

老山自行车馆大厅自然排烟系统性能研究

张和平, 张庆文, 姚斌, 庄磊, 王蔚, 朱五八

(中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230027)

[摘要] 采用性能化防火设计思想, 分析老山自行车馆大厅的排烟系统所应达到的安全目标, 设计了可能发生的火灾场景, 使用 CFD 技术研究自然排烟系统的性能, 通过数值模拟给出发生火灾时的流场和温度分布, 证实大厅自然排烟系统能够保证人员安全疏散, 满足该建筑消防安全要求。

[关键词] 自行车馆; 自然排烟; 性能化

[中图分类号] TU245.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)04-0076-03

1 引言

老山自行车馆是北京 2008 年奥运会的主要场馆之一。该建筑共 3 层, 总建筑面积为 32 920 m², 檐口高度约 18.8 m, 裙房高度约 8.4 m。大厅包括二层和三层, 顶部加盖, 属于大空间、高屋顶建筑, 其中二层主要有赛道区和内场休息区等, 三层为观众看台区, 主要设在东西两侧。

自行车馆是特级体育建筑, 根据相关建筑设计规范规定^[1], 应设置机械排烟系统, 但在设计方案中, 由于多种条件的限制, 该馆大厅屋顶拟采用自然排烟方式。此种排烟设计方案不能满足现行处方式建筑设计规范的要求, 给判断该馆的消防安全带来不确定性, 需要使用建筑性能化防火设计方法对此排烟方案进行分析评估, 以确保建筑物的消防安全水平, 同时为进一步优化大厅排烟设计提供依据。

大厅排烟设计目标主要是保障大厅内的人员安全, 即在发生火灾时确保大厅内所有人员能够不受火灾烟气的影响安全疏散。根据大厅人员疏散设计的结果, 大厅内所有人员安全疏散到室外需要 900 s, 因此排烟系统应能够保证火灾发生后 900 s

内火灾烟气不会对人员疏散区域产生影响。

2 火灾场景设计

通过分析可燃物种类、数量及分布和建筑物空间尺寸及功能布局, 对大厅内可能发生的火灾进行火灾场景设计。火灾场景最主要的参数是火灾规模的大小, 通常用热释放速率 (HRR) 曲线来表征。

火灾的整个发展过程可用图 1 来表示, 一般包括点燃、增长、稳定燃烧、衰减熄灭等阶段。在分析实际工程问题时, 通常可忽略火灾的增长阶段, 将火灾保守地简化为热释放速率恒定的稳定火源。

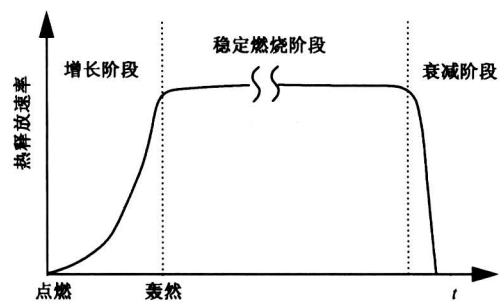


图 1 火灾发展过程

Fig. 1 Fire growth curve

[收稿日期] 2004-11-25

[基金项目] 科技奥运资助项目 (2001BA904B10); 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资助项目 (50323005)

[作者简介] 张和平 (1964-), 男, 湖北浠水人, 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室副教授

参照上海市工程建设规范^[2]给出的各类场所的火灾规模，设有喷淋的公共场所火灾规模为 2.5 MW。考虑到比赛场地装有智能火灾探测器和自动消防水炮，比传统水喷淋系统能更有效控制大空间内的火灾，而且木制赛道等体育设施按高标准设计，管理严格，发生严重火灾的可能性非常小。因此取安全系数为 2，大厅内火灾规模确定为 5.0 MW。

分析大厅自然排烟系统性能设计火灾场景时，还应考虑排烟面积及分布和补风面积及分布。作者给出 2 个场景的排烟面积均为 120 m²，相当于大厅地面面积的 1%，排烟口位于顶部，补风面积均为 50 m²，补风口位于南北两侧外墙上。大厅的火灾位置选取了影响烟气运动的 2 个典型位置，分别为看台区下方和看台区上方。火灾场景的具体特性描述如表 1 所示。

表 1 火灾场景的设置

Table 1 Fire scenarios

| 序号 | 火源位置 | 火灾增长类型 | 火灾规模/MW | 排烟面积/m ² | 补风面积/m ² |
|----|-------|--------|---------|---------------------|---------------------|
| 1 | 看台区下方 | 稳定火源 | 5.0 | 120 | 50 |
| 2 | 看台区上方 | 稳定火源 | 5.0 | 120 | 50 |

3 数值模拟

大型建筑中使用全尺寸实验来获得火灾蔓延和烟气运动的规律十分困难，而且需要耗费大量的时间和成本。实际工程中可以采用计算流体力学 (CFD) 技术，通过计算机运算求解描述火灾现象的相关数学方程，来预测火灾时流体流动、热传输、质量传输、化学反应等过程，来获得火灾蔓延和烟气运动的规律，从而为建筑防火和排烟设计提供火灾动力学的相关数据。国际上使用 CFD 技术来模拟火灾蔓延和烟气运动已有很多先例^[3-6]。

