

设屏蔽门的岛式地铁车站站台宽度设计方法

吴娇蓉¹, 马 山², 刘学丽²

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 天津市城市规划设计研究院, 天津 300211)

摘要: 通过视频识别和实地观测, 基于乘客候车行为提出岛式站台乘客候车 6 个阶段站台功能区域转变的方式, 遵循乘客安全候车和顺利流通的原则, 提出上、下行列车等待区和流通区互不重叠、相互独立的要求, 确定考虑等待区长度和流通区宽度的站台宽度设计方法, 并与现行规范站台宽度设计方法对比, 说明现行方法在实际运行中存在的问题, 而新方法符合加设屏蔽门的站台运行特点, 可以为轨道站设计提供参考。

关键词: 岛式站台; 屏蔽门; 站台宽度; 候车行为; 等待区; 主要流通区

中图分类号: U291.1

文献标志码: A

Design of Island-platform Width at Metro Station Equipped with Screen Door

WU Jiaorong¹, MA Shan², LIU Xueli²

(1. Key Laboratory of Road and Transportation Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Tianjin Urban Planning & Design Institute, Tianjin 300211, China)

Abstract: A calculation method of island platform width was proposed based on the behavior of passengers. By means of video identification and field observations, the transformation process and size calculation method of main functional areas were proposed, including waiting area and circulation area during the whole processes composed of waiting, alighting and boarding, and dissipating. Subsequently, based on the objectives of safely waiting and smoothly circulating of passengers, and the premise of different functional areas being independent and unoverlapped, a new calculation method of platform width, which is highly related to the length of waiting area and the width of circulating area was put forward. Finally, a comparative study showed that the calculation method overcame the defects of traditional method, and was completely adapted to the behavior characteristics of passengers and the platform operational feature of China. The study results provided a guidance for

platform design.

Key words: island platform; platform screen door; platform width; waiting behavior; waiting area; main circulation area

地铁车站岛式站台每天承担着高强度高密度出行客流, 必须满足乘客乘降和集散功能. 其中站台宽度是影响地铁车站规模的关键因素. 现行地铁设计规范(2013)的站台宽度设计方法假设候车乘客在站台均匀分布, 而地铁车站站台加设了安全屏蔽门后, 候车乘客预先得知上车位置, 在站台上分布呈现出非均匀性^[1], 并且随“列车到达前”和“上车前聚集”不同阶段动态变化^[2]. 加设屏蔽门后的岛式站台乘客候车行为的变化会导致实际运营期间岛式站台服务水平评估等级降低^[3], 现行地铁车站站台设计规范的适用性值得反思.

轨道站台设计通常只关注站台行人行为与交通特性以及站台设计规范. 本文通过不同阶段的乘客行为特点明确等待区和流通区^[4]两个功能区域界限, 在两个功能区域互不重叠各自独立的条件下, 计算适应实际运行要求的最小站台宽度, 与现行站台宽度设计方法对比, 分析现行规范轨道站台设计方法在实际运行时存在的问题.

1 站台乘客行为及交通特性分析

目前关于安装屏蔽门的站台候车行为研究主要集中在候车位置的选择及站台候车服务水平评价两方面. 由于屏蔽门前区域即为乘客上、下车区域, 乘客根据个人的偏好选择不同位置候车, 因此评价站台候车服务水平时应考虑候车乘客分布规律, 同时, 乘客的分布形式决定了等待区的形状, 站台等待区可被定义为随发车间隔周期性出现彼此间不连续的供乘客驻足候车使用的矩形区域^[3].

收稿日期: 2014-10-09

基金项目: 国家自然科学基金(51278363)

第一作者: 吴娇蓉(1973—), 女, 教授, 工学博士, 博士生导师, 主要研究方向为交通运输规划与管理. E-mail: wirshtj@163.com

上、下车行为的研究主要集中在上、下车时间影响因素和模型的建立,但是对安装屏蔽门的站台上、下车区域面积与候车乘客人数、车厢内下车人数关联性的研究较为缺乏。上、下车时间的影响因素包括车门宽度,站台上和车厢内的乘客行为^[5]及上、下车人数^[6],在此基础上建立起拥挤效应模型,速度-密度的二维交通流模型,基于秩序优先和效率优先统计模型等^[7-10],较为全面地模拟了上、下车行为。

