

· 综 合 ·



绿色智慧理念在罗泾集装箱码头改造 一期工程中的创新实践

顾金山¹, 汪 锋², 郑 科¹, 刘成鑫²

(1. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程是我国系统化旧码头改造项目, 在码头绿色、智慧生态新升级方面进行了积极探索, 开展了一系列创新实践, 通过“存量改造+技术创新”模式, 使传统散货码头碳排放降低 85%, 作业效率提升 30%。在绿色探索方面, 精细化制定拆、改、建方案, 旧结构资源利用率达到 70%, 拆除的 30% 建筑材料均被再次利用, 通过全泊位配置岸基供电、建设 AIV(智能导引车, intelligent guided vehicle)智能充换电机、港区配置光伏发电等绿色节能技术, 清洁能源消耗总量达综合能耗 97%, 实现码头的绿色节能运作。在智慧化港口建设中, 以全栈自主可控的网络技术、控制技术、操作系统、计算芯片、存储及数据库系统等研发新一代智能营运管控系统 Neo-TOS, 实现生产计划、任务调度、交互控制的智能化运转。通过全新研发的水平运输管控调度系统(HTMS), 实现了不同自动化水平运输设备在同一港区的全自动化混合运转。

关键词: 绿色智慧港口; 码头改造; 资源循环利用; 自主可控; 绿色运营

中图分类号: U656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0001-07

Innovative practices of green smart concepts in phase I renovation project of Luojiang container terminal

GU Jinshan¹, WANG Feng², ZHENG Ke¹, LIU Chengxin²

(1. Shanghai International Port (Group) Co., Ltd., Shanghai 200080, China;

2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Phase I container terminal renovation project in Luojiang port area of Shanghai Port is a systematic renovation project for old terminal in China. It has made proactive explorations in the green and smart ecological upgrades of the port, conducting a series of innovative practices. Through the “stock renovation + technological innovation” model, it has reduced carbon emissions from traditional bulk cargo terminals by 85% and improved operational efficiency by 30%. In terms of green exploration, detailed plans for demolition, renovation, and construction are formulated, achieving a resource utilization rate of 70% for old structures. The 30% of demolished building materials are all reused. Green and energy-saving technologies such as full berth shore power supply, construction of AIV(intelligent guided vehicle) intelligent charging and swapping stations, and photovoltaic power generation within the port area are implemented. The total clean energy consumption has reached 97% of the comprehensive energy consumption, achieving green and energy-saving operation of the terminal. In the construction of smart ports, a new generation of intelligent control system Neo-TOS is developed using full stack autonomous and controllable network technology, control technology, operating system, computing chip, storage and database system, etc., to achieve intelligent operation of production planning, task scheduling, and interactive control. Through the newly developed horizontal transportation management and scheduling system(HTMS), the project innovatively achieves full automation mixed operation of different levels of automated horizontal transportation equipment within the same port area.

Keywords: green smart port; wharf renovation; resource recycling; self-reliance; green operation

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 顾金山(1962—), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 研究方向为工程管理。

推进绿色智慧港口建设,是水运行业实现高质量发展的重要方向和关键着力点^[1-2],对贯彻落实“双碳”工作要求、发展新质生产力和建设世界一流智慧港口具有重要意义^[3-4]。上海港作为世界一流港口,始终坚持创新驱动、低碳发展战略,打造智慧、绿色、科技和效率港口,在新时期新的历史使命要求下,为进一步提升上海国际航运中心服务能级和落实交通强国高质量发展要求,上港集团围绕生态环保和长江大保护的要求,主动贯彻绿色发展理念,提出实施罗泾港区自动化集装箱码头改造项目,将罗泾港区传统散货码头改造成为智慧码头、绿色码头。

作为国内系统化旧码头改造项目^[5-6],上海港罗泾港区自动化集装箱改造工程在码头系统化改造、绿色、智慧生态新升级方面进行了积极探索^[7-8],开展了一系列创新实践。

