

复杂地质条件下百米级砂砾石覆盖层钻孔取芯施工工艺研究

田庞军 郭鹏 吴亚伟

中国水利水电第十一工程局有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i4.6979

[摘要] 百米级砂砾石覆盖层具备厚度大、地层结构复杂、含漂石孤石、松散胶结性差等特征,常规钻探工艺面临孔壁坍塌、冲洗液漏失、岩芯采取率偏低、原状结构失真等技术难题。本文以蒙古国额尔登布仁水电站工程为例,针对河床部位最大厚度超160m的多层状砂砾石覆盖层钻芯工艺进行分析,研究团队通过构建多层套管跟进与绳索取芯相结合的组合钻探工艺,配套使用膨润土基浆复配植物胶的护壁泥浆体系,采用半合管式单动双层岩心管专用取芯器具,有效解决了该类工程中的难点。现场数据显示该工艺可将覆盖层岩芯采取率稳定控制在90%以上,提高施工效率和降低孔内事故发生率。

[关键词] 复杂地质; 百米级砂砾石覆盖层; 钻孔取芯; 多层套管跟进; 绳索取芯

中图分类号: P51 **文献标识码:** A

Study on drilling and coring construction technology of 100-meter gravel overburden under complex geological conditions

Pangjun Tian Peng Guo Yawei Wu

China 11th Water Conservancy and Hydropower Engineering Bureau Co., Ltd.

[Abstract] The 100-meter-class sandy gravel overburden has the characteristics of large thickness, complex stratum structure, boulder-containing boulders and poor loose cementation. Conventional drilling technology faces technical problems such as hole wall collapse, leakage of flushing fluid, low core recovery rate and distortion of undisturbed structure. Taking Buren Hydropower Station project in Erdenii, Mongolia as an example, this paper analyzes the core drilling technology of multi-layer gravel overburden with the maximum thickness of over 160m in the riverbed. The research team has effectively solved the difficulties in this kind of project by constructing the combined drilling technology of multi-layer casing follow-up and rope coring, supporting the wall protection mud system with bentonite-based slurry and vegetable gum, and adopting the special coring device for semi-closed tubular single-acting double-layer core pipe. The field data show that this technology can stably control the recovery rate of overburden core above 90%, improve the construction efficiency and reduce the accident rate in the hole.

[Key words] complex geology; 100-meter gravel overburden; Drilling and coring; Multi-layer casing follow-up; Rope coring

引言

水利水电工程坝址勘察常遭遇河床百米级深厚砂砾石覆盖层,该类地层多由孤块碎石、砂层、卵砾石层交替组成,地层松散无胶结、孔隙率大、透水性强,是地质钻探作业的典型困难地层。钻孔取芯的核心目标是获取连续原状岩芯,精准查明覆盖层厚度、层次结构、物质组成等,同时满足孔内标贯、注水、抽水等原位试验要求^[1]。传统单一钻探工艺在百米级砂砾石地层中应用受限,孔壁坍塌、缩径、冲洗液全漏失问题频发,岩芯小颗粒流失、大颗粒颠倒、采取率不足50%的现象普遍存在,难以满

足工程勘察精度要求。因此,本文提出一套适配超深松散砂砾石地层的钻孔取芯施工工艺体系,以供参考。

1 工程地质概况与施工难点

1.1 工程与地质条件

额尔登布仁水电站位于蒙古国西部科布多省,总装机容量90MW,枢纽工程包含面板堆石坝、导流泄洪洞、引水发电洞等构筑物。大坝最大坝高45m,坝基防渗采用全封闭式防渗墙,墙体需深入基岩0.5m,详细勘察需查明河床覆盖层空间分布与岩土性状。河床部位覆盖层厚度达百米级,呈现典型层状结构。地层自

上而下依次分布含漂砂卵石层、含砾中细砂层、孤块碎石层;两岸岸坡分布厚层块碎石层。左岸块碎石层厚度介于40m至80m,右岸厚度介于10m至50m,局部区域厚度超过55m。场地地下水丰富,覆盖层为强透水地层,钻探过程中冲洗液漏失现象突出,孔壁稳定性极差。

