

湘南1号深钻复杂地层护壁技术

王康, 唐中恩, 谭湘兵
(核工业二九〇研究所, 广东 韶关 512029)

摘要: 孔壁稳定性是钻孔顺利钻进的重要条件,合理的护壁工艺可有效地保持孔壁稳定,尤其是复杂地层钻进过程中更是需要采用适合的护壁工艺来保持孔壁稳定以达到顺利钻进的目的。湘南1号深钻施工过程中多个孔段地层极为破碎,出现了严重孔壁失稳问题。通过分析地层及现场施工工艺后,针对不同孔段,形成了一套系统的护壁方案。通过现场实际护壁效果对比发现,冲洗液在轻微漏失工况下的护壁效果较好;跟管钻进工艺适合于快速穿越局部极破碎地层;水泥球混合水泥浆对极度破碎地层护壁有良好的效果。不同的护壁工艺各有优缺点,在实际钻进过程中针对性的选用高效护壁工艺对提高钻进效率有着重要意义。

关键词: 复杂地层;孔壁稳定;护壁技术;冲洗液;跟管钻进;水泥护壁

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0227-06

Complex strata borehole protection technology of Xiangnan No.1 deep drilling

WANG Kang, TANG Zhong'en, TAN Xiangbing

(Research Institute No.290, CNNC, Shaoguan Guangdong 512029, China)

Abstract: The stability of the borehole wall is an important condition for the smooth drilling of the borehole. Reasonable wall protection technology can effectively keep the stability of hole wall, especially in the process of complex formation drilling. It is necessary to adopt suitable wall protection technology to keep the stability of hole wall to achieve the purpose of smooth drilling. During the Xiangnan No.1 Deep Drilling, the strata in several hole sections were extremely broken, and serious hole wall instability occurred. After analyzing the stratum and on-site construction technology, a set of systematic wall protection schemes were formed for different hole sections. Through the comparison of the actual wall protection effect on site, it is found that the flushing fluid is suitable for the wall protection under the condition of slight leakage, the follow-pipe drilling process is suitable for quickly passing through the local extremely broken formation, and the cement ball mixed with the cement slurry has a good effect on the protection wall of the extremely broken formation. Different retaining wall technologies have their own advantages and disadvantages. In the actual drilling process, the targeted selection of high-efficiency retaining wall technologies is of great significance to improve drilling efficiency.

Key words: complex strata; hole wall stability; wall protection technology; flushing fluid; follow-pipe drilling; cement retaining wall

随着浅层矿产资源开发逐渐枯竭,向深部寻找接替资源成为亟需解决的难题,在资源攻深找盲过程中,深钻的工程验证是最为直接有效的方法。因此新时代的找矿需求在推动对成矿理论和探测技

术革新的同时,对钻探技术尤其是深钻技术提出了更高的要求。钻孔越深,施工周期越长,孔内越复杂,孔壁失稳越突出,施工难度越大,在复杂地层进行深孔钻探更是如此。本文针对本单位施工湖南

收稿日期:2023-05-31; 修回日期:2023-08-08 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.S1.034

作者简介:王康,男,汉族,1994年生,工程师,硕士,现从事钻探工程技术管理方面工作,广东省韶关市武江区科技工业园广前路,153137263@qq.com.

引用格式:王康,唐中恩,谭湘兵.湘南1号深钻复杂地层护壁技术[J].钻探工程,2023,50(S1):227-232.

WANG Kang, TANG Zhong'en, TAN Xiangbing. Complex strata borehole protection technology of Xiangnan No.1 deep drilling[J]. Drilling Engineering, 2023,50(S1):227-232.

省汝城县沙坝子—龙头地区湘南1号深钻,在钻进过程中常遇孔壁坍塌、掉块、漏失严重等现象,在钻进过程中开展了复杂地层钻进过程中护壁技术探索试验研究,取得了较好效果,保障了该钻孔的顺利施工。该技术对复杂地层深钻施工具有一定的借鉴意义。

