

地铁车站站台局部区域人群密度计算方法

郭龙灿¹ 艾宇鸣² 蒲 琪¹

(1. 同济大学交通学院, 201804, 上海; 2. 上海市市政工程建设发展有限公司, 200025, 上海)

摘 要 [目的] 地铁车站站台人群密度计算方法是分析地铁车站站台人群聚集风险的关键。通常情况下, 人群拥挤时内部密度分布不均匀, 存在局部高密度区域, 这也是地铁车站容易发生公共安全事故的重点区域, 因此研究局部区域人群密度计算方法十分关键。[方法] 通过分析站台客流集散规律, 研究了各类型车站站台聚集人数随时间变化特征以及聚集人数的计算模型。基于乘客在站台屏蔽门候车区聚集特性, 类比成拱现象, 对聚集面积进行了修正, 并结合站台聚集人数提出一种地铁车站站台局部区域人群密度计算方法。以某地铁车站为例, 分析了一个列车运行间隔内站台聚集人数和行人密度的变化情况。[结果及结论] 与传统平均人群密度计算方法相比, 采用所提出方法计算的局部区域人群密度数值更大、变化幅度更明显, 且对列车运能调整、进出站台客流变化更为敏感, 能较好地体现站台负荷极值与高负荷状态持续时间所对应的极限情况。该方法在高峰期等大客流状态下应用具有较大意义。

关键词 地铁车站; 站台; 客流聚集; 成拱现象; 修正面积; 局部人群密度

中图分类号 U298.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.01.004

Calculation Method of Crowd Density in the Local Area of Subway Station Platform

GUO Longcan¹, AI Mingyu², PU Qi¹

(1. College of Transportation, Tongji University, 201804, Shanghai, China; 2. Shanghai Municipal Engineering Construction and Development Co., Ltd., 200025, Shanghai, China)

Abstract [Objective] The calculation method of crowd density is the key to analyzing the risk of crowd gathering on subway station platforms. Usually, the internal density distribution is uneven when it is crowded, and there are local high-density areas, which are also the key areas where public safety accidents are prone to occur in subway station. Therefore, it is very important to study the calculation method of crowd density in local areas. [Method] By analyzing the distribution law of passenger flow on the platform, the time-varying characteristics of the number of people gathered on platforms of various types of stations and the calculation model of the number of people gathered are studied. Based on the aggregation characteristics

of passengers at the waiting area of the platform screen door, the aggregation area is corrected by analogy with the arching phenomenon, and a method for calculating the crowd density in the local area of the subway station platform is proposed in combination with the number of people gathered on the platform. Taking a certain subway station as an example, the changes in the number of people gathered on the platform and the pedestrian density within a train running interval are analyzed. [Result & Conclusion] Compared with the traditional average density calculation method, the crowd density in the local area calculated by the proposed method is larger, and the change range is more obvious. It is more sensitive to the adjustment of train capacity and the change of passenger flow in and out of the platform, which better reflects the limit situation corresponding to the platform load extreme value and the duration of the high load state. The application of this method in peak hours and other large passenger flow conditions is of great significance.

Key words subway station; platform; passenger flow aggregation; arching phenomenon; modified area; local crowd density

0 引言

人群密度是描述公共场所人群聚集状态的主要参数, 车站人群密度也是地铁运营中人群聚集风险研究的重点。针对高峰时期地铁站人群聚集风险, 各地地铁运营公司相继出台了相应的风险评估方案和应急预案, 但这些方案中的相关指标存在一定局限性。如: 站台负荷, 该指标的计算结果是指标轻量化的体现, 但仅考虑了高峰小时站台平均人群密度; 站台平均人群密度, 该指标不能体现站台负荷极值与高负荷状态持续时间所对应的客流聚集极限情况。实际情况下, 人群拥挤时内部密度分布不均匀, 存在局部高密度区域。根据地铁运营事故统计数据, 行人易在车门处、楼扶梯口处大量聚集, 这些区域是发生事故的主要区域。

对于地铁车站局部人群聚集的监测,各地铁站正逐步引入传感器、摄像头等设备,结合信息技术,可以一定程度捕捉到车站重点局部区域瞬时人群聚集数量、密度等。但这些数据多为即时数据,不能及时预警人群聚集事故的发生。

研究站台人群密度,需要研究站台人群聚集规律。文献[1]和文献[2]讨论了一个列车运行间隔内的各个时段进入站台乘客的数量。文献[3]基于乘客分类讨论了同站台换乘情况下的站台乘客集散规律,同时对站台不同区域的利用率进行了划分。但已有的站台人群聚集规律研究,未考虑换乘线路乘客进入站台的时间分布或所考虑的时间分布情况较少。