国内、外学者对消散行为的研究,更加关注站台集散区出站乘客的客流密度与行进速度关系^[11]、紧急状态下的疏散时间计算^[12],但紧急状态的疏散行为特征与轨道站台下车乘客正常消散,通过楼梯离开站台有明显区别,正常下车乘客消散所需要的流通区域确定和流通区域最小尺寸需求研究较少。本文在分析流通过程中乘客行为的基础上,提出了有关中间流通区宽度的计算方法。

2 站台设计规范做法

目前我国轨道站站台设计参考《地铁设计规范》,依据高峰小时客流量计算得出宽度,并考虑墩柱宽度、楼扶梯宽度和安全宽度等因素。

$$B = 2b + nz + t \quad (1)$$

$$b = \frac{Q_{u,d}\rho}{L} + M \quad (2)$$

式中: B 为岛式站台宽度; b 为侧站台宽度; n 为横向柱数; z 为横向柱宽; t 为每组人行梯与自动扶梯宽度之和; $Q_{u,d}$ 为高峰小时单向上下车乘客; ρ 为站台上候车时乘客密度; L 为列车长度; M 为站台边缘距屏蔽门立柱内侧距离。 $\frac{Q_{u,d}\rho}{L}$ 部分表明该方法的计算前提是假设乘客在站台等待区呈均匀分布形式。

通过对上海、北京、广州三个城市 14 个不同规模加设屏蔽门站台的视频观测和实地调查得出:①乘客不均匀地聚集在屏蔽门前,如图 1 所示;②站台乘客候车分布呈现出靠近楼梯、自动扶梯的等待区聚集人数较多,站台两端聚集人数较少的现象。可见现行规范的计算前提与实际候车行为相违背,站台楼梯、自动扶梯处成为了乘客聚集活动最为频繁的地带,应该是站台宽度设计必须关注的核心地带。

3 站台乘客行为分析

3.1 候车行为

岛式站台的乘客在整个候车过程中主要发生两种行为:聚块行为和排队行为。



图 1 候车乘客聚块效应

Fig.1 Clustering phenomenon

聚块行为:站台上除去障碍物(如墩柱,座椅等)以外的区域都可以作为候车空间,但乘客会不约而同地聚集在屏蔽门前特定区域进行候车,形成“聚块现象”,相邻两个屏蔽门间的候车区域是不连续的,分割明显,其间的区域为候车过程的无效区域,见图 1,该区域在候车过程中不被占用。

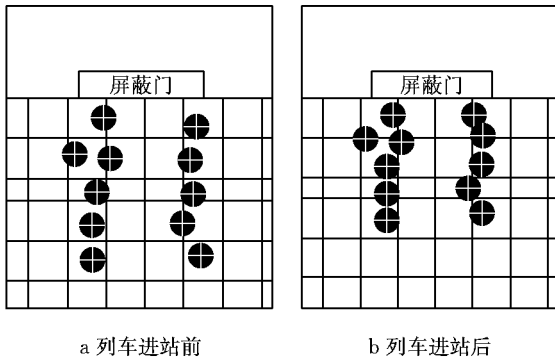
在候车过程中,乘客始终以队列形式进行候车,以站台上安全黄线(无屏蔽门)或屏蔽门前为起点逐渐向后延伸,如图 2 所示。乘客在屏蔽门前的分布形态随列车的进站而发生变化,队列形式变化可分为两个阶段:列车进站前阶段,由于候车时间充裕,乘客主要考虑的是候车空间的舒适,乘客间一般会保持一定的距离,预留缓冲空间,见图 3a;列车进站后阶段,当候车人数较多时,由于上车时间有限,队尾的乘客会向前拥挤,队形会发生压缩,乘客主要考虑的是能否顺利上车^[3],见图 3b。



图 2 乘客候车时的队列形式

Fig.2 Queue forms during the waiting process

实际候车过程中,距离楼梯口较近的等待区聚集人数较多,而站台两端等待区候车人数较少;流通消散过程中,楼梯、自动扶梯处往往聚集大量离站乘客。对于岛式站台,这两个过程可能同时发生,因此站台楼梯、自动扶梯处成为了乘客聚集活动最为频繁的地带。岛式站台的宽度应该由候车人数最多的



a 列车进站前 b 列车进站后

图 3 列车进站前后队列形式变化对比图

Fig. 3 Changes of distribution pattern before and after arrival of train

等待区决定,通过高峰时段内 14 个不同规模站台乘客候车分布观测所得的有效数据分析,距离楼梯口最近的等待区候车人数最大,且为各等待区平均候车人数的 1.4~1.7 倍,如图 4.

$$W = \frac{N_{max}}{\bar{N}} \quad (3)$$

式中:W 为不均匀系数;N_{max}为距离楼梯自动扶梯最近的等待区最大候车人数;N̄为各等待区平均候车人数,即单位发车间隔单侧候车人数与车门数之比.

