

南方丘陵地区岩心钻探关键技术措施

蔡 隽, 王步清, 王 虎, 王稳石*, 王 杰, 潘德元, 贺前平, 方国庆

(中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心, 湖南长沙 410000)

摘要:在南方丘陵地区实施系列地质岩心钻探项目过程中,遇到了多项技术难题,包括岩溶空腔区的溶洞穿越、孔底失返层的安全钻进、松散泥砂砾石层的取心难题、水敏地层的钻进困难、强造斜地层的稳斜钻进以及深切割区的搬迁困难等问题。针对以上难点,分别采取以下技术措施:(1)“双套管+半填充”的方式穿越溶洞;(2)“顶漏+封堵+润滑钻具”的综合技术措施以保证安全钻进;(3)采用了超前取心跟管钻进工艺以及多级套管护壁技术,创新应用了光圈收敛式特种取样钻具和伸缩式漏液接头,显著提高了岩心采取率;(4)采用了低固相抑制性防塌冲洗液,并通过加强固相控制、降低转速、减少回次进尺、套管快速支护响应等综合手段,保障了孔壁的安全;(5)采用了基于连续梁绳索取心钻具力学模型的计算方法,配合“低压吊打”和钻机地基加固、提升同心度等措施,达到了防斜打直的目的;(6)探讨了无人机高效搬迁方案。本文成果为类似环境和复杂地质条件下的钻探施工提供了重要的参考。

关键词:岩心钻探;岩溶空腔;松散泥砂砾石层;水敏地层;强造斜地层;超前取心跟管钻进;光圈收敛式取样钻具;无人机搬迁

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2025)02-0028-10

Key technical measures of core drilling in hilly area of southern China

CAI Jun, WANG Buqing, WANG Hu, WANG Wenshi*, WANG Jie, PAN Deyuan, HE Qianping, FANG Guoqing
(Changsha Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Changsha Hunan 410000, China)

Abstract: In the process of a series of geological core drilling projects in the hilly areas of southern China, a number of technical difficulties have been encountered, including the karst cave crossing in the karst cavity area, the safe drilling in the lost return layer at the bottom of the well, the coring problem in the loose mudstone, sandstone and gravel layer, drilling difficulty in the water-sensitive formation, the stable drilling in the strong deflecting area, and the relocation difficulty in the deep cutting area. Therefore, the following technical measures were taken in response to the above difficulties: (1) the “double casing+half filling” method is taken to cross the karst caves, (2) the comprehensive technical measures of “top leakage+plugging+lubricating drilling tool”; (3) the advanced coring with casing while drilling and multi-layer casing wall protection technology, and the special sampling drilling tool with aperture convergence and the telescopic leakage joint are innovatively applied, which significantly improves the core recovery rate, (4) a low solid-phase anti-sloughing flushing fluid and strengthening solid-phase control, reducing the rotation speed and back footage, as well as rapid casing support response to ensure the hole safety; (5) the calculation method based on the mechanical model of continuous beam wire-line coring drilling tool, and the measures of low pressure lifting, drilling rig foundation reinforcement and concentricity improvement are adopted to achieve the purpose of

收稿日期:2024-12-28; **修回日期:**2025-02-26 **DOI:**10.12143/j.ztgc.2025.02.004

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);贵州省科技厅科技支撑计划“煤矿井下定向钻进轨迹动态控制技术”(编号:黔科合支撑[2022]一般245)

第一作者:蔡隽,男,汉族,1989年生,工程师,探矿工程专业,硕士,主要从事地质探矿工程技术与管理工作,湖南省长沙市宁乡市城郊街道学府路258号,250193810@qq.com。

通信作者:王稳石,男,汉族,1982年生,正高级工程师,勘查技术与工程专业,主要从事钻探工艺研究工作,湖南省长沙市宁乡市城郊街道学府路258号,wangwenshi05@163.com。

引用格式:蔡隽,王步清,王虎,等.南方丘陵地区岩心钻探关键技术措施[J].钻探工程,2025,52(2):28-37.

CAI Jun, WANG Buqing, WANG Hu, et al. Key technical measures of core drilling in hilly area of southern China[J]. Drilling Engineering, 2025,52(2):28-37.

anti-deviation and straightening; (6) the efficient scheme using drones for relocation. The results of this paper provide an important reference for drilling construction under similar environment and complex geological conditions.

Key words: core drilling; karst cavity area; loose mudstone, sandstone and gravel layer; strong water-sensitive formation; strong deflecting formation; the advanced coring with casing while drilling; sampling tool with aperture convergence; relocation with drone

0 引言

我国在战略性矿产资源方面面临着对外依存度较高的风险,自主保障能力相对不足,供应安全风险较大^[1]。根据统计数据,2022年镍、钴、钼、铌等战略性新兴产业所需的矿产资源对外依存度超过了85%,而铀、铁、锰、铬、铜、锂、锆、钨、铍、钾盐等矿产的对外依存度更是超过了50%^[2]。鉴于此,我国在2023年启动了新一轮找矿突破战略行动^[3]。

