

隧道工程大机械配套设备管理的难点与优化路径

龚志豪

四川公路桥梁建设集团有限公司公路隧道分公司 四川 成都 610200

摘要: 隧道工程中,大机械配套设备管理面临设备选型复杂、协调调度难、维护成本高及人员技能不足等难点。这些问题影响施工效率与质量,增加工程成本。优化路径在于构建智能化管理系统,实现设备实时监控与调度;加强人员培训,提升操作与维护能力;推行预防性维护策略,降低故障率;同时,建立设备共享机制,提高设备利用率,从而全面提升隧道工程大机械配套设备的管理水平。

关键词: 隧道工程;大机械配套设备管理;难点;优化路径

引言:在隧道工程规模化、高效化发展趋势下,大机械配套设备作为核心施工支撑,其管理水平直接影响工程进度、质量与成本。然而,受复杂地质条件、多工种协同需求、设备技术迭代加速等因素制约,设备选型适配性差、维护效率低、资源调配冲突、安全环保风险突出等问题日益凸显。如何通过系统性优化破解管理困境,成为提升隧道施工综合效益的关键课题。

1 隧道工程大机械配套设备管理概述

1.1 隧道工程大机械配套设备的定义与分类

(1) 定义:指隧道施工全流程中,为实现掘进、支护、运输等核心作业及辅助工序配置的大型专业化机械设备体系,涵盖施工准备至竣工移交所需重型装备,是工程规模化、高效化施工的核心支撑。(2) 分类及功能特点:掘进设备(盾构机、TBM掘进机)具破岩、出碴一体化功能,适用于长距离、大断面隧道;开挖设备(三臂/双臂凿岩台车);支护设备(拱架台车、锚杆钻机、湿喷台车),适用于传统装爆法施工;另有运输、通风、排水等辅助设备,为施工做好保障工作。

1.2 设备管理的核心内容与目标

(1) 定义与范畴:对设备全生命周期的系统性管控,覆盖规划、采购、使用、维护、改造及报废各环节。(2) 核心内容:采购阶段结合工程需求选型,保障性价比;使用环节规范操作,避免违规;维护含日常巡检、定期保养及故障维修,延长设备寿命;报废阶段按标准处置,实现资源回收。(3) 管理目标:提升设备运行效率,保障工程进度;控制采购与运维成本,优化资源配置;消除安全隐患,防范事故;推动设备的绿色升级,实现可持续施工^[1]。

1.3 设备管理在隧道工程中的重要性

(1) 对工程进度的影响:高效管理减少故障停机时间,确保施工工序连续,避免设备问题导致工期延误。

(2) 对工程质量与安全的保障作用:设备性能稳定保证施工工艺精准,提升工程质量;规范维护降低机械故障引发的安全风险,保障人员生命安全。(3) 对成本控制与资源利用的优化效果:合理调度与维护降低能耗和维修成本,报废设备规范处置提高资源回收率,实现成本节约与绿色施工双重目标。

2 隧道工程大机械配套设备管理的难点分析

2.1 设备选型与配置的复杂性

(1) 地质条件多样性对设备选型的影响:隧道施工常面临软岩、硬岩、富水地层等复杂地质,如软岩地层需具备防坍塌功能的掘进设备,硬岩地层则要求设备具备高强度破岩能力,地质条件的动态变化易导致预设选型与实际施工需求不匹配,增加选型难度。(2) 工程规模与工期要求对设备配置的挑战:大型隧道工程需多台设备同步作业,而工期紧张时需提升设备配置密度,但过度配置易造成资源闲置,配置不足又会延误工期,难以精准平衡规模、工期与设备数量的关系。(3) 设备兼容性与协同作业的难题:不同品牌、型号的设备在数据接口、作业参数上存在差异,如掘进设备与运输设备的作业节奏不匹配,易出现工序衔接断层,影响整体施工效率^[2]。

2.2 设备使用与维护的挑战

(1) 操作人员技能水平参差不齐:部分操作人员缺乏对大型设备的系统培训,对设备操作规范、应急处理流程掌握不足,易因误操作导致设备故障,甚至引发安全事故。(2) 设备维护计划与实际需求的脱节:传统维护多依据固定周期制定,未考虑隧道施工中设备负荷波动(如高峰期设备高强度运转),可能出现过度维护增加成本,或维护不及时导致设备损坏。(3) 故障诊断与维修的时效性问题:隧道施工环境封闭,设备故障后难以快速定位问题,且部分核心零部件需外部调配,维修

