

四川尔呷地吉铅锌矿区复杂地层钻探施工技术

刘兵

(湖南省遥感地质调查监测所, 湖南长沙 410035)

摘要:四川尔呷地吉铅锌矿区位于南北向甘洛—小江断裂(本区内称为马拉哈断裂)北段与马拉哈背斜的复合部位。区域地质条件复杂,岩层破碎、裂隙发育,存在钻孔坍塌、漏失、缩径、掉块等钻探难题。为避免井内复杂事故、缩减钻井周期、降低作业风险,在该矿区开展了钻探技术研究工作。以ZK4522、ZK4737、ZK7545钻孔施工问题为例,重点剖析了钻孔事故频发的原因,提出了改进措施,总结了适合该矿区钻探施工的钻孔结构设计,并对不同地层使用冲洗液配方进行了阐述,对水泥浆护壁工艺、套管护壁工艺采取了技术管控措施,在该矿区取得了良好的效果,形成了一套具有实际参考价值的钻探施工方案,为该矿区以后的施工提供了技术保障措施和经验,同时对其他类似钻探施工也具有一定的借鉴意义。

关键词:岩心钻探;复杂地层;护壁堵漏;铅锌矿;尔呷地吉

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2022)04-0087-06

Drilling technology for complex formation in the Ergadiji lead-zinc mine area in Sichuan

LIU Bing

(Hunan Provincial Remote Sensing Geological Survey and Monitoring Institute, Changsha Hunan 410035, China)

Abstract: The Erxiadiji lead-zinc mining area in Sichuan is located at the combination of the northern segment of the north-south Ganluo-Xiaojiang fault (called the Malaha fault in this area) and the Malaha anticline. The regional geological conditions are complex, with broken rock formations and developed fissures, and there are drilling problems such as borehole collapse, leakage, diameter reduction, and falling stones. In order to avoid downhole incidents, shorten the drilling period and reduce operation risks, research work on drilling technology has been carried out in the mining area. Taking drilling problems in ZK4522, ZK4737, ZK7545 holes as examples, the causes for frequent drilling incidents are analyzed, improvement measures are put forward, and the drilling structure design suitable for the mining area is summarized. The formulation of flushing fluid used for different strata is expounded, and technical control measures are proposed for cement slurry wall protection and casing wall protection with good results achieved in the mining area. A set of drilling plans have been developed with practical reference value, which provides technical support measures and experience for future drilling in the mining area, and also some reference for other similar drilling works.

Key words: core drilling; complex formation; wall protection and plugging; lead-zinc mine; Ergadiji

1 工程概况

四川尔呷地吉铅锌矿区岩心钻探项目是我单位2018年承接的商业项目,位于四川省凉山州甘洛县沙岱乡舍底村。钻探施工区属二半山地形,岭高谷深,一般海拔1600~2850 m,自然条件恶劣,施工

条件艰苦。矿区地质条件复杂,岩心破碎,裂隙发育,施工中常发生钻孔坍塌、卡钻、掉块、埋钻、跑钻、取不到岩心等事故。为了充分了解并解决施工难题,我们结合以往复杂地层钻探施工经验,认真分析事故频发的原因,在钻探施工工艺上进行了积

收稿日期:2021-08-15; 修回日期:2022-02-11 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.04.013

作者简介:刘兵,男,汉族,1991年生,工程师,钻探技术专业,主要从事钻探技术与管理工作,湖南省长沙市天心区劳动西路256号,403444928@qq.com。

引用格式:刘兵.四川尔呷地吉铅锌矿区复杂地层钻探施工技术[J].钻探工程,2022,49(4):87-92.

LIU Bing. Drilling technology for complex formation in the Ergadiji lead-zinc mine area in Sichuan[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(4):87-92.

