

小秦岭金矿田 3500 m 特深孔冲洗液技术

王鹏飞^{1,2}, 郭曜欣^{3,4*}, 翟育峰^{3,4}, 王鲁朝^{3,4}, 杨芳^{3,4}, 宋宝杰^{3,4}, 王修晖^{3,4}

(1. 河南省第一地质矿产调查院有限公司, 河南 洛阳 471023;

2. 自然资源部贵金属分析与勘查技术重点实验室, 河南 洛阳 471023;

3. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004; 4. 山东省地矿局钻探工程技术研究中心, 山东 烟台 264004)

摘要: 小秦岭金矿田 3500 m 特深孔 (ZK001 孔) 位于河南省灵宝市, 是小秦岭构造带上深部探测的第一口全孔连续取心特深钻孔, 该钻孔地层岩性十分复杂, 软、硬、碎地层交互出现, 护壁极其困难, 钻进中伴随孔壁坍塌、掉块、水化分解造浆、高地应力断层泥缩径和微裂隙失水等多种复杂工况。本文针对地层变化调整冲洗液体系, 上部采用低固相冲洗液, 下部采用低固相聚合物防塌冲洗液体系, 不断优化冲洗液配方, 及时维护调整性能参数, 有效解决了孔内各种难题。为小秦岭地区提供了一种可靠的深孔岩心钻探冲洗液技术。

关键词: 特深孔; 复杂地层; 聚合物防塌冲洗液; 高地应力; 缩径; 断层泥

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2024)05-0115-07

The drilling fluid technology of 3500m extra-deep hole in Xiaoqinling Gold Field

WANG Pengfei^{1,2}, GUO Yaixin^{3,4*}, ZHAI Yufeng^{3,4}, WANG Luzhao^{3,4},

YANG Fang^{3,4}, SONG Baojie^{3,4}, WANG Xiuhui^{3,4}

(1. Henan First Geology and Mineral Survey Institute Co., Ltd., Luoyang Henan 471023, China;

2. Key Laboratory of Precious Metal Analysis and Exploration Technology of Ministry of Natural Resources,
Luoyang Henan 471023, China;

3. No.3 Exploring Institute of Geo-mineral Resources, Yantai Shandong 264004, China;

4. Drilling Engineering Technology Research Center of Shandong Bureau of Geology and Mineral,
Yantai Shandong 264004, China)

Abstract: The 3500m extra-deep hole (ZK001 hole) in Xiaoqinling gold mine field is located in Lingbao City, Henan Province. It is the first full-hole continuous coring extra-deep hole in the Xiaoqinling tectonic belt. The formation lithology of this hole is very complicated, with soft, hard and broken strata appearing interactively, and the wall protection is extremely difficult. There are many complicated conditions in drilling, such as hole wall collapse, block loss, hydration decomposition and pulping, high in-situ stress gouge shrinkage and micro-fracture water loss. In this paper, the flushing solution system is adjusted according to the formation changes. The upper part uses low solid phase flushing solution and the lower part uses low solid phase polymer anti-collapsing flushing solution system. The flushing

收稿日期: 2024-07-29 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.05.014

基金项目: 河南省财政地质勘查项目“河南省灵宝市小秦岭金矿田南中矿带深部探测”(编号:2020-18-06); 河南省地矿局局管地质科研项目“小秦岭金矿田复杂地质条件下 3500 m 深孔钻探工艺研究”(编号:202201); 山东省地矿局局控科技创新项目“3000 m 超深科学钻探关键技术研发应用”(编号:KY202102); 山东省地矿局 2022 年度科技攻关项目“深孔地质岩心钻孔轨迹控制技术研发及应用”(编号:KY202205)

第一作者: 王鹏飞, 男, 汉族, 1981 年生, 高级工程师, 地质勘查专业, 主要从事地质矿产勘查及相关科研工作, 河南省洛阳市洛龙区开元大道 222 号, 672726285@qq.com。

通信作者: 郭曜欣, 男, 汉族, 1983 年生, 高级工程师, 勘查技术与工程专业, 从事水工环地质及钻探技术研究工作, 山东省烟台市芝罘区机场路 271 号, 66146144@qq.com。

引用格式: 王鹏飞, 郭曜欣, 翟育峰, 等. 小秦岭金矿田 3500 m 特深孔冲洗液技术[J]. 钻探工程, 2024, 51(5): 115-121.

