

极端地质条件下绳索取芯钻探工艺优化与应用

侯振文 白宝云

青海省核工业放射性地质勘查院 青海 西宁 810001

摘要: 极端地层绳索取芯钻探常遇到塌孔、进尺慢、取芯质量差、设备故障率高等难题。本文从破碎松散、高地应力、坚硬研磨性地层的钻探特点出发,把传统工艺的问题掰开分析。通过优化钻进参数、改良钻具结构、重构冲洗液体系、完善辅助施工工艺,形成一套适合极端地质的综合钻探方案。现场对比试验证实,优化后的工艺能有效提高取芯率和钻进效率,增强孔壁稳定性,降低施工成本,能给复杂地层钻探提供可靠的技术支持。

关键词: 极端地质条件;绳索取芯钻探;工艺优化;应用

引言: 绳索取芯钻探效率高、损耗低、岩芯完整度高,是地质勘探的核心工艺。可到了极端复杂的地层里,传统固定参数、通用钻具加上单一冲洗液的施工模式就不太灵了,很容易出现孔壁坍塌、钻具卡住、漏芯堵芯这些问题,严重影响钻探质量和进度。针对各类极端地层的钻探难点,本文对工艺做了系统性优化,并通过现场应用验证优化效果,想攻克复杂地层钻探的技术瓶颈。

1 极端地质条件绳索取芯钻探技术基础与工况分析

1.1 绳索取芯钻探核心技术原理

(1) 绳索取芯钻探的设备主要有钻杆、取芯器、打捞器、导向装置这些。施工时钻杆一直下到孔里,不用整体提上来,靠钢丝绳打捞系统来完成内管总成的投放和捞取,钻探流程简化了不少。(2) 核心工艺分三步:钻进、捞芯、投管。钻进时内管把岩芯隔开,防止被冲刷破坏;捞芯时用打捞器锁住内管总成,快速提出来取出岩芯;投管靠重力和水力把内管精准送回原位,保证连续钻进。(3) 这项技术在常规地层里优势很明显:不用频繁提钻,辅助作业时间短,岩芯完整、取芯率高,设备损耗小,施工连贯性强,综合钻探效率比传统取芯工艺高出一大截。

1.2 极端地质条件分类及钻探特性

(1) 破碎松散地层:岩土结构松、胶结差,钻探时容易塌孔、岩芯脱落漏芯,孔壁很容易失稳坍塌,钻孔成型质量受很大影响。(2) 深孔高地应力地层:地层应力复杂,容易引发孔斜偏差;深部高压环境会加剧钻具摩擦损耗,钻井液返排阻力大、排渣不干净,增加施工风险。(3) 坚硬致密及研磨性地层:地层硬度高、磨蚀性强,钻头切削阻力大,钻进速度慢;而且钻头磨损快、容易崩齿,大大缩短了钻具的使用寿命^[1]。

1.3 极端地质下传统钻探工艺现存问题

(1) 传统钻探多用固定参数,不根据地层实时变化来调,在软硬交替、岩性多变的极端地层里参数匹配度低,很容易钻进卡顿、进尺慢,整体效率低下,工期耽误得厉害。(2) 传统钻具通用性强、针对性弱,对付极端复杂地层的能力不够。在破碎、坚硬地层施工时,容易发生钻具卡住、岩芯堵死、弹卡机构卡滞失效等故障,动不动就停钻、返工,严重打乱施工节奏。(3) 传统冲洗液配方单一、性能有限,在极端地层里容易泥皮过厚、孔底沉渣堆积,带岩排渣的能力跟不上需求。另外护壁、堵漏性能也不够,没法有效稳住松散的孔壁,很容易引发塌孔、漏失这些事故。

2 极端地质条件绳索取芯钻探工艺优化设计

2.1 钻探工艺参数优化

(1) 针对极端地层钻进参数匹配不合理、效率偏低的问题,对钻进压力、转速、泵量这三个核心参数做了正交试验。以取芯率、钻进效率、孔壁稳定性为评价指标,放弃传统单一参数调试的老路子,通过多因素、多水平的正交试验,系统分析各参数单独以及互相叠加强对钻探施工的影响,挑出最优的参数组合,给参数标准化提供数据支撑,避免盲目调试带来的风险。(2) 结合破碎松散、高地应力、坚硬研磨性这三类极端地层的钻探特性,做了参数阈值界定研究。通过试验和现场工况复盘,确定不同地层对应的钻压、转速、泵量的上下限,把参数配比关系优化好。破碎地层用低压、低转速、适中泵量;坚硬地层用高压、低转速、大泵量;深孔高地应力地层用稳压、匀速、稳流,让参数和地层特性精准对上^[2]。(3) 设计了一套动态钻进参数调控方案,解决地层岩性突变引发的卡钻、塌孔、取芯失效问题。依托实时工况监测数据,建立参数动态调节机制,在地层由软变硬、由完整变破碎的突变节点,自动微调钻压、转速和泵量,避免固定参数不好用的问题,保证复杂地层

