

小秦岭整装勘查区综合普查钻探技术

刘振新^{1,2}, 翟育峰^{*1,2}, 徐志权³, 刘晓龙⁴, 田志超^{1,2}, 姜晓¹, 杨怀俊¹

(1. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东烟台 264004; 2. 山东省地矿局钻探工程技术研究中心, 山东烟台 264004;
3. 中地装(无锡)钻探工具有限公司, 江苏无锡 214073; 4. 陕西地矿第六地质队有限公司, 陕西西安 710611)

摘要:小秦岭国家级整装勘查区综合物探科研钻探专项,旨在查清小秦岭地区深部地质结构及隐伏矿体的储存特征,因勘查区内没有施工过深孔,深部地质资料缺乏,施工未知因素较多,综合该钻探专项基本情况、地层岩性、钻孔深度及终孔直径,选择一套实用的钻探设备和以绳索取心钻进、LBM冲洗液体系为主要钻进工艺来满足施工需要;在施工过程中,遇到上部地层取心率低、涌水、吸附卡钻、掉块卡钻、孔内漏失、片麻岩地层防斜、起拔套管困难等技术问题,针对出现的技术问题,制定了切实可行的解决方案,对今后该矿区或类似地层钻探施工具有一定的借鉴意义。同时总结、形成了一套针对破碎、胶结性差地层的泥浆体系,在维护孔壁方面取得了良好的效果,有效预防深孔重大孔内事故,提高了施工效率,节约了钻探施工成本。

关键词:普查钻探;绳索取心钻进;LBM冲洗液体系;深部地质结构;隐伏矿体;小秦岭整装勘查区

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2023)03-0037-07

Drilling technology applied during comprehensive prospecting in the Xiaqingling integrated exploration area

LIU Zhenxin^{1,2}, ZHAI Yufeng^{*1,2}, XU Zhiqian³, LIU Xiaolong⁴, TIAN Zhichao^{1,2}, JIANG Xiao¹, YANG Huaijun¹

(1. Shandong No.3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Yantai Shandong 264004, China;

2. Drilling Engineering Technology Research of Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources,
Yantai Shandong 264004, China;

3. CGE Group Wuxi Drilling Tools Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214073, China;

4. Shaanxi Geological and Mineral Sixth Team Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710611, China)

Abstract: The special project of comprehensive geophysical research drilling in the Xiaqingling national integrated exploration area aims to find out the deep geological structure and reservoir characteristics of the hidden ore bodies in the Xiaqingling area. Due to lack of deep hole and deep geological data, many unknown factors exist in construction. Considering the basic condition of this special drilling project, strata lithology, drilling depth and final hole diameter, practical drilling equipments and wire-line core drilling and LBM drilling fluid system as the main drilling technology should be selected to meet the construction needs. During the drilling process, technical problems such as low core recovery rate in upper strata, water gushing, adhesion stuck, falling block stuck, leakage in the hole, anti-slope in slate layer and difficult in lifting casing were encountered. Relevant feasible solutions were made to provide certain reference for the drilling construction in this mining area or similar strata in the future. At the same time, a mud system for fractured and poorly consolidated strata was summarized and formed, which has achieved good results in maintaining

收稿日期:2022-11-02; 修回日期:2023-02-28 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.03.005

基金项目:陕西省地质勘查基金项目(项目编号:61201707319);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:刘振新,男,汉族,1987年生,山东省地矿局深部钻探工程技术创新团队成员,山东省地矿局钻探工程技术研究中心技术骨干,工程师,勘查技术与工程专业,从事深部钻探技术应用与生产工作,山东省烟台市芝罘区机场路271号,963964017@qq.com。

通信作者:翟育峰,男,汉族,1984年生,山东省地矿局钻探工程技术研究中心技术室主任,山东省地矿局深部钻探工程技术创新团队核心成员,高级工程师,勘查技术与工程专业,硕士,从事钻探技术研究工作,山东省烟台市芝罘区机场路271号,282163880@qq.com。

引用格式:刘振新,翟育峰,徐志权,等.小秦岭整装勘查区综合普查钻探技术[J].钻探工程,2023,50(3):37-43.

LIU Zhenxin, ZHAI Yufeng, XU Zhiqian, et al. Drilling technology applied during comprehensive prospecting in the Xiaqingling integrated exploration area[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(3): 37-43.

the well wall, effectively preventing major accidents in deep holes, improving drilling efficiency and saving drilling costs.

