

性能化防火设计中火灾场景设置初步研究

徐亮, 张和平, 杨昀, 朱五八

(中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230026)

[摘要] 火灾场景的设置是性能化设计的关键步骤, 重点介绍了常用的火灾增长曲线设计方法, 并且以高架仓库火灾设计为例, 说明了如何灵活运用火灾设计方法。

[关键词] 火灾场景设置; 火灾增长曲线; 热释放速率

[中图分类号] TK477 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)01-0064-04

1 引言

在性能化防火设计的定量评估阶段, 火灾场景的发展和热释放速率曲线的设定十分重要, 这对于烟气运动的计算、人员疏散和建筑保护都是至关重要的。火灾场景是对火灾发展全过程的一种语言描述, 包括对起火、增长、发展到最大程度(轰燃)以及熄灭的说明, 主要涉及以下几个方面: 起火前状况、点火源、初始可燃物、二次可燃物、蔓延的可能性、目标物体的位置、室内人员状况和建筑火灾历史。火灾的热释放速率(heat release rate, HRR)是决定火灾发展的基本参数, 定量分析火灾过程应以热释放速率的变化规律为基础展开。性能化分析中的热释放速率是人为设定的, 设定越合理, 计算结果越可靠^①。

2 火灾增长曲线的设置方法

火灾的发展分为3个基本阶段: 不断增长; 稳定燃烧; 逐渐减弱。如图1所示。

火灾场景设置中, 人们最感兴趣的是火灾增长和稳定燃烧阶段。下面分2部分来讨论火灾增长曲

线设计: 发展初期; 充分发展阶段(稳定燃烧阶段)。

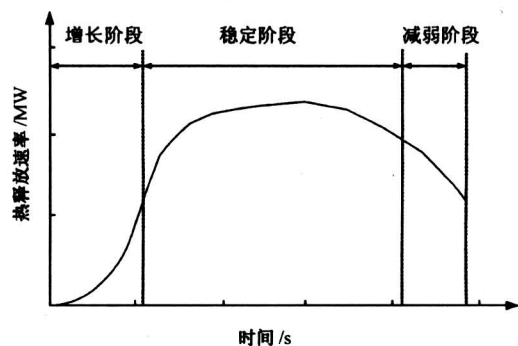


图1 火灾发展曲线示意图

Fig.1 Fire development curve

2.1 发展初期

一般情况下, 初始阶段时, 火灾的热释放速率近似满足 t^2 增长关系

$$Q_f = \alpha(t - t_0)^2, \quad (1)$$

式中 Q_f 为热释放速率, α 为火灾增长因子, t 为火灾有效燃烧发生后的时间(s), t_0 为达到有效燃

①霍然. 性能化建筑防火分析设计讲义. 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室

[收稿日期] 2003-07-23

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(50076041); 国家重点基础研究专项经费资助项目(2001CB409603); 安徽省自然科学基金资助项目(01045407)

[作者简介] 徐亮(1981-), 男, 江西景德镇市人, 中国科学技术大学博士研究生

烧所需的时间。在评估时不考虑火灾达到有效燃烧需要的时间，仅仅关心火灾开始有效燃烧后的情况，这样可取 $t_0 = 0$ 。

火灾增长因子应综合考虑可燃物荷载密度的影响 (α_ϕ) 以及墙和吊顶的影响 (α_m)^[1]，可以由下式得到：

$$\alpha = \alpha_\phi + \alpha_m, \quad (2)$$

其中， $\alpha_\phi = 2.6 \times 10^{-6} q^{5/3}$, (3)
 q 为火灾荷载。

根据 α_m 与装修材料可燃等级的关系 (如表 1 所示)，可确定各火灾场景的 α_m 值^①。

表 1 α_m 与建筑物装修材料可燃等级

Table 1 α_m according to lining materials' combustible classes

墙面装修材料等级	$\alpha_m/\text{kW}\cdot\text{s}^{-2}$
不燃性材料	0.003 5
准燃性材料	0.014
缓慢燃烧材料	0.056
木材或类似材料	0.35

纳尔森^[2] (Nelson) 进一步指出，火灾初期增长可分为慢速、中速、快速、超快速等 4 种类型，各类火灾的增长因子依次为 0.002 9, 0.011 7, 0.046 9, 0.187 6。池火、快速沙发火大致为超快速型，托运物品用的纸壳箱、板条架火大致为快速型，棉花加聚酯纤维弹簧床大致为中速型。参考上述 4 种火灾增长类型，可以估算实际物品火灾初期阶段的生长因子。

2.2 充分发展稳定燃烧阶段

稳定燃烧阶段的热释放速率主要由经验公式计算得出^[3]，适用于纤维素可燃物 (木材或木基物品)：

$$Q_f = \begin{cases} 1.6 \times x \times A_{\text{fuel}} & (x \leq 0.081) \\ 0.13 \times A_{\text{fuel}} & (0.081 < x \leq 0.1) \\ [2.5 \times x \times \exp(-11 \times x) + 0.048] \times A_{\text{fuel}} & (x > 0.1) \end{cases} \quad (4)$$

