

性能化防火分析方法在大型地下商场中的应用

姚 斌, 姜传胜, 刘乃安, 李元洲, 胡隆华, 陈 涛

(中国科学技术大学 火灾科学国家重点实验室, 安徽合肥 230026)

摘要: 地下建筑火灾具有散热性差、烟气量大、人员疏散困难的特点, 需要在消防设计和安全分析时予以足够的重视。该文利用性能化防火分析方法研究某大型地下商场在发生设定火灾条件下的烟气运动以及人员疏散特性, 并通过安全疏散时间判据来评估人员能否全部安全疏散。

关键词: 性能化防火分析; 安全疏散时间判据; 大型地下商场

中图分类号: TU972⁺.4 **文献标识码:** A

0 引言

地下建筑经由竖直通道与地面空间相连, 通风口和出入口相对不足, 从而导致该类型火灾具有散热性差、烟气量大、人员疏散困难的特点, 需要在消防设计和安全分析时予以足够的重视。某大型地下商场是一座集文化、休闲、餐饮、娱乐、购物、交通于一体的现代公共建筑, 总建筑面积近4万平方米, 并分为地下一层, 地下夹层和地下二层。在十字步行商业街的交叉处有一个共享空间(中庭), 有多部扶梯和公共楼梯将上、下各层空间联系起来, 在十字街的四个尽端设置多组疏散楼梯和电梯。该商场具有建筑面积大、人流密集、影响力高的特点, 超出了现有防火规范的要求, 一旦发生火灾可能导致人员疏散困难, 从而给判断其是否真正安全带来不确定性。因此有必要利用性能化防火分析方法, 根据具体火灾发展特性来决定其防火需要, 使火灾安全目标、火

灾损失目标和设计目标良好结合, 有助于实现火灾防治的科学性、有效性和经济性的统一^[1,2]。从20世纪80年代开始, 澳大利亚、新西兰、加拿大、日本、英国、美国、瑞典、芬兰、香港等国家和地区相继开展了性能化防火的理论研究及实际应用, 取得了不同程度的进展, 一些相对成熟的方法已经投入实际使用^[2~4]。发展和完善该体系的工作目前已经成为国际火灾科学和火灾安全工程学的热点和前沿课题之一。

确定分析对象的防火安全目的和目标是进行性能化防火分析的出发点。总的来说基本的防火安全目标可分为两类: 与生命安全直接相关的和与其它安全相关的。前者考虑火灾中各类人员的安全, 包括居住者、工作人员、顾客、消防人员等, 通常这是大部分建筑物防火安全的主要目标。要达到该目标, 应当根据烟气的流动特点和人员的行为特点, 做好疏散通道、避难区的设计, 选用合适的火灾探测报警系统和疏散诱导系统, 保证所有人员能在有效安全时间内撤离起火建筑。其它安全目标包括保护财产安全、保证系统运行的连续性、保护环境等, 围绕这些基本目标, 还需要细化出许多具体的目标。

人员安全疏散时间判据是评估是否达到防火安全目标的主要判据之一, 本文使用一种能满足充分必要条件的安全疏散时间判据^[5], 如图1所示, 分别对上述两种时间进行分析计算。保证建筑物内人员安全疏散的关键是所有人员疏散完毕所需时间必须

