

# 国内各城市的轨道交通线网负荷强度比较分析

## ——基于中国城市轨道交通协会数据分析的研究报告之二

王镇波 李昱澄 叶霞飞

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海//第一作者, 博士研究生)

**摘要** 统计了国内 28 座城市的轨道交通(不含市域铁路、磁悬浮线、机场线)线网负荷强度。结合各城市的线网规模、市区和主城区常住人口密度、单程通勤距离、线路开通运营时间、沿线区域开发情况等因素,分析了引起线网负荷强度差异的原因。总结了提升城市轨道交通线网运营效率的要点:在城市主城区,当常住人口密度达到一定程度时,宜优先建设城市轨道交通,并应尽量覆盖大客流集散点;在城市外围区域,当基于 TOD(交通引导发展)模式引导城市轨道交通建设时,应确保城市轨道交通建设与沿线区域土地利用开发同步实施。

**关键词** 城市轨道交通; 负荷强度; 交通引导发展

**中图分类号** U293.6

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2019.05.001

**Comparative Analysis of Passenger Flow Intensity on Rail Transit Network in Chinese Cities**——the Second Report of the Data Based on the Urban Rail Transit Association of China

WANG Zhenbo, LI Yucheng, YE Xiafei

**Abstract** Current passenger flow intensity of 28 urban rail transit networks in Chinese cities are calculated, which does not contain urban railway, maglev train and airport line. Combined with factors of network scale, resident population density of the cantonal/central districts, average one-way commuting distance, line opening time, development along the line and so on, the reasons for different passenger flow intensities of rail transit networks are analyzed. On this basis, the main points of improving the operational efficiency of urban rail transit network are summarized. The construction of urban rail transit in central districts should be given more priorities when the resident population density there reaches a certain level, and large passenger flow distribution centers should be covered by the network as far as possible; based on TOD (transit oriented development) model, the construction of urban rail transit in sub-urban areas and the development along the line should be implemented simultaneously.

**Key words** urban rail transit; passenger flow intensity; transit oriented development

**Author's address** State Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Tongji University, 201804, Shanghai, China

截至 2018 年年底,国内共有 36 个城市开通运营轨道交通线路,运营线路总长度达 5 494.9 km。其中,北京、上海的轨道交通线网规模超过 600 km,广州超过 450 km,南京、重庆、武汉的超过 300 km<sup>[1]</sup>。随着线网规模的不断扩大,城市轨道交通日均客流量也在增长。由于城市的规模、发展程度、居民出行习惯等因素不同,即使是线网规模相近的城市,其客流总量也会存在差异,线网运营效率也存在差异。

线网负荷强度为线网全年日均客流量与线网规模的比值,即线网全年日均单位运营里程的客流量(万人次/(d·km)),可用于综合评价该城市的轨道交通线网的运营效率。本文通过比较和分析国内各城市的轨道交通线网的负荷强度,总结出了提升城市轨道交通线网运营效率的要点,旨在为各城市继续扩大线网规模提供参考与建议。

### 1 各城市的轨道交通线网负荷强度统计分析

本文选取国内 28 座城市 2017 年已开通运营的轨道交通线路(不含市域铁路、磁悬浮、机场线及 2017 年 12 月刚开通的线路)作为基本统计对象,结合 2017 年各线路客流量及运营里程数据<sup>[2]</sup>,计算得到这些城市的轨道交通线网的负荷强度,结果如图 1 所示。

从图 1 可知,北京、上海的线网规模仍遥遥领先于国内其他城市,负荷强度均大于 1.50 万人次/(d·km);广州的线网规模不及北京、上海的,但负荷强度最大,接近 2.40 万人次/(d·km);大连的线网