WANG Pengfei, GUO Yaixin, ZHAI Yufeng, et al. The drilling fluid technology of 3500m extra-deep hole in Xiaoqinling Gold Field [J]. Drilling Engineering, 2024, 51(5): 115-121.

solution formula is constantly optimized, the performance parameters are timely maintained and adjusted, and various problems in the hole are effectively solved. It provides a reliable flushing fluid technology for deep hole core drilling in Xiaoqinling area.

Key words: extra-deep hole; complex strata; polymeric anti-collapse drilling fluid; high in-situ stress; hole shrinkage; fault gouge

0 引言

小秦岭金矿田是我国仅次于胶东地区的第二大黄金产地,目前累计查明金资源储量约611 t,现勘查深度下延1500 m预测资源量420 t,成矿地质条件良好,深部找矿潜力巨大。同时,结合自然资源部“一核二深三体系”科技创新战略,在小秦岭南中矿带部署深钻,对阐明小河断裂和小河岩体时空耦合特征及其与区域成矿关系、查清小秦岭金矿田南中矿带的南倾矿脉组在-2000 m标高延深及其含矿性情况、探讨金矿床成矿规律和成因模式等问题具有重要的意义。

河南省灵宝市小秦岭金矿田南中矿带深部探测项目为河南省财政地质勘查资金项目,项目承担单位为河南省地质矿产勘查开发局第一地质矿产调查院,其主要目标是研究小河断裂对小秦岭金矿田南部的控制作用;验证地震剖面预测小河岩体与下伏含矿岩系的关系;探测小秦岭金矿田南中矿带南倾脉组的延深及其含矿性,预测深部金矿资源潜力。项目在灵宝市朱阳镇设计3500 m特深孔1个,该孔是小秦岭构造带上实施深部探测的第一口全孔连续取心特深钻孔。要求终孔直径 ≤ 75 mm,岩心平均采取率 $\leq 80\%$,围岩岩心的平均采取率 $> 70\%$ 。该特深孔钻探施工由山东省第三地质矿产勘查院承担。

此前,河南地矿四院在灵宝市朱阳镇枪马峪施工的ZK8302钻孔,终孔孔深2018.86 m,终孔孔径77 mm,钻遇地层主要为太古宇太华群观音堂组,岩性为一套角闪岩相变质岩,并受到不同程度的混合

岩化。主要有混合花岗岩、角闪片麻岩和石英脉等。地层情况较为简单,采用的冲洗液体系为无固相高效润滑冲洗液^[1-3]。

1 钻孔施工概况

1.1 地层概况

小秦岭地区(河南段)地层区划属于华北区豫西分区熊耳山小区。出露结晶基底及不整合于其上的沉积盖层,具双层结构。台穹区内大面积出露结晶基底、无盖层,台穹边界、台坳区有盖层出露。结晶基底为一套中深变质岩系。盖层自下而上出露中元古界长城系熊耳群许山组、中元古界蓟县系官道口群高山河组和龙家园组、中生界侏罗系南朝组、新生界古近系项城组和川口组、新生界第四系。

1.2 构造情况

小秦岭地区大地构造位置属于华北地台南缘华熊台隆小秦岭台穹。小秦岭构造经历了多期变形变质作用,地质构造复杂,褶皱、断裂发育。

小秦岭台穹褶皱形态总体为一近东西向展布的复背形,西起陕西提峪,东至河南娘娘山,长约100 km,宽10~20 km,自北向南由五里村背形、七树坪向形、老鸦岔(主)背形、庙沟向形、上杨砦背形等次级褶皱组成。

1.3 钻孔结构

钻孔编号ZK001, $\varnothing 245$ mm开孔, $\varnothing 98$ mm终孔,采用五开钻孔结构(见表1)。

1.4 孔斜情况

ZK001钻孔设计顶角 0° ,钻孔每100 m测斜一

表1 ZK001钻孔结构

Table 1 ZK001 borehole structure

开钻次序	钻孔直径/mm	钻达深度/m	套管尺寸/mm	套管下深/m	备注
一开	245	18.42	219	18.29	初遇硬质岩层
二开	175	286.09	168	286.62	钻穿上部第三系多数破碎严重地层
三开	150	1029.12	140	1030.62	由于未见完整岩层,该开次在设计的基础上(500 m)加深至孔深1029.12 m
四开	122	1904.32	114	1905.60	
五开	98	3491.90			孔内阶段性出现破碎地层,坍塌掉块时有发生,发生6次孔内事故

