

文章编号: 1003-1421(2024)10-0061-12 中图分类号: U294.1 文献标识码: A

DOI: 10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.2024.10.08

引用格式: 潘昭宇. 都市圈轨道交通网络规划研究综述及展望[J]. 铁路运输与经济, 2024, 46(10): 61-72.

PAN Zhaoyu. Overview and Prospect of Urban Rail Transit Network Planning Research[J]. Railway Transport and Economy, 2024, 46(10): 61-72.

都市圈轨道交通网络规划研究综述及展望

潘昭宇^{1, 2}

(1. 中国城市和小城镇改革发展中心, 北京 100038; 2. 清华大学 建筑学院, 北京 100084)

摘要: 当前, 我国都市圈轨道交通正处于规划建设的关键时期, 都市圈轨道交通网络规划理论及实践研究综述是相关学术研究和政策制定的重要基础。通过文献计量、数理统计等方法, 从都市圈及都市圈轨道交通的概念内涵入手, 系统梳理我国都市圈轨道交通的发展历程, 详细阐述都市圈轨道交通与城市发展的互动规律、都市圈轨道交通多网融合技术和都市圈轨道交通网络规划技术研究进展, 总结我国都市圈轨道交通规划面临挑战, 研究提出未来在都市圈轨道交通与都市圈互动机理、客流分析预测模型、网络规划技术方法等方面进一步研究方向。研究可为都市圈及都市圈轨道交通研究、规划实践等提供学术参考。

关键词: 都市圈轨道交通; 研究综述; 多网融合; 客流预测; 规划方法

Overview and Prospect of Urban Rail Transit Network Planning Research

PAN Zhaoyu^{1, 2}

(1. China Center for Urban Development, Beijing 100038, China;

2. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: At present, China's urban rail transit is in a critical period of planning and construction. The theoretical and practical research review of urban rail transit network planning is an important foundation for relevant academic research and policy formulation. Starting from the conceptual connotations of urban agglomerations and urban rail transit, this paper systematically reviewed the development history of urban rail transit in China through bibliometric and mathematical statistics methods. It elaborated on the interactive laws between urban rail transit and urban development, the multi-network integration technology of urban rail transit, and the research progress of urban rail transit network planning technology. In addition, the paper summarized the challenges faced by urban rail transit planning in China and proposed further research directions in the interactive mechanism between urban rail transit and urban agglomerations, passenger flow analysis and prediction models, and network planning technologies and methods in the future. The research can provide academic references for the study and planning practice of urban agglomerations and urban rail transit.

Keywords: Urban Rail Transit; Research Review; Multi-Network Integration; Passenger Flow Prediction; Planning Methods

收稿日期: 2024-08-03

基金项目: 中国城市和小城镇改革发展中心重点课题(2024A05)

0 引言

轨道交通对现代化都市圈培育具有重要支撑作用。2019年,国家发展和改革委员会(以下简称“国家发改委”)发布《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》,提出构建以轨道交通为骨干的通勤圈,在有条件地区编制都市圈轨道交通规划,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”。2020年,国务院办公厅发布《关于推动都市圈市域(郊)铁路加快发展的意见》,提出要顺应新型城镇化发展要求,积极有序推进都市圈市域(郊)铁路建设。当前,我国都市圈发展还处在初级阶段,都市圈轨道交通正处于规划建设的关键时期。加强都市圈轨道交通网络规划研究,系统总结国内外关于都市圈轨道网络规划的规划理念、技术方法、评价指标等研究成果,对于提升轨道交通服务效率、促进都市圈可持续发展,具有重要的理论价值和现实意义。

1 都市圈轨道交通的概念内涵及发展历程

1.1 都市圈的概念内涵

20世纪80年代,都市圈概念引入国内,出现都市经济圈、都市区、城市群等近似概念^[1],由于当时我国城镇化进程刚起步,经济发展水平还不高,都市圈发展并没有实质性推动。1999年,江苏省组织编制城镇体系规划,提出建设南京、徐州、苏锡常三大都市圈规划,成为国内最早研究都市圈的区域,规划提出都市圈是以一个或多个中心城市为核心,以发达的联系通道为依托,吸引辐射周边城市与区

域,促进城市联系与分工协作,并可实施有效管理的城镇化空间组织体系^[2]。2019年,国家发改委发布《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》,提出都市圈是以超大、特大城市或辐射带动功能强的大城市为中心、以1小时通勤圈为基本范围的城镇化空间形态。由于对“1小时通勤圈”认识不统一,也缺乏具体的界定标准,国内对都市圈的概念内涵认识仍不统一。目前,国内基于都市圈的内在作用机理、空间布局形态、主要服务功能,对都市圈研究形成一定共识:都市圈以一个或多个中心城市为核心,范围跨越地市级行政辖区,交通通勤、产业协作、公共服务等联系紧密,空间形态和产业分工上呈现圈层分布特征,是大城市发展到一定阶段的高级空间形态^[3-5]。都市圈具备交通通勤圈、产业协作圈、统一市场圈、品质生活圈等多重功能^[3-5]。对都市圈概念的认识差异在于都市圈是以通勤联系界定,还是以经济联系界定,这直接影响都市圈的空间范围,也决定都市圈轨道交通的技术标准、系统制式和服务水平,国内外都市圈范围对比如表1所示。

1.2 都市圈轨道交通的概念内涵

国际上,都市圈轨道交通又称为市郊铁路、通勤铁路、城市快速铁路等,主要强调通勤服务功能^[6-7]。日本东京都市圈轨道交通按照经营主体划分,包括JR和私铁2类,JR由JR东日本管辖,主要承担都市圈中长途客流运输和通勤交通功能;私铁由私营企业经营,主要承担都市圈外围与东京区部之间的客流运输功能,由放射骨干线路及其支线组成,主要布局在JR线路未覆盖的区域^[6]。法国巴黎都市圈轨道交通包括大区快铁(Réseau Express

表1 国内外都市圈范围对比^[3]
Tab.1 Comparison of urban agglomeration range at home and abroad^[3]

线路分类	名称	都市圈面积/万 km ²	中心城市面积/万 km ²
国际都市圈	纽约都会区	1.74	789(纽约市)
	大伦敦地区	1.21	303(内伦敦)
	东京都市圈	1.34	622(东京区部)
	大巴黎地区	1.20	105(巴黎市)
国内都市圈	南京都市圈	2.70	823.0
	福州都市圈	2.60	301.3
	成都都市圈	2.64	949.6
	长株潭都市圈	1.89	378.0
	西安都市圈	2.06	700.7
	重庆都市圈	3.50	846.0

Régional, RER)和远郊铁路(Transilien), RER 主要服务都市圈近郊、距巴黎市中心 60 km 半径以内区域, 承担都市圈郊区、各新城与巴黎市中心的联络功能; Transilien 主要服务都市圈远郊、距巴黎市中心超过 60 km 的区域, 承担中心区域周边各省之间的交通^[6]。

