

不同外立面超高层建筑窗口羽流火焰 数值模拟研究

王 宇,邢 佳,刘铁林

(沈阳建筑大学土木工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘 要 目的 研究室内外温差对不同外立面超高层建筑窗口羽流火焰的影响以及火焰温度的变化规律。方法 对无侧墙、L型、凹型外立面超高层建筑模型在室内外温差为45℃条件下,采用火灾动态仿真模拟软件PyroSim进行数值模拟,通过对不同工况下窗口温度分布等温线和温度曲线进行分析,并引入危险温度540℃。结果 超高层建筑竖向连续两窗口至四窗口,在室内外温差为45℃,达到危险温度540℃时,无侧墙外立面火焰温度的高度降低了0.05~0.17 m;L型外立面火焰温度的高度升高了0.0~0.71 m;凹型外立面火焰温度的高度升高了1.21~2.43 m。结论 在达到危险温度540℃时,室内外温差为45℃对无侧墙外立面超高层建筑火焰融合高度影响较小;对L型外立面超高层建筑火焰融合高度影响较大;而对凹型外立面超高层建筑火焰融合高度大幅度增长。

关键词 外立面形式;超高层建筑;危险温度;火焰融合;室内外温差

中图分类号 TU998.1

文献标志码 A

Numerical Simulation on Window Plume Flame in Super-tall Building with Different Facade

WANG Yu, XING Jia, LIU Tielin

(School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: This paper mainly studies the influence of indoor and outdoor temperature under difference on the window plume flame of super high-rise buildings with different facade and the variation law of the window plume flame temperature. Under the condition of 45℃ temperature difference between indoor and outdoor, the fire dynamic simulation software PyroSim is used to simulate the super high-rise building model, which are without side wall, L-shaped and concave facade. Through analyzing the distribution isotherm and temperature curve of window temperatures

收稿日期:2021-02-12

基金项目:国家自然科学基金项目(52078309);辽宁省教育厅项目(LJKZ0560)

作者简介:王宇(1977—),男,副教授,主要从事高层建筑抗火、结构抗震等方面研究。

under different working conditions, the dangerous temperature $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ is introduced. When the temperature difference between indoor and outdoor is $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the dangerous temperature is $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ under continuous longitudinal combustion from two windows to four windows, the height of flame temperature on the facade without side wall decreases by $0.05 \sim 0.17\text{ m}$, and the height of flame temperature on L-shaped facade increases by $0.0 \sim 0.71\text{ m}$, and the height of flame temperature on concave facade increases by $1.21 \sim 2.43\text{ m}$. When the dangerous temperature is $540\text{ }^{\circ}\text{C}$, the temperature difference between indoor and outdoor is $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, which has little influence on the flame fusion height of the high-rise building without side wall and it has great influence on the flame fusion height of the super high-rise building of L-shaped facade. For the concave facade, the height of flame fusion increases greatly.

Key words: facade form; super high-rise buildings; dangerous temperature; flame fusion; indoor and outdoor temperature difference

根据超高层建筑^[1]高耸,内部装饰复杂等特点,使其起火因素众多,若起火位置过高,对救援扑救难度大大提高。不同的外立面形式,对超高层建筑外部火蔓延程度也不相同,因此对于此类问题的研究已成众多学者的研究热点。

对于高层建筑火灾,潘晓菲等^[2]对无保温层凹型高层建筑外部火蔓延进行研究,得到结构因子、环境压力以及氧气浓度越大,火蔓延速度越快;崔崙等^[3]对有保温材料竖直面高层建筑进行研究,表明火焰贴墙壁情况决定其冲击材料角度,冲击角度越大,保温材料越不易被点燃;张俊伟^[4],杨瞬博^[5]对无保温层的高层建筑纵向多窗口羽流火焰进行研究,并给出外部蔓延防火阻隔区高度;高层建筑火灾^[6-10]在其他方面的研究不做过多赘述。对于超高层建筑火灾, D. Lange等^[11]对一幢实际超高层建筑进行火灾倒塌模拟研究; A. S. Usmani等^[12]对纽约世贸中心采用有限元模型对不同火灾场景进行模拟研究;王晓华等^[13]针对超高层建筑火灾特点,提出一系列防火疏散设计方法;黄斌等^[14]采用足尺实验模型,采用理论与实验相结合的方法,对超高层建筑竖井结构内部烟气流动做了相关研究。

