

大空间内着火位置对火灾增长的影响

石 龙, 张瑞芳, 谢启源, 付丽华

(中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230027)

[摘要] 以大空间展厅为例,利用火源辐射模型和烟气辐射模型并结合 CFAST6.0 区域模拟软件的计算结果,对比分析了大空间内不同着火位置下火灾增长的情况。研究表明仅考虑火源热辐射的情况下,展厅内着火位置越处于左右中间对称处,其火灾增长越快,热释放速率峰值也越大,达到热释放速率峰值的时间和火灾的持续时间越短,处于展厅中心位置时所有值达峰值。对火源热辐射和烟气辐射综合考虑时,到达热释放速率峰值时间与火灾持续时间的规律同仅考虑火源辐射模型时一致,但热释放速率峰值均有不同程度的提高。

[关键词] 火灾增长;大空间着火位置;火灾场景设置;火源辐射模型;烟气辐射模型

[中图分类号] X932 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2008)11-0037-06

1 前言

建筑火灾对人民生命财产的危害最为直接和严重,一直是火灾防治的主要方面,而建筑物的防火设计是保证建筑火灾安全的基本措施。对此,很多专家学者均指出,应当以火灾安全工程学的思想为指导,采用以火灾性能为基础的建筑防火设计方法,并逐步制定相应的防火设计规范(performance-based fire protection design code)^[1]。性能化设计主要有设计的准备、定量评估和文件编制三个阶段^[1],火灾场景设置则是定量评估阶段的基础。设置火灾场景主要为火灾热释放速率曲线和着火位置的确定,其中火灾热释放速率曲线的确定有许多模型: t^2 模型、MRFC 软件中应用模型及 FFB 应用模型^[2,3],工程上一般按照规范应用 t^2 模型来确定火灾的热释放速率。在火灾场景的设置中,着火位置及热释放速率的设置存在一定的经验性和缺乏足够的依据,笔者主要通过火源辐射模型、烟气辐射模型,同时结合 CFAST6.0 区域模拟软件^[4],对大空间内不同着火位置情况下的热释放速率峰值、增长速率等进行分析,探讨在大空间内着火位置对火灾增长的影响。

2 可燃物辐射引燃模型

2.1 火源辐射模型

可燃物着火后引燃周围的可燃物,其计算可利用火源辐射模型^[5]。距火源中心距离为 R 处的被引燃物接收到的火源辐射和火源热释放速率的关系可表示为:

$$\dot{q}_t = \frac{x_r \dot{Q}_t}{4\pi R^2} \quad (1)$$

其中: \dot{Q}_t 为火源热释放速率,kW; x_r 为辐射系数; R 为被引燃物距火源中心的距离,m; \dot{q}_t 为被引燃物接收到的火源辐射热流量,kW/m²。

对于一般的可燃物来说,辐射系数 x_r 取 1/3,也就是说火源 1/3 的能量以热辐射的方式传播出去。因此式(1)可转换为:

$$\dot{q}_t = \frac{\dot{Q}_t}{12\pi R^2} \quad (2)$$

2.2 烟气辐射模型

大空间着火产生的烟气会在上层蓄积,烟气对房间内的物体都有辐射作用,其中可利用烟气辐射模型^[5,6]。地板处的被引燃物接受到烟气辐射流量

[收稿日期] 2007-07-31;修回日期 2008-09-17

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目(50536030);博士后科学基金(20070410220)

[作者简介] 石 龙(1984-),男,湖南岳阳市人,中国科学与技术大学火灾科学国家重点实验室硕士研究生,研究方向为建筑火灾特性的实验与模拟

的计算公式为:

$$\dot{q}_s = \varepsilon \sigma T_s^4 F_s \quad (3)$$

其中: ε 为热烟气层的发射率,一般取1; σ 为史蒂芬-玻耳兹曼常数,取 $5.67 \times 10^{-11} \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$; T_s 为热烟气层温度,K; F_s 为热烟气层相对可燃物的辐射角系数,其算法参见文献[5]; \dot{q}_s 为被引燃物接受到的烟气辐射热流量, kW/m^2 。

