

王家庄北沟多金属矿区钻探施工技术

于志坚, 耿 印, 于保国, 邢运涛, 王景章, 丁国东, 王 越, 刘 存

(河北省地矿局第四地质大队, 河北 承德 067000)

摘要:在河北省承德县王家庄北沟钼多金属矿钻探施工中, 钻遇岩石以燧石条带白云岩、石英岩为主, 岩石可钻性级别高, 钻遇地层硬、脆、碎, 钻头打滑严重, 孔壁坍塌和漏失, 钻进效率极低。为提高钻进效率, 经取样分析岩性后, 专门定制了适用于该地层的钻头。采用了多种方法迫使钻头出刃, 并根据不同孔段地层岩性选择不同钻进工艺参数和钻井液体系。总结出适于本矿区地层的钻进工艺参数, 使用不同性能的钻井液, 起到了较好的护壁堵漏作用, 提高了钻进效率。

关键词:钻探技术; “打滑”地层; 钻头优选; 钻进工艺参数; 破碎地层; 护壁堵漏; 钻井液

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2019)12-0029-06

Drilling technology for the Beigou polymetallic mining area in Wangjiazhuang

YU Zhijian, GENG Yin, YU Baoguo, XING Yuntao,

WANG Jingzhang, DING Guodong, WANG Yue, LIU Cun

(No. 4 Geological Brigade of Hebei Geological and Mineral Bureau, Chengde Hebei 067000, China)

Abstract: In drilling at Beigou Molybdenum Polymetallic Mine, Wangjiazhuang, Chengde County, Hebei Province, the main rock encountered was chert strip dolomite and quartzite with strong drillability, and they were hard, brittle, broken and seriously slippery, leading to very low drilling efficiency. In order to improve drilling efficiency, the lithology was assayed through sampling the rock with the drill bit custom-made for the formation. A variety of methods were adopted to force exposure of the cutting elements, and different drilling parameters and drilling fluid systems were selected for the lithology over different sections of the borehole. This paper summarizes the drilling parameters suitable for the formation in this mining area, together with the drilling fluids of different performance for wall protection and leakage plugging, and higher drilling efficiency.

Key words: drilling technology; slipping formation; bit selection; drilling parameters; broken formation; wall protection; drilling fluid

1 矿区地层情况简介

河北省承德县王家庄北沟钼多金属矿区内出露的地层主要有中晚元古代蓟县系碳酸盐岩、早古生代寒武系沉积岩、中生代侏罗系火山碎屑岩和新生代第四系松散沉积物。

蓟县系雾迷山组地层预查区内出露地层厚度约 1600 m, 沉积厚度较大。主要岩性为厚层状燧石条带白云岩, 夹薄层燧石岩、(含)炭质白云岩及少量硅质页岩。燧石条带白云岩, 白云岩与燧石条带互层,

白云岩一般厚度 0.5~2.5 m, 燧石条带一般厚度 0.1~0.5 m, 局部形成交错层理。白云岩主要为粉晶泥晶白云岩, 粉晶泥晶结构, 含少量或不含灰质, 硬度相对较高。硅质燧石岩层为雾迷山组典型燧石岩层, 硬度极高, 主要由隐晶髓质石英组成。(含)炭质白云岩呈中薄层状、透镜状夹杂在燧石条带白云岩中, 局部可见明显的炭质条带, 炭质含量可达 10%~15%。硅质页岩, 含量较低, 多呈半风化, 半氧化状态, 分布在硅质燧石岩边部, 硬度较低, 部分

收稿日期: 2019-08-16 DOI: 10.12143/j.tkgc.2019.12.006

作者简介: 于志坚, 男, 满族, 1977 年生, 高级工程师, 勘查技术与工程专业, 从事岩心钻探施工与管理工作, 河北省承德市双桥区偏岭地质科技大厦, gengyin02@163.com。

引用格式: 于志坚, 耿印, 于保国, 等. 王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 polymetallic mining area in Wangjiazhuang[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(12): 29-34.

