

陈鹏, 石少冲, 王钢强. 公共环境下密集人群踩踏事故的预警系统研究[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 181-184. [CHEN Peng, SHI Shaochong and WANG Gangqiang. Early Warning System Research to High Density Crowds in Public Environment[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(4): 181-184. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.04.032.]

# 公共环境下密集人群踩踏事故的预警系统研究<sup>\*</sup>

陈鹏, 石少冲, 王钢强

(中国人民公安大学 信息技术与网络安全学院, 北京 102600)

**摘要:** 目前关于公共环境下的密集人群踩踏事故预警更多的是从人群的流量和密集度等特征的识别来进行风险的预警, 缺乏对事故整体的系统性考虑。本文基于密集人群聚集踩踏事故的机理, 建立了基于人群风险监测、风险分析、风险预警/处置等技术手段的密集人群踩踏事故预警系统。该系统的构建将有利于提高公安部门大型活动的应急能力与水平。

**关键词:** 密集人群; 踩踏事故; 应急管理; 预警

**中图分类号:** X45; X9      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-811X(2016)04-0181-04

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.04.032

随着我国社会生活的日益丰富, 在城市公共场所举办的大型政治、文化、体育、宗教、民俗等方面的活动逐渐增多, 同时也带来了一系列的安全隐患, 其中最为突出的便是人群发生拥挤而导致的踩踏等群死群伤事故。大型活动中的拥挤踩踏事故是一个多因素、多变量、多层次的复杂系统。在该系统中, 除活动场所等环境特征外, 参与活动的人群个体的心理与行为也存在着各种不确定性和复杂性。

从风险的角度来讲, 大型活动发生踩踏事故本身是各种风险因素综合作用的结果。对这些事故而言, 人群的聚集并不是造成踩踏事故发生的根本原因, 而是人群聚集的风险超过了活动本身所能承受的极限, 而在这个过程中, 应急管理部门尤其是公安部门对公众聚集活动的实时有效监测和预警对防止大规模群体性踩踏事故的发生十分关键。近年来, 一些研究机构和学者针对人群密集聚集的风险预警陆续从方法、模型和系统上开展了一些工作, 如在密集人群的快速识别方法上, 佟瑞鹏等提出了聚集指数方法<sup>[1]</sup>, Yukio 等提出了时间序列数据的图形可视化聚类方法和基于马尔可夫随机场(MRF)的实时人群密度估计法<sup>[2-3]</sup>等; 在复杂人群聚集风险系数评估方面, Fruin 提出了 FIST 模型<sup>[4]</sup>, 孙燕提出了描述人群聚集风险的 DICE 模型<sup>[5]</sup>, Church 等通过构建临界簇模型(Critical Cluster Model, CCM)提出了一种针对区域节点的全局疏散风险定量评价方法<sup>[6]</sup>, 常

庆龙等提出了一个由场景前景二值图的归一化前景面积和二维联合熵组成的人群聚集检测模型<sup>[7]</sup>。但是从目前已有的工作来看, 现有的研究主要集中在两个方面, 一是以人流量实时监测监控为主的预警研究, 另一个是以图像和视频分析为主的人群密集度异常检测研究。但是从总的方面来看, 无论是人流量过大还是人群密集度异常都只是密集人群踩踏事故发生的一个方面, 踩踏事故的发生是人群由分散到形成聚集, 从聚集到过度聚集, 再进而发生拥挤等多个环节连续耦合作用的结果, 因而对人群的密集聚集踩踏事故预警就不能仅从个别关键阶段进行着手, 而是需要从过程的每一个阶段建立起完整有效的监测与预警机制才能从根本上防范和阻止踩踏事故的发生。基于此, 本文从密集人群拥挤踩踏事故的发展机理入手, 以人员密集聚集的风险为核心, 基于公安部门现有的大型活动应急管理与指挥体系及相关技术, 从监测、预警和处置三个方面开展构建密集人群拥挤踩踏事故预警系统研究。

## 1 公共环境下密集人群踩踏事故的动态机理分析

在公共环境下密集人群拥挤踩踏事故机理方面, 一些学者开展了一些基础性和开创性的研究,

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2016-05-02      修回日期: 2016-06-06