1 地质概况

工区大地构造位于华南造山带粤湘赣早古生代沉陷带炎陵汝城冲断褶皱隆带东部隆起区,经历了裂谷盆地阶段、被动大陆边缘盆地转化阶段、陆内造山岩浆活动阶段和断陷盆地阶段的演化^[1-4]。项目位于南岭成矿带的北缘,诸广山铀成矿带的中段,工作区断裂构造主要有北东向、近南北向,近东西向及北西向4组控(含)矿构造及多组次级构造,工区地质略图见图1。根据地质设计,湘南1号深钻目的为钻穿常德-安仁NW向岩石圈断裂和NE向相山-遂川切壳断裂交汇区。

岩石物理机械性质如下:

(1)沉积岩地层:中—中厚层板岩、碳板岩、砂岩、石英砂岩,岩性、岩相比较稳定,研磨性弱—中等,

岩石可钻性4~6级。

(2)岩浆岩:中粒—中粗粒似斑状黑云母二长花岗岩、中细粒二云母花岗岩,均质,硬度大,研磨性中等—很强,岩石可钻性7~9级。

(3)构造岩:以硅质岩、花岗碎裂岩、碎裂花岗岩为主,构造内岩石破碎,硬度不均,发育高岭土化、硅化、赤铁矿化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化、碱性长石化等蚀变。构造岩蚀变复杂,可钻性等级6~8级不等。

湘南1号深钻钻遇岩石完整性总体呈上部破碎、下部完整的特点(见表1)。破碎岩石集中出现在83.56~776.62 m,累计破碎段长度为420.63 m,占比27.67%。主要岩性为变余石英细砂岩、碳质板岩、粉砂质泥岩。

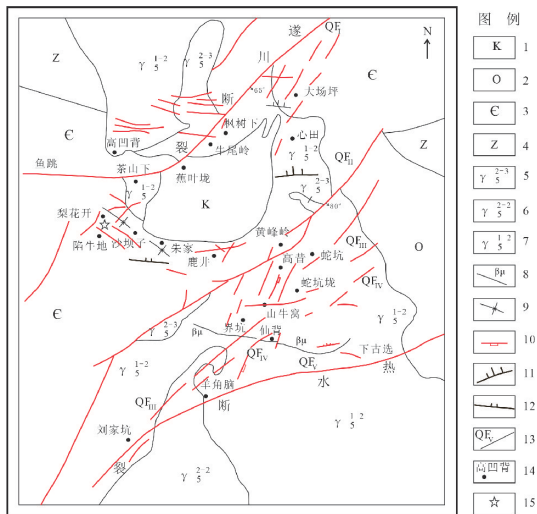
2 深钻施工概况

2.1 钻孔结构

湘南1号深钻设计孔深1500 m,实际完成1520.38 m;累计钻取岩心长度1400.29 m,岩心采取率92.10%;设计方位角270°,顶角10°,终孔顶角12.97°,方位角272.75°,累计偏斜距22.42 m;钻孔采用5级口径,4级套管,裸眼终孔,终孔口径为 $\varnothing 75$ mm,孔身结构见图2。采用的设备主要有:HXY-6A型立轴式岩心钻机,配备BW-300/16型泥浆泵、HCX-18型斜直两用钻塔、SJ-3000型绳索取心绞车。

2.2 施工技术难点

湘南1号深钻钻遇岩石主要有上部的浮土层及风化层,中部的完整或破碎变余石英砂岩、碳质板岩、松散泥页岩,下部的硅化砂岩及碎裂花岗岩(见图3)。由于钻孔所在位置为多个断裂交汇处,地层受构造影响较大,褶皱发育,地层局部倒转;岩石裂隙极为发育,受到来自断裂深部的热液及地下水的侵蚀作用,整体地层完整性较差。多个孔段岩石极破碎,不成形,且钻进过程中钻遇多个溶洞,地层漏失严重,于3.55、150~153、161.79~165.99 m钻遇大裂隙漏失,冲洗液消耗量约5 m³/h;钻进至210 m处后全孔失返,冲洗液消耗量6.9~8.0 m³/h。地层破碎极易造成上下微动钻具、提下钻具时,由于孔内压力变化造成孔壁坍塌形成“大肚子”,严重时发生埋钻、钻具折断、烧钻事故。



1—白垩系;2—奥陶系;3—寒武系;4—震旦系;5—燕山早期第3阶段细粒少斑黑云母二长花岗岩;6—燕山早期第2阶段中粒二云母花岗岩;7—印支期第2阶段黑云母花岗岩;8—辉绿岩脉;9—一向斜轴;10—新华夏系冲断层;11—东西向挤压带;12—北西向挤压带;13—石英断裂带;14—地名;15—钻孔位置

