

水源钻机在超深土层绳索取心钻进中的应用

杨联锋¹, 段云星²

(1.山西省第三地质工程勘察院,山西 晋中 030620; 2.中国地质大学(北京)工程技术学院,北京 100083)

摘要:山西省清徐县区域地质调查项目设计 800、2000、3000 m 科学钻探孔,以调查填补新生界底板埋深控制空白区,各孔钻入基岩 30 m 完钻。要求全孔取心,岩心采取率 $\geq 85\%$,岩心直径 ≤ 60 mm,采用塑料保护管采取原状岩样。针对超深软土层、各组地层特性及厚度未知、钻遇基岩完钻深度未知、大直径高保真全孔取心、项目价格远低于目前市场成本等难题,经过“水源钻机+大提钻取心+长裸眼孔段”实施 800 m 孔、“岩心钻机+绳索取心+套管固井”实施 640 m 参数对比孔,创新性使用“水源钻机+绳索取心+长裸眼孔段”工艺完成了 2000 m 孔的施工。该工艺岩心采取率达到 93%,孔径和孔斜符合地质要求,为 3000 m 孔顺利施工打下了坚实的基础,为同类型项目提供了经验和借鉴。

关键词:水源钻机;科学钻探;超深软土层;大口径;绳索取心钻进

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)11-0044-07

Application of water well drilling rig in wire-line core drilling in ultra-deep soft soil layer

YANG Lianfeng¹, DUAN Yunxing²

(1. Shanxi Third Geological Engineering Investigation Institute, Jinzhong Shanxi 030620, China;

2. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: In the regional geological survey project in Qingxu County, Shanxi Province, scientific drilling holes of 800m, 2000m and 3000m are designed to fill the gap in delineation of the Cenozoic floor burial depth, with each hole completed 30m drilled into the bedrock. Full-hole coring is required with the core recovery rate $\geq 85\%$, the core diameter ≤ 60 mm, and the undisturbed rock sample to be taken with the plastic protective tube. In light of the difficulties such as ultra-deep soft soil layer, unknown characteristics and thickness of each group, unknown drilling depth, large-diameter high-fidelity full-hole coring, far lower contract price than the current market cost, with the 800m hole drilled with “water well drilling rig + conventional coring + long open-hole section”, and a 640m parametric hole drilled with “core drill + wire-line coring + casing cementing”, an innovative process of “water well drilling rig + wire-line coring + long open-hole section” was then developed and used to complete the 2000m hole. The core recovery of the hole reached 93%, and the borehole diameter and deviation met the geological requirements, which lays a solid foundation for the smooth construction of the 3000m hole and provides experience and reference for similar projects.

Key words: water well drilling rig; scientific drilling; ultra-deep soft soil layer; large diameter; wire-line core drilling

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 年山西省地勘基金项目。该项目主要目的是调查工作区内覆盖层

收稿日期:2020-08-04; 修回日期:2020-09-23 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.11.008

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)

作者简介:杨联锋,男,汉族,1968 年生,副院长,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工作,山西省晋中市榆次区大学街三勘院, sxjlylf@sohu.com。

通信作者:段云星,男,汉族,1992 年生,博士研究生在读,地质工程专业,主要研究方向为钻探工程技术、地热资源开发与利用,北京市海淀区学院路 29 号, tansund@foxmail.com。

引用格式:杨联锋,段云星.水源钻机在超深土层绳索取心钻进中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(11):44-50.

YANG Lianfeng, DUAN Yunxing. Application of water well drilling rig in wire-line core drilling in ultra-deep soft soil layer[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(11):44-50.

