

关于Ⅱ型大城市轨道线网合理规模的研究

孙重静

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:基于多个Ⅱ型大城市样本,结合传统轨道线网规模预测分析方法,总结归纳线网规模预测中可供参考的参数系统;并选取规模预测主要影响变量,基于主成分分析方法,形成一个能综合反应出行需求、线网覆盖及建设能力等多方面影响因素的复合指标,进而通过回归分析,建立适用于Ⅱ型大城市的多维度轨道线网规模预测模型。

关键词:Ⅱ型大城市;线网规模;多维度模型

中图分类号:U491

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2021)05-0256-05

0 引言

近年来,国内轨道交通经历了一场前所未有的发展热潮,除了传统的超大和特大城市继续不断扩大轨道网版图外,一些更低人口规模的城市也开始寻求轨道发展的空间。不少市区人口100万左右的城市也通过中低运量的轨道制式迈入了轨道时代,轨道交通逐步呈现多元化发展的趋势。传统的轨道规划理论大多基于成熟的超大和特大城市的研究,对于规模稍小的Ⅱ型大城市,发展轨道的经验有所不足。

Ⅱ型大城市在城市规模、人口数量、财政实力和客流水平上与超大、特大城市有较大区别,其轨道交通规划的角度和方法也应有其自身特点。轨道线网合理规模的匡算是线网规划的基础,但目前各预测方法多依赖超大和特大城市的参数取值,对Ⅱ型大城市缺乏较好的指导性;同时,传统预测方法中的参数取值仍带有较大的主观性,使得结果随意性变大。因此,如何针对Ⅱ型大城市的特点去标定参数,以及采用何种规模匡算的方法更为合理,是本文讨论的重点。

笔者结合传统预测方法的分析,基于多个Ⅱ型大城市样本的统计,总结归纳出可以参考借鉴的参数体系。同时考虑到单个传统方法的局限性,选取规模预测主要影响变量,形成一个能综合反应出行需求、线网覆盖及建设能力等多方面影响因素的复合指标,并基于此建立了适用于Ⅱ型大城市的轨道线

网规模预测模型。

1 轨道交通与城市规模的关系

国家对于城市规模的最新划分是基于城区常住人口的规模,分为五档七类。城区常住人口50万以下的为小城市;50万以上100万以下的为中等城市;100万以上500万以下的为大城市(其中100~300万人的是Ⅱ型大城市,300~500万人的是Ⅰ型大城市);500万以上1000万以下的为特大城市;1000万以上的为超大城市。城市规模“大中小”的划分,关系到政策红利、资源分配,不同“档次”的城市,享有不同的“待遇”(见图1)。

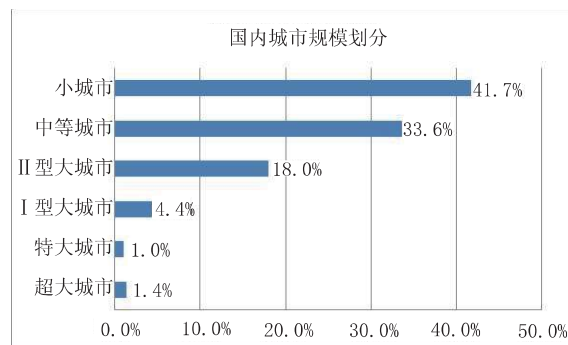


图1 现状国内城市规模分类图

从国内城市规模的分布情况可以看到,特大和超大城市7个,Ⅰ型大城市13个,Ⅱ型大城市53个,在大城市范畴中,100~300万的Ⅱ型大城市比重较大。

国办发[2018]52号《关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》对轨道建设的门槛进行了调整:经济门槛成倍上调,但人口门槛却出现了放宽。虽然地铁、轻轨建设要求的人口总量未变,依然分别为300万人和150万人,但是在2003年的81号文中,人口统计口径是“城区人口”,而52号文改为“市区常

