

青海省某盐湖浅层卤水矿岩心钻探技术

刘蓓^{1,2,3}, 杨永顺⁴, 周梓豪⁵, 李雪宁^{5*}, 张雄^{1,2}, 揣金乐¹

(1. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心, 陕西 西安 710100;

2. 中国地质调查局金矿勘查技术创新中心, 陕西 西安 710100; 3. 中国地质调查局绿色钻探技术创新中心, 北京 100083;
4. 中国地质调查局西宁自然资源综合调查中心, 青海 西宁 810000; 5. 中化地质矿山总局地质研究院, 北京 100101)

摘要: 盐湖浅部覆盖地层具有水溶性强、胶结性差、裂隙孔隙发育等特点, 钻孔易发生缩径、坍塌、溶蚀剥落、漏失等问题, 进而引起卡钻、埋钻、憋泵等孔内事故, 因此需要改进钻探技术以提升工程施工质效。结合矿区实际, 探索了短钻具+侧喷PDC钻头+饱和卤水冲洗液+PVC管护壁组合式绳索取心钻进工艺, 通过开展试验研究, 优化钻进参数、改善饱和卤水冲洗液、优选取心钻头, 因地制宜改造绳索取心绞车, 设计研发分层抽水试验装置的双单动接头, 这些技术措施在盐湖浅层钻探施工生产中取得成功应用, 保障了钻探工程高质量高效实施。

关键词: 卤水矿; 绳索取心; PDC钻头; 饱和卤水冲洗液; 盐湖

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0280-07

Core drilling technology for shallow brine mine in a salt lake in Qinghai Province

LIU Bei^{1,2,3}, YANG Yongshun⁴, ZHOU Zihao⁵, LI Xuening^{5*}, ZHANG Xiong^{1,2}, CHUAI Jinle¹

(1. Xi'an Center of Mineral Resources Survey, China Geological Survey, Xi'an Shaanxi 710100, China;

2. Technology Innovation Center for Gold Ore Exploration, China Geological Survey, Xi'an Shaanxi 710100, China;

3. Technology Innovation Center of Green Drilling, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

4. Xining Natural Resources Survey Center, CGS, Xining Qinghai 810000, China;

5. Geological Institute of China Chemical Geology Mine Bureau, Beijing 100101, China)

Abstract: The shallow overburden of salt lake has the characteristics of strong water solubility, poor cementation, developed fractures and pores, etc. Boreholes are prone to problems such as diameter shrinkage, collapse, corrosion peeling, leakage, etc., which further leads to borehole accidents such as tool stuck, drill buried, pump suppression, etc. Therefore, it is necessary to improve drilling technology to promote the quality and efficiency of engineering construction. Combined with the actual situation in the mining area, the project explored the combined wire-line core drilling technology of "short drilling tool+side-sprayed PDC bit+saturated brine flushing fluid+PVC tube protection wall", by carrying out experimental research, optimizing the drilling parameters, improving the saturated brine flushing solution, preferably selecting the core bit, modifying the wire-line coring winch according to local conditions, designing and developing the single-double action joint of layered pumping test device, these technical measures were successfully applied in shallow drilling construction and production of salt lake, which ensures the high-quality and efficient implementation of drilling engineering.

Key words: brine mine; wire-line coring; PDC bit; saturated brine flushing fluid; salt lake

收稿日期: 2024-07-19 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.043

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“西部地区战略性矿产靶区查证技术支撑(西安矿产中心)”(编号: DD20243311)

第一作者: 刘蓓, 男, 汉族, 1986年生, 工程勘查室副主任, 高级工程师, 地质工程专业, 硕士, 主要从事地质钻探工程技术研究和管理工作, 陕西省西安市长安区凤栖西路66号, liubei02105228@163.com。

通信作者: 李雪宁, 男, 汉族, 1995年生, 助理工程师, 水文与水资源工程专业, 主要从事水文地质勘查与盐湖研究工作, 河北省保定市涿州市范阳西路122号(072750), 571561515@qq.com。

引用格式: 刘蓓, 杨永顺, 周梓豪, 等. 青海省某盐湖浅层卤水矿岩心钻探技术[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1): 280-286.

LIU Bei, YANG Yongshun, ZHOU Zihao, et al. Core drilling technology for shallow brine mine in a salt lake in Qinghai Province[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 280-286.

