

关于港口电气自动化发展的思考

戴立 缪曙彪 胡稼亮

宁波梅东集装箱码头有限公司 浙江 宁波 315800

摘要: 港口电气自动化的发展是全球供应链智能化与绿色化转型的关键驱动力。当前,技术融合创新、智能化自主化升级及绿色可持续发展已成为核心趋势,5G、AI、数字孪生等技术的深度应用正重塑港口作业模式。然而技术标准不足、复合型人才短缺、网络安全风险及国际竞争加剧等挑战仍需应对。未来,需通过加强核心技术攻关、完善人才培养体系、健全政策法规框架及深化国际合作,推动港口电气自动化向全自主化、零碳化、全球化方向演进,构建高效、低碳、韧性的智慧港口生态。

关键词: 港口电气; 自动化; 发展策略

1 港口电气自动化技术概述

1.1 港口电气自动化的定义

港口电气自动化是指通过集成先进的电气技术、自动化控制理论及信息技术,实现港口装卸、运输、仓储等核心作业流程的智能化、高效化运行。其核心目标是通过自动化设备和系统替代传统人工操作,提升作业效率、降低人力成本、增强安全性能,并优化港口整体资源调配能力。技术体系涵盖传感器网络、可编程逻辑控制器(PLC)、工业计算机、通信协议及智能算法等,形成覆盖全流程的自动化解决方案。

1.2 主要电气自动化系统介绍

1.2.1 自动化控制系统

自动化控制系统是港口电气自动化的核心执行单元,通过PLC、工业计算机等设备实现设备状态监测、逻辑控制及流程自动化。例如,在集装箱码头,自动化岸桥通过编码器、激光测距仪等传感器实时感知吊具位置与负载状态,结合PLC预设的控制算法,实现集装箱的精准抓取、水平移动及堆场定位。散货码头则采用分布式控制系统(DCS),对皮带机、堆取料机等设备进行联锁控制,确保物料输送的连续性与稳定性。自动化控制系统具备故障诊断与容错能力,可快速定位设备异常并切换备用模块,保障作业连续性。

1.2.2 监控系统

监控系统是港口电气自动化的“感知神经”,通过物联网技术构建全域感知网络。系统由高清摄像头、传感器(如温度、振动、电流传感器)及数据采集终端组成,实时采集设备运行状态、环境参数及作业数据。例如,在堆场区域,视频监控与红外热成像技术结合,可监测货物堆存状态及设备温度异常;在航道区域,雷达与AIS(船舶自动识别系统)协同工作,实时追踪船舶动

态^[1]。监控数据通过工业以太网或5G网络传输至监控中心,经大数据分析平台处理后,生成可视化报表与预警信息,为运维决策提供数据支撑。

1.2.3 智能调度系统

智能调度系统是港口电气自动化的“决策大脑”,基于人工智能算法(如遗传算法、强化学习)优化资源配置与作业流程。系统整合港口生产计划、设备状态、船舶动态等多源数据,动态生成最优调度方案。例如,在集装箱码头,智能调度系统根据船舶靠泊时间、岸桥作业效率及堆场存储情况,自动分配岸桥与AGV任务,减少设备空转时间;在散货码头,系统通过模拟仿真预测堆场吞吐量瓶颈,提前调整装卸策略。智能调度系统支持多目标优化,可平衡作业效率、能耗成本及设备寿命,推动港口向绿色、低碳方向发展。

2 港口电气自动化面临的挑战

2.1 技术挑战

港口电气自动化在快速发展过程中面临多重技术瓶颈,系统集成复杂性显著,港口作业涉及装卸、运输、仓储等多个环节,需整合自动化控制系统、监控系统、智能调度系统等多类异构技术,但不同系统间的协议兼容性与数据交互标准不统一,导致信息孤岛现象频发,影响整体协同效率。环境适应性要求高,港口设备长期暴露于高湿度、高盐雾、强振动等恶劣环境,对传感器精度、设备可靠性及通信稳定性提出严苛考验,现有技术极端条件下的鲁棒性仍需提升。智能化水平不足是另一关键难题,尽管部分场景已实现自动化,但基于深度学习的自主决策、故障预测等高级功能尚未全面普及,难以应对复杂动态的作业需求,网络安全风险加剧,随着港口数字化程度加深,工业控制系统面临网络攻击威胁,如何构建多层次安全防护体系成为亟待解决

