

多网融合背景下轨道交通互联互通内涵与模式分析*

刘裕行^{1,2} 柏成^{1,2,3} 张炜晗^{1,2} 朱炜^{1,2,4} 滕靖^{1,2,4}

(1. 上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点实验室, 201804, 上海; 2. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海; 3. 古斯塔夫埃菲尔大学, F59650, 里尔;
4. 综合交通运输理论交通运输行业重点实验室(东莞同济大学研究院), 523830, 东莞)

摘要 [目的] 目前, 我国的区域轨道交通系统已进入多网融合发展的新阶段, 其运营管理工作也呈现出多层次、多维度的协同管理与优化新特征。因此, 厘清区域内不同层次轨道交通间的互联互通模式, 是运营管理各项工作的前提与基础。[方法] 通过对国内外典型区域轨道交通系统发展现状的调研、分析与总结, 界定了多网融合背景下区域多层次轨道交通之间互联互通的内涵, 从物理网络衔接、设施设备兼容、运输组织协调和运营管理协同等角度梳理了互联互通的模式及特征, 并结合现实情况与发展趋势对各类互联互通模式的适用性进行了探讨。[结果及结论] 在衔接换乘模式的基础上, 对衔接形式和开行方案进行改进和协同优化, 是在现有规划建设基础和发展趋势下, 最适合我国各大都市圈轨道交通系统的互联互通模式方案。

关键词 区域轨道交通; 多网融合; 互联互通模式

中图分类号 U239.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.05.003

Connotation and Model Analysis of Rail Transit Interconnection and Interoperability under Multi-Network Integration Background

LIU Yuxing^{1,2}, BAI Cheng^{1,2,3}, ZHANG Weihang^{1,2}, ZHU Wei^{1,2,4}, TENG Jing^{1,2,4}

(1. Shanghai Key Laboratory of Rail Infrastructure Durability and System Safety, 201804, Shanghai, China; 2. The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, 201804, Shanghai, China; 3. Université Gustave Eiffel, F59650, Lille, France; 4. Key Laboratory of Transport Industry of Comprehensive Transportation Theory (Institute of Dongguan-Tongji University), 523830, Dongguan, China)

Abstract [Objective] At present, the regional rail transit system in China has entered a new stage of multi-network integrated development, and its operation and management also

presents new characteristics of multi-level, multi-dimensional collaborative management and optimization. Therefore, clarifying the interconnection and interoperability modes among different levels of rail transit within the region is the prerequisite and foundation for all aspects of operation management work.

[Method] Through the investigation, analysis and summary of the development status of typical regional rail transit systems around the world, the connotation of the interconnection and interoperability among multi-level rail transit within the region under the multi-network integration background is defined. From the perspectives of physical network connection, compatibility of facilities and equipment, coordination of transportation organization and collaborative operation management, the interconnection and interoperability modes and their characteristics are systematically reviewed. And in combination with the actual situation and development trends, the applicability of various interconnection and interoperability modes is discussed.

[Result & Conclusion] On the basis of the connection and transfer mode, the improvement and coordinated optimization of connection forms and operation plans is the most suitable interconnection and interoperability mode scheme for the rail transit systems in major metropolitan areas in China under the existing planning and construction foundation and development trends.

Key words regional rail transit; multi-network integration; interconnection and interoperability mode

0 引言

2017年, 国家发展和改革委员会发布了发改基础[2017]1173号《关于促进市域(郊)铁路发展的指导意见》, 明确提出要通过顶层设计有序推进多层次轨道交通系统发展, 推动干线铁路、城际铁路、

* 国家自然科学基金项目(72071147); 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(2021F023); 南昌轨道交通科研计划项目(2021HGKYC005)