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,并建立标准综合地层柱。据此目的,设计科学钻探孔 3 口;ZK01 孔,预计 800 m;ZK02 孔,预计 2000 m;ZK03 孔,预计 3000 m;各孔钻入基岩 30 m 完钻。为验证新工艺的可行性,ZK01 孔完成后实施了 640 m 的 ZK03 副孔,作为同区域同地层的参数对照孔。

1.1 地质要求

ZK01 孔位置和 ZK02 孔位置确定于山西省太原市清徐县徐沟镇,该处以前没有进行过较深的钻探工程,属于新生界底板埋深控制空白区,钻孔位于两条断裂之间的块段中。ZK03 孔位置确定于清徐县王达乡,钻孔位于断裂带西侧,亦为新生界底板埋深控制空白区。断裂带之间是晋中断陷盆地中基底埋藏最深的清徐凹陷,新生界底板中心埋深可达 3800 m。

预计钻遇地层如表 1 所示。

表 1 预计钻遇地层及描述

Table 1 Predicted drilling strata and description

界	系	组	预估深度/m	预估厚度/m	岩性
新 生 界	第四系	汾河组	0~550	550	棕色砂质粘土及粘土质粉砂、砂层
		义安组	550~1150	600	浅灰色、浅黄色粘土、粉砂质粘土
	新近系	史家社组	1150~1700	550	灰、黄灰、棕灰色粘土
		西谷组	1700~2250	550	灰、灰绿色粘土
		胡村组	2250~2500	250	红色、粗颗粒、沙泥混杂
		城子组	2500~2800	300	褐色、灰褐色粘土、粉砂质粘土
	王吴组	2800~2950	150	砾石层	

施工参照《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227-2010)^[1],并满足以下要求:

(1) 钻前验证孔位,井型为直井,孔斜 $\leq 1^\circ/100$ m。

(2) 全孔取心,岩心采取率 $\leq 85\%$,岩心直径 ≤ 60 mm。

(3) 采用塑料保护管采取原状样品,保证岩样的原状性。

(4) 将取出的塑料保护管使用电锯纵向剖成两瓣。一瓣岩心密封保存,一瓣编录取样。

1.2 钻孔设计

由于项目钻探预算远低于目前市场成本价格,且各组地层厚度、钻遇基岩完钻深度未知,孔身结构设计原则为:在保证孔身安全的前提下尽量简单,先裸眼成孔,后期钻进遇阻再扩孔下套管。全孔设计两开结构:

(1) 一开采用 $\Phi 346$ mm 刮刀钻头开孔,下入 $\Phi 325$ mm 孔口管 6 m,水泥封固;采用 CHD127 绳索取心钻具钻进,揭穿上部松散富水性强的砂层,进入较致密地层;采用 $\Phi 273$ mm 刮刀钻头扩孔,下入 $\Phi 245$ mm 实管 35 m 至孔口,水泥封固。

(2) 二开采用 CHD127 绳索取心钻具,钻进至终孔(参见图 1)。

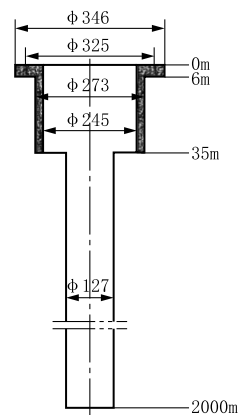


图 1 ZK02 孔孔身结构设计

Fig.1 Structural design of ZK02 Hole

施工过程中发生严重的缩径、塌孔等现象而影响钻进时,先采用高压注浆固结孔壁方法处理,未有成效再进行扩孔下套管处理。

1.3 难点与风险

本项目在超深软土覆盖层中进行裸眼、大直径、取心钻进,岩样保真、保量要求高。钻探施工难度大、工期紧,需要研究解决设备选型、钻具结构、钻头形式、泥浆体系、孔内事故预防等诸多的技术问题。该项目在国内基本没有施工经验可借鉴^[2-8],需要边施工边探索。

2 施工技术方案

2.1 钻机选择

根据岩心直径 ≤ 60 mm、须采用岩心保护管的要求,以及钻具结构和级配、后期事故处理,终孔口径需 ≤ 127 mm。配置钻探装备的投入较大,须调研市场及相关施工案例后进行决策,避免盲目性的投