收稿日期:2020-12-01

作者简介:孙重静(1992—),女,硕士,工程师,从事交通规划工作

住人口”,显然“市区常住人口”包含了更广阔的范围,也体现了中心城市与周边城乡一体化、城乡统筹发展的趋势。同时,国家在城市规模划分和轨道建设门槛中,采用了不同的人口统计口径,导致无法用常规的城市规模等级来定义有轨道建设发展需求的城市。

对目前国内已经运营及开工在建轨道的城市进行统计分析可知,市区常住人口150万以下的城市,有12个城市建设了或者在建轨道交通。其中,芜湖146万人,建设的是跨座式单轨;呼和浩特132万人,建设的是地铁;其他10个城市均是地方政府审批的有轨电车。更多的类似规模城市都开展了轨道线网规划工作,为未来的发展储备力量。

可见,轨道建设已经逐步向更低的人口规模城市延伸,轨道制式开始向轻量化、中低运量模式发展,与传统的特大和大城市的轨道发展呈现出差异化发展的特点。由于目前有轨电车的审批权在地方,因此出现很多50万人口左右的城市也推动了轨道交通的建设。但从客流基础、经济基础和未来发展的潜力来看,一定的人口聚集度还是非常重要的。根据上述分析,笔者认为100万人口以上的城市均属于有轨道交通建设需求、发展潜力较大的城市。

因此,统计市区常住人口在100万以上的城市总数,其中,100~300万人的Ⅱ型大城市数量占比为87%,300万以上的城市占比为13%。可见,本次研究的100~300万人的Ⅱ型大城市,是未来轨道建设的潜力所在。

基于上述分析可知,轨道建设与城市人口规模的关系为:

现状已建设轨道交通的城市人口规模:市区常住人口超过50万人;

轨道交通发展潜力较好的城市人口规模:市区常住人口超过100万人;

按照国办发[2018]52号,满足轨道建设的城市人口规模:市区常住人口超过150万人。

不同规模城市的轨道交通类型需求见图2。

2 既有轨道线网规模预测方法

2.1 需求分析法

在交通需求总量预测基础上,结合城市交通发展战略,确定轨道交通承担的客运量,借鉴其它城市经验确定合理线网负荷强度,最终确定线网的合理规模^[1]。

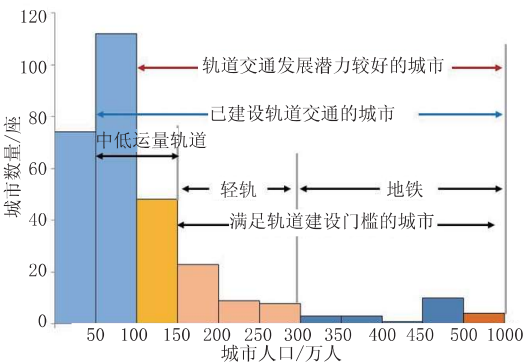


图2 不同规模城市的轨道交通类型需求图

$$L = \frac{Q \alpha \beta k}{\gamma}$$
 (1)

式中: L 为为轨道线网规模,km; Q 为城市出行总量,万人次/d; A 为公共交通出行比例; B 为城市轨道交通在公共交通客流量中分担比重; K 为轨道交通换乘系数; Γ 为轨道交通线网负荷强度,万人次/km·d。

2.2 线网覆盖法

将城区划分为若干区块,根据每个区块土地利用性质、居民出行需求不同,确定其线网密度,结合区块面积和线网密度关系,预测轨道交通的线网规模^[2,3]。

$$L = \sum S_i m_i$$
 (2)

式中: L 为城市轨道交通线网总长度,km; S_i 为*i*区块的面积,km²; m_i 为*i*区块的线网密度,km/km²。

2.3 建设能力分析法

考虑城市经济实力和建设能力对线网规模的影响,通过对规划年份城市国民生产总值、轨道交通投资占累计GDP的比例等因素的预测,结合轨道交通的平均建设成本,测算得到规划年份内线网规模^[4]。

$$L = \frac{G[1+(1+i)+(1+i)^2+\cdots+(1+i)^n]f}{C}$$
 (3)

