· 平面与工艺 ·

自动化集装箱码头的海铁联运设计

许鸿贯[1]，骆千珺[2]，覃　杰[1]，彭骏骏[1]
（1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司，广东 广州 510290；
2. 北部湾港股份有限公司，广西 北海 536000）

摘要：随着海铁联运运量的不断增长，“最后一公里”邻而不接、接而不畅的问题突出，依托钦州港自动化集装箱码头进行海铁联运设计方案研究，探索一种实现自动化集装箱码头海铁联运无缝衔接的新模式，并介绍其设计原则、空中轨道车技术可行性、路线规划、主要组成和优点等。结果表明，该模式能够有效解决海铁两种不同集疏运方式切换环节时间长、无法达到真正意义上的高效畅通、影响海铁联运的时效和增加运输成本的问题。

关键词：海铁联运；自动化集装箱码头；无缝衔接；设计

中图分类号：U 656. 1+35　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2022)10-0048-05

Design of sea-rail intermodal transport for automated container terminals

XU Hong-guan[1], LUO Qian-jun[2], QIN Jie[1], PENG Jun-jun[1]
(1.CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China;
2.Beibu Gulf Port Co., Ltd., Beihai 536000, China)

Abstract: The problem that the sea and rail transport are adjacent but not connected or connected but not smoothly connected with the “last kilometer” becomes increasingly prominent as the volume of sea-rail intermodal transport keeps growing. By investigating the automated container terminal in Qinzhou Port, this paper focuses on a design scheme for sea-rail intermodal transport. It explores a new mode providing seamless connection of sea-rail intermodal transport for automated container terminals and describes its design principles, feasibility of the air-track transport system, route planning, main components, and advantages. The results show that the new mode can effectively solve various problems, such as the time-consuming switching link between the two collection and distribution modes of sea and rail, failure to genuinely achieve efficiency and smoothness, influence on the timeliness of sea-rail intermodal transport, and increase in the transport cost.

Keywords: sea-rail intermodal transport; automated container terminal; seamless connection; design

海铁联运具有覆盖范围广、运输成本低、运量大、对环境污染小等突出优势，但目前我国海铁联运运量占总吞吐量比例尚未达到 5%，与发达国家的超 20%、甚至达到 40%还存在较大的差距，尤其集装箱的铁路运输相对滞后，海铁联运比例不超过 1. 5%，同时国内大部分集装箱码头的海铁联运仍存在受集疏运方式铁路和水路之间的“最后一公里”没有被完全打通的困扰，尚未实现真正意义上的无缝链接，需要通过人工集卡完成水平运输进行二次转接，难以实现铁路堆场和港区堆场的资源共享等亟待解决的问题突出。国家发改委联合各部印发的《关于加快推进铁路专线建设

收稿日期：2022-05-20

作者简介：许鸿贯(1983—)，男，高级工程师，从事港口及航道工程设计。

水运工程

的指导意见》[1]指出，专用线是解决铁路运输“最后一公里”问题的重要设施，对于减少短驳、发挥综合交通效率、提升经济社会效益具有重要作用；到 2025 年，沿海主要港口、大宗货物年运量 150 万 t 以上的大型工矿企业、新建物流园区铁路专用线力争接入比例均达到 85%。

港口海铁联运基础设施的建设加速并初见成效，随着自动化集装箱码头技术不断积累，如何实现港区铁路集装箱中心站和自动化集装箱码头之间交通方式的无缝衔接、保证集装箱的运输顺畅、提高集装箱运输的效率和降低经济成本[2]、充分发挥海铁联运的优势已经成为港口运营商关注的焦点。本文依托自动化集装箱码头海铁联运设计研究，提出一种实现自动化集装箱码头海铁联运无缝衔接的新模式。

1　工程概况

钦州港自动化集装箱码头东侧是已建钦州港铁路集装箱中心站，该中心站是国家战略西部陆海新通道海铁联运的重要枢纽[3]，是全国铁路系统首家实现远程自动化装卸作业的铁路集装箱智能智慧化专业场站，目前共配置 6 台远程自动化轨道吊，轨距 35 m，起吊质量 40 t，起升高度 12.2 m。堆场内箱位整理等可实现全自动化作业，钦州港目前已开通成都、重庆及兰州等多条常态化班列，其中钦州港铁路集装箱中心站在 2020 年完成集装箱办理量已突破了 28 万 TEU，增长势头明显，为钦州港自动化集装箱码头海铁联运提供了有力支撑，为加快推进钦州港基础设施建设、完善集疏运体系具有重要的意义。钦州港铁路集装箱中心站有别于普通非港区的铁路集装箱站场，结合工程特点和全球首创的 U 形垂直布局，提出了“空中轨道车系统”的设计方案，既保证满足铁路集装箱中心站的功能需求，又实现铁路站场与港区的无缝连接，打通海铁联运的“最后一公里”。

