

基于精益管理的港口机械设备作业效率提升路径研究

于茗淳

大连集装箱码头有限公司 辽宁 大连 116000

摘要：精益管理以“消除浪费、创造价值”为核心，通过系统化方法识别并优化作业链中的非增值环节，已被制造业广泛验证其有效性。本研究将精益管理引入港口机械设备作业场景，针对港口作业的动态性、复杂性与高风险性，构建涵盖流程、设备与人员技术的三维改进框架，旨在通过管理创新破解效率瓶颈，为港口智能化转型提供理论支撑。

关键词：精益管理；港口；机械设备作业；效率提升

引言

港口作为全球供应链的关键节点，其作业效率直接影响物流成本与贸易竞争力，而机械设备作为港口作业的核心载体，其运行效率受设备状态、调度策略、人员操作等多因素制约。此外，在传统管理模式下，港口设备作业常存在调度冗余、维护滞后、操作不规范等问题，导致资源浪费与效率损失。因此，深入对基于精益管理的港口机械设备作业效率提升路径的研究具有重要的现实意义。

1 精益管理的发展

精益管理是一种以消除浪费、创造价值为核心目标的管理哲学，其核心在于通过系统化方法识别并优化价值流中的所有环节，确保每一项活动都能直接或间接为客户创造价值。进入21世纪，精益管理的发展呈现三大趋势。其一，与数字化技术深度融合，通过物联网、大数据、人工智能实现生产过程的实时监控与智能优化，例如利用传感器采集设备运行数据，结合算法预测故障并自动调整生产参数，将传统经验驱动的管理升级为数据驱动的决策体系。其二，从单一生产环节向全供应链协同拓展，强调供应商、生产商、分销商之间的无缝对接，通过信息共享和需求拉动减少库存波动。其三，更加注重可持续发展与社会责任，在消除资源浪费的同时降低环境影响，例如制造业通过精益生产减少能源消耗，服务业通过流程优化缩短客户等待时间，实现经济效益与社会效益的统一。在现代企业管理中，精益管理已从工具方法升华为战略理念，其核心价值在于构建以客户为中心、以流程优化为基础、以全员参与为保障的持续改进机制。这种机制不仅能帮助企业降低成本、提升效率，更能通过快速响应市场变化和客户需求，形成难以复制的竞争优势。

2 港口机械设备作业效率影响因素识别

2.1 基于价值流图的作业效率影响因素分析

价值流图作为精益管理核心工具，通过可视化呈现港口机械设备作业全流程的信息流与物流，为效率分析提供系统性框架。(1) 在绘制价值流图过程中，需从货物进港到出港的完整周期出发，详细记录各环节的操作步骤、时间消耗、资源投入及信息传递路径，同时区分增值活动与非增值活动。增值活动指直接为客户创造价值且不可省略的环节，如岸桥装卸货物、输送带运输集装箱等直接改变货物位置或状态的操作；非增值活动则包含等待、搬运、检查、返工等不直接创造价值却消耗资源的环节，这些活动往往隐藏在流程间隙或支撑性操作中。(2) 对非增值活动的深入剖析发现，等待时间是首要影响因素，包括设备调度延迟导致的岸桥闲置、信息传递滞后引发的场桥作业停滞，以及多设备协同作业时的节奏不匹配。库存积压表现为集装箱在堆场滞留时间过长，既占用空间资源又增加管理复杂度，其根源在于到港货物与提货需求的时间错配或信息同步不足。(3) 流程衔接不畅引发的重复作业、设备故障导致的意外中断、人员操作不熟练造成的效率损耗，均属于非增值活动范畴^[1]。通过量化各环节时间占比与资源消耗，可识别出影响作业效率的关键路径。这些关键环节往往呈现“瓶颈效应”，其效率损失会沿流程链放大，最终制约整体吞吐能力。价值流图分析的核心价值在于将碎片化问题转化为结构化洞察，通过揭示非增值活动的分布规律与关联性，为后续优化提供精准靶点，从而实现作业效率的系统性提升。

2.2 基于鱼骨图的作业效率影响因素分析

鱼骨图作为一种系统性问题根源分析工具，可通过对港口机械设备作业效率的多维度拆解，精准定位效率低下的核心症结。(1) 从人员维度看，操作技能不足是关键制约因素，包括新员工对设备操作规范掌握不全面、多岗位协同作业时沟通效率低下，以及缺乏应对突发故障的应急处理能力。同时，人员配置不合理导致局部环