研究站台局部人群密度,需要研究一定数量行人所占据的面积。文献[3]在划分站台不同区域利用率的基础上,提出了站台等效面积的概念。文献[4]论述了聚集人群通过出口时出现的拱起和堵塞现象。文献[5]在此基础上,基于元胞传输模型,对行人疏散行为进行仿真模拟并验证了成拱现象。

本文将分类研究不同类型地铁站站台人群聚集特性,基于成拱现象,对站台上的人群聚集区域面积进行修正,计算该区域局部人群密度。并通过案例分析,对比和探讨传统的站台行人平均密度算法和局部区域人群密度算法特点和应用场景。

1 站台乘客集散流程确定

地铁站台上的乘客数量受当前列车输送能力与客流需求的影响,不同的运能和需求下,地铁站台聚集人数变化情况和规律各有特点。本文考虑在运能正常状态下(即运能大于客流需求)、列车停站期间,该方向的乘客均能上车,没有滞留。

根据地铁车站客流特性研究,可将客流分为进站客流、出站客流和换乘客流。本文通过讨论几种客流类型在站台层的活动特性,确定基本参数,进而研究一个周期内站台聚集人数阶段性的变化规律,相关变量释义如下: $v_{in,n}$ 为第 n 个运行周期内进站客流进入站台平均速率,单位人/s; $v_{c,n,i}$ 为第 n 个运行周期内第 i 条线路换乘客流进入站台的平均速率,单位人/s; $v_{ic,n}$ 为第 n 个运行周期内乘客的平均上车速率,单位人/s; $v_{oc,n}$ 为第 n 个运行周期内乘客的平均下车速率,单位人/s; $v_{1,n}$ 为第 n 个运行周期

内下车乘客离开站台的平均速率,单位人/s。

站台的乘客集散包括进站、下车、上车和离开站台。本文将针对结构不同的岛式站台与侧式站台,以及客流特征不同的换乘车站与非换乘车站,分开阐述站台聚集人数计算方式。当下车乘客较多时,假设:①乘客服从先下后上原则;②乘客开始上车的时刻与乘客离开站台的时刻同步;③列车运力充足,前一列车关门时刻到当前列车关门时刻内的候车乘客(进站客流和换入客流之和)全部进入当前列车。由于车站上下车乘客数量不同,上车结束时刻和乘客全部离开站台时刻不同步。当上车结束时刻早于乘客全部离开站台时刻时,可将第 m 列列车运行间隔 h 分为如下4个阶段:

阶段1 当前列车进站开门时刻 $t_{0,m}$ 到乘客下车结束开始上车时刻 $t_{1,m}$ 。

阶段2 乘客下车结束开始上车时刻 $t_{1,m}$ 到列车关门时刻 $t_{2,m}$ 。

阶段3 列车关门时刻 $t_{2,m}$ 到下车乘客完全离开站台时刻 $t_{3,m}$ 。

阶段4 下车乘客完全离开站台时刻 $t_{3,m}$ 到下一趟列车进站开门时刻 $t_{4,m}$ 。

2 站台聚集人数计算

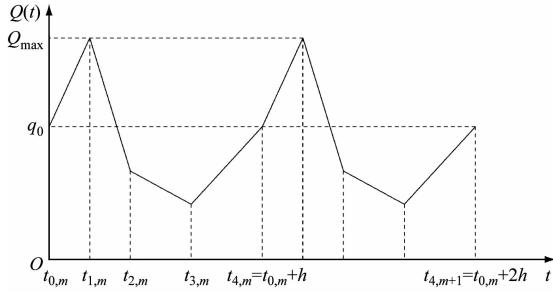
地铁站台通常可以分为侧式和岛式两种布置形式,按照功能又可以分为换乘站和非换乘站,每种站台所对应的乘客结构和组成有所不同。本文分别讨论不同类型站台的聚集人数计算方法。

2.1 侧式非换乘站台

侧式非换乘站台的上下行列车客流是分开的,无需叠加计算,因此可单独计算上行或下行的乘客聚集模型。侧式非换乘站台聚集人数变化情况如图1所示。

侧式非换乘站台在第 n 个运行周期内的聚集人数分段函数如下:

1) 阶段1。在当前列车进站开门到乘客下车结束开始上车期间内,即 $t \in [t_{0,m}, t_{1,m})$ 时,初始站台人数 $q_{0,n} = v_{in,n-1}(t_{4,m-1} - t_{2,m-1})$,进站到达站台的乘客人数 $q_{in,n}(t) = v_{in,n}(t - t_{0,m})$,下车乘客数 $q_{oc,n}(t) = v_{oc,n}(t - t_{0,m})$ 。在 $t_{1,m}$ 时刻,站台聚集人数达到峰值,为 $q_{0,n} + q_{in,n}(t_{1,m}) + q_{oc,n}(t_{1,m})$ 。阶段1任意 t



注: q_0 —初始站台人数; Q_{\max} —最大聚集人数; $Q(t)$ —任意 t 时刻站台聚集人数。

图1 侧式非换乘站台聚集人数变化情况

Fig. 1 Changes in the number of people gathered on side non-transfer platforms

时刻站台聚集人数 $Q_{p1}(t)$ 为:

$$Q_{p1}(t) = q_{0,n} + (v_{in,n} + v_{oc,n})(t - t_{0,m}), \quad t \in [t_{0,m}, t_{1,m}) \quad (1)$$

2) 阶段2。在乘客下车结束开始上车到列车关门期间,即 $t \in [t_{1,m}, t_{2,m})$ 时,初始时刻站台人数 $q_{1,n} = q_{0,n} + (v_{in,n} + v_{oc,n})(t_{1,m} - t_{0,m})$,进站到达站台的乘客人数 $q_{in,n}(t) = v_{in,n}(t - t_{1,m})$,上车的乘客人数 $q_{ic,n}(t) = v_{ic,n}(t - t_{1,m})$ 。假设排队乘客开始上车时间与下车乘客离开站台的时间同步,该阶段离开站台的人数 $q_{1,n}(t) = v_{1,n}(t - t_{1,m})$ 。阶段2任意 t 时刻聚集人数为:

$$Q_{p2}(t) = q_{1,n} + (v_{in,n} - v_{ic,n} - v_{1,n})(t - t_{1,m}), \quad t \in [t_{1,m}, t_{2,m}) \quad (2)$$

3) 阶段3。在列车关门到下车乘客完全离开站台期间,即 $t \in [t_{2,m}, t_{3,m})$ 时,初始时刻站台人数 $q_{2,n} = q_{1,n} + (v_{in,n} - v_{ic,n} - v_{1,n})(t_{2,m} - t_{1,m})$,进站到达站台的乘客人数 $q_{in,n}(t) = v_{in,n}(t - t_{2,m})$,离开站台的乘客人数 $q_{1,n}(t) = v_{1,n}(t - t_{2,m})$ 。阶段3任意 t 时刻聚集人数为:

$$Q_{p3}(t) = q_{2,n} + (v_{in,n} - v_{1,n})(t - t_{2,m}), \quad t \in [t_{2,m}, t_{3,m}) \quad (3)$$

4) 阶段4。在下车乘客完全离开站台到下趟列车进站开门期间,即 $t \in [t_{3,m}, t_{0,m} + h]$ 时,初始时刻站台人数 $q_{3,n} = q_{2,n} + (v_{in,n} - v_{1,n})(t_{3,m} - t_{2,m})$,进站到达站台的乘客人数 $q_{in,n}(t) = v_{in,n}(t - t_{3,m})$,阶段4任意 t 时刻聚集人数为:

$$Q_{p4}(t) = q_{3,n} + v_{in,n}(t - t_{3,m}), \quad t \in [t_{3,m}, t_{0,m} + h] \quad (4)$$

2.2 岛式非换乘站台

岛式站台中上下行列车的客流在同一站台上

集散,可将上下行列车的客流集散视为两个侧式站台的客流集散,于是任意时刻的站台聚集人数可由两个侧式站台的聚集人数按照时间对应叠加得到。分别用 s 和 x 表示上行和下行,可分别得到第 n 个运行周期内任意 t 时刻上行的侧式站台聚集人数函数:

$$Q_{p1,s}(t) = q_{0,s} + (v_{in,s} + v_{oc,s})(t - t_{0,s}), \quad t \in [t_{0,s}, t_{1,s}) \quad (5)$$

$$Q_{p2,s}(t) = q_{1,s} + (v_{in,s} - v_{ic,s} - v_{1,s})(t - t_{1,s}), \quad t \in [t_{1,s}, t_{2,s}) \quad (6)$$

$$Q_{p3,s}(t) = q_{2,s} + (v_{in,s} - v_{1,s})(t - t_{2,s}), \quad t \in [t_{2,s}, t_{3,s}) \quad (7)$$

$$Q_{p4,s}(t) = q_{3,s} + v_{in,s}(t - t_{3,s}), \quad t \in [t_{3,s}, t_{0,s} + h_s] \quad (8)$$