图1 工区地质略图

表1 钻遇地层及其物理性质

序号	深度/m	岩 性	完整性	可钻性	研磨性
1	0.00~16.33	残积物+泥质板岩+碳质板岩	破碎、碎裂	4	弱
2	16.33~69.88	变余石英细砂岩	破碎	5	强
3	69.88~83.56	碳质板岩	完整	4	弱
4	83.56~529.19	变余石英细砂岩夹碳质板岩	破碎,局部完整	6	较强
5	529.19~572.64	碳质板岩	破碎,局部完整	4	较弱
6	572.64~737.62	变余石英细砂岩	破碎	6	强
7	737.62~767.50	粉砂质泥岩	破碎松散	3	弱
8	767.50~833.50	变余石英细砂岩	较破碎	5	较强
9	833.50~894.63	变余石英细砂岩碳质板岩互层	较完整	6	中等
10	894.63~1351.31	变余石英细砂岩夹碳质板岩	较完整	5	较强
11	1351.31~1424.20	碳质板岩	完整	4	弱
12	1424.20~1491.09	硅化岩	完整	7	中等
13	1491.09~1520.38	碎裂花岗岩	完整、碎裂	8	较强

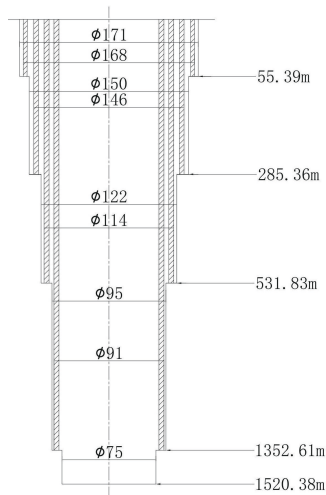


图2 孔身结构

3 钻孔护壁技术

3.1 冲洗液护壁

在钻进过程中对于轻微破碎地层,优先采用冲洗液护壁。一方面通过增加冲洗液密度以平衡地层压力;另一方面通过调整滤失量来提高泥皮质量。一般情况下,冲洗液能起到较好的护壁效果^[5-9]。

湘南1号深钻开孔段地层相对稳定,完整性较好,未出现孔壁失稳,采用常用的无固相聚合物冲洗液。钻至16.33 m出现破碎地层,根据破碎程度配制相应的冲洗液稳定孔壁、堵漏。通过膨润土增加冲洗液的密度和粘度,纤维素和腐殖酸钾降低冲洗液的失水量至7~11 mL/30 min,上返冲洗液的含砂量小于4%(见表2)。钻至210 m后随着地层裂隙增多,冲洗液全孔失返,仅在孔底存在少量冲洗液,

