

大型枢纽集疏运道路系统设计思路浅析

高晓飞

(上海东方枢纽投资建设发展集团有限公司,上海市 200031)

摘要: 以东方枢纽浦东机场T3航站楼和上海东站的集疏运道路系统设计为例,详细介绍两个项目的工程概况、项目特点以及设计思路。通过对这两个项目的深入分析,总结出大型枢纽集疏运系统设计的思路,即以更高的通行效率、更高的安全性、更高的容错性为前提,结合实际项目开展大型枢纽集疏运系统的设计工作,基于设计原则,通过优化道路布局、合理组织交通流线、充分考虑与相邻工程的衔接,并制定科学的施工期间交通组织方案,以有效提高大型枢纽集疏运系统的通行效率和安全性。形成的规划理念与设计原则,可为国内同类型综合交通枢纽的体系构建、功能整合及多式联运组织提供思路指引,推进新型交通基础设施的集约化、智能化发展。

关键词: 交通枢纽;集疏运系统;道路设计;交通组织

中图分类号: U412.1⁺3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)06-0049-06

Brief Analysis of Design Thought for Large-scale Hub Transportation and Distribution Road System

GAO Xiaofei

(Shanghai Oriental Hub Investment and Construction Development Group Co., Ltd., Shanghai 200031, China)

Abstract: Taking the design of the transportation and distribution road systems for the Pudong Airport T3 Terminal and East Shanghai Railway Station in the oriental hub as an examples, the engineering overview, characteristics and design thought of two projects are introduced in detail. Through an in-depth analysis of these two projects, the design thoughts of large-scale hub transportation and distribution systems are summarized. Taking the higher traffic efficiency, higher safety, and enhanced fault tolerance as the premise, and combined with the practical projects, the design work and design principles of large-scale hub transportation and distribution system are conducted. By optimizing the road layouts, rationally organizing the traffic flows, fully considering the connections with adjacent projects, and developing the scientific traffic organization schemes during construction, the traffic efficiency and safety of large-scale hub transportation and distribution systems can be significantly improved. The formed planning ideas and design principles can provide the valuable references and insights for the system construction, functional integration and multi-link transportation organization of similar transportation hubs in China, and promote the intensive and intelligent development of new transportation infrastructure.

Keywords: transportation hub; transportation and distribution system; road design; traffic organization

0 引言

随着新型城镇化不断推进,交通运输结构调整,交通运输需求剧增,使得构建满足客流出行、货物高效输送的大型交通枢纽成为社会经济发展的一大基础性诉求。大型交通枢纽不仅需要具备高效的交通转换功能,还需要具备强大的集疏运能力,以满足大

量旅客和货物的进出需求^[1]。然而大型交通枢纽的集疏运系统设计面临着诸多挑战,如交通流量大、交通组织复杂、与周边交通网络衔接困难等。因此,深入研究大型枢纽集疏运道路系统的设计思路,对于提升枢纽的集散效率和交通保障能力,加强枢纽系统的安全性等方面具有关键性作用。本文以东方枢纽浦东机场T3航站楼和上海东站的集疏运道路系统设计为例,通过对这两个项目的深入分析,总结出大型枢纽集疏运系统的设计思路,旨在为国内同类枢纽的设计提供指导^[2]。

收稿日期: 2025-02-20

基金项目: 上海市科委科研计划重点项目(23DZ1202801)

作者简介: 高晓飞(1986—),男,硕士,高级工程师,从事工程建设管理工作。

1 工程概况

1.1 东方枢纽及周边路网总体概况

东方枢纽作为上海市重点打造的畅通国内国际双循环的世界级开放综合交通枢纽,其总体规模宏大,由浦东机场和上海东站共同组成。其中已建成的T1、T2航站楼年客运吞吐量为8 000~9 000万人次,在建的T3航站楼设计年吞吐量为5 000万人次,在建的上海东站年客运吞吐量为4 000~6 000万人次。该枢纽通过整合多元多模式交通于一体,旨在实现航空、铁路、公路等方式的快速对接,构建零换乘体系,为旅客提供便捷高效的出行服务。建设规模涵盖多个功能区域,包括航站楼、铁路站场、停车场以及配套的商业设施等,目标是建成新时代国际枢纽的新标杆。

