

基于协同管理模式的港口装卸桥及基础设施运维策略分析

李东浩, 赵绪高

(烟台国际集装箱码头有限公司, 山东 烟台 264000)

摘 要 随着世界海运贸易的发展, 港口成为国际物流供应链中的重要一环, 而装卸桥与码头设施的运营和维修管理性能直接影响港口的业务水准。本文主要对港口装卸桥与码头设施协同维修管理模式展开了深入的分析研究, 从港口目前维修管理存在的问题入手, 采用协同性理论, 提出了综合维修管理模式, 并对实际港口维修管理的实际案例进行分析, 论证了协同管理模式有助于提高维修作业的效率, 延长设备使用寿命, 提高港口的业务水平。

关键词 港口装卸桥; 码头设施维修; 协同管理模式

中图分类号: U653

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.21.025

0 引言

港口是国际贸易和全球供应链重要的节点, 装卸桥以及码头设施作为港口的核心生产设施, 其运行状况与维修管理直接决定了港口运行质量和生产效率。随着全球海运贸易的增长以及港口智能化、自动化水平的不断提升, 港口装卸桥及码头设施的复杂性和精准性不断提升, 对于维修管理工作也提出了新的要求^[1]。

1 案例介绍

本文选用的典型港口为某沿海 XY 集装箱港口, 经过十余年的发展已成为亚洲地区重要的集装箱枢纽港, 年吞吐量 150 万标箱以上, 拥有 4 个集装箱深水泊位, 岸线 1 300 m, 集装箱堆场面积约 55.8 万 m², 各类关键设施包括码头的堆场、装卸桥的大车轨道基础、给装卸桥供电的电缆井等; 另外还包括场地照明如高杆灯、供水, 消防等设施。调研表明, 港口存在如下具体问题: 港口年均故障停机时间 680 小时, 故障响应时间平均 0.5 小时, 维修作业完成时间平均 8.5 小时, 计划外维修占维修总工时 62%, 备件库存周转次数仅 2.8 次/年, 积压备件金额达 300 余万元, 各类设备的维修资源共享不足, 各维修部门之间存在着严重的“信息孤岛”。上述问题严重影响港口的生产效率和客户服务水准, 制约港口国际竞争力的提升。针对这些问题, 2023 年 1 月该港口由总工程师牵头, 组织设备部、信息部、生产部、安全部和财务部等部门参与的项目组, 聘请行业专家和院校研究团队技术支持, 开始实施协同维修管理模式的改革项目。

2 港口装卸桥与码头设施类型及维修特点

根据功能定位和结构特点, 港口装卸桥与码头设施可划分为装卸桥直接支撑类设施、作业场地类设施和辅助保障类设施三大类型。装卸桥直接支撑类设施主要包括装卸桥大车轨道基础系统、电缆井与电缆沟系统以及装卸桥供电系统, 这类设施与装卸桥运行直接相关, 性能状态对装卸桥的安全运行和作业效率产生决定性影响。装卸桥大车轨道基础系统由钢轨、铺设层、基础梁和地基组成, 承载装卸桥自重及作业荷载, 通常每米承受 5~8 吨的线性荷载, 轨道基础平整度要求严格控制在 ± 5 mm 范围内, 以保证装卸桥运行平稳可靠。电缆井与电缆沟系统作为装卸桥电力和控制信号传输通道, 须具备较高的防水防火性能, 如在沿海高盐雾环境下, 电缆井金属构件易受腐蚀, 每年检修率高达 38%, 是装卸桥停机的主要隐患源之一。装卸桥供电系统包括变电站、配电房及供电线路, 对可靠性要求极高, 通常采用双回路或 N+1 备用电源系统, 保证供电连续性, 维修作业涉及高压电气设备, 安全风险系数较大, 需由持证电气工程师和技术人员执行专业操作规程^[2]。辅助保障类设施主要包括场地照明系统、给排水系统和消防系统, 这类设施为装卸桥作业提供了必要的环境支持。场地照明系统以高杆灯为主, 高度通常在 20~40 m 之间, 每座高杆灯配备 10~18 盏 1 000~2 000 W 的金卤灯或 LED 灯, 维修作业涉及高空操作, 安全风险显著, 需采用专用升降平台和安全防护措施, 照明系统的可靠性直接影响夜间作业效率和安全性。给排水系统包括管网、

泵站、阀门等多个组成部分，系统复杂性高，故障诊断难度大，如地下管网泄漏问题，需依靠声波检测和压力监测等技术手段辅助判断，维修作业通常影响较大区域的水资源供应，需统筹规划实施。消防系统作为港口安全保障的核心设施，包括消火栓、消防水池、自动喷淋等装置，系统可靠性要求极高，维修作业需严格遵循消防法规和技术规范，每月至少进行一次全面检测，及时发现并修复潜在隐患^[3]。

