

加快建设上海轨道交通多层次线网的思考

毕湘利

(上海申通地铁集团有限公司, 201103, 上海//正高级工程师)

摘要 叙述了上海轨道交通线网的规划与建设运营发展历程,并基于既有线网运营效益和效率指标分析,提出了当前线网主要存在覆盖率、功能层次和线网结构三个方面的问题和不足。结合国外都市圈和城市群轨道交通线网在功能层次与布局、线网规模和运营组织方面的发展经验,提出上海要加快规划建设轨道交通快线网,尽快完善上海多层次城市轨道交通线网结构,以支撑长三角一体化背景下上海城市空间格局的可持续发展。

关键词 城市轨道交通;线网结构;快线规划

中图分类号 U212.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.08.001

Insight on Prompting Construction of Shanghai Urban Rail Transit Multi-layer Line Network

BI Xiangli

Abstract The development of Shanghai urban rail transit line network planning and construction operation is briefly summarized. Through analysis based on existing network operation efficacy and efficiency indicators, it is revealed that the current network mainly lacks in aspects of coverage rate, functionality layers and network structure. With international metropolitan area and urban cluster rail transit network development experience in functionality layer and layout, scale and operation organization, it is proposed that Shanghai shall prompt planning and construction of express line network and shall complete Shanghai urban rail transit multi-layer line network structure fast, so that the sustainable development of Shanghai urban space layout in the context of Yangtze River Delta integrated development is supported.

Key words urban rail transit; line network structure; express line planning

Author's address Shanghai Shentong Metro Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

2021年,上海轨道交通线网运营里程突破800 km,迈入了高质量发展的新阶段,形成了以人民广场、世纪大道、徐家汇、龙阳路等大型换乘枢纽为核

心、多向辐射、功能较完备的城市轨道交通线网。线网规模持续扩大为助力上海优化出行方式结构、完善城市空间布局和加快建设具有世界影响力的国际大都市提供交通保障。目前,全市轨道交通工作日日均客流量超1 000万乘次,轨道交通占城市公共交通出行比例达到70%以上,线网功能日益凸显,客流规模效益增长显著。然而,从线网运营效率和效益来看,由于市区轨道交通线路不断向城市外围延伸、市域线路加站过多、运营组织模式单一、线网制式单一、城市外围线网密度较低等问题,导致上海轨道交通在区域交通对接、可达性以及便捷性指标上与国际都市圈城市的水平仍有差距。如何通过规划建设多层次功能的轨道交通线网,进一步提升线网整体效益和乘客出行效率,支撑上海交通和城市的可持续发展,是亟需思考和研究的问题。

1 上海轨道交通发展历程

1.1 线网规划历程

1) 2000年,上海轨道交通系统810 km线网规划完成编制,该规划适应当时上海“中心城-新城-中心镇-集镇”城市空间总体布局规划,以锚固重要枢纽节点为目标,规划了4条市域快线(R线)、8条市区地铁线(M线)和5条区域轻轨线(L线)3个功能层级的轨道交通线网。

2) 2008年,上海轨道交通在2000年线网规划的基础上进行了重点区域的线网加密和R线分段调整优化,形成21条线路共1 051 km的轨道交通线网。规划中的M线、L线根据城市发展向两端郊区延伸。与2000年规划的轨道交通3个层级的功能基本趋同。

3) 2017年,上海轨道交通提出“一张网,多模式”的发展思路,编制形成了城际线1 000 km、市区线1 000 km和局域线1 000 km的“三个1 000 km”线网规划(包含城际铁路/市域铁路/市域快轨、地铁/轻轨、有轨电车/胶轮系统等),适应上海“中心

辐射、两翼齐飞、新城发力、南北转型”的城市发展空间新格局。

1.2 线网建设运营历程

上海轨道交通线网建设经历了三轮建设规划报审,从最初的十字骨架到 800 km 线网形成(见图 1),过程大体历经了以下 3 个阶段:

1) 初期建设。2005 年,“十字加环”线网雏形初显,共 5 条线路,线路总长 123 km,日均客流量为 161 万乘次,轨道交通占城市公共交通出行比例为 13.4%。同年,国家发展改革委批复上海轨道交通第一轮近期建设规划(2005—2012 年),批复同意新建 8 条线路和 2 条延伸线,线路总长 389 km。

