

文章编号: 1671-6612 (2024) 04-525-06

高大宴会厅防排烟系统改造效果研究

邹璐 韩如冰

(西南科技大学土木工程与建筑学院 绵阳 621010)

【摘要】 高大空间防排烟系统的安全性和可靠性非常重要。宁波市某宾馆防排烟系统需要改造, 其中宴会厅为高大空间。针对宴会厅的防排烟系统改造设计方案进行数值模拟研究, 首先根据现行规范计算排烟量, 设计排烟口, 计算排烟量比原设计排烟量减少 41%, 排烟风口减少 1 个; 然后采用 Pyrosim 软件模拟改造前后烟气扩散情况, 监测宴会厅内能见度、温度和 CO 浓度。模拟结果表明: 安全疏散时间内, 改造后的烟气一直保持在距地面 5m 以上, 人眼特征高度处的温度最高降低 3°C, 建筑顶棚温度最高降低 20°C, 最小清晰高度处的 CO 浓度最大可降低 0.6PPM。改造后的防排烟系统方案更安全可靠。

【关键词】 高大空间; 防排烟系统; 数值模拟; 烟气扩散; 改造效果
中图分类号 TU242.1 文献标志码 A

Research on the Renovation Effect of Smoke Control and Extraction System in High and Large Banquet Hall

Zou Lu Han Rubing

(School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, 621010)

【Abstract】 The safety and reliability of the smoke control system in high and large space is very important. The smoke control and extraction system of a hotel in Ningbo needs to be reformed, and the banquet hall is a high and large space. This paper conducts numerical simulation research on the renovation design scheme of the smoke control and extraction system in the banquet hall. First, the smoke volume is calculated according to the current specification, and the smoke outlet is designed, and the calculated smoke volume is reduced by 41% compared with the original design volume, and the smoke outlet is reduced by 1. Then, the smoke diffusion before and after the retrofit is simulated by using Pyrosim software, and the parameters such as visibility, temperature, and CO concentration are monitored in the banquet hall. During the safe evacuation time, the smoke after the transformation has been kept above 5 m from the ground. The temperature at the characteristic height of the human eye is reduced by 3°C, the temperature of the building ceiling is reduced by 20°C, and the CO concentration at the minimum clear height can be reduced by 0.6 PPM. The reformed smoke control system scheme is more safe and reliable.

【Keywords】 High and large space; Smoke control and extraction system; Numerical simulation; smoke diffusion; Renovation effect

0 引言

建筑火灾危害大, 会造成大量经济损失和人员

伤亡。高大空间跨度大、净空高、防火分隔困难, 一旦发生火灾, 高温烟气迅速蔓延, 控制困难。因

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51408512); 西南科技大学博士基金项目 (23zx7105)

作者简介: 邹璐 (2000-), 女, 在读研究生, E-mail: zoulu2122@163.com

通讯作者: 韩如冰 (1978-), 女, 博士, 副教授, E-mail: hanrubing@swust.edu.cn

收稿日期: 2024-02-21

此,在高大空间合理设置防排烟系统极为重要,国内外很多学者都非常重视建筑火灾中防排烟系统的研究。学者潘雨顺提出必须严格按照规范,对规模大和人流多的商场建筑配置正压送风和排烟设备,保证人员安全疏散^[1]。防排烟系统能有效降低高大建筑的烟气温度和 CO 浓度^[2]。大型建筑空间通常有多种防排烟设计方案,发生严重火灾时,加压送风有利于控制烟气扩散^[3]。机械排烟是控制火灾烟气的一种高效排烟方式,很多研究表明,机械排烟系统可以提高能见度、降低烟气温度和 CO 浓度,加入新风可以增强系统的防烟能力^[4-8]。综上所述可知,国内外学者对不同类型高大空间建筑的防排烟设计方案进行了探讨,虽然高大空间建筑火灾已经有一些研究基础,但是对于高大空间宾馆建筑火灾研究的数据仍有不足,防排烟改造设计中存在的问题分析得不够深入。本文拟以宁波市某宾馆的高大宴会厅为例,对高大空间防排烟系统改造设计中存在的问题进行研究,改造前的防排烟系统按《高层民用建筑设计防火规范》GB 50045-95 (2005 版)^[9](以下简称为《高规 2005 版》)进行设计,改造设计依据为《建筑防烟排烟系统技术标准》GB 51251-2017^[10]。本研究采用 Pyrosim 软件对宴会厅进行火灾模拟,分别研究宴会厅防排烟系统原设计和改造设计后的烟气蔓延规律,评价改造设计的合理性。

