

基于 FCE 法的城市地铁踩踏事件 应急能力评价研究^{*}

——以广州地铁为例

卢文刚 黄小珍

[摘要] 城市地铁安全是城市安全的重要内容。城市空间有限、客流量大、运营时间短、乘客自助乘车等特点使得地铁运营中存在诸多安全隐患,因拥挤造成的踩踏事件尤为突出,且其危害程度往往大于初始灾害。梳理过往发生的地铁踩踏事件,分析其发生和演化机理,运用模糊综合评价法、层次分析法和 RI 值测度法等构建地铁踩踏事件应急能力评价模型,并运用这一模型对广州地铁进行评价,据此提出提升广州地铁踩踏事件应急能力策略建议,以促进城市地铁安全可持续发展。

[关键词] 应急管理;踩踏事件;应急能力评价;模糊综合评价法(FCE);广州地铁

[中图分类号] D035 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-0863 (2018) 03-0145-08

一、问题的提出

随着世界城市化进程的不断加快,城市地铁作为一种便捷、平稳、准时、较少受天气影响、运输量大的交通工具,越来越被广泛应用。改革开放以来,我国城市化进程加快,城市人口数量不断增长。为适应庞大的城市人口出行要求,地铁交通不断快速发展。截至 2015 年底,中国共有 39 座城市获准修建城市轨道交通线路,总规划里程 2764 公里。预计到 2020 年,符合国家地铁建设标准的城市将达 50 个,“十三五”期间地铁里程将达 6000 公里。^[1]

在风险社会下,城市地铁的快速发展中必然蕴含着安全隐患和风险。而近年国内外大城市地铁踩踏事件和公共场所人群拥挤踩踏事故也已给人们带来了深刻的教训。如目前广州市地铁的日均客流量超过 750 万人次,承担了广州市约 42% 的公交客流运送任务,大量乘客聚集在狭小的通道和站台内,一旦发生突发事件,极可能造成乘客跌倒、踩踏等事件,而地铁人群

密集、空间有限、应急疏散难度大等特点则势必加剧事件造成的危害。据不完全统计,仅 2008 ~ 2017 年我国地铁就发生了 19 起踩踏事件,导致 135 人伤亡。

2018 年 1 月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于推进城市安全发展的意见》,要求各地区各部门牢固树立安全发展理念,推进安全生产领域改革发展,切实把安全发展作为城市现代文明的重要标志,健全公共安全体系,打造共建共治共享的城市安全社会治理格局,促进建立综合性、全方位、系统化的城市安全发展体系,全面提高城市安全保障水平。^[2] 应急能力评价贯穿于应急管理的全过程,是应急管理者正确决策、有效预防与处置突发事件的重要依据。对城市地铁踩踏事件应急能力进行评价,有助检验并推进城市地铁安全生产改革发展,精准加强城市地铁踩踏事件应急能力相关工作,提高地铁运营安全,使地铁应急能力与地铁发展速度相匹配,对我国城市安全经济社会稳定和谐发展具有重要的现实意义。

^{*} 基金项目:国家社科基金项目“快速城市化进程中的城市轨道交通突发事件应急能力评价体系及其实证研究”(编号:12BGL108);广东省高等教育“高校创新强校工程”特色创新项目“基于复杂系统理论的地铁突发事件监测预警及其关键技术研究”(编号:2016WTSCX005);广东省科技计划项目“优先发展城市公共交通战略下广东城市公共交通安全突发事件监测预警体系研究”(编号:2012B031500010)

作者:卢文刚,暨南大学应急管理学院副教授、硕士生导师;黄小珍,暨南大学应急管理学院硕士研究生,广州 510632

二、城市地铁踩踏事件及其演化机理

(一)城市地铁踩踏事件及其应急能力评价

地铁,在台湾和新加坡被称为捷运(Rapid transit),在英文中,根据不同的起源和使用习惯,也常称为:Metro(巴黎、中国大陆地区)、MRT(新加坡、中国台北与高雄等)、MTR(特指香港)、Overground(特指地上轨道)、Railway(特指地上轨道)、Subway(美国及周边地区、北京)、Tube(特指伦敦)或Underground(特指伦敦)。由于地铁和轻轨都有建在地下、地面和高架上的,因此,为了明确区分地铁和轻轨,专业领域认为,地铁是指高峰小时单向运输能力大于25000人并小于70000人的大容量城市轨道交通系统。^[3]本文所研究的地铁,主要是指运行线路在地下隧道中的、人们日常所认为的建于地下的城市轨道交通。

地铁踩踏事件应急能力是指,当在人群大量聚集并且活动空间有限的地下城市地铁运营范围内,由于人群拥挤等导致人员意外跌倒或是由于外界的影响等,从而引起人群的盲目恐慌逃离事发现场所引起的类似于“多米诺骨牌”般人群相继跌倒而产生的踩踏事件时,有关部门(政府部门、地铁公司等)开展应急响应处置,力求在最短的时间内使踩踏事件所造成的人员伤亡和财产损失达到最小,社会所受负面影响降至最低,确保地铁有序安全运营的综合应急管理能力。

(二)城市地铁踩踏事件演化机理分析

机理是指事物发生发展所遵循的内在规律,研究地铁踩踏事件的演化机理,揭示其形成的规律和发展的内在动力,有助更好地预防与处置救援,同时有助在应急能力指标选取过程中评价指标的科学性和适用性,确保指标选取的针对性。

1. 人流行为规律分析

地铁踩踏事件多属于次生事件,不同的首发事件造成的踩踏不同,因此,在分析地铁踩踏事件发生机理时,需对踩踏事件中的主要因素——人流的特征及运动规律分析阐释。通过直接观察和摄像记录等总结发现,地铁内人流的行为规律主要有如下四点:

(1)单向行走现象

正常状态下,行人在行走过程中都会倾向于与自己行进方向一致的人群保持相同的方向,以避免形成碰撞。当在地铁行人较少的情况下,乘客的这种倾向更加明显,特别是在上下扶梯这类单向前进的通道中,乘客较少的情况下,乘客普遍偏向于靠近扶梯的右侧站立前进(如图1所示)。在排除扶梯突然出现故障的情况下,人流方向非常规律并且乘客可活动空间较大,这样的状态下,发生踩踏事件的概率非常小。

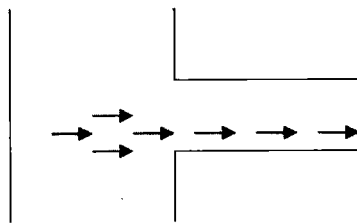


图1 人流单向行走示意图

(2)聚集成拱现象

当人群逐渐增加,人群从较宽敞的活动空间转向拥挤且较为狭窄的通道或是出入口后,除了正前方有人群阻碍外,还会有从后方以及侧面不断涌入的人流,进一步阻碍了前方人群的行走,不断增加通道和出入口的人群密度,人流状态呈现出拱形现象,从而导致通道或出入口堵塞(如图2)。一旦拱形人群的密度达到每平方米13人以上时,就会导致由于外侧的拥挤力过大而造成拱形崩溃。一旦前方人群跌倒或是后方乘客向前拥挤力度过大,则极易发生人群踩踏。

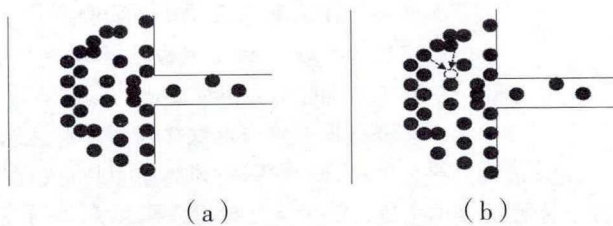


图2 人群成拱形现象示意图

注:(a)人群成拱形聚集于出入口;(b)若是人群中出现竞争同一空间则有可能引发踩踏

(3)双向行走现象

在地铁非行车区域,如转换站平台等地,乘客还会出现双向分层行走的现象,即乘客会出现两个行走方向。当人群密度较低时,人群之间还存在一定的空隙,乘客可以自由移动而几乎不会与周围的乘客发生碰撞;当人群密度较高时,乘客需降低行走速度来避免与周围的人群发生碰撞(如图3)。^[4]但是,这种行走现象在地铁这类较狭窄并且封闭的空间,一旦受到突发事件的触发,则极易造成乘客恐慌心理,进而四处逃跑,相对的人群出现相互碰撞,这时人群踩踏极易发生。

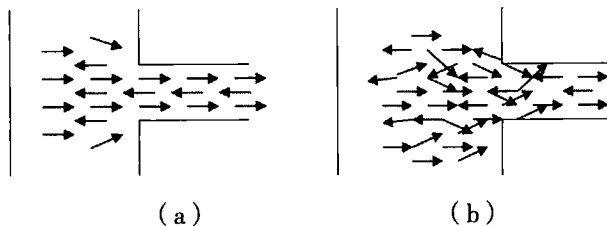
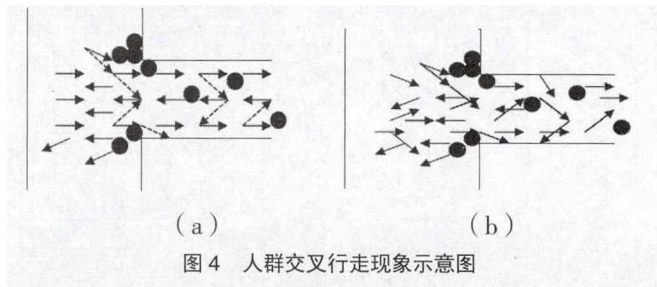


图3 人群双向行走现象示意图

注:(a)人群双向有序行走;(b)当突发事件介入,人群秩序混乱,容易发生踩踏

(4) 交叉行走现象

交叉行走状态下,乘客的行走方向没有表现出一定的行走规律,每个人需要穿越其他人群的行走路径,从而使得行人流动方向出现交叉现场。此外,人群没有形成避免与周围人员碰撞的意识,这类人群一般首要目的并不是乘车,而是等人、拍照、观光等,因其特殊行为而扰乱乘客的行走规律,这类人群也可称为“异质人群”,也会出现交叉行走现象。这种状态下,极易发生人群踩踏(如图4)。



注:(a)人群前进方向混乱或受到阻碍后绕道行走;(b)人群前进方向不一致且受阻后的现象

当发生一次灾害时,以上四种人群流动现象都有可能发生踩踏事件。当前,大部分地铁都会在上下班和早晚高峰期以及在节假日客流量高峰期选择采用围栏等工具开展人群分流管制的措施,这一定程度上确保了人流方向的一致性,避免了人群间出现相冲和碰撞的事件,具有一定的成效。但在大客流量的情况下,人群拥挤也是踩踏事件发生的重要诱因之一,在进行人群分流的同时,限制地铁人流、实行错峰出行也是预防踩踏的重要途径。

2. 踩踏事件演化机理分析

地铁内部结构复杂,一旦发生踩踏事件,事态发展迅速、救援难度大,所造成的危害往往比地上空间大。踩踏事件的主要制造者是人群,当在客流量相对较大且人群相对较为密集的情况下,正常活动的人群突然受到外界环境的影响,如断电、爆炸、火灾、谣言等,人群在事发瞬间会因信息接受障碍而无所适从,从而出现恐慌、焦虑等心理特征,最终会做出盲目从众或是非理性行为,进而向周围的人群释放同样的负能量,引起更大范围内的恐慌,随后出现人群拥挤奔跑,在此期间如有个体人员跌倒,继而引起群体性的人群跌倒,而信息不畅通、救援通道受阻、应急救援不到位等因素叠加则引发地铁踩踏事件。结合地铁人群流动基本规律,由人群移动特征可将踩踏事件演化划分成四个主要阶段,即:移动阶段、滞留阶段、拥挤阶段和踩踏阶段,若能及时发现危情则还出现疏散阶段^[5]。

