

近水平绳索取心钻探技术在寨上金矿复杂地层中的应用

华伶俐^{1,2}, 杜帅¹, 刘蓓^{1,2}, 皮健伟¹, 张超¹, 南贝贝^{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)

摘要:西秦岭岷县寨上金矿勘查项目利用钻探工作对矿区南矿带主要矿脉进行控制。根据以往经验,南矿带主要矿脉产状陡立(78°~85°)且不稳定,存在浅部南倾、深部北倾的特征,同时矿区多数区域覆盖层较厚,地形切割强烈,道路机场修筑、钻探装备搬运困难。该项目设计了矿区首个近水平钻孔,通过使用EP1000型便携式全液压钻机,改造、升级和加工水平钻架套件,采用绳索取心技术,完成216.73 m的近水平取心钻孔施工。在矿区水敏复杂地层、钻孔持续涌水情况下创新实施近水平钻孔,践行绿色勘查理念,为同类型工程项目提供参考。

关键词:水平绳索取心钻探;水平钻孔;涌水地层;便携式全液压钻机;绿色勘查

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2025)02-0038-07

Application of near-horizontal wireline core drilling technology in complex strata of Zhaishang Gold Mine

HUA Lingli^{1,2}, DU Shuai¹, LIU Bei^{1,2}, PI Jianwei¹, ZHANG Chao¹, NAN Beibe^{1*}

(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)

Abstract: In the exploration project of the Zhaishang Gold Mine in Min County, Western Qinling Mountain, drilling work was carried out to control the main ore veins in the southern ore belt of the mining area. According to past experience, the main ore veins in the southern ore belt have steep occurrences (78°~85°) and are unstable, characterized by a southward dip in the shallow part and a northward dip in the deep part. At the same time, most areas have thick overburden layers, with intense topographic cutting, making it difficult to roads and airports construction and drilling equipment transportation. The first near-horizontal borehole in the mining area was designed, where the EP1000 portable full-hydraulic drill was used, the horizontal drill frame kit was transformed, upgraded and processed, wireline coring technology was adopted, and the construction of a near-horizontal coring borehole with a length of 216.73m was completed. This is an innovation to implement a near-horizontal borehole under the condition of water-sensitive, complex strata and continuous water gushing in the borehole. It practices the concept of green exploration and provides a reference for similar engineering projects.

Key words: horizontal wireline core drilling; horizontal drilling; strata with water gushing; portable full-hydraulic drill; green exploration

收稿日期:2024-12-20; 修回日期:2025-02-11 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.02.005

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“西秦岭岷县寨上金矿勘查”(编号:DD20242983)

第一作者:华伶俐,男,汉族,1979年生,高级工程师,探矿工程专业,从事地质岩心钻探施工与管理工作,陕西省西安市长安区凤栖西路66号,739570689@qq.com。

通信作者:南贝贝,男,汉族,1993年生,助理工程师,资源勘查工程专业,从事地质岩心钻探施工工作,陕西省西安市长安区凤栖西路66号,895726779@qq.com。

引用格式:华伶俐,杜帅,刘蓓,等.近水平绳索取心钻探技术在寨上金矿复杂地层中的应用[J].钻探工程,2025,52(2):38-44.

HUA Lingli, DU Shuai, LIU Bei, et al. Application of near-horizontal wireline core drilling technology in complex strata of Zhaishang Gold Mine[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(2): 38-44.

0 引言

位于甘肃西秦岭的岷县寨上金矿勘查项目,利用钻探工作对矿区南矿带主要矿脉进行控制,对矿区有利的物探化探异常进行查证,控制矿脉延伸方向,探索赋矿地段,扩大矿区找矿前景。矿区南矿带地形切割强烈,山势陡峭,如果按照常规思路布设垂直钻孔,钻孔位置接近山顶,山高坡陡,钻探装备物资运输极为不便。设计近水平钻孔既可以控制4条矿脉,钻孔位置又交通便利,场地开阔,设备搬迁进场非常方便。ZK47-4孔是寨上金矿首个水平地质勘查孔,该钻孔设计孔深140 m,倾角 5° ,方位角 20° ,实际终孔孔深216.73 m,终孔口径77 mm。布设该钻孔的目的是查证南矿带矿脉在深部的产状和含矿性,助力矿区南矿带找矿突破,为后续钻孔布设提供依据。中国地质调查局西安矿产资源调查中心507机台使用EP1000型便携式全液压钻机,配套原厂水平钻架套件,采用绳索取心技术,通过优化冲洗液性能,改装加固水平钻架套件,改进孔口封堵机构,设计孔口冲洗液回收装置等措施,成功解决软、碎、散地层护壁护心难,钻机安装不稳固,内管总成泵送困难,冲洗液消耗量过大等瓶颈问题。该孔因地层破碎复杂、钻孔持续涌水等特点,在施工中具有一定的代表性和特殊性,相关的处置方式和技术方案可为同类型工程提供参考。