1 工程概况

罗泾港区自动化集装箱码头改造工程是充分发挥上海通江达海的区位优势和水水中转运输便捷高

效的优势,落实交通强国战略部署,进一步优化完善上海国际航运中心集装箱枢纽港布局,完善上海港集疏运体系和综合交通网络,实现上海港转型升级和提升集装箱运输服务能级的重大举措。

项目总体建设 5 个 7 万~10 万吨级和 13 个 1 万吨级集装箱泊位,码头设计年吞吐量为 600 万 TEU,其中罗泾改造一期工程将原有煤炭码头的水陆域和部分矿石码头的陆域改造为专业化自动化集装箱码头,设计年吞吐量为 260 万 TEU^[9]。原罗泾煤炭码头现状见图 1,一期工程改造后港区实景见图 2。



图 1 原罗泾煤炭码头实景

Fig. 1 Current situation of original coal terminal in Luojing



图 2 罗泾一期工程改造后港区实景

Fig. 2 Real scene of port area after renovation of phase I project in Luojing

工程为我国系统化旧码头改造项目,积极践行绿色智慧发展要求,将绿色发展的理念贯穿工程全生命周期。改造方案充分贯彻绿色、低碳、环保要求,尽可能减少拆除工作量,最大限度利

用老结构、建筑单体和旧材料,构建港区清洁用能体系、强化污染防治能力、实现港区绿色低碳运输。

在智慧化港口建设中,工程采用“自动化单小车

集装箱装卸桥+自动化 AIV (智能导引车, intelligent guided vehicle)+自动化轨道式集装箱龙门起重机 (automated rail mounted gantry, ARMG)”装卸工艺方案, 使用以全栈自主可控的网络技术、控制技术、操作系统、计算芯片、存储及数据库系统等研发的新一代智能营运管控系统 Neo-TOS, 全面应用大数据及人工智能等实现生产计划、任务调度、交互控制的智能化运转。

2 工程系统化改造的绿色探索

2.1 变废为宝, 绿色赋能, 实现资源循环利用

2.1.1 水域改造, 全面分析现有结构, 合理确定利用方案

对老码头进行全面复核后, 针对码头不同区域情况, 全面分析现有结构, 确定采用部分拆除原位重建、部分利用予以改造和全部利用 3 种改造相结合的方案^[10], 设计和施工过程中采用 BIM 等先进手段, 克服现场沉桩区域地质条件复杂多变、新老结构交错并存等困难, 原码头旧结构资源利用率达 70%, 而拆除下来的 30%, 如混凝土、钢筋等被再次循环利用, 让工程对环境影响的压力降到最低, 为系统化旧码头改造项目的典范。

2.1.2 陆域改造

根据使用要求及场地现状条件, 充分考虑拆除料的利旧, 结合港区堆场功能调整要求及调整后的总平面布置, 工程范围内原罗泾矿石堆场(部分)、原罗泾一期煤炭堆场、原罗泾煤炭码头三角地堆场上布置的斗轮堆取料机基础及道路堆场铺面结构进行拆除, 并根据新建集装箱堆场高程要求, 整平至集装箱铺面结构平均底高程。拆除料类型主要包括道碎石、热焖钢渣、二片石、碎石、粉煤灰三渣、混凝土块、联锁块和花岗岩条石等, 其中较为完整的花岗岩条石铺设于新建集装箱堆场的条基间区域, 混凝土块和联锁块作为引堤的堤心填料, 粒料类的材料可经过破碎和

级配掺混后作为铺面结构垫层和引堤堤心填料。

陆域拆除料及利用情况见表 1, 现有拆除料全部重复利用。

表 1 陆域拆除料再利用情况
Tab. 1 Reuse of land demolition materials

道堆拆除提供的 材料类型	道堆拆除 工程量/ 万 m ³	水工 利用量/ 万 m ³	道堆 利用量/ 万 m ³
道碎石+热焖钢渣+二片石+碎石+粉煤灰三渣+C30 混凝土破碎+低标号混凝土+联锁块	28.95	8.85	20.10
山皮石土	17.66	2.20	15.46
条石	23.12	0	23.12