同理可得任意 t 时刻下行的侧式站台聚集人数分段函数。任意 t 时刻上下行侧式站台聚集人数之和即为任意 t 时刻岛式站台的聚集人数。

2.3 换乘站台

换乘站台的站台聚集人数可视为站台原始聚集人数与换乘线路换入的聚集人数之和。站台原始聚集人数可参考前文中的研究结果,本部分只需研究换乘线路换入的聚集人数 $Q_c(t)$,再按照时间对应叠加即可。同样,对于岛式换乘站台,其换乘进入站台客流需按上下行方向分别计算。

实际运营中,为避免客流聚集,换乘线路列车的到站时间会与本线路第 n 个运行周期内列车到站时间有一定间隔。同时,存在一个站台有多条换乘线路乘客换入的情况,为保证换乘车站所有线路的运力能够相互匹配,需合理设置各线路的运行间隔。在该部分计算中,假设各线路的运行间隔相近且都为 h ,第 i 条线路换乘客流开始进入站台的时刻为 $t_{11,i}$,全部进入站台的时刻为 $t_{22,i}$ 。虽然换乘线路下车的乘客中只有部分乘客换乘,但因换乘通道数量少,所有换乘客流进入站台的时间较长,故假设 $t_{22,i} - t_{11,i} > t_{1,m} - t_{0,m}$ 和 $t_{22,i} - t_{11,i} > t_{2,m} - t_{1,m}$ 。由于 $t_{11,i}$ 与 $t_{22,i}$ 在4个阶段中的不确定性,本文分别分析不同情况下单侧第 i 条线路换入聚集人数 $Q_{c,i}(t)$ 的计算方法。

1) 当 $t_{11,i} \leq t_{1,m} \leq t_{22,i} \leq t_{2,m}$ 时,即:换乘乘客还未全部进入站台,站台上的乘客已开始上车,且在列车车门关闭前乘客全部进入站台。此时:

$$Q_{c,i}(t) = \begin{cases} 0, & t \in [t_{0,m}, t_{11,i}) \\ v_{c,n,i}(t_{1,m} - t_{11,i}), & t \in [t_{11,i}, t_{1,m}) \\ v_{c,n,i}(t_{1,m} - t_{11,i}) + \\ (v_{c,n,i} - v_{ic,n})(t - t_{1,m}), & t \in [t_{1,m}, t_{22,i}) \quad (9) \\ v_{c,n,i}(t_{1,m} - t_{11,i}) + \\ (v_{c,n,i} - v_{ic,n})(t_{22,i} - t_{1,m}) - \\ v_{ic,n}(t - t_{22,i}), & t \in [t_{22,i}, t_{2,m}) \\ 0, & t \in [t_{2,m}, t_{0,m} + h] \end{cases}$$

2) 当 $t_{11,i} \leq t_{1,m} \leq t_{2,m} \leq t_{22,i}$ 时, 即: 换乘乘客还未全部进入站台, 站台上的乘客已开始上车, 且在列车车门关闭后换乘乘客仍在继续进入站台。此时:

$$Q_{c,i}(t) = \begin{cases} 0, & t \in [t_{0,m}, t_{11,i}) \\ v_{c,n,i}(t_{1,m} - t_{11,i}), & t \in [t_{11,i}, t_{1,m}) \\ v_{c,n,i}(t_{1,m} - t_{11,i}) + \\ (v_{c,n,i} - v_{ic,n})(t - t_{1,m}), & t \in [t_{1,m}, t_{2,m}) \quad (10) \\ v_{c,n,i}(t - t_{2,m}), & t \in [t_{2,m}, t_{22,i}) \\ v_{c,n,i}(t_{22,i} - t_{2,m}), & t \in [t_{22,i}, t_{0,m} + h] \end{cases}$$

3) 当 $t_{1,m} \leq t_{11,i} \leq t_{2,m} \leq t_{22,i}$ 时, 即: 站台上的乘客开始上车时, 换乘乘客开始到达站台, 且在列车车门关闭后换乘乘客仍在继续进入站台。此时:

$$Q_{c,i}(t) = \begin{cases} 0, & t \in [t_{0,m}, t_{2,m}) \\ v_{c,n,i}(t - t_{2,n}), & t \in [t_{2,m}, t_{22,i}) \quad (11) \\ v_{c,n,i}(t_{22,i} - t_{2,m}), & t \in [t_{22,i}, t_{0,m} + h] \end{cases}$$