1 地质概况

矿区内出露地层以泥盆系、二叠系地层为主,岩性主要由含化石薄层灰岩、砂岩、硅化钙质板岩、粉砂质板岩和泥质板岩组成。区内多个近东西向断裂构造是矿区主要含矿构造,金、钨等元素主要赋存于构造破碎带和碎裂蚀变岩中。矿脉产状陡立($78^{\circ}\sim 85^{\circ}$),且不稳定,存在浅部南倾,深部北倾的特征,基岩多破碎,矿体多为碎裂岩,泥质含量高,水敏特征显著,地层复杂,钻进难度大,典型岩心照片见图1。新近系、第四系地层厚度从几米到几十米,多者甚至百米以上。

矿区南矿带地形切割强烈,山势陡峭,矿区48号、41号以及40号矿脉呈近东西向展布,产状不稳定,近地表位置近直立。钻孔位置初步设计在山顶附近,需修筑近2000 m便道,便道多个位置坡度超过 35° ,修筑便道对地表植被破坏较多,还涉及多家农户青苗赔偿,钻探装备物资运输极为不便。经反



图1 典型岩心照片

Fig.1 Typical core photos

复论证,决定布设一口近水平孔,可以在地表复杂拥挤或钻场条件有限的条件下,减少征地和钻机迁移造成的环境干扰,实现绿色勘探^[1]。孔位交通便利,场地开阔,利于设备搬迁进场,该水平钻孔可以达到控制4条矿脉的目的(见图2),且钻孔轨迹与矿层近垂直,可降低钻探过程中各类挤、夹、卡钻风险。

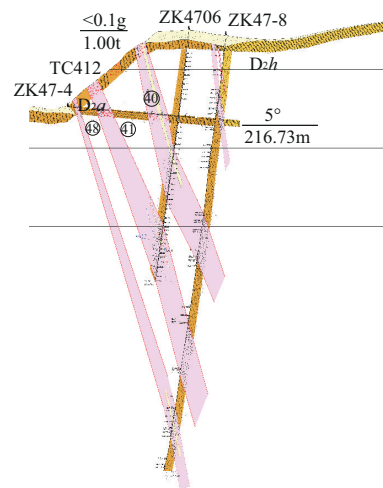


图2 钻孔剖面

Fig.2 Borehole profile diagram

2 钻探施工技术难点

(1)钻进遇到大部分地层破碎,回转阻力很大,钻杆转速低,进尺慢,效率低下。在钻进过程中遇到的破碎地层较多,钻杆回转阻力大,具体表现为扭矩升高接近临界值,钻杆转速不够,施工效率低。

(2)钻机受地层反作用力的影响,导致钻机移动,底座变形。钻进时由于钻机底座是坐落在水平地面,不是深埋地下,给进作用力和地层反作用力的互相作用,导致钻机不稳定前后移动,从而导致底座出现变形,影响钻进施工。

(3)持续涌水,后期涌水量和压力明显增大,导

致内管投送时孔口操作困难。钻进至115.52 m处时,出现涌水现象,随着钻进深度加深,涌水量越来越大,投送内管时,由于内管上的密封装置和钻杆内径之间间隙小,内管在井口出现投送操作困难,导致冲洗液喷溅和场地积水湿滑。

(4)内管投送时间过长,造成冲洗液浪费,钻探成本增加。水平孔内管投送需要用冲洗液压力作用在内管密封装置上,从而使内管在近水平的钻杆内移动至井底,由于孔内涌水产生的压力和冲洗液压力相互作用导致内管投送时间过长,冲洗液浪费严重,增加施工成本。