2.1.3 排水泵房利旧

陆域原为大宗干散货堆场, 港区雨污水经处理后, 通过现有雨水泵房进行排放。改造为集装箱堆场后, 由于使用功能调整和铺面结构形式的改变, 需要排放的雨水量显著增加。为充分利用港区现有雨水排放设施, 避免新建雨水泵房, 同时结合海绵港口等先进设计理念, 提出“下沉式堆场+透水铺面结构+雨水调蓄池+现有雨水泵房”的排水方案, 有效降低了工程投资、缩短了项目工期。

2.2 绿色运营

项目以绿色、低碳为目标, 构建港区清洁用能体系、实现绿色低碳运营, 打造近零碳港口、零排放港口。装卸设备电力驱动、全泊位配置岸基供电、建设 AIV 智能充换电机、应用变频调速及势能回收技术、港区配置光伏发电等绿色节能技术, 清洁能源消耗总量达综合能耗 97%, 实现码头的绿色节能运作。

2.2.1 推进港内低碳基础设施建设

开展 AIV 无人自主导航运输车换电站专题研究, 采用智能换电机更换电池方式。

针对码头靠泊船型特点、精细化实施岸电设施建设, 实现所有泊位岸电设施全覆盖, 同步建设岸电管理信息系统。完善港内充电桩建设及港

口内部办公区停车场充电基础设施建设,为职工上下班及部分班车、公务用车电动化提供充电条件。

2.2.2 推进生态保护与景观建设

港内实现“应绿尽绿”。通过“规划建绿、留白增绿、见缝插绿”等措施,强化港内特色景观设计,营造和谐统一、亮点突出的港区绿化景观,打造具有罗泾港区自身特色的生态环境系统。

2.2.3 推动节能技术与装备应用

采用供配电系统节能技术。在规划建设阶段开展供配电系统节能技术的研究,港区生产作业采用电网谐波污染治理技术和电网无功补偿技术,持续优化电网质量。

采用绿色智能照明技术。港区内的室外区域照明全部采用智能化控制技术。港区范围内全部使用节能灯具。

提高节能、节水型设备使用率。港内一级能效空调配置占空调总数的 80% 以上。

2.2.4 强化污染防治能力

港区生活污水接入市政管网。建设高标准生产性废水(油污水)处理设施。港内生产性废水处理后的出水标准达到城市再生水回用要求,用于港区内的绿化喷淋等。

建设港内环境在线监测系统。港内污水处理或预处理设施配置污水在线监测系统,实现 COD(化学需氧量, chemical oxygen demand)、氨氮等主要指标的在线监测能力;建设港区空气质量监测微站,实现港内噪声、PM_{2.5}、PM₁₀、二氧化碳、二氧化硫、臭氧、温(湿)度等主要指标的监测。

2.2.5 打造港区智慧管控系统平台

建设智慧化能源管控系统。建设罗泾港区专用能耗自动采集和智慧化监控系统。针对港区用能特点,细分各项能耗,对用能进行全面监测和智能分析。

建设生态环境智慧管控系统。依托集团

“SIPG-工程-环境系统”,建立罗泾港区专用智慧化环境信息管控平台,实现对港内水资源综合使用数据,污水、大气和噪声监测数据的自动采集和智能化分析。

3 工程全流程升级焕新

工程通过自动化集装箱码头技术的迭代升级,基于自主研发的智能营运管控系统,打造以“新一代智能水平运输装备(AIV)+自动化单小车岸桥+单双悬臂轨道吊”为装备方案的智能绿色集装箱码头,在传统码头升级焕新的过程中,同步引入最新智慧码头技术,代表了当下最先进的自动化码头改造水准,被誉为“洋山四期 2.0 版”,是以新质生产力助力超大型码头功能转型升级的有效实践。

