

港口电气系统节能优化策略研究

秦雪峰

(盘锦港集团有限公司, 辽宁 盘锦 124000)

摘要 港口电气系统能耗问题日益突出, 节能优化已成为提升港口运营效率和可持续发展的关键。本文围绕港口电气系统的主要能耗环节, 阐述了岸电系统利用率低、装卸设备运行能效偏低, 照明系统能耗过高以及储能与新能源调度不合理等困境, 根据不同环节的技术瓶颈提出了构建智能调度模型提升岸电利用率、应用能量回收技术降低装卸设备能耗、引入智能照明系统提高照明能效、优化储能与新能源协同控制策略增强港口能源管理能力等优化控制措施, 以期为港口电气系统节能优化提供技术支持, 推动绿色低碳港口建设。

关键词 港口电气系统; 能耗优化; 智能调度; 能量回收

中图分类号: U653

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.011.020

0 引言

港口电气系统是港口运行的重要支撑, 其涵盖了岸电供应、装卸设备供电、照明系统以及电力调度等多个环节, 能耗问题直接影响运营成本和环境可持续性。电气化和智能化的发展推动港口用能结构优化, 但岸电系统利用率低、装卸设备能效不足、照明系统能耗过高、储能与新能源调度不合理等问题仍然突出, 制约了港口的节能减排水平。岸电系统受船舶适配性和调度模式影响, 利用效率存在较大提升空间。装卸设备运行过程中产生大量能量损耗, 能量回收技术的应用仍不充分。新能源接入比例不断提升, 但储能系统与微电网协同优化能力不足, 导致能源利用率低。根据港口电气系统的能耗特征, 提出合理的优化控制措施能有效降低整体能耗, 为构建绿色低碳港口提供技术支持。

1 港口电气系统概述

1.1 港口电气系统组成

港口电气系统包含岸电系统、装卸设备供电系统, 照明系统、动力系统以及监控与管理系统等多个子系统, 承担港口日常运营中的电能供应、调度与优化任务^[1]。岸电系统用于向靠港船舶提供岸基电力, 减少燃油消耗与污染物排放; 装卸设备供电系统为桥吊、轨道吊、门座式起重机和自动化集装箱装卸设备等提供电能保障, 直接影响作业效率与能耗水平; 照明系统覆盖码头、堆场、道路和仓储等区域, 能耗占比较高; 动力系统包含供配电网、变电站、储能设备及应急电源, 保障港口整体电力供应的稳定性; 监控与管理系统利用智能电网、能源管理系统(EMS)等技术, 实

现电力监测、负荷预测、能耗分析及优化调度^[2]。

1.2 主要电气设备及其能耗分析

港口电气系统的能耗主要集中在装卸设备、水平运输设备、辅助生产设施、船舶岸电及其他设备, 能耗分布具有明显的层级特征。装卸设备(55.8%)是港口能耗的最大来源, 岸桥、轨道吊以及轮胎吊等这些设备在集装箱装卸和货物搬运过程中消耗大量电能, 传统装卸设备在制动和下降过程中产生的能量未能充分回收, 导致电能浪费。水平运输设备(18.6%)主要有自动导引运输车、电动牵引车及集装箱卡车等, 其承担码头至堆场的短途运输任务。辅助生产设施(14.0%)涵盖照明、冷链存储及办公区用电等, 传统照明系统能耗较高, 采用LED照明和智能控制可提升能效。船舶岸电(7.0%)为靠港船舶提供岸基电力, 减少燃油消耗, 但受制于船舶适配性和调度管理, 实际利用率较低。其他设备(4.7%)主要涉及输配电系统和储能设备等, 合理配置储能系统可缓解港口负荷波动, 提高电能利用率。

1.3 电气系统对港口的重要性

港口电气系统是港口运营的核心支撑, 其直接影响作业效率、能源利用、碳排放水平及经济效益, 高效的电气系统可优化能源结构, 降低设备运行能耗, 并提高港口作业的自动化和智能化水平^[3]。装卸设备电气化和能量回收技术的应用, 可减少作业过程中的能量损耗, 提升设备使用效率。水平运输设备的新能源化和智能调度优化, 可降低运输环节的能耗, 强化港口内部物流效率; 岸电系统的应用有助于减少船舶停靠期间的燃油消耗和污染物排放, 提升港口绿色发

