

轨道交通客流预测影响参数讨论

陈必壮 王忠强 王 祥

(上海市城市综合交通规划研究所,上海 200040)

摘要:基于国内16个城市轨道交通客流预测,展开对轨道交通客流预测影响参数讨论。总结轨道交通客流预测参数存在的问题,分析了人均出行率、交通结构、高峰小时系数、行车间隔对轨道交通客流预测的影响特征及其取值规律。

关键词:轨道交通;客流;预测参数

1 轨道交通客流预测的概述

按照建设阶段的不同,轨道交通客流预测大致可以分为网络规划阶段的客流预测、线路预工可阶段的客流预测、预工可后线路延伸或调整进行的客流预测补充分析。线路预工可阶段的客流预测工作有的划分方法是以建设规划阶段和工可阶段客流预测来区分。近30年来,无论是城市轨道交通还是沟通城郊的区域轨道、城市之间的城际轨道、磁悬浮交通都在进行客流预测,铁路运输每当新线建设也要进行运量预测。客货运量预测是我国交通建设项目规定的必须进行的技术工作。

2006年受北京交通发展研究中心委托,中咨公司组织了全国主要技术力量对轨道交通客流预测技术理论方法进行了专门研究,该研究在2007年初完成。同年上海轨道交通部分线路投入运营,关于轨道交通客流预测后评估也进行了有关研究工作。从预测结果和实际对照来看,城区部分线路预测的精度要高于郊区区段的线路,关于线路总量指标的预测精度要高于细化指标的预测。对客流预测参数标定方法、取值以及城市整体交通模型完善是今后轨道交通客流预测的两个发展方向。此外,随着线路逐步运营,针对线路建成后的短期范围内,例如一年或者更短时间范围内的客流预测也在逐步开展中。本文主要讨论线路预工可阶段客流预测,针对轨道交通客流预测中的若干参数进行讨论。

2 轨道交通客流预测参数存在的问题

轨道交通客流预测参数归结为两大类:一是关于预测工作开展的基础类参数,其作用是设定或确定社会经济背景和预测环境;另一类是居民出行预测,其作用是得到全市交通需求情况,得到轨道交通客流预测结果。目前轨道交通客流预测参数存在的主要问题是:

(1) 经济社会的迅猛发展导致外部参数的取值与实际有很大偏差。轨道交通客流预测时很多这方面的参数都直接引用城市总体规划,而总体规划的编制本身是一个过程,往往许多变化都突破了城市总体规划,包括人口、经济增长等。

(2) 调查基础数据不够全面或者质量不高,导致参数选择不合理,基础数据的取值影响了轨道客流预测的参数标定。许多城市交通调查的内容不全面、样本量较小,不能全方位反映城市综合交通体系的总体特征。

(3) 轨道客流预测内部参数的取值与实际差别大。由于多方面的原因,轨道初期实际运营间隔大多都低于预测中的设定。如高峰小时列车间隔、运营速度、列车编组、票价水平等。

3 人均出行率参数讨论

3.1 预测中使用的现状人均出行率

依据资料对 16 个城市在客流预测中使用的现状人均出行率统计。从现状人均出行率来看,各城市人均出行率在 1.84~3.06 次/日间,石家庄和珠海的人均出行次数大于 3 次,扣除这两个城市,各城市人均出行率在 1.84~2.88 次/日之间,平均值为 2.32 次/日。

城市规模对出行率的影响。一般认为城市建成区面积越大,居民出行距离越长,相应的居民中午较少产生回家及上班的工作出行,所以出行率相对较低。而城市越小,居民出行率相对较高,从统计来看,石家庄和珠海反应了这一特点,而北京、上海的人均出行率统计低于上述 16 个城市的平均值也说明了这一点。