在人群自由移动阶段,地铁整体是安全有序运营的,但一旦出现突发事件或是相对有序的人群受到影响,地铁内的人群未能及时疏散而地铁外的人群还在

继续涌入地铁的情况下,地铁内容容易出现大量的人群滞留,即滞留阶段,而滞留时间过长后,人群出现不耐烦或是恐慌的心理后,就容易出现拥挤。在拥挤阶段中,每一个个体都有可能成为新的危险源并且不断向周围传递危险信息,进而导致系统的整体失衡、人群失控,引起踩踏事件,导致人员伤亡。而在各个阶段发生之前做好安全预防和监测预警疏散等工作,是防范地铁踩踏事件的重要工作,其中重要的一点是在出现乘客大量滞留并拥挤聚集时,能够第一时间及时进行乘客的安全疏散。及时做好信息广播、安抚乘客、及时构建安全疏散通道等工作,是防止地铁踩踏事件的重要途径,也是应急救援中的重点阶段和工作内容。

三、城市地铁踩踏事件应急能力评价指标构建

借鉴美国学者罗伯特·希斯(Robert Heath)的危机管理4R理论以及Dilek和Erman的应急管控关键成功因素,结合地铁踩踏事件的特征、演化机理以及应急管理过程主要工作,综合确定城市地铁踩踏事件应急能力评价的一级和二级指标。

(一) 指标构建依据的相关理论及其应用

1. 危机管理4R理论

危机管理4R理论由罗伯特·希斯(Robert Heath)提出,该理论认为危机管理主要由缩减(Reduction)、预备(Readiness)、反应(Response)、恢复(Recovery)四阶段组成,有效的危机管理是对4R模式所有方面的整合,其中,缩减管理贯穿于危机管理的整个过程。在预备模块中,运用缩减管理的风险评估法可以确定哪些预警系统可能会失效,可以及时修正或加强。在反应模块中,缩减管理可以帮助管理者识别危机的根源,找到有利于应对危机的方法。在恢复模块中,缩减管理可对恢复计划在执行时可能产生的风险进行评估。4R理论为应急能力评价提供了一个较清晰的评价指标体系构建框架。过往也有学者基于4R理论的四阶段结合现实的突发事件来选取应急能力评价的一级指标。^[6]

2. 应急管理的关键成功因素模型

在地铁踩踏事件应急能力评价二级指标选取方面,应急管理的关键成功因素研究提供了基础和借鉴。GoPalakrishnan和Okada认为应急管理成功的因素是集成风险管理,预警、恢复重建、减除政策,相关法律法规和制度,文化、传统和习俗,对当地状况的了解,收集、处理和传递信息的能力,自主决策能力,责任承担,组织间的合作,资源管理优化,非专业组织的参与,经验共享等。^[7]Dawes等人认为整合能力,信息共享,社会技术架构,政治、社会、经济、文化、组织和技术环境,公众个体和非盈利组织的协作,志愿者,领导力,信任,风险管理和沟通,信息和通信技术的有效使用、组织能力和经验是应急管理成功的关键因素。^[8]Dilek和

Erman 通过进一步归纳总结关键成功因素后,形成了应急管理关键成功因素模型,为应急能力评价提供了参考。

在地铁踩踏事件应急过程中,地铁公司是安全生产主体责任部门,政府部门起着监管指导、综合协调的作用,而乘客是踩踏事件中的重要相关方,因此应急能力评价指标的选取应至少包括地铁公司、乘客以及政府部门在地铁踩踏事件中的反应所包含的要素。

(二) 评价指标构建基本框架

城市地铁踩踏事件应急能力评价体系的构建,必须涵盖城市地铁踩踏事件发生的原因以及发生的机理,这是地铁踩踏事件应急能力评价体系选取的现实依据和客观基础。在构成要素上则需要涵盖从自然到社会、从制度设计到公众行为、从组织效能到工程能力等多种要素。^[9]结合地铁踩踏事件的特点及遵循指标选取的基本原则,以城市地铁踩踏事件应急能力为目标层(A)综合提炼出3个一级指标(B),9个二级指标(C)以及31个三级指标(D):

目标层(A):城市地铁踩踏事件应急能力;

一级指标(B):事前防范能力、事中处置能力、事后恢复能力;

二级指标(C):监测预警、日常管理、救援资源、快速响应等9个二级指标;

三级指标(D):踩踏风险识别、人群密度监控、异质人群监控等31个三级指标。

(三) 指标体系权重的确定

本文运用层次分析法(Analytic hierarchy process, AHP)确定地铁踩踏事件应急能力各级评价指标的权重,运用平均随机一致性指标RI值测度法对构建的判断矩阵做一致性检验。通过专家问卷调查计算指标的权重,根据专家所给出的评分加权平均,结合AHP法的基本原理,建立起相应的三级评价指标判断矩阵。如表1为一级指标的权重确定过程。

表1 一级指标专家赋值表

判断矩阵	事前防范能力B1	事中救援能力B2	事后恢复能力B3
事前防范能力B1	1	2.8	3.22
事中救援能力B2	0.357	1	2.77
事后恢复能力B3	0.311	0.361	1

采用和积法计算权重得: $W_i = (0.585, 0.278, 0.135)$,在计算机程序下求出判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=3.086$, $CI=0.043$, $RI=0.058$, $CR=CI/RI=0.083 < 0.1$,说明判断矩阵具有较好的一致性,如表2所示。

