

# 高层建筑走廊机械排烟的数值模拟研究<sup>\*</sup>

哈尔滨工业大学 邱旭东<sup>☆</sup> 高甫生 王砚玲

**摘要** 采用场—区复合模型模拟起火层内的烟气运动过程,分析了走廊通道内三种机械排烟方案的烟气控制效果。模拟结果表明,与排烟量相比,排烟口的位置和数量对排烟效果的影响更大;排烟口应尽量远离疏散出口。

**关键词** 场—区复合模型 机械排烟 走廊 排烟口 排烟量

## Numerical simulation of mechanical smoke exhaust in corridor for high-rise buildings

By Qiu Xudong<sup>★</sup>, Gao Fusheng and Wang Yanling

**Abstract** Simulates smoke movement in corridor with a field-zone compound model. Analyses smoke control effect with three schemes. The results show that the amount and position of exhaust smoke outlet have more significant influence on exhaust effect in contrast with the exhaust smoke rate, and exhaust smoke outlets should be far from escape exits as possible.

**Keywords** field-zone compound model, mechanical smoke exhaust, corridor, exhaust smoke outlet, exhaust smoke rate

★ Harbin Institute of Technology, Harbin, China

①

### 0 引言

建筑物发生火灾后,烟气从着火部位向建筑物的其他部位扩散、流动。走廊是建筑内人员向外疏散的必经通道,也是烟气扩散的主要路径,其中的烟气锋面运动速度、烟层高度、温度及内部有害气体浓度决定了人员的疏散时间。设施完善的排烟系统,在发生火灾时,不仅可以排除大量烟气,而且还能排除火灾产生的大部分热量,起到控制火势蔓延的作用。合理设置防排烟设施,能够最大限度地减少人员伤亡及财产损失。本文将模拟烟火运动的场模型 FDS (fire dynamics simulator)<sup>[1~2]</sup>与模拟多室火灾的区域模型 CFAST (consolidate fire and smoke transport)<sup>[3]</sup>相结合,以场—区复合模型模拟起火层内的烟火运动过程,利用场模拟的计算结果设定区域模型中的关键输入参数(如火灾功率等),弥补区域模型无法处理火灾蔓延过程的不足,在此基础上进一步探讨机械排烟方式对烟气的

控制作用。

### 1 模拟对象

模拟对象为一栋筒形高层建筑,其平面格局如图 1 所示。室内净高 2.8 m,走廊内设有吊顶,净

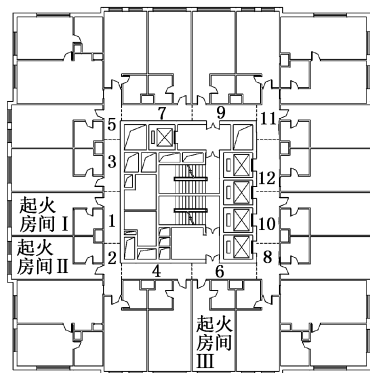


图 1 起火层平面图

高 2.5 m。客房房门尺寸为 0.8 m×2.1 m,前室房门尺寸为 1.2 m×2.1 m。右边电梯一侧的走廊宽度为 2.1 m,其余的宽度为 1.5 m。按照与前室的距离选取 I,

①☆ 邱旭东,男,1975 年 2 月生,硕士研究生,工学硕士  
150090 哈尔滨工业大学二校区 2644 信箱  
(0451)86282504  
E-mail: gfs@hit.edu.cn