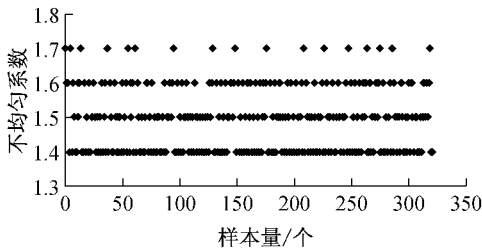


图 4 各站台不均匀系数

Fig. 4 The range of W value

计算 W 的目的是预测距离楼梯口最近等候区的客运量,然后确定等待区长度,这是岛式站台宽度的重要组成部分.可以预测规划地铁车站未来(第 25 年)的高峰客运量,也可以获得每一个等候区的平均客运量,通过式(3)计算距离楼梯和自动扶梯最近的等候区客运量,最终确定距离楼梯和自动扶梯最近的等候区长度,见式(5)和式(9).

3.2 上下车行为

通过视频提取和实地观测可知,上、下车行为可由 3 阶段组成,如图 5 所示:

(1) 上车乘客分队列行为.候车过程中,站台乘客聚集在屏蔽门等待区驻足候车,如图 5a 所示.在列车进站停靠,车门打开前,站台乘客由门前聚集状态变换为两列队列分布于车门两侧,如图 5b 所示.

(2) 下车乘客下车流通行为.上车乘客两个队列中间的空间区域作为车厢乘客下车通道,使乘客

完成下车行为进入流通区顺利离开站台,而分布于车门两侧的上车乘客仍然保持静态候车状态,如图 5c 所示.

(3) 上车乘客上车行为.当下车乘客基本完成下车后,两侧上车乘客开始上车,直至全部上车,如图 5d 所示.

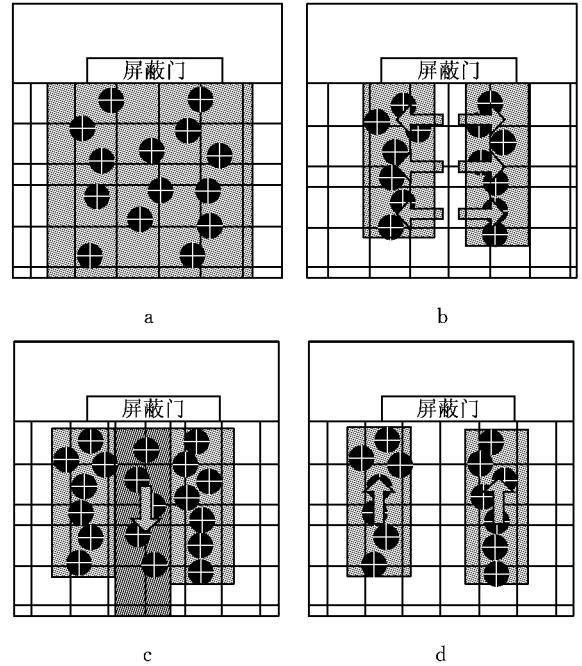


图 5 乘客上下车行为动态变化图

Fig. 5 Dynamic schematic diagram of alighting and boarding behavior

3.3 流通消散行为

站台两大主要功能之一是流通功能,下车乘客借助站台上的流通空间快速离开站台,并通过楼梯和自动扶梯顺利到达站厅层.站台为保证乘客在正常状态下的快速流通以及紧急状态下安全疏散,必须具备一定的流通空间.通常情况下,站厅层乘客可达区域均可认为是具有流通功能的空间.但由于流通空间在候车过程中会以等待区形式被乘客占用,因此流通空间大小周期性变化,如图 6 所示.

在流通消散过程中,车门前下车乘客在主要流通区汇聚后,按照群体速度,借助楼梯自动扶梯前往站厅层.通过提取图像和实地观察,主要流通区域相比于其他区域以最高的频率被乘客占据.因此,岛式站台中间的主要流通区域的宽度也是确定平台宽度的关键因素.