表2 一级指标权重计算结果表

判断矩阵	B1	B2	B3	权重w	一致性检验
B1	1	2.8	3.22	0.585	CR=0.083<0.1 通过一致性检验
B2	0.357	1	2.77	0.278	
B3	0.311	0.361	1	0.135	

同理,对各一级指标下的二级指标以及各二级指

标下的三级指标建立判断矩阵,计算权重,求出检验指标均小于0.1,证明判断矩阵均具有较好的一致性(如表3)。

表3 城市地铁踩踏事件应急能力评价指标权重表

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重
事前防范能力 B1	0.585	监测预警能力 C1	0.579	踩踏风险识别 D1	0.570
				人群密度监控 D2	0.285
				危险人群监控 D3	0.145
		日常管理能力 C2	0.276	踩踏应急预案 D4	0.390
				踩踏应急演练 D5	0.276
				分流设备维护 D6	0.163
				地铁广播系统 D7	0.100
				乘车安全宣传 D8	0.070
		资源准备能力 C3	0.145	应急救援队伍 D9	0.728
				应急救援物资 D10	0.272
事前防范能力 B1	0.278	快速响应能力 C4	0.471	确定踩踏中心 D11	0.487
				应急预案启动 D12	0.263
				现场岗位调度 D13	0.160
				速度信息报送 D14	0.090
		紧急救援能力 C5	0.287	现场指挥协调 D15	0.409
				多方应急联动 D16	0.261
				专家支持决策 D17	0.171
				事件动态评估 D18	0.100
				媒体信息发布 D19	0.058
		人群疏散能力 C6	0.158	疏散场地设计 D20	0.567
				应急通道建设 D21	0.289
				人群疏散技术 D22	0.144
	0.135	公众响应能力 C7	0.084	踩踏应急意识 D23	0.581
				踩踏应急技能 D24	0.297
				踩踏心理康复 D25	0.122
事前防范能力 B1	0.135	恢复运营能力 C8	0.796	事发现场清理 D26	0.735
				恢复现场秩序 D27	0.265
	0.204	事后评估能力 C9	0.204	踩踏事件调查 D28	0.466
				人员伤亡调查 D29	0.289
				财产损失评估 D30	0.157
				应急救援评估 D31	0.088

四、基于 FCE 法的城市地铁踩踏事件应急能力评价模型构建

模糊综合评价法(fuzzy comprehensive evaluation method, FCE 法)以模糊数学为基础,应用模糊关系合成的原理,将一些边界不清的、不易定量的因素定量化,从多个因素对被评价事物隶属等级状况进行综合评价。^[10]应急管理的发展过程、评价主体和评价对象、评价标准都具有很强的不确定性和模糊性:认识的局限性引起的不确定性、评价指标数据的不充分性和不可靠性引起的不确定性、随机性和可变性引起的不确定性。应用模糊理论能较好解决应急能力评价不确定性问题。所选取评价指标中包含了定量和定性的指标,这就需要对指标赋值进行统一的界定,这正与 FCE 法的基本原理相符。

(一) 评价指标集确定

如前所述,本文将地铁踩踏事件应急能力评价指标分为三个层次:3个一级指标,在此基础上选取9个二级指标,31个三级指标。开发的指标集具体内容如下:

第一级指标集:

$v = \{v_1, v_2, v_3\} = \{\text{事前防范能力, 事中处置能力, 事后恢复能力}\};$

第二级指标集:

$v_1 = \{v_{11}, v_{12}, v_{13}\} = \{\text{预警监测, 日常管理, 救援资源}\};$

$v_2 = \{v_{21}, v_{22}, v_{23}, v_{24}\} = \{\text{快速响应, 紧急救援, 人群疏散, 公众反应}\};$

$v_3 = \{v_{31}, v_{32}\} = \{\text{恢复运营, 事后评估}\};$

第三级指标集:

$v_{11} = \{v_{11}^{(1)}, v_{11}^{(2)}, v_{11}^{(3)}\} = \{\text{踩踏风险识别, 人群密度监控, 异质人群监控}\};$

$v_{12} = \{v_{12}^{(1)}, v_{12}^{(2)}, v_{12}^{(3)}, v_{12}^{(4)}, v_{12}^{(5)}\} = \{\text{踩踏应急预案, 踩踏应急演练, 分流设备维护, 地铁广播系统, 乘车安全宣传}\};$

$v_{13} = \{v_{13}^{(1)}, v_{13}^{(2)}\} = \{\text{应急救援资源, 应急救援物资}\};$

$v_{21} = \{v_{21}^{(1)}, v_{21}^{(2)}, v_{21}^{(3)}, v_{21}^{(4)}\} = \{\text{确定踩踏中心, 现场应急决策, 现场资源调度, 现场信息报送}\};$

$v_{22} = \{v_{22}^{(1)}, v_{22}^{(2)}, v_{22}^{(3)}, v_{22}^{(4)}, v_{22}^{(5)}\} = \{\text{现场指挥协调, 多方应急联动, 专家支持决策, 事件动态评估, 媒体信息发布}\};$

$v_{23} = \{v_{23}^{(1)}, v_{23}^{(2)}, v_{23}^{(3)}\} = \{\text{疏散场地设计, 应急通道建设, 人群疏散技术}\};$

$v_{24} = \{v_{24}^{(1)}, v_{24}^{(2)}, v_{24}^{(3)}\} = \{\text{踩踏应急意识, 踩踏应急技能, 踩踏心理康复}\};$

