

绿色勘查技术在矿山地质钻探施工中的应用研究

关超 徐兴旺 姜泽盛

哈尔滨市自然资源综合调查中心 黑龙江哈尔滨 150000

【摘要】随着社会对环境保护和可持续发展的日益重视，绿色勘查理念逐渐深入人心。传统的矿山地质钻探施工方法往往伴随着对环境的破坏和资源的浪费。为了实现矿产资源勘查与生态环境保护的协调发展，绿色勘查技术应运而生。本文系统地探讨了绿色勘查技术在矿山地质钻探施工中的应用效果，详细阐述了在一基多孔井场钻探结构布置、泥浆材料选择及循环工艺、钻探设备选型及运行区域划分等方面的具体应用，并提出了加强钻孔施工的监督与管理、制定完善的管理制度、提高施工人员素质、加强宣传以及完善质量检测等方面的应用措施。旨在为矿山地质勘查行业实现绿色、高效、可持续转型提供参考与借鉴。

【关键词】绿色勘查；矿山地质；钻探施工；可持续发展；环境保护；钻探技术；泥浆

引言

矿产资源勘查对国家经济发展至关重要，但传统钻探方式常伴随环境破坏和资源浪费。为实现可持续发展，绿色勘查理念应运而生，强调在勘查过程中最大限度地减少对环境的影响。将绿色勘查技术应用于矿山地质钻探施工，是矿业绿色转型的重要途径。虽然已有研究取得了一定成果，但技术体系、管理制度和人员素质等方面仍有待完善。本文旨在系统研究绿色勘查技术在矿山地质钻探施工中的应用，分析效果并总结方法措施，为矿业可持续发展提供参考。

1 绿色勘查技术在矿山地质钻探施工中的应用效果

1.1 提高勘查准确性和效率

绿色勘查技术采用先进的钻探设备和工艺，如高性能金刚石钻头、绳索取芯技术和智能钻井系统，能显著提高钻探效率。精确的井眼轨迹控制技术和三维成像技术，可实时监测钻进过程，获取更准确的地层岩性、结构等地质信息，减少人为判断误差。这些技术的应用不仅缩短了勘查周期，降低了勘查成本，还为后续矿产资源评估和开发提供了更可靠的数据支撑，避免了因勘查精度不足导致的盲目开采和资源浪费，使整个勘探流程更加高效、精细。

1.2 降低对环境的影响

绿色勘查技术注重环境保护，采用多种措施减少钻探施工对生态环境的扰动。例如，一基多孔钻探技术可大幅减少井场占地面积，有效保护地表植被和土壤。环保型泥浆材料的使用，如植物胶钻液和低固相聚丙烯酰胺泥浆，可降低对土壤和水体的污染。封闭式泥浆循环系统可减少废弃泥浆排放，实现泥浆的重复利用。此外，低噪音钻机

的应用也能有效降低噪声污染，减少对周边居民和野生动物的影响，从而实现勘探活动与生态环境的和谐共存。

1.3 减少资源浪费

绿色勘查技术通过优化钻探工艺和提高资源利用率，有效减少了资源浪费。精确的钻探设计和施工可以减少无效钻孔的数量，避免不必要的岩矿石钻取。高效的钻进技术和取芯技术，如绳索取芯技术，能够提高岩芯采取率，最大限度地获取地质信息。泥浆的循环利用和固相控制技术，可减少泥浆材料的消耗和废弃物排放。这些措施不仅降低了勘查成本，还节约了宝贵的矿产资源和水资源，体现了资源节约型勘查的理念，实现了经济效益和资源效益的统一。