收稿日期:2004-04-18

修回日期:2004-05-11

\* 哈尔滨工业大学跨学科交叉性研究基金资助项目(编号: HIT. MD2001. 33)的部分内容

Ⅱ、Ⅲ三个房间作为起火房间,分别代表远、中、近三种情况,以便更为全面地评价排烟系统的性能。房间Ⅰ、Ⅱ尺寸为4.0 m×8.2 m×2.8 m,房间Ⅲ为4.0 m×8.7 m×2.8 m。在设定室内火灾荷载后,对房间中的火灾过程采用场模型FDS模拟,起火层内的其他房间利用区域模型CFAST模拟,模拟时间设定为1 200 s。环形走廊被划分为12个串联的通道,模拟时设定前室门开启,非起火房间的房门未开启,将FDS模拟得到的数据导入CFAST中,这些随时间变化的参数包括:火灾功率、燃料的热解率、起火房间内CO<sub>2</sub>和CO的生成量等,见图2。

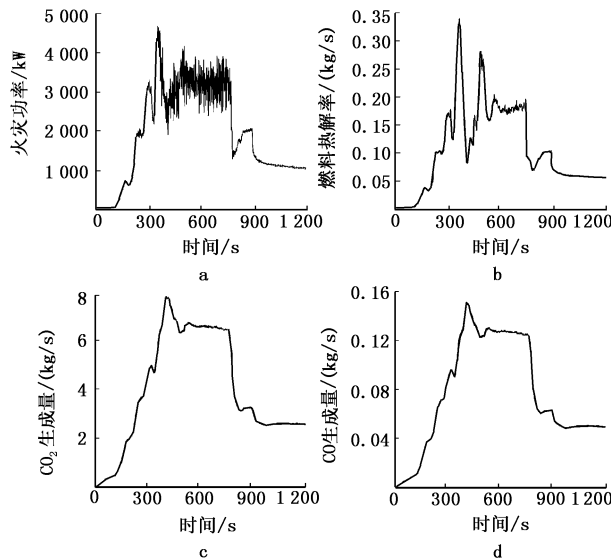


图2 CFAST输入参数

## 2 模拟结果及分析

### 2.1 走廊内烟气运动分析

为了比较走廊排烟与无排烟两种情况的差别,首先介绍一下走廊无排烟时的模拟结果。图3给出走廊内各区域(起火房间位置及走廊内分区见图1)烟层高度随时间的变化。

一般认为,烟气层界面降至1.5 m后便会影响人员安全疏散。从图3可见,房门全关(起火房间除外)条件下,起火后130~170 s,走廊内各区域烟层界面相继下降至1.5 m,200~250 s后,烟层降至1.0 m以下。此后,烟层界面高度发生交错变化,距离起火房间最远的10,11,12等区域烟层界面下降至地面,而距离起火房间较近的1,2,3等区域烟层界面反而维持在一定的高度。这种现象与走廊内的温度分布有关。烟层温度越高,烟气所受到的浮升力越大,烟层界面易保持在较高的高度,相反地,当烟

气温度与空气温度相差不大时,烟气层可很快地沉降到房间下部,距离起火房间较远的区域,这种趋势更为明显。火灾初期,进入走廊的烟气温度较低,走廊内烟气的水平运动速度和下降速度都很快,烟气很快就充满走廊各区域的上部;起火300 s后,室内火灾

发展至全面燃烧阶段(见图2),进入走廊的烟气具有较高的温度,各区域的烟层界面也相应稳定在一定高度。

火灾过程产生的烟气量利用数值模拟计算得到,图4给出从起火房间排入走廊的烟气量和由走廊进入起火房间的空气量。气体体积流量根据质量流量采用下面的公式计算:

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{GRT}{p} \quad (1)$$

式中  $V$  和  $G$  分别是气体体积流量和质量流量,  $\rho$  为密度,  $R$  为气体常数,  $T$  为温度,  $p$  为压力。烟气的  $T$ ,  $R$  及  $p$  均随时间变化,其中  $T$  的变化量最大,  $p$  的变化量最小(可以忽略),这两个参数随时间的变化量直接从计算结果中获得;火灾过程中,烟气的组分浓度不断变化,因此气体常数  $R$  也随时间变化,可以利用式(2)计算  $R$  值,

$$R = \frac{R_0}{\sum M_i v_i} \quad (2)$$

式中  $R_0$  为通用气体常数,  $M_i$  与  $v_i$  分别为第  $i$  种气体组分的分子量与体积分,计算时考虑  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  及  $CO$  几种气体成分。

