

都市圈轨道交通一体化融合发展研究

由效铭, 张宁, 宗传苓, 高龙
(深圳国家高技术产业创新中心, 广东 深圳 518057)

摘要: 构建一体化融合发展的轨道交通是建设现代化都市圈的重要抓手。基于中国都市圈轨道交通发展现状分析和国外都市圈轨道交通经验借鉴, 从交通需求和服务水平视角对都市圈快速轨道交通(以下简称“都市圈快轨”)规划的主要问题进行研究。将都市圈轨道交通划分为三大类5个层次, 明确功能定位和规划标准。以提升时间、服务和效益竞争力为目标, 提出都市圈快轨规划的技术要点。分析跨线过轨运行、快慢车组织的影响因素, 提出都市圈快轨运输组织建议。基于各层次轨道交通功能定位和运输组织方式, 提出多层次轨道交通网络融合重点、都市圈快轨与其他网络层次融合建议。最后, 针对都市圈轨道交通涉及多主体特征, 提出构建共商共建共享的可持续发展模式。

关键词: 轨道交通; 都市圈快轨; 功能层次; 规划标准; 网络融合; 运输组织

Integrated Development of Rail Transit in Metropolitan Areas

YOU Xiaoming, ZHANG Ning, ZONG Chuanling, GAO Long

(State High-tech Industrial Innovation Center, Shenzhen Guangdong 518057, China)

Abstract: Building an integrated rail transit system is critical in developing a modern metropolitan area. Based on analysis of current development of rail transit in metropolitan areas in China and rail transit development practices from metropolitan areas abroad, this paper focuses on major issues of rapid rail transit in metropolitan areas from the perspectives of travel demand and level of service. In this paper, rail transit in a metropolitan area is classified into five levels across three categories with clarified functionalities and planning standard. Key technical insights for urban rapid rail transit planning are proposed to improve competitiveness in time, service, and benefits. With the analysis of influence factors associated with crossover operation and organization of rapid and local trains, the paper provides suggestions for organizing urban rapid rail transit. Based on assessing the functionalities and operation modes of rail transit at different service levels, the paper suggests integration of multi-level rail transit networks and the integration of rapid rail transit with other levels of networks in metropolitan areas. Finally, given that rail transit in metropolitan areas involves multiple stakeholders, the paper proposes building a sustainable model featuring co-negotiation, co-building, and sharing.

Keywords: rail transit; urban rapid rail transit; functional level; planning standard; network integration; transportation organization

收稿日期: 2021-09-08

作者简介: 由效铭(1991—), 男, 山西吕梁人, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 轨道交通线网规划、交通枢纽规划。E-mail: youxm@hiic.com.cn

0 引言

2019年2月,《国家发展改革委关于培育发展现代化都市圈的指导意见》(发改规划〔2019〕328号)(以下简称《指导意见》)^[1]发布,明确提出“打造轨道上的都市圈。统筹考虑都市圈轨道交通网络布局,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’”。此后,国家发展改革委全面部署加快京津冀、长三角、粤港澳大湾区城际铁路和市域(郊)铁路规划建设,陆续批复了《粤港澳大湾区城际铁路建设规划(2020—2030

年)》《长江三角洲地区多层次轨道交通规划》等区域轨道交通规划,并由国务院办公厅转发了国家发展改革委等单位《关于推动都市圈市域(郊)铁路加快发展的意见》^[2]。中国相关超(特)大城市加快完善城市群和都市圈轨道交通规划,并推进线路建设。

本文调研了京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝城市群及其内部中心城市的轨道交通网络规划,以及中国已开通和近期建设的50余条都市圈快速轨道交通^①(以下简称“都市圈快轨”)线路规划建设运营情况,借鉴东京、巴黎都市圈轨道交通发展经验,分析都市圈轨道交通网络功能层次和规划标准;重点针对都市圈快轨的规划技术要点、运输组织、与其他层次轨道交通融合发展和跨市协同发展等问题进行研究。

1 都市圈轨道交通发展现状

1.1 对区域轨道交通网络的功能层次、规划标准认识不同

中国对都市圈的概念尚没有形成统一认识^[3],对其范围的界定存在两种意见:一种是以通勤联系紧密度界定,一种是以经济联系紧密度界定,后者的范围大于前者。《指导意见》提出“都市圈是城市群内部以超(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”。都市圈在空间形态和产业分工上具有明显的圈层状布局特征(见图1):1)第一、二圈层分别是作为世界城市体系主要节点的中央商务区和紧邻的商业中心区,共同构成中心城区,是集中城镇化地区;2)第三圈层为中心城市外围地区,即近郊地区;3)第四圈层为城市远郊地区或邻接边缘城镇地区;4)都市圈的外围(第五圈层)为主要经济辐射地区,是遵循劳动地域分工的专业化次等级中心^[4]。

