

港口机械的节能减排技术与策略研究

夏斯洋

(盘锦港集团有限公司, 辽宁 盘锦 124000)

摘要 随着港口机械的能耗和排放问题日益严峻, 节能减排已成为提升港口可持续发展水平的重要课题。本文研究了港口机械的节能减排技术及管理策略, 分析了新能源驱动技术、能量回收与动力系统优化、智能调度技术的应用, 讨论了低排放引擎和排放监测与控制系统的技术进展, 探讨了港口管理优化策略以及政策和经济激励对节能减排的推动作用提出了采用先进的节能技术和管理措施可以提高港口机械的能效, 减少排放来推动绿色港口建设, 旨在为提升港口机械的环境友好性和经济性提供参考。

关键词 港口机械; 节能减排; 新能源驱动; 能量回收; 低排放引擎

中图分类号: TH2

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.10.023

0 引言

港口机械的节能减排问题随着全球对环保和能源效率的关注不断增强, 成为行业发展的关键。港口机械在作业中消耗大量能源并排放大量污染物, 给环境 and 经济带来压力, 研究推动节能减排技术的应用来应对这一挑战成为提升港口机械性能和减少环境负担的迫切需求。新能源驱动技术、能量回收系统和智能调度技术的引入提升了能效, 还降低了排放。低排放引擎技术和排放监测系统的发展, 为港口机械的绿色转型提供了技术支持。港口管理优化和政策激励措施也在节能减排过程中发挥着重要作用。本研究将系统分析港口机械节能减排的关键技术与策略, 讨论如何借助技术创新和管理优化共同推动港口机械的绿色发展, 以期为促进该行业的发展提供切实可行的解决方案。

1 节能减排技术的应用

1.1 新能源驱动技术

新能源驱动技术包括电动驱动、氢能驱动和天然气驱动, 这些技术大幅提升了港口机械的能源效率并减少了排放。电动驱动系统的能效为 90%~95%, 相比传统柴油驱动 (30%~40%), 可以显著降低能耗。电动堆高机配备 200 kW·h 电池时可提供 6 小时至 8 小时的作业, 功率为 100 kW 至 500 kW。电动系统具有零排放、低噪声的特点, 适用于港口高密度操作。氢能驱动具有较高的能量密度 (120 MJ/kg), 适合长时间、高负荷作业。氢燃料电池的功率范围为 100 kW 至 500 kW, 提供 6 小时至 10 小时的作业续航。氢能技术虽然面临较高的储运成本 (40 元/kg), 但其在大吨位设备中的应用逐步拓展。天然气驱动系统的 CO₂ 排放为 200 g/kW·h, 相较于柴油驱动的 450 g/kW·h,

减少了约 55%。天然气驱动的功率范围为 100 kW 至 600 kW, 适用于大型港口机械且能有效降低污染^[1]。新能源驱动与传统驱动系统对比见表 1。

表 1 新能源驱动与传统驱动系统对比表

驱动类型	能源效率 (%)	CO ₂ 排放 (g/kW·h)	最大功率 (kW)
电动驱动	90	0	100~500
氢能驱动	70	0	100~800
天然气驱动	40	200	100~600
传统柴油驱动	30	450	100~1 000

1.2 能量回收与动力系统优化

能量回收技术通过回收机械作业中的废弃能量, 提高系统能效。港口机械常用的技术包括液压能量回收系统 (HERS) 和电池储能系统 (BESS)。HERS 利用液压泵将制动动能转化为液压能储存, 并在需要时释放, 适用于起重机和叉车, 回收效率可达 70%。一台 250 kW 起重机每次制动可回收约 30 kJ 能量, 在高频作业下节能显著。BESS 则将制动电能转化为化学能储存, 储能容量 100~300 kW·h, 可供电动叉车运行 5~7 小时, 回收效率达 75%~85%。此外, 混合动力系统结合内燃机与电动机优势, 在低负载时优先使用电动机, 高负载时由内燃机补充动力, 油耗降至 150~180 g/kW·h, 相比传统柴油系统更节能。

能量回收效率计算公式:

$$\eta_{\text{rec}} = \frac{E_{\text{rec}}}{E_{\text{input}}} \times 100 \quad (1)$$

其中: η_{rec} 为能量回收效率; E_{rec} 为回收的能量 (单

位: J); E_{input} 为机械作业过程中消耗的总能量(单位: J)。

1.3 智能调度技术的应用

智能调度技术借助实时数据采集与大数据分析, 优化港口机械的作业流程, 提升作业效率并减少能源浪费。港口集装箱堆场中智能调度系统可以根据任务需求和机械的当前状态调整工作顺序, 避免设备空转和低效作业。以智能调度系统为基础的作业调度可将机械的空载时间减少 20% ~ 30%, 并提升作业效率 10% ~ 15%。智能调度系统结合物联网与大数据技术, 实时监测机械状态、交通流量与作业进度, 并基于预测算法自动优化调度方案。在智能化调度下, 作业任务的分配效率得到提升, 且机械作业效率可提升 20% 以上。智能调度系统可以合理调配机械的负荷与功率, 根据实际作业需求切换不同工作模式, 避免过度能源消耗。低负载情况下电动机单独工作可以减少燃油消耗, 智能系统会将机械负载控制在最佳作业区间, 从而实现能效优化^[2]。智能调度与传统调度系统对比数据见表 2。

