

城市轨道交通市域快线规划评估 ——以深圳地铁6号线为例

孙永海¹, 王翘楚², 殷嘉俊², 杨心怡²

(1. 深圳市地铁集团有限公司, 广东 深圳 518034; 2. 深圳市规划国土发展研究中心, 广东 深圳 518034)

摘要:城市轨道交通市域快线在城市空间扩张、区域协调发展的背景下愈发得到重视。对实践案例进行评估分析,有助于破解市域快线规划功能和布局方面的争议。构建具有普适性的市域快线规划评估框架和指标体系,并以深圳地铁6号线为例,对市域快线的规划功能和布局进行评估。评估结果显示,6号线一方面缓解了既有轨道交通网络的运行压力,有效带动了轨道交通沿线商业、办公类的城市开发;另一方面快速功能未能充分凸显,虽然提升了外围新城至中心城区客流的公共交通出行比例,但客流量和出行分布特征与预期存在一定差异。建议坚守“1小时门到门”时间目标、推行“骨干快线+接驳网络”模式,优化城市轨道交通市域快线在中心城区的布局,并充分关注除市域快线外其他城市要素对于支撑外围次中心发展的作用。

关键词:城市轨道交通;市域快线;规划评估;规划布局;深圳市

Evaluation on Urban Rapid Rail Transit Line Planning: Study on Shenzhen Metro Line 6

SUN Yonghai¹, WANG Qiaochu², YIN Jiajun², YANG Xinyi²

(1. Shenzhen Metro Group Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518034, China; 2. Shenzhen Urban Planning & Land Resource Research Center, Shenzhen Guangdong 518034, China)

Abstract: In the context of urban sprawl and regional coordinated development, the urban rapid rail transit line has been paid much more attention. The evaluation and analysis of practiced cases could contribute to solving the disputes regarding the planning function and layout of urban rapid rail transit line. This paper establishes an evaluation framework and index system for urban rapid rail transit line planning and takes Shenzhen Metro Line 6 as an example to evaluate the planning function and layout. The evaluation results show that, on the one hand, Metro Line 6 alleviates the operation pressure of the existing rail transit system and effectively drives the commercial and office urban development along the rail transit line; On the other hand, its rapid function has not been fully highlighted. Although it has increased the public transportation travel mode share from the peripheral areas to central urban areas, the ridership and travel distribution characteristics are different from expectations. More suggestions are provided according to these findings, including adhering to the time target of “door to door in one hour”, implementing the “backbone rapid lines + connecting network” mode, and optimizing the layout of urban rapid rail transit lines in central urban areas. It is also suggested to pay full attention to the role of other urban elements in supporting the development of peripheral sub-centers except for rapid rail transit lines.

Keywords: urban rail transit; urban rapid rail transit line; planning evaluation; planning layout; Shenzhen

收稿日期: 2021-09-18

作者简介: 孙永海(1977—), 男, 江苏盐城人, 硕士, 教授级高级工程师, 副总规划师, 主要研究方向: 轨道交通规划。E-mail: syh23cn@163.com

近年来,中国各大城市越来越重视城市轨道交通市域快线(以下简称“市域快线”)的规划建设,以促进市域乃至都市圈的一体化协调发展。学界和业界对市域快线进行了相关研究和探索;有研究提出可以通过市域快线的规划建设加强中心城区与重要外围组团间的联系,来进一步强化中心城区对整个

市域经济、社会、文化生活的影[1];支撑外围次中心的形成,影响人口和产业布局,形成多中心的城市空间结构,提升城市整体竞争力[2-3]。同时也有研究指出,目前国内各城市关于市域快线的规划理念和建设预期存在较大差异[4],普遍存在功能定位模糊、对规划布局认识不足等问题[5]。针对这些问

题,亟须通过实践案例分析对市域快线的实施效果进行评估,从而为未来城市轨道交通市域快线的规划建设乃至多中心城市战略的实施提供经验借鉴和决策参考。

1 市域快线研究进展

1.1 研究综述

1.1.1 功能定位与规划布局

针对市域快线功能定位与规划布局的研究成果较为丰富。沈炎炎^[6]从线网规划的角度,较为系统全面地提出了市域快线的功能定位、规划原则和技术指标;周宇冠^[7]基于轨道交通服务范围的匹配性提出了市域快线在轨道交通体系中的功能定位和总体布局;高国飞等^[8]重点对市域快线与市区轨道交通线网的衔接方式进行了分析探讨。具体案例方面,陆锡明等^[9]通过分析上海市未能按照规划实施市域快线(R线)所带来的问题指出了发展市域快线的必要性,并提出市域快线在功能定位和规划布局上应连接市中心的思想;景国胜等^[10]总结了广州城市轨道交通快线三个发展阶段中的成就和不足,提出了下一步重点发展的思路 and 方向;王峰^[11]和王仲林^[12]则分别具体介绍了广州地铁3号线和21号线两条快线在规划设计中的重点研究内容。上述研究普遍集中于规划阶段的概念性分析,读者可以从中了解到市域快线的规划理念,但难以知晓其真正的实施效果。

1.1.2 技术标准选择

针对规划的市域快线应如何确定相应的技术标准,工程设计业界开展了较为充分的研究。李忍相等^[13]从需求、服务、系统三个层次提出了市域快线的技术指标;高国飞等^[14]提出了速度效率的概念,并建议以此作为市域快线速度目标值选择的基准;张鸿^[15]则重点从工程造价角度对不同系统制式进行比选分析。上述研究为市域快线技术标准的比选提供了普适性的分析框架。实践案例方面,周宏昌^[16]基于普适性的分析框架介绍了成都地铁13号线在速度目标选择问题上的研究过程;李剑虹等^[17]从最高运行速度、车型、车辆布置、编组等方面对东莞R2线的车辆选型问题进行了详细分析;陈福贵等^[18]以深圳地铁6号线为例,提出了实现地铁快线功能的三种方案。通过上述研究案例可以发现,市域快线技术标准的比选结果往往取决于规划目标,而对规划目标合理性的评判

离不开对规划实施效果的评估。

1.2.3 规划实施评估

专门针对市域快线规划实施效果的评估较为匮乏,仅有罗沂等^[19]对深圳地铁11号线进行了功能评估实证研究。大量的规划实施评估主要由交通领域和地理科学的从业者和学者开展。其中交通领域的研究普遍是在住房和城乡建设部、国家发展改革委要求对城市轨道交通线网规划和建设规划开展实施评估的背景下开展的,因此评估对象主要针对城市轨道交通线网。但无论是对线网实施效果的评价^[20-22]还是对轨道交通客流预测的后评估^[23],其研究目的和评估指标的选取都更加侧重于交通视角,缺乏对轨道交通与城市互动关系的综合评估。地理科学领域的学者则关注到了轨道交通对于居民出行方式^[24]、土地利用^[25]、住宅价格^[26]、城市空间结构^[27]的影响,但并没有专门针对市域快线开展研究,其结论对于市域快线的适用性有待进一步证实。

1.2 问题的提出

从既有的学术研究中可以看出,市域快线在功能定位、规划布局、技术标准选择、建设思路等方面,缺乏基于实证反馈的系统指导,难以回应实践中的很多困惑。例如市域快线是否能有效带动城市外围地区发展?应该直接引入中心城区还是在外围接驳换乘?应该强调与既有线网的换乘还是线路本身点对点的直接服务?如何处理大站间距与服务覆盖的矛盾?这些问题的解答往往依赖于原则性的定性判断和对国际经验的借鉴,缺乏对于国内城市实际案例的系统评估和思考,也就难以进行针对性的优化和改进。究其原因,一方面,中国市域快线整体上还处于发展初期,实证案例和数据积累不足;另一方面,受多方面因素影响导致实施效果不确定性高,缺乏可靠的评估方法和经验。本文通过对深圳地铁6号线的案例分析,评估市域快线的规划实施效果,进而对市域快线的规划布局提出思考和建议,供规划建设市域快线的城市参考借鉴。