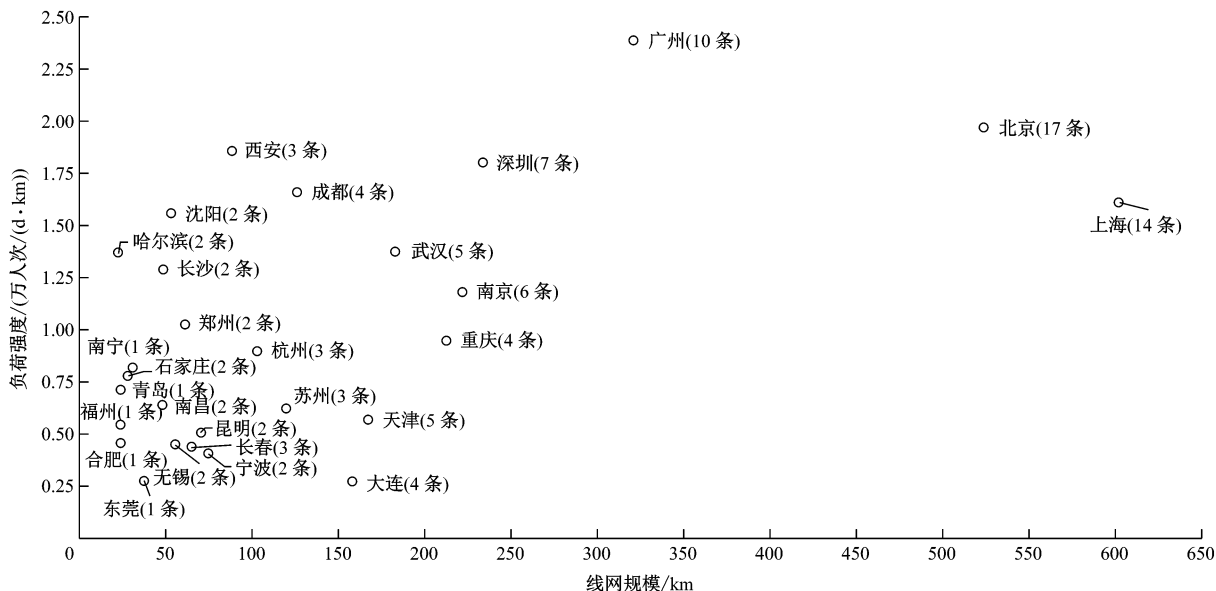


图1 2017年国内28座城市的轨道交通线网负荷强度

规模超过150 km,但负荷强度最低;哈尔滨、长沙、沈阳、郑州、西安的线网规模小于100 km,但负荷强度均大于1.00 万人次/(d·km),天津、苏州、杭州的则与之相反。各城市的线网负荷强度差异的主要原因分析如下:

(1) 线网的发展状态对其负荷强度有重要影响。以成都轨道交通网络为例,其发展过程经历了单线、十字结构、放射网和环加放射网,全网日均客流量由最初的近15 万人次/d(2010 年)稳定在了180 万~200 万人次/d(2016 年)<sup>[3]</sup>。

(2) 由于线网负荷强度是网络中各线路负荷强度的平均值,所以各线路负荷强度的大小对线网负荷强度有直接影响。线路的负荷强度不仅与其地理位置、车站周边环境、网络中的功能<sup>[4]</sup>等密切相关,还受其开通年限<sup>[5]</sup>、沿线规划实施情况<sup>[6]</sup>等影响。

(3) 城市居民平均收入<sup>[7]</sup>、线网覆盖范围内的人均出行次数<sup>[4]</sup>、人均出行距离<sup>[8]</sup>、人口密度<sup>[9]</sup>等相关因素,对线网负荷强度也有所影响。

根据上述分析,本研究将28 座城市按线路数划分为三条线路以上城市和二条线路以下城市两大类,结合上述部分因素进一步比较分析各城市的轨道交通线网负荷强度。

## 2 三条线路以上城市的轨道交通线网负荷强度比较分析

3 条以上轨道交通线路已可以形成城市的轨道

交通网骨架,而随着线路数与线网规模的继续增加,线路间的换乘往往变得更为便捷,相应地,线网的客流吸引力将显著提升。因此,需要将这类城市区别出来进行有针对性的比较与分析。

### 2.1 统计指标

由图1 可知,截至2017 年年底,国内共有14 座城市的轨道交通(地铁、轻轨)线路数在3 条以上。三条线路以上城市各类统计指标如表1 所示。其中:负荷强度、线网规模、第一条线路及其开通年份的数据由中国城市轨道交通协会提供;市区和主城区常住人口密度的数据来源于各市统计年鉴及文献<sup>[10]</sup>;单程通勤距离为该城市居民工作日早晚高峰上下班平均行程距离,数据来源于文献<sup>[11]</sup>。市区范围均不含该市下辖市县,且北京不计怀柔、平谷、密云、延庆等4 个远郊区;上海不计崇明区;重庆只计老九区;南京不计溧水、高淳区。主城区范围指城市中心地带,主要以行政区作为基本构成单位,如上海主城区为黄浦区、徐汇区、长宁区、静安区、普陀区、虹口区、杨浦区。