1.4 促进可持续发展

绿色勘查技术以其环保、高效、节约的特点，为矿业可持续发展奠定了基础。通过减少对环境的破坏，保护了生态系统的完整性和生物多样性，维护了矿区周边的生态平衡。通过提高资源利用率，延长了矿山的服役年限，实现了矿产资源开发的长期效益。同时，绿色勘查技术的推广和应用，提升了矿业企业的社会形象，促进了矿业与当地社区的和谐关系。这些都符合可持续发展的核心理念，即在满足当代人需求的同时，不损害后代人满足其需求的能力，为矿业的长远发展创造了有利条件。

2 绿色勘查技术在矿山地质钻探施工中的应用

2.1 一基多孔井场钻探结构布置

一基多孔技术作为绿色勘查的核心，旨在通过单井场内多个分支孔的优化布置，实现对地下目标区域的三维立体覆盖，从而大幅减少井场占地面积和地表环境扰动。其技

术关键在于钻孔轨迹的精确设计和实时控制。钻孔轨迹设计需基于高精度三维地质模型（空间分辨率优于1 m），详细圈定目标矿体的空间坐标（X, Y, Z）、形态（长、宽、厚）及产状（走向、倾向、倾角）。以某矿体为例，其走向为N30° E，倾向SE，倾角60°，埋深范围500-800 m。井口位置优选需综合考虑地形地貌、地质构造和环境保护等多重约束，利用专业软件（如Landmark's Compass 或 Schlumberger's Petrel）进行多目标优化。目标函数可表达为：Minimize: $f = w_1 * S + w_2 * L + w_3 * E$ ，其中S代表井场总面积（m²），L代表平均钻孔长度（m），E代表环境影响指数（无量纲）， w_i 为各因素的权重系数（根据实际情况进行调整，如 $w_1 = 0.4$ ， $w_2 = 0.3$ ， $w_3 = 0.3$ ）。分支孔通常采用“鱼骨状”或“丛状”布置。关键设计参数包括：造斜点（Kick-off Point, KOP）深度通常设定在100-300 m之间，具体深度需根据表层地质条件进行微调；造斜率（Build-up Rate, BUR）控制在2-4°/30 m，以平衡钻进效率和井眼稳定性；最大井斜角一般不超过85°，以防止钻具组合受力过大和卡钻风险；分支孔间距（Spacing）根据矿体厚度和控矿精度要求确定，一般为50-100 m；方位角（Azimuth）则需根据矿体走向进行精确调整，确保分支孔与矿体走向垂直或呈特定夹角。在钻进过程中，必须采用先进的旋转导向系统（Rotary Steerable System, RSS）和随钻测量系统（Measurement While Drilling/Logging While Drilling, MWD/LWD），如Baker Hughes 的 AutoTrak™ 系统或 Schlumberger 的 PowerDrive™ 系统，实现井眼轨迹的实时监测和精确控制，确保实际钻孔轨迹与设计轨迹的偏差控制在允许范围内（如水平偏差<1m，垂直偏差<0.5m）。井场布置采用模块化、橇装化设计，钻机、泥浆泵、固控设备等均采用集成化模块，便于快速运输和安装。井场总占地面积严格控制，通常在5000-10000m²，相比传统井场可减少50%以上。

2.2 泥浆材料选择及循环工艺实施

在绿色勘查理念下，泥浆体系的设计与管理是确保钻探作业环保、高效的关键环节。泥浆材料的选择需优先考虑环境友好型材料，例如，采用聚阴离子纤维素（PAC，分子量>1,000,000）、黄原胶（XC Polymer，粘度>1500 mPa·s）等生物聚合物替代传统的膨润土基泥浆。针对复杂地层条件，可构建高性能水基泥浆体系。例如，在强水敏性泥页岩地层中，采用钾基聚合物泥浆，其中KCl的浓度需精确控制在3-5%（质量分数），以有效抑制黏土矿物的水化膨胀；同时，加入聚合物抑制剂（如部分水解聚丙烯