式中: L 为线网总长度,km; G 为城市地区生产总值,亿元; i 为城市地区生产总值平均增长比例; N 为规划预测年限; f 为轨道交通建设投资占城市地区生产总值的比例; C 为轨道交通建设平均建设成本,亿元/km。

2.4 既有方法总结

上述三种预测方法是目前主流且较易操作的方法,但都有特定的适用情况,很难适用目前轨道线网规划面临的特殊情况。例如,对多模式线网中各层次线网规模的预测,各层次网络之间分担交通量和比例难以确定,采用交通需求法就有很大的局限性,因此不宜采用单一的预测方法。同时,预测方法和参数的选择是对轨道战略、线网层次的量化体现,可以认

为是一种供给策略,因此必须根据城市的规模情况,有针对性预测才有效。

3 基于复合变量指标的多维度预测模型研究

3.1 总体思路

既有预测方法具有通用性,但并没有根据城市的规模有所区别。在实际应用中,产生差别的原因主要来自于不同规模城市在预测方法中参数的选取。以及在不同的预测结果下,如何选择和判断较优的规模范围。通过对若干Ⅱ型大城市进行样本分析,总结和归纳一个可以参考借鉴的参数体系。同时考虑到传统单个预测方法的局限性,选取各预测方法的主要影响变量,通过主成分分析方法,形成一个能综合反应出行需求、线网覆盖及建设能力等多方面影响因素的复合指标变量,并基于此建立适用于Ⅱ型大城市的轨道线网规模预测模型(见图3)。

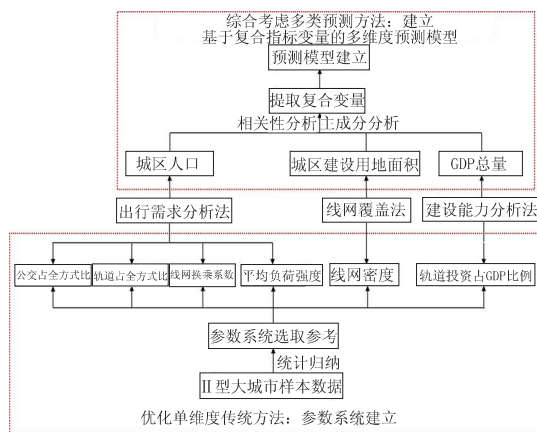


图3 技术路线

3.2 参数选取参考

对多个Ⅱ型大城市样本进行统计分析,提取具有一定参考价值的参数。样本选取应考虑各预测方法的适用性,提高参数参考价值。线网覆盖法中涉及线网密度参数,尽量选取评价较好、服务水平较高的各类Ⅱ型大城市做调研,给出不同类别、不同规模城市建议的线网密度。出行需求分析法中,涉及客流负荷强度参数,由于客流强度与服务水平紧密相关,过低的客流强度又意味着轨道交通建设的浪费,因此需要通过不断积累,扩大样本量,在同等城市中获取各城市的参数,最终大致框定一个相对合理的区间。经济总量匡算法中,建议应分制式、分城市规模分析城市的GDP和轨道建设投入的情况。

(1)样本城市规模与经济水平

选取桂林、攀枝花、绍兴、黄山等11个Ⅱ型大城市进行案例分析,统计归纳案例城市规划年的规划

范围人口规模、建设用地规模、经济发展状况,作为参数选取的重要参考(见表1)。

表1 样本城市规模及经济数据

城市	规划年人口 /万人	规划年建设 用地规模/km ²	规划年GDP /亿元
桂林	182	210	4 000
攀枝花	109	120	—
绍兴	160	155	5 600
黄山	120	120	2 230
东营	150	120	6 000 ~ 6 100
南宁	300	400 ~ 450	—
柳州	160	168	4 900
宁波	170 ~ 180	273	—
温州	299	260	—
舟山	152	143	—
内江	195	180	6 200

