

城市轨道交通客流预测内容和应用

Forecasting and Application of Rail Transit Passenger Volumes

沈景炎

(北京城建设计研究总院, 北京 100037)

Shen Jingyan

(Beijing Urban Engineering Design & Research Institute Co., LTD, Beijing 100037, China)

摘要: 针对城市轨道交通客流预测存在的问题, 介绍了城市轨道交通客流预测的基本观点、年限和范围。从线路客流、车站乘降客流、OD客流、换乘车站客流、车站出入口分向客流等方面, 着重分析了城市轨道交通客流预测的内容及其在轨道交通建设项目中的作用。探讨了客流预测结果的可信度, 包括线网总量控制、线路量级分析、敏感性分析和设计应用4个方面。最后, 总结了轨道交通客流预测在未来应关注的问题。

Abstract: To address issues pertaining to urban rail transit passenger volume forecasting, this paper discusses several related fundamental points of view, including horizon years, and study scopes. The paper focuses on forecasting different types of rail transit passenger volumes, like volumes along routes, boarding and alighting at stops, to and fro OD pairs, transferring between stations, distributing towards exits of terminals, with their functions described for rail transit development projects. The paper also taps into the reliability of forecasting results, yet including the following 4 aspects: grand-total control, route volume grading, sensitivity analysis, and design and application. Finally, the paper provides a summary of problems that deserve attention on forecasting rail transit passenger volumes in the future.

关键词: 交通规划; 轨道交通; 客流预测; 轨道线网; 规模控制

Keywords: transportation planning; rail transit; passenger volume forecasting; rail transit network; scale control

中图分类号: U491.1*4

文献标识码: A

收稿日期: 2008-10-14

作者简介: 沈景炎, 男, 北京城建设计研究总院, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 城市轨道交通线网规划, 工程总体设计与运营规模。E-mail: shenjy@BUEDRI.com

客流预测是城市轨道交通建设项目“规模、投入和效益”的评价基础和决策依据。近几年来, 各个城市就城市轨道交通的客流预测做了大量工作, 但目前还存在很多问题, 如: 车站区域的城市规划设计滞后或规模失控, 导致站区人口与就业岗位发展不平衡、出行强度大, 使客流预测基础数据失去基本依据, 对线路末端的早高峰小时系数估计不足; 轨道交通网络化运营后, 因换乘方便导致换乘量与乘次增加, 平均客流强度增大, 但是对各个车站的客流预测没有区别分析, 尤其是对各车站换乘客流的估计和认识不足; 另外, 轨道交通客流与常规公共交通客流是互动式换乘关系, 既要考虑由票价激发的客流, 也要考虑乘客能够接受的合理票价, 需很好地估计公共交通比例的分配。因此, 有必要结合城市轨道交通客流预测经验, 对客流预测的内容、应用及预测成果的可信度进行全面、深入的探讨和总结。

1 客流预测的基本观点、年限和范围

1.1 基本观点

1) 把握客流预测结果可信度的支撑点。这个支撑点在于城市规划的前瞻性、预见性与线网规划建设的一致性。

2) 轨道交通网络化具有客流动态平衡特征^[1]。线网内换乘的方便性与多路径选择的灵活性在不同时期的线网中, 使最大客流断面位置的移动变化发生自然的动态平衡作用。

3) 客流预测是量级的概念, 是定性分析的量化。客流预测数据难以确保准确, 应该把握量级的可信度, 敏感性分析尤为重要。城市轨道交通设计者要深入分析, 对预测数据合理采用。

4) 客流预测数值的可信性在于: 基础资料来源正确, 总量控制合理, 对比量级相当, 客流特征真实, 风险分析到位, 规模判断适当, 运营组织适宜。

1.2 预测年限

城市轨道交通客流预测,既要进行线网规划的客流预测,又要做单条线路的客流预测。

1) 线网

线网规划的客流预测年限,原则上应与城市总体规划年限一致。根据线网规划长远性规划特征,应分为近期规划和远景规划。近期规划年为轨道交通建设期10~15年,与城市总体规划远期年限一致,这有利于采集城市总体规划数据,保持基础数据来源与总体规划的一致性。同时有利于对建设规模的判断和把握,做到量力而行、有序发展,提高线网规划的可实施性,尽快形成规模效益。远景规划年为城市总体规划的远景年,一般为30~50年,以线网形态和规模总量控制为目标,拟定长远性、宏观性、引导性、超前性的规划^[1-2]。

