

地铁车站疏散设施布局对乘客疏散时间的影响^{*}

王琳 张国奥 徐杭

(西南交通大学交通运输与物流学院,610031,成都//第一作者,讲师)

摘要 城市轨道交通线网规模和复杂性增加的同时,灾害发生时的疏散难度也在加大,增加车站疏散设备使用效率、减少疏散时间对车站安全运营和车站能力扩增有重要意义。以徐州地铁1号线彭城广场站为例,通过仿真软件 Anylogic 构建车站疏散模型,研究楼扶梯空间位置和出口开放情况对车站总疏散时间的影响。仿真结果表明,工作人员在楼扶梯和出口处的干预对疏散时间减少有显著作用。

关键词 地铁车站;疏散设备;疏散时间;仿真分析

中图分类号 U298.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.09.012

Influence of Metro Station Evacuation Facility Layout on Passenger Evacuation Time

WANG Lin, ZHANG Guoao, XU Hang

Abstract As the scale and complexity of urban rail transit network increases, the evacuation difficulty during disasters rises as well. Increasing usage efficiency of station evacuation facilities and reducing evacuation time are of great significance for station safe operation and station capacity expansion. Taking Pengcheng Square Station of Xuzhou Metro Line 1 as an example, the station evacuation model is constructed by simulation software Anylogic to study the influence of escalator/staircases position and exit opening situation on the total station evacuation time. Simulation results show that the intervention of staff by the escalator/staircases and exit contribute evidently to the reduction of evacuation time.

Key words metro station; evacuation facility; evacuation time; simulation analysis

Author's address School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, 610031, Chengdu, China

随着城市规模的扩大和城市发展进程的不断推进,在客流较大的地铁车站,如何合理布置车站的设备设施、划分车站空间使用情况对灾害发生时的疏散时间长短有重要影响。用于疏散的通道类设施设备主要为疏散楼梯、用于疏散的自动扶梯和

疏散通道^[1],研究疏散中可用的楼扶梯的空间位置和出口的开放情况对疏散时间的影响有重要意义。

目前,针对地铁车站楼扶梯和出口的空间位置和使用情况对疏散影响的研究,主要选取开通运营后的车站进行分析^[2-3]。分析的重点一是集中在车站设施设备的建筑设计环节,考虑不同的建筑形式和设备布局对疏散过程的影响^[4];二是集中在实际运营中设备的使用情况对疏散过程的影响。鲜有文献考虑车站发生灾害时不同位置的楼扶梯和出口无法用于疏散的情况。本文采用 Anylogic 仿真软件构建仿真模型,以徐州地铁1号线彭城广场站为例,设计不同位置的楼扶梯和出口无法用于疏散的场景,分析楼扶梯空间位置和出口开放情况对疏散的影响。

1 车站疏散基础条件

1.1 车站疏散设施设备基本情况

选用 Anylogic 仿真软件构建仿真模型。Anylogic 软件的行人库采用社会力模型算法,能精确模拟人的心理对行为的影响,能够根据当前所处的社会环境,运用经典物理学进行受力分析,模拟移动速度变化。

本文研究的基本疏散场景为地下两层岛式车站的标准布局车站,地下一层为站厅层,地下二层为站台层,由2组楼扶梯、1组楼梯和无障碍电梯连接站台层与站厅层。车站出口通常分布在矩形车站的4个角,根据地理位置和车站性质增设其他出口;车站内付费区和非付费区由进出站闸机连接,其他位置使用护栏进行阻拦;楼扶梯组连接付费区内站厅和站台,通常采用3组布置形式^[5]。车站内部的主要疏散设备为通道类设备,包括楼扶梯、走行通道、进出站闸机等设备。车站出口楼扶梯数量由站型及地理位置决定,变化较大。

^{*} 南京工程学院科研创新基金面上项目(CKJB201311)

本文选择徐州地铁 1 号线彭城广场站(见图 1)进行疏散仿真。根据彭城广场站火灾应急处置预案,站台乘客由 1 号口、3 号口、4 号口进行疏散。

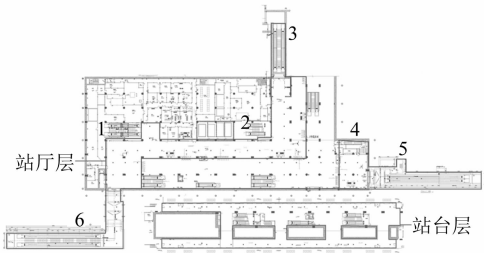


图 1 徐州地铁 1 号线彭城广场站站厅及站层布置图

1.2 车站疏散基础数据

彭城广场站在 1 号线一期工程开通当年的早高峰进站客流量为 314 人/h、出站客流量为 3 298 人/h,工作日早高峰上行方向徐医附院站—彭城广场站的区间断面客流量为 6 563 人/h。

