

综合体建筑裙房进深区域火焰蔓延研究

王宇¹, 田佳鑫¹, 王君伟², 赵维新³, 裴晓丹³

(1. 沈阳建筑大学土木工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 中建三局安装工程有限公司, 湖北 武汉 430040;
3. 中建三局第一建设工程有限责任公司, 湖北 武汉 430040)

摘要 目的 研究综合体建筑中的裙房进深区域对综合体建筑火焰蔓延的影响, 为该类建筑的防火设计提供参考。方法 应用火灾数值模拟软件 PyroSim 建立不同裙房进深条件下的综合体建筑模型, 分析该模型在竖向不同连续窗口数量下的温度分布等温线。结果 在不同的裙房进深下, 达到危险温度 540 °C 和 250 °C 时, 火焰融合高度及火焰高度均随着裙房进深的增加明显下降; 随着裙房进深依次增大, 温度达到 540 °C 时火焰融合高度下降了 1.39% ~ 12.85%; 温度达到 250 °C 时火焰高度下降了 0.03% ~ 13.99%。结论 增加综合体建筑中裙房进深可以明显降低火焰融合高度, 降低火灾危险性。

关键词 综合体建筑; 裙房进深; 火焰融合; 数值模拟

中图分类号 TU352.5; X932

文献标志码 A

Study on Flame Spread in Podium Depth Area of Complex Building

WANG Yu¹, TIAN Jiaxin¹, WANG Junwei², ZHAO Weixin³, PEI Xiaodan³

(1. School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. China Construction Third Engineering Bureau, Installation Engineering Co. Ltd., Wuhan, China, 430040; 3. China Construction Third Engineering Bureau, The First Construction Engineering Co. Ltd., Wuhan, China, 430040)

Abstract: The main objective of this paper is to study the influence of the podium depth on the flame spread of complex buildings in order to provides reference for fire design of this kind of building. The complex building model under different podium depth is established by PyroSim, and the temperature distribution isotherms of the model under different number of vertical continuous windows are analyzed. At different podium depth, when the hazard temperatures reach 540 °C and 250 °C, the flame fusion height and flame height decrease significantly as the podium depth increasing. The fusion height of the flame decreases by 1.39% ~ 12.85% as the podium depth is increased when the dangerous temperature reaches 540 °C. The flame height decreases by 0.03% ~ 13.99% when the dangerous temperature reaches 250 °C. The results show that the flame

收稿日期: 2021-12-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(52078309)

作者简介: 王宇(1977—), 男, 副教授, 主要从事结构抗震和建筑抗火等方面研究。

fusion height can be obviously reduced by increasing the podium depth of complex building, and then the fire risk is reduced.

Key words: complex building; podium depth; flame fusion; numerical simulation

综合体建筑具有超大空间尺度、复杂结构与功能等建筑特征,火灾危险性极高。针对综合体建筑火灾^[1-9]问题,国内外学者做了大量研究。王远^[10]以央视电视文化中心为研究对象,运用 FDS 软件模拟火灾发生时建筑内部和外部火焰蔓延情况,得出材料燃烧特性、材料外形尺寸、起火点位置、火源大小及环境因素对火焰蔓延起决定性作用的结论;英国建筑研究所(BRE)的 H. P. Morgan 等^[11-13]选用不同的商场和中庭建筑场地进行多次火灾试验,分析不同火灾规模情况下烟气运动情况,提出了中庭建筑烟气运动控制方法等;程超^[14]以某大型商场为研究对象,运用 FDS 软件进行火灾蔓延模拟分析,得出火灾发生时商场温度、辐射热、能见度、氧气等变化情况;马千里^[15]对大型综合体建筑的商铺与步行街之间防火分隔物设置进行分析,验证作为防火分隔的自动喷水系统保护钢化玻璃隔墙的可行性;任程远^[16]分别对某高层酒店式公寓火灾发生后火场温度、烟气扩散等进行了分析研究。上述文献主要研究了不同结构因素及环境因素对火焰蔓延的影响,但均未提及大型综合体中同时存在裙房和塔楼情况下,两者外部设计引起的火势

