

地质资源勘察工程中的钻探技术

范本峰

新疆维吾尔自治区地质局乌鲁木齐地质大队 新疆 乌鲁木齐 830009

摘要：钻探技术是地质资源勘察工程的核心支撑手段，其应用质量直接决定勘察成果的科学性与精准性。本文系统阐述了地质资源勘察中钻探技术的核心原理、基本要求及二者的协同关联，分类剖析了回转、冲击、冲击-回转复合及定向钻探技术的特性，重点探讨了主流钻探技术的应用实践要点，并针对高寒、深海、破碎带、高矿化度等特殊地质环境提出钻探技术适配优化策略。研究成果明晰了不同钻探技术的应用边界与优化方向，为提升复杂地质条件下资源勘察效率与质量提供技术参考。

关键词：地质资源；勘察工程；钻探技术；应用实践；优化

引言：随着我国矿产资源勘探开发向深部、复杂区域推进，地质资源勘察难度不断提升，对钻探技术的适配性与精准性提出更高要求。钻探技术作为获取地下地质信息的关键手段，其发展与创新直接支撑资源勘察工作的高效开展。当前，不同地质环境对钻探技术的需求存在显著差异，主流技术的应用适配性及特殊环境下的技术优化仍需深入研究。基于此，本文围绕地质资源勘察工程中的钻探技术展开系统探讨，梳理技术分类与特性，分析应用实践要点，提出特殊地质环境下的优化策略，为解决实际勘察中的技术难题提供理论与实践支撑。

1 地质资源勘察工程中钻探技术概述

1.1 钻探技术的核心原理

钻探技术是地质资源勘察的核心手段之一，其核心原理是通过钻探设备产生的机械动力，驱动钻具切入地下岩层，形成具有一定深度和直径的钻孔，进而获取地下地质体的实物样品、地质信息及相关物理参数。在作业过程中，需根据不同地质条件匹配相应的破岩方式，主要包括回转破岩、冲击破岩及复合破岩三类。回转破岩依靠钻具高速旋转产生的切削力或研磨力破碎岩石；冲击破岩通过钻具周期性冲击动能击碎岩层；复合破岩则结合两者优势提升破岩效率。钻探过程需配套泥浆循环系统，实现冷却钻具、携带岩粉、稳定孔壁等关键功能，保障钻孔顺利成孔并为后续勘察工作奠定基础。

1.2 地质资源勘察对钻探技术的基本要求

地质资源勘察的专业性和复杂性对钻探技术提出了多维度基本要求。（1）精准性要求，需确保钻孔轨迹符合勘察设计要求，岩心采取率达标（一般固体矿产勘察岩心采取率不低于80%），保证获取的地质样品真实反映地下地质情况。（2）适应性要求，钻探技术需能适配不同地质环境，如坚硬岩层、破碎带、高寒地区、深海等特殊工

况，具备应对复杂地层的调整能力。（3）高效性要求，在保障勘察质量的前提下，需优化钻探工艺和设备性能，提升钻探效率、缩短作业周期。（4）安全性要求，需建立完善的安全管控机制，防范钻孔坍塌、钻具卡阻、泥浆泄漏等安全风险，保障作业人员及设备安全。

1.3 钻探技术与地质勘察的关联性分析

钻探技术与地质勘察存在密不可分的协同关联，二者相互支撑、相互制约。一方面，钻探技术是地质勘察的核心实施载体，地质勘察的核心目标（查明地下资源分布、地质构造、地层岩性等）需通过钻探获取的实物样品和原位数据实现，没有可靠的钻探技术支撑，勘察结论的科学性和准确性难以保障。另一方面，地质勘察需求主导钻探技术的发展方向，不同类型资源（固体矿产、油气、地下水等）、不同勘察阶段（普查、详查、勘探）的勘察要求，推动钻探技术不断创新优化，如定向钻探、智能化钻探等技术的发展，正是源于复杂地质条件下精准勘察的需求^[1]。

2 地质资源勘察工程中主流钻探技术分类及特性

2.1 回转钻探技术

回转钻探技术以钻具高速旋转产生的切削或研磨力为核心破岩动力，通过钻机驱动钻杆带动钻头持续回转，使钻头切削齿或研磨体作用于岩层实现破碎。该技术作业稳定性强，岩心采取率较高，能精准获取地层岩性信息。其核心优势在于对中硬质地层适应性好，钻进过程振动小、钻孔垂直度易控制，设备操作相对简便，是地质资源勘察中应用最广泛的基础钻探技术之一，适用于多数固体矿产、地下水等资源的普查与详查工作。