### 2.2 线网负荷强度比较分析

由表1 可知,线网负荷强度的最大值与最小值之差达到了2.12 万人次/(d·km),线网规模相近的城市的线网负荷强度差值也很明显。为了合理分析造成城市间线网负荷强度差异的原因,根据线网负荷强度将三条线路以上的城市划分为4 个等级:1.50 万人次/(d·km) 以上,1.00 万~1.49 万人次/(d·km),0.50 万~0.99 万人次/(d·km),

不足 0.50 万人次/(d·km)。不同线网负荷强度等      级城市的统计指标比较如图 2 所示。

表 1    三条线路以上城市的各类统计指标(2017 年)

城市	线网负荷强度/ (万人次/ (d·km))	线网规模/ km	首条线路	首条线路 开通时间	市区常住 人口密度/ (人/km <sup>2</sup> )	主城区常住 人口密度/ (人/km <sup>2</sup> )	单程通勤 距离/km
广州	2.39	321.6	1 号线	1997-06-28	1 950	19 579	7.16
北京	1.97	524.2	1 号线	1971-01-05	2 197	8 834	11.00
西安	1.86	89.0	2 号线	2011-09-16	1 349	6 098	7.46
深圳	1.80	233.9	1 号线	2004-12-28	6 272	11 634	6.60
成都	1.66	126.5	1 号线	2010-09-27	2 609	10 825	8.82
上海	1.61	602.5	1 号线	1993-05-28	4 556	23 841	9.46
武汉	1.38	183.5	1 号线	2004-07-28	1 271	7 181	7.84
南京	1.18	222.0	1 号线	2005-09-03	1 458	5 599	8.67
重庆	0.95	213.3	2 号线	2005-06-18	1 537	2 017	9.62
杭州	0.90	103.7	1 号线	2012-11-24	750	2 148	7.39
苏州	0.62	120.6	1 号线	2012-04-28	1 260	1 770	6.20
天津	0.57	167.5	9 号线	2004-03-28	2 711	22 416	8.66
长春	0.44	65.0	3 号线	2002-10-30	547	1 754	7.65
大连	0.27	158.5	3 号线	2002-11-08	730	2 159	8.32

注:西安、杭州、苏州、长春、大连的市区和主城区常住人口密度均来源于文献[10],其余城市的市区和主城区常住人口密度均基于该市统计年鉴中各行政区常住人口与面积计算得到