蔓延的影响。

综上所述,笔者以塔楼和裙房组成的综合体建筑为研究对象,以 540 ℃ 和 250 ℃ 作为危险温度,通过改变裙房进深(塔楼距裙房外边缘的距离),分析该因素对多窗口火焰融合高度的影响,来揭示多窗口火焰融合规律。研究表明:增加综合体建筑中裙房进深可以明显降低火焰融合高度,可以降低火灾危险性。

1 数值模拟

1.1 计算模型

以一个由裙房和塔楼组成的综合体建筑来构建模型。该建筑总高 136.9 m。其中裙房部分 3 层,层高 5.1 m,共 15.3 m。塔楼部分 32 层,层高为 3.8 m,共 121.6 m,墙体厚度 0.2 m,楼板厚度 0.1 m。

火源位置在塔楼第 1 层,热释放速率为 10 MW,燃烧过程为超快速火,火源房间面积 70 m²。塔楼部分窗口宽×高为 2.1 m×2.1 m。在每层窗口中心处布置热电偶 T1-T35 共 35 个测点,网格尺寸为 0.35 m×0.35 m×0.35 m。综合体模型如图 1 所示。

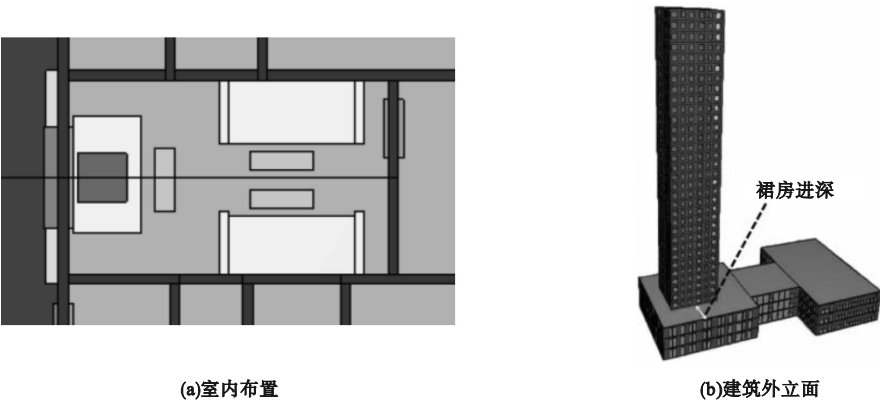


图 1 综合体建筑模型

Fig. 1 The model of complex building

1.2 工况设置

为研究综合体建筑裙房进深对火焰蔓延的影响^[17],设置裙房进深分别为1 m、2 m、3 m、4 m、5 m、6 m,并选取塔楼部分的窗口数量分别为纵向连续3窗口、4窗口和5窗口。

1.3 危险温度

笔者定义两个危险温度。第一个为540 ℃,达到该温度时,火焰将发生融合;第二个为250 ℃,达到该温度时,建筑玻璃将发生破碎。笔者以这两种危险温度的等温面为火焰外轮廓线的方法确定火焰融合高度和火焰高度。其中火焰融合高度为达到危险温度时,火焰总高度减去火源所在位置的高度。

1.4 火源热释放速率(HRR)

根据《建筑防烟排烟系统技术标准》(GB 51251—2017)^[18],裙房区域火灾热释放速率为10 MW,火灾荷载密度为0.14 MW/m²,采用非稳态t²模型,选用超快速火模拟燃烧,当火灾热释放速率达到10 MW时,所用时间为213 s。