季节对出行率的影响。哈尔滨调查夏季出行率为 2.2 次/日,而冬季为 2.02 次/日。说明在北方城市,冬夏季节由于气温差异大,气候对居民出行具有一定影响。

经济发展、机动车拥有量及人口规模均对人均出行率有一定影响,但没有普遍规律可以遵循,需要根据城市历年的发展和调查数据具体分析。

3.2 人均出行率的地域分布规律

人均出行率指标在交通预测四步骤的第一阶段,在交通发生量预测中使用。上海 1986 年人均出行次数 1.79 次/日,1995 年人均出行次数 1.95 次/日,2004 年调查人均出行次数 2.21 次/日。在上海远期交通预测中采用 2.65 次/日指标进行预测。其中中心城区人均出行率指标达到 2.93 次/日。从调查可以看到,1986 年调查郊区人均出行率低于市区,而 1995 年郊区高于市区,在 2004 年调查中郊区又低于市区。

1986—2004 年,二十年间上海郊区发生的变化是,近郊区逐步融入市区,成为中心城的一部分,而远郊区城镇集中发展的程度得到提高,所以郊区出行城市化的特征有所表现。而 1995 年上海郊区还存在大量的中午回家休息再上班的现象。所以郊区出行率高于市区。而 1986 年由于城镇发育程度较低,本身经济活动不强,郊区就低于市中心区的出行率。国内城市在远期出行量预测中,可以参考这一调查所体现的规律。当出现郊区出行率大于市区的情况,应当注意分析具体原因。

3.3 人均出行率的发展趋势

根据统计资料,规划年 14 个城市的平均出行率为 2.47 次/日,相比现状得到的统计数据,提高 0.15 次/日(扣除深圳机动化出行率的统计),人均出行率的变化为 2.17~2.91 次/日。显然随着城市规划的逐步实施,人均出行率呈上升态势。

关于人均出行率的变化,研究表明出行率将呈现“S”型曲线,上升速度先快而后慢。从上海实际的三次调查来看。1986 年 1.79 次/日,1995 年 1.95 次/日,2004 年 2.21 次/日。1986—1995 年增长率为 0.96%,1995—2004 年增长率为 1.4%,上海正处于速度加快的时期。2020 年上海人均出行率 2.65 次/日,2004—2020 年增长率为 1.14%。由于轨道交通客流预测涉及线路建成后第 10 年和第 25 年的预测。人均出行率的变化可以参考上面所表现的规律测定。

此外,人均出行率还要考虑交通设施的变化。由于轨道交通的大量建设,城市交通结构将可能发生重大变化。在出行率测定时,还要考虑远期城市交通结构出现的可能性,所以人均出行率还与交通结构有密切关系。也就是说,人均出行率和交通结构还有一个协调的过程。

4 交通方式结构参数讨论

交通预测的四步骤方法中,方式划分模型模拟的就是居民出行结构的变化。同时在交通发展战略研究中最根本的就是对待各种交通方式的态度,具体体现在对城市交通系统中各种交通方式结构的规

划、预测和控制中。方式结构参数是模型的中间计算结果,通过城市出行总量确定城市公共交通出行量,进而确定轨道交通出行量。所以,交通方式结构参数直接决定公共交通总量规模,也对轨道交通客流总量产生影响。

4.1 现状交通方式结构

现状交通结构中,按照公共交通比重划分为几个级别。

公交比重较高,达到 40% 以上的城市:大连;

公交比重在 25%~35% 之间的城市:广州、重庆、西安、哈尔滨、乌鲁木齐 5 个城市;

公交比重在 15%~25% 之间的城市:北京、上海、杭州、沈阳、武汉、长春 6 个城市;

公交比重在 15% 以下的城市:厦门、石家庄 2 个城市。

从这一分析来看。我国城市公交出行比重大多在 15%~35% 之间,16 个城市的公交比重平均值为 26% 左右。

对客车及其他方式结构的分析,扣除深圳统计数据。客车及其他交通方式比重中:

25% 以上的城市为上海;

20%~25% 之间的城市为北京、厦门;

15%~20% 之间的城市为广州、长春;

10%~15% 之间的城市为大连、西安、沈阳、哈尔滨、武汉;

