

排烟方式对火场人员疏散影响的数值模拟

常玉锋¹,陈 锋²,贾 沛¹,张 焱³

(1. 武汉工程大学环境与城市建设学院,湖北 武汉 430074;

2. 北京保利达工程设计有限责任公司杭州分公司,浙江 杭州 310003;

3. 中南大学土木建筑学院,湖南 长沙 410075)

摘 要:针对建筑火灾中烟气的危害特点,利用商业计算流体软件 PHOENICS,分别对无排烟措施、自然排烟、机械排烟等三种常见的建筑火灾后的排烟方式进行烟气流动规律的模拟研究.得出:火灾后,自然排烟和机械排烟在一定程度上都能将着火房间的烟气、热量排出室外,降低着火房间的烟气浓度、温度和压力.机械排烟形成的微负压使得火场烟气不易向外扩散,同时增加近 30s 的疏散时间,排烟效果明显更利于火场人员的安全疏散.本文计算机场模拟的结果符合单室烟气的蔓延机理,证明了使用计算流体力学技术对火灾现象进行数值模拟是可行的,可用于指导建筑火灾的扑救和火场人员的安全疏散.

关键词:火灾;烟气;场模拟

中图分类号:X932;Tu834

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2010.09.013

0 引 言

烟气是建筑火灾中对人的生命安全构成巨大威胁的一个重要因素,因此有必要对火灾烟气的气流组织分布规律进行充分的研究,分析其对火场人员安全疏散产生的具体影响.

1 建筑火灾烟气的危害

一般认为,燃烧可产生火焰、热量、烟气,同时造成氧气不足,这对人身有各种各样的生理影响,其中最主要的是烧伤和吸入热空气而出现的中毒现象.另外,悬浮在气体中的固态和液态颗粒——烟气,对人体也有很大的伤害作用.火灾烟气的危害性主要表现在烟气的毒害性、烟气减光性等方面上^[1].据资料统计,在建筑火灾时死亡的人员中,大部分是由于窒息、吸入烟尘、一氧化碳中毒而死亡,属于烧伤而死亡的约为 1/4.专家分析,在洛阳东都商厦 12.25 大火中,“烟”是造成 309 人死亡的第一帮凶.

若建筑物内防火、防烟设计不当,烟气在浮力、高温膨胀、风力和“烟囱效应”等作用力下蔓延速度将不断加大,在猛烈燃烧阶段水平扩散速度可达 0.5~0.8 m/s,垂直扩散速度可达 3~4 m/s,这将大大扩大火灾的影响区域^[2,3].

2 建筑火灾烟气对人员疏散影响的数值模拟

2.1 计算模型建立

场模拟是利用计算机求解火灾过程中状态参数的空间分布及其随时间变化的模拟方式,场模拟的理论依据是自然界普遍成立的质量守恒、动量守恒、能量守恒以及化学反应的定律等.火灾过程中状态参数的变化也遵循着这些客观规律,上述方程也就构成烟流三维模型方程组,再引入雷诺时均化、紊流粘性等参数构成封闭可解析的方程组.本文就是采用目前应用较广泛且效果较好的 $k-\epsilon$ 二方程模型,使用 PHOENICS3.5 软件中的 FLAIR 模块进行实体模拟.

本文选取某高层建筑的一个标准间作为研究对象,利用计算流体软件 PHOENICS 对其进行模拟计算,模拟房间的平面布置图、PHOENICS 软件下的模型示意图如图 1 所示^[4].

2.2 控制参数

a. 初始条件.火灾发生前,房间内保持常温、常压的无风状态,且无烟气产生; $T=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=P_0$, $u(x,y,z)=0$, $C_i=0$.火灾发生时,仅在火源处, $T=T_{\text{fire}}$, $C_i=C_{\text{fire}}$.

