

恐怖袭击情境下地铁车站应急疏散 仿真方法改进研究

李 枫 吴 潼 葛丽娟

(同济大学上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点实验室, 201804, 上海//第一作者, 副教授)

摘 要 在梳理分析国内外研究文献与实践状况的基础上, 针对恐怖袭击情境下地铁车站的乘客应急疏散仿真, 首先建议基于疏散心理和行为特征对乘客群体进行科学分类并差异化地赋予不同类型乘客相应的行为仿真参数, 以提高仿真结果的可靠性; 其次, 在简要分析恐怖袭击情境下地铁车站乘客应急疏散心理与行为响应过程的基础上, 重点通过情境问卷调查研究了特定恐怖袭击情境下乘客的典型应急疏散选择行为, 并根据乘客不同的应急疏散行为反应模式对乘客群体进行了科学分类; 然后, 在分析给出乘客应急疏散心理与行为相关主要影响因素的基础上, 通过多项 logit 模型分析, 标明了乘客分类的显著影响因素, 并利用本次情境问卷调查结果数据和上海市人口普查相关数据, 估算了特定恐怖袭击情境下上海地铁车站乘客群体分类比例; 最后, 运用 Massmotion 人群疏散仿真软件, 基于乘客的科学分类, 对照进行了相应的实例疏散仿真, 仿真结果的比较分析表明, 对乘客群体进行科学分类并对不同类型乘客赋予相应的行为仿真参数会对应急疏散仿真结果产生显著影响。

关键词 地铁车站; 恐怖袭击; 应急疏散; 乘客分类

中图分类号 U293.1

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.03.025

Research on the Improvement of Metro Station Passenger Emergency Evacuation Simulation Method in the Context of Terrorist Attacks

LI Feng, WU Tong, GE Lijuan

Abstract On the basis of reviewing domestic and international research essays and implementation scenarios, the simulation of passenger emergency evacuation in metro station in the context of terrorist attacks was conducted. Firstly, passengers are classified scientifically based on evacuation psychology and behavioral characteristics, and respective behavior parameters were assigned to passengers of different types with diversification, so that the simulation results can be more reliable. Secondly, on the basis of primary analysis of passenger emergency evacuation psychology and behavior response

process, the typical emergency evacuation choice behavior was studied mainly through scenario questionnaires, and passengers were classified scientifically according to the correspondent emergency evacuation behavior response patterns. Thirdly, on the basis of analyzing the major factors related to and influencing passenger evacuation psychology and behavior, through multiple logit model analysis, the significant influential factors for passenger classification was highlighted. Combining the research result data of the adopted questionnaire and relative data from Shanghai Population Census, the ratio of classified passenger groups in Shanghai rail transit stations in specific context of terrorist attacks were estimated. Finally, adopting Massmotion crowd evacuation simulation software, real evacuation cases targeting whether the passenger classification was scientific or not were simulated. The comparative analysis of simulation results has shown that to classify the passengers scientifically and to assign correspondent behavior simulation parameters have significant influence on the emergency evacuation simulation results.

Key words metro station; terrorist attack; emergency evacuation; passenger classification

Author's address Key Laboratory of Rail Infrastructure Durability and System Safety, Tongji University, 201804, Shanghai, China

0 引言

目前, 国内外均缺乏针对恐袭击情境下地铁车站乘客应急疏散仿真的全面深入研究, 特别是缺少针对恐怖袭击情境下乘客应急疏散心理和行为特征的调查分析, 使得人们在利用基于一般智能体的动态仿真系统对恐怖袭击情境下地铁车站乘客应急疏散过程进行仿真时, 几乎不考虑乘客个体心理特征的差异对疏散行为的影响, 这必然造成仿真结果的偏差失控。事实上, 恐怖袭击情境下, 受恐慌

情绪的影响,因个体基本属性、过往经历等因素的差异,不同类型乘客应急疏散心理和行为往往有着很大的不同。

迄今,在人群应急疏散心理和行为特征方面,国内外学者虽然从一般心理学角度对人群中恐慌等极端情绪的感染反馈机制的研究取得了一定的成果^[1-7],但针对恐怖袭击情境下人群受恐慌等极端情绪影响的应急疏散心理和行为的的研究,仍然相对缺乏^[9-10]。因此,为提高恐怖袭击情境下地铁站乘客应急疏散仿真结果的可信性,迫切需要针对乘客在此情境下的疏散心理和行为响应的过程与特征进行系统分析和调查研究,并基于这些应急疏散心理和行为特征对乘客群体进行科学分类,以差异化确定仿真智能体的行为仿真参数,科学反映恐怖袭击情境下不同类型乘客应急疏散的不同行为过程与特点。