过渡段钻探作业的连续性和稳定性。

2.2 钻具结构适配优化

(1) 优化钻头结构, 针对不同极端地层做定制化改造。对于坚硬研磨性地层, 优化钻头的齿型、布齿密度和保径结构, 增强耐磨性和切削能力, 让钻头磨损慢下来; 对于破碎松散地层, 优化钻头的水口和头部结构, 减小冲洗液对孔壁和岩芯的冲刷扰动, 避免岩芯碎掉、跑掉, 大大提高钻头对各类极端地层的适应能力。(2) 对岩心管和弹卡机构做专项优化, 解决施工中顶死、掉芯频发的问题。调整岩心管的内径结构和长度配比, 提高岩芯容纳的稳定性, 减少岩芯被挤碎、脱落的情况; 改进弹卡结构的材质和开合行程, 优化锁紧力度和灵活性, 避免弹卡卡滞、失效、顶死, 提高捞芯、取芯的成功率, 从结构上把掉芯、漏芯问题卡住。(3) 改进钻具的减阻和防堵结构, 适应深孔复杂作业条件。在钻杆外壁加装减阻防滑结构, 降低深孔高压下钻具和孔壁的摩擦阻力, 减少钻具磨损和孔壁扰动; 优化内管总成的导流结构, 扩大岩芯通道空间, 防止岩屑堆积造成堵芯、堵管, 有效降低深孔钻探中卡钻、堵芯这类故障的发生概率, 提高深孔作业的稳定性^[3]。

2.3 冲洗液体系优化配置

(1) 优化低固相防坍塌冲洗液配方, 用优质膨润土、聚合物添加剂复配改良, 降低固相含量, 减少泥皮过厚的问题。改良后的冲洗液护壁性和流动性都不错, 能在孔壁上形成一层薄而致密的保护膜, 有效约束松散地层的岩土颗粒, 防止孔壁塌掉, 同时减少对岩芯的冲刷损伤, 保证岩芯完整。(2) 针对地层漏失和破碎难题, 制定冲洗液堵漏、护壁改良方案。往里加惰性堵漏材料和韧性护壁添加剂, 提升冲洗液封堵裂隙的能力, 能快速把地层裂隙、孔隙填上, 有效解决破碎地层冲洗液漏失的问题; 同时增强胶结护壁效果, 把松散的孔壁岩土结构稳住, 避免因冲洗液流失、孔壁软化引发塌孔。(3) 把冲洗液的关键指标控制标准定清楚, 严格管住黏度、失水量、密度这些核心参数。根据不同地层工况, 划出参数控制区间, 保证黏度适中, 既能把岩屑带上来, 又不影响流动性; 把失水量控制在标准范围内, 防止孔壁失水软化、松散坍塌。通过标准化参数管控, 保证冲洗液性能稳定, 能适应极端地质钻探的施工要求^[4]。

2.4 取芯辅助工艺优化

(1) 优化孔壁加固与预支护辅助工艺, 针对破碎、松散、容易塌的地层, 在正式钻进前先做孔壁预处理。用低压注浆、护壁加固这些方式, 把孔壁裂隙填上、松散岩土体固结住, 提高孔壁整体稳定性, 从源头上减少

塌孔、孔壁剥落的问题, 给后续取芯钻进提供一个安全的作业环境。(2) 优化捞芯、投管作业流程, 把标准操作工序规范好。精简掉多余的步骤, 定好投管、捞芯的速度和力度标准, 统一作业规范; 把工序衔接理顺, 缩短作业间隔时间, 减少孔内裸露的时长, 降低孔壁失稳的风险。同时把故障应急处理流程也规范起来, 针对捞芯卡住、投管不到位这些问题, 制定快速处置方案, 大大提升辅助作业效率和施工的连贯性。

3 极端地质条件下绳索取芯钻探优化工艺工程应用与效果验证

3.1 工程概况与试验方案

(1) 本次现场试验选在了一处地质条件复杂的山区钻探工程区域, 试验区里涵盖了三种典型极端地层。上部是破碎松散的砂卵石地层, 结构胶结差、裂隙多, 塌孔、漏芯风险大; 中部是深孔高地应力地层, 埋得深、围岩压力复杂, 容易孔斜、返排不畅; 下部是坚硬致密的研磨性岩层, 岩体硬、磨蚀性强, 传统钻法效率极低。整个区域地层稳定性差、干扰因素多, 算是极端地质钻探难题的典型代表。(2) 根据优化工艺的施工需要, 配齐了配套的钻探设备, 选用了高性能绳索取芯钻机, 搭配优化后的耐磨钻头、防堵岩心管和改良弹卡机构, 还配了可调式泵送系统和高精度参数监测设备。施工前完成了设备调试、孔位勘测、机具检修和冲洗液配比试验, 同时对施工人员做了专项操作培训, 把优化工艺的操作标准规范好, 排查设备隐患, 保证现场试验能顺利开展。(3) 这次试验用了对照组的方案, 设了传统工艺施工组和优化工艺施工组, 在相同的地层、孔深和施工环境下做对比。评价指标主要看岩心收获率、岩心完整性、钻进效率、孔壁稳定性、施工故障率以及施工成本, 全面验证参数优化、钻具改造、冲洗液改良和辅助工艺优化的综合效果, 给工艺推广提供实测数据支撑。