3 钻探工程施工

3.1 设备选型

根据钻孔特点和现有装备情况,选用EP1000型便携式全液压钻机施工(详见表1)。该型钻机采用模块化设计,结构紧凑,钻进能力强、质量轻、易搬迁、拆装便捷,适合高海拔交通不便的工区。另外,该钻机可通过快速更换动力头马达来调节钻机转速和扭矩范围,有利于整机能力的调整^[2]。

表1 设备选用

Table 1 Equipment selection

钻机	发动机	钻架	测斜仪	发电机	抽水机
英格尔 EP1000	久保田涡轮增压 压柴油发动机 4×33 kW	英格尔 原厂水 平钻架	XBY- 2GW	10 kW	2.2 kW 潜水泵

钻机由4台柴油发动机提供动力,配套往复柱塞泥浆泵和液压动力绳索绞车。准备 $\varnothing 108$ mm套管20 m,HTW钻杆100 m,NTW钻杆200 m。另外准备BTW钻杆300 m留作备用。准备其他钻辅器材若干。

3.2 钻孔结构

该钻孔为矿区内首个近水平钻孔,为确保孔壁稳定,在尽可能简化钻孔结构的基础上制定了两级套管三径成孔的孔身结构^[3],即 $\varnothing 110$ mm- $\varnothing 96$ mm- $\varnothing 75$ mm三径成孔(见图3)。 $\varnothing 110$ mm口径穿过第四系下入 $\varnothing 108$ mm孔口管,换 $\varnothing 96$ mm口径绳索取心钻进,钻穿48号、41号矿脉后,下入 $\varnothing 91$ mm套管护壁,换 $\varnothing 75$ mm口径绳索取心钻进至终孔^[4]。

3.3 绳索取心技术的应用

由于矿区地层复杂,在设计该钻孔预计穿过的

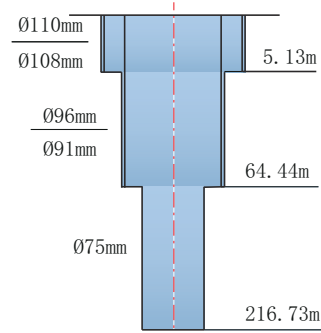


图3 水平孔三级孔径结构

Fig.3 Three-stage aperture structure of the horizontal drilling hole

矿脉中有粉状、破碎、水敏地层,如果选用提钻取心技术,在没有套管护壁的情况下遇到复杂地层容易造成孔内事故,因此选用了提钻取心和绳索取心相结合的施工方法,开孔段钻进覆盖层阶段采用提钻取心,其余孔段选用薄壁金刚石绳索取心钻探工艺^[5]。针对近水平孔内管投送困难、孔内涌水造成的冲洗液浪费等问题通过改进装置解决,钻进期间内管总成到位报信机构上的封堵球应置于阀片上端,打捞器设置有到位报信机构。内管总成和打捞器上均加装密封装置,孔口钻杆上需连接通缆水接头,实现管柱密封^[6]。内管总成和打捞器在泥浆泵送的冲洗液推力作用下被输送至孔底,在冲洗液压力作用下到位报信机构可通过泥浆泵压力变化提示内管总成和打捞器是否到位。其他钻进过程与普通金刚石绳索取心工艺相仿。

3.4 钻具组合

钻杆的选择:钻杆要有更高的强度和耐磨性,采用整体热处理,疲劳强度高,密封性能好。水平孔钻进钻杆内壁必须光滑,无需加工接头,钻杆公母螺纹直连,便于内管和打捞器顺利进出,减少输送阻力^[7]。选用HTW、NTW薄壁直连钻杆,该类型钻杆钻具钢性强、同心度较好,钻头底唇面积小,钻具转速较高,进尺效率较高。

根据工作区地层情况,开孔选用 $\varnothing 110$ mm金刚石复合片钻头和单管钻具提钻取心,钻穿第四系覆盖层后下入 $\varnothing 108$ mm套管护壁。选用HTW水平绳索取心钻具换径施工,钻穿48号、41号矿脉后下入HTW钻杆护壁,换径至NTW水平绳索取心钻具施工至终孔。在钻遇粉状、破碎、遇水水化等特殊地层时使用备用口径水平BTW钻具。