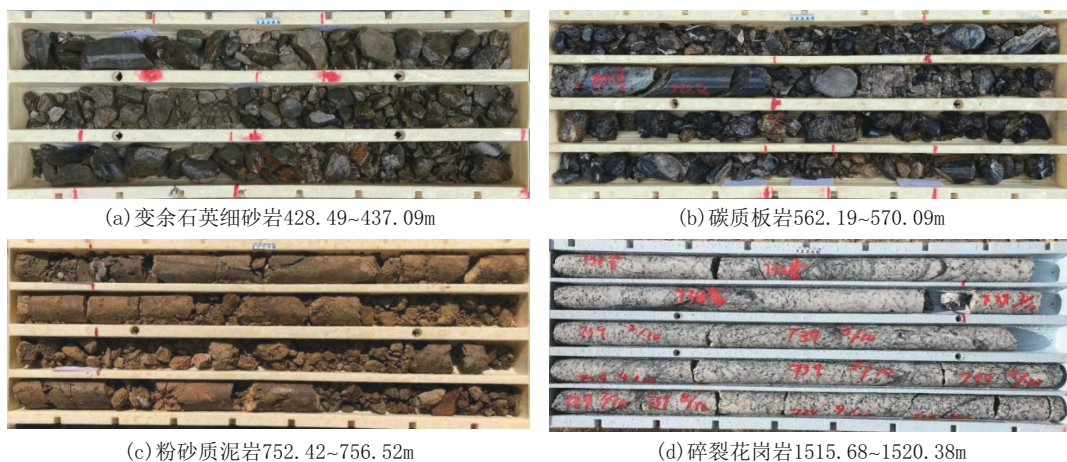


图3 岩心照片

其余均进入地层裂隙。冲洗液不能到达上部孔壁与钻杆环空,无法形成泥皮护壁,冲洗液护壁效果大幅

降低,采用惰性材料桥接堵漏失败,孔口无返水。

表2 冲洗液性能及配方

孔段	配 方	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/s	失水量/[(ml·(30min) ⁻¹]
开孔段	清水(1 m ³)+皂化粉(6~10 kg)+聚丙烯酰胺(0.2~0.3 kg)	1.01~1.02	18~20	15~30
破碎段	清水(1 m ³)+膨润土(50~75 kg)+植物胶(3~3.5 kg)+纤维素(2~2.5 kg)+腐植酸钾(2~2.5 kg)+纯碱(0.5 kg)	1.05~1.08	46~51	7~11

3.2 套管护壁

湘南1号深钻钻至460.43 m,钻遇破碎变余石英细砂岩,成分为细粒石英,粒度为0.1~0.25 mm,含量大于70%,硬度大。地层破碎,岩石胶结性差,导致孔内掉渣严重,孔壁稳定性极差,无法正常加杆,需经常扩孔、扫孔,耗时较长且增加了孔内事故风险。

为解决上述问题,采用跟管钻进护壁技术。跟管钻进本质上属于套管护壁,不同于正常下套管护壁,跟管钻进先用小一级钻具钻进先导孔,后在此基础上进行扩孔钻进,大一级钻杆作为套管起到护壁作用。跟管钻进共施工68.4 m,平均机械钻速0.81 m/h,快速穿越了孔内破碎、掉渣孔段。

具体方法:使用S95钻进3.0 m,更换主动钻杆与钻杆接头,换径S122钻进3.0 m扩孔。通过冲洗液的润滑作用减小斜孔中钻杆之间的摩擦力。S95钻进,钻头切削面积小,可提高机械钻速;S122再扩孔,起到了保证孔径和套管护壁的作用。钻至531.83 m后,由于跟管钻进对设备造成的负荷过大,变径 $\varnothing 95$ mm,下入 $\varnothing 114$ mm套管。

3.3 水泥护壁技术

3.3.1 普通水泥浆封堵

220~290 m孔段岩心部分破碎,灌注水泥封堵2次。第一次封堵孔段为233.33~234.7 m,此段岩石非常破碎,裂隙异常发育,裂隙面发育硅化和聚集沉积碳质成分。第二次封堵孔深280.95 m处,岩心较破碎,孔内负荷大。

在封堵过程中单纯水泥浆护壁效果较差,出现与孔壁破碎岩石胶结不牢和浆液流失的现象^[10-12]。提下钻过程中产生的压力激动,引起凝固的水泥与孔壁的脱落,造成孔底掉渣、卡钻等问题;钻遇岩层极为破碎,水泥浆到底后会顺着裂隙发生流失,达不到预期护壁效果。

3.3.2 室内试验

为了解决普通水泥浆封堵出现的问题,以水泥球为骨料、水泥浆为填充料的模式以解决浆液流失问题,在水泥浆中添加水玻璃用于粘接孔壁松散破碎岩石及抑制泥页岩的水化膨胀效应^[13-15]。为了确定现场使用的最佳方案,通过一系列试验对比不同配比的性能。实验材料为42.5水泥、水玻璃(浓度为30°Be,模数3.20)、减水剂,室内温度为19~25℃。混合浆液的配置方法如下:

(1)将量好的水泥和水,边搅拌边加入水泥,再低速搅拌3 min,使水泥充分水化;(2)边搅拌边加入量好的减水剂(减水剂需溶解),搅拌3 min;(3)搅拌状态下加入水玻璃,低速搅拌3 min,静置便可形成混合水泥浆液。

混合水泥浆液的性能见表3,通过加入减水剂,延长了浆液初凝时间,增加了浆液的流动性;水玻璃的加入缩短了浆液终凝时间,提高了堵漏的成功率。

表3 室内试验结果

配比序号	水灰比	减水剂/%	水玻璃/%	初凝/h	终凝/h
1	0.60	0.00	0.00	7.40	12.30
2	0.60	0.00	1.50	2.14	4.23
3	0.60	1.50	1.50	5.30	8.67
4	0.55	1.50	1.50	5.12	8.11
5	0.50	1.50	1.50	4.50	7.68
6	0.55	2.00	1.50	5.88	8.75
7	0.55	1.50	2.00	3.89	6.70

