

基于乘客行为探讨大客流地铁车站站台宽度计算方法^{*}

李岩辉¹ 田 飞¹ 陈国彦²

(1. 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安; 2. 山东智行勘察设计院有限公司, 253074, 德州)

摘 要 [目的] 根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》计算出的大客流地铁车站站台宽度偏小, 难以消化巨量的客流压力, 基于乘客在站台的行为特征提出一种新的站台宽度计算方法。[方法] 介绍了现行站台宽度计算方法, 并对其与大客流车站站台实际客流进行偏差分析; 设置列车未到站和列车进站后两种工况, 提出大客流车站站台宽度计算方法; 以西安某大客流地铁车站为例, 对所提站台宽度计算方法进行实例测算。[结果及结论] 鉴于部分车站高峰时段与城市高峰时段不一致, 站台宽度计算公式引入车站偏差系数, 以车站高峰小时作为确定站台宽度的计算时段。若车站为换乘站, 两股分支客流之间存在对向干扰, 引入对向干扰系数。站台客流在列车到站后经历了4个阶段, 第2阶段对站台占用需求最大, 并呈“块”状静止和“线”形移动两种客流特征。与现行规范的站台宽度计算方法相比, 所提站台宽度计算方法对大客流车站具有更好的适应性。

关键词 地铁站台; 大客流站台; 宽度计算方法

中图分类号 U231.4; U695.1⁺7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.07.009

Platform Width Calculation Methods for Metro Large Passenger Flow Station Based on Passenger Behavior

LI Yanhui¹, TIAN Fei¹, CHEN Guoyan²

(1. China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China; 2. Shandong Zhixing Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 253074, Dezhou, China)

Abstract [Objective] According to GB 50157—2013 'Code for design of metro', the calculated platform width of metro large passenger flow station is often too narrow to afford the immense passenger flow pressure effectively. Considering passenger behavior on platforms, a new platform width calculation method is proposed to address this issue. [Method] The current platform width calculation methods are introduced, and their deviations from actual passenger flow at large passenger flow stations are analyzed. Two operating conditions of train yet to arrive at station and train already in station are defined,

and a platform width calculation method for large passenger flow station is proposed. Taking a large passenger flow station of Xi'an Metro as example, the proposed platform width calculation method is applied and demonstrated through case study calculations. [Result & Conclusion] Considering that peak hours at some stations may not align with city-wide peak hours, a deviation coefficient for station operation is introduced into platform width calculation formula, with the station peak hours as a calculation period to determine the platform width. For interchange stations where interference between passengers in opposite directions exists, a cross-interference coefficient is introduced. The passenger flow on platform undergoes four stages after the train arrives, with the second stage exhibiting the highest demand for platform occupancy and displaying characteristics of both stationary 'blocks' and moving 'lines' of passengers. Compared with platform width calculation methods in current specifications, the proposed one demonstrates better adaptability for large passenger flow stations.

Key words metro station; large passenger flow station; platform width calculation method

0 引言

2023年,广州、深圳、西安、南宁、杭州等多个城市的地铁客流呈现爆发式增长,客流量屡创新高。但同时部分大客流车站(特别是换乘站)却出现了难以消化的巨量客流压力,纷纷采取常态化客流管控措施,抑制客流需求,限制乘客进入车站。经调研上海、西安的9座大客流车站后发现,这些车站乘客在站台上呈现的客流状态与现行规范中站台宽度计算所假定的客流状态存在理论差异,导致站台宽度偏小,易发生拥堵现象。站台宽度是决定车站规模的第一控制要素,目前一般按照 GB 50157—2013《地铁设计规范》中的规定进行计算,但 GB 50157—2013《地铁设计规范》已发布执行近10年,根据规范计算所得的大客流地铁车站站台宽度偏

^{*} 中铁第一勘察设计院集团有限公司科研项目(铁一院城合2023-19号-PT01)

