井工作区位于北山褶皱带的中部南端—罗北凹地北部。施工现场见图1。



图1 科学钻探2号井现场

1.2 地层情况

罗布泊地区地表大部分被第四系所覆盖,2号井钻遇的地层主要为第四系松散层,岩性特征如下:

0~200 m井段:表层为灰白色芒硝夹薄层粉砂,有孔洞发育,孔洞内结晶多面体盐块;其下部为呈互层状产出的粘土、芒硝、粘土质芒硝,局部含粉砂、石膏薄层。

200~500 m井段:上部为呈互层状产出的石膏质粘土、粘土,局部夹粘土质芒硝和中砂,下部由各粒级砂、细砾、粘土呈互层状组成,底部细砾中富含石膏成分。

500~800 m井段:由各粒级砂、细砾及粘土呈互层状组成,上部中粗砂含石膏或暗色矿物成分。

800~1200 m井段:由各粒级砂、砾呈互层状组成,上部粘土较发育。

1.3 施工技术难点

(1)2号井所钻遇的地层主要为第四系松散层,在砂、砾层井段时易坍塌埋钻、在粘土层、石膏层井段时易缩径卡钻,钻探施工井壁条件极不稳定、极易引发井内事故。2009年施工的1号井钻进至486 m

处,钻具卡埋,事故处理难度大,钻井移位重新施工,取心钻进至600 m,井内沉砂较多,加之缩径、坍塌、沉砂等一直难以排除,无法继续施工,钻至781.50 m完钻。

(2)受地理位置限制,现场使用卤水配制钻井液,对钻井液处理剂性能影响较大,导致配制的钻井液胶体稳定性差、易沉淀分层、不能有效悬浮和携带岩粉。

(3)可参考的1号井完钻深度只有700多米,深部地层情况不可预知。

1.4 成井工艺方案

1.4.1 井身结构

本井要求全井取心钻进,同时要完成4个层段的抽水试验。按照减少施工复杂程度的原则,设计采用 $\varnothing 133$ mm口径分段取心钻进、分级扩孔、下入套管(含滤水管)护壁、逐层进行抽水试验的工作程序,工程竣工后加装井口装置,留作水文长期观测井。2号井成井结构如图2所示。

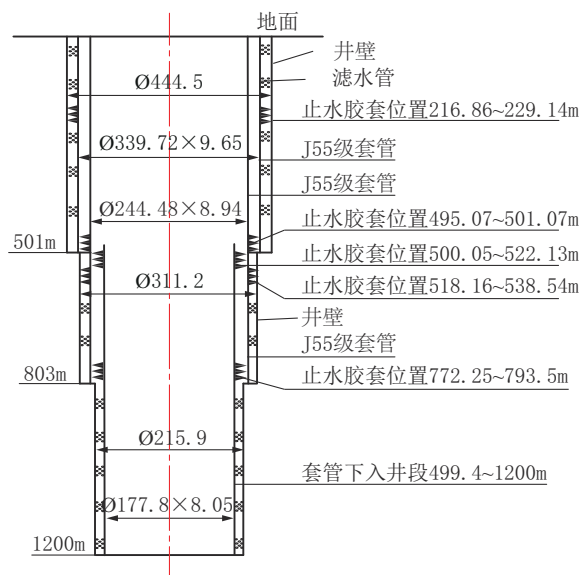


图2 成井结构示意图

一开扩孔:0~501 m,井径 $\varnothing 444.5$ mm,下入 $\varnothing 339.72$ mm \times 9.65 mm(J55)技术套管(含滤水管)。

二开扩孔:501~803 m,井径 $\varnothing 311.2$ mm,0~803 m下入 $\varnothing 244.48$ mm \times 8.94 mm(J55)技术套管(含滤水管)。

三开扩孔:803~1200 m,井径 $\varnothing 215.9$ mm,499.4~1200 m下入 $\varnothing 177.8$ mm \times 8.05 mm(J55)技

