

【文章编号】 1004-1540(2010)02-0118-06

# 基于 FDS 的餐饮业油烟道火灾场景模拟

曲 方, 谢正文, 袁 巧, 尚三楼

(中国计量学院 质量与安全工程学院, 浙江 杭州 310018)

**【摘 要】** 为了获取餐饮业油烟道火灾参数, 研究了油烟道内火灾过程中烟气温度及浓度随时间的变化和在空间上的分布规律. 利用 FDS 软件建立餐饮业油烟道模型, 对油烟道火灾发展过程进行了全尺寸模拟. 通过对模拟和实验数据分析处理, 给出了油烟道火灾发生过程中烟气浓度和温度的变化规律, 为进一步设计研发餐饮业油烟道火灾自动报警灭火系统提供理论依据.

**【关键词】** 餐饮业烟道; 油烟道火灾; 数值模拟

**【中图分类号】** X932

**【文献标识码】** A

## Scenario simulation of catering industry flue fire based on FDS

QU Fang, XIE Zheng-wen, YUAN Qiao, SHANG San-lou

(College of Quality and Safety Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In order to obtain the parameters of flue fire, smoke concentration and temperature changes in time and space were studied. By FDS software, a model for fog discharging pipes of cooking was established; and the process of fire development was simulated. By processing and analyzing experimental data, the smoke concentration and temperature change rule of the flue fire is obtained.

**Key words:** fog discharge pipe of cooking; cooking oil tar; fire disaster; numerical simulation; FDS

近年来随着计算机性能的大幅度提高, 数值模拟计算方法在科学研究和工程应用中的作用越来越大. 数值模拟技术能够给出火灾过程中的细节, 可以部分取代费用高昂的全尺寸火灾实验, 获得火灾自动报警灭火系统设计和评价建筑的火灾安全性所需的数据.

FDS 软件具有合适的网格密度和特别的快速算法, 是模拟火灾动力学中大涡的通用程序. 它可以较为快速、准确地分析三维火灾问题, 可

以借用其它三维造型软件和网格生成工具, 处理一些比较复杂的几何形状及尺寸, 分析火灾发展的过程和烟气的蔓延过程. 同时, FDS 具有开放的程序体系结构, 良好的后续处理能力, 计算结果可得到较多实验的验证. 因此, 该软件在火灾科学领域得到广泛的应用. 本文是在 FDS 程序的基础上进行了餐饮业油烟道在受限空间内燃烧过程场模拟分析, 研究了油烟道内火灾发展和蔓延规律.

**【收稿日期】** 2010-02-27

**【基金项目】** 浙江省科技计划项目(No. 2007C23063)

**【作者简介】** 曲 方(1964-), 男, 陕西凤县人, 教授. 主要研究方向为安全技术及工程、火灾探测及防护、矿业安全等.

# 1 油烟道火灾模拟的 FDS 模型

## 1.1 FDS 模型介绍

FDS 采用因火灾引发流体流动的计算流体力学(CFD)模型,该软件对低速热力流动的 Navier-Stokes 方程做出了数值近似解,并把重点放在火灾的烟气和热量转移上.用有限差分来近似质量守恒、动量守恒和能量守恒的偏微分方程,解决方法是实时校正三维直线网格的信息.其湍流模型采用 Smagorinsky 式的大涡模型,燃烧模型采用混合分数模型<sup>[4,7]</sup>.

考虑到网格解析和计算机的计算速度,在流动和热变化迅速的区域采用局部网格加密,即采用 FDS 中的 Multi-blocking 方法.分别对近火源区域、远火源区设置 Mesh 和网格解析大小. FDS 求解的一组可压缩理想气体的质量、动量和能量守恒方程如下:

质量守恒方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

组分守恒方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot Y_i \mathbf{u} = \nabla \cdot (\rho D)_i \nabla Y_i + \dot{W}_i^m \quad (2)$$

动量守恒方程

$$\rho \left( \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) + \nabla P = \rho \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \quad (3)$$

能量守恒方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \dot{q}^m - \nabla \cdot \mathbf{q}_r + \nabla \cdot k \nabla T + \nabla \cdot \sum_i h_i (\rho D)_i \nabla Y_i \quad (4)$$

式(1~4)中: $\rho$ —气体密度; $\mathbf{u}$ —气体速度; $Y_i$ —组分 1 的质量分数; $D$ —组分 1 的传质系数; $\dot{W}_i^m$ —组分  $l$  的质量流量; $g$ —当地重力加速度; $p$ —气体上的外部力; $\boldsymbol{\tau}$ —黏性力张量; $h$ —焓值; $\mathbf{q}_r$ —辐射热通量向量; $k$ —空气的热导率; $T$ —气体温度; $h_i$ —组分  $i$  的焓<sup>[5,6]</sup>.