展水平；照明系统的智能化改造可实现精准照明，降低不必要的电力消耗；储能系统的优化配置可平衡港口负荷波动，增强新能源的消纳能力，减少对外部电力供应的依赖^[4]。

2 港口电气系统的能耗困境

2.1 码头岸电系统利用率低与能源浪费现象

码头岸电系统是港口电气化的重要组成部分，可减少船舶靠港期间燃油发电带来的污染物排放和能源消耗，但实际运行过程中岸电系统的利用率较低，导致能源浪费和设备投资回报率下降。船舶岸电接口标准化程度不足，使得不同船型的电压和频率要求存在差异，致使岸电系统难以实现高效匹配，进一步增加了能源损耗。负荷波动性也是岸电系统利用率低的重要因素，不同船舶的靠泊时间和负荷需求差异较大，短时间内的高峰负荷会造成岸电系统运行压力，而低负荷时设备处于低效运转状态，能源利用率降低。部分港口在岸电系统运行管理上缺乏智能调度策略，使得船舶在非必要时段仍依靠柴油发电，而非使用岸电系统，进而加剧了能源浪费。

2.2 装卸设备运行效率偏低与电力消耗过大

装卸设备是港口能耗的主要来源，远高于其他任何电气设备，由于装卸作业的高强度和不间断性，设备长期运行在高负荷状态，促使能源消耗居高不下。港口装卸设备在升降、回转以及水平移动过程中均会产生大量能耗，其中，岸桥和轨道吊主要依靠电力驱动，而轮胎吊仍有相当一部分采用柴油发电供电，能耗高且排放污染较大。设备利用率不均衡也是促使能耗增加的重要原因，繁忙时段部分装卸设备处于高负荷运行，导致电网负载剧增；而在低负荷时段设备仍保持待机状态，从而形成无效能耗。港口装卸设备的智能化程度有限，缺乏精确的能耗监测和调度优化机制，使设备在作业过程中存在如重复升降、非必要的回转和长时间空载运行等冗余动作，这些都明显增加了能耗。

2.3 港口照明系统管理粗放与能效低下

港口照明系统其能耗占比达到 14.0%，是港口电气系统中不可忽视的高能耗环节，照明系统长期处于高功率运行状态，部分区域在低作业负荷时段仍保持全功率照明，导致大量电能浪费。传统照明设备仍使用高压钠灯和金卤灯等，这些设备的光效较低，发光效率仅为 LED 灯的 50% 左右，进一步增加了维护成本和能耗支出。

智能化照明控制不足也是能效低下的重要原因，部分港口虽已开始应用 LED 照明技术，但未结合智能

调光控制，使得在不同环境条件下仍然采用固定照度，未能充分利用环境光照。白天或光照充足的情况下，照明系统未能自动调整亮度，而在夜间或低负荷作业时间，部分区域仍保持高亮度照明^[5]。缺乏区域分区控制技术，致使照明系统整体负荷调整能力较弱，部分区域长期过度照明，增加了不必要的电力消耗。

2.4 储能与新能源应用受限与调度不合理

港口新能源与储能系统的发展虽在一定程度上优化了港口能源结构，但当前仍面临诸多困境，其主要表现在新能源应用受限、储能系统配置不足以及调度优化能力较弱。新能源在港口的应用以光伏发电和风力发电为主，受限于天气条件的波动性，其发电功率难以保持稳定，导致新能源利用率较低。

储能系统主要用于削峰填谷和平衡电网负荷，并在短时高峰负载时提供补充电力，然而，当前港口的储能系统容量受限，无法有效平衡岸电、装卸设备及新能源之间的负荷需求。港口电网负荷波动较大，高负荷时段一旦储能系统未能精准预测并合理分配能量，将导致新能源发电不足时依靠传统电力供应；而在低负荷时段多余的可再生能源无法有效存储。

3 港口电气系统节能优化控制措施

3.1 提高岸电系统利用率的智能调度与能效

提高岸电系统的利用率需要从技术优化和调度策略改进以及标准化建设等多个方面入手，建立智能化岸电调度系统并实时监测船舶靠港情况、电网负荷水平以及岸电需求，以此来动态调整岸电系统的供电能力费。岸电接口的标准化也是提高岸电系统适配率的重要手段，采用国际通用的高低电压岸电接口标准，增加对不同类型船舶的兼容性，减少因接口不匹配导致的岸电使用率低的问题。同时，在港口推广高压变流技术，提高电力变换效率，减少输电损耗，部分未能直接使用岸电的船舶可配置高效逆变装置或岸电适配模块，来提高船舶与岸电系统的适应能力，以扩大岸电应用范围。

优化岸电供电模式，提高系统能效可采用岸电分区供电模式，根据船舶功率需求灵活分配电力资源，减少局部供电过载或空载问题。结合储能系统把富余电能存储于港口电池组，在船舶高负荷用电时提供额外支持，减小岸电系统对外部电网的冲击来提高系统稳定性。此外，岸电系统可与可再生能源结合，利用港口光伏和风电等可再生能源直接为靠港船舶供电，提高清洁能源占比，降低碳排放。