2 模拟结果分析

2.1 纵向连续3窗口

图2为纵向连续3窗口温度分布等温线,横坐标X是综合体建筑外立面的横向宽度,纵坐标Z是综合体建筑外立面的竖向高度。

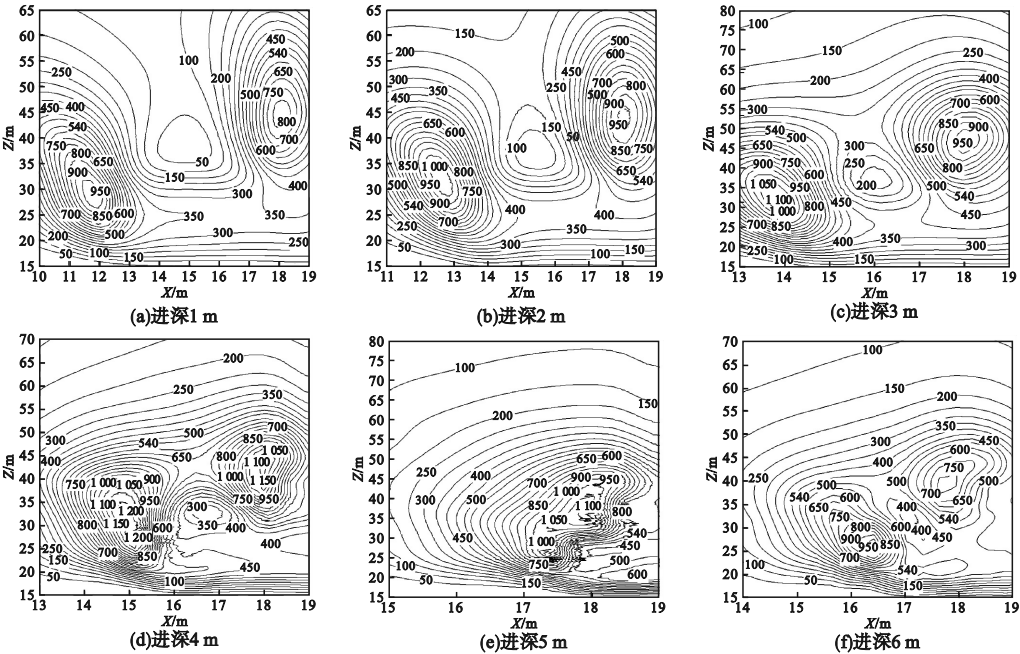


图2 纵向连续3窗口温度分布等温线

Fig. 2 The temperature distribution isotherm of longitudinal continuous three windows

由图2可知,纵向连续3窗口时,在裙房进深为1~6 m情况下,达到540 ℃时,火焰融合高度为43.05~32.06 m;达到250 ℃时,火焰高度为54.27~42.82 m。

