

矿山地质钻探工艺优化研究

宇文斌

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037000

摘要: 矿山地质钻探作为获取地下矿产资源信息的重要手段,其工艺优化对于提升勘探效率、精度及降低成本具有重要意义。本文探讨了矿山地质钻探的基础理论与现存问题,并提出了技术优化、设备与工具改进及操作流程规范化的策略。通过引入定向钻探和空气钻探等新技术,研发高性能钻头与钻杆,以及实施标准化操作流程,可以显著提高钻探作业的效率与质量,为矿山地质勘探工作的顺利进行提供有力支持。

关键词: 矿山地质钻探; 工艺优化; 钻探设备; 操作流程; 优化策略

引言: 矿山地质钻探是矿产资源评估与开发的关键步骤之一,其结果直接影响到后续开采计划的设计与执行。随着勘探目标复杂性的增加,传统钻探方法面临效率低下、精度不足及成本高昂等问题。为了克服这些挑战,需不断探索新型钻探技术的应用、设备工具的改进以及操作流程的优化。这些问题的解决不仅有助于提升钻探工作的质量和效率,还能确保在复杂地质条件下获得准确可靠的地质信息,从而推动矿山资源的有效开发利用。

1 矿山地质钻探工艺基础

1.1 钻探工艺概述

矿山地质钻探是一项复杂的技术活动,涉及利用机械设备在地壳中创建孔洞以获取地质信息或进行矿产资源的探测。机械破岩是这一过程的核心环节之一,通过施加足够的压力和转速,使钻头切入岩石并逐步破碎岩石结构,从而实现钻进。冲洗液循环系统则是为了清除钻屑、冷却钻头以及稳定井壁而设计的重要组成部分。在钻探过程中,冲洗液不仅帮助移除破碎的岩石碎片,还起到润滑作用,减少钻具磨损^[1]。岩芯采集作为另一关键步骤,旨在从地下提取未受扰动的岩石样本,以便进行地质分析。不同类型的钻探方法各有特点,例如回转钻探适用于较软的地质环境,依靠连续旋转钻头来穿透地层;冲击钻探则更适合坚硬岩石,它利用高频率的冲击力破碎岩石,适用于地质条件更为复杂的场景。钻探技术的选择主要基于地质条件、所需钻探深度及目的等因素。例如,在某些情况下,可能需要结合多种钻探方法以适应不同的地质层。针对特定地质特征(如地下水位较高的区域),还需要特别考虑钻探工艺的设计与实施细节,确保能够有效完成任务而不损害周围环境。随着技术不断发展,钻探工艺也在持续改进,以提升适应性和作业效果。

1.2 钻探设备与工具

矿山地质钻探过程中使用的设备种类繁多,每种设备都有其独特的工作原理与性能参数,以满足不同作业需求。钻机作为核心装备,提供钻探所需的扭矩和推进力。根据应用场景的不同,钻机可分为地面钻机与地下钻机两大类。地面钻机通常用于勘探初期阶段,能够快速部署并对较大范围内的地质情况进行初步评估。泥浆泵也是不可或缺的组件之一,它的主要功能是推动冲洗液在钻孔内外循环流动,确保钻屑被及时带出,并为钻头降温。钻探工具同样至关重要,主要包括钻头、钻杆等。钻头直接接触岩石,承担着切割与破碎的任务,其类型多样,包括但不限于金刚石钻头、硬质合金钻头。选择合适的钻头取决于待钻岩石的硬度、磨蚀性等因素。钻杆连接钻机与钻头,负责传递动力,并需具备良好的强度和韧性,以承受钻进过程中的各种应力。对于不同地质条件下的钻探作业,合理选择钻杆长度、直径以及材料显得尤为重要。例如,在较为松散的地层中,可能需要采用带有稳定器的钻杆,以增强钻孔轨迹的直线度,提高钻探精度。而在硬岩层中,则应选用更坚固耐用的钻杆材质,以抵抗高强度的磨损。通过科学配置这些设备与工具,可以显著提升钻探效率,降低成本,保障作业安全。

2 矿山地质钻探工艺现存问题分析

2.1 效率问题

复杂地质条件严重制约矿山地质钻探效率。在坚硬岩层环境下,岩石硬度高、抗压强度大,常规钻头难以有效切入岩石,回转钻探时需大幅提升转速与轴向压力,导致设备负荷超载,频繁出现动力系统过热、钻杆断裂等故障^[2]。例如花岗岩地层,其矿物颗粒坚硬且胶结紧密,普通硬质合金钻头磨损速度极快,更换频率显著增加,延长辅助作业时间。破碎地层同样带来挑战,松

