

洞庭湖湿地生态修复松散泥沙砾石层取心技术

王虎^{1,2}, 周成建¹, 郭军¹, 王杰¹, 王稳石¹, 方国庆¹, 胡郁乐³

(1. 中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心, 湖南长沙 410600; 2. 贵州省地质矿产勘查开发局 111 地质大队, 贵州贵阳 550081; 3. 中国地质大学(武汉), 湖北武汉 430074)

摘要:为完成洞庭湖湿地生态修复综合调查项目, 施工了一口贯穿洞庭湖区第四纪松散泥沙砾石层的标准取心钻孔, 要求全孔保真取心。采用了增大取心口径, 小口径干钻取心, 大口径跟管护壁等综合手段, 顺利完成施工任务, 岩心采取率超过 95%, 岩心基本未受污染。进行了光圈式特种取心钻具现场应用试验, 试验结果表明, 该钻具可以取得更好的保真取心效果, 但还存在钻具岩心管长度不足等缺点, 为该钻具改进与推广提供了依据。通过本钻孔的施工, 摸索出了一套适合洞庭湖区松散泥沙砾石层的采样技术方法, 为湖区第四纪生态地质研究奠定了基础。

关键词:生态修复; 松散地层; 保真取心; 超前取心; 跟管钻进; 光圈式特种取心钻具

中图分类号: P634.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2025)05-0100-06

Coring technology in loose mud, sand and gravel layers for ecological restoration in Dongting Lake wetland

WANG Hu^{1,2}, ZHOU Chengjian¹, GUO Jun¹, WANG Jie¹, WANG Wenshi¹, FANG Guoqing¹, HU Yule³

(1. Changsha Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Changsha Hunan 410600, China; 2. Geological Brigade 111, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550081, China; 3. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: In order to complete the comprehensive investigation project of ecological restoration of Dongting Lake wetland, a standard sampling borehole was constructed, which runs through the Quaternary loose mud, sand and gravel layers in the Dongting Lake area, requiring accurate coring throughout the borehole. The construction task was successfully completed by adopting comprehensive measures such as increasing the coring diameter, using small-diameter dry drilling for core extraction, and large-diameter casing wall protection. The core recovery rate reached over 95%, and the core was basically uncontaminated. A field application test was conducted about the aperture type special coring tool, and the test results showed that the drilling tool can achieve better fidelity coring effect. However, there are still shortcomings such as insufficient length of the core tube, which provides a basis for the improvement and promotion. Through the construction of this borehole, a set of sampling techniques suitable for loose mud, sand and gravel layers in the Dongting Lake area has been explored, laying the foundation for the study of Quaternary ecological geology in the lake area.

Key words: ecological restoration; loose strata; fidelity coring; advanced coring; casing drilling; aperture-type special coring tool

0 引言

洞庭湖作为中国第二大淡水湖^[1], 是湖南省“一江一湖四水”的重要组成部分^[2], 对长江流域调蓄功

能起着重大作用, 在生态系统中扮演着举足轻重的角色^[3]。近年来, 湖南省一直致力于洞庭湖生态保护与修复治理工作^[4-5]。中国地质调查局长沙自然

收稿日期: 2024-10-07; 修回日期: 2025-02-14 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.05.013

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“东部地区战略性矿产靶区查证技术支撑(长沙中心)”(编号: DD20242960)

第一作者: 王虎, 男, 满族, 1985年生, 高级工程师, 地质工程专业, 硕士, 从事钻探工程技术及管理工作, 贵州省贵阳市观山湖区石林西路5号贵州省地质科技园5号楼, 516775129@qq.com。

引用格式: 王虎, 周成建, 郭军, 等. 洞庭湖湿地生态修复松散泥沙砾石层取心技术[J]. 钻探工程, 2025, 52(5): 100-105.

WANG Hu, ZHOU Chengjian, GUO Jun, et al. Coring technology in loose mud, sand and gravel layers for ecological restoration in Dongting Lake wetland[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(5): 100-105.