2 市域快线评估技术框架

2.1 评估方法

规划评估采用的方法主要有三种:1)评估指标体系法,大多数规划评估和交通基础

设施实施效果评估采用这一方法^[28-29]，即对规划目标或预测指标值与实际指标值进行对比分析，还有部分研究进一步建立了基于层次分析法的综合评价模型^[30-31]；2)满意度调查法^[32]；3)回归分析法，主要用于评估基础设施建设对经济增长、交通可达性、社会公平等方面的影响程度^[33]。本文综合考虑数据的可获得性以及评估结果的精度要求，选择采用评估指标体系法，同时考虑到综合评价模型更适用于实施决策前多方案的比选而非实施后评估，因此不再进一步对指标体系建立模型。

2.2 指标体系

根据市域快线的特点，重点从市域快线规划功能的实现程度、规划布局与客流特征的匹配程度两方面开展评估，并针对性地建立评估指标体系(见表1)。

2.2.1 规划功能评估

对市域快线规划功能实现程度的评估主要针对以下几方面的规划目标展开：

1) 时间目标实现程度。市域快线普遍会设定外围组团与中心城区快速通达的时间目标，但在规划实施中往往面临加站、线路绕行等问题。因此，以市域快线位于中心城区和外围组团的代表性车站为基础，通过评估乘车时间和总出行时间来判断“快线是否真快”。

2) 城市空间结构优化目标实现程度。利用反映轨道交通客流量和客流特征、土地利用变化情况以及职住平衡变化情况的一系列技术指标，对市域快线在加强中心与外围联系强度、培育外围次中心形成、促进职住平衡等方面的效果进行评估。

3) 交通结构优化目标实现程度。考虑

到综合交通系统变化的复杂性，市域快线对于交通结构的优化作用主要通过市域快线沿线居民出行方式的变化体现。

4) 轨道交通网络优化目标实现程度。市域快线对于轨道交通网络的优化作用主要体现为对既有网络的客流集散作用和对网络均衡性的改善，可通过分析与市域快线有较强关联的其他轨道交通线路(例如同走廊的普速线路)的客流量和客流特征变化情况进行评估。

需要指出的是，对市域快线规划功能评估的多项指标均受到大量其他因素的共同影响。例如居民出行方式变化情况指标，在市域快线建设同期往往伴随着新建道路交通基础设施、新建其他轨道交通线路、实施新的交通政策等交通供给端与需求端的变化；再如土地利用和职住平衡变化情况指标，除了市域快线的作用，宏观经济、产业政策、市场环境等方面的影响亦不可忽视。这使得准确、客观、有效地评估市域快线的功能实现程度变得非常困难。为了尽可能消除这些影响，应重点对照各评估指标规划预期与实际情况的表现；当缺乏规划预期指标时，可使用市域快线开通前后的指标对比情况作为参考。

2.2.2 规划布局评估

对市域快线规划布局讨论的焦点在于是否应引入中心城区以及中心城区段的通道选择等。因此，市域快线规划布局合理性的评估主要依赖于对实际客流特征与规划目标匹配程度进行分析，重点分析实际客流的分布情况，评估线路在起终点选择、走向选择方面是否符合规划预期。

3 深圳地铁6号线规划评估

3.1 案例选择

深圳地铁6号线是深圳市继地铁11号线之后建成通车的第二条市域快线，线路全长约49 km，共设27座车站(见图1)，列车设计时速100 km·h⁻¹，采用6节编组A型列车。线路以深圳北站为界分为南北两段，北段于2011年纳入深圳市轨道交通三期建设规划，于2014年开工建设；南段于2015年纳入三期建设规划调整，于2016年开工建设；南北段于2020年8月全线一并开通运营，目前正处于设计年限的初期阶段。

表1 市域快线规划评估指标体系

Tab.1 Evaluation index system of the urban rapid rail transit line

评估内容	评估项	评估指标
规划功能评估	时间目标实现程度	外围中心站—市区中心站乘车时间、总出行时间
	城市空间结构优化目标实现程度	轨道交通客流量及客流特征 土地利用变化情况 职住平衡变化情况
	交通结构优化目标实现程度	居民出行方式变化情况
	轨道交通网络优化目标实现程度	既有网络客流变化情况
规划布局评估	客流特征与规划目标匹配程度	客流分布情况

在线路规划建设的同时,《深圳市城市总体规划(2010—2020)》提出打造“三轴两带多中心”的空间结构,其中中部发展轴串联光明新城中心、龙华区中心两个次中心和福田-罗湖主中心(见图2),其中光明新城是全市重点开发地区。因此,与未串联主次中心并同时兼顾机场快线定位的11号线相比,

6号线是规划目标更加明确的市域快线,更有利于探究市域快线对于城市空间结构的实际塑造作用。同时,在前期的规划研究过程中,6号线对布局上是否直通中心城区、中心城区的线站位选择等方面均进行过详细探讨,具有较强的代表性和借鉴意义。

