



上海港罗泾港区绿色智慧港口 转型升级的工程规划和实践

潘海涛, 汪 锋, 刘成鑫

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 上海港罗泾港区现有散货码头岸线及陆域将一体化改造升级为自动化集装箱港区, 经多方案论证, 工程设计首创“长引桥、一线三用”岸线利用模式下的自动化集装箱码头解决方案, 打造深水岸线码头改造新模式, 工程每百米岸线设计通过能力较普通顺岸式码头提高约 30%。改造中保留 70% 原有桩基等旧结构, 剩余 30% 部分的拆除材料 100% 循环利用, 运营阶段采用全电力驱动设备, 结合光伏发电与岸电系统等, 实现作业过程零碳排放。依托自主研发的智能运营管控系统 Neo-TOS 和水平运输调度系统 HTMS, 实现 L4 级无人自动化智能运输车 (automated intelligent vehicle, AIV) 全场无磁钉导航、支持多种自动化设备混合运转, 装卸效率提升 30%, 运营成本降低 25%。通过岸线及陆域空间资源重构和工程创新提质增效, 为类似港口转型升级、实现绿色低碳和资源循环利用提供借鉴, 对行业绿色智慧港口高质量发展具有示范意义。

关键词: 港区改造; 自动化集装箱港区; 绿色智慧港口; 转型升级

中图分类号: U651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0008-06

Project planning and practice for green and smart port transformation and upgrading in Luojing port area of Shanghai Port

PAN Haitao, WANG Feng, LIU Chengxin

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

Abstract: The existing bulk cargo terminal shoreline and adjacent land area in Luojing port area of Shanghai Port will be upgraded into an automated container terminal through integrated renovation. After multi-scheme demonstration, the engineering design pioneers an automated container terminal solution featuring the “long approach bridge, one-line triple-use” shoreline utilization model, creating a new approach for renovating deep-water shoreline terminals. The designed throughput capacity of the 100 m shoreline of the project is approximately 30% higher than that of ordinary shoreward-type terminals. During the renovation process, 70% of the original pile foundations and existing structures are retained, while 100% of the dismantled materials from the remaining 30% are recycled. During the operation phase, fully electric-powered equipment is employed, combined with photovoltaic power generation and shore power systems, to achieve zero carbon emissions during operations. Relying on the self-developed intelligent management system Neo-TOS and horizontal transport scheduling system HTMS, the project enables L4 unmanned AIVs to navigate the entire site without magnetic nails and supports the mixed operation of various automated equipment. This enhances operation efficiency by 30% and reduces operating costs by 25%. By reconstructing shoreline and land space resources and innovation of engineering methods to enhance quality and efficiency, this approach provides a reference for similar ports undergoing transformation and upgrading to achieve green, low-carbon operations and resource recycling. It demonstrates significant value for the high-quality development of green and smart ports in the industry.

Keywords: port area renovation; automated container port area; green and smart port; transformation and upgrading

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 潘海涛(1972—), 男, 正高级工程师, 从事水运工程规划设计。

上海港作为国际航运中心的重要组成部分,同时也是全球重要的集装箱枢纽港,始终以绿色低碳理念为指引,在港口绿色化、智慧化转型方面不断探索和创新。围绕新时期生态环保和长江大保护的要求,上海港总体规划结合罗泾港区水深、区位优势,提出将罗泾港区原煤炭、矿石码头岸线进行功能调整,改造为自动化集装箱码头。经过多方案科学比选论证,工程分 3 期实施,2024 年建设完成上海港罗泾港区自动化集装箱码头改造一期工程并顺利投入使用,通过绿色化与智能化双轮驱动,实现了从传统散货码头向全自动化集装箱枢纽港口的跨越式升级^[1-3]。

1 改造方案论证过程

1.1 项目背景

上海港罗泾港区始建于 20 世纪 90 年代,曾经是上海港大宗散货、件杂货公共运输服务的主作业区,依托区位优势和长江口 12.5 m 深水航道整治优势,经过十余年建设发展,成为长江三角洲外贸矿石减载进江的重要码头,和南通、苏州太仓共同构成长江三角洲大宗散货海进江一程减载运输的港口集群,在服务长江沿线大宗能源原材料中转运输中发挥了重要作用。随着长江口 12.5 m 深水航道上延至南京港,加之煤炭及矿石海进江运输格局重构、市场需求变化、环保要求提升等多方面原因,罗泾作业区煤炭、矿石码头分别于 2017 和 2019 年停运^[4-5]。

