

# 港口机械设备智能化改造策略分析

刘明浩 许文龙 李岩 张磊  
天津金岸重工有限公司 天津 300450

**摘要:** 在航运业智能化、绿色化发展趋势下,港口机械设备智能化改造成为提升运营效能的核心举措。本文从技术路径与策略规划双维度展开分析:技术层面聚焦设备层升级、控制层优化、管理层集成及能源环保融合;策略上提出分阶段(短期局部、中期区域、长期全港)、差异化(按规模与货种分类)改造方案,并强调政策引导、标准规范及产学研协同创新,为港口智能化转型提供系统性指导。

**关键词:** 港口机械设备;智能化;改造策略

**引言:** 在全球贸易规模持续扩大、航运竞争日益激烈的当下,港口作为物流枢纽的重要性愈发凸显。传统港口机械设备存在自动化程度低、信息交互不畅、运维成本高昂等痛点,难以满足高效、精准、绿色的现代港口运营需求。智能化改造通过集成物联网、大数据、人工智能等技术,实现设备自主作业、数据驱动决策与智能运维管理,成为提升港口核心竞争力、推动行业高质量发展的必由之路。本文深入分析改造策略,为港口智能化转型提供方向指引。

## 1 港口机械设备智能化改造的理论基础

### 1.1 智能化改造的核心概念

港口机械设备智能化改造,是依托技术创新对传统设备进行升级的系统性工程。其核心是实现自动化、数字化、智能化的深度融合:自动化是基础,通过可编程逻辑控制器(PLC)、伺服系统等,实现设备如龙门吊、堆取料机的无人自主作业,减少人工干预;数字化是关键,将设备运行数据、作业流程等转化为数字信息,构建统一数据平台,打破信息孤岛;智能化是目标,基于数字信息实现设备状态自感知、故障自诊断、作业自优化,提升港口运营效率与精准度。

### 1.2 相关技术体系

(1) 物联网(IoT)与传感器技术:是设备“感知”的核心支撑。在港口机械上部署振动、温度、位置等多类型传感器,通过IoT网络将实时数据传输至云端,实现对设备运行状态、货物位置等信息的全面采集,为后续分析与决策提供数据来源,如通过振动传感器监测轴承磨损情况,提前预警故障。(2) 人工智能(AI)与大数据分析:承担“决策”功能。利用大数据技术处理海量采集数据,再通过AI算法如机器学习、深度学习,挖掘数据价值,例如基于历史作业数据优化装卸调度方案,通过AI图像识别实现货物自动分类,提升作业效率与准

确性。(3) 数字孪生与虚拟仿真:构建设备“虚拟镜像”。按1:1比例构建港口机械数字模型,映射实体设备运行状态,可在虚拟环境中模拟设备启停、故障维修等场景,既便于提前发现设计缺陷,也能为维修人员提供模拟培训,降低实体设备试错成本与维修风险<sup>[1]</sup>。(4) 5G通信与边缘计算:解决“实时传输与处理”难题。5G的高带宽、低时延特性,保障设备数据实时传输;边缘计算将数据处理节点下沉至港口本地,减少数据向云端传输的延迟,确保龙门吊远程控制、无人集卡调度等实时性要求高的作业稳定运行。

## 2 港口机械设备智能化改造的现状与挑战

### 2.1 我国港口机械装备现状

(1) 传统设备类型:我国港口机械装备体系已较为完善,核心传统设备覆盖港口作业全流程。岸桥作为码头前沿装卸核心设备,承担集装箱船与码头间的装卸任务,目前主流为双小车岸桥,提升效率;场桥用于堆场集装箱堆垛与转运,常见的有轮胎式场桥和轨道式场桥;AGV(自动导引车)负责码头内水平运输,可实现无人化调度;自动化轨道吊则多用于自动化集装箱堆场,通过预设轨道实现精准定位与作业,这些设备共同构成港口生产的“骨架”。(2) 现有自动化水平及痛点:我国部分大型港口如上海洋山港、深圳盐田港已实现局部自动化作业,但整体自动化水平不均衡。中小港口仍以人工操作设备为主,且存在明显痛点:一是信息孤岛严重,不同设备的数据系统互不兼容,如岸桥作业数据无法直接同步至AGV调度系统,导致作业衔接效率低;二是维护成本高,传统设备依赖人工巡检,故障发现滞后,且关键部件更换费用高,增加运营成本;三是能效不足,部分老旧设备如传统场桥,动力系统能耗高,不符合绿色港口发展需求<sup>[2]</sup>。