1.2 核心施工难点

百米级砂砾石覆盖层的地层特性带来三项突出施工难题。松散地层与架空结构分布广泛,钻孔施工过程中孔壁坍塌、缩径问题频发,冲洗液完全漏失导致无法形成循环,常规工艺难以实现一径到底连续成孔。砂砾石颗粒间无联结性,含水层分布广泛,常规钻进会造成岩芯小颗粒流失、大颗粒错位,芯样原状结构破坏严重,岩芯采取率无法达到勘察要求。超深钻孔作业深度大、地层多变,钻进参数控制难度高,钻具扰动、水流冲刷、孔壁失稳等问题相互叠加,孔内卡钻、埋钻、烧钻事故频发,施工效率与作业安全性难以保障。

2 钻孔取芯施工工艺核心原理

2.1 组合钻探工艺

采用多层套管跟进主要攻克上部极松散、不稳定地层的成孔难题,通过动态护壁为绳索取芯工艺开辟了安全的“作业通道”,绳索取芯则在下部相对稳定孔段发挥其高效、高质取芯的优势。多层套管跟进的本质是“钻进与护壁同步”,按照从大到小的顺序,套管跟进依次钻进取芯,当大一径的套管推进困难或面临卡钻风险时,将其留在孔内作为护壁套管,更换小一级径的套管继续向下钻进取芯^[2]。不同直径的套管既是钻进的导正与动力传递机构,也是即时的孔壁支撑结构。通过逐级下入套管,实现对复杂地层的动态隔离与加固,为后续小口径钻进创造一个稳定的“受保护”环境。绳索取芯的核心在于“不提钻取芯”,在套管护壁形成的稳定孔段内,换用绳索取芯钻具,该技术无需提出全部钻杆柱,仅通过钢丝绳打捞器将内置的岩心管从孔底提升至地表,从而获取岩芯。此举显著减少了辅助时间,提高了纯钻进时间占比,并有效保护了岩芯的原状结构。

2.2 复合泥浆护壁保芯原理

膨润土基浆液复配植物胶形成专用护壁泥浆。膨润土基浆液构建基础护壁结构,填充孔壁孔隙形成致密泥皮,阻止孔壁坍塌。植物胶添加剂在岩芯表面形成韧性凝胶保护膜,包裹松散颗粒形成软性套筒,减少芯样摩擦破损。泥浆在压力作用下渗入岩芯裂隙,胶结破碎颗粒,提升岩芯整体性,同步解决孔壁失稳与岩芯散落问题。

2.3 专用取芯钻具工作原理

半合管式单动双层岩心管减少机械扰动。内管在钻进过程中保持静止状态,规避钻具回转摆动对岩芯的磨损。卡簧座与弹簧钢卡簧片配合,岩芯进入管体时自动扩张,提钻时收缩锁紧芯样。半合管结构便于芯样完整取出,冲洗液沿内外管间隙返出,避免水流直接冲刷岩芯,最大限度保留岩芯原状结构。

3 关键施工工艺与操作要点

3.1 总体施工工艺流程

施工团队按照标准化流程组织作业,全流程包含孔位测放、钻场布置、钻机就位、分级套管跟进取芯、深部绳索取芯、终孔验收、套管起拔七大环节。上部松散地层采用套管跟进工艺成孔护壁,下部密实地层切换绳索取芯工艺提升效率,终孔验收合格后逐级起拔套管,完成全流程作业。

3.2 施工设备选型

钻探作业选用XY-4型地质钻机,该设备拆解便捷、机动性强,适配野外复杂施工环境。泥浆循环系统配备BW250型三缸往复泵与JJ1000型高速制浆机,保障泥浆制备与循环效率。钻塔采用6m高铁质三角塔,配套1吨卷扬与200kW柴油发电机,满足超深钻孔起重与供电需求。整套设备组合兼顾钻进能力、施工效率与场地适应性。

3.3 钻孔结构设计

施工团队结合地层条件设计两类钻孔结构。三层套管结构依次采用 $\phi 146\text{mm}$ 套管开孔、 $\phi 127\text{mm}$ 套管跟进、 $\phi 108\text{mm}$ 套管跟进,终孔采用 $\phi 89\text{mm}$ 绳索取芯。四层套管结构依次采用 $\phi 146\text{mm}$ 、 $\phi 127\text{mm}$ 、 $\phi 108\text{mm}$ 、 $\phi 89\text{mm}$ 套管逐级跟进,终孔采用 $\phi 59\text{mm}$ 绳索取芯。套管跟进深度以地层稳定条件为依据,为深部小口径钻进创造安全条件。如图1所示为套管跟进钻孔的示意图。