4) 当 $t_{2,m} \leq t_{11,i} \leq t_{22,i} \leq t_{0,m} + h$ 时, 即: 换乘乘客在列车未进站时开始向站台聚集, 且在列车进站前换乘乘客全部进入站台。此时:

$$Q_{c,i}(t) = \begin{cases} 0, & t \in [t_{0,m}, t_{11,i}) \\ v_{c,n,i}(t - t_{11,i}), & t \in [t_{11,i}, t_{22,i}) \quad (12) \\ v_{c,n,i}(t_{22,i} - t_{11,i}), & t \in [t_{22,i}, t_{0,m} + h] \end{cases}$$

5) 当 $t_{2,m-1} \leq t_{11,i} \leq t_{0,m} \leq t_{22,i} \leq t_{1,m}$ 时, 即: 换乘乘客在列车未进站时开始在站台聚集, 且在列车进站后仍继续向站台聚集。此时:

$$Q_{c,i}(t) = \begin{cases} v_{c,n-1,i}(t - t_{11,i}), & t \in [t_{0,m}, t_{22,i}) \\ v_{c,n,i}(t_{22,i} - t_{11,i}), & t \in [t_{22,i}, t_{1,m}) \\ v_{c,n,i}(t_{22,i} - t_{11,i}) - \\ v_{ic,n}(t - t_{1,m}), & t \in [t_{1,m}, t_{2,m}) \quad (13) \\ 0, & t \in [t_{2,m}, t_{11,i}) \\ v_{c,n,i}(t - t_{11,i}), & t \in [t_{11,i}, t_{0,m} + h] \end{cases}$$

因此, 换乘车站的单侧第 i 条线路换入聚集总人数为 $\sum Q_{c,i}(t) (i=1, 2, 3, 4, 5)$ 。

当下车人数非常少, 且远小于上车人数时, 将列车运行间隔 h 同样分为 4 个阶段, 后续研究方法类似, 故不再赘述。

3 地铁站台局部区域人群密度计算

地铁站台各区域人群密度随时间变化, 可用平均人群密度和局部人群密度来衡量。常规的平均人群密度计算是用站台层建筑面积除以车站设备、管理用房和安全区域的面积之和, 但这与乘客在站台层分布不均的实际情况不符, 不能有效判断局部人群拥挤情况。

地铁车站重点区域中局部区域的持续人群高密度是造成拥挤踩踏事故的前兆之一, 因此, 在地铁车站安全管理中, 需要特别关注地铁车站客流集散过程中重点区域的人群密度。高密度下, 人群会产生流体特性, 出现成拱现象。在车门、通道口处, 除正面的人群流动外, 还有侧面拥挤的人群, 这使得门口人群密度迅速增加, 形成拱形人群。聚集成拱现象演化如图 2 所示。

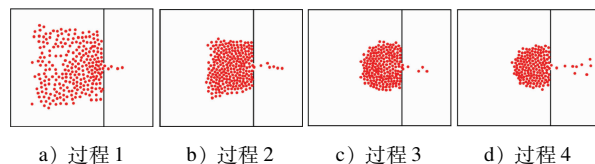


图 2 行人聚集成拱现象演化过程

Fig. 2 Evolution process of pedestrians arching phenomenon

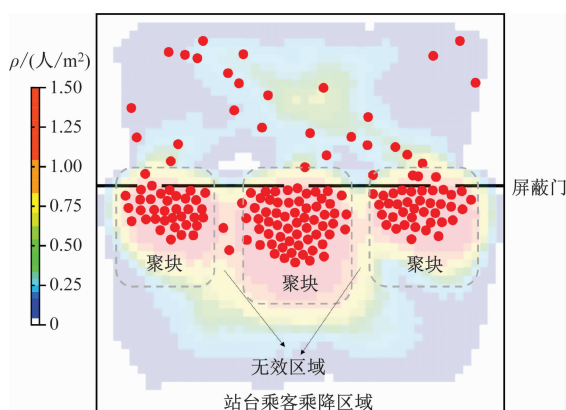
高峰期行人主要受尽快到达目标的趋向支配, 与周围人保持一定距离的心理被弱化, 拥挤状态下甚至只保留自身物理空间, 故高峰期大客流时人群密度可用人数与面积之比近似计算。