在我国, 都市圈轨道交通是对服务都市圈通勤功能为主的轨道系统的统称, 并非一种专门的轨道系统制式。都市圈轨道交通的名称较多, 国家发改委、住房和城乡建设部、国家铁路局等发布政策文件明确提及的包括市域(郊)铁路、市域快速轨道交通、都市圈城际铁路、城市轨道交通快线等, 同时在学术研究及规划实践中还有市域铁路、市域快轨、市域快线、都市圈快轨等^[6], 都市圈轨道交通概念及内涵统计如表 2 所示。都市圈轨道交通主要强调为都市圈中心城市城区和周边城镇组团之间, 提供快速、便捷、公交化的运输服务, 其功能介于城际铁路与城市轨道交通之间^[8-10]。从都市圈轨道交通的内涵来看, 虽然都市圈存在通勤圈、经济圈

的分歧, 但都市圈轨道交通主要强调服务通勤客流。

从都市圈轨道交通的系统制式、技术标准来看, 都市圈轨道交通包括利用既有铁路资源开行市郊列车和新建都市圈轨道交通 2 大类, 并优先利用干线铁路、城际铁路资源, 以降低投资建设成本。利用既有铁路资源的技术标准、设计速度要求相对不高, 原则上不进行大规模改造, 多采用 CRH 型车^[10-11]。新建都市圈轨道交通设计速度一般 100~160 km/h, 车辆选型比较灵活, 包括市域 A 型、B 型、C 型、D 型车及中低速磁浮列车, 其中设计速度 120 km/h 及以下一般采用直流 1 500 V 供电, 超过 120 km/h 一般选择交流 AC 25 kV 供电。从运营组织看, 都市圈轨道交通, 尤其是新建项目一般需设置越行条件, 采用大小交路、快慢车等相结合的灵活运输组织方式, 开行站站停列车、大站停列车(越行)、直达车等。目前, 针对都市圈轨道交通技术标准的差异在于新建项目采用铁路制式, 还是采用城市轨道交通制式^[12-13]。

表 2 都市圈轨道交通概念及内涵统计
Tab.2 Concept and connotation statistics of urban rail transit

机构(年份)	名称	概念及内涵
国家发改委等 (2020)	市域(郊)铁路	市域(郊)铁路是连接都市圈中心城市城区和周边城镇组团, 为通勤客流提供快速度、大运量、公交化运输服务的轨道交通系统; 重点满足 1 小时通勤圈快速通达出行需求, 设计速度宜为 100~160 km/h, 单程时间不超过 1 h
住房和城乡建设部 (2022)	市域快速轨道交通	市域快速轨道交通是在市域范围内修建的最高运行速度 120~160 km/h、旅行速度 45 km/h 及以上、采用电力牵引的快速轨道交通线路; 服务市域内中、长距离出行
住房和城乡建设部 (2018)	城市轨道交通快线	城市轨道交通快线是旅行速度为 45km/h 及以上的城市轨道交通线路
国家铁路局 (2021)	市域(郊)铁路	市域(郊)铁路是都市圈中心城市城区连接周边城镇组团及其城镇化组团之间的轨道交通系统; 功能定位是服务通勤客流、方便快捷, 满足通勤交通出行时间 1 h 以内的目标要求; 新建设计速度 100~160 km/h
国家发改委 (2014)	都市圈城际铁路	适应新型城镇化发展要求, 改善都市圈内部出行条件, 覆盖区域内 70% 以上 20 万人口以上城镇, 形成 1 小时交通圈
中国铁道学会 (2017)	市域铁路	位于中心城区与其他组团、组团与组团之间, 服务通勤、通学等, 设计速度 100~160 km/h, 客运专线铁路
中国城市轨道交通协会 (2018)	市域快轨	具有通勤服务功能, 主要服务于中心城区与周边城镇、城市郊区、周边新城之间联系; 属于城市轨道交通范畴; 以城市客流为主, 满足通勤、通学、商务、旅游等客流需求
住房和城乡建设部 (2016)	市域快线	在市域行政管辖区域内或都市圈范围内, 连接市区与外围组团、卫星城, 最高运行速度为 100~160 km/h, 全程运行时间不宜大于 1 h
广东省交通运输厅 (2022)	粤港澳大湾区城际铁路	服务于都市圈之间、都市圈内部, 设计速度 160~200 km/h, 公交化运营
浙江省住房和城乡建设厅 (2018)	市域快轨	具有通勤服务功能, 主要服务于中心城区与城市郊区、新城(镇)联系; 最高运行速度 120~160 km/h

从都市圈轨道交通的服务范围和对象看,都市圈轨道交通主要服务以都市圈中心城市为核心、1小时通勤圈单程出行时间、城市半径为50~70 km的范围,服务对象以通勤客流为主,商务、公务、旅游等客流为辅^[6-11]。票制票价方面,都市圈轨道交通坚持公共交通服务属性,各地主要采取与城市轨道交通统一的票制票价,部分利用既有铁路资源的采取铁路票制票价,但执行相应折扣价,城市政府在成本规制、收入清算基础上给予铁路运输企业补贴。检票乘车方面,都市圈轨道交通一般采取不限车次、无需实名的方式,通过购票、刷卡、扫码等多种方式进站,以坐席乘车为主、兼顾站席。部分利用既有铁路资源的市域(郊)铁路需提前检票候车。

1.3 我国都市圈轨道交通的发展历程

综合考虑我国城镇化进程、都市圈发展、都市圈轨道交通建设等因素,我国都市圈轨道交通规划建设大致可以划分为以下4个阶段。

第一阶段(20世纪80年代初至90年代末)。20世纪80年代初,市郊铁路运量占铁路运量的20%左右,在铁路系统中发挥着重要作用。随着改革开放进程加快,铁路运力紧张、市郊铁路发展相对滞后,出现市郊铁路设备陈旧、运行速度低、客运组织混乱等问题,市郊铁路运量快速萎缩,到20世纪末基本退出历史舞台。20世纪90年代中期,少量文献对市郊铁路运输车辆、运行速度、运输价格等进行分析,并探讨了我国发展市郊铁路的基本条件、近远期构想,但相关研究并未转化为政府决策。

第二阶段(21世纪初至2010年)。城市轨道交通建设起步,对都市圈轨道交通规划实践偏少,也未形成明确的都市圈轨道交通概念,相关文献主要围绕市郊铁路的优势、作用地位、主要影响因素等进行定性分析,结合北京、上海、成都、苏锡常等城市探讨了利用铁路资源、衔接城市轨道交通、完善路地合作机制等市郊铁路发展对策,并初步提出大城市新建市郊铁路的布局模式。

