

中心放射形城市轨道交通线路规划研究 ——以深圳市为例

周 军, 徐旭晖, 周菁楠, 邓晓庆
(深圳市规划国土发展研究中心, 广东 深圳 518040)

摘要:以深圳市为例,对超大城市中心放射形城市轨道交通线路(以下简称“放射线”)开展规划研究。首先阐述各阶段城市发展与放射线规划基本情况,分析现状运营放射线客流特征。在此基础上提出3个规划要点:应重点结合高峰断面需求研判放射线通道规模,前瞻预留规划弹性;应沿中心区对外核心发展轴规划“快线+普线”复合通道,强化放射线的交通服务功能和引导城市发展功能;同走廊快线与普线应体现差异化布局策略,重视与城市空间的高效协同规划。放射线的规划方法、布局策略需结合城市发展阶段、空间结构拓展目标以及轨道交通服务需求不断向系统性、内涵化探索。

关键词:城市轨道交通;放射线;规划布局;复合通道;空间协同;深圳市

Planning of Urban Rail Transit Lines Radiating from Urban Central Area: A Case Study of Shenzhen

ZHOU Jun, XU Xuhui, ZHOU Jingnan, DENG Xiaoqing

(Shenzhen Planning & Land Research Center, Shenzhen Guangdong 518040, China)

Abstract: Taking Shenzhen as an example, this paper presents an analysis of the planning of rail transit radiating lines in megacities. This paper reviews urban development and rail transit radiating lines planning in various stages and analyzing the features of passengers flow. Three planning principles are proposed. The channel scale of radiating lines should be determined based on peak-hour cross-section demand with planning flexibility maintained to address dynamic changes. Multipurpose channels of “rapid lines + regular lines” should be planned along the core development axis of the central area and peripheral functional center to enhance the travel service function and guide urban development of radiating lines. The layout strategies for rapid lines and regular lines on the same corridor should be differentiated and coordinated with urban land use development. Radiating lines planning methods and layout strategies should be considered systematically and connotatively in combination with urban development stages, spatial expansion, and rail transit service demands.

Keywords: urban rail transit; radiating lines; planning layout; multipurpose channels; spatial coordination; Shenzhen

收稿日期:2021-09-28

作者简介:周军(1974—),男,上海人,硕士,高级工程师,主要研究方向:综合交通规划、交通政策研究、公共交通规划。E-mail:422835812@qq.com

0 引言

中心放射形城市轨道交通线路(以下简称“放射线”)指城市中心区(或中心城)与外围副中心(或郊区新城、组团中心)实现直通联系的轴向轨道交通设施。放射线是超大城市^①轨道交通系统的重要组成部分,对构建城市轨道交通网络基础骨架、满足中心区(或中心城)对外干线走廊交通需求具有重要

作用。

一些研究从理论验证角度分析了放射线对城市轨道交通线网形态的重要作用。王婉莹^[1]、蒋玉琨^[2]、许贺等^[3]围绕放射形线网的环线布设要点、线网通达性、系统出行成本等进行研究;李明高等^[4]通过研究网络拓扑结构,发现“环+放射”形网络形态的换乘便捷性优于无环放射形,更优于方格形;彭挺等^[5]在对线网结构比较研究后得出“环+

放射+方格”形城市轨道交通线网的时间效率最优；冷海洋等^[6]认为组团状、网格状、卫星状、环形放射状等典型城市形态均适用于以放射线为主构建城市轨道交通骨架线网。

另有部分学者从城市轨道交通线网规划角度探讨了有关放射线规划实践问题。全波等^[7]、薛婧等^[8]提出北京市通过外围放射线连接远郊新城与中心城区边缘节点并换乘进入中心城区的做法存在弊端，如中心城区与郊区新城的通达效率低、单点换乘枢纽客流压力大等。针对北京市这一情况，王波等^[9]提出外围接入中心城区的城市轨道交通新线应考虑预留与中心城区线路贯通运营的条件。陈小鸿等^[10]指出，上海市高密度中心城与圈层拓展的延绵集中建设区之间的主要交通放射轴带仅布局1条城市轨道交通线路，难以兼顾时效和运力；规划初期未预留多线路通道空间不仅影响网络布局调整的弹性，还制约了中心城与郊区新城的联系效率。孙珊等^[11]探讨了上海市郊区新城至中心城以及长三角区域节点城镇的“市域轨道快线”功能缺失问题。

既有研究从不同层面探讨放射线的形态、功能、效率以及实施相关问题，既有共性特征，也有因不同城市空间结构和城市轨道交通线网而异的特性，但仍缺少关于放射线规划布局的针对性探讨。基于此，本文以深圳市为例开展超大城市放射线布局研究，对放射线的通道研判、功能组织、布局方法等进行深入分析。

1 深圳市放射线基本情况

1.1 放射线规划历程

作为毗邻香港、连通内陆的沿海城市，深圳市轨道交通适应城市空间特征，呈现以罗湖-福田、前海-南山双中心构成的中心区为核心、沿城市核心发展轴向外围组团辐射的扇形布局形态。城市发展及放射线规划总体可划分为三个阶段：