$v_{31} = \{v_{31}^{(1)}, v_{31}^{(2)}\} = \{\text{事发现场清理, 恢复现场秩序}\};$

$v_{32} = \{v_{32}^{(1)}, v_{32}^{(2)}, v_{32}^{(3)}, v_{32}^{(4)}\} = \{\text{踩踏事件调查, 人员伤亡调查, 财产损失评估, 应急救援评估}\}。$

(二) 确定权重集

前文已对通过专家打分后运用 AHP 法对所得打分结果进行了各项评价指标的权重计算。根据每一层次中各个指标因素的重要程度, 所得权重集如下:

第一级指标权重:

$A = \{a_1, a_2, a_3\} = \{0.584, 0.279, 0.135\};$

第二级指标权重:

$A_1 = \{a_{11}, a_{12}, a_{13}\} = \{0.578, 0.275, 0.145\};$

$A_2 = \{a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}\} = \{0.471, 0.287, 0.157, 0.084\};$

$A_3 = \{a_{31}, a_{32}\} = \{0.795, 0.205\};$

第三级指标权重:

$A_{11} = \{a_{11}^{(1)}, a_{11}^{(2)}, a_{11}^{(3)}\} = \{0.570, 0.285, 0.145\};$

$A_{12} = \{a_{12}^{(1)}, a_{12}^{(2)}, a_{12}^{(3)}, a_{12}^{(4)}, a_{12}^{(5)}\} = \{0.390, 0.276, 0.163, 0.60, 0.419\};$

$A_{13} = \{a_{13}^{(1)}, a_{13}^{(2)}\} = \{0.728, 0.272\};$

$A_{21} = \{a_{21}^{(1)}, a_{21}^{(2)}, a_{21}^{(3)}, a_{21}^{(4)}\} = \{0.487, 0.263, 0.160,$

0.091\};

$A_{22} = \{a_{22}^{(1)}, a_{22}^{(2)}, a_{22}^{(3)}, a_{22}^{(4)}, a_{22}^{(5)}\} = \{0.409, 0.261, 0.171, 0.101, 0.508\};$

$A_{23} = \{a_{23}^{(1)}, a_{23}^{(2)}, a_{23}^{(3)}\} = \{0.567, 0.289, 0.144\};$

$A_{24} = \{a_{24}^{(1)}, a_{24}^{(2)}, a_{24}^{(3)}\} = \{0.581, 0.297, 0.122\};$

$A_{31} = \{a_{31}^{(1)}, a_{31}^{(2)}\} = \{0.734, 0.266\};$

$A_{32} = \{a_{32}^{(1)}, a_{32}^{(2)}, a_{32}^{(3)}, a_{32}^{(4)}\} = \{0.466, 0.289, 0.157, 0.088\}。$

(三) 评价指标语确定

评价系统状态及其因素状态的描述本身客观的存在模糊性, 而这种模糊性不但表达了系统状态的存在程度, 而且较符合人们的接受习惯和理解。本文中, 设:

$v = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} = \{\text{能力很强, 能力较强, 能力一般, 能力较弱, 能力很弱}\}$

(四) 模糊综合评价运算过程

首先确定模糊评价集, 接着指标模糊综合评价, 本文计算过程略。经计算得出最终评价向量 B, 根据最大隶属度原则, 即可得出城市的应急能力水平。

五、评价模型应用——对广州地铁的评估

近年广州地铁实现了跨越式发展, 2017 年 12 月 28 日, 广州地铁 4 号线南延段、9 号线一期、13 号线一期和 14 号线知识城支线开通试运营。四条新线开通后, 广州地铁线网里程达 390.6 公里, 居全国第三, 世界前十; 日均客流量预计达 820 万人次, 客流强度全国第一。随着地铁线路、里程、客流量的不断增加, 在追求效率和质量的同时, 地铁运营安全形势严峻, 特别是在当前社会矛盾转化, 各种风险问题凸显的时代背景下。仅就 2014 年来看: 3 月 4 日, 广州地铁五号线两名青年玩防狼喷雾, 引起乘客恐慌, 导致踩踏事件, 造成 11 人受伤; 5 月 8 日, 广州地铁三号线体育西站发生踩踏事件, 造成多人受伤; 6 月 7 日, 广州地铁三号线内有乘客晕倒, 不明真相的乘客喊“砍人”引起乘客恐慌, 大量乘客往外跑, 导致 6 名乘客受伤。广州地铁一年内发生的这三起踩踏事件虽未造成重大人员伤亡, 但已反映出踩踏事件在地铁运营中的巨大安全风险。

(一) 模糊综合评价模型运用

本文将开发设计的《城市地铁踩踏事件应急能力评价专家调查表》发给广州地下铁道总公司有关领导和专业人员, 共计 38 份, 回收 38 份, 剔除无效问卷 6 份, 得到有效问卷 32 份, 对有效问卷结果按各指标相应等级进行统计。

1. 指标评价的标准

5 分——完全有能力(很强), 即完全已具备该项目的的能力要求, 所需要做的是继续保持;

4 分——有能力(较强), 即已具备绝大部分能力, 需继续保持和改进;

3分——有一定能力(一般),即已具备最低能力要求,但仍需较大努力才可以完全具备该项目的能力要求;

2分——有一点能力(较弱),即已取得某种进展,但仍需相当大的努力才可以完全具备该项目的能力要求;

