

深厚覆盖层绳索取心钻探工艺实践

杨联锋, 彭志平, 宋振杰, 房 勇

(山西省第三地质工程勘察院有限公司, 山西 晋中 030620)

摘要: 山西省清徐县测区(清徐县幅、徐沟幅)1:5万区域地质调查项目 ZK03 钻孔设计孔深 3000 m, 要求全孔取心, 岩心采取率 $\geq 85\%$, 岩心直径 ≥ 60 mm, 采取原状岩样。针对深厚覆盖层、大直径高保真全孔取心等难题, 通过分析所钻地层特点、可能存在的孔内事故、应用 CHD127 型绳索取心钻具、优化钻具结构、采用稳压钻进技术、加强现场泥浆使用管理等多措并举, 创新性探索出“水源钻机+绳索取心+长裸眼孔段”工艺, 高质量完成了施工任务。现场实践表明, 深厚覆盖层连续取心施工使用“水源钻机+绳索取心”工艺要优于立轴式岩心钻机; 绳索取心钻具内管加 PVC 管可以满足岩样保真及采取率要求; 高质量低固相泥浆性能可以实现深厚覆盖层全裸眼钻进。“水源钻机+绳索取心+取心钻具内衬 PVC 管”工艺可以在岩土工程勘察、中硬以下岩层水文地质孔、煤层气勘探深孔中推广应用。

关键词: 深厚覆盖层; 大口径高保真取心; 绳索取心; 水源钻机; 低固相泥浆

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0274-07

Application practice of wire-line core drilling technology for deep and thick overburden strata

YANG Lianfeng, PENG Zhiping, SONG Zhenjie, FANG Yong

(Shanxi Provincial Third Institute of Geological Engineering Investigation Co., Ltd., Jinzhong Shanxi 030620, China)

Abstract: A scientific drilling hole with a depth of 3000m was designed for the regional geological survey project (map of Qingxu County and Xugou) in surveying area of Qingxu County, Shanxi Province. Full-hole coring was required with the core recovery rate over 85%, the core diameter over 60mm, and the rock samples should be undisturbed. Aiming at the problems of deep and thick overburden stratum, large diameter, high fidelity and full hole coring, etc., actions of drilling strata and possible borehole accidents analysis, CHD127 rope drilling tools application, drilling structure optimization, constant pressure automatic drilling technology and enhancing mud liquid use management are taken, the technology of “water source drilling rig+rope coring+long open hole drilling” was innovatively explored, and the project was completed with high quality. The field practice and application show that the technology of “water source drilling rig+wire-line coring” used in continuous core drilling of deep-thick overburden strata is better than the vertical shaft core drilling machine. The coring tool combined with PVC tube can meet the requirements of rock sample fidelity and quantity preservation, high-quality mud can realize full open hole drilling. The process of “water source drilling rig+wire-line coring+coring tool lined with PVC tube” can be popularized in geotechnical engineering investigation, hydrogeological hole with the hardness of middle or lower and deep hole of coalbed methane exploration.

Key words: deep and thick overburden strata; large diameter and high fidelity full hole coring; wire-line coring; water source drilling rig; low solid mud

收稿日期: 2023-03-13; 修回日期: 2023-05-29 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.042

基金项目: 山西省地勘基金项目“山西省清徐县测区(清徐县幅、徐沟幅)1:5万覆盖区区域地质调查项目”(编号: HXCT01-2018F005)

第一作者: 杨联锋, 男, 汉族, 1968年生, 副总经理, 高级工程师, 探矿工程专业, 主要从事水文水井钻探工艺、地热井钻探工艺、旋挖钻孔工艺的技术研究与管理, 山西省晋中市榆次区大学街三勘院, sxjlylf@sohu.com。

引用格式: 杨联锋, 彭志平, 宋振杰, 等. 深厚覆盖层绳索取心钻探工艺实践[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 274-280.

YANG Lianfeng, PENG Zhiping, SONG Zhenjie, et al. Application practice of wire-line core drilling technology for deep and thick overburden strata[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 274-280.