2.2 冲击钻探技术

冲击钻探技术依靠钻具周期性冲击产生的动能破碎岩层，通过提升钻具至一定高度后自由下落，利用重力

或辅助动力形成冲击载荷击碎岩石。根据动力来源可分为机械、气动、液动等类型，其核心特性是破岩效率受岩层硬度影响较小，对卵砾石层、松散土层及强风化破碎地层适应性突出。该技术设备结构相对简单，施工成本较低，但钻进过程振动较大，钻孔垂直度控制难度较高，岩心完整性易受影响，多用于浅层勘察或复杂松散地层的先导孔施工。

2.3 冲击-回转复合钻探技术

冲击-回转复合钻探技术融合了回转与冲击钻探的核心优势，在钻具回转切削岩层的同时，施加周期性轴向冲击力，使岩石在复合载荷作用下更易破碎。该技术通过协同作用降低破岩能耗，大幅提升硬岩、脆硬地层的钻进效率，同时减少钻头磨损，延长回次进尺。其技术特性表现为适应性广，既能应对坚硬致密岩层，也可处理部分破碎地层，兼顾了钻进效率与岩心质量，是深部硬岩资源勘察中的关键技术，对设备协同控制精度要求较高。

2.4 定向钻探技术

定向钻探技术通过专用造斜工具、测量仪器控制钻头钻进轨迹，实现非垂直方向的定向钻进，可按设计轨迹钻达地下特定目标层位。该技术核心在于轨迹精准控制，借助孔底动力机或机械式造斜器调整钻进方向，能在同一机台钻进多分支孔。其显著特性是空间适应性强，可规避地表障碍物，减少场地占用，降低复杂地形条件下的施工成本，同时提升深部复杂构造、陡斜矿体的勘察精准度，广泛应用于油气资源、深部矿产等复杂地质条件的勘察工作^[2]。

3 主流钻探技术在地质资源勘察中的应用实践

3.1 回转钻探技术在地质资源勘察中的应用研究

回转钻探技术作为地质资源勘察中应用最广泛的基础技术之一，其应用实践要围绕勘察需求实现技术与地质条件的精准匹配。（1）应用前提与适配规划，在开展钻探作业前，结合勘察区域的地层勘察资料，明确岩层硬度、完整性、含水率等核心地质参数，以此确定回转钻探的钻头类型、钻杆规格及钻进参数，确保技术适配性；同时完成设备调试与场地平整，搭建泥浆循环系统，为作业开展奠定基础。（2）核心应用流程把控，钻进过程中严格控制钻具转速与进给速度，根据实时返浆情况及钻压变化判断地层变化，及时调整作业参数；针对不同岩性地层，采用差异化的钻进策略，中硬质地层以稳定转速保障切削效率，松散地层则需降低转速、加大泥浆黏度，避免孔壁坍塌；作业全程需做好岩心采集与记录工作，确保岩心采取率与完整性符合勘察规范。

（3）应用质量与效率提升要点，为保障勘察质量，定期检查钻具磨损情况，及时更换受损部件，防止因钻具问题影响钻探精度；通过优化泥浆配比提升岩粉携带能力与孔壁稳定效果，减少孔内事故发生；同时可借助自动化监测设备实时采集钻进数据，实现作业过程的精准管控，提升整体钻探效率。

3.2 定向钻探技术在复杂地质资源勘察中的实践探索

定向钻探技术凭借轨迹可控的核心优势，在复杂地质资源勘察中展现出显著应用价值，其实践重点在于突破复杂地质条件限制，实现精准勘察。（1）应用场景适配与方案设计，针对复杂地质勘察需求，先明确勘察目标层位的空间分布特征，结合地表障碍物分布、地形条件等因素，采用专业软件设计最优钻进轨迹，确定造斜点、造斜率等关键参数；同时根据复杂地层的特殊性，选配具备抗磨损、抗冲击性能的专用钻具与造斜工具，保障轨迹控制精度。（2）复杂地层钻进控制要点，在穿越破碎带、陡斜岩层等复杂地层时，强化轨迹实时监测，通过孔底测量仪器反馈的数据及时调整造斜力度，避免轨迹偏移；针对易坍塌地层，优化泥浆性能，提升孔壁支撑能力，同时控制钻进速度，减少对地层的扰动；在深部复杂构造勘察中，可采用多分支定向钻进技术，通过单一机台实现多个目标层位的勘察，提升勘察覆盖面与效率。（3）应用保障与技术优化，作业过程中建立完善的现场管控机制，定期开展设备维护与校准，确保测量仪器与造斜工具的稳定性；针对复杂地质条件下的钻进难点，可通过优化钻具组合、调整钻进参数等方式提升技术适配性；同时加强钻进数据的整理分析，为后续同类复杂地质区域的勘察作业提供技术参考，推动定向钻探技术应用水平的提升^[3]。

