

城市轨道交通客流预测的 评估和抗风险设计

沈景炎*

摘 要 客流预测是轨道交通建设的重要基础工作。阐述了客流预测的目的和内容,分析了客流预测的难度和风险,提出了可信性评价的要点,对客流预测提出了波动范围的要求。采取了面对现实的观点,创建了抗风险设计的理念,对客流预测的风险做了有限性和突破性的分析,提出了抗风险的适应性和转移性的措施,使客流预测的数据与运营能力设计之间具有较大适应弹性。对于轨道交通的运营组织,采取分期设计很重要,尤其是应分别确定初、近期和远期的车辆编组和行车密度,这有利于抗风险设计。

关键词 轨道交通,客流预测,可信性评价,设计运能,抗风险设计

选定售检票系统制式和规模,拟定票价政策;核算运营成本和经济效益评价。

由此可见,客流预测工作在轨道交通工程建设的前期工作中处于十分重要地位。可以说,做好对客流预测数据分析和应用,是进行轨道交通建设和设计工作的起步点,是工程项目建设规模和运营经济评价的基础,是项目风险的评价要素和关键。因此在轨道交通领域内,客流预测已成为一项专题研究、专题评审的专项课题。

2 客流预测的内容和难度

1 客流预测的目的和作用

客流预测是为城市轨道交通建设规模决策的主要依据,并在项目设计中起着重要作用。根据客流预测各项数据,将对轨道交通建设的重要问题作出判断和决策,例如:

轨道交通工程建设的必要性和迫切性;

选定轨道交通制式和车辆选型;

确定系统设计运能、列车编组、行车密度和行车交路;

确定车站基本规模、站台长度和宽度、车站楼梯和出入口总宽;

选择机电设备系统,计算其容量和用电负荷;

城市轨道交通客流预测是近年发展起来的一门预测学。在 60 年代我国建设地铁之初,虽对地铁客流预测有所研究,但方法简单,尚属于启蒙阶段。当时以“战备为主,兼顾交通”为建设原则,对地铁客流预测尚未放置重要地位,缺乏系统认识。80 年代开始,因国家改革开放政策,使地铁建设原则转变为“交通为主,兼顾战备”,在思想上是一个大解放,在技术上与国外有了充分交流,从国外引进了客流预测方法及其数学模型,并随电子计算机技术发展,使轨道交通客流预测成为一项专门的技术学科。

多年来,客流预测的数学模型经过我国交通专家的研究开发,结合各城市的实际情况,经多年积

* 沈景炎:北京市城建设计研究院,教授级高级工程师,北京 100037

累资料,摸索城市客流特征和规律,对各项参数和程序进行不断修正,已经逐步建立起一套完整的预测方法和计算模型体系;并还在不断的积累经验,不断的完善,使客流预测的可信度也在不断提高。但在实际运用中要达到较高的可信度,仍存在较大的难度,这是值得重视的问题。客流预测的难度主要是难在客流预测的内容和预测条件的复杂性。

2.1 客流预测的内容

根据实际运用经验,在轨道交通系统中,从系统功能要求出发,在城市总体规划和轨道交通线网规划的前提下,按各设计年限,对客流预测的成果可归纳为如下五类基本内容:

1) 全线客流(包括全日客流量和各小时段的客流量及比例)

全日客流量,是表现和评价运营效益的直观指标,并进一步评价线路负荷强度的重要指标。

各小时段的客流量及比例,是为全日行车组织计划提供依据,在保证运营能力和服务水平的前提下,合理安排行车间隔,提高列车满载率及其运营效益。

2) 车站客流(包括全日、早、晚高峰小时的上下车客流,站间断面流量以及相应的超高峰系数)

高峰小时时段的站间最大单向断面流量,是决定建设轨道交通的必要性和确定系统运量规模的基本依据,由此选定交通制式、车型、车辆编组长度、行车密度及车站站台长度。

全线早、晚高峰小时的站间断面流量,是全线运行交路设计的基本依据,由此确定区域折返交路、折返列车数量、折返车站位置及配线形式,并计算运用车辆配置数量。

各车站早、晚高峰小时的上下客流量及相应的超高峰系数,是各车站规模设计的基本依据,由此计算站台宽度、楼(扶)梯宽度、售检票机数量、车站出入口的总宽度等。其中晚高峰小时客流量对地下车站的空调、通风量计算具有控制性作用。