烟气层对可燃物辐射角系数与可燃物在空间分布的位置有关,如图1所示。

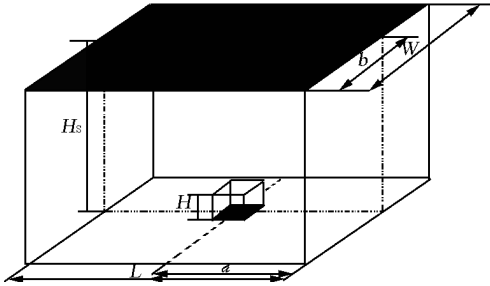


图1 烟气对引燃辐射角系数计算示意图^[6]

Fig. 1 Photos for radiation angle factor
其计算的公式为:

$$F_s = F(a, b) + F(a, W - b) + F(L - a, b) + F(L - a, W - b) \quad (4)$$

热烟气层相对可燃物辐射角系数的计算公式为:

$$F(a, b) = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{\sqrt{a^2 + (H_s - H)^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{a^2 + (H_s - H)^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2 + (H_s - H)^2}} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{b^2 + (H_s - H)^2}} \right] \quad (5)$$

其中, L 为房间的长度,m; W 为房间的宽度,m; a, b 为被引燃物在房间长度和宽度方向上的位置,m; H_s 为烟气层距地板的高度,m; H 为被引燃物上表面距地板的高度,m。

3 火灾场景设置

3.1 展台热释放速率的确定

火灾场景进行分析的场所为42 m(长)×18 m(宽)×16 m(高)的展览厅,其中有三排27个2 m(长)×2 m(宽)×1 m(高)的展台,各个展台边缘之间的距离都为2 m,展台边缘距离墙壁的距离都为4 m,各个展台中心位置坐标如图2下方所示。展厅左右两端10 m各有一扇3 m(高)×2 m(宽)的门与外界联通,展厅内展台分布如图2所示。

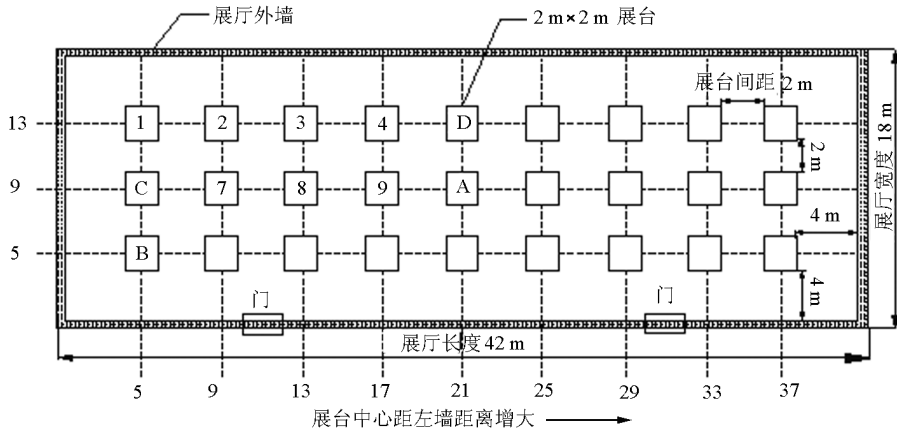


图2 展厅内展台分布图

Fig. 2 Distribution of booths in exhibition

热释放速率确定的方法,一是可以利用模型,主要包括 t^2 模型、MRFC软件中应用的模型以及FFB应用的模型。二是利用实验测量的数据,笔者采用的是第二种方法。美国国家标准与技术研究院(NIST)曾做过一个办公家具组合单元的火灾实验,实验中的办公家具组合单元包括两面办公单元的分割板、组合书架、软垫塑料椅、高密度层压板办公桌以及一台电脑,还有98 kg纸张和记事本等纸制品,实验过程中

该办公家具组合单元的热释放速率如图3所示^[7]。

由于该办公家具组合单元中包含了展览中较为常见的可燃物,物品的摆放形式也基本与展位的布置相同,且其尺寸与一个展台相当。因此,在缺少展台火灾实验数据的情况下,可以考虑用上述一个办公家具组合单元的火灾实验数据来替代一个展台火灾过程中热释放速率^[8],文后关于展厅内总的热释放速率也是基于此曲线确定的(见图4)。