1 工程概况

本工程为宁波某宾馆,地上二十三层,地下一层,总建筑高度 91.9m,地上 45199,地下 20984m²,

总建筑面积 66183m²,地上 23 层,1~3F 为前台、大厅和餐饮,4~11F 为办公,12F~23F 为宾馆客房。

本项目 2010 年启动设计,2010 年年底开始施工,因各种原因,2012 年工地土建结项后,安装工作基本未开展,项目搁浅。2021 年重新启动该项目,由于 2017 年颁布了新的防排烟规范,原防排烟系统需进行重新设计。本文针对该建筑中的高大宴会厅防排烟系统设计进行研究。位于第三层的宴会厅土建设层高 13m,内装吊顶净高 9.8m,可供 1000 人同时用餐。因防烟楼梯、前室、合用前室防烟井道已无法变更,按《高规 2005 版》执行,宴会厅防排烟系统按《建筑防烟排烟系统技术标准》GB 51251-2017 执行。

2 宴会厅防排烟系统改造设计

本宴会厅平时既可当整厅使用,又可以用移动屏风分隔成 3 个小厅独立使用。本次改造设计需要充分考虑防排烟系统的合理性,分别计算出分隔成 3 个独立小厅使用时的排烟量。改造前根据《高规 2005 版》防排烟系统设计的排烟口数量为 4 个,每个防烟分区设置一个,补风口数量为 3 个,多处设自动或固定挡烟垂壁;改造设计中依据《建筑防烟排烟系统技术标准》GB 51251-2017,排烟口数量设置 3 个,补风口数量设置 3 个,无固定或电动挡烟垂壁,排烟风管截面面积减半,室内净高可提高 0.5m 左右。使用 HDY-SMOKE 防排烟计算软件,计算结果如表 1 所示。从表中可以得出,改造后的系统计算排烟量比改造前减少约 41%。

表 1 防排烟改造设计计算汇总表

Table 1 Summary of design calculation for smoke control and exhaust modification

宴会厅场景	防烟分区划分	空间面积 (m ²)	系统计算排烟量 (m ³ /h)	系统安 全系数	系统设计排烟量 (m ³ /h)	系统设计补风量 (m ³ /h)
改造前	4 个防烟分区	564	67680	1.2	81216	50000
		564				
		564				
		300				
改造后	3 个防烟分区	564	39616	1.2	47539	30000
		564				
		846				

3 数值模拟

3.1 模型建立

用 Pyrosim 软件对宴会厅进行模型建立, 面积为 1818m², 层高等为 9.8m。对宴会厅进行相对简化, 建立 1:1 模型, 首先设置一个 59m×34m×10m 的计算域, 边界材料均设置为混凝土, 与外界不发生热交换。为了研究宴会厅排烟设计改造前后烟气蔓延情况, 设定了两个火灾对比场景: (1) 场景一——宴会厅防排烟设计改造前; (2) 场景二——宴会厅防排烟设计改造后。改造前根据《高规 2005 版》, 由用挡烟垂壁划分为 4 个防烟分区, 排烟口位于宴