Key words: general survey drilling; wire-line core drilling; LBM drilling fluid system; deep geological structure; hidden ore body; Xiaoqinling integrated exploration area

1 概况

1.1 项目概况

小秦岭整装勘查区深部地质结构及隐伏矿体综合物探普查项目,为陕西省地质勘查基金项目(项目编号:61201707319),由陕西地矿第六地质队有限公司承担,其钻探专项“小秦岭国家级整装勘查区综合物探科研第一钻”由山东省第三地质矿产勘查院负责施工,旨在查清小秦岭地区深部地质结构及隐伏矿体的基本情况,钻孔主要技术要求是:

- (1)设计孔深2000 m。
- (2)终孔直径 ≤ 75 mm。
- (3)全孔取心,矿心及顶底板采取率 $\leq 80\%$,全孔采取率 $\leq 75\%$ 。
- (4)钻孔弯曲度: $\geq 1^\circ/100$ m。

该钻孔于2021年11月7日正式开钻,2022年8月17日完钻,终孔孔深2338.21 m,为目前陕西省固体矿产地质钻探领域第一深孔。施工现场见图1。



图1 施工现场

Fig.1 Construction site

1.2 地质概况

钻孔位于陕西省商洛市境内,地处秦岭南麓,因处在巡马道断裂带上,区域地质条件复杂,构造发育,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^[1-2]。周边勘查区内没有可供参考

施工过的深孔,深部地质资料缺乏,施工未知因素较多。通过前期物探工作,600 m以深位置地层破碎,并有高压含水层,存在涌水条件。钻遇地层岩性自上而下为:0~20 m为第四系堆积层,主要为粘土、砂质粘土、砾石及岩石碎屑组成;20~500 m主要为碎裂花岗岩,岩石破碎程度总体极高,以长英质矿物及黑云母为主,普遍可见高岭土化,局部见绿帘石化、绿泥石化、钾长石化等;500~800 m主要为黑云斜长片麻岩,部分为碎裂花岗岩,局部见花岗伟晶岩、辉绿岩等脉岩充填;800~900 m主要为辉绿岩,岩心完整程度较高;900~2000 m主要为黑云斜长片麻岩,多混合岩化,部分为碎裂花岗岩,局部见花岗伟晶岩、辉绿岩等脉岩充填;2000~2200 m主要为花岗斑岩,部分为碎裂花岗岩、黑云斜长片麻岩捕虏体;2200~2300 m主要为黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩,局部见花岗伟晶岩、辉绿岩等脉岩充填。

2 钻探工艺及技术指标

2.1 钻孔结构

钻孔采用四开结构。

孔口管:采用 $\varnothing 172$ mm孔径,钻进至8.00 m,下 $\varnothing 168$ mm套管,下深8.10 m。

一开:采用 $\varnothing 150$ mm单管、S150/122 mm绳索取心钻进至231.50 m,下入 $\varnothing 140$ mm套管,下深231.60 m。

