公路工程机械设备使用效率 影响因素及提升策略

张家泉

(四川路航建设工程有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘要 在现代公路工程建设过程中, 提升机械设备使用效率是优化施工管理、控制工程成本的重要目标。然而, 设备选型与工况匹配度不足、维护保养周期执行不规范以及配件供应管理滞后等因素, 严重影响了机械设备的作业效率。本文从提升机械设备使用效率的意义出发, 提出精准选型匹配工况需求、规范维保周期执行标准、建设智能库存管理系统以及动态调度优化现场协调等提升策略, 以期为提高公路工程建设质量提供有益参考。

关键词 公路工程; 机械设备; 使用效率; 集约化管理; 全生命周期

中图分类号: U415.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.035

0 引言

公路工程是国家基础设施建设的核心领域, 机械设备作为现代化产业体系的技术载体, 优化其运行效率不仅是控制工程进度的关键变量, 更是资源集约化管理的核心议题。因此, 对公路工程机械设备使用效率进行研究探讨, 需建立多维度的分析框架, 这对于构建资源约束条件下的工程效率优化模型具有重大理论价值, 同时为基础设施建设的可持续发展提供支持。

1 提升机械设备使用效率对公路工程建设意义

公路工程作为大型基础设施建设, 涉及复杂的施工流程, 机械设备在其中承担着关键的技术支撑作用。施工人员优化机械设备的使用效率, 能够有效降低工程实施过程中的时间成本, 进而提升整体建设效能。

从资源管理角度分析, 提升机械设备使用效率能够优化公路工程的能源配置结构, 并据此进行设备选型, 可减少设备空转率或重复作业频次, 避免因低效运行导致的能源浪费^[1]。此效率改进不仅符合绿色施工理念, 更能降低全生命周期内的碳排放强度, 为公路工程的可持续发展提供基础保障。

除此之外, 高效率的机械设备运行状态还有利于延长设备服役年限, 降低维护成本, 形成良性循环的资源利用模式。

在工程质量控制层面, 提升机械设备使用效率有助于实现精准的施工参数, 公路工程对路面平整度、压实度等关键指标都有严格标准, 优化机械设备使用效率能够确保施工工艺的稳定性, 减少因设备故障或性能不足造成的质量偏差。

2 影响公路工程机械设备使用效率的因素

2.1 设备选型与工况匹配度不足

公路工程涉及的土方开挖对设备功率、作业半径等技术指标有特定要求, 在选型过程中若忽略地质条件等变量, 易造成设备超负荷运转或低效空转。部分环节过度依靠人工经验判断, 缺乏对设备作业效率的量化分析, 致使选型方案偏离工程实际需求。另外, 施工工况的动态变化也会加剧设备与作业场景的适配难度, 公路工程常面临地形起伏、材料特性差异等复杂条件, 设计人员若未建立设备参数与工况变化的联动评估机制, 可能致使设备在突发工况下响应能力不足, 影响单机作业效能, 间接拖累整体施工进度。工程人员在选型决策时更多关注设备购置成本, 较少结合公路工程项目的施工周期进行综合测算, 导致部分高精度设备因长期处于非标准工况下运行, 核心部件损耗速率超出设计预期, 增加后期维护频率, 降低实际有效作业时间。

2.2 维护保养周期执行不规范

在制定机械设备管理方案时若未建立科学量化的维保标准, 易导致预防性维护与实际损耗规律脱节。公路工程施工现场普遍存在高强度连续作业特征, 设备润滑系统、传动装置等关键部件的磨损速率具有显著差异性, 统一套用固定维保周期可能造成部分设备过度维护或必要维护缺失。部分人员缺乏对设备历史运行数据的系统分析, 设定的维保间隔没有准确反映液压系统密封件老化等具体损耗进程, 加速核心部件性能衰减^[2]。除此之外, 编制的维护规程未明确具体

操作标准,易使现场维保流于形式,同时公路工程常用设备对液压油清洁度、轮胎气压值等参数敏感度较高,维护过程中检测项目遗漏或精度偏差可能引发连锁性故障,压缩有效作业时间。公路工程中路基施工与路面铺装阶段对设备需求存在明显差异,机械采用均匀分布模式将造成高负荷期设备可用性降低,甚至因带病作业引发二次损伤,形成设备性能与工程效率的双重损失。

2.3 配件供应管理滞后

公路工程施工现场设备类型多样,不同机械的易损件消耗速率存在差异,通用化的配件储备模式难以精准匹配铣刨机刀具磨损、摊铺机输料板更换等特定需求。部分项目规划阶段缺乏对设备故障率的量化分析,配件采购计划与设备维护需求错位,进而造成库存积压占用资金。配件库存配置与实际损耗规律脱节进一步加剧供应矛盾,在制定配件管理方案时若未结合公路工程不同施工阶段的设备使用强度,易致使库存结构失衡。除此之外,工程人员在供应链设计环节若未预留区域以应对急性调配机制,可能延误公路工程突发故障的处置效率,因为部分进口设备专用配件受采购周期限制,跨省调拨流程繁琐,无法满足紧急需求。设备维修与配件到货周期不同步,易导致故障机械长期占用施工场地,影响后续工序衔接,增加二次搬运成本。