资浪费^[9-11]。本项目钻机选择遵循了以下原则:

(1)钻机必须满足孔深 3000 m、口径 \leq 127 mm 时的扭矩、提升力需求。

(2)孔深达 3000 m,施工周期长,孔内地层情况不明,不确定性较大,钻孔结构会根据钻进情况进行调整。按照“大马拉小车”的理念,在扭矩、变速范围、提升能力、主动钻杆通孔等方面留下充足余地,达到实际孔深、孔径需要的 1.3~1.5 倍,便于处理孔内卡钻、下套管等异常情况^[12-13]。

(3)钻机易于操作、维修,能根据钻进情况进行改造,以提高工作效率、降低人员劳动强度。

调研现有岩心钻机和水源钻机的技术指标如表 2 所示。

表 2 岩心钻机及水源钻机关键参数^[14-15]

Table 2 Key parameters of core drill and water well drilling rig

钻机	钻孔深度 (\varnothing 89 mm 钻杆)/m	最大 提升 力/kN	最大回转 扭矩/ (kN·m)	通孔 直径/ mm	单绳最 大提升 能力/kN
HXY-9	2600	643	18.61	118	165(第三层)
HXY-9B	2800	643	18.61	118	165(第三层)
HXY-8	2100	294	8.682	118	125(第一层)
TSJ2000/435	2000	720	18	435	90
TSJ2600/445	2600	800	25	445	100

面对岩心直径 \leq 60 mm、要使用岩心内衬管、深孔钻杆扭矩较大、终孔直径最小 127 mm、3000 m 深孔地层特征不明等工程条件,现有大型岩心钻机的扭矩、提升能力相对水源钻机要略显不足。因此,探索使用 TSJ2600/445 型水源钻机来进行绳索取心工艺实验,以顺利完成 ZK03 孔。

2.2 施工技术路线

为验证 TSJ2600/445 型水源钻机实施 ZK03 孔的可行性与安全性,并配套相关设备、确定技术工艺,顺利完成工程任务,确定总体工作思路如图 2 所示。

(1)以 ZK01 孔为试验孔,使用 TSJ1000/435 型水源钻机、大提钻取心工艺,初步了解 800 m 以浅地层的厚度、含水性、可钻性等情况,确定钻进参数选择、泥浆体系选择,研究并解决发现的技术问题。

(2)了解 800 m 以浅地层情况后,在 ZK03 孔位附近实施 ZK03 副孔作为参数对比孔。使用 XY-5 型岩心钻机、绳索取心钻进、三开结构,确定该工作区域 600 m 以浅松散地层中取心时的卡心机构、钻头结构型式、钻进参数选择、合理回次进尺长度等问

题。

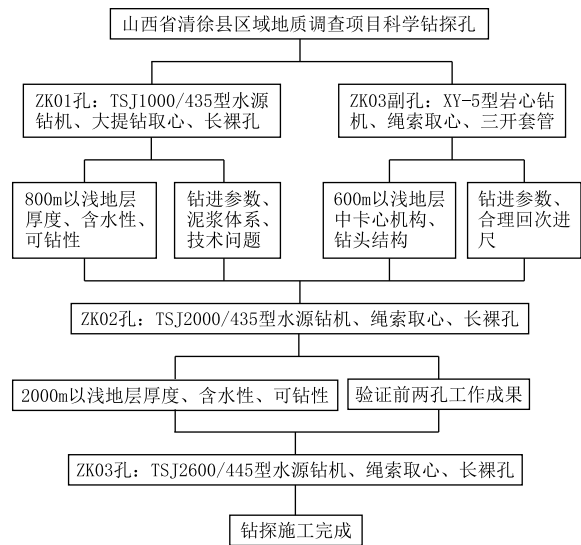


图 2 施工技术路线

Fig.2 Construction technical route

(3)通过 ZK01 孔、ZK03 副孔的实施,将钻机设备和取心工艺的技术问题基本解决。使用 TSJ2000/435 水源钻机、绳索取心钻进、长裸孔结构,实施 ZK02 孔。初步了解 2000 m 以浅地层的厚度、含水性、可钻性等情况,验证前两孔的试验成果。