2) 快速成网。2010 年上海世博会前,上海轨道交通形成了 11 条线路、总长 425 km 的线网规模,5 年间新增线路里程 300 km,正式步入网络化发展阶段。上海世博会期间,线网日均客流量达 580 万乘次,承担了上海世博会总客流量的 40%。同年,上海轨道交通第二轮建设规划(2010—2015 年)获批,批复同意新建 7 个项目,线路总长 220 km。

3) 持续发展。2015 年,上海轨道交通规划的基本线网全面建成,形成 15 条线路、总长 617 km 的线网规模,日均客流量为 839.5 万乘次,轨道交通占城市公共交通出行比例为 46%。2018 年,上海轨道交通第三轮建设规划获得批复,批复同意新建 6 条地铁线和 3 条市域线,新增线路里程 286.1 km。到 2021 年底,运营线路 20 条,运营里程 831 km,上海轨道交通首次跨入 800 km 的发展新阶段。

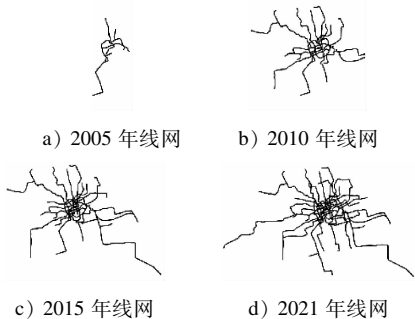


图 1 上海轨道交通网络化发展历程

Fig. 1 Shanghai rail transit network development

2 上海轨道交通线网效率和效益分析

上海轨道交通近十年的运营里程和客流量均实现成倍增长,2021 年底工作日日均客流量超 1 150 万乘次,轨道交通占城市公共交通出行比例逐

年提高,骨干作用日益凸显。列车运行可靠度、最小发车间隔、日均客流量和列车正点率等运营指标持续提高。上海轨道交通为优化城市人口布局 and 区域协同发展发挥了重要作用。但从长三角发展一体化战略、特别是上海五大新城发展规划视角来看,目前的轨道交通线网在覆盖面、线网层次和线网结构上还有进一步优化提升空间。

2.1 市域范围内线网可达性有待提升

上海既有轨道交通运营线路中地铁制式占比达 90%,无论是高强度、短乘距的中心城区客流,还是低强度、长距离出行的郊区新城客流,基本都是依靠地铁线网出行。相比如巴黎轨道交通的不同功能层次的轨道交通系统(见表 1),不同乘客服务需求的无差别运输制约了上海轨道交通线网效能的发挥。上海 30~70 km 圈层的轨道交通线路及站点数量不足,对市域范围内的土地高效利用支撑不足。2021 年,上海轨道交通车站 800 m 半径范围可达的面积占比在 70 km 圈层范围内平均只有 10.38%(见表 2),而东京的为 30.80%;上海轨道交通车站 3 000 m 半径可达范围占比为 38.09%,而东京的高达 76.21%。

表 1 巴黎多层次轨道交通线网规模

Tab. 1 Paris multi-layer rail transit line network scale							
线路分类	不同圈层线路长度/km						总计/km
	0 ~ 5 km	5 ~ 10 km	10 ~ 15 km	15 ~ 30 km	30 ~ 50 km	50 ~ 70 km	
	5 km	10 km	15 km	30 km	50 km	70 km	
RER	53	71	98	249	140	14	625
铁路	17	65	88	272	322	214	978
地铁	160	53	4	0	0	0	217
有轨电车	18	36	17	3	0	0	74
总计	248	225	207	524	462	228	1 894

表 2 上海与东京两市轨道交通网络可达性对比分析

Tab. 2 Comparative analysis of urban rail transit accessibility between Tokyo and Shanghai						
范围	上海 2021 年不同半径站点覆盖率/%		上海 2035 年不同半径站点覆盖率/%		东京现状(东京都)不同半径站点覆盖率/%	
	800 m	3 000 m	800 m	3 000 m	800 m	3 000 m
	94.47	100.00	95.46	100.00	93.33	100.00
核心区	59.22	99.51	74.93	100.00	88.33	100.00
中心城	10.38	38.09	16.63	61.25	30.80	76.21
市域						

2.2 线网功能层次单一

1) 旅行时间较长。上海五大新城至中心城核心区(以人民广场为代表)的轨道交通平均旅行时间在 65 min 以上,其中南汇新城的旅行时间为 90 min,无法满足《上海市新城规划建设导则》提出的 45 min 到达近沪城市、中心城和相邻新城的快速直达出行目标。而东京、巴黎、伦敦等城市的新城至市中心的轨道交通旅行时间普遍在 30 ~ 45 min,旅行速度达 40 ~ 90 km/h。同时,上海轨道交通的主要枢纽松江南站、安亭北站、宝山站、浦东枢纽、虹桥枢纽至人民广场的平均旅行时间也需要 60 min 以上,市域范围轨道交通出行时效性较差,如图 2 所示。