周期长，易造成施工中断。

2.3 设备管理与协调的困难

(1) 多部门、多工种之间的沟通障碍：设备管理涉及施工、技术、物资等多部门，以及掘进、支护、运输等多工种，各主体需求不同（如施工部门追求进度，物资部门关注成本），信息传递不及时易导致管理决策滞后。(2) 设备调度与资源分配的冲突：多个施工面可能同时需求同一类型设备（如锚杆钻机），若调度不合理，易出现部分工作面设备闲置、部分工作面设备短缺的情况，影响整体施工进度。(3) 信息化管理水平的不足：部分项目仍依赖人工记录设备运行数据，难以实时监控设备状态，无法精准预测设备故障，也无法高效统筹设备调度与维护计划。

2.4 成本与效益的平衡难题

(1) 设备采购与租赁的成本控制：采购大型设备（如盾构机）需高额资金，且设备闲置时会产生折旧成本；租赁设备虽能降低初始投入，但长期租赁费用可能高于采购成本，难以精准选择更经济的方式。(2) 设备使用寿命与更新周期的决策：设备超期使用易增加故障风险和维修成本，过早更新则会造成资源浪费，需综合评估设备性能、维修成本、工程需求等因素，决策难度较大。(3) 经济效益与社会效益的协调：为降低成本，部分项目可能选择能耗高、排放超标的设备，虽短期经济效益显著，但不符合环保要求，易面临政策处罚，影响项目社会效益。

2.5 安全与环保的双重压力

(1) 设备操作安全风险的防控：隧道空间狭小，设备运行时易与人员、其他设备发生碰撞，安全防控措施需全面覆盖，执行难度大。(2) 环保法规对设备排放与噪音的限制：当前环保法规对设备尾气排放（如国六标准）、施工噪音（如夜间施工噪音限值）要求严格，部分老旧设备难以达标，需投入资金进行改造或更换。(3) 可持续发展要求下的设备升级需求：可持续施工要求设备向节能、环保、智能化方向升级（如新能源运输设备、智能故障诊断设备），升级需高额资金支持，且部分新技术成熟度不足，增加了升级风险。

3 隧道工程大机械配套设备管理优化路径

3.1 优化设备选型与配置策略

(1) 基于地质条件的设备选型模型：构建“地质参数-设备性能”匹配数据库，整合隧道勘察阶段岩性、含水率、抗压强度等数据，借助BIM技术模拟不同地质下设备作业效果。如富水地层优先选带防水密封系统的盾构机，硬岩地层配置高扭矩破岩刀具，推动选型从“经验判断”转向“数据驱动”，降低选型偏差风险。(2) 动态调整设备配置的弹性机制：建立设备配置与工程进度联动模型，依施工计划、工作面数量变化调整设备数量。如工期紧张时短期租赁补缺口，施工淡季退回闲置设备；同时预留备用设备，应对地质突变等突发情况，快速调度保障施工连续，避免配置僵化导致资源浪费或工期延误。(3) 强化设备兼容性与协同作业能力：采购阶段明确数据接口、作业参数统一标准，优先选同一品牌或具兼容协议的设备，如确保掘进机与运输列车信号系统互通，实现出渣节奏自动匹配；施工前通过模拟演练优化协同流程，明确设备作业时序、空间位置，减少工序衔接间隙^[3]。(4) 重视设备采购中的厂家增值服务与人才培养支持：采购盾构机、TBM、凿岩台车等大型专用设备时，优先选能提供增值服务的厂家，要求配套技术人员驻场指导，协助解决安装调试、日常运维难题；同时签订人才培养协议，由厂家提供定制化培训（含设备原理、操作技巧、故障排查），帮助甲方培养专业操作与维护团队，提升设备使用效率与管理水平。

3.2 提升设备使用与维护水平

(1) 加强操作人员培训与技能认证：构建“理论+实操+应急”的三级培训体系，理论培训涵盖设备原理、操作规范，实操培训在模拟场地进行真机操作，应急培训针对设备故障、安全事故开展演练；实行技能认证制度，操作人员需通过考核取得对应设备的操作资格证，未持证者禁止上岗，同时定期开展技能复训，更新知识储备。(2) 建立CBM（基于状态的维护）体系：在设备关键部位安装传感器，实时采集温度、振动、压力等运行数据，通过数据分析判断设备健康状态，例如当掘进机刀具振动值超标时，系统自动提醒更换刀具，替代传统的固定周期维护；制定分级维护方案，对核心设备（如盾构机）实施重点维护，对辅助设备（如通风机）实施常规维护，提升维护针对性。(3) 引入智能化故障诊断与预测技术：应用AI故障诊断系统，通过对比设备正常与故障状态的数据模型，自动识别故障类型、定位故障位置，例如运输设备电机异响时，系统可快速判断是否为轴承磨损；结合设备历史故障数据，预测故障发生概率，提前制定维修计划，备齐维修配件，缩短故障处理时间。