次,全孔共测斜37次,最后一次测斜孔深3448.84 m,顶角9.6°,方位角314°。

2 冲洗液技术难点及要求

2.1 冲洗液技术难点

(1)断层泥地层塑性变形。由于断隆区边界及区内两条较大较深断裂带的存在,上部第四系和第三系存在断层泥覆盖层,同时夹杂大小不等的砾石,在强地应力作用下,极易引起钻孔缩径和垮塌。

(2)孔壁坍塌破碎和掉块严重,易造成卡钻事故。ZK001孔处于小秦岭构造带上,地层异常破碎,钻进过程中极易发生坍塌掉块现象,其中在2120 m左右,节理裂隙发育,坍塌、掉块严重,发生了4次严重的卡钻事故,严重影响了施工进度。

(3)深部高应力地层增加冲洗液施工难度。此前该地区最深钻孔2018.86 m,再深地层情况无参考资料,地层压力难以确定,只能根据钻进地层情况调整冲洗液密度。

(4)全孔取心对冲洗液性能提出更高要求。上部断层泥较为发育,下部断裂带地层破碎异常,取心及提高采取率的难度较大。同时绳索取心钻进

工艺环空间隙小,对冲洗液的流变性能控制以及对护壁、护心等方面都提出了更高的要求^[4-12]。

2.2 冲洗液性能要求

(1)上部地层较松软,孔壁易缩径坍塌,应注意保持冲洗液的粘度和密度。

(2)下部硬质碎裂岩地层存在较多孔隙和裂缝,冲洗液中应添加封堵或防漏材料,同时应做好防漏堵漏措施。另外应密切关注冲洗液密度,防止压漏。

(3)在保证孔内安全的前提下,尽可能保持较低的固相含量、良好的流变性能和润滑性能及较低的失水量。同时保障适当上返速度,保证携带岩屑^[13-16]。

3 ZK001孔冲洗液的现场应用

3.1 冲洗液使用及维护

3.1.1 一开冲洗液使用与维护

一开0~18.42 m,地层以粘土层、砾石层为主,易坍塌,采用常规提钻取心钻进,选用固相冲洗液,配方为:1 m³水+0.5~1.0 kg烧碱+0.5~1.0 kg纯碱+50~100 kg钠膨润土+5~10 kg无荧光防塌润滑剂。一开冲洗液性能见表2。

表2 一开冲洗液性能

Table 2 Drilling fluid performance of the first spudding

钻进孔段/ m	冲洗液 体系	动切力/ Pa	静切力/Pa		滤失量/ mL	泥皮厚度/ mm	密度/ (g·cm ⁻³)	马氏漏斗粘度/ s	pH值
			10 s	10 min					
0~18.42	无固相	10~20	4~6	6~10	10~15	>1	1.05~1.10	60~80	10~12

3.1.2 二开冲洗液使用与维护

二开18.42~286.09 m,地层以花岗质碎裂岩为主,破碎严重,取心困难。冲洗液在一开基础上进行转化:1 m³水+0.5~1.0 kg烧碱+0.5~1.0 kg纯碱+25~50 kg钠膨润土+10~15 kg改性瓜尔胶+10~15 kg无荧光防塌润滑剂+5~10 kg高粘防塌剂+2~3 kg包被剂。其中在175~179 m、185~189 m钻遇断层泥(见图1)。钻进阻力大,回次进尺少,取心困难,上下钻需扫孔,根据孔内情况每立方米冲洗液补充10~15 kg广谱护壁剂3型和10~15

kg防塌防卡剂,同时补充适量超细碳酸钙,提高冲洗液密度,平衡地层压力,防止缩径卡钻。二开冲洗液性能见表3。

3.1.3 三开冲洗液使用与维护

三开286.09~1029.12 m,地层以伟晶岩、花岗质碎裂岩为主,裂隙发育,钻进时易卡钻,掉块多。三开钻进起始地层相对完整,为了加快施工进度,采用无固相冲洗液:1 m³水+0.5~1.0 kg水解聚丙烯酰胺+10~15 kg无荧光防塌润滑剂+50 kg无机化合物+25 kg改性瓜尔胶+25 kg光谱护壁剂3型