节出现冗余或缺缺,例如高峰时段岸桥操作员数量不足而辅助岗位人员闲置,均会引发流程阻滞。(2)设备维度的影响集中于设备状态与维护水平,长期高负荷运转导致的机械磨损、关键部件老化会直接降低作业精度与速度,而预防性维护计划缺失或维修响应滞后则进一步加剧设备停机时间。此外,设备技术迭代滞后于行业发展趋势,如自动化程度不足或智能化功能缺失,也会限制整体作业效率的提升空间。(3)材料维度的影响主要体现在集装箱质量与适配性上,超重、变形或尺寸异常的集装箱会增加装卸难度,导致设备频繁调整作业参数,而堆场内集装箱堆码不规范则会延长寻找与搬运时间。(4)方法维度的问题源于作业流程与操作标准的优化不足,包括任务分配缺乏动态调整机制、标准化作业程序(SOP)未覆盖所有工况,以及经验主义主导的决策模式导致资源分配不合理。(5)环境维度的影响既包含自然条件限制,如强风、暴雨等恶劣天气迫使作业中断,也包括码头布局与空间利用的合理性,堆场区域划分模糊导致集装箱混堆、运输通道狭窄引发拥堵,均会延长非作业时间。

2.3 基于层次分析法的作业效率影响因素权重确定

层次分析法作为一种将定性分析与定量计算相结合的决策工具,可通过构建多层次结构模型,系统化确定港口机械设备作业效率各影响因素的权重。(1)需建立层次结构模型,将作业效率作为目标层,人员、设备、材料、方法、环境等五大维度作为准则层,每个维度下进一步细分具体影响因素作为方案层。(2)随后通过专家打分法量化各因素间的相对重要性,组织行业专家、技术骨干及管理人员对同一层级因素进行两两比较。依据1-9标度法赋予比较值,其中1表示同等重要,9表示极端重要,数值越大表明前者对后者的影响越显著,通过多轮反馈修正确保评分一致性^[2]。(3)基于比较矩阵,运用特征根法计算各因素的权重向量,首先对每个比较矩阵求最大特征根及其对应的特征向量,将特征向量归一化后得到该层级因素相对于上层因素的相对权重,随后通过层级总排序将方案层因素的权重逐级聚合至目标层,最终获得各具体因素对作业效率的综合影响权重。(4)计算过程中需进行一致性检验,通过计算一致性比率(CR)判断专家评分的逻辑合理性,若CR小于0.1则认为比较矩阵具有满意一致性,否则需调整评分直至通过检验。通过权重排序可识别关键影响因素,例如若设备状态在准则层中权重最高,且其下的设备故障率、老化程度等方案层因素权重显著,则表明设备健康状况是制约作业效率的核心因素;若方法维度中的流程标准化程度、信息

共享效率权重突出,则说明优化作业流程与协同机制是提升效率的关键路径。

3 基于精益管理的港口机械设备作业效率提升路径设计

3.1 优化作业流程,消除浪费

精益管理工具在港口机械设备作业流程优化中具有显著作用,其核心在于通过系统化方法识别并消除非增值环节,实现资源的高效配置与流程的流畅运转。(1)看板管理作为信息共享的关键工具,可通过电子化或可视化看板实时传递作业指令与设备状态信息,比如在岸桥与场桥之间建立动态任务看板,根据集装箱到港顺序与堆场位置自动分配作业任务,减少因信息滞后导致的设备闲置或重复调度。(2)5S管理则通过规范作业现场提升操作效率,其“整理、整顿、清扫、清洁、素养”五步骤可系统性减少搬运与寻找时间,如对堆场集装箱进行定置管理并标注唯一标识,使场桥操作员能快速定位目标箱;对工具与备件实施分类存放与可视化标识,缩短设备维护时的取用时间。(3)在消除浪费方面,需聚焦过度生产、库存积压与无效搬运三大核心问题,过度生产表现为提前完成装卸任务导致设备闲置或堆场空间占用。可通过拉式生产模式实现需求驱动的精准作业,即仅在接到提货指令或后续环节就绪时启动装卸;库存积压则源于到港货物与提货时间的不匹配,需建立动态库存预警机制,结合历史数据与实时订单预测优化堆存策略^[3]。通过上述工具与方法的综合应用,港口机械设备作业流程可实现从“推动式”向“拉动式”转变,信息流与物流的同步性显著提升,非增值时间占比大幅降低,最终形成以客户需求为导向、以流程优化为支撑、以全员参与为保障的高效作业体系。

