

Application of AI in port logistics equipment of Hainan Free Trade Port

Jingxin Wei Yafei Wang Hongmei Wang Ziyi Guo Yitong Chen

Haikou University of Economics, Haikou, Hainan, 571127, China

Abstract

This article focuses on the context of Hainan Free Trade Port construction and explores how artificial intelligence (AI) empowers the upgrading of port logistics equipment. Through a review of the current situation and case studies, it is found that equipment such as container cranes, belt conveyors, diesel generators, automated guided vehicles, and hydraulic systems have been put into trial use, significantly enhancing operational efficiency. However, in practical promotion, there are still limitations such as poor system compatibility, difficulties in data sharing, challenges in integrating multi-source sensor data (such as temperature), and high operation and maintenance costs. To address these issues, it is recommended to start with introducing technology and assimilating it, achieving diversified financing channels, and strengthening the cultivation of practical talents. By formulating pragmatic development strategies, we can promote the leap from "automation" to true "intelligence" in port logistics.

Keywords

Hainan Free Trade Port; Port logistics equipment; Artificial intelligence; Temperature detection; Application and development

AI 在海南自贸港港口物流设备中的应用

魏晶鑫 王亚飞 王红妹 郭子仪 陈怡彤

海口经济学院, 中国·海南 海口 571127

摘要

本文聚焦海南自贸港建设背景, 探讨人工智能如何赋能港口物流设备升级。通过梳理现状与案例分析, 发现集装箱起重机、皮带传送带、柴油发电机、自动化导引车、液压系统等设备已投入试用, 显著提升了作业效率。但实际推广中仍受限于系统兼容性差、数据共享难、多源传感数据(如温度)融合难度大及运维成本高。对此, 建议从引进技术并消化吸收、实现多元化融资渠道及加强实操人才培养入手, 制定务实的发展策略, 推动港口物流从“自动化”向真正“智能化”跨越。

关键词

海南自贸港; 港口物流设备; 人工智能; 温度检测; 应用和发展

1 引言

海南自贸港为国家重大战略, 2025 年底全岛封关运作的核心节点, 两会及专题推进会要求封关前夯实硬件、保障“二线”监管高效安全。港口是政策落地枢纽, 其物流通畅度决定“零关税”红利释放, 关乎自贸港成败。港口设备为“硬实力”, 传统人工模式效率低、成本高, 难以应对封关后货量爆发与查验需求, 必须装备升级并集成智能温控。当前港口面临调度依赖人工、故障预判缺失等瓶颈, 引入 AI 是破局关键, 可通过智能调度、视觉识别提升效率、压缩成本; 结合实时温度分析, 辅以多源传感融合+边缘智能+云端

【课题项目】项目名称: 海口经济学院发展性资助项目《AI 港口物流设备监控系统设计与开发》。

【作者简介】魏晶鑫(2005-), 女, 中国河南安阳人, 本科, 从事计算机应用研究。

协同的轻量化系统, 能满足“管得住、通得快”要求, 增强自贸港核心竞争力^[1]。

2 海南自贸港港口物流设备现状

2.1 现有设备类型和运营模式

港口常用设备各有特点与局限: 集装箱起重机作业流程包括靠泊定位、抓取起吊和水平运输, 支持远程或半自动操作, 单机效率高且适用于超大型船舶作业, 但初期投资大、依赖稳定电力与网络, 恶劣天气下作业受限; 皮带传送带用于散货输送, 运量大、能耗低且自动化程度高, 却仅适用于固定货种与路径, 运行易产生污染, 故障后整条输送线需停机且维修周期长; 柴油发电机作为备用或移动电源, 市电中断时可快速启动保障关键设备运行, 技术成熟且独立性强, 但油耗高、噪音大、污染严重, 不符合“零碳港口”方向, 长期闲置还会退化性能; AGV 通过激光或视觉导航实现全自动集装箱运输, 作业精准安全、可 24 小时连续运行, 是

智慧码头核心装备，却单台成本高，对场地、标识及通信网络要求高，局部故障可能引发系统性停摆；液压系统应用于正面吊等机械，能提供高功率密度和快速响应，动作平稳可靠，但存在液压油泄漏风险，能效低、发热严重，对油液清洁度敏感且故障诊断复杂。

2.2 现有设备应用面临的挑战

从效率上来看，一些先进设备虽已投入使用，但整体自动化水平呈现不均衡的分布，这就导致了作业协同性差、周转速度受限；成本方面的问题主要是高能耗设备运行费用太高，液压系统需要经常维护，成本过高；设备的可靠性受热带海洋气候影响很大，高温、高湿环境，暴雨、台风天气都容易对设备造成损害^[2]；环保压力也会增大，柴油动力设备碳排放高，液压油泄漏风险与粉尘污染都会影响绿色港口的建设。

