

# 地质钻探技术在工程地质勘察中的实施策略探究

马 牛 贾建涛 王金昊

陕西省煤层气开发利用有限公司钻探分公司 陕西 榆林 719000

**摘 要：**地质钻探技术作为工程地质勘察的核心手段，通过机械破碎地层获取地下岩土样本及测井数据，为工程建设提供关键地质参数。随着技术发展，现代钻探已形成绳索取心、定向钻进、智能导钻等多元化工艺体系，可适应复杂地质条件下的高精度勘察需求。本文系统分析了钻探技术在不同工程场景中的实施策略，包括钻孔设计优化、钻进参数动态调控、岩芯编录标准化及多源数据融合分析等关键环节，旨在为行业技术升级提供理论支撑与实践参考。

**关键词：**地质钻探；工程地质勘察；实施；策略

## 引言

工程地质勘察是保障基础设施安全建设的基础性工作，其核心目标在于查明场地地质条件、评估工程风险并提供设计依据。传统勘察方法受限于地表观测精度，难以准确揭示地下复杂地质结构，而地质钻探技术通过直接获取地下实物样本，成为破解这一难题的关键途径。并且，随着“双碳”目标推进及新型城镇化建设加速，工程地质勘察面临深部资源开发、城市地下空间利用及生态保护等多重挑战，对钻探技术的精度、效率及环境适应性提出更高要求。

## 1 工程地质勘察中的实施策略

### 1.1 前期准备阶段策略

(1) 工程地质勘察的核心目标是明确场地地质条件对工程安全与稳定性的影响，前期需求分析需围绕工程类型、规模及地质特征展开。不同工程对地质信息的精度要求差异显著，桥梁工程需重点关注地基承载力与桩基施工可行性，隧道工程需评估围岩分级及地下水分布，高层建筑则需查明软弱下卧层与不均匀沉降风险。地质条件复杂度分级是需求分析的关键环节，需综合地形地貌、地层岩性、地质构造、不良地质作用等因素，将场地划分为简单、中等、复杂三类。简单场地以单一地层为主，地质灾害风险低；中等场地存在多层土岩交替或局部软弱夹层；复杂场地则伴随断层破碎带、岩溶发育区或高敏感性土层，需针对性强化勘察手段。(2) 孔位布设需兼顾全面性与经济性，网格法适用于地质条件均匀的场地，通过规则间距布孔实现全覆盖勘察；追踪法则针对地质异常区，沿潜在地质界面或构造线动态调整孔位，提高关键信息捕获率。孔深设计需满足工程需求与规范要求，基础工程通常要求钻至设计持力层下一定深度，特殊工程如抗浮锚杆需穿透相对隔水层<sup>[1]</sup>。孔径选择需平衡取芯需求与施工效率，大直径孔可获取完

整岩芯但成本较高，小直径孔适用于浅部勘察或辅助验证。(3) 地层-设备匹配模型需建立地层参数与钻探设备性能的关联关系，硬岩地层宜选用高转速、高扭矩的回转钻机，配合金刚石钻头实现高效破碎；软土或砂层则需低转速、大推力的冲击钻机，防止孔壁坍塌。复杂地层需采用复合钻进技术，如回转-冲击联合钻进应对卵石层，定向钻进技术穿越地下障碍物。环保型冲洗液研发需兼顾润滑冷却与生态保护，传统泥浆可能含重金属或化学添加剂，易污染土壤及地下水。新型冲洗液以植物胶、淀粉基材料为主，通过调整黏度与失水量控制孔壁稳定，使用后经简单处理即可自然降解，显著降低环境影响。选型过程中还需考虑设备可移动性、能耗及维护成本，确保技术可行性与经济合理性平衡。

### 1.2 现场实施阶段策略

(1) 开孔前需完成设备、安全及环境三方面检查，设备检查涵盖钻机稳定性、动力系统运行状态、钻具磨损程度及测量仪器精度，确保各部件连接牢固且功能正常。安全检查包括作业区域防护措施是否到位，如警示标识设置、临时围挡搭建及消防器材配备，同时核查操作人员资质与安全防护装备佩戴情况。环境检查聚焦场地平整度、排水系统通畅性及周边敏感目标分布，避免因地形起伏或积水影响钻进效率，同时规避对既有管线或建筑物的扰动风险。(2) 钻进过程监控以参数记录与岩芯管理为核心，参数记录需实时跟踪钻压、转速、泵量及钻进速度，通过对比设计值与实际值分析地层变化<sup>[3]</sup>，发现异常及时调整，以陕西省煤层气开发利用有限公司钻探分公司青龙寺项目部施工的0306DT2号定向钻孔工程为例，该孔设计主真方位角270.00°、磁偏角-4.50°，实钻过程中孔深0m处初始真方位角为212.10°，孔深6m处倾角变为-0.08°、真方位角213.57°，孔深48m处倾角降至-1.50°、真方位角215.30°，全程需实时记录倾角、真

