

小口径绳索取心钻进在殳山地区深厚泥岩地层中的施工技术

王盛¹, 潘振泉¹, 秦正运²

(1. 江西省地质矿产勘查开发局九一二大队, 江西鹰潭 335000; 2. 鲁国化工(山东)有限公司, 山东临沂 276000)

摘要: 本文介绍了小口径绳索取心钻进工艺在安徽省殳山县北部地热资源调查 ZK01 孔中的实践经验。厚度达 600 多米的水敏性泥岩地层遇水后表面水化, 出现缩径和套管内壁结成虚厚泥皮现象, 导致泥浆循环不畅、出现憋泵持压。根据小口径绳索取心钻进工艺特点, 分析了该孔缩径特征、套管内壁结泥皮原因后, 采用了液控扩孔钻头和无固相乳化抑制泥浆体系等技术取得了很好的效果。文中介绍了液控扩孔钻头原理、扩孔作业注意事项、无固相乳化抑制泥浆的维护和配制。其中液控扩孔钻头是首次在小口径绳索取心钻进工艺中采用, 为后续施工类似地层提供了很好的借鉴作用。

关键词: 小口径绳索取心钻进; 水敏性泥岩地层; 缩径; 套管内壁结泥皮; 液控扩孔钻头; 乳化泥浆

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2022)02-0085-06

Small diameter wireline core drilling for deep mudstone formation in Dangshan area

WANG Sheng¹, PAN Zhenquan¹, QIN Zhengyun²

(1.912 Geological Brigade of Jiangxi Bureau of Geology, Yingtan Jiangxi 335000, China;

2. Lugu Chemical (Shandong) Company Ltd., Linyi Shandong 276000, China)

Abstract: This article introduces field use of small-diameter wireline core drilling for geothermal survey hole ZK01 in the northern part of Dangshan County, Anhui province, where water-sensitive mudstone formation with a thickness of more than 600m was encountered. The mudstone was hydrated at the surface after encountering water, leading to the diameter shrinkage and the thick mud cake on the inner wall of the casing, which resulted in poor mud circulation and mud pump choking. In light of the characteristics of the small-diameter rope core drilling process, with analysis of the hole shrinkage characteristics and the causes for the mud cake on the inner wall of the casing, hydraulic control reaming drill bits were used with non-solid emulsified inhibitive drilling mud to achieve good results. The article describes the principle of the hydraulic control reaming bit, the precautions for reaming operation, the maintenance and preparation of non-solid emulsified inhibitive mud. The hydraulic control reaming bit was used for the first time in the small-diameter wire core drilling process, which can provide a good reference for subsequent drilling in similar formations.

Key words: small-diameter wire core drilling; water-sensitive mudstone formation; borehole shrinkage; mud cake on the inner wall of the casing; hydraulic control reaming bit; emulsified mud

收稿日期: 2021-03-26; 修回日期: 2022-01-24 DOI: 10.12143/j.ztgc.2022.02.011

第一作者: 王盛, 男, 汉族, 1988年生, 项目负责人, 工程师, 长期从事探矿工程生产与技术管理工作, 江西省鹰潭市月湖区梅园大道16号, 710541068@qq.com;

潘振泉, 男, 汉族, 1975年生, 院长, 工程师, 长期从事探矿工程生产与管理工作, 江西省鹰潭市月湖区梅园大道16号, 491636863@qq.com;

秦正运, 男, 汉族, 1971年生, 副总监, 工程师, 长期从事探矿工程生产与管理工作, 山东省临沂市兰山区临西十二路东杜家朱许村295号, 44332468@qq.com。

引用格式: 王盛, 潘振泉, 秦正运. 小口径绳索取心钻进在殳山地区深厚泥岩地层中的施工技术[J]. 钻探工程, 2022, 49(2): 85-90.

WANG Sheng, PAN Zhenquan, QIN Zhengyun. Small diameter wireline core drilling for deep mudstone formation in Dangshan area [J]. Drilling Engineering, 2022, 49(2): 85-90.