资源综合调查中心在进行洞庭湖湿地生态修复综合调查时,进行了贯穿洞庭湖区第四系标准孔钻探取样工作,旨在通过对岩心的沉积年代、成分及微生物等因素的分析,结合微动勘探等技术手段^[6],为研究洞庭湖区在岩石风化、河流搬运、湖泊沉积等过程中演替规律和成层机制等提供依据。

该孔地层以松散泥沙砾石层为主,取心难度极大,根据附近近几年的钻孔资料,均未成功实施过全孔取心作业,基本以捞取钻进过程中的返砂判断地层情况。因本项目的特殊要求,本孔需要全孔取心且保证岩心成分及微生物的真实性。本钻孔的成功实施,突破了松散泥沙砾石层取心关键技术,为湖区第四纪生态地质研究提供了基础保障。

1 工程概况与难点分析

1.1 地质概况

本项目在湖南省常德市安乡县施工 1 口钻孔,施工区位于澧县盆地—澧水洪道一带。主要地表水系为澧水、澧水洪道,地形地貌为岗波状平原、冲积低平原和湖积低平原。

钻孔拟揭穿第四系地层,主要为全新统(Qh)、上更新统安乡组(Qp_{3a})、中更新统马王堆组(Qp_{2mw})、白沙井组(Qp_{2b})、下更新统汨罗组(Qp_{1m})。岩性为黏土、粉细砂、细砂、中砂、粗中砂、砾砂、砂砾石和卵石等,地层厚度预计约 200 m(见图 1)。

1.2 技术要求

(1)施工取样钻孔 1 口,预计孔深 200 m,以钻穿第四系地层为准。(2)全孔取心,岩心采取率

80%。(3)要求岩心在成分上“保真”,即保证岩心不受外来污染,能够保持原本的成分及微生物,以便于后期从沉积年代、成分及微生物等因素方面开展洞庭湖区在岩石风化、河流搬运、湖泊沉积等过程中演替规律和成层机制等研究工作。

1.3 技术难点

根据地质概况及技术要求,本孔施工主要技术难点有:(1)钻探护壁难:地层主要为砾砂、砂砾石和卵石,少量为粉细砂,夹黏土层,其中砾砂、砂砾石、卵石及粉细砂地层无胶结,极易垮塌^[7];黏土水敏性强,易吸水膨胀缩径,钻孔护壁难度极大^[8]。(2)钻探取心难:砾砂、砂砾石、卵石及粉细砂等未胶结松散地层取心难度极大^[9],临孔调查发现该地区历史钻探基本不能取心,而是通过捞砂判断地层信息。本次钻进需要采取岩心进行化验分析,不仅有岩心采取率的要求,而且还不能污染,常规钻进工艺无法达到取心要求。(3)地层漏失严重:含水层渗透性强,钻进时极易漏失^[10-13],冲洗液消耗大。

2 关键钻探工艺选择

2.1 钻探施工技术原则

针对钻探施工技术要求和难点,提出了对应的钻探施工技术原则:(1)为减少岩心污染,钻进时尽量不使用冲洗液,尤其是在取心钻进时。(2)主要使用套管护壁,为避免套管被地层砂石抱死,保证在施工完成后能够顺利取出,采用多层套管护壁措施,每层套管跟进深度原则上 ≥ 80 m。

2.2 超前取心钻进工艺

在满足上述技术要求的基础上,经过技术论证,提出了超前取心跟管钻进工艺。如图 2 所示,图中内部为小口径取心钻具,外部为套管。套管可以使用比小口径钻具大一级的钻杆,底部安装套管靴,方便扫孔跟管钻进。该工艺施工过程如下:

(1)小口径取心钻进:如图 2(a)所示,先使用小口径取心钻具钻进,为防止冲洗液污染岩心,原则上不使用冲洗液,以干钻为主。为防止烧钻,尽量使用最小的转速和钻压。

(2)套管跟管钻进:如图 2(b)所示,小口径取心钻具取心完毕后,将小口径取心钻具下放到孔底,使用外层套管跟管扫孔钻进至小口径钻具取心位置。跟管钻进时可开通泥浆泵,循环润滑钻具,防止钻具被砂石抱死。