1分——不具备该种能力(很弱),即没有培养该种能力。

2. 隶属度计算结果

广州地铁踩踏事件应急能力专家评级结果,经过处理将其转化为模糊综合评价(FCE)模型中的隶属度如表4所示。

表4 广州地铁踩踏事件应急能力隶属度计算表

评价项 评价结果 评价等级	很强—5 分	较强—4 分	一般—3 分	较弱—2 分	很弱—1 分
事前防范能力	0.48	0.16	0.16	0.12	0.08
事中处置能力	0.52	0.16	0.12	0.12	0.08
事后恢复能力	0.48	0.12	0.12	0.12	0.08
监测预警能力	0.36	0.28	0.16	0.12	0.08
日常管理能力	0.44	0.2	0.12	0.16	0.08
救援资源能力	0.36	0.24	0.12	0.2	0.08
快速响应能力	0.44	0.16	0.16	0.12	0.12
紧急救援能力	0.44	0.16	0.16	0.12	0.12
人群疏散能力	0.4	0.16	0.24	0.12	0.08
公众响应能力	0.36	0.24	0.12	0.16	0.12
恢复运营能力	0.36	0.2	0.2	0.12	0.12
事后评估能力	0.36	0.24	0.16	0.16	0.08
踩踏风险识别	0.36	0.2	0.24	0.12	0.08
人群密度监控	0.4	0.2	0.16	0.12	0.08
异质人群监控	0.4	0.16	0.24	0.12	0.08
踩踏应急预案	0.36	0.2	0.24	0.12	0.08
踩踏应急演练	0.36	0.2	0.24	0.12	0.08
分流设备维护	0.36	0.2	0.16	0.16	0.12
地铁广播系统	0.28	0.28	0.16	0.16	0.12
乘车安全宣传	0.32	0.28	0.16	0.16	0.08
应急救援队伍	0.44	0.2	0.08	0.16	0.12
应急救援物资	0.44	0.24	0.08	0.08	0.08
确定踩踏中心	0.44	0.16	0.2	0.12	0.08
现场应急决策	0.44	0.16	0.2	0.12	0.08
现场资源调度	0.44	0.16	0.16	0.16	0.08
现场信息报送	0.48	0.16	0.08	0.16	0.12
现场指挥协调	0.4	0.12	0.2	0.16	0.12
多方应急联动	0.44	0.24	0.08	0.16	0.08
专家支持决策	0.44	0.28	0.08	0.12	0.08
事件动态评估	0.4	0.2	0.16	0.2	0.04
媒体信息发布	0.36	0.24	0.12	0.2	0.08
疏散场地设计	0.36	0.24	0.2	0.12	0.08
应急通道建设	0.48	0.16	0.12	0.16	0.08
人群疏散技术	0.48	0.08	0.12	0.24	0.08
踩踏应急意识	0.36	0.2	0.2	0.12	0.12
踩踏应急技能	0.36	0.16	0.16	0.28	0.04
踩踏心理康复	0.4	0.2	0.16	0.16	0.08
事发现场清理	0.4	0.2	0.12	0.16	0.12
恢复现场秩序	0.44	0.16	0.08	0.24	0.08
踩踏事件调查	0.44	0.16	0.16	0.12	0.12
人员伤亡调查	0.44	0.16	0.12	0.2	0.08
财产损失评估	0.44	0.16	0.16	0.16	0.08
应急救援评估	0.4	0.24	0.16	0.16	0.04

3. 第三级指标模糊综合评价

(1)对监测预警能力做出综合评价,单因素模糊评价矩阵为:

$$R_1^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.377 & 0.194 & 0.217 & 0.12 & 0.08 \\ 0.60 & 0.451 & 0.349 & 0.269 & 0.178 \\ 0.44 & 0.211 & 0.08 & 0.138 & 0.109 \end{bmatrix}$$

权重: $A_1^{(1)} = (0.570, 0.285, 0.145)^T$;

计算得: $B_1^{(1)} = A_1^{(1)} \circ R_1^{(1)} = (0.377 \ 0.194 \ 0.217 \ 0.12 \ 0.08)$

(2)同理得:

$$B_1^{(2)} = A_1^{(2)} \circ R_1^{(2)} = (0.60 \ 0.451 \ 0.349 \ 0.269 \ 0.178)$$

$$B_1^{(3)} = A_1^{(3)} \circ R_1^{(3)} = (0.44 \ 0.211 \ 0.08 \ 0.138 \ 0.109)$$

$$B_2^{(1)} = A_2^{(1)} \circ R_2^{(1)} = (0.444 \ 0.160 \ 0.183 \ 0.130 \ 0.083)$$

$$B_2^{(2)} = A_2^{(2)} \circ R_2^{(2)} = (0.576 \ 0.302 \ 0.193 \ 0.250 \ 0.128)$$

$$B_2^{(3)} = A_2^{(3)} \circ R_2^{(3)} = (0.412 \ 0.194 \ 0.165 \ 0.149 \ 0.08)$$

$$B_2^{(4)} = A_2^{(4)} \circ R_2^{(4)} = (0.365 \ 0.188 \ 0.183 \ 0.172 \ 0.091)$$

$$B_3^{(1)} = A_3^{(1)} \circ R_3^{(1)} = (0.411 \ 0.189 \ 0.109 \ 0.181 \ 0.109)$$

$$B_3^{(2)} = A_3^{(2)} \circ R_3^{(2)} = (0.436 \ 0.167 \ 0.148 \ 0.153 \ 0.095)$$

4. 第二级指标模糊综合评价

(1)对事前防范能力做出综合评价,单因素模糊评价矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.377 & 0.194 & 0.217 & 0.12 & 0.08 \\ 0.60 & 0.451 & 0.349 & 0.269 & 0.178 \\ 0.44 & 0.211 & 0.08 & 0.138 & 0.109 \end{bmatrix}$$

权重为: $A_1 = (0.578 \ 0.275 \ 0.145)^T$;

计算得: $B_1 = A_1 \circ R_1 = (0.448 \ 0.268 \ 0.234 \ 0.164 \ 0.111)$

(2)同理得:

$$B_2 = A_2 \circ R_2 = (0.47 \ 0.208 \ 0.183 \ 0.171 \ 0.096)$$

$$B_3 = A_3 \circ R_3 = (0.416 \ 0.185 \ 0.117 \ 0.175 \ 0.106)$$

5. 对广州地铁踩踏事件应急能力做综合模糊评价

$$R = \begin{bmatrix} 0.448 & 0.268 & 0.234 & 0.164 & 0.111 \\ 0.47 & 0.208 & 0.183 & 0.171 & 0.096 \\ 0.416 & 0.185 & 0.117 & 0.175 & 0.106 \end{bmatrix}$$

