

文章编号:1671-8879(2009)06-0078-04

基于客流集散点的城市轨道交通线网规模计算

陈宽民,樊大可,马超群

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘要:科学合理地控制轨道交通线网的规模,分析了中国目前采用的轨道交通线网规模测算方法和轨道线网规模影响因素,研讨了客流集散点与城市轨道交通线网之间的相互关系,提出了基于客流集散点的轨道交通线网规模计算方法,并对模型中的各个参数进行了标定,最后利用该方法对西安市轨道交通线网规模进行了测算。测算结果表明,西安市轨道交通线网在主城区的合理规模为 203.13 km,与目前实际规划基本一致,说明提出的测算模型是可行的。

关键词:交通工程;轨道交通;线网规模;连通度;客流集散点

中图分类号:U491

文献标志码:A

Calculation of urban rail transit network scale based on passenger distributing centers

CHEN Kuan-min, FAN Da-ke, MA Chao-qun

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to control the rational scale of rail transit network, this paper analyzed the present methods to compute urban rail transit network scale and the influencing factors of urban rail transit network scale, studied the relationship between passenger distributing centers and urban rail transit network, put forward a new method to calculate urban rail transit network scale based on the connectivity between passenger distributing centers. The parameters of this model were confirmed. The network scale of Xi'an rail transit was computed by this method. The result showed that the rational scale of Xi'an urban rail transit network in main city zone is 203.13 km, which is basically accordance with the results of Xi'an urban rail transit network planning, this verifies that the method is feasible. 1 tab, 1 fig, 10 refs.

Key words: traffic engineering; urban rail transit; network scale; connectivity; passenger distributing center

0 引言

在进行城市轨道交通线网规划中,一个十分重要的问题就是如何根据城市的现状及其发展规划、城市的交通需求、城市经济的发展水平等,从宏观上合理地规划轨道交通线网的规模。所谓合理规模,

就是在一定的发展阶段、一定的城市规模及经济发展水平上,建立起一个经济的、有效的线网^[1-2]。一个城市究竟要规划多大的线网规模才比较经济合理,这是线网规划设计中人们比较关切的问题。目前,测算城市轨道交通线网规模的常用方法主要有 3 种:出行需求分析法、服务水平类比分析法和回归

收稿日期:2008-12-21

基金项目:陕西省自然科学基金项目(2007E226)

作者简介:陈宽民(1957-),男,河南灵宝人,教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail:chenkm@yeah.net。

分析法^[3-4]。由于中国城市轨道交通尚处于发展的初级阶段,各个城市的轨道交通都还没有达到合理规模,因此很难获得合适的拟合样本。为此,本文分析了线网合理规模的影响因素,并在此基础上,提出基于城市客流集散点的轨道线网测算模型。

1 轨道线网合理规模的影响因素

规模主要以线网密度和系统能力输出来反映,其中系统能力输出又与系统的运营管理密切相关。系统能力和线网密度有4种性质的规模度量,如图1所示。



图1 轨道交通线网规模构成

从中国的发展状况来看,绝大多数大城市应采用图1中“中等规模2”的低密度、高能力策略,推进轨道交通的发展。一个城市的轨道交通线网规模会受到城市形态及布局、城市人口、城市面积、城市交通需求、城市国民生产总值和城市基础设施投资比例的直接影响。这些影响因素相互之间,有可能相互制约,如城市人口、城市面积、城市形态及布局对城市交通需求又造成影响;国家交通政策、城市交通发展战略及政策、城市国民生产总值又对城市基础设施投资比例造成影响;各城市交通发展战略及政策又受到国家交通政策大环境的影响。

2 客流集散点与城市轨道交通线网

2.1 城市客流集散点

城市客流集散点指城市主要的客流发生和吸引源,包括交通枢纽点和与用地性质相关的客流集散点2类。交通枢纽点指公交换乘枢纽、长途客运站、火车站和机场;与用地性质相关的客流集散点主要包括大型企业、居住区、文化商业点、体育设施和旅游景点等,其与城市功能区的现状布局及未来规划密切相关。城市客流集散点对研究轨道交通线网规划十分重要,轨道交通线网的布局是否合理,在很大程度上取决于该线网是否覆盖了一定数量的大型客流集散点。因此,城市客流集散点的标定和分级工作至关重要。城市客流集散点的标定和分级应遵循以下原则^[5]:①客流集散点的抽象形式应根据实际情况多样化;②客流集散点的分级应以客流量为依