(2)出行需求分析法的参数指标

出行需求分析法中,涉及的参数主要包括城市出行总量、公交出行比例、轨道交通在公交总客流中分担比重、线网负荷强度、换乘系数。其中城市出行总量与城市的人口规模相关度较大,不同城市存在明显差异,因此仅对其余四个参数进行统计。经统计发现,Ⅱ型大城市公共交通占全方式出行比例约为33%~37%,轨道占公共交通比例约为30%~40%,轨道线网平均换乘系数合理范围为1.1~1.2,轨道平均全日负荷强度合理范围为1.1~1.2万人次/km·d(见表2)。

表2 出行需求分析法的参数指标统计

城市	公共交通出行占比/%	轨道占公共交通比例/%	轨道线网平均换乘系数	平均全日负荷强度/(万人次/km·d)
桂林	35	40	1.2	0.8 ~ 1.0
攀枝花	28 ~ 32	42	1.3	0.6
绍兴	—	—	1.2	1.1 ~ 1.3
黄山	35	45 ~ 50	1.1 ~ 1.2	1.0 ~ 1.2
东营	35	45 ~ 50	—	1.0 ~ 1.2
南宁	35	18 ~ 23	1.2	1.14
柳州	25 ~ 35	25 ~ 35	0.6 ~ 0.8	1.05 ~ 1.1
宁波	40 ~ 50	25	—	2
温州	33 ~ 38	20 ~ 30	1.2	1
舟山	30 ~ 36	33 ~ 45	1.3 ~ 1.4	0.8
内江	37	36	1.2	1.5
推荐值	33 ~ 37	30 ~ 40	1.1 ~ 1.2	1.1 ~ 1.2

(3)线网覆盖法的参数指标

线网覆盖率法中,线网密度作为重要的参数直接影响预测结果的准确性。通过对Ⅱ型大城市轨道线网密度进行统计,获取参数参考范围。合理线网密度范围为0.6~0.7 km/km²,中心区域密度为0.9~

1.0 km/km², 外围区域密度为 0.2 ~ 0.25 km/km²(见表 3)。

表 3 线网覆盖法指标参数统计

城市	线网密度 /(km·km ²)	中心区密度 /(km·km ²)	外围区 /(km·km ²)
桂林	0.84	—	—
攀枝花	0.79	—	—
绍兴	0.33	—	—
黄山	0.67	—	—
东营	0.7	0.35 ~ 0.8	0.15 ~ 0.2
南宁	0.16	1.19	0.25
柳州	1.03	0.6 ~ 0.7	0.15 ~ 0.25
宁波	0.65	1.33	0.25
温州	0.47	0.6 ~ 1.1	0.2 ~ 0.3
舟山	0.82	0.6 ~ 1.1	—
内江	0.39	—	—
推荐值	0.6 ~ 0.7	0.9 ~ 1.0	0.2 ~ 0.25

(4)建设能力分析法的参数指标

建设能力分析法主要影响因素包括规划年份城市国民生产总值、轨道交通投资占累计 GDP 的比例等,对后者进行统计。考虑到制式的选择也会对轨道建设投资产生影响,附上各城市轨道交通制式选择参考(见表 4)。

表 4 建设能力分析法指标参数统计

城市	制式	轨道建设投资占 GDP 比例 /%
桂林	跨坐式单轨、有轨电车、中低速磁浮	1
攀枝花	有轨电车	—
绍兴	通轮轨 B 型车辆系统	—
黄山	单轨、市域快速轨道	1
东营	单轨、市域快速轨道	1
南宁	B 型车系统、直线电机运载系统	0.72
柳州	中运量轮轨系统	0.73
宁波	地铁、轻轨	0.72
温州	轻轨	—
舟山	有轨电车	—
内江	有轨电车	—
推荐值	—	0.7 ~ 1.0

3.3 建立基于复合指标的多维度预测模型

轨道线网规模受到城市形态布局、城市人口、交通需求、交通发展战略及政策的影响。出行需求分析法中,以城市交通特征和供需问题为导向,主要受到城市形态布局、城市人口和出行特征的影响,考虑到指标的可量化及信息熵,选取规划人口作为出行需求法的主要影响该指标;同理,线网覆盖法选取建设用地面积指标,建设能力法选取城市 GDP 总量指标。