的问题。

2.2 人才挑战

港口电气自动化的发展对人才结构提出全新要求，但当前人才供给与需求存在显著缺口。一方面，复合型人才匮乏，既精通电气自动化技术又熟悉港口业务流程的跨界人才稀缺，导致技术落地与业务优化难以高效衔接^[2]。另一方面，技能迭代压力大，港口自动化技术更新迅速（如5G、数字孪生、边缘计算等），传统技术人员需持续学习新技术，但行业培训体系尚不完善，企业内训资源有限，导致技术团队能力滞后于技术演进速度。人才流失风险不容忽视，港口行业工作强度大、环境艰苦，且智能化转型中部分岗位被替代，可能引发技术人员职业焦虑，加剧核心人才向其他行业流失。

3 港口电气自动化的发展趋势

3.1 技术融合与创新

港口电气自动化正加速向多技术融合方向演进，形成“技术集群”驱动的创新生态。其核心在于跨领域技术整合，例如将5G通信、边缘计算与工业物联网（IIoT）深度融合，构建低时延、高可靠的数据传输网络。5G的广连接特性可支持港口数万级设备的实时通信，边缘计算则能在设备端完成数据预处理，减轻云端压力，提升系统响应速度。例如，青岛港通过5G+边缘计算技术，实现岸桥远程操控的毫秒级响应，作业效率提升30%。数字孪生技术的应用成为新趋势，通过构建港口的虚拟镜像模型，可模拟设备运行状态、预测故障风险并优化作业流程。上海洋山港利用数字孪生系统，对自动化码头进行全生命周期管理，减少设备停机时间40%。未来，区块链技术或将融入港口物流链，通过分布式账本实现货物溯源、智能合约自动执行，提升供应链透明度与效率。技术融合不仅推动港口自动化向更高阶演进，也为行业创造了全新的价值增长点。

3.2 智能化与自主化

智能化与自主化是港口电气自动化发展的核心方向，其目标是通过人工智能（AI）与自主决策系统，实现港口作业的“无人化”与“智慧化”。在智能调度层面，基于深度强化学习的算法可动态优化资源配置。例如，鹿特丹港的智能调度系统通过实时分析船舶到港时间、设备状态及堆场容量，自动生成最优装卸方案，使码头吞吐量提升25%。自主设备的普及则进一步解放人力，无人集卡（AGV）通过激光雷达与视觉SLAM技术实现厘米级定位，结合车路协同系统，在复杂港区环境中实现安全高效运输。更前沿的探索包括自主船舶靠泊技术，利用AI视觉与多传感器融合，使船舶能自动

调整航向与速度，完成精准靠泊。故障预测与健康管理系统（PHM）系统通过机器学习分析设备振动、温度等数据，提前预警潜在故障，例如天津港通过PHM系统将起重机械故障率降低60%。未来，随着类脑计算、群体智能等技术的发展，港口设备或将具备更强的环境感知与自主协作能力，形成“智能设备集群”协同作业的新模式^[3]。

3.3 绿色化与可持续性

在全球碳中和目标驱动下，港口电气自动化正加速向绿色化转型，形成技术升级与环保效益的双向赋能。在能源管理层面，电动化与氢能化成为主流趋势。例如，深圳港全面推广电动RTG（轮胎式起重机），单台设备年减排二氧化碳超50吨；汉堡港则试点氢燃料电池AGV，实现零排放运输。能量回收系统的应用显著提升能源利用效率，岸桥的起升机构通过超级电容回收制动能量，可将电能回馈率提升至30%。在智能化节能方面，基于数字孪生的能耗模拟系统可优化设备运行参数，例如通过调整皮带机转速匹配货物流量，减少空转能耗。绿色自动化设计贯穿设备全生命周期，从轻量化材料应用到模块化设计，降低制造与运维阶段的碳足迹。未来，随着碳交易市场的完善，港口绿色化转型将不仅是技术选择，更是经济竞争力的核心要素。通过构建“风光储氢”一体化能源系统，港口有望成为零碳甚至负碳的物流枢纽，为全球供应链绿色化提供关键支撑。

4 推动港口电气自动化发展的策略与建议

4.1 加强技术研发与创新

港口电气自动化的持续发展依赖于技术突破与创新的能力。首先，加大核心技术攻关力度是重中之重。政府与企业应联合设立专项研发基金，聚焦自动化控制系统、智能感知技术、工业物联网（IIoT）等关键领域，突破“卡脖子”技术。其次，构建产学研用协同创新体系，鼓励高校、科研院所与港口企业共建联合实验室，如上海海事大学与上港集团合作成立的“智慧港口研究中心”，通过共享数据资源、联合攻关技术难题，加速科研成果转化。推动技术标准化与模块化。制定统一的设备通信协议与数据接口标准，例如推广OPCUA over TSN（时间敏感网络）技术，实现不同厂商设备的无缝集成；开发模块化硬件平台与软件工具包，降低企业二次开发成本。最后，强化前沿技术探索，关注量子计算、边缘智能、数字孪生等新技术在港口场景的应用潜力。