HTW、NTW水平绳索取心选用孕镶金刚石钻头,12-14AC,金刚石浓度100%。

3.5 规程参数

在钻探施工过程中,加强对钻进规程参数的探索研究,以提升钻速和岩心采取质量^[8]。

3.5.1 钻压

在合理范围内,钻压越大,钻进速度越快;但过大的钻压易使金刚石钻头消耗加剧,甚至产生金刚石脱落及胎体崩坏等情况,反而影响施工效率^[9]。孕镶金刚石钻头单位压力为0.5~1.0 kN/cm²,使用HTW口径钻进时,孔底压力保持在8~15 kN,使用NTW口径钻进时,孔底压力保持在6~11 kN,钻进节理发育、松软破碎、软硬互层、强研磨性地层等特殊地层时对钻压做适当调整;新钻头落实初磨,确保钻头金刚石出刃锋利,实践证明正常钻压即可获得较高的钻速。钻进中当孕镶金刚石颗粒磨损或磨钝时,钻速下降,此时可适当增大钻压,但不能剧增,钻速显著下降时,立即提钻检查。近水平孔钻进时,钻头压力主要来自钻机油缸给进力,注意计算孔底钻压时需考虑冲洗液对钻具的反作用力。

3.5.2 转速

Ø110 mm钻头单管钻进时转速 ≥ 300 r/min;选用HTW口径金刚石钻进时一般为350~700 r/min;选用NTW口径金刚石钻进时,一般为600~850 r/min。

钻进坚硬(强研磨性)地层、裂隙破碎地层及构造破碎带、碎裂蚀变岩、软硬互层等地层时应降低转速,以减少钻具振动,延长钻头寿命,提高岩矿心的采取率,防止孔斜。

3.5.3 泵量

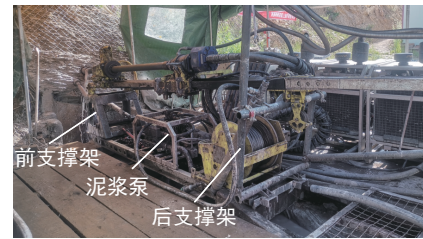
使用HTW口径钻进时,泥浆泵泵量为60~90 L/min,使用NTW口径钻进时,泥浆泵泵量为30~60 L/min,岩屑多时,泵量应大些,反之宜小。

3.6 水平机架组装与固定

近水平钻孔施工期间,钻机受到钻机给进轴向作用力和反作用力影响,造成钻机移位、底座变形等问题。因此钻机与支架的稳固是保证钻探质量的重要前提^[10]。EP1000型钻机原设计施工倾角为45°~90°。在充分研究钻机结构、工作原理的基础上,在原钻机机架部位前后分别加装了改进后的原厂水平支撑架(见图4),解决了钻机桅杆因泥浆泵、绳索绞车空间位置导致的倾角可调范围受限问题,为水平孔或近水平孔施创造了条件。



(a)改进前



(b)改进后

图4 钻机机架对比

Fig.4 Comparison of drill frames before and after improvement

水平钻孔在给进、起下钻过程中,钻机受到给进轴向作用力和反作用力,容易产生位移。因此在开钻前分别在垂直于地面和垂直于边坡的位置施工地锚并使用水泥浆对地锚进行固定,分别通过铁链将钻机底座与地锚杆进行连接,并在底座上与边坡之间加装了可伸缩支撑杆(见图5),防止钻机在施工期间产生位移,有效解决了钻机固定问题。



图5 水平机架前后移动固定

Fig.5 Fixation for the forward and backward movement of the horizontal drill frame

3.7 冲洗液技术和使用管理

冲洗液对水平孔钻进效率和成孔率有着至关重要的影响。矿区第四系、新近系地层厚度较大,基岩多破碎,矿体多为碎裂带,地层复杂,钻进难度大,冲洗液护壁性能是顺利终孔的重要保证。

3.7.1 冲洗液选择

通过对矿区施工过的钻孔所用冲洗液进行研究,并结合前人研究成果^[11-15],在施工过程中不断调整,提出了以下3种冲洗液的配方,使用后能有效提高岩心采取率和施工效率。

第四系、新近系、古近系松散地层冲洗液配方: DMD8465复合材料0.1%+钠甲基纤维素1%+植物胶0.7%+腐植酸钾0.5%;

板岩、灰岩地层冲洗液配方: DMD4480复合材料0.1%+DMD3370浓缩材料0.1%+乳化油0.25%;