在这一背景下,中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心(以下简称“长沙中心”)作为钻探工作的重要技术力量,承担了局属专业中心东南片区部分岩心钻探工作,旨在支持战略性矿产资源调查、区块优选评价以及靶区查证等关键任务。在实施钻探支撑项目的过程中,遇到了许多南方丘陵地区特有的、具有代表性的钻探施工难题,例如岩溶区溶蚀洞隙发育,地形切割剧烈导致搬迁困难,地下水疏干区大段孔底失返,洞庭湖区第四系厚覆盖层施工难题等。

1 工程概况

2024年度,长沙中心全年承担的岩心钻探工作量为16450 m,包括东部地区战略性矿产靶区查证技术支撑(长沙中心)项目,承担13000 m的地质岩心钻探工作量,主要支持中国地质调查局南京地质调查中心(以下简称“南京中心”)、中国地质科学院矿产资源研究所(以下简称“资源所”)、中国地质调查局武汉地质调查中心(以下简称“武汉中心”)3个局属单位的10个矿产调查项目的地质岩心钻探工作,项目分布在湖南、湖北、江西、浙江、广西5个省(区)的10个工作区。另外,长沙中心其他项目设计地质岩心钻探工作量3450 m,这些工作量分布在湖南、广东两个省的8个工作区。

在执行以上项目的过程中,根据每个项目的地质设计和技术要求,结合当地的地形条件和钻孔地质条件,采用履带式全液压钻机或便携式全液压钻机进行施工^[4]。本着“高效、适用、安全、环保”的原则,投入的主要设备情况见表1。

表 1 投入的主要设备
Table 1 Main equipment

序号	名 称	型 号	数量/台	性 能
1	全液压岩心钻机	CSD1800X	1	施工深度 1700 m(N 口径)
2	全液压岩心钻机	CSD1300G	1	施工深度 1000 m(N 口径)
3	便携式液压钻机	MD800	2	施工深度 600 m(N 口径)
4	便携式液压钻机	MD1000	2	施工深度 800 m(N 口径)
5	钻井液离心机	TGLW220	2	钻井液处理量 1.5 m ³ /h
6	钻井液离心机	TGLW350	1	钻井液处理量 6 m ³ /h
7	电子多点测斜仪	RTE-II	6	工作温度 -10~+125 ℃
8	小型发电机	KAMA	6	7.5~10 kW
9	液压拔管机		1	起拔力 1000 kN

截至2024年11月,使用便携式钻机完成钻孔34个,全液压钻机完成钻孔12个,两种类型设备在施工效率、处理复杂能力、能耗方面各有利弊。便携式钻机采用薄壁系列钻杆钻具^[5],钻进效率更高,同时钻机采用模块化设计^[6],运输和安装操作更为便捷,能耗也相对较低,在地层相对简单、搬迁困难地

区施工浅、中深孔优势较为突出,但应对复杂地层时处理能力较弱。两类设备施工情况对比见表2。

2 岩溶空腔区“双套管+半填充”施工技术

2.1 钻孔概况

ZK7103 钻孔位于广西百色靖西市湖润镇,施工

表2 两类钻机施工综合情况对比

Table 2 Comparison of comprehensive situation of two types of drill

序号	钻机类型	钻机型号	平均设计孔深/m	平均台月效率/m	平均钻月实进尺/m	平均油耗/(L·m ⁻¹)
1	全液压岩心钻机	CSD1800X、CSD1300G	434.62	739.33	355.41	9.55
2	便携式液压钻机	MD1000、MD800	288.97	838.23	446.43	4.59

注:经统计,支撑类项目停待周期长,台月利用率仅为52.92%。

区为典型喀斯特岩溶地区(见图1),地层主要岩性为碳酸盐岩,岩溶极为发育,岩心上多见溶蚀孔隙(见图2)。该孔设计孔深900 m,开孔倾角80°,在48.86~62.53 m孔段钻遇长达13.6 m大型溶洞,钻遇溶洞时钻孔直径为122 mm。由于施工区岩溶发育程度高,不具备移孔重新施工的条件,决定对溶洞进行下套管封隔处理后继续施工^[7]。

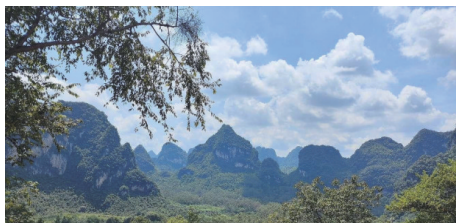


图1 ZK7103钻孔附近地形地貌

Fig.1 Topography and landform near Well ZK7103



图2 岩心上的溶隙

Fig.2 Solution crack on the core

该钻孔施工的主要难点在于:

(1)溶洞腔高度过大,且钻孔为斜孔,套管下置过程中管柱无孔壁支撑,受重力影响自然下垂,容易形成较大的拐点,示意图如图3所示,一方面导致孔斜变化大,另一方面钻进过程中钻杆与套管在拐点处极易弯折、碰撞、摩擦,发生钻具断裂事故^[8]。

