

输电线路岩石锚杆基础钻孔效率提升与钻进参数优化研究

王凌峰 庞强强

甘肃送变电工程有限公司，甘肃省兰州市，730000；

摘要：在输电线路工程建设中，岩石锚杆基础因具备承载力强、对地形适应性好等优势，被广泛应用于山区等复杂地质条件区域。然而，岩石锚杆基础施工中的钻孔环节受地质条件复杂、钻进参数不合理等因素影响，普遍存在效率低下、成本偏高的问题，严重制约了工程建设进度。本文围绕输电线路岩石锚杆基础钻孔效率提升与钻进参数优化展开研究，首先分析影响钻孔效率的主要因素，包括岩石物理力学特性、钻进设备与工具性能、钻进参数设置等；随后从设备选型与改造、工艺改进、参数优化等方面提出针对性的效率提升路径；最后结合工程实践经验，总结钻进参数优化的具体方法与应用效果，为同类工程施工提供理论参考与实践指导。

关键词：输电线路；岩石锚杆基础；钻孔效率；钻进参数；优化策略

DOI：10.64216/3080-1508.26.01.064

引言

随着我国电力事业的快速发展，输电线路建设不断向山区、丘陵等复杂地形区域延伸。在这类区域的输电线路基础施工中，岩石锚杆基础凭借其能有效利用岩石地基承载力、减少土方开挖量、降低对生态环境破坏等特点，成为首选基础形式之一。钻孔作业作为岩石锚杆基础施工的核心工序，其效率直接决定了整个基础施工的进度，同时钻孔质量也对锚杆的锚固效果和基础的整体稳定性具有重要影响。

当前，在输电线路岩石锚杆基础钻孔施工过程中，施工单位往往面临诸多挑战。一方面，山区岩石地质条件复杂，不同区域岩石的硬度、完整性、裂隙发育程度差异较大，导致钻进阻力不稳定，易出现卡钻、偏孔等问题；另一方面，部分施工团队对钻进参数的设定缺乏科学依据，多依赖经验操作，导致钻进速度缓慢、钻具磨损严重，不仅增加了施工成本，还延长了工期。此外，传统钻进设备在适应复杂岩石地质时的局限性，也进一步加剧了钻孔效率低下的问题。

在此背景下，深入研究输电线路岩石锚杆基础钻孔效率的影响因素，探索科学合理的钻进参数优化方法，对于提高施工效率、降低工程成本、保障工程质量具有重要的现实意义。本文通过对现有钻孔施工技术的梳理与分析，结合工程实践中的常见问题，系统提出钻孔效率提升路径与钻进参数优化策略，旨在为输电线路岩石锚杆基础施工提供可靠的技术支持。

1 输电线路岩石锚杆基础钻孔效率影响因素分析

1.1 岩石物理力学特性

岩石物理力学特性是影响钻孔效率的核心。岩石硬度直接决定钻具与岩石的作用强度，硬度越高，钻具破碎岩石需能越大，钻进速度越慢，如花岗岩、石英岩等硬质岩石钻齿磨损更快，效率远低于砂岩、页岩等软质岩石。

岩石完整性与裂隙发育程度同样关键：完整岩石结构致密，钻进受力均匀，速度稳定；裂隙发育岩石易因应力集中导致卡钻，且裂隙内填充物会增加钻具与孔壁摩擦，降低速度。此外，岩石密度、弹性模量等参数也间接影响效率，密度大、弹性模量大的岩石，钻进时弹性变形小，钻具有效破碎能量占比低，进而影响效率。

1.2 钻进设备与工具性能

钻进设备与工具是钻孔作业的物质基础。设备方面，钻机输出功率、扭矩、转速调节范围为关键指标：功率不足面对硬质岩石易停滞，扭矩过小会导致钻具打滑；山区场地不平整，若钻机底盘固定不牢，机身晃动会引发钻孔偏斜，增加钻具无效磨损。

钻具方面，钻杆与钻头的材质、结构设计影响显著：钻杆强度刚度不足易弯曲断裂，导致施工中断；钻头类型与齿形决定破碎效率，如金刚石钻头适用于硬质岩石，胎体式钻头可降低裂隙岩石卡钻风险。同时，钻具磨损会随使用加剧，破碎能力下降，若不及时更换，不仅降速还会影响钻孔质量。

1.3 钻进参数设置

钻进参数（转速、压力、冲洗液流量）的合理性对效率起决定作用。转速需匹配岩石硬度：软质岩石提转速可增钻具接触频率，提升破碎效率；硬质岩石高转速

会加剧钻齿摩擦热与磨损，还可能因钻屑堆积降速，且过高转速会增加钻杆离心力，引发振动影响垂直度。

钻进压力（轴压）直接影响钻具破碎深度：合理范围内加压可提高钻齿切入深度，加快速度；压力过大易致钻齿过度挤压岩石，增加摩擦与钻具磨损，甚至使钻杆弯曲；压力过小则钻齿无法有效切入，速度显著下降。