1 项目概况

“山西省清徐县测区(清徐县幅、徐沟幅)1:5 万覆盖区区域地质调查项目”为 2018 年山西省国土资源厅地勘基金项目。该项目主要目的是调查工作区内深厚覆盖层及其以下隐伏基岩的地层、岩石、构造及其它地质体等基本特征;采集各类分析、测试样品等,进行系统的地层层序、沉积相、古地磁、古气候古环境研究、地质年代测定,研究其属性、形成时代、形成环境和演化史等基础地质问题,并建立标准综合地层柱。为国土规划、城市建设和地质找矿、水文地质、工程地质、环境地质、灾害地质、农业地质、城市地质等专项调查及研究等提供基础资料。

据此目的,设计勘查钻孔 3 个:ZK01 孔,设计深度 800 m;ZK02 孔,设计深度 2000 m;ZK03 孔,设计深度 3000 m;各孔钻入基岩 30 m 完钻。全孔取心钻

进,岩心采取率 $\geq 85\%$,岩心直径 ≥ 60 mm;采用 PVC 保护管采取原状样品,保证岩样的保真性^[1]。

工作区内以前没有进行过较深孔的连续取心钻探工程,属于新生界底板埋深控制空白区。

ZK01 孔,2018 年 9 月 25 日开钻,2019 年 1 月 22 日完钻,终孔深度 870.5 m。

ZK02 孔,2019 年 7 月 3 日开钻,2020 年 5 月 4 日完钻,终孔深度 1769 m。

ZK03 孔,2020 年 3 月 8 日开钻,2021 年 5 月 7 日完钻,终孔深度 2729 m。

本文以 ZK03 孔为重点介绍项目的施工情况。

2 地质情况及钻探难点分析

2.1 钻遇地层

ZK03 孔揭露地层如表 1 所示。

表 1 ZK03 孔揭露地层及描述

界	系	组	深度/m	厚度/m	岩性
新生界	第四系	汾河组	0~345	345	灰黄、灰色砂质粘土、砂
		木瓜组	345~567	222	灰黄色细砂夹棕褐色粘土
		大沟组	567~891	324	黄、灰紫色粘土、砂质粘土
	新近系	红崖组	891~1288	397	棕红、棕褐色砂质粘土
		小白组	1288~1952	664	灰、灰绿色粘土、亚粘土夹细砂
		下土河组	1952~2616	664	棕黄、灰褐色砂层亚粘土、粘土、砂质粘土、砂砾层
中生界	三叠系	延长组	2616~2690	74	棕黄色长石砂岩
		二马营三段	2690~2729	39	灰红色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩灰红色泥岩

2.2 钻探难点分析

(1)在深厚软土覆盖层中进行全孔取心钻进,同时对岩样保真和采取率要求高,该类型项目在国内尚属首例,没有施工经验可借鉴^[2-8]。

(2)因地质技术要求岩心直径 ≥ 60 mm 且必须采用 PVC 保护管,按照钻具结构及级配关系,施工终孔口径必须在 120 mm 以上。因此,钻探设备必须满足孔深 3000 m、终孔口径 ≥ 120 mm 时的扭矩、提升力需求。同时,可能施工周期会较长,孔内地层情况不明,不确定因素较多,钻孔结构也会根据钻进情况适时进行调整,因此在扭矩、转速、提升能力、孔内事故处理、下套管等方面必须留下充足余地。单位现有最大的岩心钻机 XY-9 型钻机不能满足要求,存在设备选型问题。

(3)绳索取心工艺在金属矿产等勘查中应用效果显著,但在煤系地层、沉积地层中应用效果不十分

理想,在深厚覆盖层中应用绳索取心钻进还未实践过,因此在钻具结构、钻头型号和规格、岩心卡断等方面存在诸多技术难题。

(4)钻遇地层主要是砂层、砂质粘土层、亚粘土层、粘土层、砂砾层,存在缩径和孔壁失稳问题;同时,为降低施工成本,拟全孔裸眼钻进,需要保证钻孔稳定。因此,对泥浆体系选择、泥浆性能指标要求、泥浆维护管理等提出了较高要求。