## 1.2 油烟道火灾模拟的物理模型及边界条件

本文餐饮业烟道的模型是根据某学校食堂烟道的实物来进行模拟的,该烟道由烟罩、横管(长 3.5 m)、竖管(长 2 m)和折管(长 3 m)组成.烟道的弯角是圆弧结构,图 1~3 分别为从正面、侧面

和仰视三个角度的烟道物理模型.模拟时假设火源尺寸为 0.1 m×0.1 m×0.1 m(长×宽×高),火源位置设在横管的左边部位,如图 1~2.

图中,烟道管壁上沉积了一层油垢,在烟道壁上均匀铺设温度传感器如图 3.位于横管上的火源如图 2.

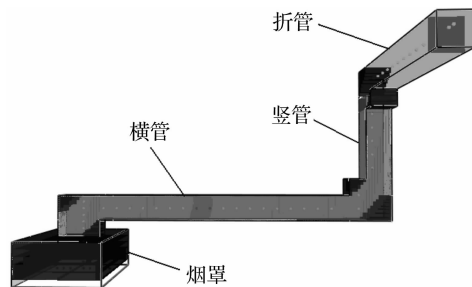


图 1 烟道模型(正面)

Figure 1 Model of flue (Front)

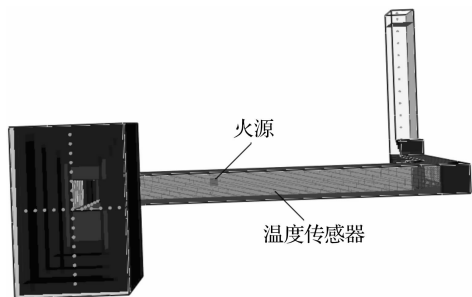


图 2 烟道模型(仰视)

Figure 2 Model of flue (Looking up)

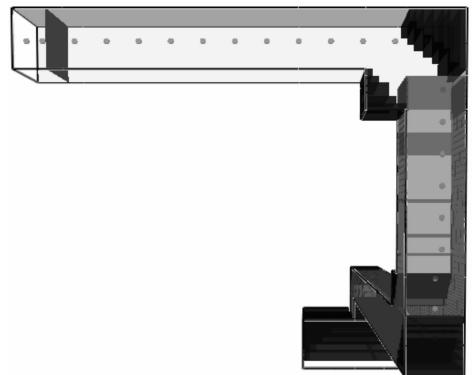


图 3 烟道模型(侧面)

Figure 3 Model of flue (Side)

和火灾增长阶段,热释放速率按照  $t^2$  增长规律进行设计,火灾增长系数按照超快速火取值 0.187 6,火灾发生 56 s 后热释放速率达到稳定.本次模拟取热释放速率稳定时达到 600 kW,图 4

为烟道热释放速率的变化. 热释放速率在 56 s 迅速增大至 600 kW, 并在后一段时间相对保持稳定, 最后由于燃烧的结束, 热释放速率下降至最低.