小,难以消化目前巨量的客流压力。

随着各城市地铁出行的需求量越来越多,针对车站客流,已有研究人员从高峰时段、不同换乘形式、不同站台形式等方面进行了深入研究^[1-6],但对于适用于大客流车站站台宽度的计算方法鲜有涉及。本文针对大客流车站客流状态与规范计算所得的客流设定存在差异,导致站台宽度偏小的问题,设置列车未到站和列车进站后两种工况分别描述乘客行为,当客流积累最大时,根据客流特征计算乘降区宽度。取两种工况乘降区最大宽度叠加梁柱、楼梯及缝隙宽度,得出大客流车站完整的站台宽度计算方法。本文研究可为地铁车站设计大规模宽站台提供理论借鉴。

1 现行站台宽度计算方法及偏差分析

1.1 现行设计规范的站台宽度计算方法

根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》的规定,岛式站台宽度 B_d 及侧式站台宽度 B_c 可以表示为:

$$B_d = 2b + nz + b_l \quad (1)$$

$$B_c = b + z + b_l \quad (2)$$

式中:

n ——横向柱数;

z ——纵梁宽度;

b_l ——每组楼梯与自动扶梯宽度之和(含与纵梁间所留空隙);

b ——侧站台计算宽度,即客流乘降区宽度。

站台宽度计算方法分两种工况取最大值:

1) 当列车未到站时,侧站台计算宽度值 b_1 为上车乘客站立候车所需宽度与安全带宽度之和,可以表示为:

$$b_1 = \frac{Q_{\text{上}} \rho}{L} + b_a \quad (3)$$

式中:

$Q_{\text{上}}$ ——远期或客流控制期,每列车超高峰小时单侧上车设计客流量;

ρ ——站台上的人流密度,取为 $0.33 \sim 0.75 \text{ m}^2/\text{人}$;

L ——站台计算长度;

b_a ——站台安全防护带宽度,取为 0.4 m ,当采用站台门时, $b_a = M$ (M 为站台边缘至站台门立柱内测距离);当无站台门时,取为 0 。

2) 当列车进站后,安全带宽度已被利用,侧站台宽度值 b_2 为上、下车乘客混合站立所需宽度与 M

值之和,可以表示为:

$$b_2 = \frac{Q_{\text{上下}} \rho}{L} + M \quad (4)$$

式中:

$Q_{\text{上下}}$ ——远期或客流控制期每列车超高峰小时单侧上、下车设计客流量。

1.2 大客流车站站台实际客流状态与计算客流状态偏差分析

调研上海(佘山站(上海轨道交通 9 号线)、泗泾站(上海轨道交通 9 号线)、九亭站(上海轨道交通 9 号线)、南翔站(上海轨道交通 11 号线)、嘉定北站(上海轨道交通 11 号线)),以及西安(小寨站(西安地铁 2 号线及 3 号线)、北大街站(西安地铁 1 号线及 2 号线)、南稍门站(西安地铁 2 号线及 5 号线)、大雁塔站(西安地铁 3 号线及 4 号线)) 9 座大客流车站高峰时段的车站站台客流后发现,站台实际客流状态与规范计算设定的客流状态存在以下差异:

1) 与现行规范的站台宽度计算方法设定的所有上、下车客流均集中在客流乘降区不同,所调研的大客流车站中除了客流乘降区有集中客流外,不受柱子和楼梯限制的站台中央也能为上车乘客排队提供站立空间,大于 550 mm 的楼梯纵梁间隙 b_j 也能为下车客流提供通过空间。

2) 当列车未到站时,现行规范的站台宽度计算方法假定所有上车客流按照站立密度平均分布在客流乘降区(面积为 bL),但调研后发现,随着乘客素质和车站管理水平的提高(部分车站使用铁马隔离),不论现场如何拥堵,上车乘客都会按照地面标线预留下通道,并不会完全占用乘降区,即 L 不会完全被上车乘客使用。