1) 第一阶段：沿城市3条核心发展轴布局城市轨道交通干线。

在《深圳市城市总体规划(1996—2010)》实施期，工业化与城市化加速发展，城市建设由原特区内主导向全市域梯度拓展。为支撑以原特区为中心，西、中、东3条核心发展轴为基本骨架的组团式空间结构，深圳市规划布局了轨道交通1号线、4号线和3号线

3条放射形市区干线(见图1)。

2) 第二阶段：引入城市轨道交通快线加强城市中心与外围组团、对外交通枢纽联系。

在《深圳市城市总体规划(2010—2020年)》实施期，城市进入产业转型升级、土地存量发展阶段。为支撑形成“三轴两带多中心”城市空间结构，深圳市在既有3条城市轨道交通干线的基础上增加城市组团轨道交通快线功能层级，规划轨道交通6号线、10号线、11号线、12号线、13号线、14号线等9条放射线，进一步加强中心区与外围副中心、组团中心之间的联系及面向主要对外交通枢纽的服务(见图2)。

3) 第三阶段：适应多中心城市空间结构完善放射线功能层次。

在《深圳市国土空间总体规划(2020—2035年)》编制阶段，城市迈向高质量、均衡化的都市圈发展阶段。深圳市规划构建多层次

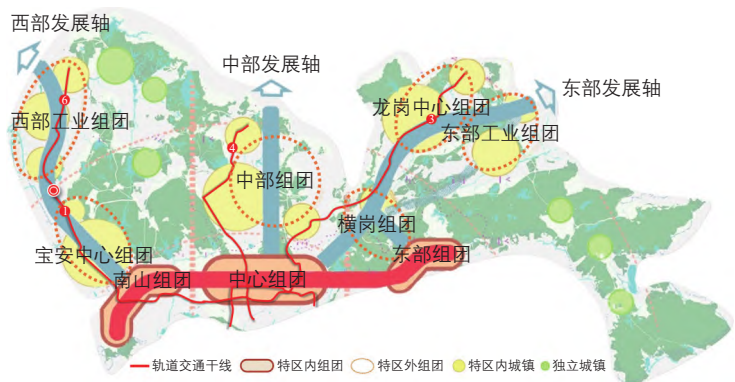


图1 1996—2010年深圳市城市空间结构和中心放射形轨道交通线路

Fig.1 Plan of urban spatial structure and rail transit lines radiating from the central area of Shenzhen from 1996 to 2010

资料来源：根据《深圳市城市总体规划(1996—2010)》中城市布局结构规划图绘制。

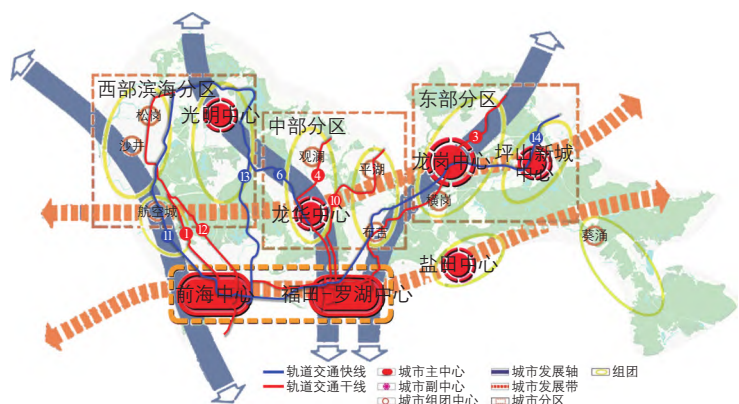


图2 2010—2020年深圳市城市空间结构和中心放射形轨道交通线路

Fig.2 Plan of urban spatial structure and rail transit lines radiating from the central area of Shenzhen from 2010 to 2020

资料来源：根据《深圳市城市总体规划(2010—2020年)》中城市布局结构规划图绘制。

一体化城市轨道交通网络，总体布局16条放射线，由7条市域快线(以下简称“快线”)和9条普速线路(以下简称“普线”)组成，适应“一核多心网络化”的多中心、组

团式城市空间结构(见图3和图4)。

1.2 放射线客流特征

1) 现状放射线向心集聚特征显著。

2022年深圳市运营11条城市轨道交通线路，其中有普线1号线、3号线、4号线、10号线和快线6号线、11号线共6条放射线，运营里程为243 km，占现状网络里程的60%。放射线客流呈现典型的向心通勤和高峰集聚特征。向心通勤特征方面，2022年在中心区就业、外围地区居住的通勤人口有110万人，在进出“二线关”^②的客运走廊上通勤交通占比超过60%，轨道交通客流方向不平衡系数达6.4:1；高峰集聚特征方面，放射线承担63%的进关客流，且高峰时段(早晚各3 h)客流量占放射线全日客流量的57%，高峰小时系数为16.8%。