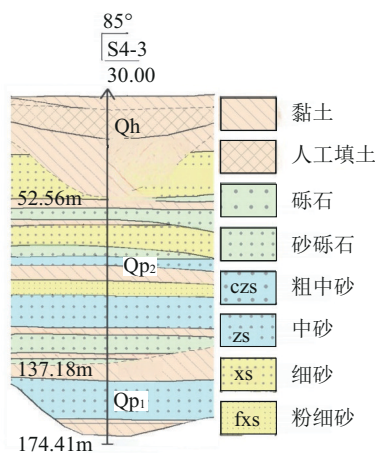


图 1 施工区地质剖面

Fig.1 Geological profile of the construction area

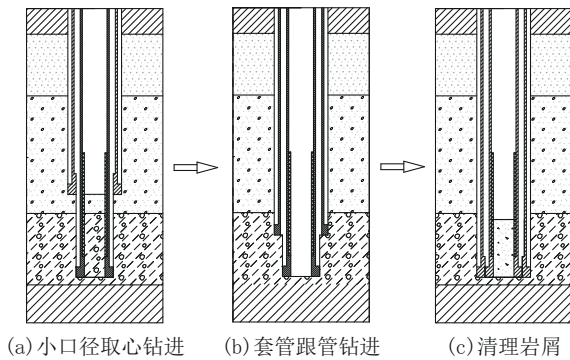


图2 超前取心跟管钻进工艺原理示意

Fig.2 Schematic diagram of process principle for advanced coring and casing drilling

(3)清理岩屑:在实际操作中,地层松散,小口径取心钻具取心完毕后一般会因孔壁垮塌无法下放至此前取心孔深,套管跟管钻进到位后,套管底部会有部分扫落的岩屑。如果直接下入小口径钻具取心钻进,岩屑会与下部的岩心混合,导致岩心成分混杂,另一方面岩屑夹在小口径钻具与套管环空,可能将小口径钻具抱死在套管内,因此需要将大口径钻具内的岩屑捞起。见图2(c),使用小口径钻具捞取套管内的岩屑。捞岩屑时需要开通泥浆泵,以免小口径钻具被抱死。如套管内岩屑以泥沙为主,可以直接开泵将泥沙冲出。捞砂完成以关系后小口径钻具提高套管底1 m可以顺利下放到套管底部为准。如果单独靠冲洗液循环无法完成捞砂,则需要在距套管底部0.5 m处关泵干钻到套管底部,然后提钻取出小口径钻具内的岩屑。

岩屑清理完毕后,继续使用原小口径钻具取心钻进,以上3个步骤循环往复,最终达到全孔取心。

2.3 光圈式特种取心钻具的试验应用

除了上述钻进工艺外,还对光圈式特种取心钻具进行了现场试用,该钻具是主要针对松软蠕变、砂层、松散易碎、胶结性差、易被冲刷地层开发的一种取心钻具。如图3所示,该钻具由光圈收敛式取心器、半合管、半合管外衬、特制侧喷取心钻头、外管、弹簧套、调节接头、调节螺母、轴承等组成。

其工作原理是:当取心钻进时,光圈收敛式取心器(图4)光圈处于打开状态,此时取心器及内管内径与钻头内径相同,松散岩心可以无障碍地进入内管。取心完毕后,向钻具内投球,开泵加压即可关闭光圈,岩心被封闭在内管内。取心时,将取心器从内管上拔下,内管为半合管设计,打开半合管

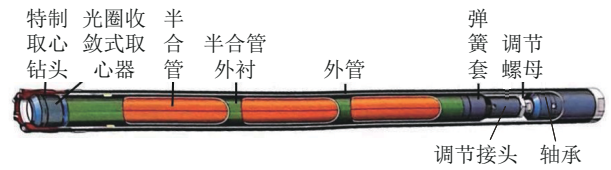


图3 光圈式特种取心钻具结构原理示意

Fig.3 Schematic diagram of the structure principle of aperture type special coring tool