(2)下套管后,考虑后期套管起拔问题,不使用水泥固井。

2.2 技术措施

根据钻孔实际情况,决定采用“双套管+半填充”的技术方案处理溶洞,即采用2层套管对溶洞进行封隔,在第一层套管底部及两层套管环空使用黏

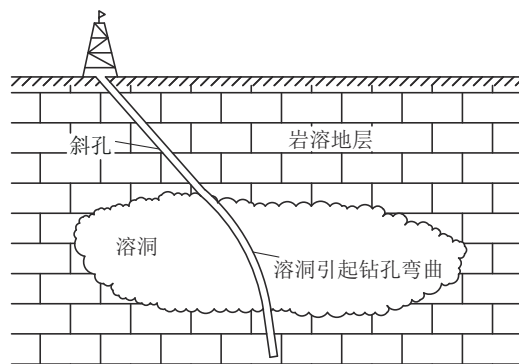


图3 溶洞引起的钻孔弯曲示意

Fig.3 Borehole bending caused by karst caves

土球(见图4)进行非永固性封堵^[9-11]。



图4 黏土球堵漏材料

Fig.4 Plugging material of clay balls

该技术的优点是:

(1)使用大直径钻杆作为第一层套管封隔溶洞,利用其刚度尽量减少套管重力作用下发生的弯曲^[12]。

(2)使用小一径钻杆作为第二层套管封隔溶洞,一方面进一步减少钻孔弯曲,另一方面减小施工钻杆与套管环空,有效控制钻杆在套管间的活动空间,提高施工钻柱的稳定性。

(3)“半填充”式固井,一方面能够达到固定套管、封堵漏失的效果,另一方面保证了后期套管能够顺利拔出。

具体操作如下:

(1)采用 $\Phi 150$ mm钻头低转速顶漏扩孔至孔深67 m,将 $\Phi 146$ mm管柱作为套管,确保管柱底端进入稳定地层,管柱受力稳定。

(2)采用 $\Phi 122$ mm钻头低转速顶漏取心钻进至孔深84 m,然后在孔内填入黏土球堵漏材料。

(3)下入 $\Phi 114$ mm钻杆并干钻扫穿孔内黏土球堵漏材料作为套管,此时 $\Phi 114$ mm钻杆与 $\Phi 146$ mm管柱环空中挤满堵漏材料,完成双层套管降低狗腿度和溶洞堵漏操作。

经过上述技术措施处理后,测斜显示整个溶洞段钻孔偏斜 3.2° ,钻孔偏斜及狗腿度在钻具安全范围内,满足要求。使用 $\Phi 98$ mm绳索取心钻头钻进时冲洗液返出孔口,采用高速挡,管柱旋转稳定,进尺较好,钻至883.16 m终孔,顺利完成钻探任务。

3 疏干区孔底失返性漏失“顶漏+封堵+润滑钻具”措施

3.1 钻孔概况

ZK2001钻孔位于湖北大冶市金山店镇,设计为斜孔,开孔倾角 75° ,设计孔深900 m。施工地层钙质含量高,岩溶较发育(见图5),施工区距离老矿区较近,采矿放炮等人工活动导致地层进一步破碎,加之采矿疏干活动,施工区地下水位已降至650 m,钻进过程中频繁发生近钻头处的失返性漏失。



图5 ZK2001裂隙发育段岩心
Fig.5 Core from the fracture development section of ZK2001

该孔钻进难点为:

(1)因冲洗液在孔底直接全部漏失,且漏失速度大于泵速,钻杆内冲洗液不连续,无法有效起到冷却钻头的作用,极易发生烧钻事故,钻头非正常

损耗严重(见图6)。



图6 孔底失返非正常损耗的钻头
Fig.6 Abnormal wear bits due to loss circulation at the bottom hole

(2)钻孔周边8 km内无河水等水源,施工只能使用自来水,供水水量小,无法满足钻孔漏失情况下施工需求,停钻等水时间长,且用水成本高。

(3)冲洗液漏失时,钻具与孔壁之间无润滑剂,钻具直接摩擦孔壁导致钻杆磨损大。

(4)该孔为斜孔,许多大洞隙堵漏措施(如投水泥球等)无法使用,进一步增加了堵漏工作的难度。

3.2 技术措施

针对上述情况,现场采取如下措施:

(1)顶漏钻进:通过改装绳索取心内管总成到位报信机构,安装定额压力单向阀装置^[13](见图7),解决该工况下顶漏钻进时因冲洗液不连续、无压力,孔底钻头冷却、润滑效果差的问题,避免烧钻事故的发生。

(2)封堵:穿过漏失段后,封堵漏失层后再继续

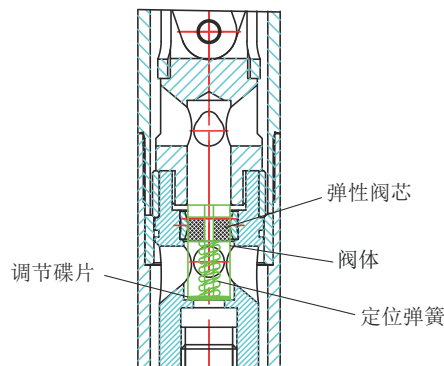


图7 定额压力单向阀装置结构
Fig.7 Structure of the fixed pressure check valve device

施工。对较大的溶蚀洞隙及裂隙,使用水泥浆无法堵漏时,先使用膨胀性吸水树脂^[14]、膨胀橡胶、锯末、海带、黄豆及大裂隙堵漏剂进行堵漏后,再用水泥封堵,或直接将上述堵漏材料与水泥混合配制成堵漏水泥浆进行堵漏(见图8)。