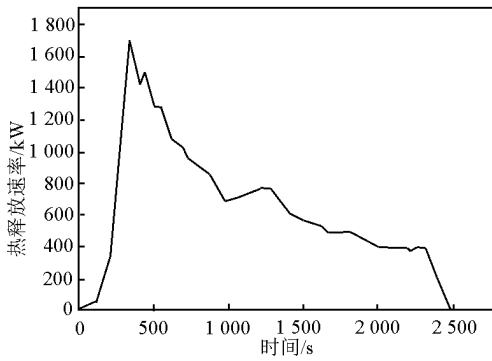


图3 某一个展台的火灾热释放曲线

Fig. 3 Heat release rate curve of one booth burning

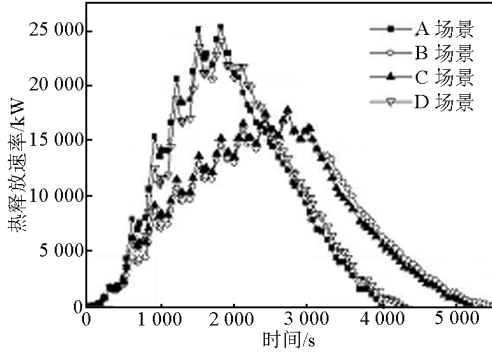


图4 不同火灾场景下总的热释放速率的对比图

Fig. 4 Comparison of total HRR in each scenario

3.2 火灾蔓延

某一个展台在着火一定时间以后,相邻的展台

在火源辐射作用下,当辐射热流量达到其临界热流量时相邻的展台即被引燃。常见可燃物的临界辐射热流量见表1,文章中所取的展台临界辐射热流量为 11 kW/m^2 。

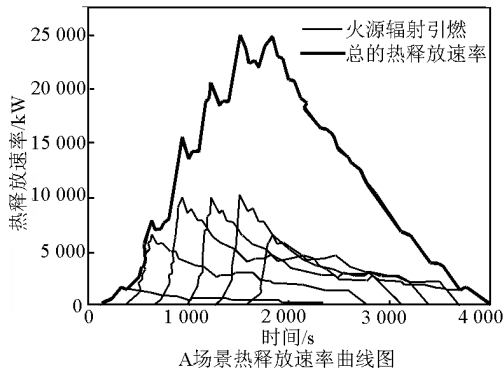
表1 常见可燃物临界辐射热流量^[5]

Table 1 Critical heat flux of combustible matter

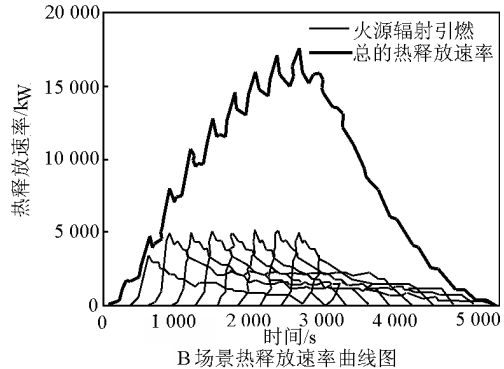
可燃物	聚氨酯泡沫	木材	带漆的木材	小汽车
临界辐射热流量/ $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$	7	11	13	16

为了考虑起火位置对总热释放速率的影响,于大空间内设置4个着火点,分别为A,B,C,D展台,其平面布置如图2所示。根据公式(2)以及图3,可知着火展台引燃周围展台的时间为315 s,笔者为了计算的简便,引燃时间取300 s。

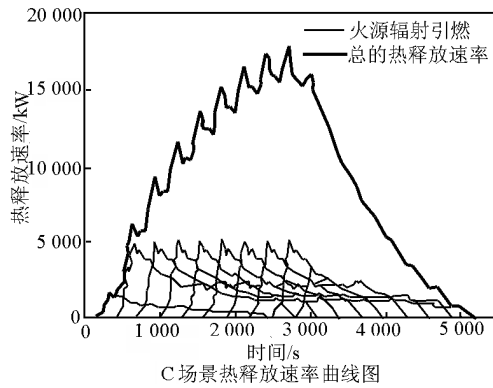
图5为不同火灾场景下热释放速率的对比图。由图中可以看出处于左右中心位置的A,D场景总的热释放速率发展趋势基本一致,处于展厅左端的B,C场景总的热释放速率发展趋势基本也一致。A,D场景总的热释放速率远大于B,C场景,达到最大值的时间和火灾持续时间也比B,C场景短的多。在分析的4个场景中,处于大空间中心位置的A场景火灾增长最快,热释放速率峰值最大,达到最大值的时间和燃烧持续时间最短。