市域(郊)铁路、城市轨道交通“四网融合”,表明着我国区域轨道交通系统发展已进入多网融合的新阶段。

在多网融合发展背景下,多层次轨道交通系统中的客流分析预测、开行方案优化及票款清算等运营管理阶段的重要工作,均呈现出不同于以往的特点及要求,需对此进行深入分析。由于不同层次线路在物理网络衔接、设施设备兼容、运输组织协调和运营管理协同等方面存在差异,不同层次、客运量和运营主体线路间的互联互通模式也呈现出多样化特征,并对上述运营管理工作产生影响。为此,厘清区域内不同层次轨道交通间的互联互通模式,是运营管理各项工作的前提与基础。

已有学者对多层次轨道交通系统互联互通模式进行研究。文献[1]将运营模式分为共线共轨、分线运行、跨线运行、接线运行4种。文献[2]将运营模式分为共线运营和节点车站付费区换乘两种模式。文献[3-4]将运营模式分为共线运营模式和枢纽换乘模式。已有研究大多从客流与车流在不同层次线路间的衔接方式角度出发,如乘客换乘和列车跨线,对其互联互通模式进行梳理与分类。

本文通过对国内外典型区域轨道交通系统进行调研与分析,对多网融合背景下区域多层次轨道交通之间的互联互通内涵作出界定,从物理网络衔接、设施设备兼容、运输组织协调、运营管理协同和换乘方式等角度梳理互联互通的模式及特征,并结合现实情况与发展趋势对各类互联互通模式的适用性进行探讨。本文研究可为国内外区域多层次轨道交通互联互通模式的发展提供理论基础和学术参考。

1 国内外典型案例分析

1.1 国外都市圈多层次轨道交通互联互通案例分析

国外各大城市及其都市圈的轨道交通发展起步较早、规模较大,以东京、巴黎、伦敦等为代表的都市圈区域轨道交通系统发展已比较成熟,并形成了各具特色的互联互通模式及体系。

1.1.1 东京

东京都市圈轨道交通系统由地铁、JR(日本国有铁路)线和私铁三部分构成,其中JR线主要承担着市域铁路的功能,总运营里程达到了2 726 km,是世界上轨道交通互联互通运营最广泛的都市圈之

一。现有的东京都市圈内13条地铁线路中,有10条线路可与JR线共线运营,扩大了地铁的运营里程与服务范围^[5];33条JR线中有26条线路参与市郊客运,满足都市圈内乘客的通勤、通学出行需求^[6];分布在JR线山手线外的私铁主要用于连接市区远郊。

东京都市圈不同层次轨道交通线路之间互联互通的突出特点在于,地铁线路与市郊线路的互联互通通过市郊线列车在地铁线路上的过轨运行实现。通常,地铁全线参与市郊铁路的过轨运营,而过轨区段则取决于过轨客流量的大小及其分布情况;线路过轨区间为单一运营主体管理的调度模式,在过轨站通过“只换司机不换车”的模式实现过轨运行^[7];过轨运行区间存在准急列车、急行列车、特急列车等多种不同运行速度的列车,运行速度较高的列车多通过越行或跳站的方式,提高列车旅行速度;在主支线共线运营模式的区段,支线根据流量情况设置开行频率^[8]。此外,东京都市圈多层次轨道交通系统的运营模式多样、开行方案复杂,不同线路列车相互过轨、快慢车混跑、多交路和支线运营等模式都广泛存在于东京都市圈的轨道交通线路中。

1.1.2 巴黎

巴黎都市圈的轨道交通系统由巴黎地铁、RER(区域快速铁路)、郊区铁路和有轨电车线路等组成,总运营里程达到了2 201.8 km。其中:巴黎都市区内现有16条地铁线路和9条有轨电车线路,承担市区内部居民的日常出行需求;5条具有支线共线运行特点的RER线和8条有轨电车线路是市域(郊)铁路,为郊区与市区间的通勤客流提供运输服务^[9]。