表3 二开冲洗液性能

Table 3 Drilling fluid performance of the second spudding

钻进孔段/ m	冲洗液 体系	动切力/ Pa	静切力/Pa		滤失量/ mL	泥皮厚度/ mm	密度/ (g·cm ⁻³)	马氏漏斗粘度/ s	pH值
			10 s	10 min					
18.42~286.09	无固相	10~15	3~6	5~8	5~12	<0.5	1.05~1.10	40~60	10~12

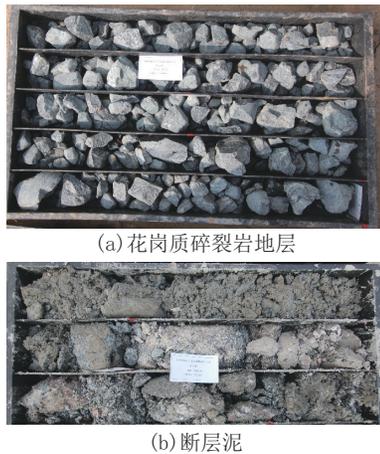


图1 二开孔段花岗质碎裂岩及断层泥岩心
Fig.1 Fault gouge formation encountered in the second spudding

+1~1.5 kg 包被剂+PVA。其中PVA胶液在钻遇块状破碎地层时从钻杆直接灌注,灌注量根据地层破碎情况而定。钻进至370 m左右,地层开始严重破碎,孔内掉块、坍塌严重(参见图2)。及时更换冲洗液体系,采用低固相聚合物冲洗液:1 m³水+0.5~1 kg 烧碱+25~50 kg 膨润土+5~10 kg 改性沥青+15~25 kg 随钻堵漏剂+15~25 kg 封堵剂+2~4 kg 增粘剂+1~2 kg 包被剂。采用聚合物冲洗液体系后,孔内掉块情况明显好转。

钻进至600 m左右,钻遇严重破碎粉砂质泥岩(参见图3),地层水敏性强、造浆严重,导致冲洗液性能差(马氏漏斗粘度>70 s,密度高达1.24 g/cm³,滤失量16 mL/30 min,泥皮厚度>2.0 mm),发生泥包卡钻事故,事故处理了1个月。事故处理结束后,再次调整冲洗液体系,采用以LBM(低粘增效粉)为主的聚合物冲洗液:1 m³水+1~2 kg 烧碱+25 kg 低粘增效粉+10 kg 改性沥青+10 kg 随钻堵漏剂+20 kg 封堵剂+5 kg 增粘剂+2~4 kg 包被剂。同时保持离心机等固控设备的工作时间,经常清理循环槽及沉淀池中的岩粉,固相含量居高不下时,更换部分新浆。三开冲洗液性能见表4。

表4 三开冲洗液性能

Table 4 Drilling fluid performance of the third spudding

钻进孔段/ m	冲洗液体系	动切力/ Pa	静切力/Pa		滤失量/ mL	泥皮厚度/ mm	密度/ (g·cm ⁻³)	马氏漏斗 粘度/s	pH值
			10 s	10 min					
286.09~370	无固相	4~8	0~2	1~2	5~10	—	1.01~1.03	40~55	8~9
370~600	低固相	4~8	1~2	2~4	6~10	<0.5	1.03~1.24	40~60	9~10
600~1029.12	低固相聚合物	5~10	2~5	3~6	5~8	<0.5	1.05~1.12	45~60	9~10

