

# 矿山敞开式TBM的掘进效率提升策略研究

中建琛<sup>1</sup> 孟佑强<sup>1</sup> 马昊<sup>1</sup> 胡世超<sup>2</sup> 祝贺超<sup>2</sup>

1. 中铁隧道局集团有限公司 广东 广州 511466

2. 鞍钢基石矿业有限公司 辽宁 鞍山 114000

**摘要:** 在矿山建设中, 敞开式TBM掘进效率关乎工程进度与成本。地质条件、设备性能及施工工艺等多因素交织影响掘进效率。通过深入剖析, 提出地质适应性优化、设备性能提升、施工工艺改进及人员管理与培训等策略。这些策略旨在精准解决现存问题, 协同发力提升敞开式TBM掘进效能, 为矿山高效建设提供有力支撑, 助力行业实现可持续发展。

**关键词:** 矿山敞开式TBM; 掘进效率; 提升策略

## 引言

矿山工程建设中, 高效掘进是保障项目顺利推进的关键。敞开式TBM作为先进掘进设备, 其应用日益广泛。然而, 实际掘进效率常受多种复杂因素制约, 导致工程进度滞后、成本增加。深入研究其掘进效率影响因素并探寻提升策略具有重要现实意义。这不仅能提高矿山建设速度, 降低工程成本, 还能推动TBM技术在复杂矿山环境下的创新应用, 为行业发展注入新动力。

### 1 矿山敞开式TBM掘进效率提升策略的重要性

在矿山掘进领域, 提升敞开式TBM(全断面隧道掘进机)的掘进效率具有至关重要的战略意义。矿山掘进作业往往面临复杂的地质条件、严格的工期要求和高昂的成本压力, 因此, 提高掘进效率直接关系到矿山的开采进度、经济效益以及安全生产水平。敞开式TBM作为一种集掘进、支护、出渣等多功能于一体的现代化施工装备, 其掘进效率的提升对于矿山掘进作业具有显著影响。第一, 掘进效率的提高意味着矿山开采周期的缩短, 这不仅可以通过加快矿产资源的开发利用, 还能有效降低因工期延长而产生的额外费用, 提升矿山的整体经济效益。第二, 高效掘进还能减少掘进过程中的安全隐患, 降低事故风险, 保障工作人员的安全。针对矿山敞开式TBM掘进效率的提升, 需要采取一系列科学有效的策略。这些策略包括但不限于: 优化设备选型与配置, 确保TBM设备能够适应矿山的实际地质条件; 加强设备的维护与保养, 减少因设备故障导致的停机时间; 改进掘进工艺与方法, 提高掘进作业的连续性和稳定性; 加强人员培训与管理, 提升操作人员的专业技能和应急处理能力。掘进效率的提升还需注重技术创新与应用, 通过引入先进的监测与控制技术, 实现对掘进过程的实时监控与精确控制, 可以进一步提高掘进作业的精度和效率。针对矿山掘进过程中遇到的具体问题, 开展针对性

的技术研发与攻关, 也能为掘进效率的提升提供有力支持。提升矿山敞开式TBM掘进效率是矿山掘进作业中的关键环节, 对于保障矿山开采进度、提高经济效益以及确保安全生产具有不可替代的重要作用。