3) 当列车进站后,现行规范的站台宽度计算方法假定上车客流和下车客流共同按照站立密度平均分布在客流乘降区(面积为 bL),但调研后发现,上车乘客呈“快”状(形成数条队列),按站立密度平均分布在分割的等待区域,下车乘客呈“线”形(形成单条队列),按预留通道绕行等待区域直至上行扶梯。两种客流在该时段的特征完全不同,对 b 和 L 的使用应有所区别,不能共同考虑。

4) 当大客流车站为换乘站时,下车客流会产生两股客流分支:前往出站扶梯的出站队列;前往换乘扶梯的换乘队列。当两个分支为同行方向时,为混行状态,对 b 不产生影响;当两个分支互为逆行方

向时,两股客流之间会产生干扰,需增加 b 值。这种干扰在现行规范的站台宽度计算方法中缺少考量。

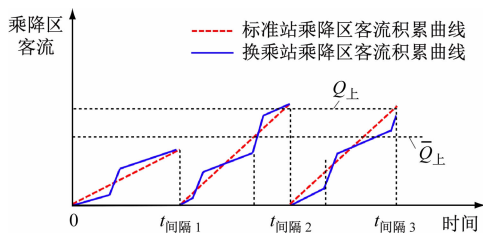
5) 现行规范的站台宽度计算方法采用的超高峰设计客流量为高峰小时 20 min 时段发生的客流量。经调研大客流车站后发现,大部分车站高峰与线路高峰小时时段一致,在高峰小时内提取 20 min 的超高峰客流是正确的,但对大雁塔站(西安地铁 3 号线及 4 号线)、嘉定北站(上海轨道交通 11 号线)等少部分车站来说,车站高峰小时与线路高峰小时不一致,车站高峰小时内的超高峰客流量大于线路高峰小时内的超高峰客流量。

2 大客流车站站台宽度计算方法

2.1 列车未到站时的计算方法

2.1.1 乘客行为描述

乘降区上车客流积累示意图如图 1 所示。列车进站前,单侧站台客流即为一个行车间隔内积累的单侧上车客流。对于标准站而言,该部分客流由出入口进站,会受到周边用地性质、开发强度、衔接便捷度等因素的影响。在超高峰小时内,单侧站台客流基本是持续稳定的输入,即使在某个行车间隔通过出入口的客流量特别大,客流从出入口到站台的过程中,车站的楼梯(含自动扶梯)、检票口、出入口通道的通过能力均应按超高峰小时进出站量及各口部的不平衡系数计算确定,使得到达站台的客流稳定在超高峰系数的量级范围(见图 1 中虚线)。对于换乘站而言,站台除了来自出入口的进站量,还有来自其他线路的换乘量,这部分客流有间断性,导致站台客流积累存在台阶性跃升,若本线行车间隔大于另一条线,有可能存在两次跃升(见图 1 中最右侧实线)。



注: $t_{\text{间隔}1}$ 、 $t_{\text{间隔}2}$ 、 $t_{\text{间隔}3}$ 分别为第 1 列车、第 2 列车、第 3 列车到达站台的时间; $\bar{Q}_{\text{上}}$ 为 1 h 内站台的平均客流量。

图 1 乘降区上车客流积累示意图

Fig. 1 Diagram of passenger flow accumulation in boarding and alighting area

2.1.2 客流特征分析

随着站台乘降区客流的不断增加,在列车到达前,无论标准站还是换乘站,其客流均会累积到最大,此时对乘降区宽度计算的影响最大,应重点分析该时刻的乘客行为特征。

在候车过程中,站台上的乘客呈现聚块状态和排队行为两种特征。聚块状态是指以站台门前的下客通道为界,将车站乘降区划分为多个候车等待块(候车等待块数量为站台门个数 + 1),乘客分别在这些块内聚集等待,不占用下客通道界线。排队行为是指在每个聚块内呈现排队行为,乘客始终以队列形式进行候车,以站台上的安全黄线(无站台门情况)或站台门为起点,逐渐向后延伸。乘客候车客流特征示意图如图 2 所示。