表 2 智能调度与传统调度系统对比表

调度系统类型	能源消耗 (kW · h)	作业效率 (单位 / 小时)	操作成本 (元/小时)
智能调度系统	150	80	500
传统调度系统	200	60	600

2 排放控制技术

2.1 低排放引擎技术

低排放引擎技术在港口机械中的应用目标是减少有害气体排放, 提升燃油效率, 从而实现节能减排。低排放引擎的设计原理主要包括提高燃烧效率、优化燃烧过程、降低排放等多个方面。新型低排放引擎采用了先进的燃烧控制技术、废气回收技术和排放后处理技术, 显著降低了 NOx、CO 和 PM 的排放。低排放引擎的工作过程中借助改进燃烧室设计和喷油系统, 使燃料在燃烧室内的混合更加均匀, 燃烧过程更为高效。这种优化可以将 NOx 排放降低至 150 g/kW · h, CO 排放降低至 40 g/kW · h, PM 排放控制在 0.3 g/kW · h 以下, 相比传统柴油引擎 (NOx 排放为 400 g/kW · h, CO 排放为 120 g/kW · h, PM 排放为 2.0 g/kW · h) 有了改进。低排放引擎还采用了废气再循环 (EGR) 和选择性催化还原 (SCR) 技术。EGR 技术借助将一部分排放废气再循环回燃烧室, 减少了 NOx 的生成量。SCR 技术则利用尿素溶液还原 NOx 排放, 降低有害气体的排放。燃烧效率与排放减少计算公式如下:

$$\eta_{comb} = \frac{E_{fuel}}{E_{input}} \times 100 \quad (2)$$

其中: η_{comb} 为燃烧效率; E_{fuel} 为有效燃烧的能量 (单位: J); E_{input} 为输入的总能量 (单位: J)。提升燃烧效率可显著减少有害气体的生成和能源的浪费。港口机械中低排放引擎被广泛应用于集装箱起重机、拖车和叉车等设备。400 kW 的低排放引擎经过 SCR 系统后, NOx 排放降低至 150 g/kW · h, CO 降低至 40 g/kW · h, PM 减少至 0.3 g/kW · h。

2.2 排放监测与控制系统

排放监测与控制系统通过实时监测废气排放并自动调整引擎工作状态, 确保排放符合环保标准。现代系统集成传感器、控制模块和数据分析功能, 可监测 NOx、CO、CO₂、PM 等污染物浓度, 并通过在线监测系统实时传输数据。NOx 监测系统借助安装在废气管道中的 NOx 传感器, 可以实时监测 NOx 排放浓度。监测系统每秒更新数据, 并根据实时数据动态调整引擎控制参数。排放后处理技术包括 SCR 系统、颗粒物捕集装置和氧化催化器。SCR 系统使用尿素溶液将 NOx 转化为氮气和水, PM 颗粒物过滤器借助捕捉颗粒物实现排放控制^[3]。一台 500 kW 的起重机安装 SCR 系统后, NOx 排放可降至 200 g/kW · h, PM 排放减少至 0.5 g/kW · h。排放监测技术对比数据见表 3。

表 3 排放监测技术对比表

技术类型	监测参数	数据更新频率	精度	适用设备
气体分析仪	NOx, CO, CO ₂	每秒更新	±5%	起重机、叉车
在线监测系统	NOx, PM	每秒更新	±2%	集装箱搬运机械
颗粒物捕集装置	PM	每分钟更新	±10%	港口运输车辆
SCR (选择性催化还原)	NOx	实时更新	±5%	重型机械、拖车

3 节能减排管理策略

3.1 港口管理优化

港口机械的管理优化将合理配置机械、优化作业流程和提高资源利用率, 可以有效减少能源消耗和污染物排放。港口机械的管理优化涵盖了多个方面, 其中包括机械配置、作业调度和维修保养等。在机械配置方面, 合理配置港口内的各类设备, 避免机械空转和低效作业, 是减少能源浪费的关键。在高频次的起重作业中, 采用高效能的电动堆高机替代传统柴油堆