会厅顶板, 一共设置四个排烟口, 排烟口大小为 0.8m×0.8m, 补风口设计与宴会厅一侧的边墙, 一共设置三个补风口, 补风口大小为 0.8m×0.8m; 改造后使用新规范, 与改造前相比, 改造后不设置挡烟垂壁, 一共设置三个排烟口。火源位置设于宴会厅中央, 火源面积设为 1m×1m 的方形火源, 设定火灾强度为 2.5MW, 火源释放速率为 2500kW/m²。模拟最不利情形, 采用超快速火模型, 对应的火灾增长系数为 0.188, 设定火灾模拟时间为 500s。建立宴会厅改造前后的模型如图 1 所示。

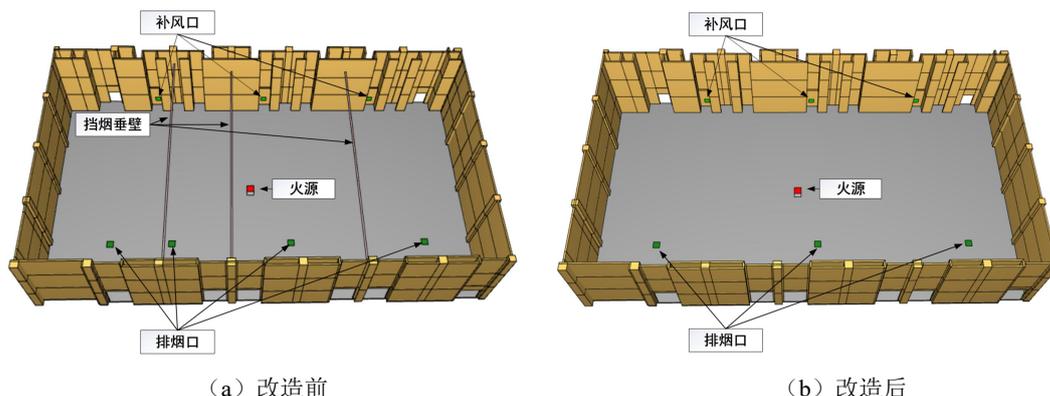


图 1 宴会厅改造前后模型示意图

Fig.1 Model schematic diagram before and after the banquet hall transformation

3.2 网格敏感性分析

为了使模拟效率最优, 网格计算的精确性和运算时间的长短最适当, 网格尺寸的确定非常重要。根据 NIST 验证显示, 网格尺寸的经验值应该在 $D^*/4 \sim D^*/16$ 之间, D^* 为火源特征直径, 由式 (1) 表示:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (1)$$

式中: \dot{Q} 为火源释放速率, kW; ρ_{∞} 为空气密度, 取 1.2kg/m³; c_p 为空气比热, 取 1kJ/(kg·K); T_{∞} 为环境空气温度, 取 293K; g 为重力加速度, 取 9.8m/s²。

通过式 (1) 计算得出, 本文模型的网格尺寸应介于 0.09~0.35 之间。对宴会厅模型进行网格敏感性分析, 设置五种网格参数进行模拟, 网格敏感性试验条件汇总如表 2 所示。测点布置如图 2 所示, 以 T1 为中心, 相邻两个测点之间的距离设置为 5 m, 进行网格尺寸分析, 选择 360s 时的烟气温度变化情况, 不同网格参数下的温度如图 3 所示。

表 2 网格敏感性试验条件

Table 2 Mesh sensitivity test conditions

网格系统	网格尺寸 (m)	网格总数
A	0.10×0.10×0.10	20,581,560
B	0.15×0.15×0.15	6,093,072
C	0.20×0.20×0.20	2,572,695
D	0.25×0.25×0.25	1,325,612
E	0.30×0.30×0.30	763,572

