文章编号：1003-1421(2026)03-0080-11
引用格式：杨国元，李昊光，戴建强，等.铁路客运综合交通枢纽旅客一体化接驳出行服务研究[J].铁道运输与经济，2026，48(3)：80-90.
YANG Guoyuan，LI Haoguang，DAI Jianqiang，et al. Research on Integrated Passenger Transfer Travel Services in Comprehensive Transportation Hubs for Railway Passenger Transport[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(3)：80-90.

铁路客运综合交通枢纽旅客一体化接驳出行服务研究

杨国元[1]，李昊光[2]，戴建强[1]，李　阳[1]

(1.中国铁道科学研究院集团有限公司 电子计算技术研究所，北京　100081；2.中国国家铁路集团有限公司 客运部，北京　100844)

摘　要：为提高综合交通枢纽旅客出行的接驳换乘效率及智能化、便捷化服务水平，有必要对旅客一体化接驳出行服务进行研究。分析综合交通枢纽旅客一体化接驳出行需求，提出针对数据层、技术层、业务层及展现层的旅客一体化出行服务框架，构建数字底座，设计数据共享融合、接驳引导、一体化定位导航、多模式融合闸机等应用场景，并选取枢纽内外一体化定位导航应用、枢纽多模式融合闸机系统进行验证。针对枢纽内外一体化定位导航应用，通过北京南站、北京西站、上海虹桥站等枢纽车站的试点，为旅客提供枢纽内外一体化接驳引导、全行程路径规划等，同时验证北京西站铁路到达旅客换乘南广场出租车预计等车时长的准确性，为旅客选择不同换乘交通工具提供决策支持。针对多模式融合闸机系统，在北京西站和中仓站北京市郊铁路城市副中心线进站口试用，实现国家铁路与北京市郊铁路城市副中心线验检票业务的共融，为综合交通枢纽旅客一体化接驳研究提供参考。

关键词：综合交通枢纽；旅客一体化接驳出行；数据共享；一体化定位导航；多模式融合闸机

中图分类号：U293.1　　**文献标识码**：A　　**DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250630005

Research on Integrated Passenger Transfer Travel Services in Comprehensive Transportation Hubs for Railway Passenger Transport

YANG Guoyuan[1]，LI Haoguang[2]，DAI Jianqiang[1]，LI Yang[1]

(1. Institute of Computing Technology, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China; 2. Passenger Transport Department, China State Railway Group Co., Ltd., Beijing 100844, China)

Abstract: To enhance the intelligent and convenient service level and improve the efficiency of transfer connections of passenger travel in comprehensive transportation hubs, it is necessary to conduct research on integrated passenger transfer travel services. The demands for integrated passenger transfer travel in comprehensive transportation hubs were analyzed. An integrated passenger travel service framework covering the data layer, technical layer, business layer, and presentation layer was proposed. A digital foundation was constructed, and application scenarios were designed,

收稿日期：2025-06-30　　**修订日期**：2026-01-07
基金项目：中国铁道科学研究院集团有限公司科研项目(2024YJ114)

including data sharing and integration, transfer guidance, integrated positioning and navigation, and multi-mode integrated gate. Integrated indoor-outdoor positioning and navigation application of the hubs and multi-mode integrated hub gate system were validated. For integrated indoor-outdoor positioning and navigation application of hubs, trials at hub stations such as Beijingnan Station, Beijingxi Station, and Shanghai Hongqiao Station provided passengers with integrated indoor-outdoor transfer guidance in hubs and full-journey route planning. The accuracy of the estimated taxi waiting time for railway arrivals at Beijingxi Station transferring to South Square was verified, offering decision-making support for passengers choosing different transfer tools. For the multi-mode integrated gate system, it is being piloted at the entrances of the Beijingxi Station and Zhongcang Station of the Beijing Suburban Railway Line Sub-center, achieving the integration of ticket validation and checking services between national railway and Beijing Suburban Railway Line Sub-center. This study provides a practical reference for research on integrated passenger transfer in comprehensive transportation hubs.

Keywords: Comprehensive Transportation Hub; Integrated Passenger Transfer Travel; Data Sharing; Integrated Positioning and Navigation; Multi-Mode Integrated Gate

0　引言

近年来，高速铁路骨干网已基本形成，地方铁路建设不断加速，铁路骨干网与地方铁路互联互通需求越来越强，长三角、珠三角等城市群轨道交通互联互通发展也已进入关键期，综合交通枢纽连接了城市与车站的功能，四网融合的发展离不开综合交通枢纽这一抓手。《国家综合立体交通网规划纲要》指出，“十四五”期间应推动干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路融合建设，实现设施互联、票制互通、安检互认、信息共享、支付兼容。《综合运输服务“十四五”发展规划》(交运发〔2021〕111号)指出，建设多层级一体化综合交通枢纽，推动新建综合客运枢纽各种交通方式场站集中布局、空间共享、服务协同、立体或同台换乘，打造全天候、一体化换乘环境。综合客运枢纽是各种交通方式间的衔接点，将重要交通站点与城市空间紧密融合，枢纽的建设不仅要考虑便捷高效的交通功能，还要发挥轨道交通引领城市发展的效能，其集散、引导作用直接影响城市交通枢纽内外部交通环境。铁路综合交通枢纽作为铁路运输中的重要环节，直接影响乘客的出行体验。目前，已建成的上海虹桥、杭州西、广州白云，以及在建的重庆东、上海东、深圳西丽等综合交通枢纽，都集铁路、地铁、公交、出租车等多种交通方式于一体，空间结构复杂、占地面积庞大，旅客的便捷通行与接驳换乘变得尤为重要。

洪泰[1]从旅客换乘需求出发，建立基于旅客需求的服务设施优化指标体系，构建高铁枢纽站服务设施优化模型，在满足旅客最大化需求及优化资源配置最小的条件下进行求解，为枢纽站服务设施优化决策提供理论依据。王承琳等[2]分析综合交通枢纽出行者对换乘地铁、公交、出租车等交通工具的时间、距离、费用、导向标识的重要性感知和满意度，提出从换乘空间场所营造、停车换乘模式推行和票制票价制定3方面着手，提升出行者换乘效率和综合交通枢纽服务水平。包丹文等[3]针对机场综合交通枢纽旅客出行的便捷性和时效性，构建评价指标体系，提出评价方法，最后从步行交通设施设置方面提出针对性优化策略，通过验证，旅客整体步行便捷性提高8.2%。林建新[4]分析综合交通枢纽导向标识设置原则和方法，提出基于移动行为感知的分级导向标识布设方法，使得导向标识的服务质量明显改善，枢纽内旅客出行路径更为合理、视觉效果更佳，提升旅客出行效率。曾忠忠等[5]基于网络点评数据，对北京西站接驳交通、功能空间、设施等方面进行剖析研究，指出公交站与枢纽衔接程度薄弱、站点距离枢纽较远、旅客步行距离长、城市功能弱等问题，提出换乘旅客减少穿梭空间次数、公交车次与换乘客流到达时间匹配等建议，为枢纽建设或更新提供研究思路。翁湜元[6]提出铁路综合枢纽车站换乘引导信息服务平台，通过采集、融合枢纽多种交通工具数据，为旅客提供准确、便捷、较为全面的换乘引导信息服务，提升旅客换乘效率。陈辉[7]重点从枢纽内换乘设施规模、枢纽外接驳交通等候设施、接驳交通车辆数及接驳交通疏散运能匹配等方面，建立城市多模式交通枢纽转换能力计