### 2.2 智能化改造的主要挑战

(1) 技术层面：多系统协同难度大、数据安全风险：智能化改造需整合IoT、AI、数字孪生等多系统，但各系统技术标准不一，如传感器数据格式与AI分析系统接口不匹配，导致多系统协同运行难度大；同时，设备数据实时传输与存储过程中，易面临黑客攻击、数据泄露等风险，威胁港口作业安全。(2) 管理层面：人才短缺、标准体系不完善：港口智能化需既懂机械操作又掌握数字化技术的复合型人才，当前此类人才储备不足，难以满足改造后设备运维需求；此外，我国港口机械设备智能化改造缺乏统一标准，如设备数据采集规范、智能系统评估指标不明确，导致不同港口改造方案差异大，难以实现行业规模化推广。(3) 经济层面：初期投资高、回报周期长：智能化改造需购置传感器、升级控制系统、搭建数据平台等，初期投资金额大，中小港口资金压力显著；且改造后效益多体现在长期运营效率提升上，如降低人工成本、减少故障停机时间，短期难以快速回本，回报周期通常需3-5年，影响港口改造积极性。

### 3 港口机械设备智能化改造的关键技术路径

#### 3.1 设备层智能化升级

(1) 关键部件改造：针对岸桥、场桥等设备的核心部件进行升级，将传统电机驱动系统替换为变频调速驱动系统，实现转速精准控制，降低能耗；对液压系统采用电液比例控制技术，减少液压油泄漏，提升作业稳定性，同时延长部件使用寿命，减少故障频次。(2) 智能传感器部署与数据采集：在设备关键部位如轴承、齿轮箱、液压管路等，部署振动、温度、压力、位移等智能传感器，实时采集设备运行参数；通过无线传输模块将数据接入边缘网关，实现数据的实时预处理与上传，为后续状态监测与故障诊断提供基础数据支撑。

#### 3.2 控制层智能化优化

(1) 分布式控制系统(DCS)与PLC升级：将传统PLC升级为智能PLC，增强数据处理与通信能力；搭建分布式控制系统(DCS)，实现对多台设备的集中监控与协同控制，打破单设备独立控制的局限，提升设备间作业协调性，例如实现岸桥与AGV的联动控制。(2) 基于AI的自主决策算法：引入强化学习、遗传算法等AI算法，开发设备自主决策模型。在AGV调度中，通过路径规划算法实时规避拥堵，优化运输路线；在岸桥装卸作业中，利用负载优化算法根据货物重量与位置，自动调整起升速度与运行轨迹，提升作业效率与安全性<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 管理层智能化集成

(1) 港口运营管理系统(TOS)与设备管理系统

(EAM)融合：打通TOS与EAM的数据接口，实现作业计划与设备状态的实时联动。TOS可根据EAM反馈的设备健康状态，动态调整作业任务分配；EAM则基于TOS的作业数据，提前预判设备负荷，制定针对性维护计划，避免设备过载运行。(2) 数字孪生驱动的预测性维护：构建设备数字孪生模型，实时映射实体设备运行状态，结合历史故障数据与实时监测数据，通过机器学习算法预测设备潜在故障，如提前预警轴承磨损、液压系统泄漏等问题，并自动生成维护方案，将被动维修转为主动预防，降低停机损失。

### 3.4 能源与环保技术融合

(1) 新能源动力替代：对场桥、AGV等移动设备，逐步替换传统柴油动力，采用氢燃料电池或锂电池动力系统，实现零碳排放；对固定设备如岸桥，采用高压变频供电技术，提升能源利用效率，减少化石能源消耗。(2) 能效监测与碳排放管理：部署能源监测传感器，实时采集设备能耗数据，搭建能效管理平台，分析能耗热点，优化能源配置；建立碳排放核算模型，自动统计设备运行过程中的碳排放量，生成碳排放报告，为港口绿色低碳运营提供数据支持。

## 4 港口机械设备智能化改造的策略

### 4.1 分阶段改造策略

(1) 短期：局部自动化升级：优先选取港口核心作业设备开展单点改造，降低初期试错成本。例如针对人工依赖度高、作业强度大的岸桥，加装智能定位系统与自动抓取装置，实现单台设备的装卸自动化；对传统场桥进行PLC控制系统升级，使其具备自动行走、精准堆垛功能，无需人工操作。此阶段重点验证技术可行性，积累改造经验，为后续大规模升级奠定基础，通常周期控制在1-2年。(2) 中期：区域协同化改造：在单点改造见效后，推进同一作业区域内多设备、多系统的协同联动。以集装箱堆场为例，将自动化轨道吊、AGV、智能理货设备整合，搭建区域协同调度平台，实现“轨道吊装卸-AGV运输-理货记录”全流程自动化衔接，打破设备间信息壁垒；同时部署区域能耗监测系统，优化设备作业时序，减少空驶与等待时间，提升区域整体作业效率，中期改造周期一般为2-3年<sup>[4]</sup>。(3) 长期：全港智能化生态构建：整合港口所有作业区域与业务环节，构建覆盖“码头前沿-堆场-后方仓储-集疏运”的全流程智能体系。通过数字孪生技术搭建全港虚拟模型，实现设备运行、货物流转、人员调度的实时可视化管控；打通港口与海关、物流企业、货主的数据接口，实现“港-航-货-车”信息共享，形成智能化运营生态，最终达成全港无人