2.2 纵向连续4窗口

图3为纵向连续4窗口温度分布等温线。由图3可知,纵向连续4窗口时,在裙房进深为1~6 m情况下,达到540 ℃时,火焰

融合高度为47.95~36.05 m;达到250 ℃时,火焰高度为59.40~49.25 m。

2.3 纵向连续5窗口

图4为纵向连续5窗口温度分布等温线。

由图4可知,纵向连续5窗口时,在裙房进深为1~6 m情况下,温度达到540 ℃时,火焰融合高度分别为51.23~44.29 m;温度

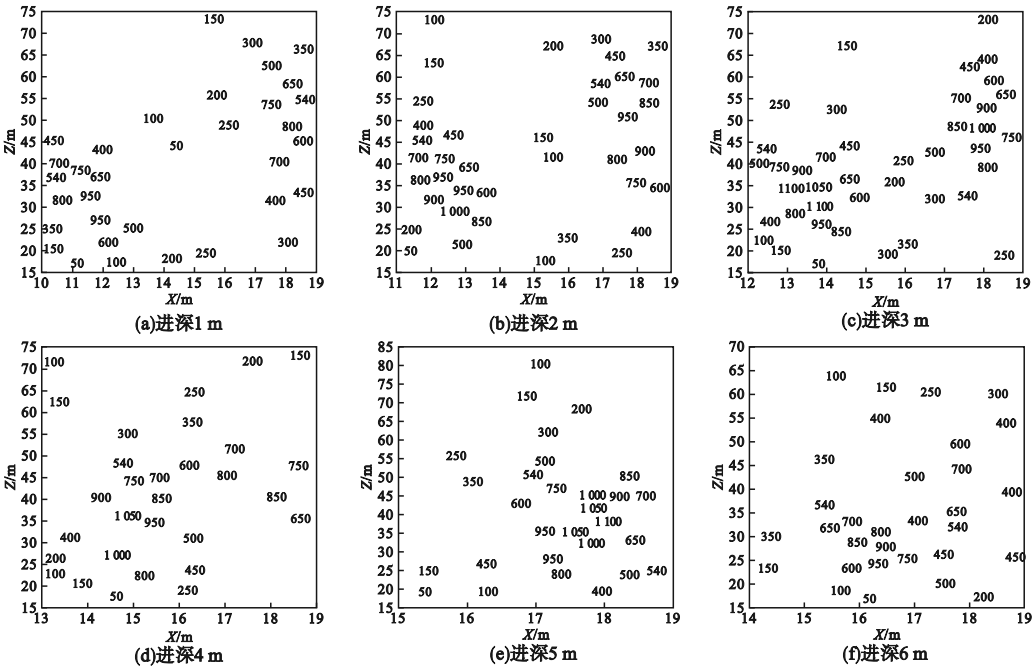


图3 纵向连续4窗口温度分布等温线

Fig. 3 The temperature distribution isotherm of longitudinal continuous four windows

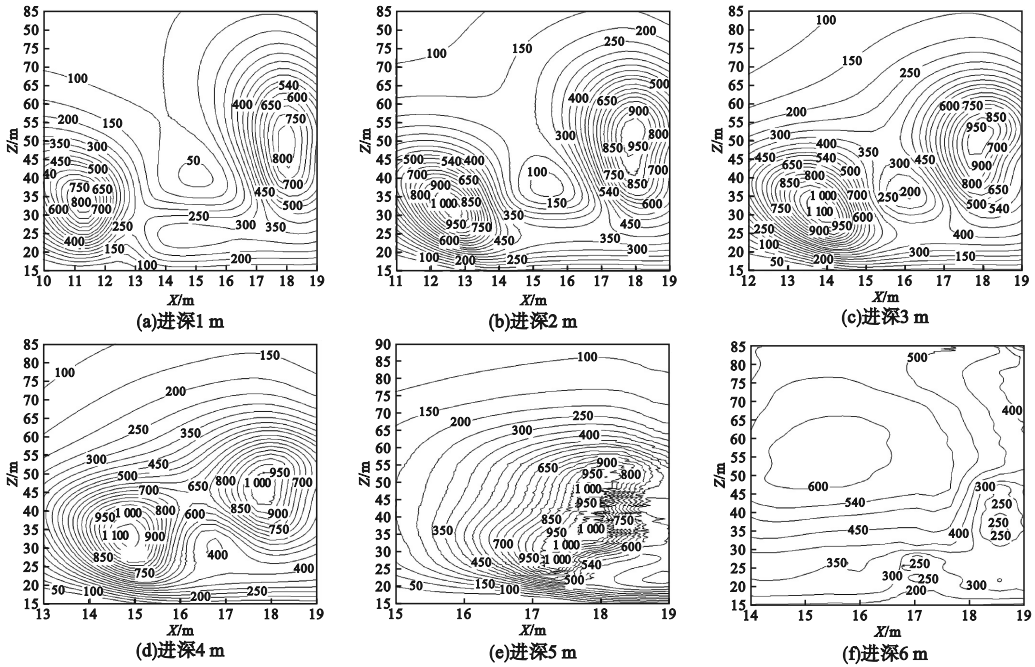


图4 纵向连续5窗口温度分布等温线

Fig. 4 The temperature distribution isotherm of longitudinal continuous five windows

达到 250 ℃ 时,火焰高度分别为 62.02 ~ 55.28 m。由此可见,在纵向连续 3、4、5 窗口条件下,火焰融合高度及火焰高度均随裙房

进深的增大而减小。

2.4 数据分析

表 1、表 2 分别为连续纵向 3 窗口、4 窗

口和5窗口在裙房进深为1~6 m时达到两种危险温度时的火焰融合高度和火焰高度。

表 1 达到 540℃时火焰融合高度

Table 1 The flame fusion height when temperature reaching 540 ℃

裙房进 深/m	火焰融合高度/m		
	3 窗口	4 窗口	5 窗口
1	43.05	47.95	51.23
2	42.46	47.14	50.52
3	40.60	45.24	48.10
4	38.60	42.52	45.79
5	36.18	40.60	45.10
6	32.06	36.05	44.29