酰胺，PHPA，水解度20-30%，分子量5,000,000-8,000,000），其加量控制在0.5-1.5%（质量分数），以提供良好的抑制性和流变性。对于高温高压地层（井底温度>150 °C，地层压力梯度>2.0 g/cm³），则需采用抗高温聚合物（如AMPS共聚物，2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸含量>30%）和抗盐聚合物（如磺化酚醛树脂，SPNH，磺化度>40%）组成的复合体系，确保泥浆在极端条件下的热稳定性和流变性。泥浆循环工艺采用全封闭循环系统，配备多级固控设备和废弃物处理装置。钻井液从井底返出后，首先进入振动筛（筛网目数80-200目，振动频率>1500 次/分钟）去除大颗粒岩屑；随后依次通过除砂器（水力旋流器直径100-150 mm，入口压力0.25-0.4 MPa）和除泥器（水力旋流器直径50-75 mm，入口压力0.3-0.45 MPa）去除更细小的固相颗粒；最后进入高速离心机（转速3000-4000 rpm，分离因数>2000 G）进行超细固相分离。经过处理后的泥浆，其性能指标需严格控制：密度1.05-1.20 g/cm³，漏斗粘度35-50 s（API标准），API滤失量5-10 mL/30 min。对于废弃泥浆，采用絮凝沉淀（絮凝剂如聚丙烯酰胺，加量10-20 ppm）+板框压滤（滤布孔径5-10 μm，压滤压力0.8-1.2 MPa）的工艺进行处理，实现固液分离。固体部分进行无害化处理或资源化利用（如制砖、制水泥等），滤液经处理后回用于泥浆配制或达标排放。

2.3 钻探设备选型及运行区域划分

在绿色勘查的框架下，钻探设备的选择与运行区域的规划需兼顾高效性、安全性和环保性。钻机选型方面，优先选用全液压力头钻机（如XY-6B或ZDY-1500G），这类钻机具有扭矩大（>5000 N·m）、转速范围广（0-1200 rpm）、自动化程度高等显著优点，能灵活适应各种复杂地层条件和不同的钻探工艺需求。同时，钻机必须配备低噪音发动机（噪音水平低于85 dB(A)）和高效尾气处理装置（满足国V或欧V排放标准）。在钻具选择上，针对不同岩性采用不同的钻头类型。对于硬岩地层（单轴抗压强度>100 MPa），优选孕镶金刚石钻头，其金刚石粒度控制在40-60目，胎体硬度HRC35-45；而对于破碎或软硬交错地层，则采用PDC钻头（如Smith Bits的Onyx系列），并根据地层特性优化切削齿数量、排布方式及切削角度。绳索取芯系统采用双管或三管取芯工具，内径范围75-110 mm，确保岩芯采取率达到95%以上。井场运行区域的划分遵循“四区两通道”的标准化布局，即钻机操作区、泥浆配置区、岩芯存放区、设备维修区，以及人员通道和物资通道。各功能区域之间设置明显的隔离带（宽度>2 m）和醒目的警示标识。钻机操作

区面积不小于200 m²，地面采用C25混凝土硬化，并进行防滑处理（摩擦系数>0.6）。泥浆配置区设置防渗池（有效容积>50 m³），采用厚度1.5 mm的HDPE土工膜进行防渗处理（渗透系数<10⁻¹² cm/s）。岩芯存放区搭建遮阳棚和防雨布，确保岩芯样品不受恶劣天气影响。设备维修区配备齐全的维修工具和常用备件，并设置专门的油污收集装置。人员通道和物资通道需分开设置，宽度分别不小于1.5 m和3 m，确保人员和物资进出安全、顺畅。此外，整个井场必须配备完善的消防器材（如干粉灭火器、消防栓等）、应急照明系统和通讯设备（如对讲机、卫星电话等），以确保具备足够的应急响应能力。

