

玻璃隔墙防火性能评估研究

张庆文, 张和平, 杨 昀, 姚 斌, 杨健鹏

(中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230027)

[摘要] 玻璃隔墙在现代大型建筑中的大量使用给建筑防火设计、审查和验收带来了挑战; 分析了传统防火设计规范中对于玻璃隔墙的规定, 总结了其优点和不足之处, 并引入性能化防火设计的方法, 对玻璃隔墙的防火性能进行评估研究; 给出了玻璃隔墙的防火性能指标和传热计算的方法, 结合某会展中心的具体案例对玻璃隔墙防火性能评估方法进行了阐述。评估结果可为玻璃隔墙防火设计、审核和验收工作提供依据。

[关键词] 玻璃隔墙; 防火; 性能化; 评估

[中图分类号] TU111.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)12-0083-05

1 引言

随着我国经济的发展, 人们生活水平的提高, 会展中心、购物中心等大型建筑不断涌现。由于建筑功能和建筑审美的要求, 许多大型建筑采用玻璃隔墙进行防火分隔, 然而玻璃隔墙防火性能的研究和建筑防火规范规定却相对滞后, 给建筑的防火设计和消防审查验收带来了困难。

我国的建筑防火设计主要依据现行的指令性防火设计规范, 规范以条文的形式规定设计参数和技术指标, 建筑的防火设计和消防审查验收都必须以此为依据。目前防火设计规范中对于玻璃隔墙的防火设计, 主要依据是按照相关耐火极限的规定, 但对于各类玻璃隔墙的实际耐火性能缺乏科学数据, 因此使用玻璃隔墙时常缺乏设计、审查和验收的依据, 甚至出现与我国现行防火规范不相适应的地方。

性能化防火设计方法是运用消防安全工程学的原理与方法, 根据建筑物的结构、用途和内部可燃物分布等方面的具体情况, 对建筑的火灾危害性和风险性进行定量的预测和评估, 从而得出优化的防火设计方案, 选择相应的消防工程措施, 为建筑物

提供合理的防火保护。其中, 性能化评估是性能化设计的关键技术和核心内容^[1]。它的主要思想是在消防设计时需满足建筑消防安全所需要的性能要求或指标, 而不直接要求设计人员为此所必须采用的某些特定的解决方法。如何达到这一指标要求, 采取什么样的工程措施则由设计人员自己确定。性能化防火设计方法在不降低建筑物总体安全水平的同时, 大大提升了设计师的自由度, 并且对于新材料、新工艺及新技术的使用具有非常大的促进作用。

本文将对我国现行防火设计规范对于采用玻璃隔墙进行建筑防火设计的规定进行分析, 总结其优点和不足之处, 同时引入性能化防火设计的方法, 对玻璃隔墙的防火性能进行评估分析, 从而为玻璃隔墙防火设计、审核和验收工作提供依据。

2 现行防火设计规范分析

建筑内设置防火分区旨在一旦发生火灾, 能够将火势限定在一定的范围, 使其不致于迅速蔓延, 并为人员、物资疏散和救援工作赢得时间, 进而减少和控制火灾所造成的损失。现行规范评价构成防火分区建筑构件的防火性能主要参数是耐火极限,

[收稿日期] 2004-10-27; **修回日期** 2005-01-12

[基金项目] 国家重点基础研究专项经费资助项目(2001CB409603), 国家自然科学基金重点基金项目(50323005)

[作者简介] 张庆文(1975-), 男, 安徽合肥市人, 中国科学技术大学博士生

相关的消防技术标准和建筑设计防火设计规范对建筑构件的耐火极限进行了规定。

2.1 耐火极限的判定方法

耐火极限是指在标准耐火试验条件下,建筑构件、配件或结构从受到火的作用时起,到失去稳定性、完整性或隔热性时止的这段时间。耐火性能试验采用明火加热,使试件受到与实际火灾相似的火焰作用。试验炉内温度随时间而变化,其变化规律满足下列函数关系^[2]:

$$\theta - \theta_0 = 345 \lg(8t + 1) \quad (1)$$

式中 θ —升温到 t 时刻的平均炉温 ($^{\circ}\text{C}$); θ_0 —炉内的初始温度,应在 $5\sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内 ($^{\circ}\text{C}$); t —试验所经历的时间 (min)。

