

矿盐地层水平定向钻进对接技术应用

刘玉仙¹, 丁冠涛¹, 曹光明¹, 孙中瑾¹, 刘玉想¹, 韩 昱¹, 高 帅^{1,2}, 姬晟翔³

(1.山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014; 2.山东大学土建与水利学院, 山东 济南 250061; 3.国网山东省电力公司经济技术研究院, 山东 济南 250021)

摘要:以山东肥城海晶盐化有限公司 100 万 t/a 卤折盐采输卤工程钻井项目中 H17/H18 对接井为例, 首先介绍了定向钻进对接技术在采卤井中的应用以及定向钻孔轨迹设计, 在对地层详细勘探的基础上对定向钻孔进行可靠精确的轨迹设计是钻探施工的基础。其次, 介绍了定向水平井的施工工艺。本项目关键技术是 MWD 无线测斜仪技术和旋转磁铁测距系统(RMRS), 以及钻进时钻井液选取和参数调控。MWD 无线测斜仪技术和旋转磁铁测距系统(RMRS)可以实时测量钻进方向, 进而根据工程需要调整钻进方向, 保证了中靶作业成功连通。本项目施工过程中的难点及所采取的技术对策可为同类钻井施工提供借鉴和指导依据。

关键词:矿盐地层; 定向钻进; 对接井; MWD 无线测斜; RMRS 旋转磁铁测距

中图分类号: P634.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)04-0040-06

Application of Horizontal Directional Drilling and Butting Technology in Salt Mine Formation/LIU Yu-xian¹, DING Guan-tao¹, CAO Guang-ming¹, SUN Zhong-jin¹, LIU Yu-xiang¹, HAN Yu¹, GAO Shuai^{1,2}, JI Sheng-xiang¹
(1.Shandong Provincial Geo-mineral Engineering Exploration Institute, Jinan Shandong 250014, China; 2.School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan Shandong 250061, China; 3.Economic & Technology Research Institute, State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan Shandong 250021, China)

Abstract: With the case of H17/H18 butt well in brine transportation project of a salt and chemical company in Shandong, the paper introduces the application of directional drilling and butting technology for brine wells and the design of directional drilling trajectory, which is based on the detailed formations exploration; and also introduces the construction technology of directional horizontal well. For this project, the key technologies are drilling fluid selection and parameter control in the drilling process; and what's more, MWD inclinometer technology and rotating magnet ranging system (RMRS) are used to measure the real-time drilling direction and then adjust the drilling direction according to the needs of the project in order to ensure the successful well butting. The difficulties in this project construction process and the technical countermeasures can be reference for the similar drilling construction.

Key words: salt mine formation; directional drilling; butting well; MWD wireless inclinometer; RMRS

0 引言

在过去的钻孔采盐时, 一直采用单井对流水溶采卤法开采, 这种采卤技术存在较多的缺点, 如矿产回采率不足 20%, 卤井寿命短, 产量低, 采出的卤水浓度低而且不稳定等^[1-2]。海晶盐化项目中采用了双井对接连通水溶采卤法, 即采用定向钻进技术实现两井对接成功后用清水循环的采盐方式。与单井对流水采卤相比, 对接井采卤具有投产快、成本低、卤水产量大、浓度高等优点^[3-5]。

该项目实施中, 首先对水平钻井轨迹进行精确

设计, 为钻探施工提供依据。钻井区需要穿过复杂的地层, 在非含盐地层钻进阶段, 通过合理使用钻井液, 以及钻进工艺的技术调整, 保障了钻井工程的顺利实施; 在含盐矿段地层钻进及时替换为卤水钻井液井壁稳定的关键。水平对接阶段, 通过 MWD 无线测斜仪技术实时测量井斜角, 进而通过旋转钻杆, 改变螺杆钻具方向调整钻探方向, 使钻井轨迹朝向靶区方向前进, 在临近靶区位置使用旋转磁铁测距系统(RMRS)精确测量钻井方向和位置, 保证中靶作业的成功。

收稿日期: 2017-09-25; 修回日期: 2018-01-11

作者简介: 刘玉仙, 男, 汉族, 1974 年生, 副院长兼生态地质中心主任, 高级工程师, 从事深孔及大口径钻探技术研究与实践工作, 山东省济南市历下区经十路 13632 号, 1712732799@qq.com。