0 引言

小口径金刚石绳索取心钻进工艺,具备钻具回转转速高、钻进速度快、效率高、劳动强度低的优点;其缺点是孔径较小,钻杆与孔壁间隙小^[1]。

泥岩是水敏性地层,遇水时极易吸水膨胀、分散,导致井壁缩径、垮塌等事故。同时粘性泥岩钻屑对钻具表面具有很强的粘附性能,造成钻头和钻杆泥包、增加扭矩和憋泵效应。

小口径绳索取心钻遇深厚泥岩时,由于本身孔径、环状间隙小的特点,加之泥岩缩径、钻头和钻杆泥包现象,经常出现钻进回转阻力增大,憋泵持压不通水现象^[2-8]。

“安徽省砀山县北部地热资源调查评价项目”为安徽省自然资源厅2018年度公益性地质工作第一批项目,作为精准扶贫项目由省财政全额出资,工期2年。主要任务是查明工作区地层结构、热储盖层、热储层等地热地质条件,对地热资源进行初步评价。在该项目ZK01孔钻探取心过程中钻遇大段泥岩地层,多次出现坍塌、缩径、泥包等问题。本文针对该区水敏性地层的特点,研讨解决水敏性地层小口径绳索取心钻探问题的相关技术,对该区项目钻探施工具有重要的意义。

1 项目概况

调查区位于华北陆块徐淮地块淮北断褶带黄口断陷带之黄口凹陷,北部断箕杨楼次凹、姜马庄鞍状隆起与南部斜坡的交汇地带。主要地层从上往下依次为第四系及新近系(Q+N)松散层、古近系汶口组(E_{2-3w})、古近系官庄组(E_{2g})及下白垩统青山组(K_{1q})。第四系及新近系松散层(Q+N):厚度500~700 m,上部为第四系土黄色粘土;下部为粘土层、粉砂质粘土、细砂互层。古近系汶口组(E_{2-3w}):不整合于松散层之下,厚度160~320 m。上部为浅灰、灰白色硬石膏岩、含石膏泥岩互层加灰质泥岩;下部为浅棕色泥岩及粉砂岩互层。古近系官庄组(E_{2g}):整合于汶口组之下,厚度400~680 m。岩性为河湖相棕褐色粉砂岩、细砂岩、含砾砂岩夹泥岩。岩心照片见图1。

砀山地热ZK01孔设计孔深1200 m,全孔取心,采取率>85%,终孔直径 \leq 75 mm。



图1 钻孔岩心照片

Fig.1 Cores

2 施工遇到的困难

(1)由于覆盖层下以泥岩为主,在施工过程中多次出现上部缩径,频繁扫孔,不仅钻进效率低下,而且极易出现孔内卡钻事故。

(2)泥岩经过钻头破碎后,大量具有吸附性的劣质粘土成分进入到泥浆中,在泥浆循环过程中,伴随钻杆的甩动会吸附在孔壁、套管内壁,形成一层虚厚的泥皮,前期造成泵压升高,随着孔壁及套管内壁吸附的泥皮厚度增加,形成一种“假缩径”现象,钻孔出现憋泵持压。这一现象在采用单管钻进过程中影响不大,但是在绳索取心钻进工艺时,因环状间隙小,起下钻频率低,对孔壁刮蹭次数少等原因,极易造成憋泵持压现象。

3 具体施工过程及解决方法

钻孔上部700 m为松散第四系,粘土、细砂互层,采用 \varnothing 110 mm口径单管钻进,孔底反循环局部干烧捞心工艺。钻进至708 m后下入 \varnothing 89 mm套管护壁,为确保岩心采取率达标,改用 \varnothing 76 mm口径绳索取心钻进工艺进行施工。

该孔以泥岩等水敏性地层为主,施工前期的泥浆选用了对泥岩具有抑制膨胀和分散作用的低固相泥浆。配方为:4%膨润土+0.2%纯碱+2%铵盐+1%钾盐+2.5%防塌剂(封堵剂、腐殖酸与多羟基铝络合物)。

采用 \varnothing 76 mm口径绳索取心工艺钻进至780 m处出现憋泵,孔口不返浆,但是回转扭矩正常,上提、下放钻具无阻力,判断为上部泥岩出现蠕变缩径现象。上提钻具至缩径封堵处往下扫孔,扫至孔底后又出现憋泵持压、不返浆现象。多次上提钻具进行