根据《地铁安全疏散规范》^[1],场景设置按超高峰时段 1 列列车进站停靠时刻、只发生一处火灾考虑。

人员默认走行速度取值为新建地铁站的行人舒适速度 1.1 m/s^[1]。实际走行速度根据行人所处的社会环境能够自动变化。

1.3 车站疏散基本场景

按照基本疏散场景运行仿真模型,疏散人数随时间分布如图 2 所示。时间 $t=0$ 时,列车到达车站; t_1 阶段,客室内乘客、站台等候乘客以及正在楼扶梯上的乘客开始向站厅疏散; t_2 阶段,车站总人数的疏散速率基本为常数,到 210 s 左右,站台层全部疏散完毕; t_3 阶段,疏散结束。

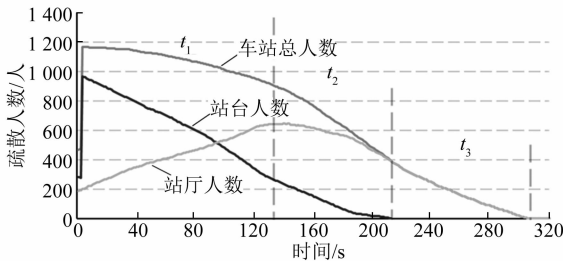


图 2 基本疏散场景下疏散人数随时间分布

对疏散过程有明显影响的通道类设施为楼扶梯、站厅通道、进出站闸机。进出站闸机对疏散过程中行人的疏散有明显的阻滞作用。在闸机入口处往往有行人聚集,对疏散时间有明显的影响。但由于闸机成组布置,疏散时进出及双向闸机均完全打开,同时站厅区域空间较大,对于行人而言能够

有较好的视野,短时间内能够自组织和自分配,对疏散时间影响较小,故不进行相应的试验研究。

2 疏散时间影响因素仿真分析

站台层楼扶梯空间布局和出口开放情况对疏散时间影响最大。为研究两者对疏散总时间造成的影响,设置对照场景如下:

1) 在楼扶梯维修或故障情况下,疏散可用的楼扶梯总数减少。在站台所有可用楼扶梯上行通过能力相同的情况下,分析可用的楼扶梯空间位置的不同对疏散时长的影响。

2) 火灾位置或障碍物位置会导致出口无法开放,分析 3 个出口分别无法用于疏散的情况下对疏散时长的影响。

2.1 楼扶梯空间位置对疏散的影响

灾害发生时,车站内的下行扶梯停止运行作为楼梯使用,上行扶梯按照原速度保持上行,对于疏散更有效。本文研究采用下行扶梯停止运行作为楼梯使用,上行扶梯保持上行的策略。基本疏散场景下楼扶梯使用情况如图 3 所示。

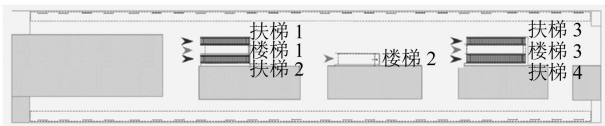


图 3 基本疏散场景下的车站楼扶梯使用方案

2.1.1 疏散场景设置

为研究楼扶梯空间位置对疏散时长的影响,设置场景 1-1 和场景 1-2,分别为两侧扶梯各一个处于不能通过的状态。左侧 2 个扶梯不能通过,右侧扶梯正常使用,该场景与右侧 2 个扶梯不能通过的情况等效。各疏散场景下楼扶梯使用情况如表 1 所示。

表 1 各疏散场景下车站楼扶梯使用情况

疏散场景	楼扶梯使用情况						
	扶梯 1	楼梯 1	扶梯 2	楼梯 2	扶梯 3	楼梯 3	扶梯 4
基本场景	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
场景 1-1	×	✓	✓	✓	✓	×	✓
场景 1-2	×	✓	×	✓	✓	✓	✓