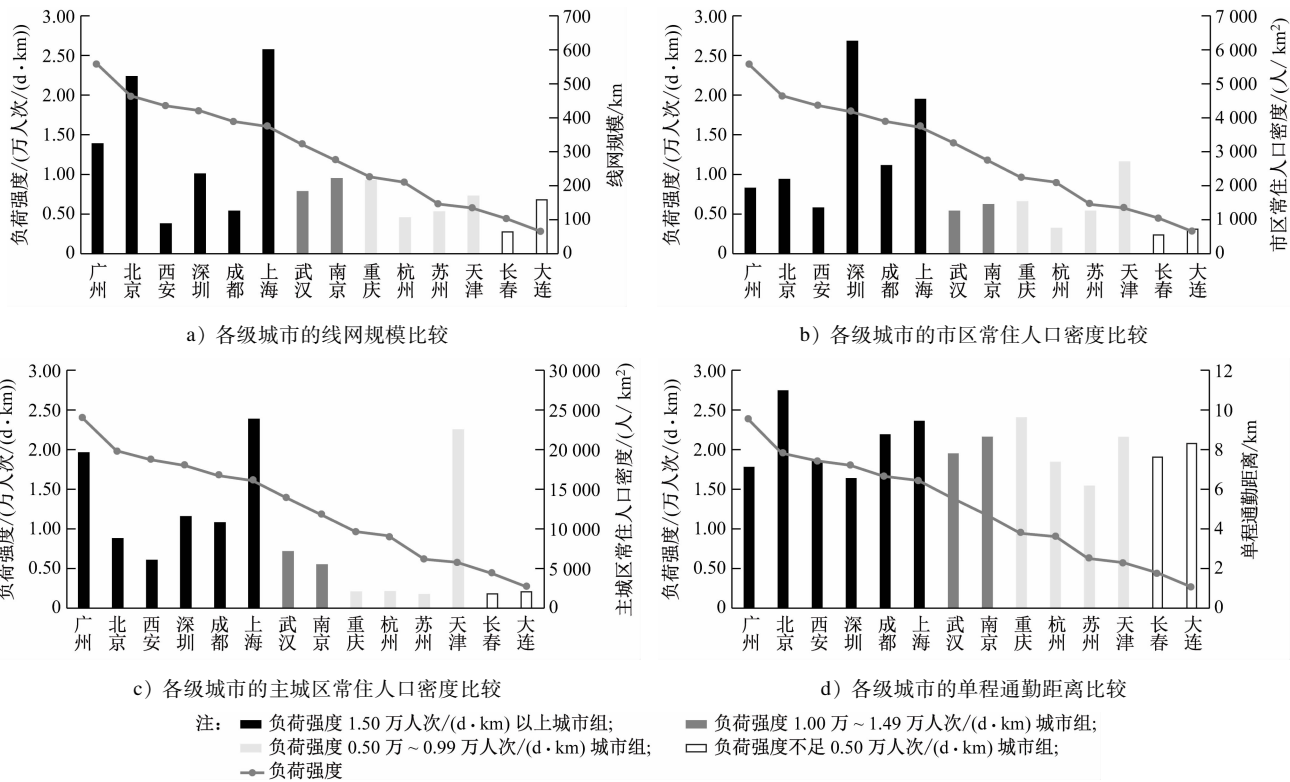


图 2    不同线网负荷强度等级城市(三条线路以上)的统计指标比较图

上海、北京的线网规模超过 500 km,但负荷强度却低于广州。这可能一方面是因为上海、北京的线网中存在多条大部分位于外围区域的线路(如:上海轨道交通 5、16 号线,北京轨道交通昌平线、房山线等)拉低了整个线网负荷强度;另一方面则是因为广州的主城区常住人口密度接近 2 万人/ $\text{km}^2$ ,为多条位于主城区的线路提供了稳定的客流保障。

深圳、南京、重庆这 3 个城市的线网规模相近,均大于 200 km,且线网已逐渐由主城区向整个市区范围扩张。但是,深圳的线网负荷强度大于南京、重庆的。这主要是因为深圳的市区人口密度高达 6 272 人/ $\text{km}^2$ ,几乎 4 倍于南京、重庆的,且深圳主城区的常住人口密度也比较高。此外,大部分位于外围区域的南京轨道交通 S8 线、重庆轨道交通 6 号线(含国博支线),其沿线开发未能与线路建设同步,线路负荷强度比较低,分别为 0.22 万和 0.52 万人次/( $\text{d} \cdot \text{km}$ ),拉低了整个线网的负荷强度。

成都、西安、苏州、长春的线网规模相近,但成都和西安的线网负荷强度远大于苏州、长春的。这些城市的线网均位于其主城区,但成都、西安的市区和主城区常住人口密度均明显大于苏州、长春的。

天津的市区人口密度大于所有线网负荷强度低于 1.5 万人次/( $\text{d} \cdot \text{km}$ )的其余城市,主城区常住人口密度仅次于上海的,但线网负荷强度只大于长春、大连的。天津轨道交通线网如图 3 所示。由图 3 可知,天津线网的负荷强度主要被 6 号线和 9 号线拉低。6 号线虽然位于主城区,但是,可能是因为开通时间短、客流仍处在培育期,这些因素导致了线路负荷强度低。9 号线客流少的问题存在已久,其主要原因是沿线开发未能与线路建设同步,因而无法获得潜在且稳定的客源。