根据已批复的《东方枢纽及周边地区专项规划(2025—2035年)》,东方枢纽选址距市中心人民广场33 km,规划形成“五横六纵”高快速路网架构,涵盖龙东高架、华夏高架、S1迎宾高速、S32申嘉湖高速、G1503绕城高速、S32外环高速及南北机场路—两港大道等主干线路,新增下盐快速路、南六快速路,预留凌空快速路的可能性,并规划新建周邓快速路以强化上海东站与浦东机场T3航站楼的交通联系。规划衔接全市轨交线网实施深化方案,布局7条市域线,包括东西联络线、机场联络线、南汇线、曹奉线、沪通线、机场快线(磁浮通道)、轨交16号线;在已规划2号线、11号线、21号线的基础上,预留2号线南延伸至东站的条件;新增唐黄路(张江加密线)、东方大道通道。围绕轨交覆盖薄弱区域,结合组团空间布局,规划构建“Q”形局域线环线通道,为东方枢纽及周边组团提供便捷、高品质的公共交通服务。通过优化枢纽布局,实现交通网络锚固和组团节点功能提升,协同功能中心规划实现“国际/国家级枢纽—城市级枢纽—市域级枢纽—节点级枢纽”四级枢纽体系。东方枢纽现状骨干路网如图1所示。

通过系统整合区域交通资源,全面提升交通运输组织效率,以人为本,为旅客创造更优质的出行体验。本文重点围绕T3航站楼与上海东站的交通集散体系,探讨大型复合式交通枢纽的规划设计策略。

1.2 浦东机场T3航站楼集疏运道路系统设计方案

浦东机场T3航站楼交通组织顶层规划框架聚焦构建旅客多模式的即时通行,其核心在于建立基于

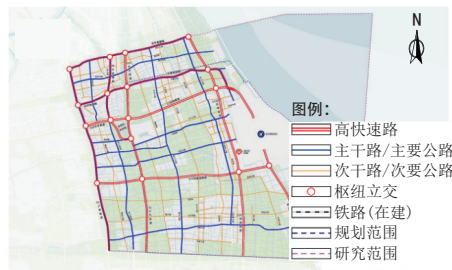


图1 东方枢纽现状骨干路网图

动态OD需求预测模型的立体化集疏运网络。该方案通过改建立交工程,优化道路布局,形成快速道路的集散系统。具体设计包括对现状S32—两港大道互通立交的改造,通过新建和改建匝道、辅道以及地面道路,实现与T3航站楼的高效连接^[3]。

在总体设计方案中,现状S23公路改造的共线段设计是关键部分之一。周邓快速路与S32公路交会节点设置双路径动态分流体系,基于交通流目的地分配实施多目标导向型分流机制。东向浦东机场路径依托现状S32道路进行既有设施提升型通道改造,维持双向8车道配置,重点承担空港客运运输职能;西向临港自贸区路径通过新建平行疏解通道,同步保持双向8车道建设标准,实施客货运输组织模式分离策略,服务临港片区客货运混合交通需求。这种设计不仅满足了不同方向的交通需求,还通过合理的路径选择减少了交通拥堵的可能性。

立交匝道的的设计也是方案的重要组成部分。该枢纽的立交系统采用三级分流架构,并配置10条定向匝道,形成复合型交通组织体系。一级分流系统包含6条干线接入通道,实现S32公路、南进场路及两港大道与航站楼出发/到达界面的连接;二级分流系统设置2条疏解通道,主要承担航站楼至S32公路的离港交通客流;三级转换系统布设2条跨区域衔接匝道,完成S32公路与两港大道间的通道转换,以提高立交匝道连接的灵活性。利用“接入—疏解—转换”三位一体的立体化布局,构建起分流调节机制。通过合理设置这些匝道,旅客可以方便地快速进出航站楼。同时立交匝道的的设计还充分考虑了交通流量的分布,通过合理的匝道布局减少了交通冲突点,提高了道路通行效率。

