

自动化集装箱码头绿色能源综合应用分析

张嘉昭¹, 黄花叶¹, 田宇², 祖巧红¹, 马枫¹

(1. 武汉理工大学交通与物流工程学院, 湖北 武汉 430063; 2. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 201208)

摘要: 针对港口能源消耗所导致的碳排放问题, 以上海港洋山四期为研究对象, 梳理分析洋山四期自动化码头的作业流程、用能情况, 探索码头作业设备使用绿色能源替代传统能源的用能形式及其特点和条件, 通过绿色能源动态供给适配思想, 构建港口智能运行与绿色能源的交互机理, 并采用 UML 类图描述交互流程, 以提高自动化码头作业设备的绿色能源使用率, 促进港口低碳绿色发展。

关键词: 自动化码头; 绿色能源; 交互机理; UML 类图

中图分类号: U651.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 09—0072—03

海洋港口作为国际贸易与海洋开发的战略要地和关键枢纽, 具有十分重要的战略意义。由于港口能源消耗量巨大, 是交通领域大气污染的主要来源地之一。因此, 在保障港口作业效率的前提下, 降低温室气体排放和提高能源效率迫在眉睫。

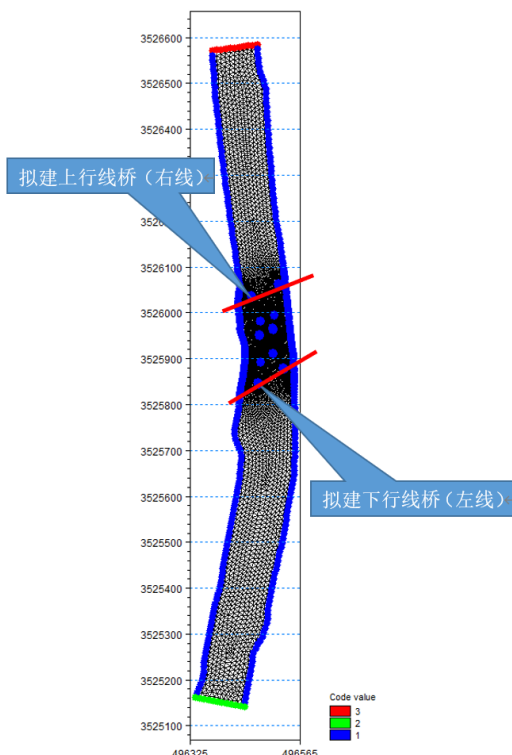
目前, 国内外对港口节能减排十分重视, 我国低碳港口建设尚处于起步阶段。耿鑫等^[1]通过在青岛港修建

太阳能照明装饰并在码头楼层顶部安装太阳能光伏发电系统, 达到节能减排的目的。门志勇等^[2]对大连港船舶岸电系统进行设计研究, 提高港口节能减排及经济效益。岳莹等^[3]考虑分布式风能在港口应用, 将绿色电能供应港口生产使用, 通过综合分布式能源多能互补, 实现港口节能减排。

国外港口在绿色能源使用方面已有比较成熟的成

增设柔性防撞设施, 开展防船撞设施专项设计。

桥梁通航孔两侧桥墩在设计最高通航水位时船舶均可达, 有船舶碰撞的可能性, 考虑船舶大型化趋势, 桥墩防撞标准建议偏安全按 500t 船舶撞击力进行设计。



9 结语

(1) 拟建桥梁工程位于桥群河段, 实际通航尺度受现状三座铁路桥的限制影响, 上、下行线桥已经通过加大通航孔跨径, 均包络现状 3 座铁路桥的主通航孔, 桥梁方案不减小现有通航净空尺度, 基本没有恶化通航水流条件。且考虑工程航段位于主城区, 未规划港口码头, 远期复航货运功能的可能性很小, 拟建工程对航道通航条件和通航安全影响很小。

(2) 本项目通航环境复杂, 从航道规划、现状铁路桥群等多方面进行了详细分析, 开展了桥区水域水力数值模拟研究, 对于内河航道桥群段桥梁航道通航条件影响评价具有一定参考价值。

参考文献:

- [1] 刘景然, 袁满, 王琦. 跨越航道桥梁航道通航条件影响评价相关问题分析 [J]. 中国水运 (下半月), 2021, 21(04): 12-13.
- [2] 孙世泉. 渠江特大桥梁通航条件影响研究 [J]. 中国水运. 航道科技, 2021(06): 7-10.
- [3] 彭海波, 徐昌. 浅议跨河桥梁航道通航条件影响评价重点 [J]. 中国水运 (下半月), 2021, 21(04): 16+135.
- [4] 袁航, 唐艺航. 沪苏湖铁路工程桥梁对北横港航道通航条件的影响 [J]. 港口科技, 2021, (05): 30-34.