第三阶段(2010年至2019年)。伴随城市轨道交通规划建设加速,对都市圈轨道交通规划研究逐步升温,研究侧重分析总结国际市郊铁路布局经验、

技术经济特征,重点研究都市圈轨道交通相关概念、功能定位、布局模式、主要技术标准,并结合浙江省都市圈城际铁路(一期)、上海金山铁路(上海南—金山卫)、北京大兴机场线等实践案例,对都市圈轨道交通规划布局进行探讨,对利用/改造既有铁路开行市郊列车、新建国铁制式、城市轨道交通制式等进行比较分析。这段时期研究总体上侧重都市圈轨道交通自身线路规划及技术标准,对多网融合等研究不多。

第四阶段(2019年至今)。随着国家层面对都市圈及都市圈轨道交通相关政策的出台,粤港澳、长三角、成渝及长株潭等都市圈轨道交通网络规划印发实施,都市圈轨道交通规划成为研究关注的热点,由于规划现实的需求,多网融合、多层次轨道交通协同规划等成为研究重点,初步形成网络、通道(线路)、站点、运营等融合的都市圈轨道交通网络规划框架,规划案例总结、实证分析、客流预测模型、规划框架体系及规划研究方法研究显著增加。

2 都市圈轨道交通与城市发展的互动规律

2.1 都市圈轨道交通与都市圈范围的关系

都市圈空间尺度及经济活动范围主要受交通可达性的约束,交通可达性对都市圈的制约主要体现在出行时间成本约束活动空间范围、出行经济成本制约交通方式选择^[14]。从1小时通勤圈来看,通勤圈全出行链较舒适、可接受、可忍耐的出行时间宜分别控制在45 min, 60 min, 75 min以内^[15]。从满足日常工作和生活、个人幸福感和健康的角度出发,一天中用于交通的时间基本稳定在1~1.3 h,单程通勤时间一般不超过1 h^[16]。通过都市圈轨道交通设计速度、站间距、系统制式、运营组织方式等的协调配合,适配1小时都市圈通勤服务水平,都市圈轨道交通支撑服务范围约为50 km,不宜大于60 km^[10, 14]。国际上东京、纽约、伦敦、巴黎等都市圈的空间尺度,从中心区向外延伸半径也基本在50 km以内^[17-18]。对于都市圈内城市半径50 km以外的远郊区域,人口及就业岗位逐步减少,通勤客流不是主要客流,都市圈轨道交通难以延伸服务,可以考虑城际铁路提供运输服务^[10]。

2.2 都市圈轨道交通与都市圈发展的互动关系

都市圈轨道交通与都市圈发展呈现长期的互动关系,两者构成的复杂系统通过自组织效应相互反馈、协同演化,轨道交通引导人口、产业等功能变迁,促进都市圈极核、圈层、廊道的形成,都市圈空间形态的集聚变化反过来支撑轨道交通投入与长期运营收益,并进一步反馈到轨道交通网络的优化。

东京、伦敦都市圈发展历程表明,都市圈轨道交通与城市空间结构呈现互动关系,轨道交通引导城市空间结构拓展、促进都市圈的形成,在轨道交通带动下,人口分布向郊区拓展,商业区、娱乐区、商务区等沿着大量客流聚集的轨道换乘站、换乘中心布局,促进城市中心功能的集中。从东京都市圈发展历程来看,20世纪50年代随着都市圈市郊铁路的建设运营,1955—1995年,都市圈市郊铁路客运量由800万人次/d增长到约2850万人次/d,都市圈常住人口由1542万人增长到3258万人,同期中心城区东京都人口保持相对稳定,在都市圈轨道交通带动下人口郊区化特征明显^[19]。同时,城市空间结构也支撑和促进都市圈轨道交通发展,都市圈轨道交通加速了居民职住分离,保证了都市圈轨道交通的客流效益,也形成典型的远程长距离通勤,甚至带来高峰期轨道交通严重拥挤问题^[17-18]。国内深圳6号线开通前后职住分离的跟踪分析数据,也验证了都市圈轨道交通加剧1小时通勤圈内职住分离和向心通勤^[20]。

3 都市圈轨道交通多网融合技术

都市圈轨道交通的不同制式功能具有一定兼容性,且相互制约影响。在都市圈轨道交通与城市发展互动规律基础上,分析都市圈轨道交通多网融合技术,明确不同制式轨道交通的功能定位和兼容特

征,是开展都市圈轨道交通网络规划的基础。

3.1 都市圈轨道交通的功能分工

按照服务空间范围、客流构成、设计速度等,轨道交通包括干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、城市轨道交通4大类^[21-23],干线铁路又分为高速铁路和普通铁路,多层次轨道交通主要指标如表3所示。从功能分工来看,服务都市圈的轨道交通以市域(郊)铁路为主,以城际铁路、城市轨道交通为补充^[22]。当前,国内对多层次轨道交通的功能分工已形成一定共识,但从发展实际来看,国内都市圈发展刚起步,服务都市圈的市域(郊)铁路较为滞后,相对而言,城市轨道交通发展却异常迅速,如北京、上海、广州、深圳、成都、武汉、南京等城市轨道交通已基本覆盖城市半径30km左右范围,部分已经达到、甚至超过50km,承担了本该由市域(郊)铁路承担的功能,一定程度上造成速度标准、服务水平的错配。因此,都市圈轨道交通的规划布局,要在明确功能分工的前提下,尊重都市圈发展的客观规律,并紧密结合我国国情,加强对都市圈出行需求特征、发展趋势的科学研判,一方面新建市域(郊)铁路从规划布局上应以中心城区向郊区放射布局为主,一般难以独立成网,规模也不会像国际都市圈那么大;另一方面,要因地制宜,做好与既有城市轨道交通网络的衔接以及制式标准的统一。

3.2 都市圈轨道交通的功能兼容

干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、城市轨道交通共同构成服务不同国土空间尺度的多层次轨道交通系统,各层次轨道交通服务范围、技术标准、服务对象各有侧重,但对都市圈的服务功能又有一定兼容,多层次轨道交通功能兼容示意图如图1所示。从功能兼容看,干线铁路、城际铁路通

表3 多层次轨道交通主要指标^[22]
Tab.3 Main indicators of multi-level rail transit^[22]

轨道交通类型	服务范围	主要客流	设计速度/(km/h)	平均站间距/km	线路长度/km	乘坐方式
高速铁路	国家、区域	商务、旅游、探亲	250~350	30~60	>300	座位
普速铁路	国家、区域	商务、务工、探亲	<160	10~50	>300	座位/铺位
城际铁路	城市群	商务、旅游、探亲	120~200	5~20	>100	座位
市域(郊)铁路	都市圈、中心城区	都市圈通勤客流为主	100~160	3~7	30~80	座位为主
城市轨道交通		中心区通勤客流为主	80~100	0.5~1	<40	站位为主