4 站台区域功能及面积计算

4.1 站台区域功能转变过程

轨道列车单位发车间隔内,站台功能区域的动

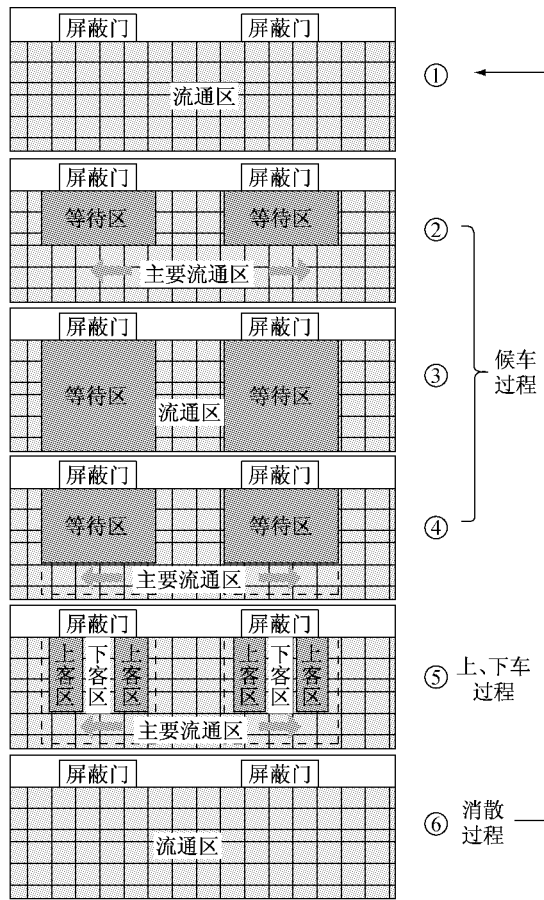


图 6 站台等待区功能转化示意图

Fig.6 The transition of platform regional functions

态变化过程分为 6 个阶段:①在一个发车间隔内,上一列列车将乘客运送离开站台,此时站台的整个区域均为流通区域;②随着后续乘客不断到达,屏蔽门前的流通区逐渐转变为等待区域;③列车进站前,候车人数逐渐增多,等待区区域界限明显,站台的流通区域被压缩;④列车进站后,当候车人数较多时,乘客候车队形向屏蔽门前压缩,等待区区域范围减小;⑤列车停车车门打开后,等待区中部形成间隙通道供下车乘客流通,同时候车乘客上车,等待区区域面积减小,直至乘客全部上车,等待区区域消失;⑥下车乘客通过流通区域借助楼梯和自动扶梯离开站台.整个过程如图 6 所示.

4.2 候车过程等待区尺寸划分方法

站台等待区定义为随发车间隔周期性出现,彼此间不连续的供乘客驻足候车使用的矩形区域^[3].站台等待区宽度模型形式为对数函数形式,长度模型形式为幂函数形式,即^[3]

$$L_w = A_1 \ln(n) + b_1, L_w \leq d_1 \quad (4)$$

$$L_1 = A_2 n^{b_2}, L_1 \leq \min\{(d_2/2 - d_3), (d_4 - d_3)\} \quad (5)$$

式中: L_w 为等待区宽度; L_1 为等待区长度; N 为等待

区候车人数; d_1 为屏蔽门中心间距,国内取值 4.2~4.5 m; d_2 为站台宽度; d_3 为最前端候车乘客距屏蔽门或站台边缘的距离.对于安装有全封闭或半封闭屏蔽门的站台,乘客候车时 d_3 取 0.2 m;对于未安装屏蔽门的站台,乘客会始终站在安全黄线后候车直至列车停站上车(d_3 取 0.4~0.5 m). d_4 为站台边缘到队伍后方障碍物的距离.由于墩柱或墙体的空间限制,队伍长度不可能无限延伸.如果队伍后方无障碍物,则 $d_4 = \infty$; A_1, b_1, A_2, b_2 为标定参数.