2) 单条线路

单条线路客流预测年限以项目建成通车年为基准年,分为初期、近期和远期^[1,3]。

初期指线路建成通车后第3年,是“客流的培育期”。每个城市基本上需要2~3年才能形成一个初期的客流规模,并且第1年客流一般不太大,尤其是建第1条线路时更是如此。但网络化以后就会有很大不同,可能线路建成初期客流就很大。因此单条线路与线网客流预测会有所不同。

近期为通车后第10年,是指第3~10年的“客流成长期”,与城市总体规划远期年限比较接近。因此客流预测的基础和依据比较翔实,有利于把握预测结果的可信度,合理控制近期客流规模。同时考虑轨道交通运营系统内大量采用电子产品的使用寿命(10~15年)和更新率较快的特点,即第10年后开始需要逐步更新改造,具体更新或扩容的时间应结合当时的客流实际发展情况和设备使用状况采取具体措施。因此近期年限可用于确定机电设备在初期装置的内容和数量。

远期指通车后第25年,是“客流成熟期”。远期的客流预测值是确定项目最终规模的依据,主要确定车辆选型和列车编组最大长度。如果从建设期(5年)开始计,远期预测就是30年,已接近城市总体规划的远景年。届时,城市的人口、岗位、建设发展规模趋于稳定,轨道交通线网建设基本形成一定规模,路线和客流量也基本稳定。远期客流预测既体现了城市轨道交通项目长远性和超前性要求,同时又对建设规模进行最终控制,避免盲目扩大工程规模。

1.3 预测范围

城市轨道交通客流预测范围:①要与线网建成范围一致,即每条线路的客流预测应按初期、近期和远期设计年限,对相应建成运营范围分别预测;②要与全线网规划范围一致。尽管一条线路可能分期建设,但远期客流预测必须在全线规划长度范围内全面测试。且进行线网规划时,应首先考虑起终点,再考虑分期建设;③后期建设线路客流预测范围按全线推定。若一条线路分段建设,每段线路通车时间相距3年以上,已超过一期工程初期3年的时限,客流预测应按不同项目实施。后期实施的项目,则应按后期项目建成通车年为基准年,重新推定初期、近期和远期设计年限,进行全线客流预测。④客流预测居民出行调查应以5年为限,以居民出行和相关交通调查的成果为基础,并保证其时效性和可用性,否则,应补充其他有效措施。

2 客流预测内容

2.1 线网规划阶段客流预测

1) 线网客流总量预测

依据城市总体规划和综合交通规划,分析城市现状和规划区域OD客流;分析并确定轨道交通远景规划线网承担的客运总量及在公共交通总量中分担的比例、平均运距、客流负荷强度等相关指标,并在全线网范围内按总量控制原则,进行各线客流总量预测。

2) 线路客流预测

以线网客流总量为基础,预测各条线路的全日客流(双向)总量、分段断面流量(图),利用全日平均运距和客流负荷强度等相关指标进行总量控制分析,并估测各条线路高峰小时单向最大断面流量。

2.2 单条线路的客流预测

单条线路的客流预测,主要是定性分析的量化,用“数字”说话。单条线路预测数据的使用需要支持论证以下问题:①论证线路建设时机,以及必要性和迫切性;②对建设规模,即线路长度(起终点)、车辆选型、列车长度、车站规模等的合理性作出基本判断;③进行效益评价,即对工程总体规模、造价、票价、经济效益进行较准确的估计。