术套管(含滤水管), $\varnothing 177.8\text{ mm}\times 10.36\text{ mm}$ (N80)技术套管。

1.4.2 施工设备及钻具组合

根据本井钻探施工具体工作任务及钻机提升能力要求,选用 TSJ2000/660 型钻机,其配套主要设备情况见表 1,施工用钻具组合见表 2。

表 1 钻探设备配置

设备名称	型号	规格	数量	备注
钻机	TSJ-2000	2000 m	1 台	
井架	A27-90	27 m/70 T	1 套	
循环系统	泥浆泵	NBB260/7	2 台	取心用
		TBW1200/7B	1 台	扩孔用
动力系统	电动机	Y280M-4	3 台	含备用
		Y315-6	1 台	
发电机组		360GFZ	1 台	
	发电机	220GFZ	1 台	备用
		50GF	1 台	生活区
固控系统	除砂器	泥浆旋流除砂器	JSN-2C 型	1 台
Q3 取样器	SQ3 型	800 mL	1 套	取卤水
恒速绞车	JCH-2000	2000 m	1 台	取卤水

2 钻井液配制与管理

钾盐钻探除合理的钻井设计、钻进方法以外,其最关键的是选择合适的钻井液,直接关系到井内安全、岩心的采取率和质量。

针对卤水配制钻井液的问题,对现场卤水进行了离子成分分析,结果显示卤水中含有大量的离子(表 3),尤其是高价阳离子,会影响大部分处理剂发挥作用,导致配制的钻井液胶体稳定性差,使用膨润土配制钻井液易沉淀分层,不能有效悬浮携带和清除岩粉^[7]。

本井优选北京探矿工程研究所提供材料形成的环保型卤水聚合物钻井液,其配方如下:卤水+烧碱+纯碱+3%~5% 膨润土+0.8%~1.5% 抗盐共聚物(GTQ)+1%~2% 抗盐降失水剂(GPNS)+1%~3% 随钻堵漏剂(GPC)+0.2%~0.3% 包被剂(BBJ)。由于卤水配制钻井液易产生泡沫,摩阻系数大,为消除泡沫,减少钻具回转阻力和改变流变性能,配制钻井液时适量加入润滑剂和消泡剂。

2.1 钻井液性能要求

(1)配制的卤水钻井液具有良好的胶体稳定性。

表 2 钻具组合配置

钻进程序	井段/m	钻头尺寸/mm	组具结合
取心钻进	0~1200	$\varnothing 133$	$\varnothing 133\text{ mm}$ 取心钻头+ $\varnothing 108\text{ mm}$ 取心器+ $\varnothing 83\text{ mm}$ 钻铤+ $\varnothing 68\text{ mm}$ 钻铤+ $\varnothing 60\text{ mm}$ 钻杆+主动钻杆
一开扩孔	0~500	$\varnothing 444.5$	$\varnothing 444.5\text{ mm}$ 钻头+转换接头+ $\varnothing 241\text{ mm}$ 钻铤 $\times 1$ 柱+扶正器+ $\varnothing 241\text{ mm}$ 钻铤 $\times 1$ 柱+转换接头+ $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 钻铤 $\times 1$ 柱+ $\varnothing 127\text{ mm}$ 钻杆 $\times 3$ 柱+转换接头+ $\varnothing 88.9\text{ mm}$ 钻杆+主动钻杆
二开扩孔	500~800	$\varnothing 311.2$	$\varnothing 311.1\text{ mm}$ 钻头+转换接头+ $\varnothing 241\text{ mm}$ 钻铤 $\times 1$ 柱+扶正器+ $\varnothing 241\text{ mm}$ 钻铤 $\times 1$ 柱+转换接头+ $\varnothing 177.8\text{ mm}$ 钻铤 $\times 1$ 柱+ $\varnothing 127\text{ mm}$ 钻杆 $\times 3$ 柱+转换接头+ $\varnothing 88.9\text{ mm}$ 钻杆+主动钻杆
三开扩孔	800~1200	$\varnothing 215.9$	$\varnothing 215.9\text{ mm}$ 钻头+转换接头+ $\varnothing 159\text{ mm}$ 钻铤 $\times 1$ 柱+扶正器+ $\varnothing 159\text{ mm}$ 钻铤 $\times 1$ 柱+转换接头+ $\varnothing 159\text{ mm}$ 钻铤 $\times 1$ 柱+ $\varnothing 127\text{ mm}$ 钻杆 $\times 3$ 柱+转换接头+ $\varnothing 88.9\text{ mm}$ 钻杆+主动钻杆