表示以上函数的曲线,即“标准时间-温度曲线”,如图1所示。

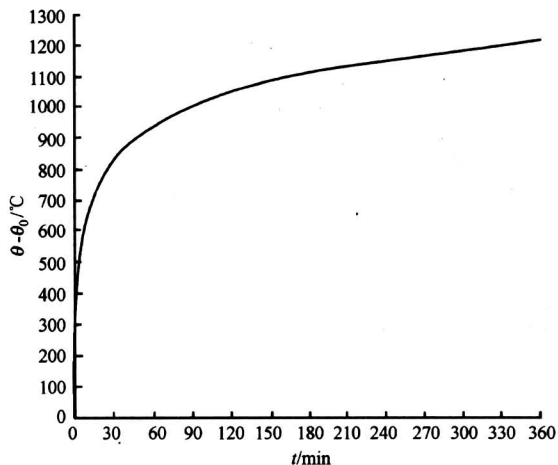


图1 标准时间-温度曲线

Fig.1 Standard time-temperature curve

2.2 指令性规范对建筑构件耐火极限的规定

防火玻璃隔墙是由防火玻璃、镶嵌框架和防火密封材料组成,在一定时间内,满足耐火稳定性、完整性和隔热性要求的非承重隔墙。根据有关规范或标准的规定,非承重隔墙应达到相应的耐火性能要求。其耐火等级分为 I、II、III、IV 级,见表1^[3]。

表1 耐火性能等级划分

Table 1 Classification of fire resistance

耐火等级	I级	II级	III级	IV级
耐火极限/h	1.00	0.75	0.50	0.25

目前,对建筑构件耐火极限有规定的指令性规

范主要有:《建筑设计防火规范》(GB 50016-2001),《高层建筑设计防火规范》(GB 50045-95),以及《人民防空工程设计防火规范》(GB 50098-98)等。根据建筑设计防火规范,民用建筑物的耐火等级分为4级,其构件的燃烧性能和耐火极限不应低于表2的规定^[4]。

表2 民用建筑物建筑构件的燃烧性能和耐火极限要求

Table 2 Duration of fire resistance and combustion performance of building elements

构件名称	耐火等级			
	一级	二级	三级	四级
防火墙	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00	不燃烧体 3.00
柱、承重墙	不燃烧体 3.00	不燃烧体 2.50	不燃烧体 2.00	难燃烧体 0.50
住宅分户墙、楼梯间及电梯井的墙	不燃烧体 2.00	不燃烧体 2.00	不燃烧体 1.50	难燃烧体 0.50
疏散走道两侧的隔墙	不燃烧体 1.00	不燃烧体 1.00	不燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
房间隔墙	不燃烧体 0.75	不燃烧体 0.50	难燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
非承重外墙	不燃烧体 0.50	难燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25	燃烧体
梁	不燃烧体 2.50	不燃烧体 2.00	不燃烧体 1.00	难燃烧体 0.50
楼板	不燃烧体 2.00	不燃烧体 1.50	不燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
屋顶承重构件	不燃烧体 1.00	不燃烧体 1.00	燃烧体	燃烧体
疏散楼梯	不燃烧体 1.50	不燃烧体 1.00	不燃烧体 1.00	燃烧体
吊顶(包括吊顶搁栅)	不燃烧体 0.25	难燃烧体 0.25	难燃烧体 0.15	燃烧体

2.3 指令性规范指导设计的优点和不足

指令性规范对建筑构件防火性能的相关规定是在分析了传统建筑所需防火性能的基础上,吸收了国内外相关方面的经验和教训,在实际使用中发挥了很好的作用,极大地减少了火灾损失。同时,指令性规范采用条文的方式对建筑构件的防火性能和指标进行了具体规定,便于建筑设计人员、消防审

核和验收人员掌握和使用。但随着各种新型建筑形式的出现,新材料、新工艺和新技术的不断使用,指令性规范对建筑构件耐火性能的相关规定出现了很多不足,主要表现在以下 3 个方面:

1) 指令性规范中对建筑构件防火性能的规定为孤立的指标,不能体现建筑物的防火安全水平,没有与其他消防措施的使用建立联系,不利于促进新的消防设施的使用,同时可能导致建筑物的不安全或投资浪费。