3 本系统 AI 技术在港口物流设备中的应用场景

3.1 智能装卸设备

AI 系统在集装箱起重机和自动化导引车（AGV）上的应用各有侧重：在集装箱起重机上，AI 系统部署红外热成像摄像头与嵌入式温度传感器，对电机绕组、减速机轴承等易发热部位连续扫描，借助时序模型学习设备不同作业强度下的正常升温规律，当检测到温度异常且与当前负载不匹配时，可判断为润滑失效等问题，并联动控制系统降载或预警维修，避免突发停机；在 AGV 上，AI 聚焦锂电池组、驱动电机及精密感知模块的热管理，电池模组内的高精度温度探头配合 AI，根据电流、环境温度和任务路径动态计算热积累趋势，预测温度超安全阈值时，会自动调整充电策略、限制输出功率或调度车辆冷却，同时，若激光雷达、摄像头等传感器因高温出现性能漂移，AI 也能及时触发保护机制，保障导航安全^[3]。

3.2 智能运输设备

皮带传送带：AI 通过特有的分布式温度传感器网络，可以实时监测数百个滚筒轴承和驱动电机的温度。结合皮带运行速度、物料流量等工况数据来看，AI 可识别因轴承卡滞、皮带打滑或物料堆积引发的局部过热。若运输易燃物料，系统还能融合热成像与烟雾探测信号，在温度骤升初期自动触发紧急停机与消防联动，有效防范火灾风险。

3.3 智能仓储设备

AI 在柴油发电机和液压系统中的温度监控与故障诊断各有针对性：在柴油发电机上，AI 重点监控气缸排温、冷却水温、机油温度及涡轮增压器外壳温度，通过多通道热数据与发动机转速、负载率的关联分析，能够识别燃烧不均、喷油嘴堵塞或散热器效率下降等早期故障征兆，其模型基于前 15 分钟数据预测后 15 分钟温度趋势，预测误差仅 2.5℃，同时系统基于长期运行数据构建健康度评估模型，在断电前预判备用电源的可靠性，确保应急供电万无一失。在液压系统中，AI 通过油路中的温度传感器实时监测液压油温，并

结合压力、流量信号判断系统热负荷状态，当油温异常升高时，AI 不仅可启动冷却风扇或调节溢流阀，还能利用热成像技术识别泵、阀等元件表面的“热点”，辅助诊断内泄、卡阀等比较隐蔽的故障^[4]。

4 AI 在海南自贸港港口物流设备应用中的问题与挑战

海南自贸港港口物流设备厂商各异、系统架构复杂、通信协议多样且缺乏统一数据接口，AI 技术与现有工业控制系统集成难，加之部分老旧设备无数字接口，导致 AI 模型难以获取实时数据，限制智能温度监测功能部署；同时数据采集传输存储存在安全风险，AI 系统扩大攻击面，温度数据被篡改会影响运营安全，跨境数据流动合规也增加隐私保护压力。经济层面，系统初始投入高昂，涵盖传感器、算法开发等多项费用，超出部分中小型港口承受能力，且长期运维、硬件更换、模型训练等需持续投入，增加运营成本。管理层面，复合型专业人才匮乏，人才培养与引进机制不完善，制约项目推进，且传统人工管理模式难以适应 AI 系统的自动化需求，需重构流程、调整架构，对管理层协同能力提出更高要求。

5 AI 在海南自贸港港口物流设备应用的应对策略

5.1 技术研发策略

为推动 AI 技术在海南自贸港港口物流设备中的规模化应用，需从政策与融资层面构建保障体系。建议政府出台财政补贴、税收减免等激励政策，重点支持港口企业在 AI 测温系统建设中的设备采购、软件开发及系统集成，通过降低初始投入与运营风险，引导企业加大投入。同时，鼓励港口企业拓宽融资渠道，运用银行贷款、绿色债券、股权融资等方式筹措资金，并探索政府、企业、银行三方合作模式，由政府提供担保或贴息支持，有效缓解短期资金压力，保障 AI 测温系统的持续建设与稳定运维，为智慧港口建设提供坚实资金保障。

5.2 经济策略

建议政府出台财政补贴、税收减免等激励政策，对港口企业在 AI 测温系统建设中的设备采购、软件开发及系统集成给予资金支持，通过降低企业初始投入成本和运营风险，推动 AI 技术在港口物流设备中的规模化应用；同时鼓励港口企业拓宽融资途径，通过银行贷款、绿色债券、股权融资等方式筹措 AI 项目资金，探索政府、企业、银行合作模式，由政府提供担保或贴息支持企业解决融资难问题，多元化的资金来源有助于缓解企业短期资金压力，保障 AI 测温系统的持续建设和运维^[5]。