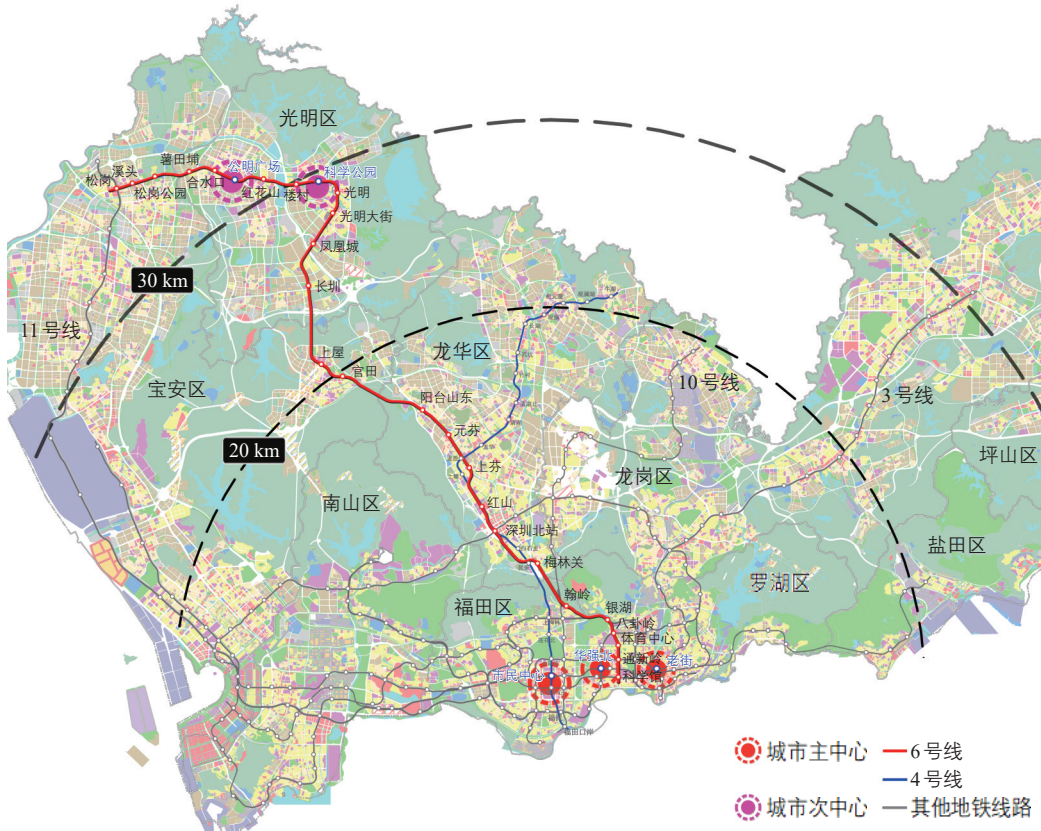


图1 6号线线路布局
Fig.1 Layout of Metro Line 6

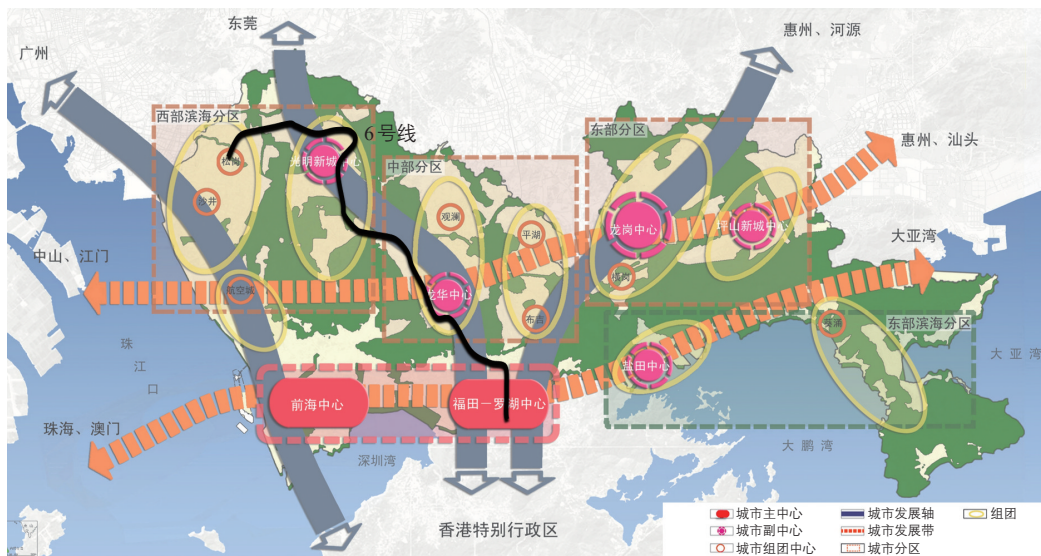


图2 6号线与城市总体规划空间结构关系
Fig.2 Relationship between Metro Line 6 and the spatial structure of urban planning

3.2 规划功能评估

3.2.1 时间目标实现情况

6号线规划的时间目标为光明新城到中心城区的总出行时间不超过1 h, 考虑两端接驳时间, 建议乘车时间控制在50 min以内^[34], 因此采用乘车时间和总出行时间两个指标对6号线的时间目标实现情况进行评估。以位于光明新城两个规划组团中心的科学公园站(光明中心)、公明广场站(公明中心)作为光明新城的代表站, 以位于中心城区主要目的地的华强北站(华强北)、市民中心站(福田中心区)、老街站(罗湖中心区)作为中心城区的代表站。总出行时间按照乘车时间加接驳时间计算。实际乘车时间由深圳市地铁集团有限公司(以下简称“深圳地铁”)提供。接驳时间为15.6 min, 按中心城区内500 m、中心城区外800 m的平均接驳

距离, 5 km·h⁻¹的平均接驳速度计算。计算结果(见表2)显示, 从光明中心至中心城区的平均乘车时间和总出行时间均略超出规划目标, 分别超出11%和18%; 而公明中心至中心城区的平均乘车时间和总出行时间则超出规划目标较多, 分别超出26%和31%。根据深圳市居民出行调查结果^[35], 轨道交通出行者的平均接驳时长约为20 min, 因此实际总出行时间可能更长, 距离规划目标仍有较大差距。

进一步将光明新城到中心城区的轨道交通出行时间与小汽车实际出行时间(见表3)进行对比, 可以发现在平峰期小汽车的竞争力更强, 在高峰期轨道交通出行时间与小汽车出行时间基本一致, 优势并不显著。可见若要实现轨道交通对于小汽车的时间竞争力, 仍应坚持规划的时间目标。

6号线未能实现规划的时间目标, 主要存在以下原因。1)从规划到实施过程中加站。6号线从规划到建设期间共增设1站(体育中心站), 导致经过该加站区间的乘车时间增加约1 min。上述选取的代表站中仅老街站受到影响, 其他代表站均在到达该区间前换乘其他线路, 影响相对较小。2)换乘。6号线到达中心城区三个代表节点站均需经过一次换乘, 由于换乘距离的不同, 换乘时间分别为4 min, 3.8 min, 3.7 min, 其中到市民中心站若不经换乘则可以实现乘车时间控制在50 min内的规划目标。3)实际旅行速度未能达速。6号线全线实际旅行速度(41 km·h⁻¹)低于设计旅行速度(43 km·h⁻¹), 对应至科学公园站到中心城区不同代表站, 相应的时间差约为0.8 min, 0 min和2.5 min(详细对比情况见表4)。此外, 总出行时间还受到接驳范围设定和接驳效率的影响, 而且远期线网规划实现后, 现有路径仍为最短出行路径, 无法进一步改善时间可达性。

3.2.2 城市空间结构优化目标实现程度

1) 中心-外围联系强度。

选取6号线的客流特征作为评估指标, 数据来源为深圳地铁2020年12月9日(星期三)的刷卡数据。该月深圳市新冠肺炎疫情已较为稳定, 线网客流量(594.4万人次·d⁻¹, 若不含新开通线路则为529.7万人次·d⁻¹)已基本恢复至2019年同期水平(570.5万人次·d⁻¹), 因此可以认为疫情对客流的影响较小。

对比6号线工程可行性研究阶段的客流

表2 光明新城至中心城区轨道交通实际出行时间

Tab.2 Actual travel time of rail transit from Guangming New Town to central urban area min

项目	华强北站		市民中心站		老街站		平均值	
	乘车时间	总出行时间	乘车时间	总出行时间	乘车时间	总出行时间	乘车时间	总出行时间
科学公园站	56.3	71.9	51.9	67.5	58.0	73.6	55.4	71.0
公明广场站	63.7	79.3	59.3	74.9	65.5	81.1	62.8	78.4

资料来源: 根据深圳地铁运营时刻表统计。

表3 光明新城至中心城区小汽车实际出行时间

Tab.3 Actual travel time from Guangming New Town to central urban area by car min

项目	华强北站		市民中心站		老街站		平均值	
	平峰	高峰	平峰	高峰	平峰	高峰	平峰	高峰
科学公园站	47	74	42	72	51	71	46.7	72.3
公明广场站	48	76	47	76	53	76	49.3	76.0

资料来源: 根据百度地图数据统计。

表4 光明新城至中心城区轨道交通乘车时间影响因素

Tab.4 Impact factors of rail transit travel time from Guangming New Town to central urban area min

项目	华强北站	市民中心站	老街站	平均值
实际时间	56.3	51.9	58.0	55.1
剔除相关影响后的预计时间	加站	56.3	51.9	57.0
	换乘	52.3	48.1	54.3
	降速	55.5	51.9	55.5

资料来源: 根据深圳地铁运营时刻表统计。

预测结果与实际客流数据(见图3), 预测初期全日客流量达到71万人次·d⁻¹, 早高峰最大客流断面出现在阳台山东站—元芬站区间, 客流量达到2.9万人次·h⁻¹; 实际全线客运量为28.1万人次·d⁻¹, 为预测值的40%, 早高峰最大客流断面位于红山站—深圳北站区间, 客流量为1.8万人次·h⁻¹, 最高断面不一致且客运量为预测值的62%。全天和早高峰的客流断面显示, 光明新城段的客流断面量级小且各站之间增长非常平缓, 较预期相差较大。