2　自动化集装箱码头海铁联运设计

2.1　海铁联运设计的功能需求

目前海铁联运的集装箱在港区堆场和铁路中心站之间主要通过人工集卡的方式进行运输，随着海铁联运集装箱运量的增长，也将增加港区交通压力，导致多式联运的整体服务水平得不到充分的发挥。结合钦州港铁路集装箱中心站是国家战略西部陆海新通道海铁联运的重要枢纽的特殊定位和海铁联运“接而不畅”的现状，采用空中轨道系统的方式进行连接，主要功能需求如下：

1)实现海铁联运的无缝衔接[4]。铁路集装箱中心站年通过能力按钦州港集装箱年吞吐量 500 万 TEU 的 15%通过海铁联运考虑，即 75 万 TEU。通过资源合理配置对海铁联运集装箱涉及的作业环节进行科学管理，保证集装箱在港区堆场和铁路中心站之间达到信息共享和操作系统的对接，相互协作，做好船舶或火车班列的提前策划，缩短集装箱的海铁两种不同集疏运方式切换的等待滞留时间，达到时间和空间上的无缝衔接，降低物流成本和提高物流效率。

2)考虑经济综合效益，做到远近结合。结合工程特点，西部地区是钦州港集装箱业务的重点腹地，海铁联运须满足未来一段时间内持续上涨的海铁联运集装箱运量的需求，考虑经济性等因素，既立足当前的运输需求，也要着眼远期发展规划，可统筹规划、分期实施。

3)减少交通组织的交叉。钦州港自动化集装箱堆场与钦州港铁路集装箱中心站相隔港区范围内人工集卡主要通道为横二路，需要考虑未来铁路运量增长后带来港区交通拥堵的问题。

2.2　空中轨道车系统技术可行性分析

空中轨道车技术最早始于客运。在 20 世纪 80 年代，德国联邦政府在追求城市交通工具无噪声、废气污染的目标下，投入研发并成功应用的客运空中轨道列车系统，其具有节省地面空间、

水运工程

有效解决交通拥堵的优点。目前世界上只有德国和日本建成客运空中轨道车系统，国内十多年前在上海、天津、佛山等多个城市开展过前期研究和规划工作，但目前尚未启动实施。

案例 1：中国中车集团为解决海铁集装箱联运中港区和集装箱铁路中心站之间的无缝链接，开展了技术积累和研究攻关，在武汉建成了一条长 300 m 的集装箱运输的货运空中轨道车系统示范线，提供了“中车”方案，见图 1。

图 1　中车长江集团空中轨道车系统示范线

案例 2：2020 年 6 月，青岛港全自动化码头建成了智能空轨集疏运系统一期示范工程，由山东港口青岛港与中车长江集团长江公司共同研发建设，起点在自动化集装码头交流中心北侧，止于相邻人工码头堆场区，总长 0.62 km，融合了海关查验等功能，可实现进口箱抽检率 100%覆盖，二期将继续延伸至前湾港北岸铁路港站集装箱站场，全部建成后总长达 9.5 km，年运输能力达 150 万 TEU。

上述示范线的建成和测试的积累，将助力我国海铁联运集装箱运输空中轨道车系统技术发展积累宝贵的经验，并提供一定的技术支撑。

2.3　空中轨道车线路的规划

钦州港自动化集装箱码头从海铁联运的功能需求、运量增长的情况和经济性等因素综合考虑[5]，海铁联运的实施方案如下：

1）近期：考虑在集装箱中心站与港区之间设置铁海联运闸口，通过集装箱水平运输车辆实现大榄坪南作业区各集装箱码头与铁路集装箱中心站之间的联动。考虑在铁路集装箱中心站的南、北两侧共设置 2 座人工集卡进出闸口，其中北侧闸口紧邻港区出闸口南侧集中布置，兼顾大榄坪南作业区少量 1#~6#泊位的海铁联运运量；南侧闸口布置在港区横二路最南端，减少与港外人工集卡的交叉。

