



钦州自动化码头江海联运挖入式港池设计

耿卫宁, 宋海涛

(广西钦州保税港区盛港码头有限公司, 广西 钦州 535000)

摘要: 钦州自动化码头投产近两年, 系统、设备运行稳定, 作业效率稳步提升。平陆运河的建设正加速推进, 预计于2026年建成通航, 通航后钦州自动化码头挖入式港池将成为集装箱江海联运的衔接枢纽。根据多因素动态系数法, 预测得到平陆运河开通后集装箱吞吐量的增长量, 结合钦州自动化码头挖入式港池的建设条件, 最大限度释放码头岸线能力。通过分析钦州自动化码头运营过程中的数据和结果, 针对挖入式港池服务的船舶特点, 在装卸工艺模式、岸桥设备选型、码头平面布局等方面进行研究, 提出有针对性的多种实施方案, 并通过多维度的对比提出综合分析意见, 确保挖入式港池泊位与主泊位的作业衔接顺畅, 兼顾未来自动化码头建成后的整体运营, 为同类集装箱码头建设提供参考。

关键词: 挖入式港池; 自动化; 集装箱; 江海联运; 船舶吨级; 一体化

中图分类号: U653

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)12-0063-07

Excavated harbor basin for river sea intermodal transportation at Qinzhou automation terminal

GENG Weining, SONG Haitao

(Guangxi Qinzhou Bonded Port Shenggang Terminal Co., Ltd., Qinzhou 535000, China)

Abstract: Qinzhou automation terminal has been in operation for nearly two years, with stable system and equipment operation and steady improvement in operational efficiency. The construction of the Pinglu Canal is accelerating, and it is expected to be completed for navigation by 2026. After opening for navigation, the excavated harbor basin at the Qinzhou automation terminal will become a connecting hub for container river sea intermodal transportation. Based on the multi factor dynamic coefficient method, the growth of container throughput after the opening of the Pinglu Canal is predicted. Combined with the construction conditions of the excavated harbor basin at the Qinzhou automation terminal, the maximum capacity of the terminal shoreline is released. By analyzing the data and results of the operation process of Qinzhou automation terminal, and focusing on the characteristics of ships in the excavated harbor basin service, this study proposes various targeted implementation plans in terms of loading and unloading process mode, shore bridge equipment selection, and terminal layout. Through multidimensional comparison, comprehensive analysis opinions are proposed to ensure smooth operation connection between the excavated harbor basin and the main berth, while also considering the overall operation of the future automation terminal after completion, providing reference for the construction of similar container terminals.

Keywords: excavated harbor basin; automation; container; river sea intermodal transportation; ship tonnage; integration

挖入式港池是码头平面布置的一种常用形式。挖入式港池能够在原有岸线的基础上拓展新的岸

线, 从而有效地利用岸线资源; 挖入式港池受陆地包围, 可以有效降低风浪对船舶作业的影响;

收稿日期: 2024-03-06

作者简介: 耿卫宁 (1980—), 男, 中级经济师。研究方向为码头平面布局设计、业务流程设计及优化、自动化码头集成调试、码头安全运营管理等。

挖入式港池远离主航道，船舶靠离对主航道影响较小。行业内对挖入式港池有深入的研究，易坚浩^[1]针对陆域纵深小、泊位数量多、主航道繁忙的港区条件，提出一种新型复合式港池布局，解决了回旋水域占用主航道、挖入式港池占用码头陆域的问题；杨春平等^[2]以横沙大型挖入式港池为例，比较几种不同波浪推算方法的计算结果，提出一种新算方法，解决主流商业软件 MIKE 21 SW 波浪模型和 MIKE 21 BW 波浪模型计算欠缺的问题；崔程^[3]、李欣等^[4]、王伟等^[5]研究不同水文条件下多种挖入式港池的回淤问题，提出具体解决方案；王峰等^[6]通过物理模型及船模试验，对山区河流挖入式港池的布置和通航水流条件进行研究，提出安全通航的水文条件。目前对挖入式港池的研究多侧重于水工土建领域，本文从业务

操作角度出发，以钦州自动化码头挖入式港池为实践对象，对挖入式港池的能力设计、工艺模式规划以及如何与相邻的顺岸式泊位作业衔接等进行研究，旨在为其他同类港口建设提供借鉴。

