

港口机械电气自动化技术与控制策略分析

何大凯

中交机电工程局有限公司，北京市，100020；

摘要：港口机械电气自动化技术的应用显著提升了港口装卸效率与设备运行的安全性。本文从港口机械系统的自动化控制出发，分析了其在电气化、智能化方面的核心技术与实现途径。重点探讨了控制系统的构建原则、关键设备的电气控制策略以及在能效优化与故障诊断中的具体应用。通过对港口机械运行过程的智能调度与自动控制策略的研究，提出了实现高可靠性与节能化运行的技术思路，为港口自动化系统的建设与升级提供理论依据与工程参考。

关键词：港口机械；电气自动化；控制策略；智能化；系统优化

DOI：10.69979/3029-2727.25.12.080

引言

随着全球贸易规模的持续扩大，港口作为物流运输的重要枢纽，对装卸机械的自动化和智能化水平提出了更高要求。传统港口机械多依赖人工操作，存在效率低、安全风险高等问题。电气自动化技术的引入，使得港口设备在运行控制、能耗管理和安全保护等方面得到了全面提升。本文围绕港口机械电气自动化的核心技术及控制策略展开系统分析，旨在探讨如何通过自动化系统的优化配置与控制逻辑创新，实现高效、安全、低耗的港口作业体系，为行业智能化发展提供思路与借鉴。

1 港口机械电气自动化技术概述

1.1 港口机械的自动化发展趋势

港口机械自动化的发展源于对装卸效率与作业安全的持续追求。传统人工操作的港口设备在精度、速度与协调性上存在明显局限，而自动化技术的引入使得港口装卸、堆场搬运及货物分拣实现了连续化与智能化。近年来，随着信息化基础设施的完善，自动化机械逐步具备了数据交互与远程协同能力，使港口从单机自动化迈向系统级智能化。新一代港口机械不仅能通过传感系统实时感知运行状态，还能在控制系统中实现作业路径的自适应调整。世界主要港口正通过自动化堆场、无人集卡和智能岸桥建设，构建以电气自动化为核心的综合作业体系，从而实现全天候高效运转与资源最优配置。

1.2 电气自动化系统的基本构成与功能

港口机械的电气自动化系统主要由电力驱动系统、控制单元、传感与执行机构及通信网络组成。电力驱动

部分负责将输入能源转化为机械能，实现起升、回转、行走等基本动作。控制单元通常由可编程逻辑控制器（PLC）、工业计算机和伺服系统组成，用以实现逻辑判断与动作协调^[1]。传感系统包括位置、速度、电流、温度等多种传感器，为控制单元提供实时数据支持。执行机构通过电动机、液压装置或电磁组件完成控制指令的物理动作。通信网络实现各模块之间的数据交换，确保控制链的实时性和可靠性。系统整体功能涵盖自动检测、状态反馈、负载调节及安全保护，使港口机械在复杂环境下依然保持稳定与精确的运行状态。

1.3 港口机械自动化的应用特点与优势

港口机械自动化的突出特点在于高效性、精确性与连续性。自动化系统可在无人干预下完成装卸、运输、堆码等一系列操作，显著减少人力投入。其电气控制结构使设备响应速度更快、作业节奏更稳定，并能通过软件调节适应不同货种和作业场景。自动化港口在作业过程中的能耗监控、路径优化和负载分配更为科学，实现了能源利用的最优化。自动化技术还提升了安全水平，通过实时监测系统和故障预警机制，有效防止过载、碰撞及高温失控等风险。相较传统模式，自动化设备的维护周期更长，运行成本显著降低，体现出技术投资的长期经济性与可持续性。

2 电气自动化核心控制系统设计

2.1 港口起重设备的电气控制结构分析

港口起重设备的电气控制结构以模块化、智能化和高集成度为核心设计理念。系统通常由主电源分配模块、

控制与驱动单元以及信号采集与反馈系统构成,各部分通过总线通信形成有机整体。主电源系统通过高压配电柜、稳压装置和功率调节模块为设备提供持续、稳定的电能,确保高负荷作业环境下的能量供应。控制与驱动单元承担执行与协调功能,其内部配置有智能控制模块与冗余回路,用以保证控制信号的连续传递和动作的可靠响应^[2]。信号采集部分利用多类型传感器实时检测起升角度、吊具位置、风速、载荷重量及结构应力等参数,并将数据传输至中央控制系统进行综合分析与逻辑运算。针对港口高湿、高盐和强电磁干扰的环境特点,系统采用电磁隔离与滤波设计,以提升抗干扰能力并减少误动作概率。控制结构在分布式架构的支持下实现多点协作,使设备动作协调且控制精度得以稳定保持。

