

文章编号:1000-582X(2008)09-1074-04

地下商业街火灾烟气流动的实体燃烧实验分析

罗 庆¹,张泽江²,梅秀娟²,王厚华¹,兰 彬²

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400030; 2. 公安部四川消防科学研究所,四川 都江堰 611830)

摘 要:针对城市用地紧张而出现的地下商业街建筑,对其火灾的特殊性,采用计算机模拟分析技术,分析地下商业街火灾的烟流和温度的动态分布特点;并在公安部四川消防科学研究所提供的实体商业街内,对 500 kg 的火源进行了实体燃烧,给出了沿通道内 2 个典型截面上不同高度上的烟气温度分布规律以及人员的逃生路线,根据实验数据和模拟数据的对比分析,证实模拟分析的可靠性,为地下商业街的防火评估、预测工作提供一定的参考作用。

关键词:地下商业街;火灾实验;烟气流动;计算机模拟

中图分类号:TU892

文献标志码:A

Simulation and experimental study of the fire performance of underground shopping streets

LUO Qing¹, ZHANG Zhe-jiang², MEI Xiu-juan², WANG Hou-hua¹, LAN Bin²

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China; 2. Sichuan Fire Research Institute of Public Security Ministry, Dujiangyan 611830, P. R. China)

Abstract: Underground streets have been developed in cities with land shortages. We simulated the dynamic distribution characteristics of smoke flow and temperature from fires under natural conditions in underground streets. The experiment was carried out at the Sichuan Fire Research Institute of Public Security Ministry, P. R. China. A 500 kg fire source was used in a real underground street. Temperature distribution at different heights and personnel escape routes are shown in two typical sections. The comparison between the computer simulation data and experimental data validates the simulation. This study provides a valuable reference for fire assessment of underground shopping streets.

Key words: underground shopping streets; fire experiments; smoke flow; computer simulation

地下商业街是指修建在城市繁华商业区域人流集散地之下的街道,为城市居民提供地下人行道,并在其一侧或两侧开设商店和布置各种服务设施的地下建筑空间,简称地下街。地下商业街一般建在市中心的闹市区,可以弥补中心区步行交通空间的不足,确保寒冷地区雨雪天气条件下不影响步行环境,在战时还能起防空作用。

随着地下商业街的广泛利用和不断兴建,在防

火安全上带来许多不安全因素。当地下建筑发生火灾时,将产生大量高温的浓烟,因为地下建筑处于封闭状态,空气流通不畅,出入口少,供气不足,这就导致发生火灾时生成大量浓烟,并很快充满整个建筑物,弥漫的烟雾使人呼吸困难,甚至窒息。另一方面,烟气排不出去,热量积聚,加上地下建筑散热缓慢,发生火灾时产生的烟气冷却程度小,烟气温度升高较快,着火房间的温度可高达 800~900 °C,甚至 1

收稿日期:2008-04-03

基金项目:公安部科研院所社会公益研究资助项目(2005DIA2J007);

重庆市自然科学基金资助项目(CSTC, 2007BB4131)

作者简介:罗庆(1976-),男,重庆大学博士,主要从事建筑环境与安全方面的研究,(E-mail)luoqing96@163.com。

000 °C 以上。地下商业街火灾温度上升到 800 °C 以上的时间很短,由于火焰本身或火焰产生的高温,能把人烧死、烧伤,这是因为人体在火焰的燎烤下,使心脏跳动加速,同时出汗增多,人很快就产生疲劳脱水的现象,当热强度超过人体不能承受的界限时,人就会很快死亡^[1-8]。人体对高温的耐受时间^[9]如表 1。由于地下商业街的出入口少,发生火灾时,受灾人员的逃生路线唯有这些出入口。这样,对那些处在远离出入口部位的人们,疏散的路程长,危险性大。地下建筑,烟气上升,人们往上层逃离,不论火灾发生在建筑物的那个部位,人们只要逃不出地下建筑物,其安全就没有保证^[10-14]。另外,地下商业街属于商业用房,火灾荷载较大,一般达到 25 ~ 100 kg/m²^[15],这也加重了火灾的严重性。