10% 以下的城市为:杭州、重庆、乌鲁木齐和石家庄。

14 个城市的客车及其他方式结构平均为 14% 左右。结合公交方式比重的比较可以列表如下。

表 1 方式结构分析表 (单位:%)

客车及其他 公交	25% 以上	20%~25%	15%~20%	10%~15%	10% 以下
	40% 以上	大连			
25%~35%	广州 西安、哈尔滨 重庆、乌鲁木齐				
15%~25%	上海	北京	长春	沈阳、武汉	杭州
15% 以下	厦门 石家庄				

由于客车及其他和公交两种方式反应了城市的机动化水平,在不考虑方式结构统计地域差别的情况下,根据这一分析可以将所分析的 15 个城市大致分为几个类别。

第一类城市:机动化水平高、公交比重也高。目前还没有一个城市。

第二类城市:机动化水平高、但公交比重低,或公交比重高但机动化水平不高的城市。北京、上海、广州、长春为此类城市。

第三类城市:机动化水平低、公交比重不低,或机动化水平不低,公交比重低的城市。大部分城市为这一类别。

第四类城市:公交和机动化水平都低的城市。这类城市的慢行交通方式比重较高。

对城市现状交通结构的认识,对于判断城市交通系统目前的状态,合理预测未来城市发展方向具有参考意义。当城市交通结构发生级别跳跃时,要注意加强分析,寻找切实的支撑依据。

4.2 交通方式结构的变化趋势

交通是一个系统,单一交通方式的过度发展都会带来各种各样的交通问题。公交方式比重奇高而客车比重低,城市的运转效率不一定高。而客车方式比重奇高,公交比重极低只会带来对道路资源的过度使用。这都不是城市交通的发展方向,通过轨道的建设应当引导城市交通发展形成一个合理、健康引导城市发展、保证城市运转效率的交通运输系统。

以 2020 年为标准统计口径(沈阳、厦门只有预测到 2010 年的数据),在预测中 2020 年(大多为城市总体规划确定的远期规划年限),我国 14 个城市的公交比重在 27%~54%之间。低于 30%的城市有沈阳、长春两个城市,高于 50%的城市有大连,西安为 49%,40%以上的有北京、广州、重庆、哈尔滨四个城市,其余上海、杭州、苏州、厦门、武汉公交比重为 30%~40%间。相比现状的交通方式结构,各城市的公交方式比重都有比较大的提高。

客车方式各城市平均值为 20%左右,相比现状提高了 5 个百分点左右。说明这一交通方式也在提升,只是提升的速度要低于公交提高的速度。

在客车和公共交通等机动交通方式提升的同时,慢行交通方式呈现明显下降的趋势。

上面的分析说明各城市基本上的交通走向是发展公共交通,适度发展客车方式,降低慢行交通的比重,慢行交通将向公共交通方式转变。

根据资料统计世界 7 大城市主城区机动化出行方式构成如下表。为便于比较,考虑机动化出行在全方式出行中比重为 40%、60%及 80%情况下的公交比重计算也列于表中。从计算可以看到,唯有当机动化出行比重占总出行比重的 80%时,仅东京和墨西哥城两个城市主城区公交比重超过了 51%,其余均在此比例之下。当机动化出行比重占总出行比重为 60%或 40%时,公交出行在总出行中的比重均在 50%以下。

表 2 大城市主城区机动化出行方式构成分析表 (单位:%)

城市	客车 1	地铁/铁路 2	公共汽车 3	其他 4	公共交通 5=(2+3)	机动化比重	机动化	机动化
						40%时的 公交比重 (5 * 0.4)	比重 60%时 的公交比重 (5 * 0.6)	比重 80%时 的公交比重 (5 * 0.8)
伦敦	64	19	13	4	32	12.8	19.2	25.6
纽约	51	29	15	5	44	17.6	26.4	35.2
巴黎	65	26	9		35	14	21	28
东京	27	58	6	9	64	25.6	38.4	51.2
汉城	30.7	30.8	29.5	9.1	60.3	24.12	36.18	48.24
圣保罗	47.3	11.5	39.3	0.9	50.8	20.32	30.48	40.64
墨西哥城	18.3	13.4	68.3		81.7	32.68	49.02	65.36