具体分析各条线路特征，早期开通的1号线、3号线、4号线以承担进出城市中心区的通勤功能为主，早晚高峰时段线路运行已处于超饱和状态(见图5)。西部客运走廊11号线承担中心区与机场枢纽、外围组团快速联系功能的同时分担了高峰时段40%的跨关交通压力；中部客运走廊6号线开通后，对4号线高峰小时时段客流量较大方向的最大客流断面(以下简称“高峰断面”)客流压力短期有一定疏解(下降11%)。总体上既有放射线难以满足快速增长的客流需要。

2) 放射形快线服务范围更大、联系效率更高。

一方面，放射形快线出行空间尺度、外围地区客流量明显高于普线。深圳市机场快线11号线开通前(见图6a)，西部客运走廊和东部客运走廊分别由1号线和3号线提供服务，出行空间尺度和客流量相似，主要客流集中分布于15 km范围以内。11号线开通后(见图6b)，西部客运走廊的客运强度显著增长，11号线主要客流已经辐射至外围地区30 km范围，而东部客运走廊的客流特征与2016年相比并未发生明显变化。同时，11号线福田、前海中心区与宝安福永、沙井组团之间的客运量占线路总客运量的31.6%，也明显高于3号线福田、罗湖中心区与同等尺度龙岗大运、龙城中心的客运量(占线路总客运量的6.1%)。

另一方面，快线平均运距更长、外围地区可达性更高。与同走廊的1号线相比，11号线20 km及以上的中长距离客流出行比例

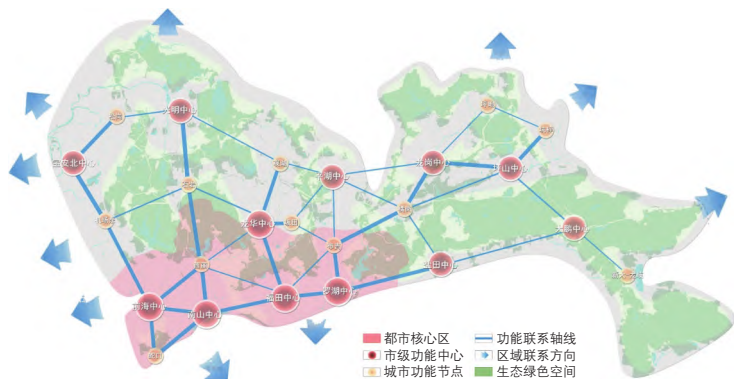


图3 2020—2035年深圳市城市空间结构和中心体系规划

Fig.3 Plan of urban spatial structure and central system of Shenzhen during 2020-2035

资料来源：根据《深圳市国土空间总体规划(2020—2035年)》(草案)空间结构与中心体系规划图绘制。

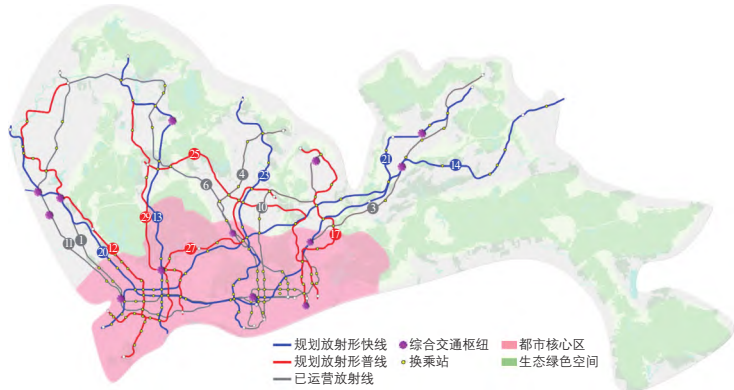
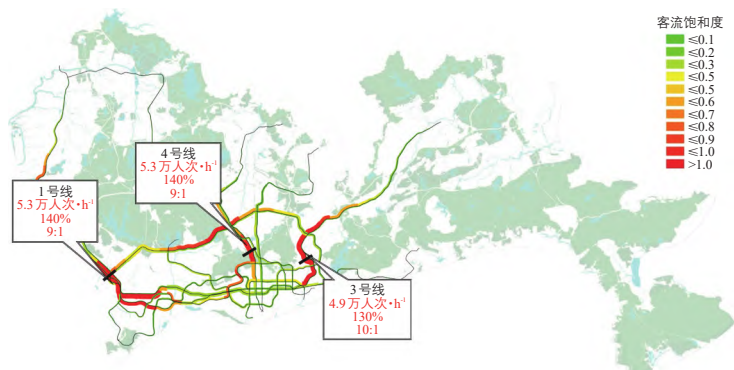


图4 2016—2035年深圳市中心放射形轨道交通线路布局

Fig.4 Layout of rail transit lines radiating from the central area of Shenzhen during 2016-2035