权重为: $A = (0.584 \ 0.279 \ 0.135)^T$

计算得: $B = A \circ R = (0.409 \ 0.239 \ 0.203 \ 0.167 \ 0.106)$

按照模糊综合评价法(FCE)的最大隶属度原则,广州地铁踩踏事件应急能力模糊评价值为0.409,表明广州地铁踩踏事件应急能力处于“较强”的水平。

(二)提升广州地铁踩踏事件应急能力策略建议

根据评价结果,结合FCE评价法的最大隶属度原则,计算汇总出广州地铁踩踏事件应急能力评价的各个指标的等级,即评价广州地铁踩踏事件应急能力的各个要素的评价等级,以此进一步分析广州地铁踩踏事件应急能力(如表5)。

从表5的结果来看,广州地铁踩踏事件应急能力

表5 广州地铁踩踏事件应急能力评价综合结果

评价对象	一级指标	最大隶属度	评价等级	二级指标	最大隶属度	评价等级	三级指标	最大隶属度	评价等级
广州地铁踩踏事件应急能力评价	事前防范能力	0.48	较强	监测预警	0.36	一般	踩踏风险识别	0.36	一般
							人群密度监控	0.4	较强
							危险人群监控	0.4	较强
				日常管理	0.44	较强	踩踏应急预案	0.36	一般
							踩踏应急演练	0.36	一般
							分流设备维护	0.36	一般
				资源准备	0.36	一般	地铁广播系统	0.28	较弱
							乘车安全宣传	0.32	一般
							应急救援队伍	0.44	较强
							应急救援物资	0.44	较强
	事中救援能力	0.52	较强	快速响应	0.44	较强	确定踩踏中心	0.44	较强
							应急预案启动	0.44	较强
							现场岗位调度	0.44	较强
							速度信息报送	0.48	较强
				紧急救援	0.44	较强	现场指挥协调	0.4	较强
							多方应急联动	0.44	较强
							专家支持决策	0.44	较强
							事件动态评估	0.4	较强
				人群疏散	0.4	较强	媒体信息发布	0.36	一般
							疏散场地设计	0.36	一般
事后恢复能力	0.48	较强	较强	公众响应	0.36	一般	应急通道建设	0.48	较强
							人群疏散技术	0.48	较强
				恢复运营	0.36	一般	踩踏应急意识	0.36	一般
							踩踏应急技能	0.36	一般
							踩踏心理康复	0.4	较强
							事发现场清理	0.4	较强
							恢复现场秩序	0.44	较强
							踩踏事件调查	0.44	较强
				事后评估	0.36	一般	人员伤亡调查	0.44	较强
							财产损失评估	0.44	较强
							应急救援评估	0.4	较强

评价一级指标事前防范能力、事中救援能力、事后恢复能力都处于“较强”等级,表明这与上文中对广州地铁踩踏事件应急能力综合模糊评价的结果相符。在二级指标中出现多个评价指标处于“一般”的水平,如监测预警、资源准备、公众响应、恢复运营、事后评估这5个指标,表明还需加强这5个方面的能力提升工作。在三级指标中,较为突出的是“地铁广播系统”这一指标,在评价中只有0.28分,处于“较弱”的水平,表明必须大力完善地铁广播系统的建设,并且应将地铁广播系统的建设和提升作为当前防范地铁踩踏事件的紧迫和重点工作之一。针对评价结果,提出以下策略建议。

1. 强化踩踏风险监测预警工作

评价结果显示,监测预警能力处于“一般”的水平,且在监测预警踩踏风险的监测预警能力也是处于“一般”的水平,所以预防地铁踩踏事件还需重视和提升地铁监测预警能力,特别是针对地铁踩踏事故的监测预警能力。加大科技投入,健全基于大数据视频监控的地铁人群拥挤防控系统,借助高科技提高地铁人群拥挤踩踏防控和监测预警系统的效用和能力。如建立人流密度监控预警系统,实时对地铁客流视频和数据动态分析,如出现异常应及时作出决策分析并紧急处置

等。此外借助于热感应理论通过乘客身上发出来的热量监测与预警地铁人群拥挤状况已成为部分国家预防人群拥挤踩踏的重要措施^[11]。而公众也可以通过手机APP等移动通讯来实时了解地铁当前客流情况,并针对情况选择出行方式和时间,有效减低公共交通工具的运营压力,减低人群拥挤程度,进而减低人群拥挤踩踏事件发生的概率。

2. 完善应急预案与演练体系

我国已出台的《大型群众性活动安全管理条例》主要是对大型群众性活动现场突发事件的安全管理工作做了框架性的简要规定,具体的应急管理办法主要是由活动主办方作出明确的规划。因此,目前我国对大型群众性活动安全事件的应急管理预案还未形成统一、可操作的文本,这也是我国在大型群众性活动踩踏事件中应急处置频繁出现漏洞的原因之一。此外也还未出台与地铁人群拥挤踩踏事故类相关的权威的应急预案文件,为此,广州地铁应尽快结合实际,出台并完善地铁人群拥挤踩踏事件应急预案相关制度,为地铁踩踏事件的预防、应急处置救援提供指导。在完善应急预案的同时,加大力度积极开展地铁踩踏事件应急演练,通过科学演练提高实际作战能力,不断改进应急预案,进而进一步开展更加全面和针对性的演练。