(5)深厚覆盖层钻进极易发生吸附粘卡事故;在松散覆盖层发生钻具折断、脱扣等事故后,不易找到事故“鱼头”;因此,钻孔事故的预防和处理也是一个大的问题。

3 钻探施工情况

3.1 钻探设备选择

充分利用单位现有设备资源,选用 TSJ2600/

660型转盘式水源钻机。该钻机主要技术参数为：钻进能力 2600 m ($\Phi 89$ mm 石油钻杆)；最大提升力 800 kN；最大回转扭矩 25 kN·m。

为了满足绳索取心钻进工艺要求,对钻机进行了局部改进(见图1)^[8-10]。

(1)二层工作台高度下移 1 m,以满足摆放绳索钻杆立根的工作高度需要。

(2)在转盘拨杠上加装绳索钻杆自重式夹持器,使钻机四方主动钻杆的卡瓦可以自由从夹持器内取出和安装;提钻时,将绳索钻杆卡瓦放入夹持器内,夹持绳索钻杆,满足提下钻需要。实现回转驱动与钻具拆卸功能合成,并且在打捞内管过程中可以随时回转活动钻具。

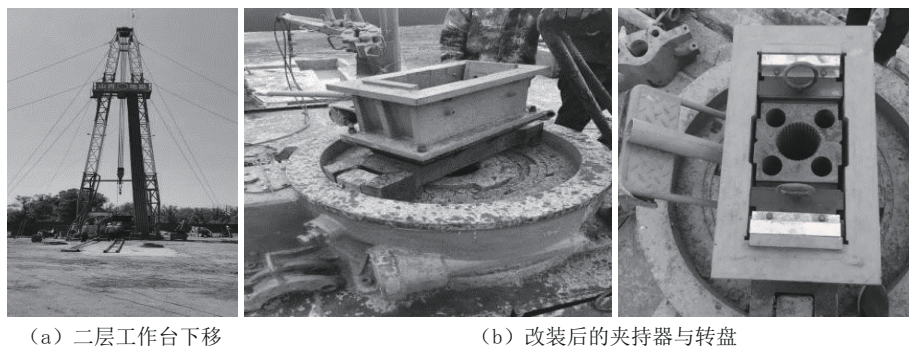


图1 钻机改进

选用 DB390/15 型泥浆泵,额定流量 250~390 L/min、额定排出压力 8 MPa、最大排出压力 15 MPa。

3.2 钻具及钻头选择

采用加强型 CHD127 型绳索取心钻杆,钻杆管体为 $\Phi 114.3$ mm \times 6.35 mm,接头外径 120 mm、内径 101 mm;钻杆螺纹扭矩 $> 2 \times 10^4$ kN·m;钻杆定尺长度 4.5 m/根^[11-13]。

为保证提下钻杆安全性,配吊卡提引接头。采用 $\Phi 89$ mm 石油钻杆专用吊卡提下钻,吊卡载荷可达 1500 kN。拧卸钻杆,采用 Q-114 型液压动力钳。

采用 XJS122 型绳索取心钻具。钻具外管直径 118 mm、内管直径 89 mm、PVC 内管直径 75 mm,钻具总长度 5.06 m,内管长度 3.96 m^[14-17]。

采用阶梯式复合片钻头。阶梯式钻头可以有效地保护岩心不被冲毁,钻头阶梯高度 100 mm;0~1623 m,钻头外径 127 mm、内径 68 mm、底唇面宽度 29.5 mm;钻进至 1623 m,在停钻提内管时,大量泥浆从钻杆内喷出,持续时间长,分析原因为钻具与孔壁环状间隙小,不能满足冲洗液上返流速要求,泥浆被挤压入地层中,停止循环后又释放出来,随后将钻头外径增加到 $\Phi 130$ mm 钻进至 2729 m 终孔;钻头外径 130 mm、内径 68 mm、底唇面宽度 31 mm。