算模型，设计求解算法并进行验证，有助于提高各种交通网络高效衔接和协同能力。谭隆友等[8]以重庆东站综合交通枢纽为例，构建枢纽内部交通、用地衔接、公交场站、慢行设施等组成的规划体系，实现一体化交通换乘衔接。马锐[9]以深圳西丽综合交通枢纽为例，通过交通场站布局、外部交通接驳及内部换乘流线组织等设计，减少枢纽接驳车辆拥堵、旅客换乘体验差等交通组织问题。上述学者从综合交通枢纽旅客换乘需求、换乘时间、服务设施优化、导向标识设计及换乘指标评价等多方面进行分析研究，尚缺乏从多模式交通信息整合与出行服务一体化的视角开展系统研究，尤其在跨方式、全流程的服务协同与连续引导方面仍存在不足。

在此基础上，创新性提出旅客一体化接驳出行服务框架，通过多运输主体数据共享与服务集成，实现旅客在不同交通方式间高效衔接与便捷换乘，并选取应用场景进行实证验证，为综合交通枢纽出行服务的系统优化提供参考。

1　旅客一体化接驳出行服务需求

以“满足人民日益增长的美好生活需要”为宗旨，综合交通枢纽内多种交通方式有机结合，是旅客多元化出行换乘的场所[10]，通过共享多种交通方式数据，整合旅客出行服务信息，在综合交通枢纽内为旅客提供清晰的标识引导、精准的位置导航、高效的验检票务，是旅客一体化接驳出行的核心需求。

1.1　交通枢纽接驳换乘引导需求

大型铁路客运综合交通枢纽空间结构复杂，多种交通方式分布在不同楼层，旅客走行距离长。为了满足旅客在枢纽内快速到达换乘交通工具目标位置的需求，迫切需要设计连续清晰的引导标识，围绕枢纽交通接驳换乘区域的动静态标识引导开展需求分析[11]，最大限度减少旅客的无效走行时间，实现对旅客的有效迅速转移。

（1）换乘交通工具走行距离标识引导优化需求。枢纽交通接驳换乘区域静态标识引导涉及换乘交通工具的指引，但只有方向指引，旅客无法清晰知道从当前位置到达换乘交通工具目标位置需要多长距离，旅客对换乘交通工具的选择只能自行判断，缺乏主动提示，容易造成旅客走行很长距离才能到达换乘位置，往往超出其预期走行距离。重点旅客、携带行李多的旅客，对距离引导需求更为迫切。因此，迫切需要优化换乘交通工具的静态标识设计，增加距离标识，引导旅客在枢纽内沿最短路径连续行进，快速到达目的位置，减少旅客无效走行距离。

（2）融合多种交通工具运营数据的标识引导需求。大型铁路客运综合交通枢纽内，旅客可换乘交通工具众多，但换乘交通工具的指引只有静态标识，缺少换乘每种交通工具预计排队时长、下一班次到达时间、车内拥挤度等数据标识。迫切需要通过融合多种接驳交通工具必要的运营数据，为旅客提供动态信息引导，以便旅客提前自行规划换乘交通工具，减少旅客无效停留时间。

1.2　交通枢纽内一体化定位导航需求

大型铁路客运综合交通枢纽建设规模大、空间结构复杂、功能丰富。旅客在换乘过程中对自身所处位置不清楚，换乘过程中需花费大量时间寻找出入口，一旦走错花费时间更多；接送站寻人不便，缺乏位置共享及定位导航；同时，枢纽内停车场、停车位众多，停车寻车困难。迫切需要围绕枢纽内旅客定位、导航、寻人寻车开展需求分析，最大限度提高旅客便捷引导效率，提升旅客的通行疏散速度。

（1）枢纽内旅客定位导航需求。枢纽建设规模大，换乘、接送站流线复杂，走行路径多变，旅客在枢纽内无法准确表达自己所处位置，换乘过程中，只能依靠静态标识自行判断，路线偏离无法及时感知，容易造成多走无效路线，费时费力。接站过程中，旅客无法准确描述位置，找人寻人困难。枢纽内多人组队寻人困难，相互找寻更难。迫切需要在枢纽内建立定位导航系统，实现对旅客自身定位及到达目的位置的路径规划和导航，同时实现多人位置共享，满足多人相互找寻的需求。

（2）融合多交通信息的智能引导需求。枢纽内旅客换乘不同交通工具，走行路线、走行时间、等待换乘时长各不相同，旅客只能靠静态标识前往换乘目的位置，往往到达后才发现排队人数众多或者车厢拥挤等问题，此刻再选择换乘其他交通工具，又需要走行、花费时间，且无法知道是否存在与当前换乘类似问题。迫切需要融合枢纽内多交通方式

的班次、到站时间、等候时长等必要的运营数据，基于定位导航系统[12]，为旅客规划适合不同需求的智能换乘引导路线[13]。

（3）枢纽内停车寻车需求。枢纽内存在社会车辆、出租车、网约车等不同功能的停车场，尤其社会车辆停车位众多，出入口较多，开车接送站司机停车后，再次寻车只能靠静态标识引导，快速定位车辆、准确找到车位较为困难。迫切需要基于定位导航系统，为接送站司机提供智能化停车寻车引导功能[14]，提高寻车效率，减少不必要的走行距离和时间。

1.3　交通枢纽多模式闸机一体化检票服务需求

大型铁路客运综合交通枢纽涉及国家铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、地铁等多种运输主体，各主体有独立的售检票系统，进出站刷码、刷证需要通过各自闸机，而且需要刷各自系统二维码验票，造成旅客一方面要寻找不同闸机、一方面要来回切换不同系统二维码，降低了旅客的通行效率及用户体验。迫切需要研制融合多种运输主体的一套闸机刷码出行，提高旅客的通行效率，减少旅客寻找不同闸机的成本。

