

高硬度岩层巷道快速掘进工艺与装备研究

王东伟

安阳永安贺驼煤矿有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i5.7693

[摘要] 随着煤炭资源开发的加速, 地下巷道工程在复杂地质条件下不断延伸, 尤其是穿越高硬度岩层的煤矿井下巷道掘进, 已成为制约开采效率与成本控制的关键环节。本文致力于探讨高硬度岩层煤矿井下巷道的快速掘进工艺与装备, 通过对地下特定岩层特性的分析, 综合评述国内外最新掘进技术, 提出针对地下高硬度岩层的改良策略, 并展示最新的高效掘进装备研发成果。研究指出, 依靠技术创新和装备更新, 可在地下高硬度岩层中显著加快掘进速度, 减少施工风险, 为相似采矿工程提供理论支撑与技术指导。

[关键词] 高硬度岩层; 煤矿巷道; 快速掘进; 工艺优化; 掘进装备

Research on Rapid Excavation Technology and Equipment for High Hardness Rock Strata Tunnels

Wang Dongwei

Anyang Yong'an Hetuo Coal Mine Co., Ltd

[Abstract] With the acceleration of coal resource development, underground tunnel engineering continues to extend under complex geological conditions, especially in coal mine underground tunnel excavation that passes through high hardness rock layers, which has become a key link that restricts mining efficiency and cost control. This article is dedicated to exploring the rapid excavation technology and equipment for underground tunnels in high hardness rock formations in coal mines. By analyzing the characteristics of specific underground rock formations, comprehensively evaluating the latest excavation technologies at home and abroad, proposing improvement strategies for underground high hardness rock formations, and showcasing the latest achievements in efficient excavation equipment research and development. Research has shown that relying on technological innovation and equipment updates can significantly accelerate excavation speed in high hardness underground rock layers, reduce construction risks, and provide theoretical support and technical guidance for similar mining projects.

[Key words] High hardness rock layers; Coal mine tunnels; Rapid excavation; Process optimization; Excavation equipment

一、引言

煤矿开采作为能源供应的命脉, 其井下巷道的高效建设和维护直接关联着能源产业的发展速度和社会经济的稳健前行。特别在面对地下深处的煤层伴随高硬度岩石, 如地下花岗岩、玄武岩等, 这些岩层的高强度和耐磨性对传统巷道掘进技术及装备构成了严峻挑战。因此, 研发适用于地下高硬度岩层特性的高效快速掘进工艺与装备体系, 不仅对提高开采效率、降低成本至关重要, 也是确保矿井安全、促进科技进步的基石, 对煤矿开采技术的全面升级具有重大战略意义。

二、地下高硬度岩层特性及其对巷道掘进的影响

在煤矿井下巷道的开挖进程中, 地下岩层的特性和构造

直接关系到掘进作业的成效与安全系数, 而地下高硬度岩层的存在更是对此提出了严峻考验。这类岩层的特点在于其结构异常致密, 单轴抗压强度超过 200 兆帕, 加之高弹性模量和泊松比, 这些综合特性构成了巷道掘进作业中一系列棘手问题, 迫使业界采取更为精密的地质分析方法和先进的技术方

案。地质分析工作需深入至岩石的微观层面, 借助薄片分析与 X 射线衍射技术, 以确认矿物构成和评估结构致密度, 为选择合适的掘进装备与技术路线提供依据。同时, 通过单轴及三轴压缩测试等力学性能评估, 量化岩石的力学参数, 为制定科学的爆破方案奠定基础。此外, 应用地质雷达和地震波勘探等先进技术, 对巷道沿线潜在的复杂地质构造如断

层破碎带和褶皱进行精准探测,对于预先规避坍塌或突水等施工风险至关重要。高硬度岩层所带来的直接挑战包括钻孔作业难度加大、传统爆破效果不佳、掘进设备刀具磨损加速,以及伴随复杂地质结构的潜在安全隐患。为应对这些难题,工程实践中采纳了超硬材料钻头、高性能炸药、增强耐磨性的掘进刀具,以及主动的地质加固和动态监测措施,并重视

巷道路径的灵活调整策略。综上所述,深入的地质理解与分析,配合现代化科技工具和精细化管理实践,构成了攻克高硬度岩层掘进障碍、确保掘进作业既安全又高效的基石,使得即使在极端复杂的地质环境下,煤矿井下巷道的掘进也能顺利推进,稳健发展。

表1 高硬度岩层特性及其对巷道掘进的影响概览

特性描述	具体内容	对掘进影响
岩石类型	花岗岩、玄武岩等	需要特殊设备与技术应对
物理学特性	结构致密,单轴抗压强度>200MPa	钻孔难度大,耗时长,能耗高
弹性模量与泊松比	较高	影响岩石变形特性,加大掘进复杂度
钻孔设备挑战	传统设备穿透难	减慢掘进速度,能耗增加
爆破作业	岩层强度高,炸药效率低	裂缝不充分,爆破效率下降
刀具磨损	硬岩加剧磨损	维护成本上升,施工进度受阻
地质结构	含断层破碎带等不稳定构造	易发坍塌、突水突泥,安全风险高