通信作者: 孙中瑾, 男, 汉族, 1990 年出生, 地质工程专业, 硕士, 从事钻探技术研究和实践工作, 山东省济南市历下区经十路 13632 号, 1140860142@qq.com。

1 工程概况

该矿区的地表为第四系所覆盖,地表下部为古近系(大汶口组上段与大汶口组中段连续沉积),在大汶口组中段的上部为岩盐段,岩盐段主要为硬石膏岩和岩盐互层,组成了很多Ⅲ级韵律层。岩盐层中上部夹杂卤石岩、钙芒硝岩和钠镁岩盐,局部夹无水钒矿层。厚度 298.87~345.68 m。在区块内共见矿 29 层,其中第 31、32 层未见,第 1、14、17、29 和 30 层只局部可见,其他矿层均在全区块范围内展布。在矿层内单层厚度最大者 16.49 m,最小厚度 0.79 m,各矿层厚度相差较大,但每个矿层厚度在区块内相对比较稳定,变化系数绝大多数在 10% 以内,只有个别矿层变化较大,而这些矿层的厚度也相对较薄,如第 3、4、6、18 和 20 层;厚度比较大的矿层如第 7、15、21、25 层等非常稳定。

本工程来源山东肥城海晶盐化有限公司,其目的对矿盐地层开采,共设计卤井 8 组,井号分别为 H1/H2、H3/H4、H5/H6、H7/H8、H9/H10、H11/H12、H13/H14、H15/H16、H17/H18,每组包括一口竖直井和一口水平井。以 H17/H18 井为例,如图 1 所示,先施工竖直井 H18 作为开采井,然后施工水平井 H17 井,井底与 H18 井连通后作为注水井,形成一个井下矿盐“溶解式”开采通道,其开采原理为:向 H17 井中注入常温淡水或者不饱和盐水,溶解盐矿地层中的矿盐,经 H18 井流出地层后,进行盐、水析出分离,分离后的水可再次注入 H17 井,实现循环开采。

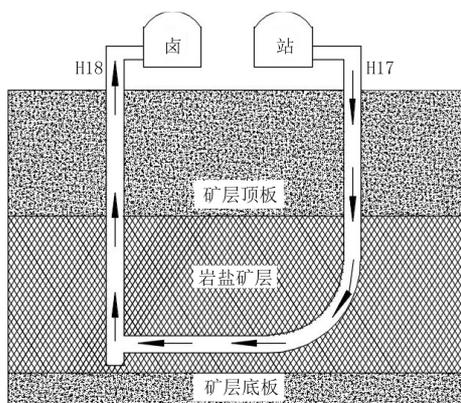


图 1 H17/H18 对井示意图

2 水平井设计

2.1 钻井区地层

钻井区各地层依次是:0~40 m 为第四系粘性

土、沙土;40~1124 m 为泥质灰岩、泥岩、石膏;1124~1469 m 为含盐矿段,主要岩性为岩盐、石膏、泥质灰岩,该矿段共见岩盐矿层 29 层,自下向上编号为地 1、2、…、29 矿层,厚度最大者 16.49 m,最小 0.79 m。本项目目标开采矿层为第 7 矿层,其倾角为 7.4°,厚度为 9.9 m,根据 H18 井揭露的地层,第 7 矿层中心埋深 1228.7 m(标高-1318.5 m)。地层柱状图如图 2 所示。

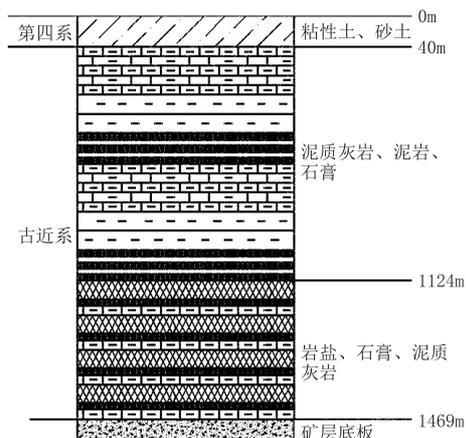


图 2 H18 井地层柱状图

2.2 水平井钻井轨迹设计

假设钻井轨迹为平面轨迹,如图 3 所示,H17/H18 设计井距 280 m、造斜顶角 0°,目标开采层为厚度为 9.9 m 的第 7 矿层,矿层倾角为 7.4°,因此设计水平段井斜角为 $90^\circ - 7.4^\circ = 82.6^\circ$ 可以完全顺着矿层中靶,开采时溶解面积最大。最优靶点 C 位置为在第 7 矿层中心面与靶井 H18 交点,即 H18 井深 1228.7 m 处(标高为-1318.5 m)。