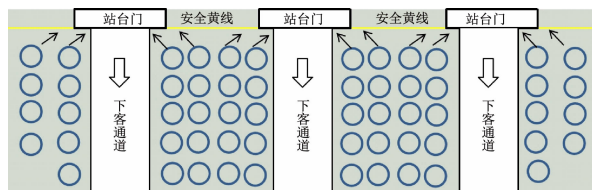


图 2 乘客候车客流特征示意图

Fig. 2 Schematic diagram of passenger waiting flow characteristics

2.1.3 列车进站前乘降区宽度计算方法

由于乘客候车有一定的时间,能够避开拥挤寻找合适的车节位置,站台上的乘客是均匀分布在乘降区聚块内的。聚块内的排队长度即为乘降区宽度 b_q ,可以表示为:

$$b_q = \frac{Q_{\text{上}} P_{\text{PDC}} \rho}{L_{\text{上}}} + b_a \quad (5)$$

$$L_{\text{上}} = L - mD_{\text{下}} \quad (6)$$

式中:

P_{PDC} ——车站高峰偏差系数;

$L_{\text{上}}$ ——上车客流有效等待区长度;

m ——列车车门个数;

$D_{\text{下}}$ ——下客通道宽度,取为 0.55 ~ 1.40 m,可根据上下客比例确定。

2.2 列车进站后的计算方法

2.2.1 乘客行为描述

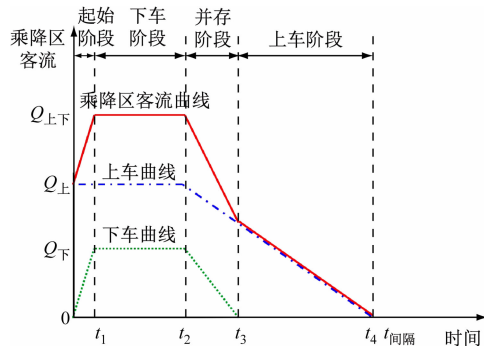
当列车进站后,单侧站台乘降区的乘客由下车和上车两股客流组成。列车在站台提供乘客上、下车服务的过程中共经历 4 个阶段:① 当站台门打开,乘降区进入起始阶段,上车客流整体向前占用安全黄线前的空间然后静止等待,下车客流开始快

速增多,并沿下客通道寻找最近的扶梯或楼梯,向其移动;② 当下车客流量出乘降区抵达扶梯或楼梯后,进入下车阶段,上车客流仍然静止不动,下车客流沿队列向扶梯或楼梯持续移动,上、下车客流达到短时间的稳定状态;③ 部分站台门下客结束,两侧乘客汇集上车,另外一部分站台门仍然保持下客状态,该阶段各站台门处是相互独立存在的,既有上车客流,又有下车客流,可称为并存阶段;④ 在下车客流全部结束后,乘降区只有未上车的乘客继续上车,直至全部乘降区上车客流全部消失,该阶段称为上车阶段。乘降区上、下车客流积累曲线示意图如图 3 所示。

对换乘站而言,在前 3 个阶段的下车客流中存在两个分支:① 寻找出站路径,沿上行扶梯和楼梯出站的客流;② 沿着换乘通道去往另一条线路的换乘客流。这两个分支客流的移动路径有可能在站台层存在对向干扰(也有可能两股客流在站台层不分流,沿上行扶梯至站厅层再分支)。

2.2.2 客流特征分析

乘降区客流由上、下车两股客流混合而成,其在第 2 阶段(下车阶段)达到最大,且短时间内能够保持持续稳定,本阶段是对站台宽度计算影响最大



注: t_1 为乘客下车并走到扶梯或楼梯的时间; t_2 为上车乘客开始上车前的临界时间; t_3 为下车乘客全部下车的临界时间; t_4 为上车乘客全部上车的临界时间; $t_{\text{间隔}}$ 为前后两列车到达站台的间隔时间; $Q_{\text{下}}$ 为站台积累的最大下车客流量。

图 3 乘降区上、下车客流积累曲线示意图

Fig. 3 Diagram of passenger flow accumulation curves for boarding and alighting area

