

# 组团型城市低运能轨道交通规划建设关键问题研究

陈文斌 王小龙 李思佳 刘力嘉

(深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司, 518021, 深圳//第一作者, 工程师)

**摘要** 在总结组团型城市发展特征的基础上,简述了其发展低运能轨道交通的必要性。重点分析了组团型城市低运能轨道交通线路功能定位、线网规划方法、系统制式选择、线路选线原则等关键问题,并提出了自下而上的线网规划方法。

**关键词** 组团型城市;低运能轨道交通;规划建设

**中图分类号** U491.1;U482.1;U232

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2022.10.043

## Key Issues of Clustered Cities in Low Traffic Capacity Rail Transit Planning and Construction

CHEN Wenbin, WANG Xiaolong, LI Siji, LIU Lijia

**Abstract** On the basis of summarizing the development characteristics of clustered cities, the necessity of developing low volume rail transit is briefly discussed. The low traffic volume rail transit key problems in clustered cities such as line function positioning, line network planning method, system format selection and line selection principle are emphatically analyzed. A bottom-up line network planning method is proposed.

**Key words** clustered cities; low capacity rail transit; planning and construction

**Author's address** Shenzhen Urban Transport Planning Center Co., Ltd., 518021, Shenzhen, China

城市轨道交通作为大容量、快速、高效的公共交通系统,对引导城市空间结构拓展、推动土地集约化发展、转变交通出行结构发挥着巨大作用。轨道交通的发展成就也逐步成为体现一个城市综合实力的有力象征。为促进城市轨道交通规范有序发展,严控城市债务风险,国务院办公厅印发了《关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》,对城市轨道交通规划建设提出更高要求。目前,诸如佛山、东莞等城市正处于城市轨道交通建设的关键时期,但由于公共预算收入低,且具有明显的组团型城市及交通出行特征,因此,低运能轨

道交通则成为组团型城市打造高品质公共交通的另一个重要发展路径。

## 1 组团型城市发展特征分析

### 1.1 城市空间结构及功能分区呈现分散、差异化特征

城市的空间布局形态,一般可以分为集中与分散两种类型<sup>[1]</sup>。组团型城市空间结构具有明显的分散特征,且随着城市规模的不断扩大,城市功能分区呈现明显的差异化特征。诸如,珠江三角洲佛山、东莞、中山受自然因素或行政体制等非自然因素影响而形成的组团型城市<sup>[2-4]</sup>,其空间结构分散,城市功能呈现差异化的发展特征(见表1)。

### 1.2 社会经济及人口发展相对均衡

组团型城市除中心城区在社会经济及人口规模等方面具有一定优势外,其他各组团型城市总体上呈现均衡发展状态。例如:东莞市各组团城市人口密度基本维持在0.3万~0.4万人/km<sup>2</sup>,人均GDP(国内生产总值)为6.0万~7.0万元;中山市则位于下一个发展阶梯,各组团城市间发展差异相对较小;佛山市除中心城区、大良容桂副中心外,其他组团间差异亦相对较小。

### 1.3 交通出行以组团内部及短距离为主

据统计,组团型城市具有组团内部短距离交通出行的独有特性<sup>[5-7]</sup>。如,中山市组团内部出行占比高达80%~90%。东莞市由于背靠广州、面朝深圳,产生一定“职住分离”与“空间错位”现象,使得组团内部出行占比从2004年的90%降至2019年的53.2%;但其机动化平均出行距离仅6.5 km,明显低于深圳的10.7 km、广州的13.6 km。

## 2 组团型城市发展低运能轨道交通系统的必要性

### 2.1 低运能轨道交通系统的定义

T/CAMET 00001—2020《城市轨道交通分类》

表 1 珠江三角洲组团型城市特征数据统计<sup>[5,7-8]</sup>

Tab.1 Statistics of characteristics data of clustered cities in Pearl River Delta<sup>[5,7-8]</sup>