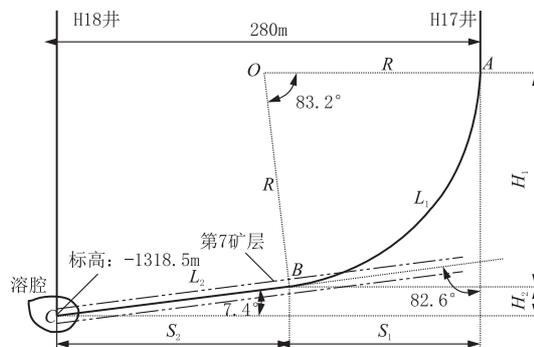


图 3 钻井造斜轨迹设计图

各轨迹参数^[6]可由以下公式计算。

造斜半径:

$$R = 1/k \quad (1)$$

造斜段长度:

$$L_1 = (2\pi R / 360) \times 83.2^\circ \quad (2)$$

造斜段垂直距:

$$H_1 = \int_0^{83.2\pi/180} \frac{1}{k} \cos\theta d\theta = \frac{1}{k} \sin 83.2^\circ \quad (3)$$

水平段垂直距:

$$H_2 = L_2 \sin 7.4^\circ \quad (4)$$

水平井造斜段水平距:

$$S_1 = \int_0^{83.2\pi/180} \frac{1}{k} \sin\theta d\theta = \frac{1}{k} (1 - \cos 83.2^\circ) \quad (5)$$

水平井水平段水平距:

$$S_2 = L_2 \cos 7.4^\circ \quad (6)$$

钻井总水平距:

$$S = S_1 + S_2 = 280 \text{ m} \quad (7)$$

式中: k ——钻井造斜率, ($^\circ$)/m; R ——造斜半径, m; L_1 ——造斜段长度, m; L_2 ——水平段长度, m; H_1 ——造斜段垂直距, m; H_2 ——水平段垂直距, m; S_1 ——水平井造斜段水平距, m; S_2 ——水平井水平段水平距, m; S ——水平井水平段水平距, m。

使用螺杆钻具单弯为 1.50° 钻具造斜时, 造斜率 $k = 0.4^\circ/\text{m} = 1/143.24 \text{ rad/m}$ 。将造斜率 k 带入公式(1)~(7)得: $R = 143.24 \text{ m}$, $L_1 = 208.00 \text{ m}$, $L_2 = 155 \text{ m}$, $H_1 = 142.23 \text{ m}$, $H_2 = 19.88 \text{ m}$, $H = 155 \text{ m}$, $S_1 = 126.28 \text{ m}$, $S_2 = 153.72 \text{ m}$ 。可求得造斜段 A 标高: $-1318.5 + H_1 + H_2 = -1156.39 \text{ m}$ 。造斜段计划采用 $\text{O}177.8 \text{ mm}$ 的套管, 曲率半径设计值范围是 $120 \sim 150 \text{ m}$, 满足设计要求^[7]。

根据计算可知, H17 井垂直井段钻至标高 -1156.39 m 时使用单弯 1.5° 螺杆钻具定向造斜, 预计造斜钻进 208.00 m 时, 以井斜角 82.6° 水平钻进 155 m 时可实现与竖直井 H18 井在标高 -1318.5 m 处实现对接连通。

3 水平对接井施工

3.1 主要设备

(1)GZ-2600 型工程钻机。该钻机为转盘钻机, 最大提升力 100 kN , 最大扭矩 $25 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 满足钻进过程中提升力和扭力要求。