上述工作未对有保温材料的超高层建筑外部火蔓延进行研究,故研究较大室内外温差对外部火蔓延的影响具有一定意义。基于此,笔者通过改变不同超高层建筑外立面形式,施加一定的自然风速,采用数值模拟软件,并引入危险温度 $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[15-16],分析室内外温差为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (室外温度设置为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$,室内温度设置为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)时外部火蔓延特征,得到了不同外立面超高层建筑火焰融合高度的变化规律。

1 数值模型

1.1 模型尺寸

以某一实际超高层建筑为计算模型,建筑总层数为 34 层,每层层高均为 3 m ,窗口的长 \times 宽为 $2.4\text{ m}\times 1.8\text{ m}$ 。火灾发生在层高 19 层,房屋长 \times 宽为 $5.4\text{ m}\times 4.5\text{ m}$ 的房间内。分别对图 1(a)中 3 种不同着火位置的超高层建筑竖向连续两窗口、三窗口、四窗口羽流火焰进行数值模拟分析,网格长宽高^[17]设置为 $0.35\text{ m}\times 0.35\text{ m}\times 0.35\text{ m}$,着火点 1,2,3 分别为无侧墙, L 型外立面,凹型外立面的起火位置。在超高层建筑每层窗户中心处布置热电偶(Thermocouple, THCP) THCP1—THCP34,超高层建筑计算模型如图 1 所示。

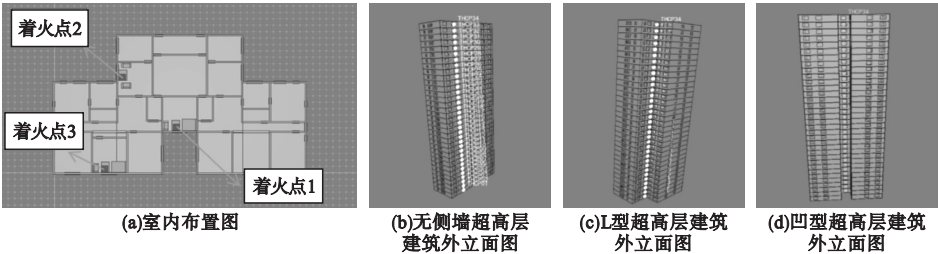


图1 超高层建筑计算模型

Fig. 1 The computational model of super high-level building

1.2 工况设置

超高层建筑计算模型的工况设置如表1所示。

表1 不同建筑外立面工况

Table 1 Different building facade working condtions

温差/℃	窗口/个	外立面形式
45	2	无侧墙
		L型
		凹型
	3	无侧墙
		L型
		凹型
	4	无侧墙
		L型
		凹型

1.3 火源参数设置

根据文献[18],卧室发生火灾时的火源

热释放率为6 MW,计算可得着火房间火荷载密度为0.28 MW/m²,选用超快速火模拟整个燃烧过程,当热释放率达到6 MW时,所用时间为179 s。

2 火灾模拟结果

图2~图4为室外风速为4 m/s时,连续竖向两窗口,三窗口,四窗口的温度等温线图及温度曲线图。横坐标Y是超高层建筑外立面图的横向宽度,纵坐标Z是超高层建筑外立面图的竖向高度。火焰融合高度为在达到危险温度时,火焰上升的总高度减去火源所在位置的高度。