的阶段,应重点分析该阶段的客流特征。上车客流呈“块”状分布,位于站台门两侧的等待区紧密排队,且静止不动;下车客流呈“线”形移动,沿下客通道从后方绕行上车客流聚集的“块”状区域,延伸至最近的扶梯或楼梯。下车阶段客流特征示意图如图 4 所示。

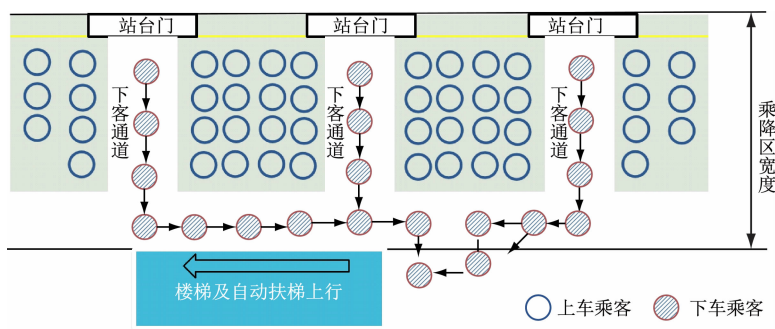


图 4 下车阶段客流特征示意图

Fig. 4 Schematic diagram of passenger flow characteristics in the alighting phase

对于换乘站而言,下车客流有可能存在出站分支和换乘分支队列对向干扰的情况,则下车客流在“块”状区域的后面分支为两列“线”形队列,一列向出站扶梯或楼梯移动,一列向换乘楼梯或扶梯移动。换乘站下车阶段存在对向干扰的队列示意图如图 5 所示。

2.2.3 列车进站后乘降区宽度计算方法

上、下车客流对乘降区宽度的需求有所不同,由上车客流的“块”状宽度和下车客流的“线”形队列宽度共同决定。因此,乘降区宽度计算由上车客

流占用宽度和下车客流占用宽度组合而成,乘降区宽度 b_h 可以表示为:

$$b_h = \frac{Q_{\text{上}} P_{\text{PDC}} \rho}{L_{\text{上}}} + k D_{\text{下}} + M \quad (7)$$

式中:

k ——对向队列干扰系数,最大可取为 2,当车站不是换乘站或没有对向干扰时, k 取为 1。

2.3 探讨大客流车站站台宽度计算方法

根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》,乘降区宽度取列车未到站和列车到站后两种工况下的计

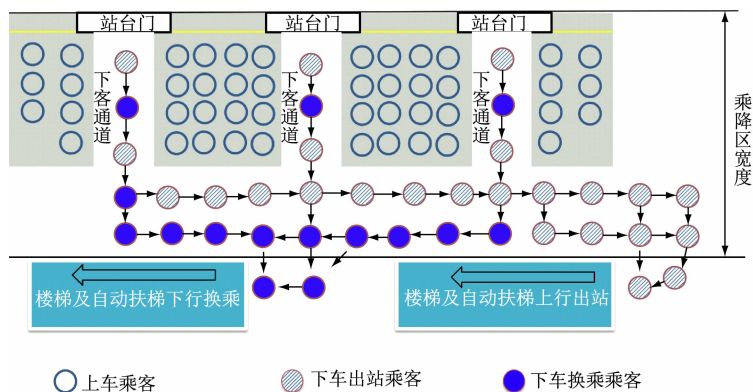


图5 换乘站下车阶段存在对向干扰的队列示意

Fig. 5 Schematic diagram of passenger flow queues with interference from opposite direction in the alighting phase at interchange station

算最大值, 鉴于 $b_h - b_q = kD_{\text{下}} + M - b_a > 0$, 因此乘降区宽度可始终采用 b_h 的值, 即 $b = b_h$ 。