2) 指令性规范中主要根据建筑物的用途和高度以及建筑构件在建筑物中的位置来确定建筑构件所需的耐火极限,而没有考虑到建筑构件附近可燃物的分布和通风条件等重要因素对建筑构件所需的耐火极限的影响。

3) 建筑构件的耐火极限是在标准耐火试验条件下确定的,尽管试验条件与大多数实际火灾相似,却不能确保满足某些极端条件。随着建筑形式的不断多样化,需要使用比较弹性的指标来确定建筑构件的防火性能。

3 玻璃隔墙防火性能评估

防火隔墙的主要作用是防止火灾的蔓延和烟气的扩散,从而保护非起火区域的人员和财产安全。玻璃隔墙的防火性能主要有以下 2 个因素决定:

1) 玻璃隔墙的玻璃在火灾中是否破碎。如果玻璃受火灾的影响发生破碎,火焰和烟气会通过破碎的玻璃开口向非起火区蔓延和扩散,玻璃隔墙就失去了防火性能。

2) 透过玻璃的热辐射是否能够引燃非起火区的可燃物。

因此,采用性能化防火设计方法确定玻璃隔墙的防火性能指标是,火灾不会使玻璃破碎,同时透过玻璃的热辐射不会引燃非起火区的可燃物。

3.1 玻璃破裂原理与防火性能指标

玻璃暴露于火灾中的破裂行为受到很多因素影响,其中由于受热产生的张力是玻璃破裂的主要机制,另外玻璃尺寸、框架类型、安装方式和玻璃缺陷等因素都可能对玻璃的破裂产生影响。玻璃是一种热的不良导体,建筑中所有的玻璃边缘都会受到安装框架的遮挡,当玻璃的中部受到辐射和对流作用加热时,玻璃的边缘由于受到遮挡,基本保持在初始温度附近。玻璃的中部受热膨胀导致玻璃的边缘受到张力的作用,当张力大到一定的程度,玻璃

就会破裂^[5]。

国外对玻璃破裂时的判据进行了一些相关研究,主要提出了温度和辐射通量两种指标。Shields 等人的全尺寸房间墙角火实验研究结果表明^[6],当玻璃暴露的表面温度平均达到 415~486℃时,玻璃破裂。Cohen 和 Wilson 的大尺寸实验研究结果表明^[7],钢化玻璃辐射通量达到 29.2 kW/m² 时没有发生破裂现象。另外,根据 Mowrer 的研究结果^[8],通常约有 33% 的辐射通量会透射过玻璃,可用此值判断透射辐射通量是否能引燃相邻防火分区。通过辐射引燃易燃物需要辐射通量为 10 kW/m²,引燃普通可燃物需要辐射通量为 20 kW/m²,引燃难燃可燃物需要辐射通量为 40 kW/m²^[9]。

3.2 玻璃隔墙的传热计算

火灾时玻璃隔墙传热方式主要为对流和辐射两种,传热计算可以采用经验公式或采用 CFD 方法进行计算机模拟。CFD 方法计算结果精细,可以得到详细的温度场和辐射通量的分布,但计算量大,需要高性能的计算机和计算程序支持。作者主要介绍经验公式计算方法,通过对具体火灾场景适当的简化,可以得到满足工程应用的合理结果。

3.2.1 玻璃隔墙的对流传热计算 进行对流传热计算时,忽略玻璃表面的温度场分布,将玻璃表面和起火空间区域空气温度简化为一恒定的平均值。可由以下公式计算发生火灾时起火区域对玻璃隔墙的对流传热^[10]:

$$q_c = h(T_\infty - T_s) \quad (2)$$

$$h = Nu_L \times k/L \quad (3)$$

$$Nu_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (4)$$

式中 q_c —玻璃隔墙受到的对流传热通量 (W/m²); h —对流传热系数 (W/m²·K); T_∞ —环境温度 (K); T_s —玻璃表面温度 (K); Nu_L —努塞尔数,无量纲; k —玻璃的导热系数 (W/m·K); L —玻璃隔墙的高度 (m); Ra_L —雷诺数,无量纲; Pr —普朗特数,无量纲。

3.2.2 玻璃隔墙的辐射传热计算 辐射可分为火源和热烟气层对玻璃隔墙的辐射。计算火源对玻璃隔墙辐射时,可将火源简化为一个圆柱体。热烟气层对玻璃隔墙的辐射传热计算比较复杂,在进行经验公式计算时应加以适当的简化,通常可以将热烟气层简化为一个等温面,忽略下部空气层对辐射的吸收作用。这样就可以通过式 (5) 分别计算火灾