据,灵活掌握;③确定客流集散点分级标准时应进行横向比较,以确保同一级别内不同类型的客流集散点具有可比性;④具有多种功能的客流集散点可将其区分为多个点,分别分级,再加权求总,不宜将该点简单升级作为一个高级别的客流集散点。

2.2 客流集散点与城市轨道交通线网

轨道交通线网规划是一个庞大而复杂的工程,因此线网构架研究必须按“点”、“线”、“面”分层进行。其中,“点”代表局部、个体性的问题,即客流集散点、换乘节点和起终点的分布;“线”代表方向性问题,即轨道交通走廊的布局;“面”代表整体性、全局性的问题,即线网的结构和对外出口的分布形态^[6]。“点”是连成线、构成网的基本元素。轨道交通线网的布局在与大部分客流走向一致的前提下,需要串联尽可能多的客流集散点^[7-8]。对“点”的分析就是要研究城市客流集散点的规模和分布,因为城市客流集散点的规模和分布,在一定程度上反映出城市主要交通走廊的规模和走向,也反映出轨道交通线路的潜在需求。

轨道交通线路走向,应当符合城市主导客流方向,尽可能多地串联客流集散点,轨道交通车站也一般设置在客流集散点处^[9]。以客流集散点为节点,以轨道线路的路段为边构成一个网络体系。在这个网络中,各客流集散点与轨道交通线路的连接情况,既可以用客流集散点的通达性来表示,也可以用轨道线网的连通度来表示。

(1)客流集散点的通达性。客流集散点的通达性是度量一个客流集散点与其他客流集散点联系难易程度的指标,其大小一般用连接该客流集散点的网络边数表示,边数越多,通达性越高,它从一个侧面反映了客流集散点的可达性。若某客流集散点只有一条边与之相接,则该客流集散点的通达性为1,称其为悬点;若某个客流集散点没有边与之相连,则该客流集散点的通达性为0,称其为孤点。

根据客流集散点的通达性和轨道交通网络的特点,可以将网络节点分为3类:悬点、交叉点和一般节点,分别对应于轨道交通线网中的线路起终站点、换乘站点和一般中间站点。按照节点通达性的定义,一般节点的通达性为2,悬点的通达性为1,交叉点的通达性为4(这里只考虑换乘站均为2路交叉的情况)。

(2)轨道交通线网的连通度。轨道交通线网的连通度在平均意义上反映了轨道交通线路对客流集散点的连通的强度。连通度定义为构成线网的边数

与节点数目的比值,计算式为

$$D_N = \frac{L_N/\xi}{HN} = \frac{L_N/\xi}{\sqrt{AN}} \quad (1)$$

式中: D_N 为网连通度; L_N 为线网总里程(km); H 为相邻 2 个节点之间的平均空间直线距离(km), $H = \sqrt{A/N}$; A 为城市连片发展区面积(km²); N 为城市连片发展区应连通的节点总数; ξ 为线路变形系数,与线路的弯曲情况及客流集散点分布的几何形状有关,其含义为线网各节点间实际线路总里程与直线总里程之比。

当 D_N 接近 1.0 时,轨道交通线网布局为树状,各客流集散点多为 2 路连通;当 D_N 为 2.0 时,轨道交通线网布局为方格状,各客流集散点多为 4 路连通;当 D_N 大于 3.0 时,轨道交通线网布局为三角状,各客流集散点为 6 路连通。从城市轨道交通规划来看,绝大多数客流集散点应该是 2 路连通,少部分客流集散点为 4 路连通(主要是指换乘节点)或 1 路连通(主要是指线路的起终点)。