极探索和有效改进^[1-5],从而有效克服了该矿区复杂地层钻探施工技术难题,确保了钻进质量,提高了钻探生产效率。

2 地层简述

矿区内地质条件复杂,由老至新出露地层有震旦系上统、寒武系、奥陶系、志留系以及第四系。根据目前竣工钻孔的取心情况,主要有残坡积层、灰黑色页岩、紫红色薄层状页岩、粉砂岩、灰绿色页岩及灰白色厚层状白云岩、白云质灰岩等岩性。矿区铅锌矿体呈层状、似层状、透镜状,产于震旦系上统灯影组三段第二岩性层顶部层间破碎带中^[6]。矿区构造发育,位于南北向甘洛一小江断裂(本区内称为马拉哈断裂)北段与马拉哈背斜的复合部位。主要褶皱构造为沙岱向斜,沙岱向斜在形成前就发生过推覆构造,在多个钻孔中揭示地层重复两次,可能为一叠瓦式逆冲推覆构造;在沙岱向斜形成后,又被多条断层破坏。矿区受区域性断层影响,发育有不同级次的断层,构造复杂,活动期次多,多发育于背斜核部,表现为逆冲断层。有多个钻孔揭露3~4个断层,单个断层最大厚度可达180 m,有几个钻孔揭露的断层总厚度达400~500 m,断层多为各种岩石碎块,角砾与泥、砂质物混杂填充物,结构极其松散。

3 施工设备及管材

根据矿区基本情况、地层岩性、钻孔深度及终孔直径等,施工选用的钻机为XY-4/XY-44T型立轴式岩心钻机^[7],能够满足1000 m以浅的NQ钻具岩心钻探施工,XY-6B型立轴式岩心钻机,能够满足2000 m以浅的NQ钻具岩心钻探施工,深度1000 m以浅钻孔选用BW-160型泥浆泵,深度1500 m以浅钻孔选用BW-250型泥浆泵,深度1800 m以浅钻孔选用BW-320型泥浆泵,配套柴油动力发电机、除砂器、污水泵及自制搅拌桶等。设备配置情况见表1。管材包括 $\varnothing 71$ mm钻杆3000 m、 $\varnothing 91$ mm钻杆1500 m、 $\varnothing 114$ mm钻杆1000 m、 $\varnothing 89$ mm套管1500 m、 $\varnothing 108$ mm套管1000 m、 $\varnothing 127$ mm套管400 m、 $\varnothing 146$ mm套管250 m。

4 钻孔施工问题及处理措施

4.1 施工情况

ZK4522孔,开孔采用 $\varnothing 110$ mm钻进至32.25 m

表1 钻探施工设备

Table 1 Drilling equipment

序号	名称	型号	功率/ kW	备注
1	钻机	XY-44T	37.0	柴油机驱动
2	钻机	XY-6B	55.0	柴油机、电动机驱动
3	钻机	XY-4	37.0	柴油机驱动
4	钻塔	13.5/18m		配塔衣
5	泥浆泵	BW-160	11.0	柴油机驱动
6	泥浆泵	BW-250	15.0	柴油机、电动机驱动
7	泥浆泵	BW-320	30.0	柴油机、电动机驱动
8	柴油发电机组	康明斯	120.0	
9	除砂器			
10	污水泵			
11	自制搅拌桶			

穿过第四系后下入 $\varnothing 108$ mm套管。采用 $\varnothing 95$ mm口径HQ绳索取心钻进至230.52 m,使用清水+0.3%聚丙烯酰胺+1%~2%植物胶无固相泥浆冲洗液施工。221~230.52 m段掉块、垮塌事故频发,反复扫孔到底,钻孔严重卡钻憋车,无法继续施工。下入 $\varnothing 89$ mm套管,后采用 $\varnothing 76$ mm口径NQ绳索取心钻进至253.2 m时,在240~251 m处出现垮塌,采用425硅酸盐水泥,泵送水泥浆灌注护壁,钻进至500.46 m时,320 m和480 m左右处出现坍塌(断层内岩心较破碎,见图1),扫孔强行通过,钻进至558.25 m处时,因打捞钢丝绳断裂提钻,下钻到250 m左右下不去,开始扫孔,中间在320、480 m左右陆续扫孔,连续灌注水泥2次,期间卡钻憋车现象频发,在扫孔至510 m处时,钻杆卡死在孔内。事故特征表现为钻具转不动、串不动、水不通,判断为坍塌卡钻、抱钻事故。通过反丝钻杆处理,在处理到257 m时,事故头因钻孔跨塌找不到,从而放弃处理,造成该孔提前结束施工。