(4)ZK02 孔施工正常,基本不存在影响技术质量的问题后,使用 TSJ2600/445 型水源钻机、绳索取心工艺,开始实施 ZK03 孔。

通过稳扎稳打、循序渐进的工艺试验,最终确保高质量完成本项目施工任务。

3 现场实施

3.1 ZK01 孔施工

ZK01 孔使用 TSJ1000/435 型水源钻机,采用大提钻取心工艺。钻进参数如表 3 所示。

表 3 ZK01 孔钻进参数

Table 3 Drilling parameters of ZK01 Hole

孔段/m	孔径/ mm	钻压/ kN	转速/ (r·min ⁻¹)	流量/ (L·min ⁻¹)	泵压/ MPa
0~130	152	8	110	340	0.0
130~510	152	20	110	255	1.2
510~870.5	152	26	110	255	1.8

完钻孔深 870 m,下入表层套管 6 m,其余为裸孔。岩心采取率 85.04%,满足地质要求。获得以下施工经验:

(1)水源钻机的回转方式和技术性能参数可以

满足覆盖层连续取心钻孔的施工要求。

(2)确定了低钻压、中转速、小泵量钻进参数的选择,合理控制回次进尺可以提高岩心采取率。

(3)改进了卡簧和卡簧座锥度配合,利用上提拉力转化卡簧与岩心之间的摩擦力来拉断岩心;通过增宽卡簧宽度,增加与岩心接触面积。

(4)初步了解地层特点,为下一步施工提供了参考。

3.2 ZK03 副孔施工

ZK03 副孔使用 XY-5 型岩心钻机,绳索取心工艺。钻进参数如表 4 所示。

表 4 ZK03 副孔钻进参数

Table 4 Drilling parameters of ZK03 Auxiliary Hole

孔段/m	孔径/mm	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	流量/(L·min ⁻¹)	泵压/MPa
0~150	127	20	172	60	0.0
150~400	127	20	172	60	1.0
400~645	127	20	172	60	2.0

在 ZK01 孔摸清该区域 800 m 以浅地层情况后,ZK03 副孔使用岩心钻机、绳索取心钻进工艺,三开孔身结构,以其钻进效率、岩心采取率、钻孔质量等指标作为其余 2 孔的对照。

孔身结构为:一开开孔采用 CHD127 绳索取心钻具揭表层 11 m,后采用 $\varnothing 245$ mm 牙轮钻头扩孔,下入 $\varnothing 219$ mm 实管 11 m 至孔口;二开用 CHD127 绳索取心钻具钻进至稳定地层后,采用 $\varnothing 194$ mm 刮刀钻头扩孔,下入 $\varnothing 178$ mm 实管 84 m;三开用 CHD127 绳索取心钻具钻进至终孔。

完钻孔深 645 m,岩心采取率 98.0%,满足地质要求。获得以下成果:

(1)该区域软土覆盖层使用绳索取心工艺,取心质量好、施工效率高。

(2)在软土覆盖层中取心钻进,不需要高转速、大压力。

(3)回次进尺与内管长度之比要根据地层情况调整,防止打捞器钢丝绳断裂。

(4)钻头内径要根据地层变化调整,避免堵心、磨心。

(5)冲孔循环尽量避开砂层。进入造浆地层后,循环泥浆时要活动钻具。

(6)立轴式岩心钻机钻速高,进尺快。但孔深钻具重,限制了进尺深度。

3.3 ZK02 孔施工

根据 ZK01 孔和 ZK03 副孔的施工经验和解决的技术难题,开始 ZK02 孔的施工。采用 TSJ2000/435 型水源钻机、绳索取心工艺。钻进参数如表 5 所示。

