

学校公众聚集场所火灾中人员疏散预动作时间试验

汪金辉, 金泽阳, 田镇纲, 金 科, 董哲峰, 郑雨婷

上海海事大学海洋环境与工程学院, 上海 201306

摘要 人员疏散时间计算是安全疏散设计工作中的重要内容, 人员预动作时间对人员疏散时间影响显著, 但公众场所火灾情况下人员疏散中的疏散预动作时间基础数据匮乏。本文针对学校公众聚集场所之一的教室开展了火灾疏散模拟试验, 对火灾情况下的学生疏散预动作时间进行了采集。统计结果表明, 人员疏散预动作时间不符合正态分布及其他类型分布; 文中应用累积概率分布表示人员疏散预动作时间, 并根据累积概率分布曲线模拟产生随机人员预动作时间, 模拟生成的随机预动作时间分布与实验采集数据分布吻合较好, 统计参数(均值和标准差)接近; 可应用本文方法在人员疏散模型中对人员预动作时间进行模拟。

关键词 疏散预动作时间; 公众聚集场所; 校园消防

中图分类号 X928.03

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.11.008

Pre-evacuation Time Experiment in Public Assembly Occupancy of School Under the Fire

WANG Jinhui, JIN Zeyang, TIAN Zhengang, JIN Ke, DONG Zhefeng, ZHENG Yuting

College of Ocean Environment and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China

Abstract The calculation of evacuation time is an essential part of building evacuation safety design. Some investigations demonstrate that the effect of pre-evacuation time on evacuation time is highly significant. Therefore, the pre-movement time in evacuation time during a performance-based design should be considered. However, the essential data related to pre-evacuation time of public buildings in the case of fire is quite scarce. By carrying out an emergency evacuation experiment in classroom under fire-simulated condition, students' pre-evacuation time of assembly occupancy of school is focused on. Using video camera, a simulated evacuation process is completely recorded. The pre-evacuation time is defined as the time from smoke induced by tobacco spread to the classroom to the beginning of evacuation. With analyzing every one in the experiment, the data concerning with pre-evacuation times are collected. The statistical results of students' pre-evacuation times demonstrate that normal distribution or other distribution functions used in the previous publications are unable to characterize the students' pre-evacuation times. Using cumulative distribution function to express the pre-evacuation time is proposed and the cumulated distribution curve of pre-evacuation time is obtained by applying the method. In addition, the cumulated distribution of stochastic data generated according to the cumulative distribution function fits quite well with that of the experimental data.

Keywords pre-evacuation time; public assembly occupancy; school fire control

0 引言

火灾防治的重点是确保火灾发生时建筑内人员能安全逃生。一般情况下, 火灾人员安全疏散判定准则为可用安全疏散时间(ASET)不小于必需人员安全疏散时间(RSET)。其中, RSET由人员预动作时间和人员运动时间2部分组成^[1],

其计算通常应用人员疏散计算模型或开展火灾疏散演习试验得到数据。Gwynne等^[2]指出人员疏散预动作时间是RSET的重要组成部分。Proulx等^[3]认为人员疏散时间是疏散预动作时间与运动时间的函数, 二者应分别进行计算。Spearpoint^[4]研究表明, 最大预动作时间与疏散运动时间简单相加会高估实

收稿日期: 2011-12-24; 修回日期: 2012-03-15

基金项目: 上海市晨光计划项目(10CG51); 上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项(shs10069)