当楼梯纵梁间隙 b_j 大于等于 550 mm 时, 其具有下车客流疏散功能, 此时, 下车客流疏散的宽度 $b_{j \geq 550}$ 已包含在乘降区宽度计算中, 应在式 (1) 和式 (2) 中予以剔除, 则有:

$$B_{d1} = 2b_h + nz + b_t - b_{j \geq 550} \quad (8)$$

$$B_{c1} = b_h + z + b_t - b_{j \geq 550} \quad (9)$$

当楼梯扶梯与纵梁间的间隙大于 550 mm 时, 其将承担下车客流疏散功能, 下车宽度已在乘降区宽度计算时计入; 当楼梯扶梯与纵梁间的间隙未超过 550 mm 时, $b_{j \geq 550 \text{ mm}}$ 为 0。

3 实例测算

3.1 计算示例

以西安某大客流地铁站为例, 对所提站台宽度计算方法进行实例测算。该车站为换乘站, 采用岛式站台, 在有效站台中间设有 T 型换乘楼梯至另一条线路站台层, 两侧设置两扶梯一楼梯至站厅层付费区, 标准站台长度为 118 m。西安某换乘站岛式站台平面布置示意图如图 6 所示。早高峰客流量及行车对数如表 1 所示。由于车站高峰时段与早高峰不一致, 故车站高峰偏差系数取为 1.09, 超高峰小时系数取为 1.21。

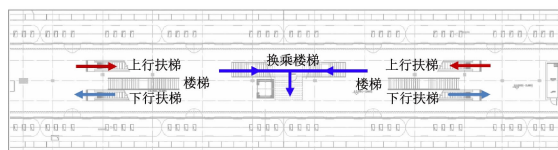


图6 西安某换乘站岛式站台平面布置示意图

Fig. 6 Diagram of island platform planar layout at an interchange station in Xi'an

表1 早高峰客流量及行车对数

Tab. 1 Morning peak hour passenger flow volume and train pairs

预测年限	上行		下行		行车对数/对
	上车客流量/人次	下车客流量/人次	上车客流量/人次	下车客流量/人次	
初期	2 066	2 342	2 038	1 576	15
近期	5 273	8 412	3 816	2 586	21
远期	7 083	9 825	5 636	3 186	27

3.1.1 车站客流设计客流量选择

分别计算初期、近期、远期单列车超高峰小时单侧上车客流量 $Q_{\text{初上}}$ 、 $Q_{\text{近上}}$ 、 $Q_{\text{远上}}$, 则有:

$$Q_{\text{初上}} = 166.7 \text{ 人次}$$

$$Q_{\text{近上}} = 303.8 \text{ 人次}$$

$$Q_{\text{远上}} = 317.4 \text{ 人次}$$

由此可见, $Q_{\text{远上}} > Q_{\text{近上}} > Q_{\text{初上}}$, 故选择远期每列车的超高峰小时单侧上车客流量为设计客流量。

3.1.2 乘降区宽度及站台宽度计算

由于车站高峰时段与早高峰不一致, 故 $P_{\text{PDC}} = 1.09$; 由于本站上车客流较大, ρ 取为 $0.33 \text{ m}^2/\text{人}$; 鉴于本站下车客流稍大于上车客流, $D_{\text{下}}$ 取为 1 m , 则 $L_{\text{上}} = 89.86 \text{ m}$; 由于下车客流在站台层的客流分为出站客流量和换乘客流量, 在站台层存在对向干扰, 故 k 取为 2 , M 取为 0.26 m 。此时, 根据式 (7) 可以计算出 $b = 3.53 \text{ m}$ 。岛式站台宽度 $B_d = 13.31 \text{ m}$ 。取整后, 该岛式站台宽度取值为 14.00 m 。

3.2 所提方法与现行规范的站台宽度计算方法对比

选取西安、兰州、厦门、青岛四个城市的 4 个大客流车站进行站台宽度计算, 并与现行规范的站台宽度计算方法进行对比, 结果如表 2 所示。由表 2

可知:由本文所提站台宽度计算方法所得的站台宽度均大于由现行规范计算所得的站台宽度,增幅为

16%~33%。因此,本文所提站台宽度计算方法对大客流车站具有更好的适应性。

表 2 2 种计算方法的车站站台宽度计算结果对比

Tab. 2 Comparison of station platform width calculation results by two calculation methods

