

都市圈轨道交通网互联互通运营模式研究

叶玉玲^{1, 2}, 周文涛^{1, 2}, 何嘉棋³, 宋唯维^{1, 2}, 陈聪聪^{1, 2}

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 同济大学交通运输工程学院, 上海 201804; 3. 珠海市交通运输局, 广东珠海 519003)

摘要: 轨道交通网互联互通的发展有利于促进都市圈内中心城区之间、中心城区与郊区以及城镇组团之间的有效衔接, 方便乘客出行, 更好适应通勤需求。文章在分析都市圈轨道交通网互联互通发展必要性的基础上, 结合国外都市圈发展经验, 分析2种运营模式的特点和适用性, 并基于线路技术标准和行车组织协调, 研究上海都市圈轨道交通网络互联互通运营模式。然后总结共线运营和枢纽换乘2种互联互通运营模式, 最后提出轨道交通“四网融合”的主要实现模式及其适用条件。

关键词: 轨道交通; 互联互通; 共线运营; 枢纽换乘

中图分类号: U271.91

1 引言

近几年我国都市圈建设快速发展, 都市圈内多方向、高频次、同城化的出行需求特征愈发明显。乘客一次出行可能需要多种交通方式组合完成, 日常通勤时间较长、换乘次数较多。由于各层级轨道交通的功能定位和服务范围不同, 系统制式和运营管理主体均有差异, 目前都市圈轨道交通系统分工协作水平不足, 不利于乘客实现便捷出行, 出行效率降低。

《国家发展改革委关于培育发展现代化都市圈的指导意见》明确要求: 构建以轨道交通为骨干的通勤圈, 推动干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、城市轨道交通“四网融合”, 探索都市圈轨道交通运营管理“一

张网”。2019年, 中华人民共和国国务院办公厅陆续印发多个规划纲要指出, 要打造都市圈一小时通勤圈, 建设现代综合交通运输体系, 提升基础设施互联互通水平, 促进实现零距离换乘、无缝化衔接的运输服务目标。

由此可知, 都市圈内轨道交通网互联互通是促进都市圈同城化发展的重点内容, 对于加强核心城市辐射带动作用, 促进都市圈社会经济融合具有重要现实意义。轨道交通网互联互通还有利于提高线网通达性, 实现各层级轨道交通功能互补和资源共享, 满足乘客快速便捷出行需求, 发挥轨道交通系统的整体效益。

文章结合国外轨道交通网互联互通发展经验, 以上海都市圈为例, 分析不同层级轨道交通之间适宜的互联互通运输模式, 为未来都市圈轨道交通网互联互通运营管理提供参考。

2 国外都市圈轨道交通网互联互通运营模式及其分析

2.1 东京都市圈

东京都市圈是典型的“单中心”结构, 山手线环绕的东京都区部是其核心区域。东京都市圈的轨道交通系统呈现明显圈层结构, 可以划分为城际轨道交通、市域轨道交通和城市轨道交通3个层级(表1), 整体形成“环线+放射线”的网络结构。东京都市圈的轨道交通运营主体较多, 各层级互联互通水平较高。

目前东京都市圈内轨道交通互联互通主要通过共线运营和枢纽换乘2种模式实现。

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(2021F023); 上海市自然科学基金项目(22ZR1465800)

作者简介: 叶玉玲(1971—), 女, 教授

表2 大巴黎都市圈轨道交通线路层级与功能定位

类别	空间分布	运营速度 /km·h ⁻¹	功能定位	运营主体
远郊铁路 Transilien	从市区各车站出发，呈放射状，向外延伸	140 ~ 160	服务于距巴黎市区中心超过 60 km 的范围，联系市区与周边 7 省之间的远郊交通	法国国营铁路公司 (SNCF)
市域快线 RER	线路采用地下敷设方式贯穿市区，主要车站设在市区外围	90 ~ 120	连接巴黎市区、郊区和卫星城	巴黎交通总公司 (RATP) 和 SNCF 共同运营
城市轨道交通	集中在巴黎市区	80	承担市区内部大部分出行，是市区公共交通系统骨干	RATP
有轨电车	分布在巴黎市区的城市环线及近郊，呈“环+放射”状	30	服务于市区外围的近郊区域	RATP 和 SNCF 共同运营