注:城市轨道交通,特指地铁、轻轨(含单轨)等。

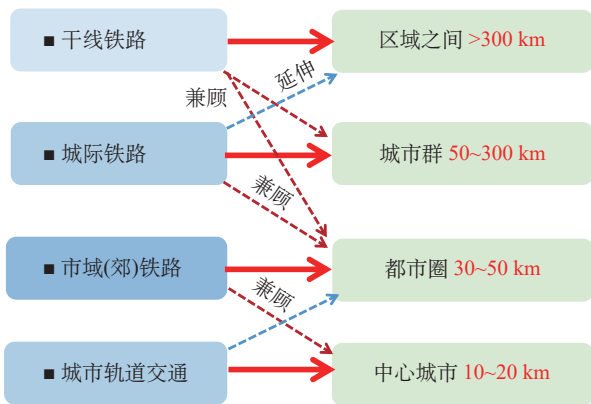


图1 多层次轨道交通功能兼容示意图^[6]

Fig.1 Functional compatibility of multi-level rail transit^[6]

过铁路带流可以服务一部分都市圈出行功能，同时，干线铁路、城际铁路通过局部改造、开行市郊列车也可以兼顾市域(郊)铁路通勤服务功能，城市轨道交通也可以适当向都市圈延伸，服务都市圈通勤出行^[6, 22]。服务都市圈的轨道交通可以分为利用铁路带流、开行市郊列车、新建市域(郊)铁路、城市轨道交通延伸4种类型，都市圈轨道交通服务类型及适用条件如表4所示^[22]。从出行衔接看，都市圈轨道交通多网融合的关键在于提升旅客“门到门”的出行效率，满足不同层级轨道交通之间衔接换乘需求，如深圳北站干线铁路、城际铁路到发客流中，城市轨道交通换乘比例高达65%，北京市域(郊)铁路副中心线良乡站进出客流中，城市轨道交通接驳换乘比例也达20%。

3.3 都市圈轨道交通网络、枢纽及运营融合技术

都市圈轨道交通多网融合正处于探索阶段，结合政策研究及工程实践，初步提出网络融合、枢纽衔接、运营一体的框架体系^[22-23]。城镇发展形态方面，都市圈中心城区呈现建设用地连绵成一个整体

的连绵发展特征，适宜以城市轨道交通为主，都市圈近郊地区呈现轴带发展特征，适宜以都市圈市域(郊)铁路为主，都市圈远郊地区城镇与城镇之间有隔离、形成串珠状，适宜以城际铁路等为主；网络融合方面，都市圈轨道交通与干线铁路、城际铁路等铁路网络融合主要以枢纽换乘方式为主、过轨跨线运行为辅^[15]；都市圈轨道交通在市区与城市轨道交通的衔接方式与运营方式密切相关，都市圈轨道交通与城市轨道交通的衔接融合以多线多点换乘为主，应体现一次换乘的线网覆盖率水平，部分城市采用双流制技术实现都市圈轨道交通与城市轨道交通过轨运行^[10, 15]；枢纽衔接方面，主要基于多层次轨道交通衔接换乘规模及需求，对枢纽进行分级分类，强化都市圈多层次轨道交通网络与枢纽的衔接匹配，完善枢纽集疏运网络，畅通枢纽场站之间的连接^[6]；运营一体方面，主要推进都市圈多层次轨道交通互联互通，强化系统制式、技术标准、运营管理等方面协同，充分利用互联网、大数据等现代信息技术手段，以服务兼容、信息共享、联程联运、功能融合为重点，提升多层次轨道交通运营服务水平和出行体验。都市圈轨道交通多网融合示意图如图2所示。

总体而言，目前关于都市圈轨道交通多网融合的功能分工和兼容已形成一定共识，但多网融合技术还停留在理念层面，除资源共享、时序兼顾之外，对共用走廊、互联互通、制式衔接等重大问题的适用条件、技术经济可行性等研究还不足，特别是从客流需求、信号控制系统、车辆制式等方面的综合统筹分析方法、规律总结还较为缺乏。

都市圈轨道交通多网运输组织方面，都市圈轨

表4 都市圈轨道交通服务类型及适用条件^[22]
Tab.4 Types and applicable conditions of urban rail transit services^[22]

序号	类型	建设投资/ (亿元/km)	高峰能力/ (对/h)	适用条件	空间尺度/ km	典型案例
1	利用铁路带流	0	—	低客流	—	京津城际铁路(北京南—滨海)、广深城际铁路(广州—深圳)
2	开行市郊列车	0~0.8	0.5~5	中低客流、都市圈发展初期	—	西成高速铁路(西安北—成都东)、上海金山铁路(上海南—金山卫)
3	新建市域(郊)铁路	1~2	10~20	近郊、大客流、都市圈发展中后期	40~50	南京S8、北京新机场线
4	城市轨道交通延伸	2~3	20~30	特大、超大城市、近郊近郊	<30	北京亦庄线、大兴线

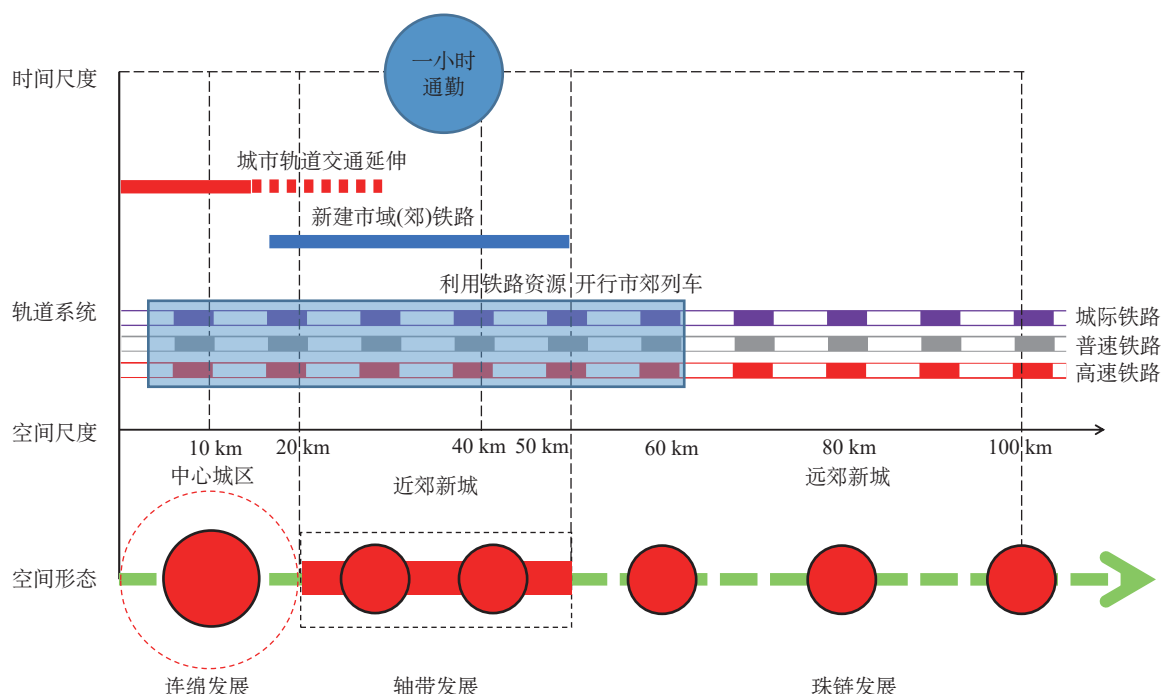


图2 都市圈轨道交通多网融合示意图^[6]
Fig.2 Mult-network integration of urban rail transit^[6]

