



港口多能源融合就地平衡智能微电网建设思考^{*}

杨玉琢¹, 仲维亮¹, 王张舒君², 张涵清², 王艳敏²

(1. 中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027;

2. 哈尔滨工业大学 电气工程及自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 在实现“双碳”目标的视角下, 结合能源转型大背景中新型电力系统对电网安全性和稳定性的现实需求, 探索水运和港口行业多能源融合的解决方案受到了广泛的关注。通过整理相关政策和国际、国内典型案例, 梳理实现港口多能源融合就地平衡的技术路径, 提出项目建设智能微电网的规划建议。结合项目港口所在区域自然条件, 如风光资源、地形条件, 当地基础设施建设现状和规划, 港口经营情况、相关航线船舶信息, 选择合适的技术路径, 如功耗优化工具、储能、氢能等, 充分考虑港口远期发展, 合理规划, 探索就地平衡、源网荷储一体化的微电网方案, 推进实现可观、可测、可调、可控要求。结果表明, 在应用功耗优化工具并合理配置储能装置后, 有望将最大功率和平均功率比值控制在 3 以下, 节能效果达到 30% 以上。

关键词: 港口; 多能源融合; 就地平衡; 微电网; 功耗优化

中图分类号: U653.95

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)09-0092-07

Thoughts on smart micro-grids construction for in-situ balancing of port multi-energy integration

YANG Yuzhuo¹, ZHONG Weiliang¹, WANG Zhangshujun², ZHANG Hanqing², WANG Yanmin²

(1. China Harbour Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China;

2. School of Electrical Engineering and Automation, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: From the perspective of achieving the dual-carbon goals, exploring solutions for multi-energy integration in water transport and port industry has attracted wide attention, taking into account the realistic demand for grid security and stability of new power systems in the context of energy transition. After reviewing relevant policies and international and domestic typical cases, several technical paths to realize in-situ balance of multi-energy integration in ports have been sorted out, and put forward the planning suggestions for building smart micro-grids in projects. It is suggested to combine the natural conditions of the region where the project port is located, such as wind and solar resources, topographic conditions, the current situation and planning of local infrastructure construction, the operation of the port, and the information of the relevant shipping routes, to choose the appropriate technical paths, such as power optimization tools, energy storage system, hydrogen, etc., and to give full consideration to the long-term development of the port, to make reasonable planning, to explore the micro-grid scheme of in-situ balancing and coordination of source-network-load-storage, and to promote the realization of observable, measurable, adjustable and controllable requirements. It is concluded that after applying the power optimization tool and rationally configuring the energy storage device, it is expected to control the ratio of maximum power to average power below 3, with an energy saving effect of more than 30%.

Keywords: port; multi-energy integration; in-situ balancing; micro-grid; power optimization

收稿日期: 2024-12-27

***基金项目:** 国家自然科学基金项目(62073095, 51307035); 中国港湾重大研发项目(2023-ZGKJ-ZDYF-03)

作者简介: 杨玉琢 (1983—), 男, 高级工程师, 研究方向为港口电气工程及自动化。

随着“双碳”目标的不断接近,以风电、光伏为主的可再生能源装机量近年来在全世界范围内得到了显著提升,国内已有多个省份的新能源装机比例超过50%。风电、光伏发电会因自然环境变化出现不稳定波动,并且此类电源需要通过大量电力电子设备接入电网,因此面向新型电力系统建设的转型需求也越来越迫切。

国家能源局在2024年11月发布的《国家能源局关于支持电力领域新型经营主体创新发展的指导意见》^[1]在新型经营主体的概念和范围中描述:“智能微电网是以新能源为主要电源、具备一定智能调节和自平衡能力、可独立运行也可与大电网联网运行的小型发配用电系统。配电环节具备相应特征的源网荷储一体化项目可视为智能微电网”。意见中还提出,完善新型经营主体调度运行管理,对涉网安全管理、推动新型经营主体实现可观、可测、可调、可控提出了要求;支持具备条件的工业园区开展智能微电网建设,提高新能源就地消纳水平。考虑到微电网的安全性和稳定性需求,开展相关研究具有现实意义。