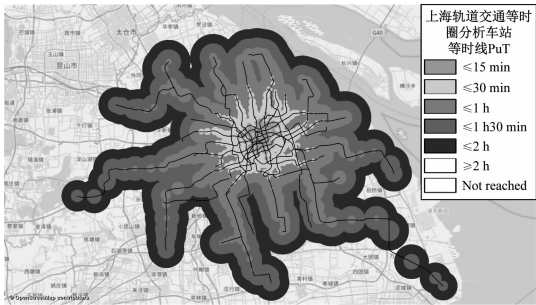


图2 上海轨道交通出行等时圈(以人民广场站为出发点)
Fig. 2 Isochronous circle of Shanghai rail transit traveling (centering People's Square Station)

2) 线网客流效益欠佳。为满足中心城区外一些大型居住社区居民出行需求,上海很多地铁线路均向外环外进行了延伸,从短期看解决了近郊发展的交通需求,但地铁线路“拉面条”式延伸造成上海较大的线网规模未能吸引足够的客流,线网客流效益欠佳。根据 2019 年客流数据,尽管 1 号线、2 号线和 9 号线等线路工作日日均总客流量超百万人次,1 号线、2 号线和 8 号线市区段客运强度超过 3.00 万乘次/(km·d)(见图 3),但上海轨道交通线网平均客运强度只有 1.57 万乘次/(km·d),低于同期客运强度行业排名前三的西安地铁、广州地铁和深圳地铁(分别为 2.07 万乘次/(km·d)、1.89 万乘次/(km·d)和 1.82 万乘次/(km·d))。从线路来看,上海中心城范围线路客运强度达到 2.13 万乘次/(km·d),但以 5 号线、16 号线和 17 号线为代表的外围线路客运强度仅为 0.45 万乘次/(km·d)。而日本东京市中心线路的客运强度可达 4.00 ~ 5.00 万乘次/(km·d),连接郊区和市区线路的客运强度达 2.00 ~ 3.00 万乘次/(km·d),客流效益

远好于上海。

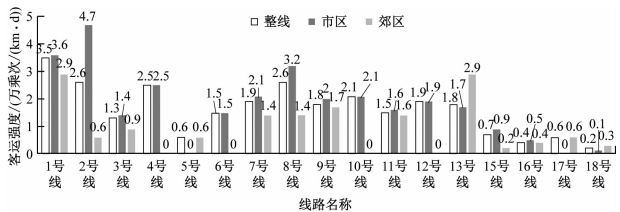


图3 上海轨道交通线路市区与市郊区段客运强度(2019 年)
Fig. 3 Passenger transport intensity of Shanghai rail transit line downtown and suburban section(2019)

2.3 线网结构有待完善

1) 环线在线网中“环”的功能不强。4 号线没有实现真正的环线功能,未充分包络拥挤区段,对射线客流的均衡作用有限。既有射线拥挤段基本集中在环线外 2 ~ 5 站范围内,射线的大断面客流未能通过环线有效疏解(见图 4),导致中心城核心区枢纽车站客流压力过大。全日客流量排名前 30 的车站承担了全网 46% 的客流量,其中 83% 的车站位于 4 号线环线以内,93% 的车站位于道路中环线以内。全线网换乘客流平均占比为 43.8%,途经客流平均占比为 11.1%,而 4 号线作为环线其换乘客流占比为 51.3%,途经客流占比为 19.4%,与 8 号线、10 号线、11 号线和 12 号线的基本处于同一水平,换乘客流量的量级和占比均未充分实现环线功能。

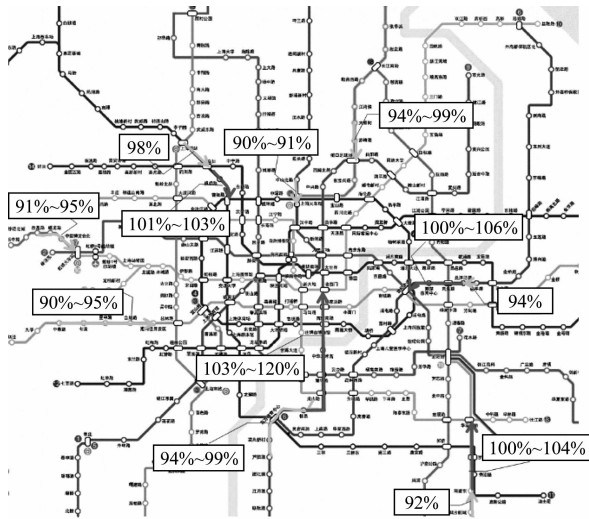


图4 上海轨道交通高峰断面客流拥挤度示意图(2021 年工作日最大断面数据)
Fig. 4 Diagram of Shanghai rail transit peak hour sectional passenger flow crowdedness (maximum workday sectional data in 2021)