此外,必要时应对车站客流进一步分析,预测到达本站的客流所采用的各种交通方式的分类和比例。这为本车站附近如何考虑停车场用地的规模提供依据。

3) 分流客流(站间 OD 表、平均运距及各级运距的乘客量)

此项数据是为进行分段客流统计、制订票制和票价的分析,最终对建设投资、运营成本作财务分析,对社会经济效益分析,提出项目效益评价意见。

4) 换乘客流(各换乘站分向换乘客流量)

此项数据对线路主客流方向的评价很重要,并为换乘形式设计和换乘车站间的换乘通道或楼梯的宽度的计算提供依据。

5) 出入口分向客流

根据每一座车站确定的出入口分布位置,对每个出入口作分向客流预测,并作波动性分析,为每个出入口宽度计算提供依据。

以上各种预测数据的内容繁多,要求较高,必然存在较大难度。

2.2 客流预测的难度

以上数据的预测,在各阶段的要求是不同的。从预可行性研究、可行性研究、总体设计、初步设计等各个阶段进行分步预测,内容和深度总是由宏观到微逐步深入细化。

经对近年来各城市轨道交通线路的客流预测结果与实际运营客流统计值的比较,发现相差较大,并非令人满意。这种状况是哪些原因造成的呢?这需要我们进行实事求是的客观分析。其主要原因大致可归纳为以下几点:

1) 预测年限较长,积累资料不足,预测技术尚须改进完善

从工程立项开始至建成通车,一般需要5年,然后再预测通车后25年的远期客流规模,总共要预测30年的客流。时间跨度大就难以掌握城市发展中的政策、经济和人们活动的规律,不定因素太多。同时,由于这项技术尚在不断研究之中,积累资料不足,数学模型和预测技术尚未定型,还需不断改进完善,对预测数据的把握以及评价标准上,都有很大的难度。

2) 城市发展过程中的规划背景难以稳定

客流预测必须以城市发展规划为依据。城市范围和结构形态、用地分布性质、人口分布数量、居民和流动人口的出行量等,均为预测的基础数据。这些数据都是来自城市总体规划。而城市规划一般只做10—20年的近期和远期的建设规划;虽然也做远景规划,却是长远性和宏观性的规划。经验告诉我们,城市发展过程是难以控制的,规划不等于实施,往往是规划超前于实施;也有规划落后于

实施,这是少数。这些现象主要决定于国民经济发展水平和财政支持能力。因此,城市规划总是要不断地进行调整修改,是属于动态规划。由此可见,客流预测依靠城市发展过程中难以稳定的规划为工作背景,必将造成预测结果与将来的实际有一定差异。这种差异是难以估计的。

3) 票价的竞争性和敏感性对客流量的波动性

乘客的消费观念和对票价的承受能力是难以控制的活动因素。尤其在市场经济条件下,城市轨道交通中各种交通的存在,必定会与轨道交通形成竞争局面。对于乘客来说,需要面对时间与票价之间进行权衡和选择,关键在票价。那么就看票价定位在哪个薪水阶层、乘距为多长的客流对象。这与运营的经营政策密切相关。但是在客流预测时,可以从需求进行预测,但很难对票价进行正确定位;也很难对客流量的竞争性和敏感性进行数量级的准确分析,这需要长年在运营中不断积累和探索。从国内外运营经验证明,票价对客流是具有较大的敏感性,同时也说明票价对客流具有可调节性和可控性的。这一点值得我们重视。

4) 线网规划不完整,线路总体规模不明

城市轨道交通线网规划工作仅仅是在最近几年才有一个比较全面的认识。虽然线网规划总是随城市总体规划而动态变化,有时候也会发生局部调整。一般来说,由于城市中心区建设的形态和规模应该都是比较稳定的,对于城市远景发展规模也是相对稳定的。这对于做好城市轨道交通线网规划提供了基本条件。事实上,有些城市对于线网规划还缺乏深层的研究,线网规划内容还不完整,对城市结构形态发展认识不足,造成各条线路建设的起终点和走向有很大的随意性,缺少严肃性。单条线路和线网关系模糊,往往会造成线网规划不稳定。线网总体规模不明,造成各条线路之间关系变化不定,尤其对已建线路的客流影响很大,使原预测的客流量值在量级上发生“质”的变化。这种情况已在国内发生多例,应引起重视。

综上所述,由于客流预测是一门新生的预测学,也由于它对城市规划有极大的依赖性,对人(乘客)的思维和行为又只能规划导向而不可强制,对客流量也只能从合理需求预测,淡化未来的票价政策及其影响,因此,客流预测成果不可能做到准确性,而是存在较大的风险性,只能做到在预定的城市规划条件下,具有相对的可信性。