计算结果显示,房间Ⅲ起火时,烟气生成量最大,峰值达到4.5 m<sup>3</sup>/s(16 200 m<sup>3</sup>/h)。

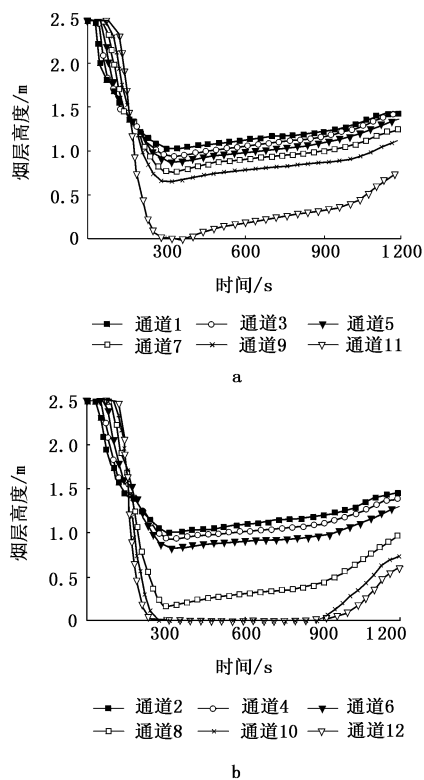


图3 走廊内各区域烟层高度变化(无排烟)

## 2.2 排烟口位置 and 数量的影响

以起火楼层为对象,采用集中排烟方式,利用数值模拟研究走廊排烟口位置和数量对烟气扩散的影响。起火层具有环形内走廊,中线长度为 56.8 m。为了比较排烟效果,设计了三种排烟方案,其中方案 1、方案 2 在环形走廊相对两侧分别设置排烟口(见图 5),每个排烟口的控制半径为 14.2 m,排烟口设在顶棚上或

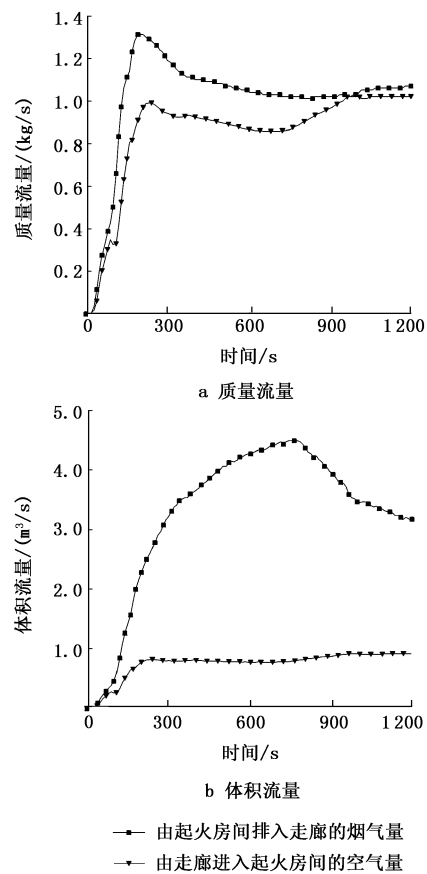


图 4 起火房门处的烟气/空气流量(房间Ⅲ起火)