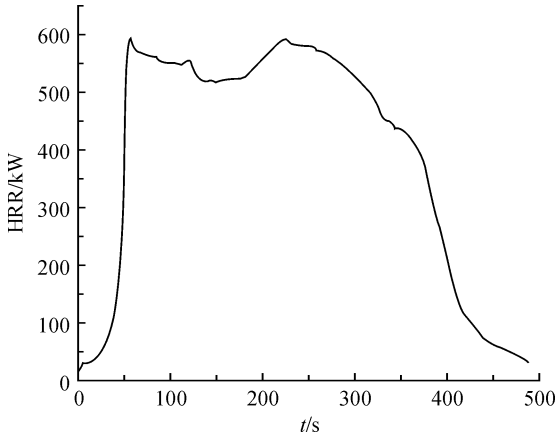


图4 烟道热释放速率的变化

Figure 4 Changes in heat release rate of flue

## 2 模拟结果与分析

### 2.1 烟气扩散规律

利用 FDS 软件对油烟道着火过程中烟气的蔓延进行全过程模拟, 图 5 为烟道内火灾过程中烟气蔓延过程在不同时间的截图. 火源被点燃后, 沉积在烟道壁上的油垢随之燃烧产生烟气. 烟气受热上升, 在 50 s 内开始向烟道的竖直方向蔓延, 到 100 s 烟气开始充满竖管和折管, 到达 150 s 左右烟气已蔓延至整个油烟管道, 能见度比较小, 沉积在壁面上的油垢也开始逐渐烧尽, 竖管部分的壁面首先褪去颜色, 代表壁面油垢被烧尽. 由于烟道壁面的冷却及重力, 烟气下沉. 从 300 s 开始, 竖管的烟气向横管下沉, 而存留在折管的烟气由于烟道结构的原因, 停留在折管, 到 400 s 随着壁面上沉积的油垢几乎被烧尽, 火势减弱, 烟气扩散至横管和折管, 竖管留有极少的烟气.

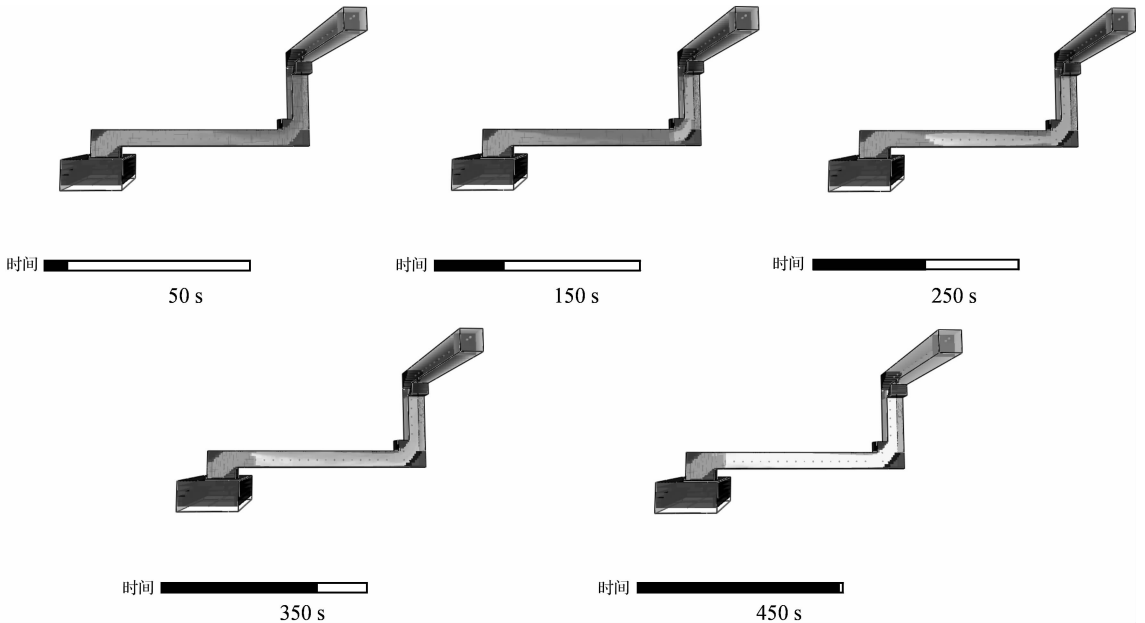


图5 不同时间下油烟道烟气蔓延情况

Figure 5 Spread of flue gas in different times

### 2.2 温度分布规律

烟气是热量的主要携带者, 烟气分布、火羽蔓延速度、烟层厚度以及烟气流动状态等均导致温度梯度变化. 火羽蔓延导致烟道内部温度发生变化, 图 6 是在烟道内火灾发生时, 不同时刻表面温

度变化的趋势. 布置在烟道内的温度传感器可以测得到不同时刻不同位置, 烟道内随着油垢燃烧造成火灾时的温度变化.

由图 6 发现, 在整个油烟道火灾发生过程中, 烟道内的温度随着燃烧开始快速升高, 在 50 s 内

局部温度就达到  $1\ 000\ ^\circ\text{C}$  左右,在燃烧进行一段时间后,局部温度保持相对稳定,随后随着油垢的殆尽,烟道内温度开始冷却下降直至  $100\ ^\circ\text{C}$  左右.从整个燃烧过程可以发现,烟道内火灾在短时间

内迅速达到最高温度,且较高温度的区域主要集中在横管和竖管这两部分,折管的温度相对较低,而烟罩的温度也始终保持在  $60\ ^\circ\text{C}$  左右.