(1)指标相关性分析

考虑到城市人口、城市建设用地面积及 GDP 三

个自变量可能存在相关关系,反应的信息存在重叠,在模型建立之前,需剔除该因素影响,因此对变量进行相关性分析,通过皮尔森相关系数进行评价衡量。通过统计分析可知,城市人口与城市建设用地面积两个变量在 0.05 的水平(双侧)上显著相关,城区建设用地面积与 GDP 在 0.01 的水平(双侧)上显著相关。

(2)提取复合指标变量

采取主成分分析的方法,对指标进行降维,将数量较多且具有相关性的若干自变量转化成数量较少且彼此相互独立的复合变量。其中每个主成分都能够反映原始变量的大部分信息,且所含信息互不重复。这种方法在引进多方面变量的同时将复杂因素归结为几个主成分,使问题简单化,同时获取更加科学有效的数据信息。

利用 SPSS 软件的统计分析功能,将原始变量数据导入,进行指标数据标准化,因为在实际应用中,往往存在指标的量纲不同,所以在计算之前须先消除量纲的影响,对指标数据进行无量纲化处理。再进一步通过主成分分析的方法确定复合指标的个数及表达式。最终提取一个主成分,累计解释方差为 83.37%,能够反映原始变量的主要信息。

$$X_{\text{复合}} = 0.876 \times X_{\text{人口}} + 0.965 \times X_{\text{面积}} + 0.896 \times X_{\text{DDP}} \quad (4)$$

式中: $X_{\text{复合}}$ 为通过主成分分析提取的复合指标变量; $X_{\text{人口}}$ 为市区的常住人口,单位:万人; $X_{\text{面积}}$ 为规划范围内的建设用地面积,单位:km²; X_{DDP} 为城市地区生产总值,单位:亿元。

(3)预测模型建立

基于 11 个Ⅱ型大城市的样本数据,通过上述的复合指标计算方法,计算复合指标值,并结合城市轨道交通线网规模进行回归模型分析。采取线性、对数、二次、三次、幂函数、指数函数、对数函数等多种形式进行拟合,进行比选(见表 5)。

综合考虑拟合效果及变量显著性,最终选取二次函数模型。由分析结果可知, R 方为 0.710,拟合效果较好, Sig 值为 $0.045 < 0.05$,变量影响显著。最终得到如下基于复合变量的多维度预测模型:

$$L_{\text{线网}} = 1.358 \times 10^{-6} X_{\text{复合}}^2 - 0.005 \times X_{\text{复合}} + 96.516 \quad (5)$$

式中: $L_{\text{线网}}$ 为城市轨道线网长度; $X_{\text{复合}}$ 为通过主成分分析提取的复合指标变量。

(4)模型验证

基于上述的预测模型,将 11 个Ⅱ型大城市的人口、面积及 GDP 样本数据代入,计算复合指标,进一步计算得到各个城市的轨道交通线网规模预测值,

表5 模型汇总和参数估计值

方程	R 方	F	Sig.	常数	b1	b2	b3
线性	0.652	11.263	0.015	59.268	0.011		
对数	0.560	7.632	0.033	-305.731	49.858		
二次	0.710	6.107	0.045	96.516	-.005	1.358E-006	
三次	0.787	4.915	0.079	-49.917	0.094	-1.771E-005	1.102E-009
复合	0.586	8.489	0.027	71.446	1.000		
幂	0.531	6.789	0.040	3.544	0.409		
S	0.463	5.169	0.063	5.086	-1560.922		
增长	0.586	8.489	0.027	4.269	8.759E-005		
指数	0.586	8.489	0.027	71.446	8.759E-005		
Logistic	0.586	8.489	0.027	.014	1.000		