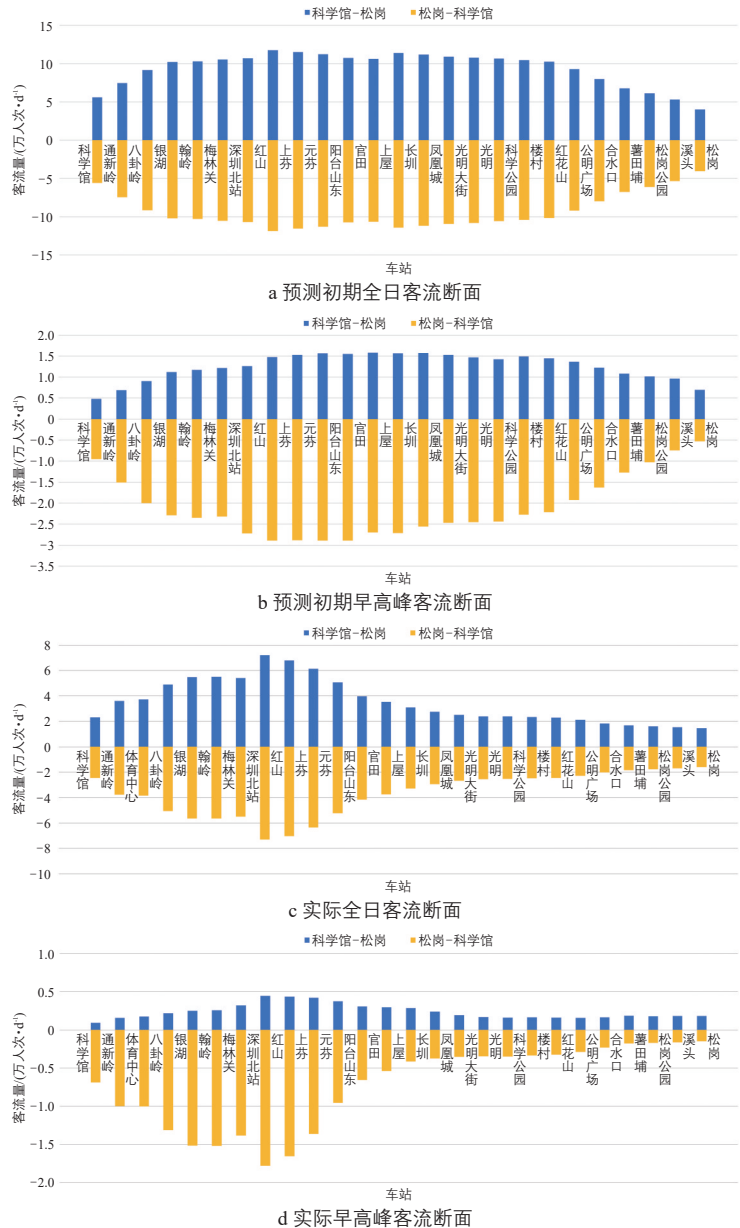
进一步分析地铁客流OD数据(见表5)发现, 6号线客流出行分布主要集中在相邻行政区之间, 尤其是龙华区至福田区、南山区、罗湖区三大就业中心(占36%); 光明至福田区和罗湖区的总客流仅占全线的4%, 甚至不及光明至周边相邻区(宝安区、龙华区)的客流量(占5%)。

在全网中观察6号线的客流特征指标(见表6), 其平均乘距达13.4 km, 与预测值14.7 km基本一致, 仅次于11号线(17.2 km), 高于全网平均乘距(8.8 km), 体现出快线长距离出行的特征; 6号线早高峰的上下行系数为0.73, 与3号线、4号线、11号线等轴向放射线(分别对应城市总体规划“三轴”中的东、中、西部发展轴)相当, 处于全网最高水平, 向心通勤特征明显。

综上, 6号线重点加强了龙华区与中心城区区间的联系(尤其是向心的通勤联系), 但在加强光明新城与中心城区的联系强度上与预期仍有较大差距。

2) 职住分离情况。

6号线在规划研究中未针对职住分离情况作出预测, 无法进行预测与实际的对比。故选取6号线全线开工时间(2016年)和开通后(2020年)的数据进行对比。深圳市分别于2016年和2020年进行了每五年一次的大规模居民出行调查(2015年的调查实际于2016年开展)^[35-36], 具备数据支撑条件。采用街道级的就业内部平衡率(在本街道就业人数占街道总就业人数的比例)作为衡量职住分离程度的量化指标。分析结果显示, 6号线沿线的光明、龙华、福田街道内部平衡率均有不同程度的下降(见图4), 其中外围地区内部平衡率下降最明显的是龙华区大浪街道, 降幅达20%, 光明区各街道平衡率下降幅度则均在7%以内; 中心城区下降最明显的是



注: 预测数据不含设计阶段增设的体育中心站, 部分规划站名改用实际站名。

图3 6号线预测与实际客流量对比

Fig.3 Predicated and actual passenger flow of Metro Line 6

表5 6号线各行政区间客流OD

Tab.5 Passenger flow OD of Metro Line 6 between different districts %

OD	宝安	光明	龙岗	龙华	福田	南山	罗湖	总计
宝安	1	3	1	4	3	1	1	14
光明	3	3	1	2	3	2	1	15
龙岗	1	1	0	2	2	0	0	6
龙华	4	2	3	6	21	7	8	51
福田	0	1	0	2	3	1	1	8
南山	0	0	0	1	1	0	0	2
罗湖	0	0	0	2	2	0	0	4
总计	9	10	5	19	35	11	11	100

梅林街道和园岭街道，降幅分别为19%和11%。大浪街道位于中心城区1小时通勤圈范围内，且原来无轨道交通服务，而同时位于4号线服务范围内的民治街道降幅为5%，凸显了6号线对中心城区1小时通勤圈范围内职住分离的加剧效应。

3) 中心-外围土地利用。

鉴于规划和工程研究中均缺乏相关指标的预测数据，同样通过6号线开通前后的数

据进行对比，反映沿线地区的土地利用变化情况。受到疫情影响，深圳市暂无2020年建筑普查数据，因此利用2016年和2019年的建筑普查数据进行对比分析。首先对比各车站接驳范围内(中心城区内车站周边500m、中心城区外车站周边800m)的建筑开发总量变化情况(见图5)，可以发现龙华和光明段的土地开发变化最强烈，但与6号线的客流量变化规律还存在一定不一致性。为了尽量客观地体现6号线对于土地利用的影响程度，本文进一步对比了6号线接驳范围内和沿线街道范围内不同功能类型建筑开发量的增长率(见表7)。总体而言，轨道交通车站接驳范围内商业办公、商品房住宅和配套公共建筑的变化更为剧烈，其中龙华区轨道交通车站周边商业办公增长最快，光明区商品房住宅和配套公共建筑增长最快，而福田中心区的土地利用变化受6号线影响较小。这凸显了6号线对于外围地区强劲的开发带动作用。

3.2.3 交通结构优化程度

为了尽可能客观地评估6号线对于交通结构的优化程度，本文重点分析6号线开通前后光明至福田、龙华至福田的居民出行方式变化。数据同样来源于深圳市于2016年和2020年12月开展的全市居民出行调查。分析结果显示，光明至福田虽然小汽车出行仍占主导地位，但早高峰、全天的地铁出行

表6 深圳地铁各线路客流特征指标

Tab.6 Characteristics indicators of passenger flow of Shenzhen Metro lines

线路名称	全日平均乘距/km	早高峰上下行系数 ¹⁾	高峰小时系数/%
1号线	8.1	0.62	17.2
2号线	6.5	0.57	17.0
3号线	10.0	0.72	15.8
4号线	8.5	0.75	16.7
5号线	8.5	0.56	19.0
6号线	13.4	0.73	14.5
7号线	5.7	0.53	16.4
8号线	7.1	0.64	13.4
9号线	6.3	0.58	18.2
10号线	7.5	0.63	19.3
11号线	17.2	0.73	17.4

1) 该指标指早高峰主要客流方向客流量与全部客流量的比值，每条线路的主要客流方向可能是上行，也可能是下行，上行系数=全线上行客流量/(全线上行客流量+全线下行客流量)，下行系数=全线下行客流量/(全线上行客流量+全线下行客流量)。