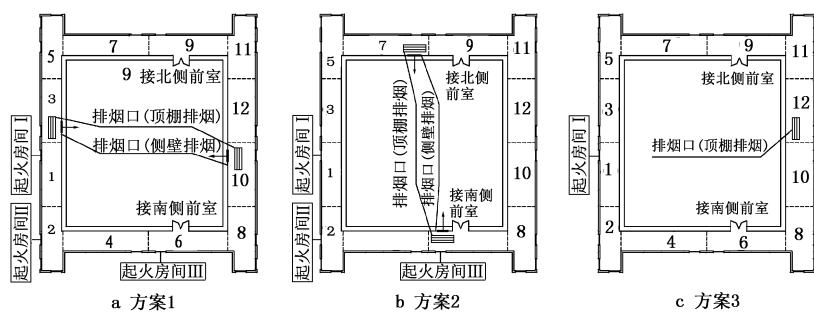


图 5 三种机械排烟方案

靠近顶棚的墙面上。顶棚排烟时,排烟口的尺寸为 1 000 mm×200 mm,距地面的高度为 2.5 m;侧壁排烟时,排烟口的尺寸为 500 mm×400 mm,排烟口下缘距地面 2.0 m。方案 3 只设一个排烟口,位于顶棚上,起火房间与排烟口位置见图 5,二者间距为 28.4 m,满足《高层民用建筑设计防火规范》8.4.5 条的要求<sup>[4]</sup>,这种情况下,起火房间与排烟口的距离最远,为机械排烟的最不利工况。

数值模拟得到从起火房间排出的最大烟气流

为 16 200 m³/h,附加一定的安全因数,设定起火层排烟量为 18 000 m³/h(单位面积排烟量 100 m³/(h·m²)),方案 1、方案 2 的每个排烟口排烟量均为 9 000 m³/h,方案 3 的排烟口排烟量为 18 000 m³/h。

数值模拟显示,采用机械排烟后,走廊下部空气层的温度低于 70℃,O₂ 平均体积分数高于 16%,CO₂ 平均体积分数低于 4%,CO 平均体积分数低于 80×10⁻⁶,在这种环境条件下,只要走廊内的烟层高度保持在 1.5 m 以上,就能够保证人员安全疏散。对前两种机械排烟方案的模拟结果表明,无论是Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ这三个房间中的哪个房间起火,走廊内大多数区域的烟层高度均能维持在 1.5 m 以上,个别区域维持在 1.4 m 左右,基本上能够保证人员的安全疏散。

图 6 显示了房间Ⅲ起火时各区域的烟层高度(限于篇幅,其他房间模拟结果不再图示)。由图可见,顶棚排烟与侧壁排烟的效果基本一致。笔者认为这一方面与排烟口位置相对较近且排烟量很大有关,另一方面,本算例中走廊的高度为 2.5 m,侧壁排烟口下缘的高度为 2.0 m,距地面较高,这种情况也易于保证机械排烟时烟气层维持在一定高度。实际工程中,很多走廊的吊顶标高只有 2.2 m,排烟口下沿降至 1.8 m 以下,很难保证安全疏

散所必需的烟层高度。因此,排烟口最好设在顶棚内。

图 7 为房间Ⅰ起火时,三种排烟方案的对比。由图可见,采用方案 1 排烟时,走廊内有较多区域的烟层高度维持在更高的水平上(房间Ⅲ起火,情况亦如此(图略));房间Ⅱ起火时,前两种方案中的排烟口位置与起火房间的距离相当,其排烟效果差别不大),综合评价模拟结果,可以认为方案 1 优于方案 2。

方案 1 易与楼梯间和前室的加压系统相配合,形成合理的气流组织,保证走廊通道内的压力分布沿人员疏散方向依次升高,控制人流密度较高的走廊通道内的烟气浓度,有利于人员疏散。排烟系统启动运行时,排烟口处于负压状态,把火灾烟气不断地吸至排烟口,通过排烟口不断排走,所以排烟口周围始终聚集一团浓烟;方案 2 中的排烟口处于