换乘。例如，巴黎北站可实现 RER 的 B、D、E 线路与地铁 4 号、5 号线的换乘，其中 RER-B 线与 RER-D 线还可同站台换乘。

从国外都市圈轨道交通网互联互通发展经验可知，对于共线运营线路，在不同线路技术标准与设施设备兼容条件下，主要需要协调共线区段的调度运营权归属问题，不同运营主体通过签订协议，明确过轨方案和调度指挥责任。对于枢纽换乘，包括付费区换乘和非付费区换乘 2 种，前者在不同运营主体管辖的线路之间使用交通卡实现统一支付，乘客换乘更便捷，但需要协调票务清分问题；后者需要先检票出站再检票进站，增加了乘客的换乘时间，但后期票务清分工作清晰简单。

3 国内都市圈轨道交通网互联互通运营模式及其分析

根据《上海市城市总体规划（2017—2035 年）》，按“一张网、多模式、广覆盖、高集约”的规划理念，上

海都市圈将形成城际线（城际铁路、市域铁路）、市区线（地铁、轻轨）、局域线（有轨电车、胶轮系统等）“3 个 1000 公里”的轨道交通网络，同时推进不同层级轨道交通的互联互通发展。

在此背景下，上海市轨道交通网互联互通对象主要包括上海区域内的高速铁路、城际铁路、市域铁路和城市轨道交通（表 3），上海各层级轨道交通线路示意图见图 2。

在线路技术标准层面（表 4），高铁、城际铁路和市域铁路技术标准较相近，为共线运营提供基础条件。在行车组织方面，受运营主体和列车类型等因素影响，不同层级轨道交通的行车组织方式存在一定差异（表 5）。目前我国高铁、城际铁路和市域铁路的运营主体大多以国铁集团为主，相互在运行图编制、调度指挥、运输组织管理等方面具有较高的可协调性。

通过上述对比分析，对上海市轨道交通网互联互通运营模式建议方案如下。

表3 上海市轨道交通线路层级与功能定位

线路类型	功能定位	线路规模	设计速度 /km·h ⁻¹	平均站距 /km
高速铁路	承担沿线地区对外中长距离旅客	运营：京沪高铁、沪昆高铁等 在建：沪苏湖高铁等 拟建：沪乍杭高铁、北沿江高铁等	300 ~ 350	60 ~ 70
城际铁路	承担沿线各个城市、主要中心城镇之间的客流	运营：沪宁城际、沪通铁路等 在建：沪通铁路二期等 拟建：沪嘉城际、沪平城际等	200 ~ 300	5 ~ 20
市域铁路	承担中心城区与郊区之间以及组团之间的客流	运营：金山铁路 在建：机场联络线、嘉闵线 拟建：两港快线等	120 ~ 160	3 ~ 10
城市轨道交通	承担城市内部大运量、高频率和高可靠性的公交需求	运营线路共 17 条（含磁浮）	80	1 ~ 2



图2 上海市各层级轨道交通线路示意图

- (1) 上海市域铁路网络内部具备列车跨线运营条件，可采用共线运营和枢纽换乘模式，建议初、近期采用枢纽换乘模式，远期根据跨线直通客流需求，考虑是否需要采用共线运营模式。
- (2) 上海市域铁路与国铁高速干线和城际铁路具备跨线条件，可采用共线运营和枢纽换乘模式，建议优先

采用枢纽换乘模式互联互通，当跨线客流比例较大时可采用共线运营模式。

(3) 上海城市轨道交通与其他层级轨道交通之间不具备列车跨线条件，只能采用枢纽换乘模式，建议加强与市域铁路的站点换乘衔接，提高轨道交通网络的互通性。

4 都市圈轨道交通网互联互通运营模式适用性分析

轨道交通网互联互通的实现需对不同层级轨道交通系统进行充分整合，尤其是城际铁路、市域铁路、城市轨道交通之间的统筹融合，需要在管理体制、资源配置、运输组织等层面实现一体化协调。

(1) 运营管理一体化。基于轨道交通互联互通支撑政策，打破现有轨道交通管理部门间的“行政壁垒”，构建都市圈各城市可操作的轨道交通一体化管理体系和协调机制，将不同层级轨道交通的设施设备和运营组织紧密整合在一起。

表4 上海市不同层级轨道交通技术标准对比

名称	高速铁路、城际铁路	市域铁路	城市轨道交通
车辆牵引供电制式	交流牵引供电	交流牵引供电	直流牵引供电
车辆限界	CRH 型动车组	CRH6A/6F	最宽为地铁 A 型车
信号系统	CTCS	CTCS2、CTCS2+ATO	CBTC
线路基础设施标准	以 CHR 车型为基础	以 CHR 车型为基础	以地铁列车为基础