1 恐怖袭击情境下地铁站乘客应急疏散心理与行为过程简要分析

一般,在仿真地铁站乘客应急疏散过程时,需要以乘客疏散撤离路径上的楼梯、闸机和出口为关键节点(node),以节点间的可选撤离路线为连接(link),构建如图1所示的乘客应急疏散撤离分级网络,以便模拟分析乘客在应急疏散过程中于每个网络位置处的动态决策与行为响应过程及特征。

恐怖袭击情境下,第一现场的乘客首先接收到恐怖袭击事件的信息,在产生恐慌情绪的同时,会第

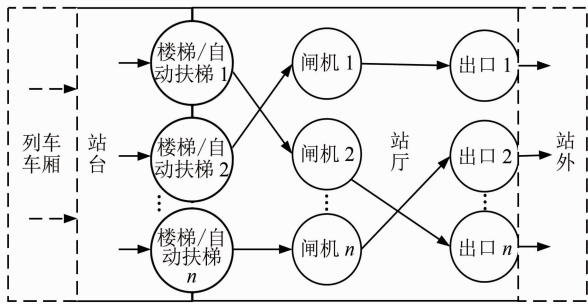


图1 地铁站乘客应急疏散撤离分级网络示意图

一时间结合周围的环境信息(设施与人群的分布与拥挤状况)做出自己的快速撤离决策,包括方向与路径,并以自身期望的速度开始撤离。

在第一批乘客依据有关信息做出决策并实施快速撤离行为的同时,将会通过语言、动作或其他方式将恐怖袭击事件的信息与自身的恐慌情绪传递给周围邻近区域的乘客^[7-8],促使其快速做出应急撤离的决策。相应地,车站网络中其他邻近区域的乘客,也会依次获取到相关信息并受到恐慌情绪的影响,做出相应的应急撤离响应,形成群体依次相应疏散撤离的效应。

上述恐怖袭击情景下乘客依次应急疏散心理特征及行为反应过程如图2所示。在整个疏散过程中,每个个体能否及时、合理做出决策,采取有效的疏散行动,取决于个体此时的心理状态特征,如恐慌程度、基本的认知水平和思维判断能力等。比如,过往的类似经验影响独立自主疏散决策能力,生理行动能力影响实施疏散决策、付诸疏散行动的能力。