### 2 矿山敞开式TBM掘进效率影响因素分析

#### 2.1 地质条件因素

地质条件对矿山敞开式TBM掘进效率起着至关重要的作用。岩石的硬度是首要考量因素, 不同硬度的岩石给TBM刀具带来的磨损程度差异巨大。在硬岩地层中, 如花岗岩、石英岩等, 岩石抗压强度高, TBM刀具需承受强大的切削力, 刀具磨损加快, 更换刀具的频率增加, 这无疑会中断掘进进程, 极大地降低掘进效率。岩石的耐磨性也不容小觑, 高耐磨性岩石会加剧刀具的损耗, 缩短刀具使用寿命, 迫使施工方频繁停机更换刀具, 造成时间和成本的双重浪费。岩石的完整性同样影响显著, 节理裂隙发育的岩石, 在TBM掘进过程中容易发生坍塌、掉块等现象。一旦出现此类情况, 不仅要暂停掘进进行处理, 以保障施工安全, 还可能需采取额外的支护措施, 这都将大幅增加施工时间。岩石的抗压强度与TBM掘进速度之间存在紧密联系。抗压强度过高的岩石, TBM难以实现高效切削, 掘进速度不得不放缓。岩石的层理特性也不容忽视, 水平层理或倾斜层理的岩石在掘进时, 可能导致TBM掘进方向偏移, 需要不断进行调整, 进一步影响掘进效率<sup>[1]</sup>。

#### 2.2 设备性能因素

设备性能是决定矿山敞开式TBM掘进效率的核心要素之一。TBM的刀盘设计至关重要, 刀盘的结构形式、刀具布置以及开口率等都会影响掘进效果。合理的刀盘结构能够有效传递切削力, 提高刀具的破岩效率, 例如, 在面对不同硬度的岩石时, 刀盘刀具的选择需要精准匹配。对于硬岩, 需采用高强度、高耐磨性的刀具,

而对于软岩,则可选用相对轻型的刀具,以实现最佳的切削效果,若刀盘刀具与岩石特性不匹配,不仅会导致刀具过度磨损,还会使掘进速度大打折扣。TBM的推进系统性能直接关系到掘进效率,推进力的大小决定了TBM能否在不同地质条件下顺利向前推进。在硬岩地层中,需要强大的推进力来克服岩石阻力,若推进系统功率不足,TBM将难以正常掘进,推进系统的稳定性也十分关键,稳定的推进系统能够保证TBM掘进过程中的姿态控制,避免出现偏差,确保掘进方向的准确性。一旦推进系统出现故障,如推进油缸泄漏、推进力不均衡等,将严重影响掘进效率,甚至可能引发工程事故。TBM的出渣系统也不容忽视。高效的出渣系统能够及时将挖掘出的岩渣排出洞外,为后续掘进创造良好条件。出渣设备的故障也会频繁出现,如皮带输送机断裂、刮板输送机卡链等,这些故障都会耽误出渣时间,进而影响TBM的整体掘进效率。

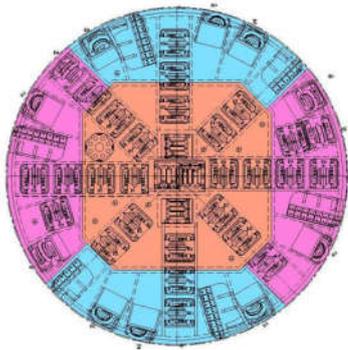


图1 刀盘布置图

### 2.3 施工工艺因素

施工工艺对矿山敞开式TBM掘进效率有着深远影响。TBM的掘进参数优化是关键环节,掘进速度、刀盘转速、推力等参数的合理设置,能够显著提高掘进效率。在不同地质条件下,需要根据岩石特性对这些参数进行实时调整。例如,在软岩地层中,可以适当提高掘进速度,降低刀盘转速和推力,以减少刀具磨损;而在硬岩地层中,则需降低掘进速度,增大刀盘转速和推力,提高破岩效果。如果掘进参数设置不合理,将导致刀具磨损加剧、掘进效率低下,甚至可能损坏设备。TBM的支护工艺同样影响掘进效率,及时有效的支护能够保证隧道围岩的稳定性,为TBM掘进创造安全的作业环境。在围岩条件较差的地段,如破碎带、软弱地层等,需要采用超前支护等措施,防止围岩坍塌。支护作业往往需要占用一定的时间,若支护工艺繁琐、施工进度慢,将影响TBM的连续掘进,因此,选择合理的支护方式和快速施工工艺,对于提高掘进效率至关重要。若