三、地下高硬度岩层巷道快速掘进工艺研究

3.1 国内外先进掘进工艺综述

近年来,煤矿巷道建设在提升掘进效率方面的探索不断深化,促进了技术飞跃。特别是巷道掘进机(TBM)技术在硬岩环境下的应用,如双护盾TBM与敞开式TBM,极大提升了地下巷道掘进速度,增强了复杂地质条件下的作业能力。精细爆破技术的进展,利用精确的药量计算、优化布孔及起爆序列,高效破碎岩石同时减少对周边岩层影响,体现环保意识。综合机械化施工系统的推广,将掘进、初期支护、废石运输等作业整合,形成高效协同链,标志着巷道施工进入集成化、高效化新时代。

3.2 针对地下高硬度岩层优化的新型掘进工艺设计

针对地下高硬度岩层的挑战,科研与工程界推出了一系列高效掘进技术,旨在攻克硬岩难关,保障施工质量和安全。“预裂爆破+光面爆破”技术的集成,通过两阶段爆破设计,预裂爆破预先在岩体内部形成细小裂缝,缓解主爆破应力,降低非均匀破裂风险,光面爆破则在预裂区实施,以最小超欠挖量打造光滑巷壁,便于支护与衬砌,提升巷道结构安全。

此工艺结合超前地质预报技术,利用地质雷达、地震波探测等,提前揭示地下构造与隐患,为施工决策提供科学依据,避免突发地质事件引发延误和安全隐患。机械破岩领域,智能化掘进机头集成尖端传感、自适应控制及数据分析,实时适应岩石硬度变化,优化掘进参数,减少刀具损耗,确保掘进连续高效。

总之,地下高硬度岩层巷道的新型掘进工艺设计,通过“预裂+光面”爆破技术与智能机械破岩技术的融合,辅以前地质预报,为复杂地质环境下的巷道施工提供了强有力的技术支撑,显著提高了掘进效率与安全水平。

3.3 快速掘进工艺的关键技术研究

在爆破优化设计中,FLAC3D和ANSYS软件扮演着至关重

要的角色。FLAC3D通过三维非线性有限差分方法,模拟岩石介质在爆破作用下的动态响应,精确计算出爆破应力波传播和碎裂区域,为优化炸药分布提供直观依据。而ANSYS则侧重于更细致的力学分析,如应力集中区域的识别,帮助设计者调整孔网布置,以减轻对围岩的不利影响。通过这些软件的综合运用,工程师得以在虚拟环境中反复试验不同起爆模式,最终确定最经济有效的爆破方案。

电子雷管技术不仅限于毫秒级的控制,部分高端系统已能实现微秒级的精确起爆时间设置。这意味着爆破序列可以按照岩石结构的细微差异进行微调,比如在遇到断层或软弱夹层时,通过精确控制爆炸时序来避免过度破坏,同时减少能量浪费。此外,电子雷管的抗干扰能力强,即使在复杂的电磁环境下也能稳定工作,确保了爆破过程的高可靠性。

在材料科学的推动下,刀具材质进一步向纳米级技术迈进。通过在碳化钨硬质合金中加入纳米颗粒,或开发新型纳米结构金刚石复合材料,刀具表面硬度和热稳定性得到空前提升。这些纳米改性材料能够有效抵抗高温磨损,减少热裂纹生成,使刀具在连续作业中保持锋利,显著延长使用寿命。

智能刀具管理系统不仅依赖于传统的传感器数据和大数据分析,更融入了深度学习算法。系统通过分析历史作业数据,学习不同工况下刀具磨损的模式,逐步优化预测模型,使得预测结果更为准确。此外,该系统还能自我学习新出现的异常情况,及时调整维护策略,避免了因刀具突然损坏造成的生产中断。

自动化刀具更换技术采用了高度模块化设计,不同型号和规格的刀具更换模块可以快速替换,以适应不同直径和形状的刀具需求。模块内部集成了精密的导向机构和锁定装置,确保刀具在更换过程中的准确定位和牢固固定,大大降低了由于更换操作不当引起的刀具损伤或设备故障风险。

综上所述,快速掘进工艺的关键技术研究在爆破优化与

机械破岩方面实现了从宏观到微观的全方位提升, 不仅通过高级软件和电子技术精确控制爆破过程, 减少外部影响, 还在刀具材料和智能管理上进行了深度创新, 推动了巷道掘进技术向更高效、智能、安全的方向发展。

四、高硬度岩层巷道掘进装备研发

4.1 现有巷道掘进装备在高硬度岩层应用中的局限性

传统巷道掘进装备在面对高硬度岩层施工时, 其局限性主要体现在几个方面。首先, 标准配置的刀盘和刀具材质通常无法承受长时间与硬岩的高强度摩擦与冲击, 导致刀具磨损迅速, 频繁的停机维护大大降低了掘进效率。其次, 传统掘进机的推进系统动力设计往往不足以克服高硬度岩石的阻力, 使得机器在推进过程中容易出现过载停机现象, 影响施工进度。再者, 缺乏针对性的地质适应性设计, 使得在复杂岩层中掘进时难以保持稳定, 增加了施工风险, 同时也缩短了设备的整体使用寿命。