道交通运输组织主要包括站站停、跨线过轨运行、快慢车组织等模式。跨线过轨运行包括“一”型过轨(贯通运营)、“Y”型过轨(主支线运营)和“X”型过轨(交叉过轨运营),综合考虑客流需求、工程代价、运输组织等,都市圈轨道交通宜以贯通运营、主支线运营为主,对于交叉过轨运营宜慎重决策^[15]。快慢车组织可兼顾覆盖范围和通行速度,但对运输能力、服务水平、运营管理、工程投资等会产生影响,都市圈轨道交通在中心城区段宜与城市轨道交通形成快、慢线搭配,采用大站间距、站站停方式,远郊支线段宜采用站站停方式、近郊干线段可考虑快慢车组织。

4 都市圈轨道交通网络规划技术

4.1 都市圈轨道交通网络规划方法

4.1.1 国际都市圈轨道交通网络规划方法

日本和法国都市圈轨道交通发展较早,基本在20世纪已建设完成,其中日本东京都市圈轨道交通于1960年基本建设完成,法国巴黎都市圈轨道交通于1980年代基本建成运营^[6]。东京都市圈轨道交通的规划比较具有代表性,20世纪50年代,东京经济发展迅速恢复,东京地区的职住分离产生了

巨大的通勤客流。1956年,东京都市圈轨道交通规划提出中心放射线路和东京区部轨道交通能力急需增强,规划都市圈放射线路(包括私铁和国铁线路改造),并要求地铁与放射轨道干线直通运营,强调换乘节点应被分散以缓解枢纽站点的拥堵,这一版规划奠定了东京都市圈轨道交通的发展格局^[24]。

近年来,国外学者对都市圈轨道交通网络规划技术研究偏少,主要聚焦新技术对都市圈轨道交通网络评估^[25-27]、交通需求^[28-30]、线路及车站选择^[31-33]等,并结合CrossRail等少量重大项目开展研究分析^[34-36]。如Jin等提出了递归的空间平衡模型,用于预测大城市区域的主要发展或重组的城市活动地点和出行选择,可以为都市圈轨道交通线路及车站的选择提供支撑^[37];Taylor等研究了CrossRail在伦敦市中心路段的规划与设计,包括对中心地区基础设施和相关配套技术的研究^[38];Smith等从运营商(昆士兰铁路公司)、系统用户、车站性能等多维视角,提出市郊铁路合理化评估方法,并对澳大利亚布里斯班市郊铁路网进行评估^[39];Chung等针对美国的城市郊区化和地方特征的空间变化,以美国西北部俄勒冈州波特兰和华盛顿州西雅图2个大都市

地区为例,提出郊区对轨道交通的支持水平低于中心城市,并且选民的教育水平、到车站的距离是轨道交通支持的决策因素^[40]。

4.1.2 国内都市圈轨道交通网络规划方法

我国工程实践中,都市圈轨道交通规划大多采用定性与定量相结合的分析方法,网络布局基本延续区域铁路及城市轨道交通运用较多的“点—线—面”布局法^[10, 41],规划框架基本采用“网络—枢纽—运营”规划框架。

(1) 定性与定量相结合分析法。定性分析主要是从都市圈范围、城镇布局、产业功能等方面把握都市圈轨道交通的空间尺度、网络形态。定量分析主要依托调查数据和手机信令、移动客户端等大数据,采用传统的“四阶段”交通需求预测方法分析预测都市圈交通需求,重点关注高峰期通勤客流规模、主要方向及比例等,并预测近远期各条轨道线路客运量、客运强度、站点乘降量等具体指标,以支撑都市圈轨道交通规划建设。

(2) “点—线—面”布局法。目前规划实践基本延续城市轨道交通的“点、线、面”分析法,以点穿线、交织为网,实现“点”要稳、“线”要顺、“面”要匀的目标。“点”主要是客流吸引点,包括城市主要功能节点、枢纽节点,往往也是线网交织的换乘点;“线”就是以点穿线,通过“线”串联各主要站点,具体包括棋盘型、放射型、环型等各种图形;“面”主要指线网覆盖范围,主要受到用地范围、用地形态的制约^[10]。都市圈轨道交通网络布局主要依据主要功能节点、客流吸引点、枢纽点(点),结合都市圈空间格局、人口产业分布(面),识别交通需求走廊(线),结合网络形态提出都市圈轨道交通网络布局方案^[6, 10, 23]。2019年2月,国家发改委《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》印发实施,之后国家正式印发或批复实施的长三角^[42]、成渝^[43]、长株潭等都市圈轨道交通网络布局基本延续“点—线—面”布局法,其中包括节点选择、线网布局、网络优化3个步骤^[10, 22-23]。

从规划实践来看,为保证都市圈轨道交通的时间竞争力、服务竞争力、效益竞争力,都市圈轨道交通布局通常采用放射线为主、穿城连心、主支线结合等布局形态^[15, 21]。目前,对于都市圈轨道交

通布局存在以下认识差异:一是都市圈轨道交通是否应该“穿城”。国家发改委等部门《关于推动都市圈市域(郊)铁路加快发展的意见》从控制投资和建设成本考虑,当前并不鼓励都市圈轨道交通穿越城区,提出都市圈轨道交通与城市轨道交通一体化衔接、多线多点换乘。从学术研究来看,穿城布局对于保证客流效益、提升客流服务水平具有重要作用。二是都市圈轨道交通是否应该布局支线,线路条件是否允许单线布局。当前,国家铁路局印发的《市域(郊)铁路设计规范》对支线、单线尚未明晰相关要求。由于都市圈轨道交通客流强度不高(普遍小于0.2万人次/km)、外围客流分散,结合当前车辆、信号技术,应该鼓励采取支线,部分支线采取单线布局。