图8 膨胀架桥水泥砂浆封堵效果

Fig.8 Sealing effect of cement mortar with expansion bridging material

(3)润滑钻具:在钻柱外涂抹润滑脂,从孔口滴入润滑剂降低钻柱摩擦^[15],在顶漏钻进工况下,快速、安全通过破碎漏失层。

ZK2001孔上部地层采用上述方式穿越并封堵漏失层6段,长度0.5~9.3 m,均取得了较好的效果。

4 松散泥沙砾石层取心技术

4.1 钻孔概况

ZK2401钻孔位于湖南常德市安乡县,是为支撑长沙中心“洞庭湖湿地生态修复综合调查”项目,部署的一口贯穿洞庭湖区第四纪松散泥砂砾石层的标准取样钻孔,要求全孔取心,且岩心能满足年段划分、成分检测及微生物分析要求。洞庭湖区第四系覆盖层主要为砾砂和卵石,少量为粉细砂,夹黏土层,其中砾石粉砂地层成岩性差,结构松散,黏土则水敏性强,易吸水膨胀缩径,同时,岩心及孔壁易被冲洗液冲蚀,常规手段取心难度大,岩心采取率低,取心质量不高。

4.2 技术措施

针对上述情况,本钻孔采取如下技术措施完成了施工任务。

(1)超前取心跟管钻进工艺^[16]:钻进时先用小

口径取心钻具低转速干钻取心钻进,实现无污染钻取岩心;完成取心后,使用大一径套管或钻杆跟进,起到套管护壁的作用,保证孔壁稳定。

(2)多级套管护壁:为防止套管被松散地层“抱死”导致完钻后套管无法取出,采用 $\varnothing 197\text{ mm}-\varnothing 168\text{ mm}-\varnothing 146\text{ mm}-\varnothing 114\text{ mm}-\varnothing 89\text{ mm}$ 多级套管跟管钻进护壁,每级套管原则上 $\geq 50\text{ m}$ 。

(3)使用光圈收敛式特种取样钻具提升取心率和取心质量:该套钻具具有特制光圈收敛式取心器(见图9),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,配套使用侧开水眼钻头(如图10所示),避免污染、冲刷岩心。



图9 光圈收敛式特种取心取样钻具

Fig.9 Coring tool with aperture convergence



图10 侧开水眼钻头

Fig.10 Bit with side water hole

(4)使用伸缩式漏液接头防止抽吸作用:单管或双管取心时,钻具内充满泥质岩心,难以避免出

现“提水钻”情况,一方面提钻过程将冲洗液提出造成“抽吸”作用,加剧了孔壁垮塌的风险,另一方面容易造成提钻过程中岩心被压脱出钻具。同时,还使得施工现场泥泞湿滑,不利于施工安全。针对这一问题,自行设计并加工了伸缩式漏液接头(见图 11),其原理是正常钻进时接头处于压缩状态,冲洗液在接头内部上下联通,而当处于提钻取心工况时,接头处于拉伸状态,接头以上的冲洗液从接头拉伸阀心侧面水口漏出,接头以下则保持封闭状态。



图 11 伸缩式漏液接头
Fig.11 Telescopic leakage joint

通过采用上述措施,该孔共取心钻进 204.7 m 第四系土层,总取心率 95% 以上,取心质量达到设计技术要求。

5 载重无人机在深切割区机台搬迁中的应用

5.1 项目概况

“湘南常宁—江华地区锡锂多金属战略性矿产调查评价”和“湘中安化—宁乡地区矿产地质调查”2 个项目,部署的 6 个钻孔均位于南方深切割山区,山

体基岩裸露,地形条件复杂,物资倒运点至孔位高差 80~460 m,直线距离 1.2~2.8 km,无法使用挖机等工程机械修路和运输设备,如采用人工修路运输,费用高、效率低、安全性低,机台搬迁面临极大困难。经过调研论证,该项目采用载重无人机进行机台设备搬迁^[17-18]。

5.2 工程案例

以 ZK20101 为例,该孔位于湖南安化,设计孔深 260 m,孔位距山脚物资倒运点直线距离约 1.4 km,高差约 90 m,无现有道路通到施工场地,人工搬运需要修建至少 1.8 km 施工便道(见图 12)。经过调研分析,无人机搬迁相较人力搬迁具有如下优势(见表 3)。



图 12 ZK20101 人工/无人机搬迁路线
Fig.12 ZK20101 manual/drone relocation route

表 3 载重无人机搬运较人工搬运综合对比

Table 3 Comprehensive comparison between heavy-duty drone and manual transportation						
搬迁方式	运输总质量/t	运输距离/km	运输效率/d	运输成本/万元	生态环境影响	其 他
人工搬运	≈8	1.8	10	6.9	需修建便道,破坏沿途植被	人员安全风险,青苗补偿协调工作量大
载重无人机搬运		1.4	2	5.2	基本无需破坏植被	无人员安全风险,无需开展沿途青苗补偿协调工作
对比			提高 500%	降低 24.6%		更安全、省心