施工组织管理不善,将出现设备故障维修不及时、物资供应短缺、人员分工不合理等问题,这些都会影响TBM的正常掘进。例如,若设备维护计划不合理,TBM在掘进过程中频繁出现故障,将导致掘进中断,严重影响掘进效率,所以,建立科学合理的施工组织管理体系,对于提高矿山敞开式TBM掘进效率具有重要意义<sup>[2]</sup>。

## 3 矿山敞开式 TBM 掘进效率提升策略

### 3.1 地质适应性优化策略

(1) 深入开展地质超前预报工作。采用多种超前地质预报手段相结合,精准探测前方岩石的岩性、节理裂隙发育程度以及可能存在的断层破碎带等地质情况。依据预报结果,提前制定针对性的掘进参数调整方案,如在硬岩地段适当提高刀盘转速与推进力,在软弱破碎带则降低掘进速度,加强支护措施,避免因地质突变导致TBM卡机等故障,确保掘进过程的连续性与稳定性。

(2) 优化刀具配置。根据不同地质条件,合理选择刀具类型与布置方式。对于硬岩,选用高强度、高耐磨性的盘形滚刀,增加滚刀数量与刀间距,以提高破岩效率;在软岩或软硬不均地层,搭配使用切刀、刮刀等刀具,优化刀具组合,使刀具适应复杂多变的地质环境,减少刀具磨损与更换频率,提升TBM在不同地质条件下的掘进效能。(3) 建立地质动态反馈机制。现场施工人员与地质技术人员密切配合,实时监测TBM掘进过程中的各项参数,如扭矩、推力、贯入度等,并结合实际揭露的地质情况,及时反馈给技术部门。技术人员根据反馈信息,快速调整掘进参数与施工工艺,使TBM始终处于最佳的地质适应状态,实现高效掘进。

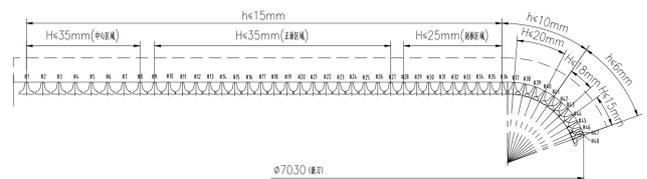


图2 刀具布置图

①对于更换下来的滚刀刀圈未达到磨损极限,为了提高刀圈的利用率,此滚刀安装到允许磨损量较大的区域继续使用。

②在更换滚刀时成组更换,以避免单个滚刀的承载过度,可以更好的保证滚刀总成的使用寿命。

③如果某个滚刀卡住或过早损坏,建议用原先已经部分磨损的滚刀进行替换,以避免刀圈过度磨损。防止滚刀承受较大的冲击。

### 3.2 设备性能提升策略

(1) 定期进行设备维护保养。制定详细的设备维护

计划,严格按照计划对TBM主机、后配套系统等关键设备进行日常巡检、定期保养与深度检修。及时更换磨损的零部件,对液压系统、电气系统等进行性能检测与调试,确保设备各部件处于良好的运行状态,降低设备故障率,为高效掘进提供坚实的硬件保障。(2)对设备进行技术升级改造。引入先进的技术与理念,对TBM的关键部件进行优化升级。改进通风、除尘系统,提升洞内作业环境质量,保障设备正常运行与人员身体健康;应用智能化监测与控制系统,实现设备运行状态的实时监控与故障预警,提升设备管理的智能化水平,从而提升设备整体性能与掘进效率。(3)开展设备性能评估与优化。在TBM掘进过程中,定期对设备的各项性能指标进行评估分析,通过数据分析找出设备性能的瓶颈与短板。针对这些问题,组织专业技术团队进行研究攻关,采取相应的优化措施,不断挖掘设备的潜力,提高设备的运行效率与可靠性,进而提升TBM的掘进效率<sup>[3]</sup>。