3 对客流预测值的评价

客流预测虽然是城市轨道交通建设规模决策的主要依据,但按目前的方法和技术,只能做到相对的可信性,这是事实。既然客流预测只具有相对的可信性,我们应面对现实。那么,如何评价和应用这些数据,为轨道交通工程规模决策服务呢?这是当前值得研究的实际问题。

经多年来的实践,我国城市交通研究单位和学者对客流预测工作已经取得较大的进步和发展,对城市轨道交通客流的特征和规律又有深层认识,对预测结果的数据上表现出十分谨慎的态度,加强了定性定量的分析论证,使客流预测成果的可信度日趋提高,这是可喜的一面。同时,我们还必须用积极和科学的态度去探讨和评价,要从预测的过程中找控制点,从控制点找关键,从结果看风险,从运营评适用性,这样才能得到有效的应用。为此本文对客流预测的方法和过程,对客流预测成果的评价,归纳为如下评价要点。

1) 客流预测的评价要点

客流预测的依据和背景资料来源清楚,有据可查;

客流预测的年限和范围正确,对已建或规划的线路关系明确;

客流预测的技术路线清晰,选用的参数经过推算论证、纵横比较,相对合理;

客流预测的模型和技术成熟,经过实例验证,方法可用;

客流预测的内容完整,数据齐全,对预测成果经分析论证,从量级上宏观判断,基本可信;

对预测客流进行敏感性分析,波动幅度基本可信。

以上客流预测评价要点,也是客流预测报告中需要讲清楚的内容。因为预测的背景资料、技术路线与有关参数等的内容是否完整,都是摆在明处,容易判断,但预测的过程是看不到的。因此,作为评审者,如何评价其预测的各项数据从量级上宏观判断成果的可信度,如何对客流预测成果进行风险分析,这是评价的关键。

2) 客流预测的可信度评价

在客流预测的评审中,要各位专家将每项数值进行推测、分析,再判断其正确性,这是不可能的。

由于轨道交通系统规模的控制性关键是全线各区间的高峰小时客流和车站乘降客流,上述数值起主要控制性的环节是全日客流总量。为此,把全日客流总量作为客流预测可信度评价的主控点是可行的。

在实际工程中,最容易出问题的就是全日客流总量失控。有些城市在对轨道交通某一条线路客流预测时,没有注意从线网规划的客流总量平衡,往往造成总量突破,必然使预测成果可信度严重下降(即无可信度)。所以,每条线路的客流预测必须从全市轨道交通的规划线网去考虑,把握线网客流总量控制和分配。对全日客流总量作好宏观总量控制是一个总体控制环节,是客流预测成果评价的质量控制点。

对全日客流总量评价,应注意如下几项参数选定:人口数量(包括流动人口)和出行强度;各种出行方式分配中,公共交通系统承担的比例和轨道交通系统分担的比例;轨道交通系统内的换乘系数。

上述基本参数,均由城市总体规划和交通战略规划所定,在客流预测时,必须与其保持一致。只要对轨道交通系统内的换乘系数估计恰当,轨道交通(全网)系统的全日客运总量估算是可信的。这样,对每条线的总量分配得到相对控制,保证每条线车站乘降客流和区间断面流量在运量级上不会产生太离奇的偏离。

以上分析说明,客流预测必须看重线网规划的客流总量控制和分配,对客流预测结果应重视宏观的量级的控制。这是对客流预测结果可信度评价的基本点。

4 客流预测值的应用和抗风险设计

客流预测是依据城市远景规划条件下进行预测的。客流预测的结果经过专家评审,只要认为基本可信的,我们应该要用。但是可信度有多高,不会有人下定论的,因此,风险依然存在,所以对客流预测的可信度,最终还是要设计人员自己去学会分析判断。我们对客流预测结果的应用,既要现实一些,又要谨慎一些;既要重视定性分析,更要加强宏观性的量级判断,才能做好抗风险设计。

4.1 系统运能的概念

为了研究抗风险设计,先设定系统运能的几种

概念,即:设计运能,储备运能,潜在运能。

设计运能:按客流需求设计的运能,即按设计的列车编组、定员、运行密度而定的运输能力(万人次/h)。设计运能必须满足远期设计年限的高峰小时单向最大断面流量的预测值。

储备运能:按运营系统配置的线路和设备可承担的最大运能。这是按选定的列车长度的前提下,根据全线车站的折返线、车场出入线的配线形式和信号配置的功能,计算出的最大通过能力,取其中较小的值为控制性运能。上述控制性运能必须大于设计运能,并有一定的贮备系数。