由表 1 可知,达到 540 ℃时,在 3 窗口条件下,距离每减小 1 m,火焰融合高度降低 0.59~4.12 mm;在 4 窗口条件下,距离每减小 1 m,火焰融合高度降低 0.81~4.55 m;在 5 窗口条件下,距离每减小 1 m,火焰融合高度降低 0.69~2.42 m。

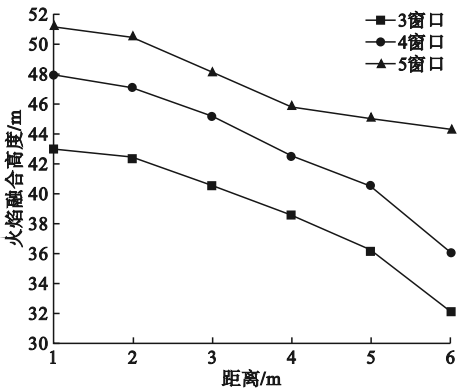
表 2 达到 250℃时火焰高度

Table 2 The flame height when temperature reaching 250 ℃

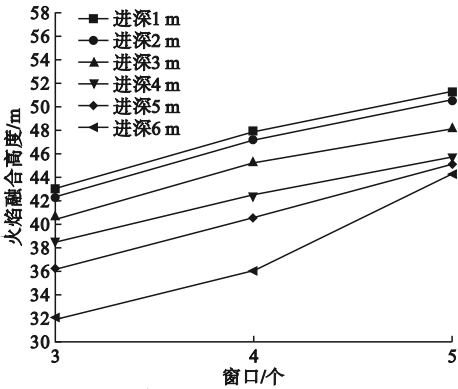
裙房进 深/m	火焰高度/m		
	3 窗口	4 窗口	5 窗口
1	54.27	59.40	62.02
2	53.52	57.50	62.00
3	50.84	55.82	59.21
4	48.65	53.22	56.84
5	45.73	52.72	56.30
6	42.82	46.25	55.28

由表 2 可知,达到 250 ℃时,在 3 窗口条件下,距离每减小 1 m,火焰高度降低 0.75~2.91 m;在 4 窗口条件下,距离每减小 1 m,火焰高度降低 0.50~6.47 m;在 5 窗口条件下,距离每减小 1 m,火焰高度降低 0.02~2.79 m。

图 5、图 6 分别为达到两种危险温度的火焰融合高度及火焰高度随距离、窗口数量变化对比。



(a)火焰融合高度随裙房进深变化

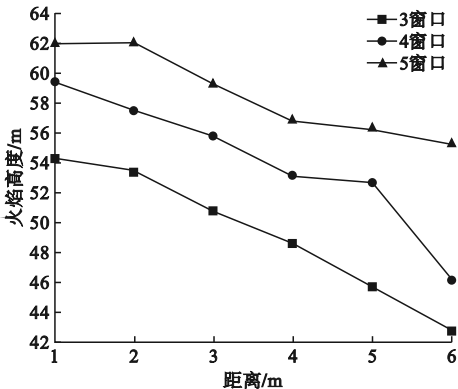


(b)火焰融合高度随窗口数量变化

图 5 达到 540 ℃时火焰融合高度对比图

Fig. 5 The comparison of flame fusion height when temperature reaching 540 ℃

由图 5、图 6 可知,随窗口数量的增加,达到 540 ℃的火焰融合高度和达到 250 ℃时的火焰高度逐渐增高,且 4 窗口比 3 窗口情况下的火焰融合高度和火焰高度分别增长 3.92~4.9 m 和 3.43~5.13 m;5 窗口比 4 窗口情况下的火焰融合高度和火焰高度分别增长 3.27~8.24 m 和 2.62~9.03 m。