由于在轨道交通线网中,1 条边必须连接 2 个节点,故不难证实各客流集散点的平均通达性与轨道交通线网连通度有近似 2 倍的关系。

3 轨道交通线网规模测算

3.1 基本模型

根据式(1),可以得出轨道交通线网总里程的测算公式为

$$L_N = D_N \xi \sqrt{AN} \quad (2)$$

3.2 分析说明

(1) 客流集散点数目。对于客流集散点的确定,主要采用 2 种方法:一种方法是根据城市交通现状和城市规划确定客流集散点;另一种方法就是根据交通小区发生吸引量的大小确定客流集散点。

(2) 网连通度。轨道交通网络中的节点可根据通达性分为 3 类:悬点、一般节点和交叉点。其中悬点一般选择连片区域内靠近内侧边缘的节点,由于轨道交通线路大多为直径线路,因此连片区域内其线路起终点一般会落在悬点上,故悬点的数目基本上可以确定直径线路的条数,即

$$n_1 = \frac{1}{2} N_1 \quad (3)$$

式中: n_1 为轨道交通线网中直径线路条数; N_1 为悬点数目。

对轨道交通线网结构的要求,在理论上应该每条线路均应与其他线路有相交换乘点,使乘客在每

条线路上仅需一次换乘即可到达目的地。在一般大城市中,当线路设置放射线多于 7 条以上时,要实现“线线相交”就会有较大难度,要规划一个理想的轨道交通线网的确有困难。但对于核心区的线网结构,这是可以去努力实现的方向和目标。文献[10]中给出了不同形式的线网其合理的换乘节点数量的计算方法为

$$N_2 = \begin{cases} n(n-1)/2 & \text{“放射形”线网} \\ (n-1)(1+n/2) & \text{“放射形+环线”线网} \\ ab & \text{“棋盘形”线网} \\ ab+2(a+b) & \text{“棋盘形+环线”线网} \end{cases} \quad (4)$$

式中: N_2 为换乘节点数; n 为线网中线路总数,对于“放射形”线网, $n = n_1$,对于“放射形+环线”线网, $n = n_1 + 1$; a 为棋盘形线网中的纵轴数; b 为棋盘形线网中的横轴数。

于是,一般节点的数量 N_3 为

$$N_3 = N - N_1 - N_2 \quad (5)$$

此时, D_N 可由节点通达性的计算获得,具体计算公式为

$$D_N = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^3 (d_i N_i) \quad (6)$$

式中: d_i 为第 i 类节点的连通性,其中 $d_1 = 1$, $d_2 = 4$, $d_3 = 2$; N_i 为第 i 类节点的数目; i 为节点类型, $i = 1$ 为悬点, $i = 2$ 为交叉点, $i = 3$ 为一般节点。

(3) 变形系数。城市轨道交通线路要尽量沿城市干道布设。城市干道,尤其是主干道路的交通最繁忙,是客流汇集最多的地方,并且空间较宽广,在工程实施时,不但工程量较少,而且对居民的干扰也相对要小。在设计规划线路时,要尽量使线路沿城市干道布设,并且要以最短捷的线路连接客流集散点,以减小线路的非直线系数和缩短居民的出行时间。此外,为了避免交通资源的浪费,轨道交通线路应避免过长距离的与城市快速路重合。因此,变形系数采用城市主干路和次干路组成的路网的平均变形系数。由于北方平原城市其道路普遍比较平直,因而变形系数一般都比较接近于 1.0;而南方多水多山的城市,由于城市道路受河流山川的限制,变形弯曲程度比较严重,所以变形系数相对较大。

4 实证分析

根据西安市第 4 次城市总体规划,结合城市交通调查,确定规划区域共有客流集散点 61 个,其中在连片区域 55 个。在连片区域的 55 个客流集散点

中,边缘悬点有 11 个。西安市城市道路横平竖直,很少有弯曲,因此取线路变形系数 $\xi=1.0$;根据规划,城市连片发展区面积 $A=600\text{ km}^2$,采用本文方法进行计算,其结果见表 1。

表 1 西安市城市轨道交通线网合理规模计算结果

线网形式	N_2	N_3	D_N	L_N/km
放射形	12	32	1.12	203.13
放射形+环线	23	21	1.32	239.46
棋盘形*	9	35	1.06	193.22
棋盘形+环线*	21	23	1.28	232.85