方位角、上下偏差、左右偏差等关键参数，确保钻进轨迹可控；岩芯管理要求按顺序摆放并标注深度信息，采用专用保存箱防止污染或混淆，同时对岩芯进行初步描述，记录颜色、结构及构造特征，为后续分析提供基础资料<sup>[2]</sup>。（3）破碎带防塌孔技术采用套管护壁与化学固结双重手段，套管护壁通过跟进不同直径套管隔离不稳定地层，防止孔壁坍塌，套管连接需严密且垂直度符合要求；化学固结则向孔内注入低黏度、高强度化学浆液，渗透至破碎带裂隙中形成加固圈，提升地层自稳能力。

### 1.3 后期数据处理策略

（1）岩芯编录标准化是地质勘察数据准确性的基础保障，需建立涵盖岩性描述、影像记录与模型构建的完整流程。岩性描述需遵循统一规范，颜色记录采用标准比色卡对照，避免主观表述差异，同时标注干湿状态下的颜色变化；结构分析涵盖粒度、磨圆度及分选性，硬岩层需补充矿物组成与结晶程度，软土层则记录有机质含量与塑性指数；构造描述关注层理、裂隙及夹层特征，记录其产状、间距及填充物性质，对断层或褶皱等构造现象需单独标注空间位置与影响范围。（2）照片与三维建模结合可提升信息直观性，岩芯拍摄需固定光源与背景，采用高分辨率相机垂直拍摄并标注比例尺，对关键构造进行多角度特写。三维建模通过激光扫描或摄影测量技术生成数字模型，支持长度、角度等参数的精准测量，同时实现岩芯的虚拟拼接与旋转观察，辅助远程专家会诊与长期存档。（3）综合分析方法强调多源数据融合，将钻探揭露的地层界面与物探推断的电阻率、波速异常区进行对比，验证构造解释的可靠性，结合陕西省煤层气开发利用有限公司钻探分公司青龙寺项目部施工的0306DT1、0306DT2号钻孔实钻轨迹与设计轨迹偏差数据，0306DT1号孔孔深300m处实钻上下偏差-7.70m、左右偏差-109.67m，0306DT2号孔孔深300m处实钻上下偏差-7.01m、左右偏差-158.61m，通过对两孔上下偏差、左右偏差、水平投影、视位移等数据的融合分析，精准验证物探预测的煤层顶底板位置、地质构造分布，形成“点-面”结合的地质认知体系。

## 2 关键技术优化方向

### 2.1 智能化钻探系统

智能化钻探系统通过集成先进传感器、智能算法与通信技术，实现钻探作业全流程的自动化与智能化升级。（1）自动钻进参数调控是核心功能之一，系统依托高精度压力、扭矩、转速及振动传感器，实时采集钻头与地层的交互数据，结合地层岩性预测模型动态调整钻进参数，针对陕西省煤层气开发利用有限公司钻探分公

司青龙寺项目部施工的5-2煤定向钻探施工场景，当钻遇煤层区段时，系统参考0306DT1、0306DT2号孔实钻倾角波动规律（如0306DT2号孔孔深180~210m倾角由-1.78°降至-4.45°），自动优化钻压与转速配比；当钻遇硬岩层时，系统自动增大钻压并降低转速，优化破岩效率；在软土或砂层中则减小钻压、提高转速，防止孔壁坍塌或钻具过度磨损。参数调整过程无需人工干预，通过闭环控制算法确保钻进状态始终处于最佳区间，显著提升作业效率与岩芯采取率。（2）实时地质数据传输与分析功能依托高速通信网络实现，钻机配备的物探传感器可同步采集电阻率、声波速度等地质参数，与岩芯编录数据、钻进参数共同上传至云端平台，平台结合0306DT1、0306DT2号孔孔深、坐标、偏差等实钻数据，通过机器学习算法对多源数据进行融合分析，自动识别地层界面、断层构造及异常体位置，生成三维地质剖面图并实时推送至现场终端。分析结果不仅可指导当前钻进方向调整，还能为后续孔位布设提供依据，避免因地质信息滞后导致的重复钻进或漏勘风险。