含少量细砂,形成含砂硅质页岩。矿化体主要产于中上部燧石条带白云岩、硅质岩等交互出现的脆性构造破碎带内。

2 钻孔结构

在钼多金属矿区,由于钻遇的岩石种类较多,破碎严重,地层相对复杂,因此,本矿区设计的5个钻孔,均采用多级孔径设计结构。ZK05号钻孔位于河床,开孔采用 $\phi 130$ mm硬质合金钻头钻进,取出的岩心主要为成“粥”状的黄土泥石混杂物,钻进至6.85 m后穿过覆盖层下入 $\phi 127$ mm孔口管,水泥固定;然后换 $\phi 110$ mm硬质合金单管钻进至25.35 m,下入 $\phi 108$ mm套管,因为浅层岩石较为破碎,软硬互层,裂隙也较发育,所以要求完全确认地层较为稳定后再换径;然后采用 $\phi 95$ mm金刚石绳索取心钻进至182.90 m,现场观察岩心完整,钻进顺利,故下入 $\phi 89$ mm套管;再使用 $\phi 75$ mm绳索取心钻具钻进至终孔^[1-3]。ZK05号钻孔结构如图1所示。

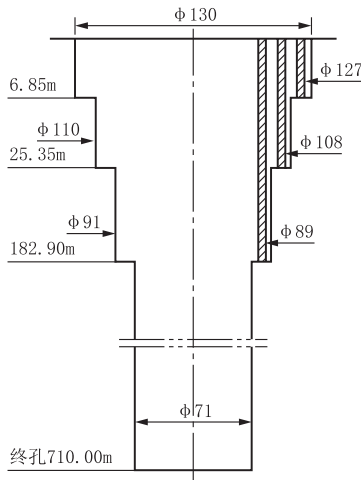


图1 ZK05孔钻孔结构

Fig.1 Structure of borehole ZK05

3 根据岩心加工特制钻头

王家庄北沟矿区在施工中钻遇“打滑”地层,使用胎体硬度HRC8~15钻头能正常钻进0.3 m,投石料磨钻头,导致钻头磨损过快,钻头寿命 ≥ 2 m。选用HRC20~30钻头钻进,基本上不进尺。在钻进中采取调整钻进参数、投料磨刃等多种措施,每台班钻进仍不超过1.2 m。根据岩心岩性分析,岩石可钻性为9~11级。为此,经专家咨询,选取了代表性岩心进行测试,根据测试结果制作适应性好的钻

头,以提高钻进效率^[4]。

通过光薄片鉴定(见图2、图3)可知,该“打滑”地层岩石组成以白云石、石英和玉髓为主,岩石可钻性高达9~11级,石英含量50%左右,粒径在0.01~0.03 mm,是典型的“打滑”地层。为了解决这一难题,通过分析研究,制作了适合矿区地层的“三低一高”特殊金刚石钻头,即胎体硬度低(HRC10~20),低浓度(40%~60%),低目数(40~60目混合),高品质金刚石。钻头胎体采用铁基预合金粉末,配料为Fe、Cu、Ni、Co、WC,钻头制造工艺采用热压烧结形成金刚石胎体块,再采用低温二次钎焊成型技术制作。该钻头明显提高了出刃性能和抗研磨能力,在实际使用中,每回次进尺可以达到1.5 m,再配合有效的施工工艺明显提高了钻进效率。钻头寿命可达48 m左右。