0 引言

钾盐矿已被列入我国急缺的矿种之一,青海柴达木盆地被誉为中国“聚宝盆”,盐湖遍布、得天独厚,蕴藏着极为丰富的钾盐矿产资源^[1-2],浅层卤水矿埋深一般在200 m以浅^[3]。2023年,我中心承担青海省某盐湖浅层钾矿岩心钻探工程项目,矿区位于柴达木盆地东北部,隶属青海省海西州茫崖市。项目完成地质岩心钻孔共计31个,累计进尺3109.88 m,全部钻孔质量均达到规范与合同要求,通过在该矿区开展岩心钻探施工与技术攻关,积累了一些适用的技术经验,可为类似盐湖钻探工程提供相关参考依据。

1 地层概况

钾盐矿床主要有碎屑岩系型和盐湖型^[4],作业矿区为典型的盐湖钾矿床,钾矿主要赋存于上更新统一全新统化学沉积层中。钻遇地层主要为石盐、含粉砂石盐、含粘土石盐、含石盐粉细砂、含石盐(石膏、芒硝)粉砂、含石盐(石膏、芒硝)粉砂粘土、含石盐(石膏、芒硝)粘土以及含石盐(石膏、芒硝)淤泥等(见图1)。总体来看,岩土胶结性较差,可钻性级别为I~IV级,地层易钻进,由于地层含泥质和盐碱量高,具有水溶性,地层遇水易发生溶蚀、分散、膨胀和掉块,孔壁稳定性差,钻孔护壁难度较大。

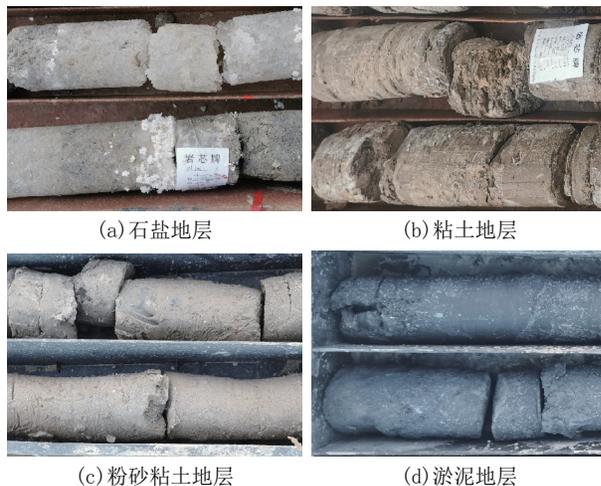


图1 矿区内主要地层

2 钻探质量要求和施工难点

2.1 钻探质量要求

(1) 开口口径 $\leq \varnothing 150$ mm, 终孔口径 $\leq \varnothing 130$ mm, 不同孔径的具体深度以达到地质目的, 经甲方

技术人员现场确定后为准; (2) 岩矿心采取: 要求全孔取心, 平均采取率 $\leq 80\%$, 获取的岩心直径 $\leq \varnothing 85$ mm; (3) 钻孔弯曲测量: 每100 m 钻孔顶角偏斜 $\geq 2^\circ$, 每钻进50 m 或终孔后必须测斜; (4) 孔深误差测量与校正: 每钻进100 m 或终孔后必须测量和校正孔深, 钻具丈量孔深误差率 $\geq 1\%$, 孔深误差率 $> 1\%$ 时需要修正报表; (5) 简易水文观测: 每班至少观测水位2~3回次; (6) 禁止采用淡水和非卤水冲洗液钻进; (7) 抽水钻孔需要探孔, 确保抽水试验设备安全顺利下入钻孔工作深度, 并开展简易抽水和分层分段抽水取样。

2.2 钻探施工难点

(1) 钻孔护壁困难。现代盐湖均属水溶性、水敏性地层^[5], 尤其是浅层卤水地层沉积物一般未固结, 具有松散软、酥脆、易塌、易膨胀等特点^[6], 钻进施工中易发生卡钻、埋钻、漏失等孔内事故^[7-8]。

(2) 岩心采取困难。钾盐矿是可溶性盐类矿的一种, 易吸水引发岩(矿)心溶蚀, 钾盐地层硬度低, 可钻性好(低), 但易发生丢心, 钻进取心取样质量难以保证。

(3) 石盐层以结晶多面体岩块为主, 孔隙、裂隙通道非常发育(见图2), 钻进过程中易发生漏失, 造成钻孔内的岩粉(岩屑)无法被冲洗液携带至地表, 孔内岩粉累积严重可影响正常钻进施工。



图2 石盐地层中的孔隙(裂隙)