1 项目背景

1.1 配套平陆运河,实现江海联动

平陆运河连通北部湾国际门户港和西江航运干线，是西部陆海新通道骨干工程和加快建设交通强国的标志性工程。平陆运河开通后可通航 5 000 吨级船舶，西江中上游地区货物经平陆运河出海相比从珠三角出海可减少内河航程约 560 km，见图 1。平陆运河计划于 2026 底建成，钦州自动化码头挖入式港池主要配套运河开通后的江海联运集装箱作业。



图 1 平陆运河地理位置

1.2 毗邻自动化码头,建成后一体化运营

挖入式港池毗邻钦州自动化码头，拟建设 10 个 5 000~2 万吨级泊位，在挖入式港池的另一侧，远期规划建设 4 个 15 万~20 万吨级自动化码头泊位，见图 2。挖入式港池建成后将与现有自动化码头一体化运营，远期规划的自动化码头建成后一并纳入运营。因此该挖入式港池的建设难点在于实现与两侧自动化码头的协同作业。



图 2 挖入式港池区域位置

2 挖入式港池的规划设计

2.1 需求分析

综合考虑经济腹地发展情况和内河运输特点, 预测 2027、2029、2035 和 2050 年平陆运河集装箱运输需求量将分别达到 40 万、120 万、140 万和 280 万 TEU。

2.2 能力规划

2.2.1 船型规划

钦州自动化码头挖入式港池主要配套平陆运河江海联运, 并兼顾“防城-钦州-北海”三港间的穿梭巴士、两湾快航等航线的小吨级船舶的作业。钦州港挖入式港池岸线采用直立式护岸形式, 港池宽 242 m、深 695 m, 港池外端水深 11.4 m, 港池内端水深 7.6 m, 泊位水深 7.8 m, 港池宽度满足两侧泊位同时靠泊 5 000~2 万吨级船舶安全规范要求。

按照 JTS-165—2013《海港总平面设计规范》中 4.2 “港内水域”的计算标准^[7], 结合 3 000~2 万吨级集装箱船舶参数, 见表 1。挖入式港池底部满足 5 000 吨级船舶自主靠离泊, 港池端部满足 2 万吨级船舶在拖轮协助下安全靠离泊。随着平陆运河工程的建设, 相关单位正在联合研究一种配套平陆运河的船型, 代表船型为 5 000 吨级, 主尺寸为 90 m×15.8 m×5.0 m(船长×船宽×设计吃水), 根据平陆运河建设标准和通航船型研究^[8-9], 钦州自动化码头挖入式港池满足平陆运河通航船型靠离泊安全要求。

表 1 3 000~2 万吨级集装箱船舶参数

船舶吨级	总长 L/m	型宽 B/m	型深 H/m	满载吃水 T /m
3 000	106	17.6	8.7	5.8
5 000	121	19.2	9.2	6.9
1 万	141	22.6	11.3	8.3
2 万	183	27.6	14.4	10.5

2.2.2 泊位规划

根据 2021 和 2022 年钦州港区集装箱船舶吨级统计, 见表 2。钦州港区集装箱船舶特点包括中小型船舶占比高, 以及船舶吨级呈增大趋势。钦州自动化码头挖入式港池设计不仅满足平陆运河通航船型需求, 而且最大程度支撑顺岸主泊位作业需求。

表 2 钦州港区集装箱船舶吨级

船舶吨级	2021 年		2022 年	
	数量/艘	占比/%	数量/艘	占比/%
≤1 万吨	2 785	65.5	2 236	47.2
>1 万吨, ≤2 万吨	860	20.2	1 336	28.2
>2 万吨, ≤5 万吨	459	10.8	935	19.7
>5 万吨	146	3.5	232	4.9
合计	4 250	100.0	4 739	100.0

为充分利用岸线、水域、港池等资源, 在泊位能力规划时遵循最大化原则, 在建设和投入使用时可根据市场变化和 demand 增长等实际情况适度超前^[10]。综合考虑港池的吃水和船舶靠离安全, 挖入式港池设计见图 3。10-1[#]、11-1[#]泊位设计为 2 万吨级, 其他 8 个泊位设计为 5 000 吨级。