(3) “网络—枢纽—运营”规划框架。干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路等多层次轨道交通在都市圈地区呈现日益相互融合、有机衔接的特点。从我国长三角、粤港澳大湾区、成渝地区等地方规划实践来看,都市圈轨道交通规划基本采用“网络—枢纽—运营”规划框架^[6, 22-23]。网络以“四网融合”为重点,主要体现在不同轨道交通层级之间功能相互兼容、实施时序上远近相互衔接。枢纽是都市圈轨道交通网络与一体服务衔接的纽带,主要是结合衔接轨道交通数量及客流规模建立分级枢纽体系,并建立枢纽与枢纽之间、枢纽自身的便捷衔接集疏运体系。运营服务主要包括多层次轨道交通互联互通、灵活运营、联程联运等。都市圈轨道交通网络与交通枢纽之间是互为支撑、相互衔接的关系,但目前规划方法缺乏对二者之间互动反馈、相互调整的考虑,规划框架本身科学性有待提升。

4.2 都市圈轨道交通网络客流预测模型

都市圈轨道交通网络规划要以科学客观的交通需求预测、客流分析模型为基础。鉴于区域轨道交通客流预测的空间尺度、需求层次等差异性较大,基于四阶段的城市交通模型、基于铁路客运量的区域交通模型均难以直接适用,可以考虑采用2种方法结合的优化模型^[44]。杨珂基于都市圈出行需求的多样性和供需匹配分析,探讨现有客流预测方法的局限性,并提出了服务于都市圈轨道交通的改进客流划分Logit模型^[45];王静等基于市域(郊)铁路出行

目的多样化、平均运距大、客流周期性变化大、车站服务范围大、机动化接驳比例高等客流特征,在轨道交通客流预测模型基础上完善并创新提出都市圈轨道交通客流预测方法,将都市圈轨道交通客流预测划分为需求分析、线路预测2个阶段,并提出分客群、分层次需求分析方法^[46]。

总体而言,都市圈轨道交通与城市轨道交通、区域铁路在服务范围、功能定位、客流构成、服务水平、乘客出行特征等方面都有显著差异。在传统城市轨道交通和区域铁路的“四阶段”交通预测模型基础上,都市圈轨道交通客流预测模型,需要按照不同客流构成、不同空间圈层、不同时间周期(工作日、节假日等),对“四阶段”模型中的交通分布重力模型及相关参数进行修正;按照旅客出行“门到门”全链条时间,对交通方式划分模型及相关参数进行修正。同时,针对传统交通模型各个层次之间不传导、相互之间没有形成链路的缺陷,还应充分考虑都市圈不同出行链多次出行的相互影响,优化完善逐级耦合、分层迭代的客流预测技术。

4.3 都市圈轨道交通网络规划评价

都市圈轨道交通网络效果评价主要考虑面向乘客的出行质量服务,以及面向政府决策的社会经济效益。目前,国内相关研究主要采用层次分析法、模糊综合评价法等,对城市轨道交通、城际铁路、高速铁路等单一层次网络进行评价,对都市圈轨道交通网络规划评价研究较少。2020年以来,随着都市圈轨道交通规划建设加速,部分学者从多网融合、服务能力、建设实施条件等方面建立了都市圈轨道交通网络评价指标体系,并采用层次分析法、熵权法、模糊综合评价法等进行量化评价^[47]。面向乘客出行服务方面,建立了时间及经济成本、舒适度等评价指标体系^[21]。都市圈轨道交通与城市协同发展方面,建立了时间目标、城市空间结构优化、交通结构优化、轨道交通网络优化实现程度的评价体系^[19]。

4.4 都市圈轨道交通项目建设条件

按照我国现行政策管理规定,都市圈轨道交通的规划管理比照城市轨道交通的相关管理规定执行^[48]。都市圈轨道交通规划主要包括线网规划、建

设规划2个环节。都市圈轨道交通网络近期建设实施最重要的是确定项目建设时机和建设门槛条件。

都市圈轨道交通的建设时机取决于都市圈经济发展水平、土地开发时序,最终由沿线交通需求决定。与中心城市轨道交通建设相比,都市圈轨道交通依托中心城市的辐射带动,一般应在中心城市的轨道交通基本成网,再考虑向外延伸建设都市圈轨道交通^[6, 10, 13]。关于都市圈轨道交通的建设门槛条件,部分学者从研究角度,提出了一些都市圈轨道交通建设的门槛条件,包括规划期内客流密度不小于10万人公里/(km·d)、客流强度不小于0.2~0.4万人次/km^[22, 49]。由于都市圈轨道交通的建设门槛条件,国家政策层面尚缺乏统一明确标准,总体而言需要结合不同都市圈规模、经济发展水平、都市圈城镇空间结构、出行需求特征等,从客流需求、工程条件等方面研究予以明确。

5 结论与展望

都市圈轨道交通网络规划技术源于城市轨道交通及区域铁路网规划,由于都市圈的空间布局、出行特征与城市及区域有明显差异,在都市圈轨道交通与城市互动规律、客流预测模型、规划技术方法等方面仍存在局限和挑战有待解决。

(1) 关于都市圈轨道交通与城市互动机理。都市圈轨道交通与城市之间的作用机理,本质上是交通与土地系统、交通与人的行为之间的相互作用。对于都市圈轨道交通与都市圈互动机理,面临以下问题:①都市圈尺度远大于通勤圈尺度,都市圈的空间范围、边界难以作为都市圈轨道交通规划的边界约束。都市圈轨道交通建设与超大特大城市职住关系、非核心功能疏解等内在规律有待进一步研究,亟待建立适合我国都市圈特点的土地与交通交互模型;②都市圈轨道交通建设时机条件不明确,国家层面缺乏政策及指标指引,亟待结合都市圈发展合理把握都市圈轨道交通的建设时机。若建设过早、客流支撑不足,导致运营成本巨大;若建设过晚,则错失带动都市圈外围开发建设的最佳时机、增加建设成本。

(2) 关于客流分析预测模型。关于都市圈轨道交通的客流分析预测模型研究较为薄弱,主要面临

以下问题：①都市圈属于城市群和城市之间的空间尺度，客流特征兼顾城际铁路和城市轨道交通的特点，“四阶段”交通预测模型难以直接应用，基于出行活动链的模型研究较少，亟需对既有客流预测模型及相关参数进行完善；②随着移动互联网的普及，大数据在各行各业已广泛应用，也已广泛应用于描述都市圈现状客流特征，如何基于传统调查数据与大数据，构建客流预测模型也亟待研究。