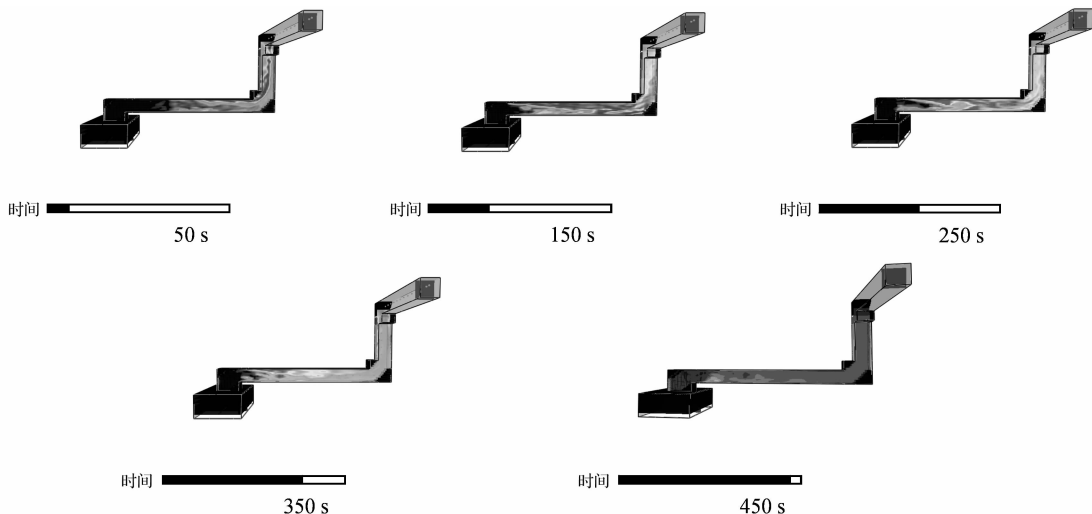


图6 不同时间下油烟道温度分布情况

Figure 6 Flue temperature distributions in different times

在烟道内设置的测温点如图7,图8为其中10个测温点所测得的在烟道火灾过程中温度随时间变化的关系图.

从图8可以发现除了烟罩处及其周围由于受到火灾影响小,温度波动不大以外;其他的几个点都是在火灾发生后,在很短的时间内温度迅速达到一个最大值,并相对稳定地保持在高温一段时间.随后随着烟道内油垢的殆尽,燃烧结束,温度也快速降低.且点4到点8之间,烟道温度相对较高,最高达到  $1\ 100\ ^\circ\text{C}$  左右.

### 2.3 火羽蔓延规律

图9为烟道内火灾过程中火羽蔓延过程在不同时间的截图,从中可以看到在火羽在烟道内蔓延非常迅速,50 s内已经蔓延横管和竖管,并大面积持续燃烧.直至300 s左右火羽充满至整个油烟管道,燃烧剧烈,450 s后,随着可燃物的殆尽,火羽逐渐熄灭.从图9中发现,火羽虽然蔓延迅速剧烈,但由于烟道结构影响和限制,火羽几乎没有蔓延至上面的折管,仅在竖管和横管进行了剧烈燃烧和蔓延.

同时可以发现,在离火源较短的距离内,烟气流的流速开始增加较快,一定距离后开始变缓,到达最大值后,随后缓慢降低,这反映出由持续火羽向间歇火羽的转变.

## 3 结语

1)通过FDS模拟软件对饮食业油烟道内部的火灾进行模拟,得到了火灾发生后烟气蔓延过程以及温度变化和火羽蔓延规律.