冲洗液流量保障作业顺利：流量不足无法及时散热与排屑，会升高钻具温度、缩短寿命，且钻屑堆积会增加重复破碎工作量；流量过大则会加大孔内液柱压力，对裂隙岩石易致冲洗液渗漏，浪费资源且可能引发孔壁坍塌。

1.4 施工环境与操作水平

施工环境与操作水平也会影响效率。环境方面，山区场地地形复杂、交通不便，设备运输安装难度大，场地平整不到位会增加钻机固定时间；高温、暴雨、大风等恶劣气候会干扰施工，如暴雨导致场地积水，会增加泥浆处理难度，降低效率。

操作水平方面，钻孔作业对人员经验技能要求高：操作人员若不了解岩石特性，无法依地质调整参数，易致参数与地质不匹配；操作不规范也会引发问题，如钻机启动不当会损坏钻齿，未及时观察冲洗液浑浊度会导致钻屑堆积，增加卡钻风险。

2 输电线路岩石锚杆基础钻孔效率提升路径

2.1 优化钻进设备与工具选型

依据岩石地质条件优化设备与工具选型，是提升钻孔效率的基础。设备选型需匹配岩石硬度与完整性：针对硬质完整岩石，选用输出功率大、扭矩高、转速调节范围广的液压钻机，其能提供稳定破碎能量，适配硬质岩石钻进需求；对于软质或裂隙发育岩石，轻便型气动钻机更合适，其机动性强、转速调节灵活，可减少设备运输安装时间，降低卡钻风险。同时，优先选择带自动找平功能的钻机，以适应山区不平整场地，减少钻机固定时间，提升施工效率。

钻具选型需结合岩石特性：莫氏硬度大于6级的硬质岩石，推荐用金刚石复合片（PDC）钻头，其硬度高、耐磨性强，能提高切削效率并延长使用寿命；裂隙发育岩石宜采用球齿形合金钻头，齿形设计可减少与裂隙直接接触，降低卡钻概率；软质岩石可选一字形或十字形合金钻头，破碎面积大，利于提升钻进速度。此外，钻杆需选高强度合金钢材质，增强抗弯曲与抗断裂能力，减少施工中断。

2.2 改进钻孔施工工艺

改进施工工艺是提升效率的关键，可从预处理、钻进方式、钻屑处理三方面推进。预处理阶段，针对裂隙发育或有夹层的岩石，钻孔前用地质雷达探测岩石结构，明确裂隙分布与夹层位置，为参数调整提供依据；表层松散岩石可预注浆加固，提高完整性，减少卡钻与孔壁坍塌风险。同时，钻孔前需平整场地，用碎石铺垫提升平整度，确保钻机固定牢固，减少机身晃动。

钻进方式优化可采用分级钻进工艺：钻孔初期（表层可能有风化层），用低压力、高转速快速穿过；中期若遇硬质完整岩石，适当提高压力、降低转速，增强钻齿切入深度；后期因钻屑排出难度增加，需提高冲洗液流量并降低钻进速度，确保钻屑及时排出。深孔（大于5m）可采用接力钻进，通过增加钻杆长度分段作业，减少钻杆弯曲变形，提升钻进稳定性。

钻屑处理需按岩石类型选冲洗液与处理方式：硬质岩石钻屑颗粒细，可用清水作冲洗液，钻孔出口设沉淀池回收钻屑，减少水资源浪费；软质或黏土质岩石钻屑易与冲洗液形成泥浆，可采用泥浆循环系统，经泥浆泵抽出泥浆，除砂器去除钻屑后循环使用，既提高排屑效率，又减少污染。

2.3 加强施工人员培训与管理

提升人员技术水平与操作规范性，是效率提升的保障。需建立完善培训体系，定期组织专业培训，内容涵盖岩石地质识别、设备工具操作、参数调整方法等，采用理论结合实践的培训方式，如现场模拟不同地质条件下的钻进作业，帮助操作人员熟悉参数调整技巧，提高应对复杂情况的能力。

现场管理需健全规范与监督制度：制定《钻孔作业操作规程》，明确钻机启动、参数调整、钻具更换等操作步骤；安排专业技术人员现场指导，实时监督操作行为，及时纠正不规范操作；建立参数记录制度，要求操作人员每小时记录转速、压力、冲洗液流量等参数，便于后续分析优化。

此外，建立合理绩效考核机制，将钻孔效率、质量与薪酬挂钩，对效率高、无质量问题的团队给予奖励，对操作不当导致效率低或质量问题的团队进行处罚，通过激励促进规范操作，提升钻孔效率。