资料来源：《深圳市轨道交通线网规划(2016—2035)》。

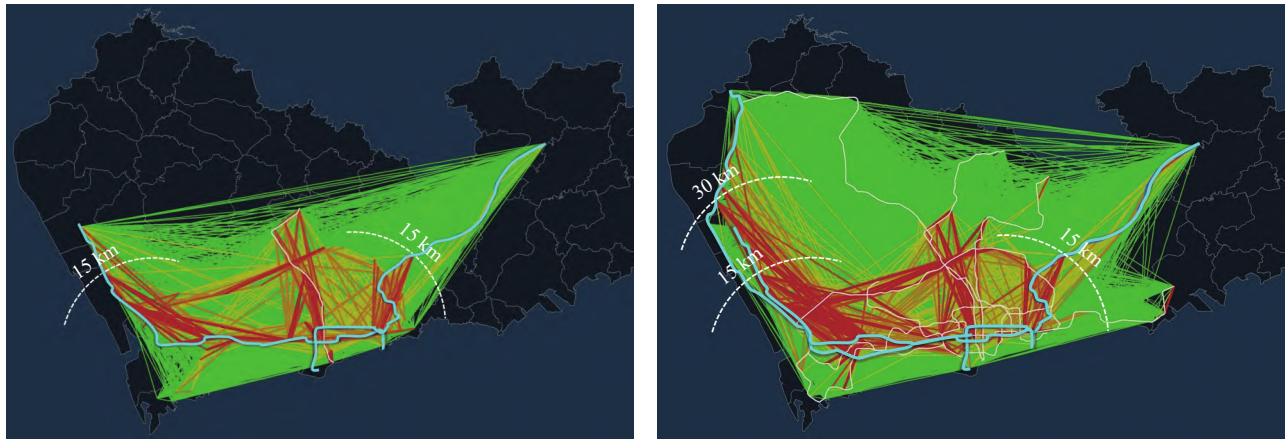


注：以轨道交通1号线为例，5.3万人次·h⁻¹表示早高峰小时时段内客流量较大方向的最大客流断面客流量；140%为客流饱和度，是早高峰小时时段内客流量较大方向的最大客流断面客流量与线路运能的比值；9:1为客流方向不平衡系数。

图5 早期开通的放射线高峰断面客流饱和度与客流方向不平衡系数

Fig.5 Peak-hour cross-section passengers flow saturation and unbalanced directional factor of radiating lines in early operation stage

资料来源：深圳市规划国土发展研究中心交通仿真实验室。



a 2016年

b 2020年

图6 客运走廊轨道交通客流OD空间分布

Fig.6 Spatial distribution of rail transit passengers OD on the passenger corridor

资料来源：深圳市规划国土发展研究中心交通仿真实验室。

明显更多(见表1)。且由中心区福田站出发,通过11号线45 min^①能够到达30 km范围的桥头站,通过3号线仅能到达20 km范围的横岗站,一定出行时间约束下快线与外围地区的联系效率更高。

2 放射线规划要点

在城市轨道交通线网规划中,交通需求、线路功能层次、线网布局是开展规划编制的基础。本文重点围绕这三方面论述深圳市如何适应城市特征,开展放射线的规模研判、功能组织、布局方法等规划实践。

2.1 规模研判: 前瞻预留放射线通道规划弹性

1) 早期规划对高峰断面客流需求、放射线通道预留考虑不足。

早期深圳市轨道交通线网规划主要基于中心放射形客运走廊高峰小时客流需求来研判放射线规模,对高峰断面特征及趋势预估不充分,导致西、中、东客运走廊上轨道交通1号线、3号线、4号线的运能投放偏低,高峰断面单向客运量均已超出远期规划预测水平(见表2)。例如4号线开通时选择6A制式、4节编组,实际运营初期高峰断面客运量就已超过《深圳市轨道交通线网规划(2016—2035)》预测的远期4.6万人次·h⁻¹水平,后续线路运能提升空间有限,一度成为深圳市最拥挤的城市轨道交通线路。

另一方面,早期规划布局的放射线规模偏低、新增通道预留不足。例如:南山中心直达外围地区的放射线通道预留不足,在

表1 轨道交通1号线与11号线客流出行距离分布

Tab.1 Distribution of passengers travel distance on rail transit Line 1 and Line 11

出行距离 d /km	所占比例/%	
	1号线	11号线
$0 < d \leq 10$	68	30
$10 < d \leq 20$	24	32
$20 < d \leq 30$	7	21
> 30	1	17
> 20	8	38

资料来源：深圳市规划国土发展研究中心交通仿真实验室。

表2 既有放射线现状客运量与预测客流量比较

Tab.2 Comparison of existing and predicted passengers flow of radiating lines

通道 区位	城市轨道 交通线路	现状客运量 ¹⁾ (万人次·d ⁻¹)	现状客运强度 ¹⁾ (万人次·d ⁻¹ ·km ⁻¹)	高峰断面单向客运(流) 量/(万人次·h ⁻¹)	
				现状 ¹⁾	线网规划 (2035年)
西部 客运 走廊	1号线(普线)	112.9	2.8	5.3 ↑	4.7
	11号线(快线)	47.4	0.9	3.7	6.1
中部 客运 走廊	4号线(普线)	66.2	3.4	5.3 ↑ ²⁾	4.6
	6号线(快线) ³⁾	28.1	0.6	1.8	4.7
东部 客运 走廊	3号线(普线)	83.5	2.0	4.9 ↑	4.2