现有的地铁车站局部区域人群密度计算方法, 多将人群聚集区域定义为矩形。这与多数地铁站设计时在站台屏蔽门候车区域、楼扶梯口区域等处均预留矩形区域作为功能区有关。而在高峰期拥挤状态下, 这些重点区域活动人群多会出现成拱现象。地铁运营安全评估中采用的重点区域局部人群密度指标应尽可能反映该区域人群真实拥挤程度。如果基于人数与面积之比计算人群密度, 所取区域内人群应尽可能符合均匀分布, 因此, 依据成拱现象, 需对重点区域中局部区域的面积进行修正。根据实地调研与文献分析, 地铁车站站台上的

重点区域易发生高密度现象,这些重点区域包括站台屏蔽门乘降区、楼梯口处等。本文重点研究站台屏蔽门乘降区乘客的分布情况和局部人群密度的计算。

3.1 乘降区乘客行为分析

乘客候车过程中的两种主要行为是聚集和排队。在高峰时段,站台上会出现“聚块现象”^[6](见图3),即乘客会不约而同地聚集在站台屏蔽门前的特定区域候车,而相邻站台屏蔽门之间的候车区域通常不连续,彼此分割。聚块区域是本文重点研究的局部高密度人群区域,而聚块之间的区域在候车过程中往往不被占用,是无效区域。



注: ρ —平均人群密度。

图3 站台乘客聚块效应

Fig. 3 Passenger aggregation effect on platforms

候车区虽然不连续但是聚集块规律性地分布在每个站台屏蔽门之前。在对单个屏蔽门候车区乘客行为的分析中,有学者提出了矩形、扇形等分布区域,如文献[7]将屏蔽门两侧的乘客分布情况近似视为扇形分布,并讨论了独立扇形和重叠扇形两种状态,虽然能够描述和解释列车进站开门前的乘客状态,但忽略了大客流状态下因屏蔽门正前方排队过长,导致后方乘客开始向侧面涌去,并逐渐达到屏蔽门口水平方向和正前方排队长度相等的动态平衡状态^[8]。在这种拱形聚块状态下,因乘客聚集所形成的区域即为重点区域,其面积需要进一步确定和修正。

3.2 乘降区局部人群密度确定

考虑乘客排队上车时在站台屏蔽门处的聚集堆积状态,对屏蔽门处乘客拥挤的空间分布特性进行图形化描述,将人群聚集区域转化为抛物线与屏蔽门边界面围成的区域,如图4所示。图中矩形虚

线框为单个屏蔽门处可用于乘客候车的总区域,即候车区,面积记作 S_{door} 。候车区的面积参数参考文献[6]的数据拟合结果,候车区长度 L 和宽度 H 与候车人数 Q_{hc} 的关系分别满足:

$$H = 0.685 Q_{\text{hc}}^{0.546} \quad (14)$$

$$L = 2.031 Q_{\text{hc}}^{0.08} \quad (15)$$

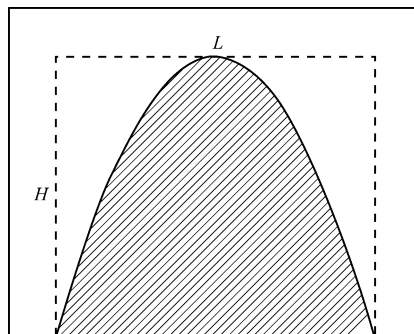


图4 站台屏蔽门处有效候车面积修正

Fig. 4 Correction of effective waiting area at the platform screen door

图4中的二次曲线表达式为:

$$y = -\frac{4H}{L^2}x^2 + H \quad (16)$$

式中:

x, y ——二次曲线横坐标和纵坐标数值。

图4中二次曲线面积 S_{conic} 为:

$$S_{\text{conic}} = 2 \int_0^{\frac{L}{2}} \left(-\frac{4H}{L^2}x^2 + H \right) dx = \frac{2}{3}HL \quad (17)$$

屏蔽门处乘降区域有效面积的空间修正系数 α 为:

$$\alpha = S_{\text{door}}/S_{\text{conic}} \quad (18)$$

式(18)中, α 取 $3/2$ 。

由此可得到站台屏蔽门处乘降区域局部密度 ρ_{door} 表达式:

$$\rho_{\text{door}} = Q_{\text{door}}\alpha/S_{\text{door}} \quad (19)$$

4 案例分析

以某地铁车站为例,对该站站台人群密度进行计算。该线路列车采用6节编组(A型车),列车运行间隔 h 为 2.5 min ,该站站台为岛式站台,上、下行初始站台人数 q_0 分别为76人和35人,站台部分参数指标见表1。

根据表1参数指标,按照式(5)得到一个发车间隔内站台上、下行的单侧乘客聚集人数表达式分别为:

表 1 案例车站部分参数及其取值

Tab. 1 Some parameters and values of the case station

参数	取值	参数	取值
$v_{in,s}/(\text{人}/\text{s})$	0.54	$t_{1,s}/\text{s}$	10
$v_{in,x}/(\text{人}/\text{s})$	0.25	$t_{2,s}/\text{s}$	17
$v_{oc,s}/(\text{人}/\text{s})$	4.77	$t_{3,s}/\text{s}$	30
$v_{oc,x}/(\text{人}/\text{s})$	31.93	$t_{4,s}/\text{s}$	150
$v_{ic,s}/(\text{人}/\text{s})$	4.04	$t_{1,x}/\text{s}$	10
$v_{ic,x}/(\text{人}/\text{s})$	1.90	$t_{2,x}/\text{s}$	30
$v_{1,s}/(\text{人}/\text{s})$	6.82	$t_{3,x}/\text{s}$	49
$v_{1,x}/(\text{人}/\text{s})$	2.19	$t_{4,x}/\text{s}$	150
h/s	150		

$$Q_s(t) =$$

$$\begin{cases} 76 + 5.31t, & t \in [0, 10) \\ 129.1 - 10.32(t - 10), & t \in [10, 17) \\ 56.86 - 3.5(t - 17), & t \in [17, 30) \\ 11.36 + 0.54(t - 30), & t \in [30, 150] \end{cases} \quad (20)$$

$$Q_x(t) =$$

$$\begin{cases} 35 + 32.18t, & t \in [0, 10) \\ 356.8 - 9.84(t - 10), & t \in [10, 30) \\ 160 - 7.94(t - 30), & t \in [30, 49) \\ 9.14 + 0.25(t - 49), & t \in [49, 150] \end{cases} \quad (21)$$

站台聚集乘客人数变化情况如图 5 所示。

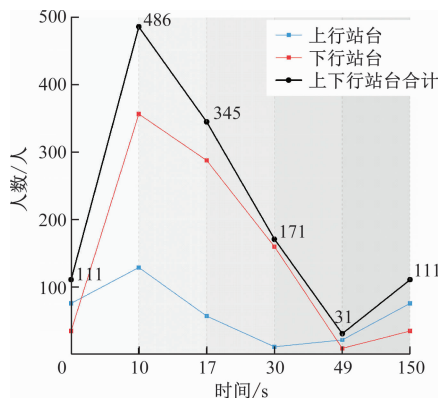


图 5 一个列车运行间隔内站台聚集人数变化情况

Fig. 5 Changes in the number of people gathered on the platform within a train running interval

分别计算站台整体人群密度和局部区域人群密度。车站站台有效面积 $S_{\text{有效}}$ 取值为 $1\ 100\ \text{m}^2$, 则:

$$\rho = (Q_{hc,s} + Q_{hc,x}) / S_{\text{有效}} \quad (22)$$

式中:

$Q_{hc,s}$ ——上行站台候车人数;

$Q_{hc,x}$ ——下行站台候车人数。

局部区域人群密度以单个屏蔽门前的人群聚块为单位进行研究。假设上下行站台候车乘客均匀分布于屏蔽门前, 该线路列车车门数 k 取 30, 根据式 (19) 可分别计算站台上下行局部区域人群密度。

图 6 为一个发车间隔内站台平均人群密度变化和依托本文计算方法得到的上下行站台局部人群密度变化情况。由图 6 可见: 站台局部人群密度明显大于平均人群密度。密度曲线变化幅度更大、速度更快, 就能更直观清晰地反映站台重点区域人群聚集状态及变化趋势。

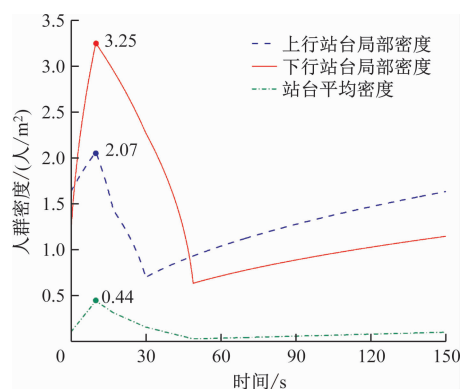


图 6 一个列车运行间隔内站台人群密度变化情况

Fig. 6 Changes in platform crowd density within a train running interval

5 结语

本文对周期时间内站台聚集人数的变化情况进行分析, 构建了多阶段聚集人数计算模型; 通过研究站台乘降区乘客行为特征, 确定了以乘客聚块为单位的局部重点区域, 计算并对其进行修正。最终, 提出了一种地铁车站站台局部区域人群密度计算方法。