3.2 现场施工工艺实施流程

(1) 施工前期, 严格做孔位校准和孔壁预处理。根据勘测数据把钻孔位置定准, 校正垂直度, 从源头上避免孔斜。针对破碎、松散、容易塌的地层, 用预支护、低压裂隙封堵等预处理方法, 把孔壁的孔隙和裂隙填上, 固结松散的岩土体, 提高孔壁整体稳定性, 把浅层地层的隐患消除掉, 为后续深部钻进打好基础。(2) 正式施工阶段, 全面用上优化后的成套工艺。根据不同地层, 实时匹配最优的钻压、转速、泵量, 把动态参数调控方案落实到位; 投入新的适配钻具, 用改良后的钻头、防堵岩心管和优化弹卡机构来取芯; 使用改良的低固相护壁冲洗液, 严格把控黏度、失水量这些关键指

标,实时根据孔内情况微调冲洗液性能,保证钻进、携岩、护壁一体化作业效果^[5]。(3)针对极端地质施工中常见的卡钻、塌孔、堵芯、冲洗液漏失等突发故障,制定标准化的应急处置流程。施工中实时监测孔内情况,发现参数异常、钻进卡顿等问题,马上启动应急方案,用降压稳流、孔内清堵、二次护壁加固这些办法快速处置,避免故障扩大引发塌孔、废孔等重大事故,保证施工连续性和安全性。

3.3 施工效果对比分析

(1)岩心取芯质量提升明显。优化工艺用上以后,破碎松散地层和坚硬研磨地层的岩心收获率都大幅提高,传统工艺漏芯、碎芯、岩芯脱落的问题彻底解决了。同时岩心完整性也好了很多,岩芯破碎程度大大降低,分层清楚、结构完整,能准确反映地层的真实情况,满足地质勘察高精度取芯的要求。(2)钻进效率与施工周期改善突出。跟传统固定参数钻探工艺比起来,优化后的动态参数调控工艺适应性更强,有效减少了钻进卡顿、反复修孔这些没用的活儿。现场数据显示,单孔钻进速率明显提升,辅助作业时间大大缩短,单孔整体施工周期明显压缩,把极端地层钻进效率低的老大难问题解决了。(3)孔壁稳定性与施工可靠性大幅提升。改良后的冲洗液能形成一层致密的护壁膜,有效抑制孔壁坍塌、剥落,孔内成型质量好。同时,新型钻具结构大大降低了卡钻、堵芯、弹卡失效这些故障的发生率,施工故障率显著下降,故障停机、返工整改的情况少了,施工稳定性和安全性都得到了全面保障。

3.4 工艺适用性与经济性评价

(1)这套优化工艺地层适应性不错,能覆盖破碎松散、深孔高地应力、坚硬致密研磨性这三类典型极端地质。根据不同地层的特点,可以灵活调整参数、冲洗

液配方和辅助施工方案,把塌孔、效率低、损耗大、故障多这些难题解决掉。而且能适应不同孔深的复杂钻探工程,适用场景广,推广价值挺高。(2)从经济性上看,优化工艺前期确实要多花点钱买改良钻具和配新型冲洗液,但综合施工成本明显降下来了。钻头、钻具磨损少了,更换和维修成本跟着降;故障率极低,避免了返工、废孔造成的资源浪费;再加上施工周期缩短,人工、设备运维、工期成本都省了。整体经济效益很突出,实现了复杂地层钻探提质、增效、降本的目标。

结束语

本文针对极端地质条件下绳索取芯钻探遇到的各种施工难题,从工艺参数、钻具结构、冲洗液到辅助工艺都做了全方位优化,搭起了一套适用多种极端地层的标准化钻探体系。工程实践表明,优化后的工艺明显提高了钻探稳定性和施工效率,减少了设备损耗和施工事故,综合经济效益很好。这套工艺适应面广、实用性强,能广泛用在复杂地质钻探工程上,也给同类钻探技术升级做了个重要参考。

参考文献

- [1]王山海,马功社.浅析煤矿井下绳索取芯钻探技术应用效果[J].陕西煤炭,2023,7(6):29-31.
- [2]王慧源,王海东.浅析绳索取芯钻探技术的施工[J].中国科技博览,2023,21(33):342-344.
- [3]袁萌萌.浅谈绳索取芯技术在矿区钻探施工中的应用[J].建筑工程技术与设计,2023,10(33):177-180.
- [4]吴治南,田少雄.绳索取芯钻进工艺的应用与改进[J].煤矿机械,2023,44(2):98-99.
- [5]郭朝锋,薛磊.绳索取芯钻进工艺在水文地质勘察孔钻探中的应用[J].能源与节能,2022,15(4):167-169.