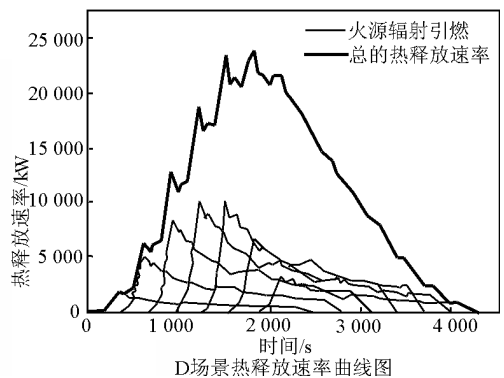
A场景热释放速率曲线图



B场景热释放速率曲线图



C场景热释放速率曲线图



D场景热释放速率曲线图

图5 不同火灾场景下展厅内总的热释放曲线图

Fig. 5 Total HRR in each scenario

3.3 CFAST6.0 模拟

CFAST6.0 中用到的火源为图 3 中热释放速率曲线所代表的火源,相邻展台(见图 2)被引燃的时间间隔都为 300 s。CFAST6.0 主要模拟的是上下层的烟气温度和烟气层的高度。各场景模拟结果如图 6、图 7 所示。由图中可以看出,处于左右中心位置的 A、D 场景比位于左端的场景 B、C 上层温度上升较快,最高温度值也较高而且达到最高温度的时间较早。温度上升最快且最早达到最大值的场景为大空间中心位置的 A 场景。

4 个场景烟气层高度发展趋势在前 3 500 s 基本一致,随着火灾的发展烟气层高度不断降低,到 4 000 s 时开始升高,在 5 500 s 时 4 个场景烟气层高度由大到小的排序为:A、D、C、B。

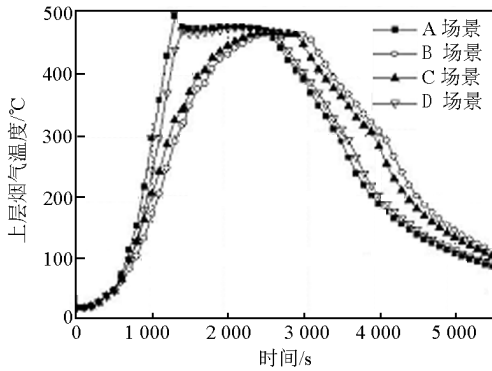


图 6 各场景上层烟气温度对比图

Fig. 6 Upper layer temperature comparison

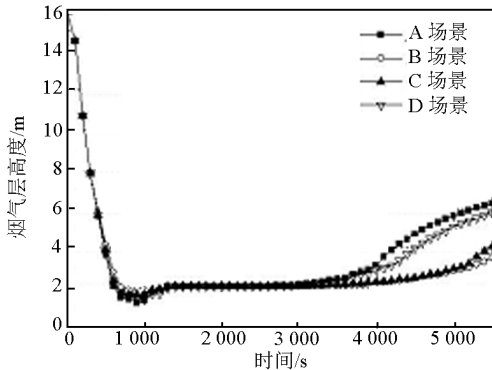


图 7 各场景烟气层高度对比图

Fig. 7 Smoke layer height comparison

4 考虑烟气辐射模型的计算

4.1 展台引燃时间的确定

展台图 2 左右和前后对称,取 1,2,3,4,D,C,7,8,9,A,10 个展台进行分析。利用式(5),对不同烟气层高度 H_s 下 10 个展台的烟气辐射角系数进行计算,每个高度的烟气辐射角系数取 10 个展台的平均值。烟气辐射角系数随高度变化如图 8 所示。