(2)RL3NB500 型泥浆泵。该泥浆泵可以满足螺杆钻进过程中的高泵量、泵压要求。

(3)MWD 无线随钻测斜仪(如图 4 所示)。钻进过程中, MWD 探管将井底钻进参数通过钻井液传输至地面, 通过远程计算机系统

号进行解析后反馈给轨迹控制人员。轨迹控制人员根据井下钻进情况, 通过采用滑动钻进、复合钻进、调整工具面、选择钻具造斜率等手段进行钻孔轨迹的控制^[8]。

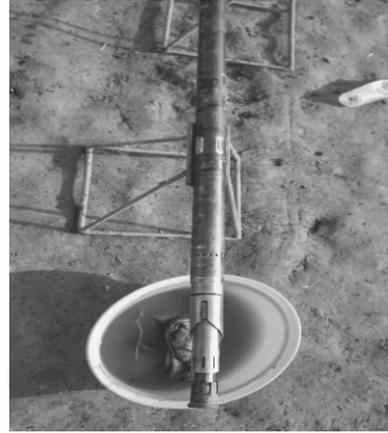


图 4 MWD 无线随钻测斜仪

(4)螺杆钻具。螺杆钻具可以通过钻井液驱动螺杆马达旋转, 将扭矩传动给钻头实现孔底定向钻进。螺杆钻具单弯具有 1.50° 角度, 可以用来实现钻孔造斜, 实现灵活控制钻井轨迹。

(5)RMRS 对接仪器。旋转磁铁测距系统(RMRS)包括一个旋转磁性接头(磁信号发射单元), 位于钻头和马达之间, 接头内部由磁性很强的稀土永磁制成, 在随钻头转动时产生交变磁场。产生的磁场由位于附近有效范围内的目标井中的有线测量探管(磁接收单元)测量, 探管中的磁场传感器感应出磁场强度的变化, 从而提供关于探管与钻头之间距离和方位的数据, 进而引导其与靶点精确对接, 提高对接成功率, 图 5 为 RMRS 精准对接示意图。

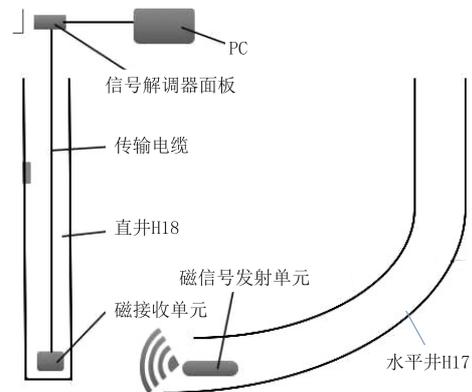


图 5 RMRS 精准对接示意图

水平井钻井主要设备见表 1。

表 1 主要设备配备

名称	型号
钻机	GZ-2600
钻塔	A27
泥浆泵	RL3NB500
测斜仪	LHE3012B
测量系统	MWD 仪器
无磁钻铤	Ø165、120 mm
螺杆	Ø165、120 mm
对接仪器	RMRS

3.2 主要钻井技术参数

H17 井水平钻井技术参数如表 2 所示, H17 水平井钻具组合情况如表 3 所示。

表 2 H17 井各井段钻进参数

井段	钻头直径/mm	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·s ⁻¹)	泵压/MPa
直井段	一开	346.0	10~40	65	20.00
	二开	215.9	30~50	65~103	20.00
造斜段	二开	215.9	30~110		25.25
水平段	三开	152.0	30~110		25.25

表 3 H17 井钻具组合

井身结构	Ø346 mm×55.22 m	Ø215.9 mm×1429.00 m	Ø152.4 mm×1610.70 m
套管程序	Ø273.05 mm×8.89 mm×55.22 m	Ø177.8 mm×9.19 mm×1406.47 m	
钻进阶段	钻进井段/m		
一开	0~55.22	Ø346 mm 牙轮钻头+Ø159 mm 钻铤+Ø102 mm 钻杆	
二开	直井段	55.22~1239.00	Ø215.9 mm 牙轮钻头+Ø159 mm 钻铤+Ø102 mm 钻杆
	造斜段	1239.00~1429.00	Ø215.9 mm 牙轮钻头+1.5°/Ø165 mm 螺杆+Ø165 mm 定向短接+Ø165 mm 无磁钻铤 1 根+回压阀+Ø102 mm 钻杆
三开	造斜段	1429.00~1450.90	Ø152.4 mm 牙轮钻头+1.5°/Ø120 mm 螺杆+Ø120 mm 回压阀+Ø120 mm 定向短节+Ø120 mm 无磁钻铤+Ø102 mm 钻杆+Ø89 mm 钻杆
水平井段	1450.90~1610.70		