(1)人力搬迁方式劳动强度大,且当地地形复杂,多处有较高陡坎,存在人员中暑、摔伤、隐疾复发等安全隐患,同时修建施工便道,增加青苗补偿协商工作,而采用无人机搬迁,则不会产生人员安全问题,无需沿途修路。

(2)搬迁效率方面,机台设备物资总质量约 8 t,雇 10 人运输 300 趟,预计人工搬运耗时 10 d,而采用 200 kg 级无人机搬迁,飞行运输 92 次,仅 2 d 便完成搬运,效率提升 5 倍;

(3)运输成本方面,采用人力搬迁,雇工 100

人 $\times$ 天,按市场行情340元/人天计算,费用为3.4万元,同时10天的搬迁过程中还需机台人员进行设备拆解捆绑和通行保障,产生费用约3.5万元,费用共计6.9万元;而采用无人机搬迁,无人机租赁服务费4.5万元,机台人员2d产生费用0.7万元,共计为5.2万元,成本降低1.7万元。

最终,该项目用2天时间使用无人机完成全部搬迁工作(见图13)。



图13 无人机搬迁照片

Fig.13 Photo of drone relocation

6 水敏地层钻进技术

湖南永州市冷水滩区锰锑多金属矿区多个钻孔钻遇炭质、炭泥质松散破碎地层,该套地层节理发育,胶结差,水敏性极强,孔壁易缩径垮塌。通过多个钻孔的探索,施工队伍总结出一套可行的技术措施,成功完成相关钻探任务。具体技术措施如下:

(1)使用低固相抑制性防塌冲洗液^[19-20]:根据施工经验,该地区钻孔垮塌一般发生在钻穿易垮塌地层一段时间后,刚取出的岩心相对完整,岩心取出后会渐渐破碎成砂样,说明地层水敏性强,垮塌主因是吸水软化缩径,因此要护壁需要提高冲洗液的抑制性和封堵性。经过现场验证,探索出一套适宜的冲洗液配方:优质膨润土2%~3%+高黏纤维素1%+磺化沥青2%~3%+黏土稳定剂3%~5%+防塌护壁剂3%~5%+腐殖酸钾1%+润滑剂适量,用烧碱将PH值调整到9~10,冲洗液马氏漏斗黏度35~45s,失水量<5mL。

(2)控制好冲洗液固相含量^[21]:随着钻进施工,部分地层的有害固相会溶入到冲洗液内,造成冲洗液性能的下降,因此在施工过程中一定要控制好固相含量,通过延长冲洗液循环槽,增设沉淀坑、沉淀

池,及时除砂等措施尽量清除有害固相,必要时更换冲洗液。

(3)低转速钻进,减少回次进尺:因岩心钻探钻机转速较高,当冲洗液中固相含量较高时,会有固相受到离心力作用黏附在钻杆内壁上,致使打捞内管时打捞器下放困难。因此,钻进时应适当降低转速以减少离心力,同时减少回次进尺,由3m取一次心变为1.5m取一次心。

(4)及时用套管支护:使用冲洗液可以有效抑制地层垮塌,一般可以把垮塌周期从1d延缓到7~10d,但裸眼时间过长仍可能发生缩径或剥落卡钻甚至埋钻事故,因此应及时使用套管支护。如果短期内能够钻穿水敏地层,则可在钻穿后立即下套管;如果水敏地层厚度大,短期内无法钻穿,则应在进入水敏地层7~10d内下套管,换径继续钻进。

通过上述综合措施,钻探队伍完成了全部6个钻孔的施工任务,最深孔深491.3m,平均日进尺高达46.1m,未发生孔内事故。

7 强造斜地区稳斜钻进技术措施

7.1 钻孔概况

支撑武汉中心“鄂东南地区铜铁金多金属战略性矿产调查评价”项目,部署的ZK8001设计孔深900m,设计方位角229.85°,倾角76.38°。该区域内地层倾角变化大,40°~80°左右,岩石各向异性强,上部出现多段软硬交替的岩层,钻孔易跑斜。根据钻前调研,某临孔终孔孔深800m,倾角偏斜2°,方位角偏斜>40°(见图14a)。

7.2 技术措施

为保证钻孔质量,项目组采取了以下措施。

(1)在施工工艺上,应用了长沙中心取得的专利技术成果“基于连续梁绳索取心钻具力学模型的计算方法”^[22],在N、H口径孔段均采用满眼绳索取心钻具结构,在钻具上方第一根钻杆(3m)处加装一个扶正器,较大程度提升了钻具的稳斜效果。钻进时,采用“低压吊打”的方式,减少钻柱在压力作用下发生的弯曲变形,钻压调整至正常压力的1/4~1/3,转速 ≤ 300 r/min,同时控制进尺速度。