基金项目: “十二五”国家科技支撑课题(2015BAK12B03); 公安部技术研究计划项目(2015JSYJC50)

第一作者简介: 陈鹏(1981-), 辽宁营口人, 博士, 副教授, 研究方向为应急管理 with 智能决策. E-mail: chenpeng@ppsuc.edu.cn

例如,周晓冰按照事故发生的诱因将拥挤踩踏事故发生模式分为自发和引发两大类<sup>[8]</sup>。其中自发模式主要是因为人群流动的速度、方向紊乱而造成的拥挤踩踏事故,而引发类事故则是由于自然灾害、技术管理、事故灾难等外界因素引发的人群突然崩溃所导致的踩踏事故。

对于自发型踩踏事故,引发公共环境下人群交叉、聚集的原因是特定地区存在的一个或若干个目标事件。所谓的目标事件是指能够吸引、驱动不同年龄、性别、身份和职业群众朝特定区域的特定目标聚集的事件。比如上海外滩“12·31”拥挤踩踏事件的目标事件是上海外滩跨年晚会的灯光秀,北京密云彩虹桥事件的目标事件是迎春灯展,印度比哈尔邦省会巴特那踩踏事故的目标事件是该地区的宗教活动。人群因同一地区的同一目标事件而聚集,也会由于同一地区的不同目标事件而与其他的人流相遇、交叉。在活动现场环境人群容量尚未到达饱和的条件下,公共区域内人群是安全的,或者风险处于较低的水平。但当人群不断交叉、聚集时,区域内的人群数量会逐渐地接近甚至超过区域的容量,此时可将不断运动变化的人群视为一个复杂系统。根据“沙堆模型”理论<sup>[9]</sup>,一个处于运动状态下的系统自身会在不需要外部干涉、引导的情况下自动演化到临界状态,在这个状态中,系统中任何一个小的扰动,比如一粒沙的坠落所引起的后果将会是不可预测的,其结果可能会引起一些小的沙崩,但如果沙粒恰好坠落在适当的位置上将会引发特大的沙崩。因此,如果将公共环境下的人群聚集过程看作一个正在运行的系统,在一定程度上人员的聚集并不一定会造成踩踏,只有人群聚集达到系统运行临界值时,一旦受到内外界扰动因素的影响,系统就会发生灾难性崩溃。因此,可将公共环境下密集人群拥挤踩踏事故发生机理描述如图1所示。

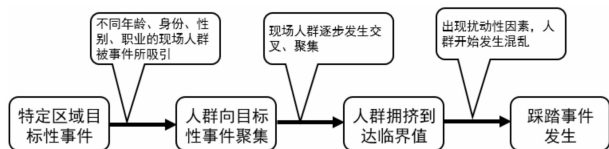


图1 公共环境下密集人群拥挤踩踏事故发生机理模型

对于人群系统,引发踩踏的扰动形式可以有多种,既包括事故类扰动,如突然停电、自宽敞空间进入较狭窄的出入口、建筑物的倒塌、爆炸的发生等,也有人为的扰动,如现场环境下由于信息传输不畅所引发的谣言传播、人群中个别脆弱性个体的摔倒等。对此,可将踩踏的发生简化为以下过程,其中环境容量指某特定环境下不会造成踩踏事件时所能容纳人群的最大数量。

(1)当人群数量远小于或低于环境容量时(“小于”指现阶段人群数量和环境容量没有在同一量级上),此时人群因数量和密度较低,有足够大的缓冲空间,因此即便发生外界的扰动也不会轻易产生踩踏。

(2)当人群数量接近环境容量时,此时人群的密度和数量开始接近饱和,事故风险开始上升并达到较大水平,但此时人群系统仍处于相对稳定状态,对扰动具备一定的抗干扰性,只有在发生较强扰动的作用下会使人发生混乱,但只要应急处置及时不会发生较大的伤亡。