3.3 孔身结构

一开采用 $\Phi 127$ mm 钻头钻进至 325 m,然后采用 $\Phi 219$ mm 刮刀钻头扩孔,下入 $\Phi 180$ mm 表层套管至孔口,采用水泥固井。表层套管直径选择要下部钻孔预留两级备用口径。

二开采用 $\Phi 127$ mm 钻头钻进至 1623 m,然后采用 $\Phi 135$ mm 钻头扩孔至 1623 m;然后采用 $\Phi 130$ mm 钻头钻进至 2729 m,见到目的层位,提前终孔。二开孔段未下套管,全裸眼钻进。

孔身结构如图2所示。

3.4 钻进参数

3.4.1 钻压

钻压一般控制在 15~35 kN。为防止因加压造

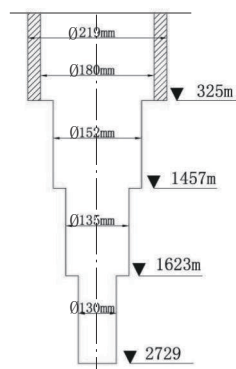


图2 ZK03孔孔身结构

成钻杆弯曲及螺纹变形,配备了 $\varnothing 120$ mm加重钻杆 100 m,质量约 3 t。钻进过程中调整钻压的大小对钻进效率的影响不大。

3.4.2 转速

由于覆盖层地层松软、易坍塌,且要长裸眼钻进,为保证孔壁的稳定和防止钻杆折断,一般采用低转速,可以有效地避免钻杆折断事故发生。

砂层、砂质粘土类采用二档或三档,转速为 64、103 r/min;时效一般在 1.2 m/h,转速在砂层、砂质粘土类、亚粘土地层对钻进效率的影响不大。

粘土层采用四档,转速为 178 r/min,时效一般在 0.3 m/h,时效比较低,主要是粘土层塑性大、易糊钻打滑,钻机转速不足。

转速也是影响钻进效率的一个重要因素,较高的转速可以提高钻进效率。水源钻机额定转速低,对提高钻进效率是不利的一面;但转速低,钻杆不易折断,对孔壁的扰动小,减少了孔内事故的发生率,这又是有利的一面;相比较还是利大于弊。

3.4.3 泵量

泵量选择为 165~312 L/min,泵压一直维持在 1~5 MPa。在保证不冲毁岩心的前提下,尽可能采用大泵量清除孔底岩粉,提高钻速。

3.5 钻孔冲洗液

采用低固相和无固相泥浆体系,根据钻孔的深度、钻遇地层及时调整泥浆配制方案。ZK03 孔泥浆性能的要求,着重于低密度、低流变参数下的护壁功能、润滑性能,在钻进过程中还对岩样做动态浸泡试验,根据试验结果及时调整泥浆性能指标,应用的泥浆材料主要以增粘剂、防塌随钻堵漏剂、降失水剂为主,后期增加了煤系抑制剂、防塌解卡剂、砂卵防塌剂。

泥浆配比为:1 m³水+2 kg 纯碱+15~20 kg 降失水剂+15~20 kg 随钻防塌堵漏剂+2~3 kg 增粘剂。泥浆性能指标为:pH 值 8、密度 1.07~1.17 g/cm³、苏氏漏斗粘度 22~26 s、滤失量 6~8 mL/30 min。如表 2 所示。

表 2 ZK03 孔泥浆性能指标

孔深/m	主 要 材 料	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/s	失水量/[mL·(30 min) ⁻¹]
0~600	纯碱+增粘剂+降失水剂+随钻防塌堵漏剂	1.02~1.03	22	6~8
600~1200	纯碱+降失水剂+随钻防塌堵漏剂+增粘剂	1.03~1.04	20~23	6~8
1200~1500	纯碱+降失水剂+随钻防塌堵漏剂+增粘剂	1.05~1.08	21~23	6~8
1500~1900	纯碱+降失水剂+随钻防塌堵漏剂+增粘剂	1.10~1.14	21~23	6~8
1900~2500	纯碱+降失水剂+煤系抑制剂+砂卵防塌剂	1.14~1.16	23~25	4~6
2500~2729	纯碱+降失水剂+砂卵防塌剂+防塌解卡剂	1.15~1.18	21~23	4~6