(2)重视钻前工程,一是在钻机动力头底座、液压支撑油缸以及履带等支撑区域下方用混凝土、石

块加固,保证钻机基础稳固;二是改进全液压钻机动力头主轴,由分体插接式调整为丝扣整体连接式,提升主轴同心度;三是扩孔钻进时安装导正装置;四是全孔段加密测斜,以便根据孔斜情况调整

钻进参数或纠正孔斜。

图14(b)为ZK8001钻孔轨迹,从图中可以看出,钻孔整体轨迹基本与设计轨迹一致。

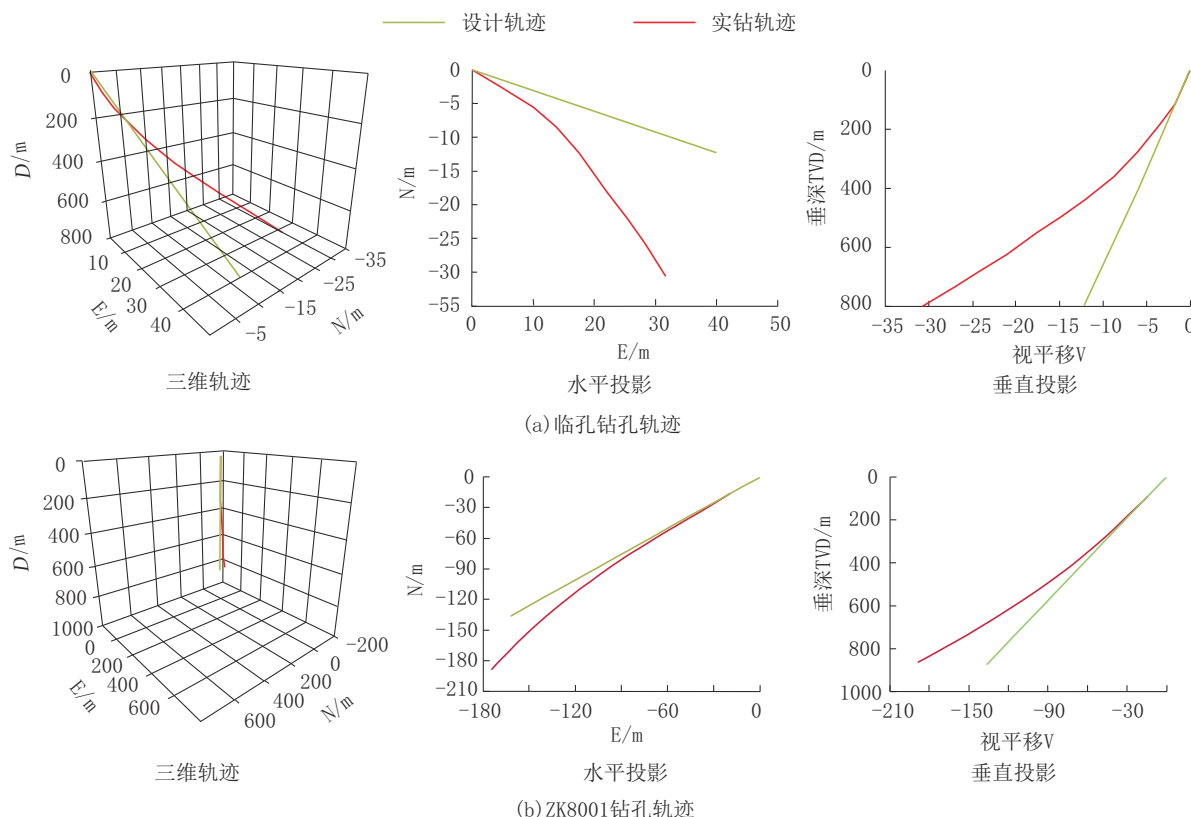


图14 临孔钻孔轨迹

Fig.14 Trajectory of a adjacent well

ZK8001钻孔轨迹数据见表4,最大顶角偏斜 5.61° ,最大顶角偏斜率 $0.804^{\circ}/100\text{ m}$,最大方位角偏斜 17.01° ,最大方位角偏斜率 $2.04^{\circ}/100\text{ m}$,整体符合相关规范要求。

8 结论与建议

(1)因地制宜采取护壁堵漏措施能更好的提升钻孔施工成功率。钻遇岩溶区易发育溶洞、溶蚀层等失返漏失、孔壁弱支撑层位,宜采用套管、双套管与堵漏材料填充结合的方式处理;钻遇连续性、间歇性破碎失返漏失层段,宜采取一定措施顶漏强钻通过并使用复合材料与水泥砂浆封堵的方式处理。

(2)便携式钻机具有较高的钻进效率,能耗明显低于传统履带式全液压钻机,其模块化设计使得

整体结构简单,运输和安装较为便捷,采用载重式无人机搬运的方式尤其适用于南方植被茂密覆盖丘陵区 and 深切山区,可显著提升机台搬迁效率。但是,便携式钻机由于其自身结构特点,应对复杂地层能力偏弱,且只适用于小直径中深孔及浅孔,而深孔和大直径钻孔施工能力不足。