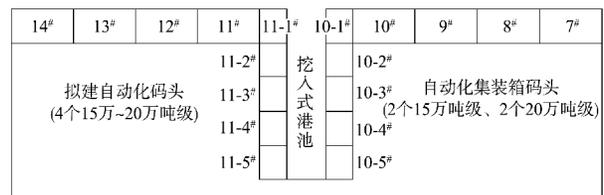


图 3 挖入式港池

2.2.3 效率规划

参考国家标准 GB 38030.3—2019^[11], 综合考虑平陆运河直接腹地、间接腹地的货源结构和箱型比例, 岸桥作业效率取值 20~25 自然箱/h, 岸桥密度(船舶平均每小时作业线数量)取值 1.0~2.0, 船前、船后总时间取值 0.5~1.0 h, 通过计算得出西江航运干线集装箱各船型船舶在港作业时间为 1.80~13.50 h, 满足船舶运营需求, 见表 3。

表3 西江航运干线集装箱船型在港时间

船型 编号	载箱量/ TEU	船舶在泊时间/h					
		岸桥密度 1.0		岸桥密度 1.5		岸桥密度 2.0	
		单机效率 20 box/h	单机效率 25 box/h	单机效率 20 box/h	单机效率 25 box/h	单机效率 20 box/h	单机效率 25 box/h
XJ-J1	50	3.00~3.50	2.50~3.00	2.67~3.17	2.33~2.83	2.25~2.75	1.80~2.30
XJ-J2	70	4.00~4.50	3.30~3.80	3.33~3.83	2.83~3.37	2.75~3.25	2.12~2.62
XJ-J3	150	8.00~8.50	6.50~7.00	6.00~6.50	5.00~5.50	4.75~5.25	3.40~3.90
XJ-J4	160	8.50~9.00	6.90~7.40	6.33~6.83	5.27~5.77	5.00~5.50	3.56~4.06
XJ-J5	170	9.00~9.50	7.30~7.80	6.67~7.17	5.53~6.03	5.25~5.75	3.72~4.22
XJ-J6	200	10.50~11.00	8.50~9.00	7.67~8.17	6.33~6.83	6.00~6.50	4.20~4.70
XJ-J7	250	13.00~13.50	10.50~11.00	9.33~9.83	7.67~8.17	7.25~7.75	5.00~5.50

注：船前、船后总时间取值 0.5~1.0 h，计算结果四舍五入保留 2 位小数。

2.3 工艺设计及设备选型

2.3.1 现有自动化码头及待建自动化码头工艺模式

钦州自动化码头采用“自动化双小车岸桥-智慧型引导运输车(intelligent guided vehicle, IGV)-自

动化双悬臂轨道吊”工艺模式，堆存垂直布局、U形集卡车道将人工集卡和自动化 IGV 隔离^[12]，待建设的 11[#]~14[#]泊位拟采用同样工艺模式，见图 4。



图4 钦州自动化码头工艺模式

2.3.2 挖入式港池工艺设计

基于一体化运营的基本要求，挖入式江海联运泊位与顺岸式主泊位共享水平运输系统、堆存装卸系统、陆侧集疏运系统，只有岸边装卸系统独立，主要设计方案有 3 种。

方案 1：复制顺岸式主泊位岸边装卸工艺，见图 5。仅根据挖入式港池作业船型降低岸桥规格，该方案风险最低。优点是船边装卸工艺不变，生产操作系统(terminal operating system, TOS)、设备控制系统(equipment control system, ECS)均无需改动，自动化程度高，装卸效率约为 25~30 自然箱/h。缺

点是设备投资大，土地利用率不高。

方案 2：岸边装卸船设备采用自动化门机，自动化门机直接对 IGV 作业。近几年，自动化门机技术发展迅速^[13-14]，其优点是设备投资小，自动化门机与双小车岸桥单台购置成本差额约 7 000 万元、土地利用率高，节省 IGV 缓冲区 1.83 万 m²，但自动化门机在应用过程中吊具运行轨迹控制难度大、介入率高，装卸效率约为 20~25 自然箱/h。