b. 火源参数.室内着火过程中,其主要燃烧物为木质柜子以及柜子上的杂物等(当然也包括电

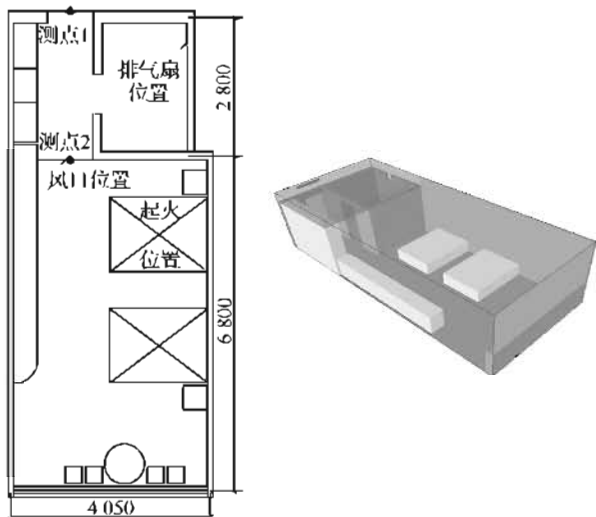


图1 PHOENICS 软件下客房标准间的立体模型

Fig.1 The three-dimensional model of the guest room in PHOENICS

气火灾),为了简化计算,将火源处理成稳态发热,火源释热功率峰值取为 565 kW/m^2 ,火源释热功率取为 170 kW/m^2 ,烟气散发率为 $30 \text{ m}^3/\text{s}$,不断地向周围释放热量和烟气,属于中型火灾规模^[3,5]。

c. 人体控制参数. 人体对烟气最敏感的部位为眼睛,对于人员疏散时的眼睛危险温度取 183°C ; 即当烟气层高度未下降到 1.5 m 时,如果其温度值达到 183°C ,就会对人体造成危害;若温度未达 183°C ,而烟气层低于 1.2 m ,则此危险温度取 100°C ,当然也要考虑此高度下烟气的危险浓度. 其中测点1、2位于 1.5 m 控制高度下疏散路线上^[11,3]。

d. 模拟控制时间. 对于单室火灾,由于其室内人员较少,火灾发生 300 s 后再去研究烟气流动对人员疏散已经没有太大意义,故本文只模拟 300 s 内单室火灾烟气流动的变化过程^[3,6]。

2.3 模拟分析

模拟状态分别为:无任何排烟措施、自然排烟,机械排烟等三种常见的建筑排烟方式。

a. 发生火灾后,若无任何排烟措施,除了靠门缝的气流渗透外没有其它的新鲜空气补充,此时的室内温度和烟气浓度增长较快,烟气分层现象比较明显. 300 s 内室内的氧气依旧可以维持充分燃烧,火灾场一直处于发展阶段,没有达到稳定状态. 由于墙体、门窗的自然分隔,火灾影响区域仅局限于起火房间内. 但高温会对墙体、门窗等建筑结构产生垮塌、破裂等破坏作用,火灾通过破裂开口泄漏将影响周围更广的区域,引发更大的火灾. 300 s 时,室内相对压力 30 Pa , 1.5 m 高度平面烟

气浓度(指体积分数,下同) 5.8% ,烟气平均流速 0.2 m/s . 眼睛特征高度下烟气流分布如图2,人员疏散通道立面的烟流分布如图3所示。

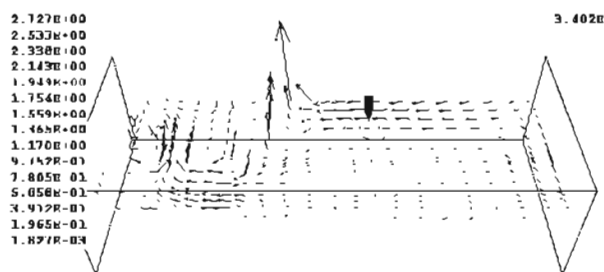


图2 无排烟措施 1.5 m 高度平面气流组织分布图

Fig.2 Planar graph of air distribution at the level of 1.5 m without extraction



图3 无排烟措施疏散通道中线立面烟气分布图

Fig.3 Elevation graph of gas distribution at the medial axis of evacuation tunnel without extraction

b. 火灾后由于门窗的开启形成自然排烟,由于室内外风压的影响,火灾烟气通过开启的门向走廊蔓延,燃烧比较迅速. 室外大量低温新鲜空气通过窗户不断补入,使得 300 s 内火灾场一直处于发展阶段,室内烟气温度和浓度增长较慢. 300 s 时,室内相对压力 5 Pa , 1.5 m 高度平面烟气浓度 0.74% ,烟气平均流速 0.5 m/s . 眼睛特征高度下烟气流分布如图4,人员疏散通道立面的烟流分布如图5所示。

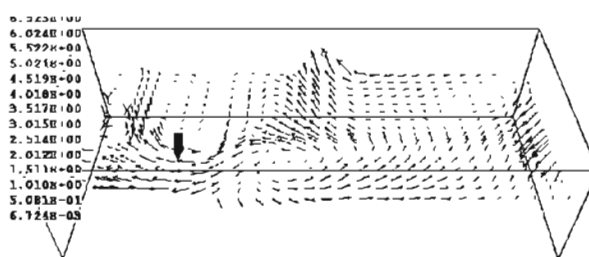


图4 自然排烟下 1.5 m 高度平面烟气流组织分布图

Fig.4 Planar graph of air distribution at the level of 1.5 m in natural smoke extraction system