图2 王家庄岩心

Fig.2 Core from Wangjiashuang

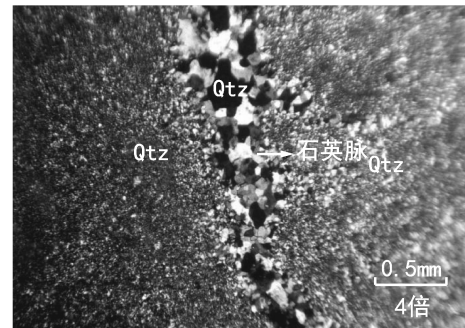


图3 王家庄岩心显微照片

Fig.3 Microphotograph of the Wangjiashuang core

4 提高“打滑”地层钻进效率的方法

4.1 采用辅助措施使钻头出刃

(1)酸蚀法。将浓盐酸与浓硝酸按3:1的比列配置成“王水”,把打滑金刚石钻头底唇面浸在“王水”中溶蚀20 min,使钻头底唇面金刚石出露。

(2)干磨法。把打滑钻头装在地表钻床上,通过干磨石英砂或金刚砂10~20 min使钻头底唇面金

刚石出刃。

(3) 地表喷砂法。将打滑钻头放在砂机上喷砂处理帮助钻头出刃, 喷砂时间以金刚石出露为宜, 不得过长时间处理造成金刚石脱落, 影响钻头寿命。

(4) 孔底投石料。把石英岩砸成直径 3 cm 左右的石块向孔内投入 15~30 块, 先采用低转速、小泵量(或不供水)磨 3~5 min 迫使金刚石钻头出刃后转入正常钻进。

4.2 选择合理的钻进参数

“打滑”地层钻进时采用高钻压、低转速、小泵量即“一高、一低、一小”的钻进参数。高钻压: 钻进“打滑”地层钻压一般高于同口径正常钻压的 1.5~2 倍。低转速: 一般控制线速度在 1 m/s 左右, 75 mm 口径 250 r/min 左右。小泵量: 一般控制泵量在 50 L/min 以内^[5-6]。以 75 mm 口径为例, 普通地层与“打滑”地层钻进参数选择经验参考数值见表 1。

表 1 钻进参数
Table 1 Drilling parameters

地层类型	口径/mm	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)	备注
普通	75	16	316	52	
“打滑”	75	25	254	38	BW150 型水泵快 1 挡

4.3 依据钻进破碎机理, 采用冲击回转钻进

使用绳索取心液动锤钻具进行冲击回转钻进, 在纵向冲击动载和回转剪切共同作用下破碎岩石。在“打滑”地层钻进使用此工艺能有效地提高钻进效率^[4]。

5 钻进参数的选择及时效对比

5.1 钻探工艺的选择

绳索取心工艺技术在石家庄矿区作为主要应用的钻进方法, 在钻进中遇到坚硬“打滑”地层, 回次进尺低, 减少提下钻时间, 充分体现了它的优势。但是绳索取心工艺所用的钻头比常规钻头胎体厚, 相对钻进时效较低^[4,7-9]。

多金属矿勘查规范中要求钻孔终孔口径 ≥ 75 mm。钻具规格的选择要根据钻孔的设计深度选择: 设计孔深超过 1000 m 时选择 S77 mm 口径终孔; 低于 1000 m 的钻孔选择 S75 mm 口径终孔。采用 S95 mm 绳索取心钻进在浅孔施工中钻进深度一般在 100 m 以浅, 进入基岩后选择 S95 钻进到一定

深度, 穿过预测破碎孔段后下套管。绳索取心钻具分为重型绳索取心钻杆和镢粗型绳索取心钻杆 2 种, 钻头口径相同, 钻杆的壁厚不同。一般情况下选择镢粗钻杆施工, 由于钻杆质量轻, 在钻机回转中相对更省力, 对发电机组的耗油量及钻机的磨损都要小^[10]。S95 镢粗型绳索取心钻杆由于钻杆上下内径相同, 在钻遇复杂地层时强行通过后, 可以不提钻把钻杆做套管直接换 S75 绳索取心钻具继续钻进。绳索取心钻杆内外径对比见表 2。