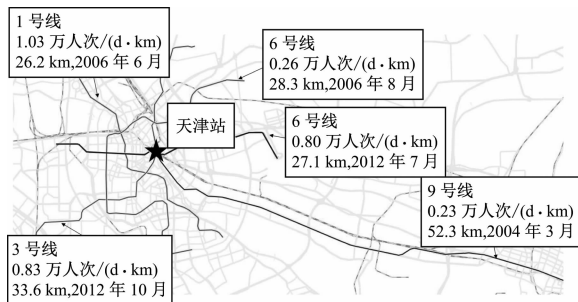


图 3 天津轨道交通各线负荷强度、长度及首段开通时间

大连的所有统计指标均大于长春的,但其线网负荷强度却低于长春的。这主要是因为大连轨道交通 1、2 号线的负荷强度分别为 0.496 万人次/( $\text{d} \cdot \text{km}$ )

和 0.502 万人次/( $\text{d} \cdot \text{km}$ ),两条线的长度加起来约为 54 km;而 12 号线为旅游观光线路,负荷强度仅为 0.022 万人次/( $\text{d} \cdot \text{km}$ ),长度约为 41 km。12 号线的负荷强度大幅拉低了整体线网的负荷强度。

总体来看,线网负荷强度等级越高的城市组,其总体市区和主城区常住人口密度也越大,这进一步印证了人口密度对线网负荷强度的积极影响,但单程通勤距离却没有明显规律。这可能是由于三条线路以上城市的轨道交通网络框架已逐渐形成并完善,线网覆盖的面积变广并且线路间的换乘便捷性也获得了提升,从而加强了轨道交通对不同单程通勤距离出行者的吸引力。

### 3 二条线路以下城市的轨道交通线网负荷强度比较分析

2 条以下轨道交通线路的城市尚未形成轨道交通线网骨架,线网覆盖区域少且线路间换乘不便,导致了轨道交通对于客流的吸引力有限,其负荷强度受影响机理也会与三条线路以上城市有所不同。

#### 3.1 统计指标

由图 1 可知,截至 2017 年年底,国内共有 14 座城市的轨道交通(地铁、轻轨)线路数在 2 条以下,二条线路以下城市的各类统计指标如表 2 所示。

#### 3.2 线网负荷强度比较分析

借鉴三条线路以上城市线网负荷强度分析思路,根据线网负荷强度将二条线路以下的城市划分为 3 个等级:1.00 万人次/( $\text{d} \cdot \text{km}$ )以上,0.50 万 ~ 0.99 万人次/( $\text{d} \cdot \text{km}$ ),不足 0.50 万人次/( $\text{d} \cdot \text{km}$ )。不同线网负荷强度等级城市的统计指标比较如图 4 所示。

沈阳的线网负荷强度最大,这得益于其首条轨道交通线路开通于 2010 年,且主城区人口密度较高。

哈尔滨的线网规模、市区和主城区常住人口密度均低于郑州、长沙的,但线网负荷强度却比郑州、长沙的大。这主要是因为哈尔滨的 2 条轨道交通线路将各个铁路车站连在一起了,哈尔滨 2017 年铁路旅客运输总量达到了 4 192 万人次,为轨道交通提供了十分充足的客源。

福州市的市区和主城区常住人口密度均明显大于同一线网负荷强度等级的其余城市,但其线网负荷强度仅大于昆明的,为 0.55 万人次/( $\text{d} \cdot \text{km}$ )。

表 2 二条线路以下城市的各类统计指标(2017 年)

城市	线网负荷强度/ (万人次/ (d·km))	线网规模/ km	首条线路	首条线路 开通时间	市区常住 人口密度/ (人/km <sup>2</sup> )	主城区常住 人口密度/ (人/km <sup>2</sup> )	单程通勤 距离/km
沈阳	1.56	54	1 号线	2010-10-08	1 146	6 625	7.33
哈尔滨	1.37	22.7	1 号线	2013-09-26	540	3 377	7.46
长沙	1.29	48.8	2 号线	2014-04-29	1 943	6 882	7.97
郑州	1.03	61.9	1 号线	2013-12-28	5 009	6 525	7.29
南宁	0.82	32.1	1 号线	2016-06-28	449	2 658	7.78
石家庄	0.78	28.4	1、3 号线	2017-06-26	1 866	5 091	7.79
青岛	0.71	24.5	3 号线	2015-12-16	1 491	4 287	8.07
南昌	0.64	48.5	1 号线	2016-12-26	988	4 209	6.65
福州	0.55	24.6	1 号线	2016-05-18	3 121	10 515	7.64
昆明	0.51	70.6	1 号线	2013-05-20	781	2 196	8.04
合肥	0.46	24.6	1 号线	2016-12-26	2 058	1 952	7.26
无锡	0.45	55.7	1 号线	2014-07-01	1 577	1 760	5.98
宁波	0.41	74.5	1 号线	2014-05-30	776	1 755	6.37
东莞	0.28	37.8	2 号线	2016-05-27	3 358	5 670	4.47