ZK4737孔,使用清水+0.3%聚丙烯酰胺+1%~2%植物胶无固相泥浆冲洗液施工,在 $\varnothing 76$ mm口径钻进到512 m时,因冲洗液无法平衡地层压力,导致地下水倒灌在孔内,造成冲洗液严重稀释,致使480~495 m处碳泥质砂岩水敏性地层大量吸水膨胀出现严重缩径事故。

ZK7545孔,在313~352 m钻遇流砂层,该段出现岩心采取率低,流砂岩屑太多,泥浆携带能力不足,发生严重卡钻、抱钻事故,且冲洗液护不住该流



(a) 315.26~323.80m部分岩心 (b) 477.50~483.20m部分岩心

图1 ZK4522孔破碎地层岩心

Fig.1 Cores from broken strata in ZK4522

砂地层段孔壁,发生坍塌、无法加杆等事故。后续处理该段流砂地层孔内坍塌卡钻事故20多天,因该段流砂地层已全部垮塌,无法处理而报废。

4.2 事故原因分析

结合以往复杂地层钻探施工经验,认真分析发现,造成ZK4522、ZK4737、ZK7545钻孔事故频发的主要原因有:(1)施工前期对该地区地层复杂程度了解不足,钻孔结构设计不合理。(2)遇到钻孔坍塌、掉块盲目灌水泥,尤其是ZK4522孔在320m左右泥质充填堆积物地层,随时可能掉块和坍塌,不一定是在刚钻遇时,可能是钻穿过后,且同径灌水泥后,再用同径的钻具去扫孔不一定形成有效的水泥保护层厚度。ZK4522孔在480m处施工时,对什么地层灌水泥浆固井把握不准,穿过该地层没有及时灌注水泥浆进行固井护壁,造成钻孔在此处再次掉块、垮塌。(3)ZK4737孔全孔漏失,地下水丰富,裂隙裂缝大且十分发育,常规冲洗液配方无法平衡地层压力,导致地下水倒灌孔内,致使碳泥质砂岩水敏性地层大量吸水膨胀,导致钻孔严重缩径。(4)ZK7545孔在面对流砂地层施工时,没有及时下入技术套管封隔或者采取跟管钻进的方法施工。

4.3 事故处理措施

4.3.1 钻孔结构设计

根据收集到的矿区地质资料及地层特征,同时考虑地质条件的复杂性,尽可能简化钻孔结构,使钻杆与钻孔合理级配,以增加钻杆在孔内的稳定性,避免或减少钻杆折断事故的发生^[8-9]。采用三级套管四级成孔工艺,如图2所示,ZK4737钻孔用 $\phi 150$ mm复合片钻头开孔钻进至48.92m(表土及强风化

层)后下 $\phi 146$ mm套管封隔;换 $\phi 122$ mm金刚石绳索取心钻进至258.23m(稳定地层)后下 $\phi 108$ mm套管封隔;换 $\phi 95$ mm金刚石绳索取心钻进至419.56m(基岩),下 $\phi 89$ mm套管;然后换 $\phi 76$ mm金刚石绳索取心钻进至566.65m终孔。这种方式可以在保证安全钻完孔的前提下尽可能地提高钻进效率。