巴黎都市圈不同层次轨道交通线路之间互联互通的特点在于:5条RER线路采用单主线多支线的形式穿越城区,连接市中心和外围城镇;不同层次的线路间主要通过枢纽换乘站连接。由于线路上存在各支线列车和不同运行速度与停站频率的列车,因此其采用主支线列车与多交路列车共线运行的列车运行组织模式,为乘客提供多样化服务^[10]。RER线路的开行方案基于客流需求制定,在客流高峰与平峰、通勤日与节假日分别采用不同时刻表与运行交路,同一线路上同时存在站站停、大站停等不同停站方式的列车^[9,11]。

由于RER线路与地铁在硬件设施制式上存在

较大差异,因此两者不设共线运营,而是通过大型枢纽站进行衔接换乘。

1.1.3 伦敦

伦敦都市圈轨道交通系统由地铁、轻轨、市郊铁路、有轨电车等多种制式组成,其总运营里程达到了 3 507 km。伦敦 16 条市域(郊)线路通过特许经营合作模式分别交由 15 家客运公司运营。

伦敦都市圈不同层次轨道交通线路之间互联互通的特点为,市域(郊)线路与其他形式轨道交通由多点换乘形式衔接,其将市域(郊)线路引入市中心并与多条市区线相交,形成两个及以上的换乘点,为不同方向的客流提供多种换乘选择。伦敦都市圈市域(郊)线路通过 32 座换乘站与地铁衔接,这些枢纽换乘站布置灵活、分布均匀,以轨道交通为核心为客流提供多元交通方式一体化换乘接驳服务^[12]。在票价支付方面,伦敦都市圈市域(郊)线路实行一体化票务支付系统,且多年来维持着较低的票价涨幅^[13]。

1.1.4 纽约

纽约都市圈轨道交通系统由地铁和市域铁路线路两部分组成,总运营里程达到了 2 057 km,包括 36 条地铁,以及长岛铁路、大都会北方铁路和新泽西铁路 3 条市域线路。市域线路多为主线+支线的布局形式,1 条长岛铁路主线与 10 条支线覆盖全岛,大都会北方铁路通过 4 条主线与 5 条支线向外辐射,满足都市圈内的往返和通勤客运需求。

纽约都市圈不同层次轨道交通线路之间互联互通的特点为,市域(郊)线路从各个方向进入主城区并止于铁路枢纽,在市郊铁路枢纽站与地铁枢纽站进行单点换乘,实现城区与外围市域的客流交换。在这种模式下,每条干线都直接进入中心城区的大型火车站,乘客到达中心火车站后,再换乘市区地铁或其他交通方式出行。在运营管理方面,纽约市域(郊)线路采用了大小交路、快慢车混跑、开行跨站停列车等多样化的运营组织方案。

1.2 我国不同层次轨道交通网络互联互通案例分析

相比国外各大都市圈的轨道交通系统,我国区域轨道交通系统的建设起步相对较晚,但近年来也取得了较快的发展。将都市圈轨道交通系统中的客流分为市区内、市郊间两种不同类型,可以按照承担两种类型客流运输任务的线路所属的轨道交通线路层次,以及不同层次间的客流交互方式,将

其初步划分为同网运营、贯通运营、衔接换乘和站外换乘 4 种类型。

其中,同网运营指不同类型客流由同一层次的轨道交通线路承担运输任务,如在都市圈或城市中,市域(郊)铁路所承担的市域客运服务功能由区域内长距离地铁线路承担,如北京、南京、天津等许多城市中都存在类似线路。在该类模式中,市区内、市郊间的不同类型客流运输任务均由单一层次的城市轨道交通系统承担,不同线路间的换乘方式也与地铁内部的换乘较为一致。同网运营模式中的不同线路均属于轨道交通系统中的相同层次,由于不涉及不同层次间的客流与车流互通,不属于本文研究主题范畴,因此后文不将其作为重点进行讨论。

在贯通运营和衔接换乘模式中,市区内、市郊间的不同类型客流运输任务则由多层次轨道交通线路共同承担,并通过贯通运营或枢纽换乘等方式进行衔接;站外换乘中不同层次线路间无直接衔接,但也属于衔接换乘的一种初级形式。

