

面向全生命周期的工程机械维护成本建模与管控方法

葛耀君

内蒙古伊泰煤制油有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要: 文章聚焦面向全生命周期的工程机械维护成本建模与管控。先划分工程机械全生命周期阶段,剖析维护成本构成与影响因素;阐述了建模方法,包括基本原则、分段建模及综合集成;然后提出管控方法,涵盖成本预测与预算编制、维护策略优化、成本控制监督及信息化平台建设。旨在为工程机械全生命周期维护成本管控提供全面、科学的理论与方法,助力企业降低成本、提升效益。

关键词: 工程机械;全生命周期;维护成本建模;成本管控

引言:在工程建设领域,工程机械发挥着关键作用,其维护成本对项目效益影响重大。全生命周期视角下,准确把握维护成本规律并有效管控,成为企业提升竞争力的重要课题。然而,工程机械维护成本受设备自身、使用环境、管理等多种因素影响,复杂多变。本文深入探讨面向全生命周期的工程机械维护成本建模与管控方法,为企业在复杂环境中实现维护成本的科学管控提供有益参考。

1 工程机械全生命周期阶段划分与成本构成分析

1.1 工程机械全生命周期阶段划分

工程机械全生命周期是指设备从规划设计开始,历经生产制造、购置投入、使用维护、维修改造直至报废回收的完整过程,结合行业特性可划分为四个核心阶段。规划设计与生产制造阶段是全生命周期的基础,涵盖设备需求调研、方案设计、零部件加工、整机装配及出厂检测等关键环节,此阶段的决策直接决定设备先天可靠性与后续维护难度。购置投入阶段聚焦设备采购谈判、合同签订、运输安装、调试验收及初期人员培训等工作,是设备投入使用的过渡环节。使用维护阶段是全生命周期中持续时间最长的核心阶段,包含设备日常工作、定期保养、故障维修、备件更换等常规工作,直接影响设备作业效率与使用寿命^[1]。报废回收阶段则涉及设备残值评估、拆解处理、可回收零部件再利用及废弃物环保处置等工作,标志着全生命周期的终结。各阶段相互关联、衔接紧密,共同构成工程机械完整的生命周期链条。

1.2 工程机械维护成本构成分析

工程机械维护成本作为全生命周期成本的核心组成部分,其构成具有多元性与阶段性特征,主要可划分为直接维护成本与间接维护成本两大类。直接维护成本是指与设备维护作业直接相关的显性支出,涵盖备件采

购费用,包括发动机、液压系统等核心零部件及滤芯、润滑油等常规耗材的购置成本;人工维护费用,即专业维修人员的薪酬、外聘维修人员的服务费及维护作业过程中的工时费;维修工具与设备使用费,包括专用维修工具的购置、租赁及折旧费用,以及检测仪器的校准、使用成本。间接维护成本是指因维护作业衍生的隐性支出,易被忽视但影响显著,主要包括设备停机损失,即维护期间设备无法正常作业导致的工期延误、产值下降损失;备件库存持有成本,即备件仓储过程中的仓储费、资金占用利息及备件损耗、贬值损失;维护不当导致的设备寿命缩短损失,即因保养不及时、维修不规范造成设备性能下降、提前报废产生的隐性成本。另外,特殊环境下的专项维护费用,如高温、高寒地区的设备防护维护支出,也需纳入维护成本构成体系,全面厘清成本构成是开展成本管控的基础。

2 面向全生命周期的工程机械维护成本影响因素分析

2.1 设备自身因素

设备自身因素是决定维护成本基础水平的核心内生因素。设备设计与制造质量是首要因素,设计未充分考虑作业环境适应性,或制造采用劣质零部件、装配工艺不规范,会使设备先天可靠性不足,易故障,增加维护频率与成本。设备技术复杂度也影响显著,智能化、自动化水平提升使设备集成更多精密组件,维修难度大、对人员技能要求高、备件采购成本贵,推高维护成本。设备使用年限与老化程度关键,随时间增长,零部件磨损老化,性能下降,故障增多,维护成本上升。设备品牌与国产化程度也有影响,知名品牌备件价格高,国产化设备备件性价比高、维修技术普及,可降低维护成本。

2.2 使用环境因素

使用环境是影响工程机械维护成本的重要外部因素。恶劣作业环境加速设备零部件磨损,如多粉尘环境

使发动机、空气滤清器堵塞, 液压系统混入杂质, 需增加维护频率与备件更换; 高温高湿环境使电气系统受潮短路、金属零部件锈蚀, 需额外防潮防锈维护。作业负荷强度直接影响成本, 长期超负荷作业使核心部件过度损耗, 故障提前, 维护周期缩短; 合理匹配负荷可延长设备寿命。区域环境差异也有影响, 高海拔地区发动机需专项改装维护; 寒冷地区需更换专用润滑油、加装保温装置, 这些专项工作均增加维护成本。