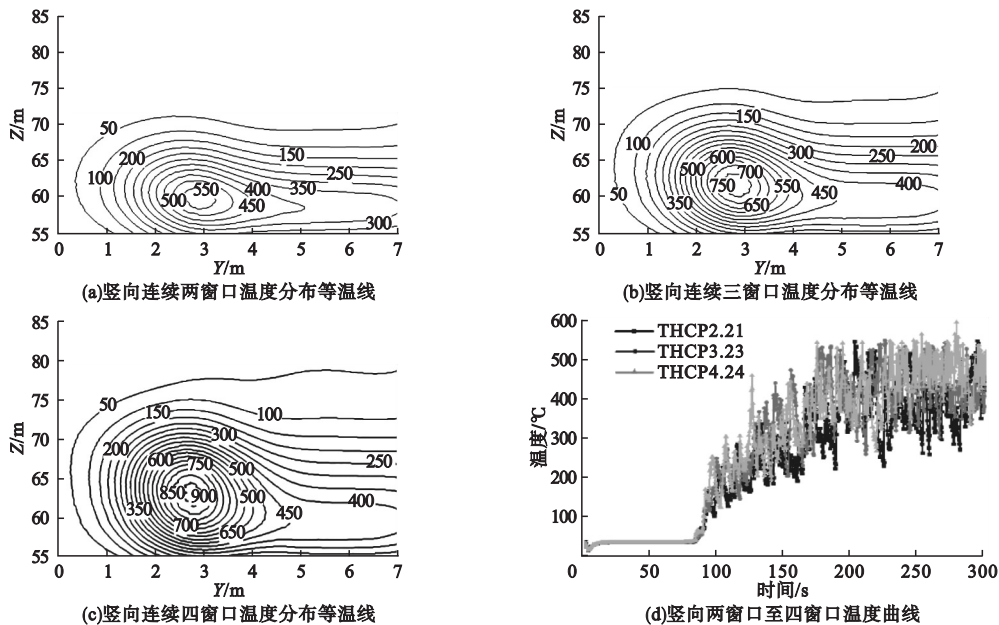


图2 无侧墙外立面

Fig. 2 Facade without side wall

2.1 无侧墙外立面

图2为室内外温差45℃,无侧墙外立面超高层建筑竖向连续两窗口至四窗口温度分布等温线图和温度曲线图。THCP2.21表示竖向连续两窗口时,21层窗口中心处温度曲线;THCP3.23表示竖向连续三窗口时,23层窗户中心处温度曲线;THCP4.24表示竖向连续四窗口时,24层窗户中心处温度曲线。

由图2(a)、(b)、(c)可知,室内外温差45℃,在达到危险温度540℃时,竖向连续两窗口至竖向连续四窗口火焰温度总高度分别为62.52 m,66.05 m,69.45 m;火焰融合高度分别为5.52 m,6.05 m,6.45 m。

由图2(d)可知,无侧墙外立面超高层建筑竖向连续两窗口燃烧,火焰高度可上升至21层;竖向连续三窗口燃烧,火焰高度继续增加,可达到23层;竖向连续四窗口燃烧,火焰高度继续增加,可达到24层。

2.2 L型外立面

图3为室内外温差45℃,L型外立面超高层建筑竖向连续两窗口至四窗口温度分布等温线图和温度曲线图。THCP2.22表示竖向连续两窗口时,22层窗口中心处温度曲线;THCP3.24表示竖向连续三窗口时,24层窗户中心处温度曲线;THCP4.25表示竖向连续四窗口时,25层窗户中心处温度曲线。