收稿日期: 2003-09-11; 修改日期: 2003-09-21

基金项目: 国家自然科学基金重大国际合作研究项目(50320120156), 安徽省自然科学基金(03045404)和教育部留学回国人员科研启动基金资助项目

注: 本文曾参与2003火灾科学与消防工程国际学术会议交流

小于火灾发展到危险状态的时间。

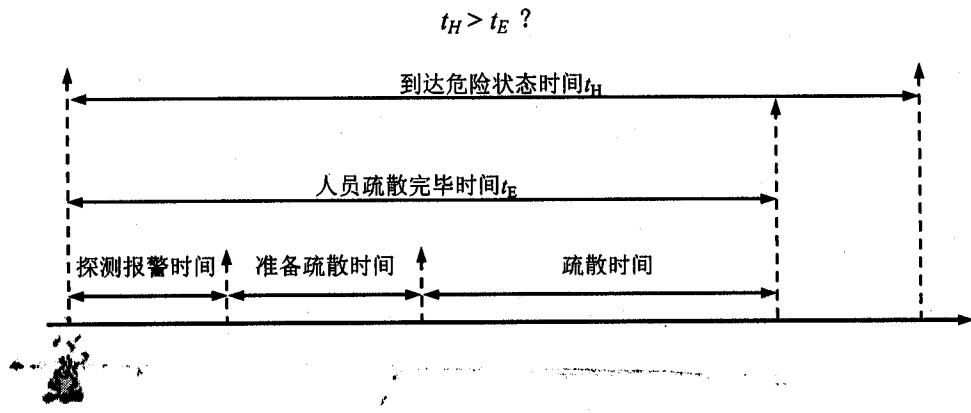


图 1 人员安全疏散时间判断

1 某地下商场的性能化防火分析方法

本文主要评估研究目标是保证生命安全,即发生设定的火灾时确保所有人员能够安全疏散,其次是保证财产安全,降低火灾的直接和间接损失。研究手段包括调查类比、理论分析、模拟实验研究和计算机数值模拟等等,评估的依据包括可用的国内外建筑防火规范、同类建筑的火灾安全系统设计经验、火灾科学和火灾安全工程学的最新进展。

由于该大型地下商场是典型的大空间建筑,火灾烟气的危害性需要重点研究。本文首先调研商场内的火灾危险源特性以及可能发生的火灾场景,分析各场景的火灾发展特性,得到典型火灾场景的热

释放速率,具体结果可参见表 1。如地下一层服装商场火灾荷载高,危险大,但安装了可靠的水喷淋系统,因此设定为快速发展类型的火灾,并选取 5MW 作为最大的热释放速率,研究烟气向其它相邻空间特别是共享空间(中庭)的蔓延特性。而底层的电子游戏厅与共享空间直接相连,人员也比较多,火灾产生的烟气危害很大,需要重点防护,在计算中分别选取 1MW 和 5MW 作为两种设定火灾场景下的热释放速率。另外,游客随身携带物品为移动式可燃物,调查类比后计算的热释放速率最大值为 0.58 MW(例如行李箱),为了提供一定的安全系数,在计算中选取 1MW 作为移动式可燃物的热释放速率。

表 1 大空间内火灾热释放速率

地 点	火源面积(m ²)	等效直径(m)	火灾增长系数 α	可燃物全部被引燃时间(s)	最大热释放速率(MW)
商店*(1,2,夹层)	3×3	3	0.076	250	4.75
游客携带物(1,2,夹层)	1.5×1.2	1.33	0.04689	111	0.58
电子游戏厅(单个游戏台)	1.5×1.5	1.5	0.0375	125	0.59
电子游戏厅(多个游戏台)	3×7.5	4.28	0.0375	357	4.77
可燃缓震垫	1.8×2	1.89	0.1878	158	4.69

*:装有自动喷水灭火系统,控制区域为 3×3m²,故火源面积取为 3×3m²

本文通过全尺寸模拟实验与计算机模拟的比较,验证了区域模拟程序 CFAST 在计算大空间烟气运动特性方面的合理性^[6],并针对狭长空间发展了多子空间的区域模拟方法^[7]。然后分析计算了地下商场内典型空间在不同火灾场景下烟气运动特性,并在此数据的基础上拟合出烟气层高度随时间发展的经验公式,可以直观得到烟气达到危险状态

的时间。本文计算中取 1.5m 为烟气层危险高度。大型地下建筑出入口少,疏散距离远,人员疏散比较复杂,而格子气模型和多粒子-自驱动模型相结合的方法考虑了人群的堆积效应,比传统的人员疏散模型更合理,预计的结果也更可靠,可以有效地分析计算地下商场内人群疏散特性^[8]。本文在合理估计人员荷载的基础上,分别针对整层和典型空