3.1 自主研发新一代智能码头营运管控系统

罗泾自动化集装箱码头应用了新一代的智能码头营运管控系统(Neo-TOS),利用“互联网+”的思维让货代、船代、船公司、车队等上下游企业均可以参与到码头生产的过程中,达到互利互助、合作共赢的业务生态环境。Neo-TOS 系统在业务架构上分成五层次和六体系,按码头的业务管理需求,划分为生产管理操作层、智能作业强化层、作业监控优化层、对外交互服务层、顶层设计决策层。按作业体系划分成计划策划体系、监控体系、现场作业体系、集装箱生产管理体系、统计分析体系、对外服务体系。系统顶层设计私有云+微服务的部署方式,业务数据具备加/解密机制和用户的权限认证机制。整体系统建立标准、统一的对外接口,提供标准的 API 接口对接上级集团系统(调度平台、无纸化、受理中心等)、船公司系统、海关系统、海事系统、本地 EDI 系统、电控系统、其他客户系统等,以便适应当地口岸环境。

罗泾自动化集装箱码头的“智慧大脑”是国产化转型应用的智能营运管控系统(Neo-TOS),该

系统基于国产数据库、国产操作系统和服务器的基础设施,以全栈自主可控网络技术、操作系统、计算芯片、存储及数据库系统等自主研发新一代智能营运管控系统,以自动控制技术、大数据及人工智能等为依托,集成应用 F5G、5G、车路协同、高精度融合定位等技术,全面实现码头设备的智能化运转,结合智能化的闸口、计划、调度、理货等全域协同子系统,实现自动化码头

全港域、全流程、全时空的互联互通与智能协同,以及码头高效智能化运营,切实提升港口接卸、转场、调度等作业效率,通过生产管控系统集成设备能耗数据,结合光伏发电量实时优化能源分配策略,通过“存量改造+技术创新”模式,使传统散货码头碳排放降低 85%,作业效率提升 30%。罗泾智能码头营运管控系统(Neo-TOS)组成见图 3。



图 3 罗泾智能码头营运管控系统(Neo-TOS)组成

Fig. 3 Composition of Luoqing intelligent terminal production control system (Neo-TOS)

3.2 全新研发水平运输管控调度系统

根据罗泾自动化集装箱改造码头总体布局模式及自动化装备方案,结合水平运输采用新一代 AIV 小车的智能转运方案,全新研发的水平运输管控调度系统(highway transportation management

systems, HTMS),实现了 AIV 的任务调度、路径规划及交通控制、作业交互等核心功能,创新性地实现了不同自动化水平运输设备在同一港区的全自动化混合运转。水平运输管控调度系统总体架构见图 4,AIV 与自动化岸桥交互作业实景见图 5。



图 4 水平运输管控调度系统总体架构

Fig. 4 Overall architecture of HTMS



图 5 AIV 与自动化岸桥交互作业实景

Fig. 5 Real scene of interactive operation between AIV and automated quay crane

HTMS 调度系统综合运用北斗、5G、人工智能、高精地图等技术,可实现 L4 级无人驾驶、厘米级高精度定位等功能,AIV 小车通过 HTMS 调度系统,用软件和算法进行识别和导航,灵活度更高,能确保按最佳路线行驶。堆场作业环节采用“平面空间隔离+堆场平行+侧边交互”模式,将 1 个平面分割成 2 个平行运输空间,AIV 与有人外集卡分道隔离运行;堆场平行于码头,AIV 及外集卡在轨道吊侧边装卸,在保障流动运输安全的前提下,大幅提高堆场面积利用率,较好地解决了内部水平运输车辆与外来集卡的管理难题。

4 结语

1) 罗泾改造一期工程是我国系统化旧码头改造项目,项目将绿色理念贯穿全过程,老码头原结构利用率达到 70%,拆除的 30%老结构也全部回收利用,陆域现有拆除料全部重复利用;装卸设备全电力驱动、全泊位配置岸基供电、建设 AIV 智能充换电机、应用变频调速及势能回收技术、港区配置光伏发电等绿色节能技术,清洁能源消耗总量达综合能耗 97%,实现码头的绿色节能运作。

2) 罗泾改造一期工程通过“存量改造+技术创新”模式,使传统散货码头碳排放降低 85%,作业效率提升 30%,平均每百米岸线设计通过能力高达 37 万 TEU,较普通顺岸式自动化集装箱码头提高约 30%。

3) 罗泾改造一期工程是以新质生产力助力超大型码头功能转型升级的重要实践,将形成高质量推动国内自动化集装箱码头核心技术的全栈自主可控的示范应用,为数字化、智能化、绿色化转型发展的“中国式港口现代化”提供可复制、可推广的经验,更好地服务国内国际“双循环”和长江经济带发展战略。