散的砾石层、裂隙发育的岩体缺乏整体性，钻进时易发生孔壁坍塌、岩屑堵塞现象。坍塌的岩块会卡住钻具，造成埋钻事故，处理此类事故需耗费大量时间进行钻孔清理与钻具打捞；岩屑堵塞则影响冲洗液循环，削弱岩屑携带能力，迫使作业人员反复提钻清理，中断正常钻进流程。设备老化与工具磨损加剧效率损耗。长期使用的钻机，其液压系统密封性下降、传动部件磨损，导致动力输出不稳定，难以维持恒定的钻进压力与转速，直接降低破岩效率。泥浆泵内部叶轮、活塞磨损后，冲洗液排量与压力不足，无法及时清除孔底岩屑，形成重复破碎，增加能耗的同时降低钻进速度。钻头作为易损件，刃部磨损使切削能力减弱，在相同钻进参数下，磨损严重的钻头破岩深度大幅降低。钻杆长期承受交变应力，表面出现疲劳裂纹、壁厚减薄，为避免钻杆断裂引发事故，作业时不得不降低钻进速度，进一步拉低整体效率。老旧设备与磨损工具不仅降低钻进速度，还增加故障停机频率，使得有效作业时间被压缩，严重影响钻探工程进度。

2.2 精度问题

岩芯采取率低与钻孔偏斜是影响勘探精度的关键因素。岩芯采取率不足源于多种原因，在松散地层中，岩芯难以完整进入岩芯管，钻进时岩屑易从岩芯管与孔壁间隙流失；破碎岩层的岩芯在提升过程中，因震动、冲洗液冲刷等作用发生二次破碎，导致取出的岩芯残缺不全。岩芯不完整直接影响地质分析准确性，地质人员难以依据破碎岩芯判断地层真实结构与矿层连续性，可能造成矿产储量误判。钻孔偏斜问题成因复杂。地质因素方面，地层软硬不均时，钻头在钻进过程中受力不平衡，会向较软一侧偏移；存在倾斜岩层面或断层时，钻具易沿层面或断层面滑动，改变钻孔轨迹。技术层面，开孔定位不准确、钻机安装不水平，会使钻孔初始方向出现偏差；钻进过程中，钻杆刚度不足，在轴向压力作用下发生弯曲变形，带动钻头偏离设计轨迹^[3]。操作层面，作业人员未能根据地层变化及时调整钻进参数，如在遇到软硬突变地层时未降低转速、减小压力，也会加剧钻孔偏斜。钻孔偏斜超出允许范围，会导致勘探数据失真，相邻钻孔无法准确衔接，影响地质剖面图绘制，进而干扰矿山开采设计方案的科学性与合理性。

2.3 成本问题

矿山地质钻探成本居高不下体现在多个方面。设备维护成本随设备使用年限增长而攀升，老化设备频繁出现故障，维修次数增多，零部件更换频率加快。液压系统密封件老化导致的漏油问题，不仅需要更换密封件，

还可能因液压油泄漏造成环境污染，增加清理成本；传动部件磨损后，需更换齿轮、轴承等精密零件，这些零部件价格昂贵，进一步加重维护负担。耗材消耗是成本支出的重要部分。钻头作为主要耗材，在复杂地质条件下更换频繁，金刚石钻头、复合片钻头高性能钻头价格高昂，但其使用寿命有限，频繁更换导致成本大幅增加。钻杆在长期使用中因磨损、断裂需要补充或更换，加重经济压力。冲洗液原料成本也不容忽视，为满足护壁、冷却等功能需求，需添加各类化学添加剂，随着钻探深度增加和地质条件变化，冲洗液用量与配方调整导致成本不断上升。人力投入成本同样不可小觑。钻探作业需要专业操作人员，从钻机操作、岩芯采集到设备维护，每个环节都依赖熟练工人。培养一名合格的钻探人员需要较长周期，且行业人才竞争激烈，为吸引和留住人才，企业需支付较高薪酬与福利。复杂地质条件下，作业难度增加，为保证钻探质量与安全，需配备更多技术人员进行现场指导与监督，进一步推高人力成本。成本控制难点在于难以在保证钻探质量与效率的前提下降低开支，设备更新换代需要巨额资金投入，采用低成本耗材可能影响钻探效果，精简人力又可能引发安全与质量风险，使得成本控制陷入两难境地。