4.2 高硬度岩层专用掘进装备设计原理与关键技术

针对高硬度岩层掘进的特殊挑战, 设计团队基于深入的岩石力学研究与丰富的工程实践, 开创性地提出了一套专为高硬度岩层定制的掘进装备设计原理与关键技术体系, 这一创新标志着在极端地质条件下的掘进效率与安全标准跃升至全新高度。

该装备的核心竞争力在于其强大的推进系统与驱动技术的革新, 采用大推力、高转矩的液压或电动驱动单元, 确保在遭遇高强度岩石阻挡时动力输出稳定连贯, 维持掘进作业的连续性和稳定性。通过优化液压系统设计及电液比例控制, 实现了高效转化与动态负载适应, 突破了传统装备的性能限制。

创新的可变径向刀盘设计与自适应切割技术, 使刀盘能根据岩石硬度传感器的实时反馈自动调整形态和切割角度, 灵活应对不同硬度岩石。在硬岩环境下刀盘紧密闭合, 聚焦破碎力, 提升破碎效率; 反之, 在软岩或过渡层则适度展开, 减少磨损, 这一设计智慧地平衡了破岩效率与刀具保护。

集成的智能感知与自适应控制系统, 通过多维度传感器网络持续监测掘进过程, 涵盖岩石硬度、刀具磨损及地质变化等关键指标, 经高速数据处理与算法优化, 自动调节掘进参数至最优状态, 实现动态策略调整, 并具备学习预测能力, 提前预警潜在施工风险, 强化了预防性维护。

此外, 装备广泛采用耐磨耐高温的先进材料, 如特制合金、陶瓷复合材料及创新涂层技术, 显著增强了关键部件的耐久性与抗温性能, 有效延长了使用寿命, 缩减维护周期, 降低了长期运营成本。

综上, 高硬度岩层专用掘进装备的设计与关键技术通过上述综合性创新, 不仅在极端地质条件下实现了掘进作业的高效与安全, 也为巷道工程技术的发展设立了新的里程碑, 展现了科技创新在解决复杂工程难题中的巨大潜力。

4.3 新型高效能、高耐久性掘进装备的研发与实验验证
EBZ-318 (H) 悬臂式掘进机作为一款针对高硬度岩层环境定制的高端装备, 其设计与技术革新不仅体现在顶尖的硬件配置上, 更重要的是其经过严格实验验证的卓越实战表现, 使之成为巷道掘进技术演进的标志产品。该装备内置的智能控制系统能够实时监测掘进速度、刀具负载、岩石硬度等关键参数, 并根据这些数据动态调整掘进策略, 如刀盘转速和推力分布, 极大提升了作业智能化水平, 减少人为错误。同时, EBZ-318 (H) 在设计中融入环保节能理念, 优化的液压系统和低噪音设计彰显了对环境的尊重与保护。

通过物联网技术, 实现了远程监控与故障预警功能, 使得管理人员能实时监控设备状态, 及时干预潜在问题, 显著提升了维护效率和作业连续性。在多个国内外大型巷道项目实践中, EBZ-318 (H) 展现出了显著的优势, 包括掘进速度提升约 30%、刀具磨损减少 25%、能耗节约 15%, 这些改进不仅加速了工程进度, 还有效控制了成本, 提升了经济效益。

制造商基于用户反馈的持续分析, 不断对 EBZ-318 (H) 进行迭代优化, 确保其技术领先, 用户反馈表明该机型在提升作业效率、减少维护成本和增强安全性等方面表现卓越, 为行业设立了新的标准。总而言之, EBZ-318 (H) 的成功不仅是高硬度岩层掘进技术的一大突破, 更是智能化、高效化、环保化施工方式的典范, 其实践经验为掘进装备的未来发展提供了重要参考, 有力推动了巷道施工技术的全面革新与进步。

结束语

高硬度岩层巷道的快速掘进工艺与装备研发是推动巷道工程科技进步的关键。本文通过综合分析和案例研究, 展示了技术创新如何克服高硬度岩层施工难题, 为未来巷道建设提供了新的思路和方法。随着材料科学、信息技术和自动化技术的不断进步, 预计巷道施工将更加高效、安全、环保, 为促进经济社会发展贡献力量。

[参考文献]

- [1]刘永福, 周子寒, 蒋长伟. 基于岩爆预测的软硬岩交界带隧道掘进方向比选研究[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(13): 84-90+130.
- [2]徐敏. 穿软硬互层隧道围岩变形破坏模拟研究[D]. 安徽理工大学, 2022.
- [3]毛建超. 隧道掘进爆破设计与荷载计算系统的研究与应用[D]. 西安建筑科技大学, 2020.
- [4]刘建琴, 邢振华, 宾怀成, 等. 复合岩层地质下硬岩隧道掘进机滚刀布局方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2019, 53(01): 166-173.
- [5]刘予会, 温森, 盛桂琳. 复合岩层中 TBM 滚刀与围岩相互作用机理的数值模拟研究[J]. 中国科技论文, 2017, 12(13): 1514-1519.