(4) 冲洗液使用严格, 卤水钻探必须选用能确保固体含钾矿心不被溶蚀和卤水钾矿不受污染的冲洗液进行钻进。

(5) 卤水钻探工作辅助工时多, 频繁进行止水、抽水、取样等水文地质工作(或试验)的时间占比大, 严重影响工程项目整体进度。

(6) 施工生产和生活保障难度大, 钻孔布设间距大, 设备搬迁频繁, 道路凹凸不平, 车辆通行条件

差,生产、生活用水及其所需物资供应困难,工作、生活的环境艰苦。

3 设备和钻具选择

3.1 钻探设备选择

钻探设备选择主要考虑矿区地层、设计孔深以及质量要求,同时结合项目实际和矿区保障条件等确定钻进工艺,科学合理选用钻探设备。因钻孔分布间距大(勘探线间距4 km,钻孔间距2 km),钻孔设计深度均为120 m以浅,且钻孔数量较多,为提高施工效率,快速转场搬迁,按期完成任务,项目设立3个钻探施工机台,选用的地质岩心钻探装备配备情况见表1。

表1 机台主要装备配备

作业机台	设备名称	型号	数量	备注
机台1	履带式钻机	XY-4-3A	1套	配套钻塔
	绳索取心绞车	JS-1000	1台	
	泥浆泵	BW-250/6	1台	配套柴油机动力
	发电机组	100 kW	1台	
机台2	车载钻机	DPP-300	1套	配套泥浆泵
	绳索取心绞车	JS-1000	1台	配套柴油机动力
机台3	履带式塔机一体钻机	HXY-44TL	1套	配套泥浆泵和取心绞车
	测斜仪	KXP-2D	1套	
	抽水泵	Y90QJ6-115/22	2台	
	钻孔分层抽水系统	Ø128	1套	
	堰箱	1m×1.2m×1.5m	2个	
	发电机组	50 kW	1台	抽水试验装置供电
	水车	20 m ³	2台	
	挖掘机	现代55-7	1台	

3.2 钻具选择

3.2.1 取心钻进

潜水层水位以上孔段,选用Ø200 mm复合片取心钻头、Ø196 mm单管钻具和Ø50 mm钻杆;潜水层水位以下孔段,选用Ø130 mm(P口径+8 mm)复合片取心钻头^[9]、P口径绳索取心钻具和钻杆。

3.2.2 扩孔钻进

采用Ø150 mm三翼刮刀钻头和Ø50 mm钻杆。

4 钻进工艺

4.1 钻孔结构

根据钻探质量要求,终孔口径 φ Ø130 mm,分层抽水试验孔段口径 φ Ø150 mm。结合施工作业实际,钻孔结构设计为Ø200 mm-Ø150 mm-Ø130 mm三级口径。Ø200 mm口径为潜水层以上孔段,为防止该段地层遇水溶蚀,需下入套管保护孔壁地层的稳定;Ø150 mm口径为潜水层以下至分层抽水试验设备下入最深位置的孔段。

4.2 钻进方法

主要采用无泵单管钻进与绳索取心钻进相结合的方法进行钻探施工。

一开(潜水层水位以上):开孔采用Ø200 mm复合片单管取心钻头+Ø196 mm单管钻具+Ø50 mm钻杆的钻具组合,无泵单管“干钻”法取心钻进,钻进施工完毕后下入Ø200 mm PVC管保护孔壁。

二开(潜水层水位以下至试验孔深):采用Ø130 mm复合片取心钻头+扩孔器+P口径绳索取心钻具+Ø114 mm绳索钻杆的钻具组合,绳索取心钻进,饱和卤水冲洗液排粉、护壁,钻进至抽水试验设计孔深,采用Ø150 mm三翼刮刀钻头+Ø50 mm钻杆钻具组合进行扩孔钻进,饱和卤水冲洗液排粉、护壁。

三开(试验孔深至终孔孔深):采用Ø130 mm复合片取心钻头+扩孔器+P口径绳索取心钻具+Ø114 mm绳索钻杆的钻具组合,绳索取心钻进,饱和卤水冲洗液排粉、护壁,钻进至设计孔深。

4.3 钻进参数

潜水层水位以上地层采用无泵单管钻进,钻压控制在5~15 kN,转速控制在100~200 r/min,无泵干钻需严格控制钻压和回转速度,防止钻具变形或发生烧钻,回次进尺一般不得超过0.5 m,以保证岩心采取质量;潜水层水位以下地层采用绳索取心钻进,钻压控制在5~10 kN,转速控制在300~500 r/min,泵量控制在90~145 L/min。