作者简介: 汪金辉, 讲师, 研究方向为火灾动力学、人员疏散, 电子信箱: wangjh@shmtu.edu.cn

实际的疏散时间。

然而,当前常用人员疏散模型或软件中,几乎不考虑疏散预动作时间,少数模型进行了简化考虑,即模型提供可选的几种概率分布函数进行描述,如 Simulex 提供正态分布、三角分布 2 种概率密度函数供用户选择^[5]。近年来,针对公众场所人员疏散时间基础数据存在缺失问题,有关研究人员针对不同类型建筑,通过开展人员疏散演习或灾后调查对人员预动作时间数据进行了采集和统计分析,如 Shields 等^[6]对大型零售商场开展疏散演习试验。S. M. Lo^[7]通过调查火灾事故幸存者的信息建立了疏散人员行为的预测模型。肖国清等^[8]根据心理学原理,应用系统动力学理论模拟得到火灾疏散中人的各种行为所占概率随时间变化的曲线。贾彩清等^[9]采用正态分布建立了火灾时人员疏散预动作时间的随机数学模型。张培红^[10]通过对若干火灾案例的灾后调查,利用模糊推理机建立自适应模糊神经网络,对人员疏散预动作时间进行预测。

综上所述,火灾环境下的人员预动作时间是人员疏散研究的热点之一,虽然前人对火灾疏散中的人为反应及其行为进行了多方面的研究,但对公众场所火灾情况下人员疏散预动作时间的数据积累相对不足。本文对教学楼或宿舍楼火灾环境下的人员疏散预动作时间开展试验研究,并对人员疏散预动作时间进行采集和分析,期望为此类建筑的人员安全疏散设计提供部分基础数据。

1 教学楼火灾疏散试验

1.1 试验方法

本研究选用上海海事大学某教室作为火灾疏散演习教室,教室能容纳约 100 人。在教室内与教室相连的走道处安装了若干摄像头(图 1),用以记录火灾发生后的人员疏散状况。在安置摄像头的过程中,将全景监控与局部区域监控相结合,做到点面结合,不留死角。

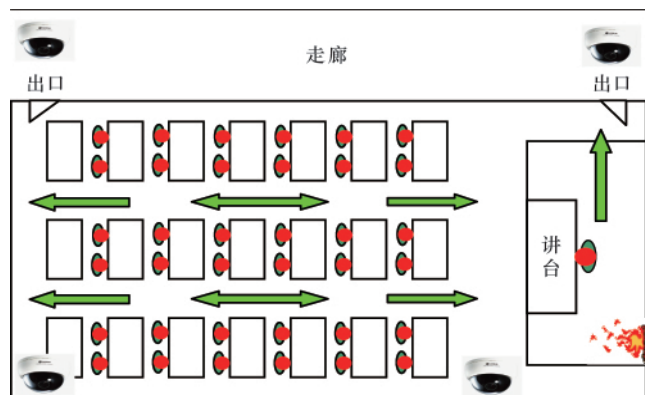


图 1 疏散演习试验示意

Fig. 1 Scheme of evacuation exercise experiment

试验开始前,由专家讲解火灾现场紧急疏散的相关知

识,目的是加强参与演习人员的安全意识与应急处置能力;在专家演讲结束后,教室中的人员被安排观看短片,在大家都无主动防范意识的前提下,由专人在教室后排准备室内点燃烟饼,用烟饼产生的浓烟模拟火灾环境,进而开展人员疏散演习试验,观察教室内人员的反应和行动,通过摄像头记录下人员的整个疏散过程。

1.2 试验数据采集

通过视频录像对人员疏散预动作时间进行分析,自烟饼产生的烟气蔓延至教室时开始计时,到教室内人员开始疏散为止,将这段时间记为人员疏散预动作时间。同时,自烟饼产生的烟气蔓延至教室时开始计时,到教室内人员疏散至安全区域为止,将这段时间记为人员疏散时间。按照此方法,采集教室内每个人的疏散预动作时间和疏散时间。

2 数据处理与分析

2.1 疏散预动作时间与疏散时间分布

开展实际疏散试验并由摄像头记录疏散过程,根据上述试验数据采集方法,得到教室火灾疏散预动作时间和疏散时间数据。图 2 是人员疏散预动作时间分布图,从中可以看出,大多数人的疏散预动作时间集中在 10—20s 之间,总体上看,疏散预动作时间范围在 0—28s。