扫孔,依然无法解决上部已经松散的软泥。将泥浆密度提高至 1.3 g/cm^3 后继续扫孔,还出现吸附卡钻现象。

缩径原因及特征分析:前期泥浆滤失量控制不力,导致泥浆中的水分通过渗透作用进入到地层中,与地层中的粘土矿物水化膨胀,使其强度降低,在上覆岩层重力的作用下,向孔内流动(蠕变)。根据阿尔文-沃伊特模型模拟地层围岩受力变形的粘弹性分析,利用三维本构方程,推导出岩石的三维蠕变方程:

$$U_a = \frac{a}{2} (P_b - \rho gh) \left(\frac{G_H + G_K}{G_H G_H} - \frac{1}{G_H} \right) \left(1 - e^{-\frac{G_K t}{\eta_K}} \right)$$

式中: U_a ——井眼缩径量,mm; a ——井眼直径,mm; P_b ——上覆岩层压力,MPa; ρ ——泥浆密度, g/cm^3 ; g ——重力加速度, m/s^2 ; h ——井深,m; G_H ——弹性模量,MPa; G_K ——剪切模量,MPa; η_K ——粘性系数, $\text{MPa}\cdot\text{s}$; t ——钻开井眼的时间,h。

依据以上规律可知,在泥浆密度、井深、粘性系数等变量不变的情况下,井眼缩径量和钻开井眼时间呈几何衰减关系,新井眼产生后,初始的缩径蠕变速度最高,随着时间的推移,缩径蠕变速度逐渐降低。在较长的时间之后,缩径逐渐停止^[6]。

上部708m为 $\text{O}89$ mm口径套管,内径只有78mm,且无法起拔。基于对该孔缩径地层蠕变特征的分析,结合该孔现场实际情况,采取了以下措施:套管下部采用液控扩孔钻头将 $\text{O}76$ mm口径原钻孔扩孔至 $\text{O}85$ mm口径,通过扩大缩径段的孔径,从而抵消蠕变造成的缩径效果,达到预防卡钻、憋泵的目的。该孔使用的液控扩孔钻头收缩状态外径73mm,通水后扩孔翼张开状态外径85mm。通过采

用液控扩孔钻头扩孔的方法顺利穿过708~780m缩径段,终孔后井身结构见图2。

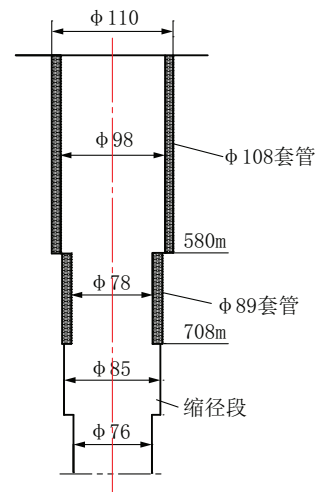


图2 井身结构示意图
Fig.2 Well structure

液控扩孔钻头工作原理:该钻头主要由上接头、钻头体、中心杆件、回位弹簧、限位块、扩孔刀翼、刀翼轴和前导钻头组成。以钻井冲洗液为动力,在钻孔任意位置需要扩孔处扩孔翼张开即可进行作业。钻杆内高压冲洗液推动钻头内的活塞和中心杆件向下运动,中心杆件上的齿条带动端部有齿轮的扩孔翼旋转张开,进行扩孔作业。扩孔翼张开后钻头靠钻具的重力进行回转扩孔,此时扩孔钻头不需要高压冲洗液。扩孔完成后,上提钻杆,扩孔翼在回位弹簧的作用下回缩,扩孔钻头即可提出孔口,液控扩孔钻头结构见图3^[9]。扩孔钻头启动泵压2MPa,流量80L/min,通泵后张开直径85mm,收缩状态直径73mm。