立交出入口的设计也是方案的重要内容。优化立交核心区功能布局,弱化外围道路的次要功能,出入口设置方案如下:共线段设置1对出入口,主要承担S32高速、周邓快速路与机场南工作区地面交通的衔接功能。核心区共布设4对匝道,通过立体化衔接道路系

统,实现了交通流的高效分层疏导,其布局逻辑与外围道路形成功能互补。核心区4对匝道位于关键节点,可服务内部快速循环、流量动态平衡、功能精准匹配等需求。通过这些出入口的合理设置,旅客可以方便地在不同道路之间转换,快速进出航站楼。同时,立交出入口的设计还充分考虑了交通流量的分布,通过合理的出入口布局减少了交通冲突点,提高了道路通行效率。T3航站楼集疏运道路系统概览图如图2所示。



图2 T3航站楼集疏运道路系统概览图

1.3 上海东站集疏运道路系统设计方案

上海东站集疏运道路系统总体设计方案遵循“南进南出、北进北出、南北连通、互为调剂”的交通组织原则。如图3所示,通过高架专用通道实现“到发分离、快慢分流”;避免进出站车流与城市交通平面交织;南北系统降低跨区干扰风险;紧急状态下通过零号匝道启动备用流线;该架构兼顾日常效率与极端工况韧性,确保上海东站的集疏运系统能够高效运行^[4]。



图3 上海东站集疏运道路系统概览图

南北集疏运主线按单向3车道标准建设,自周邓快速路西线起始,采用高架形式下穿站体上盖开发区域,随后抬升衔接站房落客平台,跨越铁路咽喉区后,南向主线折返接入周邓快速路西线,北向主线延伸至东线,形成南、北双向独立循环通道。这种设计不仅满足了北侧车流的进出需求,还通过高架形式减少了对地面交通的影响。

零号站台匝道的设计也是该方案的重要组成部分。该单向单车道应急匝道以30 km/h限速运行,南起S3接客下匝道,穿越站房二层结构层后接入北送

客系统离场上匝道,布设紧急停车带,实现特殊条件下车流快速疏散与安全避险功能集成。这种设计不仅满足了站台与车库之间的交通需求,还通过合理的匝道布局减少了交通冲突点,提高了道路通行效率。同时,零号站台匝道的设计还充分考虑了安全性和应急需求,通过设置紧急停车带等设施确保了交通的安全运行。

2 项目特点

2.1 T3航站楼集疏运道路系统项目特点

浦东机场T3航站楼集疏运道路系统项目难点主要体现在以下3个方面^[3]。

首先,如图4所示,T3航站楼集疏运道路系统实际上涉及对现状正在运行的立交的改建,内容复杂,涉及S32主线、匝道、辅道以及地面道路的改造,工程对于S32公路与浦东机场航站区方向的主线予以保留,对于两港大道与S32公路和航站区方向的4根匝道予以拆除重建,工程量大。复杂的工程内容不仅增加了施工难度,还提高了施工工程的精细化协同管控要求。