碎裂岩冲洗液配方: DMD4480复合材料0.1%+DMD6465复合材料0.2%+氯化钾1%+植物胶0.5%+无荧光防塌剂0.5%。

不同冲洗液的基本性能见表2。

表2 不同地层的冲洗液性能
Table 2 The performance of flushing fluids in different strata

地层	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$)	漏斗黏度 (苏氏)/s	失水量/ $[\text{mL}\cdot$ ($30\text{ min})^{-1}]$	pH值
第四系、新近系、古 近系松散地层	1.03	30~40	6.8~8	8~9
板岩、灰岩地层	1.01	25~30	16~18	7~8
碎裂岩	1.02	35~45	5~7	7~8

3.7.2 冲洗液使用管理

(1)机台配齐密度计、漏斗黏度计、pH试纸、气压失水仪等常用泥浆性能测试仪。

(2)冲洗液循环系统设置防雨淋、防冲蚀装置,防止污水进入冲洗液,合理控制冲洗液固相含量。

(3)正常情况下,泥浆管理员每班至少测定一次冲洗液的常规性能,钻遇复杂地层时加密测试。

(4)使用化学处理剂时,注意防毒、防腐,配备必要的防护劳保用品。

(5)根据孔内情况和地层情况及时调整冲洗液性能,需要更换冲洗液时,对废冲洗液进行无害化处理或固化处理。

3.7.3 润滑与减阻

由于近水平钻孔钻进时,钻杆柱与孔壁之间存在较大的摩擦阻力,进而影响钻压与扭矩传递^[16],且钻遇的绝大多数孔段地层破碎、水敏特征显著。为降低钻机回转负荷,通过在钻杆表面抹润滑脂(钻杆

油),或在冲洗液内加入乳化油等表面活性剂的方式实现钻杆钻具的润滑与减阻,取得了较好效果,该钻孔终孔前使用摆线马达作为动力,发动机转速2000 r/min时,钻机主泵压力仅10 MPa。

3.8 钻孔涌水问题的处置方案

钻孔施工至115.52 m处孔内首次出现涌水现象(见图6)。



图6 孔口涌水

Fig.6 Water gushing in the borehole

经观测和统计,随着孔深增加,孔内涌水量持续上升(见表3),给钻孔施工带来了一系列阻碍。

表3 涌水位置、涌水量、投送泵压对照
Table 3 Comparison of water gushing positions, volumes and delivery pump pressures

孔深/m	涌水量/ $(\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1})$	投送泵压/MPa
50	0	0.2
115	7.5	0.4
150	10	1.4
200	13	1.9
216.73	14	2.2

3.8.1 涌水对钻孔施工产生的不利影响

钻孔涌水的主要因为钻遇承压水层。钻孔涌水对钻探施工的影响主要体现在以下几个方面:

(1)配置好的冲洗液被地层涌出的清水稀释,导致冲洗液护壁性能降低,井壁失稳的风险增加。

(2)由于冲洗液被清水稀释,冲洗液润滑性能降低,钻具与孔壁的摩擦力增大,钻机回转扭矩升高。

(3)泥浆泵泵送内管总成、打捞器的压力增大,投送时间增长,影响作业效率。

(4)回次结束,将内管总成推送至钻杆内时,由于管内不断涌水,通缆水接头在水压作用下与钻杆上端难于连接,冲洗液喷溅问题比较突出。

(5)回次结束前,被泥浆泵泵注在钻杆内的未

经孔底循环的冲洗液被地层涌水稀释后从钻杆上端倒流,导致泥浆材料产生浪费。

3.8.2 涌水问题应对措施

(1)改进孔口封堵机构。根据现场条件,通过加工一根短钻杆(见图7),将封堵机构连接在钻杆母螺纹位置,有效解决了井口冲洗液喷溅和场地积水湿滑问题。



图7 改进后的孔口封堵机构

Fig.7 Wellhead sealing mechanism after improvement

(2)定期对封堵机构密封圈进行更换。由于钻孔涌水原因,泵送打捞器时,泥浆泵压力较高,钢丝绳与封堵机构的密封圈产生摩擦,导致密封圈磨损,当泵送压力较高时,冲洗液从密封圈内径处外溢。为提高泵送效率和成功率,每2~3回次对密封圈进行更换,有效提高了泵送打捞器的效率和打捞成功率。

(3)加装孔口冲洗液回收装置。自行设计的孔口冲洗液回收装置(见图8)可将未经循环的冲洗液以及被涌水稀释的冲洗液进行回收,自流或泵送至机台蓄浆池,通过再次添加泥浆处理剂的方式实现循环使用,最大程度降低了泥浆材料的浪费,避免了废弃泥浆直接排放导致的水体污染,助力绿色勘查。加强对冲洗液用量、泵送时间的记录和统计,最大程度降低辅助时间占比,提高钻进效率。