2.1.2 站台疏散过程分析

对两个场景分别进行 20 次测试后取疏散时间平均值,站台人数随时间分布如图 4 所示。在 t_1 时间段,场景 1-1、场景 1-2 相较于基本场景疏散情况,疏散速度较低,因为受限于站台总扶梯输送能力。

t_1 时间过后,基本场景情况下疏散速度影响较小,但场景 1-2 疏散速度明显减缓。原因在于,无干预的情况下,行人倾向于选择视野范围内较近的扶梯组,导致行人在左侧扶梯组处大量聚集,站台整体设备利用不均衡。在 210 s 后的场景 1-2 中,站台所有的滞留乘客仍在左侧扶梯组处等待服务,由站台疏散至站厅所需的时间已经超过 6 min,全部乘客疏散至地面的时间接近 500 s,极大超过《地铁安全疏散规范》所规定的安全疏散时间,危险隐患较大。

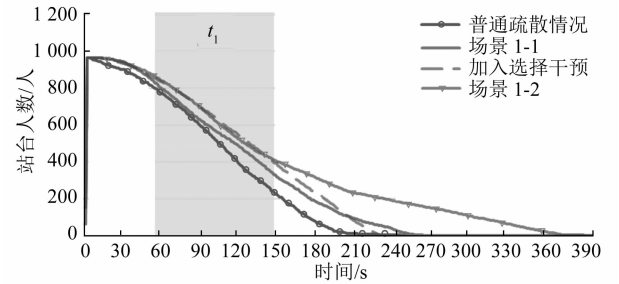


图 4 不同疏散条件下站台人数随时间分布

场景 1-1 同场景 1-2 的区别主要在于,场景 1-1 中的乘客能够较为均衡地利用多个扶梯的能力,因此在有设备暂停使用时,仍然能够满足安全疏散时间要求。

针对场景 1-2 出现的问题,做出如下优化:通过广播和引导对乘客的扶梯选择进行干预,均衡各个扶梯组的使用情况。场景 1-2 加入引导前和加入引导后的站台疏散情况如图 5、图 6 所示。在疏散至 170 s 时各个扶梯组利用基本达到均衡,疏散总时间为 332 s,符合《地铁安全疏散规范》要求。



图 5 场景 1-2(加入引导前)疏散至 170 s 时
站台行人分布情况



图 6 场景 1-2(加入引导后)疏散至 170 s 时
站台行人分布情况

如图 6 所示,在 t_1 时间段过后,场景 1-1 和场景 1-2 均开始出现能力使用不均衡的情况,对整个站台而言疏散受到限制。通过车站人为引导,疏散效率提升明显。

2.2 出口开放情况对疏散过程的影响

在车站疏散过程中,根据彭城广场站火灾应急处置预案,站台乘客由 1 号口、3 号口、4 号口进行疏散,如图 1 所示。

2.2.1 疏散场景设置

为研究出口空间布局对疏散过程影响,设置如表 2 所示的 3 组不同场景,。

表 2 各疏散场景车站出口开放情况

疏散场景	出口开放情况		
	1 号口	3 号口	4 号口
基本场景	√	√	√
场景 2-1	×	√	√
场景 2-2	√	×	√
场景 2-3	√	√	×

2.2.2 站厅疏散过程分析

对 3 组疏散场景进行仿真模拟。疏散全过程乘客走行密度如图 7 所示。其中 1 号口走行流线较为复杂,客流密度较大,对乘客走行阻滞较多。在场景 2-1 中,1 号口无法用于疏散,行人在走行过程中的路线复杂度较低,走行流线有至多 2 处折角。在场景 2-2 和场景 2-3 中,行人前往 1 号口走行路径较为复杂,行人走行过程中有多处折角,行人在折角处密度较高,对走行效率有一定影响。3 号口的疏散流线简单,只在拐角位置有较为明显的客流密度较大的情况,但走行路径较长。4 号口走行流线简单且走行距离较短。

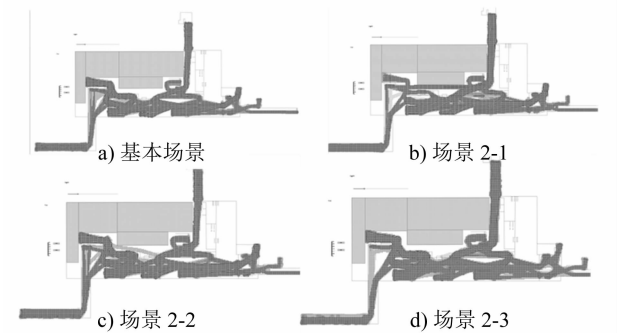


图 7 不同疏散场景疏散全过程行人密度图

综合考虑折角数量与路径选择难度,将走行流线的复杂程度分为 1~5 级。各疏散场景的仿真结果如表 3 所示。在各个疏散场景中,场景 2-1 的疏散时间最长,场景 2-2、场景 2-3 其次且疏散时间相近;场景 2-1 中的行人避开了走行流线最复杂的 1 号口,疏散时间却最长,说明虽然关联流线复杂程度较高的疏散口对乘客的疏散时间有一定影响,但