间的人员疏散开展模拟和计算,得到地下各层人员安全疏散完毕所需时间,拟合出与人员荷载有关的经验公式,并与烟气到达危险高度的时间进行比较。

人员疏散研究必须建立在合理的人员荷载统计的基础之上,商场内工作区和营业区互相交叉,工作人员和顾客通常混杂一体,且顾客数量远大于工作人员数量,所以商场内的人员荷载主要取决于顾客数量的统计。根据商场管理部门提供的数据,历史上商场内出现最高的顾客统计量为每天5~6万人次。按每天16个工作小时计,则每小时商场内的顾客量最高为4000人次,若三层平均分布则为每层1300人次。但考虑到商场内的服装区和康体娱乐区出现的顾客高峰期并不一致,并为了充分考虑和研究商场内在人员荷载很高的情况下的安全问题,

每层的顾客容量极限取为5000人。由于各层的顾客使用面积并不相同,故出现的最高人员密度有一定区别,分别为地下一层 $0.5167\text{人}/\text{m}^2$,夹层 $0.796\text{人}/\text{m}^2$,地下二层 $0.5582\text{人}/\text{m}^2$ 。

2 典型结果与讨论

限于文章篇幅要求,本文主要介绍以下两个典型案例的分析结果。

案例一:位于地下一层的大商场发生火灾,同时,位于该商场出口处和商场外使之与中庭隔断的防火卷帘失效(如服装模特儿堆放在卷帘下方,阻碍其下落),没有正常降落,其它的防火卷帘均正常降下,此时,烟气在该大商场内发展并经由中庭向下层蔓延。烟气模拟区域示意图如图2所示。

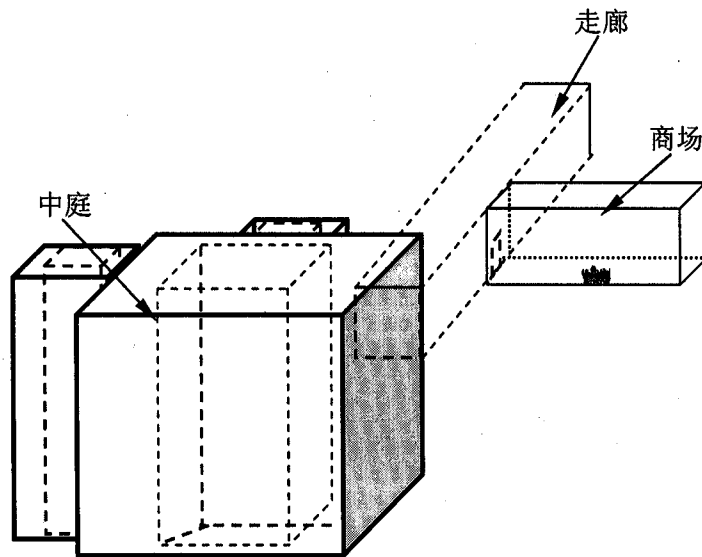


图2 地下一层商场火灾烟气模拟区域示意图

案例二:位于地下二层的电子游艺厅发生火灾,同时,位于该游艺厅出口处的使之与中庭隔断的防火卷帘失效,没有正常降落,其它的防火卷帘均正常降下,此时,烟气在该电子游艺厅内发展并经由中庭向上层蔓延的过程。烟气模拟区域示意图如图3所示。

研究结果表明:对于案例一,地下一层走廊烟气层下降至危险高度的时间为670s,地下一层烟气层下降至危险高度的时间为570s,地下夹层烟气层在1800s时下降至2.15m,在1800s内烟气未蔓延至地下二层。