2) 线网便捷性有提升空间。目前上海轨道交

通线网换乘系数为 1.78,由于缺少新城、外围组团与核心区的直接联系通道,且环线服务范围较小,郊区乘客进入中心城区平均需要 1~2 次换乘才能到达目的地。另外,外围区域缺少射线之间的联络线,尤其北部和南部区域缺少横向联系的切线,导致线网连通性降低,射线之间出行至少需 2 次换乘,部分客流绕行距离增加,线网内出行效率低,便捷性有待提高。以虹桥枢纽至闵行南部为例,需要换乘 3 次。

3 国外都市圈轨道交通发展案例分析

3.1 线网层次结构与布局

1) 轨道交通线网层次丰富,功能互补。国际典型都市圈的轨道交通线网一般是多种轨道交通制式并存,包括市区地铁、市郊铁路以及新型轨道交通等。如:东京都市圈轨道交通线网由地铁、私铁、JR 铁路和单轨等构成,巴黎都市圈轨道交通线网由地铁、RER、市域铁路和有轨电车组成,伦敦轨道交通线网(见图 5)由地铁、道克兰轻轨、地上铁、市郊铁路和轻轨电车构成,莫斯科轨道交通线网由地铁、通勤铁路(包括由地铁公司运营的铁路大环线 14 号线和中央直径线)、单轨系统和市郊铁路系统构成。不同制式的轨道交通系统提供了与之服务目标相匹配的旅行速度与运输能力,高效协同的都市圈轨道交通线网满足了市域范围内不同乘客的出行需求。

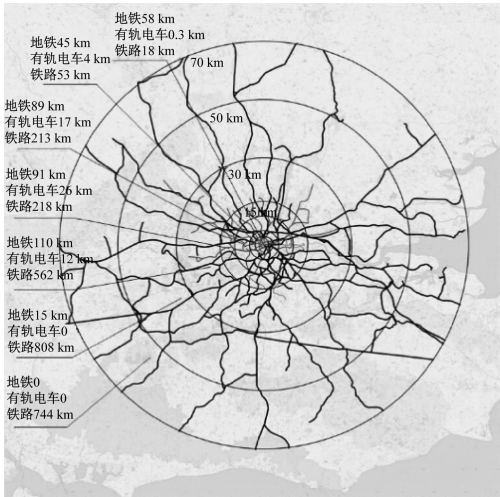


图 5 伦敦都市圈多层次轨道交通线网示意图

Fig. 5 Diagram of London metropolitan area multi-layer rail transit line network

2) 市域范围内市郊铁路占比大,促进了郊区与

• 4 •

中心城的紧密联系。地铁线网主要分布在市区,以服务中心城区交通出行为主要功能,市郊铁路或穿越中心城的轨道交通线路(普遍具有快线功能)则主要承担城市外围区域与中心城的快速联系作用。多种轨道交通系统之间通过跨线直通、环线入网、重要节点入网、大型枢纽换乘等方式形成高效的衔接。在 30~70 km 圈层,市郊铁路覆盖面积远大于地铁系统,东京、纽约、巴黎、莫斯科、伦敦在市域范围内的市郊铁路里程是地铁系统的 2.1 倍~8.5 倍。

3.2 线网规模与覆盖率

与上海规模相当的国外大都市圈的轨道交通线网都已发展成熟,规模较大,且覆盖范围广,市域范围内轨道交通线网里程均在 1 500 km 以上,其中伦敦、东京的在 2 400 km 以上(见表 3)。在核心区(0~5 km 圈层)都达到较高的轨道交通服务水平,纽约、伦敦线网密度可达 3.0 km/km²;5~10 km 圈层线网密度可达 0.9~1.6 km/km²。随着圈层向外扩展,线网密度随人口密度降低有所降低,15~30 km 圈层的线网密度为 0.2~0.5 km/km²,30~70 km 圈层的线网密度为 0.08~0.20 km/km²。