潜在运能:考虑未来技术的发展而可能提高的运能。一般来说,必须进行信号及相关设备的技术改造,才能开发原线路远期潜在的可发展的运能。

4.2 抗风险设计理念

抗风险设计是在充分理解客流预测存在一定风险的前提下,针对客流预测的不准确性和波动性,充分估计到客流预测值有限的波动范围,进行定性分析和定量估计;在上述前提下,对城市轨道交通运营系统的设计运能应采取的抗风险对策,以保证系统设计的运能既能满足长期的客运需求,又能保证规定的服务水平,使该运营系统在未来的较长的时期内,具有较强的适应性。这就是抗风险设计的基本理念。

为此,在运行能力设计时,一方面必须充分考虑到实际客流可能比预测值大的风险,一定要留有运能余量储备;另一方面也要考虑到实际客流可能比预测值小的风险,为保证运营的经济性,既要减少列车运行密度,又要保障正常运营的服务水平。为此,根据抗风险设计理念提出两个层次风险:基本风险和突破性风险,及其相应的抗风险设计和适应性分析。

1) 对基本风险的适应性设计

基本风险是对客流预测数值的波动范围限定为 $-30\% \sim +10\%$ 的条件下,进行系统运能的抗风险设计。为此在运营能力设计时,提出必须满足的两个条件:

系统的设计运能必须以满足远期高峰小时单向最大断面流量为基本,而系统设备配置的储备运能应具有 $+10\% \sim +15\%$ 的储备余量。此可满足客流预测数值的波动范围限定值的上限。

在服务水平上应保证经济合理的行车间隔,

在远期高峰小时段的列车运行间隔时间不得大于 3 min 的服务水平。此可满足客流预测数值的波动范围限定值的下限。

如果系统设计运能为 30 对/h, 全线运能控制点是车站折返线, 则车站折返线和信号的配置能力应比设计运能大 10% ~ 15%, 符合运能风险储备的要求。若运营设备配置的运能为 34 对/h, 则储备系数为 13%。

如果实际客流小于预测值, 按远期高峰小时段的列车运行间隔时间不得大于 3 min 的要求(即: 运行密度为不小于 20 对/h), 列车编组及长度不变, 设计运能调整为 24 或 20 对/h, 即适应预测客流下降 20% ~ 30% 的下限。

根据当前的预测方法, 参照国内外经验, 因为城市规划往往是超前性较大, 故预测数据向高突破较少; 而城市中各种交通的竞争性和票价定位的适当与否, 却对客流造成的波动影响很大。所以, 客流风险正值取 10%、负值取 - 30% 是比较符合实际的, 作为基本风险的波动范围是比较恰当的。

实际经验告诉我们, 初、近期和远期的列车编组应采用不同长度的列车编组方案是值得推广的设计思路: 使初近期运行的短列车, 尽可能采用提高运行密度的方法提高运能, 跟随实际客流的增长, 直至达到最大运行密度。如果实际客流小于预测值, 可以延缓长列车投入运行, 这样既不降低运行服务水平, 又能充分发挥运营效益, 这是最好的抗风险设计。

2) 对突破性风险的转移性设计

上述抗基本风险设计是作了限定条件的。如果突破了限定条件, 就叫突破性风险。那么是否会产生更大的风险, 这是人们所关心的重要问题。因此, 对突破性风险必须进行风险转移设计——“削峰”设计, 是一种在特定条件下的合理设计和措施。

系统的设计运能是按全线高峰小时单向最大断面流量值来决定的。但是在全线各区间的高峰小时断面流量不是相同的。因此我们可以按上、下行分别列出第一、第二、第三的高峰值, 并再将其余的断面流量按不同的运量级进行分段划分, 可以得到各段运能的储备系数。根据系统能适应的最大运能为界线, 对突破的客流进行“削峰”设计。