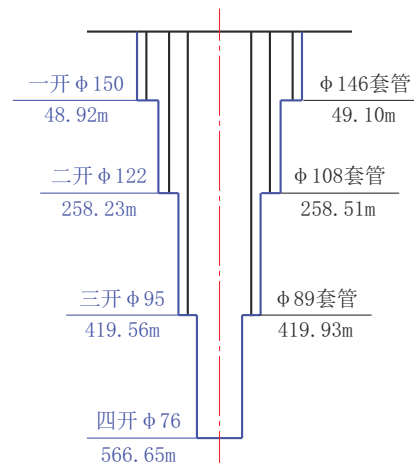


图2 ZK4737钻孔结构

Fig.2 Structure of ZK4737 borehole

4.3.2 冲洗液配方

钻孔冲洗液已成为钻探工作中实现优质、高效、安全、低耗、全面完成勘探任务的一项重要因素^[10-12]。冲洗液性能的优劣,直接影响着钻进速度、钻探技术质量、孔内的安全程度和材料消耗^[13]。通过邀请泥浆厂家现场指导,最终形成了不同的冲洗液配方,具体配方根据钻遇地层情况进行调整。

(1)断层及破碎带,应选用粘度大、携渣能力强并具有护壁和堵漏性能的冲洗液。具体配方(以 1 m^3 水的质量为分母,取质量百分比,下同): 1 m^3 水+5%~10%膨润土+0.3%纯碱+3%植物胶+0.5% KP共聚物+0.4%润滑剂+0.02%聚丙烯酸钾。冲洗液性能:粘度25~30 s、密度 $1.08 \sim 1.12 \text{ g/cm}^3$,失水量5~9 mL。

(2)碳泥质砂岩及其他水敏性地层: 1 m^3 水+4%~5%膨润土+0.3%纯碱+0.4%植物胶+0.8% KDG泥页岩抑制剂+0.5% KP共聚物+0.4%润滑剂+0.02%聚丙烯酸钾。冲洗液性能:失水量7~8 mL、粘度22~26 s、pH值9、密度 $1.06 \sim 1.10 \text{ g/cm}^3$ 。发现少量涌水时可添加重晶石粉。

(3)流砂等特松散、易坍塌地层:1 m³水+10%膨润土+0.3%纯碱+5%植物胶+0.5% KP 共聚物+0.02%聚丙烯酸钾+1%~3%重晶石粉。冲洗液性能:粘度30 s以上、密度1.2 g/cm³以上,原则上只要单管钻进能施工就行。

(4)基岩及其他较稳定地层:1 m³水+0.3%植物胶+0.5% KP 共聚物+0.4%润滑剂+0.02%聚丙烯酸钾。冲洗液性能:粘度20~25 s、密度1.02~1.03 g/cm³,失水量9.3 mL。

注意事项:

(1)提前搅拌浸泡。粘土和高分子聚合物、无机物溶解过程原理不尽相同。采购的粘土为钠土,搅拌浸泡在纯碱作用下完成水化过程;而高分子材料需纯碱溶解,其大分子长链才能充分展开,在冲洗液中发挥吸附和交联作用等。

(2)注重添加顺序。按先无机后有机,分子量由小到大等顺序添加,避免因添加剂之间阻溶和不理想交联而导致絮凝等现象。

(3)搅拌要充分。各种添加剂之间的交联和作用必须具备充分的接触条件,每项材料添加后至少要保持10~20 min充分搅拌时间。

4.3.3 水泥浆护壁^[14-16]

根据ZK4522孔320 m和480 m左右处地层岩心(图1),可以确定水泥浆护壁层位,应在穿过这两处后立即进行水泥护壁,稳定住这两处的孔壁。主要采用高标号水泥(425硅酸盐水泥)进行固孔、护壁。一般水泥浆的水灰比在0.4左右,搅拌均匀后,加入1.5%~3%食用盐继续搅拌10~15 min以提高水泥速凝早强效果。水泥浆流动度15~16 cm,可泵期2 h,根据该矿区平均气温16°,候凝时间根据实践经验需36~48 h。