1) 考虑到2020年新型冠状病毒肺炎疫情、延伸线(2号线东延、3号线南延、4号线北延)开通等因素对客流影响较大,本文选取2019年放射线客流数据说明线路特征; 2) 2020年8月同走廊快线6号线开通后,4号线高峰断面单向客运量降至4.7万人次·h⁻¹; 3) 轨道交通6号线于2020年8月开通,客流尚在培育期,不具有特征代表性,采用2020年12月数据加以说明。

资料来源：深圳市规划国土发展研究中心交通仿真实验室、《深圳市轨道交通线网规划(2016—2035)》。

《深圳市城市轨道交通第四期建设规划调整(2017—2022年)》编制过程中仅有4条可供选择实施的线路,放射线规划建设已经明显

滞后于城市发展的速度。

2) 放射线通道应结合高峰需求适度超前规划预控。

结合城市人口及就业岗位分布、重点产业布局、土地利用模式等发展趋势,对放射形客运走廊的空间联系及需求特征进行预判,2035年在外围地区居住的中心区就业人口将增至250~300万人,放射形客运走廊出行需求将达到1 000万人次·d⁻¹以上(为2015年的2.6倍)。在西、中、东3条核心发展轴的基础上,进一步识别南山与光明、龙华、龙岗等主要放射形客运走廊。

面向2 300万人以上交通服务人口的高密度超大城市且中心区对外通道资源紧缺,放射线系统规模应加强对高峰断面客流需求与能力的校核分析,预留一定的规划余量^[9],适度超前规划预控通道空间,应对远期城市发展的不确定性。各主要中心放射形客运走廊至少需要布局2条城市轨道交通线路,且每个中心需要建立多向的联系通道(见图7)。

2.2 功能组织:沿核心发展轴构建“快线+普线”复合通道

1) 放射线有必要建立快线和普线两个功能层次。

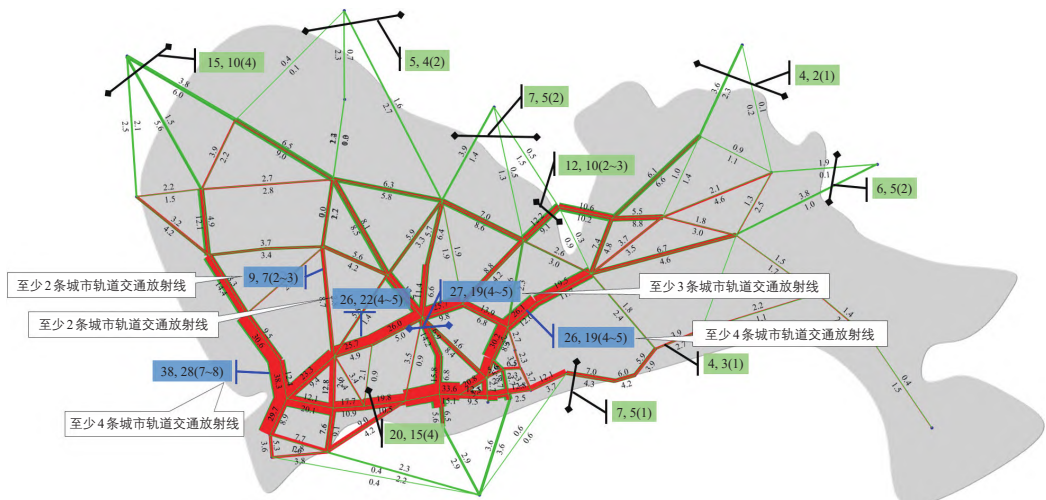
放射线功能层次与城市空间特征及乘客出行需求紧密相关。一方面超大城市中心辐

射范围不断拓展,需要多层次轨道交通满足便捷、快速、可靠的公共交通出行需求,如深圳市近2 000 km²区域内衍生了中心通勤圈(15<s≤25 km, d表示市民中心至城市某圈层的直线距离)、中心辐射圈(25<d≤35 km)、临深都市圈(35<d≤50 km)等主要空间尺度活动区域。国外大城市如东京、巴黎等均构建了由轨道交通快线(区域快线、市域快线、市域(郊)铁路)、轨道交通普线(普速地铁、中运量轨道交通)等构成的多层次一体化城市轨道交通系统。

另一方面,不同空间尺度的出行活动均受到1 h“门到门”的基本时间约束^[10]。除去15 min两端接驳时间,普线有效覆盖范围基本为中心通勤圈。若采取以放射形普线继续延伸的短站距密集设站模式解决郊区出行问题,会导致线网功能层次单一、外围地区可达性低,难以实现中心区与外围地区的快速联系和带动外围地区发展。部分学者也从规划理论及实践反思等角度论述了超大城市放射线建立快线和普线两种功能层次的必要性^[7,9-13]。

2) 规划“快线+普线”复合通道以强化放射线功能。

深圳市陆续建设了轨道交通11号线、6号线、13号线(预计2022年通车)和14号线(预计2022年通车)等快线,但尚未构建完善的放射线体系,快线与普线整体效能未充分发挥。在城市中心区与外围功能中心联系的