参考《综合交通规划》上海市城市综合交通规划研究所资料。

国外城市的例子计算说明,城市公交出行比重达到 50%及以上是比较困难的。所以,轨道交通客流预测中远期公交出行比重当超过 50%时需要谨慎分析,找出切实的支撑依据才能作为预测中的技术参数。

4.3 上海交通结构的变化

上海在 1986 年、1995 年、2004 年三次比较大规模的交通调查中得到了居民出行方式结构的三个结果。从中可以得到方式结构的变化趋势。步行方式逐步下降,自行车方式比重也在下降,公共交通经历了下降而后缓慢上升的过程,这与 1995 年以来城市轨道交通加大建设力度和城市建成区面积拓展有密切关系。客车方式比重有比较明显的上升,这也是许多城市共同的经历。

从这一实例说明随着城市经济发展和城市建成区面积的扩大,客车交通方式比重会有比较大的提升。而公共交通增长却是一个比较缓慢的过程。在轨道客流预测中需要合理把握公交和客车交通二者的关系,合理确定公交比重。

由于道路资源有限,高峰时间客车交通一般会出现拥堵现象,特别是城市中心地带,导致工作出行准时性降低,居民工作出行自然会向轨道交通这一快速、准点的交通方式转变。所以客车比重上升也有一个限度。而慢行交通难以承担长距离的通勤出行,特别是经济发展逐步提高的情况下,慢行交通将向中短距离或者轨道交通方式的接驳转变,最终稳定在一个水平上。

5 轨道客流预测高峰系数讨论

轨道客流预测高峰系数包括全线运量的高峰系数、断面流量的高峰系数和站点上下客的高峰系数,再区分早晚,有早高峰和晚高峰系数。由于设计的主要依据是高峰客流,所以高峰系数的选择关系设计规模的大小。

5.1 我国城市轨道交通预测中的高峰系数

共统计了 12 个城市不同阶段轨道客流预测中使用的高峰系数。

(1) 运量高峰系数及变化趋势

初期运量高峰系数为 0.116 2~0.255,平均为 0.159 1;近期运量高峰系数为 0.11~0.216,平均为 0.144;远期运量高峰系数为 0.11~0.216,平均为 0.146;从计算来看,初、近、远的运量高峰系数呈下降趋势。

(2) 早晚运量高峰系数的差异

将初、近、远的晚高峰系数与早高峰系数相比,计算表明,初期晚高峰为早高峰的 72%~90%,平均为 84%;近期为 68%~93%,平均为 85%;远期为 65%~98%,平均为 85%。晚高峰普遍比早高峰低。

初期—近期—远期,对于晚/早的变化趋势却没有统一的规律。

(3) 断面客流高峰系数及变化趋势

对于断面高峰系数。初期高峰系数为 0.13~0.17,平均值为 0.151;近期断面高峰系数为 0.13~0.16,平均值为 0.144,远期断面高峰系数为 0.13~0.21,平均值为 0.14;从计算来看,初、近、远的断面高峰系数也呈下降趋势。

(4) 早晚高峰断面高峰系数的差异

将初、近、远的晚高峰系数与早高峰系数相比。晚高峰系数低于早高峰系数。晚高峰系数约为早高峰系数的 90%以上。

(5) 断面客流高峰系数与运量高峰系数的差异

从沈阳和西安的预测统计数据来看,断面客流高峰系数大于运量高峰系数。

轨道预工可客流研究主要解决线路建设必要性、建设范围和运营交路设计问题,所以线路客流只研究一个高峰就可以满足设计要求。但在线路工可研究阶段,需要确定车站及其设备的规模,所以需要预测早、晚两个高峰的客流。从所统计城市的资料来看,在预测要求和预测内容上,国内城市轨道交通预测还没有统一。