注: * 为假设棋盘形线网中的纵轴数 $a=3$,横轴数 $b=3$ 。

需要注意的是:通过客流集散点来推算城市轨道交通线网合理规模的方法仅适用于城市发展的连片区域,还需根据城市发展的实际情况,适当的增加部分至外围重要组团的延伸线。

西安市城市轨道交通线网规划中提出的线网推荐方案,共由 6 条线路组成,为一典型的无环线的放射形线网,线路总长度为 251.80 km。其中,在主城区(即城市连片发展区)的线网长度为 202.80 km,与本方法的测算结果(203.13 km)十分接近。

5 结 语

(1)分析了客流集散点与城市轨道交通线网之间的关系,轨道交通线路应尽可能多地连接客流集散点,客流集散点的分布决定了轨道线网的布局与规模,各客流集散点的平均通达性与轨道交通线网连通度有近似 2 倍的关系。

(2)提出了基于连通度的轨道交通线网规模测算模型,在一定程度上综合考虑了交通需求、城市面积、城市形态、线网形态以及地形对规模的影响;客流集散点的数量从一个侧面反映了交通需求,客流集散点的分布也从一定程度上反映了城市形态,变形系数很好地反映了城市地形对轨道线路长度的影响,而交叉点数量的合理确定则较好地考虑到了线网形态。

(3)以西安市为例进行了实证分析,计算结果表明,本文提出的方法计算过程简单、结果合理。

参考文献:

References:

[1] 毛保华,姜帆,刘迁,等.城市轨道交通[M].北京:科学出版社,2001.

[2] 陆花普,朱军,王建伟.城市轨道交通规划的研究与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2001.

[3] 安学武,杜殿虎,马超群,等.基于溢出交通需求的城

市轨道交通线网规模测算模型[J].交通运输工程学报,2008,8(3):82-85.

AN Xue-wu,DU Dian-hu,MA Chao-qun,et al. Computation model of network scale for urban rail transit based on traffic demand overflow[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8 (3): 82-85.

[4] 孙有望,李云清,王祥.城市轨道交通网络规划的优化[J].上海交通大学学报,2000,34(增刊):52-55.

SUN You-wang,LI Yun-qing,WANG Xiang. Planning and building of urban rail traffic network[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University,2000,34(S): 52-55.

[5] 何宁,潘向阳.城市快速轨道交通规划的决策分析研究[J].中国公路学报,1999,12(3):73-81.

HE Ning,PAN Xiang-yang. The decision-making research on urban rapid rail transit planning[J]. China Journal of Highway and Transport, 1999, 12 (3): 73-81.

[6] 李福志,胡思继.城市快速轨道交通路网规划的相关问题[J].交通运输工程学报,2001,1(1):39-42,60.

LI Fu-zhi,HU Si-ji. Some issues about traffic network planning of urban rapid mass transit[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2001, 1 (1): 39-42,60.

[7] 袁玉玲,王选仓.城市轨道交通建设模式与措施[J].交通运输工程学报,2007,7(6):101-106.

YUAN Yu-ling,WANG Xuan-cang. Construction modes and measures of urban rail transit[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7 (6):101-106.

[8] 宋杨,陈宽民,姚新虎.配合城市轨道交通的常规公交起讫点的确定[J].长安大学学报:自然科学版,2006,26(2):73-76.

SONG Yang,CHEN Kuan-min,YAO Xin-hu. Selection of origin-destination site for bus-rote adapting urban rail transit[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2006,26(2):73-76.

[9] 郭其伟,朱瑜葱.城市轨道交通综合效益评价体系[J].长安大学学报:建筑与环境科学版,2003,20(3):63-65.

GUO Qi-wei,ZHU Yu-cong. Comprehensive benefit evaluation system of city's rail transport[J]. Journal of Chang'an University: Architecture and Environment Science Edition,2003,20(3):63-65.

[10] 沈景炎.城市轨道交通线网规划的结构形态基本线形和交点计算[J].城市轨道交通研究,2008,11(6):5-10.

SHEN Jing-yan. Basic liner structure and intersection's calculation of URT network structure[J]. Urban Mass Transit, 2008, 11 (6): 5-10.