3.3 施工过程

一开 0~55.22 m 段:采用 Ø346.1 mm 钢齿牙轮钻头开孔,钻至井深 55.22 m 后提钻,下入 Ø273 mm×8.89 mm 表层套管 55.22 m,并使用普通硅酸盐 42.5 号水泥固井止水。

二开 55.22~1429.00 m 段:直井段采用 Ø215.9 mm 牙轮钻头钻至造斜点井深 1239.00 m (标高-1150.10 m)。造斜段采用 Ø215.9 mm 镶齿牙轮钻头+1.5°/Ø165 mm 螺杆马达组合造斜钻具,使用 MWD 随钻测斜仪实时测量并控制造斜钻进,钻进至井深 1429.00 m,最终下入 Ø177.8 mm×9.19 mm 生产套管全长 1426.00 m,使用 G 级油井水泥固井。

三开 1429.00~1610.70 m 段:采用 Ø152.4 mm 镶齿牙轮钻头+1.5°/Ø120 mm 螺杆马达造斜组合钻具,使用 MWD 随钻测斜仪实时测量并控制造斜钻进。

在距离靶点还有 50 m 左右时,使用 RMRS 对接仪器。提钻在钻头和马达之间下入一个磁信号发射单元。在 H18 井溶腔中下入磁接收单元,精确测出定向孔轨迹的偏斜角度和方位,及时调整轨迹,钻至井深 1610.70 m 与 H18 井对接连通成功。施工现场如图 6 所示。



图 6 施工现场

3.4 中靶施工效果评价

H17 井钻井轨迹水平投影图如图 7 所示,可以看出,在直井段钻进过程中,钻井出现了一定程度西偏移和北偏移,在造斜及水平段钻进过程中,钻井轨迹比较粗糙、一直朝向东侧靶区方向前进,最终与溶腔相交。表明在钻进过程中,钻井轨迹经过了多次技术调整,使钻井轨迹保持正确方向前进,在钻至靶井 H18 附近, H17 井轨迹与 H18 井溶腔靶区连通,成功中靶,最终实现对接井成功连通。

H17 井定向钻井自 2015 年 3 月 1 日开始,2015 年 3 月 31 日钻至靶区,完成钻探工作量 1610.70

m。水平段井斜角 82.6° ，水平穿越第7矿层 159.8 m，水平钻进过程中从未偏离矿层，保证第7矿层矿产资源得到最大程度开发利用。钻进至 1610.70 m 时，发现井口不返浆，泥浆泵正常工作，说明水平井成功钻到靶区，实现两井连通。整个定向施工过程遵循安全生产原则，严格把控工程质量，没有出现人身安全、仪器设备及任何井内事故。

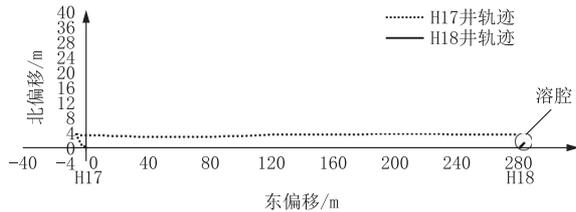


图7 H17井轨迹水平投影图

4 主要难点和技术对策

H17井钻探对接距离远，且需要穿越多层复杂地层，极易出现钻井缩径、坍塌、卡钻以及脱靶等事故，主要难点和技术对策如下。

(1) 钻井区域含有多层泥岩，为水敏性地层，钻进过程中会自然造浆，增大钻井液滤失量，一方面造成钻井液滤饼增厚，另一方面大量滤失液进入泥岩地层会使泥岩吸水膨胀，容易造成井径缩小，造成钻具扭矩加大，使井壁粘结力增加，提钻时会增加井壁环空吸力，形成“抽真空”现象，严重影响孔壁稳定性。主要技术对策如下。