1 国内港口综合能源典型应用

港口运输系统的深度电气化与智能微电网的多元融合,是当前“双碳”背景下交通能源互联互通的趋势。

交通运输部制修订了《绿色交通标准体系(2022)》《绿色港口等级评价指南》《水运工程节能设计规范》等标准规范,全面推动水运绿色低碳发展。在印发的《扎实推动“十四五”规划交通运输重大工程项目实施工作方案》中,提出建设绿色低碳交通可持续发展工程,部署实施,建成一批“分布式新能源+储能+微电网”智慧能源系统工程项目。2023年12月发布的《关于加快智慧港口和智慧航道建设的意见》中指出,加强数字赋能绿色发展,鼓励“光伏+”储能、“风电+”储能等清洁能源多能互补及设备迭代升级。

1.1 潍坊港零碳港口

潍坊港建成全国首个零碳港口^[2],建设4台6.7 MW风机、3.3 MW屋顶光伏,为充分发挥绿电效益,部署200 Nm³/h绿电制氢项目,建成后可年产绿氢80 t,实现“制输储加用”一体化,年可消纳绿电500万kW·h。初步搭建完成多能源供应体系,形成“风光储一体化”的零碳能源结构。建设综合能碳智慧管控平台,不断提升低碳管控能力。细化已建电能监测系统监测点位,对港口用能进行全面监测和智能分析,同时提高碳排放核算、数据管理、碳排放报告的信息化水平,全程监控、直观可视,实现对港内能源使用和碳排放智能高效管理。此外,潍坊港还积极探索绿氢制甲醇技术,为靠港船舶提供绿色甲醇能源,降低物流链相关方碳足迹;定义通用散货码头零碳智能化作业模式新标准。

1.2 天津港零碳集装箱码头

天津港将综合能源建设纳入绿色智慧枢纽港口建设总体规划,打造了全球首个零碳智能码头,在C段集装箱码头项目开展了电气化码头源网荷储协同优化调控研究,一期建设2台4.5 MW风机、1.43 MW分布式光伏、二期建设3台4.8 MW风机、2 MW分布式光伏,同时配套建设智能微电网、水平运输设备充电站和综合智慧能源监控平台,建立“风、光、储、荷”一体化系统,实现多能源融合系统与码头负荷的匹配和优化控制。

天津港在东疆防波堤建设了防波堤风电项目,在港口既有防波堤基础上,综合利用开发海上风电工程,采用立体分层设权方式,在没有新增占海的情况下,有效实现了存量资产的盘活和赋能利用,推动海域管理模式实现从“平面”到“立体”、从“二维”到“三维”的转变,开创了海上可再生能源开发的新模式^[3]。

1.3 青岛港多能互补氢电耦合技术

青岛港开展了智慧储能及新能源技术在港口的研究与应用。在冷藏箱储能/变频技术、冷箱远

程智能控制、分布式光伏发电等方向开展了研究与应用,构建风光氢储一体、多能互补的现代能源体系^[4]。

另外,青岛港还首创了“四机一体融合”的氢能轨道吊功率智能调度方法,构建了“低成本、高效率、高可靠”的港口氢能供给体系。为了解决人工指令不能实时响应不同任务类型、环境及设备工况等因素的变化,建立作业指令回归模型,采用机器学习和大数据分析等关键技术,实现了智能调度和自动派发,有效提升了码头运行的稳定性和作业效率。

1.4 舟山港水运港-船多能源融合应用

舟山港集团提出全面建设高能效、低能耗、低污染、低碳排放的国际一流绿色港口,在穿山港区“水运港-船多能源融合技术及集成应用”示范工程中建设 2 台 6.25 MW 风机、3.66 MW 屋顶光伏系统和 2 套储能装置,其中一套 3.8 MW/0.8 MW·h 功率型储能系统用于平抑新能源发电的强随机性、波动性和间歇性,削减电力需求峰值,平滑负荷波动,提升电力系统的实时平衡和安保供电能力;另一套 2.5 MW/3 MW·h 能量型储能系统可在多能源融合集成控制系统的协同调度下,配合柔性直流设备实现“风、光、氢”多能转供互补,提升新能源的利用率与消纳率^[5]。