3. 加强地铁基础设施抗灾能力

在救援物资保障方面,要加大对地铁人群拥挤踩踏管理物资和管理人员队伍建设的力度,加大资金投入建立具有较高抵抗地铁人群拥挤踩踏能力的设施设备,如客流引导设备、人群分流设备等等基本的人群防控拥挤管理设备。其中当务之急的一点是要提高地铁应急广播系统的信息传播能力,地铁应急广播系统为地铁客运、行车、防灾、设备维护等部门提供功能完善的先进作业工具,提高地铁客运服务质量和处理突发事件的能力。^[12]从评价结果来看,广州地铁广播系统还处于“较差”的水平,因此这应成为近期广州地铁防控踩踏事件补短板的一个侧重点。

4. 改善地铁踩踏事件事后评估能力

事后评估是在每次地铁踩踏事件应急处置结束后,在限定的时间内尽快评估事件造成的损害、总结应对经验教训等等,并根据评估结果改进防控各类突发事件的实践工作。做好事后评估工作是提高应急能力的重要方面。首先要加强事后评估的整体制度设计,由于事后评估往往涉及到很多方面工作,因此须建立权威的事后评估领导小组,将事后评估纳入到制度化、法治化轨道,制定事后评估的工作规范,积极引进事后评估专业人才等。其次要完善事后评估配套措施,如引入高新科技方法和手段、引入第三方机构开展事后评估、建立事后评估绩效考核制度、建立事件应对现场

记录工作制度、进一步规范事后评估标准、培养事后评估高素质人才队伍等。

5. 提升公众的应急意识和知识技能

评价结果显示,在地铁踩踏事件应急过程中公众的响应能力处于“一般”水平,其中公众的应急意识和应急技能只达到“一般”的水平。在预防和处置地铁踩踏事件的过程中,除了地铁公司、政府等相关部门的大力协同外,事发现场乘客的应急意识和应急知识技能也起着重要作用。^[13]因此,一方面需加大宣传,提高地铁乘客的应急意识和防控踩踏风险的警惕性;另一方面要为乘客提供学习机会,如在地铁乘客活动较多的范围、地下商场等处举办地铁踩踏事件应急技能教育活动,向地铁乘客派发预防和应对地铁踩踏事故方法技能的宣传手册,在地铁车载电视上播放地铁踩踏相关报道并提供相关的逃生技能宣传教育等。而提高公众地铁踩踏事件应急意识一个基础性的方面是:呼吁地铁乘客在乘坐地铁的过程中尽量少玩手机,多留意周围的环境,一方面减低乘坐地铁过程中因疏忽造成的伤害,另一方面提高对各类风险事件的警惕性和及时应对。^②

[参考文献]

- [1] 中国报告大厅:2015年我国轨道交通行业运行数据分析[EB/OL]. <http://www.chinabgao.com/k/guidaotong/19282.html>.
- [2] 中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于推进城市安全发展的意见》[EB/OL]. http://www.gov.cn/xinwen/2018-01/07/content_5254181.html.
- [3] 中国地铁工程咨询公司. 地铁与轻轨[M]. 北京:中国铁道出版社,2003.57-58.
- [4] 卢文刚,田恬. 城市广场人群聚集防范踩踏应急管理研究[J]. 江西社会科学,2016(6).
- [5] 张青松等. 大型公共场所人群拥挤踩踏事故机理初探[J]. 自然灾害学报,2009(6).
- [6] 卢文刚. 基于政府主导的城市电力应急能力综合评价指标体系构建[J]. 中国行政管理,2010(6).
- [7] Gopalakrishnan C.Okada N. Designing new institutions for implementing integrated disaster risk management: Key elements and future directions. *Disasters*, 2007, 31(2).
- [8] Dawes S.Cresswell A.M., Pardo T.A., et al. Modeling the social and technical processes of interorganizational information integration. *ACM International Conference Proceeding Series*, 2004.
- [9] 黄典剑,李传贵. 突发事件应急能力评价——以城市地铁为对象[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.72.
- [10] 宁靓,赵立波. 基于模糊综合评价法的公共服务外包风险因素研究[J]. 行政论坛 2016(04).
- [11] 卢文刚. 景区客量超载背景下的旅游突发事件应急管理研究——以“10·2”九寨沟游客滞留事件为例[J]. 西南民族大学学报(人文社科版)2015(11).
- [12] 卢文刚,田恬. 大型城市广场踩踏事件应急管理:典型案例、演化机理及应对策略[J]. 华南理工大学学报(社会科学版)2016(4).
- [13] 王玲玲,周利敏. 公共安全、风险预防及治理策略选择——以“12·31”上海外滩踩踏事件为例[J]. 广州大学学报(社会科学版)2016(12).

(责任编辑 尚璇)

Capability Evaluation for Urban Subway Stampede Emergency Response based on the FCE Method ——A Case Study of Guangzhou Subway

Lu Wengang Huang Xiaozhen

[Abstract] Due to the limited space in the city, large traffic volume, short operation time and self-help passenger transportation, there are many potential safety hazards in the subway operation. The stampede caused by congestion is particularly serious, and the hazard is often greater than the initial disaster. Combining with the subway stampede in the past, this paper analyzes the occurrence and evolution mechanism of subway stampede, and uses the fuzzy comprehensive evaluation (FCE) and the analytic hierarchy process (AHP) and RI method to construct the assessment model of the stampede emergency response capability of subway stampede. A model of Guangzhou subway stampede emergency response evaluation will accordingly propose to enhance the stampede Guangzhou subway emergency response strategies.

[Keywords] emergency management, stampede, emergency capability Evaluation, Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE), Guangzhou subway

[Authors] Lu Wengang is Associate Professor at Department of Emergency Management, Jinan University; Huang Xiaozhen is Graduate Student at Emergency Management School of Jinan University. Guangzhou 510632