表 3 卤水中离子含量

离子名称	含量/%
Na^+	78.18
K^+	14.85
Ca^{2+}	0.168
Mg^{2+}	34.16
Cl^-	190.02
SO_4^{2-}	60.26

(2)不污染矿层,不影响矿层分析。

(3)能够建立平衡地层压力的液柱压力,并具有较大的调节范围。

(4)具有较低的失水性和较强的抑制性,以减少

钻井液中的自由水浸入井壁粘土层,水化造浆,出现井壁膨胀缩径,防止发生粘附卡钻事故。

(5)具有良好的流变性,悬浮和携带岩粉的能力强。

(6)有助于提高岩心采取率,且配制简单、维护管理方便。

2.2 现场钻井液使用

2.2.1 取心钻进钻井液配置

0~508.12 m 一开取心钻进,为蒸发岩地层,孔隙度比较大,钻井液消耗比较大,地层中的卤水侵入钻井液,使钻井液中的钙镁离子增加,钻井液的滤失量增加,泥皮变厚,通过向钻井液中加入火碱、纯碱降低钙镁离子含量,改善钻井液性能。在168 m处泥浆泵不返水,通过加入膨润土,防塌型随钻堵漏剂GPC,防止小裂隙的漏失^[8-9],同时停止加入消泡剂,促使钻井液泡沫化,降低钻井液密度,钻井液密度和地层压力趋于平衡状态,降低漏失。钻遇440~480 m松散砂层,易坍塌,向钻井液中加入火碱,纯碱、GPNS、GPC、GTQ,以增加钻井液粘度,预防坍塌,降低钻井液中的离子水^[10-11]。

由于0~501 m下入 $\varnothing 339.72$ mm套管,其中包含221.79 m滤水管,二开取心过程中通过向钻井液中投入大量膨润土、GTQ、GPC、锯末,使得 $\varnothing 339.72$ mm套管中的滤水管不再往外涌水,保证二开正常钻进。二开取心钻进仍采用低密度钻井液(见表4),平衡 $\varnothing 339.72$ mm滤水管和地层压力,防止由于钻井液密度过大造成压裂漏失。由于一开扩孔的井径比较大,取心钻进时泥浆泵的泵量比较小,岩粉携带比较困难,适度增加了钻井液的粘度,从而保证了岩粉的携带。

三开取心前,在钻井液中加入大量膨润土、GPC、GTQ、PAC护壁,防止 $\varnothing 244.5$ mm滤水管往外涌水。在后期取心钻进过程中钻遇卵砾石层时,通过加入膨润土、GPC、GTQ、消泡剂调整钻井液粘度,适度的增加钻井液密度,降低钻井液失水量,维护井壁稳定,预防坍塌,保证了取心的正常进行。