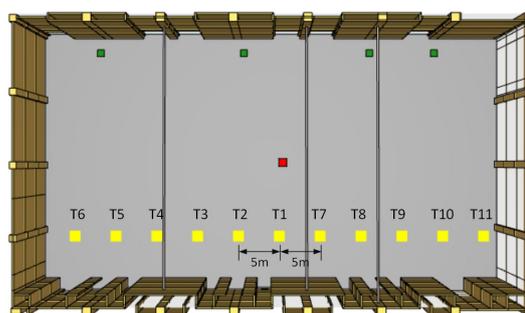


图 2 测点布置

Fig.2 Layout of measuring points

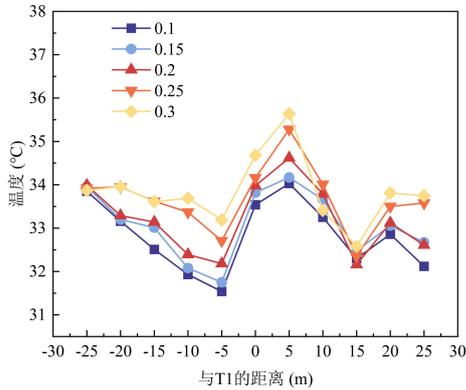


图3 不同网格系统的预测结果

Fig.3 Prediction results for the different grid systems

从图3可以看出, 0.15m 网格与 0.2m 网格的模拟结果大致吻合, 且 0.15m 网格的精确度更高, 所以最终选择的网格系统为 0.15m×0.15m×0.15m。

3.3 模型验证

建立与文献[12]相同模型。选取文献中火源上方距地 2m 的温度探测点 sh4 作为分析对象, 火源平均功率取 1.5MW, 把本文模型的参数设置为与文献中相同, 且选取的温度探测点位置一致, 进行模型验证, 将模拟获得的温度曲线与其文中给出的实验测量数据进行比较。结果如图4所示, 由图像可以看出, 模拟计算结果与实验结果大致趋势相一致, 验证了模型的准确性和可靠性。

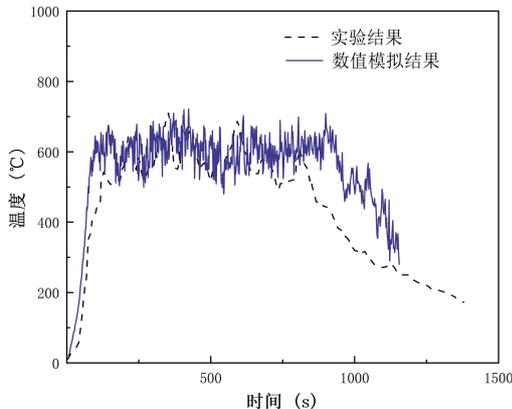


图4 模型验证结果

Fig.4 The results of model validation

4 模拟结果分析

4.1 计算参数讨论

根据《建筑防烟排烟系统技术标准》GB 51251-2017, 室内空间净高大于 3m 的区域, 其最小清晰高度应按式(2)计算:

$$H_q = 1.6 + 0.1 \cdot H \quad (2)$$

式中: H_q 为最小清晰高度, m; H 为排烟空间的建筑净高, m。

计算出改造前的最小清晰高度为 2.53m, 改造后的最小清晰高度为 2.58m, 最小清晰高度是为了保证室内人员能够安全疏散和方便消防人员实施扑救而提出的最低要求。

根据相关文献[12], 火灾发生后人员疏散逃生的能见度危险值为 10m, 当能见度低于这个临界值时, 普通的灯光照明无法穿透烟气, 可能会导致踩踏事件, 给人员疏散带来很大困难; 人眼特征高度通常为 1.2~1.8m, 本文取 1.7m, 当烟气层高度低于人眼特征高度时, 将会对人员疏散造成阻碍; 空气中 CO 的允许浓度为 250PPM; 在人员密集且耐火等级为一、二级的宴会厅, 火灾人员疏散时间为 5 分钟, 发生火灾后应该迅速逃离火场, 保障人身安全。