表 5 ZK02 孔钻进参数

Table 5 Drilling parameters of ZK02 Hole

孔段/m	孔径/mm	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	流量/(L·min ⁻¹)	泵压/MPa
0~35	273	5	85	170	0.0
35~214	127	10	140	100	0.1
214~707	127	15	140	100	0.5
707~1390	127	20	140	117	1.6
1390~1769	127	35	140	117	1.9

为解决施工中遇到的问题,调研了相关绳索取心工艺的设计和使用案例^[16-21],对钻探设备及器具进行了局部改动。

(1)采用加强型 CHD127 绳索取心钻杆,钻杆管体为 $\varnothing 114.3$ mm \times 6.35 mm,接头外径 120 mm、内径 101 mm;钻杆螺纹扭矩大于 2×10^4 kN·m;钻杆定尺长度 4.5 m/根。钻杆体两端墩粗,并进行调质热处理;钻杆体公扣螺纹进行表面热感应处理,提高螺纹的耐磨性及连接强度。

(2)CHD127 绳索钻具加 3 mm 塑料内衬管,采用二阶体复合片钻头(外径 127 mm,内径 68 mm,唇面 29.5 mm)的效果最好。如图 3 所示。

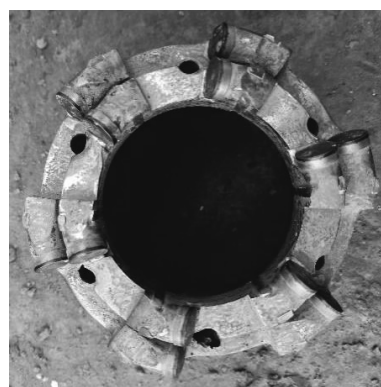


图 3 二阶体复合片钻头

Fig.3 Two-order polycrystalline diamond compact drill bit

(3)提引工具方面,考虑安全性和实用性,钻杆提升用 $\varnothing 89$ mm 石油钻杆专用吊卡,吊卡载荷可达 1500 kN,配吊卡提引接头。

(4)为适应拧卸 CHD127 绳索钻杆需求,将 Q-114 型液压动力钳的钳口进行结构改进,以适应钻

杆最大外径尺寸 122 mm。

(5)改变 JS245 夹持器的结构,安装在钻机转盘上,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,将卡瓦放入夹持器内,夹持绳索钻杆,满足上下钻需要。改装后的夹持器与转盘如图 4 所示。

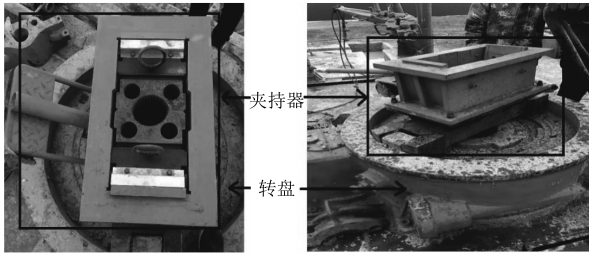


图 4 改装后的夹持器与转盘

Fig.4 Modified clamps and rotary table

(6)将钻塔二层工作平台高度下移 1 m,以满足摆放 18 m 长立根的工作需要。

孔径 $\Phi 127$ mm 钻进至 1000 m 深度时,发生塌孔埋钻事故,孔内钻具卡在 707 m 深度。使用 $\Phi 146$ mm 绳索钻具扩孔至 702 m 套取出钻具后。对比前期地层岩样,使用 $\Phi 200$ mm 刮刀钻头扩孔至 214 m,下入 $\Phi 219$ mm 套管 12 m、 $\Phi 180$ mm 套管 202 m,未用水泥封固。至 1730 m 深处钻遇粗砾硬岩,根据地质判断,至 1769 m 完钻。ZK02 孔下入 214 m 套管,其余为裸孔段,最终孔身结构如图 5