在钻探施工过程中,加强对钻进参数的探索研究,以提升钻速和岩心采取质量。影响绳索取心钻探质效的主要参数为转速和泵量,在较低转速(100~200 r/min)情况下,钻进进尺较慢,钻速偏低,岩心采取率低,还可能发生丢心情况;在较小泵量(35~60 L/min)情况下,经常发生岩心管与钻具外管抱死以及卡(夹)钻事故(见图3),且岩心采取

率偏低。通过调整钻进参数,提升钻机转速(300~500 r/min),增大冲洗液循环泵量(90~145 L/min),可把钻头切削的大量岩粉及时排出钻孔,利于钻头进一步快速碎岩,钻速得到明显改善,卡(夹)钻事故发生概率降低,岩心采取率和质量均有了保障。

4.4 冲洗液

潜水层水位以下地层钻进可采用冲洗液钻进,根据质量要求不能使用淡水配置冲洗液以及其他可污染卤水钾矿的添加剂,为解决冲洗液使用问题,选用矿区内的饱和卤水作为冲洗液进行钻探施工^[10-12]。施工过程中发现不同区域的卤水在施工中存在如下问题:一是使用的饱和卤水密度较大时($\rho_{\text{饱和}} > 1.3 \text{ g/cm}^3$),卤水易在钻杆、泥浆泵以及高压水管内结晶(见图4a),造成钻杆和高压水管的冲洗通道堵塞,同时加快了泥浆泵零部件磨损损坏;二是使用的饱和卤水密度较小时($\rho_{\text{饱和}} < 1.2 \text{ g/cm}^3$),



图3 岩粉造成岩心管与钻具外管间隙堵塞

孔壁地层易发生溶蚀破坏,并引起卡(夹)钻事故,且获取的岩心质量较差,岩心直径缩小,岩心表面有蜂窝状溶蚀洞(见图4b)。



图4 饱和卤水冲洗液应用情况

为解决冲洗液使用中存在的以上问题,同时考虑到矿区地表饱和卤水与钻孔内卤水成分的差异性,避免冲洗液污染施工钻孔的钾矿卤水和岩心,采取就近打井取水作为冲洗液,即在距离取心钻孔约10 m的位置打井取水(卤水),并对施工的全部钻孔进行取样,测定钻孔卤水密度范围为1.2~1.25 g/cm³,采用钻孔附近的地下卤水作为冲洗液,岩心采取质量明显改善(见图4c),同时解决了无人区钻探施工用水问题。

5 技术创新与应用

5.1 绳索取心工艺优化与应用

目前,国内浅层卤水矿常用钻进方法有冲击贯

入钻进、无泵单管钻进(套管钻进)^[13-15]、无泵反循环钻进^[16]、半合管钻进、双管钻进(双管双动和双管单动)^[17]以及三层管钻进等^[18],在浅覆盖钻探工程中很少应用绳索取心钻进工艺。

通过工程试点,成功应用绳索取心钻进工艺,探索出了卤水地层短钻具+侧喷PDC钻头+饱和卤水冲洗液+PVC管护壁组合式绳索取心钻进工艺。采用短钻具(1.5 m)有效解决了钻进过程中岩粉造成岩心管与钻具外管抱死的问题,还可确保岩心采取质量,控制回次钻进时间,降低岩心磨耗缺失。采用P口径加大钻头可有效改善钻杆与钻孔的环间隙^[19],降低冲洗液循环阻力,利于大颗粒岩粉排出钻孔,防止钻孔缩径或大颗粒岩粉堆积造成

卡(埋)钻事故,还可提升后续的扩孔工作质效。

由于矿区地层以湖泊沉积物为主,无砾石、卵石以及基岩等坚硬地层,优选了3种不同水口形式的PDC取心钻头进行试验,即圆形底喷水口、长条形底喷水口和侧喷水口。圆形底喷水口PDC取心钻头(见图5a)钻进至淤泥地层过程中,经常发生泥

包钻头引起憋泵无法正常钻进,在粘土质粉砂地层中钻进岩心采取率低;长条形底喷水口PDC钻头(见图5b),水口堵塞情况明显减少,淤泥和粉细砂地层岩心采取率无法保障;侧喷水口PDC钻头(见图5c),解决了水口堵塞问题,不同地层的岩心采取率均有所提高。