表 2 绳索取心钻具内外径对比
Table 2 Comparison of I.D. and O.D. of wireline drill rods

钻具类型	钻杆外径/mm	钻杆内径/mm	接头外径/mm	接头内径/mm	钻头外径/mm	钻头内径/mm
S75 地标	71	61	73	60	75	49
S77 内镢粗	71	61	74	58	77	46
S95 重型	89	77	92	77	95	62.5
S95 内镢粗	89	79	92	77	95	62.5

5.2 钻进参数的选择

石家庄北沟矿区共计施工 5 个钻孔, 其中 ZK01、ZK02、ZK03、ZK04 号钻孔孔深较浅, 使用的钻进参数不做具体介绍。现对 ZK05 号钻孔实际施工中所选择的钻进参数进行总结和分析。

5.2.1 钻进压力

ZK05 孔 25.35 m 以浅孔段为 $\varnothing 130$ 、110 mm 钻进, 钻压分别控制在 6~12、10~20 kN。25~182.90 m 孔段为 $\varnothing 91$ mm 钻进, 钻压 2.5~3.5 kN。182.90 m 到终孔孔深 710 m 孔段为 $\varnothing 75$ mm 钻进, 钻压 16~25 kN。其中在钻穿构造破碎带时钻压控制在 13~17 kN; 在钻遇坚硬“打滑”的硅质岩时, 保证安全的前提下适当加大钻压, 实际钻进中钻进压力不超过 30 kN^[11-12]。

5.2.2 转速

ZK05 号孔施工使用 XY-44 型岩心钻机, 转速控制在 200~400 r/min, 根据该机型挡位参数, 具体选用转速为 217、254、316 r/min。开孔时地层为砂岩, 选择高转速(316 r/min)进尺快, 机械钻速平均为 3.4 m/h; 钻遇硅质白云岩时, 更换定做钻头, 选择转速为 254 r/min, 进尺虽然慢但也相差不多, 机械钻速在 2.7 m/h; 穿过硅化层钻遇硬岩继续用 254 r/min, 机械钻速比硅化层中稍快, 在 2.9 m/h 左右。通过分析对比得知在普通硬岩中不一定高转速就提高综合效率, 转速高可能开始时进尺很快, 磨钝之后效率就会骤降。施工中钻遇燧石条带硅质

岩石是典型的“打滑”地层,特殊情况采取特殊手段直至钻穿“打滑”地层,正常钻进^[11-14]。

根据 ZK05 孔的实际钻进参数记录资料,绘制了该孔在不同转速下的机械钻速(见图 4)。

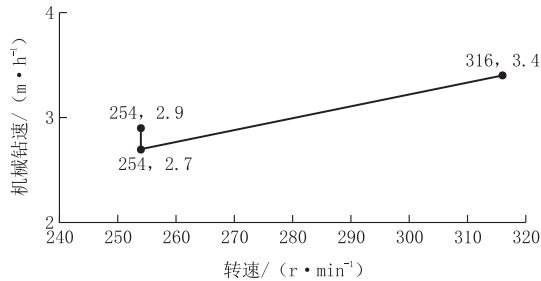


图 4 ZK05 孔机械钻速与转速关系

Fig.4 Penetration rate vs rpm for ZK05

5.3 时效对比

王家庄北沟矿区同时开动钻机 2 台套,施工中 ZK04 号钻孔使用了 S75 mm 口径钻具施工、ZK05 号钻孔使用 S77 mm 口径钻具施工。两孔使用不同规格钻具综合情况对比见表 3。

表 3 使用不同规格的钻具综合情况对比

Table 3 Comprehensive comparison of drilling tools with different specifications used in two holes

孔号	钻具规格	额定转速(254 r/min)下的线速度/(m · s ⁻¹)	岩心直径/mm	钻进 0.6 m 所用的时间/min	岩心采取率/%
ZK04	S75	0.997	49	11	99.00
ZK05	S77	1.023	46	14	91.35