3 矿山地质钻探工艺优化策略

3.1 技术优化

在矿山地质钻探中，技术的不断进步是推动效率与精度提升的关键因素之一。随着勘探目标日益复杂化，传统的钻探方法已难以满足高精度、高效率的要求，因此需要引入和研究一系列新型钻探技术。例如，定向钻探技术近年来在复杂地层中的应用越来越广泛，它能够按照预定轨迹进行钻进，从而避开障碍物或重点探测特定区域，提高地质信息获取的准确性。空气钻探则适用于干旱地区或水敏感性地层，通过使用压缩空气代替传统冲洗液，不仅减少了对地层的干扰，还能有效防止孔壁坍塌^[4]。除此之外，智能化技术的应用正在逐步改变传统钻探作业模式。自动化控制系统可以实现钻进参数的精确调节，根据实时反馈调整转速、压力等关键指标，使整个过程更加稳定可控。实时监测系统的引入使得操作人员能够随时掌握钻头状态、井下温度及压力变化情况，有助于及时发现潜在问题并做出应对措施。这些技术手段的融合不仅提高了钻探的可靠性，也为后续数据分析提供了更高质量的基础资料。结合现代信息技术的发展趋势，进一步推动钻探工艺向数字化、智能化方向演进，将为矿山地质勘探提供更强的技术支撑。未来还可探索远程操控与人工智能辅助决策系统，以进一步提

升整体作业效能与安全性。

3.2 设备与工具优化

设备与工具作为钻探工艺的重要组成部分，其性能直接关系到施工效率与质量。近年来，针对矿山地质条件复杂、钻进难度大的特点，各类新型钻探设备与工具不断涌现。例如，新一代钻机在结构设计上更加紧凑合理，动力系统更为高效节能，能够在有限空间内完成高强度作业。泥浆泵也逐步向高压、大排量方向发展，以适应深部钻探和复杂地层对循环系统提出的更高要求。在钻头方面，材料科学的发展推动了高性能钻头的研发。金刚石复合钻头、热稳定性增强型钻头等新型产品在耐磨性和破岩效率方面表现出色，尤其适用于硬岩层与强磨蚀性地层。此外，钻杆的设计也在不断优化，采用高强度合金钢制造，并结合表面处理工艺，以提升抗拉、抗扭能力，延长使用寿命。除了设备本身的改进，合理的维护与更换策略同样不可忽视。定期检查设备运行状态，及时清理沉积物和更换易损部件，有助于降低故障率，保持设备良好工作状态。对于钻头等消耗性工具，应根据实际使用情况制定更换周期，避免因过度磨损而影响钻进效果。建立完善的设备管理机制，不仅可以减少停机时间，还能显著提高整体作业效率。通过持续的技术更新与科学管理手段相结合，进一步提升设备的适应性与稳定性，为复杂地质条件下的钻探作业提供有力保障。

3.3 操作流程优化

良好的技术与设备只有在规范的操作流程下才能发挥最大效能。当前，矿山地质钻探过程中仍存在操作不统一、执行不到位等问题，容易导致效率低下甚至安全事故的发生^[5]。为此，必须加强对钻探全过程的标准化管理，明确各个环节的操作要点，确保每一项工序都严格按照规程执行。首先，应制定详细的操作手册，涵盖从设备安装、调试到正式钻进、取芯、收尾等各个阶段

的技术要求与注意事项。操作人员需熟悉每一步骤的具体内容，做到心中有数、操作有序。其次，在日常作业中应加强现场监督与指导，确保各项制度落实到位，杜绝违规操作现象的发生。人员素质的提升同样是优化操作流程的重要一环。由于钻探作业技术性强、专业要求高，操作人员不仅需要掌握基本技能，还需具备一定的判断与应变能力。应定期组织培训课程，内容包括设备操作、安全知识、应急处理等多个方面。通过理论学习与实践演练相结合的方式，帮助操作人员不断提高自身技术水平与综合素质。另外，还应注重团队协作能力的培养。钻探作业往往涉及多个岗位之间的配合，任何一个环节出现失误都可能影响整体进度。通过开展团队训练与模拟演练，增强各岗位之间的沟通协调能力，使整个作业流程更加流畅高效。

结束语

矿山地质钻探工艺优化是一项系统工程，涉及技术、设备与工具、操作流程等多方面。通过引入新型钻探技术、优化设备与工具、规范操作流程，可有效解决当前钻探工艺中存在的效率、精度和成本问题。未来，随着科技不断进步，应持续探索创新钻探工艺，进一步提升矿山地质钻探水平，为矿山勘探与开发提供有力支持。

参考文献

- [1]李西元.矿山地质钻探工艺优化研究[J].中国金属通报,2025(1):125-128.
- [2]徐辉辉.矿山钻探工艺参数优化与效率提升[J].中国金属通报,2024(5):167-169.
- [3]刘明波.矿山大口径钻孔钻探施工技术及其工艺研究[J].世界有色金属,2024(15):163-165.
- [4]邢俊华.矿山地质探矿工程中钻探技术的实践研究[J].世界有色金属,2021(02):124-125.
- [5]郭风文.矿山地质工程钻探关键技术质量研究[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(22):170-171.