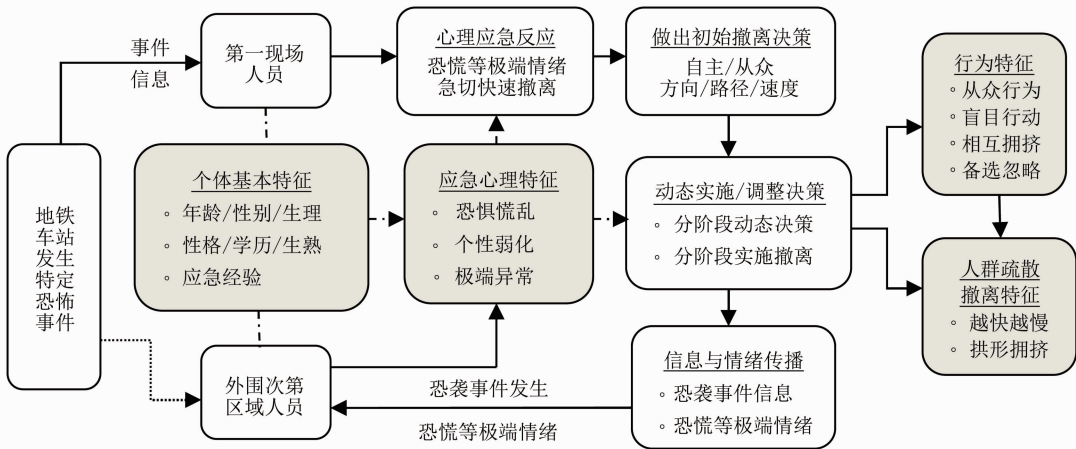


图2 恐怖袭击情境下乘客应急疏散心理特征及行为反应过程

通常,恐怖袭击情境下,受恐慌情绪的影响,乘客的疏散行为将严重偏离于正常情况,呈现出特殊的行

为特征,包括:期望速度提高;相互推挤加剧;少部分自主独立者能够维持独立进行理性决策与行动

的能力;认知水平较低者(从众者)失去决策与行动的独立性,跟随多数人决策与行动等。最终对群体的疏散过程造成各种消极影响,形成各种更为明显的人群应急疏散的特有现象。比如,“越快越慢”现象、瓶颈处的“拱形拥挤”现象、备用出口或疏散路线受忽略现象等。

2 恐怖袭击情境下地铁车站乘客应急疏散心理与行为特征的调查分析

2.1 调查概况

为深入研究不同类型乘客在恐怖袭击情景下的特定应急疏散心理与行为特征,探讨影响乘客分类的具体影响因素,本次研究设计了相应的调查问卷,并在上海轨道交通 11 号线及 10 号线沿线车站开展了相应的情境(SP)调查,包括预调查和正式调查。

问卷内容包括受访者基本属性、过往经历和恐怖袭击情境下的应急选择行为。预调查共收集 150 份调查问卷并通过 Cronbach 系数、KMO 和 Barlett 球形检验系数进行信度和效度分析,确定问卷题目有效。最终正式调查共回收 597 份有效调查问卷。

2.2 调查结果统计分析

2.2.1 样本基本属性及过往疏散经历的统计分析

对样本数据进行统计分析,具体信息见表 1。本次调查受访者性别比例均衡,主要为 24~40 岁的中青年群体;大多数受访者受教育程度较高且对地铁车站内各出入口及相关疏散标志有一定了解,但大部分缺乏有效的紧急疏散教育或训练。

2.2.2 乘客典型应急疏散行为的统计分析

调查问卷以“某地铁站站台发生恐怖主义策划的爆炸袭击”为假设场景,调查该恐怖袭击情境下受访乘客的第一应急反应、疏散通道的选择、排队拥挤情况下的选择、对待前面摔倒乘客的反应等疏散过程中的典型行为。结果如表 2 所示。

参考社会心理学对恐慌人群心理和行为的研究成果^[4],设置了如表 2 中的 4 个典型问题情境,调查分析乘客应急疏散时的典型行为选择。其后,则以具体的行为选项表征疏散人员该方面的疏散行为特征。比如:“看周围其他人反应”指向从众行为特征,“来不及思考,赶紧撤离”指向冲动行为特征;“听从工作人员指挥离开”指向求助行为特征,“选择人多的撤离通道”指向从众行为特征,等等。

表 1 受访样本基本属性及过往疏散经历统计分析

调查内容	调查结果	人数/人	占比/%
性别	男	328	55
	女	269	45
年龄/岁	≤23	128	21
	24≤·≤29	209	35
	30≤·≤40	179	30
	≥41	81	14
	初中及以下	30	5
受教育程度	高中或中专	125	21
	本科或大专	370	62
	硕士及以上	72	12
	心平气和	405	68
情绪状况	有些焦虑	180	30
	偶尔紧张或着急	12	2
接受安全疏散训练情况	从未有过	203	34
	接受过训练但印象不深	275	46
	接受过训练且印象深刻	119	20
是否注意过地铁紧急疏散标志	是	448	75
	否	149	25
是否有紧急疏散经历	是	101	17
	否	496	83
对所在车站各出口熟悉情况	不熟悉	110	18
	一般熟悉	365	61
	熟悉	122	21
高峰期乘坐地铁的心理体验	冷静	340	57
	焦急	125	21
	抱怨	36	6
	厌烦	96	16
	几乎不可能	149	25
认为地铁发生火灾、恐怖袭击等突发事件的可能性	有可能,但可能性很小	412	69
	随时可能发生	36	6