理论上在完整岩石中钻进,使用金刚石钻头钻进,通过提高转速来提高效率。但是在超硬岩石中钻进,选择的钻进参数的原则是:高钻压,低转速。超硬岩石中进尺慢,钻头破碎产生的岩粉少,钻头的线速度越高越容易导致钻头提前磨钝,不出刃,导致提钻次数过多,辅助时间增长。另外,S75 mm 的钻头比 S77 mm 钻头内径大,底唇面薄,克取岩石的面积小。在钻探取样时取得的岩心直径越大越有利于准确计算矿品位。在施工中选择标准口径钻头在单杆进尺时间和岩心采取率上优于非标准口径钻头。

6 钻井液的配制与现场维护

6.1 破碎地层护壁

绳索取心钻进工艺,钻柱与孔壁的环状间隙小,可一定程度上防止孔内坍塌、掉块,一般只需用水解聚丙烯酰胺(PHP)配制无固相钻井液即可,这样既可以达到护壁润滑效果,又安全环保,还能降低钻探

成本,同时 PHP 钻井液在现场使用过程中也便于维护^[15-16]。

配制方法:1 m³ 清水+0.05%~0.1%PHP 充分搅拌稀释溶解后使用。

钻遇破碎地层,钻进回转过程中有轻微掉块,致使回转阻力增大、电流表不稳,采用低粘增效粉(LBM)配制的低固相钻井液可获得良好的护壁效果。配制方法:1 m³ 清水+2%~4%LBM 干粉+0.5%~1%的皂化油。若孔内回转阻力不大可用钠基膨润土配制低固相钻井液使用。

地层破碎非常严重,出现坍塌现象,结构松散,非泥质胶结等破碎的断层中钻进,下钻遇阻反复扫孔也无法通过时,要根据孔深等综合情况来确定是否采用套管护壁(一般下入深度为 500 m 以浅),若钻孔设计较深,继续施工后下部地层情况不明的情况下,采用灌注水泥浆的方法护壁更合理^[17-18]。例如,ZK05 孔钻进至 206~209 m 孔段时遇破碎带,漏失严重,地层破碎,现场岩心见图 5。



图 5 现场岩心照片

Fig.5 Field core photographs

项目组现场采取灌注水泥浆封堵漏失层,经过 2 次灌水泥操作,封堵效果较好,顺利终孔。

6.2 轻微缩径地层采取的措施

轻微缩径地层钻进,往往会引起钻具回转阻力大,为降低回转阻力,开足转速,提高钻进效率^[17,19-21],一般可选用润滑效果好的油酸钠阴离子型乳状液减阻,实现正常钻进。配制油酸钠阴离子型减阻液的方法如下:

首先在温度 60~90 °C 的热水中加入 50%~60%的油酸钠,待其全部溶化后,再加入 10%~20%的柴油或废机油混合均匀,配成油酸钠乳状液。

如果钻孔返水将冲洗液配成浓度 0.5%~1%的油酸钠乳状液溶液。如个别孔段不返水,则将油酸钠乳状液稀释成浓度 5%左右的溶液,沿钻杆

倒入孔内直接润滑钻具。

王家庄北沟矿区使用油酸钠乳状液润滑钻具,润滑效果很好。实际钻进中,钻孔漏失,钻进液失返,钻具回转吃力,电流表电流急剧上升,最多高出正常钻进时电流的 70%,加入油酸钠乳状液后,电流明显下降,可迅速使电流恢复正常。