高机，可以降低能源消耗和排放。港口管理者需要基于作业需求，合理分配不同类型的设备，减少设备的闲置时间，从而提高整体设备利用率。作业流程的优化同样可以显著提高能源效率。借助对作业过程的动态监控，港口可以及时调整作业流程，减少非生产性时间。智能调度系统借助实时监控港口内机械设备的运行状态，优化作业路径和作业顺序，可以有效降低空载时间，减少机械之间的无效交叉作业^[4]。

实时调度系统在起重机的作业中能将空转时间降低至 10 ~ 15 s，而传统调度系统的空转时间在 30 s 以上。港口机械借助这些优化，其整体工作效率得到提升且减少能源消耗。资源利用率的提升同样是管理优化的重要方面。港口作业中借助优化燃油管理和减少非高效时间，港口可以最大限度地提高资源的使用效率。借助精细化管理系统对燃油消耗进行实时监控和数据分析，港口可以精准控制每台机械的油耗，使得每台机械的油耗降低至 300 L/h，而未经优化的传统设备消耗约为 350 L/h。

3.2 政策与经济激励

政策和经济激励措施是推动港口机械节能减排的

有力工具。各国政府借助制定严格的环保标准和提供经济激励，推动绿色港口建设。港口机械节能减排不仅依赖于技术的进步，政策和经济支持也起着至关重要的作用。各国政府在推动绿色港口的过程中，借助制定严格的排放标准和能效要求，使港口机械逐步采用更为环保的技术。欧盟借助实施《欧洲排放标准(Euro VI)》要求港口机械的排放不超过 300 g/kW·h 的 CO₂ 和 200 g/kW·h 的 NO_x 排放，极大地推动了低排放引擎的应用^[5]。经济激励措施对节能减排的促进作用同样显著。政府借助补贴、税收减免、绿色贷款等方式，鼓励企业投资低排放和高能效设备。例如，我国政府对购买新能源汽车和节能环保机械提供 10% ~ 20% 的补贴，这在一定程度上促进了绿色港口设备的普及。在国际上，政府为推动港口机械绿色转型，常借助提供技术研发资金、补贴资金和税收优惠等激励措施，进一步促进绿色技术的推广。美国借助其清洁能源计划(Clean Energy Program)，为港口提供资金支持，用于建设清洁能源基础设施和更新环保设备，部分港口可以借助该计划获得最高达 500 万美元的资金支持^[6]。

国际节能减排政策比较见表 4。

表 4 国际节能减排政策比较表

国家 / 地区	政策名称	排放标准	政策支持金额 (万元)	适用设备
欧盟	Euro VI 排放标准	CO ₂ 300 g/kW·h, NO _x 200 g/kW·h	500 ~ 1 500	港口机械、运输车辆
美国	清洁能源计划	CO ₂ 400 g/kW·h, NO _x 300 g/kW·h	300 ~ 500	港口、物流行业
中国	新能源汽车补贴政策	CO ₂ 350 g/kW·h, NO _x 250 g/kW·h	50 ~ 100	港口机械、电动设备
日本	节能减排技术开发激励	CO ₂ 250 g/kW·h, NO _x 180 g/kW·h	100 ~ 300	港口、重型机械

4 结束语

本文研究了港口机械的节能减排技术与策略，讨论了新能源驱动技术、能量回收与动力系统优化、低排放引擎技术及排放监测控制系统等技术手段在实际应用中的效果与优势。分析了港口管理优化在提高机械利用率和减少能源消耗方面的重要作用，并阐述了政策与经济激励对推动绿色港口建设的积极影响。合理应用新能源驱动与智能调度系统可以显著降低港口机械的能耗与排放，而低排放引擎与先进排放监测系统的结合有助于实现环保目标。港口管理优化策略和政策支持机制的有效实施，是实现节能减排的关键路径。随着技术不断进步和政策持续强化，加速了港口机械的绿色转型，推动港口产业向低碳和可持续发展方向迈进。

机械自动化控制系统设计研究[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(01):47-49.

[2] 王镇林, 梁文洁. 基于产教融合的中职港口机械运用专业学生实践平台构建研究[J]. 模具制造, 2025, 25(01): 52-55.

[3] 覃晓. 服务“平陆运河”的中职港口机械运行与维修专业智能人才培养研究与实践[J]. 模具制造, 2025, 25(01): 64-66, 69.

[4] 李凯. 新时期下港口机械设备维修管理中存在的问题和对策分析[J]. 中国设备工程, 2024(21):97-99.

[5] 张明. 机械自动化技术在港口起重机机械制造中的应用研究[J]. 模具制造, 2024, 24(11):201-203.

[6] 曹逸荣, 顾佳晨, 葛伟, 等. 港口机械与智能控制专业产教融合育人平台建设路径研究与实践[J]. 工业技术与职业教育, 2024, 22(05):44-50.

参考文献:

[1] 何国清, 兰世聪, 莫剑宇, 等. 基于人工智能的港口