施工过程中,加强泥浆的维护管理工作,配备了离心机,要求各班组长严格按照配比配制泥浆,技术员每天对泥浆性能进行测量,根据岩心、进尺、使用周期等情况进行分析,及时调整泥浆性能参数。各班组长一旦发现泥浆中出现含砂量过高、泥巴过多、孔内阻力过大、钻压异常、提下钻遇阻等情况及时汇报,分析原因及时处理。提钻时坚持回灌泥浆,以保持孔内压力平衡,保护孔壁。

3.6 取心存在的问题及解决措施

3.6.1 岩心夹泥现象

在钻进至 551 m 时,发现岩心存在夹泥现象,经过分析认为是由于手动送钻加压,钻压不稳定而造成岩心堵塞形成夹泥污染现象。通过对水源钻机的卷扬控制系统进行电动控制改造,实现了钻机自动

恒压匀速送钻、钻压精确控制,解决了由于手动送钻钻压不均匀而造成岩心夹泥的问题,同时也提高了钻进效率,降低了操作人员的劳动强度,改善了操作人员的工作环境。钻机控制系统改造如图 3 所示。

3.6.2 岩心卡不断、脱心问题

在 1457~1623 m 段粘土层钻进时,由于地层塑性大,岩心卡不断,提钻时岩心滑脱现象较为严重,岩心采取率较低。为此,设计加工了一款三管取心抓心钻具,钻进过程中,内管下行撑开抓簧,使岩心顺利进入内管;提钻时,内管上提,抓簧收拢卡断岩心,有效解决了岩心卡断和滑脱的问题。

三管取心钻具如图 4 所示。

该套取心钻具必须是钻头在孔底的情况下打捞内管才有效,为实现钻头在孔底,不起钻打捞内管,

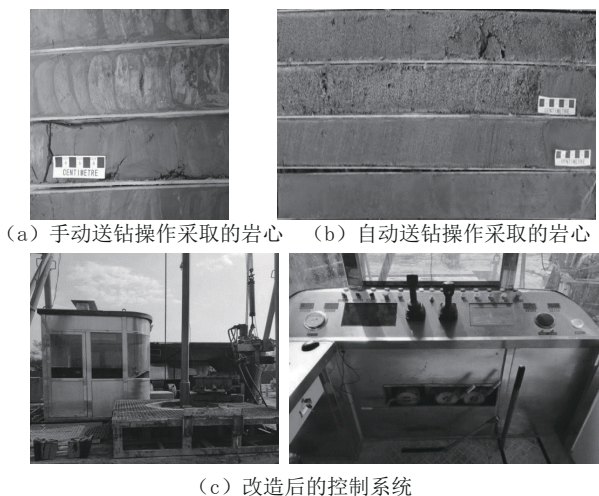


图3 钻机控制系统改造

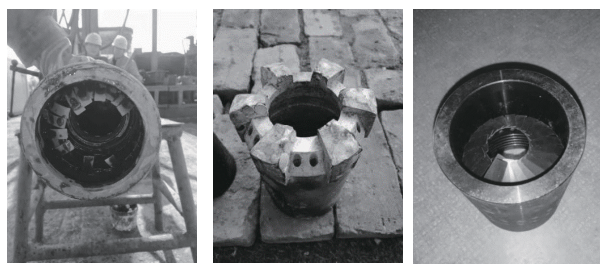


图4 三管取心抓心钻具

对四方主动钻杆及水龙头进行了改进。

(1)在四方钻杆两对侧面开卡槽,打捞内管时卡瓦可以卡住方钻杆任意位置。

(2)加大四方钻杆和水龙头芯管的通孔直径,保证内管可以通过,经四方钻杆从水龙头顶端提、下内管,钻具不提离孔底,只需卸开水龙头顶部压盖,在主动钻杆内下放打捞器打捞内管总成,实现了不上提四方钻杆在孔底打捞内管作业,利用升降车进行高空作业,保证作业人员的高处作业安全。这种捞取岩心方法不仅可以减少捞取岩心时间,提高钻进效率,减少钻头扫孔磨损,延长钻头使用寿命,而且在钻进松软、破碎等复杂地层时对保护岩心非常有利,如图5所示。