1.5 广州南沙港太阳能光电建筑

广州南沙港利用码头维修车间和仓库约 5 万 m² 屋顶,建设 7.3 MW 太阳能光电建筑分布式光伏,同时探索光伏运维机器人应用,实现光伏电站无人清洗,与科研创新紧密结合,定制化研发能效管理系统,实现港区能源和碳排放的智能化管理^[6]。

1.6 江阴港分布式风电、光伏发电系统

江阴港在 5[#]、6[#] 码头建设分布式风电场,共并网风机 9 台^[7],包含单机容量 2.2、2.5、3.0 MW 的多类机型,总容量 21.5 MW,利用 6 万 m² 仓库屋顶建设光伏发电系统,总装机容量超过 5.96 MW。

根据绿色发展规划,江阴港将结合港区汽车

充换电、设备油改电、船舶岸电、港口储能等技术,深入探索在港口智能化改造中进一步扩大绿色能源的应用比例^[8]。

1.7 洋浦港岸电+储能综合智慧能源项目

海南洋浦港在小铲滩码头建设了储能型岸电综合智慧能源项目,采用岸电+储能+换电重卡设计方案,将岸电整流装置与储能共用,利用已建设完成的岸基供电系统(3×3 MVA)预留接口,在不影响岸电联船使用的情况下,为每套岸电系统配置储能电池,降低储能部分投资,提高岸电设备利用率,降低电价成本,提高港口收益。该案例入选《综合智慧能源优秀项目案例集(2021)》产业园区类项目^[9]。

1.8 连云港港近零碳港口智能微电网设施

连云港港智能微电网集成 5.2 MW 分布式光伏发电设备和 5.0 MW 新型储能设施,并根据港口应用实际分别投用 35 台换电式集装箱重卡、2 艘纯电动拖轮及电动正面吊、空箱堆高机等设备^[10]。其中港 35 kV 庙岭变岸电储能系统建设的 5 MW 储能电站包含 4 MW/4 MW·h 锂电池储能和 1 MW×15 s 超级电容系统,可以满足总量 10 MW 以上及单个泊位 3 MW 以上岸电的接入需求,在岸电满负荷运行的情况下,留有足够余量,满足多种随机性电源和负荷的接入需求。该案例探索、实证了绿色港口发展的新技术和新模式,依托项目完成的规划配置方案、电能质量控制技术方案、协调控制策略等成果,对于实现水运行业节能减排具有重大意义^[11]。

2 国际港口综合能源的研究与应用

2.1 英国 Felixstowe 港 AFE+储能 RTG

应用案例研究重点关注的是降低电气化轮胎式集装箱门式起重机(rubber tyre gantry, RTG)的用电峰值和提高能效。结合 Felixstowe 港供电情况,在一个双 RTG 系统场景中,对比研究 AFE(active front end, 主动前端)和储能装置,仿真模型见图 1^[12]。通过 4 个月运行数据的分析,结果表明通过 2 种措施可以明显降低用电峰值和能耗。在应用 AFE、