式中 x 是燃烧类型指数：

$$x = A_{\text{op}}(H_{\text{op}})^{1/2} / A_{\text{fuel}}, \quad (5)$$

式中， $A_{\text{op}}(H_{\text{op}})^{1/2}$ 是着火房间开口因子 ($\text{m}^{5/2}$)， A_{fuel} 是公式给出的燃料表面积 (m^2)：

$$A_{\text{fuel}} = 0.26q^{1/3}A_r + \sum \phi A_f, \quad (6)$$

式中， q 是以 MJ 为单位的火灾荷载密度； A_r 是着火房间的地板面积， m^2 ； $\sum \phi A_f$ 表示墙面和吊顶上面可燃装修材料的有效暴露面积。

火灾的持续时间可用公式 (7) 来计算：

$$t_f = (\text{总火灾荷载}) / (60Q_f). \quad (7)$$

对于非纤维素可燃物 (热塑性可燃物或液体可燃物) 的稳定燃烧，参考 H.W.Yii 的相关研究^[4]，可以估测出热塑性可燃物和液体可燃物稳定燃烧的热释放速率。计算公式如下：

$$Q_f = R \times \Delta H_c, \quad (8)$$

式中 Q_f 为释热速率 (MW)， R 为质量损失速率 (kg/s)， ΔH_c 为燃烧热值 (MJ/kg)。

$$R = \dot{m}'' \times A_p, \quad (9)$$

其中 \dot{m}'' 为可燃物单位面积质量损失速率 ($\text{kg/s}\cdot\text{m}^2$)，热塑性可燃物的单位面积质量损失速率变化范围为 $0.018 \sim 0.034 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$ ，具体取值可以参考相应的火灾工程手册， A_p 为可燃物有效暴露表面积 (m^2)，火灾持续燃烧时间可用公式 (7) 计算^[5]。

3 火灾场景设置方法的应用

对于一般建筑结构，火灾场景的设置按照第二章中介绍的火灾设计方法进行设计。但对于特殊的场所，例如仓库，火灾场景设置就比较困难。仓库中物品一般有 2 种摆放方式：直接堆积在地面上和摆放在货架上。相关研究表明^[6]，对于堆高到 4.5 m，快速燃烧的软垫沙发、塑料可燃物可以认为它的火灾增长满足超快速火形式， $Q = 0.187 6 t^2$ (kW)；对于货架摆放方式，物品和物品之间形成狭长的通道，一旦发生火灾，火焰会迅速从货架底部沿着物品间狭长的通道向上蔓延。因此，货架摆放方式的仓库火灾不同于普通建筑内的火灾，后者一般近似认为是平面火灾，满足 t^2 增长关系，而前者是典型的立体火灾，已不再满足 t^2 增长关系。参考 SP Boras University, Sweden (1993) 的工作，高架货仓火灾发展速率满足 t^3 增长关系， $Q = 0.045 t^3$ (kW)，但只对热释放速率不超过 10 MW 的情况有效。

仓库发生火灾，最重要的是在小火时就扑灭，

① 范维澄，等。济南遥墙国际机场新航站楼火灾风险评估研究报告。中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室，2002

一旦发展壮大后,就很难控制了,可能要几十个小时才能扑灭。就人员逃生而言,最重要的是在火灾发生后的10~15 min的时段,因此设置这一阶段火灾发展非常关键^[7]。目前可行的设置方法是采用火蔓延模型。假设一个初始的着火区域,随着时间的推移,火会从起始区域蔓延到临近的区域,将所有着火区域的热释放速率叠加起来,就得到了整个着火区域的热释放速率。

以某大空间高架仓库为例分析。该仓库高为14.6 m,平面尺寸为137 m×94 m,货架高度为12.5 m,货架间隔为2.1 m,仓库内存储有电子产品、光碟、录像带和其他的可燃物,外包装用纸箱或聚苯乙烯板。FRS (fire research station)的全尺寸试验表明,货架系统发生火灾,火会沿着货物间的通道或货物外表面(向着走道的一面)迅速蔓延,货物通道间的火蔓延更快,不用2 min就能蔓延到12 m高的货架顶部^①。为此,设计火灾时可认为火是从地面开始的,120 s后火窜上了货架顶部,这时的火源面积为1 m²。UK Smoke Ventilation Association分析了NFPA 92B和英国相关文献中的热释放速率数据^[8,9],给出了不同储存方式的物品的热释放速率,如表2所示。

表2 不同存储方式的货物的热释放速率

货物	单位高度单位面积热释放速率 /kW·m ⁻³
货物储藏在纸箱箱内	160 ~ 1 200
散放或堆积放置的塑料产品	260 ~ 1 280

Babrauskas^[10]报告指出,对于1.22 m(宽)×1.22 m(长)×6 m(高)的木头货架存储的物品其热释放速率峰值能达到14 MW。保守估计,取最大的热释放速率1 200 kW/m³,因此,引燃后120 s,1 m²火源面积的热释放速率为15 MW,此后稳定在15 MW,直到180 s进入火灾衰减阶段,360 s可燃物全部耗尽(见图2)。