即可取出岩心;将取心器放在地上,用力下压,光圈即可打开。取完心后,将内管装好,把光圈打开的取心器插在内管下部,将整套内管总成装入外管,即可下钻继续取心钻进。

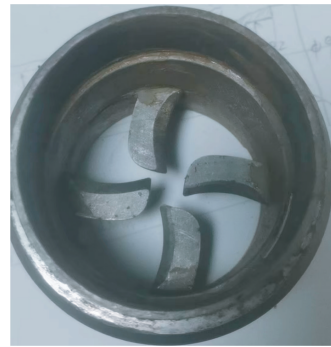


图4 光圈式取心器

Fig.4 Aperture-type coring tool

钻具采用单动双管结构设计,与传统单动双管取心钻具的区别是:

(1)传统单动双管取心钻具使用卡簧卡取岩心,卡簧内径小于钻头内径,会导致一方面松散岩心不易进入内管,另一方面卡簧对松散岩心的卡取效果不佳,岩心容易掉落导致取心率不高;光圈式特种取心钻具取消了卡簧设计,通过特制的光圈收敛式取心器卡取岩心,光圈打开的取心器内径与钻头内径相同,使岩心进入内管更为顺畅;取心完成后,通过光圈收敛密闭取心,使得松散岩心不容易脱落,充分保障了取心率。

(2)钻具内管采用半合管设计(见图5),有效避免了从内管取出岩心时对岩心的二次干扰,进一步保持了岩心的原始状态,其现场应用见图6。

(3)采用特制侧喷取心钻头^[14-16](见图7),水眼全部开在钻头侧面,冲洗液从钻头侧面喷出,而不会直接冲刷岩心,保证了松散岩心的清洁和采取质量。同时,这使得取心钻进时可以开泵循环,避免钻头烧钻,提高钻进效率。



图 5 光圈式取心器及内管

Fig.5 Aperture-type coring tool and inner tube



图 6 光圈收敛式取心钻具现场照片

Fig.6 Field photo of the aperture convergent coring tool



图 7 侧喷取心钻头

Fig.7 Side spray coring bit

3 现场应用情况

3.1 钻孔结构与钻进技术

钻孔采用五开结构(见表 1),钻进工艺与钻具组合见表 2。

表 1 钻孔结构

Table 1 Hole configuration

开次	孔深/m	直径/mm	护壁方式
一开(钻穿覆盖层)	0~11.00	200	Ø197 mm 套管
二开	11.00~64.26	172	Ø168 mm 套管
三开	64.26~99.15	150	Ø146 mm 套管
四开	99.15~180.47	122	Ø114 mm 钻杆作套管
五开	180.47~204.70	98	Ø89 mm 钻杆作套管

3.2 钻进参数与注意事项

为防止冲洗液污染岩心,本孔取心钻进时均不使用冲洗液,为防止钻进时烧钻,应使用最小的转速(50~120 r/min)与钻压(4~6 kN)。每回次取心

表 2 钻进工艺与钻具组合

Table 2 Drilling process and drilling assembly

开次	钻进工艺	钻具组合
一开	单管取心钻进	Ø200 mm 取心钻具+Ø114 mm 钻杆
二开	超前取心钻进	内部 Ø130 mm 单管取心钻具+Ø114 mm 钻杆;外部 Ø168 mm 套管跟管钻进
三开	超前取心钻进	内部 Ø122 mm 光圈收敛式单管取心钻具+Ø114 mm 钻杆;外部 Ø146 mm 套管跟管钻进
四开	超前取心钻进	内部 S95 绳索取心钻具+Ø89 mm 钻杆;外部 Ø114 mm 钻杆作为套管跟管钻进
五开	超前取心钻进	内部 S75 绳索取心钻具+Ø73 mm 钻杆;外部 Ø89 mm 钻杆作为套管跟管钻进

的最后 10~20 cm 使用干压钻进,将取心钻具底部的砂压实,以保证能够将岩心取出。

套管跟管钻进时使用的冲洗液配方为:清水+高黏纤维素 1%+润滑剂适量,泵量 60~80 L/min。

3.3 应用效果分析

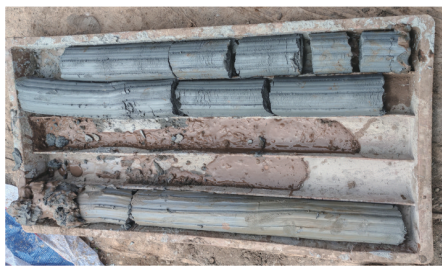
(1)本次钻探施工总进尺 204.7 m,其中 11~204.7 m 采用超前取心钻进工艺,总体岩心采取率达到 95% 以上,岩心基本未受冲洗液等外来成分污染,达到了取心的技术要求。根据临孔调研数据,附近钻孔在相同地层未有取心成功案例,以往地质编录均以孔口返砂作为判断地层的依据。