二开:采用S122 mm绳索取心钻进工艺钻进至471.43 m,下入 $\varnothing 114$ mm套管,下深471.53 m。

三开:采用S98 mm绳索取心钻进工艺钻进至2020.20 m,下入 $\varnothing 91$ mm套管,下深2020.30 m。

四开:采用S76 mm绳索取心钻进工艺钻进至2338.21 m,终孔。

实际钻孔结构见图2。

2.2 设备及机具

根据钻孔基本情况、地层岩性、钻孔深度及终孔直径等^[3-6],施工选用XY-8型立轴式岩心钻机,满

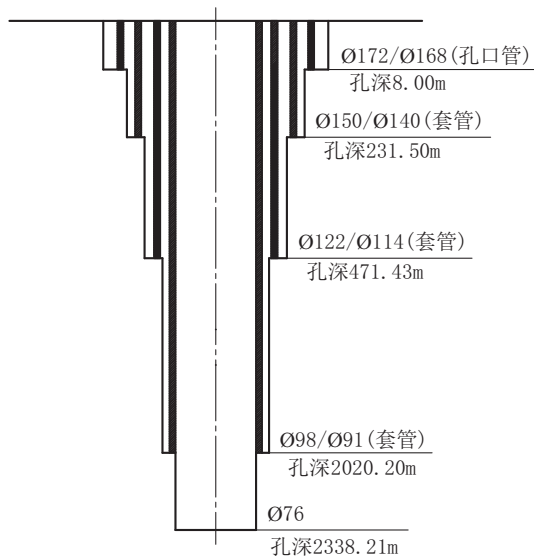


图2 钻孔结构示意图

Fig.2 Drilling structure of the hole

足设计孔深和加深需要;选用BW300/16型泥浆泵,结构紧凑、易损件寿命较长;选用SG24型四角钻塔,质量轻、负荷能力大、安装使用方便。同时配备

SQ114/8型液压动力钳、S-3000型绳索取心绞车、TJ-350型立式单筒泥浆搅拌机等附属设备。

2.3 钻进方法

开孔采用 $\varnothing 172$ mm单管钻具,取心钻进;一开采用 $\varnothing 150$ mm单管和S150/122 mm绳索取心钻进两种钻进方法,二开采用S122 mm绳索取心钻进钻进,三开采用S98 mm绳索取心钻进,四开采用S76 mm绳索取心钻进至2338.21 mm。

开孔由于钻进段浅,采用 $\varnothing 172$ mm钻头+ $\varnothing 164$ mm钻具+ $\varnothing 114$ mm绳索取心钻杆的简单钻具组合形式。

一开主要采用S150/122 mm绳索取心钻进,S150/122 mm绳索取心钻具是一种钻头加大的特种绳索取心钻具。即钻头外径采用 $\varnothing 150$ mm,而钻头内径、绳索取心钻杆柱及内管配套机具,均采用S122 mm绳索取心钻具的规格,为了钻具扶正和提高强度,钻具外管(包括扩孔器、弹卡室、弹卡挡头等)采用特种厚壁外管。钻具结构如图3所示。

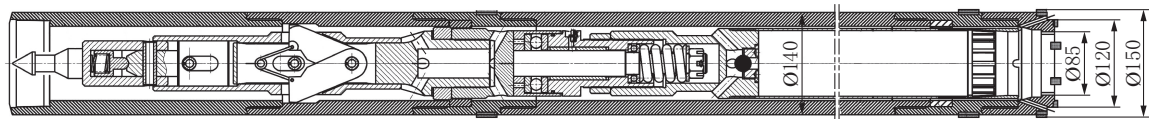


图3 S150/122 mm 绳索取心钻具结构示意图

Fig.3 Structural diagram of S150/122mm wire-line coring tool

采用加大一级口径的优点是:首先可提高绳索取心钻杆的适用范围,实现一种钻杆满足两级口径的需要,同时还增大环空间隙,改善绳索取心钻进的水压力平衡条件。其次使套管增大一个口径级别,为施工储备一级口径。

二开、三开、四开分别采用S122、S98和S76 mm绳索取心钻具,均为常规的绳索取心钻具型式。

2.4 钻进参数

施工过程中钻进参数见表1。

2.5 冲洗液

根据对地层的分析,为了保障护壁效果和满足绳索取心钻进,现场使用了LBM为主的冲洗液体系。LBM冲洗液配方^[7-12]:1 m³水+1~1.5 kg烧碱+15~20 kg低粘增效粉(LBM)^[13-14]+5~6 kg改性沥青+4~5 kg随钻堵漏剂+8~10 kg封堵剂+2 kg增粘剂+1 kg包被剂。处理冲洗液时需要注意添加

表1 钻进参数

Table 1 Drilling parameters

开次	口径/ mm	钻压/ kN	转速/ (r·min ⁻¹)	泵量/ (L·min ⁻¹)
孔口管	172	3~5	175	72
一开	150	3~10	175	72
二开	125	5~10	264	72
三开	98	10~15	264	42
四开	76	10~15	264	42

顺序,先将前6种材料加入后,搅拌20~30 min,再添加浸泡好的增粘剂、包被剂。由于现场使用的增粘剂提粘效果不理想,采用纤维素、PAC-141替代。由于各孔段的地层状况不一样,要及时调整材料用量,使冲洗液性能参数满足要求。

0~610.00 m孔段,地层松散、破碎,胶结性差且岩石硬度低,部分孔段涌水^[15],冲洗液粘度保持在

60~70 s较为合适,密度 $1.10\sim 1.18\text{ g/cm}^3$,失水量在5~6 mL,pH值保持在9~10。

610.00~2020.20 m孔段,地层虽破碎,但相对完整,冲洗液粘度保持在40~45 s较为合适,密度 $1.10\sim 1.15\text{ g/cm}^3$,失水量在5~6 mL,pH值保持在9~10。