(3) 关于都市圈轨道交通网络规划技术方法。都市圈轨道交通规划涉及干线、城际、市域(郊)铁路和城市轨道交通多个层级。目前，国内实践以经验为主、正处于探索阶段，尚未建立起比较成熟的科学技术体系，主要面临以下问题：①都市圈轨道交通多网融合技术。都市圈轨道交通与城市轨道交通、城际铁路等互通运营、多点衔接换乘等缺乏科学的理论模型支撑，也面临都市圈轨道交通网络与枢纽节点能力匹配等问题亟待解决；②都市圈轨道交通线路及车站布局方法。目前，对于都市圈轨道交通“穿城”与“放射”布局存在一定争议，亟待结合我国都市圈发展实际，结合城市土地与交通互动模型、大数据分析技术手段等，根据都市圈的空间结构特征和出行特征，建立科学的都市圈轨道交通网络布局技术方法，按照不同类型、不同规模都市圈发展要求提出分层分类布局策略。

参考文献：

- [1] 汪光焘, 李 芬, 刘 翔, 等. 新发展阶段的城镇化新格局研究：现代化都市圈概念与识别界定标准[J]. 城市规划学刊, 2021(2): 15–24.
WANG Guangtao, LI Fen, LIU Xiang, et al. New Patterns of Urbanization in the New Development Stage: The Concept and Identification Standards of Modern Metropolitan Areas[J]. Urban Planning Forum, 2021(2): 15–24.
- [2] 邹 军, 王学峰, 陈小卉, 等. 都市圈规划[M]. 北京：中国建筑工业出版社, 2005.
- [3] 高国力, 邱爱军, 潘昭宇, 等. 客观准确把握1小时通勤圈内涵特征 引领支撑我国现代化都市圈稳步发展[J]. 宏观经济管理, 2023(1): 26–32.
GAO Guoli, QIU Aijun, PAN Zhaoyu, et al. Objectively and Accurately Understand the Connotation and Features of the 1-Hour Commuter Circle, Guide and Support Steady Development of China's Modern Metropolitan Areas[J]. Macroeconomic Management, 2023(1): 26–32.
- [4] 尹 稚, 袁 昕, 卢庆强, 等. 中国都市圈发展报告 2018[M]. 北京：清华大学出版社, 2019.
- [5] 邱爱军, 潘昭宇. 都市圈经济发展协同治理研究[M]. 北京：中国建筑工业出版社, 2023.
- [6] 潘昭宇. 多层次轨道交通规划研究[M]. 北京：中国铁道出版社, 2021.
- [7] 美国交通工程师学会. Transportation Planning Handbook 交通规划手册[M]. 北京：机械工业出版社, 2023.
- [8] 汪时中. 市域(郊)铁路规划设计若干关键问题的分析与思考[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(4): 10–16.
WANG Shizhong. Analysis and Reflection of Some Key Issues on the Planning and Design of Urban (Suburban) Railways[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(4): 10–16.
- [9] 李连成. 市域(郊)铁路概念辨析及其定位[J]. 综合运输, 2020, 42(5): 62–67.
LI Liancheng. Discrimination and Orientation of the Concept of City and Suburban Railway[J]. China Transportation Review, 2020, 42(5): 62–67.
- [10] 沈景炎. 对城市轨道交通线网规划的认识、实践、再认识[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(5): 16–28.
SHEN Jingyan. Understanding, Practice and Re-Understanding of Urban Rail Transit Network Planning[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(5): 16–28.
- [11] 何麟辉, 龙红宇, 曹世超. 市域(郊)铁路发展现状分析与高质量发展对策[J]. 现代城市轨道交通, 2023(4): 1–5.
HE Linhui, LONG Hongyu, CAO Shichao. Analysis on Developing Status and High-Quality Development Countermeasures of Urban Region(Suburban) Railways[J]. Modern Urban Transit, 2023(4): 1–5.
- [12] 秦国栋. 市域(郊)铁路的内涵、功能定位与重点问题[J]. 城市交通, 2021, 19(6): 9–14.
QIN Guodong. The Principle, Functional Orientation and Key Issues of Metropolitan Railway[J]. Urban Transport of China, 2021, 19(6): 9–14.
- [13] 张 杰, 马 魁. 对市域(郊)铁路规划实施的思考[J]. 城市交通, 2021, 19(6): 15–20, 70.
ZHANG Jie, MA Kui. Thoughts on Implementation of Metropolitan Railway Planning[J]. Urban Transport of China, 2021, 19(6): 15–20, 70.
- [14] 陈小鸿, 周 翔, 乔瑛瑶. 多层次轨道交通网络与多尺度