对于案例二,在火源功率为5MW条件下,地下一层烟气层下降至危险高度的时间为220s,地下夹层烟气层下降至危险高度的时间为240s,地下二层

烟气层下降至危险高度的时间为600s,中庭烟气层下降至危险高度的时间为440s。

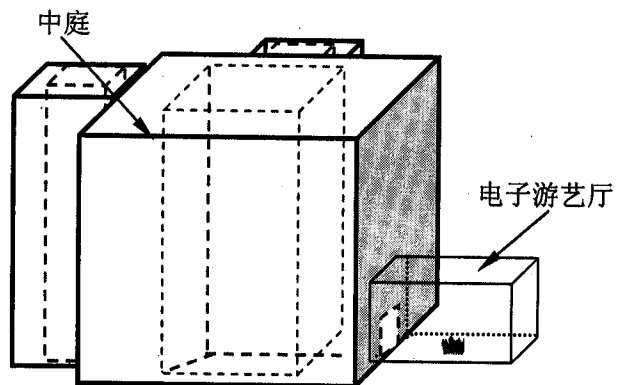


图3 地下二层电子游艺厅火灾烟气模拟区域示意图

图4,5,6分别给出了这些案例中各层人员疏散与烟气下降的时间比较。注意图中的疏散时间并不包括探测报警时间和人员准备疏散时间,人员准备疏散时间变化幅度大,在实际应用中难以准确估计,多依赖一些经验公式^[9],比如认为两者之和的典型值为300s左右,因此可以得到可以允许的最大人员荷载。地下商场在火灾情况下的人员疏散需要引起注意,特别是停留在中庭内地下一层的人员在防火

卷帘关闭后疏散困难,因为在中庭附近发生火灾时,很短时间内烟气层就会降到1.5m的危险高度。对于非中庭附近的火灾(如地下一层商场火灾),只要保证水喷淋系统的正常运作,就不会对其它区域尤其是中庭内的人员疏散有太大影响。由于大空间具有一定的蓄烟性,烟气到达地下二层的危险高度需要较长的时间,人员逃生相对安全。

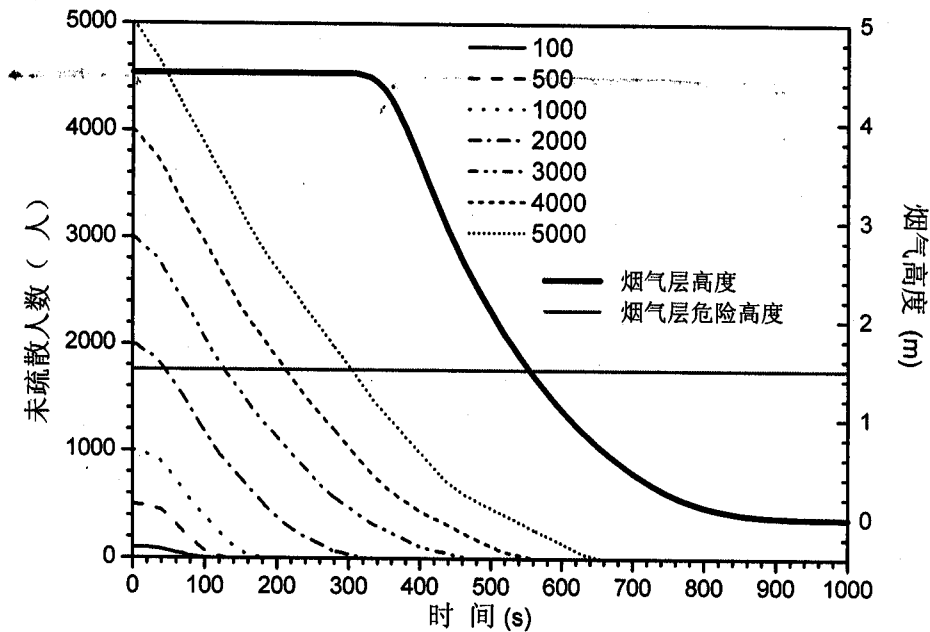


图4 地下一层在不同人员荷载情况下的疏散和烟气层下降特性(地下一层商场火灾热释放速率5W)