(3)当人群数量达到甚至高于环境容量时,此时人群的密度达到极大值,发生踩踏事故的风险也达到最高水平,这时人群将会处于极度脆弱的阶段,在任何的微小扰动的作用下都可能会发生人群崩溃,造成较大的人员伤亡。

通过分析可以看出,密集人群聚集发生踩踏事故的关键为实时的人流量过大和人群聚集的密集度过高以及系统的扰动作用。因此,对于公安等应急部门而言,密集人群的聚集踩踏事故预防就需要从人群风险控制的角度来对人流量和人群密集度等指标进行实时监测与采集,在此基础上,通过依托公安现有的指挥、情报分析等综合系统来对监测信息进行实时分析,然后根据分析结果来进行相应的预警和处置工作。

## 2 密集人群踩踏事故预警系统

基于公共环境下密集人群拥挤踩踏事故的发生机理,提出了面向公安应急的基于实时监测技术的密集人群踩踏事故预警系统。系统的结构图如图2所示。该系统从结构上分为风险监测部分、风险分析部分与预警/处置部分。

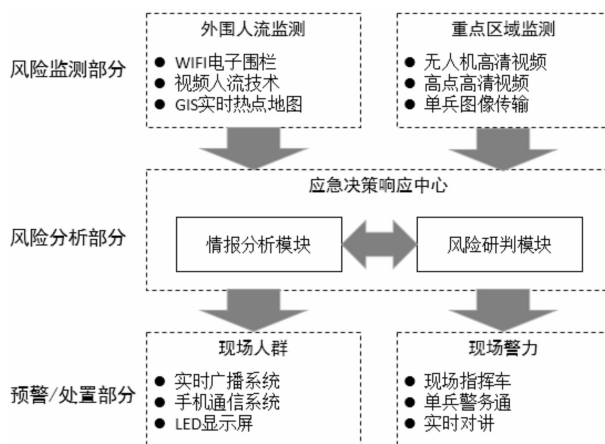


图2 密集人群踩踏事故监测预警系统组成

## 2.1 风险监测部分

系统的监测部分分为两个主要模块,一个是外围人流的实时监测,另一个是现场内的重点区域实时监测。两者之间是既存在联系又存在区别的关系,其中外围人流监测主要对人流流量进行数据获取以便于获得现场人群总量的动态评估来判断是否达到饱和以及何时会达到饱和,而重点区域的实时监测则主要是对现场内已聚集人群的动态监控来判断群体行为的异常性。

### (1) 外围人流监测

外围人流的监测可通过 WIFI 电子围栏、视频技术装置以及 GIS 实时热点地图等方法来实现。其中 WIFI 电子围栏为公安专用制式设备,其主要功能是通过部署在路口、地铁站口、建筑物出入口等室内外场点,利用数据分析和数据挖掘技术对采集的手机等无线设备信息进行分析,可用于人流计数、目标追踪、轨迹记录等。视频计数装置是通过图像和视频分析来对出入口的人流量进行辨别与统计的设备,其主要核心技术包括人流检测、人流跟踪和人流计算算法,目前已开发的视频人流计数系统包括有基于 OpenCV 的视频人流计数系统<sup>[10]</sup>、融合视频与激光信息的人流计数方法和基于角点轨迹跟踪的人流计数方法<sup>[11-12]</sup>。GIS 实时热点地图则是以地理信息系统为平台,通过集成人群个体信息来实现人群密度识别的方法,目前热点地图分析最普遍的方法是核密度估计<sup>[13]</sup>,其算法核心是为在每一个目标点设置一个核函数,然后根据其他点距离该点的距离(距离越大,对该点影响越大,反之,距离越小,对该点影响越小)计算出该点的概率密度函数值,最后整合所有数据点的核密度函数,得到总体的概率密度函数。

