线路客流预测分析与运营组织设计

沈景炎
(北京城建设计研究总院 北京 100037)

摘 要 从运营需要出发,提出客流预测的年限和内容;通过对客流量级的阐述,分析客流预测三级数据,确定运营的规模;根据 OD(起讫点)客流分析来研究行车交路,做出满载率和拥挤度的评价;最终确定车辆编组与行车密度的合理组合,形成系统全面的技术方案,使客流预测更好地为运营组织服务。

关键词 城市轨道交通 客流预测 运行组织 舒适度 拥挤度 满载率

1 客流预测年限与内容规定

1.1 线路客流预测范围和年限

(1) 在确定线网中各条线路的建设时序后,在项目可行性研究阶段,尽管一条线路可能分期建设,但客流预测必须在全线规划长度范围内全面测试。

(2) 预测年限应与设计年限相同,分为初期、近期和远期,取各期的最后一年。以项目建成通车年为基准年,初期为建成通车后第 1年至第 3年——客流的培育期;近期为建成通车后第 4年至第 10年——客流发育期;远期为建成通车后第 11年至第 25年——客流成熟期,届时城市的人口、岗位和建设规模已趋稳定,线网建设也基本完成,客流路线和流量基本稳定。

(3) 当一条线路分期立项时,后期立项建设的设计年限应按后期项目建成通车年为基准年,由此重新推定初、近、远期的设计年限,并必须对全线范围的客流重新预测。

1.2 线路客流预测内容和用途

1.2.1 线网客流

在轨道交通建设的漫长过程中,线网规划往往会随城市总体规划而动态调整,因此应注意全线网规划客流对各条线路的全日客流总量的控制和平衡,避免单线预测的量值偏大。

收稿日期: 2007-02-27
作者简介: 沈景炎,男,原副院长,教授级高级工程师

1.2.2 全线客流

(1) 全日客流量:是评价客运效益的直观数据。

(2) 各小时段的客流量及其比例:是指导全日行车计划的依据,是计算全日发车列数、满载率和运营成本(车·km)的基本依据。进行不同时段、不同发车密度的设计,既要满足预测的客运需求,又要保证最小的运行密度。

(3) 平均客流负荷强度:是评价客运效益的重要指标。把全日客流分摊在全线,以万人次/km为单位,使不同长度的线路具有可比性,有利于定性分析客运效率。

(4) 全日各级运距的乘客量:是计算效益和制定票价的重要数据。根据车站的平均站距,划定全日中每 2～3 km的等级运距来分级预测乘客量。

(5) 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重要指标。一般平均运距相当于全线长度的 1/3～1/4,否则应做特殊情况分析。

1.2.3 车站客流

(1) 全日早、晚高峰小时的各车站上下行的乘降客流:是计算车站站台、楼梯的宽度和自动扶梯数量的直接数据。

(2) 站间断面流量以及相应的超高峰系数:是对运营规模、列车编组、发车密度、舒适度和满载率计算的直接数据。

(3) 具有突发客流的特殊车站:是大型集会场所附近的车站。应予重视和估计,提出限时疏散要求,需做特殊的行车组织方案。

1.2.4 OD客流

OD(起讫点)客流包括全日、高峰小时的各车站站间 OD表。对于跨越不同区域的线路,应进行各区域间的大 OD客流预测,做好客流特征分析,对行车交路设计具有重要的导向作用。

1.2.5 换乘客流

(1) 换乘客流包括全日和高峰时段各换乘车站的换乘客流量及所占车站总客流量的比重。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2) 换乘客流应有各个方位、所有方向的分向客流分析。

在换乘客流大于 50%时,应进一步分析线路规划的地位和主要换乘方向,研究换乘客流的特征和合理的换乘方式。

1.2.6 出入口分向客流

出入口分向客流包括各个车站出入口不同高峰时段的分担客流 (在初步设计阶段,须车站出入口稳定后)。研究主要出入口位置、流量及不平衡系数,为进一步研究与地面交通衔接的合理位置提供参考。