表 2 恐怖袭击情境下受访者的典型应急行为的统计分析

问题情境	典型应急行为	人数/人	占比/%
接收恐怖袭击事件信息后的第一应急反应	来不及思考,赶紧撤离	162	27
	向工作人员询问并等待救援	162	27
	自行判断事件是否真实	153	26
	不知所措	26	4
	看周围其他人的反应	94	16
对疏散通道的选择	听从工作人员指挥离开	328	55
	选择人少的撤离通道	14	2
	选择人多的撤离通道	41	7
	选择自己熟悉的出口撤离	56	9
	选择最近的出口撤离	158	27
面临拥挤情况的选择行为	协助工作人员疏散	123	20
	选择其他出口疏散	141	24
	直接挤到前面插队	4	1
	等待一会,失去耐心后向前插队	35	6
	耐心排队等待疏散	294	49
对待摔倒乘客的行为	取决于前面或周围乘客的反应	66	11
	上前搀扶起来	233	39
	自己疏散要紧,直接越过摔倒的人	6	1
	尽量避让,不踩着摔倒乘客逃生	293	49

3 恐怖袭击情境下地铁车站应急疏散乘客群体的科学分类

3.1 地铁车站应急疏散仿真过程中对乘客群体进行科学分类的必要性和可行性

一般,恐怖袭击事件发生后,受个体心理状态、过往经历等因素的影响,乘客在应急疏散过程中会呈现出不同的心理特征并采取不同的行为反应模式。因此在疏散仿真过程中应体现这种差异。但在以往的应急疏散仿真研究中,往往不加区别随机地赋予每个疏散乘客相应的疏散行为参数,并未系统严谨地考虑乘客分类及各类型乘客的真实比例,因而造成仿真结果的不可靠。

另一方面,尽管乘客在疏散过程中的行为模式一般会随不同疏散阶段、具体疏散情境的变化而变化,但同一乘客面向同一疏散阶段和同一疏散情境,其应急疏散行为模式应基本稳定,即在一定时期内乘客的应急疏散行为模式可假定是不变的,可归类于某一类乘客(当然,经后期培训、演练和经历学习,乘客的应急疏散行为模式也会发生迁移变化,每过一段时期需要重新调查确立),因此,在一定时期内各类乘客的分布比例也应是稳定不变,可经适当方法加以估计,以支持基于乘客分类和赋予不同类型乘客相应的行为仿真参数,以提高地铁车站乘客应急疏散仿真结果的可靠性。

根据情境调查中呈现出的乘客在疏散中的从众、慌乱等典型行为模式,参考文献[4]的研究成果,将本次恐怖袭击情境下的应急疏散乘客对应地分为5类:①从众型乘客——行为趋同于周围人群;②慌乱型乘客——不知所措,反应时间较长;③自主型乘客——自己判断信息真实性并进行行为决策;④求助型乘客——向工作人员求助、等待救援;⑤冲动型乘客——不进行思考判断即撤离疏散。

3.2 基于多项logit模型分析的乘客分类显著影响因素的确立

为确立乘客分类的显著影响因素,明确乘客样本的分类判定标准,本次研究将性别、年龄等个体基本属性,是否接受过安全疏散训练等个体认知水平属性,以及个体恐慌心理属性等作为自变量,建立了多项logit模型,并进行了相应的回归分析与显性因素判断。相关自变量及其定义如表3所示。

表3 个体基本属性和个体认知水平属性自变量及其定义表

属性分类	自变量及其定义
个体基本属性	X_1 ——性别;
	X_2 ——年龄;
	X_3 ——文化程度;
	X_4 ——身体状况;
	X_5 ——性格类型;
	X_6 ——近期的情绪状态
个体认知水平属性	X_7 ——是否接受过紧急疏散的安全教育或训练;
	X_8 ——是否注意过地铁站紧急疏散的指示标志;
	X_9 ——是否有过在人群密集场所紧急疏散的经历(如火灾、爆炸等原因造成的紧急疏散);
	X_{10} ——对地铁站的各个出口是否熟悉;
	X_{11} ——高峰期乘坐地铁时的心理体验;
	X_{12} ——认为地铁车站发生突发事件的可能性;
	X_{13} ——认为地铁车站发生突发事件的危害性
个体恐慌心理属性	X_{14} ——惊奇情绪;
	X_{15} ——痛苦情绪;
	X_{16} ——厌恶情绪;
	X_{17} ——愤怒情绪;
	X_{18} ——恐惧情绪;
	X_{19} ——悲伤情绪