表 3 典型城市轨道交通线网指标					
Tab. 3 Typical urban rail transit line network indicators					
指标	伦敦	纽约	东京	莫斯科	巴黎
范围	行政区	都会区	东京都	行政区	首都圈
面积/km ²	1 569	8 936	2 194	1 080	12 012
人口/万人	890	1 880	1 395	1 200	1 224
线网规模/km	3 083.3	1 828.0	2 459.7	1 383.0	1 894.0
车站/座	1 129	741	1 235	400	993
线网密度/(km/km ²)	1.965	0.205	1.121	1.281	0.158
人均长度/(km/万人)	3.464	0.972	1.763	1.153	1.547
站点密度/(座/km ²)	0.720	0.083	0.563	0.370	0.083
人均站点/(座/万人)	1.269	0.394	0.885	0.333	0.811
轨道交通分担率/%	44	73	94	56	67

3.3 线网运营组织模式

联系中心城区与外围郊区的线路一般拥有丰富灵活的运营组织模式以满足不同出行需求的乘客,如跨线直通运营、快慢车组合运营、灵活编组、

快慢线组合运营等。快线提供的较高旅行速度,可实现 20 ~ 40 km 圈层内新城与中心城区 30 min 直达。如:东京都市圈核心区以外区域轨道交通线路多采用快慢车组合运营组织模式,且核心区与外围区的客运通道能实现不同轨道交通系统(地铁与私铁,地铁与 JR 铁路,地铁、私铁与 JR 铁路)间的跨线运营组织,提高了线网出行的直达性及便捷性;巴黎都市圈 RER 与地铁系统构成市区的快慢线轨道交通组合系统,两个系统间高效、便捷的协同运输极大提升了市郊至市中心的乘客出行效率。

4 加快建设上海多层次轨道交通线网

为满足长三角区域一体化发展规划战略的交通规划需求,更好地服务上海五大新城发展规划目标,上海仅依靠市区地铁线不断延伸或既有规划中的未建市域线,难以满足近沪地区一体化通勤要求。目前,上海规划的市域线都没有进入主城核心区,无论是在建的机场快线、嘉闵线、两港快线和上海示范区线,以及规划的东西联络线、嘉青松金线、曹奉线、吴江支线和宝嘉线等市域线路都布局在城市核心区外围,没有实现新城和中心城的连接,未来运营后客流效益堪忧。另外,规划中的利用国铁通道沪宁线、沪杭线、南何支线、沪通线、沪乍线和沪崇线开行市域列车的可行性也比较低。上海五大新城至中心城之间除既有的“放射线”外,无新规划市域快线,松江新城、奉贤新城和南汇新城均无法实现 45 min 到中心城的交通规划目标。参考与上海类似规模都市圈轨道交通发展的成熟经验,亟需加强上海五大新城与中心城区的快速联系,并尽可能将快线引入主城核心区,以增强各新城与中心城区的通达性,提升新城在长三角一体化发展中的交通枢纽地位和上海多层次轨道交通线网的整体效率和效益。

4.1 加快轨道交通快线研究

1) 规划建设五大新城直达快线。根据上海五大新城发展规划及区域功能,分别构建以安亭快线、嘉定快线、松江快线、心港快线、宝山快线和奉贤快线等为架构的全市快线网络,新城快线与中心城环线或核心枢纽入网衔接,形成多条放射型快线入网的线网规划布局(见图 6)。嘉定快线连接嘉定老城、新城中心与市区;安亭快线连接安亭枢纽与市区;松江快线直接联接松江新城、松江科技城等重要功能区与中心城,在松江新城范围内分别连接

新城中心和松江南站。这三条快线东端与中心城网络衔接入网。心港线直接联系临港新片区核心区(南汇新城)、张江科学城等重要区域,在浦东新区范围内形成南北向快速客流廊道,服务浦东北科创轴。奉贤快线向北延伸过江,与既有网络换乘衔接。



图 6 上海轨道交通快线网概念示意图

Fig. 6 Diagram of Shanghai rail transit express line network concept

2) 规划建设穿心直通快线。在五大新城快线基础上,规划建设东西(自虹桥商务区至浦东国际机场)穿心快线、南北(自宝山至奉贤)穿心快线,分别可与安亭快线和心港快线、嘉定快线互联互通。两条穿心快线沿东西向、南北向贯穿中心城,不仅能提高中心城区内轨道交通线网覆盖率,也可以加强中心城内部之间、中心城与青浦、浦东、宝山、奉贤等外围区域与铁路航空枢纽的快速直达联系,通过与五大新城快线的互联互通还将形成更加灵活的运营组织模式,有效提升五大新城至市中心的轨道交通出行时间效率和网络通达性。如果考虑东西穿心快线和南北穿心快线穿越中心城段工程实施难度较大,穿心直通快线可分期实施,并对中心城内规划通道进行严格预控。