表 1 掩蔽人员对高温的耐受时间

时间	<5 min	5 min	30 min	2 h	4~8 h	27~72 h
温度/°C	150	140	100	65-80	46-65	35-41

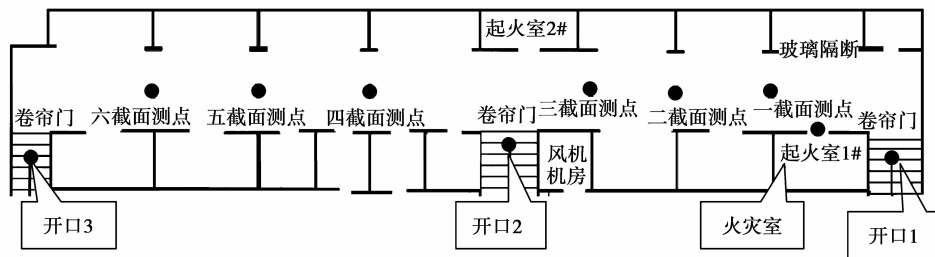


图 1 实体商业街建筑平面图

实验过程中,预先在商业街内通道中沿烟流方向设置了测试测试柱,即在通道的断面上布置测试点,其高度距离地面分别为 0.5、1.5、1.68、1.86、2.04、2.32、2.50、2.68、2.86 m。选取了 2、6 截面上的温度进行分析。

商业街通道内烟流规律分析:从图 2、3 中可以看出,地下商业街烟气温度的整体分布情况,在同一个断面上,烟气温度是从下到上依次升高,高温烟气,都主要集中在上部,这也与高温烟气的密度低于冷空气,而处于上部位置相符合,而且,温度分布呈现出非常规律性的层状分布。这种分布规律,从总体上来说,有利于人员的逃生。从单个的测试点上的温度分布可以看出,随着火灾进程的发展,温度是一个逐步上升的过程,但是这种定点温度的上升速度是有明显的差异的,离火源近的测点高于远离火源的,离顶部近的高于离顶部远的,即热量越集中的地方,这种升温速率就越高,这与地下商业街的结构形式有密切的联系,因为,地下商业街的开口少,不利于热量的散发。

由于地下商业街火灾的特殊性和严重性,有必要对地下商业街的火灾烟气流动的特性做出分析,便于相关人员在火灾评估和预测时,能够做出恰当的判断和分析,便于采取相应的防火措施。在 1:1 的实体地下商业街中,采用 500 kg 的火荷实验和计算机模拟,对地下商业街在自然状态下的火灾性状作了分析研究。

1 地下商业街火灾烟气流动实验分析

该地下商业街,建筑面积 640 m²,净空高度 3 m,其通道总长 67 m,宽 4 m,两头和中间分别设置出入口(图 1)。试验时,商业街两边的店铺关闭,将开口 2 关闭,打开开口 1 和开口 3,形成一个完整地下通道。整个火灾过程中,没有送风和排烟。火灾初始时,室内温度 24 °C,室外温度 27 °C。火源设置在开口 1 的左侧店铺内,点火时采用酒精引燃,用量 200 mL。

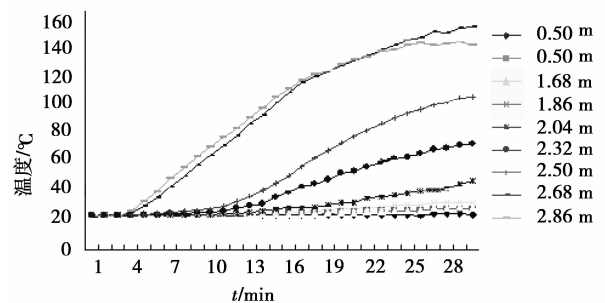


图 2 第 2 断面的温度分布

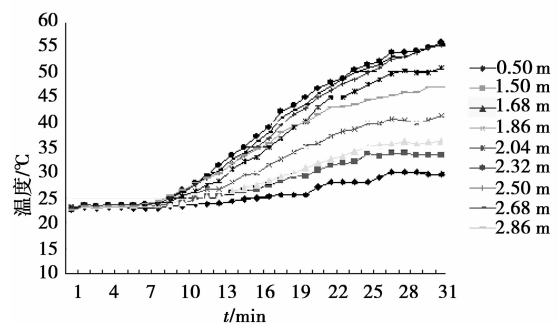


图 3 第 6 断面的温度分布

2 地下商业街火灾烟气流动的模拟分析

2.1 数学模型

1) 质量守恒方程。

质量守恒方程又称连续性方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = S_m。$$

该方程是质量守恒方程的一般形式,它适用于可压缩流动和不可压缩流动。源项 S_m 是从分散的二级相中加入到连续相的质量,源项也可以是任何的自定义源项。

2) 动量守恒方程。

在惯性坐标系中 i 方向上的动量守恒方程为

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i$$

其中: p 是静压, τ_{ij} 是应力张量; g_i 和 F_i 分别为 i 方向上的重力体积力和外部体积力, F_i 包含了其它的模型相关源项,如自定义源项。