3 提升公路工程机械使用效率的实践策略

3.1 精准选型匹配工况需求

工程人员进行科学分析工程地质条件、施工强度分布及工期节点目标,能够筛选出与工况特征高度契合的设备类型,避免因设备性能冗余或不足导致的资源浪费^[3]。精准选型可保障设备在额定工况下稳定输出,减少非必要的机械损耗,为提升施工流程提供设备保障。此适配性优化直接作用于工程效率,依靠缩短设备空转时间、降低故障率等方式,增强公路工程全流程的机械使用效率。

在实际操作中,工程人员需构建多维度的选型分析模型,以公路工程实际需求为导向,整合设备性能参数与施工场景特征。第一步建立设备数据库,设计人员可系统性收录各类机械的额定功率、作业半径、油耗指标等基础数据,同步整合历史工程中不同设备在相似工况下的作业效率记录。数据库按土方开挖、沥青摊铺等工序分类,结合工程地质勘探报告中的土壤硬度等参数,生成设备选型推荐图。第二步强化设备全生命周期管理理念,把选型决策延伸至运维成本核

算领域,分析设备折旧率、故障率曲线,综合评估不同型号设备在公路工程长周期施工中的综合成本效益,避免因单一追求技术指标而忽略经济性平衡。此类分析需结合工程预算,形成选型优先级排序规则,确保设备性能与工程目标之间精准对接。第三步制定参数标准化对照体系,统一设备选型与工况描述的量化指标,工程人员由此联合行业协会,将公路工程常见工况分解为承载力需求、作业精度误差、环境温湿度范围等可量化参数,形成设备选型匹配度评分表。该体系以赋值权重反映不同参数的重要性差异,例如:冻土区域施工中设备低温启动性能的权重高于常规工况,评分结果要直观展示候选设备与目标工况的契合程度,为决策提供可视化支撑。第四步应用智能化选型辅助工具,借助BIM技术构建三维施工场景模型,输入工程进度、材料特性等数据后,系统自动匹配设备库中符合功率输出范围且能耗阈值达标的机械类型,可显著降低人工比对成本,同时提高选型方案的科学性。

3.2 规范维保周期执行标准

科学合理的维保周期能够有效延缓设备性能衰减,减少突发性故障对施工连续性的干扰。依靠精准匹配设备损耗规律,可确保液压系统密封性、传动部件润滑度等关键指标始终处于安全阈值内。此预防性维护机制不仅能降低设备全生命周期维修成本,还能避免因核心部件失效导致的连锁性故障,为公路工程机械化施工稳定性提供保障。

工程人员依据设备类型、作业强度及环境特征制定差异化维护方案,将公路工程常用机械按动力系统、传动结构、控制精度等维度分级管理。针对沥青摊铺机、双钢轮压路机等精密设备,设计人员设定维保周期需重点考虑液压油清洁度;对于挖掘机、推土机等重型机械,则以底盘行走机构润滑为核心指标。开发数据驱动的维保,在设备关键部位安装振动传感器、油液检测仪等装置,实时采集轴承温度、齿轮箱金属碎屑浓度等参数。系统凭借机器学习算法分析数据变化趋势,自动预测滤清器堵塞、制动片磨损等故障发生概率,动态调整维保工单生成时间。推行维保作业标准化流程是保障执行质量的核心手段,据此编制可视化维保手册,将维护任务分解为检查、清洁、调整、更换等标准步骤,同时手册配套二维码标签粘贴于设备醒目位置,扫码即可调取三维拆解动画,确保操作精度。建立维保效果追踪评价机制,在每次维护完成后,运用设备运行数据监测维护效果。例如:更换挖掘机空气滤芯后,持续跟踪发动机进气负压值与燃油消耗率间的变化趋势,验证滤芯更换的必要性。强化施工

进度与维保计划的协同管理能减少效率损失, 工程人员结合公路工程工序衔接特点, 在路基压实高峰期前集中安排压路机全面检修, 在沥青摊铺间歇期进行摊铺机液压系统维护。引入第三方维保质量审计机制可提升标准执行刚性, 委托专业机构定期抽检维护记录, 审计结果与设备管理绩效考核挂钩, 未按标准执行维护的班组需重新接受操作培训。