(2)钻孔采用五开孔身结构,施工完成后,套管全部顺利取出,未发生套管抱死、取出困难的情况。

(3)三开孔段对光圈式特种取心钻具进行了现场应用试验,试验孔段 64.26~99.15 m,至 99.15 m 时,因 Ø150 mm 套管脱扣,无法继续施工,提前换径。与二开、四开及五开取心的区别在于:①岩心受到扰动更小。二开、四开和五开采用普通单管取心钻具取心,在取出岩心管内的岩心时,或敲击取出散心(图 8a),或通过泥浆泵将岩心压出(图 8b),岩心均会受到二次扰动;而光圈式特种取心钻具采用半合管设计,打开半合管即可取出岩心,避免了二次干扰,岩心状态更好(图 8c)。②二开、四开和五开取心时采用干钻钻进,需要使用低转速,钻进效率低,且钻头容易烧钻;使用光圈式特种取心钻具取心时可以开泵循环和使用正常的转速,钻进效率更高。



(a) 敲击取出的岩心



(b) 泥浆泵压出的岩心



(c) 光圈式特种取心取样钻具取出的岩心

图8 不同取心工艺取出的岩心照片

Fig.8 Core photos using different coring process

4 存在问题及改进措施

(1)本孔施工工期1个月,钻进效率不高,主要原因是钻探程序复杂,取心一次,需要经历取心、跟管及捞砂3个步骤,相当于打了3遍,加上各种辅助时间,钻探效率只有常规取心钻进工艺的1/5。针对这种情况,建议引进更适合该工艺的钻机,即双动力头钻机^[17-20]。双动力头钻机有上下两个动力头,上回转动力头由高速马达和齿轮减速箱组成,下回转头由低速大扭矩液压马达和齿轮箱组成。钻进时,上下动力头可分别驱动取心钻具和套管同步钻进,可一次性进行取心和跟管钻进,更无需捞砂,钻进效率基本和常规取心钻进工艺一致,预计同样一口200 m钻孔,施工工期可缩短至7~10 d。

(2)常规取心工艺为了尽量提高岩心采取率,要求松散地层一次取心 ≥ 1.5 m,甚至 ≥ 1 m,而使用超前取心跟管钻进工艺,干钻取心情况下,可以达到一次取心3 m而采取率仍然能超过90%。出于保守考虑,本次使用的光圈收敛式特种取心取样钻具

取心内管仅为1.3 m,一次取心长度小,导致钻探整体效率降低。根据本次施工经验,建议后期将光圈收敛式特种取心钻具取心内管长度加长到3 m,与钻杆及套管的长度保持一致,以提升施工效率。

(3)为进一步减少对岩心的扰动,建议对光圈收敛式特种取心钻具内管进一步优化,在光圈收敛式特种取心钻具取心管内增加衬管^[21-22],或直接换成PVC管,衬管能随岩心一起出筒、切割、冷冻、包装、运输,使得松散岩心原状样采取成为可能。

5 结论与建议

本次钻探工程成功应用了超前取心跟管钻进工艺和光圈式特种取心钻具,针对洞庭湖区松散砂砾石层进行了保真取心钻进施工。通过精心设计的孔身结构和钻具组合,不仅克服了松散地层带来的技术挑战,而且确保了岩心的完整性和代表性。实践证明,所采用的技术和方法能够有效地适应松散地层的特殊地质条件,为后续的地质研究提供了高质量的样本。此外,为洞庭湖区第四纪生态地质研究奠定基础,本次工程的实施为松散地层钻探施工积累了宝贵的经验,为未来类似地质条件下的钻探作业提供了参考和借鉴。