3.1 数学模型

CFD 方法是通过求解一系列的偏微分控制方程，包括连续方程、动量方程、能量方程、组分方程等来模拟火灾现象^[7,8]。方程中参数含义请参考文献 [7], [8]。

连续方程：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = S_m \quad (1)$$

动量方程：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial \rho}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

能量方程：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i(\rho E + p)) = \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j J_j + u_j (\tau_{ij})_{eff} + S_k \right)$$

组分方程：

$$\frac{\partial p Y_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(p u_i Y_i - p D \frac{\partial Y_i}{\partial x_i} \right) = S \quad (4)$$

标准 $k-\epsilon$ 模型方程：

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \quad (5)$$

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (6)$$

3.2 模拟软件及计算模型

数值模拟软件采用商业 CFD 软件 FLUENT6.0，其解算器采用完全的非结构化网格和控制体积分法。作为专业的 CFD 软件，FLUENT6.0 可用来模拟从不可压缩流体到中等程度可压缩流体乃至高度可压缩流体范围内的复杂流场，其灵活的非结构化网格和基于求解精度的自适应网格以及成熟的物理模型，使 FLUENT6.0 在层流、湍流、传热、化学反应、多相流等领域取得了广泛应用。FLUENT6.0 具有强大的后置处理功能，能够给出速度矢量图、等值线图、等值面图、流动轨迹图等，并对用户关心的参数和计算中的误差可以随时进行动态跟踪显示。

大厅的模型如图 2 所示，火源位置 1 (对应火灾场景 1)，位于看台区下方，火源位置 2 (对应火灾场景 2) 位于看台区上方；中部的 2 个环形区域为排烟口布置的区域，排烟口的总面积为 120 m²。数值模拟计算采用混合网格 (见图 3)。

3.3 模拟结果

大厅属于大空间建筑，火灾烟气有很大的扩散空间，温度不会很高，对人员辐射作用很小，但可能会在到达顶棚之前开始分层，因此火灾烟气对人员产生的伤害主要是由和人员的直接接触导致。由于观众席成阶梯状，数值模拟时主要考察距离看台区地面 1.8 m 处空间曲面的烟气状况。在人员疏散时间内，如温度高于 60 ℃ 的烟气下降至该空间曲面，就认为火灾烟气会对人员造成伤害。

在火灾场景 1 和火灾场景 2 中，排烟口处的流

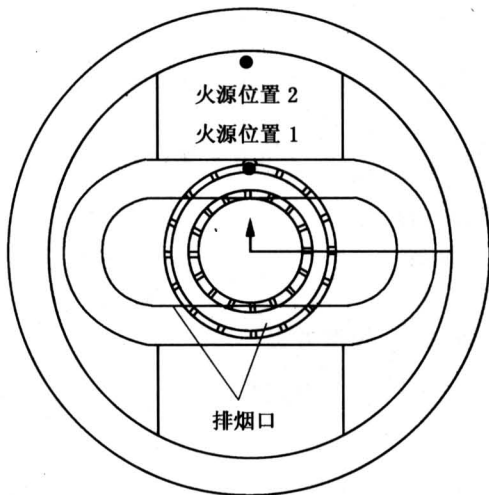


图 2 大厅几何模型示意图

Fig.2 Geometric model of bicycle racing centre

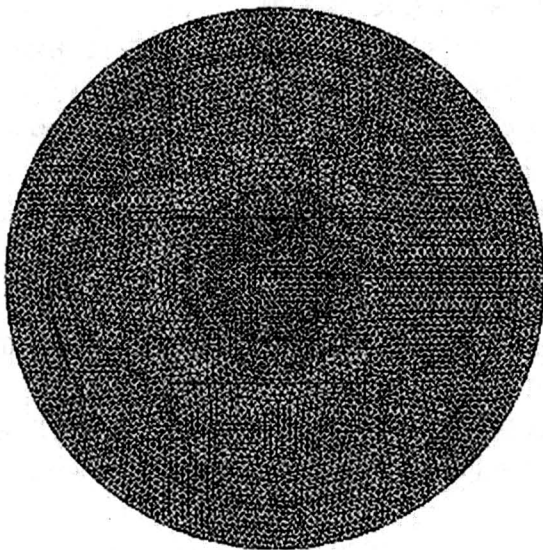


图 3 计算网格划分

Fig.3 Calculation grids

速最高, 可达到 10 m/s, 火源附近流速次之, 可达到 5 m/s, 补风口附近的空气流速也较高, 可达到 3 m/s。火源附近以及火源上方区域的温度随着时间逐渐升高。在火灾发生后 50 s 时热烟气达到排烟口附近, 300 s 时热烟气开始影响到整个顶部空间, 600 s 时热烟气向整个大厅空间扩散, 并开始影响到离看台区地面 1.8 m 处空间曲面, 900 s 时热烟气进一步向整个大厅空间扩散, 对离看台区地面