2 运营规模与最大断面流量

2.1 客流预测的量级概念

客流预测的数据是一个定性、量化的数字,在实际应用中,应注重数字的量级。所谓“量级 ”,是为运能设计定位,可根据所选用的车辆、编组长度、定员和发车密度而定。“精度 ”对“量级 ”无多大影响,按 0.1万人次即可。例如:对车站上下车人数的预测数据分析,6辆 A型车,单侧 30个车门,在高峰时段运行 30对 /h时,若每车门上车数差 1人,则总误差为 900人;若差 2人,总误差为 1 800人。因此,预测每小时客流误差 1 000～2 000人是可以接受的。

2.2 客流预测与规模的选定

(1) 按《地铁设计规范 》规定,设计运能应满足全线远期高峰小时最大断面流量需要。

(2) 在实际设计中,从全线各站间客流断面分析,最大断面流量的区间仅出现在全日的 1 h中,在 1 h中仅出现在上下行方向中的一个方向上,在一个方向上仅出现在一个区间中。可见,从概率和效益分析,以高峰小时最大断面流量来控制运营规模是不尽合理的。

(3) 设计运能是由车辆编组、定员和运行密度组合决定的,每一种组合的运能级差较大。例如,B型车、30对 /h的运能配置,不同车辆编组的量级中所表示出的每一个量级差为 7 500人次 /h; 24对 /h的量级差为 6 000人,20对 /h的量级差为 5 000人 (见表 1)。可见,运能配置量级差较大,客流预测的值不可能与其完全吻合。

(4) 在实际设计中,发现有两种尴尬的现象 (见表 2)。第一种情况是最大峰值与第二、第三峰值相差较大,甚至不在一个量级; 第二种情况是最大峰值处于两个量级之间,而且靠近较低的量级。

表 1 B型车系统的运能配置

列车编组 / (辆 /列)		6		5		4
列车定员差值 / (人 /列)		1 460		1 210		960
			250		250	
设计运能 / (人次 /h)	30	43 800		36 300		28 800
			7 500		7 500	
	24	35 040		29 040		23 040
			6 000		6 000	
	20	29 200		24 200		19 200
			5 000		5 000	

表 2 客流预测与量级选择

B型车	第一种情况: 在不同量级上			第二种情况: 在两级运量之间		
30对 /h 站席 6人 /m²	客流预测 / (万人 /h)	6辆编组 运能 4.38万人 /h	5辆编组 运能 3.63万人 /h	客流预测 / (万人 /h)	6辆编组 运能 4.38万人 /h	5辆编组 运能 3.63万人 /h
单向第一高峰	4.1	94%*	113%	3.7	84%*	102%*
单向第二高峰	3.3	75%	91%*	3.5	80%	96%*
单向第三高峰	3.2	73%	88%	3.4	78%	94%
平均满载率		低	高		低	高

* 实际设计中所选择的量级

2.3 分析与讨论

(1) 若以第一高峰 (4.1万人 /h和 3.7万人 /h)确定设计规模,应采用 6辆编组方案,但满载率降低。

(2) 若采用削峰概念,则采用第二高峰值,可选用 5辆编组、30对 /h、3.63万人 /h的量级,对于可能出现的第一峰值,则有一个区间超员 13%和 2%的风险,但车辆的超载系数仍在 1.4以内,或占运能储备量的 10%～15%,这是合理的。

根据以上分析,当远期高峰小时同方向前三位的客流断面值相差较大且不在同一量级时,应根据客流特征,分析最大峰值的概率和行车组织方案,分析运营组织的经济性和合理性,必要时可采取“削峰 ”设计,合理确定设计运能。

客流预测是规划值,实际是在公交运量中的分担值,因此客流的量级应以宏观性、控制性为目标,不是绝对值,分担的比例也是可能动态调整的。而且,高峰小时最大断面出现的概率较低:在全线上下行方向、所有区间中、全天的 1 h中仅有一处。因此,合理的削峰设计是可能的。