2020.20~2338.21 m孔段,由于上部套管内径较小,S76 mm钻杆环状间隙小,冲洗液流动阻力大,泵压高,一直处于漏失状态。冲洗液粘度只能保持在35 s左右,密度 $1.03\sim 1.05\text{ g/cm}^3$,失水量在8~10 mL,pH值保持在9~10。为尽可能减少因漏失而产生的冲洗液材料消耗,用膨润土替代低粘增粉,以降低原有冲洗液材料的使用成本。

注意事项:

(1)使用LBM冲洗液,岩粉沉降效果一般,建议适当增长循环槽长度、增加小沉淀池数量。每隔一定时间及时清理有害固相,补充新冲洗液;如有条件,建议配备离心机。

(2)使用膨润土时,要提前水化。充分搅拌、浸泡、充分水化后(至少24 h),排队使用,加至搅拌机和其他材料混合使用。严禁将土粉直接加入搅拌机使用。

2.6 完成的技术质量指标

(1)全孔钻探进尺2338.21 m,取出岩心长度2317.16 m,全孔岩心采取率99.1%。

(2)全孔测斜24次,终孔位置顶角 4.52° 、方位角 328.6° ,满足合同要求。

(3)按照要求进行简易水文观测,对涌水和漏失层位位置进行测量记录。

(4)按照甲方要求,分孔段进行了封孔。

3 施工中遇到的技术问题及解决办法

在施工过程中,遇到上部地层取心率低、涌水、吸附卡钻、掉块卡钻、孔内漏失、起拔套管困难、片麻岩地层防斜^[16-18]等技术问题,通过采取相应的技术措施,得以顺利解决。

3.1 取心率低

8.00~231.50 m孔段,由于钻遇地层松散破碎、胶结差,采用S150/122 mm钻具,部分回次取心率低,达不到要求。后采用 $\varnothing 150\text{ mm}$ 单管钻具“干烧”的办法钻进,采取率仍不能满足要求。采用底喷和侧喷钻头(其结构见图4),通过改变冲洗液流经钻

头底面的位置,同时将冲洗液粘度提高,降低冲洗液量以最大限度减少其对钻头底部岩心冲刷,同时调整卡簧自由度等措施,逐步得以解决。

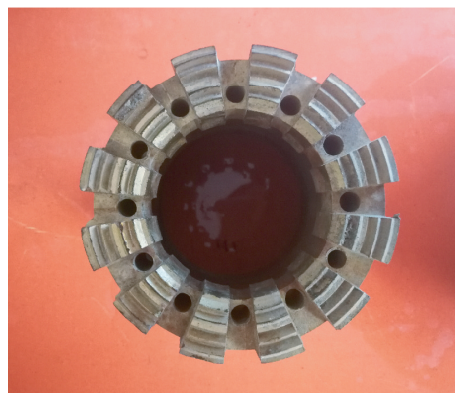


图4 底喷钻头

Fig.4 Bottom jetting bit

3.2 涌水

钻进过程中出现多次涌水孔段,主要的涌水段见表2。判断涌水通过2种方式,一是通过观察,泥浆池液面持续上升,判断出现涌水现象;二是出口处冲洗液粘度下降,提高进口处粘度,出口处粘度仍然不提高,可推断钻遇含水层,存在涌水现象,但由于冲洗液上返阻力较大,涌水量也较小。

表2 涌水孔段

Table 2 Hole section with water gushing

序号	孔深/m	涌水量/ ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)	判断依据
1	322.90	4.50~5.00	泥浆池液面上升
2	410.60	5.00~6.00	泥浆池液面上升
3	427.51	9.00~10.00	泥浆池液面上升
4	955.00~957.00	/	冲洗液被稀释
5	966.90	/	冲洗液被稀释
6	1540.00	/	冲洗液被稀释
7	1560.00	/	冲洗液被稀释

出现涌水后,向冲洗液内添加超细碳酸钙、重晶石粉等加重材料,提高冲洗液密度,并不断循环,达到平衡后再继续施工。

3.3 孔壁坍塌

孔壁失稳主要包括2种情况,8.00~610.00 m孔段地层(见图5)松散破碎、胶结性差、岩石硬度低,且遇到涌水地层,孔壁坍塌多次出现。



图5 上部孔段岩心

Fig.5 Core of upper hole section

2299.50~2300.72 m 孔段,出现蚀变带,岩石软、碎(见图6),由于不清楚蚀变带长度,采取提高冲洗液粘度和密度,至钻孔终孔,这一孔段未出现垮塌情况。



图6 2299.50~2300.72 m 孔段岩心

Fig.6 Core samples from 2299.50m to 2300.72m

孔壁坍塌处理办法:

(1)使用LBM冲洗液,适当提高冲洗液粘度、密度,严格控制失水量、泥饼厚度,同时注意观察孔口、循环槽、小沉淀池岩粉沉淀情况,及时清理,最大限度保证泥浆池有害固相含量在合理范围之内。

(2)在坍塌或破碎带地层钻进时,应注意起钻时回灌冲洗液和控制起钻速度,以防压力不平衡及抽吸引起的垮塌。

3.4 吸附卡钻

全孔出现3次吸附卡钻,分别出现在150.80、209.00、1361.40 m位置。

处理办法:前两次,通过多次回转钻具、强力上顶,成功解决;第三次因钻孔较深,且修钻机停待时间较长,上提、下压、回转均不成功,冲洗液能够循环(泵压5.0 MPa),正常钻进时基本无掉块,判断为吸附卡钻,灌入8.0 m³解卡剂,通过不断循环和适当回

转钻具后成功解卡,重新搅拌8.0 m³新冲洗液,替换孔内解卡剂。

3.5 掉块卡钻

钻进至1566.70、1725.00、1797.60、1876.90、1907.70、2224.65 m时,均遇到不同程度卡钻。

处理措施:回转、上下活动钻具;每回次加钻杆之前,拉起立根,上提、下放几次,让掉块落入钻孔底部,再进行加钻杆作业。

3.6 孔内漏失

0~600.00 m孔段,地层破碎、胶结性差,出现轻微漏失现象,进行了冲洗液护壁堵漏^[19-21],随着新钻地层孔壁泥皮的形成,漏失现象逐渐减弱。

2020.20~2338.21 m孔段,进行S76 mm绳索取心钻进(Ø76.3 mm钻头,Ø76.3~76.4 mm扩孔器),上一级套管由两部分构成:0~1828.20 m孔段套管内径79.0 mm;1828.20~2020.20 m孔段套管内径76.8 mm。由于下部套管内径较小,造成环空间隙较小,上返压力较大,冲洗液一直处于漏失状态,正常钻进时漏失量1~2 m³/h。处理办法:用膨润土替代低粘增效粉,降低其它原有冲洗液材料的使用,尽可能减少因漏失而产生的冲洗液材料消耗。

3.7 起拔套管困难

钻进结束后,起拔0~2020.20 m孔段Ø91 mm套管,多次回转、上顶失败。后采用自制的水力割刀(见图7),连接Ø71 mm绳索取心钻杆,在孔深1895 m处切割套管,切割完成后主动钻杆拧紧套管口,经过多次反复回转、上顶,处理成功。



图7 水力割刀

Fig.7 Hydraulic cutter

3.8 片麻岩地层防斜

钻孔偏斜严重,不仅影响钻进效率,若偏斜超出规范^[22]或合同要求,将导致施工钻孔报废。该钻孔900.00~2000.00 m孔段为片麻岩地层,属易造斜地层,因此钻进过程中预防孔斜极为重要。

预防措施:

(1)设备安装前,保证钻塔底座地基平整、稳固,

确保设备安装水平,天车、立轴和钻孔中心在一条直线上,在钻进过程中要勤检查和校正立轴方向。

(2)严把开孔关,检查开孔钻具、钻杆、主动钻杆,保证弯曲变形在一定限度之内^[2],开孔钻进低钻压、低转速,及时下入和固定孔口管。

(3)换径钻进时,控制钻压、转速。

(4)每隔50 m进行测斜,测斜之前保证测斜仪器精度在合理范围之内。

(5)尽可能使用长钻具,Φ98 mm口径钻具长5.70 m。

该孔终孔顶角4.70°,片麻岩地层每100 m顶角变化在1°范围内,满足业主要求。

4 结语

(1)在地质资料掌握不完全区域进行施工时,要优化钻孔结构,施工方法要尽可能充分。

(2)全孔施工过程中,未发生孔壁坍塌等重大孔内事故。事故预防工作,从人员、机具、工艺、冲洗液等方面入手,重视细节。

(3)起拔套管遇阻时,建议使用水力割刀分段切割套管,使用过程中注意保持泵压的稳定。

(4)使用LBM泥浆,对水敏性、破碎地层有很好的护壁效果,能够满足绳索取心钻进需要。

(5)片麻岩地层中钻进,要采取相关技术措施,预防孔斜。

参考文献(References):