所示。

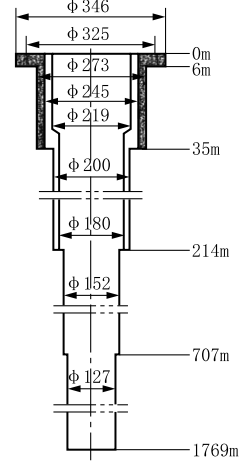


图 5 ZK02 孔最终孔身结构

Fig.5 Final borehole structure of ZK02 Hole

通过 ZK02 孔的实施,摸索出适用于该区域软土覆盖层的优质低固相泥浆体系、无固相泥浆体系的材料配比和性能参数。该孔的顺利完成,验证了水源钻机在超深土层、绳索取心钻进、大孔深长裸眼孔身结构等工艺设计的可行性和安全性,为 ZK03 孔施工打下了坚实的基础。

4 应用效果

4.1 钻进效率

统计 3 个钻孔的钻进效率如表 6 所示。

表 6 各孔钻进效率

Table 6 Drilling efficiency of each hole

孔号	深度/m	钻机型号	施工工艺	纯钻时间/h	纯钻时间占比/%	时效/m	台班效率(12 h)/m
ZK01	0~870	TSJ-1000 型水源钻机	大提钻取心钻进	664.39	30.89	1.31	4.85
ZK03 副	0~645	XY-5 型岩心钻机	绳索取心钻进	229.20	28.94	2.81	9.77
ZK02	0~604	TSJ-2000 型水源钻机	绳索取心钻进	448.42	46.71	1.35	7.55

从表 6 可以看出:

(1)ZK01 孔采用大提钻方式取心,在孔较深后提下钻耗时很多;而 ZK03 副孔和 ZK02 孔使用绳索取心方式,提下钻耗时减少很多,纯钻进时间占比比较大。

(2)ZK03 副孔采用的是岩心钻机,每回次钻进 1 m;而 ZK02 孔是水源钻机,钻进顺利情况下每回次可取心 1.5~2.5 m。因此,ZK02 孔的纯钻进时间占比要大于 ZK01 孔和 ZK03 副孔。

(3)ZK01 孔处于了解地层情况的阶段,工艺参数都在摸索,钻进效率较慢。ZK03 副孔钻进时已

了解地层情况,并且下入两层套管,孔内危险因素少,可以追求钻进效率最大化。ZK02 孔钻进时已经熟悉地层情况,并且总结了工艺参数调整规律,钻进效率要快于 ZK01 孔;由于是长裸眼孔身,需要及时调整泥浆性能、控制钻进速度以保护孔壁,所以钻进效率要低于 ZK03 副孔。