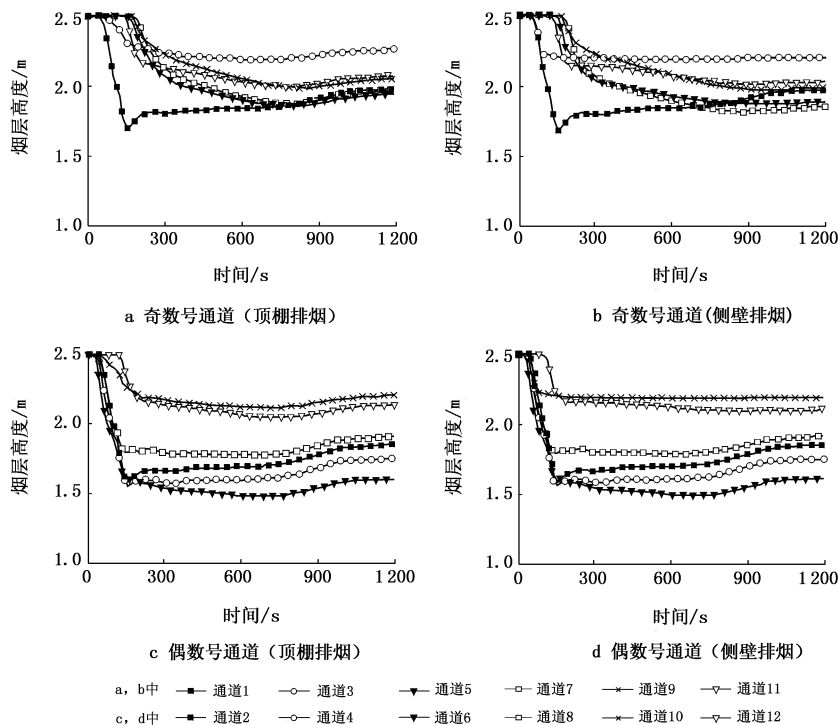


图6 走廊内各区域烟层高度的对比(方案1,房间Ⅲ起火)

前室附近,这样浓烟正好堵住安全出口,当疏散人员通过安全出口时,都要受到浓烟的影响,而且由于浓烟直接遮挡安全出口,也影响疏散人员识别安全出口位置,不利于安全疏散。对于方案3(只设一个排烟口),从图7中可以看到,起火房间附近各区域的烟层高度均低于1.5 m,有的甚至低于

1.3 m,与方案1、方案2相比,在相同的排烟量(18 000 m<sup>3</sup>/h)下,排烟效果相差很多。这说明排烟口的数量对排烟效果影响也很大。

### 2.3 排烟量的影响

排烟量分别取 11 000 m<sup>3</sup>/h 和 24 000 m<sup>3</sup>/h,折合到单位面积排烟量分别为 60 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>)和 135 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>)。图8,9 分别为采用方案1、方案3,改变排烟量后的模拟结果。通过对比可以发现,增大排烟量后,排烟口附近区域的烟层高度有一定升高;对于方案1,起火房间与排烟口之间的区域烟层高度变化不大,两个排烟口之后的区域烟层高度有一定升高,这是因为大部分烟气可以通过排烟口排出,随着排烟量的增大,通过排烟口进入后面区域的烟气量明

显减少;对于方案3,离排烟口较远的区域受到的影响不大。排烟口外某一点的气流速度随排烟口的吸气范围增大而减小,与该点至排烟口距离的平方成反比,随着与排烟口距离的增加,气流速度衰减很快。由于走廊较长,排烟口对于远处烟气的控制能力很