2　旅客一体化接驳出行服务框架

围绕枢纽旅客一体化接驳出行服务需求，构建基于多交通数据及枢纽业务数据融合的底座，通过“数据+技术”赋能旅客出行业务场景，提升旅客接驳出行效率及服务质量。提出旅客一体化接驳出行服务框架如图1所示[15]，包括基础数据层、数据安全层、应用技术层、业务服务层及用户展现层。

（1）基础数据层。通过接入枢纽可获取国家铁路、航空、地铁、公交、出租/网约车、市域(郊)铁路等交通数据，以及枢纽地图、定位、导航等业务数据，形成数据底座，为旅客一体化接驳出行提供数据支撑。交通数据中，国家铁路数据主要包括：图定列车到发时间、列车正晚点、分时段到发客流等数据；地铁数据主要包括：列车到达时间、车厢拥挤度、发车间隔等数据；公交数据主要包括：公交车预计到达时间、车厢拥挤度、下一班预计到达时间等数据；出租/网约车数据主要包括：出租车排队数据、网约车接单数据等；市域(郊)铁路数据主要包括：列车到达时间、发车间隔等数据。业务数据主要包括：枢纽内定位信标、地图、导航、客

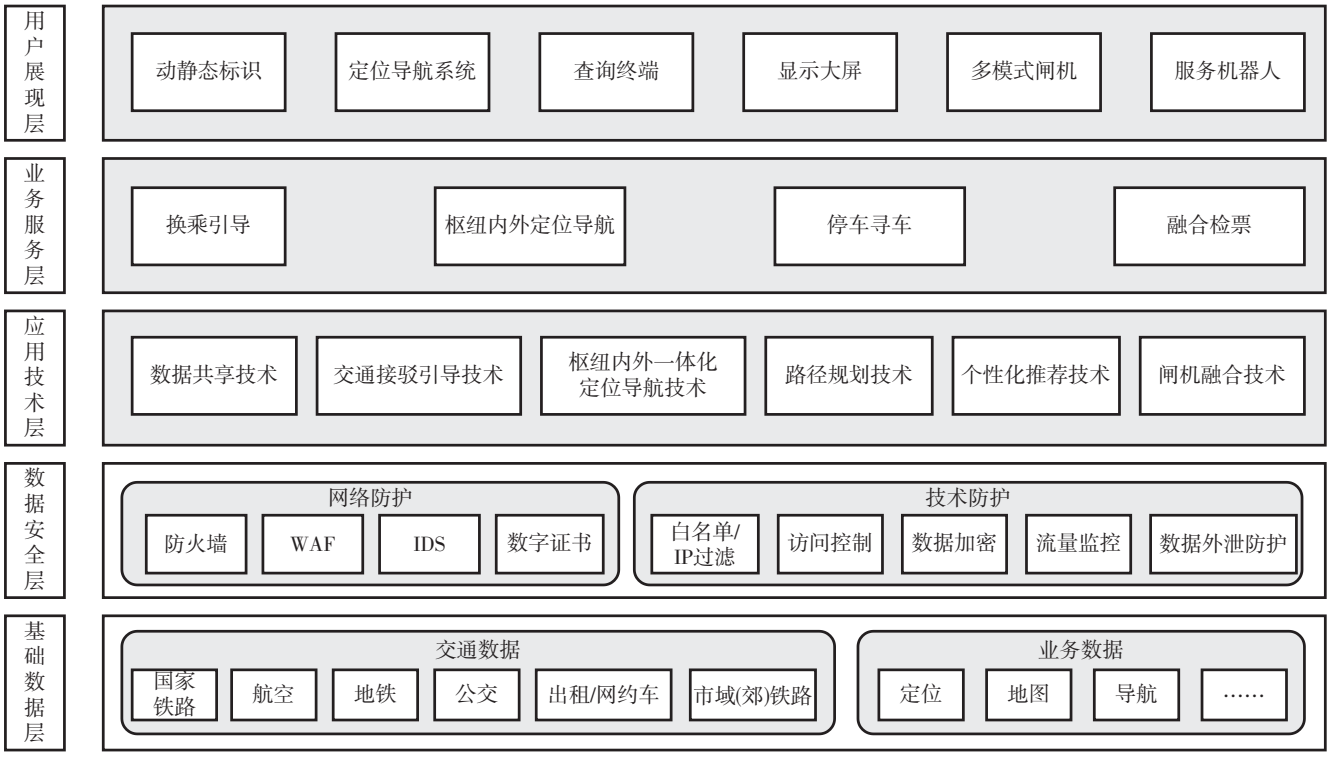

图1　旅客一体化接驳出行服务框架

Fig.1　Integrated passenger transfer travel service framework

流等数据。

（2）数据安全层。为了保障各交通数据及业务数据的接入、访问安全，从网络防护、技术防护2个方面进行保障。网络防护主要通过加装防火墙、Web应用防火墙(WAF)、入侵检测系统(IDS)、数字证书等进行防护，技术防护主要通过白名单(IP过滤)、访问控制、数据加密、流量监控、数据外泄防护来实现。

（3）应用技术层。通过汇聚融合交通数据及业务数据，以数据共享、交通接驳引导、枢纽内外一体化定位导航、闸机融合等技术为基础，以客流预测、路径规划、个性化推荐等智能技术为牵引，为实现旅客一站式、无缝化的接驳出行体验提供技术驱动，形成支撑上层创新应用的核心能力池。

（4）业务服务层。提供旅客一体化接驳出行的核心服务功能，包括换乘引导、枢纽内外定位导航、停车寻车、融合检票等出行服务，由“数据+技术”驱动，将分散的交通工具、设施与服务整合为一个有机整体，将复杂的枢纽出行转化为一段“可知、可感、可控”的流畅出行。

（5）用户展现层。是确保一体化服务“完整落地”的关键，是技术价值转化为旅客体验的最终载体。一体化服务设计通过动静态标识、定位导航系统、多模式闸机、服务机器人等多种形式来呈现，构建一个全覆盖、无断点的服务界面，确保旅客在不同场景下都能获得连续、统一的服务。

3　旅客一体化接驳出行服务应用

基于旅客在交通枢纽内接驳换乘引导、一体化定位导航、多模式闸机一体化检票的出行需求，设计了综合交通数据共享融合应用、基于深度学习的综合交通枢纽接驳引导应用、综合交通枢纽内外一体化定位导航应用、综合交通枢纽多模式融合闸机系统。