4.2 工程质量

4.2.1 取心质量

ZK01 孔岩心采取率 85.04%,ZK03 副孔岩心采取率 98.0%,ZK02 孔岩心采取率 93%。

图 6 为各孔同深度的岩心照片。可以看出,各

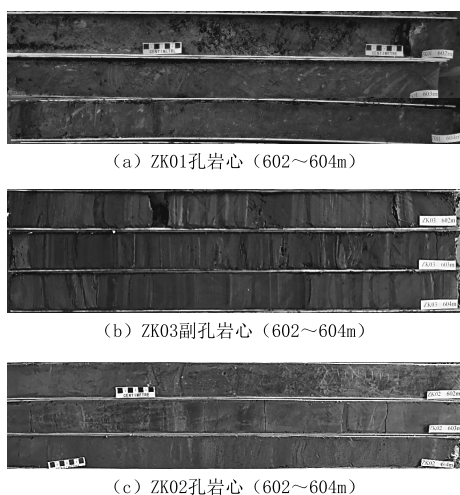


图 6 各孔岩心照片

Fig.6 Core photos of each hole

孔岩心完整,质量满足地质取样要求。

4.2.2 钻孔质量

根据测井数据,绘制了 3 个钻孔不同深度的孔径和斜度曲线,如图 7 所示。

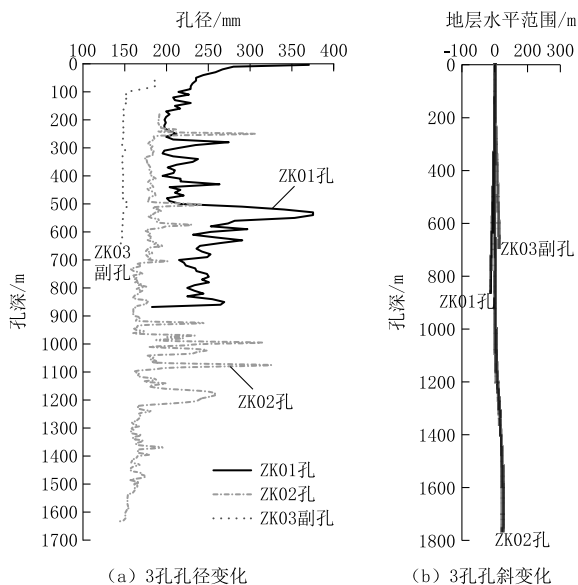


图 7 钻孔质量

Fig.7 Drilling quality

由图 7(a)可看出,ZK01 孔采用大提钻取心工艺,对孔眼刮擦和扰动较大,井壁不规则性较大;ZK03 副孔采用绳索取心工艺,且下入 2 层套管,井壁稳定性最好;ZK02 孔在 900~1200 m 处钻遇导致塌孔埋钻事故的不稳定地层,施工周期长,井壁扰动较大。

由图 7(b)可看出,3 个钻孔的垂直度很好。

ZK01 孔在最后 200 m 出现孔斜;ZK03 副孔在最后 400 m 出现孔斜;ZK02 孔穿过 1200 m 附近不稳定地层后,开始出现孔斜,但斜度不大,并逐渐回正。总体看,水源钻机施工 ZK01 孔和 ZK02 孔的钻孔垂直度要好于岩心钻机施工的 ZK03 副孔。

5 结论与建议

针对大口径、超深软土层、全孔取心、长裸眼孔段、岩土保真保量要求高等诸多难题,我院成功探索出水源钻机+绳索取心的施工方法,得到了满意的效果,为超深覆盖层取心钻进提供了宝贵的施工经验。

(1)水源钻机的回转方式和技术性能参数可以满足覆盖层连续取心钻孔的施工要求。

(2)确定了低钻压、中转速、小泵量钻进参数的选择,合理控制回次进尺可以提高岩心采取率。

(3)针对软土覆盖地层,采用二阶体复合片钻头(外径 127 mm,内径 68 mm,唇面 29.5 mm)的效果最好。

(4)使用加强型 CHD-127 绳索取心钻杆,钢材经热处理后达到 ZT850 钢级,定尺长度 4.5 m。钻杆体两端墩粗后调质热处理,消除墩粗时产生的内应力,并达到原组织状态。钻杆体公扣螺纹进行表面热感应处理后,耐磨性及连接强度得到很大提高。

(5)改变 JS245 夹持器的结构,安装在钻机转盘上,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,将卡瓦放入夹持器内,夹持绳索取心钻杆,满足上下钻需要。

针对岩心有夹泥皮现象、回次结束卡断岩心困难问题,ZK03 孔施工将进行自动化加压送钻改造、优化卡簧工作机制等探索研究。

参考文献(References):

- [1] DZ/T 0027-2010,地质岩心钻探规程[S]. DZ/T 0027-2010, Geological core drilling regulations[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. ZHU Zhitong, WU Xiaolong, DONG Xiangyu, et al. Large diameter coring technology for shale oil exploration in Songliao Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 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. LUO Guanping. Application research on wire-line core drilling