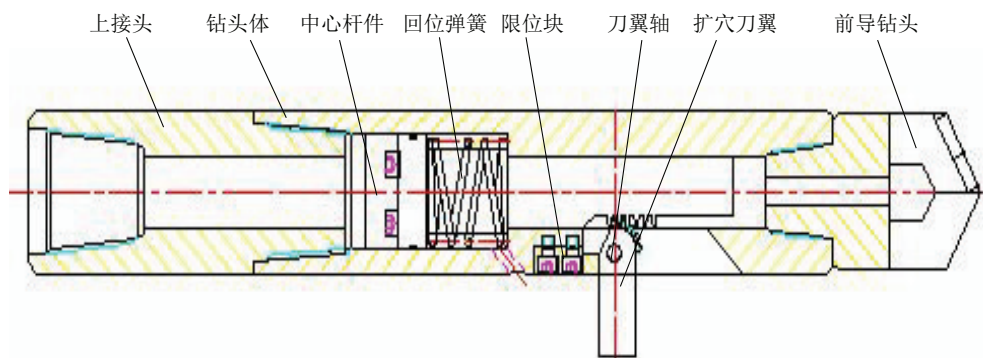


图3 液控扩孔钻头示意图
Fig.3 Structure of the hydraulic control reaming bit

扩孔钻头下孔前必须在孔口接上主动钻杆,通泵后刀翼张开、停泵后刀翼收缩,说明扩孔钻头刀翼收缩正常,可以进行扩孔作业。将孔内岩渣清洗干净,使扩孔钻头扩孔时,钻孔的前导部分不要有太大的阻力,钻孔的直径要大于扩孔钻头的直径,大的越多,扩孔钻头越容易张开,扩孔作业越顺利。前导钻头在扩孔时起搅动沉渣作用,在使用时应与扩孔钻头体拧紧并点焊。扩孔过程尽量采用低钻压、高泵量、低转速,确保扩孔钻头正常作业。本次钻孔扩孔采用参数:泵量 100 L/min,钻压 6~7 kN,转速 80 r/min。

采用液控扩孔钻头顺利穿过上部缩径地层后,下部继续采用 $\varnothing 76$ mm口径绳索取心钻进工艺进行下一步施工。钻进至 890 m 处又出现憋泵持压不返水现象,与上一次出现憋泵现象不同的是,此次上提钻具至套管内(702 m)通泵,泥浆还是循环不畅,泥浆泵泵压出现剧烈跳动,退主动钻杆往钻杆内灌浆,水位停留在管口不回落。多次起钻检查钻具,未发现钻具泥包、下钻也无阻碍,排除了套管脱节和泥包钻头。经过多番尝试,反复论证,最终判断本次憋泵现象原因是泥浆中具有吸附性的劣质粘土成分吸附在套管壁形成虚厚泥皮,形成假缩径现象,导致泥浆循环不畅,孔内岩粉无法正常排出孔外,出现憋泵持压现象。

管壁形成虚厚泥皮原因分析:

(1) 泥浆抑制性差,钻进过程中产生的岩屑发生水化分散(地层造浆),使泥浆中泥质成分含量大增,其中具强吸附性的粘土吸附在孔壁后使钻孔环状间隙减小,导致孔内大颗粒岩屑不能及时排除孔外形成堆积。

(2) 泥浆润滑性能差,管壁无法形成有效的保护膜,导致泥质成分不断吸附到管壁形成虚厚泥皮。

(3) 地层造浆导致泥浆中劣质固相含量大增,且现场缺少有效的固控设备,无法清除泥浆中劣质固相成分。

采取的措施:

(1) 出现上述憋泵现象后及时提钻,在原来的钻具上加装两组新扩孔器(外径 76.5 mm)后下入套管内,上下活动、慢车回转,利用扩孔器边缘刮蹭套管壁泥皮(套管内径 78 mm),达到清除管壁泥皮效果。