化作业、智慧化决策的目标，长期规划周期为5-8年。

#### 4.2 差异化改造策略

(1) 按港口规模分类：大型枢纽港如上海洋山港、宁波舟山港，资金与技术储备充足，可优先推进全流程智能化改造，重点部署数字孪生、5G+远程控制等前沿技术，打造智能化标杆；中小型支线港吞吐量较小、资金有限，应聚焦核心需求，优先改造关键设备，如仅升级AGV与堆场轨道吊的自动化功能，避免盲目追求技术全面性，以“低成本、高性价比”为核心原则，逐步提升自动化水平。(2) 按货种类型分类：集装箱港作业标准化程度高，适合推进全流程自动化改造，重点优化装卸、运输、堆存的协同效率，如通过AI算法优化集装箱配载与调度；散货港（如煤炭、矿石港口）货物形态不规则、粉尘污染严重，改造需侧重“智能化+环保”，如在堆取料机上部署智能粉尘监测与喷淋系统，同时通过AI图像识别实现散货自动计量与质量检测，减少人工接触与误差。

#### 4.3 政策与标准支持策略

(1) 政府引导与补贴机制：建议政府出台专项扶持政策，将港口智能化改造纳入“交通强国”“绿色港口”建设重点项目，对改造项目给予财政补贴，补贴比例可根据项目环保效益、技术创新度调整，如对采用氢燃料动力的设备改造补贴30%-50%；同时设立低息贷款、专项基金，缓解港口初期投资压力，鼓励社会资本参与港口智能化改造。(2) 行业标准与数据安全规范：由交通运输部牵头，联合港口企业、设备厂商、科研机构制定统一行业标准，明确设备数据采集格式、系统接口协议、智能化评估指标，避免“各自为政”；针对数据安全，出台《港口智能化数据安全管理办法》，规范数据存储、传输、共享流程，要求港口企业部署数据加密、入侵检测系统，定期开展数据安全审计，保障港口运营数据不泄露、不被篡改。

#### 4.4 协同创新策略

(1) 产学研合作模式：推动港口企业与高校（如上海海事大学、大连海事大学）、科研院所（如交通运输部水运科学研究院）建立长期合作机制，组建“港口智

能化改造联合实验室”，针对技术痛点开展攻关，例如联合研发适用于散货港口的AI图像识别算法、高可靠性的港口5G通信技术；同时建立人才联合培养体系，高校根据港口需求开设“港口智能装备”相关专业方向，企业为学生提供实习实训平台，解决复合型人才短缺问题<sup>[5]</sup>。(2) 跨港口技术共享平台建设：由行业协会（如中国港口协会）牵头，搭建全国性港口智能化技术共享平台，鼓励先进港口（如深圳妈湾港、天津港）将改造经验、技术方案、设备运维数据上传至平台，供其他港口参考借鉴；平台同时设立“技术交流专区”，组织港口企业、设备厂商定期开展技术研讨会，分享成功案例与失败教训；此外，平台可整合设备供应商资源，为中小型港口提供“一站式”改造解决方案，降低采购与运维成本，推动行业整体智能化水平提升。

#### 结束语

港口机械设备智能化改造是顺应时代发展潮流、提升港口核心竞争力的关键举措。通过技术融合创新与策略精准实施，可实现设备作业自动化、管理决策智能化与港口运营绿色化。未来，需持续强化技术研发、完善标准体系、深化产学研合作，推动智能化改造向全要素、全流程、全场景覆盖。同时，注重人才培养与生态构建，确保改造成果的可持续性与可复制性，为全球港口智能化发展提供中国方案与实践范本。

#### 参考文献

- [1]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.
- [2]孙飞越,袁新杰,黄雨晴,等.基于强语义特征方法的大型港口机械故障检测算法[J].起重运输机械,2024,(17):66-68.
- [3]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):174-175.
- [4]陈强,王勇,吴迪清.港口机械设备智能化改造策略分析[J].凿岩机械气动工具,2025,51(04):206-208.
- [5]张林.超期港口机械设备的修复与智能化改造分析[J].设备管理与维修,2024,(04):76-78.