以冲动型乘客作为对照组进行多项logit回归分析,结果如表4所示。

结合模型似然比检验的结果,得到多项logit回归模型的最终结果为:

$$\ln\left(\frac{P_1}{P_5}\right) = -0.854 \times [\text{@1.性别} = 1] + 2.620 \times [\text{@3.受教育程度} = 1] \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{P_2}{P_5}\right) = -0.494f_3 - 1.660 \times [\text{@1.性别} = 1] \quad (2)$$

$$\ln\left(\frac{P_3}{P_5}\right) = -0.231f_2 + 0.585 \times [\text{@1.性别} = 1] \quad (3)$$

表4 以冲动型乘客为对照组的logit多项回归分析结果

乘客分类	显著变量	回归分析结果			
		B	Wald 检验	显著性	Exp(B)
从众型乘客	[@1.性别=男]	-0.854	7.589	0.006	0.426
	[@3.受教育程度=初中及以下]	2.620	6.429	0.011	13.738
慌乱型乘客	f_3	-0.494	3.630	0.047	0.610
	[@1.性别=男]	-1.660	8.338	0.004	0.190
自主型乘客	f_2	-0.231	4.883	0.027	0.794
	[@1.性别=男]	0.585	5.230	0.022	1.795
求助型乘客	[@3.受教育程度=1]	1.780	4.026	0.045	5.931
	[@3.受教育程度=高中或中专]	0.861	3.800	0.049	2.365

注:Cox & Snell 结果为0.336,Nagelkerke 结果为0.355; f_2 、 f_3 为自变量进行主成分分析后得到的主成分因子, f_2 代表最近情绪不佳,高峰期易紧张, f_3 代表人群年纪轻且经过疏散训练

$$\ln\left(\frac{P_4}{P_5}\right) = 1.780 \times [\text{@3.受教育程度} = 1] + 0.861 \times [\text{@3.受教育程度} = 2] \quad (4)$$

式中:

P_1 ——乘客个体属于从众乘客的概率;

P_2 ——乘客个体属于慌乱乘客的概率;

P_3 ——乘客个体属于自主型乘客的概率;

P_4 ——乘客个体属于求助型乘客的概率;

P_5 ——乘客个体属于冲动型乘客的概率。

其中:

$$f_2 = -0.09x_2 + 0.48x_6 + 0.26x_7 + 0.29x_9 - 0.27x_{10} + 0.49x_{11} + 0.34x_{12} + 0.22x_{13} - 0.09x_{14} - 0.02x_{15} - 0.2x_{16} - 0.18x_{17} + 0.21x_{18} + 0.02x_{19} \quad (5)$$

$$f_3 = -0.47x_2 + 0.14x_6 + 0.68x_7 - 0.33x_9 + 0.1x_{10} + 0.04x_{11} + 0.31x_{12} + 0.25x_{13} - 0.06x_{14} + 0.06x_{15} + 0.01x_{16} - 0.02x_{17} + 0.03x_{18} + 0.07x_{19} \quad (6)$$

则恐怖袭击情景下地铁车站乘客个体属于不同类型乘客的概率分布模型如下:

$$P_i = \frac{e^{\ln\left(\frac{P_i}{P_5}\right)}}{1 + e^{\ln\left(\frac{P_1}{P_5}\right)} + e^{\ln\left(\frac{P_2}{P_5}\right)} + e^{\ln\left(\frac{P_3}{P_5}\right)} + e^{\ln\left(\frac{P_4}{P_5}\right)}}, \quad i = 1, 2, \dots, 5 \quad (7)$$

式中:

P_i ——乘客个体属于 i 类型乘客的概率。

对回归分析结果进行分析可知:

1) 从众型乘客模型表明,女性更容易产生从众心理,男性则不易依附周围人反应;学历较低的人群比较依附周围人反应,从众行为更明显。

2) 慌乱型乘客模型表明,年纪轻且经过紧急疏散训练的乘客更不容易慌乱无措,犹豫不决;女性相比于男性更容易不知所措。

3) 自主型乘客模型表明,最近情绪不稳定且在高峰期容易紧张和焦虑的群体在面对突发事件时更难自己主动去判断事件信息并做出决策;男性在

面临恐怖袭击时比较冷静,更有可能自己做出判断与决策。

4) 求助型乘客模型表明,学历不高的人群比较倾向于向工作人员求助并等待救援。

3.3 恐怖袭击情境下地铁车站应急疏散乘客群体分类比例的估算

本次研究,基于上述情境问卷调查数据与统计结果,结合上海市第六次全国人口普查数据,得到上海市的常住人口性别分布、受教育情况等个体基本属性数据,以及应急疏散演练经历、给定情境下的应急疏散选择行为等乘客个体行为特征数据,代入上述乘客分类多项 logit 模型,最终得出:前述恐怖袭击情境下,上海地铁车站乘客群体中目前的从众型乘客、慌乱型乘客、自主型乘客、求助型乘客和冲动型乘客所占的比例依次为 30%、5%、16%、36% 和 13%。

4 基于乘客群体科学分类的应急疏散仿真改进案例

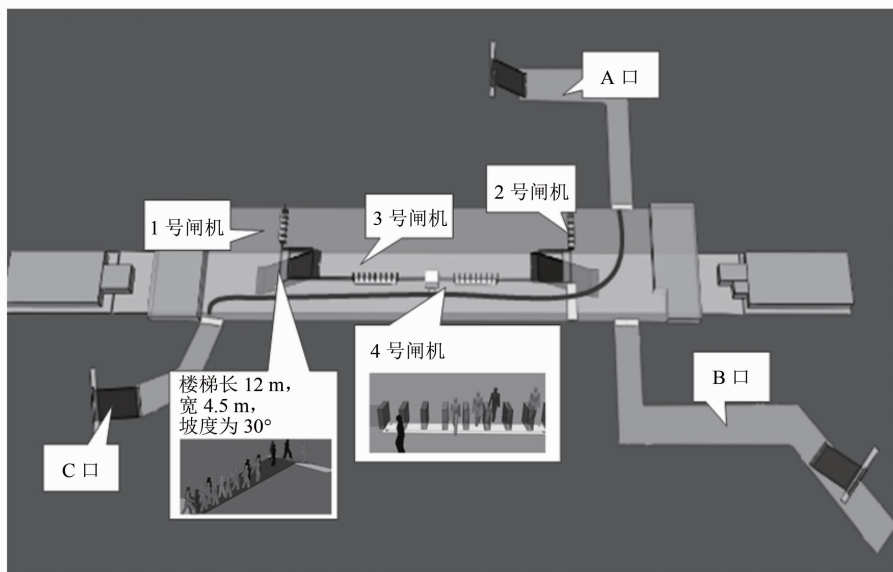
本次研究,运用人群疏散仿真软件 Massmotion,以北京地铁 4 号线马家堡站为实例,进行了恐怖袭击情境下应急疏散仿真的比较分析。分别在不考虑乘客分类的原始未修正社会力模型(场景一)和考虑乘客分类(基于不同类型乘客的分类估算比例)修正后的社会力模型(场景二)2 种场景下进行仿真分析,并对仿真结果进行比较。结果表明,两种场景下,疏散仿真的结果指标可能存在明显差异。

4.1 马家堡站基本情况

马家堡站为地下车站,采用整体式站厅、双层岛式站台,有 A(西北)、B(东北)、C(东南)3 个出入口。站厅层和站台层均分为设备区和公共区,其中:站厅层公共区长 136 m、宽 38 m,站厅层到地面设有 3 个出口及配套楼梯,站厅层设有 2 组进站闸机和 2 组出站闸机,并假设应急疏散时进站和出站闸机都会向安全方向敞开;站台层公共区长 182 m、宽 20 m,站台层到站厅层设有 2 组楼梯。在 Massmotion 软件中构建马家堡站仿真模型,如图 3 所示。

4.2 仿真结果分析

恐怖袭击发生前,乘客散乱分布在站台和站厅。假设在站台层某处发生恐怖袭击事件,站台层



注: 模型撤离路径及楼梯与站厅层、站台层地面的接触点为网络中的路径决策点, 模型中疏散人员可能的行走路径由各个路径决策点的连线表示; 每组进站闸机有 5 个通道, 每组出站闸机有 8 个通道, 通道宽 0.7 m, 闸机机箱宽 0.25 m、高 1.00 m、长 1.08 m, 行人通过每个闸机通道的时间约为 1.5~3.0 s