(3)洞庭湖区等第四系土层厚覆盖区开展取心钻探施工,可采用多层套管跟管钻进提升钻孔成功率,使用光圈收敛式特种取心取样钻具能显著提升岩心采取率和取心质量,并应用伸缩式漏液接头避免“提水钻”带来的危害。

(4)对于强水敏地层的施工,需要采用低固相抑制性防塌冲洗液,加强固相控制,降低转速,减少回次进尺,及时用套管支护等综合手段。

(5)应用“基于连续梁绳索取心钻具力学模型

表4 ZK8001 钻孔轨迹数据
Table 4 Drilling trajectory data of ZK8001

孔深/ m	顶角/ (°)	方位 角/(°)	顶角 偏斜/ (°)	方位 角偏 斜/(°)	顶角偏斜 率/[(°)· (100 m) ⁻¹]	方位角偏 斜率/[(°)· (100 m) ⁻¹]
0	13.62	229.85	0	0		
25	14.00	230.27	0.38	0.42		
50	13.92	228.40	0.30	1.45		
100	13.82	227.98	0.20	1.87	0.200	1.8700
150	13.92	228.46	0.30	1.39		
200	14.10	228.20	0.48	1.65	0.2400	0.8250
250	14.55	229.25	0.93	0.60		
300	15.14	227.20	1.52	2.65	0.5100	0.8800
350	15.51	227.22	1.89	2.63		
400	16.29	227.00	2.67	2.85	0.6675	0.7125
450	17.07	226.43	3.45	3.42		
500	17.64	224.17	4.02	5.68	0.8040	1.1360
550	17.89	221.94	4.27	7.91		
600	17.93	221.68	4.31	8.17	0.7200	1.3600
650	18.64	220.08	5.02	9.77		
700	18.83	217.80	5.21	12.05	0.7400	1.7200
750	18.81	216.98	5.19	12.87		
800	19.32	213.50	5.70	16.35	0.7100	2.0400
850	19.38	212.80	5.76	17.05		
900	19.23	212.84	5.61	17.01	0.6200	1.8900

的计算方法”专利技术,配合“低压吊打”和地基加固、提升同心度等技术措施,能较好的应对强造斜地层钻孔跑斜问题。

参考文献(References):

[1] 李亚茜,冯聪,张凤仪.新质生产力视角下我国战略性矿产资源安全思考[J].自然资源情报,2024(10):9-15.
LI Yaqian, FENG Cong, ZHANG Fengyi. Reflection on the security of China's strategic mineral resources from the perspective of new quality productive forces[J]. Natural Resources Information, 2024(10):9-15.

[2] 王登红,代鸿章,刘善宝,等.中国战略性关键矿产勘查开发进展与新一轮找矿的建议[J].科技导报,2024,42(5):7-25.
WANG Denghong, DAI Hongzhang, LIU Shanbao, et al. Progress in strategic critical minerals exploration and production and proposals for a new round of prospecting in China[J]. Resources Science, 2024,42(5):7-25.

[3] 王登红,代鸿章,刘善宝,等.中国战略性关键矿产勘查开发进展与新一轮找矿的建议[J].科技导报,2024,42(5):7-25.
WANG Denghong, DAI Hongzhang, LIU Shanbao, et al. Progress in strategic critical minerals exploration and production and proposals for a new round of prospecting in China[J]. Sci-

ence & Technology Review, 2024,42(5):7-25.

[4] 薛倩冰,王晓赛,樊广月,等.钻井利器故事之“全液压岩心钻机”[J].钻探工程,2024,51(4):172-176.
XUE Qianbing, WANG Xiaosai, FAN Guangyue, et al. The story of a drilling weapon: Full hydraulic core drill[J]. Drilling Engineering, 2024,51(4):172-176.

[5] 张飞,熊虎林,郭栋磊,等.便携式钻机配套TW系列绳索取芯钻具在新疆煤系地层中的应用研究[J].西部探矿工程,2024,36(10):84-87.
ZHANG Fei, XIONG Hulin, GUO Donglei, et al. Research on the application of TW series rope coring drilling tools for portable drilling rig in Xinjiang coal measure strata[J]. West-China Exploration Engineering, 2024,36(10):84-87.

[6] 刘蓓,寇少磊,朱芝同,等.便携式模块化钻机在绿色地质勘查工作中的应用实践[J].钻探工程,2022,49(2):30-39.
LIU Bei, KOU Shaolei, ZHU Zhitong, et al. Practical application of the portable modular drill in green geological exploration work[J]. Drilling Engineering, 2022,49(2):30-39.

[7] 杨科,罗龙,曹灶开,等.阳山矿区严重漏失垮塌地层钻进工艺及工程实践[J].钻探工程,2024,51(2):119-126.
YANG Ke, LUO Long, CAO Zaokai, et al. Drilling technology and engineering practice for seriously lost and collapsed formation in Yangshan mining area[J]. Drilling Engineering, 2024,51(2):119-126.

[8] 韩凯.超大溶洞区域全回转双套管与旋挖组合成桩技术应用研究[J].新城镇科技,2024,33(11):117-120.
HAN Kai. Research on the application of full rotation double casing and rotary excavation combined pile forming technology in super large karst cave area[J]. Neotype Urban Construction Technology, 2024,33(11):117-120.