取心钻进各开次钻井液配方见表4,性能见表5。

2.2.2 扩孔钻进钻井液配置

一开扩孔钻进时,井径较大,井底岩粉排出较困难,且现场震动筛的使用效果不佳,造成钻井液中的固相含量比较高,出现大段消耗,在原有的钻井液基

表4 取心钻进钻井液配方

施工阶段	配 方
一开取心	卤水+0.5%烧碱+0.2%纯碱+3%膨润土+0.5%~1.5%抗盐共聚物(GTQ)+1%~1.5%抗盐降失水剂(GPNS)+1%~2%随钻堵漏剂(GPC)+0.1%~0.2%包被剂(BBJ)
二开取心	卤水+0.5%烧碱+0.2%纯碱+3%~20%膨润土+0.5%~2%抗盐共聚物(GTQ)+1%~1.5%抗盐降失水剂(GPNS)+0.5%~2%随钻堵漏剂(GPC)+0.1%~0.2%包被剂(BBJ)
三开取心	水+0.5%烧碱+0.2%纯碱+3%~10%膨润土+0.5%~1.5%抗盐共聚物(GTQ)+1%~1.5%抗盐降失水剂(GPNS)+0.5%~1%随钻堵漏剂(GPC)+0.1%~0.2%包被剂(BBJ)

表5 取心钻进钻井液性能

施工阶段	密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	漏斗粘度/s	API失水/mL	泥饼/mm	含砂量/%	pH值
一开取心	1.30~1.37	60~100	5~20	0.5~1.5	<4	7~9
二开取心	1.30~1.42	55~75	8~120	0.5~24	<5	7~9
三开取心	1.33~1.43	40~100	15~50	0.5~18	<8	7~9

础上通过加入适量锯末以及膨润土来减少钻井液的消耗。

2.2.3 复杂地层井段钻井液配置

地层中卤水储层段:钻进时卤水一旦涌入井内则会破坏钻井液的性能。在一开钻进期间,蒸发盐地层孔隙度比较大,针对地层中卤水层的侵入,通过降低钻井液密度,平衡地层间的压力;突遇失水量增大,通过加入GTQ、GPNS,降低钻井液的失水量,防止由于失水量大,造成松散层井壁坍塌。

松散砂砾层段:易坍塌造成卡钻,取心和扩孔钻进时根据井壁稳定情况,提高了钻井液粘度,每日观测钻井液的胶结度、泥皮韧性,以维护井壁稳定^[12]。一开和二开松散层,在取心钻进和扩孔期间,通过增加GPC,增强钻井液的护壁性能,防止地层坍塌。在卵砾石层,在取心和扩孔期间曾多次发生坍塌、卡钻,上提阻力100~400 kN,后经过调整钻井液性能,增加钻井液密度、粘度,这一现象得到了改善^[13-14]。

3 取心施工

2号井钻遇大段极易坍塌的砾石层、砂层及粉砂质粘土层(参见图3),松散破碎层较多、严重影响取心率^[15],针对此问题对取心器和取心钻头进行了优化改进,取心效果良好。



图3 卵砾石层及砂层井段岩心

3.1 取心器悬挂总成密封

常规工具采用投球法清洗内筒,清洗内筒后,投入凡尔球,封住内筒上通道,钻井液开始侧循环。但此时凡尔球与凡尔座为金属线性密封,密封性不可靠,在泥浆泵的推动下,有少量钻井液通过凡尔流经内筒,破碎层由于岩心成岩性差,轻微水流就会影响树心工序。

悬挂总成密封系统,由凡尔球导向、凡尔座、密封圈、凡尔球组成。凡尔球导向斜度为 30° 角,使凡尔球在液力推动下沿斜坡导向移动至凡尔座上,凡尔座为球形,可使凡尔球与凡尔座实现金属面性密封,并通过O形密封圈,保护球形金属硬密封,从而杜绝钻井液通过凡尔流经内筒,保护取心的完整性(见图4)。

3.2 卡箍自锁装置

取心完成单回次钻进,起钻割心时内筒卡箍与卡箍座的导向作用下,割断矿心并封闭内筒,使进入内筒的矿心得以有效保留,避免了矿心的脱落。卡箍可实现内筒全封闭,卡箍座具有锥度导向,在起拔矿心时,卡箍卡住矿心。在起拔的反向作用力下,下行至卡箍座导向部位,并在反作用力的作用下沿卡