各城市区域轨道交通网络的功能层次、适用范围和规划标准存在较大差异(见表1)。传统城市轨道交通快线(100~120 km·h⁻¹)、城际铁路(250~350 km·h⁻¹)分别在服务近郊城市出行、城市群内部城市间和对外长距离出行层面具有较大优势,各城市相关规划在这两个层面高度一致。但是,在都市圈和经济辐射圈层面,有城市轨道交通快线、市域(郊)铁路、区域快线、都市快线、都市区轨道交

通、高速地铁、城际铁路、铁路干线等多种名称和标准,差异较大。

1.2 都市圈快轨网络形态和融合特点存在差异

各城市结合自身城市轨道交通和铁路发展基础、城区通道条件、都市圈快轨功能定位等因素,开展了都市圈快轨布局和多网融合规划。典型城市的都市圈快轨网络形态和融合特点如表2所示。多数城市既有铁路资源较少,都市圈快轨以新建线路为主,少量线路利用铁路富余运力兼顾。网络形态以中心城区向周边城镇放射为主,辅以环线或联络线,存在是否进中心城区的差异。与中心城区轨道交通网络的融合是以单点换乘或多点换乘为主,部分城市采用都市圈快轨与城市轨道交通快线过轨运行。与铁路融合形式包

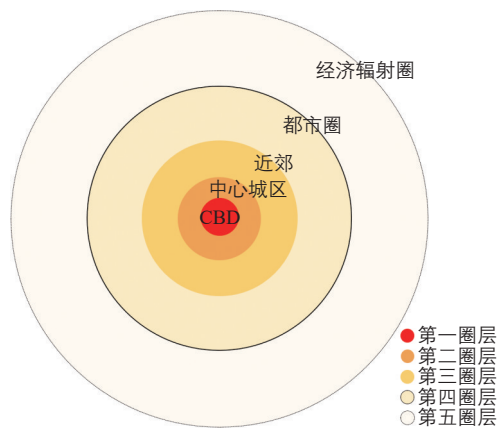


图1 都市圈圈层状布局结构示意图

Fig.1 Circle-based layout of metropolitan areas

表1 区域轨道交通网络的功能层次和规划标准差异

Tab.1 Differences in functional levels and planning standard of regional rail transit network

圈层	范围/km	轨道交通层次	速度等级/(km·h ⁻¹)	平均站间距/km
近郊	20~30	城市轨道交通快线	100~120	2~3
都市圈	40~60 50~70	城市轨道交通快线	100~140	2~4
		市域(郊)铁路、城际铁路、区域快线、都市快线、都市区轨道交通、高速地铁等	140~160	4~8
经济辐射圈	100~150	城际铁路	140~200	5~10 15~30
		铁路干线、城际铁路	250~350	15~30
超出辐射圈	>100~150	铁路干线、城际铁路	250~350	15~30

括枢纽换乘、通道互补、过轨运行三种形式。

1.3 已开通的都市圈快轨线路运营效益不佳

已开通的都市圈快轨线路有三种类型：1)利用既有铁路开行通勤列车或改造为市域(郊)铁路，例如上海金山线、北京已运营的4条市郊铁路等；2)采用铁路模式的新建线路，一般由省级铁路投资机构主导，如穗莞深城际、成灌铁路等；3)采用城市轨道交通模式的新建线路，一般由城市主导，例如北京地铁大兴机场线，杭州地铁杭海城际线等。已开通线路客流水平普遍偏低、运营效益不佳，新建城市轨道交通模式的线路客运强度多为0.05~0.50万人次·d⁻¹·km⁻¹，新建铁路模式的线路客运强度多为0.01~0.10万人次·d⁻¹·km⁻¹，既有铁路改造线路除上海金山线客运强度相对较高(约0.06万人次·d⁻¹·km⁻¹)，其他线路低于0.01万人次·d⁻¹·km⁻¹。

1.4 积极探索快慢车、跨线过轨等运输组织方式

已开通的广州地铁14号线、21号线，在建的重庆轨道交通27号线、宁马城际(南京地铁S2号线)等线路，在规划建设中积极尝试组织快慢车运输。但是，不同线路在越行段选取(全线越行、中心区越行或外围越行)、快车停靠站选取(停靠大客流站或根据运行图铺划)、越行条件设置(部分车站设置或全部车站设置)等方面差异较大。已运营线路也暴露出快车停靠站规划与实际运营存在差异的问题。此外，部分城市开展了跨线过轨运行研究和实践，重庆都市圈快轨与城

市轨道交通快线过轨，实现都市圈快轨进入中心城区；上海铁路制式的都市圈快轨组织线路间过轨运行，并与铁路、城际铁路网络跨层次过轨运行；广州都市圈部分城际铁路参照铁路运输组织方式网络化运行，并与既有珠三角城际铁路过轨运行，兼容铁路列车进入。