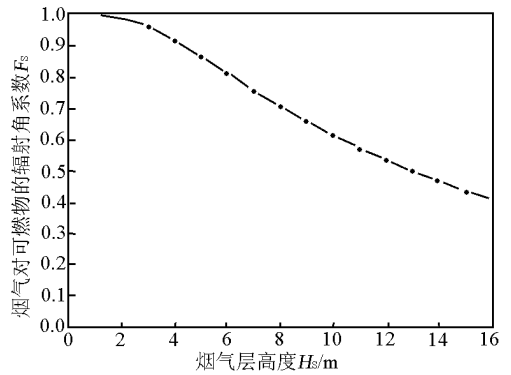


图 8 烟气辐射角系数随烟气层高度变化图

Fig. 8 Radiation angle factor varied along with smoke layer height

由前面 CFAST6.0 模拟的上层烟气温度和烟气层高度的结果来看,在此大空间内忽略烟气对展台的辐射将会造成很大的误差,所以此时需要考虑烟气辐射对展台的影响。

根据式(3)可知,烟气对展台的辐射热流量 q_s 与热烟气层相对可燃物的辐射角系数 F_s 的一次方、烟气层温度 T_s 的 4 次方成正比。其中 $F_s \in [0, 1]$, 而 $T_s \in [292.3, \infty]$ (初始环境温度为 20 °C), 因此可知 F_s 对辐射热流量 q_s 的影响较小。所以先假定 F_s 值,再通过迭代的方法得到了烟气辐射引燃展台的时间。为了计算的简便,假定烟气辐射对未燃展台的引燃处于同一时刻。

4.2 计算结果

一个展台着火后随着热释放速率的增加对相邻展台的热辐射强度增大,当达到一定值时会引燃周围的展台。燃烧所产生的烟气会在大空间上部蓄积,随着烟气层厚度和温度的增加,烟气对展台的热辐射逐渐增加,当达到一定值时,也会将展台引燃。

考虑烟气辐射对展台的作用后,可以发现各个火灾场景下总的热释放速率均有不同幅度增加,最大的热释放速率都达到了 32 MW 以上,但各个场景最大的热释放速率相差不大。处于左右中心位置的场景 A、D 比 B、C 场景达到热释放速率峰值和火灾持续的时间要短。其中处于前后中心位置的场景 A、C 要分别比场景 D、B 达到热释放速率最大值的时间和火灾持续的时间最短的场景为处于大空间中心位置的 A 场景。考虑烟气辐射后不同场景下火灾热释放速率对比如图 9 所示;考虑烟气辐射后不同火灾场景下总的热释放如图 10 所示。