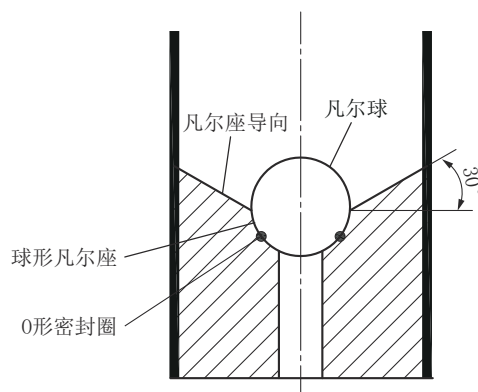


图4 悬挂总成密封结构

箍座导向继续下行,直至卡箍封闭内筒(见图5)。



图5 卡箍自锁装置

3.3 内加高侧喷取心钻头

取心钻头水眼方向,向外部倾斜,取心钻头内沿进行加高处理(见图6)。水眼向外喷射,可减少水流冲击井底偏流冲刷岩心。钻头的内沿增高减少了侧喷水流对岩心的冲蚀,岩心整体结构性未因底流喷溅过多的降低,使岩心更易进入取心器内筒。

4 同径止水分层抽水施工

4.1 同径止水

一开对0~223.91 m井段和223.91~501 m井段分别进行止水和抽水试验工作。该井段抽水试验,进行止水工作前井身结构(见图7),即0~501 m井段:井径 $\Phi 444.5$ mm,下 $\Phi 339.7$ mm套管(含滤水管)。

井深197.8~234.3 m,岩性以粘土、粘土质钙芒硝为主,为很好的隔水层,故采用在 $\Phi 339.7$ mm套



图6 订制的内加高侧喷取心钻头

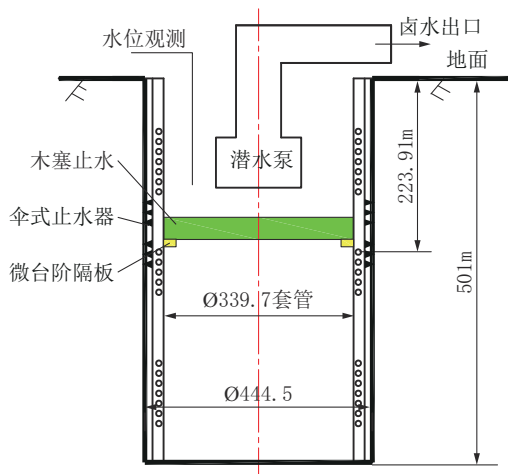


图7 0~223.91 m井段抽水试验井身结构

管外 216.86~229.14 m 环状间隙固定 8 组伞式止水器、在套管内 210.62 m 处下入子弹形木塞并捣实粘土球(粘土泥球直径约 15 cm)的止水工艺,进行联合止水^[16-17]。套管内灌满清水后,30 min 内液面基本无变化,证明该井段止水工艺合理、止水效果良好。

223.91~501 m 井段抽水试验止水工作利用 Ø 339.7 mm 套管外 216.86~229.14 m 环状间隙已固定的 8 组伞式止水器,并结合在 Ø 339.7 mm 套管内下入临时 Ø 244.5 mm 套管的止水工艺。Ø 244.5 mm 套管下入位置为 0~208.13 m,在 Ø 244.5 mm 套管底部绑牢干海带,同时干海带上下两端配有孟式止水器,海带和孟式止水器联合止水的位置为 202~207.5 m(见图 8)。