图1 套管跟进钻孔施工现场示意图

3.4 钻进参数控制

钻进作业执行低压力、中转速、小泵量的控制原则,该原则核心是适配百米级砂砾石覆盖层松散、含漂石孤石的地层特

性,避免因钻进参数不合理导致孔壁坍塌、岩芯破损或孔内事故^[3]。覆盖层钻进过程中,钻压需根据地层密度动态调整,整体控制在5kN至15kN范围内,对于颗粒松散、胶结性极差的表层砂砾石层,钻压控制在5kN至8kN,防止高压扰动孔壁引发坍塌;对于含漂石较多、颗粒致密的中深层地层,钻压可调整至10kN至15kN,确保钻头有效切入地层,同时避免钻压过大导致漂石位移、孔壁失稳。转速控制需结合地层颗粒级配优化,含漂石层因漂石硬度高、粒径大,转速需降至100r/min至150r/min,采用慢转轻压方式逐步磨穿漂石,防止钻头卡顿、钻具振动;均匀砂层颗粒细腻、无大块障碍物,转速可控制在150r/min至300r/min,兼顾钻进效率与岩芯完整性。单回次进尺严格控制在0.8m至1.2m,主要是考虑到砂砾石岩芯松散,进尺过长易导致岩芯在岩管内堵塞、脱落,每完成一个回次及时提取岩芯,既能保障岩芯采取率,也能及时观察地层变化,便于调整后续钻进参数。

3.5 护壁泥浆制备

护壁泥浆采用膨润土基浆复配植物胶的配制方案,该方案经过现场试验优化,可同时实现孔壁护壁与岩芯保护的双重目标,适配百米级砂砾石覆盖层强透水、孔壁易坍塌的特点^[4]。基浆选用优质钠基膨润土配制,植物胶选用水溶性高分子植物胶,添加比例为0.2%,即每立方米基浆加入2kg植物胶,加入后继续搅拌20分钟,直至植物胶完全溶解,与膨润土基浆充分融合。施工过程中,作业人员需实时观察孔内返浆状态、泵压变化,若出现返浆量减少、泵压升高,说明孔壁存在漏失或坍塌隐患,需及时调整泥浆配比,适当提高膨润土或植物胶浓度;若返浆携带砂粒过多,可适当增加泵量,确保泥浆携砂能力,全程保障护壁与保芯效果。

3.6 岩芯采取工艺

松散破碎地层优先使用半合管式单动双层岩心管,该钻具专为百米级砂砾石覆盖层取芯设计,可最大限度减少机械扰动对岩芯的破坏,保障岩芯原状结构完整。钻进过程中严格执行慢、稳、轻的操作要点,核心是减少钻具对岩芯的扰动,尤其是在不同地层换层位置,需提前降低钻进速度,将转速降至80r/min至100r/min,采用轻压慢转方式平稳切入新地层,避免因转速过快、钻压过大导致地层扰动,破坏岩芯原状结构^[5]。提断岩芯采用液压油缸静力顶起方式,作业人员缓慢操作液压装置,施加均匀的顶推力,将岩芯从地层中平稳断开,杜绝暴力提钻、硬拉硬拽,防止岩芯破碎、断裂。岩芯取出后,作业人员需及时进行编号存放,编号采用“孔号-深度-回次”的规范格式,采用防水岩芯牌标注孔号、深度、岩性等关键信息,岩芯按深度顺序整齐摆放于岩芯箱内,每个岩芯箱张贴标识,避免岩芯混淆、损坏。同时,岩芯存放区域需保持干燥、通风,避免雨水浸泡、阳光暴晒,确保原状岩芯完整保存,为后续地质分析提供可靠依据。