注：CTCS 为中国列车运行控制系统；ATO 为自动列车运行装置；CBTC 为基于通信的列车自动控制系统。

表5 上海市不同层级轨道交通行车组织方式对比

层级	高速铁路、城际铁路	市域铁路	城市轨道交通
原则	以客流出行需求为基础，保证列车运行安全，充分利用线路能力		
运营主体	中国铁路上海局集团有限公司	中国铁路上海局集团有限公司、上海申通地铁集团有限公司	上海申通地铁集团有限公司
运行图形式	多为非平行运行图	多为非平行运行图	多为平行运行图
行车方案特点	列车速度等级不一，停站方案丰富，交路复杂，存在跨线运输	可组织开行一站停、大站停、站站停列车，以本线运输为主	列车等级单一，以站站停列车为主，运行交路多样，发车间隔短

(2) 资源配置一体化。作为轨道交通网互联互通运营的基础条件,不同层级轨道交通设施设备的合理配置和资源共享,有利于发挥资源规模效应。在考虑线路衔接可能性和衔接模式的基础上,对不同层级轨道交通线路、车辆、牵引供电、通信设备、客运设备、应急设施等资源,在规划设计、建设和运营阶段,提出协调配置标准、方案及管理规则,为轨道交通网互联互通运营的实施提供硬件条件。

(3) 运输组织一体化。基于乘客对出行时间和换乘便捷性的需求,优化不同层级轨道交通系统的票务服务和换乘接驳服务,提高不同层级轨道交通运输组织的协调性,通过多样化的行车方式、灵活的运能配置、协同的调度指挥、智能的车站管理,为乘客提供以人为本、科学高效、安全可靠的运营服务。

根据都市圈轨道交通的线网条件和城市空间结构特点,分析都市圈轨道交通网互联互通运营模式,以下对共线运营和枢纽换乘2种主要模式的适用性进行分析。

4.1 共线运营模式

干线或城际铁路与市域铁路共线运营时,干线铁路和城际铁路客流集散任务可分散到城市多个点,乘客可以就近选择站点乘降,减少换乘次数和出行时间,缓解部分车站的换乘压力,提高线路能力利用率,节省一定的建设投资。

该模式受轨道交通线路繁忙程度、技术改造可行性、运输组织方案协调性等因素限制,会增加行车调度复杂性和运营可靠性风险。共线运营轨道交通线网能力主要取决于共线段的通过能力,容易造成列车服务水平不均衡,非共线区段乘客候车时间增加。因此,只有在设施设备改造可行、单一线路繁忙程度不高且城际客流在都市圈内集散需求较大的情况下,采用共线运营模式才具有现实意义。

共线运营解决的主要问题包括3个方面。

(1) 线网技术标准与设施设备配置方案需兼容,包括不同轨道交通线路的平纵断面技术标准、车辆选型、供电制式、列控系统。

(2) 不同运营主体间的行车调度指挥需协调,可考虑委托代管或统一管理,有利于共享设备资源,提高路网完整性,降低协调难度。

(3) 不同层级轨道交通的客运组织服务标准需协同,包括不同线路的运营时间、列车开行间隔、票务管

理、进出站流线、候车方式、安检互信等问题,以提供更便捷舒适的出行环境。

4.2 枢纽换乘模式

枢纽换乘对不同层级轨道交通的制式类型、线路走向、技术条件和客流需求的要求较共线运营小,不同层级轨道交通系统独立运行,相互干扰小,运输组织也相对简单,有利于保障运输安全。因此这种模式的应用范围更广泛,适用于客流出行方向差异较大、各线路技术标准难以兼容、线路能力利用紧张的情况。

相对于共线运营而言,枢纽换乘会相对增加乘客的出行时间,若换乘站设计不合理还会造成乘客滞留,引发拥挤和安全隐患。因此,枢纽换乘站点的数量、布局、流线设计、运输组织协调是采用该模式的研究重点,具体包括以下关键问题。