2.3 管理因素

管理因素对工程机械维护成本有决定性调控作用。维护管理体系完善程度是核心, 科学体系明确责任、规范流程、制定计划与预警机制, 可降低故障发生率; 管理混乱则小故障积累成大故障, 增加成本^[2]。人员管理水平至关重要, 维修人员技能影响维护效率与质量, 技能娴熟可降低工时费与备件浪费; 技能不足易维修失误, 增加成本。备件管理影响成本, 科学管理实现合理库存, 避免资金占用与保障供应; 管理无序则增加停机或库存成本。另外, 设备使用人员操作规范性也属管理范畴, 规范操作可减少非正常损耗, 降低维护成本。

3 面向全生命周期的工程机械维护成本建模方法

3.1 成本建模的基本原则

面向全生命周期的工程机械维护成本建模, 要遵循系统性、科学性、实用性、动态性原则, 精准反映成本规律、支撑决策。系统性原则要求统筹全生命周期各阶段, 全面涵盖成本构成要素, 明确各阶段成本关联, 避免漏算、错算, 呈现完整演化规律。科学性原则强调建模需基于可靠理论与实际数据, 结合成本特性, 合理选方法和工具, 如统计分析等, 确保逻辑严谨、参数合理, 客观反映影响与成本的量化关系。实用性原则要求模型有可操作性与应用价值, 考虑企业实际需求与数据获取能力, 避免过度复杂, 能快速处理数据、输出精准预测结果, 直接支撑成本管控。动态性原则要求模型适应各阶段动态变化, 考虑设备使用年限、环境、管理策略等动态因素, 有灵活参数调整机制, 在全生命周期内保持有效准确。

3.2 基于生命周期阶段的成本分段建模

基于生命周期阶段的成本分段建模, 结合各阶段成本特性分阶段构建模型, 精准捕捉规律, 提升针对性与准确性。规划设计与生产制造阶段聚焦隐性维护成本预测, 量化设计、制造决策对后续成本影响, 输入参数含设计方案可靠性指标等, 建立关联关系预测先天缺陷成本。使用维护阶段是核心, 涵盖常规保养等核心要素, 输入参数包括使用时长等, 用统计回归等方法建立动态

关联模型, 实时预测与调整成本。报废回收阶段量化报废维护成本与残值回收收益, 输入参数有设备残值评估值等, 通过成本收益分析核算净维护成本。各阶段模型相互衔接, 通过过渡参数实现全生命周期成本连续核算。

3.3 全生命周期综合成本模型集成

全生命周期综合成本模型集成, 是在分段建模基础上, 构建统一集成框架, 融合各阶段模型形成一体化模型。集成框架核心是建立统一参数体系与数据接口, 梳理各阶段模型输入输出参数, 明确传递关系, 如将规划设计可靠性参数作为使用维护阶段初始输入, 确保数据互通、逻辑连贯^[3]。集成方法上, 采用模块化思路, 将各阶段模型作独立模块, 通过集成平台协同运算, 引入时间价值因子, 折算各阶段成本为现值, 提升对比科学性。集成模型纳入动态调整机制, 整合设备实际运行等动态信息, 修正参数, 精准反映实际成本状况。通过集成, 可整体预测、统筹分析全生命周期成本, 为管控提供全面精准决策支撑。

4 面向全生命周期的工程机械维护成本管控方法

4.1 基于成本模型的成本预测与预算编制

基于成本模型的成本预测与预算编制是全生命周期维护成本管控的前置环节, 通过精准预测成本需求、科学编制预算, 为成本管控提供目标导向。在成本预测环节, 依托全生命周期综合成本模型, 整合设备设计制造数据、历史维护记录、作业环境参数、使用计划等多维度数据, 对各阶段维护成本进行分时段、分类型预测, 明确不同阶段、不同维护项目的成本需求, 尤其是对故障维修等不确定性成本, 采用概率统计方法预测其可能的成本区间, 提升预测的全面性与准确性。在预算编制环节, 以成本预测结果为基础, 结合企业经营目标、资金状况, 制定全生命周期维护成本总预算, 并按阶段、按设备类型分解为细分预算, 明确各阶段、各部门的预算责任。建立预算弹性调整机制, 考虑设备运行过程中的动态变化因素, 如环境突变、设备故障异常等, 预留合理的预算弹性空间, 避免预算刚性过强导致的管控失效。通过将预算指标与实际维护成本进行实时对比分析, 及时发现预算偏差, 为后续预算调整与成本控制提供依据, 确保维护成本始终处于可控范围。