城市	线路	车站名	控制期单列最大超高峰 小时客流量/人次		本文所提站台 宽度计算方法 所得站台宽度/m	现行规范站台 宽度计算方法 所得站台宽度/m	本文所提计算方法 较现行规范计算 宽度增幅比例/%
			上车	上、下车			
西安	1 号线	北大街站	284	741	12.9	11.1	16
兰州	1 号线	西关什字站	233	505	12.2	9.2	33
厦门	9 号线	嘉庚体育馆站	350	689	13.3	10.8	24
青岛	6 号线	双珠路站	407	882	13.8	11.9	16

4 结论

1) 调研大客流车站的客流量后发现,大客流车站站台客流与现行规范计算假定的客流之间存在理论偏差,导致车站站台宽度计算偏小,站台拥堵严重。

2) 鉴于部分车站高峰时段与线路高峰时段不一致,站台宽度计算公式引入车站偏差系数,以车站高峰小时作为确定站台宽度的计算时段。

3) 分析站台乘客行为后发现,列车到站后,站台客流经历 4 个阶段,其中在上、下车客流短时稳定的第 2 阶段对乘降区空间需求最大,对站台宽度的计算影响最大。

4) 列车到站后的第 2 阶段,乘降区的客流特征呈“块”状静止和“线”形移动两种状态,以此为基础提出新的乘降区宽度计算公式。若车站为换乘站,“线”形移动有可能会产生分支客流,两股客流之间存在对向干扰,故引入对向干扰系数。

5) 与现行规范的站台宽度计算方法相比,本文所提站台宽度计算方法对大客流车站具有更好的适应性。

参考文献

- [1] 魏杰,余丽洁,任璐,等.城市轨道交通车站高峰时段与高峰客流预测模型[J].铁道科学与工程学报,2023,20(3):867. WEI Jie, YU Lijie, REN Lu, et al. Prediction model of station-level peak time and peak ridership in urban rail transit[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2023, 20(3): 867.
- [2] 余丽洁,肖娜,陈宽民,等.城市轨道交通车站高峰客流偏差研究[J].城市轨道交通研究,2021,24(1):97.

- YU Lijie, XIAO Na, CHEN Kuanmin, et al. Study of peak passenger flow deviation in urban rail transit stations[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(1): 97.
- [3] 郭福强,叶霞飞.城市轨道交通站台宽度计算方法研究[J].城市轨道交通研究,2019,22(8):108. GUO Fuqiang, YE Xiafei. Study on the calculation method of urban rail transit platform width[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(8): 108.
 - [4] 郭福强,叶霞飞.城市轨道交通换乘站站台宽度计算中客流取值的修正方法[J].都市快轨交通,2019,32(1):67. GUO Fuqiang, YE Xiafei. A method to correct passenger flow values in calculations of platform width in urban rail transit transfer stations[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2019, 32(1): 67.
 - [5] 李颖,毛保华,杜鹏,等.同台换乘站站台宽度计算方法研究[J].交通运输系统工程与信息,2016,16(3):148. LI Ying, MAO Baohua, DU Peng, et al. Platform width calculation at one-platform-transfer station of urban rail transit[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2016, 16(3): 148.
 - [6] 吴娇蓉,马山,刘学丽.设屏蔽门的岛式地铁车站站台宽度设计方法[J].同济大学学报(自然科学版),2015,43(10):1510. WU Jiaorong, MA Shan, LIU Xueli. Design of island-platform width at metro station equipped with screen door[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2015, 43(10): 1510.

· 收稿日期:2023-05-26 修回日期:2023-08-16 出版日期:2024-07-10
Received:2023-05-26 Revised:2023-08-16 Published:2024-07-10
· 第一作者:李岩辉,高级工程师,liyanhui.yy@crcc.cn
通信作者:田飞,高级工程师,44796257@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license