注:南宁、石家庄、昆明、合肥、无锡、宁波的市区和主城区常住人口密度均来源于文献[10],其余城市的市区和主城区常住人口密度均基于该市统计年鉴中各行政区常住人口与面积计算得到

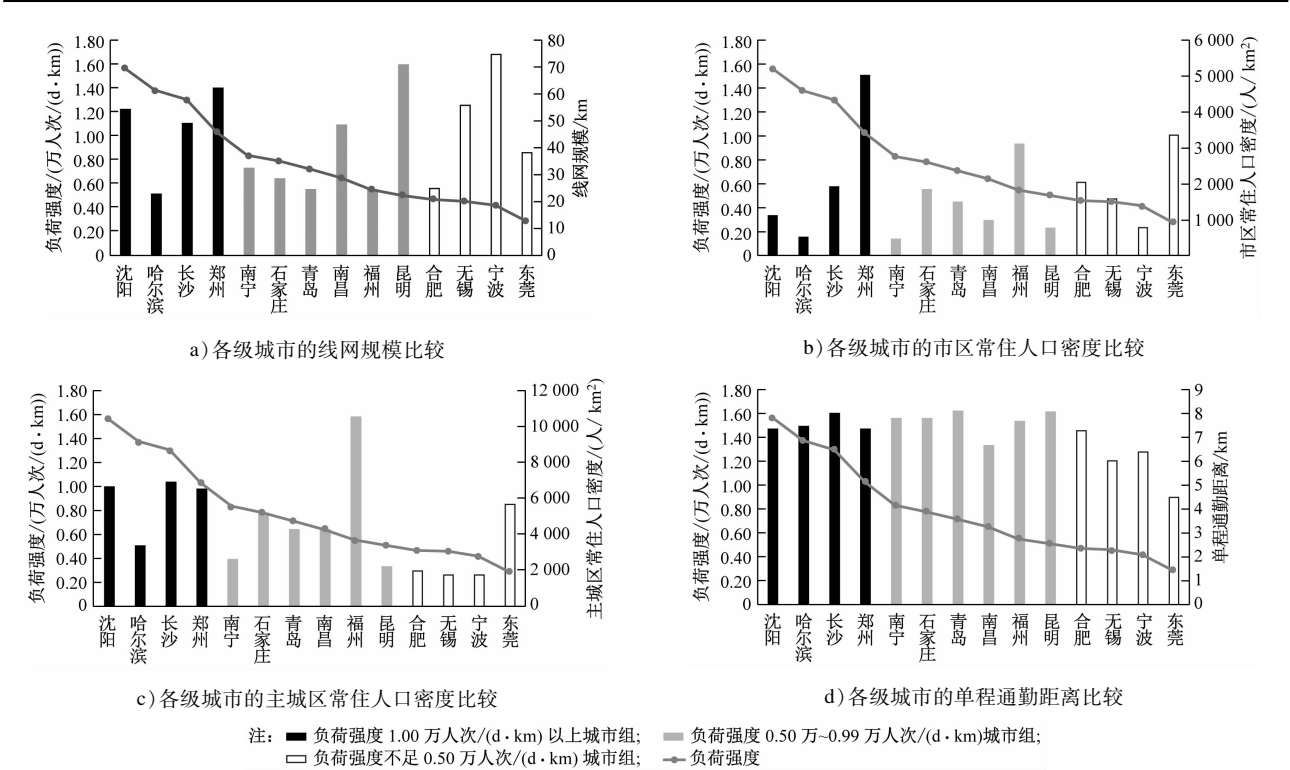


图 4 不同线网负荷强度等级城市(二条线路以下)的各类统计指标比较图

昆明的线网负荷强度最低,因为其主城区常住人口密度在同一线网负荷强度等级城市组中最低,且市区常住人口密度仅为 844 人/km<sup>2</sup>。福州与同样仅有 1 条轨道交通线路的南宁、青岛相比,其轨道交通