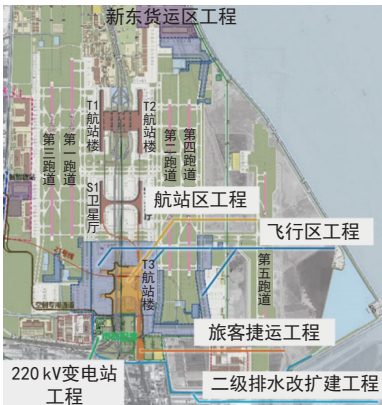


图4 T3航站楼周围施工工程

其次,与相邻工程关系复杂,项目周边存在轨道交通、空侧下穿通道工程以及机场T3航站区等多个工程,各工程之间的协调难度大。改建范围内分布有以下重大工程:轨道交通方面需预留磁悬浮通道、南汇线、陆侧捷运线、机场联络线;机场飞行区方面有连接机场南北滑行道的空侧下穿通道穿越集疏运系统。管线方面,有老港垃圾填埋场去往白龙港污水处理厂的垃圾渗滤液管穿越集疏运系统。在空间毗邻工程集群的叠加效应下,施工管理面临多维界面冲突,以及施工工程与交通服务的时空耦合双重挑战,交通自组织的持续运行受到一定程度影响,亟需配置及时响应的交通路径流线设计和引导。

最后,施工期间对于已通车的交通保障畅通是一大难点。由于浦东国际机场客流量大,施工期间需要合理安排车流绕行或建立临时道路,确保周边交通不受影响。结合现有实时监控的整体交通运行态势、交通流向特征以及未来施工需求,工程期间规划车流绕行路径(见图5),配置准确的引导设施和客流响应式的出口方案。施工期间的交通组织需要充分考虑现有交通流量和未来交通需求,通过合理的交通疏导措施确保周边交通畅通。同时施工期间还需要加强与相关部门的沟通协调,及时解决施工过程中出现的交通问题。

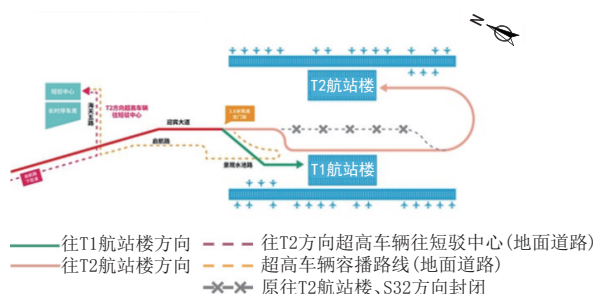


图5 浦东国际机场航站楼车流绕行路线

2.2 上海东站集疏运道路系统项目特点

上海东站集疏运道路系统项目难点主要集中在交通流量的不均衡性^[4]。由于地理位置(见图6)的原因,上海东站北侧的客流较多,在交通流量的不均衡性方面,根据项目的交通流量预测结果,北侧车流占比过高,为60%~70%,相比于南侧车流高出近一倍。

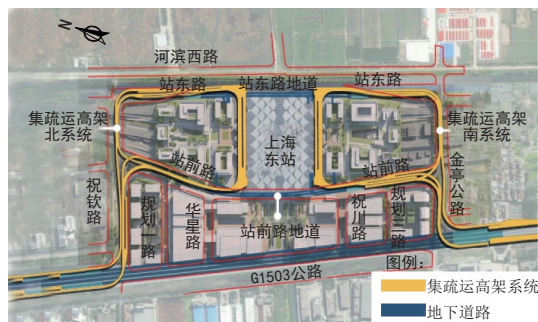


图6 上海东站集疏运道路工程

为解决交通需求不均衡、交通组织不充分的问题,首先在道路集疏运外围通过交通引导、动态调整的交通组织等一系列手段平衡南北两侧的车流,借助站东路等快速路对交通进行分流,尽量引导交通流利用南系统进出上海东站,减轻北系统的压力。

其次,充分利用上海车站的地下空间,设置站东路、站前路两条地下通道,贯穿南系统和北系统,构建南北片区的高效互联。由于南系统和北系统直线距离仅有 500 m,所以利用地下通道可以方便地实现南北系统的交通调剂,从而通过引流的方式将北系

统过大的客流压力转移到南系统中,避免北系统过于拥挤、南系统过于空闲的资源浪费和供需失衡情况。一方面有效地缓解了客流过于集中带来的服务压力,另一方面地下通道的设置也比较符合站城融合的设计理念,能更好地提高枢纽节点的城市活力^[5]。