注:以西部客运走廊为例,38表示走廊上早高峰时段高峰断面机动化出行需求/(万人次·h⁻¹);28表示扣除道路交通承载能力达到上限前提下小汽车及公共汽车承担的客流后,城市轨道交通需承担的高峰断面客流量/(万人次·h⁻¹);7~8表示根据单条轨道交通线路能预判的该走廊需要布局的放射线通道规模/条,包括城际线、放射线、中心区延伸局部跨关线路或中心区环线。

图7 客运走廊高峰断面客流量与放射线通道规模研判

Fig.7 Maximum peak-hour cross-section passengers flow on the passenger corridor and the channel scale of radiating lines

资料来源:《深圳市轨道交通线网规划(2016—2035)》客流预测专题报告。

核心发展轴上,应进一步构建“快线+普线”复合通道^[7,13]的组织模式,强化放射线的交通服务和引导城市发展功能。

在交通服务方面,通过快线与普线的共同支撑,实现不同空间尺度范围的城市轨道交通高效可达、精准覆盖,提高中心区与外围功能中心联系效率,以及沿线区域的多层次轨道交通服务水平。其中快线主要承担中心区与外围功能中心及组团中心的快速联系功能,实现中心区与外围功能中心45 min通达,重点服务中心辐射圈和临深都市圈所在的外围地区,设计速度为100~160 km·h⁻¹,平均站间距宜为2~5 km;普线主要承担中心区与延绵高密度建成区及组团中心的覆盖服务功能,重点服务中心通勤圈地区,设计速度为80~100 km·h⁻¹,平均站间距宜为1~2 km。

在引导城市发展方面,规划通过复合化放射线功能组织,引导人口、产业等资源要素在城市核心发展轴上梯度布局、向外围功能中心集聚,促进用地功能混合、高效开发,推动城市空间结构向新一轮国土空间规划确立的多中心形态有序拓展。然而,也需客观认识多中心结构的形成需要外围中心功能培育、产业优化布局、土地政策激励等综合因素的持续作用,高效的交通设施只是其中一个必要方面。

2.3 布局方法:重视快线与普线差异化及空间协同布局

1) 同走廊快线与普线应体现差异化布局策略。

同走廊放射形快线与普线应进行差异化布局,服务核心发展轴上集聚分布的重点功能区,发挥复合通道的交通服务功能和引导城市发展功能。快线主要沿城市主中心与外围功能中心的核心发展轴布局,串联至少1个主中心、1个功能中心和沿线2~3个组团中心,且覆盖至少1个外围重点产业片区,加强在中心区及外围沿线就业岗位密集、更新潜力大的片区设站。普线主要沿城市主中心与延绵高密度建成区的主要客运走廊布局(包括核心发展轴),串联至少1个主中心和沿线2~3个组团中心(或外围功能中心),加强对重点就业片区、大型居住片区、公共服务设施的设站服务。

以西部核心发展轴的轨道交通1号线、11号线为例,1号线主要串联对外交通枢纽(罗湖站、宝安国际机场)、中心区重点就业

片区(大剧院、华强北、会展中心、车公庙、科技园等)以及中心通勤圈内以居住功能为主的组团中心(香蜜湖、白石洲、新安、宝中、坪洲等);11号线主要服务对外交通枢纽(福田站、宝安国际机场)、中心区重要功能节点(车公庙、后海、前海湾、宝安)以及外围潜力功能中心(福永、沙井、松岗)。通过“快线+普线”的复合放射通道组织,提升罗湖-福田、前海-南山中心与对外交通枢纽的联系效率,强化中心区对西部核心发展轴上宝中、宝安北等地区的辐射带动(见图8)。

2) 快线与普线需加强与城市空间高效协同规划。

在城市核心发展轴以及主要客运走廊分别构建主中心与外围6大市级功能中心(宝安北中心、光明中心、龙华中心、平湖中心、龙岗中心、坪山中心)直连的复合通道,并串联沿线组团中心和重要功能节点,形成与城市中心体系相契合的放射形轨道交通布局(见图9)。要以实现中心区与外围功能中心45 min直达为首要约束目标进行快线规划布局,在技术标准、空间布局、设站服务等方面保证同走廊快线与普线的功能协调、差异分工。