3.1　综合交通数据共享融合应用

建立安全可靠的综合交通枢纽数据共享平台，接入国家铁路、航空、地铁、市域(郊)铁路、公交等多运营主体的不同标准、不同格式的多模态交通数据。对接入数据进行清洗和标准化处理，建立基于时空基准统一的数据格式，对匹配缺项及不确定的数据进行预测补齐，实现对接入数据的标准统一，通过数据的深度评估，保证数据的安全、准确、稳定，为综合交通枢纽旅客出行一体化服务提供数据支撑。

（1）综合交通数据隐私保护机制。为了保障综合交通数据安全共享，构建综合交通数据隐私保护机制如图2所示，所有可共享的数据归属于数据源头的交通企业。在采集阶段，铁路获得航空、市政交通、市域(郊)铁路等授权后，采集可共享的数据，同时禁止从未知来源收集数据；在储存阶段，数据在进入各交通企业分析使用之前，对数据进行脱敏和加密处理，防止数据发生泄漏，同时，通过实时、全天候的监控服务，自动监测数据分析和异常行为，最大限度地降低隐私风险；在使用阶段，加密数据可以在数据分类管理下使用，同时，根据各交通方式相互确认进行最小化授权，并对授权数据进行使用记录审计；最后，各交通企业可以选择行使其删除权，抹去共享记录下来的信息或者解除授权。

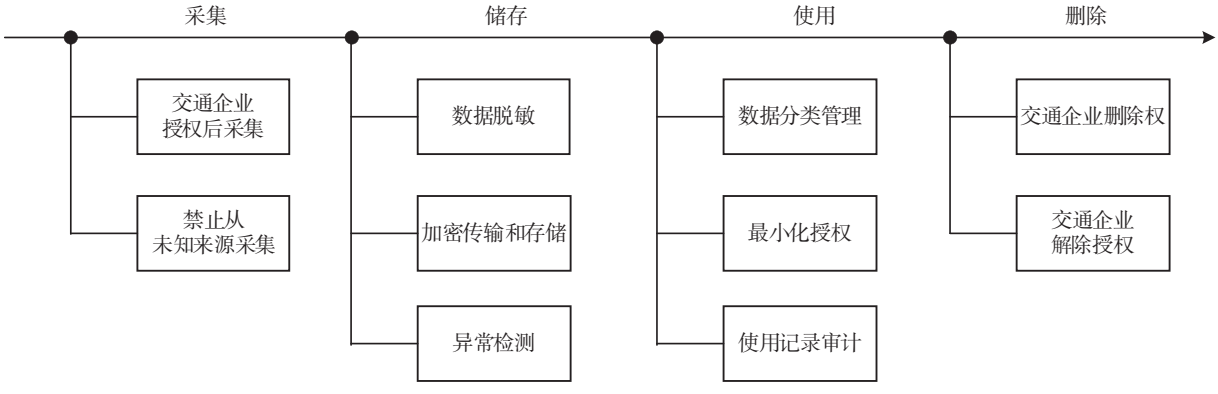

图2　综合交通数据隐私保护机制

Fig.2　Privacy protection mechanism for comprehensive transportation data

（2）综合交通数据共享交换逻辑框架。基于综合交通数据隐私保护机制，各交通企业提出可共享的数据及需要其他企业的数据，构建综合交通数据共享交换逻辑框架如图3所示，实现国家铁路、市政交通、市域(郊)铁路、航空等企业的交通数据安全共享交互。

（3）综合交通数据共享交换模型。基于综合交通数据共享交互逻辑框架，构建综合交通数据处理模型如图4所示，通过对国家铁路、航空、地铁等可共享交通数据的采集，完成对数据的清洗、转换、融合、对齐，并对数据的准确性、一致性、完整性等进行评估，保障数据的可用完整，支撑枢纽旅客一体化出行业务应用。

3.2　枢纽内引导标识优化设计

（1）静态标识优化设计。对传统静态标识进行优化设计，围绕旅客的空间距离感知及旅客在综合交通枢纽内随机分布特点[16]，在旅客换乘区域，构建以平面距离最短指引为目标的分级导向标识如图5所示，通过与传统无平面距离的导向标识对比，优化后的导向标识服务质量明显改善，旅客在出行换乘中路线选择更明确、视觉效果更佳。

（2）动态标识优化设计。通过接入枢纽内国家铁路、航空、地铁、市域(郊)铁路、公交等多运营主体的交通数据，优化枢纽动态标识[17]，在国家铁路出站口、枢纽换乘大厅及连廊等区域设置显示终端，动态展示国家铁路换乘地铁、市域(郊)铁路、