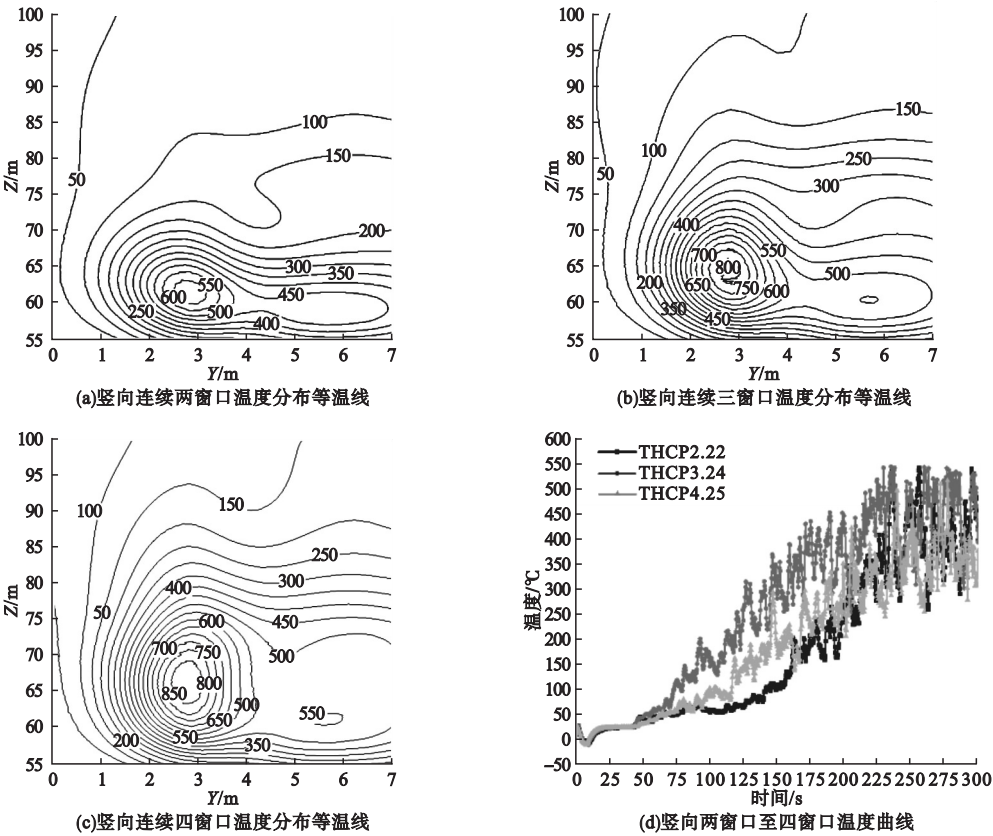


图3 L型外立面

Fig. 3 L-shaped facade

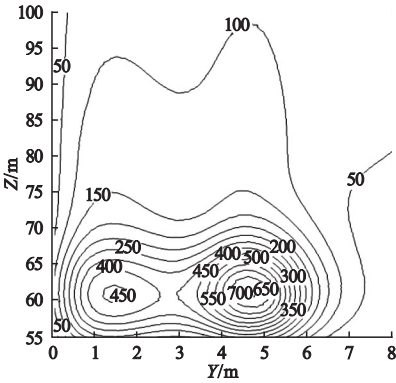
由图3(a)、(b)、(c)可知,室内外温差45℃,在达到危险温度540℃时,竖向连续两窗口至竖向连续四窗口火焰温度总高度分别为64.55 m,70.61 m,75.11 m;火焰融合高度分别为7.55 m,10.61 m,12.11 m。

由图3(d)可知,L型外立面超高层建筑竖向连续两窗口燃烧,火焰高度可上升至22层;竖向连续三窗口燃烧,火焰高度继续增加,可达到24层;竖向连续四窗口燃烧,火焰高度继续增加,可达到25层。