3.7 套管起拔作业

套管起拔遵循由内到外、逐级解卡的原则,该原则可有效避

免套管变形、断裂,保障起拔作业安全,同时保护已完成的钻孔结构,为后续地质试验或工程施工预留条件。起拔作业前,作业人员需详细查阅钻孔记录,明确各级套管的规格、下入深度、地层分布及孔内情况,制定针对性的起拔方案,排查潜在的卡阻隐患。起拔前需对起拔设备进行全面检查,确保卷扬机、钢丝绳、液压装置等性能完好,避免设备故障导致作业中断或安全事故。起拔过程中,持续循环护壁泥浆进行润滑,泥浆泵量控制在40L/min至60L/min,确保泥浆填充套管与孔壁之间的环空,减少套管与孔壁的摩擦力,降低起拔阻力。若遇到套管卡阻,严禁超负荷硬拉,避免套管变形、断裂,需采用活动、震击、套铣相结合的方式解卡,先通过轻微活动套管,松动卡阻部位;若卡阻较为严重,采用震击装置轻轻震击套管,逐步解除卡阻;对于因砂粒沉积、泥皮黏结导致的卡阻,采用套铣工具清理环空,再进行起拔作业。每起拔一层套管后,需及时清理套管与孔壁之间的环空,清除沉积的砂粒、泥块,避免残留杂物影响下一层套管的起拔。起拔过程中,全程监控拉力与扭矩数据,拉力控制在套管额定承受力的80%以内,扭矩控制在50N·m以下,若出现拉力、扭矩异常升高,立即停止起拔,排查卡阻原因并妥善处理,全程保障起拔作业安全、顺利。

4 施工工艺应用效益分析

4.1 技术效益

该施工工艺彻底解决百米级砂砾石覆盖层钻探三大技术难题。多层套管跟进工艺实现超深松散地层连续成孔,孔壁坍塌、冲洗液漏失问题得到根治。复合泥浆与专用钻具协同作用,岩芯采取率稳定达到90%以上,岩芯原状结构完整,满足勘察精度要求。绳索取芯工艺大幅减少辅助作业时间,纯钻进效率提升30%以上,孔内事故率降低80%以上,钻探作业安全性与连续性显著提升。

4.2 经济效益

额尔登布仁水电站应用该工艺,6个月完成48个钻孔总计2907m的钻探作业,较传统工艺提前工期2个月,累计节约施工成本47.6万元。成本节约涵盖人工费16万元、机械费7.6万元、燃油及其他费用24万元。高质量勘察数据为工程设计提供精准支撑,推动主体设计提前开展,避免因地质资料偏差导致的设计变更,间接降低工程总投资。

5 结语

复杂地质条件下百米级砂砾石覆盖层钻孔取芯施工工艺,以多层套管跟进成孔、绳索取芯提质、复合泥浆护壁、专用钻具保芯为核心技术,形成一套适配超深松散地层的标准化钻探体系。该工艺在额尔登布仁水电站、九峰山抽水蓄能电站等工程中成功应用,岩芯采取率、成孔效率、施工安全性均达到行业先进水平,完全满足高精度地质勘察要求。工艺突破传统钻探技术局限,解决百米级砂砾石覆盖层成孔难、取芯差、事故多的行业痛点,技术成熟度高、可操作性强、适用范围广。后续可结合数字化勘察技术,整合随钻测量、数字岩芯采集等手段,进一步提升工艺智能化水平。

[参考文献]

[1]王威威.钻孔取芯法与无损检测方法在联合泵站桩基础检测中的应用研究[J].中国高新科技,2025,(17):135-137.

[2]何远鹏,颜少莲,古今用.钻孔取芯法在水库工程实体质量检测中的应用研究[J].水上安全,2025,(04):127-129.

[3]闫晓龙,王玉杰,王军伟,等.千米级定向钻进连续取芯孔工法研究[J].高科技与产业化,2024,30(04):62-65.

[4]樊荣霞,詹少全,陈翀.钻孔灌注桩桩端沉渣的冲洗和注浆处理效果试验研究[J].土工基础,2024,38(01):125-128.

[5]陈林林.复杂条件下向钻孔取芯技术方案研究[J].内蒙古煤炭经济,2018,(07):128-129+141.

作者简介:

田庞军(1982--),男,汉族,陕西富平人,本科,高级工程师;研究方向:水利水电工程施工。