基于此,下文将多层次轨道交通互联互通模式分为贯通运营和衔接换乘两类,对我国案例进行简单梳理。

1.2.1 贯通运营

目前,我国实现轨道交通系统贯通运营的城市尚少,其不同模式的线路多由同一运营主体进行管理。重庆市郊铁路江跳线和重庆轨道交通 5 号线由重庆轨道交通(集团)有限公司统一运营管理,可实现一车直达 5 号线各站点至园博中心站的贯通运营;两种不同层次的轨道交通线路多采取相同编组、独立折返的运输组织模式,以共线区段的速度限定不同种类列车的运行速度,且多设跳停与越行等。

2022 年出台的《北京市“十四五”时期交通发展规划》也作出安排,北京市将重点加快“四网融合”建设,推动城市轨道交通与市域(郊)线路的贯通运营,如逐步推进地铁 1 号线与八通线、地铁 9 号线与房山线、地铁 8 号线与昌平线等线路之间实现贯通运营,地铁 20 号线与北京市郊铁路 S2 线、地铁 22 号线与北京市郊铁路通密线等实现直连直通、贯通运营等。此外,苏州轨道交通 S1 线也拟更名为 11 号线,在 2023 年底实现与苏州轨道交通 3 号线的贯通运营。

1.2.2 衔接换乘

目前,我国大部分都市圈或城市轨道交通系统均采取衔接换乘模式,即城市轨道交通线路、市域(郊)线路等不同层次的线路通过枢纽站进行衔接,通过换乘实现客流的互联互通。上海、成都和宁波等地不同模式的轨道交通线路由当地铁路局和地铁公司分别作为运营主体进行运营管理;在票务方面,大多可采用一卡通进行购票,但票制并未完全统一;在运输组织方面,由于部分市域线路由既有线改造而来,有的线路仍存在与普速铁路共线运营的区间,需由国铁(如铁路局)统一进行调度和行车组织,如连云港城市动车等。客流需求较大的市域线路多为公交化运营模式,同时采取多样化的运输组织模式,以满足不同类型乘客的出行需求,如上海金山铁路和成都部分市域铁路等。成都市轨道交通系统线路示意图如图1所示。

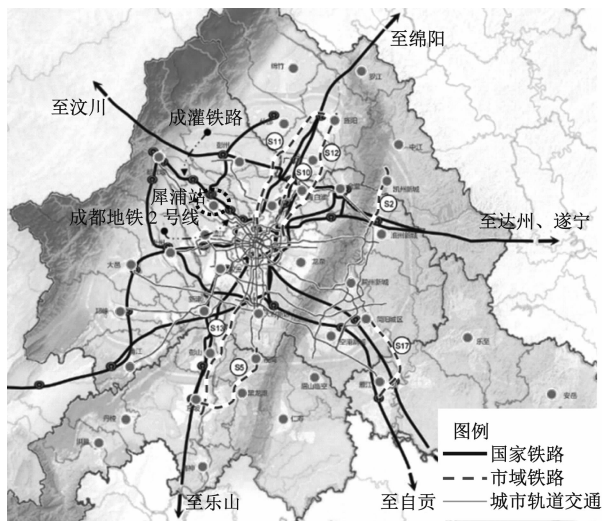


图1 成都市轨道交通系统线路示意图

Fig. 1 Schematic diagram of Chengdu rail transit system routes

在便捷换乘方面,成灌铁路与成都地铁2号线在犀浦站的同站台换乘是较为典型的案例,通过优化线路与场站建设,实现了市域(郊)线路与城市轨道交通线路的同站台换乘。虽然,该案例中仍需乘客进出闸机两次并刷卡,属于非付费区换乘,但衔接换乘形式的创新与换乘距离的大幅缩短,仍为市郊与市中心往返的乘客提供了便捷,提高了乘客的出行效率与换乘效率。成灌铁路与成都地铁2号线同站台换乘示意图如图2所示。