港口装卸桥与码头设施维修具有显著特点。第一，码头设施维修周期较长，以轨道基础为例，每标准段（100 m）的维修通常需要92~168小时，堆场维修每1 000 m²需要120~240小时，维修期间会对特定区域的装卸作业造成影响，生产损失平均每小时达到12~18标箱。第二，码头设施维修涉及专业领域多样，包括土木工程、电气工程、给排水工程等多个学科，需要配备结构工程师、电气工程师、测量工程师等多专业技术团队，专业间协调难度大，技术标准不统一问题突出。第三，码头设施劣化过程相对缓慢，具有较高的维修预见性，通过定期检测和状态监测可提前发现劣化趋势，维修计划可提前6~12个月制定，预防性维修比例可达70%以上，大幅降低突发故障率。第四，码头设施维修影响范围广，单项设施维修可能影响2~5台装卸设备的正常运行，需精心规划作业调度，科学安排备用装卸区域，降低对整体生产的影响。第五，码头设施维修与装卸桥维修的协同性要求高，如轨道基础维修与装卸桥大修应同期进行，电缆井维修需与装卸桥电气系统检修协调实施，从而提高维修效率，降低重复作业风险。第六，码头设施维修资源具有特殊性，维修材料种类多达800~1 200种，包括电缆、管材等，维修设备专用性强，设施维修备品备件库存管理难度大^[4]。

3 协同维修管理模式的实施流程与关键举措

3.1 实施前期调研与问题诊断

项目组首先运用座谈会、走访法、调查法和讨论法对港口装卸桥及码头设备维修管理现状进行综合调研，发现问题主要有：设备档案管理状况差（发现设备档案信息完整性仅有72%）、设备状态劣化数据缺失（2022年收集在册设备故障事件2876起）、维修作业流程杂乱（平均一次维修作业须经历11个审批环节）、维修资源配置状况不均（平均人员利用率仅有65%）、备件管理状况不理想（超过28%备件为呆滞料）及维修信息化建设落后（设备信息管理平台7个系统互不兼容）等。通过问题的诊断，找出了问题产生的主要

原因：维修管理体制机制问题（维修管理不统一、各系统“条块分割”）；维修决策缺乏支撑基础（多靠经验）；资源配置不合理（各自为战）；信息化建设问题（信息化程度不高，数据价值未充分挖掘）。针对上述问题原因进行诊断，项目组提出“1+4+N”协同维修管理改革方法策略，“1”指的是“1个中心”，即以“统一的维修管理中心”为中心；“4”代表4个协同，即组织协同、决策协同、资源协同、信息协同；“N”表示“N项功能”，即设备状态监测功能、设备故障预测功能、维修决策功能、资源调用功能、绩效评价功能等。

3.2 组织协同层面的实施细则

XY港口在充分调研的基础上大胆地摒弃传统的以设备种类划分维修部门的模式，组建统一的设备维修管理中心，由设备部原副总经理任主任，合并原有5个维修部门的人员和设备资源^[5]。由于原有维修专业技术人员在部门间的调整和众多的岗位变动可能会带来组织变革障碍，港口采取了“软着陆”的策略，设置半年转换期，原有维修技术骨干人员的薪资不变。新组建的设备维修管理中心划分为状态监测组（12人）、维修计划组（8人）、维修执行组（78人）和备件管理组（3人）。状态监测组配备高级工程师1人、工程师3人和技术员4人，主要配置振动分析仪、红外热像仪、超声波检测仪等先进装备，对关键设备实施在线状态监测；维修计划组主要由具备规划能力的工程技术人员组成，统筹编制维修计划、协调各种资源；维修执行组采取“基础通用+专业分工”的模式，分别组建3个维修组，每组配备4~6名维修技术人员和20~22名维修工，区域责任与设备专业有机结合；备件组采取“集中管控、分级储备”的办法，把设备备件设立三级库（中心库、区域库和现场库）。港口同步出台了《设备维修管理中心工作规则》《协同维修管理绩效考核办法》等12个管理办法，明确了职责权限和交叉合作内容。创新“协同激励”机制，特港出台了“协同维修奖”，把协同成果与个人绩效直接结合，充分调动职工开展协同维修工作^[6]。

3.3 决策协同层面的协同实施

首先，XY港口运用“分层分类”的维修决策协同模型进行设备分类：根据设备的重要程度、可靠性、维修特点，把设施分为ABC三类：A类设施（如码头的堆场、装卸桥的大车轨道基础），B类设施（如给装卸桥供电的电缆井），C类设施（如场地照明的高杆灯、供水，消防等）；B类和C类设备采用预防维修策略与