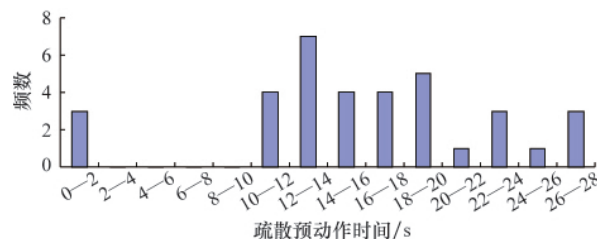


图 2 疏散预动作时间分布柱状图

Fig. 2 Bar graphs of pre-evacuation time distribution

同时,从图 2 还可看出,在 0—2s 有 3 人迅速起身逃离,其原因是这 3 人坐在距离起火点最近处,当火灾发生时,这 3 人迅速发现了火灾并且起身逃离现场。而距离起火点稍远的人们在看到这 3 人起身逃离之后也意识到了火灾的发生,进而相继起身离开火灾现场。由此可见,在火灾疏散的过程中,人们的反应以及判断易受到其他人的影响,疏散反应具有一定的传递性。

图 3 是人员疏散时间分布图,可以看出,在 0—27s 这段时间里疏散人数逐渐递增,形成了疏散时间与频率逐渐递增的趋势;随后,在 27—42s 这段时间里每一时间区间内疏散人数大致相同,人员疏散时间呈现均匀分布,这是因为在“火灾”发生 27s 之后,疏散人员在出口处发生拥塞,造成排队现象。在预动作时间最大值之前疏散出口处没有形成“拥塞”现象,这也与视频观察结果一致。

图 4 和图 5 分别是教室内学生的疏散预动作时间与疏散时间随学生座位的空间分布图。由于起火点是在教室前排靠

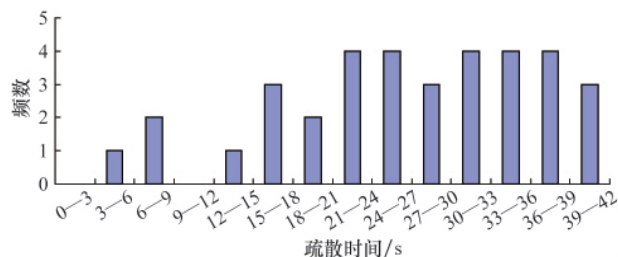


图3 疏散时间分布柱状图

Fig. 3 Bar graphs of evacuation time distribution

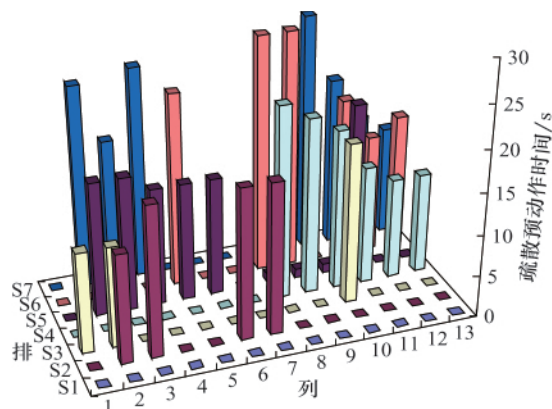


图4 疏散预动作时间随学生座位的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of pre-evacuation time with students' seats