城市	空间结构	功能分区	面积 占比/%	人口 占比/%	人口密度/ (人/km <sup>2</sup> )	人均 GDP/ 万元	组团内部出行 占比/%
佛山(一 主一副 七组团)	中心城区	综合服务、科创中心	36.8	51.3	3 527	15.6	87.9
	大良-容桂副中心	综合服务中心	7.8	14.1	6 250	8.9	81.4
	西樵组团	综合服务节点	5.3	4.6	2 215	5.9	79.8
	三水组团	综合服务节点	8.0	7.0	2 232	8.0	81.1
	高明组团	综合服务节点	7.2	6.9	2 414	12.6	84.0
	九江龙江组团	家具商贸组团节点	6.0	7.0	2 604	8.8	83.5
	丹灶白泥组团	工业、生态旅游节点	7.4	3.8	1 292	12.4	69.9
	南三组团	工业、生态旅游节点	9.1	4.2	1 167	10.7	81.7
	空港组团	临港产业园区	12.3	1.0	202	9.6	71.3
东莞(一 中心四 组团)	中心组团	综合服务、创新中心	22.9	30.0	4 480	7.6	37.1
	东北组团	产城融合发展示范区	17.5	15.3	3 029	6.0	52.2
	东南组团	现代产业发展集聚区	22.6	17.9	2 723	6.2	68.2
	西南组团	水系特色发展经济区	16.3	20.8	4 382	6.6	62.7
	西北组团	滨海新城	20.8	16.0	2 641	6.6	46.0
中山(一 中心四 组团)	中心城区	综合服务、宜居中心	24.9	28.4	2 050	2.0	89.0
	西北部组团	国内制造业强区	21.7	32.1	2 661	2.4	96.0
	东北组团	先进装备制造、物流枢纽	16.0	11.8	1 333	1.2	91.0
	东部组团	高新技术科创中心	17.1	10.9	1 144	2.0	81.0
	南部组团	智能制造、生态旅游集聚区	20.4	16.8	1 484	1.2	94.0

注:表中涉及数据的年份,佛山为 2013 年,东莞、中山均为 2019 年;佛山、东莞、中山的平均出行距离分别为 4.6 km、6.5 km、5.5 km。

依据运能对城市轨道交通系统做了分类,见表 2。其中低运能轨道交通系统是指运能低于 1 万人次/h 的城市轨道交通系统。

表 2 城市轨道交通运能等级分类标准

Tab.2 Classification standard of urban rail transit transport capacity grade

分类名称	运能/(万人次/h)
大运能系统	≥3
中运能系统	1 ~ <3
低运能系统	<1

2.2 组团型城市发展低运能轨道交通系统的必要性

2.2.1 丰富线网功能层级,打造全链条轨道交通出行服务

目前,国内城市轨道交通大多采用大运能、低线网密度的发展模式,在大运能轨道交通和常规公共汽车之间缺乏中低运能轨道交通系统层级<sup>[9]</sup>。而组团型城市由于城市布局分散等原因,大运能轨道交通仅承担各组团间的快速联系,存在覆盖不

足、可达性较差等问题。

通过对比可知,组团型城市步行接驳占比明显低于非组团型城市(见表 3),其更多地需要依赖于自行车、公共汽车等中、短距离交通接驳,接驳距离更远、时间更长<sup>[10-11]</sup>。而低运能轨道交通相对常规公共汽车、自行车等具有速度快、准点率高、舒适性好等优势<sup>[12]</sup>,有利于提升轨道交通接驳服务品质,构建层级分明、功能互补的轨道交通网络体系,打造全链条轨道交通出行服务。

2.2.2 支撑多组团协调发展,解决轨道交通发展不平衡及不充分的问题

2019 年中共中央、国务院印发了《交通强国建设纲要》,提出建成人民满意的交通运输体系,需着力解决交通发展不平衡、不充分问题。在组团型城市轨道交通中,大、中运能轨道交通仅能覆盖城市主要发展轴带,轨道交通覆盖不足、客流效应差。

低运能轨道交通由于工程投资低、运能适中、站间距小,有利于拓展轨道交通覆盖范围,能有效

表 3 国内各城市轨道交通站点交通接驳方式占比  
Tab.3 Proportion of urban rail transit station interchange mode in Chinese cities

城市	不同交通接驳方式占比/%			
	步行	自行车	公共汽车	小汽车及其他
北京	65.2	4.6	26.3	3.9
天津	71.2	13.9	7.8	7.1
深圳	59.3	17.3	12.1	11.3
佛山	31.9	36.8	12.3	29.0