(a)火焰高度随裙房进深变化

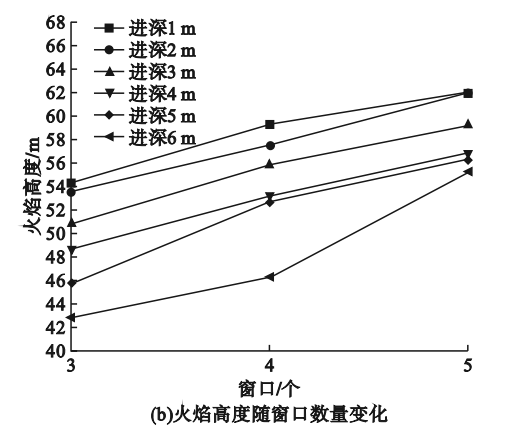


图6 达到250℃时火焰高度对比图

Fig. 6 The comparison of flame height when temperature reaching 250℃

不同裙房进深下,达到540℃、250℃时,纵向连续3窗口、4窗口、5窗口火焰融合高度及火焰高度下降幅度如表3、表4所示。

表3 温度达到540℃时火焰融合高度下降幅度
Table 3 The decrease of the flame fusion height when temperature reaching 540℃

不同裙房进深对比	火焰融合高度下降幅度/%		
	3窗口	4窗口	5窗口
进深2 m与进深1 m	1.39	1.72	1.41
进深3 m与进深2 m	4.58	4.20	5.03
进深4 m与进深3 m	5.18	6.40	5.04
进深5 m与进深4 m	6.69	4.73	1.53
进深6 m与进深5 m	12.85	12.62	1.83

表4 温度达到250℃时火焰高度下降幅度
Table 4 The decrease of the flame height when temperature reaching 250℃

不同裙房进深对比	火焰高度下降幅度/%		
	3窗口	4窗口	5窗口
进深2 m与进深1 m	1.40	3.30	0.03
进深3 m与进深2 m	5.27	3.01	4.71
进深4 m与进深3 m	4.50	4.89	4.17
进深5 m与进深4 m	6.39	0.95	0.96
进深6 m与进深5 m	6.80	13.99	1.85

由表3可知,随着裙房进深依次增大,达到540℃时,在纵向连续3窗口条件下,火焰融合高度下降了1.39%~12.85%;在4窗口条件下,火焰融合高度下降了1.72%~

12.62%;在5窗口条件下,火焰融合高度下降了1.41%~5.04%。

由表4可知,随着裙房进深依次增大,达到250℃时,在纵向连续3窗口条件下,火焰高度下降了1.40%~6.80%;在4窗口条件下,火焰高度下降了0.95%~13.99%;在5窗口条件下,火焰高度下降了0.03%~4.71%。

由此可见,达到540℃时的火焰融合高度和达到250℃时的火焰高度均随塔楼进深增大而减小。

3 结 论

(1)对于综合体建筑,当纵向连续窗口数量一致时,裙房进深越大,达到540℃时火焰融合高度越低,达到250℃时的火焰高度越低。随着裙房进深依次增大,达到540℃时火焰融合高度下降了1.39%~12.85%;达到250℃时火焰高度下降了0.03%~13.99%。

(2)达到540℃的火焰融合高度和达到250℃时的火焰高度随窗口数量的增加而增大;纵向连续4窗口比3窗口的火焰融合高度和火焰高度分别增加3.92~4.9 m和3.43~5.13 m;纵向连续5窗口比4窗口的火焰融合高度和火焰高度分别增加3.27~8.24 m和2.62~9.03 m。

参考文献

[1] BIAO Z, HIDEKI Y, TAKAFUMI N. Upward fire spread rate over real-scale EPSETICS facades [J]. Fire technology, 2021, 57(4): 2007–2024.

[2] LANGE D, RBEN C, USMANI A. Tall building collapse mechanisms initiated by fire mechanisms and design methodology [J]. Engineering structures, 2012, 36(3): 90–103.