2.2.1 线路客流预测

线路客流预测主要包括5个方面^[4]：全日客流，分时段客流，平均运距，分级运距，客流强度。这些预测数据可用来支撑设计的基本规模。

1) 全日客流

全日客流是用来评定一条线路运营的客流效益的基本数据。每条线路的全日客流总量控制有两层意义，一是远景规划线网的总量控制，二是远期设计年建成线网的总量控制。对线网内每条线路的全日运量作预测分配，某一条线很可能出现远期设计年的全日客流大于远景年，也可能相反，但须有所判断。利用全日客流量就能对远期每条线路的客流有一个很好的判断及总量的控制。

2) 分时段客流

分时段客流指各小时段的客流量及其比例，是查阅高峰小时系数和其他时段系数、评价全日客流均衡性的指标，也是对全日行车组织的指导和设计依据，同时是计算全日发车列数和运营成本的基本依据，按不同时段组织不同的发车密度，满足预测的客运需求。

3) 平均运距

全日和高峰小时的平均运距是反映客流综合特征和效益的一个重要指标。全日平均运距与全日客流量的乘积是全日乘客周转量，同时等于全日各级运距与其相应客流量的乘积之和，是衡量线路效益特征的重要指标。

4) 分级运距

分级运距是全日各级运距的乘客量，按每2 km分级，是研究运营成本和计程票价的重要依据。

5) 客流强度

客流强度即平均客流负荷强度，是全日客运量按线路长度分摊客运量的指标(将全日客流分摊在全线，按万人次/km为单位，使不同长度的线路之间具有可比性)，也是评价线网中各条线路的客运效率进行对比的指标，同时作为对线路全日运量预测值总量的经验判断指标，避免预测数据不可信。

2.2.2 车站客流预测

车站客流预测内容，传统的有全日和早、晚高峰小时各车站上下行的乘降客流、站间断面流量以及相应的超高峰系数；针对发现的新问题，也要考虑对车站高峰客流和车站突发客流的预测。

1) 车站乘降客流

车站乘降客流指全日和早、晚高峰小时各车站上下行的乘降客流，可计算车站站台、楼梯的宽度、自动扶梯数量。

2) 站间断面流量

站间断面流量可用于计算运营规模、列车编组、发车密度、舒适度和满载率，可分析上下行客流的不均衡性。

3) 超高峰系数

在早高峰时段，通勤客流集中的超高峰系数具有明显特征；而晚高峰时段，客流性质有所不同，一般以下班和休闲性客流为主，随着人们文化生活的丰富，晚高峰会不断明显。一般来说，超高峰系数不宜大于1.4，这与车辆的超员系数1.4也是相适应的，而且在车站站台设计时，必须考虑超高峰系数为1.4时车站站台上的人数。

4) 车站高峰客流

全线客流的高峰小时时段不一定是车站客流的高峰时段。有的地铁车站，由于设计时未考虑到该车站的商业高峰在晚上，导致车站设计规模太小、站台面积不够。所以，进行车站设计时要具体分析车站高峰客流。

5) 车站突发性客流

突发性客流对车站的规模和接纳能力影响很大，但又是短暂的。在进行车站规模设计时，既不能影响客运能力，又不能盲目加大车站规模，在设计工作中需要认真把握和研究。在大型社会活动或节假日、双休日期间，对具有突发性客流的特殊车站，应进行单独的客流预测和分析。南京地铁在进行后续几条线路的客流预测时，考虑到车站突发性客流的影响，对节假日、双休日的客流单独进行了分析。对于大型集会附近的车站，不仅客流量大，还有限时疏散的要求，需作特殊的行车组织方案。根据诸多城市的地铁运营经验，在保证安全的原则下，应充分考虑积极可行的客流组织方式，采用恰当的标准或参数，运用客流预测值进行车站设计。北京地铁采用单向循环客流组织，成功地解决了突发客流，这对于计算站台宽度、进行车站设计是一个启发。所以，计算站台宽度时，不仅要考虑突发性客流，还要结合客流组织方式。