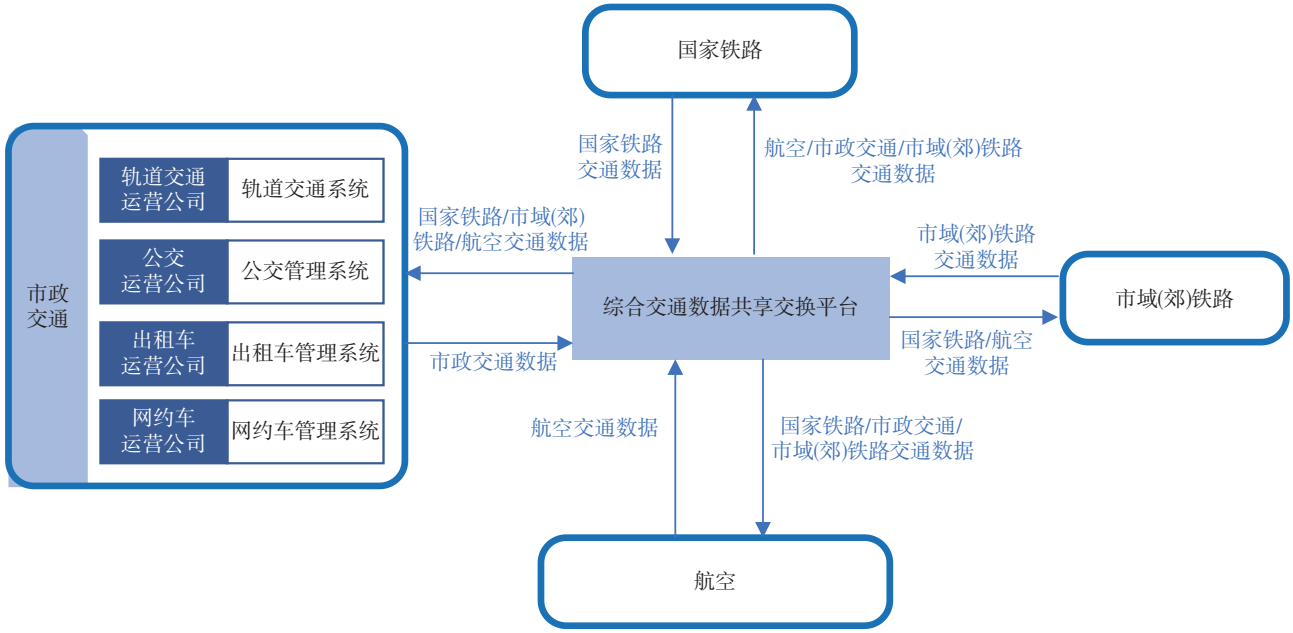

图3　综合交通数据共享交换逻辑框架

Fig.3　Logic framework for comprehensive traffic data sharing and exchange

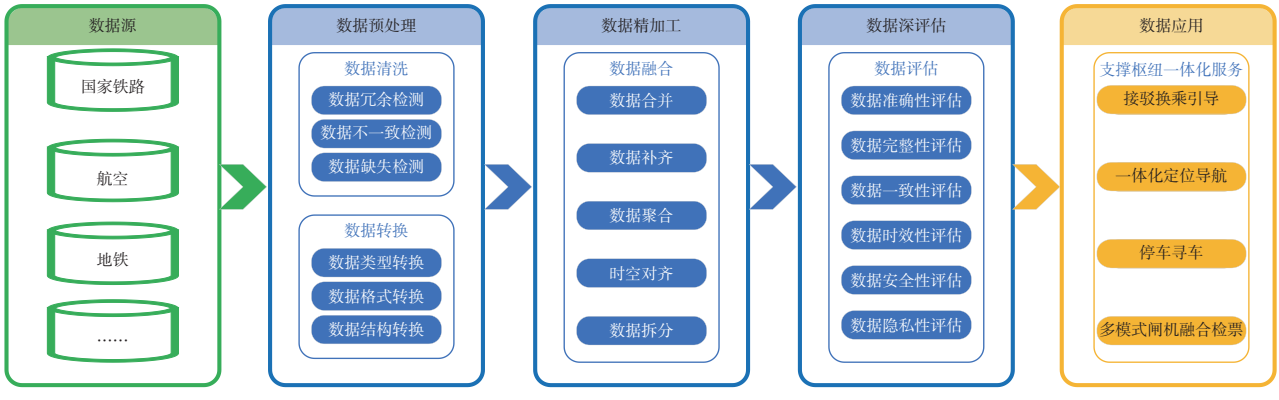

图4　综合交通数据处理模型

Fig.4　Comprehensive traffic data processing model

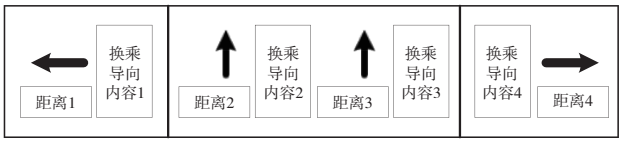

图5　以平面距离最短指引为目标的分级导向标识

Fig.5　Grading guidance signs targeting shortest planar distance guidance

公交等交通工具的班次到达时刻、列车拥挤度、排队长度等信息，也可在上述区域设置人机交互终端提供交互查询。

3.3　基于深度学习的综合交通枢纽接驳引导应用

通过接入国家铁路、公交、地铁、出租车等交通方式的运行数据，在枢纽换乘关键区域部署传感器、摄像头等设备，实时采集旅客进出数量、人流密度、行进速度等信息，获得枢纽内换乘客流实时数据[18]，将多模态异构数据进行时空对齐，构建基于深度学习的旅客换乘时长预测模型，预估旅客由国家铁路换乘其他交通工具的时长，该模型的核心任务是利用多模态实时数据，动态预测一位旅客从下车开始，到成功换乘下一程交通工具(如地铁、公交、出租车)所需的时长。模型构建方法如下。

3.3.1　输入层

接收并预处理来自枢纽内外的多源异构实时数据，将其转换为可供深度学习模型处理的标准化格式。模型的输入层由以下3个特征模块构成。旅客个体特征：描述旅客自身的实时状态，包括实时行进速度$v^{(t)}$、当前位置坐标($lat^{(t)}$，$lng^{(t)}$)，及目标换乘方式$m^{(t)}$(如地铁、公交、出租车，经One-Hot编码)。枢纽状态特征：描述枢纽内部关键区域的实时状态，包括各通道人流密度$den(t)$；各目标换乘区域排队人数$que(t)$，人；各通道平均行进速度$\bar{v}^{(t)}$，m/s。交通工具状态特征：描述各交通工具的实时调度与负载状态，包括地铁下一班车到达时间$\tau_{\text{sub}}^{(t)}$与拥挤度$cwd_{\text{sub}}^{(t)}$；公交下一班到达时间$\tau_{\text{bus}}^{(t)}$与预计满载率$loa_{\text{bus}}^{(t)}$；出租车等候区车辆数$num_{\text{taxi}}^{(t)}$，辆，与平均等候时间$wai_{\text{taxi}}^{(t)}$，min，等。

对所有数值型特征进行标准化处理如式(1)所示，消除量纲影响，加速模型收敛。

$$\tilde{x}_j = \frac{x_j - \mu_j}{\sigma_j} \tag{1}$$

式中：$\tilde{x}_j$为标准化处理后的特征值；x_j为原始特征值；μ_j，σ_j分别为该特征在训练集上的均值和标准差。

类别型特征进行One-Hot编码，最终所有处理后的特征被拼接形成一个统一的特征向量$\tilde{\boldsymbol{x}}^{(t)}$，输出给中间层、格式统一的标准输入为

$$\tilde{\boldsymbol{x}}^{(t)} = \text{concat}(\tilde{v}^{(t)},\ \widetilde{lat}^{(t)},\ \widetilde{lng}^{(t)},\ m^{(t)},\ \widetilde{den}^{(t)},\ \widetilde{que}^{(t)},\ \tilde{\bar{v}}^{(t)},\ \tilde{\tau}_{\text{sub}}^{(t)},\ \widetilde{cwd}_{\text{sub}}^{(t)},\ \cdots) \in \boldsymbol{R}^d \tag{2}$$

式中：d为特征总维度。

3.3.2　中间层

中间层是模型的核心，由3个顺序连接的模块组成，负责从标准化输入中提取高级特征并完成预测。

(1) 动态特征选择模块：通过一个轻量级注意力网络生成特征权重向量，实现自适应特征增强与抑制。

$$\boldsymbol{\alpha} = \sigma(\boldsymbol{W}_2 \cdot \text{ReLU}(\boldsymbol{W}_1 \cdot \tilde{\boldsymbol{x}}^{(t)} + \boldsymbol{b}_1)) \tag{3}$$