2）远期：积极探索与铁路集装箱中心站全自动化联动的解决方案，利用智能空中轨道车系统将集装箱码头堆场和铁路集装箱中心站堆箱区进行衔接。空轨布置在 9#、10#泊位对应的集装箱堆场后方并延伸至铁路集装箱中心站堆箱区内，通过空轨系统直接与码头集装箱堆场、铁路集装箱中心站堆箱区进行集装箱的转接和交互，进而实现远期自动化集装箱码头与铁路集装箱中心自动化联动。空中轨道车系统由码头集装箱堆场部分和铁路集装箱中心站堆箱区部分组成；按车辆平均速度 25 km/h 设计，其中铁路集装箱中心站堆箱区空中轨道车路线环形单线布置，长度约 1.9 km，带箱情况下须满足火车通过的净空要求；码头集装箱堆场共布置 2 组空中轨道线路，考虑空车折返的影响，确保作业效率，轨道车路线双线布置，往返空中轨道车的线路互不影响，每组单线长度约 0.7 km，总长 2.8 km，见图 2。空中轨道车路线规划，在码头集装箱堆场区将编号为 11、12、19、20 堆场作为海铁联运集装箱堆场，空中轨道车布置在堆场轨道吊悬臂下，见图 3。转运模块智能导引车（IGV）进行集装箱的不同集疏运方式的转换，满足多点作业设计，通过科学合理的配置，最终可实现集装箱码头海铁联运堆场和铁路集装箱中心站堆场共享，充分利用了堆场资源。