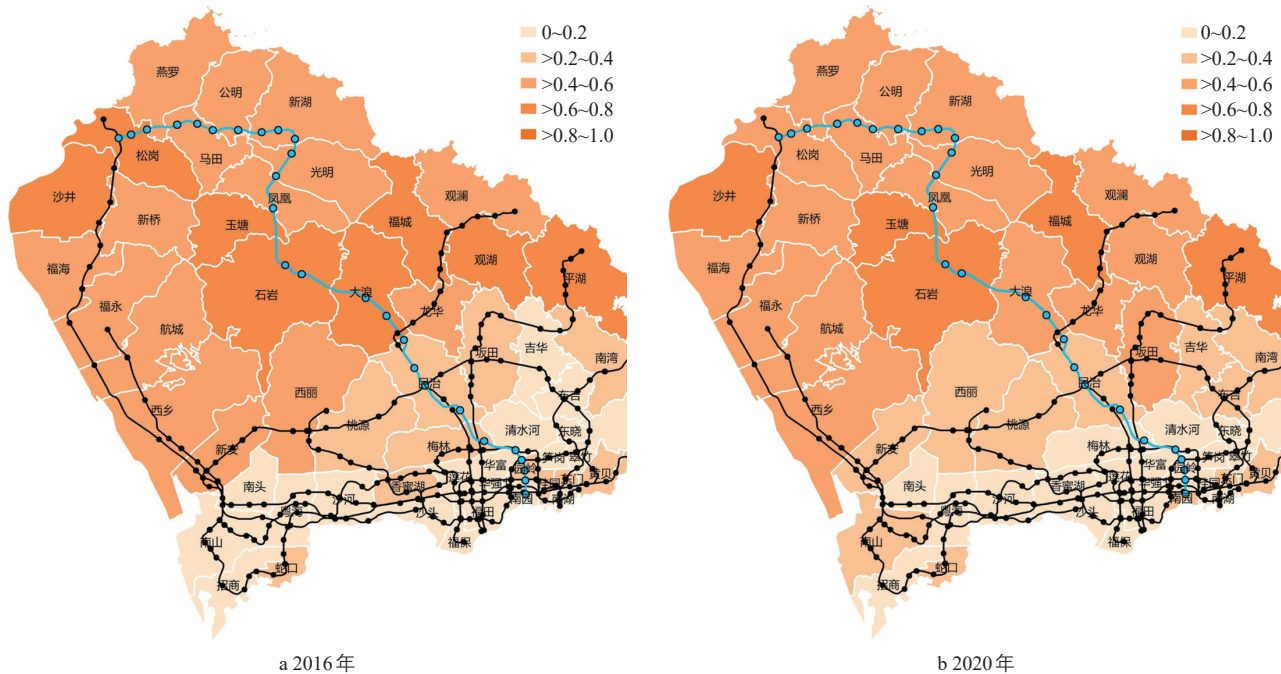


图4 6号线开通前后沿线街道职住平衡对比

Fig.4 Job-housing balance before and after the operation of Metro Line 6

比例和公共交通出行比例均有大幅提升,其中早高峰的地铁出行比例达到26%,公共交通出行比例为38%,较2016年的11%取得了大幅增长(见图6a)。龙华至福田则保持了以公共交通方式为主导的结构,但早高峰的公共交通出行分担率略有下滑(见图6b)。需要说明的是,龙华至福田的评估指标受到同期开通的坂银通道(快速路)、地铁10号线等因素的影响,而光明至福田则未新增交通设施,可以相对客观地反映6号线对于公共交通出行的带动作用。

3.2.4 轨道交通网络优化程度

6号线在规划功能定位中提出了分流4号线客运压力、提高轨道交通网络运营安全性的目标^[37]。由于缺乏线路初期全网客流的详细预测数据,本文选取6号线开通前某工作日即2019年12月4日(星期三)的地铁刷卡数据与2020年进行对比。数据显示,2019年(6号线开通前)4号线全日客运量为66.2万人次·d⁻¹,单向高峰小时断面客流量为5.9万人次·h⁻¹;2020年12月(6号线开通后)4号线全日客运量为50.1万人次·d⁻¹,较6号线开通前下降24.3%,单向高峰小时断面客流量为4.7万人次·h⁻¹,较6号线开通前下降20.3%。这说明6号线在开通初期缓解4号线的拥堵情况作用明显,尤其是在已达运能极限的早高峰时段。

3.3 规划布局评估

3.3.1 线路是否直通中心城区

深圳市在2007年编制的《深圳市轨道交通规划》中首次规划市域快线,其中6号线作为中部组团快线,承担中部综合组团及

西部高新组团与城市中心的快速联系功能,并促进龙华新城和光明新城的发展。考虑到龙华至中心城区通道有限,因此规划终点止

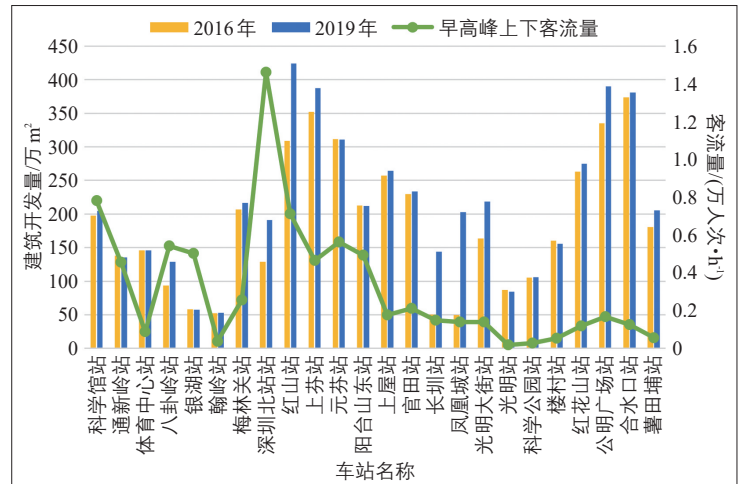


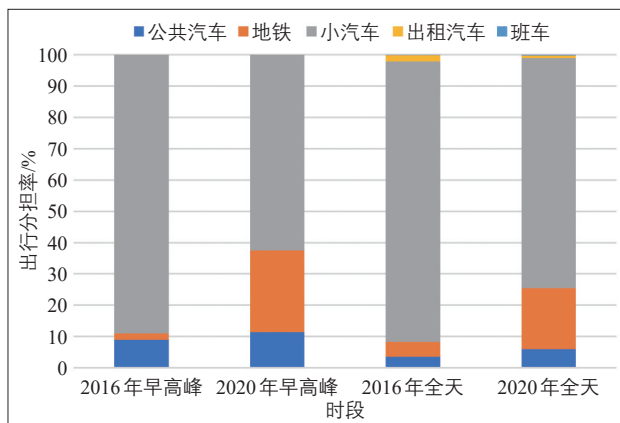
图5 6号线开通前后车站周边建筑开发量对比

Fig.5 Building development around the stations before and after the operation of Metro Line 6

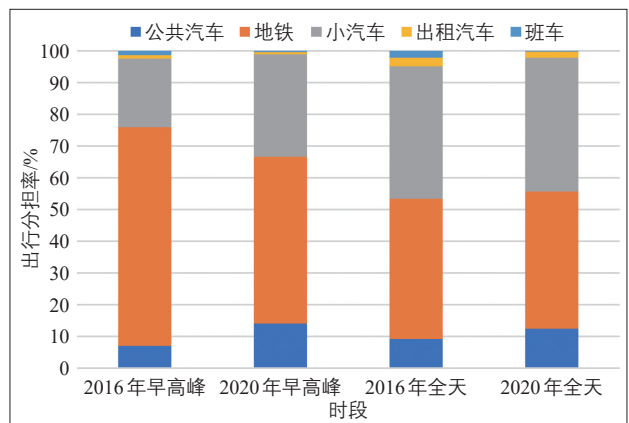
表7 6号线开通前后沿线各类型建筑开发量增速

Tab.7 Growth rates of different types of buildings before and after the operation of Metro Line 6

建筑类型	车站接驳范围内				沿线街道范围内			
	福田	龙华	光明	总计	福田	龙华	光明	总计
商业办公	1	144	70	64	9	70	61	36
工业与仓储物流	0	-6	2	0	-8	-6	4	1
商品房住宅	8	14	38	21	3	8	20	9
城中村私宅	0	-1	-1	-1	-14	-1	-3	-3
配套公共建筑	15	3	42	21	11	6	28	16



a 光明至福田



b 龙华至福田

图6 6号线开通前后沿线居民出行方式变化

Fig.6 Changes in travel modes of residents before and after the operation of Metro Line 6

于中心城区外的深圳北站，通过换乘4号线至中心城区。后续在6号线的详细规划设计中，考虑到6号线沿线地区开发可能与轨道交通建设时序不匹配，短期存在较大的客流风险，同时线路延伸至中心城区有助于缓和中部关口(即原深圳“二线关”中的梅林关口)交通供需矛盾，解决4号线高峰运能饱和问题，因此将线路延伸至中心城区。实际运营客流数据显示，红山站—深圳北站区间为6号线客流最大断面，若乘客全部在此站换乘4号线，将对换乘车站和4号线中心城区段的运营安全带来非常大的挑战。因此，6号线的案例支撑了市域快线应直通中心城区的观点。