状态监测、保养相结合。A 类设备根据状态采用主动的预防维修策略，并安装了 428 个在线监测的传感器，进行 24 小时状态监测，平均每台设备安装 13 个关键点位传感器，监测的数据包括温度、振动、位移、电流等物理量，对设备可能发生故障进行预测；B 类和 C 类设备的主要维修策略采用周期性预防维修策略。维修决策模型是技术创新最核心的部分，XY 港口与知名大学合作，基于贝叶斯网络和模糊综合评价方法进行维修决策模型的研究，该模型结合设备状态指标、故障风险指标、维修紧急性指标、资源消耗指标进行设备的状态评估和维修决策，并对评估结果进行了统计，形成了科学的维修决策，模型的主要决策公式：

$$MP_i = \alpha \cdot SC_i + \beta \cdot FR_i + \gamma \cdot UR_i + \delta \cdot RC_i \quad (1)$$

式 (1) 中， MP_i 是设备 i 的维修优先等级指数， SC_i 、 FR_i 、 UR_i 和 RC_i 分别是设备状态、设备故障风险、设备维修紧急程度和设备维修资源需求量，权重因子 α 、 β 、 γ 、 δ 决定了各影响因子在决策中的权重系数大小，使维修决策更精确。通过对决策模型求解，得到各类设备的维修优先等级值，供维修决策参考。

其次，XY 港口创新性地实施了设施维修与设备项目维修协同组织机制，通过统一规划设施与设备的维修时间窗口，两类维修工作可同时进行，有效避免了设备额外停机的情况，这种协同模式显著提高了码头生产效率和设备利用率，同时节约了人工成本，使作业面分布更加合理。例如：在进行 A 类设施（如码头堆场、装卸桥轨道基础）的维修时，港口会同步安排相关联的装卸设备的预防性维护，使设备只需停机一次即可完成多项维修工作，这种“一停多修”的模式每年为港口节约停机时间约 126 小时，提高了设备年可用率 3.2%。维修协同机制依托信息系统达到精准调度，系统检测到设施需要维修时，会自动匹配相关设备的维修需求，生成最优的协同维修方案。

3.4 应用效果评估与分析

协同维修管理模式实施 1 年后，项目组总结了协同维修管理模式的具体应用效果。依据 2023 年全年的设备运行及维修数据，对全年的设备运行及维修状况进行了统计和分析，并针对关键性技术指标进行了对比分析，具体如表 1 所示。

对指标技术分析结果表明：实施协同维修管理模式提升了设备的可靠性、维修效率，设备可用率提升 5.7%，较实施前更高，较行业平均水平 3.6% 更高；平均故障间隔时间提高 61.9%，故障频次明显降低；平均修复时间缩短 50.6%，平均故障响应时间缩短 67.9%，提高了维修响应速度和时效性；故障预防性维修比例

由 38% 提升至 71%，提高了检修工作的主动性，指标数值和技术变化反映出协同维修管理模式在技术方面的应用效果良好。

表 1 协同维修管理模式实施前后的技术指标对比

评估指标	实施前 (2022 年)	实施后 (2024 年)	变化率
设备可用率 (%)	92.5	97.8	+5.7%
平均故障间隔 时间 (小时)	420	680	+61.9%
平均修复时间 (小时)	8.5	4.2	-50.6%
故障响应时间 (小时)	2.8	0.9	-67.9%
计划外停机时间 (小时 / 月)	145	58	-60.0%
预防性维修比例 (%)	38	71	+86.8%
设备状态监测覆盖率 (%)	27	92	+240.7%
维修计划执行率 (%)	78.5	94.2	+20.0%
维修一次完成率 (%)	82.6	96.1	+16.3%
维修质量合格率 (%)	92.3	98.7	+6.9%

4 结束语

协同维修管理模式，有助于解决传统维修管理过程遇到的问题，可提升维修的工作效能，延长设备的使用寿命，满足港口可持续发展的需要。本文从协同与系统工程的方法出发，提出了港口装卸桥与码头设施的维修协同管理模式，经过案例验证了港口装卸桥与码头设施维修协同管理模式的可行性和有效性。

参考文献：

- [1] 王伟. 港口机械现场故障排除与紧急维修技术的探讨 [J]. 冶金与材料, 2024, 44(04): 181-183.
- [2] 贾静雯. 基于成本评估模型的港口基础设施寿命周期维护策略分析 [J]. 四川水泥, 2024(02): 63-65.
- [3] 张维光. 大型运营原油码头停产整体维修的管理方法 [J]. 水上安全, 2024(11): 16-18.
- [4] 张翰林, 葛世颖, 胡健波. 集装箱码头门式起重机维修策略决策分析 [J]. 水道港口, 2023, 44(03): 513-518, 531.
- [5] 陈庆为, 孙建锐, 李艳丽, 等. 集装箱码头装卸机械能耗限值指标及评价方法研究 [J]. 中国航海, 2025, 48(01): 108-114.
- [6] 陈化贵, 郑伟鸿, 黄争, 等. 自动化集装箱码头门座起重机与 IGV 协同装卸作业工艺 [J]. 港口装卸, 2024(05): 50-53, 56.