具体操作方法是:将钻杆下入距孔底1 m左右,用清水对孔内进行清洗,按配方配置搅拌好水泥浆量,然后将水泥浆通过钻杆泵送至孔内,水泥浆泵送完后,再泵送替水,直至泵送完,将钻杆提离水泥浆面一定高度后即可清洗钻杆和管路,水泥护壁完毕。水泥浆护壁后,要缓慢匀速提钻,防止抽吸力和“激动”压力过大作用破坏井壁。

水泥浆量采用下式计算:

$$G=(V_1-V_2)K\gamma \quad (1)$$

式中: G ——封孔所需水泥浆的质量; V_1 ——封孔段长度范围内钻孔的体积; V_2 ——封孔段长度范围内

工作管的体积; K ——富裕系数,取1.2; γ ——封孔用水泥浆的密度,经测定水灰比0.32~0.4时,水泥浆密度 $\gamma \approx 2 \text{ g/cm}^3$ 。

替水量的控制是非常重要的,常用的计算公式如下:

$$V=K(L-t)Q+V_{\text{地}} \quad (2)$$

式中: V ——替水量,L; L ——钻杆长度,m; t ——静水位距孔口距离,m; $V_{\text{地}}$ ——地面管路容积,约40~50 L; Q ——每米钻杆容积, $\varnothing 50 \text{ mm}$ 钻杆每米取1.20 L, $\varnothing 42 \text{ mm}$ 钻杆每米取0.80 L; K ——压水系数,常取0.8。

4.3.4 套管护壁^[17-18]

钻进过程中一般使用上述冲洗液配方能取得较好的效果,但遇断层破碎带时,因裂隙发育,地层大多是搬运堆积物,漏失严重,造成冲洗液堵漏护壁效果不理想。这不仅对稳定钻孔孔壁影响很大,而且埋下了极大的施工隐患。所以下入技术套管护壁堵漏、隔离断层破碎带等特殊复杂地层既能减少冲洗液的漏失,提高冲洗液的利用率和使用效果,也能及时预防孔内事故。

根据该矿区实际情况下入各级套管应注意以下几个施工工序:

(1)下入技术套管前,应根据下入段孔壁稳定情况判断是否在底管上带套管靴。

(2)下入技术套管需在套管上均匀涂抹2~5 mm厚黄油,充填套管与孔壁间的环空间隙,稳定孔壁,减少因后续施工套管对孔壁的挠动及钻孔结束施工时起拔套管的阻力,可有效解决因套管起拔难、遗留在孔内量大而造成施工成本急剧增加的问题。

(3)项目部应备好水利割刀。因特殊复杂地层丢失部分技术套管是钻探施工中很常见的操作,这也是基于处理技术套管带来的成本远大于套管本身成本的前提下不得已而为之的。而水利割刀能有效解决处理技术套管带来的成本与套管本身成本之间的矛盾,既能极大地减少处理技术套管带来的成本,又能尽可能多地起拔套管减少套管本身的成本。

5 取得的成效

5.1 钻孔完成情况

本次共施工12个钻孔,总进尺为7867.92 m。通过采取合理可行的处理措施,解决了该矿区钻探施工中遇到的复杂情况,钻孔施工效率和质量明显

提高,施工情况见表2。

表2 施工效果对比
Table 2 Comparison of drilling results

孔号	工期/ d	事故 处理/ d	终孔 深度/ m	全孔岩 心采取 率/%	台月 效率/ m	备注
ZK7545	74	35	347	84.5	140.1	报废孔
ZK4522	64	18	558.25	86.9	261.7	报废孔
ZK4737	115	53	566.65	87.2	147.8	
ZK7545	116	0	1509.96	91.3	390.5	
ZK4522	66	0	729.7	86.4	331.7	
其余钻孔	572	48	5061.61	86.5	265.5	

5.2 钻孔技术指标及质量评述

岩(矿)心采取率为87.9%,矿心采取率为94%,保证了岩(矿)心采取的完整性,符合设计要求。

钻孔弯曲度及孔深校正:钻孔按《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227—2016)及地质设计要求进行钻孔弯曲度的测量和孔深校正,使用的仪器为JTL-40GX(W)型无线遥感光纤陀螺测斜仪(电子式),保证了数据的准确、精确性,各钻孔数据均符合设计和规程要求。