在实际中有两种情况:一是削峰量控制在 14%内,这样在运能储备的范围内是安全的和可行的,特别对一个高峰断面的削峰,宜采用第二最大断面流量作为控制设计;二是如果削峰量大于 14%,超越了储备能

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

力,就必须限制客流,规避客流波动的风险,一方面采用票价政策调节客流,另一方面需依靠进站检票机控制进站客流,特别是对一个车站进站流量的控制,要避免站台候车人数过多。

客流预测的风险是必然存在的,运能储备是应对风险、减小风险的举措,但抗风险有个"适度"的问题,如何把握就要定一个原则和标准。

(3) 如何预留储备能力?原则上应该在不增加或少量增加投资的前提下,获得较为合理的储能。

根据轨道交通的运营特点,运能储备有两个方案:一是在土建工程上预留列车长度,即增加车站的站台长度;二是在信号系统上预留提高行车密度的方案,不增加列车长度和土建工程。两种方案比较,后者为佳,承担风险小,灵活性大,应属推荐方案。

在实际工程中,列车长度为 100～120 m,采用准移动闭塞信号系统,站后折返最大能力可达 33～34对/h。如果设计采用 30对/h,则预留 3～4对/h的储备量,储备系数达 10%～13%;若采用移动闭塞,能力还可以有所提高。所以,储备系数为 0.10～0.15比较适当,没有增加初近期的投资。

3 超长线路的行车交路与区域 OD 分析

城市轨道交通的线路长度一般控制在 35 km,不宜超过 40 km(如超过可视为超长线路),这样可以实现全程运行 1 h的目标。对于超长线路的运行组织,要充分注意运行的经济性、合理性和灵活性,必须对客流特征充分分析,最好的、最直观的就是采用"区域 OD"分析,如表 3所示。

将全线分为 5个路段地区分析,C、B、D为中心区,A、E为外围地区。从表 3中看出,各区域地段的 OD客流有明显差别。

表 3 区域全日 OD客流分析表

OD	A(外围)		B(中心区)		C(中心区)		D(中心区)		E(外围)		合计	
	万人次	%	万人次	%	万人次	%	万人次	%	万人次	%	万人次	%
A	4.09	83.0	0.37	7.6	0.30	6.0	0.15	3.0	0.02	0.4	4.93	4.0
B	0.35	1.8	8.67	43.2	6.96	34.7	3.96	19.8	0.11	0.5	20.05	16.5
C	0.28	0.7	6.50	15.7	16.01	38.5	17.88	43.0	0.87	2.1	41.54	34.1
D	0.15	0.4	3.94	11.3	17.15	49.0	3.67	10.5	10.07	28.8	34.99	28.7
E	0.01	0.1	0.10	0.5	1.01	5.0	9.19	45.4	9.91	49.0	20.23	16.7
合计	4.89	4.0	19.58	16.1	41.42	34.0	34.85	28.6	20.98	17.3	121.74	100
高峰断面客流/(万人次/h)	A: ≤0.23	B: 0.23～1.3		C: 2.0～3.5		D: 3.2～1.0		E: 1.0～0.3				

(1) A段线路:该段全日客流仅占全线客流总量的 4%,其中内部(A—A)客流占全日客流的 83%,说明该段线路对外客流很小,宜独立运行;而且,高峰小时单向最大断面流量甚小,与全线最大断面流量几乎相差 10倍,不属同一量级,全线贯通必要性不大。因此,采取两线换乘方式解决为宜。