通过标定模型参数,列车进站前、后等待区宽度模型见式(6)和式(7),等待区长度模型见式(8)和式(9).

$$L_w^{before} = 0.187 \ln(n) + 2.021 \quad (6)$$

$$L_w^{after} = 0.160 \ln(n) + 2.017 \quad (7)$$

$$L_1^{before} = 0.685n^{0.546} \quad (8)$$

$$L_1^{after} = 0.694n^{0.510} \quad (9)$$

4.3 人流通过流通区宽度确定方法

理论上,站台乘客可达区域均可认为是具有流通功能的空间.但通过实地调查和视频分析,岛式站台两侧屏蔽门前等待区尾端之间的空间为乘客利用最高的流通区域,如图 7 所示.

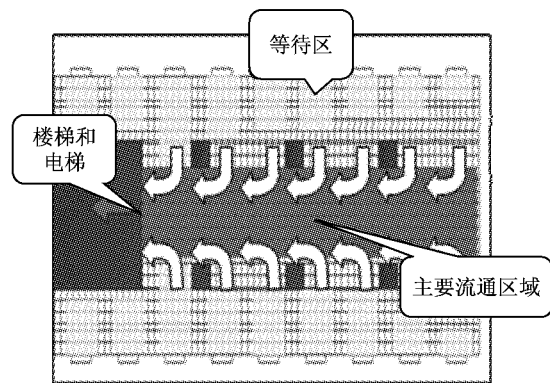
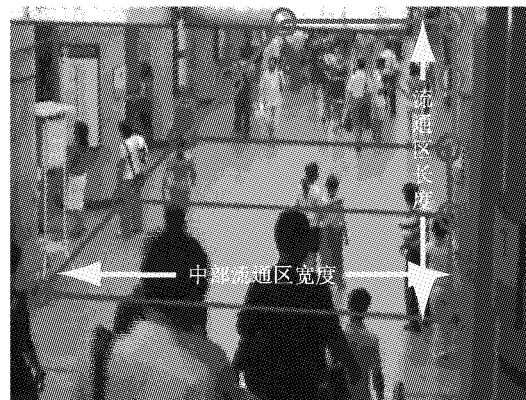


图 7 主要流通区尺寸宽度示意图

Fig.7 The size of middle circulating area

轨道站步行设施的设计标准通常以满足 HCM2012 中步行设施 D 级服务水平为宜.图 9 主要流通区应满足列车乘客下车时间内站台的上、下

车乘客的流通要求,建议在设计阶段服务水平不低于 D 级,岛式站台两侧列车同时到达为最不利情况,此时主要流通区宽度计算方法为

$$K = \frac{n_a + n_b}{L \cdot D_{\text{losD}}} = \frac{[\alpha \cdot t_d + (n_1 + n_2) \cdot C]}{L \cdot D_{\text{losD}}} \quad (10)$$

式中: K 为中间主要流通区宽度; n_a, n_b 为上、下车乘客量; L 为中间流通区长度,取值为楼梯口距站台尽端的直线距离; α 为高峰时期某楼梯自动扶梯站台乘客到达率; t_d 为高峰时期单个车门乘客下车总时间; n_1, n_2 为高峰时期岛式站台两侧车门平均乘客下车

人数,也可由远期岛式站台两侧下车乘客除以车门总数得到; C 为利用该流通区流通的下车乘客所涉及到的车门数量; D_{losD} 为 HCM2012 中步行道 D 级服务水平下行人密度 $0.45 \sim 0.71 \text{ 人} \cdot \text{m}^{-2}$,建议取高值。

值得注意的是,大多数站台在不同的位置通常配备 2 或 4 套楼梯和自动扶梯,如图 8 所示,本文将计算不同位置等候区之间主要流通区的宽度,将其中的最大值作为设计宽度。

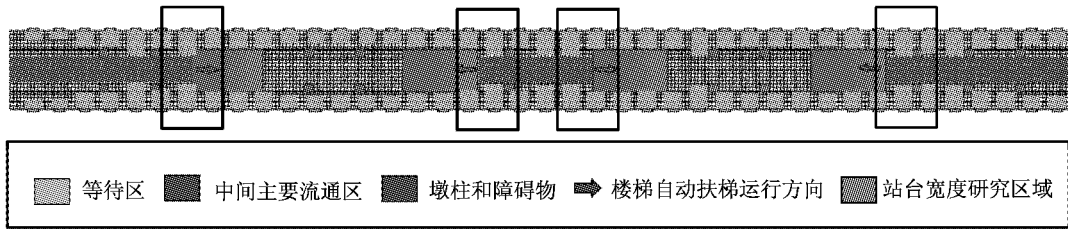


图 8 站台的不同位置宽度计算

Fig.8 Different locations of platform for width calculating

5 基于乘客行为的岛式站台宽度设计与计算

5.1 模型提出

楼梯和自动扶梯区域是乘客活动最频繁的核心区,基于乘客候车一上、下车一流通消散行为,遵循乘客安全候车,顺利流通原则,应保证图 9 中上行列车等待区、主要流通区、下行列车等待区互不重叠、相互独立,则考虑等待区长度 L 和流通区宽度 K 的岛式站台宽度设计方法如式 11.