站外换乘也可以视为换乘衔接模式中一种非常初级的形式,如上海轨道交通11号线与苏州轨道

交通1号线在花桥站采取站外换乘模式,但由于未设换乘设施实现两条线路的物理连通,换乘便捷程度较低。

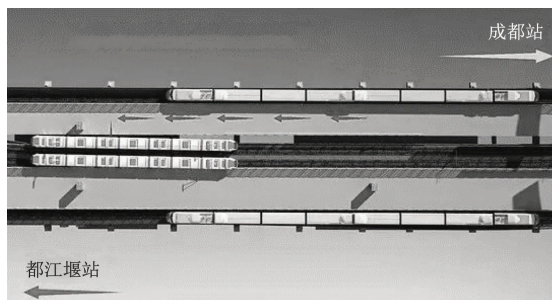


图2 成灌铁路与成都地铁2号线同站台换乘示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the same-platform transfer between Chengdu-Dujiangyan Railway and Chengdu Metro Line 2

2 内涵界定

轨道交通互联互通的狭义内涵是指不同层次网络在物理层面上的线路相连,不同线路间的列车可以共线运行,从而实现车流和客流的互联互通^[2]。但在当前阶段,我国由于不同层次的轨道交通网络间存在硬件设施制式不互通、软件运营管理不相连等情况,此时互联互通的定义可以扩展为不同层次的网络通过物理相连或联合服务,实现其间客流相通或便捷换乘的情况,互联互通模式指的便是两种或多种等级的轨道交通网络间进行客流相通时,所采用的硬件连接制式和运营管理模式。可将多层次轨道交通互联互通内涵拓展为4个方面的互联互通:物理网络的衔接、设施设备的兼容、运输组织的协调和运营管理的协同。

物理网络的衔接是指不同轨道交通层次之间存在衔接点、联络线或共用线路,轨道交通网络从物理形态上看是由区域内多条线路组成、线路之间交叉互联的拓扑网络。在这个物理网络中,不同交通运输通道及不同模式的轨道交通系统线网规划需要分工合理、衔接紧密、相互补充,既需满足本系统内的客流需求,还需尽可能提高多层次轨道交通网络的整体运输服务能力,为乘客提供高品质的公共交通服务。

设施设备的兼容是指不同轨道交通层次之间的信号系统、客运设施、供电系统、调度系统等相互兼容。一方面,这要求重视不同层次轨道交通之间换乘设备的配置与能力匹配,以实现乘客换乘的便

利最大化;另一方面,这要求不同层次轨道交通系统的通信信号、供电系统等可以相互兼容,从而在技术上建立不同层次轨道交通列车的互联互通基础。

运输组织的协调是指不同轨道交通层次之间的列车开行方案、列车运行图等一体化编制和调整。这要求各层次轨道交通合理分工、紧密衔接。具体而言,这需要不同层次轨道交通之间对行车组织进行协同优化,如协调运行交路、匹配运能资源和优化列车到发时刻等要素。在多网融合条件下,需要实现跨制式轨道交通网络化运营,以乘客出行需求为导向,研究编制多制式协同的精细化运输方案技术方法,最终形成支持联程联运、枢纽换乘等关键环节的多层次轨道交通运输组织方法,整体提升运营组织水平。

运营管理的协同指的是不同层次轨道交通运营主体之间,通过多边联系和协调统一的动作实现信息资源共享及综合高效管理。这要求各层次轨道交通的运营主体之间在政策制定、管理机制上进行有效沟通、良好协作,成立统一部门或委托相关部门实现多模式整合的协同运作,形成各模式多部门、多工种相互协同合作的体系,从而避免各自业务的过度分割,对乘客出行造成的不便。

3 模式分析

3.1 互联互通模式梳理

基于上述国内外典型案例分析与互联互通内涵解析,在分析多层次轨道交通互联互通模式时,可从物理网络衔接、设施设备兼容、运输组织协调、运营管理协同4个角度对其进行分类梳理。