注：北京、天津、深圳及佛山的数据分别取自 2005 年、2017 年、2016 年、2020 年。

解决组团型城市轨道交通发展不平衡、不充分等问题,从而辐射带动外围组团发展。

2.2.3 顺应中、短距离交通出行特征,解决组团内部交通出行问题

根据城市公共交通运输规划相关规范,大、中运能轨道交通出行时间不宜超过 60 min,低运能轨道交通则宜控制在 30 min 以内。结合各层级城市轨道交通的功能定位,大、中运能轨道交通的服务范围宜为 30 ~ 50 km,主要提供中长距离快速轨道交通出行服务;低运能轨道交通的服务范围宜为 10 ~ 15 km,站间距约 0.5 ~ 1.0 km,主要提供中短距离轨道交通出行服务。这与佛山、东莞等组团型城市以组团内部、中短距离交通出行为主的特征相符。

表 4 低运能轨道交通系统功能等级分类			
Tab.4 Function grade classification of low capacity rail transit system			
功能等级	技术要求	适应范围	覆盖走廊
轨道加密线	线路长度建议控制在 10 ~ 15 km,平均站间距 500 ~ 800 m,运能、旅行速度均高于常规公交车	有大、中运能城市轨道交通服务,但线网密度覆盖不足的中心城区或组团中心	客流在 1 万人次/h 以下且具有明显公共交通走廊特征的通道
轨道接驳线	线路长度建议控制在 10 km 以内,平均站间距 300 ~ 500 m,提供品质化公共交通服务	有大、中运能城市轨道交通服务,但站点密度覆盖不足的城市高密度开发核心区	公共交通走廊密集、客流量大的集散点
公共交通骨干线	线路长度建议控制在 15 ~ 20 km,平均站间距 500 ~ 800 m,运能、旅行速度均高于常规公交车	大、中运能轨道交通缺失的中心城区或外围组团	客流在 1 万人次/h 以下且具有明显公共交通走廊特征的通道
特色线路	线路长度建议控制在 10 km 以内,平均站间距 500 m	产业、旅游观光、园区内部等线路	重要集散点

综合分析,轨道加密线宜布设在中心城区,作为大、中运能轨道交通补充线,其线路功能与普速线基本相当,有效扩大了轨道交通覆盖范围;轨道接驳线一般布设在城市高密度、重点核心区,重点解决轨道交通出行最后 1 km;公共交通骨干线则宜布设在外围组团的次要发展走廊,与大、中运能轨

3 组团型城市低运能轨道交通规划建设的关键问题

目前,国内共有 17 座城市的 31 条低运能轨道交通线路投入运营,总里程约 430 km。但由于低运能轨道交通线网规划不合理、项目建设论证不充分等原因,线路开通至今其客流强度远低于《现代有轨电车工程技术指南》中“拟建线路远期客流强度不低于 0.4 万人次/(km · d)”的要求。

基于低运能轨道交通系统的发展现状,认为组团型城市发展低运能轨道交通需要重点解决线路功能定位、规划方法、系统制式及选线原则等关键问题。

3.1 功能定位

目前,国内外关于低运能轨道交通系统功能定位大致可划分为轨道加密线、轨道接驳线、公共交通骨干线及特色线路<sup>[13-14]</sup>。因城市等级、敷设区位及服务目的的不同,其功能定位有着显著的差异。如本文所述,组团型城市在城市发展定位、区域位置及轨道交通发展的基础条件上均有显著差异性,因而决定了不同组团型城市间低运能轨道交通系统功能定位存在一定的差异性(见表 4)。

道交通共同组成公共交通骨架网络。

3.2 规划方法

城市轨道交通线网规划较常用的方法是点线面分析法和功能层次分析法。此两种方法在国内外均有成功应用经验<sup>[15]</sup>。低运能轨道交通线网规划因客流断面量低、服务距离短、与常规公交车的

服务大幅重叠等因素,很难从整体的公共交通需求走廊中识别低运能轨道交通系统的需求走廊,从而导致传统的城市轨道交通线网规划方法失效。

为解决上述问题,基于组团型城市的发展特点以及轨道交通功能定位的差异性,采用分组团、分片区、差异化自下而上的规划方法。规划研究中不宜刻意追求低运能轨道交通线路成网,重点注重组团内部以及与大、中运能轨道交通成网问题,同时利用城市公共财政预算收入作为城市轨道交通发展规模的控制依据,详细规划技术路线见图1。