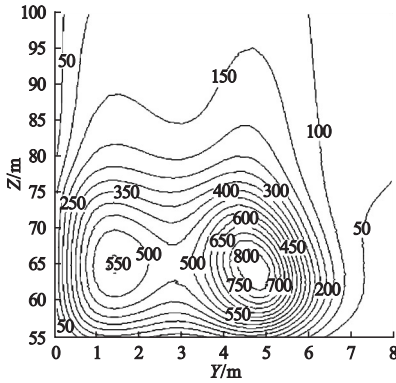
2.3 凹型外立面

图4为室内外温差45℃,凹型外立面超高层建筑竖向连续两窗口至四窗口温度分布等温线图 and 温度曲线图。THCP2.22表示竖

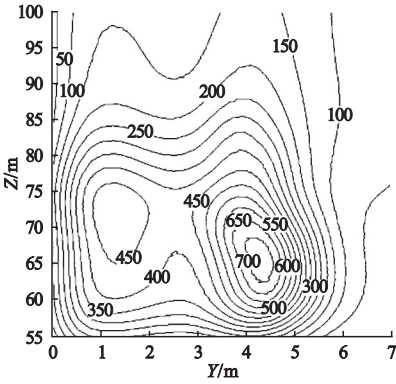
向连续两窗口时,22层窗口中心处温度曲线;THCP3.25表示竖向连续三窗口时,25层窗口中心处温度曲线;THCP4.28表示竖向连续四窗口时,28层窗口中心处温度曲线。



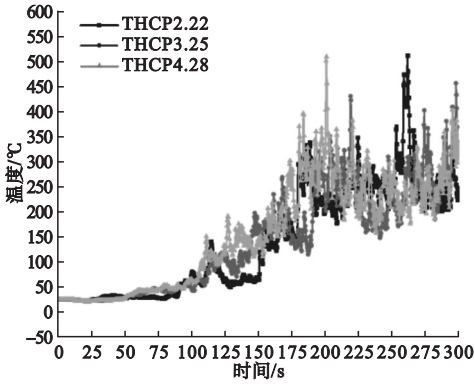
(a) 竖向连续两窗口温度分布等温线



(b) 竖向连续三窗口温度分布等温线



(c) 竖向连续四窗口温度分布等温线



(d) 竖向两窗口至四窗口温度曲线

图4 凹型外立面

Fig.4 Concave facade

由图4(a)、(b)、(c)可知,室内外温差45℃,在达到危险温度540℃时,竖向连续两窗口至竖向连续四窗口火焰温度总高度分别为65.80,73.86 m,81.20 m;火焰融合高度分别为8.80 m,13.60 m,18.20 m。

由图4(d)可知,凹型外立面超高层建筑竖向连续两窗口燃烧,火焰高度可上升至22层;竖向连续三窗口燃烧,火焰高度继续增加,可达到25层;竖向连续四窗口燃烧,火焰高度继续增加,可达到28层。

2.4 结果分析

(1)室内外温差为45℃时,达到危险温度540℃时,无侧墙、L型、凹型外立面竖向连续三窗口火焰融合高度比两窗口分别增长了0.53 m,3.06 m,4.80 m,四窗口火焰融合

高度比三窗口增长了0.40 m,1.50 m,4.60 m。L型外立面超高层建筑在达到危险温度540℃,相比无侧墙外立面超高层建筑火焰融合高度增高,相比凹型外立面超高层建筑火焰融合高度增高。

(2)在室内外温差为45℃,达到危险温度540℃时,竖向连续两窗口到竖向连续四窗口,火焰融合高度L型外立面比无侧墙外立面分别增长了2.03 m,4.56 m,5.66 m;火焰融合高度凹型外立面比无侧墙外立面分别增长了3.28 m,7.55 m,11.75 m。凹型外立面超高层建筑在达到危险温度540℃,火焰融合高度最高,增长最快;并随着竖向连续窗口数目的增加,火焰融合高度大幅度增长。

3 结 论

(1) 无侧墙外立面超高层建筑在达到危险温度 $540\text{ }^{\circ}\text{C}$, 室内外温差及竖向连续窗口数目对火焰融合高度几乎无影响, 对于无侧墙的超高层建筑外部蔓延防火阻隔区可设置为 7 m 。