在物理网络衔接方面,贯通运营模式中的线路存在直接的物理网络衔接,车流在不同层次轨道交通系统间的运行存在连续性;而衔接换乘模式中的不同层次线路通过枢纽进行衔接,不存在物理网络上的直接连接。

在设施设备兼容方面,不同层次轨道交通线路主要在轨道制式、车辆制式、信号系统、供电系统、调度系统与售检票设施等方面具有差异。一般情况下,只有设施设备制式相同或相互兼容的线路,才能实现贯通运营,从而实现物理上的车流与客流贯通;而硬件制式无法兼容的线路,则只能选择衔接换乘模式。

在运输组织协调方面,对于互联互通程度较高的贯通运营模式而言,其多层次线路衔接更紧密、

运输组织协调优化程度更高,大多通过开行方案协同优化来提高整体运营组织水平与乘客出行效率;而衔接换乘模式则对运输组织的协同优化要求较低。

在运营管理协同方面,包括支付方式、票务结算方式、主体运营公司与安检等级等在内的诸多因素,也对线路间能否实现互联互通起到至关重要的作用,如只有票务支付与结算方式相同且安检等级一致时,才能实现贯通运营。

综上所述,从物理网络衔接、设施设备兼容、运输组织协调和运营管理协同4个角度,对多层次轨道交通互联互通模式进行分类汇总,如表1所示。

3.2 不同模式特点分析

3.2.1 贯通运营

贯通运营模式对于往返于市区与市郊的长距离通勤乘客来说是重大利好,其在保持较高旅行速度的同时兼具了直达性,使得乘客无需换乘即可由市郊直达市区,提升了乘客的出行效率与便捷程度。但同时,贯通运营模式存在的问题主要体现在以下几方面:①贯通运营对硬件制式的兼容程度要求高,既有设施设备的改造成本较高;②我国市域线路多由国铁集团、地方政府和线路运营公司共同经营管理,各方的责任分配、利益协调、成本与收益分摊也是需要考量的问题;③由于涉及到多条线路的过轨运行,开行方案的编制与调整也更为复杂。

3.2.2 衔接换乘

衔接换乘模式最为常见,我国绝大部分市域(郊)线路与城市轨道交通线路的换乘均采用衔接换乘模式,主要可以分为2种类型。①市域(郊)线路穿过市区,与市区内线路呈多点换乘形式,乘客可以乘坐市域(郊)列车直达市中心,以及选择进一步的衔接换乘;②市域(郊)线路止于市区外围,与市区线路形成大型换乘枢纽,所有前往市区的乘客都需要在枢纽站进行衔接换乘,才能到达市中心。

衔接换乘模式对于设施设备的制式一致性要求较低,且各层次线路间的运营管理相对独立,前期规划建设的限制较小、改扩建成本较低,各运营主体间的责任划分、成本与收益均摊明确,也为既有线路改扩建为市域(郊)线路提供了良好的环境。衔接换乘模式的不足之处也很明显,尤其是在第2种类型中,市郊前往市区的乘客必须通过换乘才能到达位于市中心的目的地,出行的便捷程度有所降低,且对开行方案的协同编制提出了较高的要求。

表 1 多层次轨道交通互联互通模式分类与汇总

Tab. 1 Classification and summary of multi-level rail transit interconnection and interoperability modes

模式	类型	物理网络衔接	设施设备制式			运输组织协调	运营管理协同				应用案例
			轨道车辆制式及信号供电系统	调度系统	售检票系统		支付方式	票务结算	运营主体	安检等级	
贯通运营	单向贯通	是	单向兼容	相同或可协同	相同	是	兼容	互通	单一或多个	可以不同	北京市郊铁路 S2 线与北京地铁 19 号线
	双向贯通	是	双向兼容	相同或可协同	相同	是	兼容	互通	单一或多个	相同	东京绝大部分地铁线路、JR 线和私铁线路
衔接换乘	同站台换乘	否	可以不兼容	不同	可以不同	是	不互通	不互通	多个	不同	成都地铁 2 号线与成灌铁路犀浦站
	枢纽换乘 (含站厅换乘、通道换乘、组合换乘)	否	可以不兼容	不同	可以不同	可以不协同	不互通	不互通	多个	不同	成都、上海、宁波、纽约、伦敦、巴黎、维也纳等地的地铁与市域线路
	站外换乘	否	可以不兼容	不同	可以不同	否	不互通	不互通	多个	不同	上海轨道交通 11 号线与苏州轨道交通 1 号线花桥站