图3 马家堡站仿真模型

乘客经站台层与站厅层之间的楼梯向站厅层撤离, 站厅层的乘客同站台层乘客一起经过 4 个闸机口离开站厅层收费区向 A、B、C 出口疏散。假定到达各个出口的地面点即达到了安全地带。

1) 疏散效率。疏散开始后两种场景中的站台层乘客开始向站厅楼梯处集结并于疏散开始 2 min 后集结完毕; 经过楼梯和闸机时, 场景二中经疏散行为修正后的乘客奋力向前推挤, 使得整个疏散进

程出现了“越快越慢”现象^[11]; 疏散开始 4 min 后, 受从众心理影响, 在场景二中, C 口尽管已非常拥挤, 但绝大多数乘客仍向 C 口集结疏散; 疏散开始 6 min 后, 在场景一中, 乘客已疏散完毕, 在场景二中, 仍有乘客在 C 口等待疏散。场景一的疏散总用时为 5 min 38 s, 场景二的疏散总用时为 7 min 5 s。场景一与场景二的疏散效率对比如图 4 所示。

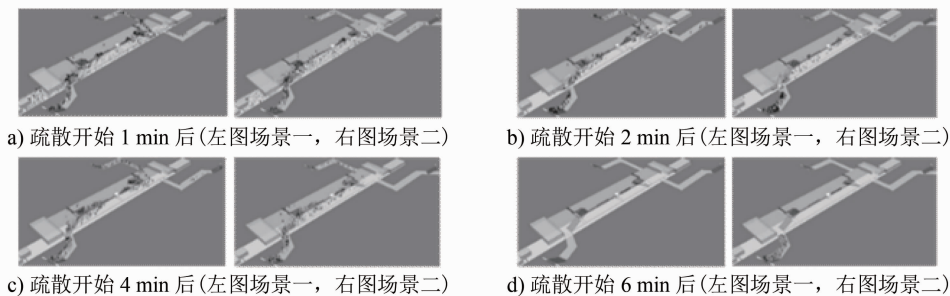


图4 场景一与场景二疏散效率对比图

2) 疏散人群密度。在两种场景中, 3 号闸机和 4 号闸机前方区域、3 号闸机到 C 口通道和 4 号闸机到 A、B 口通道在疏散过程中的最大疏散密度较高, 人群密度大于 $0.430 \text{ 人}/\text{m}^2$; 站台层通往站厅层 2 个楼梯的下半段和楼梯口前人员密度较大, 人群密度大于 $2.174 \text{ 人}/\text{m}^2$ 。场景二中, 人群密度大于 $2.174 \text{ 人}/\text{m}^2$ 的疏散区域面积略大于场景一且持续时间更长。站台层和站厅层疏散人群密度及高密度区域

持续时间对比如图 5 所示。

3) 疏散设施利用率。对车站内楼梯、闸机、出入口等 9 个设施的利用率进行分析, 分析结果如表 5 所示。两种场景下, 2 个楼梯的利用率差异不大, 2 个楼梯口分配的流量也基本均衡。因 3、4 号闸机距离楼梯 1 和楼梯 2 的距离更近且位于其前进方向, 更易被观察到, 故选择 3、4 号闸机撤离的人员更多。在场景二中, 经乘客分类修正, 从众型乘客会跟