为了适应新时代发展要求,需要重新审视罗泾港区在城市和港口发展、区域物流格局中的角色和地位,围绕新时期生态环保和长江大保护的要求,上海国际港务集团贯彻绿色发展理念,落实交通强国战略部署,进一步优化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集装箱运输服务能级提升,提出实施罗泾自动化集装箱码头改造项目,对罗泾港区煤炭、矿石码头及下游相邻的百联码头功能调整进行统筹规划,组织

开展码头转型升级研究,形成了罗泾港区集装箱功能调整的总体规划方案。鉴于罗泾港区新增集装箱能力的紧迫性,先期启动上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程(简称罗泾改造一期工程),将现有煤炭码头水、陆域和部分矿石码头陆域改造为自动化集装箱码头^[6]。

1.2 研究历程

1.2.1 改造方案

中交水运规划设计院有限公司自 2014 年开始上海港罗泾港区转型升级系列项目前期咨询工作,基于不同货种、不同规模的工程目标开展了各类方案比选论证,为港区规划建设决策提供了强有力支撑。集装箱功能调整自然岸段长度约为 2.1 km,陆域纵深 470~670 m,总陆域面积约为 140 万 m²,港区平面见图 1。

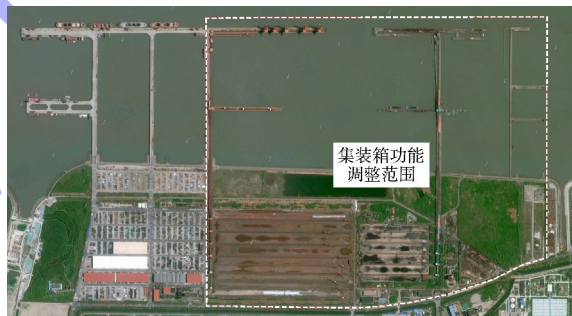


图 1 罗泾港区平面

Fig. 1 Plan of Luoqing port area

根据项目工程特点、建设要求、现状及边界条件,对罗泾港区集装箱码头改造工程的总体岸线利用方案、港区自动化模式、总体布置、装卸工艺、水陆域交通方案进行全覆盖、多方案比选和专题研究,提出罗泾港区集装箱改造工程总体方案采取口门保留、堆场平行码头布置的全自动化模式。考虑作业灵活性和混行保障要求,堆场布置采取前方单悬臂+后方双悬臂的组合方案。码头改造总体布置见图 2,码头采用“长引桥、一线三用”布置模式,总通过能力为 600 万 TEU/a。综合考虑上游陈行水库取水口以及水源地保护范围等影响因素,罗泾作业区局部规划修订方案见图 3。



图 2 罗泾港区自动化集装箱码头改造总体布置
Fig. 2 Overall layout of automated container terminal renovation in Luoqing port area