1) 中心组团规划重点。中心组团是城市核心

区,需重点加强对城市核心区、重点发展片区的轨道交通加密及接驳服务。低运能轨道交通以加密线、接驳线为主,线路长度宜控制在10~15 km左右。

2) 外围组团规划重点。外围组团轨道交通大多以市域快线、骨干线的延伸线为主,主要解决片区对外交通联系,覆盖相对偏弱。低运能轨道交通则以覆盖城市次要发展轴带为主,并与大运能轨道交通共同形成片区公共交通主骨架。线路功能定位以公共交通骨干线为主,线路长度宜控制在15~20 km左右。

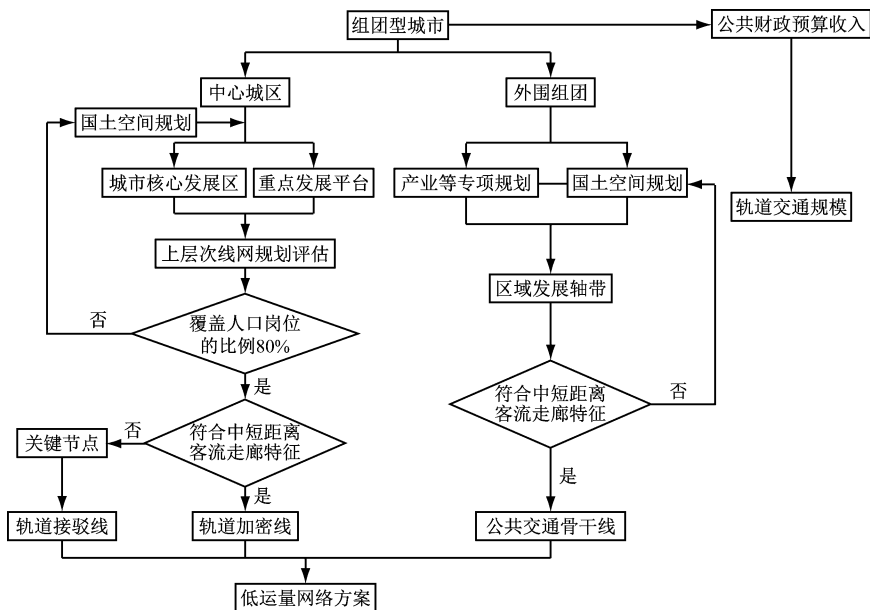


图1 组团型城市低运能轨道交通线网规划技术路线图

Fig. 1 Technical route diagram of low capacity rail transit line network planning in clustered cities

### 3.3 系统制式

根据 CJJ/T 114—2007《城市公共交通分类标准》,城市轨道交通制式大致分为6类,包括地铁、轻轨、单轨、磁浮、APM(自动旅客捷运系统)和有轨电车。其中,低运能系统主要包括悬挂式单轨和有轨电车(钢轮-钢轨有轨电车、虚拟轨道胶轮电车、导轨式胶轮电车)。低运能轨道交通各系统制式主要分类及适用情况见表5。

综合分析,有轨电车在工程造价、旅行速度、乘坐舒适性等方面优于悬挂式单轨。导轨式胶轮电车的舒适性、美观性、运行安全性则优于钢轮-钢轨、虚拟轨道有轨电车,而虚拟轨道有轨电车造价更低,钢轮-钢轨有轨电车则运营相对成熟。导轨式胶轮电车目前尚未形成正式的商业化运营线路,其产

品的兼容性、稳定性等有待市场进一步验证。

### 3.4 选线原则

为充分发挥低运能轨道交通系统的固有特性与优势,促进低运能轨道交通可持续发展,选线时宜遵循以下原则:

1) 高质量发展原则。规划线路宜串联城市重点发展片区或城市更新旧改片区,引导组团型城市由粗放型发展模式向土地集约化转变,为低运能轨道交通建设提供客流保障。

2) 客流导向原则。良好的客流是线路可持续发展的根本,规划线路应提前做好客流需求预测。高峰小时单向断面客流不应低于当地公交车专用道设置标准(如,佛山公交车专用道设置标准为高峰时段单向公交车客运量大于3 000人次/h)。

表 5 低运能轨道交通各系统制式综合比选

Tab.5 Comprehensive comparison and selection of low capacity rail transit system formats