3) 规划建设新环线或实现同等功能的外围切线。由于既有 4 号线环线功能不强,为提升快线网整体效益、运营效率和沿线服务水平,可利用规划 26 号线线位及线网中预留通道形成独立新环线(见图 7),新环线可与其他城际铁路和市域轨道交通便捷换乘,实现“入环即入网”。新环线线位总体应布局在快速道路的外环与中环之间,在浦东段可连接张江副中心和金桥副中心核心区,支撑“金色中环发展带”发展战略。新环线西侧段既可沿外环路内

敷设,也可考虑扩展到虹桥枢纽,这样新环线就可以串联起虹桥枢纽、桃浦智创城、大宁商圈、杨浦滨江、金桥、张江、前滩东体和上海南站等重要功能区,充分发挥新环线在放射线衔接、客流疏解、客流均衡、线网韧性和线网效率提升上的作用。如果新环线线路成环有难度,也可以考虑在新环线线位附近规划建设能实现与新环线同等功能的切向线。



图7 上海轨道交通新环线概念示意图

Fig. 7 Diagram of Shanghai rail transit new circle line concept

4.2 加强新城内部交通衔接

强化多系统制式间的协调互补与顺畅衔接是更好发挥多层次轨道交通线网一体化融合效率的重要方式。在五大新城内部,要规划建设与轨道快线系统接驳的中运量轨道交通,中运量轨道交通的系统制式要尽可能采用独立路权并多为高架敷设的系统。作为大容量快速轨道线路的社区延伸和补充服务,中运量轨道交通系统能方便快捷地实现五大新城范围内与新城轨道交通快线枢纽或重要节点的联系。

5 结语

在当前长三角一体化发展的背景下,上海应着力构建围绕以“30、45、60”为交通出行目标(即:30 min 实现内部通勤及联系周边中心镇,45 min 到达近沪城市、中心城和相邻新城,60 min 衔接国际级枢纽),支撑主城、五大新城能级提升和对外辐射增强的多层次城市轨道交通线网。城市轨道交通

快线对提升多层次轨道交通线网整体效益和效率将起到重要支撑作用,对市域层次的快线网的规划建设应站在上海城市和交通的可持续发展的高度,根据各线的功能定位统筹考虑。建议在新一轮建设规划项目中结合五大新城及长三角示范区等重点地区的建设,优先选择规划建设轨道交通快线线网。同时,在五大新城发展中运量轨道交通系统形成对轨道交通快速线网的补充,快速推进上海轨道交通多功能层次线网优化完善,以更好支持上海城市空间布局可持续发展,为乘客提供更高质量的出行服务。

参考文献

- [1] 毕湘利. 上海推动五大新城高质量建设背景下的轨道交通发展策略[J]. 城市轨道交通研究, 2021(8):6.
BI Xiangli. Rail transit development strategy in the context of Shanghai promoting high quality construction of Five New Towns [J]. Urban Mass Transit, 2021(8):6.
- [2] 何彬, 顾保南. 中国内地城市快速轨道交通线路换乘系数统计分析——基于中国城市轨道交通协会数据分析的研究报告之八[J]. 城市轨道交通研究, 2020(5):6.
HE Bin, GU Baonan. Statistics and analysis of line transfer coefficients in rapid rail transit in China's mainland cities—report 8: a analysis of data from China Association of Metros[J]. Urban Mass Transit, 2020(5):6.
- [3] 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(1):20.
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(1):20.
- [4] 聂华波, 许天会. 新城区轨道交通线路规划关键问题研究[J]. 都市快轨交通, 2018(6):102.
NIE Huabo, XU Tianhui. Research on key issues of railway planning in new urban district[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018(6):102.
- [5] 叶霞飞, 明瑞利, 李忍相. 东京、首尔轨道交通客流成长规律与特征分析[J]. 城市交通, 2008(6):16.
YE Xiafei, MING Ruili, LI Renxiang. Rail transit in Tokyo and Seoul: development trends & characteristics of passenger flow[J]. Urban Transport of China, 2008(6):16.

(收稿日期:2022-05-06)