3 输电线路岩石锚杆基础钻进参数优化策略

3.1 钻进参数优化的基本原则

优化需遵循匹配性、动态性、安全性三大原则。匹配性要求参数与岩石特性、设备性能、钻具类型适配，如硬质与软质岩石需采用不同压力、转速、流量组合；动态性指钻进中需结合实际调整参数，避免固定参数导致效率下降；安全性强调参数调整不超设备承载极限，防止孔壁坍塌等事故。

3.2 基于岩石特性的参数优化方法

硬质完整岩石：核心是保障钻具寿命并提效，转速选中等偏低水平，钻进压力用中等偏高值（依钻具类型调整），冲洗液流量设为中等（结合钻孔规格调整），平衡破碎效率与钻具损耗。

软质完整岩石：重点是提速并防钻屑堆积，转速用较高水平，压力取中等偏低值（按岩石密度调整），冲洗液流量设为较大值（根据岩石胶结程度调整），避免孔壁坍塌与钻屑堵塞。

裂隙发育岩石：关键是减卡钻、提冲洗液利用率，转速选中等水平（遇裂隙时降速），压力用中等值（依裂隙情况调整），冲洗液采用中等流量加增稠剂，配合分段冲洗清理孔底，减少渗漏与卡钻风险。

3.3 现场验证

选取山区输电线路岩石锚杆基础钻孔工程作为验证对象，该区域涵盖硬质完整、软质完整、裂隙发育三类典型岩石。验证方案采用对照设计：将施工区域划分为实验组与对照组，两组钻孔的岩石类型、分布及施工环境保持一致，确保验证公平性。对照组采用行业传统经验参数钻进，实验组则应用前文提出的基于岩石特性的优化参数钻进。施工过程中同步记录两组的操作过程与关键反馈，重点跟踪钻进过程的顺畅度、钻具状态变化及钻孔成型情况，为后续效果评估提供基础依据。

3.4 效果评估

从技术、经济、安全三个核心维度构建评估体系，全面衡量参数优化价值。技术维度除关注钻进速度、钻具损耗程度、钻孔质量（如垂直度、孔壁完整性）外，还延伸评估成孔率（一次成孔无返工比例）与锚杆锚固力，前者反映施工流畅性，后者关联基础结构安全；经济维度聚焦单位钻孔成本（含设备折旧、钻具消耗、人工投入）与整体工期，通过对比两组成本与工期差异，体现优化策略的经济收益；安全维度重点评估施工事故发生率（如卡钻、钻杆故障等）与环境影响（如冲洗液

对周边土壤、水源的影响），确保参数优化在提升效率的同时，兼顾施工安全与生态保护。

4 研究结论与展望

4.1 研究结论

本文经系统分析与现场验证，得出三点结论：其一，岩石物理力学特性、钻进设备工具性能、钻进参数设置、施工环境与操作水平是影响钻孔效率的四大核心因素，其中钻进参数需依岩石硬度、完整性、裂隙情况差异化设置，对效率提升起决定作用；其二，效率提升需从设备选型、工艺改进、人员管理协同推进，选适配钻机钻具、用分级钻进等改进工艺、提操作人员水平，可形成“设备-工艺-人员”三位一体体系；其三，基于岩石特性的参数优化效果显著，针对硬质完整、软质完整、裂隙发育三类岩石的差异化参数组合，能大幅提升钻孔效率、降低钻具损耗、改善钻孔质量。

4.2 研究展望

未来可从三方面深化研究：一是引入智能化钻进技术，开发物联网与人工智能结合的智能系统，实时采集数据并自动调参，提升优化精准度与实时性；二是探索新型环保钻进材料，研发可降解冲洗液或采用干钻技术，减少对山区生态影响；三是拓展复杂地质参数研究，针对岩溶发育区等复杂条件优化参数，完善数据库，为极端条件施工提供支撑。

参考文献

- [1] 杨海巍. 输电线路岩石锚杆基础试验与破坏模式研究[D]. 中国地质大学(武汉), 2009.
- [2] 陈兰. 输电线路基础选型及基础优化设计[J]. 广东科技, 2008(8): 3. DOI: 10. 3969/j. issn. 1006-5423. 2008. 08. 062.
- [3] HUANG Xing-huai, 黄兴怀, ZHENG Wei-feng, 等. 输电线路岩石锚杆基础的勘察现状与对策分析[C]//电力岩土工程专业经验交流会. 中国电力规划设计协会, 2014.
- [4] 侯中伟, 郑卫锋. 特高压输电线路岩石锚杆基础选型与设计[J]. 电力建设, 2014(010): 035.
- [5] 欧汇丰, 苏永强, 郑炜桦, 等. 一种特高压交流输电线路用岩石锚杆基础: CN202022192428. 4[P]. CN213417879U[2025-09-25].