$$B = L_1 + L_2 + K + 2d_3 + 2M \quad (11)$$

式中: B 为岛式站台宽度; L_1 和 L_2 为高峰时期,距离楼梯出入口最近的两侧屏蔽门前的等待区长度,可由式(3)和式(5)计算得到; K 为对向等待区间流通通道,可由式(10)计算得到; M 为站台边缘距屏蔽门立柱内侧距离,国内取值 $M=0.25$; d_3 为最前端候车乘客距离距屏蔽门距离,建议取值 0.2 m .

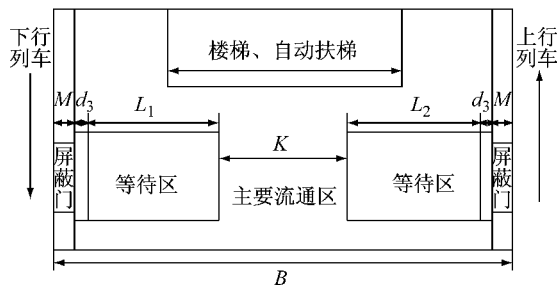


图 9 站台宽度设计新方法的示意图

Fig.9 The schematic diagram of new method

5.2 对比评价

从上海、北京、南京、广州、长沙的轨道交通车站选取 16 个岛式站台,以车站上、下车客流量为基础,采用本文提出的新方法和现行规范方法分别计算站台宽度,见表 1,对比分析计算结果。

新方法站台宽度计算结果整体高于现行规范方法,客流量较大的站台,两种方法计算结果差异较大,相对误差在 $30\% \sim 40\%$ 之间;而客流量较小的站台,相对误差在 $10\% \sim 20\%$ 之间,如图 10 所示.由于现行规范规定岛式站台宽度不得低于 8 m ,与新方法计算结果一致,也说明了新的岛式站台宽度设计方法的科学性。

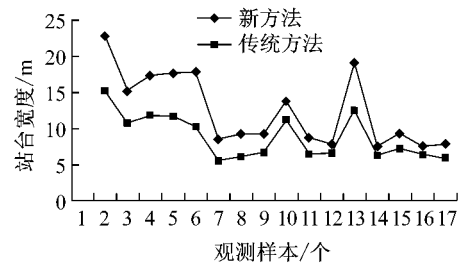


图 10 新方法和现行方法计算结果对比曲线

Fig.10 The comparison between the new method and traditional method

新方法的核心思想充分结合了地铁总体客流和乘客个体候乘行为的特点,按照乘客行为变化过程将站台空间划分为不同功能区域,不同区域不同时间承担不同的功能,各功能区域彼此之间以尽可能减少相互干扰为原则,来保证站台运行安全性和高

表 1 岛式站台宽度计算新方法和传统方法对比
Tab.1 The comparison between new method and traditional method