3.2 加强设备维护管理,提高设备可靠性

全面生产维护(TPM)理念为港口机械设备可靠性管理提供了系统性框架,其核心在于通过全员参与、全流程覆盖的设备维护体系,实现设备寿命周期内的综合效率最大化。(1)在体系构建层面,需建立三级维护机制。第一,操作人员负责日常点检与基础保养,通过标准化作业卡规范润滑、清洁、紧固等日常维护流程,确保设备基础状态稳定。第二,维修团队实施定期专业保养,依据设备运行时长与负荷制定分级保养计划,对关键部件进行深度检查与更换。第三,管理层主导预防性维修策略,结合设备历史故障数据与运行参数趋势,预测潜在故障点并提前安排维修,避免非计划停机。(2)设备状态监测技术的引入进一步提升了维护的精准性,通过在岸桥、场桥等核心设备上安装振动传感器、温度传感器

及油液分析模块,实时采集设备运行数据并传输至中央监控系统,利用大数据分析算法识别异常振动、温度超标或油液金属颗粒超标等故障前兆^[4]。同时,结合红外热成像技术对电机、减速箱等高温部件进行非接触式检测,快速定位过热隐患。基于状态监测的预警机制可实现从“被动维修”到“主动维护”的转变,当系统检测到设备参数偏离正常范围时,自动触发工单并推送至维修人员终端,维修团队根据故障等级与设备位置动态调配资源,确保在故障萌芽阶段完成处置,将停机时间压缩至最小。(3) TPM体系强调全员技能提升与维护文化培育,通过定期组织设备原理培训、故障模拟演练及改善提案活动,提升操作人员对设备性能的认知水平与自主维护能力,形成“操作工懂设备、维修工精技术”的协同模式;并且,将设备综合效率(OEE)纳入绩效考核体系,通过数据透明化激发员工参与维护的积极性,推动设备可靠性管理的持续改进。

3.3 提升人员素质,规范操作行为

(1) 在培训体系构建上,需针对操作人员、维修人员及管理人员设计分层培训方案。操作人员培训聚焦设备操作技能与精益工具应用,通过虚拟仿真技术模拟复杂工况,使其熟练掌握岸桥、场桥等设备的精准操控技巧,并开展价值流图、看板管理等精益工具实操训练,强化其对作业流程中浪费环节的识别能力。维修人员培训侧重设备原理与故障诊断技术,结合设备状态监测数据解析典型故障模式,提升预防性维修与快速响应能力。管理人员培训则围绕精益管理理念与团队协作方法展开,培养其通过数据驱动决策优化资源配置的能力。(2) 绩效考核机制的建立需将精益管理目标与个人收益深度绑定,首先制定覆盖作业效率、质量、安全的多维度指标体系,如单箱作业时间、设备故障率、操作规范合规率等,通过物联网技术实时采集数据并生成个人绩效看板^[5]。其次设计差异化激励方案,对提出流程优化建议、主动消除

浪费或设备维护表现突出的员工给予物质奖励与晋升优先权,对因操作不当导致效率损失或安全事故的人员实施绩效扣分与再培训。最后建立“师徒制”与技能等级认证制度,将培训成果与岗位资格挂钩,形成“培训-考核-应用-反馈”的闭环管理。(3) 需通过文化渗透强化员工自主改进意识,定期组织精益改善案例分享会、技能竞赛等活动,营造“人人参与改进、事事追求卓越”的氛围,使规范操作成为员工自觉行为。通过培训与考核的协同作用,相关人员操作行为的一致性与精准性能够显著提升,进而减少因人力因素导致的设备停机、作业返工等问题,为作业效率与质量的双重提升提供坚实人力支撑。

结语

综上所述,精益管理是提升港口机械设备作业效率的有效工具。流程优化减少了设备闲置与搬运浪费,设备维护管理降低了故障停机风险,人员素质提升规范了操作行为,信息化建设实现了数据驱动的精准决策。未来,研究可进一步探索精益管理与数字孪生、区块链等新兴技术的融合,构建更智能的港口作业生态;同时,需关注不同规模港口的差异化需求,完善精益管理工具包,推动行业整体效能跃升。

参考文献:

- [1]何志强.机械设备全生命周期管理分析[J].价值工程,2022,41(20):19-21.
- [2]曹增欢,苏渊.港口机械设备全寿命周期管理软件系统设计[J].港口科技,2022,(03):16-21.
- [3]唐琦.基于机器学习的港口机械液压系统故障诊断与预测分析[J].中国机械,2024,(28):124-127.
- [4]饶智敏,马昊.高质量发展背景下港口机械设备管理策略研究[J].综合运输,2023,45,(12):171-175.
- [5]王鹏.海外项目中施工机械设备的精益化维修和管理分析[J].中国机械,2023,(26):81-84.