4.2 维护策略优化与决策支持

维护策略优化与决策支持是降低全生命周期维护成本的核心手段, 通过科学选择维护方式、合理制定维护计划, 实现维护成本与设备可靠性的平衡。基于设备全生命周期状态监测数据与成本模型预测结果, 构建维护策略优化模型, 对不同维护方式进行成本效益分析, 如

对比定期预防性维护与状态检修的成本差异及对设备可靠性的影响, 优先选择成本低、效果好的维护方式。针对不同生命周期阶段优化维护计划, 规划设计阶段通过优化设计方案提升设备可靠性, 从源头降低维护需求; 使用初期减少过度维护, 聚焦基础保养与状态监测; 使用中期强化预防性维护, 及时处理潜在故障隐患; 使用后期优化故障维修策略, 权衡维修成本与设备残值, 合理决定维修或报废。此外, 建立维护决策支持体系, 整合设备状态数据、成本数据、作业计划等信息, 通过决策模型为维护时机选择、备件采购数量、维修人员调配等提供科学建议, 避免盲目维护决策导致的成本浪费。同时, 定期评估维护策略实施效果, 结合设备实际运行状况持续优化策略, 提升维护决策的科学性与经济性。

4.3 成本控制与监督机制

建立健全成本控制与监督机制是保障全生命周期维护成本管控落地的关键, 通过全流程管控、多维度监督, 确保成本管控措施有效执行。在成本控制方面, 实施全生命周期全流程成本管控, 从规划设计阶段入手, 通过优化设计方案降低设备先天维护成本; 在使用维护阶段, 严格执行维护预算, 规范维护作业流程, 控制备件采购成本与人工成本, 避免不必要的备件更换与过度维修; 在报废回收阶段, 优化拆解回收流程, 提升残值回收效率, 降低处置成本。同时, 推行成本责任制, 明确各部门、各岗位在维护成本管控中的责任, 将成本管控指标纳入绩效考核体系, 激励员工主动参与成本管控。在监督机制方面, 建立常态化监督检查机制, 定期对维护成本预算执行情况、维护作业规范性、备件管理情况等进行检查, 及时发现成本管控中的漏洞与问题。引入信息化监督手段, 通过管理平台实时监控维护成本动态, 实现成本数据的实时归集、分析与预警, 确保成本异常能够及时发现并处理。建立成本管控复盘机制, 定期总结成本管控经验, 针对管控薄弱环节优化管控措施, 持续提升成本管控效果。

4.4 信息化管理平台建设

信息化管理平台建设是提升全生命周期维护成本管控效率的重要支撑, 通过整合全生命周期数据、实现流

程数字化, 为成本管控提供高效的数据服务与技术保障。平台核心功能应涵盖数据集成管理模块, 实现设备设计制造数据、运行状态数据、维护记录数据、备件采购数据、成本核算数据等全维度数据的集中归集、分类存储与统一管理, 确保数据的完整性与一致性^[4]。成本分析与预测模块, 集成全生命周期成本模型, 能够基于归集的数据自动完成成本分析、阶段成本预测与全生命周期成本测算, 输出可视化的成本分析报告, 为决策提供数据支撑。维护管理模块, 实现维护计划制定、维护任务派发、维护过程跟踪、维护效果评估的全流程数字化管理, 确保维护工作规范高效开展。备件管理模块, 实现备件库存实时监控、备件需求预测、采购计划生成、备件出入库管理等功能, 优化备件库存结构, 降低库存成本。另外, 平台应具备移动端访问、数据实时同步、权限分级管理等功能, 方便不同岗位人员随时获取所需数据、开展相关工作, 同时保障数据安全。通过信息化管理平台建设, 可实现全生命周期维护成本的智能化、精细化管控, 大幅提升管控效率与水平。

结束语

本文围绕工程机械全生命周期维护成本, 从建模与管控两方面展开研究。通过阶段划分、成本构成与影响因素分析, 构建了科学的建模方法体系, 并提出针对性管控措施。信息化管理平台建设为管控提供有力支撑。但研究仍有局限, 未来可进一步拓展数据维度、优化模型算法。期望本文能推动工程机械维护成本管理向更科学、高效方向发展, 为行业进步贡献力量。

参考文献

- [1]赵环宇. 工程机械设备维护与故障预防策略研究[J]. 中国设备工程, 2025(20):12-14.
- [2]杨宏彬. 工程机械设备的现场标准化管理与维护[J]. 机械工业标准化与质量, 2024(4):34-37.
- [3]来有东. 现代工程机械设备的 management 方法与维护保养路径[J]. 装备制造技术, 2024(9):119-122.
- [4]张刚. 工程机械设备维护保养技术问题及对策[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(12):222-224.