式中：$\boldsymbol{\alpha} \in [0,\ 1]^d$，为输出权重向量；$\sigma(\cdot)$为sigmoid函数；$\boldsymbol{W}_1$，$\boldsymbol{W}_2 \in \boldsymbol{R}^{d \times d}$，为可学习权重矩阵；$\boldsymbol{b}_1 \in \boldsymbol{R}^d$，为偏置向量。

$$\boldsymbol{x}' = \boldsymbol{\alpha} \odot \tilde{\boldsymbol{x}}^{(t)} \tag{4}$$

式中：$\boldsymbol{x}'$为加权后的特征向量，强化了重要特征，抑制了噪声无关特征；$\odot$为逐元素乘法。

(2) 时序特征提取模块：使用循环神经网络捕捉特征隐含的短期时序依赖关系。

$$\boldsymbol{h}_t = \text{LSTM}(\boldsymbol{x}';\ \boldsymbol{h}_{t-1}) \tag{5}$$

式中：$\boldsymbol{h}_t$为当前时刻(时间步t)的隐藏状态，编码了输入的时序信息；$\boldsymbol{h}_{t-1}$为前一个时刻(时间步$t-1$)的隐藏状态。

(3) 多层感知机预测器模块：将学习到的高级抽象特征通过一系列非线性变换映射到预测空间。引入Dropout层增强泛化能力，以防止过拟合。

$$\boldsymbol{a} = \text{Dropout}(\text{ReLU}(\boldsymbol{W}_3 \cdot \boldsymbol{h}_t + \boldsymbol{b}_2)) \tag{6}$$

式中：$\boldsymbol{W}_3$为全连接层权重；$\boldsymbol{b}_2 \in \boldsymbol{R}^d$，为偏置向量。

3.3.3　输出层

输出层是一个线性全连接层，输出最终的预测值。

$$\hat{y} = \boldsymbol{W}_4 \cdot \boldsymbol{a} + \boldsymbol{b}_3 \tag{7}$$

式中：$\hat{y} \in \boldsymbol{R}$，为模型预测的旅客从当前位置到完成目标换乘所需的时长，min；$\boldsymbol{b}_3 \in \boldsymbol{R}^d$，为偏置向量。

基于预测换乘时长，在旅客行走区域设置动态展示终端或自助查询终端，实时显示铁路到达旅客换乘其他交通工具预计时长，包括到达换乘交通工

具步行时长、等待换乘时长等数据，辅助旅客做好行程规划，减少接驳换乘时间，实现旅客的便捷接续换乘。

3.4　综合交通枢纽内外一体化定位导航应用

绘制综合交通枢纽内国家铁路车站、公交、地铁、出租车等分层/分区的高精度位置服务地图，接入枢纽外地图及路径规划数据，建立枢纽内外一体化路径规划，接入国家铁路、地铁、公交、出租车等交通数据，建立旅客购票车次、站内检票口、站台等客运信息与站内地图位置信息的叠加方法，基于蓝牙、惯导、卫星等多源融合定位技术[19]和枢纽内外在线引导及全程路径动态规划技术，设计基于语音识别、语义理解的枢纽客运服务场景的语音问答知识库，研发枢纽内外一体化智能导航应用，实现旅客在枢纽内外定位导航的无缝切换及对位置信息、服务信息的智能化语音搜索。枢纽内外定位一体化导航原理图如图6所示。

3.5　综合交通枢纽多模式融合闸机系统

通过设计综合交通枢纽多模式融合闸机，兼容国家铁路和地方票制检票进、出站，深度融合票卡业务处理[20]、检票界面展示、信息通信等内容，实现采用一套闸机完成旅客刷国铁票进出站或刷市域票进出站。多模式检票闸机主要包括国家铁路票务控制单元(以下简称“国铁控制单元”)、市域铁路票务控制单元(以下简称“市域控制单元”)、公共控制单元。国铁控制单元设置国铁工控机，完成对国铁购票旅客的检票、验票功能。市域控制单元独立设置市域工控机，完成对市域旅客检票功能。二者通过串口通信方式，将控制信号发送给公共控制模块，实现检票开闸、通行指示灯亮灭、蜂鸣器报警、检票显示等公共功能。多模式检票闸机系统融合原理如图7所示。

4　应用验证及效果

4.1　枢纽内外一体化定位导航

搭建枢纽内外一体化定位导航原型系统，在北京南、北京西、上海虹桥等枢纽车站开展了试点，验证了旅客全行程枢纽内外的一体化定位导航、路径规划及停车寻车功能。通过接入国家铁路、地铁、公交、出租车等运营主体交通数据，融合这些交通数据与枢纽内地图数据，同时接入枢纽外第三方地图数据，为旅客提供基于铁路票务、不同客流、不同旅客群体等条件的全行程智能动态路径规划及导航。融合多运营主体的枢纽定位导航系统如