① 使用优质膨润土。吸水性强，水膜强度高，泥饼薄而坚硬，钻井液滤失量低。

② 添加护壁剂、润滑剂、磺化沥青等多种钻井液添加剂。护壁剂可以降低钻井液滤失量、在泥岩地层有效抑制井壁缩径进而可以降低钻机扭矩，防止粘附卡钻事故发生；润滑剂可以降低钻井液的流动阻力和滤饼摩擦系数，降低钻机扭矩，以防钻具粘卡井壁；磺化沥青具有堵漏、防塌、润滑、减阻等作用，进一步改善钻井液性能^[9]。

③ 常测钻井液粘度。根据工程需要改善钻井液性能参数。

④ 使用小钻压、低转速，尽量使用钻铤加压。可以有效防止井斜，降低自然造浆速度以及避免包钻事故发生。

(2) 含盐矿段钻进时，使用常规钻井液会溶解地层，造成井壁不稳定。定向钻进阶段，钻井液还需满足润滑性和低固相条件，以降低钻具摩擦，保证井下

螺杆马达的正常工作^[10]。主要技术对策如下：

① 更换卤水钻井液。钻至含盐矿段时使用卤水钻井液替换膨润土泥浆钻井液，可以有效抑制地层盐类溶解，防止孔壁不稳定。本工程使用欠饱和卤水钻井液（卤水完全饱和，会出现堵塞钻头事故，影响钻进施工效率）。

② 加入CMC、纯碱、火碱、腐植酸钾、磺化酚醛树脂、润滑剂、护壁剂等钻井液添加剂。CMC具有良好的降滤失效果、提高钻井液粘度以及具有堵漏作用；纯碱、火碱可以增加钻井液pH值，保证钻井液中聚合物发挥性能；腐植酸钾和磺化酚醛树脂具有降滤失效果，可进一步改善卤水钻井液性能^[11-12]。

③ 常测钻井液粘度和控制钻井液中固相含量。及时加水稀释卤水浓度，并添加钻井液添加剂，维持钻井液优良性能；造斜和水平钻进阶段及时降低钻井液中的固相含量，可以保证随钻测斜仪器的正常工作，延长螺杆钻具的使用寿命。

(3) 定向钻进过程中，钻杆本身不转动，造斜段曲率高，钻遇地层复杂，工艺控制不当容易出现粘钻、孔壁坍塌等事故，主要技术对策如下。

① 定期旋转钻具，改变钻具的受力状态，及时检查钻具，清理有问题隐患钻具和问题钻具。

② 每钻进25m左右，作短起下钻一次，若需要停钻检修超过1h，必须将钻具提入套管中，防止出现粘钻、卡钻事故。

③ 严格控制起钻、下钻速度，若上下钻遇阻时，禁止强拉硬拽。尤其在曲率大和不稳定井段，造成井壁扰动过大，出现坍塌事故。

(4) 中靶施工难度高。靶点为H18井深1228.7m处，实现零误差对接难度极高。主要技术对策如下。

① 在靶区位置溶一水平直径约5m的葫芦形溶腔，扩大了靶区范围，大大提高中靶机率。

② 使用MWD无线随钻测斜系统精确控制井眼轨迹的同时，配合钻时录井、岩屑录井进行地质导向，根据地质导向所提供的层位数据，来分析、判断井下钻头所处的位置，实时调整定向参数，以控制水平井的钻进轨迹沿着设计轨迹钻进。随钻测量系统的误差和误差积累特性，仅依靠随钻测量技术无法保证对接井的准确连通，在距离靶点还有50m左右时，使用RMRS对接仪器，可以消除误差积累性，

可精确测量钻孔方位和井斜角,确保对接一次成功。若测出偏斜的角度和方位过大,就需要提钻后在水平段选择合适的位置重新造斜对接。

5 结语

(1)与单井相比,水平井对接井开采卤可以增大开采面积,大幅度提高了岩盐的开采率,具有投产快、成本低、卤水产量大、浓度高等优点。

(2)严格的钻井轨迹设计是保证工程顺利进行的前提。无线随钻测斜导向技术和人工磁导向技术是整个定向对接技术的核心,只有准确地判断钻井轨迹和精确的钻进导向才能提高定向对接工程的对接成功率,保证工程质量。