图5 优选取心钻头

通过以上钻具、钻头的优化改进,解决了绳索取心钻进工艺在浅层卤水矿区施工的技术难题,在施工效率方面,绳索取心钻进是单管钻进的2倍多

(见图6),绳索取心工艺的台月效率达到了758.55 m,平均岩心采取率达到了88.37%(单管平均岩心采取率83.15%),远高于单管岩心采取率。



图6 绳索钻进工艺与单管钻进工艺施工效率

5.2 绳索取心绞车改造与应用

为解决无人区钻探施工设备用电困难,研究设计了绳索取心绞车的改造方案,把取心绞车的电机驱动改为柴油机驱动(见图7),实现了取心绞车自带动力驱动,施工现场无需单独配备发电机组,简化了机台辅助设备的配置,降低了油料费用成本,更利于机台快速转场搬迁,在施工生产中取得了良好的应用效果。

5.3 分层抽水试验装置改进与应用

分层抽水试验装置主要由地面设备和孔内设

备组成,孔内设备包括抽水泵、封隔器和水文传感器,抽水泵由地表电源提供动力,封隔器由地表的高压源提供膨胀力,水文传感器可把孔内获取的实时参数传输给地表数据采集端,地表控制设备与孔内装置通过封隔器气管、抽水泵电缆以及水文传感器信号电缆线连接。下入或提出孔内分层抽水试验装置的过程中需要经常组装和拆卸,这些管线与钻杆(泵管)极易发生缠绕,造成管线张拉断裂或管线被夹持工具挤压破坏,严重影响试验的正常开展。对此,设计研制了一种防缠绕单双动接头(图

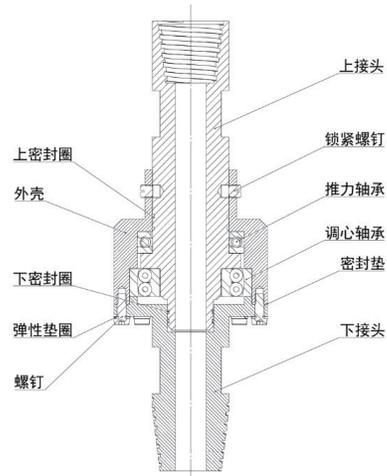


(a) 电机驱动 (改造前)

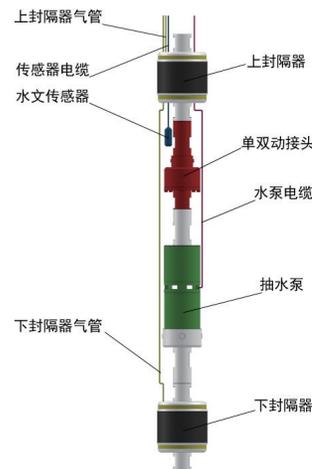


(b) 柴油机驱动 (改造后)

图 7 绳索取心绞车



(a) 单双动接头结构原理



(b) 单双动接头安装位置

图 8 分层抽水试验装置

8a), 该接头安装于上封隔器与抽水泵之间(图 8b), 可有效防止各类管线缠绕损坏, 并能够大幅度提升抽水试验装置的安装和拆卸工作效率。

5.4 荒漠(盐渍)区绿色勘查工作探索

(1)临时用地管控。根据选用的钻探设备, 严格控制临时占地和物资运输便道的修筑规模, 最大程度上减少开挖工程活动造成的地表环境破坏。同时, 充分利用荒漠区场地较平整的环境条件, 采用便携式蓄水袋存储施工用水(见图 9), 钻探施工现场尽可能减少或不挖蓄水坑, 以降低地表扰动, 蓄水袋还可重复利用, 降低施工经济成本。

(2)钻探施工场地防护。采用饱和卤水进行钻探工作, 防止岩心、地下水以及周围土壤受到污染, 同时集中处理掩埋沉淀的岩粉(岩屑)。油料存放区域铺设防渗材料, 有效防止了工程现场油料和冲洗液泄露污染周围土壤, 废油脂集中存放, 用于钻探管材和设备零部件除锈防锈, 达到废物有效利用; 施工现场产生的固体和生活垃圾分类收集, 带回项目驻地集中处理。