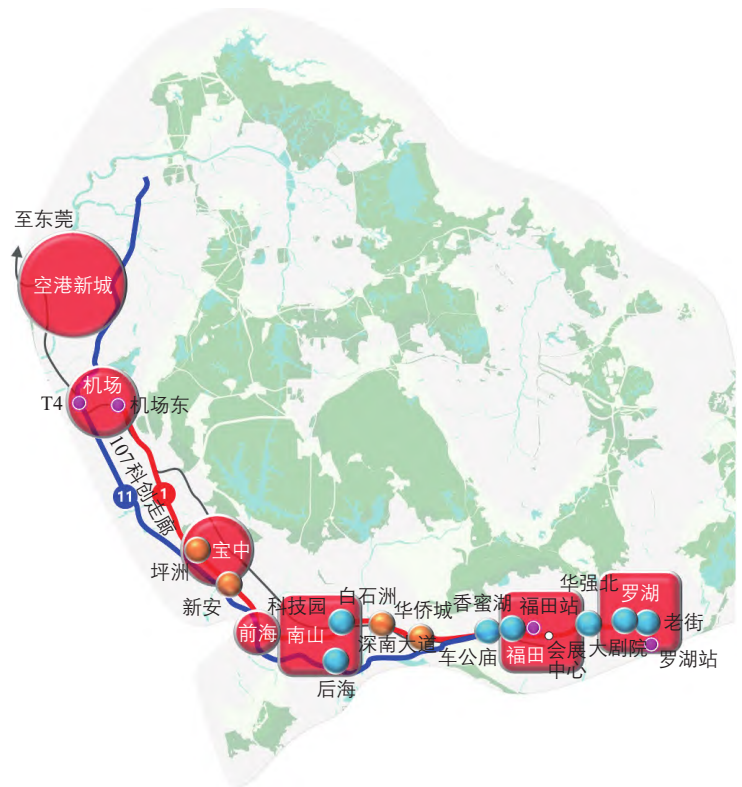


图8 西部核心发展轴轨道交通1号线、11号线差异化布局
Fig.8 Differentiated layout for rail transit Line 1 and Line 11 on the core development axis in the western area

同时，加强放射线与轨道交通线网东西向线路和对外交通枢纽的换乘衔接布局，构筑与多中心城市空间结构高度耦合的轨道交通枢纽，扩大放射线网络辐射范围。具体包括：城市核心发展轴上的放射线特别是快线接入机场、铁路等对外交通枢纽，实现放射线与对外交通门户快速直达联系；加强放射线与中心区外不同空间圈层半环线的串联衔接，构筑与外围功能中心、组团中心相耦合的地区轨道交通枢纽，实现放射线与外围功能节点高效联结；加强放射线与中心区内贯穿东西客运走廊线路的换乘衔接，确保放射线与东西向干线至少形成2处换乘节点，结合中心区重点就业片区、重要功能节点构筑多线换乘枢纽，提升放射线换乘可达性。

3 结语

放射线对城市出行需求、城市轨道交通线网布局、城市空间结构拓展等具有重要作用。本文针对深圳市富有特点的“中心扇面放射”空间形态，对放射线的规模研判、功能组织、布局方法等进行研究。随着城市发展阶段、空间结构拓展目标以及轨道交通服务需求的逐步演化，放射线的规划方法、布局策略也应向系统性、内涵化探索。超大城市放射线在规划实践中需更多考虑对中心对外通道资源的前瞻预留，论证沿核心发展轴构建“快线+普线”复合通道的功能必要性，重视放射线自身系统的差异化布局及与城市空间的协同规划。

需要指出的是，本文仅对放射线规划布局的三个要点进行了研究，针对这一领域尚有进一步探讨空间，如不同城市空间形态、不同功能层次的放射线实证比较分析，放射线对于城市空间、产业、职住分布、沿线土地开发的影响分析，都市圈层面放射线的多层次一体化布局等。

注释：

Notes:

- ① 根据《国务院关于调整城市规模划分标准的通知》(国发〔2014〕51号)，城区常住人口1 000万以上的城市为超大城市。根据国家统计局2021年公布的《经济社会发展统计图表：第七次全国人口普查超大、特大城市人口基本情况》，超大城市包括上海市、北京市、深圳市、重庆市、广州市、成都市、天津市。
- ② “二线关”为1982年设立的深圳经济特区管理线，2018年已撤销，用以将城市分为中心区内和中心区外。由于深圳市中心区呈东西向带状组团结构，受限於自然山体分隔、组团式地域形态，中心区与外围地区的交通联系主要沿城市核心发展轴上的多条客运走廊，且必须跨越位于中心区边缘的二线关。文中“二线关”指自西向东由外围地区进入中心区经过的南头关、白芒关、福龙关、梅林关、布吉关等主要交通瓶颈(节点)。
- ③ 《深圳市轨道交通线网规划(2016—2035)》提出城市核心区与外围功能中心之间45 min轨道交通通达的规划目标。