4.2 烟气蔓延分析

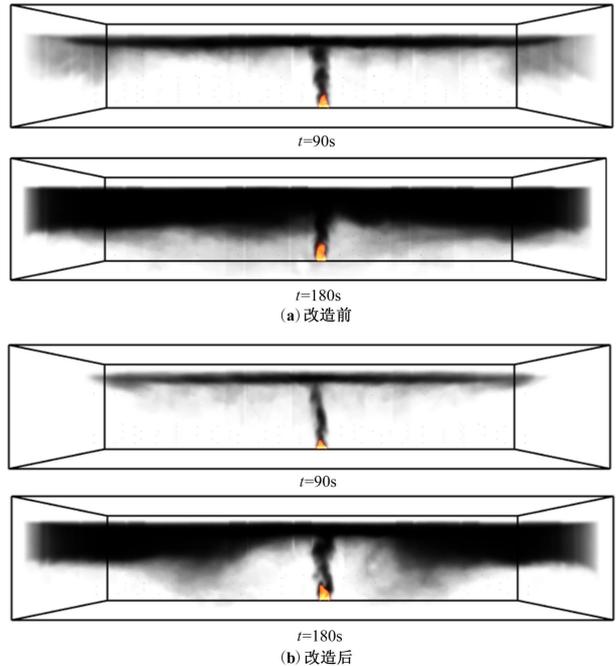


图5 宴会厅改造前后发生火灾时的烟气运移图

Fig.5 Smoke migration diagram when fire occurs before and after the renovation of banquet hall

模型设置的超快速火会在短时间内产生大量的烟气, 烟气会在浮力的作用下到达宴会厅顶部, 从顶部向四周蔓延, 直至烟气填满宴会厅顶部, 再向下沉降。图5为宴会厅改造前后发生火灾时的烟气运移图, 从图中可以看出, 在 $t=90s$ 时场景一的

烟气已经扩散至宴会厅的整个顶棚, 而场景二的烟气还未扩散至顶部两端, 在 $t=180s$ 时场景一的烟气已经扩散至超过一半空间, 场景二的烟气还未扩散至一半空间, 说明改造后的防排烟系统控制烟气的效果更好, 可以有效延长人员安全疏散的时间。

4.3 能见度分析

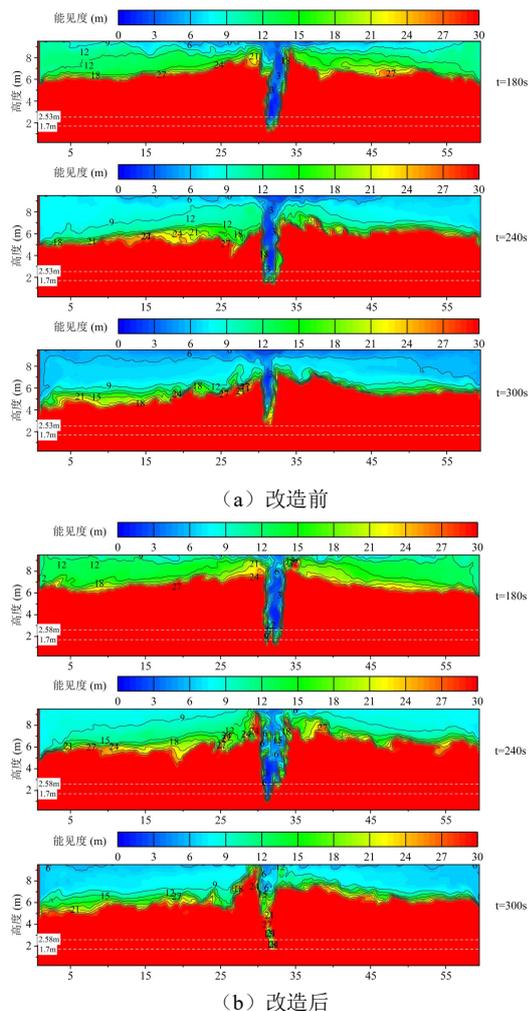


图 6 宴会厅改造前后发生火灾时火源处的能见度切片

Fig.6 Visibility slice of the fire source in case of fire before and after renovation of the banquet hall