水运工程

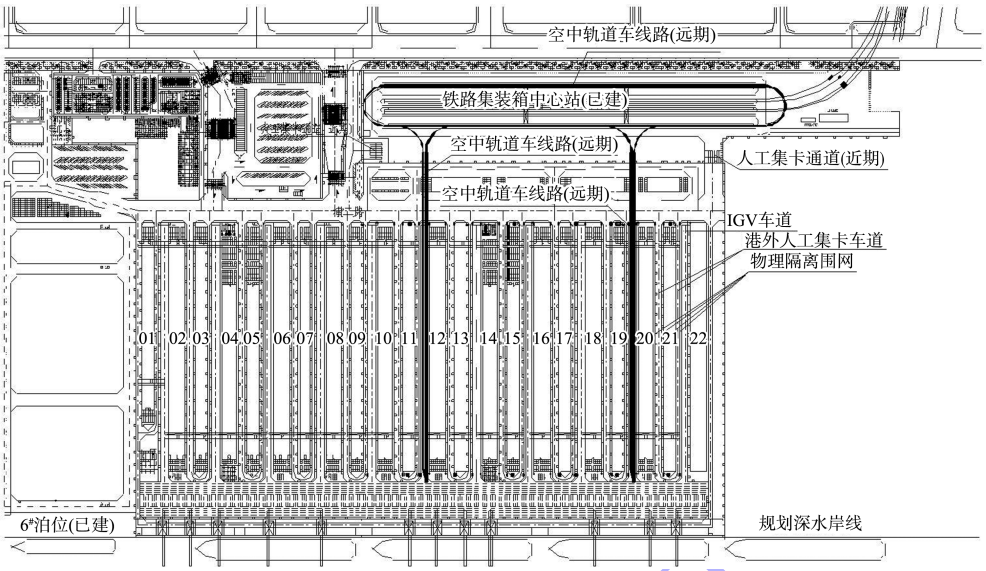

图 2　空中轨道路线规划

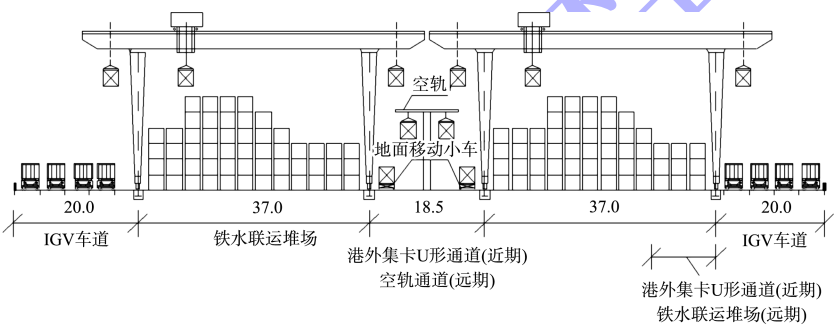

图 3　码头堆场空中轨道车工艺断面（单位：m）

2.4　作业流程

近期：自动化集装箱堆场↔自动化集装箱轨道龙门吊↔集装箱牵引半挂车↔铁路集装箱中心站港口作业区轨道吊↔铁路集装箱中心站堆箱区/火车。

远期：自动化集装箱堆场↔自动化集装箱轨道龙门吊↔智能空中轨道车系统↔铁路集装箱中心站堆场作业区轨道吊↔铁路集装箱中心站港口堆箱区/火车，见图 4。

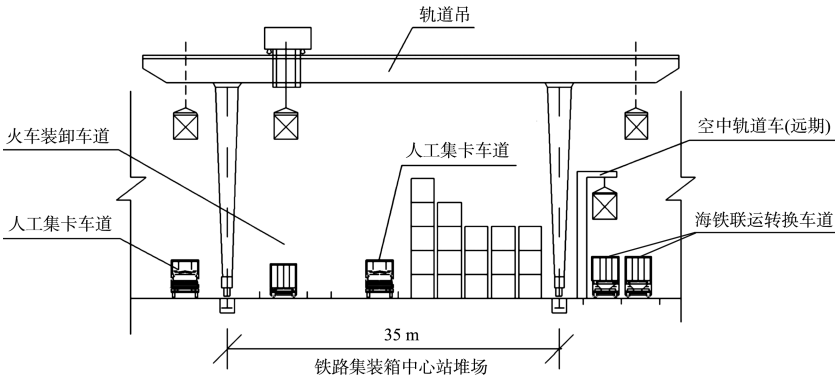

图 4　铁路集装箱中心站空中轨道车工艺断面

2.5 空中轨道车系统的主要组成

空中轨道车系统主要由货运动车、轨道系统、转运模块、供电系统、控制系统、信息系统 6 大子系统组成[6]：

1)货运动车。货运动车的转向架采用橡胶轮胎，全线路运行在封闭的轨道梁内部，噪声小，行驶路线的最大纵坡可达 8%，最小曲线半径 50 m。

2)轨道系统。主要包括轨道梁和桥墩，从使用功能、经济性、施工难易以及对交通的影响等方面综合考虑，轨道梁采用“梁-轨合一”形式底部开口的全钢焊接梁，桥墩可采用 T 形或门形的钢结构墩柱，考虑跨越道路和经济性，桥墩合理跨距 25~30 m，方便运输和安装，远期改造对生产的影响小，施工工期短。轨道系统的高度和位置的确定须满足与堆场轨道吊之间作业的需要。

3)转运模块。主要实现集装箱由其他运输方式与空中轨道车方式之间的迅速切换，满足智能控制、精准定位，实现零距离转驳、无缝化衔接，可通过自动导引车(AGV)、IGV 和人工集卡等完成转运模块的功能，空中轨道车在堆场的路线与港区内自动化区域相接，钦州港自动化集装箱码头堆场区采用 IGV 完成集装箱与空中轨道车衔接的切换。

4)供电系统。向线路范围内设备提供安全、可靠的电力供应，满足各系统的供电要求，系统沿线可在地面上合理设置变电所。

5)控制系统。由动车自动监控子系统、动车自动控制与调度子系统、信号联锁子系统和数据通信子系统等组成。

6)信息系统。提供集装箱运输运营的管理，并且集成远程监控功能，需要重点关注港口、铁路、海关等不同区域、不同系统的信息互通互联，做到一体化的协同管理，实现真正意义上的无缝衔接。

2.6 空中轨道车的优势

1)空中轨道车系统易实现无缝衔接，可有效缓解港内交通拥堵。空中轨道车悬挂于空中并确保足够的净空高度，可与港区内部的水平运输设备人工集卡构成立体式交通网络，互不干扰，可有效解决传统海铁联运通过人工集卡进行运输的方式增加港内交通交叉和拥堵的突出问题。

2)空中轨道车系统占用土地少。可提高土地的集约化利用，系统沿线占用地面空间的主要是空中轨道车的墩柱和供电的变电所，其他相关的供电系统、信号系统等均与轨道梁高度集成，不需要占用地面空间。

3)空中轨道车系统对改扩建的适应性好。工地现场主要是进行空中轨道车桥墩基础施工和上部系统的安装，桥墩基础小对已建铺面的破除修复不大，另外空中轨道车的主体结构及供电、信号系统等均可在工厂内完成预制，质量有保障，可大幅缩短现场施工的周期，施工时对码头生产影响小。

4)空中轨道车系统采用纯电驱动，环保性好，无废气排放，噪声小，对环境污染小，符合“双碳”目标的发展要求。

3 结语

1)针对国内大部分集装箱码头海铁联运仍存在受集疏运方式铁路和水路之间的“最后一公里”不畅的影响，钦州港全自动化集装码头提出了智能空中轨道车系统的设计，可实现海铁联运的无缝连接，为自动化集装箱码头海铁联运设计提供一种新思路。

2)空中轨道车系统的建设具有易实现无缝衔接、占用土地少、可有效缓解港内交通拥堵、对改扩建适应性好、现场施工工期短的优点，体现了新形势下绿色低碳的发展要求。

参考文献：

[1] 国家发展改革委.关于加快推进铁路专用线建设的指导意见: 发改基础[2019]1445 号[R].北京: 国家发展改革委, 2019.

(下转第 104 页)

水运工程