1.5 亟须研究跨市轨道交通协同发展模式

中国轨道交通在长期发展过程中主要形成了两种模式：一是铁路模式，中国国家铁路集团有限公司(以下简称“国铁集团”)主导、地方配合，一般为跨行政区线路；二是城市轨道交通模式，由城市政府主导，一般不跨行政区。近十年，轨道交通还形成了介于两者之间的城际铁路模式，由省级政府牵头、国铁集团参与、沿线各城市协同推进。实施过程中，国铁集团与地方、省市之间、各市之间对线路功能定位、规划设计标准、通道选择、建设时序、服务模式、成本补贴等多方面的分歧，导致项目推进缓慢、运营效果不佳。都市圈快轨涉及中心城市和周边各市多个主体，也面临与城际铁路建设同样的问题，亟须研究跨市轨道交通协同发展模式。

2 都市圈轨道交通功能层次和规划标准

2.1 出行需求特征及时间目标

1) 出行需求特征。

根据出行目的，将居民主要的出行划分为通勤(含通学)、生活(含购物)、商务、休闲旅游、探亲访友五类，出行需求特征如表

表2 典型城市的都市圈快轨网络形态和融合特点

Tab.2 Network pattern and integration characteristics of urban rapid rail transit in typical cities

城市	轨道交通层次	速度等级/(km·h ⁻¹)	网络特点	网络形态	与城市轨道交通融合	与铁路融合
南京	城市轨道交通快线	100~140	城市轨道交通快线延伸至周边城镇	放射状、进中心	中心城区多点换乘	枢纽换乘
杭州	城市轨道交通快线	100~120	新建中心城区轨道交通网络至周边城市轨道交通网络连接线	放射状、不进中心	中心城区外围单点换乘	枢纽换乘
重庆	都市圈快轨	140~160	规划中心城区外围轨道交通网络，与城市轨道交通贯通	环线+放射线、过轨进中心	与城市轨道交通快线贯通	通道互补，径向线路新建，环向线路由铁路兼顾
北京	都市圈快轨	100~200	利用既有铁路为主、新建线路为辅	双心放射线+环线，进中心	中心城区多点换乘	通道互补，新建与既有铁路通道差异布局
上海	城市轨道交通快线或都市圈快轨	120~160	中心城区外围新建线路，城市轨道交通、铁路模式均有	放射线+联络线，不进中心	中心城区外围单点换乘	部分与城际铁路、铁路干线共线运行
广州	都市圈城际铁路	160	新建都市圈城际铁路与既有珠三角城际铁路互联互通	环线+放射线、进中心	中心城区多点换乘	与城际铁路网互联互通、过轨运行

3所示。通勤和生活出行具有明显的距离边界以及超过一定距离后出行量递减的特征。根据相关调查,通勤出行范围一般不超过都市圈第四圈层,四大世界级都市圈的通勤半径都在50 km以内,且在与中心城区发生的通勤出行中80%~90%的出行量集中于30 km半径范围内^[5]。中国超(特)大城市中心城区蔓延尺度较大,平均密度较高,部分城市(如深圳)为单侧扇形通勤圈,客观上会推远职住平衡线,部分市民通勤距离超过30 km,通勤范围甚至超过50 km。商务、休闲旅游和探亲访友出行没有明显的距离边界;出行次数和总量上,都市圈内部各组团之间最高,城市群各中心城市间、中心城市与外围城市间次之,远高于对外长距离出行。

2) 出行时间目标的确定。

根据各类出行的空间分布特征,确定不同圈层出行需求的构成情况;综合各类出行的时间服务要求,保证轨道交通较其他交通方式有竞争力,确定轨道交通全出行链时间目标,扣除两端接驳、换乘时间,估算合理的轨道交通乘车时间,具体分析如表4所示。

国内外对通勤时间要求的研究较多,一般认为通勤时间与全天时间分配以及活动参与、个人幸福感和健康影响等因素有关。综合相关研究^[6-7],建议对应通勤圈内3个出行圈层(圈层1+2,圈层3,圈层4)设定较舒适、可接受和可忍耐三类服务水平,全出行链宜分别控制在45 min, 60 min和75 min以内。

商务出行时间影响经济联系、产业分工的紧密程度,商务出行(尤其是时间价值较高、商务差旅频繁人士)的时间要求往往与

商务活动的行程安排相关。为实现都市圈同城化发展,内部各中心节点间出行时间应参照城市组团间出行时间目标,全出行链出行时间宜控制为1 h。对应商务活动的行程安排,中心城区与主要经济辐射地区、城市群内其他城市间出行时间宜按照“早出晚归”或“早出午归、午出晚归”控制。

在都市圈和经济辐射圈范围,轨道交通出行的主要竞争方式是小汽车。通常认为,对于通勤出行,公共交通全出行链时间不超过小汽车1.5倍时公共交通才具有竞争优势;对于商务出行,由于出行者对经济成本敏感性低、对舒适便捷要求高,只有轨道交通全出行链时间不超过小汽车出行时间时,才能保证轨道交通的竞争力。