通过使用更配套的双动力头钻机,合理调整光圈收敛式特种取心钻具结构,可以进一步提高施工效率和减少岩心干扰。

参考文献(References):

- [1] 杨胜苏,刘卫柏.基于恢复生态学的洞庭湖区“山水林田湖草”生态修复研究[J].生态学报,2021,41(16):6430-6439.
YANG Shengsu, LIU Weibai. Research on ecological restoration of “landscapes, forests, fields, lakes and grasses” in Dongting Lake area: Based on the perspective of restoration ecology[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021,41(16):6430-6439.
- [2] 曹普华.湖南持续推进“一江一湖四水”系统联治的思路与对策研究[J].湖南社会科学,2023(2):115-123.
CAO Puhua. Research on the ideas and countermeasures of continuously promoting the joint governance of “one river, one lake, and four waters” system in Hunan Province[J]. Social Sciences Hunan, 2023(2):115-123.
- [3] 肖英才,胡文敏,黄熠和,等.洞庭湖区山水林田湖草生态变化及修复对策研究[J].人民长江,2023,54(7):47-54.
XIAO Yingcai, HU Wenmin, HUANG Yihe, et al. Ecological changes and restoration strategies of mountains, rivers, forests, fields, lakes and grasslands in Dongting Lake area[J]. Yangtze River, 2023,54(7):47-54.
- [4] 肖婷,胡能灿,袁新京.洞庭湖区域山水林田湖草一体化生态保护修复探析——以湖南省益阳市为例[J].中国土地,2024(7):