6.3 用于水敏性地层的钻井液

水敏性地层主要指遇水膨胀和分散地层。该类地层应采用高抑制性钻井液体系,要求钻井液 API 滤失量 ≤ 10 mL,抑制性强^[19,22]。

在泥质胶结、糜棱岩化等水敏性地层中钻进,地层造浆、吸水膨胀、缩径是造成孔壁坍塌、下钻不到底、憋泵的主要原因。通常使用失水量较低的无固相钻井液或低固相钻井液护壁,用化学聚合物、护壁剂、膨润土配制钻井液效果明显。钻井液配方:1 m³ 清水+4%膨润土+8%火碱+0.3%~0.5% CMC+1%~2%广谱护壁剂+1%~2%KHM。钻井液性能参数:密度 1.02~1.04 g/cm³,粘度 20~27 s,失水量 8~15 mL/30 min,泥皮厚 0.3~1 mm,pH 值 8.5。

该钻井液体系成功解决了我在多个深孔施工中钻孔缩径的难题。钻探施工中,如果发现超过 0.5 m 的水敏性地层岩心,一定要立即停止钻进,调换钻井液体系,配制抑制地层吸水膨胀的钻井液,充分循环,多次测试钻井液性能参数都达标的情况下方可继续钻进。钻遇水敏地层时一般情况泵压会有所增高,电流表指数增大,循环液中的岩粉增多,捞取岩粉仔细观察会发现软质的岩石颗粒等等。遇到上述情况,应该立即捞取岩心,根据岩层对原用的钻井液性能作出调整^[22]。

钻进中一旦遇到水敏性地层,通过调整钻井液性能抑制住了钻孔缩径,在后续钻进中必须保证钻井液的性能参数不能有大的变化,随时测试,及时加入所需的钻井液处理剂。做好钻井液的净化处理,及时清理钻井液槽,保证钻井液的固相含量不超标。在实际生产过程中,维护好钻井液的性能是所施工的钻孔能否顺利终孔的关键^[14,19,22]。

7 结语

多金属矿地层中钻探施工,地层较为复杂,岩石硬、脆、碎。在施工中要采取多种措施强制钻头出刃,选择合理的施工工艺和钻进参数,合理选择钻井

液确保孔壁安全。在王家庄北沟矿区施工中主要采取了以下措施。

(1)根据所钻岩石物理性质,加工与地层相适应的金刚石钻头。采取多种方法促使金刚石出刃,以提高钻进效率。

(2)选择绳索取心工艺技术,除特殊情况不使用非标钻头。尽可能地减小钻头底唇面,这样既可以提高钻进效率又可以提高岩心采取率。

(3)在坚硬“打滑”地层中钻进,选择钻进参数时尽可能使用小泵量、低转速、大钻压更能提高钻进效率。

(4)根据地层及时调整钻井液性能。完整地层选择 PHP 等成本较低的钻井液,水敏地层钻进配制抑制性较强的低固相钻井液护壁效果更好。

(5)根据地层变化及时调整施工方法。

参考文献(References):

- [1] 苏厚斌,马晓鹏,郑尊岐,等.山东招远水旺庄 3000m 科学钻孔事故预防技术及管控效果[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):1-7.
SU Houbin, MA Xiaopeng, ZHENG Zunqi, et al. Accident prevention technology and control effect of 3000m scientific borehole in the Shuiwangzhuang Mining Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(7):1-7.
- [2] 耿印,周恩波,于保国,等.承德大乌苏沟矿区大规模深孔钻探生产管理与施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(3):80-83.
GENG Yin, ZHOU Enbo, YU Baoguo, et al. Large scale deep drilling production management and construction technology in a mining area of Chengde[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(3):80-83.
- [3] 耿印,于志坚,邢运涛,等.本溪市东风湖地热井施工和固井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(9):53-57.
GENG Yin, YU Zhijian, XING Yuntao, et al. Construction and cementation technologies for Dongfenghu geothermal well in Benxi City[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(9):53-57.
- [4] DZ/T 0227-2010, 地质岩心钻探规程[S].
DZ/T 0227-2010, Geological core drilling regulations[S].
- [5] 谭建国,张所邦,刘健,等.鄂西地区坚硬“打滑”地层钻进方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):22-24.
TAN Jianguo, ZHANG Suobang, LIU Jian, et al. Drilling method for hard and slipping formation in Western Hubei[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(4):22-24.
- [6] 王洪涛,罗伟,焦卫兵,等.厄立特里亚 Zara 金矿大角度斜孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(6):7-12.
WANG Hongtao, LUO Wei, JIAO Weibing, et al. Drilling