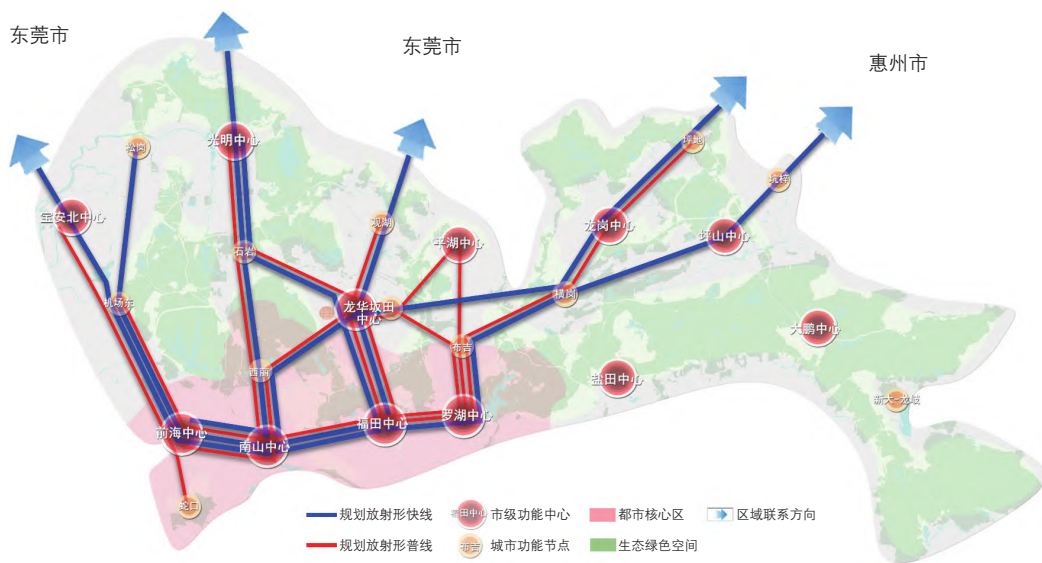


图9 放射线与城市空间协同规划组织架构

Fig.9 Organizational structure of coordinated planning of radiating lines and urban land use development

参考文献:

References:

- [1] 王婉莹. 城市道路网与轨道交通线网形态的关系研究[J]. 铁道工程学报, 2017, 34(2): 81-86.
WANG W Y. Research on the relationship between urban road network and rail transit line network[J]. Journal of railway engineering society, 2017, 34(2): 81-86.
- [2] 蒋玉琨. 城市轨道交通线网形态对换乘便捷性的影响[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(2): 126-130.
JIANG Y K. The impact of the line network forms of the urban rail transit on the transfer convenience[J]. China railway science, 2010, 31(2): 126-130.
- [3] 许贺, 李文权, 丁钰玲, 等. 放射式轨道路网的系统出行成本研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2014, 38(1): 167-171.
XU H, LI W Q, DING Y L, et al. Research on system travel cost of radial rail network[J]. Journal of Wuhan university of technology (transportation science & engineering), 2014, 38(1): 167-171.
- [4] 李明高, 毛保华, 蒋玉琨, 等. 城市轨道交通网络换乘便捷性研究[J]. 中国铁道科学, 2015, 36(3): 113-118.
LI M G, MAO B H, JIANG Y K, et al. Transfer convenience of urban rail transit network [J]. China railway science, 2015, 36(3): 113-118.
- [5] 彭挺, 刘海洲, 钱卫力. 基于时间效率的轨道交通线网结构形态比较研究[C]//中国城市规划学会. 活力城乡 美好人居: 2019中国城市规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 7.
- [6] 冷海洋, 秦国栋, 池利兵. 大城市城市轨道交通线网规划关键技术探讨[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(11): 21-26.
LENG H Y, QIN G D, CHI L B. Discussion on key technologies of urban rail transit network planning of large cities[J]. Railway standard design, 2019, 63(11): 21-26.
- [7] 全波, 伍速锋. 交通系统的空间组织思维: 改进城市轨道交通线网规划方法的思考[J]. 城市交通, 2017, 15(6): 1-5.
QUAN B, WU S F. Spatial distribution of transportation system: thoughts on improving urban rail transit network planning[J]. Urban transport of China, 2017, 15(6): 1-5.
- [8] 薛婧, 张梅青. 北京市轨道交通网络化化发展问题及对策研究: 基于职住分离的背景[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2016, 15(3): 38-49.
XUE J, ZHANG M Q. Problems of Beijing urban rail transit network development and their countermeasures: a study in view of the separation of workplace and residence[J]. Journal of Beijing jiaotong university (social sciences edition), 2016, 15(3): 38-49.
- [9] 王波, 郑晓薇, 李世民. 北京轨道交通网络实施效果的思考[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(11): 1-5.
WANG B, ZHENG X W, LI S M. On the implementation effect of Beijing urban rail transit network planning[J]. Urban mass transit, 2014, 17(11): 1-5.
- [10] 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.
CHEN X H, ZHOU X, QIAO Y Y. 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.
- [11] 孙珊, 高岳, 张安峰, 等. 基于规划实施评估的上海远景轨道交通网络发展研究[J]. 上海城市规划, 2014(2): 3-11.
SUN S, GAO Y, ZHANG A F, et al. Study on Shanghai long-term rail transit network development based on planning implementation assessment[J]. Shanghai urban planning review, 2014(2): 3-11.
- [12] 李锋, 江捷, 敖卓鹤. 城市多层次轨道交通体系功能布局规划研究: 以深圳市为例[J]. 城市交通, 2017, 15(5): 52-58.
LI F, Jiang J, AO Z G. Functional layout planning of multilevel urban rail transit system: a case study in Shenzhen[J]. Urban transport of China, 2017, 15(5): 52-58.
- [13] 林群, 江捷. 时空紧约束的大都市圈轨道交通规划研究[J]. 城市交通, 2017, 15(1): 31-37.
LIN Q, Jiang J. Metropolitan area's rail transit planning under spatial and temporal constraints[J]. Urban transport of China, 2017, 15(1): 31-37.