储能装置后, 用电峰值超过 300、400 kW 的情况从原始的 50%、33%降低为储能方案 36%、20%,

AFE 方案 30%、12%; 能耗降低情况分别为储能方案 30%、AFE 方案 47%。

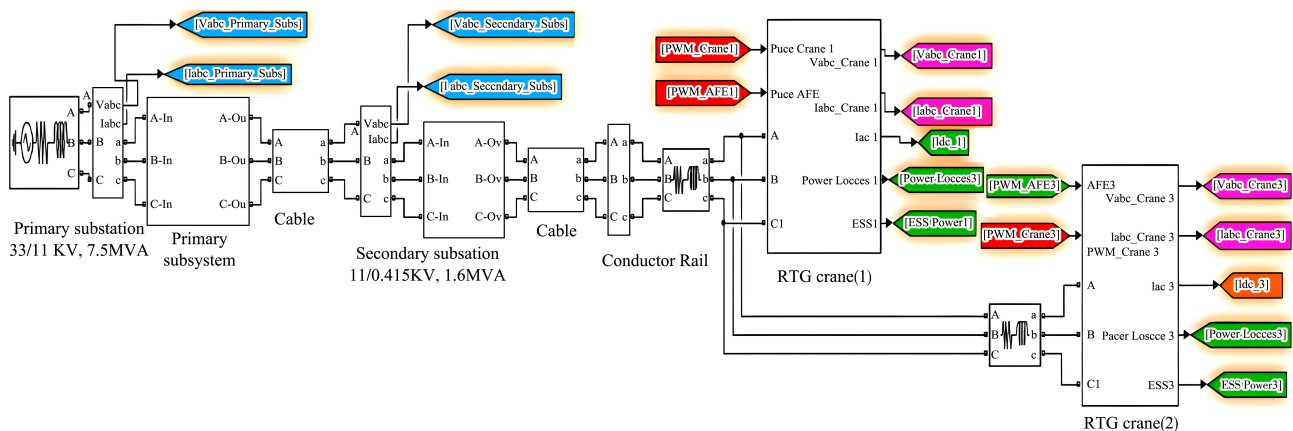


图 1 双 RTG 网络系统 Simulink 仿真模型

Fig. 1 Simulink model of a network of two RTG cranes

2.2 美国长滩港吊机综合能耗优化技术

该综合能耗优化案例将功率优化工具应用于一组岸桥起重机(共 5 台吊机)协同作业调度方案中, 结合超级电容+飞轮复合储能形式可以显著降低整体用电需求容量, 功率负荷曲线见图 2^[13], 应用功率优化工具后, 最大功率和平均功率的比值从之前的 5.6 降低到 3.2, 在结合储能技术应用后, 该比值降低至 1.44。通过应用功率优化工具和储能装置可以降低电网投资和运行成本, 并为弱电网场景和可再生能源就地消纳平衡创造了可能性。

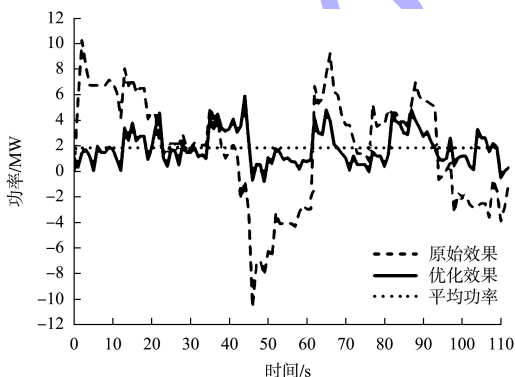


图 2 岸桥吊机群功耗需求负荷曲线

Fig. 2 Power demand load curves for shore-to-ship container cranes

2.3 法兰西堡港岸电+光伏+储能微网方案

方案研究基于法兰西堡港需求, 提出岸电+光伏+储能的微网建设思路。光伏可安装面积

10 600 m², 配套采用 5 MW/9.6 MW·h 储能装置, 可以降低港口碳排放。

2.4 德国港口可再生能源、流程自动化方案

以 Wismar 港口为案例开展研究, 重点关注维斯马海港的内部港口流程优化与散装货物装载操作。研究发现, 通过提升流程自动化并结合可再生能源的应用, 可以提升港口操作效率, 减少能源消耗、实现更绿色环保的港航作业^[14]。

2.5 澳大利亚港口氢能部署减碳技术

澳大利亚斯威本科技大学开展了通过应用氢能技术的港口减碳方案研究。采用系统文献综述方法, 选取 12 篇关于港口脱碳的学术综述论文, 分析这些论文的方法论和关键内容。研究通过创建一个港口能源地图和一个港口能源系统分类法, 揭示了港口能源系统的多种途径, 并识别了氢能在港口运营中的应用场景^[15]: 1) 直接或间接连接、取代或补充使用电网提供的电能; 2) 混合或直接替代现有的碳燃料, 应用于港口的固定和移动设备; 3) 为供电、供暖和制冷提供一系列综合能源服务; 4) 逐步将氢能用于港口作业相关的活动, 如用于通勤及运输车辆燃料等, 可间接降低温室气体排放。

2.6 新加坡智慧电网、绿色智慧港口

新加坡 PSA 集团对集装箱装卸设备进行电气

化改造,开展水平运输车辆的电动化替换,由传统能源转向绿色能源,在港区多个位置部署分布式光伏发电设备,总装机超过 4 MW,并且在 Pasir Panjang 集装箱码头建设 2 MW/2 MW·h 电池储能系统,通过智慧管理系统准确预测电力需求,协同优化港口分布式光伏、储能、与大量负荷侧设备,提高 PSA 港口的能源效率,将单位集装箱用能成本降低 20%^[16]。