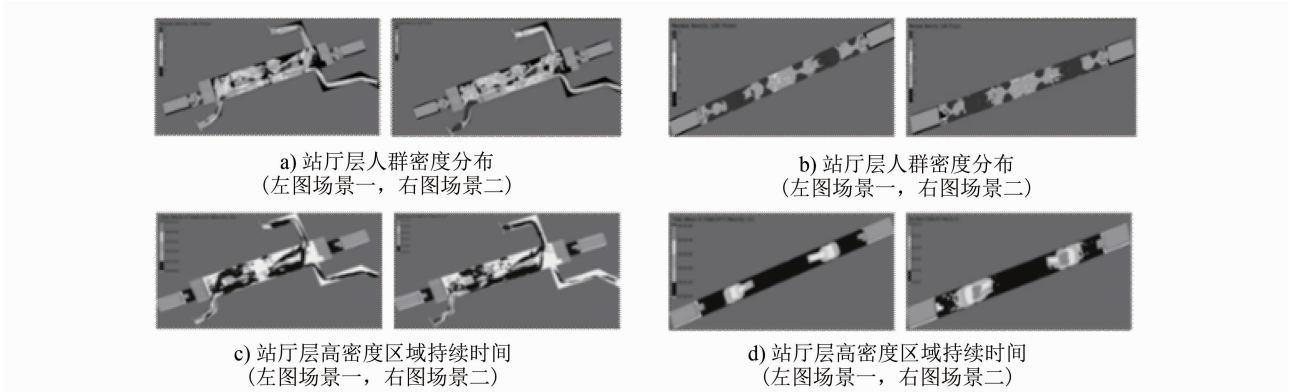


图5 站台层和站厅层疏散人群密度及高密度区域持续时间对比

从大多数人的选择,进而忽视了距离稍远但是排队不长的可用通道;在最后 1 min 左右,所有的待疏散乘客都聚集在 C 口,A、B 口处于闲置状态。

表5 两种场景中车站疏散设施利用率									
场景	楼梯利用率/%		闸机利用率/%				出口利用率/%		
	楼梯1	楼梯2	闸机1	闸机2	闸机3	闸机4	出口A	出口B	出口C
场景一	47	53	8	14	41	37	49	42	9
场景二	48	52	5	11	44	40	77	20	3

5 结语

本文分析了恐怖袭击情境下地铁车站乘客应急疏散心理与行为响应过程,并重点通过情境问卷调查研究了特定恐怖袭击情境下乘客的典型应急行为选择,提出基于调查反映的乘客不同的应急疏散行为反应模式,将乘客分为从众型、慌乱型、自主型、求助型、冲动型,并建议在面向特定恐怖袭击情境开展地铁车站乘客应急疏散仿真时应对乘客群体进行科学分类并差异化地赋予不同类型乘客相应的行为仿真参数,以提高仿真结果的可靠性。

为确立本次乘客分类的显著影响因素,明确乘客样本的分类标准,本次研究还建立了相应的多项 logit 模型,通过该模型的回归分析确定了乘客分类的显著影响因素,并利用上海市人口普查数据和本次情境问卷调查统计数据,估算了特定恐怖袭击情境下目前上海地铁车站乘客群体分类比例。

最后运用 Massmotion 仿真软件,基于乘客科学分类与否对照进行了实例疏散仿真。仿真结果的比较分析表明,对乘客群体进行科学分类对应急疏散仿真结果有显著影响。

本文研究成果,支持在应急疏散仿真过程中“基于乘客应急疏散心理和行为特征的情境调查数据对乘客群体进行科学分类并差异化地赋予不同类型乘客相应的行为仿真参数”,以更加可靠地反映特定恐怖袭击情境下地铁车站的乘客应急疏散行为,从而改进相应的应急疏散仿真效果。

参考文献

[1] 李杰,李平,谢启苗,等.安全疏散研究的科学知识图谱[J].中国安全科学学报,2018,28(1): 1.

[2] PROULX G.Occupant behavior and evacuation[R]. Ottawa: National Research Council Canada, 2001.

[3] KOBES M, HELSLOOT I, VRIES B D, et al. Building safety and human behavior in fire: A literature review[J]. Fire Safety Journal, 2010, 45(1): 1.

[4] DIRK H, ILLES J F, PETER M, et al. Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations[J]. Pedestrian and Evacuation Dynamics, 2002(2): 21.

[5] 徐敏.疏散中的典型心理行为特征分析[J].安全,2007(6): 42.

[6] 李逊,洪玲,徐瑞华.轨道交通车站应急疏散乘客心理行为影响因素分析[J].城市轨道交通研究,2012(4): 54.

[7] HOFFMAN M L. How automatic and representational is empathy, and why[J]. Behavioral and Brain Science, 2002(1): 38.

[8] 王春雪,吕淑然,杨凯.突发事件中恐惧情绪感染概率研究[J].中国安全科学学报,2015(9): 14.

[9] 赵雪.地铁车站人员应急疏散模型的研究[D].成都:西南交通大学,2013.

[10] 田玉敏.恐慌情况下人群心理及行为规律的探讨[J].人类工效学,2008(1): 48.

[11] DIRK H, ILLES F, TAMAS V. Simulating Dynamical Features of Escape Panic[J]. Nature, 2000(6803): 487.

(收稿日期:2019-06-12)