是走行距离对乘客的疏散时间则有更大影响。彭城广场站 1 号口的出口宽度较大,虽然在折线拐角位置行人密度较大,但滞留时间较短,对整体疏散影响并不大。场景 2-1 的疏散时间最长,说明在保持一定的空间服务水平的前提下,站厅走行距离对疏散影响最大。当紧急情况发生时,工作人员应及时引导乘客从走行距离较短的出口进行疏散,以提高疏散效率。

表 3 不同疏散场景的仿真结果

场景	疏散总时间/s	站厅最大走行距离/m	走行流线复杂程度	时间差/s
基本场景	321	76	5	0
场景 2-1	387	117	2	66
场景 2-2	361	97	5	40
场景 2-3	359	102	5	38

3 结语

本文设计了不同位置的楼扶梯和出口无法用于疏散的场景,研究了地铁车站不同位置的楼扶梯和出口开放情况对疏散的影响。

1) 针对楼扶梯空间位置对疏散的影响,设置了 2 个场景与基本场景进行对照。在站台层楼扶梯空间位置分布差异较大的场景下,通过合理引导乘客能够大幅提高乘客使用设备的均衡程度,提高疏散效率。

2) 针对出口开放情况对疏散的影响,设置了 3 个场景与基本场景进行对照。在疏散通道宽度不受限的情况下,流线的复杂程度对乘客疏散时间有一定影响,但乘客在站厅层的走行距离对疏散时间影响较大。

本文研究内容可为地铁车站客运组织和应急组织提供一定的指导。本文研究的是典型空间结构的车站按既定规范条件下的基本疏散情况中的 2 个关键因素,其中乘客行为、闸机位置对疏散的影响,以及不同的车站空间布局、换乘站的布置与使用等因素对疏散的影响还需进一步研究。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁安全疏散规范: GB/T 33668-2017 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2017.

[2] 梅艳兰,谢科范,刘思施,等. 地铁站密集人群应急疏散能力分析模型及仿真 [J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2018(4): 370.

[3] 马清源,王晨,陆键,等. 轨道交通车站应急疏散仿真研究 [J]. 城市轨道交通研究,2016(10): 71.

[4] 姚国伟. 基于乘客疏散仿真的地铁车站建筑结构布置和设施协调研究 [D]. 北京:北京交通大学,2008.

[5] 苏清. 地铁一般车站标准化设计研究 [J]. 现代城市轨道交通,2017(12): 44.

(收稿日期:2019-09-30)

(上接第 50 页)

参考文献

[1] RICKERS S, NAVARROIR, BRUCKGH, et al. Receiver coil parameter optimization process for the efficiency of an implantable inductive power transfer system [C] //2014 Middle East Conference on Biomedical Engineering. Doha, Qatar: [s. n.], 2014: 33-38.

[2] LEE J Y, SHEN H Y, CHAN K C. Design and implementation of removable and closed-shape dual-ring pickup for contactless Linear inductive power track system [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2014, 50(6): 4036-4046.

[3] CHOW J P W, CHEN N, CHUNG H S H. An investigation into the use of rthogonal winding in loosely coupled link for improving power transfer efficiency under coil misalignment [J]. IEEE, Transactions on Power Electronics, 2015, 30 (10): 5632-5649.

[4] KACPRZAK D, COVIC G A, BOYS J T. An improved magnetic design for inductively coupled power transfer system pickups

[C] //Proceedings of the IEEE International Power Engineering Conference. Singapore: [s. n.], 2005: 1136.

[5] BUDHIA M, BOYS J T, COVIC G, et al. Development of a single-sided flux magnetic coupler for electric vehicle IPT charging systems [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 60(1): 318-328.

[6] PARK C B, LEE B S, LEE H W. Magnetic and thermal characteristics analysis of inductive power transfer module for railway applications [C] //2012 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. Seoul: [s. n.], 2012: 576-579.

[7] 张献,杨庆新,陈海燕,等. 电磁耦合谐振式传能系统的频率分裂特性研究 [J]. 中国电机工程学报, 2012(9): 167.

[8] 戴欣,余奎,孙跃. CLC 谐振型感应电能传输系统的 H 控制 [J]. 中国电机工程学报, 2010(30): 47.

[9] 封阿明. 基于全桥谐振变换器的非接触电能传输系统基本特性研究 [D]. 南京:南京航空航天大学, 2011.

(收稿日期:2019-08-13)