5.2 上海地铁实际运营的高峰系数

依据上海地铁运营数据和 2004 年交通调查数据分析上海地铁客运量和断面高峰系数体现的规律。

(1) 分析的原始数据

选择了 2003、2004、2006 三个年份,共三个工作日的客流数据进行计算,计算结果列表如下。

表3 上海地铁运营数据计算表

运量高峰系数								
	2003(3.1)		2004(9.13)			2006(12.26)		
	1号线	2号线	1号线	2号线	3号线	1号线	2号线	3号线
早高峰	0.124	0.151	0.136	0.168	0.150	0.112	0.131	0.140
晚高峰	0.097	0.110	0.100	0.120	0.097	0.101	0.129	0.105
晚/早	78%	73%	74%	71%	65%	91%	98%	75%
断面高峰系数								
早高峰	0.207	0.159	0.236	0.181	0.242	0.210	0.173	0.228
晚高峰	0.109	0.134	0.134	0.133	0.163	0.134	0.141	0.165
晚/早	53%	84%	57%	74%	67%	64%	81%	72%

(2) 运量高峰系数及变化趋势

地铁1号线早高峰运量系数为0.112~0.136之间,2003—2006年呈先升后降的趋势;晚高峰运量系数为0.097~0.101之间,2003—2006年基本稳定在0.10左右;地铁2号线早高峰运量系数为0.131~0.168之间,2003—2006年呈先升后降的趋势;晚高峰运量系数为0.110~0.129之间,2003—2006年呈上升趋势。从三个年份的数据来看,运量高峰系数均在0.2以下,最高为0.168。结合全国城市客流预测中所使用的数据,运量高峰系数呈下降趋势与上海地铁数据所表现的规律基本吻合。

(3) 早晚运量高峰系数的差异

三个年份中运量早晚高峰系数的差异在逐步减少。2003年为75%左右,2004年为70%左右,2006年为88%。

(4) 断面客流高峰系数及变化趋势

地铁1号线早高峰断面系数在0.207~0.236之间,三个年份变化趋势为先升后降,在20%左右变化。晚高峰系数为0.109~0.134之间;地铁2号线早高峰系数在0.159~0.181之间,三个年份变化趋势也为先升后降,晚高峰系数在0.133~0.141之间。结合全国城市客流预测中所使用的数据,断面高峰系数呈下降趋势与上海地铁数据所表现的规律也基本吻合。

(5) 早晚高峰断面高峰系数的差异

1号线三个年份中早晚高峰断面高峰系数比为53%~64%之间,而2号线为74%~84%之间,2号线早晚的差异比1号线要小。从1、2号线的这一数据来看,二者的差异比例值要小于90%。

(6) 断面客流高峰系数与运量高峰系数的差异

从计算来看,显然断面客流高峰系数值明显大于运量高峰系数值。结合上海实际的运营数据,在轨道交通客流预测的高峰系数应注意:

运量高峰系数和断面高峰系数是两个不同的数值,一般而言断面高峰系数会大于运量高峰系数。随着预测年限的变化,这两个系数都呈下降的趋势。早晚高峰中,无论是运量峰值系数还是断面峰值系数,一般晚高峰低于早高峰。此外,站点上下行方向上下客量的高峰系数和全线运量高峰系数以及高断面客流高峰系数也是几个不相同的概念。一般而言,线路两端居住区附近的站点早高峰系数较大,呈现出工作客流的特点,而中心区商业中心的站点,客流呈现逐步累计的特点。全线运量高峰和断面高峰都由站点上下客量高峰而确定。

6 行车间隔影响

行车间隔的变化直接影响线路运能的供给,一般而言一日行车中,高峰时间的行车间隔最小,线路的运能配置最大,而非高峰时分行车间隔增大,运能配置缩小。线路运能的配置是不连续的一条折线。而客流量的变化则是一条连续的曲线。当运能大于客运需求时,线路的客流需求不受抑止,需求处于正常的增长状态,而当运能小于客运需求时,需求受到抑止。