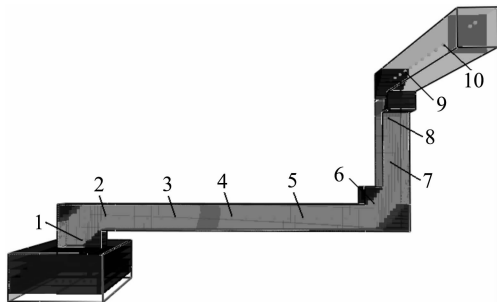


图7 烟道内测温传感器布置点

Figure 7 Arrange the temperature sensor in flue

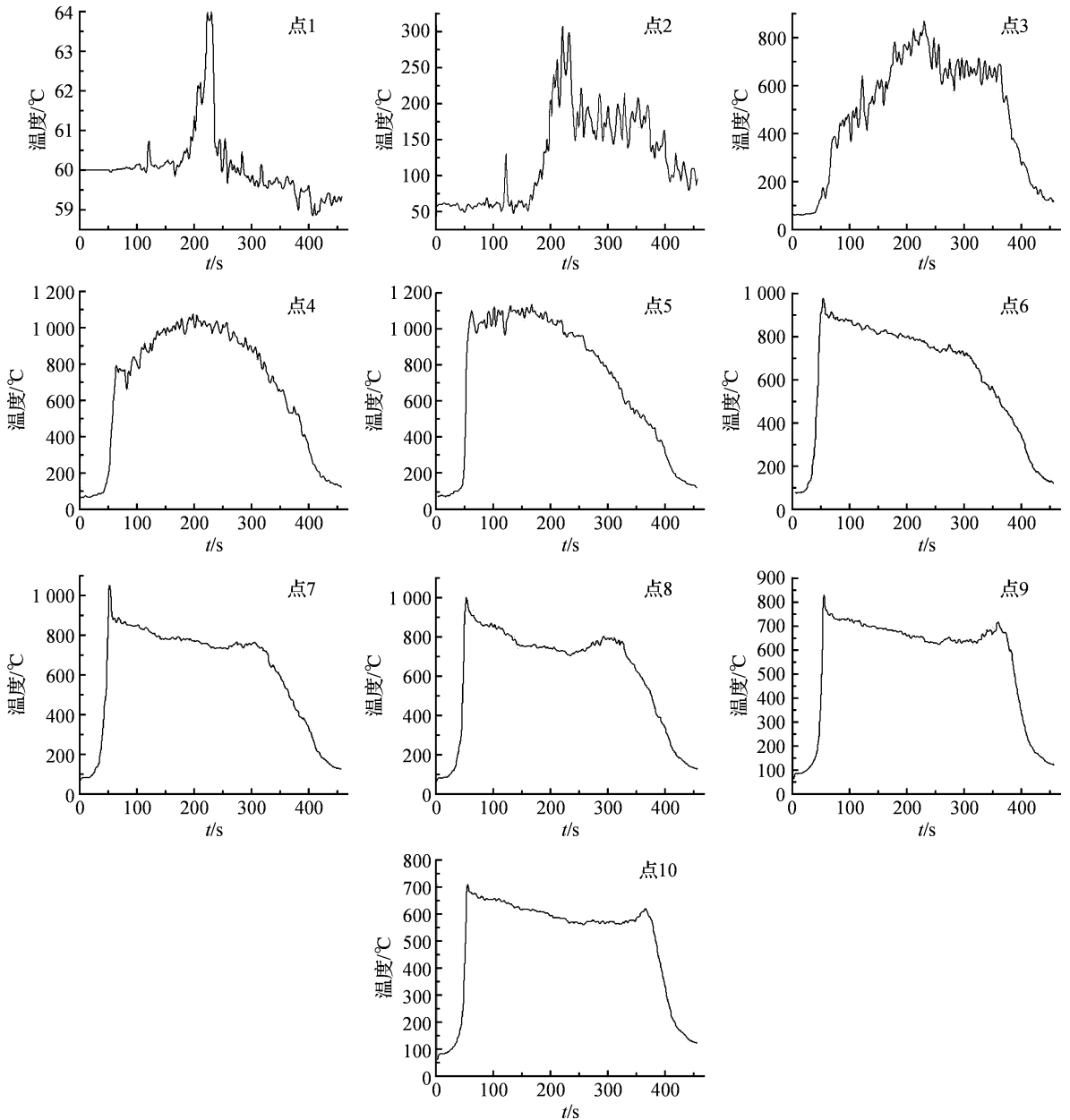


图8 烟道测温点温度曲线

Figure 8 Temperature curve of temperature measurement points in flue

2)除了烟罩处及其周围由于受到火灾影响小,温度波动不大,其他的几个测温点在火灾发生后,很短的时间内温度迅速达到一个最大值,并相对稳定地保持在高温一段时间,随后随着烟道内油垢的殆尽,燃烧结束,温度也快速降低。且点4到点8之间,烟道温度相对较高,最高达到1100℃左右。