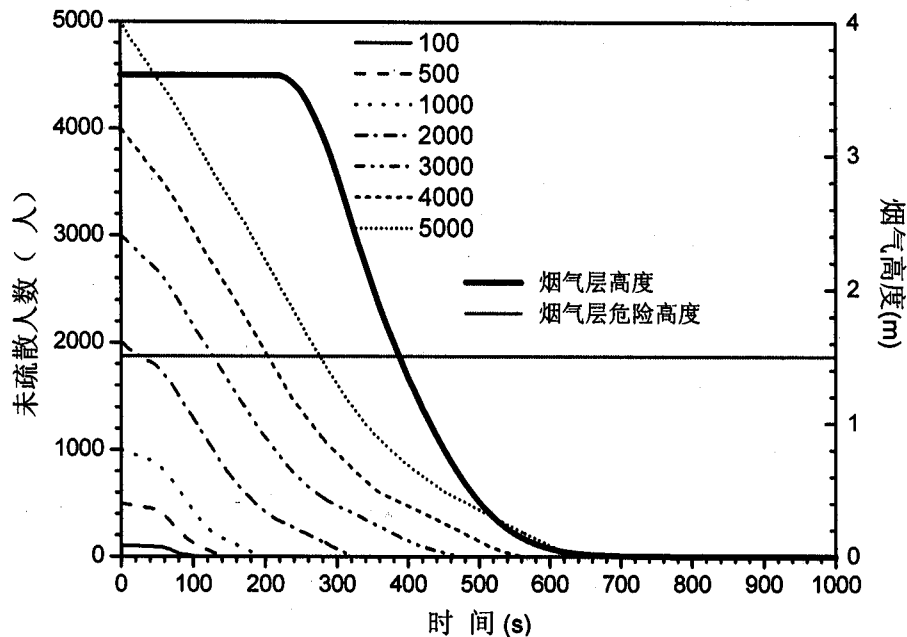


图5 地下夹层在不同人员荷载情况下的疏散和烟气层下降特性(电子游戏厅火灾热释放速率5MW)

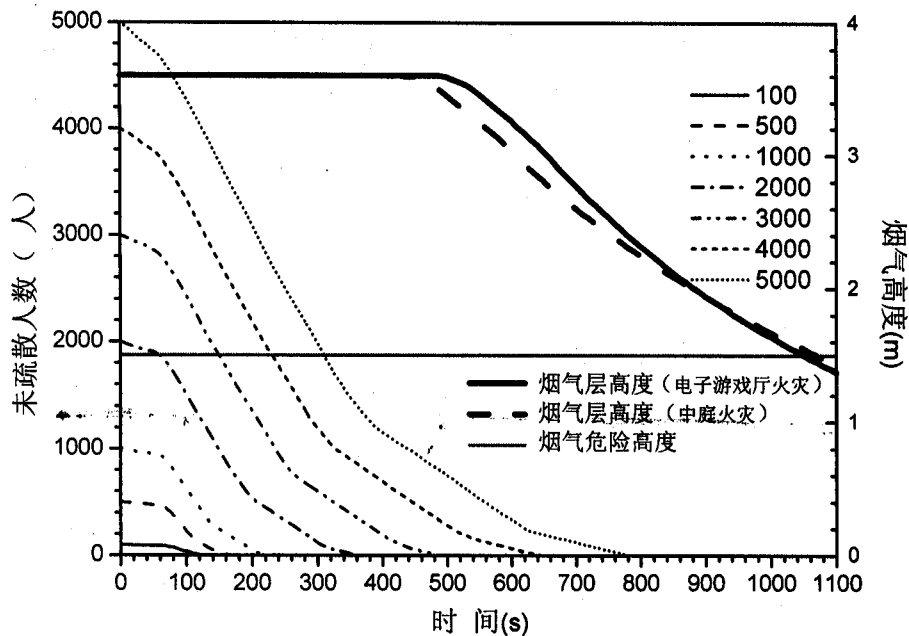


图6 地下二层在不同人员荷载情况下的疏散和烟气层下降特性
(电子游戏厅火灾热释放速率1MW,中庭火灾热释放速率1MW)

3 结语

由于商场处于地下,疏散距离和出口条件受到限制,不利于人员安全疏散,必须通过限制总的顾客人数,并采用性能优良的火灾探测、联动扑救以及疏散诱导设施,来保证足够的人员安全疏散时间。