参考文献:

- [1] 詹新望,刘长俭,黄川,等.我国港口行业绿色智慧发展成就[J].中国港口,2024(7):14-18.
ZHAN X W, LIU C J, HUANG C, et al. Achievements in the green and intelligent development of China's port industry[J]. China Ports, 2024(7): 14-18.
- [2] 交通运输部.交通运输部关于加快智慧港口和智慧航道建设的意见[J].中国水运,2024(3):27-29.
Ministry of Transport. Opinions on accelerating the construction of smart ports and smart waterways by the Ministry of Transport[J]. China water transport, 2024(3): 27-29.

- [3] 交通运输部, 国家铁路局, 中国民用航空局, 等. 加快建设交通强国五年行动计划(2023—2027 年)[J]. 水运工程, 2023(4): 206.
- Ministry of Transport, National Railway Administration of the People's Republic of China, Civil Aviation Administration of China, et al. Five-year action plan for accelerating the construction of a strong transportation nation (2023–2027) [J]. Port & waterway engineering, 2023(4): 206.
- [4] 交通运输部. 关于建设世界一流港口的指导意见[J]. 中国水运, 2019(12): 19-22.
- Ministry of Transport. Guidance on building world-class ports[J]. China water transport, 2019(12): 19-22.
- [5] 上海市国资委. 上港集团实施首个系统化旧码头改造项目, 上海罗泾自动化集装箱码头“变身”为新一代智慧绿色港口 [EB/OL]. (2024-05-29) [2025-03-06]. https://www.gzw.sh.gov.cn/shgzw_zxzx_gqdt/20240529/0ee7f4c7e4f64e8d96c0a30ac36103b3.html.
- Shanghai Municipal State-owned Assets Supervision and Administration Commission. Shanggang Group has implemented the first systematic renovation project of an old wharf, and Shanghai Luojing automated container terminal has been transformed into a new generation of smart and green port [J]. (2024-05-29) [2025-03-06]. https://www.gzw.sh.gov.cn/shgzw_zxzx_gqdt/20240529/0ee7f4c7e4f64e8d96c0a30ac36103b3.html.
- [6] 新华网. “老码头”旧貌换新颜 上海罗泾港区“变身”智慧绿色港口. [EB/OL]. (2024-08-09) [2025-03-10]. <https://www.news.cn/20240809/693478bdaa2b44f4827433a9c8bc1b8b/c.html>.
- Xinhua News Agency. The old wharf has taken on a new look as Shanghai Luojingport area has been transformed into a smart and green port [EB/OL]. (2024-08-09) [2025-03-10]. <https://www.news.cn/20240809/693478bdaa2b44f4827433a9c8bc1b8b/c.html>.
- [7] 谭凤, 马小江, 李大功, 等. 绿色港口规划设计思路[J]. 水运工程, 2021(10): 104-110.
- TAN F, MA X J, LI D G, et al. Planning and design ideas for green port[J]. Port & waterway engineering, 2021(10): 104-110.
- [8] 中国交通报. 上海港罗泾港区集装箱码头系统化改造绿色探索 码头改造“零废料”智慧生态新升级. [EB/OL]. (2023-11-14) [2025-03-01]. <https://www.chinaports.com/portspnews/15208>.
- China Traffic News Network. Green exploration of systematic transformation of container terminal in Luojing port area, a seaport in Shanghai, zero waste material transformation of the terminal and new upgrade of smart ecology [J]. (2023-11-14) [2025-03-01]. <https://www.chinaports.com/portspnews/15208>.
- [9] 中交水运规划设计院有限公司. 上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程初步设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.
- CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Preliminary design for phase I container terminal renovation project in Luojing port area of Shanghai Port [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [10] 中交水运规划设计院有限公司. 上海港罗泾港区煤炭码头水工建筑物拆除工程方案[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.
- CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Demolitionproject plan for hydraulic structures of coal terminal in Luojing port area of Shanghai Port [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.

(本文编辑 赵娟)