3.7 孔内事故预防及处理

3.7.1 孔内事故预防措施

施工前预测可能会发生的孔内事故主要有:钻具折断、吸附粘卡钻、孔壁失稳坍塌等,开钻初就制定了针对性的预防措施。

(1)预防钻具折断。选购了高强度CHD127绳

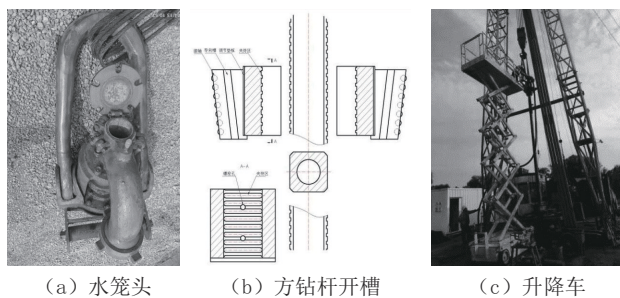


图5 改进后的四方主动钻杆

索取心钻杆,杆体端头进行墩粗,螺纹进行表面热感应和磷化处理,确保较高的机械性能。

(2)预防吸附粘卡钻。在深厚覆盖层钻进最担心的就是吸附粘卡,采取的主要预防措施有:一是保持良好的泥浆性能,添加润滑剂,加强泥浆的净化处理工作;二是采用3NB350型泥浆泵,每班进行一次大泵量循环,持续2个循环周以上;三是钻进过程中经常短提钻划眼,四是在提放内管过程中定时回转钻具。

(3)预防孔壁失稳坍塌。一是保证表层套管的下入深度,表层套管的深度确定主要是以穿过地下水位、松散富水性强的砂层、附近农用井对地下水扰动大的位置,进入较致密地层后为原则;二是确保泥浆体系适用,性能指标满足要求,加强泥浆的维护管理。

3.7.2 孔内事故处理

虽然采取了多种预防措施,但吸附粘卡现象还是时有发生,尤其是2006 m以深,吸附粘卡更为频繁。发生吸附粘卡钻后,一般都是采用3:1的机柴油浸泡解卡,基本上都能够解卡成功;浸泡解卡不成时,采用CHD146绳索钻杆分段扩孔套铣,一次最少可以套铣700 m。

3.8 钻孔质量

岩心采取率94%;终孔钻孔顶角 8.55° ,最大钻孔顶角 10.02° ;最大孔径358.5 mm,平均孔径162.1 mm,扩径率23.7%,满足地质要求。

4 不同设备和取心方法应用情况对比

为验证在松、软、散的覆盖层中应用水源钻机绳索取心钻探工艺的可行性,在ZK01孔和ZK02孔做了大量的试验工作。主要试验内容有:了解熟悉地层岩性、可钻性等地质情况,确定取心钻具和钻头结构型式、钻进参数选择、泥浆体系选择,水源钻机施

工和全孔裸眼钻进的可行性,研究并解决发现的其它技术问题。

ZK01 孔使用 TSJ-1000 型水源钻机,提钻取心工艺,取心钻具为 TK-NCC-152-4 双管单动钻具,阶梯复合片钻头,外径 152 mm,内径 80 mm。

ZK02 孔使用 XY-5 型钻机,CHD127 绳索取心工艺,勉强施工到 640 m,扭矩和提升能力都到了极限;后更换为 TSJ-2600 型水源钻机,绳索取心施工至终孔;采用阶梯复合片钻头,外径 127 mm,内径 68 mm。