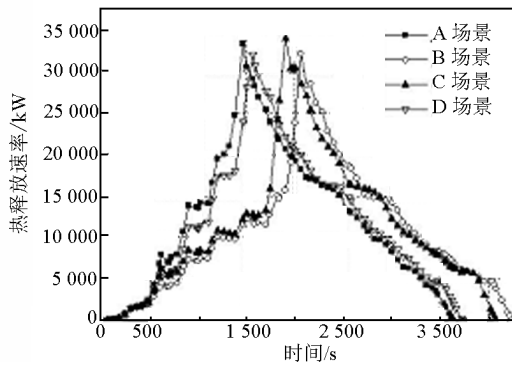


图9 考虑烟气辐射后不同场景下
火灾热释放速率对比图

Fig.9 Comparison of Total HRR in
consideration of smoke radiation

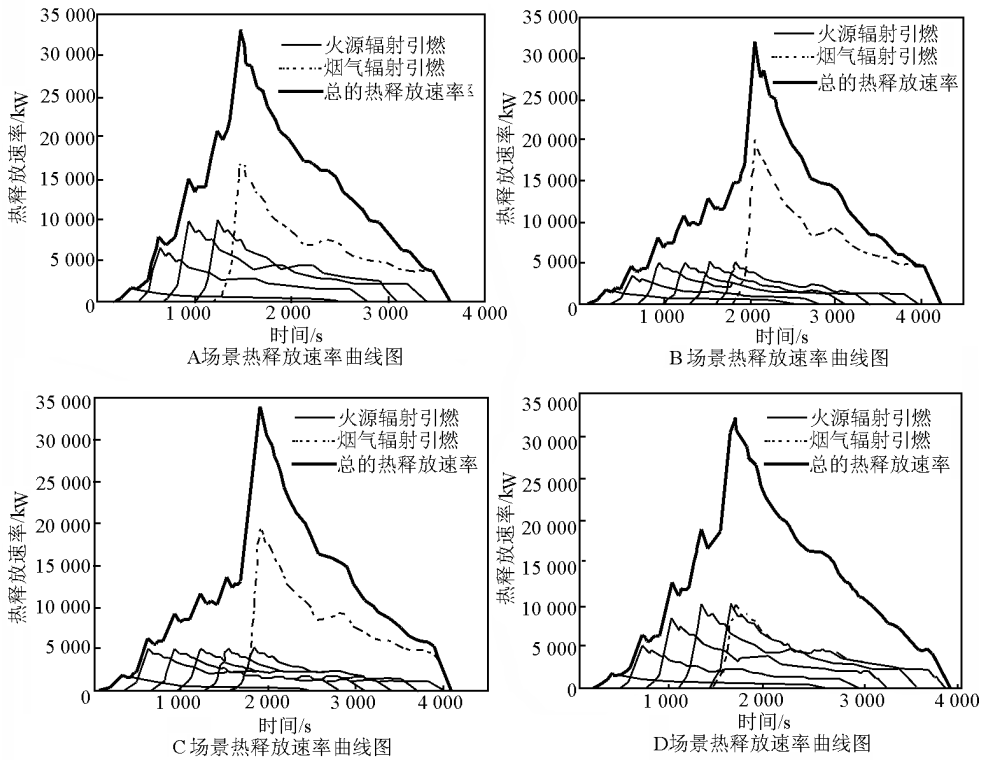


图10 考虑烟气辐射后总的热释放速率曲线图

Fig.10 Total HRR in consideration of smoke radiation

5 结语

大空间性能化防火设计火灾场景设置中着火源位置的设置很关键,不同着火源位置总的热释放速率和增长趋势都不同。仅仅考虑火源辐射模型时,发现位于左右对称中心位置的场景相比于两边场景的火灾增长较快,热释放速率峰值较大,达到热释放速率峰值的时间和火灾持续时间较短。其中处于展

厅中心位置时的场景火灾增长最快,热释放速率峰值最大,达到热释放速率峰值的时间最早,火灾的持续时间最短。

当同时考虑火源辐射模型和烟气辐射模型时,关于达到热释放速率峰值时间与火灾持续时间的规律同仅仅考虑火源辐射模型时是一致的,而且热释放速率峰值均有不同幅度的提高,但各个场景下热释放速率峰值相差不大。

分析大空间内着火位置对火灾增长的影响,对以后性能化防火设计火灾场景设置中着火位置的选择有着一定的参考意义。结合火源辐射模型和烟气辐射模型的方法,同样也可用于其他空间热辐射的研究。

笔者对大空间内的热释放速率仅采用了简单迭加的方法进行了初步的分析,存在一定的误差,利用数值模拟的方法进行验证还有待开展进一步的研究工作。

参考文献

- [1] 霍然,袁宏永. 性能化建筑防火分析与设计[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2003
- [2] 程远平,陈亮,张孟君. 火灾过程中火源热释放速率模型及其

- 实验测试方法[J]. 火灾科学,2002,11(2):70-72
- [3] 范维澄,孙金华,陆守香,等. 火灾风险评估方法学[M],北京:科学出版社,2004
- [4] Walter W, Jones, Glenn P, et al. A technical reference for CFAST: An engineering tool for estimating fire and smoke transport [J]. Technical Note 1431, Gaithersburg: NIST, 2003
- [5] 赖穗欢,孙旋,王曦晖,等. 某美术馆展厅火灾蔓延分析研究[J]. 消防技术与产品信息,2006,(7):16-17
- [6] 张孟君,程远平,张小宏. 着火房间相邻可燃物引燃过程及其实例研究[J]. 消防科学与技术,2004,(23):107-111
- [7] General Services Administrator[EB/OL]. Gaithersburg: National institute of standards and technology. <http://www.fire.nist.gov/fire/fires/work2/work2.html>
- [8] 吴柳江. 大空间建筑性能化防火设计中的火灾场景设计研究[J]. 消防技术与产品信息,2006,(11):7-10

Effect analysis of fire location on fire growth in large space

Shi Long, Zhang Ruifang, Xie Qiyuan, Fu Lihua

(State Key Laboratory of Fire Science, USTC, Hefei 230027, China)

[Abstract] Fire design is the basis of quantitative evaluation in performance-based fire design, which includes the determination of fire location and heat release rate (HRR). Take large-scale exhibition hall for example, utilizing fire radiation model and smoke radiation model and combining the simulate result of CFAST 6.0, analysis of fire grown situation is taken with different fire locations in large space. Research reveals: only considering fire radiation, when fire develops in a location of bilateral symmetry, fire grows faster with HRR peak values are larger and the time of attain HRR peak value earlier and duration time are shorter than others. Thereinto, fire grow fastest when fire develops in the location of center symmetry. Moreover, combining fire radiation and smoke radiation, HRR peak values consumedly increases and almost the same in each scenarios. But other rules, which contain fire growth and the correlative time, when considering fire radiation and smoke radiation, is the same as the situation of just considering fire radiation.

[Key words] fire growth; fire design in large space; fire location; fire radiation model; smoke radiation model