其他质量指标均符合甲方质量要求。

6 经验总结

尔呷地吉铅锌矿区地质条件复杂,岩层破碎、裂隙发育,局部水溶、水敏,施工中经常遇到钻孔坍塌、漏失、缩径、掉块等钻探难题。通过上述钻探生产的试验和实践,总结了以下几个方面的经验措施可为其他类似钻探施工提供参考:

(1)该矿区地质条件复杂,断层、裂隙发育明显,施工难度极大,钻孔施工前应做好充分的考察工作,详细查阅以往钻孔施工的岩心和地质资料,判断该矿区断层埋藏大致分布的区域、深度和厚度。每个钻孔应根据地层复杂情况及地质设计要求,正确使用设备机具材料,优化钻孔结构,达到合理级配。

(2)钻孔结构设计是保障钻孔能否顺利施工的关键也是钻孔施工的方向标,该矿区钻孔结构设计方向是否合理往往决定钻孔的成败。根据施工经验该矿区钻孔采用四开的钻孔结构,是解决该矿区岩层破碎、裂隙断层发育、水敏坍塌等复杂地层的有效

手段。

(3)重视冲洗液在钻孔施工中起到的作用,做好冲洗液试验,根据不同地层及时选配更换冲洗液配方,明确钻孔坍塌、漏失、缩径、掉块等钻探难题还需从冲洗液入手,才能达到较好的效果。

(4)水泥浆护壁大多发生在井壁失稳井段,采用水泥浆护壁是稳定井壁的一种有效的技术工艺,但是风险很大,稍有不慎可能造成二次事故。因此采用水泥浆护壁工艺必须制定可靠周密的施工方案,计算好水泥浆量和替水量,严格按照方案迅速、准确、高效处理。

(5)在钻探实际应用中,下入技术套管是解决钻孔坍塌、掉块、超径、缩径、漏失等复杂问题的最终技术措施也是最有效措施。但技术套管在复杂地层回收低、处理周期长且在项目成本中占比很大,因此下入技术套管前应制定可靠回收率高的施工方案,并且严格执行。实际运用中水利割刀能有效提高技术套管回收率且节约项目施工成本及处理技术套管周期。

(6)钻探施工过程中,运用技术手段预防事故发生才是钻探施工的重中之重,任何处理事故的技术手段都有造成二次事故的可能,不一定行之有效,应注重在施工过程多思考,采取多手段预防可能发生的事故,才是提高钻探施工成孔的有效途径。

参考文献(References):

- [1] 祁新堂,谢永德,刘梁,等.河南省洛宁上宫金矿复杂地层钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):38-43.
QI Xintang, XIE Yongde, LIU Liang, et al. Drilling technology for complex strata in Shangong Gold Mine, Luoning, Henan province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):38-43.
- [2] 袁进科,陈礼仪,王军伟,等.青藏高原复杂地层地质钻探低固相冲洗液试验研究[J].钻探工程,2021,48(4):79-84.
YUAN Jinke, CHEN Liyi, WANG Junwei, et al. Experimental study on low solid flushing fluid for geological drilling in complex metamorphic of Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Drilling Engineering, 2021,48(4):79-84.
- [3] 陈灿,王畅.湖南常宁仙人岩矿区复杂地层钻探护壁堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):37-39.
CHEN Can, WANG Chang. Wall protection and plugging technology in complex stratum drilling in Xianrenyan Mining Area of Hunan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(5):37-39.
- [4] 顾立刚.绳索取芯钻进中钻井液与套管护壁技术在破碎地层中