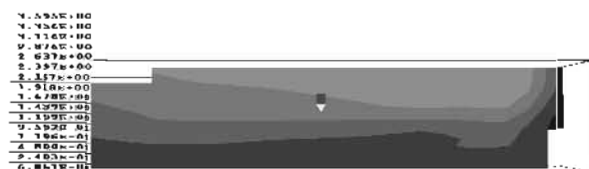


图5 自然排烟下疏散通道中线立面烟气分布图

Fig.5 Elevation graph of gas distribution at the medial axis of evacuation tunnel in natural smoke extraction system

c. 火灾后启动机械排烟系统,高温烟气通过排烟风口进入排烟风管排出,室外低温新鲜空气通过门、窗的缝隙补充(量较少),300 s内火灾场已达到稳定的燃烧状态,火灾温度和烟气较好地控制在起火房间.300 s时,室内相对压力为微负压 -1.4 Pa ,1.5 m高度平面烟气浓度0.96%,烟气平均流速0.2 m/s.眼睛特征高度下烟气流分布如图6,人员疏散通道立面的烟流分布如图7所示.

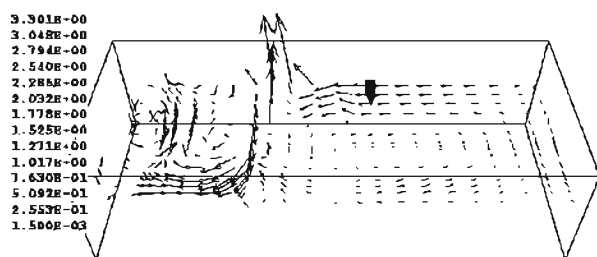


图6 机械排烟下1.5 m高度平面烟气气流组织分布图

Fig.6 Planar graph of air distribution at the level of 1.5 m in mechanical smoke extraction system



图7 机械排烟下疏散通道中线立面烟气分布图

Fig.7 Elevation graph of gas distribution at the medial axis of evacuation tunnel in mechanical smoke extraction system

2.4 模拟结果分析

火场逃生中,人正常的疏散路线为:室内(火场)→门廊(缓冲)→门(相对安全)→走廊→疏散楼梯(安全)→室外(安全),当然人逃出起火房间后随手关门也是减缓烟气向外蔓延的一个有效手段.为此,本文选取火灾中疏散通道上相对安全点(测点1,见图1)火灾场变化作为评判安全疏散的控制参数.不同排烟条件下测点1的温度、烟气浓度变化曲线如图8所示:

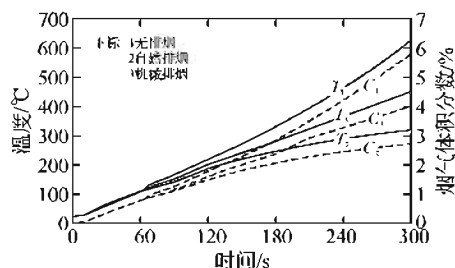


图8 不同排烟条件下控制测点1的温度、烟气浓度变化曲线

Fig.8 The graph of the temperature and concentration of No. 1 in different ventilation working conditions

a. 火灾后,若无任何排烟措施,新鲜冷空气从未着火区流向火源,结合火羽流和顶棚射流实现室内空气循环,门廊内保持相对低温,较利于人员疏散.逃生通道上控制测点1在90 s时温度达到 $168.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,烟气浓度为5.8%,300 s时其温度值为 $629.4\text{ }^{\circ}\text{C}$;控制测点2在90 s时温度经达到 $169.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,烟气浓度为5.8%,测点稳定后的温度为 $663.4\text{ }^{\circ}\text{C}$.意味着人员只要在火灾发生后90 s内逃到出口就不会受到火灾温度场的太大影响,但此时烟气浓度对人员安全疏散的影响也不容忽视.

b. 自然排烟中烟气流动路线(室内→房门→走廊)和人体逃生的路线相同,对人员的疏散形成较大的影响,也不利于室外救援(当然建筑中和面上起火房间也存在火灾通过窗户向外蔓延的烟气流动路线,对人员疏散影响不是很大).室内的正压加速了高温烟气的蔓延,进入走廊后将影响更大的区域.自然排烟受中和面、室外风等因素的影响较大,不能形成可靠的排烟效果,同时也可能存在烟气的回灌等现象.控制测点1的最高温度 $162.9\text{ }^{\circ}\text{C}$;控制测点2(见图1)在90 s时温度经达到 $179.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,测点稳定后的温度为 $221.4\text{ }^{\circ}\text{C}$;烟气层高度在210 s内一直没有低于1.5 m.意味着人员只要在火灾发生后90 s内逃到门廊处也不会受到火灾场的太大影响.