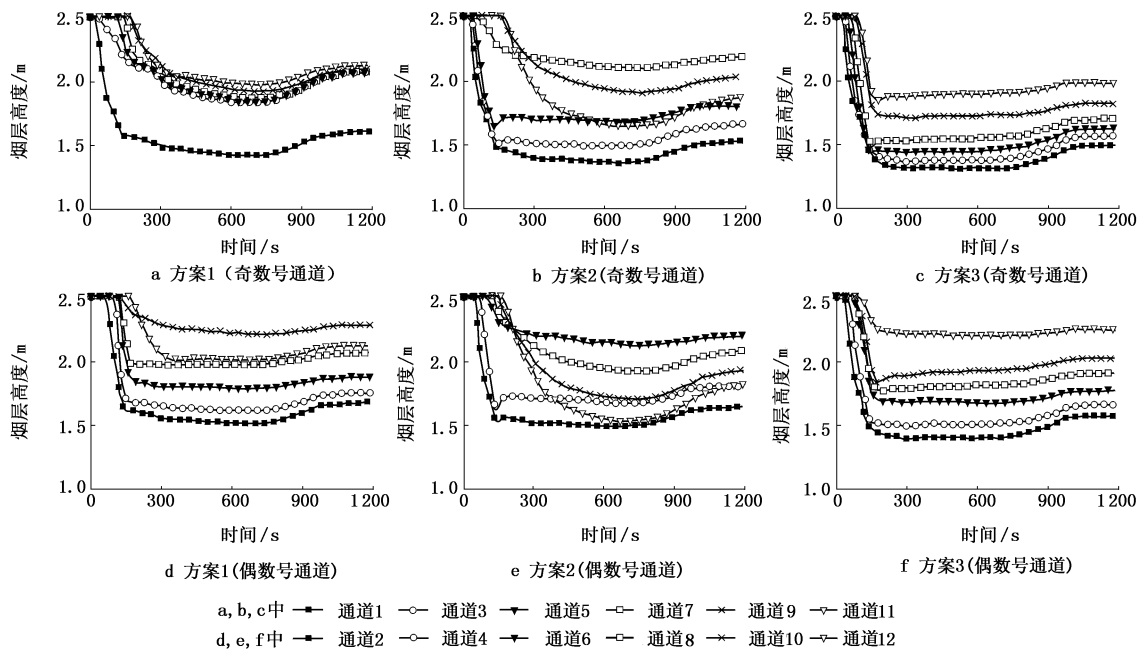


图7 三种排烟方案的对比(房间Ⅰ起火,顶棚排烟)

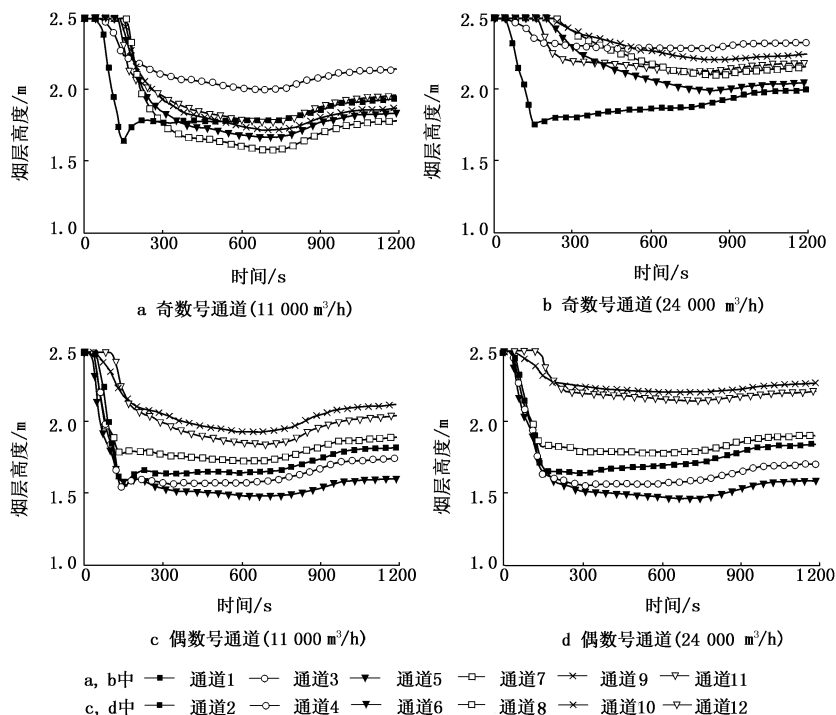


图8 不同排烟量时走廊内各区域烟层高度变化(房间Ⅲ起火,方案1,顶棚排烟)