2.2 轨道交通功能层次和规划标准

基于不同圈层出行的时间目标,考虑线路曲线系数,测算需要达到的旅行速度要求。对应既有各速度等级线路实际运营经验,选取适宜的设计速度等级和平均站间距(见表4)。根据主要服务对象、范围和设计速度等级,可将城市群和都市圈轨道交通划分为城际铁路、都市圈快轨、城市轨道交通三大类5个层次(未包含铁路干线和中小运量轨道交通),功能定位、适用范围和规划标准如表5所示。

在交通功能上,都市圈快轨以服务中心城区与边缘城镇地区间长距离通勤出行为主,兼顾各城市中心和城镇节点间快速商务出行。在城市功能上,都市圈快轨推动中心城市空间向外拓展和带动外围地区发展,引导形成多中心、网络化空间结构和区域协调

表3 出行需求特征

Tab.3 Travel demand characteristics

出行目的	空间分布特征	高峰聚集特征	敏感因素和敏感程度			
			时间成本	经济成本	舒适便捷	准点可靠
通勤(含通学)	主要分布于第一至第三圈层,部分拓展至第四圈层	明显	高	高	低	高
生活(含购物)	日常出行距离较短,偶发出行分布于整个都市圈	不明显	较高	较高	较低	低
商务	都市圈内部各组团间出行>城市群各中心城市间出行>中心城市与外围城市间出行>对外长距离出行	都市圈内部各组团间和城市群各中心城市间出行较明显,对外长距离出行不明显	较高	低	高	高
休闲旅游						
探亲访友		不明显	根据收入水平平衡			低

发展的城镇中心体系；在都市圈范围内提供近似城市内部的高效出行服务，引导劳动力要素自由流动和合理配置。

3 都市圈快轨规划技术要点

1) 时间竞争力是基础。

为实现都市圈快轨的城市和交通功能，全出行链时间宜控制为1 h，确保都市圈快轨相对小汽车在通勤和商务出行中均具有足够的竞争力。

线网形态上宜采用放射线路为主。都市圈快轨宜穿城连心、多点换乘，穿越或进入

中心城区商务区，连接沿线组团或城镇中心，与客流发生和分布特征吻合；接入城市综合交通枢纽，增强枢纽辐射力；接入城市轨道交通换乘枢纽，与城市轨道交通网络形成多点多线、高效便捷换乘。线站位布局上应尽量避免“外疏内密”带来的全程出行时间过长。

2) 服务竞争力是关键。

通勤出行对经济成本、方式准点可靠等因素敏感，早晚高峰时段聚集明显，对线路运力要求高。服务通勤功能的都市圈快轨，必须采用与地铁一样的服务模式，快进快出、快上快下、随到随走、站内换乘，与城

表4 都市圈分圈层出行需求、时间目标及速度要求测算

Tab.4 Estimation of travel demand, target time, and speed requirements in different circles in metropolitan areas

圈层	范围/km	出行需求	时间目标		全出行链合理出行时间/min	接驳、换乘时间/min	乘车时间/min	线路曲线系数	列车旅行速度/(km·h ⁻¹)	设计速度等级/(km·h ⁻¹)	平均站间距/km
			服务要求	竞争优势							
圈层1+2	中心城区(集中城镇化地区)	通勤出行为主, 兼顾生活、商务出行	通勤较舒适(全出行链 <45 min)	公共汽车(1 h) 小汽车(30~35 min)	45	15	30	1.25	25~38	80~100	1
圈层3	中心城市外围地区(近郊)	通勤出行为主, 兼顾商务、生活出行	通勤可接受(全出行链 <60 min)	小汽车(45~55 min)	60	20	40	1.25	38~56	100~120	3
圈层4	远郊或邻接边缘城镇地区	通勤、商务出行为主, 兼顾生活出行	通勤可忍耐(全出行链 <75 min), 生产生活同城化(都市圈各中心间 <60~75 min)	小汽车(60~80 min)	60~75	20~30	40~45	1.25	83~100	160~200	7.5
圈层5	主要经济辐射地区(专业化次等级中心)	商务出行为主, 兼顾休闲出行	早出晚归(全出行链 <2 h)	小汽车(2 h)	120	(30~40)+15 ¹⁾	65~75	1.20	111~133	200~250	15
			早出午归、午出晚归(全出行链 <1.0~1.5 h)		75~90	(30~40)+15 ¹⁾	30~35	1.20	206~247	300~350	30

1) 圈层5中商务出行按照铁路服务模式考虑，增加候车时间。

表5 城市群和都市圈轨道交通的功能层次和规划标准

Tab.5 Functional levels and planning standard of rail transit in urban agglomerations and metropolitan areas