- [1] 李红梅,石逊.白洞铁矿南区复杂地层钻探施工技术[J].钻探工程,2021,48(11):29-34.
LI Hongmei, SHI Xun. Drilling technology for complex formation in the south area of Baijian Iron Mine[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(11): 29-34.
- [2] 刘俊辉,陈跃,李晓东,等.广西向阳坪铀矿床钻探施工技术及改进措施[J].钻探工程,2021,48(8):59-67.
LIU Junhui, CHEN Yue, LI Xiaodong, et al. Drilling technology and improvement measures for the Xiangyangping uranium deposit in Guangxi[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(8): 59-67.
- [3] 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.
- [4] 杨芳,陈师逊.深部地质钻探钻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 geodrilling boreholes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(11): 21-26.
- [5] 翟育峰.西藏甲玛3000 m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.
- [6] 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.
- [7] 汤凤林, A.Γ. 加里宁, 段隆臣. 岩心钻探学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2009.
TANG Fenglin, A. C. Kalinin, DUAN Longchen. Core Drilling [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2009.
- [8] 陈兵, 姚燕, 张峰, 等. 浅论神农架地区岩溶复杂地层钻探施工技术[J]. 资源环境与工程, 2010(4): 398-400.
CHEN Bing, YAO Yan, ZHANG Feng, et al. Discussion on drilling construction technology of complex karst stratum in Shennongjia[J]. Resources Environment & Engineering, 2010(4): 398-400.
- [9] 肖冬顺, 符文, 吴琼, 等. 青海五龙沟矿区泥岩地层冲洗液研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(9): 45-50.
XIAO Dongshun, FU Wen, WU Qiong, et al. Drilling fluid for mudstone in Wulonggou Mine of Qinghai province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(9): 45-50.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 陶士先, 李晓东, 纪卫军, 等. 成膜防塌无固相冲洗液体系的研究与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届

- 全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2015:424-430.
- TAO Shixian, LI Xiaodong, JI Weijun, et al. Research and application of solid free flushing fluid system for film forming and collapse prevention[C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Eighteenth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conferences. Beijing: Geological Publishing House, 2015:424-430.
- [14] 熊正强,陶士先,刘俊辉,等.延迟交联凝胶研制及其在广西某铀矿堵漏应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(4):140-144.
- XIONG Zhengqiang, TAO Shixian, LIU Junhui, et al. Development and application of delayed crosslinked gel for lost circulation treatment in a uranium mine of Guangxi[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(4):140-144.
- [15] 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 polymet allc mining area in Wangjiazhuang [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(12):29-34.
- [16] 鄢泰宁.岩土钻掘工程学[M].武汉:中国地质大学出版社,2001.
- YAN Taining. Geotechnical Drilling Engineering[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2001.
- [17] DZ/T 0227—2010,地质岩心钻探规程[S].
- DZ/T 0227—2010, Geological core drilling regulations[S].
- [18] 赵国法,吕新前.开化黄山矿区钻孔偏斜规律研究及控制措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):48-52.
- ZHAO Guofa, LÜ Xinqian. Study on borehole deflection law and control measures in Huangshan mining area of Kaihua[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(2):48-52.
- [19] 李攀义,单文军,徐兆刚,等.成膜防塌无固相钻井液体系在金鹰矿区ZK1146井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(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 Well ZK1146 of Jinying Mining Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(10):26-30.
- [20] 纪卫军,张辉,李晓东,等.新疆鄯善县沙尔湖页岩气3井护壁堵漏技术[J].地质装备,2018,19(4):25-27,39.
- JI Weijun, ZHANG Hui, LI Xiaodong, et al. Wall-protection and plugging technology of Shaer Lake shale gas Well 3 in Shanshan, Xinjiang [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2018, 19(4):25-27, 39.
- [21] 单文军,段晓青,任福建,等.甘肃武威盆地页岩气“武页1井”成膜低固相冲洗液的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):111-115.
- SHAN Wenjun, DUAN Xiaoqing, REN Fujian, et al. Application of low solid film-forming system in Well “Wuye-1” in Wuwei Basin of Gansu [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(7):111-115.
- [22] 朱恒银,等.深部岩心钻探技术与管理[M].北京:地质出版社,2014.
- ZHU Hengyin, et al. Technology and Management in Deep Coring Drilling [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.

(编辑 荐华)