3 多能源融合就地平衡技术路径分析

3.1 港口用能情况

- 1) 起重机群运行负荷具有随机性和不稳定性。
- 2) 散货物料输送系统停机和运行状态间的用能需求变化较大,系统启动时的波动较大。
- 3) 清洁能源发电如分散式风电和光伏发电加速普及应用,装机容量逐步提高。
- 4) 储能和绿电制氢的应用提升了新能源消纳能力,提高电能质量和供电可靠性。
- 5) 港口作业辅助系统和机械设备,包含冷藏箱负荷,港口流动机械/水平运输车辆用能电气化、用能绿色化趋势。
- 6) 港口船舶用能绿色化、低碳化趋势。绿氢、绿色甲醇、绿氨、新能源电池等类型的船舶动力方案均在探索尝试中,集装箱船舶核动力方案也已发布。

3.2 港口用能就地平衡技术路径分析

- 1) 采用功耗优化工具,协同调度,减小起重机群最大用能需求,减小系统波动。
- 2) 错峰调节船舶和铁路翻车机作业计划,采用变频器、软启动器等设备降低设备启动电流,优化启动流程、启动时间。
- 3) 冷藏箱变频电源实现节能效果,新能源冷藏箱、流动机械及水平运输车辆充电系统、换电站可作为可调节负荷,作为调频和改善电能质量的手段。
- 4) 为了实现本地发电量能够满足用电需求,

新能源装机量一般会大于用电容量。为了消纳多余的电能,可将绿电转化为绿色燃料。新型动力船舶也对岸电系统提出了更高的要求。岸电系统如果能够实现双馈和柔性互联,可能会颠覆性改变港口用能模式和港口微网群之间的协同模式。

3.3 制氢、储能技术在就地平衡中的应用

作为实现就地平衡、消纳电能的重要调节方式,绿电制氢手段出现了质子交换膜电解、碱性水电解、固体聚合物阴离子交换膜电解、高温固体氧化物电解等多种形式,海水直接制氢也取得了重大进展。

实现就地平衡的手段还有储能技术的应用,如锂电池储能、超级电容、飞轮储能,其他储能技术还包括压缩空气储能、二氧化碳储能、抽水蓄能等。

关于抽水蓄能案例,2018 年国家能源局正式同意海水抽水蓄能电站建设规划,将宁德浮鹰岛站点作为海水抽水蓄能电站试验示范项目站点^[17],拟装机 4.2 万 kW,保守估计至少能满足 25.2 MW 光伏发电系统的储能需求。

值得关注的还有连云港抽水蓄能电站项目,项目选址于后云台山,不仅具备优越的地理条件,还拥有丰富的水资源,包含 4 台 30 万 kW 单级立轴单转速混流可逆式水泵水轮机组,总装机 120 万 kW,建成后,年发电量 16.1 亿 kW·h,年抽水电量 21.4 亿 kW·h^[18]。

就地平衡调节方式技术特点对比分析见表 1。

表 1 就地平衡调节方式技术特点
Tab. 1 Technical characteristics of in-situ balancing methodology

就地平衡 调节方式	响应时间 量级	调节功能	效率	寿命
飞轮储能	ms-s	功率型-能量型	高	20 a
钛酸锂电池	ms	功率型-能量型	较高	20 000 次
磷酸铁锂电池	ms	能量型	较高	4 000 次
超级电容	ms	功率型	高	15~20 a
抽水蓄能	min	能量型	较高	60 a
制氢	s-min	能量型	较低	30 a

4 结论

1) 中国港湾公司在南亚巴基斯坦码头项目和尼日利亚莱基港微电网改造方案研究中积累了实践经验^[19],在无市电接入和弱电网场景,主要依赖内燃发电机组为港口供电。为了实现微电网就地平衡、可观、可测、可调、可控要求,提出方案规划通用建议。