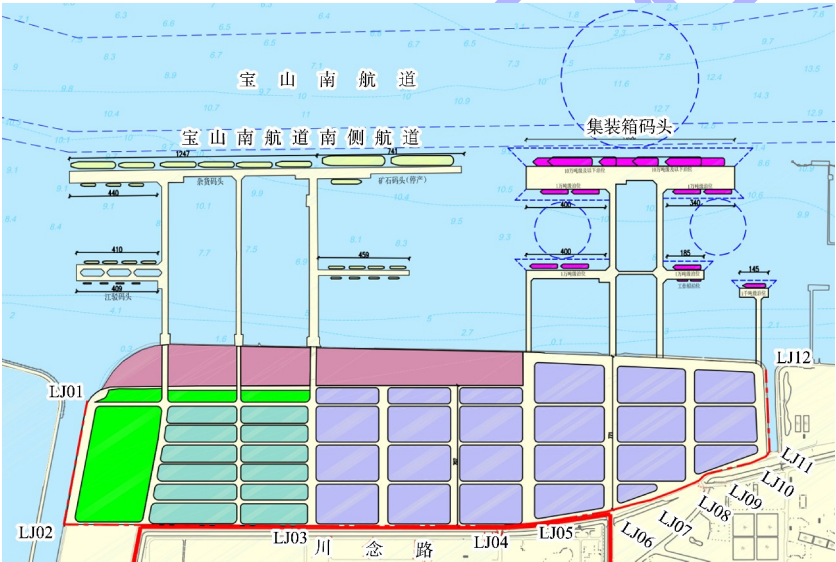


图 3 罗泾作业区规划修订方案 (单位: m)
Fig. 3 Revised plan of Luoqing operation area (unit: m)

1.2.2 工程建设实施

项目采取一次规划、分阶段实施模式，结合工程规划局部修订、报批报建进度情况，罗泾改造一期工程于 2022 年 12 月开工，2024 年 6 月通过竣工验收，2024 年 8 月正式开港运营，设计通过能力为 260 万 TEU/a，2024 年共完成集装箱吞吐量 100 万 TEU，工程创新成果和建设目标得到有效验证。一期工程现场实景见图 4。



图 4 一期工程现场实景
Fig. 4 On-site real scene of phase I project

2 主要创新点

在交通强国建设中, 罗泾改造一期工程是更高水平自主可控自动化集装箱码头的示范应用, 创新提出离岸式、长引桥布置模式下自动化集装箱码头的岸线资源利用、堆场布置模式、港区车流交通组织等方案, 通过构建港区清洁用能体系、推进港内自动化智能运输车 (automated intelligent vehicle, AIV) 充换电站、岸电设施等低碳基础设施建设及生态保护、景观建设和港区智慧管控系统平台建设等措施, 打造行业环保无废、绿色生态、近零碳示范港区。

2.1 因地制宜, 制定针对性设计方案

1) 全面贯彻新发展理念、顺应绿色航运发展要求, 零新增岸线和零围填海, 高效配置优质资源, 将原有散货码头改造提升为绿色低碳、高货值、全自动化集装箱码头。

2) 统筹协调设计方案与规划修订方案、专项规划及外配套设施规划方案, 顶层设计一期改造工程和远期发展空间在岸线、土地利用、配套设施接口和能力方面的有序衔接。

3) 在对原码头检测评估分析的基础上, 制定合理的拆、改、建方案, 通过精细化、动态设计, 采用 BIM 三维可视化设计, 保证沉桩施工安全性。老码头原结构利用率达到 70%, 拆除的 30% 部分也全部回收利用; 陆域拆除料全部重复利用。

4) 结合市政排水方案, 提出改造原港区排水泵房+港区增设雨水调蓄池+依托市政雨水接收的组合排水解决方案。

2.2 创新全自动化集装箱码头解决方案

1) 根据预测到港船型组合, 挖潜岸线资源利用率, 码头泊位分前、后、内 3 档布置 (一线三用), 在既有 712 m 深水岸线条件下, 实现 260 万 TEU/a 设计通过能力要求。

2) 通过交通车流仿真研究, 定量分析码头引桥车流交叉、道路交通服务水平以及码头通过能力等技术指标, 实现“长引桥、一线三用”码头布置模式下的自动化解决方案。

3) 在总结国内外自动化集装箱堆场布置模式

的基础上, 提出适应项目运营要求的自动化堆场方案: 堆场作业线平行于码头布置模式、采取单悬臂+双悬臂组合方案、水平运输设备进入堆场作业。

4) 采用自主研发创新的智能营运管控系统 Neo-TOS, 项目采用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。

2.3 打造近零碳、零排放港口

1) 贯彻循环经济理念, 以“减量化、再利用、再循环”为原则, 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, 成为行业内旧码头改造工程的资源循环利用新典范。

2) 采用绿色节能技术, 如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, 使得清洁能源应用在综合能耗中占比达 97%, 实现码头的绿色节能运营。

3) 港区生活污水纳入市政管网, 设置初期雨水收集和船舶污染物接收设施, 做好与城市公共转运、处置设施的衔接。推进生态保护与景观建设, 采用铺面透水+港内雨水收集等工程措施, 创建海绵示范港区。