(1) 合理规划换乘站点的数量和位置,减少乘客的换乘次数和时间,减少乘客集散对城市地面交通的压力。

(2) 不同层级轨道交通的票务和安检系统应尽可能兼容互认,实现付费区换乘,减少重复安检和检票。

(3) 不同层级轨道交通间应保证换乘流线顺畅,换乘导向标识清晰,提高换乘效率。

(4) 不同层级轨道交通列车运行时刻表需协同,按不同优先级先后编制列车运行时刻表,从时间层面发挥城市轨道交通对城际铁路、市域铁路的“末端衔接”作用。

(5) 大型换乘枢纽需完善大客流管控预案,缓解由于衔接轨道交通线路增加而导致的乘客站台聚集、换乘秩序混乱、车站能力饱和等问题。

5 结语

轨道交通网互联互通的发展对促进都市圈同城化实现具有重要意义,其内涵体现在管理体制、资源配置、运输组织多层面的协调。都市圈轨道交通网互联互通的2种实现模式——共线运营和枢纽换乘,适用于不同的线网结构、技术条件和客流需求情况,同时在技术标准、运营协调、运输优化等方面也存在需要解决的问题。针对上海都市圈轨道交通,认为市域铁路、城际铁路和高速干线之间具备共线运营的条件,而城市轨道交通与其他层级之间只能采用枢纽换乘的模式实现互联互通。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家发展改革委关于培育发展现代化都市圈的指导意见[R]. 北京: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2019.
- [2] 中华人民共和国国务院办公厅. 交通强国建设纲要[Z]. 2019.
- [3] 中华人民共和国国务院办公厅. 粤港澳大湾区发展规划纲要[Z]. 2019.
- [4] 中华人民共和国国务院办公厅. 长江三角洲区域一体化发展规划纲要[Z]. 2019.
- [5] 上海市人民政府. 上海市城市总体规划(2017-2035年)[Z]. 2018.
- [6] 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): 127-132.
- [7] 高奎红, 宋瑞. 共线运营条件下城市轨道交通的通过能力研究[J]. 交通标准化, 2009(23): 164-167.
- [8] F. Batisse. Development of Light Rail Traffic Abroad with the Use of Railway[J]. Forgn Rolling Stock, 2005.
- [9] F. Kurosaki. Through-Train Services: A Comparison between Japan and Europe[J]. Japan Railway & Transport Review, 2014(63): 22-25.
- [10] 甘博, 经泽涛. 市域铁路发展对城市空间格局的影响——以日本JR山手线为例[J]. 现代城市轨道交通, 2020(10): 124-128.
- [11] 禹丹丹, 徐会杰, 姚娟娟, 等. 国外都市圈轨道交通互联互通运营对我国的启示[J]. 综合运输, 2019, 41(5): 115-120.
- [12] 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): 52-58.
- [13] 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): 44-48.
- [14] 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): 1-6.
- [15] 耿连松. 都市圈市域(郊)铁路高质量发展研究及对策[J]. 现代城市轨道交通, 2022(6): 6-11.
- [16] 段俊. 市域快轨与城际铁路衔接线路方案研究[J]. 现代城市轨道交通, 2020(11): 7-11.
- [17] 熊舒威, 蒋洁滢. 东京都市圈轨道交通接驳特征对我国市域(郊)铁路一体化接驳的启示[J]. 现代城市轨道交通, 2022(6): 106-112.
- [18] 罗华朋. 市域(郊)铁路与城市轨道交通互联互通原则和技术思考[J]. 交通世界, 2022(34): 17-20.
- [19] 王修华. 多层次轨道交通互联互通研究[J]. 铁道勘察, 2022, 48(3): 22-25.
- [20] 李文武, 张超, 金永乐. 不同系统制式轨道交通的互联互通[J]. 交通世界, 2022(Z2): 83-84.
- [21] 李金明, 闫红杰, 祝耀, 等. 互联互通运营模式对城市轨道交通的影响[J]. 交通企业管理, 2021, 36(2): 69-71.
- [22] 赵欣苗. 推动都市圈轨道互联互通[J]. 宏观经济管理, 2022(9): 76-82.

收稿日期 2022-09-16

责任编辑 司玉林

Research on interoperability patterns for metropolitan rail transit

Ye Yuling, Zhou Wentao, He Jiaqi, et al.

Abstract: The development of rail transit network interoperability is conducive to promoting the effective connection between the central urban areas, between the central urban areas and the suburbs, as well as between the city clusters in the metropolitan area, facilitating passenger travel, and better adapting to the needs of commuters. This paper analyzes the necessity of the development of the interoperability of metropolitan area rail transit networks, and studies the development of specific foreign metropolitan areas to analyze the characteristics and applicability of two operation modes. It also considers the interoperability of the Shanghai metropolitan area rail transit network based on railway line technical standards and traffic organization and coordination. The essence of interoperability development is analyzed, and the two interoperability of joint operation and hub transfer are summarized. Finally, the main implementation modes of "four-network integration" of rail transit and their applicable conditions are proposed.

Keywords: rail transit, interoperability, joint operation, hub transfer