4 适用性分析

贯通运营模式下,市域(郊)线路直接与城市轨道交通线路物理连接,列车可以通过过轨站直接在两种线路间贯通运营,市域范围内前往城区的客流无需进行换乘即可直达市中心,乘客的出行效率与体验均处于较高水平。但结合我国各大城市和都市圈的市域(郊)铁路和城市轨道交通线路的建设与运营现状,广泛采用贯通运营在硬件设施建设、运营模式协同等方面都存在着不小的困难。在硬件设施方面,各大城市市域(郊)线路的建设时间与技术标准均存在较大差异,更存在相当一部分的线路为既有线改造而来,此时若强行采取贯通运营模式而进行大规模改扩建,不仅成本极高而且还存在负担建设、运营与维保成本主体不明确等问题。

在运营模式方面,由于我国城市规模与人口数量的不断提升,现有贯通运营案例的可借鉴经验逐渐减少,如何不断优化调整开行方案以达到更高的客流输送水平与效率,并减小对本线列车运行的影响,以及贯通运营模式下的客流清分工作呈现出的新特征,都需要在实际运营中不断进行探索。在贯通运营模式较难广泛应用的情况下,可以通过不断提升衔接换乘的效率与服务水平来优化乘客在多层次综合轨道交通系统中的整体出行体验。

在规划建设方面,可以通过优化线路衔接的空

间方位来尽量减少乘客的换乘走行距离,如成灌铁路与成都地铁 2 号线在犀浦站的同站台换乘,其虽然属于非付费区换乘,但也极大地减少了乘客在市域线路与地铁线路之间的换乘走行距离,提升了出行效率与体验。

在运营管理方面,也可以结合换乘时间和预测客流,优化不同线路的列车时刻表,以减少乘客的换乘时间,提高换乘效率。

综上所述,在多层次轨道交通线路间采取衔接换乘模式,改进规划建设的线路物理衔接,协同优化开行方案,以不断提升乘客的换乘效率与体验,是目前最适合我国各大城市的方案之一。

5 结语

在多层次轨道交通网络融合发展的背景下,不同层次线路间互联互通模式的解析与梳理是运营管理优化工作的基础。结合对国内外典型都市圈轨道交通系统的运营与互联互通现状的总结与对比,界定了互联互通模式的内涵及其分析维度,从物理网络衔接、设施设备兼容、运输组织协调和运营管理协同等角度,将现有模式进行了归纳分类。在衔接换乘模式的基础上,不断改进物理衔接形式,并协同优化列车开行方案,是在现有规划建设基础和发展趋势下,最适合我国各大都市圈轨道交通系统的互联互通模式方案。