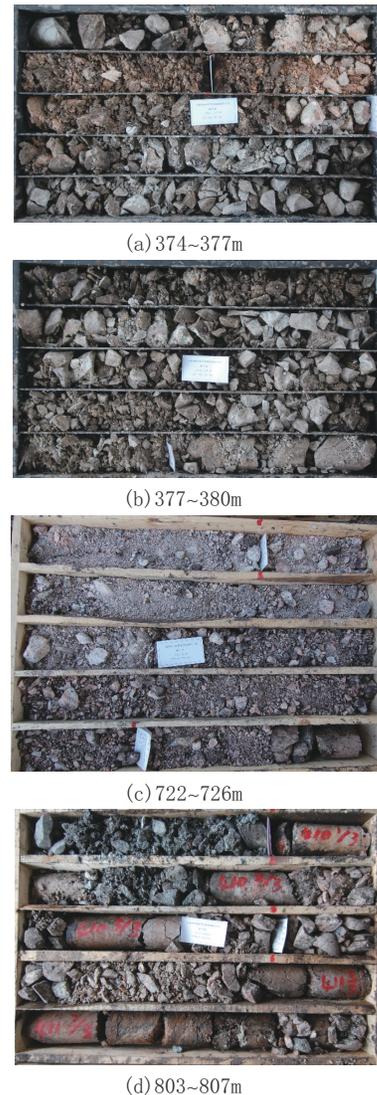


图2 三开孔段破碎地层岩心
Fig.2 Core of broken formation with third spudding

3.1.4 四开冲洗液使用与维护

四开1029.12~1904.32 m地层以片麻状碎裂岩、花岗碎裂岩为主,存在掉块、坍塌现象,地层情况(参见图4)。在三开LBM聚合物冲洗液的基础上,补充封堵剂、随钻堵漏剂的用量,同时适当增加冲洗液密度。四开冲洗液性能见表5。

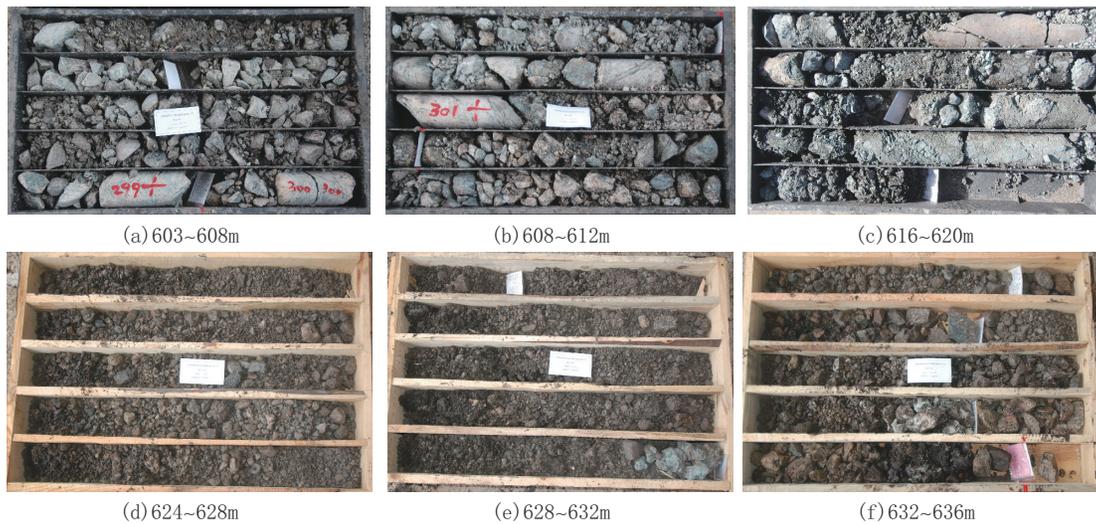


图3 三开603~636 m粉砂质泥浆岩心
Fig.3 603~636m silty mud core with the second spudding



图4 四开破碎地层岩心
Fig.4 Core of broken formation with fourth spudding

表5 四开冲洗液性能

Table 5 Drilling fluid performance of the fourth spudding

地层分段	动切力/Pa	静切力/Pa		滤失量/mL	泥皮厚度/mm	密度/(g·cm ⁻³)	马氏漏斗粘度/s	pH值
		10 s	10 min					
四开	5~10	3~5	4~6	5~10	<0.5	1.08~1.12	45~60	9~10

3.1.5 五开冲洗液使用与维护

五开地层以片麻状碎裂岩、花岗碎裂岩为主,孔内阶段性出现破碎地层,坍塌掉块时有发生。四开套管到位后,采用低固相聚合物冲洗液:1 m³水+15~25 kg 膨润土+15~25 kg 防塌防卡剂+15~25 kg 封堵剂+15~25 kg 褐煤树脂+2~4 kg 增粘剂+1~2 kg 包被剂。钻进至2080 m 钻遇垂直节理发育地层(参见图5)。孔内掉块严重,取心上拉有阻力,回次进尺有掉块。在2124 m 发生掉块卡钻事故,卡点位于上扩孔器位置。处理事故1个月。事故处理结束后,采用水泥封孔来稳定2078~2124 m 破碎地层,封孔效果显著,提下钻基本无阻力。封