序号	线路名	站名	上行线客流		下行线客流		站台宽度		两种方法差异	
			上车	下车	上车	下车	新方法/ m	规范 方法/m	绝对 误差/m	相对 误差/%
1	南京地铁 1 号线	新街口站	16 968	9 427	16 301	15 355	22.9	15.3	7.6	33
2	南京地铁 1 号线	珠江路站	4 642	5 237	5 831	5 885	15.3	10.8	4.5	29
3	南京地铁 1 号线	鼓楼站	14 636	8 048	14 892	9 703	17.4	11.9	5.5	32
4	南京地铁 1 号线	南京站站	11 985	11 436	17 379	6 800	17.7	11.8	5.9	33
5	广州地铁 2 号线	公园前站	1 885	10 030	1 588	5 733	17.9	10.3	7.6	42
6	广州地铁 2 号线	会江站	90	1 285	1 248	88	8.6	5.6	3	35
7	广州地铁 2 号线	市二宫站	289	2 186	673	716	9.3	6.1	3.2	34
8	广州地铁 2 号线	江南西站	435	3 277	1 796	811	9.3	6.7	2.6	28
9	广州地铁 2 号线	广州火车站	9 931	3 940	2 010	4 311	13.9	11.3	2.6	19
10	长沙地铁 1 号线	福元路站	1 481	3 100	3 163	1 558	8.8	6.5	2.3	26
11	长沙地铁 1 号线	湘雅路站	1 933	2 913	2 783	1 877	8.0	6.6	1.3	16
12	长沙地铁 1 号线	五一广场站	5 573	7 828	7 006	7 329	19.2	12.6	6.6	34
13	长沙地铁 1 号线	赤黄路站	2 497	1 878	1 904	2 618	7.6	6.4	1.2	16
14	长沙地铁 1 号线	铁道学院站	4 030	1 601	1 504	4 036	9.4	7.3	2.1	22
15	广州地铁 8 号线	晓港站	1 222	1 002	1 926	1 403	7.6	6.5	1.1	14
16	广州地铁 8 号线	昌岗中路站	831	748	994	1 190	8.0	6	1.9	21

效性,因此在客流密度高条件下,相比于传统计算方法,新方法计算出的站台宽度需求要大 30%~40%。

现行规范的岛式站台宽度计算值相对偏小,虽然由此降低了站台工程造价,但却以牺牲乘客候车和流通空间为代价,因此实际运行中在站台楼梯、自动扶梯口处区域,实测服务水平多为 F 级,造成流通乘客、候车乘客相互干扰,流通乘客滞留时间延长,带来安全隐患。

6 结语

本文基于乘客真实在站行为,将站台主要功能区域转变过程分为 6 个阶段,并提出了各功能区域尺寸的确定方法;遵循乘客安全候车,顺利流通原则,提出保证上行列车等待区、主要流通区、下行列车等待区互不重叠、相互独立的要求,建立考虑运行特点的岛式站台宽度设计方法。因此,对于安装屏蔽门的岛式站台,从安全角度考虑,建议修正站台宽度设计方法。

参考文献:

- [1] Szplett D, Wirasinghe S C. An investigation of passenger interchange and train standing time at LRT stations; alighting, boarding and platform distribution of passengers[J]. Journal of Advanced Transportation, 1984, 18(1): 1.
- [2] 沈炎景. 乘客动态分布与站台宽度的研究[J]. 城市轨道交通研究. 2001(1): 21.
SHEN Jingyan. The research for dynamic distribution of passenger and the width of platform[J]. Urban Mass Transit, 2001(1): 21.
- [3] WU Jiaorong, MA Shan. The division method of waiting area on island platform at Metro station[J]. Journal of Transportation Engineering—ASCE, 139(4): 339.
- [4] 沈炎景. 车站站台乘降区宽度的简易计算[J]. 都市轨道交通. 2008, 21(5): 9.
SHEN Jingyan. Simplified calculation for the width of on and off region of station platform[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2008, 21(5): 9.
- [5] Pead M. The Impact of boarding and alighting passengers on the dwell time at railway stations [D]. Birmingham: Aston University, 2007.
- [6] Lam W H K, Cheung C Y, Lam C F. A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations [J]. Transportation Research Part A, 1999, 33: 401.
- [7] 徐尉南, 吴正. 地铁候车厅客流运动的数学模型[J]. 铁道科学与工程学报, 2005, 2(2): 70.
XU Weinan, WU Zheng. Mathematical model for the passenger flow in subway station waiting rooms[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2005, 2(2): 70.
- [9] 吴洋, 罗霞. 公交车辆站停时间与乘客行为的关系[J]. 西南交通大学学报, 2007, 42(2): 243.
WU Yang, LUO Xia. Relationship between bus stoppage time and passenger behavior [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2007, 42(2): 243.
- [10] ZHANG Qi, HAN Baoming, LI Dewei. Modeling and simulation of passenger alighting and boarding movement in Beijing metro stations[J]. Transportation Research Part C, 2008, 16(5): 635.
- [11] Daly P N, McGrath F, Annesley T J. Pedestrian speed/flow relationships for underground stations[J]. Traffic Engineering & Control, 1991, 32(2): 75.
- [12] WU Zheng, WANG Yun, SHEN Junyan. Study of the mathematical model for passenger's scatter time in subway station waiting rooms[J]. Journal of Fudan University: Natural Science, 2006, 45(5): 594.