3.3.2 线路引入中心城区布局方案

6号线在规划研究过程中，曾对引入中心城区的布局(即6号线南延段)提出两个方案进行比选(见图7a)。其中方案一沿4号线通道直连福田CBD，长约9.5 km，设3座车站；方案二沿上步路通道通过换乘连接华强北和罗湖中心区，长约11.5 km，设5座车站^[34]。经过方案比选后认为，方案一仅对其直达覆盖区有一定时间优势，与东西向轨道交通线路换乘条件较差(见图7b)，对福田-罗湖主中心其他就业中心的服务总体不如方案二(见图7a)，且客流预测显示近期福田CBD方向客流占27%，而华强北和罗湖中心区分别占38%和19%，整体客流方向更靠近上步-罗湖地区。方案二在网络客流的

总体覆盖、与线网的换乘便捷性角度均较优。因此，最终采用了方案二。

分析早高峰实际客流OD数据发现，全市客流总体上在6号线中心城区段车站的出站量最大(见图8a)，与预测基本一致。但进一步对比各分区客流的出站量分布发现，这一客流分布特征主要是受到福田区和龙华区的客流影响(见图8b和图8c)。而最能体现快线规划目标的光明区与中心城区的客流分布特征则与之不同：客流来源地为光明区的乘客，其在中心城区的目的地主要集中在福田CBD、车公庙和上梅林(见图8d)，恰好与比选方案一吻合。

3.4 规划评估小结

总结上述评估结果(见表8)，6号线从乘车时间角度基本实现了市域快线1小时联系中心城区与外围组团中心的时间目标，达到了缓解中部关口交通压力、提升轨道交通网络客流均衡性和安全性的预期目标，也提升了外围地区至中心城区的公共交通出行比例，同时还发挥了轨道交通对城市建设的带动效应，促进了轨道交通沿线尤其是外围地区的开发。但同时也要注意，6号线的总出行时间距离规划目标尚有一定差距，客流也尚未达到预期水平，尤其是光明新城段的客流较少，线路主要服务范围仍然集中在半径20 km、总出行时间1 h以内的圈层范围内。值得一提的是，虽然线路的建设仍一定

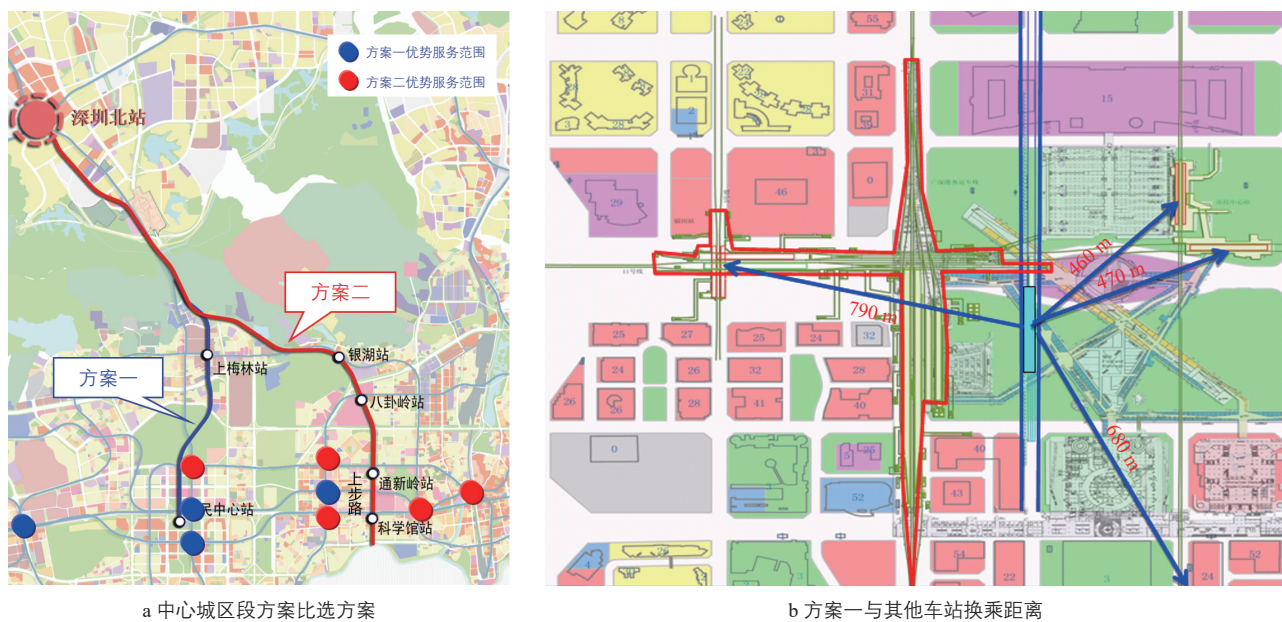


图7 6号线中心城区段方案比选情况

Fig.7 Schemes for Metro Line 6 in the city center section

程度上加剧了城市的职住分离和向心通勤，但与11号线沿线商品房住宅增长快于产业增长的分析结果^[19]不同，6号线沿线商业、办公等就业岗位节点开发的增速高于商品房住宅开发增速，因此对于市域快线能否促进形成较为独立的副中心这一问题还有待进一步观察和剖析。在规划布局上，线路实际运营效果支撑了线路直通中心城区的决策，线路在中心城区的通道选择也基本符合客流总体特征，但由于规划重点关注的光明新城中心的客流分布特征与全市客流总体分布特征不同，线路通道选择的合理性还有待进一步观察和评判。

4 思考与建议

1) 实现市域快线“快”的目标，需要建立对时间目标的共识和转变发展模式。

无论是规划阶段还是评估阶段，判断市域快线是否真快的标准都取决于其功能目标和时间目标的设定。6号线的规划功能主要是实现中心城区和光明新城间快速直达，而中心城区和光明新城内部又有多个组团中心节点，应把这些节点之间而非线路起终点之间的出行时间目标，作为打造市域快线的关键。在对时间目标值的具体设定上，考虑到大都市职住分离不断加剧、更适应商务需求的城际铁路网络建设加快的现实背景，市域快线长期内仍将以通勤功能为主，而学界通常认为通勤时间应该设定为“1小时门到门”，这既是一种人性化通勤的目标，也是出行调查反映的普遍结果。但这一目标尚未深入人心，尤其是希望增设站点的各级政府和社会公众。