再次,优化北系统与停车库之间的联系。北系统设置了高架快速系统和地面道路分别直通车库匝道,提前分流,避免交通流全部拥堵在高架出发层。该方案通过优化交通组织,确保车流能够高效、安全地进入北车库,同时避免对地面交通造成过大压力。这种交通组织方式不仅需要考虑车流的高效性,还需要考虑交通安全和环境保护等因素,增加了设计和实施的难度。

3 设计思路浅析

3.1 两个大型枢纽集疏运道路系统的不同特点分析

(1)外部现状条件的差异

T3 航站楼北侧紧邻机场飞行区 (见图 7), 这限制了集疏运系统的有效布置。因此 T3 航站楼的集疏运道路系统只能集中在航站楼南侧, 并需要对现有的 S32 公路立交进行改建, 故 T3 航站楼的集疏运系统主要依赖南侧的 S32 公路和周邓快速路进行疏散, 而北侧的机场路则作为辅助集疏运系统主要服务于 T1 和 T2 航站楼。相比之下, 上海东站的集疏运道路系统由于土地已经完成收储, 并且车站本身采用腰部落客的设计, 因此有条件在南北两侧分别布置集疏运系统。这种条件为上海东站提供了更大的灵活性和便利性, 使其能够更有效地进行交通组织和管理。

(2) 站本体构型的差异

T3 航站楼由于飞行区岸线较长,创造性地采用了双航站楼的构造模式,分为国际和国内两个航站楼,分别对应南北两个交通中心。整个航站区的尺度较大,南北长度约 1 km,这对外围集疏运系统提出了更高的要求。相比之下,上海东站的站本体长度约 500 m,采用腰部落客的方式,使得南北两侧都有条件完成集疏运道路系统的展线。此外,由于上海东站的站本体尺度较小,南北系统还可以通过地下联通的形式实现交通流的互相调剂,进一步提高了交通组织的灵活性和效率。

(3) 交通流来源的差异

T3 航站楼位于浦东机场的南侧区域, 主要的高速快速路包括 S32 公路和周邓快速路均位于航站楼南

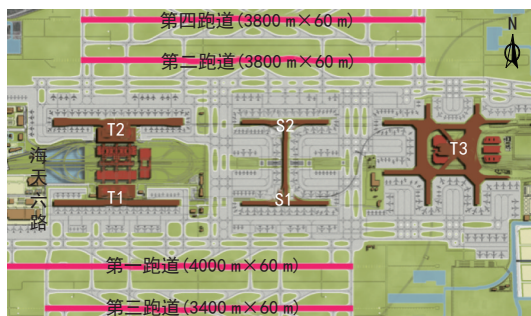


图7 T3航站楼周围布局图

侧。因此,外部交通流只能从南侧的 S32 公路和周邓快速路进出机场。这种单一的交通流来源对集疏运系统的设计提出了更高的要求,需要确保南侧道路的高效运行。相比之下,上海东站北侧为周邓快速路,南侧为 S32 公路,有条件从南北两侧分别进出站本体。这种布局为外围更大范围调剂交通流创造了有利条件,使得上海东站能够更灵活地应对不同方向的交通需求,提高了交通系统的整体效率。

3.2 两个大型枢纽集疏运道路系统的共同特点分析

(1)均为提高集疏运道路系统的通行效率

T3 航站楼系统在优化道路布局方面,通过改建立交工程,形成快速道路集散系统,提高通行效率。具体措施包括新建和改建匝道、辅道以及地面道路实现与 T3 航站楼的高效连接。同时,通过合理规划交通流线,减少交通冲突点,提高道路通行能力。此外,还需要加强与周边道路网络的衔接,确保交通的顺畅流动。上海东站系统在交通组织原则方面,遵循“南进南出、北进北出、南北连通、互为调剂”的原则,通过高架集疏运系统实现车辆的快速进出,提高通行效率。具体措施包括合理规划高架集疏运系统的布局,确保车辆能够快速进出枢纽。同时,通过重构交通流线组织模式,系统性消除平面交叉冲突节点,实现通行效率和通行能力的定向提升;同步强化与区域快速路系统的多层级衔接,构建“主干快速疏解-支路弹性承载”的压力梯度式疏解模式,形成高韧性运行架构。