孔后更换冲洗液,在原来冲洗液配方的基础上增加防塌防卡剂、封堵剂用量,同时添加超细碳酸钙提高冲洗液密度(由1.12 g/cm³提高到了1.14 g/cm³)。坚持钻进至2842 m,再次出现水敏性严重破碎地层(参见图6)。为此,加大褐煤树脂用量,降低冲洗液滤失量(由8 mL/30 min降低至5 mL/30 min)。孔深超过3000 m以后,地层地应力加大,地层情况参见图7。钻具在孔内停待时间较长就会出现卡钻现象,为此,现场要求钻具在孔内停待时间不能超过3 h,同时再次加大冲洗液密度(提高至1.18 g/cm³)来平衡地应力^[17-19]。五开冲洗液性能见表6。

表6 五开冲洗液性能

Table 6 Drilling fluid performance of the fifth spudding

地层分段	动切力/Pa	静切力/Pa		滤失量/mL	泥皮厚度/mm	密度/(g·cm ⁻³)	马氏漏斗粘度/s	pH值
		10 s	10 min					
五开	5~10	1~2	2~4	5~8	<0.5	1.12~1.18	40~50	9~10



(a) 2089~2094m



(b) 2103~2105m

图5 五开垂直节理发育地层

Fig.5 Vertical joints develop strata with fifth spudding



图6 五开2842~2846 m严重破碎地层

Fig.6 2842~2846m seriously broken strata with fifth spudding

3.2 冲洗液现场应用效果

ZK001 钻孔施工过程中,根据地层情况及时调整冲洗液,主要以聚合物防塌冲洗液为主,其效果主要有以下几方面。

(1)护壁效果:该孔钻遇断层泥、水敏性、垂直节理发育、高应力破碎地层,通过采用聚合物防塌冲洗液体系,孔壁相对稳定,坍塌掉块现象减弱,护壁效果良好。

(2)取心质量:该孔要求岩心平均采取率 $\geq 80\%$,围岩岩心的平均采取率 $>70\%$,实际取心率高达96.44%,即使钻遇粉砂质泥岩、断层泥等破碎



(a) 3075~3080m



(b) 3122~3126m

图7 五开3000 m以深高地应力地层岩心

Fig.7 Core of 3000m deep and high ground stress stratum with fifth spudding

地层,冲洗液也能有效保证采取率。

(3)流变性:钻孔孔深超过3000 m时,采用72 L/min泵量钻进,泵压维持在5.5~8 MPa,与国内类似钻孔相比,循环泵压明显降低,通过岩样浸泡试验,冲洗液也没有明显的分层、沉淀,流变性能良好。

4 结论与建议

(1)深孔施工冲洗液体系要结合现场钻遇地层情况及时进行调整,同时要做好冲洗液的性能测试工作,每班至少测试一次冲洗液性能;冲洗液体系更换之前要进行小样浸泡试验。

(2)聚合物防塌冲洗液具有广谱护壁性能,同时现场制备简易,适合深孔复杂地层应用。

(3)严格控制冲洗液中固相含量,同时保持冲洗液具有一定的密度来平衡深部高地应力坍塌掉块问题。

(4)深孔复杂地层施工,冲洗液属于软护壁技术,长时间裸孔钻进存在风险,要根据实际钻进情况,增加钻孔级配,采用(活动)套管护壁技术,配合冲洗液护壁技术,降低特深孔施工事故率,提高施

工效率。

参考文献(References):