1.8 m 处空间曲面的影响加剧 (温度分布图略)。

在整个 900 s 的模拟过程内, 除了火源附近, 其它看台区离地面 1.8 m 处空间曲面没有超过 60℃ 的区域。由于火源附近高温区域范围小, 并且此处人员会很快做出反应, 在火灾对其造成危害之前迅速离开高温区域, 表明大厅内可以得到 900 s 以上的安全疏散时间。

综合以上分析可以看出, 发生 5 MW 规模的火灾时, 老山自行车馆大厅设计的自然排烟系统能够保证 900 s 的安全疏散时间, 满足该建筑消防安全要求。

4 结语

根据数值模拟的结果, 自行车馆大厅设计的自然排烟系统能够保证 900 s 的安全疏散时间, 满足该建筑消防安全要求。

该方法对大空间、高屋顶建筑排烟系统性能的评估简便、易行, 可供同类工程借鉴。

参考文献

- [1] JGJ31-2003《体育建筑设计规范》[S]
- [2] DGJ 08-88-2000《民用建筑防排烟技术规程》[S]
- [3] Baum H R, Rehm R G, Mullholland G W. Prediction of heat and smoke movement in enclosure fires [J]. Fire Safety Journal, 1983, 6(3):193~201
- [4] Cooper L Y. Smoke movement in rooms of fire involvement and adjacent spaces [J]. Fire Safety Journal, 1984, 7: 33~46
- [5] Draoui A, Allard F, Beghein C. Numerical analysis of heat transfer by natural convection and radiation in participating fluids enclosed in square cavities [J]. Numerical Heat Transfer Part A 20, 1991, 253~261
- [6] Lee G H. Distribution of heat and smoke related to openings in Hise-Rise apartment building fires [J]. T. Korean Institute of Fire Sci. & Eng, 2001, 15: 59~79
- [7] Cox G, Kumar S. Field modeling of fire in forced ventilated enclosures [J]. Combust Technol, 1987, 52: 7~23
- [8] Fan W C, Yan Z H, Jiang X. Numerical simulation of fire process in zero-gravity environment [A]. In Proc. 2nd Asian-Pacific Int. Symp. On Combustion and Energy Utilization [C]. Beijing: World Publishing Corp, 1993

(cont. on p.85)

- [9] Tamura G T. Determination of critical air velocities to prevent smoke backflow at a stair door opening on the fire floor[N]. ASHRAE Transactions, 1991, 97(2): 627 ~ 633
- [10] Thomas P H. Movement of smoke in horizontal corridors against an air flow [J]. Institute of Fire Engineers Quarterly, 1970, 30(77): 45 ~ 53
- [11] 过增元. 热流体力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992, 42 ~ 86
- [12] 王德人, 杨忠华. 数值逼近理论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990
- [13] 黄友谦, 李岳生. 数值逼近[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987
- [14] 霍 然. 工程燃烧概论[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001
- [15] 范维澄, 王清安, 姜冯辉, 等. 火灾学简明教程[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1995
- [16] Yin R, Chow W K. building fire simulation with a field model based on large eddy simulation[J]. Architectural Science Review, 2002, 45(2): 145 ~ 153
- [17] McGrattan K B, Baum H R, Rehm R G, Hamins A, Forney G P. Fire dynamics simulator-technical reference guide. NISIR 6467[M], Gaithersburg, Maryland, USA: National Institute of Standards and Technology. 2000

Experimental Study on Design for Pressurization System in Tall Buildings

Feng Rui, Huo Ran, Wang Bingling, Zhang Jingyan

(State Key Laboratory of Fire Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

[Abstract] By experimental and computer simulation study, a design for pressurization system in a multiple injection system with upper injection is discussed and the velocity in duct is found by approach method. This velocity has a relation with volume flux from pressurization fan, section area of pressurization duct and height of duct. In factual situation, there is an important assistant meaning on researching the design of pressurization system in tall buildings.

[Key words] tall buildings; pressurization; upper injection system; critical velocity; simulation

(cont. from p.78)

Study on Natural Smoke Evacuation System Performance of Laoshan Bicycle Racing Centre

Zhang Heping, Zhang Qingwen, Yao Bin, Zhuang Lei, Wang Wei, Zhu Wuba

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

[Abstract] In this paper, performance-based fire safety design concept was adopted to analyze the fire safety objective that the smoke evacuation system of Laoshan bicycle racing centre should achieve, fire scenarios were designed and the performance of natural smoke evacuation system was studied by using CFD techniques. The velocity and temperature distributions during the fire was obtained by using numerical simulation method, the fact that people in the centre could be evacuated safely was proved and the building's fire safety objective was satisfied.

[Key words] bicycle racing centre; natural smoke evacuation; performance-based