3) 能量方程。

能量方程的形式为

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i(\rho E + p)) = \frac{\partial}{\partial x_i}(k_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j J_j + u_j(\tau_{ij})_{\text{eff}}) + S_h,$$

其中: k_{eff} 是有效热传导系数; J_j 是 j' 组分的扩散流量。上面方程右边的前 3 项分别描述了热传导、组分扩散和粘性耗散带来的能量运输, S_h 包括了化学反应热以及其它定义的体积热源项。

2.2 地下商业街计算机模型

根据以上的数学模型和实验中的物理模型,建立相应的计算机模型(图 4)。计算机模型中采用实体商业街的尺寸,并建立与实验中完全一样的边界条件、初始条件和火荷条件。采用火灾动态模拟方式,描述火源材料与周围的空气进行混合燃烧过程。



图 4 计算机模型

从图 5、6 中的温度分布规律可以看出:在 7 min 时,火灾的烟气温度影响已经影响到了地下商业街的一半,由于火灾室的位置靠近右侧,大部分烟气主要从 1 号开口流出,火源从整体上对商业街左侧的通道影响要小些。从图 6 中,可以看到,此时火灾的烟流影响达到地下商业街的最左侧,与实验过程中的观测现象相吻合。从 2 个图的对比可以看到,火灾室的火源温度范围进一步扩展,在 10 min 时,已经严重影响到了地下商业街的通行情况。



图 5 7 min, 离地 1.5 m 处地下商业街的温度分布规律(单位:K)



图 6 10 min, 离地 1.5 m 处地下商业街的温度分布规律(单位:K)

3 地下商业街的实验结果与数值模拟结果对比分析

为了分析地下商业街烟气模拟规律的合理性,分别从试验数据和模拟数据中相同的位置处,提取对应时刻的数据进行比较分析,如图 7、8。

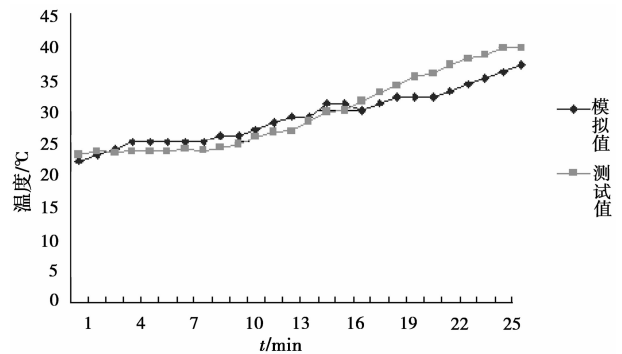


图 7 第 6 断面处, 离地面 1.5 m 处的温度值对比分布

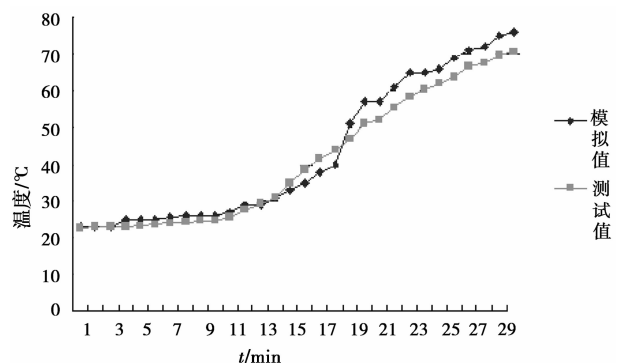


图 8 第 2 断面离地面 2.32 m 处的温度值对比分布

从图7、8的对比分析结果可以看出,虽然模拟值和测试值在一些时间上存在较大的差异,在第2断面处温度差值为 8°C ,第6断面处温度差值为 5°C 。但是两者在整体时间上看,趋势是一致的,模拟分析的烟流规律具有一定的合理性。由于在火灾模拟分析过程中,便于分析计算,对一些不重要的条件作出一些合理的简化,这是造成误差的主要原因。另外一方面,研究火灾烟流规律也主要是从整体上把握,每一次真实火灾情况,都有很大的随机性,火灾条件也是千差万别的,因此,没有必要集中在个别地点上参数的准确度上,整体掌握火灾的烟流规律在实际的防火和火灾评估过程中更为重要。