轨道交通层次		设计速度/(km·h ⁻¹)	交通功能定位	服务范围/km	乘车时间目标	适宜站间距/km
城际铁路	高速城际	300~350	城市群内部出行，为中心城市之间大量、高端商务出行提供更快联系，商务出行为主	100~120，或更远	约0.5 h或更长	20~40
	快速城际	200~250	中心城市经济辐射圈或城市群内部出行，城市中心、主要城镇节点之间，商务出行为主	100~120	约1 h	10~20
都市圈快轨		160~200	都市圈通勤范围，中心城区与边缘城镇地区间长距离通勤出行为主，兼顾各城市中心和城镇节点间快速商务出行	50~60	不宜超过45 min	5~10
城市轨道交通	快线	100~120	市域范围内各组团中心之间快速出行，通勤出行为主	20~30	不宜超过40 min	2~4
	普线	80~100	中心城区、外围城镇或组团内部出行，覆盖主要客流走廊，通勤出行为主	10~15	不宜超过30 min	0.8~1.0

市交通信息联动、共同发布，与其他交通方式一体化接驳。

商务出行对经济成本敏感性低，对舒适性和准点要求高，且同城化商务出行也具有较明显的高峰时段集聚特征。宜设置商务车厢，与通勤客流适度分离，提升对商务客流的吸引力、服务水平和服务能力。

灵活的票制票价体系也是服务竞争力的一部分。定位通勤功能时，都市圈快轨需提供通勤出行者可接受的票价水平，采用类似城市轨道交通的定价方式；服务商务客流时，其公益属性弱，宜用者自付，可参照城际铁路定价模式；跨越多个城市时，需考虑沿线不同地区居民的收入水平差异。建议采用差异化票价和分段定价，提供多种灵活票制。

3) 效益竞争力是核心。

东京、巴黎的轨道交通运营经验显示，都市圈快轨的客运强度一般低于城市轨道交通，且外围区段低于近中心区段。为提高投入产出效益、确保财务可持续，需要严格控制都市圈快轨的建设和运营成本。①网络形态上，适应径向出行为主，中心断面客流量高、外围断面客流量低的客流特征，宜构建“一干多支、主支线运行”的放射状线网；②敷设方式上，适应都市圈用地特征，中心区段宜地下敷设，外围区段应尽量采用地面或高架敷设；③建设时序上，按照长期愿景规划线网，根据近期需求稳步推进、分段建设，重视关键节点预留，构建符合高质量发展时代要求的生长型网络；④坚持向科学技术要生产力，创新装备产品和技术标准体系，推进轻量化列车、自动运行、灵活编组、智慧运营和维修保养等节能低碳、降低运营成本的措施。

4 都市圈快轨运输组织方式

4.1 跨线过轨运行

跨线过轨运行应以客流为基础，综合考虑工程代价及对运输的影响，宜以贯通、主支线运行为主，慎用“X”形过轨。

东京都市圈的JR和私铁线路大范围组织跨线运行有其历史原因，私铁线路在建设初期多终止于中心城区边缘，导致大量乘客需要换乘。在这一背景下，跨线过轨运行主要采用两种方式：一种是外围铁路支线与进城区的铁路干线过轨，过轨节点主要位于距离城市中心约20~30 km以外地区，均为

“Y”形过轨，过轨后的线路采用主支线运行方式；另一种是为减少JR和私铁与地铁在山手线的换乘压力，通过改造实现二者贯通运行，共形成15处贯通节点，其中“一”形、“Y”形过轨各7处，“X”形过轨仅一处^[8]。采用平交配线的“X”形过轨车站(小竹向原站)会因车站乘降超时导致所有交路延误严重。巴黎都市圈的区域快线RER由市区外围铁路线路改造而来，外围地面敷设、市内地下敷设，共有A~E五条线路，均采用外围主支线过轨的运输组织方式。综上，东京、巴黎都市圈快轨均由铁路改造而来，线路本身具备过轨条件，以贯通和主支线运行为主，过轨车站多为地面站。

跨线过轨运行的好处是提升跨线客流的直达性，但要注意评估以下因素和影响。1)跨线客流类型及需求大小；2)对乘客服务水平的影响，包括跨线频次的吸引力、对跨线乘客和本线乘客换乘等候的影响；3)对线路和车站运营的影响，包括跨线站换乘压力、线路能力、交路组织等；4)对制式标准和工程投资的影响。

针对“一”“Y”“X”三种过轨形式进行的影响评估分析见表6。判断采用哪种跨线过轨形式，客流需求是基础。跨线客流比例较低时，跨线交路频次少，吸引力低，多数乘客依然选择“随到随走+换乘一次”的方式出行，跨线过轨运行的必要性不强。商务、通勤出行者的选择偏好有所差异，相较