- 空间协同优化：以上海都市圈为例[J]. 城市交通, 2017, 15(1): 20–30, 37.
- CHEN Xiaohong, ZHOU Xiang, QIAO Yingyao. Coordination and Optimization of Multilevel Rail Transit Network and Multi-Scale Spatial Layout: A Case Study of Shanghai Metropolitan Area[J]. Urban Transport of China, 2017, 15(1): 20–30, 37.
- [15] 由效铭, 张宁, 宗传苓, 等. 都市圈轨道交通一体化融合发展研究[J]. 城市交通, 2022, 20(2): 66–74.
- YOU Xiaoming, ZHANG Ning, ZONG Chuanling, et al. Integrated Development of Rail Transit in Metropolitan Areas[J]. Urban Transport of China, 2022, 20(2): 66–74.
- [16] 马小毅, 刘明敏, 卢泰宇. 现代化都市圈轨道交通规划思考与广州探索[J]. 都市快轨交通, 2020, 33(6): 22–26.
- MA Xiaoyi, LIU Mingmin, LU Taiyu. Rail Transit Planning in Modern Metropolitan Areas and Exploration in Guangzhou[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(6): 22–26.
- [17] 舒慧琴, 石小法. 东京都市圈轨道交通系统对城市空间结构发展的影响[J]. 国际城市规划, 2008, 23(3): 105–109.
- SHU Huiqin, SHI Xiaofa. The Effect of Tokyo Metropolis Circle's Railway System to Urban Spatial Structure Development[J]. Urban Planning International, 2008, 23(3): 105–109.
- [18] 庞磊, 任利剑, 运迎霞. 复杂系统视角下伦敦都市圈轨道交通与空间结构互动发展研究[J]. 西部人居环境学刊, 2022, 37(5): 98–105.
- PANG Lei, REN Lijian, YUN Yingxia. Research on Interactive Development of Rail Transit and Spatial Structure of London Metropolitan Circle from the Perspective of Complex System[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2022, 37(5): 98–105.
- [19] 郭继孚, 王婷. 揭秘大都市交通：东京篇[M]. 北京：中国建筑工业出版社, 2024.
- [20] 孙永海, 王翹楚, 殷嘉俊, 等. 城市轨道交通市域快线规划评估：以深圳地铁6号线为例[J]. 城市交通, 2022, 20(2): 28–40, 129.
- SUN Yonghai, WANG Qiaochu, YIN Jiajun, et al. Evaluation on Urban Rapid Rail Transit Line Planning: Study on Shenzhen Metro Line 6[J]. Urban Transport of China, 2022, 20(2): 28–40, 129.
- [21] 徐成永, 佟鑫. 都市圈轨道交通发展研究及对策[J]. 现代城市轨道交通, 2022(3): 1–8.
- XU Chengyong, TONG Xin. Research and Countermeasures on Metropolitan Rail Transit Development[J]. Modern Urban Transit, 2022(3): 1–8.
- [22] 潘昭宇. 都市圈轨道交通规划建设关键问题研究[J]. 都市快轨交通, 2020, 33(6): 7–14.
- PAN Zhaoyu. Key Issues in Rail Transit Planning and Construction in Metropolitan Areas[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(6): 7–14.
- [23] 陶志祥. 大城市轨道交通一体化探讨：以广州市为例[J]. 交通工程, 2020, 20(5): 14–20, 27.
- TAO Zhixiang. Discussion on the Integration of Rail Transit in Large Cities: A Case Study of Guangzhou[J]. Journal of Transportation Engineering, 2020, 20(5): 14–20, 27.
- [24] 刘迁, 许双牛, 吴爽, 等. 我国城市轨道交通线网规划实践与思考[M]. 北京：人民交通出版社, 2015.
- [25] JAMILI A. Urban Railway Operation Plan Subject to Disruption[EB/OL]. (2015-01-01)[2024-09-10]. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-47074-9_11#citeas.
- [26] SHRIVASTAV P, DHINGRA S L. Development of Feeder Routes for Suburban Railway Stations Using Heuristic Approach[J]. Journal of Transportation Engineering, 2001, 127(4): 334–341.
- [27] EOM J K, HONG M J. The Potential Use of Mobile Phone Data for Urban Railway Route Planning[J]. Journal of Korean Society for Urban Railway, 2016, 4(3): 551–555.
- [28] HEISE H, WEHNER L. Planning and Development of S-Bahn Networks of The German Federal Railway as A Contribution Towards Improved Transport Conditions in The Large City Regions of The German Federal Republic[J]. Rail International, 1973, 4(4): 549–578.
- [29] ASENSIO J. Demand for Suburban Railway Services in Spain[J]. World Transport Research, 1999, 1(4): 149–160.
- [30] SHRIVASTAVA P, DHINGRA S L. Operational Integration of Suburban Railway and Public Buses: Case Study of Mumbai[J]. Journal of Transportation Engineering, 2006, 132(6): 518–522.
- [31] DAVIES A, MACAULAY S, DEBARRO T, et al. Making Innovation Happen in a Megaproject: London's Crossrail Suburban Railway System[J]. Project Management Journal, 2014, 45(6): 25–37.
- [32] TIMOTHY J B, REHINALD R S. An overview of U. S. Commuter Rail[D]. Lexington: University of Kentucky, 2013.

- [33] BORZA V, HORVÁTH Z I. The Possibilities of the Provision of Urban Railway Function on the Suburban Railway Lines of MÁV[J]. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 2010, 38(2): 85.
- [34] WAHUL R M, PAWAR B Y. Cloud Based Suburban Railway Ticket Booking and Validating System for Android Phone[J]. International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME), 2015, 3(6): 79–81.
- [35] NUNES L, RANGWALA L, PAI M. Mainstreaming Photo- and Video-Based Documentation as Method for Establishing a Level of Service Framework for the Mumbai Suburban Railway System[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2021, 2675(12): 175–185.
- [36] MARTIN U P, RUIZ R A, IGNACIO S G J. European Suburban Railways: Economic Approach to the New General and Operational Environment[J]. Cuadernos De Economia, 2020, 39 (81): 1001–1033.
- [37] JIN Y, ECHENIQUE M, HARGREAVES A. A Recursive Spatial Equilibrium Model for Planning Large-Scale Urban Change[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2013, 40(6): 1027–1050.
- [38] TAYLOR D J, FERGUSON J C. CrossRail: Planning and Design of the Central London Section[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport, 2001, 147(2): 71–83.
- [39] SMITH P N, TAYLOR C J. A Method for the Rationalisation of a Suburban Railway Network[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 1994, 28(2): 93–107.
- [40] CHUNG J. Spatial Variations in Support For Metropolitan Infrastructure Planning: A Comparative Analysis of Rail-Transit Voting Behavior in The Portland and Seattle Metropolitan Areas[D]. Portland: Portland State University, 2001.
- [41] 黄 民. 铁路网规划理论与实践[M]. 北京: 中国铁道出版社有限公司, 2021.
- [42] 国家发展改革委. 关于印发《长江三角洲地区多层次轨道交通规划》的通知(发改基础[2021]811号)[EB/OL]. (2021-6-7) [2021-07-02]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202107/t20210702_1285353.html
- [43] 国家发展改革委. 关于印发《成渝地区双城经济圈多层次轨道交通规划》的通知(发改基础[2021]1788号)[EB/OL]. (2021-12-10) [2021-12-23]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-12/23/content_5664118.htm
- [44] 全永燊, 刘剑锋. 区域轨道交通规划若干问题与思考[J]. 城市交通, 2017, 15(1): 12–19.
- QUAN Yongshen, LIU Jianfeng. Issues and Thoughts on Regional Rail Transit Planning[J]. Urban Transport of China, 2017, 15(1): 12–19.
- [45] 杨 珂. 都市圈多层次轨道交通系统规划研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.
- [46] 王 静, 赖艺欢, 刘剑锋. 基于乘客画像的市域(郊)铁路客流预测方法[J]. 城市交通, 2023, 21(2): 102–108, 10.
- WANG Jing, LAI Yihuan, LIU Jianfeng. Passenger Characteristics-Based Passenger Flow Prediction Method for Metropolitan Railway[J]. Urban Transport of China, 2023, 21(2): 102–108, 10.
- [47] 张丽丹. 多网融合背景下都市圈市域(郊)铁路网规划方案评价研究[J]. 铁道标准设计, 2024, 68(4): 27–34.
- ZHANG Lidian. Evaluation of Suburban Railway Network Planning Schemes in Metropolitan Areas under Multi-Network Connection[J]. Railway Standard Design, 2024, 68(4): 27–34.
- [48] 国务院办公厅. 国务院办公厅转发国家发展改革委等单位关于推动都市圈市域(郊)铁路加快发展意见的通知[EB/OL]. (2020-1-17)[2023-06-10]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-12/17/content_5570364.htm.
- [49] 李凤军. 促进市域快速轨道交通经济可持续发展[J]. 城市交通, 2021, 19(6): 7–8.
- LI Fengjun. Promoting the Economic Sustainable Development of Urban Rapid Rail Transit[J]. Urban Transport of China, 2021, 19(6): 7–8.

(责任编辑 金 晶)