4 结 论

通过对实体地下商业街的实验研究和数值模拟,分析了500 kg火荷下的烟流温度分布规律,通过两个典型断面实测温度分析和模拟分析的对比,证实了数值模拟的合理性,并得出如下初步结论。

1) 实体实验的数据显示,实验过程的温度变化情况符合普遍的实际地下商业街火灾演变规律,为研究实际地下商业街的防火安全措施、防火评估方法等提供了重要的参考数据;

2) 通过实体燃烧数据和模拟数据的对比,证实数值模拟的合理性,为今后的地下商业街的防火研究提供了经济、有效的研究方法;

3) 由实体实验数据的权威性,结合数值模拟的可重复性是研究地下商业街火灾安全最有效措施。

参考文献:

- [1] GRATTAN K B, BAUM H R, REHM R G, et al. Fire dynamics simulator version 4-technical reference guide, NISTIR6783 [R]. Gaithersburg: Building and Fire Research Laboratory, 2003: 120-125.
- [2] FORNEY G P, GRATTAN K B. User's guide for smokeview version 3. 1: a tool for visualizing fire dynamics simulation data, NISTIR6980 [R]. Gaithersburg: Building and Fire Research Laboratory, 2003: 141-143.
- [3] REHM R G, PITTS W M, BAUM H R, et al. Initial model for fires in the world trade center towers, NISTIR6879 [R]. Gaithersburg: Building and Fire Research Laboratory, 2003: 220-225.
- [4] JOHN H. MAMMOSER III, FRANCINE B. A computational study on the use of balconies to reduce flame spread in high-rise apartment fires [J]. Fire Safety Journal, 2004, 39: 277-296.
- [5] ERIC W M, RICHARD K K, YUEN S M. A novel artificial neural network fire model for prediction of thermal interface location in single compartment fire [J]. Fire Safety Journal, 2004, 39: 67-87.
- [6] HOLBORN P G, NOLAN P F, GOLT J. An analysis of fire sizes, fire growth rates and times between events using data from fire investigations [J]. Fire Safety Journal, 2004, 39: 481-524.
- [7] SUHAS V. Computational modeling of flow and heat transfer in industrial applications [J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2002, 23: 222-231.
- [8] REGEV A, HASSID S, POREH M. Density jumps in smoke flow along horizontal ceilings [J]. Fire Safety Journal, 2004, 39: 465-479.
- [9] 黄钊. 地下商业街的火灾防护[J]. 重庆三峡学院学报, 2002, 18(6): 112-127.
HUANG ZHAO. Fire protection for underground street [J]. Journal of Chongqing Three Gorges University, 2002, 18(6): 112-127.
- [10] 霍然等. 建筑火灾安全工程导论[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1999.
- [11] 徐彤, 王建军. 古建筑防火性能化评估方法基本框架研究[J]. 消防技术与产品信息, 2005, 2: 65-68.
XU TONG, WANG JIAN-JUN. Fire assessment frame for ancient building [J]. Fire Technique and Products Information, 2005, 2: 65-68.
- [12] 张泽江. 古建筑防火保护研究现状[J]. 消防技术与产品信息, 2007, 2: 54-57.
ZHANG ZHE-JIANG. Review of fire protection for ancient building [J]. Fire Technique and Products Information, 2007, 2: 54-57.
- [13] 王学谦. 建筑消防安全问答[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [14] 梁清泉. 地下建筑的防排烟设计探讨[J]. 消防科学与技术, 2002, 1: 39-40.
YANG QING-QUAN. Study on smoke exhaust for underground building [J]. Fire Technique and Products Information, 2002, 1: 39-40.
- [15] 公安部消防局. 中国火灾统计年鉴[M]. 北京: 中国人民公安大学出版社, 2000.

(编辑 赵 静)