2.2 可编程控制器（PLC）与变频技术的应用

可编程控制器是港口电气自动化系统的核心控制单元,承担着指令逻辑处理、顺序执行与状态监测等关键任务。其编程灵活性使系统能够快速响应不同作业模式的需求,并根据运行环境动态调整控制参数。PLC通过高速数据通信与各传感节点和驱动模块保持实时连接,接收输入信号后生成控制指令,实现起升速度控制、定位精确度管理与安全状态监控。变频技术在其中扮演能效优化与驱动柔性控制的重要角色,通过改变电机供电频率与电压实现转速平稳调节,有效降低启动电流并减少机械冲击。变频器具备自适应控制能力,可依据负载变化自动调整输出,实现设备在不同工作阶段的能效平衡。PLC与变频装置的协同应用不仅提升了系统的响应速度和控制精度,也使设备具备更高的节能潜力与操作稳定性,成为现代港口电气控制体系中不可或缺的技术核心。

2.3 控制系统的稳定性与安全性保障措施

港口电气自动化系统的稳定性与安全性依赖于多重技术防护体系与实时监测架构的综合作用。系统在供电设计上采用双路独立冗余电源结构,能够在任一路电源故障时保持不间断运行。控制逻辑中设置安全互锁与权限分级机制,当出现超载、超速、位置偏差或温度异常等状况时,系统立即中断执行并启动保护程序。控制软件引入容错算法与动态恢复策略,确保关键模块在出现干扰或通信中断时仍可维持安全运行。通信系统基于工业以太网与光纤环网架构构建,采用自动重构与信号

校验机制以保障数据传输的连续性与抗干扰能力。监控平台持续采集电压、电流、温升、震动与制动状态等运行数据,通过算法模型识别潜在隐患并提前报警。设备端设置紧急制动、机械防坠与安全锁定等装置,从电气与结构两方面共同维持作业系统的可靠性与安全性。

3 自动化控制策略与实现途径

3.1 智能调度与作业流程优化策略

智能调度系统是港口自动化运行的核心环节,其目标在于实现设备与任务之间的精准匹配和资源的最优分配。系统通过对设备运行状态、作业优先级和空间路径信息的实时采集,利用算法模型自动生成最优作业方案,使起重机、自动导引车与堆场机械在同一时间维度下保持有序协同。调度程序依据作业区域的拥堵程度与任务密度动态调整操作节奏,并在系统中引入预测机制以应对潮汐变化、气象波动或突发事件带来的影响^[3]。智能调度平台还能与港口综合管理系统实现数据互联,结合船期计划、货物流向及仓储布局进行全局优化,从而保证装卸衔接更加紧密。该模式不仅提升了设备利用率,还实现了作业时间与能源消耗的同步优化,使港口整体运行趋于高效、连续与可控。

3.2 设备协同控制与能耗管理技术

港口自动化设备的协同控制以集中决策与分布执行为核心机制,依托高可靠的通信网络与实时数据反馈实现系统级协调。控制中心根据作业计划发出统一指令,各设备节点通过本地控制模块执行操作并上传状态信息,系统实时对比运行参数以校正动作误差。数据的高频更新使控制逻辑能够根据负载变化自动修正驱动输出,确保各环节在作业节奏与能效目标之间保持平衡。能耗管理部分通过嵌入式监测模块获取电流、转矩与制动能量数据,并在设备减速、空载或待机阶段回收能量储入电池单元或反馈电网。系统依据功率曲线动态调整设备启停顺序与运行速率,以削减峰值负载并延长部件寿命。该机制的实现使港口作业在保障高效运行的同时,达到了能源利用率提升与运行成本下降的双重效果。

3.3 故障诊断与远程监控系统的集成应用

港口电气自动化系统的故障诊断依托智能感知网络与模式识别算法,实现了对设备运行状态的精准监测与预警控制。系统通过多类型传感器同步采集电流、电压、振动、温度等关键参数,经由边缘计算模块进行数