2.2.3 OD客流预测

OD客流对行车交路设计具有重要的导向作用，包括站间OD和区域OD两方面内容。

1) 站间OD

站间OD与各种运距等级的客流量相呼应，以车站为定点，表述与其他车站到发客运量(包括换乘量)的关系，同时反映出每一座车站在一条线中占据的地位。站间OD对设计者合理设计运行交路的微观分析具有重要指导意义。

2) 区域OD

对于长线路应以车站所在地区为群体区域，进行区域

之间OD预测，分析区域内部客流和跨区客流的基本特征，分析线路长度和行车交路匹配的合理性，以指导整个行车组织(见图1)。

从图1可以看出，中心组团的内外OD总量达92.4%。其中，以内部客运需求为主，占总运量的37%；对外客运需求占55.4%；中心组团对北部组团占25%，中心组团对南部组团占30.4%。因此该线路以全线全交路设计为宜。

北京市地铁8号线曾做过2037年的客流区域分析，这种区域分析比较典型，能非常明确地分析区域之间的客流。从图2可以看出，各组团间交通量大，北部3组团总量明显，应组织区域折返运行交路。

图3是长沙市2020年轨道交通线网客流分配示意图和

1号线区域OD客流。这种表示方式与整个地形、地盘结合起来，比较形象，是表示OD客流较好的方法。

2.2.4 换乘客流预测

城市轨道交通换乘客流预测是对全日和高峰时段的各换乘车站(含支线接轨站)的换乘客流量及占车站总客流量的比重进行预测。应分析相关线路之间多个方位的换乘客流及各个方向的分向客流。摸清换乘客流的主客流方向，设计便捷的换乘路线，以指导换乘车站建筑平面及竖向布置，合理设计换乘方式和换乘形式，以及换乘通道的数量和宽度。换乘客流的表示方式有表格式(见表1)和图形式(见图4)。图4展示了杭州市2020年地铁2号线、4号线客流的流向、断面流量与整条线路的关系，包括换乘站的4个方位、8个方向的换乘客流，十分形象。