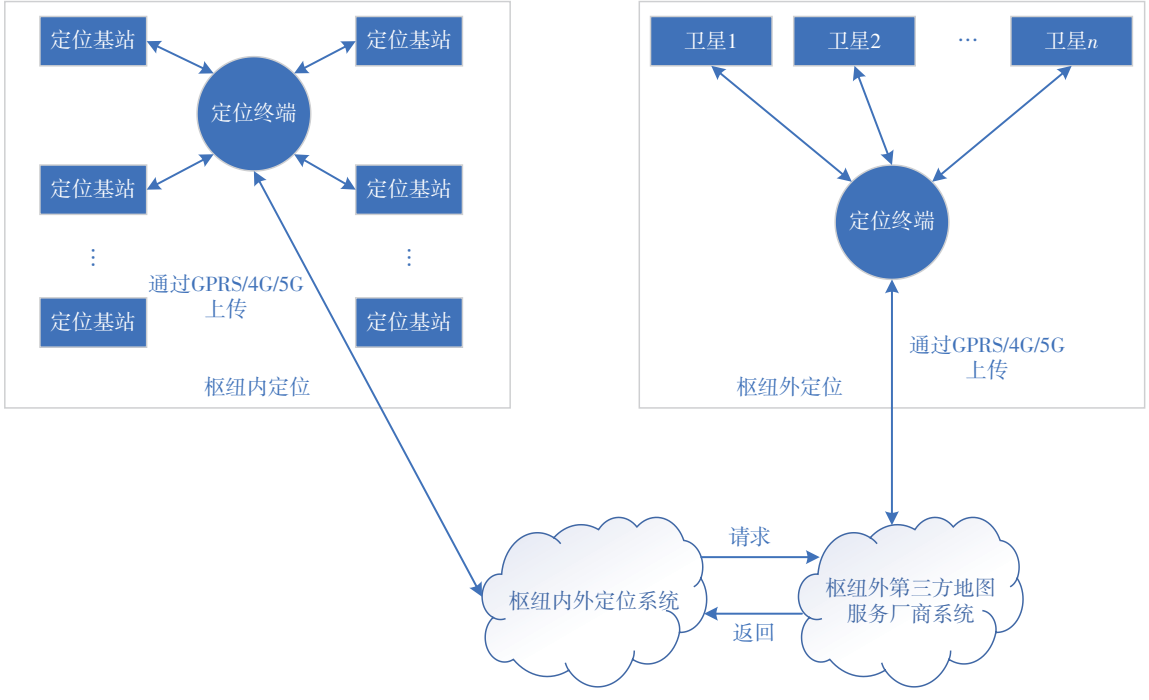

图6　枢纽内外定位一体化导航原理图

Fig 6　Integrated indoor-outdoor positioning and navigation principle of hubs

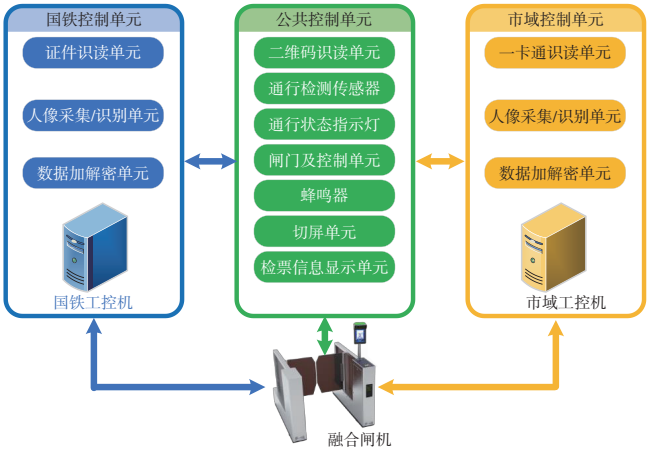

图7　多模式检票闸机系统融合原理图

Fig.7　Multi-mode fare gate system integration principle

图8所示。

基于站内定位终端及站外卫星定位，通过定位融合及定位切换算法，为旅客提供枢纽内外定位的自适应动态切换。通过构建基于动态特征选择的人工神经网络时间预测模型，在旅客换乘不同交通工具分担率相对固定且出租车到达车站数量稳定条件下，以2025年4月北京西站铁路到达旅客换乘南广场出租车为例，旅客换乘出租车的预估时长与实际时长对比如图9所示。其中，每天以2 h为1个阶段，对到达客流及换乘数据进行加权平均，可以看出9:00—10:59，15:00—16:59，21:00—22:59时间段的旅客换乘时长相对较短，主要与到达客流、到达出租车数量及旅客换乘其他交通工具有关，其他时间段换乘时长都有线性增长。同时预测换乘时长与实际换乘时长最大偏差在10%以内，因此，预估换乘时长，可以为旅客选择不同换乘交通工具提



图8　融合多运营主体的枢纽定位导航系统

Fig.8　Hub positioning and navigation system of integrating multiple operations entities

供决策支持。

4.2　多模式融合闸机系统

多模式融合闸机已在北京西站和中仓站北京市郊铁路城市副中心线(良乡—乔庄东)进站口投入试

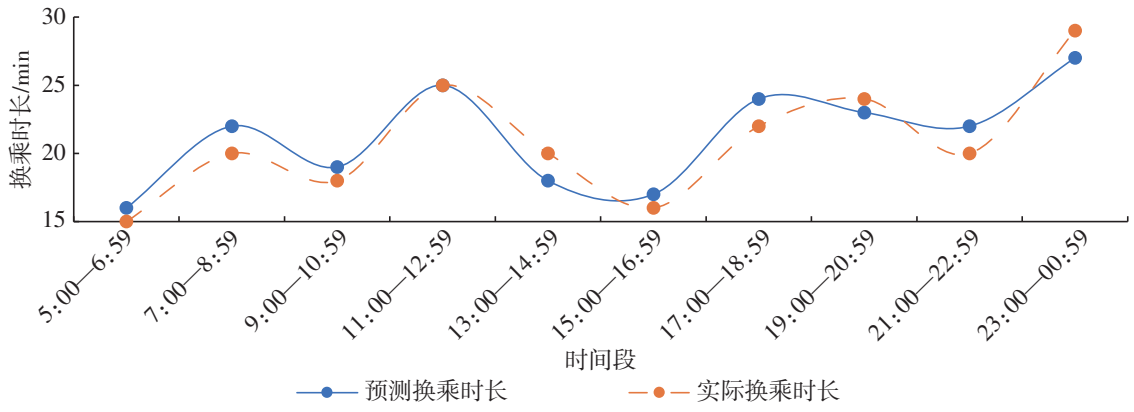

图9　旅客换乘出租车的预估时长与实际时长对比

Fig.9　Comparison of estimated time with actual taxi transfer time for passengers

用，将多种票制验检票功能融合在一个闸机中，支持身份证、中铁银通卡、铁路e卡通、北京市政交通一卡通、亿通行二维码的识读，在同一台闸机上实现了铁路票制和北京市城市轨道交通市政票制的识读，实现铁路身份证及二维码验检票业务和北京市郊铁路城市副中心线公交一卡通验检票业务，解决了异构票务系统间的互操作难题。

多模式融合检票闸机在2024年9月13日—10月14日测试期间，完成2 688单检票业务，其中持国家铁路客票旅客2 131人次，持城市轨道交通票卡乘客557人次，检票通道平均通行率达到20人次/min，且全程零故障运行。结果表明，该系统不仅有效提高了旅客通行效率和闸机资源利用率，也因集成融合设计减少了闸机布设数量，节约了站厅空间，降低了整体运维成本。同时，一体化检票机制避免了旅客因选错闸机通道而导致的刷票失败或出入阻滞，显著提升了出行的可靠性与便捷性。

5　结束语

通过对综合交通枢纽旅客一体化接驳出行需求的分析，提出旅客一体化接驳出行服务框架，研发面向数据共享融合、接驳引导、一体化定位导航等应用场景的功能。针对一体化定位导航，通过北京南站、北京西站、上海虹桥站等枢纽车站的试点，为旅客提供了枢纽内外一体化接驳引导；此外针对北京西站铁路到达旅客，换乘南广场出租车预计等车时长准确性的验证，为旅客选择不同换乘交通工具提供决策支持。针对多模式融合闸机系统，通过在北京西站和北京市郊铁路城市副中心线中仓站市郊快速进站口试用，实现了铁路与北京市郊铁路城市副中心线验检票业务的共融。综合交通枢纽旅客一体化接驳出行服务的研究及应用，为旅客提供更智能、便捷、高效的交通接驳出行服务，提高了旅客出行满意度，为推动四网融合发展提供有力支撑。

参考文献：

[1] 洪　泰. 基于旅客换乘需求的高铁枢纽站服务设施优化研究[D]. 南京：南京理工大学，2023.