表6 都市圈快轨跨线过轨形式影响评估分析

Tab.6 Impact analysis of crossover operation of urban rapid rail transit

评估因素		“一”形过轨 (贯通)	“Y”形过轨 (主支线)	“X”形过轨 (交叉过轨)
服务水平	跨线频次	取决于跨线客流比例		
	跨线乘客	减少换乘，增加等候		
	本线乘客	无影响	增加换乘和等候	增加换乘和等候
运营影响	跨线站压力	减小		
	线路能力	无影响	本线末端发车受限	理论上无影响，实际延误较多
	交路组织	无影响	利于短支线组织	需研究两个跨线交路长度是否满足交叉过轨
工程代价	过轨车站规模	不带折返，小带折返，较小	不带折返，较小带折返，较大	大
	投资增加	无影响	不带折返，较少带折返，较少	较多
建议	过轨	本线及跨线客流均衡、支线较短时，过轨		不过轨

而言,前者偏好出行直达,后者偏好随到随走。但无论服务何种出行,跨线交路频次低于4对·h⁻¹时,不建议组织跨线过轨运行。

“一”形过轨不影响本线客流服务水平,过轨车站规模小,工程投资影响小,一般建议过轨运行。“Y”形过轨时本线交路减少,本线乘客服务水平和末端线路能力降低,但是利于短支线运营,工程投资增加较少,当本线及跨线客流较均衡、支线较短时,建议过轨运行。“X”形过轨因跨线客流通常低于本线客流导致服务水平降低,且两个跨线交路中往往只有一个跨线需求较高,过轨在提升一部分乘客直达性的同时,导致占比更高的本线客流需要下车换乘,得不偿失。另外,车站乘降超时易导致所有交路延误严重;“成对过轨”需要两个跨线交路在运行时间上有较高匹配性,条件较苛刻;过轨车站规模大,投资增加较多。因此,对于通勤功能为主的线路一般不建议组织“X”形过轨运行。

东京JR和私铁在通勤化改造过程中,对线路运力瓶颈段进行多复线改造。以中央快线为例,经过多次改造,城市中心和近中心地区(距城市中心20 km)通过四线通道实现快慢线分离,近郊地区(距城市中心约30 km)通过双线通道组织快慢车,远郊地区则采用站站停为主的运输组织方式(见图2)。其他客流量较大的JR和私铁路线也进行了类似的中心和近中心地区的多复线改造。东京都市圈轨道交通网络大体上形成了核心区以慢线地铁为主(少量JR快线)、中心和近中心地区快慢线分离、近郊地区双线通道组织快慢车、远郊地区多支线站站停为主的线路布局和运行特征。

巴黎RER原终止于火车站,后修建中心区地下段,与地铁线路换乘,并与地铁普线网形成快慢分线布局。RER实行大小交路和主支线运行方式,以RER-B线为例^[10](见图3),在中心区站站停、在近郊地区利用不同交路组织快慢车运行、远郊地区或交路末端组织站站停。