抽水试验前,连续 4 h 同时测量 Ø 244.5 mm 套管内及套管外环状间隙水位,Ø 244.5 mm 套管内水

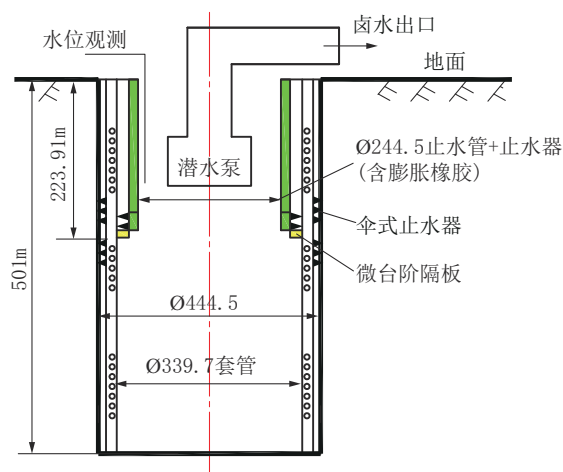


图8 223.91~501 m井段抽水试验井身结构

位稳定于 27 m,套管外环状间隙水位一直保持在 8.3 m,证明该井段止水工艺合理、止水效果良好。

4.2 洗井工艺

本井自始至终使用钻井液护壁钻进,尤其是涌水段加入大量的封堵材料,在保护井壁的同时也对地层的渗水通道形成一定程度的堵塞,洗井时首先用清水逐渐把井内的钻井液替换出来,最大限度的将钻井液中的固相物质排出井外,然后再针对不同的地层采用不同的洗井工艺进行洗井。

(1) 0~223.91 m 地层以蒸发岩为主,小孔洞发育,用清水逐步将井内钻井液替出后,采用了泵抽洗井法,水清砂净后转入抽水试验阶段。

(2) 223.91~501 m 井段,该井段地层松散,地层中泥砂含量较大,给洗井工作带来了很大的困难,洗井时,首先采用了深置泵、高扬程洗井法,其后采用短时间开关泵震荡洗井法,最后再采用高扬程泵抽洗井法,但是水中还是含有少量泥砂,洗井期间通过现场做钻井液试验与地层水中的泥砂做对比,证明水中的泥砂为地层中的泥砂,导致洗井不清的原因为地层中泥砂含量较高。

5 定深取样

1 号井采用钢丝绳绞车和原钻具为基础加工的重力式入水取样设备,定深取样深度误差较大,取样器直径较大,下钻难以一次下到指定深度采取水样^[18],不能满足定深取样及保持水样原组分相对稳定的要求。

基于 1 号井的定深取样情况,2 号井采用 SQ3

型取样器和JCH-2000型测井恒速绞车通过定制马龙头连接。SQ3型取样器采用304不锈钢材质制作具有良好的抗腐蚀性,主要由导锥、下凡尔、取样筒、上凡尔、控制机构、时钟、钟机外壳组成。通过时钟触发控制机构,来打开上凡尔,地层卤水样通过负压作用进入到取样器内上法尔锁紧密封,通过绞车上提,完成单回次卤水样的提取^[19-20]。JCH-2000型测井恒速绞车可精准控制每回次卤水样的采集深度,保证样品的准确性。

2号井采用JCH-2000型测井恒速绞车配合SQ3型定深取样器完成了定深取样工作,对2号井75个取样点位的含水层自上而下系统进行定深取样,共采集卤水样品241件,水样采取率90%以上,取得了较好的效果。

2号井终井深度为1200.01 m,终井层位为第四系地层。岩(矿)心总采取率为84.79%;其中矿心采取率为84.93%,顶底板采取率为83.96%。最大井斜为16.04°(井深1198 m), $<2^{\circ}/100\text{ m}$,井斜质量满足设计及相关规范要求。

2号井依次完成了0~223.91、223.91~501、501~803、803~1200.01 m四个井段的抽水试验工作,各井段止水工艺合理、止水效果良好;各井段最大降深时单位涌水量为0.07~2.977 L/(s·m),四个井段含水层富水性从上至下由强变弱。结合地质录井、测井资料,将2号井所揭露的富钾卤水储层划分为4个层组;储层单层厚度0.5~28.3 m,累计厚度379.55 m。