2) 方案规划通用建议为:①可应用功耗优化控制工具,降低最大用电容量需求;②根据项目情况合理选择不同的储能方式,应用功率型储能平抑系统波动、中长时储能平衡新能源发电变化周期;③在满足技术和经济的条件下,逐步开展港机电气化和节能改造,推进绿色能源应用;④视条件应用抽水蓄能和制氢技术,如项目所在地淡水资源缺乏,可考虑采用海水淡化与抽水蓄能结合的方式、海水直接制氢方式;⑤提前布局内燃机组减碳方案,如生物质燃料、绿氨/甲醇燃料、燃料电池、燃机发电、核动力微堆发电等替代方案。

3) 在应用功耗优化工具并合理配置储能装置后,有望将最大功率和平均功率比值控制在3以下,节能效果30%以上。

参考文献:

- [1] 国家能源局关于支持电力领域新型经营主体创新发展的指导意见:国能发法改〔2024〕93号〔A/OL〕.(2024-11-28)〔2024-12-22〕https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202412/content_6991420.htm.
National Energy Administration. Guiding opinions of National Energy Administration on supporting the innovative development of new business entrepreneurs in the electricity sector: Guoneng Fagai〔2024〕No. 93〔A/OL〕.(2024-11-28)〔2024-12-22〕https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202412/content_6991420.htm.
- [2] 莫非. 全国首个,建成!〔EB/OL〕.(2024-10-17)〔2024-12-22〕.<https://mp.weixin.qq.com/s/Mh36Xidsm2R2OH0tzGjBOA>.
- [3] 国家能源局综合司关于公布能源绿色低碳转型典型案例名单的通知〔A/OL〕.(2024-02-28)〔2024-12-22〕.https://www.nea.gov.cn/2024-02/28/c_1310765731.htm.
Notice from Comprehensive Department of National Energy Administration on list of typical cases of energy green and low carbon transition〔A/OL〕.(2024-02-28)〔2024-12-22〕.https://www.nea.gov.cn/2024-02/28/c_1310765731.htm.
- [4] 青岛前湾集装箱码头有限责任公司.智慧储能及新能源技术在港口的研究与应用|中港协科技奖〔EB/OL〕.(2024-01-03)〔2024-12-22〕.https://mp.weixin.qq.com/s/k_mnJyE8noidEHK2NBa4OA.
Qingdao Qianwan Container Terminal Co., Ltd. Research and application of intelligent energy storage and new energy technologies in ports | CPHA Technology Award〔EB/OL〕.(2024-01-03)〔2024-12-22〕.https://mp.weixin.qq.com/s/k_mnJyE8noidEHK2NBa4OA.
- [5] 柯耀,曾叙珩.“水运港-船多能源融合技术及集成应用”示范工程风电机组在宁波舟山港穿山港区成功吊装〔EB/OL〕.(2024-01-29)〔2024-12-22〕.<https://www.zgsyb.com/news.html?aid=673675>.
HE Y, ZENG X F. The wind turbine of the demonstration project of “Water Transportation Port and Ship Multi-energy Fusion Technology and Integrated Application” is successfully lifted in Ningbo Zhoushan Port’s Chuanshan port area〔EB/OL〕.(2024-01-29)〔2024-12-22〕.<https://www.zgsyb.com/news.html?aid=673675>.
- [6] 褚涛.国内港口最大BIPV分布式光伏项目实现全容量并网〔EB/OL〕.(2024-08-23)〔2024-12-22〕.https://newspaper.coscoshipping.com/wq/20240823/20240823dA02b/art/2024/art_a2d9e5468c9b419ba3631f062100bb5e.html.
CHU T. The largest BIPV distributed photovoltaic project in domestic ports achieves full-capacity grid connection〔EB/OL〕.(2024-08-23)〔2024-12-22〕.<https://newspaper.coscoshipping.com/wq/20240823/20240823dA02b/art/2024/>