(2) 采用无固相泥浆体系代替低固相泥浆体系,从而减少泥浆中粘性土成分,提高泥浆流动性,

降低泥浆粘度、切力。

(3) 乳化泥浆,通过泥浆混油、增加润滑剂用量等措施,破坏粘土网状结构,避免粘性土、岩粉粘附在管壁上。

(4) 增加泥浆中钾离子、铵离子含量,提高钻井液抑制性,减少泥岩的水化分散,控制地层造浆。

(5) 泥浆中配置一定量的表面活性剂,达到清洗管壁的作用。

(6) 加大泥浆中聚合物含量,通过高分子聚合物吸附粘土颗粒,抑制粘土分散,促进粘土颗粒沉淀,达到降低泥浆中粘土含量的效果。同时降低泥浆流失量。

(7) 降低泥浆粘度、切力,及时清除劣质固相,发现泥浆性能变差及时更换新泥浆。

(8) 配制泥浆前,用岩样做浸泡试验,采用多种泥浆配方进行比对,挑选抑制性好的泥浆配方进行施工^[10-17],见图 4。



(a) 泥浆抑制性能差,泥岩水化松散

(b) 泥浆抑制性强,岩样未膨胀松散

图 4 无固相泥浆浸泡 48 h 后的岩样对比

Fig.4 Comparison of rock samples after soaked in solid-free mud for 48 hours

后期采用的无固相泥浆配比为:清水+0.2%聚丙烯酰胺+3%水解聚丙烯腈胺盐+0.6%有机硅腐殖酸钾+1%磺化褐煤树脂+1%封堵剂+1%瓜尔胶+0.5%柴油+1%解卡剂配制而成。该泥浆通过在孔壁形成一层薄膜保护层,减少水入侵到泥岩中,从而达到抑制泥岩水化造浆的作用。泥浆中混油乳化后可以起到破坏泥浆中粘土网状结构的作用,能有效预防粘土吸附孔壁。

通过采取以上措施,扫孔至 890 m 后,正常钻进至 1200 m,期间地层造浆现象明显减弱,且未出现

管壁结泥皮现象,顺利终孔。

4 结论及建议

(1)现阶段液控扩孔钻头系列主要应用于:锚固工程、煤、页岩气扩孔、水井施工中扩大含水层的口径、定向钻进竖井段增大对接中靶面积、在水平可溶矿井中扩大溶解面。液控扩孔钻头在小口径岩心钻探施工中采用还是首例,对将来岩心钻探施工类似地层将起到很好的借鉴作用。

(2)该项目施工过程中出现的钻孔缩径、结垢现象的根本原因是该区泥岩地层粘土含量高。地层中粘土成分极易吸水水化,水化后强度降低,在上覆地层重力作用下发生缩径。钻进过程大量含粘土成分的岩屑无法及时沉淀,长时间悬浮在泥浆中,出现粘土水化造浆现象,导致泥浆粘度骤升,大量水化的粘土吸附于管壁,出现井壁结垢现象。

(3)本项目采用无固相混油泥浆体系顺利穿过400多米的泥岩地层,该泥浆体系抑制泥岩水化性能良好、具备良好的封堵性能,有效避免了泥岩缩径、造浆现象。该泥浆体系经过混油后能有效破坏粘土网状结构,预防粘土吸附井壁结垢。

在施工过程中,出现局部孔段缩径现象后,利用泥岩缩径蠕变规律,可采用液控扩孔钻头对局部缩径孔段进行扩孔,确保钻孔顺利施工。

(4)泥岩地层施工对泥浆性能要求十分严格,在泥浆配制和维护过程中应该严格管理。配制泥浆前,必须通过浸泡试验选择性能良好的泥浆配方;在施工过程中,加强对泥浆性能变化的监控,严格控制泥浆固相含量,条件允许的情况下可配备一套泥浆固控设备。

参考文献(References):