6 结论及认识

2号井是罗布泊盐湖区实施的第一口深部钾盐参数井,实现了罗布泊盐湖深部找钾的突破,该井的实施为进一步开展罗布泊盐湖重点区深部钾盐资源调查研究、勘查与开发利用工作奠定了坚实的基础。

(1)本井施工过程中应用的“抗盐低固相粗分散钻井液体系”,有效地解决了以往因坍塌严重而无法钻进的技术难题,保证了钻进施工安全。

(2)通过同径止水工艺简化了井身结构,改进了止水工艺,实现了单井卤水矿产钻探、多层抽水试验技术创新,有效降低了钻探施工成本。

(3)定深取样技术保持水样原组分相对稳定,对研究本区不同深度富钾卤水分布及时空演变奠定了

基础。

参考文献:

- [1] 张华,刘成林,焦鹏程,等.罗布泊盐湖区深部钾盐找矿:理论、勘查、进展及前景分析[J].地质学报,2021,95(7):2030-2040.
- [2] 宣之强,焦鹏程,王弭力,等.罗布泊罗北凹地科钾1井盐类矿物组合及找钾研究[J].盐湖研究,2013,21(4):16-20.
- [3] 惠争卜,宋宪生,周赛芳.罗布泊盐湖钾盐矿床调查科研进展与开发现状[J].世界有色金属,2017(15):288-289.
- [4] 焦鹏程,刘成林,颜辉,等.新疆罗布泊盐湖深部钾盐找矿新进展[J].地质学报,2014,88(6):1011-1024.
- [5] 刘成林,焦鹏程.罗布泊盐湖钾盐矿床形成条件与规律[M].北京:科学出版社,2020:215-224.
- [6] 李浩,唐中凡,刘传福,等.新疆罗布泊盐湖卤水资源综合开发研究[J].地球学报,2008,29(4):517-524.
- [7] 王正浩,申立,宋仲科.卤水钻井液在青海钾盐矿层钻探中的应用研究[J].中国煤炭地质,2015,27(9):55-58.
- [8] 张云,李晓东,赵岩,等.罗布泊盐湖深部钾盐地质科学钻探LDK02孔冲洗液工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):57-62.
- [9] 景龙,李伟,崔国树.“双孔方案”在沧州盐矿深部取心钻探的应用.探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(17):16-20.
- [10] 纪卫军,张明德,赵长亮,等.青海省冷湖镇钾矿资源调查评价项目冲洗液技术研究及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(1):54-57.
- [11] 贾宏福,罗刚,付兆友,等.MBM-GTQ盐水冲洗液冲洗液体系的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):23-27.
- [12] 王正浩,申立.青海深层卤水钾盐钻探施工技术[J].中国井矿盐,2015,46(3):23-27.
- [13] 宫述林,赵光贞,栾元滇,等.钾盐矿床钻探工艺技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):25-28.
- [14] 刘汝山,曾义金.复杂条件下钻井技术难点及对策[M].北京:中国石化出版社,2009:215-224.
- [15] 吕凤琳,刘成林,焦鹏程,等.亚洲大陆内部盐湖沉积特征、阶段性演化及其控制因素探讨——基于罗布泊LDK01深孔岩心记录[J].岩石学报,2015,31(9):2770-2782.
- [16] 樊小舟.水文地质钻探与水源井成井技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2015:180-194.
- [17] 中国地质调查局.水文地质手册[M].北京:地质出版社,2012:438-440.
- [18] 张明玉,刘亚玲,周涛,等.SQ3型高压物性取样器的改进及应用[J].江汉石油科技,2013,23(3):74-77.
- [19] 张绪芬,刘海波,朱卫民.SQY-1型水文水井定深取样器的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(7):37-38.
- [20] 张云.罗布泊盐湖深部钾盐地质科学钻探LDK02孔SQ3型取样器的应用[J].煤炭技术,2020,39(3):172-174.

(编辑 荐华)