与传统站台平均人群密度计算方法相比, 局部人群密度体现的是车门乘降区人群的聚集情况。分析结果显示, 局部区域人群密度与人群聚集数量为指数关系而非线性关系, 具有数值更大、变化幅度更明显、变化速度更快等特征。在实际应用场景下, 局部区域的人群密度往往比站台整体人群密度更容易接近或是到达警戒危险指标, 并且对列车运能调整、进出站台客流变化更为敏感, 更能体现站台负荷极值与高负荷状态持续时间所对应的极限情况。该方法在高峰期等大客流状态下应用具有更大意义。

本文提出的计算方法基于若干个假设条件,包括:列车停站期间站台乘客均能上车没有滞留、乘客遵从先下后上原则、乘客开始上车时刻与离开站台时刻同步、站台乘客均匀分布于屏蔽门前等。在实际运营中,客流及乘客行为具有一定的随机性和不平衡性,需要结合其特征进一步研究完善该方法,并讨论大客流状态下乘客滞留站台的情况。此外,围绕本文所提出的局部区域人群密度计算方法建立一套与之对应且能够应用于实际的指标评价体系也将是下一步的研究内容。

参考文献

- [1] 赵宇刚,毛保华,杨远舟,等.城市轨道交通站台最高聚集人数计算方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11(2): 149.
ZHAO Yugang, MAO Baohua, YANG Yuanzhou, et al. Methods of calculating the maximum assembling on urban rail transit platforms[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2011, 11(2): 149.
- [2] 赵宇刚. 考虑服务水平的城市轨道交通换乘问题研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
ZHAO Yugang. Study on transfer of urban rail transit considering service level[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.
- [3] 张研. 城市轨道交通同台换乘站台乘客拥挤水平评价研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
ZHANG Yan. Study on the evaluation of passenger crowding level on the same transfer platform of urban rail transit[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.
- [4] HELBING D, FARKAS I, VICSEK T. Simulating dynamical features of escape panic[J]. Nature, 2000, 407: 487.
- [5] 任若文. 基于 Unity3d 的多出口人流疏散仿真[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2018.
REN Ruowen. Simulation of multi-exit pedestrian evacuation based on Unity3d[D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2018.
- [6] 马山. 轨道站岛式站台等待区划分方法[J]. 科研, 2016(13): 159.
MA Shan. Waiting area division method for island platform of railway station[J]. Science Research, 2016(13): 159.
- [7] 沈景炎. 乘客动态分布与站台宽度的研究[J]. 城市轨道交通研究, 2001, 4(1): 21.
SHEN Jingyan. The research for dynamic distribution of passenger and the width of platform[J]. Urban Mass Transit, 2001, 4(1): 21.
- [8] 岳昊, 刘秋梅, 武鑫森. 步行设施内疏散行人拥挤踩踏仿真研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20(3): 190.
YUE Hao, LIU Qiumei, WU Xinsen. Simulation of crowding and stampede on evacuation pedestrians in pedestrian facilities[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2020, 20(3): 190.

· 收稿日期:2024-05-07 修回日期:2024-06-10 出版日期:2025-01-10
Received:2024-05-07 Revised:2024-06-10 Published:2025-01-10
· 第一作者:郭龙灿,硕士研究生,m13673737851@163.com
通信作者:蒲琪,副教授,90893@tongji.edu.cn
· ©《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

成都两条地铁新线开通 运营里程超 670 km

2024 年 12 月 19 日上午,在成都地铁 27 号线双水碾站,随着首发列车“钥匙”的交接完成,标志着成都第二条全自动运行线路正式开通初期运营。与此同时,成都地铁 8 号线龙潭寺站的列车也正式起动运营。

27 号线一期工程北起新都区石佛站,西至青羊区蜀鑫路站。线路全长 24.86 km,共设车站 23 座,新增韦家碾站、羊犀立交站、洞子口站、金府站 4 座换乘站,分别与 1 号线、2 号线、5 号线、6 号线换乘。8 号线二期工程是一期工程向西南和东北方向的延伸线,线路长 7.61 km,在龙港站与 19 号线交汇换乘,通达成都双流国际机场和成都天府国际机场。

在成都,16 条地铁线路、423 座车站、670 km 线网已有效覆盖中心城区、城市新区,并实现成都、资阳两地无缝换乘。通过轨道快线、市域(郊)铁路建设,实现了“家门口的地铁”片刻即至。

(摘编自中国新闻网)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com