果。港口拥有优良的光能和风能应用条件,阿姆斯特丹、东京等多个港口采用了光伏能源^[4];圣地亚哥、旧金山等港口建设有风力发电机,而鹿特丹港、安特卫普港等每年购入大量风电能源^[5]。此外,港口可以利用可再生燃料和生物质发电。生物燃料与其他化石燃料混合,可以降低温室气体排放。若2025年实现30%的生物燃料与柴油混合,货物搬运设备的二氧化碳排放量能下降30%^[6]。

与国外港口绿色能源使用情况相比,我国港口在提高绿色能源使用率方面有较大空间。目前研究多采取特定形式减少港口碳排放量,没有对码头设备作业运行以及能源使用进行耦合研究。本文将各种绿色能源的港口应用场景结合,设计码头设备智能运行与绿色能源整体交互的流程,从而充分释放港口减排潜力,助力低碳零碳港口建设。

1 码头用能设备及能源技术特色分析

上海港洋山四期自动化码头的出口箱作业流程如图1所示,集卡(含有人驾驶和无人驾驶)通过东海大桥到达码头堆场,由堆场内部自动化场桥将集装箱从集卡卸下并堆垛到堆场上。出口箱出堆场时,由自动化场桥将集装箱从堆场装卸搬运到AGV上,AGV水平运输行驶至双小车岸桥下,由码头海测的双小车岸桥将集装箱从AGV上装卸至集装箱班轮上。进口箱作业流程与出口箱作业流程相反。

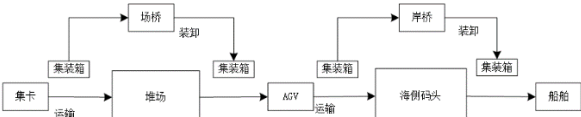


图1 出口箱作业流程

根据以上流程,梳理了集装箱作业的用能设备,包括集卡(含有人和无人)、AGV、场桥和岸桥,以及协助集装箱班轮靠离泊的拖轮。通过现场调研、文献查阅等手段,梳理了上述设备的作业特点、供能方式,以及上海港洋山四期目前所采用的能源形式,如表1所示。

表1 用能设备分析

	集卡	场桥	AGV	岸桥	拖轮
作业特点	集装箱运入与运出码头	堆场集装箱装卸搬运作业	码头内部集装箱搬运	码头海侧集装箱装卸作业	近海处助泊、拖带、消防防护作业
供能方式	加油站加油、换电、充电	柴油发电机发电、电缆供电	换电、充电	柴油发电机发电、电缆供电	岸电供应、岸上加油站、LNG充电站等
当前用能情况	柴油、LNG、电能	传统电能	自动换电站更换电池	传统电能	LNG充气、柴油能源

如表1所示,上海港洋山四期目前所使用的能源多为化石燃料产生的电能;只有少数设备如集卡、拖轮采用了“油改气”技术;风、光等绿色能源使用率较低。考虑氢能、风能、光伏等绿色能源,与上海港洋山四期目前使用的传统电能以及LNG进行比对,分析各种能源的形式特点、能源储存、排放、成本情况,具体如表2所示。氢能、风能、光伏和LNG的排放对于传统电能有明显优势,因此本文考虑尽可能地使用新型绿色能源代替传统能源。

表2 能源技术特色分析

	氢能	风能	光伏	LNG	传统电能
形式特点	制造成固态、液态、气态	大气动能转换	太阳能电池板吸收光能转化	液化天然气	化石燃料燃烧发电
能源排放	与氢制造方式相关,燃烧无污染	清洁无害、无污染	太阳能电池板制造过程中有排放,使用无污染	燃烧产生水和CO ₂	1度电约产生0.875kgCO ₂
能源存储	转换为气态、液态或固态保存	离网发电、离网储能等方式	物理储能、电化学储能和电磁储能	LNG储罐	机械储能、电磁储能等
能源成本	制造成本、运输成本、储存成本等	设施成本、施工成本、其他费用等	直接分布式电网购入、或安装太阳能电池板	制造成本、维护成本、储存成本	国家电网购入

2 码头设备绿色能源综合应用分析

为了港口多种分布式能源的接入,考虑港口微电网的应用,其结构如图2所示。微电网是港口内的小型发电和配电系统,其目的是实现分布式电源的灵活高效应用,解决并网问题。微电网的发展与拓展,为消费者提供各种能源的高度可靠供给。

风能和光能以分布式电能的形式接入微电网;氢能以氢燃料电池的形式接入,与主配电网上的传统电能一起,通过调配中心以及AC/DC转化器的控制,为港口设备提高电负荷。

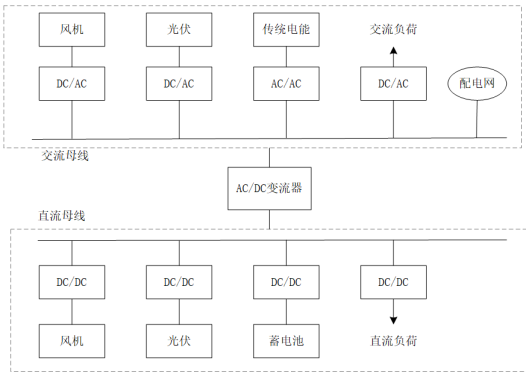


图2 分布式微电网结构^[8]