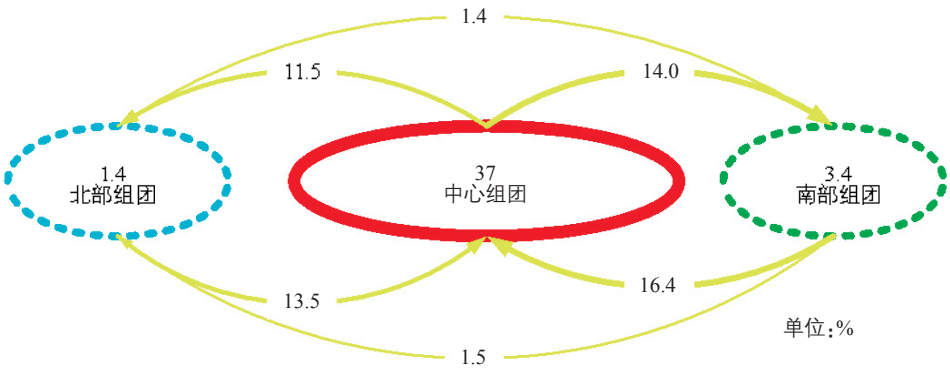


图1 区域OD客流分析图
Fig.1 Volumes to and fro OD pairs

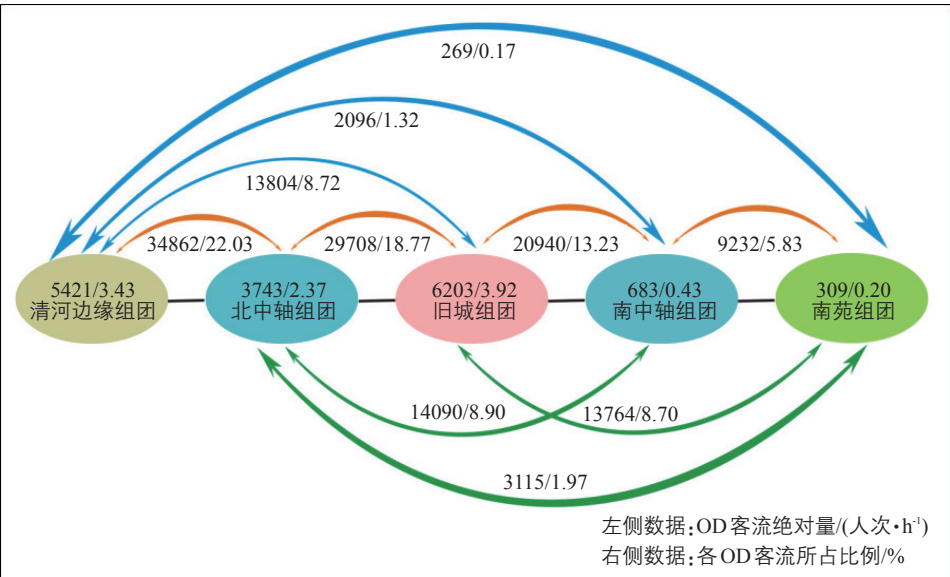


图2 北京市地铁8号线2037年早高峰组团客流OD分析
Fig.2 Volumes to and fro clusters during morning peak hour
in Beijing subway line 8 in 2037

2.2.5 车站出入口分向客流预测

车站出入口分向客流预测是对各个车站出入口高峰时段的分担客流进行预测，可在初步设计阶段车站位置稳定后补充。可行性报告研究阶段到初步设计阶段，车站位置往往不太稳定，车站是否跨路口，可能会发生较大的变化，只有到初步设计阶段，车站、出入口位置才比较固定，此时的出入口分向预测客流才能对出入口宽度及设施的研究有指导意义。每个车站有多个出入口，一般是4个，最少2个，以跨马路或跨路口分散布置，各出入口对客流的吸引是不均匀的。若车站在建筑区内，可设置地面站厅或与地面建筑结合，此时出入口是集中布置的。当多个出入口分布设置时，客流量就会有主次之分及早、晚的不同，需利用不平衡系数对不同高峰时段的出入口流量进行预测，合理确定出入口规模。

3 客流预测可信度分析

城市轨道交通客流预测结果的可信度是对预测结果在设计应用环节的把握。主要包括线网总量控制、线路量级分析、敏感性分析及设计应用4个方面。

3.1 线网总量控制

在城市轨道交通线网规划所覆盖的范围内，以城市总体规划为依据，城市轨道交通客流总量应按城市客运交通结构比例确定，轨道交通线网确定后，线网规划的客运总量就可以达到相对的控制目标。各条线路的全日运量之和不应突破线网客流总量，应与线网总量平衡。可从下述4个方面考虑线网总量的控制。