(3)钻井过程中及时更换钻井液的类型以及控制钻井液参数是保证钻井顺利施工的关键,在含盐段地层必须采用欠饱和盐水钻井液抑制地层溶解的同时防止盐类沉淀堵塞钻具。

(4)本项目钻井区域地层复杂,水平定向对接距离长,可达 280 m。钻井施工过程中的所遇难点及采取的技术对策可为同类钻井施工提供借鉴和指导依据。

(上接第 39 页)

该钻机反映出一些不足,不合理的参数设置,提升能力的不足,过高的维修率,都大大影响到了该钻机的使用效果。

(2)组合钻杆柱在此次施工中的成功应用,证明了在深孔钻探时使用组合钻杆是可行的。组合钻杆柱,可有效地解决常规绳索取心钻杆不能满足深部钻探对钻杆强度要求高的问题,要加强对组合钻杆的研究,包括对其结构的优化等,以使其更多地满足深孔超深孔的需要。

(3)采用 LBM、双聚泥浆等技术措施,可提高在坍塌、破碎及缩径等复杂地层钻进施工中的钻进效率。

(4)JS150/122 型绳索取心钻具在本次施工中取得了很好的使用效果,在保证钻孔结构合理性的前提下,实现了安全、高效的绳索取心钻进,提高了钻进效率。

(5)在深孔钻进中,辅助时间占全部施工时间比例最大,在本次施工占总施工时长的 53%,降低起

参考文献:

- [1] 商敬秋,武程亮,刘汪威,等.无建槽直井的定向中靶作业[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):13-16.
- [2] 崔贵平,唐孟龙.定向对接井的应用与发展趋势[J].中国井矿盐,2001,(3):16-18.
- [3] 周铁芳,向军文.采卤对接井钻井技术及在井矿盐开采中的应用[J].中国井矿盐,1996,(1):16-19.
- [4] 黄存谟,傅建云.对接井采卤技术在多层、薄层岩盐中的应用[J].中国井矿盐,2001,(4):23-26.
- [5] 余茂良.对接井在江西岩盐矿床的应用[J].中国井矿盐,1997,(2):25-28.
- [6] 张燕民,郭冬兰,张灯国.盐井定向对接施工工艺研究[J].山东国土资源,2009,25(8):37-39.
- [7] 樊传忠.盐矿水平对接井开采的几个关键问题[J].中国井矿盐,2015,46(5):13-16,46.
- [8] 胡汉月.对接井中靶利器——浅谈近靶点测量技术的发展与应用[J].中国井矿盐,2007,(4):27-31.
- [9] 陈强,郭威,李强,等.油页岩原位开采井钻井工艺设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):9-14.
- [10] 高雨根,肖玉帅.单薄层岩盐长水平距对接井施工工艺[J].中国井矿盐,2009,40(3):12-14,18.
- [11] 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.
- [12] 潘东懿.低固相饱和盐水泥浆在盐矿定向对接井施工中的应用[J].山东煤炭科技,2016,(7):191-192,194.

下钻时间是降低辅助时间,提高钻进效率的关键。

参考文献:

- [1] 地质钻探找矿新技术手册[M].北京:地质出版社,2010.
- [2] DZ/T 022—2010,地质岩心钻探规程[S].
- [3] 宋世杰,张英传,田志超,等.三层管底喷取心钻具在海相第四系和新近系中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(3):10-13.
- [4] 张培丰.深孔岩心钻探问题探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(8):6-11.
- [5] 翟育峰,仲崇龙,刘峰.羌塘盆地羌资-14 井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):92-95.
- [6] 陈师逊,杨芳.深部钻探复合钻杆的研究与应用[J].地质与勘探,2014,50(4):772-776.
- [7] 孟祥波.齐平 3 井钻井施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(8):22-24.
- [8] 田志超,宋世杰,刘振新,等.三山岛北部海域 ZK3210 钻孔事故处理工艺[J].地质装备,2017,18(4):29-32.
- [9] 张宝河,王政敏,边鹏,等.哈达门沟深孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):14-18.
- [10] 刁长河.岩心钻探深孔施工之重点[J].新疆有色金属,2016,(5):5-6.