图8 冲洗液回收装置

Fig.8 Flushing fluid recovery device

4 钻孔经济技术指标分析

ZK47-4孔终孔孔深216.73 m,终孔口径77 mm,台月效率750 m/台月。测斜数据显示全孔倾

角变化范围 $<1^\circ$,孔底方位角 20.2° ,倾角 4.55° ,全孔岩心采取率98%,各项指标均满足任务书及质量要求。

钻孔自搬迁安装至终孔历时10 d。钻探总台时240 h,计入台月时间192 h。时间占比(见图9)分布不合理。通过分析原始记录报表数据,发现取心辅助时间占比较大,主要原因在于受钻孔涌水影响,施工后期每回次取心时间接近甚至超过纯钻时间^[17]。

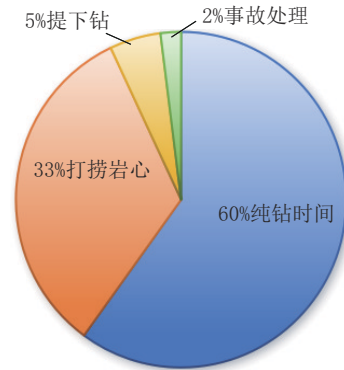


图9 计入台月时间统计

Fig.9 Time allocation counted in rig-month

5 结语

寨上金矿勘查项目ZK47-4钻孔是矿区首个近水平地质勘查孔,该钻孔在倾角 5° 的条件下成功钻穿3层碎裂蚀变岩和构造破碎带,圆满完成了矿区近水平钻孔试点任务,同时也有力推动了钻探新工艺技术的推广和创新。探索出的一套适用于水敏、破碎复杂地层的近水平钻孔绳索取心钻探技术方案,对于类似工程具有一定的借鉴意义。该钻孔的顺利实施也证明了寨上金矿水平钻孔施工在倾角、钻孔深度等方面仍有较大突破空间,同时也最大程度降低了因道路修筑、机场平整、废浆排放等造成的环境扰动和影响,助力项目绿色勘查落实落地。

同时,根据施工中存在的不足,提出进一步改进建议:为防止覆盖层周围冲洗液渗漏,孔口为破碎覆盖层时需用水泥加固,保证地锚稳固。内管投送时间过长,泵量加大,密封圈需要经常更换,建议提升密封圈质量。建议研制配套的小型固控设备,应用球卡式内管总成。

参考文献(References):