6号线的实践再次表明，总出行时间1h通勤圈是轨道交通客流的主要覆盖范围，只

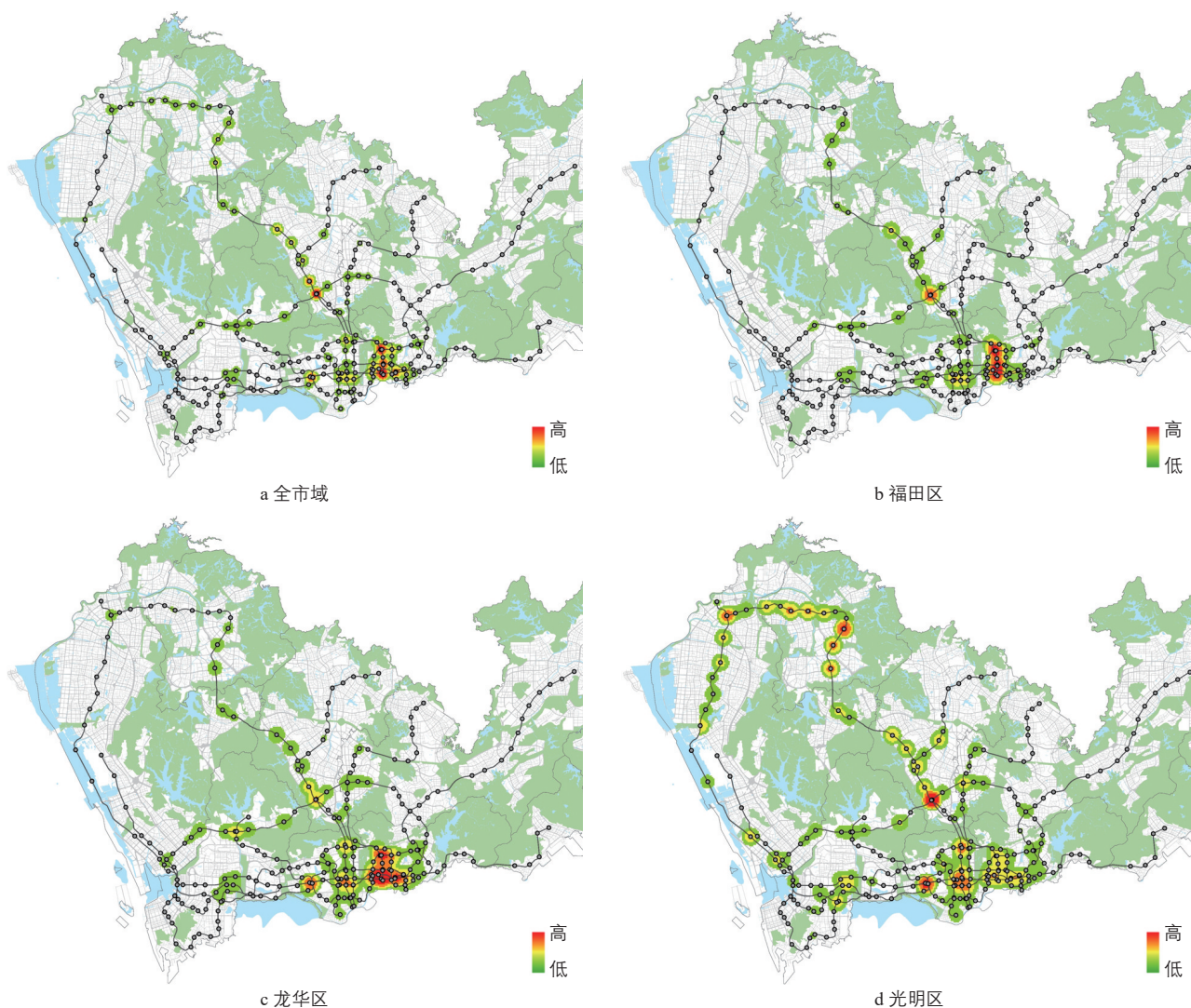


图8 各行政区居民搭乘6号线早高峰出站分布

Fig.8 Distribution of residents departing stations of Metro Line 6 during morning peak hours by districts

有坚持全出行链1h的目标，市域快线才具备与小汽车的竞争力。遗憾的是，6号线中心城区和光明新城各节点间的总出行时间基本上都超过了1h。除了实际运营速度与运营设计运营速度差造成的技术性影响以外，线路设站较密、直达性不强导致额外换乘时间、“最后一公里”接驳系统不完善导致接驳时间较长等，均是快线不快的重要原因。

因此，在市域快线经常面临的保障快速和沿线加站的权衡中，应该以更加系统的视角和解决手段来求得共赢。一方面充分考虑通勤客流对于通勤时间的忍受度，坚守市域快线功能目标范围内“1小时门到门”的底线；另一方面通过强化便捷多样的接驳系统，以“骨干快线+接驳网络模式”替代传统的“加站模式”，从而在规划层面解放单纯依赖市域快线本身实现均衡服务的压力，提高快线的直达性和设站间距。在经济价值层面，通过释放市域快线加站和绕行的资金，撬动中小运量交通系统发展的巨大潜力，也有利于形成合理的“全市-分区”两级投资分担机制；在社会价值层面，既保证骨干交通走廊的效率，又能体现均衡服务的公平性，彰显城市的人文关怀和治理能力。

2) 市域快线在中心城区的布局选择，应该更看重全网覆盖还是重点直达？

定位于服务中心城区与外围组团快速联系的市域快线在规划布局上要直通中心城区，即使中心城区的既有通道暂时有运能富余，也应提前规划预留市域快线进入中心城区的空间。而对于市域快线在中心城区的布局问题，6号线的方案比选和实践结果提供了一个值得深入探究的案例，即规划目标客流(光明—中心城区)与总体客流的主要目的地并不相同。对于龙华和福田的客流而言(大部分是轨道交通已覆盖地区)，6号线更多是提供了网络中新的出行线路选择，若6号线选择方案一，客流分布可能仍然相同，但换乘客流增加、换乘便捷性降低；而对于光明区的客流而言(大部分是轨道交通新增覆盖地区)，选择方案一似乎更契合客流的选择。这背后的原因更多是因为光明新城和福田CBD的功能联系相较于罗湖商贸区更强，还是因为福田CBD更接近光明新城1小时通勤范围？如果答案是前者，从深圳市产业发展情况来看，政治、文化、金融中心相对比较稳固且具有集聚和极化效应，而商贸中心可能受到的市场环境变化影响更大，因此在中心城区节点的选择上建议更加倾向于选择比较稳固、辐射力更强的中心点；而如果答案是后者，则更加印证了坚持1小时通勤圈目标的重要性。

3) 市域快线对外围次中心发展支撑作用的发挥，需要更多城市要素共同投入。

考虑到1小时通勤圈内中心城区强大的吸附效应，市域快线在促进次中心与主中心联系的同时，也可能让次中心成为卧城，进一步强化城市单中心的空间格局。从6号线的客流特征来看，线路主要承担龙华至福田的通勤客流，光明至中心城区的客流仅占总客流量的6%，主次中心间的密切联系尚未形成。可喜的是，6号线规划建设期间沿线商业、办公建筑开发的增速远超商品房住宅，为打造城市次中心创造了更大的可能性。这一方面源于深圳市良好的营商环境吸引产业蓬勃发展，另一方面也离不开深圳市各级政府产业政策上的大力支持。深圳市先后出台了《深圳市人民政府关于支持光明科学城打造世界一流科学城的若干意见》《光明区产业用地项目引进监管实施办法》《光明区创新型产业用房管理暂行办法》等一系列政策文件，一方面对入驻企业进行分级分类遴选且避免其拿地后进行房产炒作，

表8 6号线规划评估指标与评估结果

Tab.8 Evaluation indexes and results of Metro Line 6

评估内容	评估子项	评估指标	评估结果
规划功能评估	时间目标实现程度	外围中心站—市区中心站乘车时间	平均值超出目标约10%
		总出行时间	平均值超出目标25%以上
	城市空间结构优化目标实现程度	客流量及客流特征	客流量暂不及预期，尤其是光明新城段；以龙华至中心城区客流为主；通勤特征明显
		职住平衡变化情况	不同程度加剧了轨道交通沿线的职住分离，尤其是1小时通勤圈内原轨道交通未覆盖地区
		土地利用变化情况	促进了外围地区的开发，尤其是商业办公和商品房住宅开发的迅速增长
	交通结构优化目标实现程度	沿线居民出行方式变化情况	促进了外围地区—中心城区公共交通出行比例的提高(早高峰从11%提高至40%)
轨道交通网络优化目标实现程度	既有网络客流变化情况	缓解了同走廊4号线的客流压力(下降20%以上)	
规划布局评估	与客流特征匹配程度	客流分布情况	直通中心城区符合预期；中心城区布局方案与客流分布总体相符，有待进一步观察分析

另一方面在地价、租金、配套等方面给予符合遴选标准的企业大量支持。此外，这还与深圳市“强区放权”的政策背景密切相关，在这一政策方向引导下，各区政府取得了产业土地供应的主导权，而居住用地的主导权仍然把握在市政府手中(城市更新虽然也下放至区政府，但更新项目往往因为利益关系复杂而推进较慢)，区政府发展产业的动力明显强于开发房地产。

因此，对于市域快线是强化城市的单中心格局还是促进多中心形成这一问题，需要结合城市社会经济发展背景、产业政策等，置于一个更加系统全面的分析框架中进行分析判断。次中心的打造也需要市域快线以外的更多城市要素共同投入、形成合力。目前，光明区正在打造竞争力、创新力、影响力卓著的世界一流科学城。虽然科学城建设和6号线的运营都处于初期阶段，其发展结果还有待进一步跟踪观察，但市域快线和产业发展的叠加效应令人期待。