时玻璃隔墙受到火源或热烟气层的辐射传热^[11]:

$$q_r = \epsilon \sigma T^4 F_{1-2} \quad (5)$$

式中 q_r —火源或热烟气层对玻璃隔墙的辐射传热通量 (W/m^2); ϵ —火焰系数或烟气层辐射发射率; σ —施蒂芬-波尔兹曼常数 ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$); T —火焰温度 (K); F_{1-2} —火源或烟气层对玻璃隔墙的视角系数。

4 某会展中心玻璃隔墙防火性能案例分析

某会展中心长 540 m, 宽 282 m, 内部弧形天花板高度为 12.5~30.0 m, 是一座超大空间结构的建筑, 用于大型展览和会议。在展厅内部中心地带沿纵向中心线全长设有宽 40 m 的两层建筑, 作为展览休息室用。按照我国相关规范的要求, 该休息室与展厅的隔墙应达到 180 min 的耐火极限, 但由于建筑功能和审美的需要, 拟选用耐火极限为 72 min 的防火玻璃作为隔墙材料, 这就需要采用性能化防火设计方法, 对该建筑玻璃隔墙的防火性能进行评估, 以保证建筑物的防火性能。

采用性能化方法对该会展中心玻璃隔墙的防火性能进行评估时, 并不注重玻璃隔墙具体的耐火极限, 而是关心采用此玻璃隔墙是否能满足建筑物的防火安全要求, 也就是玻璃隔墙能否阻止火灾通过该玻璃隔墙蔓延扩大。因此, 玻璃隔墙具体的防火性能与该建筑的结构形式、使用功能及可燃物分布都有很大关系。为了充分评估该会展中心玻璃隔墙的防火性能, 设计的火灾场景必须涵盖展厅内不同位置可能发生的不同规模的火灾。评估中设计了两处典型的起火位置, 共 12 个火灾场景来评估玻璃隔墙的防火性能, 详见表 3。一处是升降梯处流动人员的行李起火发生的火灾, 该处火灾的特点是火灾规模小, 但是距离玻璃隔墙相对较近, 主要考虑由行李等移动火灾荷载发生的火灾, 按照引燃行李的多少, 将发生火灾的火源功率分别定为 1 MW, 2 MW, 3 MW, 4 MW 和 5 MW。另外一处是展厅内的参展台位起火发生的火灾, 该处火灾的特点是距离玻璃隔墙相对较远, 但是火灾规模大, 计算时保守地考虑火灾达到 25 MW 的规模, 同时假定不同的参展台位距离玻璃隔墙水平距离分别为 5 m, 7 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m 和 30 m。此 12 个火灾场景可以完全涵盖展厅内发生的各类火灾对玻璃隔墙的防火性能的影响。

根据展厅内烟气模拟计算结果, 当发生 25 MW 的火灾时, 展厅内烟气的温度约为 100 °C, 同时展厅净空较高, 这样在进行对玻璃隔墙的传热计算时忽略烟气对玻璃的对流和辐射作用, 主要考虑火源对玻璃隔墙的辐射作用。按照前面提供的方法和公式简化计算玻璃隔墙辐射传热, 及火灾时玻璃隔墙处辐射和透过玻璃隔墙的辐射, 结果列于表 3。参照前面给出的玻璃隔墙的防火性能指标, 综合 12 个火灾场景的计算结果, 可以保守地认为升降梯处火灾以及距离玻璃隔墙 7 m 以外的参展台位火灾都不会导致玻璃的破碎, 也不会引燃相邻防火分区的可燃物, 所以合理控制距离玻璃隔墙 7 m 以内范围展厅内的可燃物, 同时保证参展台位距离防火玻璃有 7 m 以上的距离, 设计所采用的玻璃隔墙的防火性能满足使用要求。