系统制式	运能/(万 人次/h)	设计速度/ (km/h)	车辆特性	工程投资/ (亿元/km)	优点	缺点	适用地区
悬挂式单轨	0.8~1.5	50	胶轮系统,噪声 低,振动小	1.5~2.0 (高架)	建设周期短,爬 坡能力强,运营 安全性高	舒适性差,运营速度慢, 救援、维修难度大,核心 技术需进口	大运能轨道交通系统的 延伸线、接驳线
钢轮-钢轨 有轨电车	0.6~1.0	70	运行平稳,旅行 速度较低	1.0~1.5 (地面)	建设周期短,造 价低,产品完全 国产化	占用道路资源,运营安 全性差,乘坐舒适性差, 噪声大	城市外围道路交通条 件较好的专用线路
虚拟轨道胶 轮电车	0.6~0.8	70	旅行速度较低	0.3~0.5 (地面)	建设周期短,造 价低,产品完全 国产化	占用道路资源,运营安 全性差	城市外围道路交通条 件较好的专用线路
导轨式胶轮 电车	0.3~0.8	80	小型化、轻量化 胶轮系统,噪声 低,振动小	1.5~2.0 (高架)	建设周期短,旅 行速度高,城市 景观好	新开发技术,缺乏商业 化运营线路,产品兼容 性差	组团型城市中心城区 轨道加密线、接驳线, 外围区域公共交通骨 干线

3) 网络协同原则。低运能轨道交通线路需与大、中运能轨道交通线路及重要的交通枢纽做好衔接,以推动与落实轨道交通四网融合的发展理念,为上层级轨道交通喂给、疏散客流。

4) 可实施性原则。低运能轨道交通线路的优势在于噪声低、振动小、敷设方式灵活及工程造价低。因此,选线时宜尽量避免征拆、跨越等级航道,以提高线路的可实施性。

4 结语

随着城市轨道交通建设日益成熟,大、中运能城市轨道交通的发展速度必将受到一定制约,而低运能轨道交通由于具有造价低、运能适中、敷设方式灵活、站间距小及覆盖范围广等优势,可进一步丰富轨道交通线网层级,打造“门到门”、全链条、高品质的轨道交通服务。

在建设交通强国背景下,加快推进小运能、高密度、广覆盖的低运能轨道交通建设,是解决组团型城市轨道交通发展不平衡、不充分的重要手段,也是引导土地集约化利用,提升公共交通核心竞争力和服务水平的必然选择。

参考文献

[1] 朱喜钢. 城市空间集中与分散论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2002.  
ZHU Xigang. Urban space concentration and decentralization [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002.  
[2] 孙若兰,孙美静. 组团型城市空间结构形态演化探析——以佛山市为例[C]//城乡治理与规划改革——2014 中国城市

规划年会论文集(06 城市设计与详细规划). 海口:中国城市规划学会,2014.  
SUN Ruolan, SUN Meijing. Study on evolution of clustered cities spatial structure: a case research on Foshan City [C] // Urban and Suburban Governance and Planning Revolution—Proceedings of Annual National Planning Conference. Haikou: Urban Planning Society of China, 2014.  
[3] 朱政,郑伯红,贺清云. 珠江三角洲城市群空间结构及影响研究[J]. 经济地理,2011(3):404.  
ZHU Zheng, ZHENG Bohong, HE Qingyun. Study on evolution of spatial structure of Pearl River Delta urban agglomeration and its effects[J]. Economic Geography, 2011(3):404.  
[4] 彭雄亮. 环珠江口湾区城市群形态演进与空间模式研究[D]. 广州:华南理工大学,2020.  
PENG Xiongliang. Research on morphology evolution and spatial model in agglomeration of the Pearl River Estuary Bayarea [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.  
[5] 李磊,刘永平. 粤港澳大湾区背景下东莞市交通发展对策[J]. 综合运输,2019(5):109.  
LI Lei, LIU Yongping. On the development countermeasure of Dongguan under the background of Guangdong-Hong Kong-Marco Greater Bay Area [J]. China Transportation Review, 2019 (5):109.  
[6] 吴焕,彭湖,陈梓星. 珠江三角洲组团式城市居民出行特征分析——以佛山市顺德区为例[J]. 交通与运输,2018(2):31.  
WU Huan, PENG Hu, CHEN Zixing. Analysis of resident trip characteristic of clustered city in Pearl River Delta—a case research on Shunde District [J]. Traffic & Transportation, 2018 (2):31.  
[7] 李道勇,朱闯,卢顺达,等. 组团型城市公交发展策略研究——以中山市为例[J]. 交通与运输,2020(增刊2):194.

(下转第 227 页)