方案 3：岸边设备采用定制化新型驳船岸桥，见图 6。该岸桥单小车，轨距 16 m、起升 20 m、前伸距 23 m、后伸距 12 m，陆侧门腿上设单台座

3 平面布局

平面布局设计在通用码头和专业化码头均有成熟经验和众多成果^[16-18]。钦州自动化码头挖入式港池位于4个已投产泊位和4个待建泊位中间，

见图7。需重点关注主泊位与挖入式港池衔接处(图7中1#区域)、水平运输区域(图7中2#区域)、与未来泊位的衔接处(图7中3#区域)。

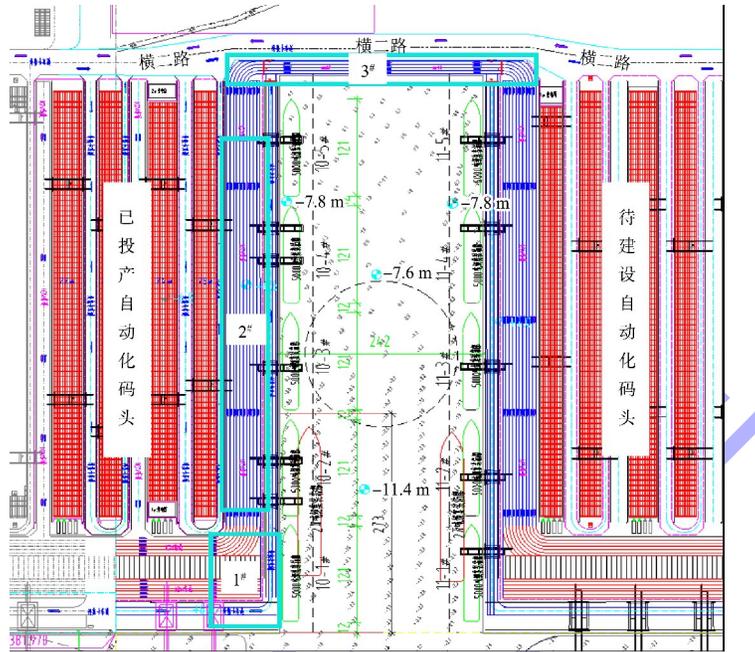


图7 挖入式港池总平面布局

3.1 主泊位与挖入式港池衔接处

钦州自动化码头主泊位与挖入式港池岸线呈垂直状态，从岸桥作业安全和岸线利用率最大化两个角度考虑，设计2种方案。

方案1：主泊位岸桥轨道与挖入式港池岸桥轨道物理分离，采用车挡确保2个泊位的岸桥不发生碰撞，见图8。优点是实现岸桥作业绝对安全；缺点是挖入式港池最外端约40 m无法使用，岸线利用率低。

方案2：主泊位岸桥轨道与挖入式港池岸桥轨道局部交叉，见图9。优点是实现两侧泊位岸线利用率最大化；缺点是存在岸桥碰撞风险，轨道交叉处技术处理难度大。综合考虑作业中的安全风险以及江海联运泊位避让深水主泊位的经济效益，钦州自动化码头挖入式港池与主泊位衔接处选择方案1。

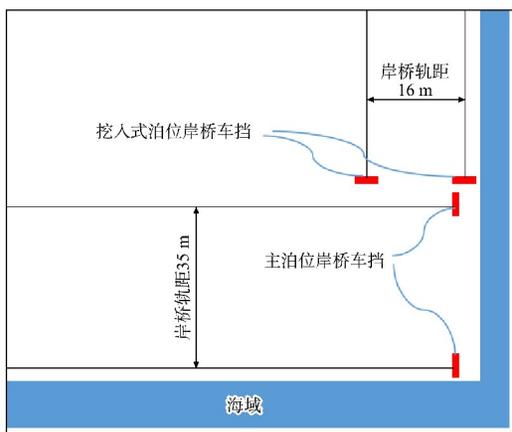


图8 方案1主泊位与挖入式港池衔接处

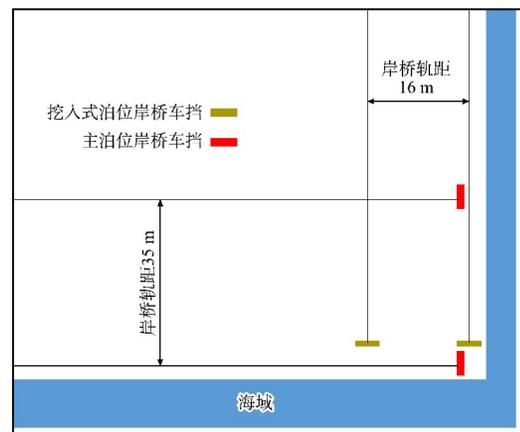


图9 方案2主泊位与挖入式港池衔接处

3.2 水平运输区域

钦州自动化码头主泊位水平运输区域从海侧至陆侧依次为 IGV 装卸作业车道 6 条共 24.0 m、IGV 缓冲区 28.0 m 和 IGV 快速行车道 6 条共 24.5 m, 合计 76.5 m。挖入式港池水平运输区域设计时, 综合考虑作业船舶效率要求、IGV 作业密度等因