采取快慢车组织方式可兼顾覆盖和速度,但是要注意评估以下因素和影响。1)对运输能力的影响。一般每开行1对快车,线

4.2 快慢车组织

快慢车组织宜选择近郊干线段,中心区段和远郊支线段宜站站停。

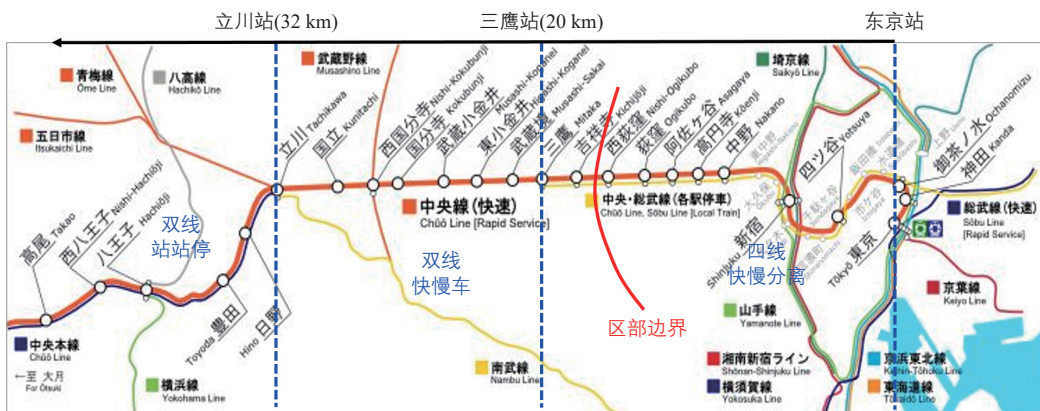


图2 东京JR中央快线的线站位与运输组织方式

Fig.2 Stations location and operation of JR Central Express Line in Tokyo

资料来源:根据文献[9]绘制。

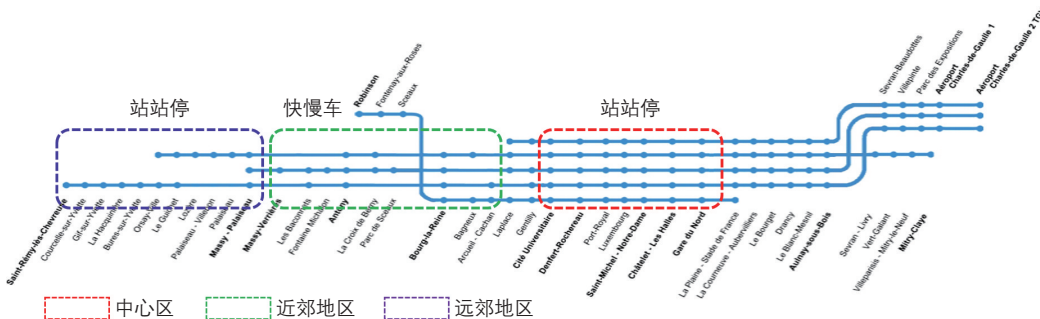


图3 巴黎RER-B线高峰时段运行组织

Fig.3 Organization of Paris RER-B Line during peak hours

资料来源:根据文献[10]绘制。

路能力损失约 $1\sim 2$ 对 $\cdot h^{-1}$ 。2)对服务水平的影响。为保证线路能力,快车开行对数少,间隔较长;快车提速增加了慢车待避时间,乘客等候时间和旅行时间变长。3)对运营管理的影响。快慢车开行比例难以按需供应,导致快、慢车满载率差异大,进一步加剧了客流的时空不均衡性,导致部分列车、车站拥挤度增大,带来运营风险。4)对规划设计的影响。快慢车组织要以精准的规划设计为基础,城市快速发展期难以精准预测,导致规划设计与实际运营产生差异。5)对投资规模的影响。越行条件设置导致车站规模增加,地面或高架越行站投资增加较少,地下越行站投资增加较多。

综上,需要结合走廊的近远期需求、服务水平、线路敷设方式等,深入对比线路站站停、快慢车组织或拆分为快、慢两条线所带来的效益、问题和投资增加。结合网络形态和借鉴国外经验,建议都市圈快轨在中心城区段与城市轨道交通形成快、慢线搭配,采用较大站间距、站站停的组织方式;远郊支线段发车对数较少,为吸引客流和避免增加乘客等候时间,宜采用站站停组织方式;近郊干线段可考虑快慢车组织,初步建议以运行图铺划确定越行站,尽量减少越行站设置和慢车待避时间。

5 都市圈轨道交通网络融合发展建议

根据都市圈不同层次轨道交通的功能定位和需求特点,分析适宜的服务模式和运输组织方式(见表7)。都市圈快轨以通勤功能为主,与城市轨道交通协同服务更大范围的居民出行,采用与城市轨道交通(地铁)类似的服务模式,应与城市轨道交通全面融合,重点加强节点衔接,实现便捷换乘。城际铁路以商务功能为主,宜采用与铁路一样的服务模式,并与铁路干线全面融合,实现网络互通、通道共用。都市圈快轨与干线铁路、城际铁路应实现通道互补、节点融合。

铁路通道承担都市圈快轨功能的适用范围有限,建议以承担局部通道,与新建线路形成互补布局、实现节点换乘为主。中国城市既有铁路闲置资源少,铁路通道剩余能力不可控、开行车次少,难以满足大客流运输需求。结合都市圈快轨网络形态,边缘城镇至中心城区的放射通道上通勤和商务客流均较多,宜以新建线路为主;连接外围城镇的

环线或联络线通道以商务客流为主,需求较小,与铁路客流特征类似,可利用既有铁路兼顾;另外,可利用既有铁路承担旅游、休闲等特殊功能服务。

都市圈快轨与其他轨道交通网络层次过轨融合,建议重点考虑三种情况:1)中心城区通道紧张时,都市圈快轨与城市轨道交通快线贯通;2)城市轨道交通快线运力富余较大时,为避免投资浪费,近期都市圈快轨与城市轨道交通快线贯通,并预留远期拆解条件;3)为盘活既有外围城际铁路,实施城际铁路与都市圈快轨进中心通道过轨。

6 跨市轨道交通协同发展建议

不同于单个城市主导的城市轨道交通模式和国家主导的铁路模式,都市圈快轨的投资建设运营涉及多个城市主体,亟须构建共商共建共享的可持续发展模式。

1)借鉴国外经验,成立都市圈轨道交通或交通协商议事机构,按照权、责、利对等原则制定共商共建共享机制,理顺都市圈轨道交通规划建设运营各阶段主要内容、涉事主体、各方职责、工作界面、运作规则等,统筹协调、合力推进都市圈轨道交通发展。

2)构建适应不同地区、适度灵活的项目审批权。目前,城际铁路项目审批采用国家批复建设规划、省级政府批复工程可行性研究报告、相关城市执行的模式,该模式适用于轨道交通规划建设经验相对薄弱的地区。对于轨道交通规划建设经验丰富的超(特)大城市都市圈、由城市投资实施的项目,建议按照权责利对等原则,调整都市圈轨道交通项目审批机制,由相关城市协同开展工程可行性研究并各自批复执行。