4 钻探技术在特殊地质资源勘察中的适应性优化

4.1 高寒地区地质资源勘察的钻探技术优化

高寒地区低温、冻土层广布等特殊环境，对钻探技术提出针对性优化要求，核心在于保障设备正常运行与钻进效率。（1）设备适配优化，选用耐低温材质的钻探设备部件，对发动机、液压系统等关键部位加装保温装置，避免低温导致油液凝固、部件失灵；优化设备动力系统，提升低温启动性能，确保在极端温度下稳定运转。（2）钻进工艺调整，针对冻土层特性，采用预热钻进技术，通过加热钻具或向孔内注入保温介质，降低冻土硬度、减少钻具磨损；调整钻进参数，降低转速、控制进给速度，避免因冻土瞬时融化再冻结导致孔壁坍塌。（3）现场保障优化，搭建临时保温作业棚，为钻探设备与作业人员提供基础防护；合理规划作业时间，避

开极端低温时段,提升作业安全性与效率。

4.2 深海地质资源勘察的钻探技术适配性改造

深海高压、黑暗、强腐蚀的环境特征,需对钻探技术进行全方位适配性改造,核心是突破深海环境限制、保障钻探精准性。(1)设备抗压防腐改造,采用高强度耐压材质制造钻杆、钻头 etc 部件,提升设备整体抗压能力,抵御深海高压对钻探系统的破坏;对设备表面进行防腐涂层处理,选用耐海水腐蚀的金属材质,防止海水侵蚀导致部件失效。(2)钻进系统优化,研发远程操控钻探系统,结合水下机器人实现对钻探过程的精准控制,规避深海环境对人员作业的限制;优化钻进动力传输机制,确保动力稳定传递至深海孔底,保障钻进效率。(3)密封与安全保障,强化钻探设备的密封性能,采用多级密封结构,防止海水渗入设备内部影响运行;建立完善的应急预警系统,实时监测设备运行状态与海底环境变化,及时应对突发故障。

4.3 破碎带地质条件下的钻探技术防护措施

破碎带地层松散、稳定性差,易发生坍塌、掉块等孔内事故,钻探技术优化核心在于强化孔壁防护与钻进稳定性。(1)孔壁加固防护,采用套管护壁技术,根据破碎带厚度与松散程度,选用合适规格的套管下入孔内,直接支撑孔壁;优化泥浆护壁工艺,提高泥浆黏度与切力,增强泥浆对孔壁的黏结与支撑作用,同时提升岩粉携带能力,减少岩粉沉积导致的孔内堵塞。(2)钻进参数与工具优化,选用针对性钻头,减少对破碎地层的扰动;降低钻进转速与钻压,采用慢速平稳钻进方式,避免因钻进冲击导致地层进一步破碎;缩短单次进尺长度,增加提钻检查频次,及时清理孔内沉渣,防范孔壁坍塌风险。(3)钻进过程监控,采用实时孔内监测技术,实时掌握孔壁变化情况,一旦发现异常立即停止钻进,采取加固措施后再继续作业,保障钻进安全。

4.4 高矿化度地层钻探技术的抗腐蚀优化

高矿化度地层中含有的大量盐类物质易对钻探设备与钻具产生腐蚀,技术优化核心在于提升抗腐蚀能力、延长设备使用寿命。(1)钻具与设备抗腐蚀改造,选用耐腐蚀性强的合金材质制造钻杆、钻头 etc 核心部件,替代传统碳钢材质;对设备金属表面进行电镀、喷涂防腐涂层等处理,形成防护屏障,隔绝矿化液与金属表面的接触。(2)钻进介质优化,研发专用抗腐蚀钻井液,通过调整钻井液配方,降低其腐蚀性,同时提升钻井液的润滑与冷却性能,减少钻具磨损。(3)日常维护与监测,建立常态化设备检查维护机制,定期对钻探设备与钻具进行腐蚀情况检测,及时更换受损部件;记录地层矿化度数据,根据矿化度变化调整抗腐蚀措施,提升技术适配性^[4]。

结束语:本文全面梳理了地质资源勘察工程中钻探技术的核心内容,从技术概述、分类特性、应用实践到特殊环境优化形成完整研究体系。研究表明,不同钻探技术各具适配优势,要结合地质条件精准选择;主流技术的规范应用与精细管控是保障勘察质量的关键,特殊地质环境下的技术适配优化可有效突破勘察瓶颈。未来,应进一步推动钻探技术与智能化、绿色化技术的融合创新,提升技术自动化与精准化水平。

参考文献

- [1]胡光林.钻探取芯技术在砂岩矿山地质勘察工程中的应用研究[J].科技资讯,2025,23(6):163-165.
- [2]史俊杰.长距离水平定向钻探技术在泵站引水隧洞地质勘察中的应用研究[J].中国水能及电气化,2025(6):1-6.
- [3]魏冬林.复杂地质环境下矿山岩土工程勘察钻探技术分析[J].中国金属通报,2025(20):207-209.
- [4]段朝霞.工程物探技术在工程地质勘察中的应用[J].河南建材,2025(8):67-69.