[2] 王承琳，赵胜川. 基于IPA分析的综合交通枢纽换乘问题研究：以重庆市沙坪坝综合交通枢纽为例[J]. 交通运输研究，2022，8(2)：79-86.
WANG Chenglin，ZHAO Shengchuan. Comprehensive Transportation Hub Transfer Problems Analysis Based on IPA：A Case Study of Chongqing Shapingba Comprehensive Transportation Hub[J]. Transport Research，2022，8(2)：79-86.

[3] 包丹文，陈　卓，周佳怡，等. 基于空间体验的机场综合交通枢纽旅客步行便捷性评价方法[J]. 东北大学学报(自然科学版)，2023，44(9)：1359-1368.
BAO Danwen，CHEN Zhuo，ZHOU Jiayi，et al. Evaluation of Passengers' Walking Convenience for Airport Comprehensive Transportation Hub Based on Spatial Experience[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science)，2023，44(9)：1359-1368.

[4] 林建新. 基于乘客视觉感知行为的综合客运交通枢纽分级导向标识布设方法研究[D]. 北京：北京交通大学，2017.

[5] 曾忠忠，赵英君，张　波. 基于网络点评的铁路综合交通枢纽服务评价研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(8)：102-112.
ZENG Zhongzhong，ZHAO Yingjun，ZHANG Bo. Service Evaluation of Railway Comprehensive Transportation Hubs Based on Web Review Data[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(8)：102-112.

[6] 翁涅元. 高速铁路综合枢纽车站旅客换乘引导信息服务平台方案设计[J]. 铁路计算机应用，2021，30(5)：1-5.
WENG Shengyuan. Design of Passenger Transfer Guidance Information Service Platform for High Speed Railway Complex Hub Station[J]. Railway Computer Application，2021，30(5)：1-5.

[7] 陈　辉. 城市多模式交通枢纽客流转换能力研究[D]. 哈尔滨：东北林业大学，2019.

[8] 谭隆友，陈　颖，李星桀. 综合枢纽区域交通一体化衔接设施体系设计：以重庆东站枢纽为例[J]. 城市公共交通，2023(4)：47-52.
TAN Longyou，CHEN Ying，LI Xingjie. Design of Integrated Transportation Connection Facility System for Comprehensive Hub Areas：Based on Chongqing East Railway Station Hub[J]. Urban Public Transport，2023(4)：47-52.

[9] 马　锐. 站城一体化背景下大型枢纽交通组织设计探索研究：以西丽综合交通枢纽为例[J]. 铁道建筑技术，2025(1)：69-73.
MA Rui. Exploration of Traffic Organization Design Strategies for Large-Scale Hubs under the Context of Station-City

Integration：Taking the Xili Integrated Transport Hub as an Example[J]. Railway Construction Technology，2025(1)：69-73.

[10] 田　洪. 基于交通一体化的铁路客站综合枢纽规划研究[J]. 铁道工程学报，2023，40(12)：78-82.
TIAN Hong. Planning Study of Comprehensive Hubs for Railway Passenger Stations Based on Transport Integration[J]. Journal of Railway Engineering Society，2023，40(12)：78-82.

[11] BIAN Y，ZHAO X N，ZHAO X H，et al. Evaluation and Optimization Design Method for Urban Rail Dynamic Guidance Signage System[J]. Journal of Beijing University of Technology，2025，51(4)：386-397.

[12] 杨国元，张秋亮. 基于iBeacon的站内定位导航系统设计研究[J]. 铁路计算机应用，2018，27(7)：35-39，44.
YANG Guoyuan，ZHANG Qiuliang. Positioning Navigation System in Station Based on iBeacon[J]. Railway Computer Application，2018，27(7)：35-39，44.

[13] 王晓军，张文强，刘思远. 地铁站内外一体化导航系统关键技术研究及实现[J]. 都市快轨交通，2022，35(3)：48-53.
WANG Xiaojun，ZHANG Wenqiang，LIU Siyuan. Development of a Key Technology for an Integrated Navigation System Inside and Outside Subway Station[J]. Urban Rapid Rail Transit，2022，35(3)：48-53.

[14] 周　敏. 多技术融合的综合交通枢纽智能停车系统[J]. 铁路计算机应用，2021，30(9)：27-30.
ZHOU Min. Comprehensive Transportation Hub Intelligent Parking System Based on Multi Technology Integration[J]. Railway Computer Application，2021，30(9)：27-30.

[15] 陈城辉. 重庆西站枢纽综合区智慧信息管理系统顶层架构设计研究[J]. 铁道运输与经济，2019，41(12)：77-81.
CHEN Chenghui. A Study on the Overall Planning of Smart Information Management System in Chongqing West Railway Station District[J]. Railway Transport and Economy，2019，41(12)：77-81.

[16] 彭　飞，张　蛰. 考虑认知心理的综合客运枢纽导向标识系统详细设计[J]. 中国安全生产科学技术，2024，20(9)：165-172.
PENG Fei，ZHANG Zhe. Detailed Design of Guidance Signage System in Comprehensive Passenger Transportation Hub Considering Cognitive Psychology[J]. Journal of Safety Science and Technology，2024，20(9)：165-172.

[17] 冯静怡. 大型综合交通枢纽站导向标识系统优化策略研究：以北京西站为例[D]. 北京：北京交通大学，2021.

[18] 吴　琼. 站城人一体化发展下铁路枢纽功能与客流需求分析[J]. 城市轨道交通研究，2025，28(1)：154-158，163.
WU Qiong. Analysis of Railway Hub Function and Passenger Flow Demand under the Integrated Station-City-People Development[J]. Urban Mass Transit，2025，28(1)：154-158，163.

[19] 刘　宇，惠鸿飞，路永乐，等. 基于遗传算法优化神经网络的多源信息融合室内定位方法[J]. 中国惯性技术学报，2020，28(1)：67-73.
LIU Yu，HUI Hongfei，LU Yongle，et al. Multi-Source Information Fusion Indoor Positioning Method Based on Genetic Algorithm to Optimize Neural Network[J]. Journal of Chinese Inertial Technology，2020，28(1)：67-73.

[20] 张　鹏，王红芬. 都市圈轨道交通自动售检票系统的互联互通[J]. 城市轨道交通研究，2023，26(12)：174-178.
ZHANG Peng，WANG Hongfen. Research on Interoperability of Rail Transit Automatic Fare Collection Systems in Metropolitan Area[J]. Urban Mass Transit，2023，26(12)：174-178.

(责任编辑　李丹丹)