(3)环境恢复与治理。施工结束后及时清理钻探现场的垃圾和杂物, 矿区为典型的荒漠(盐碱地)景观区, 结合实际填埋开挖坑洞, 恢复地形地貌即



图 9 便携式蓄水袋

可(见图 10), 保障场地恢复基本与进场前一致, 消除周边安全隐患, 恢复治理后的场地符合绿色勘查技术要求。

6 结论与建议

(1)创新钻进技术工艺取得较好应用成效。首



(a) 钻探施工开始



(b) 钻探施工结束

图10 地形地貌恢复

次在卤水地层成功应用了短钻具+侧喷PDC钻头+饱和卤水冲洗液+PVC管护壁组合式绳索取心钻进工艺,结合绳索取心工艺优化钻进参数、改善饱和卤水冲洗液、优选取心钻头,大幅提升了浅层卤水地质勘查孔的钻探施工效率和质量,在浅层盐湖钻探工程示范应用中取得了很好的效果。

(2)因地制宜改造优化钻探装备,可有效提升工程施工质效。结合实际研究改造绳索取心绞车,破解了用电难题,设计分层抽水试验装置的单双动机构,解决了试验装置管线缠绕问题,有力保障了项目在无人区顺利、高效开展钻探施工作业。

(3)探索了荒漠(盐渍)区绿色勘查工作,从钻探施工临时用地、施工现场防护以及环境恢复治理等方面加强绿色勘查工作落实,以便携式蓄水袋代替蓄水坑,严格现场污染物使用管理,注重工后的场地恢复,绿色勘查工作在荒漠景观区试点与探索初见成效。

(4)盐湖型钾盐地层极其不稳定,具有可溶性、胶结差、裂隙孔隙发育等特征,钻进中孔壁极易发生缩径、坍塌、溶蚀剥落、漏失等问题,卡(夹)钻、埋钻、憋泵等钻探事故频发,下一步还需加强绿色环保、低污染卤水护壁冲洗液和优快钻进技术方法研究与攻关。

(5)青海盐湖大多位于荒漠无人区,钻孔勘探间距大,物资设备转场频繁,用水、用电以及材料物资保障困难,且卤水矿具有很强的腐蚀性,建议采用集成度高、机动性好的钻探设备更适于盐湖钻探工程作业,钻探设备上电器、电路等安全隐患部位应采用抗卤水腐蚀、密封性能好的材料进行保护。

参考文献:

- [1] 易强忠,王应科,黎光朋,等.景谷凹陷钾盐地质调查JG-2井钻探施工技术[J].钻探工程,2023,50(S1):358-364.
- [2] 张庆海.现代盐湖钻探工艺技术综述[J].青海地质,1994,(1):65-76.
- [3] DZ/T 0212.2—2020.矿产地质勘查规范盐类第2部分:现代盐湖盐类[S].
- [4] 官述林,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.
- [5] 徐培远,袁志坚.青海盐溶地层钻探卤水泥浆配方研制及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):41-44.
- [6] 景龙,徐树,常林祯,等.沧州深部盐矿钻探施工关键技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(5):8-12.
- [7] 李晓东,陶士先,李艳宁.罗布泊盐湖深部钾盐地质科学钻探卤水冲洗液研究与应用[C]//中国地质学会.第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集,2019:6.
- [8] 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.
- [9] 武羽晓,邢立亭,袁春鸿,等.复合片钻头工艺技术在钾盐矿层中的应用[J].矿产勘查,2022,13(1):88-94.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 易强忠,熊正强,周兴华,等.景谷凹陷钾盐调查JG-2井饱和氯化镁盐水钻井液技术[J].钻探工程,2023,50(5):88-94.
- [13] 朱永宁,袁明.甘肃省漳县盐矿勘探高垂直度要求岩芯钻探钻孔施工工艺技术[J].地质与勘探,2007(4):95-97.
- [14] 顾新鲁,宋丰家,卞唐忠,等.罗布泊北部盐类地层分层分段取样钻进工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007(11):39-40,42.
- [15] 张加庆,刘炜.察尔汗盐湖地区地震工程地质条件勘测钻探方法初探[J].高原地震,2018,30(2):23-27.
- [16] 易强忠,吴永鹏,杨建伟,等.绳索取心钻头在钾盐勘探的应用及优化技术——以JG-2井为例[J].矿产勘查,2024,15(S1):376-383.
- [17] 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.
- [18] 刘维鹏,许青海,白白云.可溶性固体钾镁盐矿工程地质特征分析及钻探技术探索[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(8):11-14.
- [19] 刘蓓,蔡正水,杨可,等.塞上金矿复杂地层深孔岩心钻探技术[J].钻探工程,2023,50(S1):240-245.

(编辑 王文)