在一日客流量变化中,高峰时段的运量最有可能受到运能的影响。将行车间隔的变化和运量的变化以百分数表示,二者相比较得到单位行车间隔减少对运量的影响程度曲线。

从1号线运量和行车间隔变化的相互关系来看,当行车间隔不断缩小对于运量增长影响逐步减少,在4 min前后对于运量的影响有较大的差异。当运营间隔大于4 min时每缩短间隔会有比较大的运量增长。而当运营间隔小于4 min后,每缩短运营间隔仍然会有运量的增长,但增长幅度不如大于4 min前的影响程度。

从3号线运营间隔和运量增长相互关系曲线来看,本线运量和行车间隔的弹性系数呈下降趋势。2003年到2004年运营间隔从7.5 min下降到6 min,其弹性系数从2.59下降到0.9,说明运力的上升对运量的增长并不十分显著。

从目前地铁运营的数据来看,在大于4 min运营间隔的情况下,增加1 min对客运量的影响在20%~30%间;如果行车间隔更大,对客运量的衰减呈放射状影响,客流量衰减幅度更大。这些分析表明,在保证线网建设能如期完成的同时,应当注意保证线路运营的运力供给水平,只有当轨道线路形成一定规模的运力供给时,线路的客运效益才能如期发挥,相应的投资才可能产生效益,否则巨额的建设投资得不到相应的客流效益,无疑形成巨大的浪费。

本次研究基于我国16个城市轨道交通客流工作开展,但考虑到城市区位、规模大小、形态结构、自然条件不同,其所得到的研究结论不能完全应用于所有城市,其中,理论和技术方法可作为研究的依据,主要参数研究则可供相关研究参考。

7 结论及应用条件

基于国内城市建设轨道交通预工可客流预测和上海城市轨道交通运营客流的研究,对城市轨道交通客流预测影响参数进行讨论。

由于社会经济环境、城市规划等因素变化较快,交通调查不够全面,加上其他方面的原因,目前轨道交通客流预测外部参数及内部参数取值与实际有很大偏差。

一般认为城市建成区面积越大,居民出行距离越长,出行率相对较低。而城市越小,居民出行率相对较高。季节对出行率也有一定影响。当出现郊区出行率大于市区的状况,应当注意分析具体原因。人均出行率的增长速度与城市经济发展呈现出先增后降的关系。人均出行率需要与交通结构相适应。

轨道交通客流预测中远期公交出行比重当超过50%时需要谨慎分析,找出切实的支撑依据才能作为预测中的技术参数。随着城市经济发展和城市建成区面积的扩大,客车交通方式比重会有比较大的提升,公交比重上升速度相对缓慢。慢行交通在经济发展逐步提高的情况下,将向中短距离或者轨道交通方式的接驳转变。

运量高峰系数和断面高峰系数是两个不同的数值,一般而言断面高峰系数会大于运量高峰系数。随着预测年限的变化,这两个系数都呈下降的趋势。早晚高峰中,无论是运量峰值系数还是断面峰值系数,晚高峰一般低于早高峰。此外,站点上下行方向上下客量的高峰系数和全线运量高峰系数以及高断面客流高峰系数各不相同。一般而言,线路两端居住区附近的站点早高峰系数较大,呈现出工作

客流的特点,而中心区商业中心的站点,客流呈现逐步累计的特点。全线运量高峰和断面高峰都由站点上下客量高峰而确定。

从目前地铁运营的数据来看,在大于 4 min 运营间隔的情况下,增加 1 min 对客运量的影响在 20%~30%间;如果行车间隔更大,对客运量的衰减呈放射状影响,客流量衰减幅度更大。在保证线网建设能如期完成的同时,应当注意保证线路运营运力供给水平,只有当轨道线路形成一定规模的运力供给时,线路的客运效益才能如期发挥。

参 考 文 献

- [1] 城市轨道交通客流预测技术、理论、方法研究. 中国国际工程咨询公司,2007
- [2] 上海城市轨道交通线网建设近期效益分析. 上海市城市综合交通规划研究所,2005