- [1] 汤凤林, A.T. 加里宁, 段隆臣. 岩心钻探学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2009.
TANG Fenglin, A.T. Kalinin, DUAN Longchen. Core Drilling Science [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2009.
- [2] 李之军, 陈礼仪, 贾军, 等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)断层泥孔段泥浆体系的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12): 13-15, 19.
LI Zhijun, CHEN Liyi, JIA Jun, et al. Research and application of drilling fluid system for fault gouge section of the Hole WFSD-1 of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(12): 13-15, 19.
- [3] 王勇军, 赵长亮, 郑宇轩, 等. 牛热四井膏泥岩钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(3): 33-34.
WANG Yongjun, ZHAO Changliang, ZHENG Yuxuan, et al. Drilling fluid technology for gypsum mudstone in Well Niure 4 [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(3): 33-34.
- [4] 时志兴, 翟东旭, 张东兴. 小口径岩心钻探钻孔缩径的预防与处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(6): 46-49.
SHI Zhixing, ZHAI Dongxu, ZHANG Dongxing. Prevention of borehole diameter shrinkage in small diameter core drilling and treatment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(6): 46-49.
- [5] 肖东顺, 符文, 吴琼, 等. 青海五龙沟矿区泥岩地层冲洗液研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(9): 45-50.
XIAO Dongshun, FU Wen, WU Qiong, et al. Drilling fluid for mudstone in Wulonggou Mine of Qinghai province [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(9): 45-50.
- [6] 罗光强, 张伟, 李正前, 等. 汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD-4 孔强缩径地层钻进工艺研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9): 130-132, 138.
LUO Guangqiang, ZHANG Wei, LI Zhengqian, et al. The research on drilling technology used for strong hole shrinkage borehole condition in borehole WFSD-4 of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9): 130-132, 138.
- [7] 梁继军, 杨小兵. 甘肃陇南地区金矿岩心钻探不分散低固相泥浆的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(5): 15-17, 21.
LIANG Jijun, YANG Xiaobing. Application of non-disperse low solid mud for core drilling in goldmine of southern Gansu [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(5): 15-17, 21.
- [8] 王达, 何远信, 等. 地质钻探手册[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2014.
WANG Da, HE Yuanxin, et al. Geological Drilling Handbook [M]. Changsha: Central South University Press, 2014.
- [9] 史兵言, 李玉良. 煤层气扩孔钻头的研制与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(6): 5-7.
SHI Bingyan, LI Yuliang. Development and application of reaming bit for CBM drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(6): 5-7.
- [10] 高明亮. 鄂北工区 PDC 钻头泥包特征分析及预防措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(9): 21-23, 27.
GAO Mingliang. Analysis on PDC bit balling characteristics in Erdos work area and the preventive measures [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(9): 21-23, 27.

- Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(9):21-23,27.
- [11] 吴金生,张伟,李旭东,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WF-SD-4孔钻探施工概况和关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):120-125.
WU Jinsheng, ZHANG Wei, LI Xudong, et al. Overview on the drilling operation of and key technologies used in the WF-SD-4 of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9):120-125.
- [12] 张统得,陈礼仪,贾军,等.汶川地震断裂带科学钻探项目钻井液技术与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):139-142.
ZHANG Tongde, CHEN Liyi, JIA Jun, et al. The drilling fluid technology and application of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9):139-142.
- [13] 梁健,尹浩,孙建华,等.特深孔地质岩心钻探钻孔口径及管柱规格研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(8):36-46.
LIANG Jian, YIN Hao, SUN Jianhua, et al. Research on hole diameter, drill string specification and casing program for ultra-deep geological core drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(8):36-46.
- [14] 舒智,栗朝伟,谢阁,等.钾盐泥浆体系在吉林壳牌油页岩勘探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):52-55.
SHU Zhi, LI Chaowei, XIE Ge, et al. The application of potassium salt/polymer drilling fluid in oil shale exploration [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(S1):52-55.
- [15] 罗冠平.抑制性泥浆在新疆淖毛湖煤田东部勘查区中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):33-36.
LUO Guanping. Application of inhibitive drilling fluid in the eastern exploration area of Naomaohu Coalfield in Xinjiang [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(5):33-36.
- [16] 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.
ZHANG Yun, LI Xiaodong, ZHAO Yan, et al. Drilling fluid for the potassium geological scientific drilling borehole LDK02 in deep Lop Nur Salt Lake [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(9):57-62.
- [17] 李红梅,石逊.白洞铁矿南区复杂地层钻探施工技术[J].钻探工程,2021,48(11):30-35.
LI Hongmei, SHI Xun. Drilling technology for complex formation in the south area of Baijian Iron Mine [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(11):30-35.

(编辑 荐华)