表7 都市圈各层次轨道交通功能定位及适宜的服务模式和运输组织方式
Tab.7 Functionalities, suitable service modes, and organization of different levels of rail transit in metropolitan areas

轨道交通层次	功能定位	服务模式和运输组织方式			
		服务模式	运输组织	票价水平	
城市群和都市圈	城市轨道交通	通勤为主	地铁式	单线运行	低,递远递减
	都市圈快轨	通勤为主,兼顾商务	地铁式	单线运行或 主支线运行	普通车厢: 低,递远递减 商务车厢: 高,固定单价
	城际铁路	商务为主	铁路式	跨线运行	高,固定单价
	铁路干线	商务为主	铁路式	跨线运行	高,固定单价

3) 适应都市圈快轨分期建设、复杂运营特点, 研究采用市场化方式、选择灵活的建设运营模式。与城市轨道交通不同, 分期、跨市建设线路的基础设施产权和建设维护责任一般分属不同主体, 采取跨线运行的线路需要对线路使用成本、运输安全责任等进行划分。建议探索都市圈轨道交通采用网运分离的投资运营模式, 由轨道交通路网公司负责线路建设维护、运输企业支付租赁费或线路使用费。

7 结语

本文结合国内外实践和经验, 从交通需求和服务水平视角对都市圈轨道交通功能层次、都市圈快轨技术要点和运输组织方式、多层次轨道交通网络融合和跨市轨道交通协同发展问题进行研究, 形成原则性规划建议:

1) 客流效益是评价轨道交通发展的核心指标, 必须以服务对象和需求为导向, 提升轨道交通竞争力为要点开展轨道交通规划建设

2) 重视战略规划, 形成城市群和都市圈各主体对轨道交通功能层次和技术标准的共识, 是都市圈轨道交通技术合理、协同推进的基础。全面认识各层次轨道交通网络的差异性和适用性, 避免过度融合。

3) 需深入分析国内外城市和轨道交通发展差异, 辩证借鉴国外经验。

4) 以满足主要客流需求、提升总体服务水平为目标创新服务模式和运输组织方式, 全面评估并平衡运输组织创新的效益和代价。

都市圈轨道交通一体化融合发展是一个宏大、复杂的命题, 本文仅从规划视角对其部分内容进行了初步思考, 需进一步分析都市圈特征差异, 加强多专业协同研究, 结合更多建设运营实践不断完善。

注释:

Notes:

① 本文将服务于都市圈通勤的轨道交通线路统称为都市圈快轨。

参考文献:

References:

[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》(发改规划〔2019〕328号)

[EB/OL]. 2019-02-19[2021-08-20]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201902/t20190221_962397.html?code=&state=123.

[2] 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)铁路加快发展的意见》(国办函〔2020〕116号). 2020-12-17[2021-08-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-12/17/content_5570364.htm.

[3] 马燕坤, 肖金成. 都市区、都市圈与城市群的概念界定及其比较分析[J]. 经济与管理, 2020, 34(1): 18-26.

MA Y K, XIAO J C. Definition and comparative analysis of metropolitan areas, metropolitan circles and urban agglomerations[J]. *Economy and management*, 2020, 34(1): 18-26.

[4] 张杰. 对“四网融合”基本问题的探讨[J]. 交通工程, 2020(4): 9-15.

ZHANG J. Integration of state railway, intercity express railway, suburban railway, and urban rail transit[J]. *Journal of transportation engineering*, 2020(4): 9-15.

[5] 凌小静. 四大世界级都市圈交通出行特征分析[J]. 交通与运输, 2018, 34(6): 18-20.

[6] 何明卫. 城市居民的主观通勤时间界点研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2017.

[7] 吴江洁. 城市通勤时耗对个人幸福感与健康的影响研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2016.

[8] 刘路, 毛保华, 李颖, 等. 东京城市轨道交通通过轨车站站型布置方案及其启示[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(11): 45-49.

LIU L, MAO B H, LI Y, et al. Layout scheme of shared-track station in Tokyo urban rail transit and the revolution[J]. *Urban mass transit*, 2015, 18(11): 45-49.

[9] 刘龙胜, 杜建华, 张道海. 轨道上的世界: 东京都市圈城市和交通研究[M]. 北京: 人民交通出版社, 2013.

LIU L S, DU J H, ZHANG D H. City of rail: urban and transport research on Tokyo metropolitan area[M]. Beijing: China Communications Press, 2013.

[10] 林华桢. 巴黎RER B线运营模式分析[J]. 交通技术, 2018, 7(4): 237-245.

Lin H Z. An analysis on the operation mode of Parisian RER line B[J]. *Journal of transportation technologies*, 2018, 7(4): 237-245.