5 结语

轨道交通市域快线在功能和布局上的优化完善，离不开对实际案例的评估、检讨和反思。本文以深圳地铁6号线为例，对市域快线的规划评估内容和方法进行了探索，并对市域快线在规划思路、布局方面如何能更好地发挥其快速功能、支撑外围次中心发展提出了思考和建议。通过实施后评估与规划预评估的校核分析，有助于更清晰深入地理解市域快线在城市发展和交通系统中的作用，从而能在后续新线路的规划建设不断优化提升。由于本文提出的部分评估指标尚未体现在规划和预测阶段，无法进行预测和实际的对比，例如土地利用、职住平衡和居民出行方式变化情况等，因此只能在尽可能控制变量的原则下以线路开通前后的对比情况反映评估情况，后续应进一步推动相关评估内容在规划阶段开展。此外，本文的评估时点尚未完全达到初期截止时点(开通后3年)，而市民出行习惯的改变和职住空间的改变需要一定时间才能在客流上得以体现。受制于目前可获取数据的时效性，本文旨在重点展示思路和方法，相关研究结果可能会随后期客流变化而有所调整，后续应持续开展评估以检验研究结论的稳定性。

参考文献：

References:

- [1] 李阳. 城市轨道交通市域线规划体会[J]. 都市快轨交通, 2016, 29(1): 78-81.
LI Y. Realization of the regional express railway planning[J]. Urban rapid rail transit, 2016, 29(1): 78-81.
- [2] 孙永海, 彭珂珂, 林锦山, 等. 城市快速轨道对城市空间发展引导作用的定量评估探讨: 以深圳为例[C]//中国城市规划学会城市规划学术委员会. 新型城镇化与交通发展: 2013年中国城市交通规划年会暨第27次学术研讨会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014: 55.
- [3] 郭莉, 孙永海, 彭珂珂. 深圳市空间结构多情景假设下的交通评估[J]. 城市交通, 2015, 13(2): 19-25.
GUO L, SUN Y H, PENG K K. Evaluating transportation system performance under different urban land development scenarios in Shenzhen[J]. Urban transport of China, 2015, 13(2): 19-25.
- [4] 刘迁, 张杰. 城市轨道交通市域快线发展的实践与思考[J]. 城市交通, 2020, 18(1): 12-17.
LIU Q, ZHANG J. Thoughts on metropolitan rapid rail transit development[J]. Urban transport of China, 2020, 18(1): 12-17.
- [5] 李凤军. 城市轨道交通快线规划建设若干问题探讨[J]. 城市交通, 2020, 18(1): 9-11.
LI F J. Issues on urban express rail lines planning and construction[J]. Urban transport of China, 2020, 18(1): 9-11.
- [6] 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 J Y. Understanding, practice and re-understanding of urban rail transit network planning[J]. Urban mass transit, 2018, 21(5): 16-28.
- [7] 周宇冠. 关于市域快速轨道交通的思考[J]. 铁道标准设计, 2012(9): 22-27.
ZHOU Y G. Thinking about regional rail rapid transit[J]. Railway standard design, 2012(9): 22-27.
- [8] 高国飞, 闫亚娜, 张劭阳. 城市轨道交通市域线与市区线网衔接模式及衔接类型分析[J]. 铁道运输与经济, 2016, 38(7): 87-92.
GAO G F, YAN Y N, ZHANG S Y. Analysis

- on the connection modes and connection types between regional transit line and urban line network[J]. *Railway transport and economy*, 2016, 38(7): 87-92.
- [9] 陆锡明, 王祥. 上海大都市区域快速轨道交通规划研究[J]. *城市交通*, 2014, 12(6): 8-17.
- LU X M, WANG X. Regional rapid rail transit planning in Shanghai metropolitan area[J]. *Urban transport of China*, 2014, 12(6): 8-17.
- [10] 景国胜, 黄荣新, 谢志明. 广州城市轨道交通快线的创新实践与思考[J]. *城市交通*, 2020, 18(1): 18-23.
- JING G S, HUANG R X, XIE Z M. Innovative practice of urban express rail lines in Guangzhou[J]. *Urban transport of China*, 2020, 18(1): 18-23.
- [11] 王峰. 广州市轨道交通三号线功能定位及客流预测[J]. *规划师*, 2002, 18(9): 30-34.
- WANG F. The functional position of the metro line No.3 of Guangzhou and its forecast of passenger flow[J]. *Planners*, 2002, 18(9): 30-34.
- [12] 王仲林. 广州地铁21号线快慢线规划设计与实践[J]. *都市快轨交通*, 2018, 31(3): 52-57.
- WANG Z L. Planning and design of the express and local line of Guangzhou metro line 21[J]. *Urban rapid rail transit*, 2018, 31(3): 52-57.
- [13] 李忍相, 冯爱军, 万学红. 北京市域快线主要技术指标研究[J]. *都市快轨交通*, 2014, 27(3): 27-30.
- LI R X, FENG A J, WAN X H. Main technical indicators of Beijing regional express railway[J]. *Urban rapid rail transit*, 2014, 27(3): 27-30.
- [14] 高国飞, 付义龙, 沈景炎. 基于功能定位和速度效率的市域快线速度目标确定[J]. *都市快轨交通*, 2018, 31(5): 35-39.
- GAO G F, FU Y L, SHEN J Y. Urban rail rapid transit speed target selection based on function positioning and speed efficiency[J]. *Urban rapid rail transit*, 2018, 31(5): 35-39.
- [15] 张鸿. 市域快速轨道交通系统制式比选分析[J]. *城市交通*, 2020, 18(1): 31-35.
- ZHANG H. Selection of metropolitan rapid rail transit systems[J]. *Urban transport of China*, 2020, 18(1): 31-35.
- [16] 周宏昌. 多重功能复合的市域快轨速度目标值研究: 以成都市轨道交通13号线为例[J]. *铁道标准设计*, 2020, 64(2): 15-21.
- ZHOU H C. Research on speed target value of multifunction composite urban rail transit[J]. *Railway standard design*, 2020, 64(2): 15-21.
- [17] 李剑虹, 徐吉庆. 东莞市城市快速轨道交通R2线车辆选型关键问题探讨[J]. *铁道机车车辆*, 2010, 30(6): 70-75.
- LI J H, XU J Q. Discussion of the key issues on rolling stock choice for Dongguan metro line R2[J]. *Railway locomotive & car*, 2010, 30(6): 70-75.
- [18] 陈福贵, 徐吉庆. 深圳地铁6号线快线功能实现方案研究[J]. *城市轨道交通研究*, 2014, 17(10): 81-84.
- CHEN F G, XU J Q. On the realization of express functions on Shenzhen metro line 6[J]. *Urban mass transit*, 2014, 17(10): 81-84.
- [19] 罗沂, 郭莉, 周军. 市域快线功能实证研究: 以深圳市轨道11号线为例[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会. 品质交通与协同共治: 2019年中国城市交通规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 117.
- [20] 张安锋. 上海城市轨道交通网络规划实施评估[J]. *城市轨道交通研究*, 2015, 18(6): 1-6.
- ZHANG A F. Evaluation of Shanghai rail transit network planning implementation[J]. *Urban mass transit*, 2015, 18(6): 1-6.
- [21] 李玲琦, 邹芳, 杨墨照, 等. 武汉市城市轨道交通建设规划实施评估[J]. *城市轨道交通研究*, 2019, 22(7): 9-12.
- LI L Q, ZOU F, YANG Z Z, et al. Implementation assessment of Wuhan urban rail transit construction planning[J]. *Urban mass transit*, 2019, 22(7): 9-12.
- [22] 彭珂珂, 孙永海. 交通效率视角下深圳市轨道二期工程实施后评价[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会. 协同发展与实践: 2015年中国城市交通规划年会暨第28次学术研讨会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015: 217.
- [23] 张珏. 上海轨道交通网络客流预测的后评估[J]. *交通与运输*, 2010(s2): 101-104.
- ZHANG J. Post evaluation of passenger flow forecasting in Shanghai rail network[J]. *Traffic & transportation*, 2010(s2): 101-104.