3.2 依托能量回收技术提升装卸设备运行效率

装卸设备的高能耗问题可使用能量回收与智能化

调度技术进行优化,在起重设备(岸桥、轨道吊和轮胎吊)上推广电能回收系统,采用再生制动技术把制动过程中产生的能量借助逆变装置回馈至电网或储存在超级电容和锂电池系统中,以供其他设备使用,可有效减少能量损耗,进而提高整体能效。轮胎吊等移动装卸设备中推广混合动力与全电动化改造,选用电驱动或混合动力模式可明显降低燃油消耗,已实现电动化的设备可以优化电池管理系统,使用智能充放电策略延长电池寿命来提高能量利用率。

智能调度优化采用基于人工智能的作业调度系统,结合港口实时作业数据来优化设备的运行路径和任务分配,从而减少设备空载运行时间,避免不必要的升降、回转和重复作业。引入自动化控制技术使设备能根据实时负载调整功率输出,降低高负荷运行时间和提高作业效率。构建装卸设备能耗监测平台来实时跟踪设备能耗状态,依据数据分析优化设备运行模式,进一步减少能耗。

3.3 采用智能化手段优化港口照明系统能效

优化港口照明系统能效需要结合智能化控制技术、节能照明设备应用,以及合理的光照规划。全面推广LED照明技术来替代传统的高压钠灯和金卤灯等低效照明设备,LED灯具能耗更低,光效更高,而且寿命更长,可明显减少维护成本和电力消耗。此外,采用高效光学透镜可以提高光线分布的均匀性,减少照明死角和浪费,进而提高整体照明质量。

智能调光控制系统是提高照明系统能效的重要手段,基于物联网和智能传感器技术建立自适应照明系统,以实现针对不同区域和不同时间段的精准照明控制。环境光传感器根据自然光强度自动调整照明亮度,避免了白天过度照明;结合红外或雷达感应技术可在无人或低作业频率区域自动降低照度或关闭照明,以减少能耗。

智慧照明管理平台可实现远程控制与数据分析,使用云计算与大数据技术来实时监测照明系统能耗,并自动优化调度,建立基于人工智能的照明优化算法可以分析历史照明数据,预测未来照明需求并调整照明设备的运行模式,以提高整体能效。照明系统与港口其他电力设备联动,并结合负荷管理系统在港口电力负载较高时适当降低非关键区域照明功率,以实现整体能源调控,进而提升港口电气系统的能效水平。

3.4 强化储能与新能源协同运行的优化调度方式

港口储能与新能源的优化运行要构建智能化调度系统,利用气象数据分析风力、光伏发电功率的波动

情况来建立新能源发电预测模型,提前调度储能系统进行能量储备,从而减少因新能源波动造成的能源浪费。优化储能系统的配置能提高充放电效率,结合负荷预测数据可采用智能电池管理系统,动态调整电池组的充放电策略来实现峰谷平衡,避免电网负荷过载。

构建分布式微电网,实现储能与新能源的协同调度,智能微电网技术可将光伏、风电、岸电和储能系统进行统一管理,使新能源发电优先供给港口负荷,再把多余电能存储至储能设备,以备高负荷时释放,进一步提高可再生能源的消纳比例。采用先进的能量管理系统(EMS)来实时调整电力供应策略,优化岸电、储能与外部电网之间的能量流动,以提高港口整体能源管理水平。

提升储能与新能源的市场参与度要结合需求侧响应机制,并利用港口负荷调节能力,使用电价低谷时充电和高峰期放电的方式,以降低港口的购电成本。探索车网互动技术使港口电动运输设备在非作业期间接入电网,作为储能单元,提高港口整体能源调度能力,进一步降低电网负荷波动,以优化港口电气系统的运行效率。

4 结束语

本文分析了港口电气系统的能耗现状,识别岸电系统适配性不足、装卸设备能量回收率低,照明系统调控粗放以及储能与新能源协同不足等关键问题,从而构建智能化优化策略。岸电系统优化采用智能调度与分区供电来提高负荷匹配度与能源利用率;装卸设备采用再生制动与智能调度技术,可减少能量损耗并提升作业效率;照明系统基于智能感知和自适应控制,可以优化光照分布和降低非必要能耗;储能系统与新能源结合微电网优化调度,能实现能源的高效存储与动态分配,研究为港口节能技术升级和低碳转型提供理论与技术支持。

参考文献:

- [1] 王侃.城市轨道交通电气系统节能优化策略研究[J].城市建设理论研究:电子版,2024(35):1-3.
- [2] 谭劲松.汽车电气系统能效优化及节能减排策略研究[J].汽车维修技师,2024(18):50.
- [3] 浦敏峰.电气系统对岸桥远程操作安全性的保障研究[J].模具制造,2024,24(05):249-251.
- [4] 浦敏峰.岸桥远程控制技术发展及与电气系统优势分析[J].中国机械,2024(08):73-76.
- [5] 方刚,刘文.可持续发展理念下绿色建筑电气节能优化设计研究[J].新城建科技,2024,33(02):58-60.