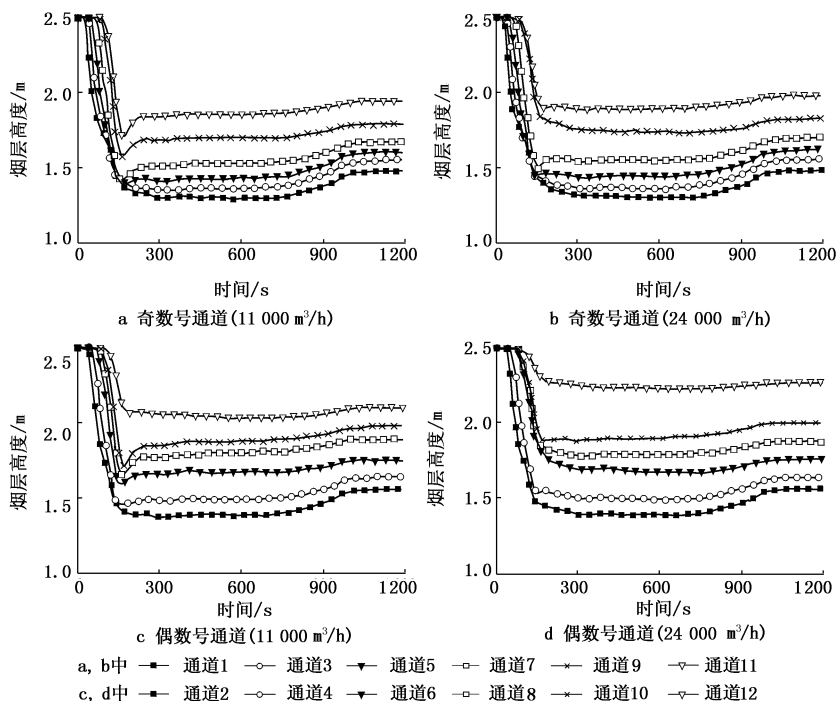


图9 不同排烟量时走廊内各区域烟层高度变化(房间Ⅰ起火,方案3)

差,仅靠增加排烟量不会取得更好的排烟效果。因此,在条件允许的情况下,建议降低每个排烟口的控制半径,增加走廊内排烟口的数量。

为了考察增大排烟量对排烟效果的影响,算例

中将单位面积排烟量取为  $135 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ,模拟结果显示排烟的总体效果并无明显改善,这进一步证明我国《高层民用建筑设计防火规范》规定的单位面积排烟量  $60 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  可以满足烟气控制要求。

### 3 结论

3.1 对高层建筑走廊机械排烟系统,目前尚无可行的性能评价方法。本文提出的场—区复合模型,为评价排烟系统性能提供了一种定量分析方法。

3.2 数值模拟显示,与排烟量相比,排烟口位置对排烟效果影响更大。增加排烟口的数量,降低每个排烟口的控制半径可以取得更好的排烟效果。

3.3 排烟口应尽量远离疏散出口(前室附近),这样排烟系统易与楼梯间和前室的加压系统相配合,形成合理的气流组织,保证走廊通道内的压力分布沿人员疏散方向依次升高(烟气流动方向与疏散方向相反),有利于人员疏散。

### 参考文献

- 1 Kevin B McGrattan, Howard R Baum, Ronald G Rehm, et al. Fire dynamics simulator—technical reference guide. Version 3. NISTIR 6783, 2002
- 2 Kevin B McGrattan, Glenn P Forney, Jason E Floyd, et al. Fire dynamics simulator—user's guide. Version 3. NISTIR6784, 2002
- 3 Richard D Peacock, Paul A Reneke, Walter W Jones, et al. A user's guide for FAST: engineering tools for estimating fire growth and smoke transport. 2000