火灾烟气在不同时刻的能见度变化情况如图 6 所示。通过模拟结果可以看出在 180s 时, 因四周墙壁的限制, 火灾烟气向下沉降, 占据宴会厅距地面 6m 以上的空间, 此时烟气还未到达人眼特征高度层。火灾发生至 240s 时, 烟气浓度在不断增加, 能见度也在降低, 场景一能见度降低的范围比场景二较大, 此时在两种情景下, 人眼特征高度处的能见度仍然在安全范围内。在 300s 时, 场景一的烟气已经下降至距地面 4m, 场景二的烟气在距地面

5m 以上。两种场景的能见度均在安全范围内, 场景二与场景一相比, 能见度有着一定程度的提高, 说明改造后宴会厅的系统安全性更高, 能更好的控制烟气下沉。

4.4 温度分析

烟气温度的高低会对人体产生不同程度的影响, 宴会厅顶棚温度太高, 在严重的情况下会导致建筑材料变形和开裂。图 7 为宴会厅发生火灾后不同时刻的温度截面图, 在 300s 时, 场景二与场景一相比, 人眼特征高度处的温度最高降低了 $3^{\circ}C$, 建筑顶棚温度最高降低 $20^{\circ}C$; 最小清晰高度处, 场景一的温度在 $23^{\circ}C$ 左右, 而场景二大部分区域的温度还未到达 $23^{\circ}C$ 。防排烟系统改造后, 对降低烟气温度有显著作用。温度分布作为火灾扩散过程的一个重要参数, 可以对人员安全疏散起到一定的参考作用。

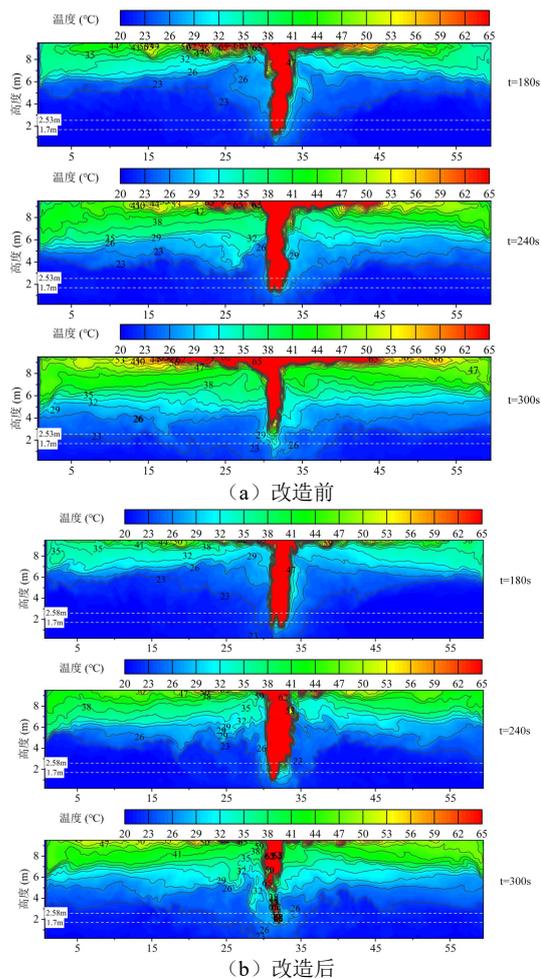


图 7 宴会厅改造前后发生火灾时火源处的温度切片

Fig.7 Temperature slice of the fire source in case of fire before and after renovation of the banquet hall

4.5 CO 浓度分析

图 8 为宴会厅改造前后在 300s 时的 CO 浓度分布情况,测点位置与图 2 相同,取人眼特征高度和最小清晰高度处的 CO 浓度探测点。从图中可以看出,CO 浓度呈现两头高中间低的趋势,两边浓度变化比中间大。两种情景下的 CO 浓度均小于 1.6PPM,控制在不伤害人体的范围内。场景二与场景一相比,每个测点的浓度均有降低,人眼特征高度处的 CO 浓度降低程度在 0~0.14PPM,最小清晰高度处的 CO 浓度最高降低 0.6PPM。改造后的防排烟系统控制 CO 浓度的效果优于改造前。