[9] 黄德强,汪传武,张波,等.南秦岭镇安西部复杂地层钻探技术及对策[J].钻探工程,2023,50(S1):251-255.
HUANG Deqiang, WANG Chuanwu, ZHANG Bo, et al. Drilling technology and countermeasures for complex strata in the West of Zhen'an, south Qinling[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1):251-255.

[10] 邹博,史亚运.脲醛树脂水泥球结合泡沫泥浆堵漏技术分析与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(S1):115-117.
ZOU Bo, SHI Yayun. Analysis and application of urea-formaldehyde resin cement ball combined with foam mud plugging technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(S1):115-117.

[11] 赵华宣,陈浩.瞬间堵漏剂在贵州地热钻井中的应用[J].西部探矿工程,2015,27(10):23-24,27.
ZHAO Huaxuan, CHEN Hao. Application of instantaneous plugging agent in geothermal drilling in Guizhou [J]. West-China Exploration Engineering, 2015,27(10):23-24,27.

[12] 方青,田鹏辉,冉飞.贵州省岩风阡铝土矿钻探施工工艺研究[J].世界有色金属,2024(15):175-177.
FANG Qing, TIAN Penghui, RAN Fei. Research on drilling construction technology of Yanfengqian bauxite mine in Guizhou Province [J]. World Nonferrous Metals, 2024 (15) : 175-177.

[13] 吕敬尊,蔡隼,王杰,等.一种用于失返性漏失井的取心钻具及方法:CN202410964723.7[P].2024-07-18.

- LYU Jingzun, CAI Juan, WANG Jie, et al. A coring tool and method for lost circulation wells: CN202410964723.7 [P]. 2024-07-18.
- [14] 杨宽才,孟燕杰,许权威,等.松散破碎地层钻进高吸水树脂堵漏剂合成与评价[J].钻探工程,2024,51(6):39-47.
- YANG Kuancai, MENG Yanjie, XU Quanwei, et al. Synthesis and evaluation of highly absorbent resin plugging agent for drilling in loose broken formation [J]. Drilling Engineering, 2024,51(6):39-47.
- [15] 王志祥,许非,陈冲,等.地质钻探完全漏失地层处理方式探讨[J].钻探工程,2023,50(S1):218-222.
- WANG Zhixiang, XU Fei, CHEN Chong, et al. Discussion on treatment of completely leak strata for geological drilling[J]. Drilling Engineering, 2023,50(S1):218-222.
- [16] 朱博勤.FAST工程勘察技术理论与实践[M].武汉:湖北科学技术出版社,2021.
- ZHU Boqin. Theory and practice of geotechnical investigation on FAST project[M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2021.
- [17] 方国庆,潘德元,王杰,等.绿色勘查技术在湖南省幕阜山地区钻探工程中的应用与实践[J].钻探工程,2024,51(S1):269-274.
- FANG Guoqing, PAN Deyuan, WANG Jie, et al. Application and practice of green exploration technology in drilling projects in the Mufu mountain area of Hunan Province[J]. Drilling Engineering, 2024,51(S1):269-274.
- [18] 王文彬,龙安,吴荣华,等.无人机吊运模块化钻机技术研究与应用[J].钻探工程,2024,51(S1):208-215.
- WANG Wenbin, LONG An, WU Ronghua, et al. Research and application of UAV lifting modular drill technology [J]. Drilling Engineering, 2024,51(S1):208-215.
- [19] 杨加伟,熊青山,吴胜,等.页岩气水平井防塌水基钻井液体系研究[J].科学技术与工程,2021,21(12):4891-4896.
- YANG Jiawei, XIONG Qingshan, WU Sheng, et al. Anti-sloughing water based drilling fluid system for shale gas horizontal wells[J]. Science Technology and Engineering, 2021,21(12):4891-4896.
- [20] 李栋伟,汪盈盈,李宗锐,等.雷家地区高性能防塌钻井液的室内研制及性能评价[J].中国科技论文,2022,17(9):965-970,985.
- LI Dongwei, WANG Yingying, LI Zongkun, et al. Laboratory development and performance evaluation of high performance anti sloughing drilling fluid in Leijia area[J]. China Sciencepaper, 2022,17(9):965-970,985.
- [21] 冯美贵,蒋睿,徐军军,等.泥浆不落地技术在地质岩芯钻探中的应用[J].地质论评,2023,69(S1):518-520.
- FENG Meigui, JIANG Rui, XU Junjun, et al. Application of the mud non-landing system in geological core drilling[J]. Geological Review, 2023,69(S1):518-520.
- [22] 潘德元,贺前平,蔡隽,等.基于连续梁绳索取心防斜钻具力学模型的计算方法:CN202210934145.3[P].2088-08-04.
- PAN Deyuan, HE Qianping, CAI Jun, et al. Calculation method based on mechanical model of continuous beam wire line coring anti deviation drilling tool: CN202210934145.3[P]. 2088-08-04.

(编辑 王文)