### (2) 重点区域监测

现场中的重点区域往往是人群密集聚集的部位,这些区域由于人群密度较高,因此探测手段往往需要依靠现场的高清视频装置,如部署于制高点的探头、无人机携带的视频采集装置以及单兵图像采集装置等。这些设备采集的重点信息是现场人群的异常行为特征以便于判断人群聚集的风险性。根据文献[14]的研究,现场人群监测的主要目标为聚集人群的流向、密度、密度变化率、持续时间、速度、速度变化率等能够反映人群聚集状态和运动状态的参数。目前用于人群运动速度特征提取的算法有基于 DPIV 的互相关算法<sup>[15]</sup>、基于粗糙集融合支持向量机的智能视觉技术等<sup>[16]</sup>,用于人群密度分析的算法有计算机视觉半监督学习算法<sup>[17]</sup>、基于完全局部二值模式的人群密度估计算法和基于马尔可夫随机场的人群密度监测算法等<sup>[2-3]</sup>。

## 2.2 风险分析部分

分析部分的主要功能是在前端监测监控数据采集的基础上,对数据进行加工处理和整合,利用风险评估方法及工具,对现场人群的人群特征信息、人群密度阈值、人群压力阈值以及人群聚集风险的总阈值和公共场所中高风险关键节点进行评估<sup>[18]</sup>,经过综合分析计算后,获得踩踏事故发生的风险水平。具体方法可采用文献[19]提出的拥挤踩踏事故风险定量评价模型。该模型的基本原理是通过估算区域内滞留人数和区域场内所受影响的总人数的比值来表示拥挤踩踏事故的概率,即:

$$P = \frac{N_s}{N_T}; \quad (1)$$

$$N_s = N_1 - N_2 = \sum_{i=1}^n \int_{T_0}^T f'(t) B'(t) dt - \int_{T_0}^T f(t) B(t) dt. \quad (2)$$

式中:  $P$  为拥挤踩踏事故的概率;  $N_s$  为区域滞留人数;  $N_T$  为受影响的总人数;  $N_1$  为从自由疏散开始时刻( $t=0$ )到  $T$  时刻经  $n$  个内部通道分支入口最后汇集到总出口的集结人数;  $N_2$  为从自由疏散开始时刻( $t=0$ )到  $T$  时刻经总出口疏散出的总人数;  $f'(t)$  为第  $i$  个入口分支的人群流动系数(人/(m·s));  $B'(t)$  为第  $i$  个入口分支的人流宽度(m);  $f(t)$  为出口人群流动系数(人/(m·s));  $B(t)$  为总出口人流宽度(m)。

则人群拥挤踩踏事故风险值可用下式计算:

$$A_{RCT} = \theta \times \frac{N_s}{N_T} \times N_F. \quad (3)$$

式中:  $\theta$  为踩踏事故的触发因子,  $N_F$  为  $t$  时刻滞留人群中死亡人数。

## 2.3 风险预警/处置部分

该部分的主要功能是在对人群密集聚集实时监测和综合分析评价的基础上,根据风险分析的结果,对现场人群进行信息反馈、对现场警力进行预警信息发布和处置指令的发送。对现场人群,由于人流量接近或达到饱和容量时现场环境会处于高度拥挤和聚集状态,因此需要综合利用各种信息发布手段对人群进行信息提示并提供疏散建议和消息。一般情况下可综合利用包括现场广播系统、LED 显示屏以及短信群发装置进行信息的发布,一方面消除现场人群拥挤状态下可能出现的谣言,另一方面安抚人群情绪,避免出现恐慌、紧张等异常心理。对于现场应急警力,则需要应急指挥中心综合利用公安专业应急通信手段及设备,包括动中通、无线数字集群、移动警务等对现场区域内的每一个应急部门、甚至每一个警力发送个性化指令,根据现场风险关键点的分布就近指挥应急警力开展应急工作,包括封闭出入口截断外围人流进入、加强现场人群的疏散疏导、

现场秩序维持, 受伤人员的情绪安抚、抢救伤者等。

### 3 结论

公共环境下的密集人群聚集踩踏事故是一个动态复杂的过程, 受人群聚集行为、内外扰动等多种因素的综合影响。本文根据公共环境下密集人群聚集踩踏事故的动态演变特点, 建立了密集人群踩踏事故的机理模型, 并根据公安应急部门现有的信息采集手段和技术以及业务特点, 构建了密集人群踩踏事故监测预警系统。该系统在功能上具备了风险监测、风险分析和风险预警/处置等多种结构, 能够适应于大型社会活动的管理和预警指挥等复杂应急场景, 对提高和完善公安面对突发性社会安全事件的应急指挥能力具有一定的意义。