并与规划值进行比较。由图4可知,样本城市的预测值与规划值较为接近,差距在10%以内,模型效果较好。

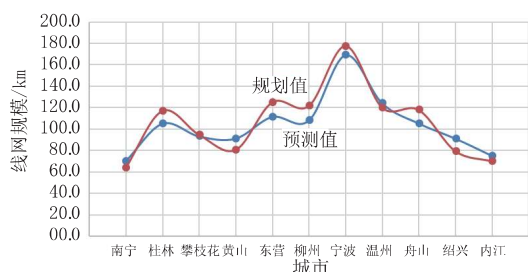


图4 轨道线网规模模型预测值与规划值对比

4 结 语

笔者基于若干个Ⅱ型大城市样本的统计分析,总结归纳出一个可以参考借鉴的参数体系。同时选取影响线网规模的主要变量,通过主成分分析方法,

形成一个能综合反应多方面影响因素的复合指标变量,并进一步通过回归分析方法,建立适用于Ⅱ型大城市的多维度线网规模预测模型。研究尚存在一定不足,考虑到资料数据的可得性,目前研究样本量有限,后续研究中,可进一步增加样本量,从而提高模型的可靠性。

参考文献:

- [1] 朱玉琴,陈义华,吴红兵.城市轨道交通线网规模影响因素分析与模型研究[J].交通与计算机,2007,25(2):43-46.
- [2] 杨珂.轨道交通线网规划与城市发展关系研究[J].公路,2016,61(3):138-143.
- [3] 王智鹏,罗霞.综合交通系统条件下城市轨道交通线网规模预测[J].长安大学学报:自然科学版,2015(S1):193-197.
- [4] 刘迁,许双牛,吴爽,等.我国城市轨道交通线网规划实践与思考[M].北京:人民交通出版社,2015.

(上接第251页)

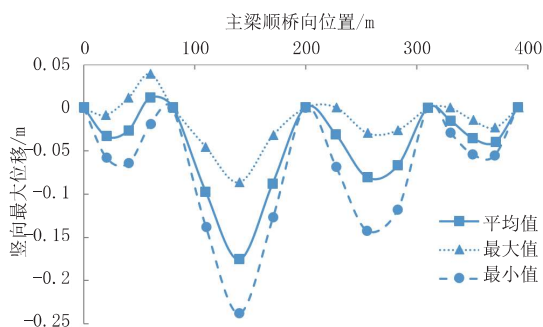


图9 最大竖向位移沿桥长方向变化趋势

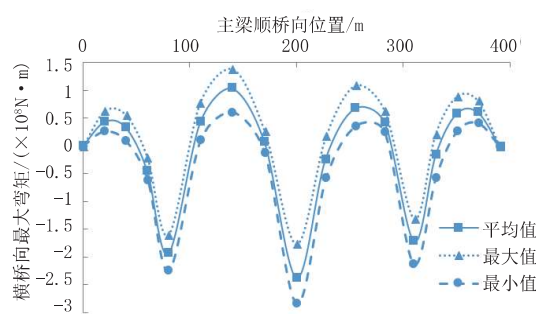


图10 最大横桥向弯矩沿桥长方向变化趋势

- [3] 苏延文,黄国庆,曾永平.强弱非平稳风速对大跨桥梁抖振响应影响研究[J].铁道工程学报,2019,36(12):41-47.
- [4] 徐欣,周国玲.中欧规范桥梁结构风荷载计算方法对比研究[J].中外公路,2019,39(5):132-135.
- [5] 郑亮,王达磊,艾辉林.复杂造型桥塔风荷载的数值风洞模拟[J].结构工程师,2011,27(2):90-94.
- [6] Chen X, Matsumoto M, Kareem A. Aerodynamic Coupling Effects on

- Flutter and Buffeting of Bridges [J]. Journal of Engineering Mechanics, 2000, 126(1):17-26.
- [7] 张志田,葛耀君,陈政清.基于气动新模型的大跨度桥梁频域抖振分析[J].工程力学,2006,23(6):94-101.
- [8] 胡涛,洪成晶,郑史雄.平潭海峡元洪航道主桥施工阶段抖振性能试验研究[J].土木工程,2019,8(3):683-689.
- [9] JTG/T 3360-01—2018,公路桥梁抗风设计规范[S].