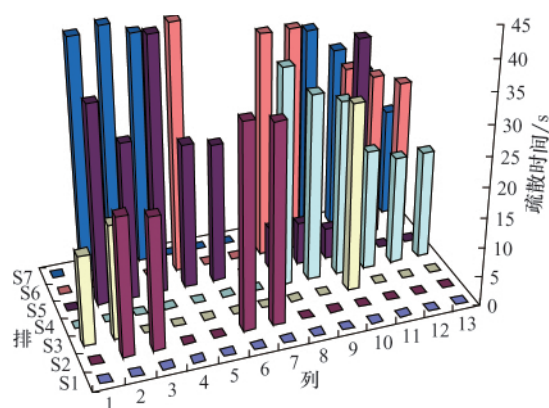


图5 疏散时间随学生座位的空间分布

Fig. 5 Spatial directional distribution of evacuation time with students' seats

窗处,因此,前排和就坐于教室中间的学生最先受到浓烟影响,他们的疏散预动作时间相对较短,而后排学生由于离出口较近,他们的移动时间则相对较短。

另外,教室内的学生比较倾向于几个熟人之间挨着就坐,也就是说2—3个学生之间的距离是比较近的。这时人们的行为反应容易受到与自己距离近的人的影响,随着座位距离的减小,两者行为的影响在增大。从图4可以看出,座位相邻的参与者,彼此的疏散预动作时间也更加接近。

2.2 疏散预动作时间分布特性

习惯用正态分布等概率密度函数法来描述疏散预动作时间的分布,本文对疏散预动作时间采用正态分布进行拟合,结果如图6所示。曲线拟合度 $R^2=0.3128$,可以看出拟合曲线与试验结果的吻合程度较差。同时,尝试采用其他概率密度函数如威布尔分布等来拟合,吻合度也非常差。可见,采用惯用的概率分布函数并不能客观描述火灾过程中人员疏散预动作时间的分布规律。

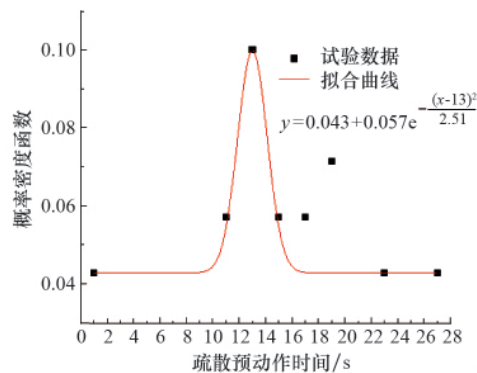


图6 疏散预动作时间高斯拟合曲线

Fig. 6 Gaussian fitting curve of pre-evacuation time

本文尝试采用累积概率分布方法来表征人员疏散预动作时间的分布,图7为人员疏散预动作时间的累积分布图。同时,根据图7中的累积分布曲线,通过在Matlab环境下编写程序产生预动作时间的随机数,并对原始数据累积分布与模拟产生的随机数累积分布曲线进行了对比,见图8。经过计算得到,火灾疏散预动作时间模拟结果的均值和标准差分别为16s和6.6s,而试验统计结果得到的人员预动作时间的均值和标准差分别为16.5s和6.6s。可以看出,预动作时间的模拟结果与原始数据累积分布的结果非常相近。可见,采用本文所提出的累积概率分布方法能够较为准确地描述火灾过程中人员疏散预动作时间的特征规律。

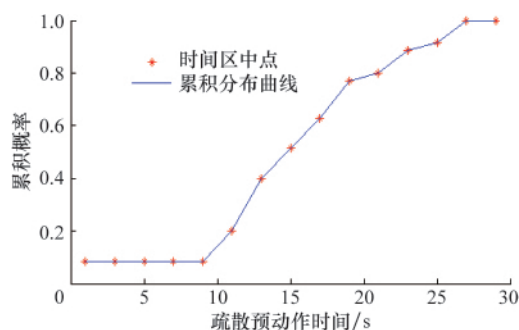


图7 疏散预动作时间累积概率分布

Fig. 7 Cumulative probability distribution of pre-evacuation time

3 结论

本文针对教室火灾中人员疏散开展了仿真试验,并对预

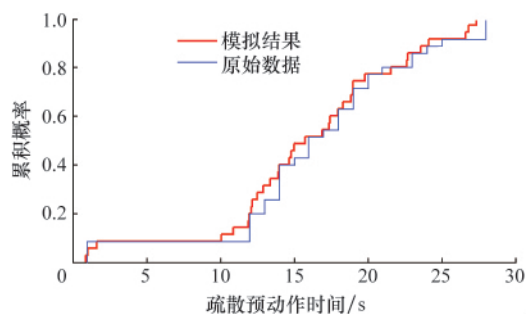


图 8 疏散预动作时间的模拟数据与原始数据
累积概率分布的对比

Fig. 8 Comparisons of cumulative probability distribution
between simulation data and experimental data