在分布式微电网的基础上,考虑各种码头作业设备使用绿色能源的方式以及设备充能作业流程,建立港口综合能源系统架构如图3所示。

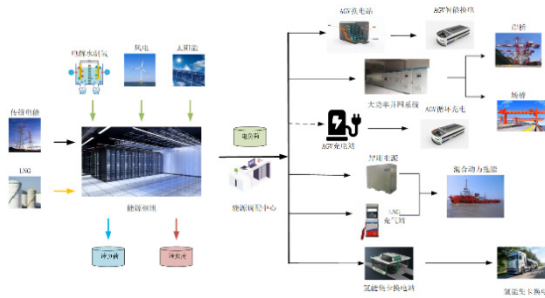


图3 港口综合能源系统构架

在港口综合能源系统构架的基础上，梳理各种能源、设备之间的关联关系以及交互流程，形成能源—设备交互 UML 类图，如图 4 所示，来描述港口综合能源系统中能源、用能设备、供能设备以及管理系统的组成、属性以及相互之间的关联关系。

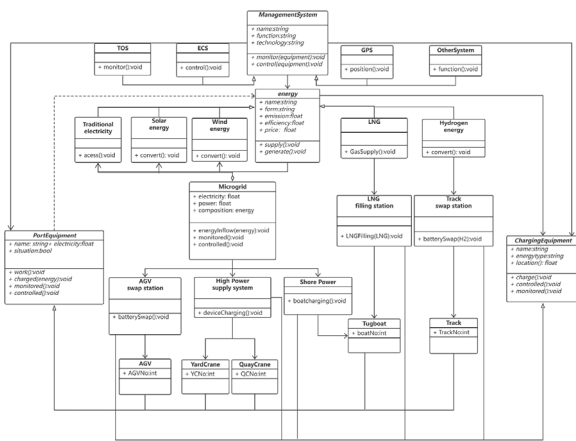


图4 设备—能源交互 UML 类图

该能源—设备交互 UML 类图主要描述的关系包含以下三个方面：

用能设备依赖能源进行作业，能源给充能设备供能，充能设备给用能设备充能。三者均由管理系统监督与控制。

能源大类包括风能、光伏、氢能等能源。风能、光伏、传统电能聚合形成微电网，微电网可以给岸用电源、大功率并网系统等供能；氢能以氢燃料电池的形式给集卡换电站供能；液化天然气给 LNG 充气站充能。

AGV 换电站、大功率并网系统等构成了充能设备。在管理系统控制下，AGV 能够在换电站自动换电；集卡在集卡换电站换电；混合动力拖轮能在 LNG 充气站充气，也能采用岸电充电；而分布式电能也能通过大功率并网系统给场桥和岸桥供能。

3 环保性分析

在环保性方面，在保障港口设备正常作业流程条件

下，尽可能减少传统能源的使用，降低弃光、弃风率。将作业流程精确到各工况和各环节，若绿色能源能够满足该环节的需求，能源枢纽中心就可以通过智能调配，采用绿色能源代替传统电能，从而保障港口设备的低碳环保。

4 结语

通过分析梳理港口设备的作业流程及能源的技术特色，结合各种设备的用能形式和供能方式，构建了港口综合能源系统。使用 UML 类图的表征方式，描述了设备—能源之间的交互关系，该 UML 类图给出了能源、管理系统、用能设备、充能设备之间的关联关系，为港口高效利用绿色能源提供了理论帮助。

参考文献：

- [1] 耿鑫,王飞,周强.光伏设备在青岛港前湾集装箱码头的的应用[J].港口科技,2019(09):19-20+24.
- [2] 门志勇,谷万江,高宁,马丽,吴越,徐坤,张楠,韩占强.大连港船舶岸电系统设计[J].电气应用,2020,39(11):66-69.
- [3] 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(04):33-38.
- [4] Acciaro M, Ghiara H, Cusano M I. Energy management in seaports: A new role for port authorities[J]. Energy Policy, 2014, 71: 4-12.
- [5] Alamouh A S, Ballini F, Ölçer A I. Ports' technical and operational measures to reduce greenhouse gas emission and improve energy efficiency: A review[J]. Marine Pollution Bulletin, 2020, 160: 111508.
- [6] Geerlings H, Heij R, van Duin R. Opportunities for peak shaving the energy demand of ship-to-shore quay cranes at container terminals[J]. Journal of Shipping and Trade, 2018, 3(1): 1-20.
- [7] 薛一东.液化天然气船在上海洋山港引领中的操纵要点[J].中国航海,2013,36(2):138-142.
- [8] 赵宇鑫.微电网多目标优化调度策略研究[D].北方工业大学,2021.

基金项目：国家重点研发计划(2021YFB1600400)