**致谢:** 本论文工作受公共安全协同创新中心与清华大学公共安全研究院支持, 在此表示感谢。

### 参考文献:

- [1] 佟瑞鹏, 高平, 刘欣, 等. 大型活动事故风险评估模型与方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(3): 150-155.
- [2] Sandahiro Y, Kobayashi T. Exploratory analysis of time series data: Detection of partial similarities, clustering, and visualization [J]. Computer, Environment and Urban Systems, 2014, 45(2): 24-33.
- [3] Paragios N, Ramesh V. A MRF-based Approach for Real-time Subway Monitoring [R]. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR, 2001, USA, 1034.
- [4] Fruin J. The Causes and Prevention of Crowd Disasters. First International Conference on Engineering for Crowd Safety, London, England, 1993.
- [5] 孙燕, 李秋菊, 李剑锋, 等. 城市重点公共区域人群聚集风险的实时定量技术[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(8): 147-153.
- [6] Richard L C, Thomas J C. Mapping evacuation risk on transportation networks using a spatial optimization model[J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2000, 8(1): 321-336.
- [7] 常庆龙, 夏洪山. 利用归一化前景和二维联合熵的人群聚集检测方法[J]. 武汉大学学报, 2013, 38(9): 1126-1130.
- [8] 周晓冰, 张永领. 大型社会活动拥挤踩踏事故机理分析及应对策略研究[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 156-163.
- [9] 何越磊, 姚令侃, 苏风环, 等. 沙堆模型动力学特性与灾害系统演化预测研究[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 44-50.
- [10] 朱军军, 程涛, 杜明明. 基于 OpenCV 的视频人流技术系统的设计与开发[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(16): 4485-4487.
- [11] 钟新玉, 刘峡壁, 魏雪, 等. 融合视频与激光信息的双向人流技术方法[C]//全国第22届计算机技术与应用学术会议(CACIS·2010)暨全国第3届安全关键技术与应用(SCA·2011)学术会议, 贵阳, 2011.
- [12] 张森禹, 陈增慧, 刘正, 等. 一种基于角点轨迹统计跟踪的人流技术新方法[J]. 软件导刊, 2014, 13(8): 37-40.
- [13] 徐冲, 柳林, 周素红, 等. DP 半岛街头抢劫犯罪案件热点时空模式[J]. 地理学报, 2013, 68(12): 1714-1723.
- [14] 李焘, 金龙哲, 马英楠, 等. 大型活动客流监测预警方法研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(4): 75-80.
- [15] 王嘉悦, 翁文国, 张小乐. 基于互相关算法的人员密集场所人群运动速度特征研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(6): 5-11.
- [16] 李留箐, 陈中良. 基于视觉图像踩踏风险预警研究[J]. 计算机仿真, 2015, 32(9): 429-432.
- [17] 刘蔚. 计算机视觉下半监督学习的人员踩踏风险预警[J]. 科技通报, 2014, 30(4): 128-130.
- [18] 胡成, 郭婧婷, 李强, 等. 开放性公共场所人群聚集风险和关键点评估方法[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(12): 163-169.
- [19] 佟瑞鹏, 李春旭, 郑毛景, 等. 拥挤踩踏事故风险定量评价模型及其优化分析[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(12): 90-94.

## Early Warning System Research to High Density Crowds in Public Environment

CHEN Peng, SHI Shaochong and WANG Gangqiang

(School for Information and Cyber Security, People's Public Security University of China, Beijing 102600, China)

**Abstract:** Currently, the developed early-warning system on crowd stampede in public site were mostly based on population flow and density, but failed in developing the system from whole process of accident. This paper reviews the mechanism of stampede and proposes an early-warning system which orientated to the high density crowd stampede. The system is consisting of risk supervision, risk assessment and warning/disposition functions. The concept of this kind of system would be beneficial to emergency level and ability of police agencies in responding huge social events.

**Key words:** crowds; stampede; emergency management; early-warning