3 绿色勘查技术在矿山地质钻探施工中的应用措施

3.1 加强钻孔施工的监督与管理

为确保绿色勘查技术在钻探施工中有效实施，必须建立一套完善的现场监督与管理体系。这包括实时监控钻进参数，如钻压、转速、扭矩、泵压、泥浆性能等，利用数字化监控系统（如SCADA系统）进行数据采集、分析和预警。建立钻孔轨迹监测制度，采用随钻测量系统（MWD）或陀螺测斜仪，每3-5米进行一次测量，及时纠正偏差。严格执行泥浆管理制度，每班次检测泥浆性能，确保符合设计要求。同时，应委派具有丰富经验的工程师和技术人员进行现场监督，定期进行安全检查和技术监督，确保各项操作符合规范。

3.2 制定完善的绿色勘查技术的管理制度

为保障绿色勘查技术的规范化应用，需建立一套全面的管理制度。这包括制定详细的钻探施工技术规程，明确各项操作的技术参数和标准，例如钻头的选择与使用、泥浆的配比与维护、井壁稳定的控制等。制定环境保护管理办法，明确废弃物处理、水土保持、噪声控制等方面的具体要求和责任。建立安全生产责任制，明确各级人员的安全职责，定期进行安全教育和培训。同时，建立奖惩机制，对执行绿色勘查技术规范、取得显著成效的单位和个人进行奖励，对违反规定的行为进行处罚。

3.3 提高施工人员的综合素质

绿色勘查技术的有效实施，依赖于高素质的施工队伍。因此，必须加强对施工人员的专业技术培训和环保意识教育。培训内容应包括：新型钻探设备的操作与维护、环保型泥浆的配制与使用、复杂地层的钻探技术、应急事故处

理等。定期组织技术交流和经验分享，提高施工人员解决实际问题的能力。通过考核和认证制度，确保施工人员具备相应的专业技能和环保意识。此外，还应加强职业道德教育，培养施工人员的责任感和敬业精神。

3.4 增加绿色勘查技术的宣传

为推动绿色勘查技术的广泛应用，需要加强宣传和推广工作。通过多种渠道，如行业会议、技术论坛、专业期刊、网络媒体等，宣传绿色勘查的理念、技术和成效。组织现场观摩和经验交流活动，让更多的矿业企业和技术人员了解绿色勘查技术的优势。与科研院所、高校合作，开展绿色勘查技术的研发和应用示范。积极参与国际交流与合作，引进国外先进的绿色勘查技术和管理经验。通过广泛宣传，提高社会各界对绿色勘查的认知度和认可度。

4 结语

综上所述，绿色勘查技术在矿山地质钻探施工中的应用，是实现矿业可持续发展的必然选择。通过一基多孔井场布置、环保泥浆体系、先进钻探设备和精细化管理等措施，可显著提高勘查效率、降低环境影响、减少资源浪费。然而，绿色勘查技术的推广仍需加强监管、完善制度、提升人员素质、加大宣传和质量检测。未来，随着科技的不断进步和环保要求的日益严格，绿色勘查技术将不断发展和完善，并在矿产资源勘查领域发挥越来越重要的作用，为矿业的绿色转型和可持续发展提供有力支撑，实现经济效益、社会效益和环境效益的统一。

参考文献：

- [1] 王军. 绿色勘查技术在矿山地质钻探施工中的应用分析[J]. 冶金与材料, 2023, 43 (2): 96-98.
- [2] 刘森峰. 绿色勘查技术在矿山地质钻探施工中的应用效果研究[J]. 世界有色金属, 2021, 46 (21): 2.
- [3] 魏东明, 郭豫蓉. 基于数字化矿山的绿色地质勘查技术应用研究[J]. 世界有色金属, 2019.
- [4] 刘海龙. 地质矿产勘查及绿色开采技术创新策略的思考[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.
- [5] 杨云龙. 新形势下地质矿产勘查及绿色开采技术创新[J]. 四川水泥, 2020 (5): 1.

作者简介：

关超（1992.1-）男，汉，黑龙江省哈尔滨市，本科，研究方向：小角度钻探方面。