表 3 火灾场景设定及计算结果

Table 3 Fire scenarios and calculation results

火灾场景	起火位置	距玻璃隔墙距离/m	火源功率/MW	玻璃隔墙处辐射通量/ kW/m^2	透射玻璃隔墙辐射通量/ kW/m^2
1	升降梯处	3	1	2.04	0.68
2	升降梯处	3	2	5.10	1.70
3	升降梯处	3	3	8.81	2.94
4	升降梯处	3	4	13.02	4.34
5	升降梯处	3	5	17.60	5.87
6	参展台位	5	25	34.84	11.61
7	参展台位	7	25	10.24	3.41
8	参展台位	10	25	2.57	0.86
9	参展台位	15	25	0.58	0.19
10	参展台位	20	25	0.22	0.07
11	参展台位	25	25	0.10	0.03
12	参展台位	30	25	0.06	0.02

通过开展玻璃隔墙防火性能的评估工作, 为该会展中心的建筑防火审核提供了科学的数据依据, 并最终为消防部门采纳, 使玻璃隔墙方案得以实施。同时, 评估的结果对会展中心的消防管理提出了更高的要求, 尤其是近玻璃隔墙处可燃物的管理和展台位置的规定。只有严格遵守这些管理规定, 才能确保采用玻璃隔墙方案后该会展中心的防火安全水平不降低。

5 结语

在分析、总结我国现行防火设计规范中对于玻璃隔墙规定的基础上, 引入性能化防火设计方法, 参照国内外的研究成果, 给出了玻璃隔墙的防火性能指标和传热计算的方法, 同时结合某会展中心的具体案例对玻璃隔墙的防火性能进行评估研究。该方法可为我国现阶段玻璃隔墙防火性能评估提供借鉴和示范, 评估结果可用来指导玻璃隔墙防火设计、审核和验收工作。

值得指出的是, 玻璃隔墙的防火性能还受到安装框架性能及安装方式等因素的影响, 建筑中使用的玻璃种类繁多, 目前还缺少多种类玻璃的防火性能数据。因此, 在对玻璃隔墙的防火性能进行评估时, 必须考虑这些因素的影响, 在缺乏相关数据时, 可以从保守的角度取值, 确保建筑物的安全。同时, 应加强对这些影响玻璃隔墙防火性能因素的研究, 获取相关实验数据, 为更准确评估玻璃隔墙的防火性能提供基础。

参考文献

- [1] 张庆文, 张和平, 亓延军, 杨 昀. 某航站楼消防安全性能化评估研究[A]. 全国建筑物性能化防火设计技术研讨会论文集[C]. 徐州, 2003. 86~91
- [2] GB/T 9978 - 1999. 建筑构件耐火试验方法[S]
- [3] GA 97 - 1995. 防火玻璃非承重隔墙通用技术条件[S]
- [4] GB 50016 - 2001. 建筑设计防火规范[S]
- [5] Joshi A A, Pagni P J. Fire induced thermal fields in window glass I-theory [J]. Fire Safety Journal, 22 (1): 25~43
- [6] Shields T J, Silcock G W H, Flood M F. Performance of single glazing elements exposed to enclosure corner fires of increasing severity [J]. Fire and Materials, 2001, 25: 123~152
- [7] Cohen J D, Wilson P. Current results from structure ignition assessment model (SIAM) research [A]. Presented in Fire Management in the Wildland/Urban Interface: Sharing Solutions. Kananaskis Alberta Canada, 1994
- [8] Mowrer F W. Window breakage induced by exterior fires[A]. Proc 2nd Intl Conf on Fire Research and Engineering [C]. Bethesda, MD: Society of Fire Protection Engineers, 1998. 404~415
- [9] Fire Code Reform Centre. Fire Engineering Guidelines [M]. NSW, Australia, 1996
- [10] Atreya A. Convection Heat Transfer, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering[M]. 1995
- [11] Tien C L, Lee K Y, Stretton A J. Radiation Heat Transfer, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering[M]. 1995

Evaluation on Fire Prevention Performance of Glass Wall

Zhang Qingwen, Zhang Heping, Yang Yun, Yao Bin, Yang Jianpeng

(State Key Laboratory of Fire Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

[Abstract] The application of large quantities of glass wall in modern buildings challenged fire safety design, verification and acceptance. Regulations of glass wall in traditional fire code were analyzed and its advantages and disadvantages were summarized in this paper. By using performance-based fire safety design concept, fire prevention performance evaluation of glass wall was studied. Performance criteria and heat transition calculation method were put forward, and an example of evaluation of glass wall in an exhibition center was showed. The result of evaluation would provide reference to fire safety design, verification and acceptance.

[Key words] glass wall; fire prevention; performance-based; evaluation