5.3 管理策略

5.3.1 人才培养与引进

建议海南自贸港制定 AI+ 港口复合型人才培养计

划,推动本地高校开设智能物流、工业AI等相关课程,企业引进高端技术人才,并通过落户补贴、住房保障等政策吸引优秀人才集聚。学校和企业共同培养人才进行储备,夯实技术落地的人才基础。

5.3.2 管理流程优化

推动港口企业以AI测温系统为依托,重构设备巡检、故障预警和维护调度等作业流程,实现从“事后维修”向“预测性保养”转变。同步调整组织架构,设立智能运维部门,明确AI系统运行职责,建立跨部门协作机制,提升管理效率与响应速度,确保AI技术真正融入日常运营并发挥实效。

6 AI在海南自贸港港口物流设备中的应用前景

AI技术正推动港口物流设备迈向系统化、协同化与智能化,呈现自主学习、5G/边缘计算/数字孪生融合、XR人机协同、高维环境感知容错及混合智能等五大趋势,整体从“单点智能”

升级为具备自学习、自组织、自修复能力的系统智能,支撑智慧港口建设,助力全球供应链韧性、效率与绿色转型,契合海南自贸港等国际枢纽港战略。结合海南实际,AI应用将显著提升港口物流效率,缩短船舶在港时间、降低非计划停机率与能耗、通过全程可视化与智能预警增强供应链韧性,打造绿色竞争优势,为封关运作后的精准监管与多式联运提供底层支撑。作为海南自贸港建设国际航运枢纽的战略驱动力,AI通过提升吞吐效率、吸引国际航线、驱动绿色转型、构建全链条智能生态及积累数据要素,为“一线放开、二线管住”提供技术支持,推动航运服务高端延伸,对提升全球资源配置能力、实现自贸港战略目标具有不可替代的支撑作用。

7 结论

7.1 实验数据

实验数据见表1、表2。

表1 港口设备温度监测参数配置表

传感器ID	设备名称	安装位置	温度正常上限	超温阈值	核心监测功能
TS-001	集装箱起重机	码头A区	$\leq 60^{\circ}\text{C}$	$\geq 70^{\circ}\text{C}$	温度+轻微振动监测
TS-002	皮带传送带	仓储B区	$\leq 60^{\circ}\text{C}$	$\geq 70^{\circ}\text{C}$	温度实时监测
TS-003	柴油发电机	动力站C区	$\leq 60^{\circ}\text{C}$	$\geq 70^{\circ}\text{C}$	温度+故障模拟(核心)
TS-004	自动化导引车	装卸区D	$\leq 60^{\circ}\text{C}$	$\geq 70^{\circ}\text{C}$	温度移动监测
TS-005	液压系统	维修车间E	$\leq 60^{\circ}\text{C}$	$\geq 70^{\circ}\text{C}$	温度+偶发偏高模拟

表2 港口设备温度运行状态监测数据统计表

传感器ID	设备名称	平均温度($^{\circ}\text{C}$)	最高温度($^{\circ}\text{C}$)	最低温度($^{\circ}\text{C}$)	偏高次数(60-70 $^{\circ}\text{C}$)	超温次数($\geq 70^{\circ}\text{C}$)	运行状态
TS-001	集装箱起重机	45.2	58.7	32.1	0	0	正常
TS-002	皮带传送带	42.8	56.3	30.5	0	0	正常
TS-003	柴油发电机	68.9	92.5	35.6	42	158	超温
TS-004	自动化导引车	44.5	59.2	31.8	0	0	正常
TS-005	液压系统	52.6	68.3	33.4	50	0	偏高

7.2 研究成果总结

该技术在海南自贸港港口物流设备温度监测中的应用具有显著潜力,可以提升设备运维智能化水平和故障发现解决效率,然而,落地面临系统集成复杂、数据安全风险高、初始与运维成本大、复合型人才缺乏及管理流程不匹配等多重挑战,针对这些问题,需要从技术、经济和管理三方面协同施策,才能实现该技术的高效、安全、可持续应用;本研究主要基于理论分析与案例归纳,缺乏大规模实地部署数据验证,且没有充分量化AI测温系统在不同港口环境下的性能差异,未来可以结合多个港口实证实验,构建标准化评估体系,并深入探索轻量化模型与边缘智能在热带高温高盐环

境中的适应性优化机制。

参考文献

- 王国文.智能物流的理论框架与技术赋能路径[J].中国流通经济,2020,34(06):12-19.
- 张强,王磊.基于5G+AI的自动化码头无人集卡协同调度优化[J].交通运输工程学报,2023,23(02):78-89.
- 张丽,孙明.计算机视觉技术在智慧港口智能理货中的应用现状与展望[J].物流工程与管理,2024,46(02):55-60.
- 陈刚,吴杰.自贸港建设背景下智慧港口发展的挑战与对策[J].综合运输,2023,45(08):22-28.
- 郑华,林峰.港口物流设备智能化升级的关键技术与实践[J].港口装卸,2022,(04):15-19.