性能化防火分析方法是目前解决超规范建筑火灾安全的有效方法,安全疏散时间判据是评估人员能否在设定火灾场景下安全逃生的重要判据。但如何确定合理的火灾场景以及选用合适的分析计算工具仍有相对的不确定性,需要进一步深入研究,应尽快参照国内外有关文献制定出在中国切实可行的性能化防火分析规程。

参考文献

- [1] 肖学锋. 发展消防安全工程学和性能化防火规范[J]. 消防科学与技术, 1999(4): 22~25.
- [2] G. V. Hadjisophocleous, N. Benichou. Development of performance-based codes, performance criteria and fire safety engineering methods[J]. International Journal on Engineering Performance - Based Fire Codes, 2000, 2(4): 127~142.
- [3] SFPE engineering guide to performance-based fire protection: analysis and design of buildings[M]. First Edition, National Fire Protection Association, Society of Fire

Protection Engineers, USA, 2000.

- [4] Fire safety engineering in buildings[M]. DD240, British Standards Institute, London, 1997.
- [5] 姚斌,刘乃安,李元洲. 论性能化防火分析中的安全疏散时间判据[J]. 火灾科学, 2003, 12(2): 79~83.
- [6] R. D. Peacock, G. P. Forney, P. Reneke, R. Portier, W. W. Jones. CFAST, the consolidated model of fire growth and smoke transport[R], NIST Technical Note 1299, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA, 1993.
- [7] 胡隆华,霍然,姚斌,王浩波. 超狭长两端封闭空间烟气运动工程分析方法的初步研究[J]. 火灾科学, 2003, 12(1): 36~39.
- [8] T. Chen, W. Song, W. C. Fan, S. Lu, B. Yao. Pedestrian Evacuation Flow from Hallway to Stairs[A]. Proceedings of the CIB - CTBUH International Conference on Tall Buildings[C], Malaysia, 2003.
- [9] G. Proulx, G. V. Hadjisophocleous. 模拟公寓楼与办公建筑内的人员反应与疏散[A]. 消防安全工程工作组: 国外建筑火灾人员安全疏散研究译文集[C]. 北京, 2001. 197~210.

Performance-Based Fire Protection Analysis on A Large Underground Shopping Center

YAO Bin, JIANG Chuan-sheng, LIU Nai-an,

LI Yuan-zhou, HU Long-hua, CHEN Tao

(State Key Laboratory of Fire Science,
USTC, Hefei, Anhui, China, 230026)

Abstract: Evacuation is quite difficult for underground building fires because of the limited ventilation and exit conditions. The performance - based fire protection analysis was employed in this paper for a large under-

ground shopping center. The smoke movement and human evacuation were investigated and the safety egress time criterion was used for assessing whether the occupants could evacuate successfully.

Key words: performance-based fire protection, safety egress time criterion, large underground shopping center

欢迎订阅《灾害学》

《灾害学》杂志是全国创刊最早(1986年)、综合、系统、全面介绍灾害科学研究内容、研究动态、研究方法、研究成果的科技期刊。《灾害学》既刊登有关自然灾害的稿件,又登载有关人文灾害的内容。《灾害学》在初创之时,就受到著名科学家和社会活动家钱学森、于光远等前辈的热忱关注和大力支持。《灾害学》曾获得国家、省部级的多次奖励;首批进入中国期刊方阵,为双效期刊。由于《灾害学》其在灾害科学领域的知名度和影响力,其发行量始终稳居本学科、本系统之最。

《灾害学》杂志为16开季刊,每季末20日出版,国内统一刊号:CN61-1097/P,每期内页96码,70g胶印纸印刷,每期6元,另加邮寄、包装费1.50元,全年订费30元。本刊自办发行,欢迎新老用户订阅本刊,来函即寄订单。

地址:西安市边家村水文巷4号 邮编:710068 电话:(029)8465341

电子信箱:zhx@eqsn.gov.cn 单位:灾害学杂志编辑部

账号:3700023109014486285 开户行:工行西安市支行含光路分理处