1) 线与网的总量平衡

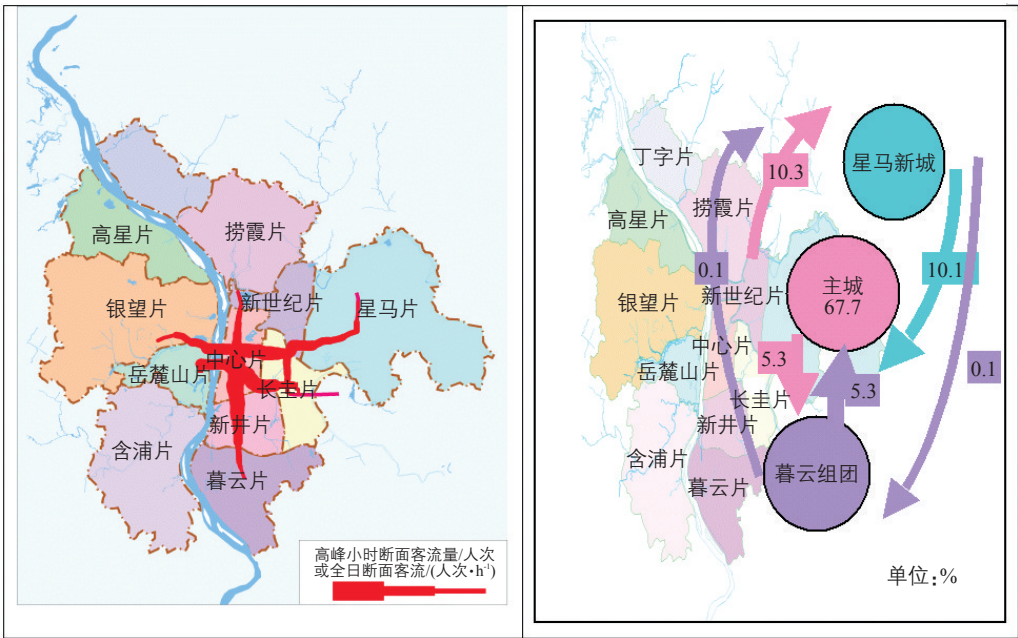


图3 长沙市轨道交通区域客流
Fig.3 Rail transit volume of Changsha

表1 城市轨道交通换乘客流的表示方式——“表格式”
Tab.1 Table style: an approach to showing transfer volume of urban rail transit

A/B两线的换乘客流流线		B线上行站台(北)		B线下行站台(南)	
		下车换乘客流	上车换乘客流	下车换乘客流	上车换乘客流
A线上行站台 (东)	换乘—上车	←		←	
	下车—换乘		↑		↑
A线下行站台 (西)	换乘—上车	←		←	
	下车—换乘		↑		↑

必须核对每条线路日运量之和与线网日运量控制总量的吻合，保证在线网客流总量控制下，提高各条线路全日运量预测的可信度。

2) 线与网的比例协调

每条线路的日客流比例(占全网客流总量的比例)和长度比例(占全网的长度比例)应与线路定位相对应，差距不宜过大，一般主干线客流比例略高，辅助线略低。否则，应作特殊分析。

3) 线与网的强度匹配

将每条线路的客流负荷强度与全网的客流负荷强度相比较，比较结果应与线路地位相对应，客流负荷强度高者为主干线，低者为辅助线。

4) 线与线的相对比较

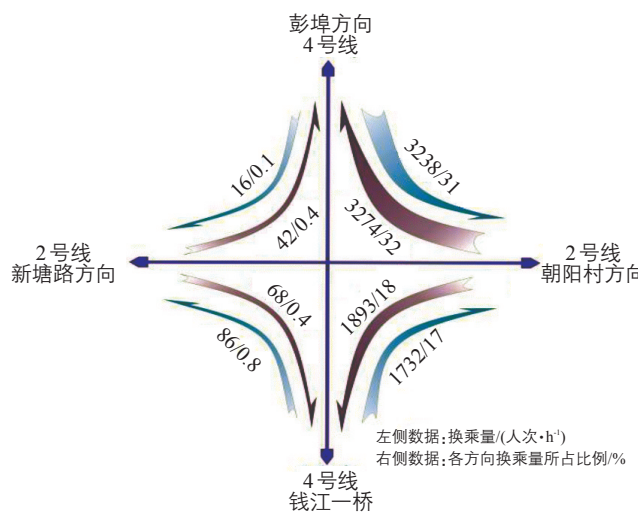


图4 城市轨道交通换乘客流的表示方式——“图形式”

Fig.4 Figure style: an approach to showing transfer volume of urban rail transit

每条线路所处位置不同，其最大断面客运量与客运强度应有所差别，可定性判断确定其在线网中的地位和排序，评判预测量级的相对性和可信性。

表2是结合很多城市轨道交通线网和线路客运总量控制表的优点绘制的，该表直观地反映了对线网客运总量的控制。可以看出每一个规划年建成的线路及线网的总量：2020年建设了第3条线路，线网客运总量发生了变化；2025年线路条数虽然没有增加，但线网总客运量增加了。同时可以看出客运强度在不断的提升，说明初期建设选择的项目是合理的。另外，还可以看出轨道交通占公交客运量的比例在不断增加，平均乘次也在不断增加。这些数据很好地体现了轨道交通线路与线网的关系。