3)研究发现,火源被点燃后,火羽在横管传

播,并在短时间内迅速蔓延至竖管,火羽虽然蔓延迅速剧烈,但由于烟道结构影响,火羽几乎没有蔓延至上面的折管,仅在竖管和横管进行了剧烈燃烧和蔓延

4)如果能在火羽蔓延至竖管之前,将火羽扑灭,则可以有效地遏制烟道火灾的进一步加剧而造成重大事故。

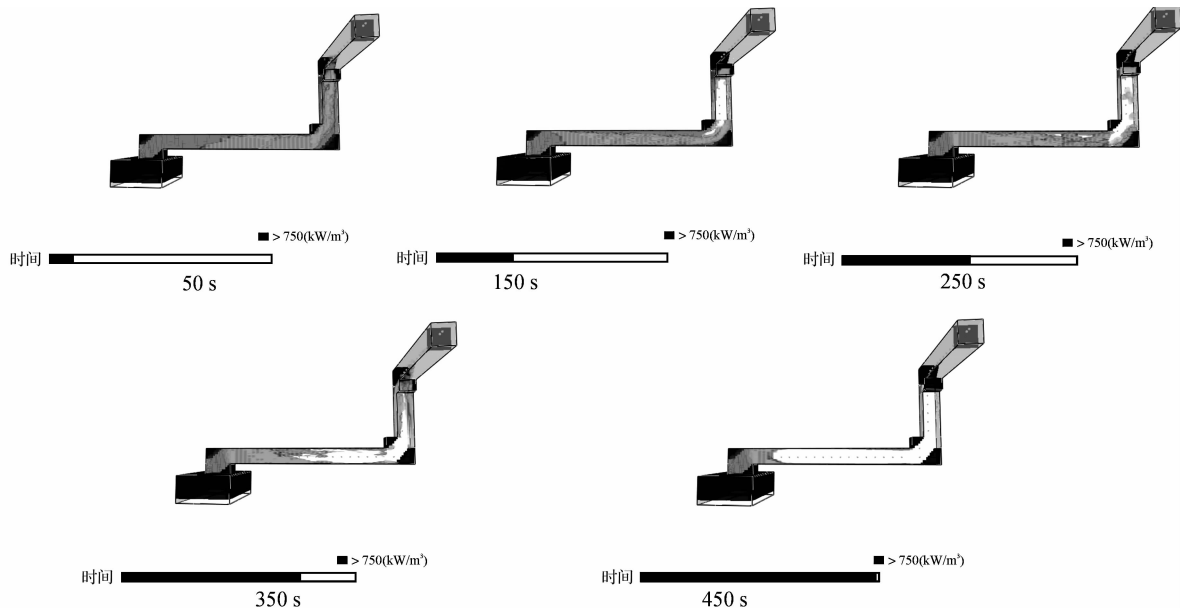


图9 不同时间下油烟道火羽蔓延情况

Figure 9 Spread of fire plume in flue in different times

## 【参 考 文 献】

- [1] 梁强,魏东. 双层岛式地铁车站火灾烟气蔓延数值模拟与分析[J]. 热科学与技术, 2008, 7(2): 161-166.
- [2] 谢正文,吴超,梁晓瑜,等. 餐饮业油烟道火灾的模糊事件树分析[J]. 火灾科学, 2009, 18(1): 10-14.
- [3] 郑如,谢正文,袁巧. 油烟道火灾事故模糊事故树分析[J]. 安全, 2009, 30(1): 5-8.
- [4] 周彪,江记记,白亚楠. 基于FDS的T型电缆隧道火灾探究[J]. 消防科学与技术, 2008, 27(7): 502-505.
- [5] 王春,江帆,区嘉洁. 不同通风模式下地铁车站内列车火灾的数值模拟[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2007, 6(5): 64-68.
- [6] 常虹. 某高校宿舍楼火灾再现模拟研究[J]. 消防技术与产品信息, 2008, 10(8): 8-11.
- [7] 杨洁. 多房间多层建筑火灾烟气流动的数值模拟及排烟设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2004.
- [8] 祝启坤,覃雯,胡文军,等. 中公路隧道火灾的模拟研究[J]. 西部探矿工程, 2008, 20(10): 205-207.
- [9] 梁国伟,文英杰,黄震威,等. 热式气体流量计原理及影响因素分析研究[J]. 中国计量学院学报, 2008, 19(3): 201-205, 224.
- [10] 何馨雨,苏中地,殷兴景,等. 旋进旋涡流量计的数值模拟研究[J]. 中国计量学院学报, 2008, 19(4): 314-318.
- [11] 黄震威,梁国伟,赵伟国,等. 组合热膜探头热式气体流量计的研制[J]. 中国计量学院学报, 2009, 20(1): 27-30.