素, 删除了 IGV 缓冲区, 从海侧至陆侧依次为 IGV 装卸作业车道 3 条共 12.0 m、IGV 快速行车道 3 条共 12.0 m, 合计 24.0 m, 缩减 52.5 m, 见图 10。该设计方案经实验室环境模拟仿真测试, 各作业工况下 IGV 运行顺畅。

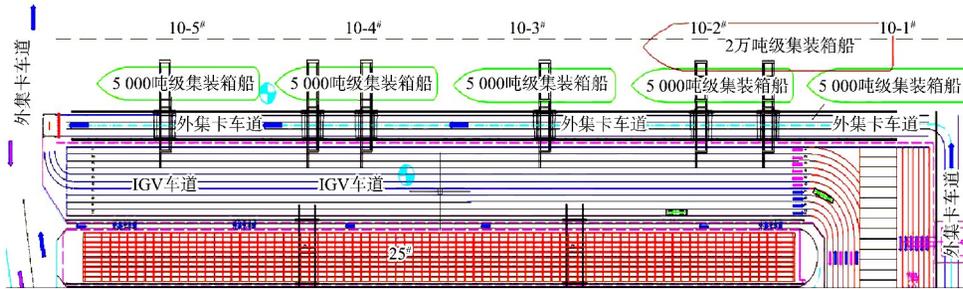


图 10 挖入式港池水平运输区域方案

3.3 与未来泊位的衔接处

该区域位于挖入式港池的港池底部, 未来主要功能包括挖入式港池两侧自动化码头之间的 IGV 调度, 以及挖入式港池两侧自动化码头之间的集装箱倒运。设计时需重点关注此处为岸桥轨内的人工集卡和两侧自动化泊位间 IGV 调派的交叉点。基于此区域短期内不会投入使用, 在挖入式港池建设时, 可参考天津自动化码头、日照集装箱公司堆场内人工集卡和自动化水平运输设备的道闸管理模式, 预埋管线和设备设施基础。关注复合导航、人工集卡与自动化水域运输设备混行技术的发展动态。

4 结语

1) 钦州自动化码头挖入式港池设计在已投产主泊位运营经验基础上, 结合平陆运河通航船舶类型, 针对作业对象的变化, 优化工艺流程, 采用定制化驳船岸桥, 有效降低了码头建设成本。

2) 钦州自动化码头挖入式港池设计考虑港池内水深条件, 设计不同的泊位吨级, 对岸桥轨距、水平运输区域、泊位衔接处等进行了特殊设计, 在满足安全和业务流程需求的基础上, 实现了岸线和土地资源的最大化利用。

3) 钦州自动化码头挖入式港池主要对接平陆运河开通后的水水中转, 目前行业内的 TOS 系统只支持“船-场-船”的作业模式, 不支持“船-船”的作业模式, 限制了水水中转的高效衔接。

4) 钦州自动化码头是平陆运河江海联运的重要环节, 整体运输效能的发挥还需实现港航闸联合高效调度、公铁水多式联运的物流畅通、江河海效能匹配的能力相通、政事企协同监管的管理互通。

参考文献:

- [1] 易坚浩. 一种内河复合式泊位研究[J]. 水运工程, 2021(6): 66-70.
- [2] 杨春平, 陈涛, 孙士勇. 大型挖入式布局的港池设计要素推算方法[J]. 水运工程, 2019(11): 20-23.
- [3] 崔程. 不同河型挖入式港池三维水动力及泥沙落淤机理分析研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2020.
- [4] 李欣, 王绿卿, 杨锦凌等. 内河挖入式港池水流特性及泥沙淤积研究进展[J]. 水道港口, 2022, 43(4): 437-443.
- [5] 王伟, 程旻. 内河挖入式港池的应用及港池回淤问题研究[J]. 中国水运(下半月), 2016, 16(7): 253-254, 257.
- [6] 王峰, 尤克诗, 刘云, 等. 钱塘江中上游山区河流挖入式港池布置及进出港通航水流条件[J]. 水运工程, 2020(7): 57-64.