(2) 对比无侧墙外立面、L 型外立面、凹型外立面超高层建筑火焰融合高度变化, 可知室内外温差对凹型外立面超高层建筑是主要影响因素, 对无侧墙外立面、L 型外立面超高层建筑影响较小。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑设计防火规范: GB50016—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
(Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China. Code for fire protection design of buildings: GB50016—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014.)
- [2] 潘晓菲. 凹型建筑外立面火灾蔓延特性数值模拟研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2019.
(PAN Xiaofei. Study on numerical simulation study on fire spread characteristics of facade in high-rise building [D]. Huainan: Anhui University of Science & Technology, 2019.)
- [3] 崔崑. 竖直壁面条件下常用有机外墙保温材料的火灾行为研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
(CUI Yu. Fire behavior of commonly used organic exterior insulation materials under vertical wall condition [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2014.)
- [4] 张俊伟. 基于 FDS 的纵向多窗口火焰蔓延模拟研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2015.
(ZHANG Junwei. Study on simulation of extrusive flame through several longitudinal windows spreading based on FDS [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2015.)
- [5] 杨舜博. 火灾环境下凹型高层建筑羽流火焰的数值模拟研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2019.
(YANG Shunbo. Numerical simulation of plume flame of concave high-rise building in fire environment [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2019.)
- [6] GERNAY T, KHORASANI N E. Recommendations for performance-based fire design of composite steel buildings using computational analysis [J]. Journal of constructional steel research, 2020, 166: 105906.
- [7] NGUYEN K, NAVARATNAM S, MENDIS P, et al. Fire safety of composites in prefabricated buildings: from fibre reinforced polymer to textile reinforced concrete [J]. Composites part B engineering, 2020, 187: 107815.
- [8] DROZDZOL K. Experimental fire testing of an innovative three-layer chimney for residential buildings [J]. Journal of building engineering, 2019, 28: 101019.
- [9] 潘晓菲, 吕品. 凹型建筑外立面火灾烟气蔓延特性研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(2): 45—51.
(PAN Xiaofei, Lü Pin. Study on fire smoke spread characteristics of facade in concave building [J]. Journal of safety science and technology, 2018, 14(2): 45—51.)
- [10] 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.)
- [11] USMANI A S, CHUNG Y C, TORERO J L. How did the WTC towers collapse: a new theory [J]. Fire safety journal, 2003, 38(6): 501—533.
- [12] LANGE D, RBEN C, USMANI A. Tall building collapse mechanisms initiated by fire: mechanisms and design methodology [J]. Engineering structures, 2012, 36: 90—103.
- [13] 王晓华. 超高层建筑防火疏散设计的探讨[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
(WANG Xiaohua. The research on the super high-rise buildings fire fighting and fire escape design [D]. Changsha: Hu'nan University, 2007.)
- [14] 黄斌, 舒雅, 姚斌. “Z 型”中庭烟气流动及自然排烟特性实验研究[J]. 火灾科学, 2016, 25(3): 140—147.
(HUANG Bin, SHU Ya, YAO Bin. Experimental study on smoke flow and natural smoke extraction characteristics in “Z” atrium [J]. Fire science, 2016, 25(3): 140—147.)
- [15] 安伟光. PS 建筑外墙保温材料燃烧及火蔓延行为研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015.
(AN Weiguang. Investigation of combustion and flame spread behaviors of PS insulation materials applying to building exterior wall [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2015.)
- [16] THOMAS P H, LAW M. The projection of flames from buildings on fire [J]. Fire prevention science and technology, 1972(10): 19—26.
- [17] 周庆. 网格划分对 FDS 火灾模拟结果的影响分析[J]. 安全科学技术, 2011(8): 8—11.
(ZHOU Qing. Analysis of the influence of grid division on FDS fire simulation results [J]. Safety science and technology, 2011(8): 8—11.)
- [18] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑防排烟系统技术标准: GB51251—2017 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
(Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical specification for smoke control and exhaust system in buildings: GB51251—2017 [S]. Beijing: China Planning Press, 2017.)
(责任编辑: 刘春光 英文审校: 范丽婷)