4.1 不同钻探设备施工效率对比

水源钻机和立轴岩心钻机使用同一套绳索取心钻具施工效率对比见表 3。立轴钻机由于频繁倒杆和前后移动,纯钻时间少,辅助时间长,小时效率高;水源钻机不需倒杆和移位,纯钻时间长,辅助时间短,但小时效率低;台班时效和台班效率 2 种钻机基本相平。水源钻机绳索取心工艺越要优于立轴钻机,但是由于其转速低于立轴岩心钻机,孔深时进尺要慢。如图 6 所示。

表 3 钻进效率对比

孔号	钻进深度/ m	纯钻时间/ h	辅助时间/ h	小时效率/ (m·h ⁻¹)	台班时效/ (m·h ⁻¹)	台班效率/ m	纯钻时间占 比/%	施工设备	施工工艺
ZK01	870.00	664.39	1486.44	1.31	0.61	4.85	30.89	TSJ-1000	大提钻
ZK02	645.00	256.77	619.23	2.51	0.74	5.89	29.31	XY-5	绳索取心
ZK03	647.00	492.83	443.17	1.35	0.69	5.53	52.65	TSJ-2600	绳索取心

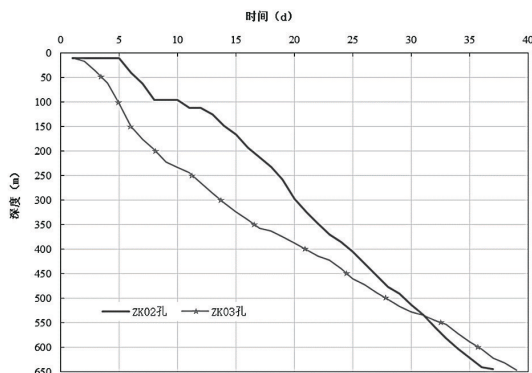


图 6 施工进度对比

4.2 岩心采取质量对比

各孔岩心采取率如表 4 所示。绳索取心岩心采取率远高于提钻取心工艺。

表 4 岩心采取率

孔号	岩心采取率/%
ZK01	85
ZK02	93
ZK03	94

不同设备、工艺采取的岩心质量基本无差异,基本上都保持了原状结构,都满足地质技术要求。

4.3 孔径和孔斜对比

各孔孔径和孔斜情况如表 5 和图 7 所示。

表 5 孔径和倾斜情况

孔号	钻孔顶角/(°)		钻孔孔径		
	终孔	最大	平均孔径/mm	最大孔径/mm	扩径率/%
ZK01	2.24	2.24	222.4	373.2	45.3
ZK02	2.15	4.44	154.3	251.7	11.5
ZK03	8.55	10.02	162.1	358.5	23.7

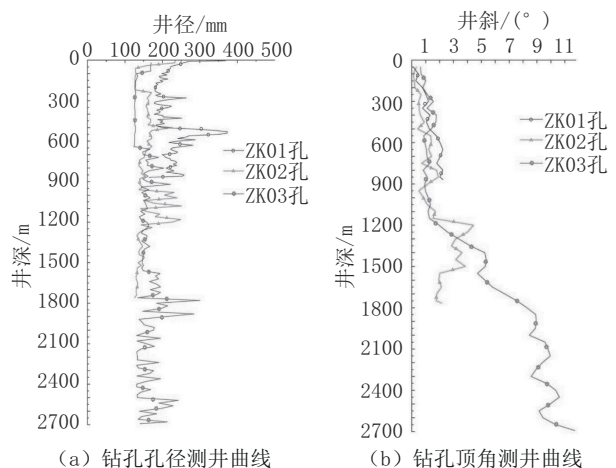


图 8 孔径和顶角曲线

可以看出,ZK01 孔采用提钻取心工艺,对孔壁刮擦和扰动较大,扩径系数大,孔壁不规则性较大;采用绳索取心工艺,扩径系数小,孔壁较为规则,孔壁稳定性好。

绳索取心工艺比提钻取心钻孔的孔斜度要小;由于水源钻机与立轴岩心钻机的加压方式不同,水源钻机施工的钻孔孔斜度要好于立轴钻机;钻进效率对孔斜的影响较大,时效低容易增加孔斜度。