3.3 建设智能库存管理系统

智能库存系统的本质是建立需求预测与资源调配的动态平衡, 依靠数据驱动决策实现配件供应与设备维护节奏间的精准匹配。与此同时, 工程人员整合设备运行数据、施工进度计划, 能预判不同阶段的配件消耗规律, 为优化库存结构提供科学依据^[4]。该机制可突破人工管理的响应延迟, 确保设备维修需求触发时配件即时可用, 减少非计划停机对施工连续性的冲击, 从根本上支撑公路工程机械化作业的高效性。

实际操作中, 工程人员在设备仓库货架部署传感器节点, 实时采集铣刨机刀头磨损量、压路机振动轴承寿命等数据, 同步传输至中央数据库。系统根据设备运行状态自动计算配件剩余寿命, “沥青摊铺机输料板厚度降至 3 毫米时触发预警, 生成采购订单并推送至供应商端口”。仓库采用射频识别 (RFID) 电子标签管理, 配件入库时自动更新库存数量, 设备维护人员凭借手持终端扫码即可快速定位所需配件, 减少领用流程耗时。开发多维度需求预测模型, 设计人员整合历史工程数据, 建立基于施工阶段、设备类型、环境条件的配件消耗分布图。针对山区公路项目, 模型自动提高挖掘机斗齿、破碎锤钎杆等易损件的安全库存值; 针对雨季施工场景, 增加发电机空气滤芯的储备量, 并且系统结合当前工程进度模拟未来的配件需求。实施库存分级分类管理策略可优化资源利用效率, 工程人员可根据配件紧急程度划分 ABC 三类库存: A 类为液压泵、控制主板等高价长周期配件, 设置最低安全库存并签订供应商优先供货协议; B 类包含滤清器、密封圈等中频消耗件, 采用经济订货批量模型控制库存成本; C 类涵盖螺栓、垫片等通用标准件, 实行供应商代管库存模式。搭建供应商协同平台, 设计人员需在系统中嵌入供应商评价模块, 依据供货及时率、质量合格率等指标动态调整采购优先级。

3.4 动态调度优化现场协调

公路工程施工现场具有多工序交叉的特征, 不同机械设备的作业半径、移动路径与施工时序存在复杂的空间关联。科学调度能够有效解决设备等待冲突、

作业面闲置等低效问题, 凭借时空资源的最优配置可提升设备协同作业效能^[5]。除此之外, 精准把握各施工阶段的核心设备需求强度, 构建起任务分配与资源供给的动态平衡, 确保关键设备在适宜作业窗口发挥最大效能。

建立物联网感知网络是实施动态调度的数据基础, 工程人员在主要施工机械安装工况传感器, 实时采集设备位置、作业状态及燃油消耗数据: 当沥青摊铺机工作时长超过设定阈值时, 系统自动标记为待维护状态并暂停新任务分配; 压路机完成当前路段压实作业后, 位置坐标实时上传至调度中心。数据运用 5G 网络回传至云端分析平台, 形成包含设备可用状态、作业进度的动态数据库, 为智能调度提供实时数据支撑。开发自适应调度算法, 构建多目标优化模型, 统筹考虑施工进度、设备性能与运输成本等变量, 此算法依据路基开挖段土方量, 自动匹配挖掘机与自卸车的数量配比, 确保装车环节不出现机械等待。搭建可视化调度指挥平台, 将施工区域划分为网格化单元, 利用三维数字孪生技术呈现各单元内的设备分布状态, 同时平台用不同颜色标注设备负荷状态, 红色代表超负荷作业, 绿色表示待命可用, 调度人员拖拽设备图标至目标网格即可生成调令。

4 结束语

提升公路工程机械设备使用效率能有效降低工程实施过程中的资源浪费, 同时契合绿色施工理念, 为公路工程的可持续发展奠定基础。未来, 随着科技的不断进步, 提升机械设备使用效率仍有广阔空间。一方面, 可进一步深化智能化技术在机械设备管理中的应用, 提高设备管理精细化水平。另一方面, 需综合考虑工程学、管理学等多学科知识, 构建更为完善的机械设备使用体系。

参考文献:

- [1] 何远鑫. 高速公路施工中的大型机械设备管理策略研究 [J]. 交通科技与管理, 2025, 06(03): 138-140.
- [2] 徐鹏. 公路工程机械化施工技术与管理探析 [J]. 汽车周刊, 2025(02): 38-40.
- [3] 王代勇, 杨旭. 公路工程中机械设备智能油耗监控系统的应用 [J]. 交通科技与管理, 2024, 05(19): 160-162.
- [4] 李国良. 节能环保视域下公路工程机械设备的配置与管理策略探讨 [J]. 汽车周刊, 2024(08): 175-177.
- [5] 张敏捷. 分析节能环保视域下公路工程机械设备配置与管理 [J]. 汽车周刊, 2024(08): 181-183.