(2) C、D段线路:明显表现为向心性的强劲客流,内部客流也占较大比例,高峰小时断面在同一量级,是全线运营的核心地段。

(3) B段线路:内部客流较大,约占全线比例的 43%;B—C具有较强劲的联系,但该区域与其他地区联系不大。

(4) E段线路:以内部客流为主,与市中心的 D段线路也具有强劲的联系,但往返客流的不平衡性较大。

通过上述分析得出结论:一是全线应分为两段运营线路,其中 A段宜设独立运营线路;二是 B—C—D—E段线路中,B、E内部客流甚大,分别与相邻的 C、D段联系较大,可以组成一条线路运行,但 B与 E间甚小,故宜采用嵌套式行车交路 B—C—D和 C—D—E(见图 1),并做进一步比较。

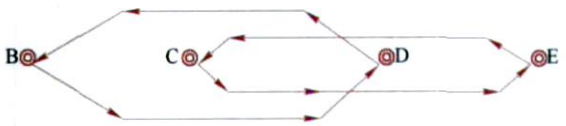

图 1 嵌套式行车交路

4 舒适度与满载率评价标准

列车运行要讲效益,就是要提高满载率;又要讲舒适度,就是要控制载客量。这是一对双向性指标,要研究两者兼顾的平衡性标准,需注意以下问题。

(1) 列车运行舒适度和满载率评价,必须以各年限高峰时段的全线客流断面为依据,对全线不同地段的客流断面逐一评价,即对每一个区间的载客量和满载率分别计算。以高断面区间为舒适度控制标准,以全线满载率为效益评价标准。

(2) 车辆的定员:要有一定比例的坐席,并控制站席的

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

拥挤度,以 6人 /m² 作为舒适性的控制标准,确定车辆定员。

(3) 车辆舒适度:主要对车内站席的拥挤度(人 /m²)进行评价,应做全线评价,不能只以一个区间最高拥挤度作为评价标准。既要注意最高拥挤度值的控制,又要注意最高拥挤度发生的时间段、区段数量和比例。

(4) 车辆满载率:可以按站席 3人 /m² 以下作为低拥挤度的标准,相应的满载率在 58%以下 (见表 4)。全线低拥挤度往往发生在线路两端的区间地段,其数量和比例应予控制,不宜过长。

表 4 B型车列车编组、定员、拥挤度与满载率的对比

B型车 30对 /h	拥挤度 /(人 /m²)	6	5	4	3	2	1	0
6辆 /列、256座	定员 /(人 /列)	1 460	1 260	1 058	858	656	456	256
	满载率 /%	100	86.3	72.5	58.8	45.0	31.2	17.5
5辆 /列、210座	定员 /(人 /列)	1 210	1 044	876	710	542	377	210
	满载率 /%	100	86.2	72.4	58.5	44.9	31.1	17.4
4辆 /列、164座	定员 /(人 /列)	960	828	694	562	428	297	164
	满载率 /%	100	86.1	72.3	58.5	44.7	30.9	17.1
平均满载率 /%		100	86	72	58	44	31	17
平均满载率差 /%		14	14	14	14	13	14	

在实际计算项目中,高峰时段运行列车的站席拥挤度为 5～6人 /m² 的区间,占全线上下行区间总量的比例基本都在 20%以内;而两端线路站席拥挤度大部分为 3～0人 /m²,各条线路情况不一,尚难找到规律性数据。若上述地段较长,可在保证规定服务水平的条件下,考虑调整列车运行密度,组织区域折返运行,以提高满载率。同时,需要思考在线路两端满载率甚低的地段,采取不同列车运行的方案更为经济。

表 4中的数据说明,站席拥挤度标准对满载率影响甚大,每差 1人 /m²,满载率相差 14%。为此,建议高峰时段既要保持一定的发车密度,又要保证良好的舒适度和一定的满载率,原则规定:

· 高峰时段发车密度:初期不小于 12对 /h(发车间隔 5 min),远期不小于 30对 /h(发车间隔 2 min)。

· 乘车站席拥挤度:全线高峰小时段,站席拥挤度为 5～6人 /m² 的区间不宜大于 20%;若在线路两端的区间、站席密度在 2人 /m² 及以下的地段,从表 4可知相应的满载率在 45%以下,此时可考虑列车组织大小交路,1∶1的中间折返运行,适当提高全线高峰时段的满载率。中间折返点以后的大交路地段,由于行车密度减小,满载率有所提高,个别区间的乘客站席拥挤度略有提高,但也不会超过 5人 /m² 的指标。