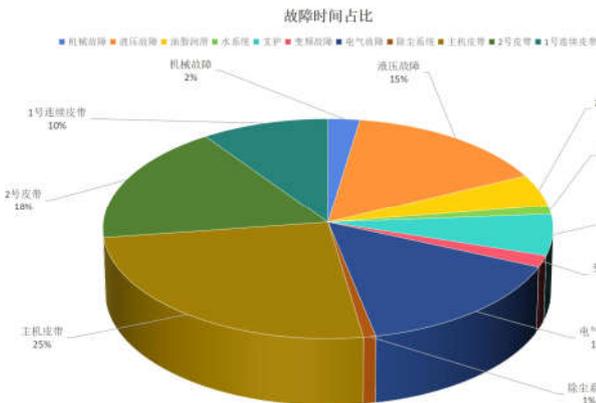


图3 TBM故障时间统计

### 3.3 施工工艺改进策略

(1) 优化出渣运输工艺。合理选择出渣运输设备,根据隧道断面大小、掘进长度等因素,确定皮带输送机、矿车等出渣设备的型号与数量。(2) 改进支护施工工艺。采用与TBM掘进速度相匹配的支护方式,如在硬岩地段可采用锚杆、喷射混凝土等简单高效的支护形式,快速完成支护作业;在软弱破碎带,采用钢支撑等联合支护方式,确保施工安全的前提下,提高支护速度。(3) 完善施工组织协调机制。建立高效的施工指挥中心,统一协调TBM掘进、支护、出渣运输、设备维护等各个施工环节。合理安排施工工序,优化施工流程,避免各工序之间的相互干扰与冲突。加强不同施工班组之间的沟通协作,通过信息化管理手段,实现施工信息的实时共享与快速传递,提高施工组织的协同性与灵活

性,保障TBM掘进施工的高效有序进行。

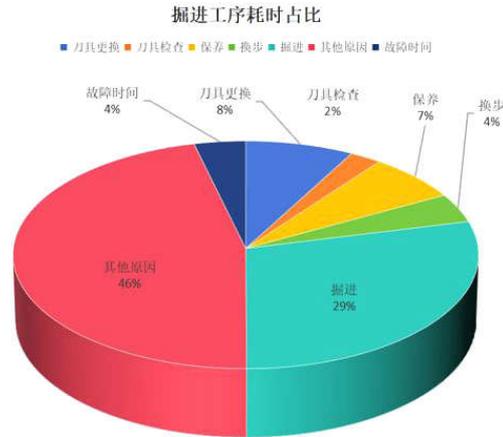


图3 TBM掘进工序时间统计

### 3.4 人员管理与培训策略

(1) 组建专业高效的施工团队。选拔具有丰富TBM施工经验的管理人员、技术人员与操作人员,组成一支高素质的施工队伍。(2) 加强人员培训工作。定期组织针对TBM操作、维护、施工工艺等方面的培训活动,邀请行业专家、设备厂家技术人员进行授课与指导。(3) 建立有效的激励机制。对在TBM掘进施工中表现突出的个人与团队进行表彰与奖励,树立榜样,营造良好的工作氛围,激发全体人员为提高TBM掘进效率而努力工作的热情,促进施工效率的不断提升<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述,矿山敞开式TBM掘进效率提升需多管齐下。地质适应性优化、设备性能提升、施工工艺改进及人员管理与培训策略相辅相成。通过实施这些策略,可有效突破掘进效率瓶颈,显著提升矿山建设水平。未来,随着技术的不断进步与经验的积累,应持续探索更优策略,以适应日益复杂的矿山地质条件,推动矿山工程建设向更高效率、更低成本方向迈进。

### 参考文献

[1]刘全辉,汪青仓,宋朝阳,等.煤矿超长斜井破碎地层敞开式TBM掘进技术与应对方法研究[J].煤炭工程,2024,56(7):53-58.  
 [2]冯玉飞.煤矿掘进施工过程中的工艺流程优化与效率提升[J].内蒙古煤炭经济,2024(5):145-147.  
 [3]蔡茂天,王伟杰.基于煤矿掘进效率提升的煤矿工程造价控制研究[J].善天下,2021(12):220-221.  
 [4]李晓伟.煤矿掘进智能化对矿井安全与生产效率的提升[J].建筑与施工,2023,2(21):65-66.