- 的研究应用[J]. 铁道勘察, 2012, 164(6): 44-46.
- GU Ligang. The drilling fluid and drivepipe dado technique application in ravelly ground during the wire-line coring drilling process[J]. Railway Survey, 2012, 164(6): 44-46.
- [5] 刘祥, 兰沁, 许飞, 等. 西藏罗布莎铬铁矿高海拔巨厚覆盖层钻探技术[J]. 钻探工程, 2021, 48(6): 49-56.
- LIU Xiang, LAN Qin, XU Fei, et al. Drilling technology for massive overburden at high altitude in Luobusa Chromite Mine, Tibet[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(6): 49-56.
- [6] 曾令刚, 夏世平, 张旭明, 等. 四川省甘洛县尔呷地吉铅锌矿地质特征及找矿方向[J]. 四川地质学报, 2012, 32(S2): 54-59.
- ZENG Linggang, XIA Shiping, ZHANG Xuming, et al. Geological characteristics and prospecting direction of Ergadiji lead-zinc mine, Ganluo county, Sichuan province[J]. Journal of Sichuan Geology, 2012, 32(S2): 54-59.
- [7] 郑思光, 赵志杰, 左新明. 查干德尔斯钼矿复杂地层钻探技术探讨与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(5): 31-33, 64.
- ZHENG Siguang, ZHAO Zhijie, ZUO Xinming. Discussion of drilling technology in complex formation of Chagandeersi molybdenum deposit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(5): 31-33, 64.
- [8] 刘锡金. 陈台沟铁矿复杂地层深孔钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(10): 41-44.
- LIU Xijin. Construction technology for deep hole drilling in complex formation of Chentaigou iron mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(10): 41-44.
- [9] 郑思光. 迁安红山铁矿破碎复杂地层钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(8): 15-18, 22.
- ZHENG Siguang. Drilling construction technology for complex broken formation in Hongshan iron mine of Qian'an Crushing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(8): 15-18, 22.
- [10] 李红梅, 石逊. 白涧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.
- [11] 李振学, 张成建, 李光宏. 河南省南坪矿区多金属矿复杂地层钻探施工方法[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(4): 16-19.
- LI Zhengxue, ZHANG Chengjian, LI Guanghong. Drilling construction method for polymet allc deposit in complex formation of Nanping Mining Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(4): 16-19.
- [12] 代万庆, 薛艳, 颜巧云. 水敏性地层钻探泥浆性能优化及配制[J]. 钻探工程, 2021, 48(11): 23-29.
- DAI Wanqing, XUE Yan, YAN Qiaoyun. Performance optimization and preparation of drilling mud for water sensitive formation[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(11): 23-29.
- [13] 李鑫森, 李宽, 梁健, 等. 复杂地层取心钻进堵心原因分析及其预防措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(12): 12-15.
- LI Xinmiao, LI Kuan, LIANG Jian, et al. Core jamming causes and prevention in drilling difficult formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(12): 12-15.
- [14] 张林生, 陈礼仪, 彭刚, 等. 汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-4井钻液技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9): 146-150.
- ZHANG Linsheng, CHEN Liyi, PENG Gang, et al. The drilling fluid technology in WFSD-4 of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9): 146-150.
- [15] 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.
- LI Jinfeng. The status and development direction of plugging technology for severe circulation loss formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(5): 19-27.
- [16] 邓鹏, 黄明勇, 方青, 等. 贵州省旦坪钼土矿钻探施工工艺[J]. 钻探工程, 2021, 48(3): 78-85.
- DENG Peng, HUANG Mingyong, FANG Qing, et al. Exploration drilling technology for the Danping Bauxite Mine in Guizhou province[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(3): 78-85.
- [17] 王洪涛. 柴家沟钼矿复杂地层岩心钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(8): 37-40.
- WANG Hongtao. Core drilling technology for complex strata in Chaijiagou molybdenum deposit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(8): 37-40.
- [18] 于志坚, 耿印, 于保国, 等. 石家庄北沟多金属矿区钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(12): 29-34.
- YU Zhijian, GENG Yin, YU Baoguo, et al. Drilling technology for the Beigou polymet allc mining area in Wangjiazhuang[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(12): 29-34.

(编辑 荐华)