(2)均为提高集疏运道路系统的安全性

虽然 T3 航站楼主要的集疏运出入口集中在航站楼的南侧,但为了提高集疏运道路系统的安全性,仍然保留了利用南北进场路通过 S1 迎宾高速和华夏高架进出航站楼的可能性。一旦南侧出现了重大安全隐患,可引导车流快速通过北系统进行集散。上海东站则通过南北系统的互联互通(见图 8),可以便

利的实现集疏运道路系统的调剂,确保整个道路运行状况的安全。同时为确保北侧系统的快捷疏散,设置了集疏运高架和地面道路直通车库的匝道,确保多点进出,多路集散。

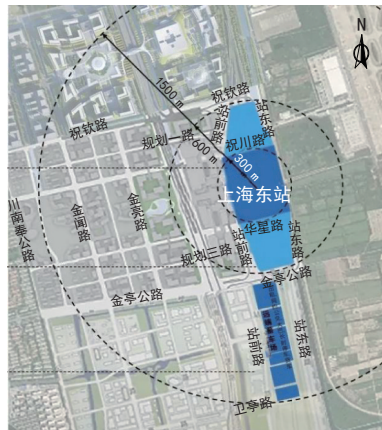


图8 上海东站场站布局图

(3)均为提高集疏运道路系统的容错性

虽然 T3 航站楼的国际和国内航站楼无直接联通的匝道系统,为了便于司乘人员进行转换,一旦出现识别失误导致走错,可利用地面道路和南纬八路上匝道进行转换。上海东站则主要利用站东路和站前路实现了南北系统的调剂,且由于站本体空间尺度较小,故系统的容错性较易实现。

3.3 总体设计原则

结合上述工程概况和项目难点,大型枢纽集疏运系统的设计原则应为更高的通行效率,更高的安全性,更高的容错性。更高的通行效率意味着通过优化道路布局和交通组织,确保车辆能够快速进出枢纽,减少旅客的等待时间。更高的安全性则要求在设计中考虑多种交通方式的衔接,确保在某一交通方式出现问题时,其他方式能够及时补充,保障交通的连续性。更高的容错性是指在设计中充分考虑各种可能的突发情况,通过合理的交通组织和设施布局,确保在出现意外时能够迅速恢复交通秩序。现有的枢纽建设中,相应的设计原则尚且未能得到有效应用^[6-7]。

在更高的通行效率方面,通过优化道路布局 and 交通组织,确保车辆能够快速进出枢纽,减少旅客的等待时间。具体措施包括合理规划道路网络,优化交通流线,减少交通冲突点,提高道路通行能力。以“引流”为原则,分摊交通压力,通过动态交通诱导、多路径分流及错峰出行引导等措施,实现供给服务设施与交通需求的动态匹配,做到快进快出的集疏散策略^[8]。与此同时,同步集成智能化交通管控体

系与新一代数字基础设施,通过全域感知路网、自适应信号控制算法及数字孪生管控平台等关键技术应用,实现交通流时空资源利用率的精准优化,从而系统提升区域路网通行效能^[9-11]。此外,强化区域路网系统与枢纽节点间的多层级协同,构建高效的交通模式转换,增强出行节点的连续性,确保路网负载均衡与稳定^[12]。

在更高的安全性方面,要求在设计中考虑多种交通方式的衔接,确保在某一交通方式出现问题时,其他方式能够及时补充,保障交通的连续性。具体措施包括合理规划不同交通方式的布局,确保它们之间能够相互补充和支持。同时,通过建设备用的交通设施和通道,提高交通系统的冗余度和可靠性。此外,还需要加强交通设施的维护和管理,确保它们在关键时刻能够正常运行。

在更高的容错性方面,需要在设计中充分考虑各种可能的突发情况,通过合理的交通组织和设施布局,确保在出现意外时能够迅速恢复交通秩序,增强枢纽节点的交通韧性^[13]。同时,需要加强交通信息的发布和引导,确保旅客能够及时获取交通信息,合理安排出行。