- [1] 胡郁乐,赵海滨,姚震桐.坑道定向钻进系统在隧洞水平勘探工程中的适应性分析[J].钻探工程,2023,50(5):116-124.
HU Yule, ZHAO Haibin, YAO Zhenotong. Adaptability analysis of tunnel directional drilling system in tunnel horizontal exploration engineering[J]. Drilling Engineering, 2023,50(5):116-124.
- [2] 肖华,刘建国,徐正宣,等.川藏铁路勘察超长水平孔绳索取心钻探技术[J].钻探工程,2021,48(5):18-26.
XIAO Hua, LIU Jianguo, XU Zhengxuan, et al. Wire-line core drilling technology of ultra-long horizontal investigation boreholes for the Sichuan-Tibet Railway[J]. Drilling Engineering, 2021,48(5):18-26.
- [3] 杨芳,陈师逊.深部地质钻探钻孔结构与施工分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,46(11):21-26.
YANG Fang, CHEN Shixun. Analysis of design and construction of deep geo-drilling boreholes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,46(11):21-26.
- [4] 李朝东,雷少双,韦乐平.绿色勘查地质钻探一基多孔技术方法探索与技术应用[J].世界有色金属,2024(19):166-168.
LI Chaodong, LEI Shaoshuang, WEI Leping. Exploration and application of green exploration geological drilling based on porous technology method[J]. World Nonferrous Metals, 2024(19):166-168.
- [5] 李占锋.地表近水平孔绳索取心工艺钻探实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(1):48-50.
LI Zhanfeng. Drilling practice of wire-line core drilling in quasi-horizontal hole[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(1):48-50.
- [6] 郝永进,赵江鹏.煤矿井下复杂地层近水平钻孔绳索取心钻进工艺试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):33-37.
HAO Yongjin, ZHAO Jiangpeng. Experimental research on wire-line coring drilling technology for near-horizontal boreholes in complex stratum in underground coal mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):33-37.
- [7] 石绍云,李杰,罗显梁,等.超深涌水水平孔绳索取心钻具投送和打捞技术[J].钻探工程,2021,48(11):1-7.
SHI Shaoyun, LI Jie, LUO Xianliang, et al. Running-in-hole and fishing technology for the wireline coring tool in ultra-deep horizontal holes with water gushing[J]. Drilling Engineering, 2021,48(11):1-7.
- [8] 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.
- [9] 何文,张航.绳索取心钻进技术在云南红牛铜矿坑道钻探水平孔施工中的应用[J].世界有色金属,2021(5):174-175.
HE Wen, ZHANG Hang. Application of rope coring drilling technology in horizontal hole construction of tunnel drilling in Yunnan Hongniu Copper Mine[J]. World Nonferrous Metals, 2021(5):174-175.
- [10] 田鹏辉,冉飞,宋继伟,等.立轴钻机在贵州复杂地层施工近水平孔的设备改造应用[J].西部资源,2024(2):59-61.
TIAN Penghui, RAN Fei, SONG Jiwei, et al. Application of equipment modification for vertical axis drilling rig in construction of near-horizontal holes in complex strata in Guizhou[J]. Western Resources, 2024(2):59-61.
- [11] 赵文辉.聚合物凝胶堵漏剂配方及其在高原铁路超深水平孔中的应用进展[J].地质与勘探,2024,60(3):601-609.
ZHAO Wenhui. Progress of polymer gel plugging agent formulation and its application in ultra-deep horizontal holes of plateau railway[J]. Geology and Exploration, 2024,60(3):601-609.
- [12] 陶士先,李晓东,吴召明,等.强成膜性护壁冲洗液体系的研究与应用[J].地质与勘探,2014,50(6):1147-1154.
TAO Shixian, LI Xiaodong, WU Zhaoming, et al. Research and application of the strong-film-forming wall-protecting flushing fluid system for drilling[J]. Geology and Exploration, 2014,50(6):1147-1154.
- [13] 刘俊辉,李晓东.广西苗儿山大厚度水敏性地层冲洗液技术研究及应用[J].钻探工程,2024,51(5):154-162.
LIU Junhui, LI Xiaodong. Research and application of drilling fluid technology for thick water-sensitive formations in the Miaoershan area of Guangxi[J]. Drilling Engineering, 2024,51(5):154-162.
- [14] 李冰乐,王胜,袁长金,等.复杂山区水平绳索取心定向钻进聚合醇绿色防塌冲洗液研究[J].钻探工程,2023,50(6):85-91.
LI Bingle, WANG Sheng, YUAN Changjin, et al. Research on polymer alcohol anti-collapse flushing fluid for directional drilling of horizontal wire-line coring in complex mountain areas[J]. Drilling Engineering, 2023,50(6):85-91.
- [15] 麻朗朗,陶士先,邹志飞.白银市土红湾-李家沟煤炭资源详查23-2孔冲洗液技术[J].钻探工程,2023,50(5):81-87.
MA Langlang, TAO Shixian, ZOU Zhifei. Drilling fluid technology for Hole 23-2, detailed investigation of coal resources in Tuhongwan-Lijiagou, Baiyin City[J]. Drilling Engineering, 2023,50(5):81-87.
- [16] 陈云龙,刘耿仁,蔡家品,等.长距离水平定向孔取芯技术应用——以天山胜利隧道水平定向孔地质勘察为例[J].隧道建设(中英文),2023,43(S1):298-303.
CHEN Yunlong, LIU Gengren, CAI Jiapin, et al. Application of long-distance horizontal directional borehole coring technology: A case study of geological investigation of Tianshan Shengli tunnel[J]. Tunnel Construction, 2023,43(S1):298-303.
- [17] 马映辉,贾宏福,李成志,等.某铁路勘察近水平孔取心钻探施工技术[J].地质与勘探,2021,57(1):190-197.
MA Yinghui, JIA Hongfu, LI Chengzhi, et al. Nearly-horizontal borehole coring and drilling techniques in the survey of a railway[J]. Geology and Exploration, 2021,57(1):190-197.

(编辑 王文)