5 车辆编组、行车密度与拥挤度评价

在行车组织设计中,按规范规定,在全封闭线路上,远期高峰时段钢轮钢轨全封闭系统的行车密度不应小于 30对 /h,单轨胶轮系统不应小于 24对 /h。

但是,在实际工作中,往往遇到线网中各条线路客流预测的量级不一。如果采用相同的行车密度,则需采用不同的列车编组长度;当采用相同的列车编组长度,就有不同的发车密度。因此,必须面对现实,应从线网运营效益出发,从车辆运营管理、车辆维修资源共享的全局观念出发,给予一定的弹性规定,既要保持高密度的运行水平,又要控制运营成本。为此,提出 20%内的弹性幅度,即采用相同车辆制式的若干条线路宜经过论证,钢轮钢轨全封闭系统的发车密度不应小于 24对 /h,单轨系统的发车密度不应小于 20对 /h。因为 30对 /h(2 min)、24对 /h(2.5 min)、20对 /h(3 min)的行车密度,属于同一级的服务水平,基本没有差异,但需要进行乘客拥挤度 (人 /m²)评价。

以某条线路的 23个区间为例,按远期高峰小时各区间断面客流进行分析统计,归纳如表 5所示。

表 5 全线各区间站席标准百分比与列车编组

站席 /(人 /m²)			0～1	1～2	2～3	3～4	4～5	5～6
行车方向			上行 /下行	上行 /下行	上行 /下行	上行 /下行	上行 /下行	上行 /下行
列车编组	方案 1a 5辆 30对 /h	区间数 /个	2/2	2/2	2/2	7/8	3/2	7/7
		比例 /%	9/9	9/9	9/9	30/34	13/9	30/30
		总比例 /%	27/27			43/43		30/30
	方案 1b 5辆 32对 /h	区间数 /个	3	3	2	7	6	2
		比例 /%	13	13	9	30	26	9
		总比例 /%	35			56		9
	方案 2a 6辆 30对 /h	区间数 /个	2/2	3/3	7/7	2/2	9/9	0
		比例 /%	9/9	13/13	30/30	9/9	39/39	0
		总比例 /%	52/52			48/48		0
	方案 2b 6辆 26对 /h	区间数 /个	4	3	3	7	2	4
		比例 /%	17	14	14	30	8	17
		总比例 /%	45			38		17

在研究中,根据高峰小时线路全线区间断面客流预测数据 (见表 5),设计两种列车编组长度进行比较分析。

5辆 B型车编组方案 1a:站席密度 3～5人 /m² 的区

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

间占 43%,3人 /m² 以下的区间占 27%,而 5～6人 /m² 的区间占 30%。该区间站席密度大的比例过高(大于 20%),降低了乘客舒适度,不宜采用。需要增加车辆编组,或提高列车运行密度。

6辆 B型车编组方案 2a:站席密度在 5～6人 /m² 的区间未有出现,3～5人 /m² 的区间占 48%,而大部分(52%)区间在 3人 /m² 以下。实际上,全线运行列车的站席密度在 4～5人 /m² 以下时,满载率不高,运能资源利用不足,此时应减少车辆编组或列车运行密度。

上述两种方案均不理想,唯有调整运行密度,把站席密度 5～6人 /m² 控制在 20%以内。为了获得合理的运能组合,提出两个补充方案:

5辆 B型车编组调整为方案 1b: 32对 /h, 5～6人 /m² 为 9%,车站高峰小时通过的车辆数为 32对 /h ×5辆 = 160辆。

6辆 B型车编组调整为方案 2b: 26对 /h, 5～6人 /m² 为 17%,车站高峰小时通过的车辆数为 26对 /h ×6辆 = 132辆。

从以上运营经济性定性分析可知,同样运量,采用 6辆 B型车编组、高峰小时运营密度 26对 /h是经济的,作为推荐方案是合理的。

通过以上分析,研究了客流预测对轨道交通的运行组织、运营效益的关系。如何在设计中应用客流预测成果为轨道交通运营服务,是一个完整而系统的设计思维,需要继续探讨。

Analysis of Passenger Flow Prediction and Design of Operation Organization

Shen Jingyan

(Beijing Urban Engineering Design and Research Institute Co., Ltd, Beijing 100037)

Abstract: Time limits and contents of passenger flow prediction are proposed from the demands of operation. Extent of operation is determined through the description of passenger flow amount and the analysis of the three-class data of passenger flow prediction. Evaluation for the load factor and crowd degree is performed on the basis of OD (Origin and Destination) passenger flow analysis incorporating the study of traffic round trip. In the end, the reasonable combination of carriage composition with traffic intensity is determined, with the comprehensive technological scheme of the system formulated, so that passenger flow prediction can serve operation organization well.

Key words: urban rail transit; passenger flow prediction; operation organization; easiness; crowd degree; load factor

中国将加强地铁建设项目安全监管

中国国家安全生产监督管理总局和建设部联合发出了对北京地铁 10号线“3·28 重大塌方事故的通报,要求加强对地铁建设和地下工程建设项目的安全监管。

通报要求,完善地铁建设安全管理规章制度,规范地铁建设市场,强化全过程监管;督促地铁工程建设、勘察设计、施工、监理单位严格执行项目建设程序,自觉遵守规章制度。加强在建地下工程建设项目的安全监管,信息互通,联合执法。

通报强调,强化对地下工程特别是地铁工程建设项目的监督检查,重点抓好不良地质地段防坍塌、特殊地质地段防突水突泥沙工作,做好超前地质监测、预报等安全技术防范措施的落实。

摘编自 www.cometro.com
2007-05-08

轨道交通建设绝不能压缩设计和施工时间

5月 24日,北京市政府召开了轨道交通新线建设集中设计动员大会,市交通委、市规划委负责人以及相关委办局、管理单位和设计单位代表参加了会议。副市长陈刚表示,目前北京的轨道交通正处于超常规的建设期,今年市委、市政府提出了“保四争六”的轨道建设任务,时间紧,任务重。轨道交通设计要专家领衔,完善专家评审系统;集中设计,突出集体智慧,同时尽快开展样板车站设计工作。各有关委办局要压缩行政审批时间,甚至可以到集中设计的现场办公,但绝不能压缩设计时间和建设时间。

“保四争六”指的是在今年年底前,确保 9号线、10号线二期、8号线和亦庄线开工建设,争取 6号线和大兴线开工。为了提高效率,本市轨道交通的设计人员已在地铁八通线四惠指挥中心集中办公。

陈刚在动员会上提出了轨道交通设计的六条原则:一是综合设计,实现北京城市总体规划的要求;二是反映首都特性,重视古都风貌;三是注重生态保护,协调环境建设;四是提高安全意识,加强设计安全;五是开放设计理念,创新设计工作;六是体现以人为本,突出设计人性化。

摘编自 2007-05-25《北京日报》

北京地铁 10号线隧道穿越 13号线实现零沉降

“五一”期间,建设中的北京地铁 10号线北段成功地穿越了地铁 13号线知春路车站。知春路车站是个特级风险点,地下支撑结构与正在施工的 10号线隧道的最近距离仅为 20 cm,由于在施工保障措施中科学地采用了地下超前注浆的新工艺,10号线的地下穿越,既没有调整 13号线的轨道,也无需限制运营列车的速度,在全国首次实现了地铁隧道近距离穿越轨道零沉降的突破。

摘编自 www.chinametro.net
2007-05-08

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net