4 结 语

通过对东方枢纽浦东机场T3航站楼和上海东站集疏运道路系统设计的深入分析,探讨了大型枢纽集疏运系统设计的关键问题和解决方案。研究表明,通过优化道路布局、合理组织交通流线、充分考虑与相邻工程的衔接、制定科学的施工期间交通组织方案,可以有效提高大型枢纽集疏运系统的通行效率和安全性。同时,本文提出的“更高的通行效率,更高的安全性,更高的容错性”的总体设计原则,为大型枢纽集疏运系统的设计提供了重要的指导思想。

在未来的研究和实践中,应进一步加强对大型枢纽集疏运系统的动态交通仿真和智能化管理技术的研究^[14-15],以更好地应对日益增长的交通需求和

复杂的交通环境。此外,还需要注重枢纽集疏运系统与城市交通网络的协调发展,实现交通枢纽与城市交通的无缝对接,为旅客提供更加便捷、高效的出行体验。本文的研究成果不仅为东方枢纽的建设提供了有力支持,也为国内其他大型枢纽项目的集疏运道路系统设计提供了有益的参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 丁明霞,王军丽.武汉天河机场扩建周边道路交通需求及适应性分析[J].公路,2009(11):148-153.
- [2] 高晓飞.某枢纽集疏运系统工程方案交通组织设计分析[J].上海公路,2024(1):176-180;194.
- [3] 秦灿灿,刘武君.浦东国际机场一体化交通中心[J].城市规划汇刊,2004(6):74-77;96.
- [4] 高晓飞.上海浦东国际机场T3航站楼建设配套的S32立交改建总体方案设计[J].城市道桥与防洪,2024(3):28-30.
- [5] 李春蕾,方健,殷炜.基于站城融合理念的上海东站综合交通枢纽设计策略[J].铁路技术创新,2024(3):126-133.
- [6] 鲁彦汝,李永翠,李波,等.自动化集装箱码头智能空轨集疏运系统实现[J].水运工程,2024(9):223-227;232.
- [7] 王昊.边缘站向中心站转变背景下的枢纽集疏运设施布局方法及站前区开发强度控制方法研究——以南通火车站为例[C]//绿色数智·提质增效——2024年中国城市交通规划年会论文集.北京:中国城市规划学会城市交通规划专业委员会,2024.
- [8] 刘鑫垚.渝西高铁北碚南站集疏运道路规划研究[J].西部交通科技,2024(11):207-209.
- [9] 钱振亚.通行能力瓶颈影响下的枢纽交叉口信号自适应控制策略及应用[D].廊坊:北华航天工业学院,2023.
- [10] 戴平,冯敬然,黄乃斌.铁路客站综合交通枢纽信息系统建设方案研究[J].铁道经济研究,2022(增刊1):210-213.
- [11] 罗巨翔.基于拥堵疏解方案的某枢纽互通交通标志标线优化研究[J].工程技术研究,2024,9(24):45-47.
- [12] 马士江,张安锋.国际枢纽机场与铁路车站空铁融合策略研究——以浦东国际机场与铁路上海东站为例[C]//创新驱动与智慧发展——2018年中国城市交通规划年会论文集.北京:中国城市规划学会城市交通规划专业委员会,2018.
- [13] 李占平,陈慧青,张银星.国家陆港型枢纽城市物流韧性时空演变及其影响因素研究[J].河北企业,2024(12):58-61.
- [14] 兰亚京,张鑫,顾文津.站城一体枢纽地区交通仿真评估研究与实践[C]//绿色·智慧·融合——2021/2022年中国城市交通规划年会论文集.北京:中国城市规划学会城市交通规划专业委员会,2022.
- [15] 陈炜,姜雪明,奚燕.基于数字孪生的交通枢纽火灾模拟与疏散仿真研究[J].绿色建造与智能建筑,2025(1):28-32;63.