- construction technology of large angle inclined hole in Zara Golden Deposit in Eritrea[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(6):7-12.
- [7] 李振学.南坪矿区复杂地层深孔钻进技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):12-15.
LI Zhenxue. Study on deep hole drilling technology in complex formation of Nanping Mining Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(11):12-15.
- [8] 赵建勤,李子章,石绍云,等.空气潜孔锤跟管钻进技术与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(7):55-59.
ZHAO Jianqin, LI Zizhang, SHI Shaoyun, et al. Technology of DTH drilling with simultaneous casing and the application [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(7):55-59.
- [9] 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 Chagandershi Molybdenum Deposit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(5):31-33,64.
- [10] 徐爱臣.大规模钻探施工组织管理若干问题与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(4):80-82.
XU Aichen. Some problems of organization management for large-scale drilling construction and the countermeasures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(4):80-82.
- [11] 时志兴.河南省寺家沟银多金属矿区复杂地层绳索取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(3):31-35,41.
SHI Zhixing. Wireline core drilling in complex strata in Sijia-gou silverpolymetallic mine of Henan Province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(3):31-35,41.
- [12] 韩明耀,柳硕林.河南内乡板厂铜多金属矿 ZK1724 孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(12):54-58.
HAN Mingyao, LIU Shuolin. Drilling technology of Well ZK1724 in Banchang copper polymetallic mining area in Neixiang County of Henan Province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(12):54-58.
- [13] 胥虹.套管跟进与绳索取心组合钻探技术的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):22-24,30.
XU Hong. Application of the combined drilling technology of drilling with casing and wire-line coring[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(4):22-24,30.
- [14] 杨福全,龙海涛.四川平武银厂金矿勘探复杂地层钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):36-39.
YANG Fuquan, LONG Haitao. Drilling technology of complex formation in Yinchang Gold Deposit prospecting in Pingwu of Sichuan [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(6):36-39.
- [15] 孙丙伦,陈师逊,陶士先.复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):13-16.
SUN Binglun, CHEN Shixun, TAO Shixian. Discussion and practice on wall protection with slurry in deep-hole drilling in complicated formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(5):13-16.
- [16] 翟东旭.豫东地区中深孔厚覆盖地层钻探套管护壁和泥浆护壁效果对比[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):6-9,17.
ZHAI Dongxu. Comparison of wall protection with casing and mud for medium-depth hole drilling in thick overburden layer in the east of Henan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(8):6-9,17.
- [17] 张林生,陈礼仪,彭刚,等.汶川地震断裂带科学钻探项目 WFS-4 井钻井液技术[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 WFS-4 of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(9):146-150.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 易强忠,郎学伟,周兴华,等.云南金平长安金矿大倾角钻孔绳索取心施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):48-55.
YI Qiangzhong, LANG Xuewei, ZHOU Xinghua, et al. Wire line coring for large inclination boreholes in Chang'an Gold Mine, Jinping, Yunnan Province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(4):48-55.
- [21] 余桂红.洛宁上宫金矿 ZK322000 深孔复杂地层护壁技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):19-23.
YU Guihong. Discussion on the wall protection technology for ZK322000 deep hole in complex stratum of Shanggong Gold Deposit in Luoning [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(6):19-23.
- [22] 韩明耀,柳硕林,谢宏伟.南阳板厂多金属矿区泥浆技术的合理化应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(1):52-55.
HAN Mingyao, LIU Shuolin, XIE Hongwei. Reasonable application of drilling mud system in Nanyang Banchang Polymetallic Mining Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(1):52-55.

(编辑 韩丽丽)