- technology for deep drilling in salt mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 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.
ZHANG Qinghai. Drilling technology for thick overburden in the northern mining belt of Xiaolinling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(10):53-57.
- [5] 苏厚斌,马晓鹏,郑尊岐,等.山东招远水旺庄3000m科学钻探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.
SU Houbin, MA Xiaopeng, ZHENG Zunqi, et al. Accident prevention technology and control effect of 3000m scientific borehole in the Shuiwangzhuang Mining Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 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.
LÜ Liqiang. Application of wireline core drilling technology in the large-diameter and ultra-deep potash survey well MK-3 in southwestern Yunnan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 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.
MA Xiuchun. Application of wire-line coring technology in Well Tongdi-1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(10):40-44,52.
- [8] 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 3000m deep scientific drilling borehole in Jiama, Tibet[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 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.
CHEN Shixun, ZHAI Yufeng, WANG Luzhao, et al. Enlightenment to deep drilling technology from scientific drilling in Luobusha of Tibet[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(11):1-3,9.
- [10] 杨芳,陈师逊.深部地质钻探钻孔结构与施工分析[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.
- [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.
LIU Lin, CHEN Yufu, LI Bo, et al. A simple talk about scientific drilling in complex layer idea[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 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.
ZHANG Zheng, ZHU Hengyin. Selection principles and configuration optimization of the key equipments in deep drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(9):17-20.
- [13] 贾长城,刘春生,秦沛.深孔大口径绳索取芯钻进设备与机具[J].西部探矿工程,2016,28(11):34-37,40.
JIA Changcheng, LIU Chunsheng, QIN Pei. Deep-hole and large-diameter wireline coring drilling equipment and tools[J]. West-China Exploration Engineering, 2016,28(11):34-37,40.
- [14] 连云港黄海勘探技术有限公司.产品展示厅[EB/OL].[2020-07-27]. <http://www.hh-jx.com/productMechanics/5/>.
Lianyungang Huanghai Exploration Technology Co., Ltd. Product Exhibition Hall[EB/OL]. [2020-07-27]. <http://www.hh-jx.com/productMechanics/5/>.
- [15] 石家庄煤矿机械有限责任公司.产品中心[EB/OL].[2020-07-27]. <http://www.smjgs.com/classlist.asp?bigclass=99>.
Shijiazhuang Coal Mining Machinery Co., Ltd. Product Center[EB/OL]. [2020-07-27]. <http://www.smjgs.com/classlist.asp?bigclass=99>.
- [16] 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(4):15-23,39.
LI Xinmen, LI Kuan, SUN Jianhua, et al. Development and application of wire line coring tool and diagnosis of ultra-deep hole drilling problems[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(4):15-23,39.
- [17] 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.
YAO Tongbao, ZHANG Chunlin, LIU Xiaogang. Application of large-diameter wire-line coring barrel in thick soft coal[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(12):25-28.
- [18] 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.
LI Xiaohui, CHENG Lin, LI Yanli, et al. Study on large diameter wire-line coring tool in deep hole and soft formation drilling and the application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(12):49-52.
- [19] 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.
YIN Guoming, LANG Meng, CHEN Zhieng, et al. Development of wire-line drilling tools for complex formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):63-67.
- [20] 张芳寅,闻义.浅谈绳索取芯钻机在复杂岩层中的施工方法[C]//江西省地质学会2018年论文汇编(二).南昌:江西省地质学会,2018:67-69.
ZHANG Fangyin, WEN Yi. On the construction method of wireline coring rig in complex rock stratum[C]//Compilation of papers of Jiangxi Geological Society in 2018(2). Nanchang: Jiangxi Geological Society, 2018:67-69.
- [21] 卢予北,吴焯,陈莹.绳索取心工艺在大口径深部钻探中的应用研究[J].地质与勘探,2012,48(6):1221-1228.
LU Yubei, WU Ye, CHEN Ying. Application of the wire line coring technique to large-diameter deep drilling[J]. Geology and Exploration, 2012,48(6):1221-1228.

(编辑 韩丽丽)