3.3.3 现场护壁

现场护壁过程主要包括水泥球和水泥浆的制作、投递、候凝和扫孔几个步骤(见图4)。现场工作时,先搓制水泥球,直径为当前口径的1/3左右,选用4号配比;水泥球搓制完成后,配置水泥浆,选用7

号配比,以配合水泥球初凝终凝时间并留有灌注操作时间(见图5)。现场操作时,先下入一个堵头,将水泥球从孔口投入孔内,投放完毕后向孔内倒入配置好的水泥浆,封堵至漏层以上10 m。现场多次封堵试验,总结出水泥浆与水泥球的用量比例为2:5时,可较好的胶结破碎围岩,水泥总量根据钻孔容积现场确定。



(a) 水泥球 (b) 水泥浆

图5 水泥球及水泥浆

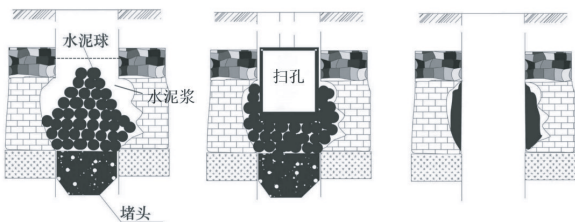


图4 水泥球混合水泥浆封堵模式示意

水泥封堵完成后,待水泥凝固有一定强度后,下钻进行扫水泥,注意以下事项:

(1)下钻到距离封堵位置20 m左右开始通水并转运钻具。

(2)扫水泥钻进时速度不宜过快,保持40~50 min钻进3 m,加大泵量便于返渣。

(3)适当调整冲洗液配方以提高携渣能力:清水(1 m³) + 膨润土(50~75 kg) + 植物胶(3~3.5 kg) + 纤维素(2~2.5 kg) + 腐植酸钾(2~2.5 kg) + 纯碱(0.5 kg)。

扫孔完毕后,可正常加杆,孔内正常返水,上返到地表的冲洗液含砂量处于正常水平,表明封堵成功。

湘南1号深钻采用水泥球混合水泥浆模式封堵护壁共计20次,封堵孔段集中于406~460、560~690、749~824 m(见表4)。由于孔内温湿度与地表不同、底部残留少量冲洗液产生的轻微混浆问题,孔内混合水泥球浆凝固时间有所变化,经过多次成功封堵,候凝时间15~36 h。

表4 水泥球混合水泥浆封堵记录

孔段/m	封堵次数	封 堵 原 因
406~460	11	岩石极度破碎,完整性差,胶结物有硅质、泥质、铁质及碳质等,裂隙非常发育,岩石碎裂成小岩块,孔壁稳定性差,极易掉块卡钻,且发育多个溶洞
560~690	2	岩心极破碎,岩石主要为黑色碳质板岩,似层理状构造,主要成分是碳质,其次是硅质和铁质,岩石完整性差,小裂隙极发育,岩石破碎成大小不一岩块,裂隙产状杂乱无章,脉体发育较少。地层个别部位存在少量高岭石,遇水膨胀,易发生缩径现象
749~824	7	749.62~767.5 m发育黄褐色粉砂质泥岩,泥状结构,主要成分是高岭石、蒙脱石等黏土矿物,其次是石英碎屑矿物,粒度极小,以及碳质、铁锰质和有机质,岩石完整性差,遇水膨胀,易发生缩径现象;767.5~824 m发育变余石英细砂岩与碳质板岩互层,岩石完整性差,裂隙发育,岩石沿裂隙发生破碎而呈大小不一的岩块,局部发育高岭石、碳酸盐化,易发生掉块、塌孔问题