3.2 线路量级分析

在线网客运总量控制下，线网中各条线路的日客运量与线路长度、经过位置、换乘站数量及平均运距有关。因此，线路与线网之间的客流必定在全网中达到动态平衡，每一条线路的客流走势与不同阶段的线网规模形态相关，且客流断面大小与位置会发生动态变化。应从以下3个方面重视线路量级分析。

1) 注重预测量级与误差

客流预测数据是一个定性、量化的数字，在实际应用中，应注重数字的量级和精度。“量级”是指运能设计的定位，根据选用车辆、编组长度、定员和发车密度确定；“精度”是指对“量级”有多大影响，精度为0.1万人次即可。例如，车站上下车人数预测数据分析为：6辆A型车、单侧30车门、高峰时段运行30对/h，若按每车门上

表2 某市轨道交通线网和线路的客运总量控制
Tab.2 Total volume control of network and single lines of urban rail transit

年限	线路	线路长度/km	客运量/(万人次·d ⁻¹)	线路客运强度/(万人次·km ⁻¹)	线路长度比例/%	占线网总客运量比例/%	建成线网长度/km	线网总客运量/(万人次·d ⁻¹)	线网客运强度/(万人次·km ⁻¹)	轨道交通占公交客运量比例/%	公交出行量/(万人次·d ⁻¹)	公交客运量/(万人次·d ⁻¹)	平均乘次
2015	1	22.77	22.9	1.01	49.59	47.9	45.92	47.9	1.04	16.42	233.4	291.8	1.25
	2	23.15	25.0	1.08	50.41	52.1							
	3												
	4												
2020	1	22.77	29.3	1.29	30.17	28.4	75.46	103.3	1.37	27.78	290.7	372.1	1.28
	2	36.94	55.3	1.50	48.95	53.5							
	3	15.75	18.7	1.19	20.87	18.1							
	4												
2025	1	33.17	49.4	1.49	38.64	33.6	85.86	146.9	1.71	29.55	376.5	497.0	1.32
	2	36.94	73.5	1.99	43.02	50							
	3	15.75	24.0	1.53	18.34	16.4							
	4												

车数差1人则为900人，差2人则为1 800人。因此，可以认为预测客流误差1 000~2 000人/h是可以接受的，即此误差分散到每个车门后是可以忽略的^[5]。

2) 分析各年度客流增长曲线

根据客流预测数值的增长规律，绘制客流增长曲线：若曲线趋近水平，则属远期客流发展趋势稳定，可以采用；若曲线为上升趋势，则客流发展趋势尚未稳定，不可采用^[1]。

对各线路从初期到远期逐年客运量增长趋势进行分析判断，可能出现3种线形(见图5)：①凸型抛物线，增长曲线呈平缓趋势，远期客流具有可控性，风险较小；②凹形抛物线，增长曲线呈上升趋势，远期客流不可控制，风险较大；③S形抛物线，近期客流增长先缓后快，远期呈平缓趋势，远期客流具有可控性，风险较小。

图6形象地表示了城市轨道交通线网客流的特征。2020年成都市地铁3号线、5号线建成后，客流发生跳跃性变化；2025年6号线建成后，客流又出现跳跃式发展；当地铁线网具备一定规模后，客运总量出现低落趋势。从远景来看，客运总量是趋于平稳的。

3) 注意线路平均运距

一般情况下，线路平均运距应为全程运行长度的1/3，不宜小于1/4，否则应进行特殊性分析。平均运距的大小也影响客流断面，应注意预测分析。

3.3 敏感性分析

敏感性分析是对城市轨道交通客流预测基础数据的不确定性和波动性进行分析，使预测结果具有较高的可信度，且使其在运营设计上的可行性比较高，并利用客流预测结果对运营设计时的运能储备和适应性进行抗风险评价。敏感性分析对票价研究、国民经济评价、财务效益评价具有重要意义。