- [1] 柴世刚,桑东恺,张晓鹤,等.小秦岭灵宝金矿田整装勘查第一深孔钻探工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):23-26. CHAI Shigang, SANG Dongkai, ZHANG Xiaohu, et al. Drilling technology of the deepest hole in Lingbao Gold Field of Xiaolinling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(9):23-26.
- [2] 陈风云,王虎,谷天本.小秦岭地区深部钻探孔结构设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):44-46. CHEN Fengyun, WANG Hu, GU Tianben. Design of borehole structure of deep drilling in Xiaolinling Region[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(7):44-46.
- [3] 秦国栋.山东莱州吴一村ZK01科学钻孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):36-39. LUAN Guodong. Drilling technology for scientific drilling ZK01 in Shandong Province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(4):36-39.
- [4] 翟育峰.西藏甲玛3000m科学深钻施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):8-12,53. ZHAI Yufeng. Technical proposal for the 3000 m deep scientific drilling borehole in Jiama, Tibet[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(6):8-12,53.
- [5] 田志超,翟育峰,林彬,等.西藏甲玛3000米科学深钻施工技术[J].钻探工程,2022,49(3):100-108. TIAN Zhichao, ZHAI Yufeng, LIN Bin, et al. Drilling technology for 3000m deep scientific drilling in Jiama, Tibet[J]. Drilling Engineering, 2022,49(3):100-108.
- [6] 刘振新,翟育峰,宋世杰,等.川西甲基卡锂矿3000 m科学深钻关键技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):29-32. LIU Zhenxin, ZHAI Yufeng, SONG Shijie, et al. Discussion on key technology for the 3000m deep scientific drilling project of Jiaka Lithium Mine in west Sichuan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(10):29-32.
- [7] 陈师逊,宋世杰.中国东部海区科学钻探施工技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):1-5. CHEN Shixun, SONG Shijie. Discussion of scientific drilling construction technology in Eastern Sea Area of China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(12):1-5.
- [8] 杨芳,陈师逊.深部地质钻探孔结构设计与施工分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(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), 2019,46(11):21-26.
- [9] 翟育峰,仲崇龙,刘峰.羌塘盆地羌资-14井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):92-95. ZHAI Yufeng, ZHONG Chonglong, LIU Feng. Drilling construction technology for Qiangzi Well-14 in Qiangtang Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(7):92-95.
- [10] 苏力才,谢健全,李永卫,等.PVA1788无固相冲洗液体系的研究与应用[J].钻探工程,2022,49(4):68-73. SU Licai, XIE Jianquan, LI Yongwei, et al. Research and application of PVA1788 solid-free drilling fluid system[J]. Drilling Engineering, 2022,49(4):68-73.
- [11] 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):86-92. 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):86-92.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 罗永贵,王红阳,刘建华.小秦岭金矿田北矿带厚覆盖层钻探技术难点及对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):27-29,32. LUO Yonggui, WANG Hongyang, LIU Jianhua. Technical difficulties of thick overburden layer drilling in Xiaolinling Gold Mine and the Countermeasures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(1):27-29,32.
- [15] 王鲁朝,李晓东,翟育峰.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-4S孔冲洗液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):27-31. WANG Luzhao, LI Xiaodong, ZHAI Yufeng. Research on drilling fluids technology for WFSD-4S Hole of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(2):27-31.
- [16] 宋世杰,李晓东,陈师逊.南黄海大陆架科钻CSDP-2井第四系、新近系地层海水冲洗液研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):10-13. SONG Shijie, LI Xiaodong, CHEN Shixun. Study on seawater flushing fluid and its application in quaternary and neogene strata for CSDP-02[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(4):10-13.
- [17] 李攀义,单文军,徐兆刚,等.成膜防塌无固相冲洗液体系在金鹰矿区ZK1146井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,42(10):26-30. LI Panyi, SHAN Wenjun, XU Zhaogang, et al. Research and application of solid free film-forming and anti-sloughing drilling fluid system in Wel ZK1146 of Jinying Mining[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,42(10):26-30.
- [18] 翟育峰,王鲁朝,丁昌盛,等.西藏罗布莎科学钻孔冲洗液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):1-4. ZHAI Yufeng, WANG Luzhao, DING Changsheng, et al. Flush fluid technique in scientific drilling hole situated in Luobusa of Tibet[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(4):1-4.
- [19] 王战社,沈星,戚波.小秦岭深孔岩心钻探水泥浆护壁堵漏技术研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(8):19-23. WANG Zhanshe, SHEN Xing, QI Bo. Study and application of cement slurry plugging technology for deep hole core drilling in Xiaolinling Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(8):19-23.

(编辑 荐华)