4 护壁工艺讨论

湘南1号深钻使用了套管、冲洗液和水泥等组

合护壁技术,对于不同的孔内情况,针对性采用不同的组合工艺(见表5)。

表5 护壁工艺组合

地层类型	孔内故障	护壁工艺
松散破碎地层	孔壁坍塌、漏水、钻孔扩径、易形成厚泥皮	套管、冲洗液、水泥浆液
水敏性地层	孔壁膨胀缩径、冲洗液增稠、坍塌、扩径	跟管+冲洗液
大裂隙、溶洞型漏失地层	严重漏失、甚至失返性漏失	套管、冲洗液、水泥球-水泥浆-玻璃水混合浆液

冲洗液护壁在轻微松散破碎岩层钻进中是一种常用的护壁方法,通过在孔壁形成一层薄泥层进行护壁,通过添加膨润土和纤维素降低滤失量,一般控制API滤失量 ≤ 10 ml/30min,冲洗液从钻杆内到达孔底,胶结破碎岩石,封堵裂隙,沿孔壁逐渐向上形成泥皮。

套管护壁是最常用、简单的护壁方法,但受限于终孔口径和设备性能,而无法设计多级钻孔结构。湘南1号深钻设计5级孔身结构和4级套管已达到设备的极限性能。对于松散破碎地层,采用跟管钻进,可快速穿越局部地层。

普通水泥护壁适用于破碎、松散的不稳定地层;水泥球-水泥浆-玻璃水混合浆液适用于岩石极度破碎、孔内岩石胶结程度差孔段。水泥护壁在实施过程中需准确判断护壁位置、浆液用量、操作顺序、候凝时间等,工艺较为复杂。

5 结语

在复杂地层钻进中,护壁是决定钻孔能否顺利钻进、施工效率、经济效益的重要因素之一。不同的地层类型会出现不同的孔内故障,现场处理应该根据层位深度、裂隙节理发育情况、岩石破碎、漏失、坍塌、掉块程度以及机台供水情况等因素,因地制宜,采取合理的护壁工艺组合,做到及时消除隐患,保证钻孔顺利进行。通过湘南1号深钻的实施,对于沙坝子-龙头地区复杂地层钻进过程中的垮塌、漏失等复杂工况造成的孔壁失稳问题获得了深入的认识,形成了一套系统护壁方案,取得了较好的效果,具有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 柏道远,黄建中,李金冬,等.华南中生代构造演化过程的多地质要素约束——湘东南及湘粤赣边区中生代地质研究的启示[J].大地构造与成矿学,2007(1):1-13.
- [2] 柏道远,黄建中,刘耀荣,等.湘东南及湘粤赣边区中生代地质构造发展框架的厘定[J].中国地质,2005(4):33-46.
- [3] 杨明桂,王光辉.华南陆区板块活动与构造体系的形成演化——纪念李四光先生诞辰130周年[J].地质学报,2019,93(3):528-544.
- [4] 邵飞,朱永刚,郭湖生,等.鹿井矿田铀成矿地质特征及找矿潜力分析[J].铀矿地质,2010,26(5):295-300.
- [5] 张希文,李爽,张洁,等.钻井液堵漏材料及防漏堵漏技术研究进展[J].钻井液与完井液,2009,26(6):74-76,79,97.
- [6] 吕开河.钻井工程中井漏预防与堵漏技术研究与应用[D].中国石油大学,2007.
- [7] 李锦峰.恶性漏失地层堵漏技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(5):19-27.
- [8] 柳硕林,韩明耀.秦岭造山带多金属矿普查复杂地层护壁堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(1):43-47.
- [9] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新.钻井泥浆与岩土工程浆液[M].武汉:中国地质大学出版社,2002,6-78.
- [10] 李粤南.水泥浆护壁堵漏若干问题的探讨[J].福建地质,2011,30(3):248-253.
- [11] 刘跳民,李锋,刘杰,等.钻孔灌注水泥护壁堵漏方法[J].矿产勘查,2016,7(3):505-510.
- [12] 钱书伟,王如春.岩心钻探水下灌注水泥方法探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(1):18-21.
- [13] 孙平贺,乌效鸣,赵均文,等.大宝山复杂铅矿地层钻孔堵漏技术研究与应用[J].地质与勘探,2010,46(1):132-136.
- [14] 邹博,史亚运.脲醛树脂水泥球结合泡沫泥浆堵漏技术分析与应用[C]//第十九届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集,2017:115-117.
- [15] 王李昌,隆威.水泥-粘土浆液护壁堵漏工艺研究及其工程应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):53-56.

(编辑 王文)