5 结论与建议

面对松、散、软深厚覆盖层全孔取心、岩样保真保量要求高等诸多难题,成功探索出水源钻机+绳索取心+PVC护管的施工方法,取得了较为满意的效果,为深厚覆盖层取心钻进提供了宝贵的施工经验。ZK03 钻孔于2021年7月2日完钻,终孔深度2729 m、终孔直径133 mm、岩心直径68 mm、岩心采取率93.8%,创造了国内覆盖层钻探P口径绳索取心钻进最深纪录。经山西省自然资源厅专家组评审认定,该项目是山西省第一个覆盖区区域地质调查项目,首次在新生代盆地中完成深钻全孔取心、采样工作,重新厘定了晋中盆地新近系一第四系岩石地层单元,建立了晋中盆地新近系一第四系典型地层标准孔、精确年代地层和层序地层框架,项目开创了覆盖区区域地质调查先河,取得了极为丰富的成果和经验,为山西省六大盆地部署1:5万区域地质调查提供了一条切实可行的技术路线,项目成果质量达到国内领先水平。该项目被评为全国探矿工程2021年十大新闻^[18]。

(1)水源钻机的回转方式和技术性能参数可以满足深厚覆盖层连续取心钻孔的施工要求,且优势要优于立轴岩心钻机。绳索取心钻具内管加PVC保护管施工工艺在深厚覆盖层钻孔中可以满足岩样保真保量的要求。

(2)在保证泥浆体系性能稳定的情况下,深厚覆盖层可以采用全裸眼钻进。

(3)建议进一步优化钻头结构,探索绳索取心孔底动力马达,提高钻头转速,提高在粘土类地层的钻进效率和取心质量。

(4)绳索取心钻具内管加PVC保护管施工工艺可以在岩土工程勘察中推广应用,保证岩土样的取心质量和保真性,以及方便集中地质编录。

(5)水源钻机+绳索取心的施工方法可以在中

硬以下地层水文地质孔、煤层气勘探深孔中推广应用。

参考文献:

- [1] DZ/T 0027—2010,地质岩心钻探规程[S].
- [2] 朱芝同,伍晓龙,董向宇,等.松辽盆地页岩油勘探大口径取心技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):45-50.
- [3] 罗冠平.绳索取心钻进工艺在盐矿深部钻探中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):8-13.
- [4] 张青海.小秦岭北矿带厚覆盖层钻探技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):53-57.
- [5] 苏厚斌,马晓鹏,郑尊岐,等.山东招远水旺庄3000 m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.
- [6] 吕利强.滇西南钾盐调查MK-3大口径超深井绳索取心钻进工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):53-58.
- [7] 马秀春.通地1井绳索取心钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):40-44,52.
- [8] 翟育峰.西藏甲玛3000 m科学深钻施工技术方案[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):8-12,53.
- [9] 陈师逊,翟育峰,王鲁朝,等.西藏罗布莎科学钻探施工对深部钻探技术的启示[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):1-3,9.
- [10] 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.
- [11] 刘林,陈玉富,黎波,等.浅谈复杂地层科学钻探理念[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):24-26.
- [12] 张正,朱恒银.深部钻探关键设备选择原则及配置优化[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(9):17-20.
- [13] 贾长城,刘春生,秦沛.深孔大口径绳索取心钻进设备与机具[J].西部探矿工程,2016,28(11):34-37,40.
- [14] 李鑫森,李宽,孙建华,等.国内外绳索取心钻具研发应用概况及特深孔钻进问题分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(54):15-23,39.
- [15] 姚彤宝,张春林,刘晓刚.大口径绳索取心钻具在特厚软煤中的取心应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):25-28.
- [16] 李晓晖,程林,李艳丽,等.深孔及松软地层大口径绳索取心钻具的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):49-52.
- [17] 尹国明,郎猛,陈志鹏,等.复杂地层用绳索取心钻具的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):63-67.
- [18] 《钻探工程》编辑部.2021年探矿工程十大新闻[J].钻探工程,2022,49(1):1-4.

(编辑 王文)