据预处理，再传送到控制中心完成特征分析与状态识别。算法通过历史模型对比与趋势判断确定异常源位置，例如电机绕组老化、传动轴偏移或控制回路不稳定等潜在隐患。远程监控平台基于工业物联网架构，将设备数据实时上传至云端，形成跨区域统一监控体系。技术人员可通过可视化界面远程查看运行曲线、调整控制参数或下发维护指令，系统在检测到异常值时自动报警并生成维修任务单。该集成化体系实现了设备状态的实时掌控与主动维护，为港口机械提供了持续可靠的运行保障和高效的维护响应机制。

4 港口电气自动化技术的创新与发展方向

4.1 智能传感与信息融合技术的应用前景

智能传感技术的发展使港口自动化设备具备了更强的环境感知与自适应能力。现代传感器能够同时采集多维数据，如温度、湿度、振动和负载状态，并通过融合算法进行综合判断。信息融合技术使不同来源的数据在控制系统中实现统一建模，提高了决策准确性。以岸桥为例，系统可通过激光雷达与视觉传感器的协同，实现吊具定位与障碍识别的高精度控制。融合后的数据被用于设备运行路径的动态修正与防碰撞控制，极大提升作业安全性。未来，随着传感器智能化程度的提升，港口设备将逐步形成自感知、自决策的运行体系，实现真正意义上的智能操作与自优化控制。

4.2 人工智能与自动化控制系统的融合趋势

人工智能技术正深度介入港口自动化控制领域。通过机器学习与神经网络模型，系统能够从历史作业数据中提取规律，优化控制逻辑与操作策略。AI 算法可在复杂工况下进行预测性控制，实现对负载变化、设备响应及外部环境的实时调整。智能算法在路径规划、堆场调度及设备健康管理中发挥重要作用，使系统具备自学习与持续改进的能力。AI 还被用于语音识别与图像分析，辅助远程监控与设备识别，实现人机协作。随着计算平台性能提升与数据积累加速，人工智能将成为港口自动化系统决策层的重要组成部分，推动作业系统向自主化与认知化方向发展。

4.3 港口绿色节能与智能化发展策略

绿色节能理念在港口电气自动化的创新中已成为主导方向，通过能源结构调整与清洁能源应用，港口机械逐步由燃油驱动向电动化、混合动力化和储能驱动转变，以实现低排放和高能效^[4]。智能能源管理平台对设备能耗数据进行实时采集与分析，依据负载状态自动分配功率资源，平衡系统运行负荷。岸电技术为靠泊船舶提供清洁电能，减少码头碳排放，而储能系统通过电能回馈实现能源再利用。高效电机、永磁驱动装置及再生制动系统的应用显著提高了能源转化效率。智能化调控策略通过多设备联动优化作业流程，在维持高效作业的同时降低整体能耗。未来港口的能源管理将依托数字化与自动控制技术构建闭环体系，形成集电气化、节能化与智能化为一体的绿色运营模式，为港口可持续发展提供坚实的技术支撑。

5 结语

综上所述，港口机械电气自动化技术的发展，是推动港口高效化、智能化和绿色化转型的重要支撑。通过对控制系统的优化设计与智能化控制策略的实施，不仅提升了作业效率与设备可靠性，也为港口的可持续运营提供了保障。未来，随着物联网、人工智能与大数据技术的深入融合，港口电气自动化将朝着更高层次的自适应与智能决策方向发展，为现代化港口建设注入持续的技术动力和创新活力。

参考文献

- [1] 赵清晴. 港口机械电气自动化技术与控制策略分析 [J]. 中国设备工程, 2025, (14): 229-231.
- [2] 路文广, 路浩然. 港口机械电气自动化技术及控制策略分析 [C] // 广东省电子学会. 2024 年(下半年)“电子技术与信息科技”研讨会论文集. 国能黄骅港务公司, 2025: 125-129.
- [3] 金辰璐. 港口机械电气自动化技术及控制策略分析 [J]. 中国机械, 2024, (01): 70-73.
- [4] 兰健. 港口机械电气自动化技术与控制分析 [J]. 装备维修技术, 2020, (01): 103.