单程通勤距离更小,而这可能是造成其线网负荷强度小于南宁、青岛的原因之一。在轨道交通网络效应还未形成时,轨道交通可覆盖的区域少,并不能很好地服务单程通勤距离小的居民;而单程通勤距离大的居民,由于出行距离增加,轨道交通可能覆盖到其目的地的概率增加,因此更有可能选择轨道交通。此外,福州轨道交通 1 号线开通时间短也可能是其线网负荷强度小的一大原因。

东莞的市区和主城区常住人口密度明显大于同一线网负荷强度等级的其余城市,但线网负荷强度却最低。除了东莞轨道交通 2 号线开通时间短且线路长之外,其较小的单程通勤距离也可能是导致线网负荷强度偏低的原因。

总体来看,线网负荷强度等级越高的城市组,其总体主城区常住人口密度越大,但市区常住人口密度却没有明显规律。这可能是由于二条线路以下城市的轨道交通线网基本位于主城区,影响范围尚未向整个市区延伸。

## 4 结语

(1) 截至 2017 年年底,我国三条线路以上城市的轨道交通线网负荷强度在 0.27 万~2.39 万人次/(d·km),各城市线网负荷强度的极差达到了 2.12 万人次/(d·km);二条线路以下城市的轨道交通线网负荷强度在 0.28 万~1.56 万人次/(d·km),各城市线网负荷强度的极差达到了 1.28 万人次/(d·km);即使线网规模相近的城市,其线网负荷强度差异也很明显。

(2) 尽管引起各大城市的轨道交通线网负荷强度差异的原因各有不同,但总体来看,每个城市的轨道交通线网负荷强度与其主城区常住人口、线网规模、线路开通运营时间及沿线区域的成熟程度和开发强度等因素具有比较密切的关系。

(3) 城市的主城区相比于外围区域有更多的人口及更高的开发成熟程度,当主城区常住人口密度

达到一定程度时宜优先建设城市轨道交通,并应尽量覆盖大客流集散点。

(4) 在城市外围区域,基于 TOD(交通引导发展)模式引导城市轨道交通建设时,应确保城市轨道交通建设与沿线区域土地利用开发同步实施,以保障城市轨道交通工程项目的投资与运营效益。

## 参考文献

- [1] 赵昕,顾保南. 2018 年中国城市轨道交通运营线路统计和分析[J]. 城市轨道交通研究,2019(1): 1.
- [2] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 2017 年度统计和分析报告[R/OL]. 北京:中国城市轨道交通协会(2018-04-08)[2019-02-01]. <http://www.camet.org.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=18&id=13532>
- [3] 张铮,张子栋,宗晶. 成都市轨道交通客流特征分析及启示[J]. 城市交通. 2017, 15(4): 71.
- [4] 钱堃. 城市轨道交通客流强度特征和换乘组织研究[D]. 北京:北京交通大学, 2015.
- [5] 张俊锋. 基于系统聚类的我国城市轨道负荷强度分析[J]. 科技与创新. 2018(15): 32.
- [6] 马小毅,金安,刘明敏. 国内各城市的首条轨道交通线路初期负荷强度变化分析及启示[J]. 城市轨道交通研究,2016(6): 5.
- [7] 郭平. 城市轨道交通客流特征及预测相关问题[J]. 城市轨道交通研究,2010(1): 58.
- [8] 胡军红,张海军,吴迪,等. 现代有轨电车适宜客流负荷强度研究[J]. 南京工业大学学报(自然科学版),2016, 38(6): 107.
- [9] 李元坤,叶霞飞. 城市轨道交通线网规模与人口和岗位密度之间的关系[J]. 城市轨道交通研究,2017(7): 1.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2017 年城市建设统计年鉴[R/OL]. 北京:中华人民共和国住房和城乡建设部(2019-01-24)[2019-02-01]. <http://www.mohurd.gov.cn/xytj/tj-zljxxytjgb/jstjnj/w02019012421874448287322500.xls>
- [11] 百度地图慧眼. 2017 年 Q4& 年度中国城市研究报告[R/OL]. 北京:百度地图慧眼(2018-01-23)[2019-02-01]. [http://huiyan.baidu.com/cms/report/Q4\\_niandu/index.html](http://huiyan.baidu.com/cms/report/Q4_niandu/index.html)

(收稿日期:2019-03-15)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704