4) 优化平面布局, 加强港区交通组织设计, 缩减设备行走距离, 针对性设置前方水水中转堆场, 缩短水水中转箱运输距离, 适当加宽大码头及内档小码头, 具备水水中转直过作业条件, 实现港区绿色低碳运输。

3 工程示范效应

3.1 为老码头转型升级提供罗泾样板

3.1.1 因地制宜高效集约利用资源

水域布局: 根据到港船型组合特点, 结合罗泾港区水域现状条件, 为了尽可能保留原有码头布局^[7-8], 挖潜岸线资源综合利用效率, 罗泾改造一期工程水域岸线利用方案创新采用反 F 形布局,

分前、后、内 3 档布置(岸线资源一线三用),在有限的 712 m 深水岸线条件下,实现 260 万 TEU/a 设计通过能力要求。工程平均每百米岸线设计通过能力较普通顺岸式自动化集装箱码头提高约 30%。

陆域布局:针对工程设计综合通过能力高、水水中转比例高、堆场通过能力要求高与陆域用地不规整、纵深小且用地资源紧张的矛盾,提出堆场作业线平行于码头布置模式、水平运输设备(AIV)进入堆场作业,堆场作业采用单悬臂+双悬臂自动化轨道式集装箱龙门起重机(automated rail-mounted gantry crane, ARMG)组合方案,前方单悬臂 ARMG 作业区内外集卡采取物理围网隔离,后方双悬臂 ARMG 作业区采取内外集卡分道行驶+作业线末端 P 形路径调头的模式实现隔离,该布置模式堆场设备利用率高、建设及运营成本低、陆域面积利用充分、车流组织高效^[9]。

3.1.2 绿色赋能,创新实现资源循环利用

工程首创“拆改建”一体化模式,旧结构利用率达 70%,30% 拆除部分的混凝土、钢筋等材料 100% 回收用于新建路基,实现零废料外运。该资源循环模式为全球老旧港口改造提供了低成本、低环境影响的解决方案。

3.2 坚持自主研发,管控系统自主可控

3.2.1 水平运输方式革新升级

目前自动化集装箱主流的水平运输设备主要分为 4 大技术路线:融合人工智能的运输机器人系统、基于固定路径的自动导向运输车(automated guided vehicle, AGV)系统、采用卫星导航的智慧型引导运输车(intelligent guided vehicle, IGV)系统以及基于差分全球定位系统(differential global position system, DGPS)、现场定位雷达和磁钉定位的自动化穿梭车系统。

根据罗泾自动化集装箱港区平面布局及自动化模式特点,对水平运输设备进行革新升级,采用 AIV 方式。相比以磁力循迹引导进行作业的方式,它无需安装磁钉、成本较 AGV 方式降低约 30%^[10]。

AIV 水平运输方式仅依靠自车感知识别系统与算法等进行识别、导航,即可实现不同角度下

多方位精准感知,做到全场无循迹的自动引导,自动驾驶级别达到 L4。同时, AIV 支持混合交通,具备精细化箱区蟹形换道绕行、多车路口交汇博弈通行、雾天作业等智驾能力,运营效率显著提高。

3.2.2 核心系统全栈自主可控

罗泾港区的“智慧大脑”是首次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等基础设施,依托自动控制、大数据、人工智能等技术,全面实现岸桥、轨道吊及 AIV 的智能化运转。

根据罗泾改造一期工程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,自主研发水平运输管控调度系统 HTMS,具有 AIV 的任务调度、路径规划及交通控制、作业交互等核心功能,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。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,较好解决了内部水平运输车辆与外来集卡的管理难题。

3.2.3 坚持绿色建造、绿色运营

工程项目施工和运营始终贯彻绿色理念。绿色施工方面,利用废旧材料建造新码头,将工程建设产生的环境风险降到最低。绿色运营方面,罗泾集装箱码头运营所需的岸桥、轨道吊、AIV 以及叉车、巡检车等设备与车辆均为纯电力驱动,辅以 AIV 智能充换电机、变频调速及势能回收、光伏发电等绿色节能技术,实现作业过程“零碳排”。同时,码头全泊位配置岸基供电,并与有关船公司签订岸基供电协议,明确船舶靠港期间使用岸电驱动,可有效减少船舶靠岸期间的碳排放、废气排放和噪音污染。