- art_ a2d9e5468c9b419ba3631f062100bb5e. html.
- [7] 岳莹, 王智科. 分布式风电在绿色港口建设中的应用[J]. 港口科技, 2019(4): 33-38.
YUE Y, WANG Z K. Application of distributed wind power in green port construction [J]. Port science & technology, 2019(4): 33-38.
- [8] 为绿色发展“充电”! 江阴国控港口分布式光伏发电项目开工建设 [EB/OL]. (2022-12-27) [2024-12-22]. <https://www.jiangyin.gov.cn/doc/2022/12/27/1107353.shtml>.
Charging for green development! Distributed photovoltaic power generation project of Jiangyin State-controlled harbour starts construction[EB/OL]. (2022-12-27) [2024-12-22]. <https://www.jiangyin.gov.cn/doc/2022/12/27/1107353.shtml>.
- [9] 2021 综合智慧能源大会暨优秀示范项目案例发布会于雄安成功举办[EB/OL]. (2021-08-06) [2024-12-22]. <http://www.etm.org.cn/portal.php?mod=view&aid=1154>.
2021 integrated intelligent energy conference and excellent demonstration project case conference successfully held in Xiongan [EB/OL]. (2021-08-06) [2024-12-22]. <http://www.etm.org.cn/portal.php?mod=view&aid=1154>.
- [10] 金凤. 全国首个近零碳港口智能微电网建成 [EB/OL]. (2024-12-11) [2024-12-22]. <http://kpgz.people.com.cn/n1/2024/1211/c404214-40379590.html>.
JIN F. Nation's first near-zero carbon port smart microgrid completed [EB/OL]. (2024-12-11) [2024-12-22]. <http://kpgz.people.com.cn/n1/2024/1211/c404214-40379590.html>.
- [11] 连云港港口建成并投运全国首个岸电储能系统 [EB/OL]. (2021-04-12) [2024-03-05]. https://jsgzw.jiangsu.gov.cn/art/2021/4/12/art_11705_9751065.html.
Lianyungang Port built and put into operation the first onshore power energy storage system in China [EB/OL]. (2021-04-12) [2024-03-05]. https://jsgzw.jiangsu.gov.cn/art/2021/4/12/art_11705_9751065.html.
- [12] ALASALI F, LUQUE A, MAYER R, et al. A comparative study of energy storage systems and active front ends for networks of two electrified RTG cranes [J]. Energies, 2019, 12(9): 16478258.
- [13] PARISE G, PARISE L, MALERBA A, et al. Comprehensive peak-shaving solutions for port cranes [J]. IEEE transactions on industry applications, 2017, 53 (3): 1799-1806.
- [14] PHILIPP R, PRAUSE G, OLANIYI E O, et al. Towards green and smart seaports: renewable energy and automation technologies for bulk cargo loading operations [J]. Environmental and climate technologies, 2021, 25 (1): 650-665.
- [15] HOLDER D, PERCY S D, YAVARI A. A review of port decarbonisation options: identified opportunities for deploying hydrogen technologies [J]. Sustainability, 2024, 16(8): 3299.
- [16] Singapore's first energy storage system at PSA's Pasir Panjang Terminal [EB/OL]. (2022-07-14) [2024-12-22]. <https://www.singaporepsa.com/2022/07/14/singapores-first-energy-storage-system-at-psas-pasir-panjang-terminal/>.
- [17] 国家能源局关于福建抽水蓄能电站选点规划调整有关事项的复函: 国能函新能[2018]48 号 [A]. 北京: 国家能源局, 2018.
Reply letter from National Energy Administration on matters relating to the adjustment of the site selection planning for Fujian pumped storage power station: Guoneng letter on new energy (2018) No. 48 [A]. Beijing: National Energy Administration, 2018.
- [18] “十四五”江苏首个抽水蓄能电站项目获核准 [EB/OL]. (2023-06-29) [2024-12-22]. https://www.jiangsu.gov.cn/art/2023/6/29/art_60095_10936349.html.
'Fourteen-five' Jiangsu's first pumped storage power plant project was approved. [EB/OL]. (2023-06-29) [2024-12-22]. https://www.jiangsu.gov.cn/art/2023/6/29/art_60095_10936349.html.
- [19] 杨玉琢, 韩松, 陶平, 等. 自发电集装箱码头微电网改造方案配置思路 [J]. 水运工程, 2024(5): 89-94.
YANG Y Z, HAN S, TAO P, et al. Configuration idea of microgrid retrofit scheme for self power sufficient container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2024(5): 89-94.

(本文编辑 王传瑜)