动作时间的分布进行了分析和研究,得出以下结论。

(1) 研究表明人员疏散预动作时间分布并不符合正态分布、威布尔分布等,即惯用的概率分布函数法并不能合理表征火灾过程中人员疏散预动作时间分布特征。本文采用累积分布法对人员疏散预动作时间分布进行描述,并将模拟数据与原始数据的累积分布曲线进行了对比,验证了本文所提方法的实用性。累积分布法对开展其他类建筑火灾中人员疏散时间研究具有借鉴意义。

(2) 试验结果表明,在类似容纳 100 人的教室中,火灾时人员疏散预动作时间大致在 2—28s 范围内。

参考文献 (References)

- [1] 霍然,袁宏永. 性能化建筑防火分析与设计 [M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2003.
Huo Ran, Yuan Hongyong. Performance-based fire protection design and

- analysis [M]. Hefei: Anhui Science & Technology Publishing House, 2003.
[2] Gwynne S, Galea E R, Owen M, *et al.* A review of the methodologies used in evacuation modeling [J]. *Fire and Materials*, 1999, 23 (6): 383–388.
[3] Proulx G, Sime J D. To prevent "panic" in an underground emergency: Why not tell people the truth?[C]// Con G, Langford B. Proceedings of the Third International Symposium on Fire Safety Science, New York: Elsevier Applied Science, 1991: 843–852.
[4] Spearpoint M. The effect of pre-evacuation distributions on evacuation times in the Simulex model [J]. *Journal of Fire Protection Engineering*, 2004, 14(1): 33–53.
[5] Thompson P A, Marchant E W. A computer model for the evacuation of large building populations[J]. *Fire Safety Journal*, 1995, 24(2): 131–148.
[6] Shields T J, Boyce K E. A study of evacuation from large retail stores[J]. *Fire Safety Journal*, 2000, 35(1): 25–49.
[7] Lo S M. Modeling and simulation of way find process under fire emergencies in complex buildings using system dynamics approach[C]// Franks C A, Grayson S. Proceeding Interflam' 96 –7th Conference. Cambridge: Interscience Communications Ltd. 1996: 721–730.
[8] 肖国清,王鹏飞,陈宝智. 建筑物火灾疏散中人的行为的动力学模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2004, 5(5): 134–139.
Xiao Guoqing, Wang Pengfei, Chen Baozhi. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2004, 5(5): 134–139.
[9] 贾彩清,刘朝,向廷海,等. 火灾时人员疏散开始时间范围的研究[J]. 火灾科学, 2002, 11(3): 176–179.
Jia Caiqing, Liu Chao, Xiang Tinghai, *et al.* *Fire Safety Science*, 2002, 11(3): 176–179.
[10] 张培红. 建筑物火灾时人员疏散行为的研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2002.
Zhang Peihong. Study on human evacuation behavior in building fire [D]. Shenyang: Northeast University, 2002.

(责任编辑 孙秀云,马晓晓)

·学术动态·



“2012 中国农业机械学会国际学术年会”征文

由中国农业机械学会、亚洲农业工程学会主办的“2012 中国农业机械学会国际学术年会”拟于 2012 年 10 月 20 日在杭州市召开。

论文截稿日期:2012 年 6 月 30 日。

联系电话:010-64882358。

会议网站:<http://www.agro-csam.org/News/article.asp?id=1656&classid=10>。