4 结语

1) 经过近十年的规划设计和工程建设,上海港罗泾港区散货港区成功实现了功能改造和绿色

智慧转型升级, 在工程水陆域布置模式与空间效率提升、国产化自主可控智能操作系统与调度架构创新、资源循环利用创新实践及绿色运营方面, 成为智慧绿色港口的典范, 具备较强的行业推广价值。

2) 通过优质资源高效配置、专题研究和自主创新, 实现岸线资源“长引桥、一线三用”布置模式下的自动化集装箱解决方案, 充分利用岸线及土地资源, 工程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) 通过水平运输方式革新升级, 打造“新一代智能水平运输设备(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, 实现超大规模设备集群协同高效作业, 装卸效率提升 30%, 运营成本降低 25%。罗泾集装箱码头改造工程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, 在智慧港口技术标准制定方面进行了积极探索。

参考文献:

- [1] 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 automated container terminal renovation project in Luojing port area of Shanghai Port [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [2] 上海国际港务(集团)股份有限公司. 2024 年可持续发展报告[R]. 上海: 上海国际港务(集团)股份有限公司, 2025.
- Shanghai International Port (Group) Co., Ltd. 2024 sustainability report [R]. Shanghai: Shanghai International Port(Group) Co., Ltd., 2025.
- [3] 上海国际港务(集团)股份有限公司. 2024 年年度报告[R]. 上海: 上海国际港务(集团)股份有限公司, 2025.
- Shanghai International Port (Group) Co., Ltd. 2024 annual report [R]. Shanghai: Shanghai International Port (Group) Co., Ltd., 2025.
- [4] 交通运输部规划研究院. 上海港宝山罗泾港区罗泾作业区规划修订方案[R]. 北京: 交通运输部规划研究院, 2022.
- Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport. Revised plan for Luojing terminal area in Baoshan Luojing port zone of Shanghai Port [R]. Beijing: Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport, 2022.
- [5] 上海市城市规划设计研究院. 宝山罗泾港区罗泾作业区专项规划[R]. 上海: 上海市城市规划设计研究院, 2022.
- Shanghai Urban Planning & Design Research Institute. Special plan for Luojing terminal area in Baoshan Luojing port zone [R]. Shanghai: Shanghai Urban Planning & Design Research Institute, 2022.
- [6] 交通运输部规划研究院. 上海港总体规划(修订)[R]. 北京: 交通运输部规划研究院, 2024.
- Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport. Shanghai Port master plan (revision) [R]. Beijing: Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport, 2024.
- [7] 吴澎, 王荣明. 上海港罗泾港区二期工程规划设计创新[J]. 水运工程, 2011(9): 55-60.
- WU P, WANG R M. Innovation in planning and design of Phase II project of Luojing port area[J]. Port & waterway engineering, 2011(9): 55-60.
- [8] 时健. 港口物流的创新模式: “前港后厂”: 上海港罗泾二期新港区和浦钢公司携手共建物流配送新系统[J]. 中国港口, 2008(1): 43-44.
- SHI J. Innovative port logistics model: “port-front-plant-back”: Shanghai Port’s new Luojing phase II terminal area and Purgang company jointly build a new logistics distribution system[J]. China ports, 2008(1): 43-44.
- [9] 程泽坤, 刘广红, 张斌, 等. 国外自动化集装箱码头应用现状及建设借鉴[J]. 水运工程, 2016(9): 3-8.
- CHENG Z K, LIU G H, ZHANG B, et al. Application of automatic container terminal abroad and referential function on its construction in China[J]. Port & waterway engineering, 2016(9): 3-8.
- [10] 罗勋杰. 全自动化集装箱码头水平运输方式对比[J]. 水运工程, 2016(9): 76-82.
- LUO X J. Comparison of horizon transportation system of full automatic container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2016(9): 76-82.

(本文编辑 王传瑜)