[3] LII J H M, BATTAGLIA F. A computational study on the use of balconies to reduce flame spread in high-rise apartment fires [J]. Fire safety journal, 2004, 39(4): 277–296.

[4] JAESUN K. A study on measures for the mitigation of fire damage in Korea super high-

- rise building through the improvement of domestic foreign standards [J]. Journal of the Korean society of disaster information, 2017, 13 (4): 465 – 475.
- [5] NILANJAN C. Influence of thermal expansion on fluid dynamics of turbulent premixed combustion and its modelling implications [J]. Flow, turbulence and combustion, 2021, 106(3): 753 – 848.
- [6] 陈含芳. 城市综合体火灾风险分析与应急疏散路径研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.
- (CHEN Hanfang. Fire risk analysis and emergency evacuation path of urban complex [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2020.)
- [7] 袁东升, 卢晓通, 钟福平. 基于 FDS 的老旧商场火灾模拟及疏散方案 [J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2020, 35(4): 25 – 31.
- (YUAN Dongsheng, LU Xiaotong, ZHONG Fuping. Fire simulation and evacuation scheme of old shopping mall based on FDS [J]. Journal of Hu'nan university of science and technology (natural science edition), 2020, 35 (4): 25 – 31.)
- [8] 张无敌, 陈一洲, 李琪, 等. 城市大型公共建筑火灾风险因素影响程度及可能性分析 [J]. 安全与环境学报, 2021, 21(4): 1434 – 1439.
- (ZHANG Wudi, CHEN Yizhou, LI Qi, et al. Analysis of degree of influence and risk possibility of fire risk factors in large-scale public buildings in cities [J]. Journal of safety and environment, 2021, 21(4): 1434 – 1439.)
- [9] 张轩语. 地下商业街火灾风险影响因素研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2021.
- (ZHANG Xuanyu. Study on fire risk influencing factors of underground commercial street [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2021.)
- [10] 王远. 大型建筑火灾蔓延模拟研究 [D]. 北京: 北京建筑工程学院, 2012.
- (WANG Yuan. Study on the simulation of fire spread of large-scale building [D]. Beijing: Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, 2012.)
- [11] MORGAN H P, MARSHALL N R. Smoke hazards in covered, multi-level shopping malls: an experimentally-based theory for smoke production [R]. UK: Building Research Establishment, 1975.
- [12] MORGAN H P, HANSELL G O. Fire sizes and sprinkler effectiveness in offices — implications for smoke control design [J]. Fire safety journal, 1985, 8(3): 187 – 198.
- [13] MORGAN H P, MARSHALL N R. Smoke control measures in a covered two-storey shopping mall having balconies as pedestrian walk ways [R]. UK: Building Research Establishment, 1979.
- [14] 程超. 基于火灾荷载的大型商场火灾仿真模拟及安全研究 [D]. 衡阳: 南华大学, 2019.
- (CHENG Chao. Fire simulation and safety research of large shopping mall based on fire load [D]. Hengyang: University of South China, 2019.)
- [15] 马千里. 大型商业建筑综合防火设计方法研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
- (MA Qianli. Research on methods of systematic fire protection design of large scale commercial buildings [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2011.)
- [16] 任程远. 高层酒店式公寓火灾人员安全疏散研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- (REN Chengyuan. Study on safe evacuation in fire of high-rise serviced apartment [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.)
- [17] 王宇, 李世鹏, 杨舜博. 侧墙结构多窗口羽流火焰的数值模拟分析 [J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2018, 34(3): 449 – 455.
- (WANG Yu, LI Shipeng, YANG Shunbo. Numerical simulation on the windows plume flame in side wall structure [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2018, 34(3): 449 – 455.)
- [18] 公安部四川消防研究所, 上海市公安消防总队. 建筑防烟排烟系统技术标准: GB 51251—2017 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- (Sichuan Fire Research Institute of the Ministry of Public Security, Shanghai Public Security Fire Brigade. Technical standard for building smoke control and exhaust systems: GB 51251—2017 [S]. Beijing: China Planning Press, 2017.)
- (责任编辑: 刘春光 英文审校: 范丽婷)