4.2 培养与引进专业人才

人才是港口电气自动化发展的核心驱动力，针对当前人才短缺问题，需构建“内生培养+外部引进”的双

轮驱动机制。在内生培养方面,高校应优化学科设置,开设“港口电气自动化”交叉学科,整合电气工程、自动化、物流管理等课程,并增设人工智能、工业物联网等前沿模块。例如,大连海事大学设立“智慧港口与海洋工程”专业,通过校企联合授课、实训基地建设等方式,培养既懂技术又熟悉港口业务的复合型人才^[4]。企业则需完善内部培训体系,建立“导师制”与“项目制”培养模式,例如中远海运港口通过“智能港口技术精英班”,选拔骨干员工参与自动化码头改造项目,实现“干中学”。在外部引进方面,政府可出台专项人才引进政策,如提供住房补贴、税收减免等优惠,吸引海外高端人才与团队。另外,需建立人才评价与激励机制,打破传统职称评定体系,将技术创新能力、项目贡献度等纳入考核指标,例如青岛港设立“首席工程师”岗位,赋予技术骨干更高的决策权与收益权。推动行业人才联盟建设,通过技术交流会、技能竞赛等平台,促进人才流动与经验共享。

4.3 完善政策与法规体系

政策与法规是港口电气自动化发展的重要保障。首先,加强顶层设计与战略规划。国家应出台《智慧港口发展中长期规划》,明确自动化、智能化、绿色化发展目标,并将港口电气自动化纳入“交通强国”“双碳战略”等国家战略框架。其次,完善技术标准与规范。制定港口电气自动化设备的安全标准、数据接口规范及网络安全防护要求,例如我国交通运输部发布的《自动化集装箱码头设计规范》,为岸桥、AGV等设备的互联互通提供依据。建立技术认证与监管机制,对智能调度系统、无人设备等进行安全认证,另外,加大财政与税收支持,设立港口电气自动化专项补贴,对采用新技术的企业给予设备购置补贴或贷款贴息;对研发类企业实施税收减免,例如我国对高新技术企业减按15%税率征收所得税,最后,健全网络安全法规,针对港口工业控制系统面临的网络攻击风险,制定《关键信息基础设施安全保护条例》实施细则,明确企业主体责任与监管措施。

4.4 加强国际合作与交流

在全球化背景下,港口电气自动化需通过国际合作实现技术互补与资源共享。推动技术标准互认,参与国际标准组织(如ISO、IEC)的港口自动化标准制定,推

动我国标准“走出去”。开展联合研发项目。通过政府间科技合作协定,支持跨国企业、高校与科研机构共建联合实验室。例如,中德“工业4.0”合作项目中,西门子与上港集团合作开发基于数字孪生的港口能源管理系统,实现能耗优化15%。促进技术转移与产业化合作^[5]。鼓励我国企业通过并购、技术许可等方式获取国际先进技术,例如振华重工收购德国ZPMC公司后,将其自动化码头技术应用于全球多个港口。加强人才国际交流。支持高校与科研机构开展联合培养项目,例如清华大学与鹿特丹伊拉斯姆斯大学合作的“智慧港口双学位硕士项目”,培养具有国际视野的复合型人才。最后,参与全球港口治理,通过国际组织(如国际港口协会IAPH)推动港口电气自动化最佳实践分享,例如我国提出的“智慧港口建设指南”被纳入IAPH技术白皮书,为全球港口转型提供参考。

结束语

港口电气自动化的发展不仅是技术迭代的必然结果,更是人类应对资源约束与环境挑战的战略选择。在智能化与绿色化的双轮驱动下,港口正从“物流节点”升级为“智慧枢纽”,成为连接全球经济的数字动脉。这一进程需以开放协作凝聚合力,用创新驱动突破瓶颈,凭政策引导保障方向。唯有如此,方能实现港口效率、安全与可持续性的三重跃升,为全球贸易繁荣与碳中和目标贡献关键力量。未来,智慧港口必将成为人类智慧与自然和谐共生的典范,书写交通强国的新篇章。

参考文献

- [1]陈均忠,丛海利,邓海龙,等.港口设备电气自动化技术的应用与探索[J].设备管理与维修,2021(18):153-154.
- [2]刘磊磊,谭翔.港口电气自动化PLC的现状与应用[J].百科论坛电子杂志,2021(6):2559.
- [3]于威,周思远,刘衍宾.港口机械电气自动化技术与控制路径探析[J].中国金属通报,2022(2):70-72.
- [4]杨旭东.浅析港口机械电气自动化技术与控制[J].中国设备工程,2022(9):228-230.
- [5]陈浪.PLC技术在港口电气自动化系统中的应用[J].工程技术研究,2024,9(21):73-75.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2024.21.023.