- 58-59.
- XIAO Ting, HU Nengcan, YUAN Xinjing. Exploration into the integrated ecological protection and restoration of mountains, rivers, forests, fields, lakes, and grasslands in the Dongting Lake region: A case study of Yiyang City, Hunan Province[J]. China Land, 2024(7):58-59.
- [5] 谢文. 高质量推进矿区生态保护修复工程的实践与思考——以湘江流域和洞庭湖区五大试点矿区为例[J]. 中国土地, 2021(3):10-13.
- XIE Wen. Practice and thinking on high-quality promotion of ecological protection and restoration projects in mining areas: A case study of five pilot mining areas in Xiangjiang River Basin and Dongting Lake area[J]. China Land, 2021(3):10-13.
- [6] 杨浪邕航, 李红星. 浅地表环境下 ESPAC 微动成像方法影响因素分析[J]. 物探与化探, 2024, 48(5):1322-1330.
- YANG Langyonghang, LI Hongxing. Factors influencing the application of ESPAC-based microtremor survey in shallow surface environments [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2024, 48(5):1322-1330.
- [7] 王江平, 时志兴, 孟祥瑞. 瑶沟金矿区复杂地层岩心钻探技术分析[J]. 价值工程, 2022, 41(28):156-158.
- WANG Jiangping, SHI Zhixing, MENG Xiangrui. Discussion on core drilling technology of complex strata in Yaogou gold mining area[J]. Value Engineering, 2022, 41(28):156-158.
- [8] 张庆, 华健, 程光华, 等. 松散及破碎层岩心高采取率技术研究[J]. 华东地质, 2022, 43(3):306-312.
- ZHANG Qing, HUA Jian, CHENG Guanghua, et al. Study on high percentage recovery technology of rock core in loose and fractured layer[J]. Resources Survey & Environment, 2022, 43(3):306-312.
- [9] 欧汉森, 廖志辉, 陈建. 深厚砂砾石层钻探取芯技术探讨[J]. 资源环境与工程, 2017, 31(4):486-488.
- OU Hansen, LIAO Zhihui, CHEN Jian. Discussion on drilling coring technology in deep gravel stratum[J]. Resources Environment & Engineering, 2017, 31(4):486-488.
- [10] 田飞, 潘顺林, 曾斌, 等. 松散破碎地层岩心钻探过程中的钻井液性能改进研究[J]. 中国金属通报, 2023(21):180-182.
- TIAN Fei, PAN Shunlin, ZENG Bin, et al. Study on the improvement of drilling fluid performance in the process of core drilling in loose and broken strata [J]. China Metal Bulletin, 2023(21):180-182.
- [11] 吕晗波, 毕彬彬, 吴顺喜. 松散砂卵砾石层桩基泥浆性能优化试验研究[J]. 四川水利, 2023, 44(4):18-21.
- LÜ Hanbo, BI Binbin, WU Shunxi. Experimental study on slurry performance optimization of pile foundation in loose sand gravel layer [J]. Sichuan Water Resources, 2023, 44(4):18-21.
- [12] 赵春雷. 鄂尔多斯盆地纳岭沟铀矿床钻探施工难点及技术措施[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1):256-261.
- ZHAO Chunlei. Difficulties and technical measures in drilling construction of the Nalinggou Uranium deposit in the Ordos Basin [J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1):256-261.
- [13] 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.
- [14] 韩毅, 张绍和, 白锐, 等. 囊袋多节捆绑式绳索取心钻具的设计与应用[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(5):220-224.
- HAN Yi, ZHANG Shaohe, BAI Rui, et al. Design and application of multi-section bundled bag wire-line coring drilling tools [J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(5):220-224.
- [15] 苏宏岸, 张绍和, 吴晶晶. 超前侧喷绳索取心钻具的研制[J]. 地质与勘探, 2014, 50(1):178-181.
- SU Hongan, ZHANG Shaohe, WU Jingjing. Development of the advanced lateral jet wire-line coring tool [J]. Geology and Exploration, 2014, 50(1):178-181.
- [16] 钱书伟, 张绍和, 李锋, 等. 软弱易冲蚀地层钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013(10):29-31.
- QIAN Shuwei, ZHANG Shaohe, LI Feng, et al. Drilling technology in soft erosion stratum [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013(10):29-31.
- [17] 姚达峰, 姚宁平, 沙翠翠, 等. 煤矿井下双动力头定向钻机关键技术研究[J]. 煤矿机械, 2020, 41(11):30-32.
- YAO Dafeng, YAO Ningping, SHA Cuicui, et al. Research on key technologies of directional drilling rig with double power heads in underground coal mine [J]. Coal Mine Machinery, 2020, 41(11):30-32.
- [18] 姬海东, 陈力, 徐志英. DGZ150 系列多功能钻机设计及应用技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2023(11):129-132, 190.
- Ji Haidong, CHEN Li, XU Zhiying. Research on design and construction application technology of DGZ150 series multifunctional drilling rig [J]. Railway Construction Technology, 2023(11):129-132, 190.
- [19] 王炳燕. 双动力头潜孔锤成孔技术在金沙书院项目中的应用 [C]//第28届华东六省一市土木建筑工程建造技术交流会论文集. 南昌:江西省土木建筑学会, 2022:243-244.
- WANG Bingyan. Application of double power head DTH hammer hole forming technology in Jinsha Academy Project [C]//Proceedings of the 28th Civil Engineering Construction Technology Exchange Conference of Six Provinces and One City in East China. Nanchang: Jiangxi Society of Civil Engineering and Architecture, 2022:243-244.
- [20] 韦海瑞, 孙红波, 贾明浩, 等. 大口径地面钻孔救援技术与装备发展[J]. 钻探工程, 2023, 50(2):143-149.
- WEI Hairui, SUN Hongbo, JIA Minghao, et al. Development of technology and equipment for large-diameter borehole surface rescue [J]. Drilling Engineering, 2023, 50(2):143-149.
- [21] 廖远苏, 胡啟锋. 一种隔水隔卡的自锁式绳索取心钻具及应用[J]. 煤田地质与勘探, 2021, 49(4):278-286.
- LIAO Yuansu, HU Qifeng. Introductions and applications of a self-locking wire-line coring system with a water-shielding bit and a circlip-shielded core barrel [J]. Coal Geology & Exploration, 2021, 49(4):278-286.
- [22] 刘华吉, 张占荣, 黄一雄, 等. 工程勘察新型取芯钻具设计与应用[J]. 工程勘察, 2023, 51(10):12-16.
- LIU Huaji, ZHANG Zhanrong, HUANG Yixiong, et al. Design and application of new coring drill tools for engineering investigation [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2023, 51(10):12-16.