目前，客流预测通常包括人口预测值、轨道交通占公交客运量的比例、票价、发车间隔等4种基本影响因素(见图7)。预测时每一个影响因素有一个基数，例如轨道交通占公交客运量的比例是45%，若所占比例变化为40%和50%时，客流量就会有波动性，可预测得到轨道交通客流量的波动范围。而发车间隔属于服务水平问题，2~4 min的变化影响较小，可以忽略。根据敏感性的波动范围考虑行车组织和运量储备，以便未来能够与波动相配合，将客流预测和运营设计做得更好。

当前，城市轨道交通客流预测敏感性分析是全天客流

的波动及总量波动，这存在一定的问题，有必要增加最大客流断面的敏感性分析，以便满足运能储备要求，并为运营设计提供抗风险评价。

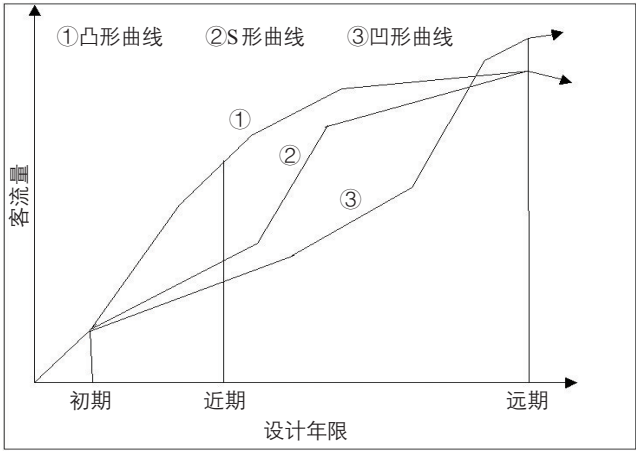


图5 城市轨道交通客流增长曲线图
Fig.5 The curve of passenger volume growth of urban rail transit

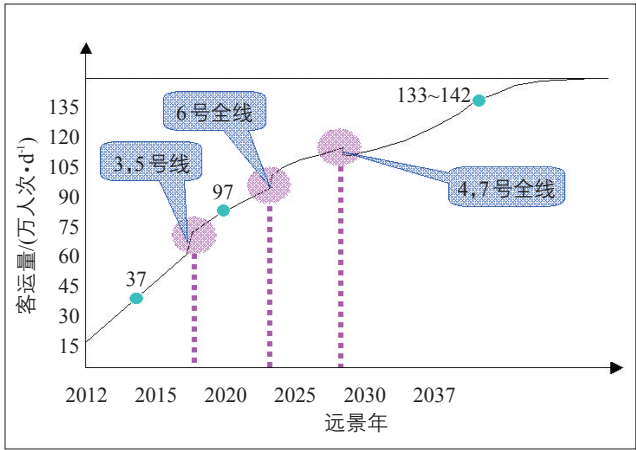


图6 成都市地铁2号线客流趋势分析
Fig.6 Analysis on volume trend of Chengdu subway line 2

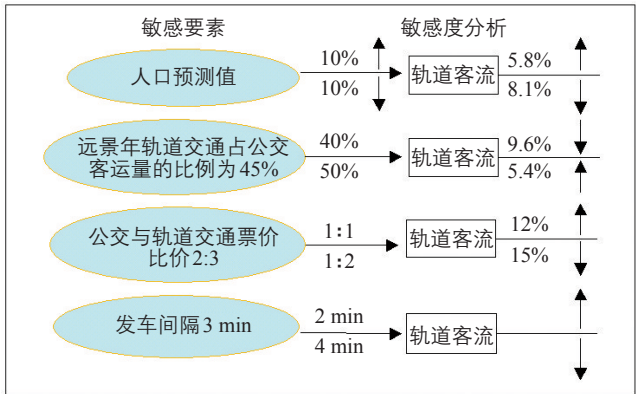


图7 客流敏感性分析
Fig.7 Sensitivity analysis on volume

(下转第20页)