火从第一着火区域向临近区域蔓延有多种方式,可能是直接的火焰热辐射,也可能是顶部的热烟气辐射引燃,很难准确判断。因此,对火蔓延做如下假设:第一个区引燃120 s后,有3个区被引燃,每个区的热释放速率都和第一个区相同,火源面积为1 m²,然后,更多的区域被引燃,直到总火区面积达到18 m²。各火区引燃时间如表3

所示。

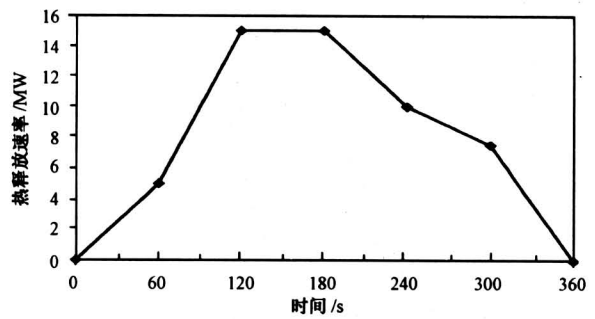


图2 单个火区热释放速率曲线

Fig.2 Heat release rate of one fire zone

表3 各火区引燃时间

Table 3 Ignition time of each zone

火区	引燃时间/s
1	0
2—4	120
5—8	240
9—13	360
14—18	480

依照上面的假设,可以得到如图3所示的总热释放速率曲线。从图3中可以看出火从一开始增长到540 s左右到达最大热释放速率135 MW。如果还需考虑更长时间的火灾发展情况,可参照上面的模型继续往下进行。

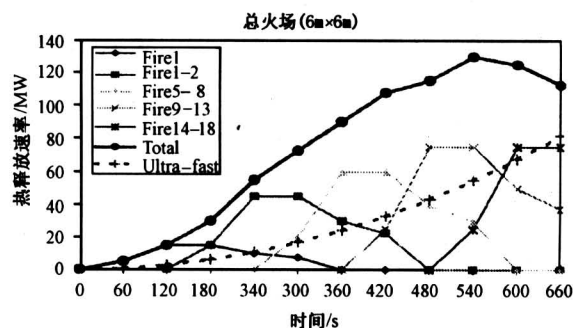


图3 总热释放速率曲线

Fig.3 Total heat release rate

4 结语

火灾场景的设置是性能化防火设计定量计算的

① 范维澄,等.上海大众汽车有限公司售后配件销售中心火灾危险性评估报告.中国科技大学火灾科学国家重点实验室,2003

基础,对烟气运动计算和人员疏散有着重要的影响,因此非常重要。作者介绍了常用的火灾场景设计的方法,并以高架仓库为例,说明了如何灵活运用火灾场景设计方法。但是火灾发展的不确定性给火灾场景的设置带来了很大的困难,往往火灾发生时会有很多种可能的火灾场景,为此,应该以选择可能出现的最严重的场景为原则进行设计。同时火灾场景设置的理论和工程实践方面还有待开展进一步的研究工作。

参考文献

- [1] 田玉敏. 论性能设计中的设计火灾场景[J]. 火灾科学, 2003, 12(1)
- [2] 霍然, 胡源, 李元洲. 建筑火灾安全工程导论[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1999
- [3] 安庆新, 舒中俊, 等. 高层建筑性能化防火设计案例汇编[M]. 北京: 中国人民武警学院训练部编辑出版中心, 2002
- [4] Yii H W. Effect of surface and thickness on Fire Loads [R]. Fire Engineering Research Report No 13, 2000. 54~57
- [5] Craig L, Beyler, et al. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (Second Edition) [M]. Massachusetts: National Fire Protection Association, 1995
- [6] CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) Guide E: Fire Engineering[M], London: CIBSE, 1997
- [7] He Yaping, et al. Smoke venting and fire safety in an industrial warehouse[J]. Fire Safety Journal, 2002, 37: 191~215
- [8] Milke J A, klotz J H. Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas[A]. NFPA 92B[C]. Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association, 1991
- [9] End B. Guidance for the Design of Smoke Ventilation Systems for Single Storey Industrial Buildings, including those with Mezzanine Floors, and High Racked Storage Warehouses[M], Smoke Ventilation Association of Hevac Manufacturers, FETA, 1994
- [10] Babrauskas V. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, (2nd edition) [M]. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 1995

Study on Fire Design in Performance-based Design

Xu Liang, Zhang Heping, Yang Yun, Zhu Wuba

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

[Abstract] Fire design is a key step in performance-based design. In this paper, several fire design methods have been introduced and fire design in a high-rack warehouse has been presented as an example to show how to apply fire design methods.

[Key words] fire design; fire growth curve; heat release rate