“削峰”设计是仅限于对个别或少数的尖峰客流的处理。例如: 某条线路的上行方向高峰单向断面最大流量为 3.50 万人次/h, 第二高断面为 3.40 万人次/h, 第三高断面为 2.98 万人次/h; 下行方向高峰单向断面最大流量为 3.00 万人次/h, 第二高断面为 2.81 万人次/h, 第三高断面为 2.67 万人次/h。如果以大于 3 万人次/h 为突破界线, 可见突破 3 万人次/h 的断面仅需对上行方向两处尖峰客流进行“削峰”设计。经过站间 OD 客流的分析, 利用票价上浮的敏感效应, 对于经过尖峰的部分短途客流实现“自动”转移, 达到“削峰”设计目的, 使新的高断面客流与运行通过能力相适应。但是这种风险转移的做法, 对于转移量是要得到严格控制的。

如果客流高峰全线大部分区间有较大的突破, 则无法进行“削峰”设计。这说明线路运能已经饱和, 也许应该新建其他规划线路来实现分流, 也许应该对系统“潜在运能”再次开发。这种情况实际上是对未来的远景年可能发生的估计, 可能对现有运营设备(主要是信号系统)需要进行全面升级改造和开发。由于近年来技术上不断的改进和创新, 尤其是信号系统发展较快, 列车运行间隔时间还可能减小, 使列车运行通过能力得到继续提高。这就要开发系统的“潜在运能”以适应新的运量需要, 这是可能的, 也是有限的。

5 小结

本文对客流预测的风险性做了有限性和突破性分析, 提出了可信性评价的要点, 采取了面对现实的观点, 创建了抗风险设计的理念; 对运能设计提出了的适应性和转移性(削峰)的抗风险措施, 使客流预测的数据与运营能力设计之间具有较大适应弹性。对于轨道交通运营组织采取分期设计很重要, 其中如何分别确定初、近期和远期的车辆编组和行车密度至关重要。总之, 在远期运营系统设计时, 必须充分考虑客流预测的风险, 做好抗风险的适应性分析是十分必要的。但是, 如何使客流预测提高可信度, 仍然是需要努力攀登的永无止境的高峰。

地铁路网规划的多目标综合评价

易思蓉

摘 要 根据地铁路网规划和设计的特点,拟定统一的方案评价指标体系。并针对目前大多数多目标综合评价方法不适用于解决地铁路网规划和设计方案评选问题,提出了一种顾及方案偏好信息的多方案多目标灰色关联度决策模型。

关键词 地铁路网规划,设计方案,综合评价

1 引言

地铁建设的工程技术问题目前在我国已得到了较好的解决。真正制约城市地铁发展的因素则来源于经济性问题。地铁建设投资巨大,往往一个地铁车站就需要耗资人民币十几亿元。因此,节省造价已成为当前地铁开发与建设中的热门课题。在地铁路网规划和线路设计方案比选中,也往往偏向于选取地铁工程投资省的方案。这就难免导致

在规划和设计方案选择时片面强调选择节省工程成本的建设投资方案,而忽视了因地铁建设导致的以前和未来城市建设的投资。比如,在地铁设计中采用明挖方案比暗挖方案可以节省大量的工程投资。但是明挖方案将导致破坏已建设好的城市建筑和景观、中断交通等,而且地铁建设完成后,重新恢复城市的地面建设、景观建设和环境绿化需要大量的投资和较长的时间。因此,地铁规划与设计方案的经济性评价,应在综合分析各项影响因素的基础上综合进行。

在研究城市地铁路网规划方案时,应从城市地铁交通的费用效益和自身的特性角度出发,构造城市地铁路网规划的层次模型,利用层次分析原理并结合各城市具体情况,得到适宜、投资小、效益大的地铁路网规划方案^[1]。

易思蓉:西南交通大学土木工程学院,教授,成都 610031

Evaluation and Anti - risk Design of the Flow Prediction in Urban Mass Transit

Shen Jingyan

(Beijing Urban Engineering Design & Research Institute, Beijing 100037)

Abstract Flow prediction is an important item in the construction of rail transit. This article illustrates the objective and contents of the prediction, analyses the difficulties and risks, poses the essentials of the reliability evaluation, and proposes a fluctuation for the prediction. Based on the real situation, this paper establishes a theory of anti - risk design by analyzing the limitation and breakthrough of the risks in flow prediction, then puts forward some fitting and transferable measures to protest the risks, which can add the flexibility between the prediction and the operation capacity designed. The author holds that, for the operation in urban mass transit, it is beneficial to design by stages, especially to determine the train - frame and driving frequency in the initial - stage, the short - term as well as the long - term separately.

Key words urban mass transit, flow prediction, reliability evaluation, operation capacity designed, anti - risk design

(收稿日期:2002 - 05 - 23)