3.3 强化设备管理与协调机制

(1) 构建跨部门、跨工种的协同管理平台：搭建集成施工、技术、物资、运维等部门的数字化管理平台，实时共享设备运行、维护、需求等信息，例如施工部门通过平台提交设备使用计划，物资部门同步更新设备

配件库存,运维部门反馈设备维护状态;建立定期协调会议制度,定时召开设备管理例会,解决部门间需求冲突,确保管理决策高效落地。(2)优化设备调度与资源分配算法:引入智能调度算法,综合考虑施工面优先级、设备位置、作业效率等因素,自动生成最优调度方案,例如当多个工作面需求锚杆钻机时,算法优先分配至工期紧张的工作面,并规划最短运输路径;建立设备使用反馈机制,根据施工部门对设备调度的满意度,持续优化算法参数,提升调度合理性^[4]。(3)提升信息化管理水平(如物联网、大数据应用):基于物联网技术构建设备“云监控平台”,实时远程监控设备位置、运行参数、能耗等数据,实现设备状态可视化;利用大数据分析设备运行规律,例如统计不同地质条件下设备的能耗峰值,为成本控制提供数据支撑;将设备管理数据与工程管理系统对接,实现设备管理与进度、成本管理的协同联动。

3.4 平衡成本与效益的优化措施

(1)建立全生命周期成本(LCC)管理模型:涵盖设备采购、使用、维护、报废全阶段,计算各阶段成本(如采购成本、能耗成本、维修成本、残值回收),例如对比采购与租赁设备的全生命周期成本,当租赁总成本高于采购成本时,优先选择采购;通过LCC分析识别成本管控重点,例如针对高能耗设备,制定节能改造计划,降低长期使用成本。(2)制定设备更新与淘汰的决策标准:设定设备更新的量化指标,包括故障频率(如年度故障次数超5次)、维护成本占比(如维护成本超设备原值30%)、性能达标率(如设备作业效率低于标准值80%),当设备满足任一指标时启动更新评估;淘汰设备优先通过二级市场转让、拆解回收等方式实现残值最大化,减少资源浪费。(3)探索设备共享与租赁的经济模式:联合区域内同类隧道项目建立设备共享联盟,共享大型、高价值设备(如TBM掘进机),通过签订共享协议明确使用费用、维护责任,降低单个项目的设备投入;与设备租赁公司签订长期合作协议,争取优惠租赁价格,同时约定灵活的租赁周期,根据施工需求调整租赁时长,平衡成本与使用需求。

3.5 加强安全与环保管理

(1)完善设备安全操作规程与应急预案:针对不同设备制定专项安全操作规程,明确操作步骤、风险点及防控措施,例如盾构机操作需严格执行“先检查、后启动”流程;制定设备安全事故应急预案,明确应急响应流程、救援人员职责、物资储备,定期开展应急演练,提升事故处置能力。(2)推广低排放、低噪音的环保型设备:设备采购时优先选择符合国六排放标准、低噪音的型号,例如选用新能源运输设备替代传统柴油车,采用静音型通风机降低施工噪音;对现有高排放设备进行环保改造,如加装尾气净化装置,确保排放达标,避免因环保问题影响项目推进。(3)实施绿色施工与可持续发展战略:将设备管理纳入绿色施工评价体系,考核设备能耗、排放、资源回收等指标,推动设备管理向低碳化转型;探索设备循环利用模式,例如隧道施工结束后,将盾构机拆解、修复,用于其他项目,延长设备使用寿命;加大智能环保设备研发投入,推动设备技术升级,助力行业可持续发展。

结束语

隧道工程大机械配套设备管理是保障施工安全、效率与可持续性的关键环节。面对地质复杂性、技术协同挑战及安全环保压力,唯有通过数据驱动的选型优化、智能化的运维体系、跨部门协同机制以及绿色技术升级,才能实现设备全生命周期的高效管控。未来,随着物联网、AI等技术的深度融合,设备管理将向智能化、精细化方向加速演进,为隧道工程高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]张玉玮.机械工程设备管理与维护策略研究[J].中国设备工程,2022(10):43-45.
- [2]孙松.铁路隧道施工机械设备维护保养及管理措施[J].设备管理与维修,2021(08).
- [3]杜兆广.隧道施工中的机械设备配套技术[J].设备管理与维修,2021(3):14-15.
- [4]孙松.铁路隧道施工机械设备维护保养及管理措施[J].设备管理与维修,2021(8):8-9.