### 2.2 绿色钻探技术

（1）低噪音低振动设备研发聚焦动力系统与钻具结构优化，通过采用电动驱动替代传统柴油发动机，从源头减少机械运转噪音；同时对钻机底座加装复合减震装置，利用橡胶与弹簧的双重缓冲作用降低振动传递，避免对周边建筑物或地下管线造成扰动。钻具设计方面，改进钻头材质与切削齿布局，提升破岩效率的同时减少钻进过程中的冲击力，进一步降低振动强度，确保作业区域声环境与振动指标符合环保要求。（2）冲洗液循环利用系统通过多级处理工艺实现水资源高效利用，钻进过程中产生的废液首先进入沉淀池进行固液分离，去除大颗粒岩屑与杂质；随后流入过滤装置，利用微孔滤网拦截细小悬浮物；最后经化学处理模块调节pH值并去除重金属离子，使冲洗液性能恢复至可重复使用标准。系统配备智能监测装置，实时跟踪冲洗液的黏度、密度及含砂量等参数，自动调整处理流程与药剂投加量，确保循环液质量稳定，显著减少新鲜水用量与废液排放量，降低对地表水与地下水的污染风险。（3）生态修复与废弃物处理强调作业后的环境恢复与资源化利用，钻探结束后，对作业场地进行平整与覆土，选用本土植物进行绿化，重建植被群落以防止水土流失；对受扰动的边坡采用生态袋或三维植被网加固，促进自然恢复<sup>[4]</sup>。废弃物处理方面，岩芯与钻屑经无害化检测后，若不含有害物质则可用于路基填筑或制砖原料，实现资源化再利用；含油废液与废旧润滑油等危险废物，交由专业机构进行

焚烧或化学处理,确保达标排放。此外,作业期间严格管控化学品使用,采用生物降解型冲洗液添加剂,减少对土壤与地下水的长期影响,通过全流程环境管理实现钻探活动与生态保护的协调发展。

### 2.3 特殊场景突破

(1)采用轻量化模块化钻机,减少设备占地面积与自重,避免对地下管线及周边建筑物造成附加应力;配备液压静力压桩装置,以缓慢均匀的加压方式替代冲击式钻进,从源头削弱振动传播;同时,在钻杆与钻头连接处增设减震弹簧,吸收钻进过程中的冲击能量,进一步降低地表振动强度。施工期间,通过实时监测系统跟踪振动波频谱特征,动态调整钻进参数,确保作业区域振动加速度控制在允许范围内,保障城市基础设施安全运行。(2)海洋工程钻探平台稳定性需应对风浪流耦合作用下的复杂力学环境,平台设计采用多柱式桁架结构,通过增大水线面面积提升抗倾覆能力;配备动态定位系统,利用卫星导航与声呐测距技术实时感知平台位置,通过推进器自动补偿风浪引起的偏移,确保钻探位置精度。针对深水作业场景,采用半潜式平台设计,利用压载舱调节平台吃水深度,使重心始终低于浮心,形成天然稳定结构。施工期间,通过多传感器融合算法分析平台运动轨迹,提前预测极端海况下的稳定性风险,为作业窗口选择提供依据。(3)极地冻土层保温钻进重点解决低温导致的钻具冻结与地层失稳问题。钻机配备闭环式热循环系统,通过电加热带对钻杆进行全程保

温,防止冲洗液在输送过程中结冰堵塞;并且,在钻头内部设置恒温腔体,利用相变材料储存热量并缓慢释放,维持切削齿工作温度,避免因低温脆化导致钻头过早失效<sup>[5]</sup>。

### 结语

综上所述,地质钻探技术作为工程地质勘察的“眼睛”,其发展水平直接影响工程建设的质量与安全。随着人工智能、物联网等技术的深度融合,钻探装备正朝着自动化、数字化方向加速演进。未来,需持续强化基础理论与关键技术攻关,推动钻探技术向绿色化、智能化方向迈进,为构建安全、高效、可持续的工程地质勘察体系提供坚实保障。

### 参考文献

- [1]张永勤,李小洋,李宽,等.以新质生产力助力钻探技术装备创新发展应用再作为[J].钻探工程,2024,51(S1): 29-34.
- [2]董化标.钻探技术在矿山地质勘查工程中的应用实践研究[J].世界有色金属,2024,(11):187-189.
- [3]潘政国.关于钻探技术在矿山地质勘探中的应用研究[J].世界有色金属,2024,(05):166-168.
- [4]郭建伟.地质钻探在工程地质勘察中的应用分析[J].中国金属通报,2025,(06):207-209.
- [5]黄桂明.地质钻探技术在工程地质勘察中的应用分析[J].江西建材,2022,(06):117-118+121.