c. 火灾后机械排烟系统启动,冷空气和热烟气都流向排烟口,门廊内保持相对安全低温.同时室内保持微负压,使得烟气的影响局限在起火房间,对室外及其他房间的影响较小.同时室内除了火源处的火羽流流速较大外,顶棚射流及烟气层的下降速度都较慢,利于火场人员的逃生.控制测点1在120 s时温度达到 $188.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,烟气浓度为2.8%,300 s时其温度值为 $319.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;控制测点2在120 s时温度经达到 $182.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,烟气浓度为2.6%,测点稳定后的温度为 $316.1\text{ }^{\circ}\text{C}$.意味着人员只要在火灾发生后120 s内逃到出口就不会受到火灾温度场的太大影响,烟气浓度场的影响相对较小.

3 结 语

本文利用商业计算流体软件 PHOENICS 对单室火灾在不同排烟条件下的火场变化进行了模拟研究,并分析其对火场人员安全疏散的影响,得到以下结论:

a. 室内火灾后,火场的温度场和烟气浓度场都有不同程度的增长,对火场人员的安全疏散和外部救援都产生一定的影响,同时高温和烟气也

会对建筑结构产生一定的破坏作用,危及更广的区域.

b. 自然排烟的冷却作用,使得人员的允许疏散时间为 90 s,和无排烟措施相同,但人员在门廊内可以获得较充足的缓冲时间. 由于烟气流动路线和人体逃生路线相同,和外部救援路线相反,不利于火场人员逃生和外部救援. 当然,自然通风的不稳定性也导致其在火灾中达不到良好的排烟效果.

c. 火灾后机械排烟的作用,火场出现微负压,减缓了烟气的蔓延速度,人员的允许疏散时间为 120 s,相对增加了 30 s,和无排烟状态相比室内平均温度和烟气浓度降幅高达 50%. 此外,合理选用机械排烟系统可以保证稳定的排烟效果,减轻火灾高温对建筑结构的破坏.

d. 通过实验测量火灾发展数据的难度较大,而计算机场模拟是实验方法的一种有效补充. 本文的分析结果,符合了单室烟气运动的扩散机理,证明使用计算流体力学技术对火灾现象进行数值

模拟是可行的,论文的研究结果对于室内火灾的扑救和人员的安全疏散都具有较强的指导意义.

参考文献:

- [1] 赵国凌. 防排烟工程[M]. 天津:天津科技翻译出版公司,1991:300-320.
- [2] 徐志胜,常玉锋,白国强,等. 高层建筑防排烟的研究[J]. 西部探矿工程,2003,15(12):179-181.
- [3] 常玉锋. 建筑火灾烟气流动规律的模拟研究[D]. 长沙:中南大学,2004.
- [4] 常玉锋,白国强,胡文军,等. 空调系统运行方式对单室火灾发展的影响[J]. 武汉化工学院学报,2005,27(4):23-26.
- [5] 彭磊,张健,张鹏. 通风控制下建筑物通道内火灾烟气运动的数值模拟[J]. 科学技术与工程,2006(21):3413-3417.
- [6] 陈海华,周汝,陈忠信. 高层建筑烟气扩散计算机模拟的进展[J]. 消防技术与产品信息,2007(1):21-23.

Numerical simulation of the influences of smoke extraction on evacuation

CHANG Yu-feng¹, CHEN Feng², JIA Pei¹, ZHANG Yan³

(1. School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Beijing Baolida Engineering Design Co Ltd. Hangzhou Company, Hangzhou 310003, China;

3. School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: Due to the hazard of the smoke in a building fire, numerical simulations of the smoke movements in three different ventilation working conditions, which include no extraction, natural smoke extraction and mechanical smoke extraction, are achieved by using the commercial computational fluid software PHOENICS. In a fire, both natural smoke extraction system and mechanical smoke extraction system can expel lots of the smoke and the heat from the room, which reduces the concentration of the smoke, the temperature and the pressure. The mechanical smoke extraction system can produce trace negative pressure, which makes smoke diffusion outside difficult, which has good effect on smoke extraction obviously and adds nearly 30 s for evacuation. The results of the study prove the feasibility of field simulation based on the CFD technology during a fire, and confirm the mechanisms of the smoke movements of the fire process in a separate room. It has important theory value and reality significance to fire control and evacuation during a fire.

Key words: fire; smoke; field simulation

本文编辑: 龚晓宁