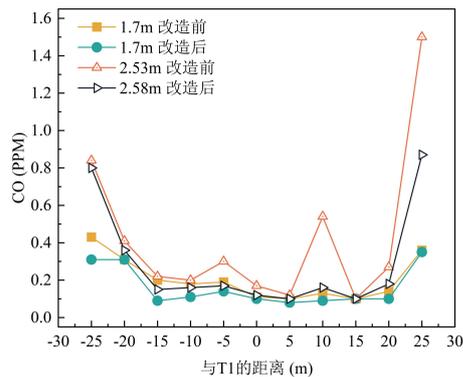


图 8 300s 时的 CO 浓度分布情况

Fig.8 CO concentration distribution at 300s

5 结论及建议

本高大空间宴会厅根据现行规范进行防排烟设计,通过火灾模拟验证系统的安全性和可靠性,设计方案合理可行,具体结论如下:

(1) 宴会厅防排烟系统改造后的烟气扩散速度比改造前慢,说明改造后的防排烟系统能延长人员疏散时间。

(2) 合理设置防排烟系统可以有效控制烟气层高度,安全疏散时间内,改造后的烟气保持在距离地面 5m 以上,比改造前的烟气高度提升了 1m,没有影响到清晰高度,宴会厅防排烟系统改造后对火灾烟气的蔓延实现了有效控制。

(3) 安全疏散时间内,改造后与改造前相比,人眼特征高度处的温度最高降低 3℃,建筑顶棚温度最高降低 20℃,最小清晰高度处的 CO 浓度最高降低 0.6PPM。按现行规范对防排烟系统进行合理的设计,能一定程度上降低火场温度和 CO 浓度。

目前防排烟设计能很好的满足现行规范要求,且便于运行和维护机械排烟系统,改造后的防排烟方案更安全可靠,可以为高大空间类建筑的人员疏散提供参考。

参考文献:

- [1] 潘雨顺.论现代商业建筑空调通风防火与排烟设计[J].制冷与空调,2000,(1):45-50.
- [2] 朱淮东,张彪.基于 Pyrosim 的铁路站房火灾烟气变化规律分析[J].暖通空调,2020,50(S1):95-99.
- [3] Peacock R D, Averill J D. Smoke control and occupant evacuation at the World Trade Center[J]. ASHRAE Transactions, 2008,114:151.
- [4] Tong Y, Huo D, Zhu P, et al. Prediction of natural and hybrid ventilation performance used for fire-induced smoke control in a large single space[J]. Fire Safety Journal, 2018,100:20-31.
- [5] He X, Lu S, Zhang B, et al. Effects of supply-exhaust ratio on smoke exhaust efficiency in a large machinery space[J]. Procedia Engineering, 2016,135:469-475.
- [6] Baalisampang T, Saliba E, Salehi F, et al. Optimisation of smoke extraction system in fire scenarios using CFD modelling[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2021,149:508-517.
- [7] Yi L, Chen Y, Bu R, et al. Visualization study on the effect of ambient wind on smoke layer height in chamber fires under natural smoke exhaust condition[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2021,208:104458.
- [8] Abotaleb H A. Numerical study on smoke exhaust system in a mall with mechanical make-up techniques[J]. Alexandria engineering journal, 2018,57(4):2961-2974.
- [9] GB 50045-95(2005 版),高层民用建筑设计防火规范[S].北京:中国计划出版社,2005.
- [10] GB 51251-2017,建筑防烟排烟系统技术标准[S].北京:中国计划出版社,2018.
- [11] 侯奕轩.大空间仓库类建筑自然排烟可行性研究[D].西安:西安科技大学,2017.
- [12] 贾云鹏,张泽超,林鑫.大空间建筑火灾数值模拟与特点研究[J].居业,2022,(1):207-210.