参考文献

- [1] 张安锋, 刘涛. 城市轨道交通网络互联互通的四种运营模式[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(7): 127.
ZHANG Anfeng, LIU Tao. Four operation modes of urban rail transit network interconnection and intercommunication[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(7): 127.
- [2] 余攀, 宋唯维, 陈友文. “四网融合”条件下市域(郊)铁路互联互通模式及技术要求探讨[J]. 综合运输, 2022, 44(6): 44.
YU Pan, SONG Weiwei, CHEN Youwen. Modes and technical requirements of suburban railway interconnection under the urban-regional rails network convergence[J]. China Transportation Review, 2022, 44(6): 44.
- [3] 叶玉玲, 周文涛, 何嘉祺, 等. 都市圈轨道交通网互联互通运营模式研究[J]. 现代城市轨道交通, 2023(2): 1.
YE Yuling, ZHOU Wentao, HE Jiaqi, et al. Research on inter-operability patterns for metropolitan rail transit[J]. Modern Urban Transit, 2023(2): 1.
- [4] 于鑫, 张凌云. 北京市轨道交通与铁路四网融合发展研究[J]. 现代城市轨道交通, 2021(1): 1.
YU Xin, ZHANG Lingyun. Research on four-network integration of rail transit and railway in Beijing[J]. Modern Urban Transit, 2021(1): 1.
- [5] 张元浩, 荣朝和. 从时空视角看轨道交通对东京大都市区的影响[J]. 铁道运输与经济, 2015, 37(8): 78.
ZHANG Yuanhao, RONG Chaohe. Influence of rail transit on Tokyo metropolis area from perspective of time-space[J]. Railway Transport and Economy, 2015, 37(8): 78.
- [6] 蒋中铭. 东京都市圈轨道交通发展历程、特点和经验[J]. 综合运输, 2021, 43(9): 119.
JIANG Zhongming. The development process, characteristics and experience for the rail transit in Tokyo metropolitan area[J]. China Transportation Review, 2021, 43(9): 119.
- [7] 武剑红, 沈砾子. 东京都市圈市郊铁路特点及对我国的启示[J]. 中国铁路, 2017(9): 13.
WU Jianhong, SHEN Lizi. Characteristics of suburban railway in Tokyo and its inspiration to China[J]. China Railway, 2017(9): 13.
- [8] 向蕾, 叶霞飞, 蒋叶. 东京都市圈轨道交通直通运营模式的分析与启示[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(3): 93.
XIANG Lei, YE Xiafei, JIANG Ye. Analysis of rail transit direct operation mode in Tokyo metropolitan area[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(3): 93.
- [9] 李得伟, 李若怡, 兰贞. 巴黎 RER 线现状分析及对我国市域轨道交通发展的启示[J]. 都市轨道交通, 2017, 30(5): 134.
LI Dewei, LI Ruoyi, LAN Zhen. Introduction of RER line in Paris and enlightenment to the development of regional rail transit in China[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(5): 134.
- [10] 汤莲花, 徐行方. 国外典型都市圈市域铁路发展及启示[J]. 中国铁路, 2018(9): 107.
TANG Lianhua, XU Xingfang. Development of suburban railways in typical metropolitan circles outside China[J]. China Railway, 2018(9): 107.
- [11] 李松峰. 城市群多层次轨道交通衔接模式研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
LI Songfeng. Study on the connection mode of multi-level rail transit in urban agglomeration[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.
- [12] 郑丽杰. 都市圈轨道交通互联互通实施条件及开行方案研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
ZHENG Lijie. Study on implementation conditions and operation scheme of rail transit interconnection in metropolitan area[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [13] 殷勇, 鞠子奇, 吴雨遥, 等. 国外轨道交通发展对我国城市群轨道交通一体化的启示[J]. 交通运输工程与信息学报, 2021, 19(1): 52.
YIN Yong, JU Ziqi, WU Yuyao, et al. The enlightenment of foreign rail transit development to the rail transit integration of China megalopolis[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2021, 19(1): 52.
- [14] 贾飞. 都市圈市域快线多网融合列控系统[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(1): 191.
JIA Fei. Multi-network integrated train control system for metropolitan commuter express[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(1): 191.
- [15] 刘华祥, 陈恒宇. 面向多网融合的市域铁路信号调度系统研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(11): 32.
LIU Huaxiang, CHEN Hengyu. Research on signal dispatching system for multi-network integrated urban railway[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(11): 32.
- 收稿日期:2023-03-14 修回日期:2023-06-24 出版日期:2025-05-10
Received:2023-03-14 Revised:2023-06-24 Published:2025-05-10
· 第一作者:刘裕行,硕士研究生,2231370@tongji.edu.cn
通信作者:朱炜,研究员,zhuweimail@tongji.edu.cn
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license