

# 上送风幕式抽油烟机的数值模拟研究

王 刚, 王汉青, 寇广孝, 王志勇, 朱 辉

(湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412008)

**摘 要:** 以家用厨房作为研究对象, 分析了当前家用厨房油烟污染现状, 指出厨房抽油烟机捕集油烟是一种控制油烟污染的有效方式; 采用计算流体力学仿真技术, 对深吸型抽油烟机控制油烟的不同方式进行了分析比较。通过增设上送式风幕, 改善了抽油烟机的气流组织形式, 提出了一种新型家用厨房抽油烟机。

**关键词:** 厨房油烟污染; 上送式风幕; 抽油烟机; 数值模拟

**中图分类号:** TU834

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2009)01-0024-04

## Numerical Simulation Research on Upward Air Supply Curtain of Lampblack Presser

Wang Gang, Wang Hanqing, Kou Guangxiao, Wang Zhiyong, Zhu Hui

(School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

**Abstract:** Taking a domestic kitchen as an example, the current fume pollution condition is analyzed and the kitchen lampblack presser is an efficient fume control method is also pointed out. With the computational fluid dynamics (CFD) simulation technology, a comparative analysis is carried out under different fume control performances of deep absorption lampblack presser. By adding upward air supply curtain, it improves airflow mode of lampblack presser. Finally a new domestic kitchen lampblack presser is also put forward.

**Key words:** kitchen fume pollution; upward air supply curtain; lampblack presser; numerical simulation

## 0 前言

厨房中燃料燃烧以及烹饪过程中所产生的油烟气含有多种有毒化学成分, 极其威胁人体健康<sup>[1-3]</sup>。中国室内装饰协会室内环境监测中心的研究表明, 厨房是家庭中空气污染最严重的空间, 其污染来源主要有两方面: 一是燃料燃烧释放出的 CO、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等有害气体; 二是烹饪菜肴时产生的油烟<sup>[4,5]</sup>。

厨房油烟的扩散容易造成厨房局部空间污染严重, 扩散的油烟不仅对厨房操作人员的健康构成威胁, 甚至还可能向客厅蔓延, 影响家人的健康。抽油烟机能有效地控制油烟的扩散、防止油烟的蔓延。抽油烟机按照集烟罩深浅程度的不同, 可分为深型、薄型以及半深型 3 种型式<sup>[6]</sup>。深型罩有较好的油烟控制效果, 但需要较大的排风速度。本文采用计算流体力学仿真的

方法, 对居民厨房新型上送风幕式深型抽油烟机进行了研究, 提出了一种新型家用厨房抽油烟机。

## 1 数值计算的模型

### 1.1 物理模型

本模型选定的厨房尺寸为 3 m × 2 m × 2.8 m ( $L \times W \times H$ ), 计算中涉及到的单个锅口直径为 0.32 m, 抽油烟机排油烟出口直径为 0.25 m, 上送风幕出风口采用条缝型风口, 出风口宽度为 0.02 m, 风幕尺寸为 0.8 m × 0.5 m ( $L \times W$ ), 采用三角形非结构化网格进行面网格划分, 体网格采用 Tgrid 划分方案, 网格质量评价常用标准 EquiAngle Skew (等角失真) 值平均在 0.4~0.5 之间, 属于高质量网格, 划分的网格数为 221 117 个, 厨房结构及网格分布如图 1 所示。

收稿日期: 2008-11-03

作者简介: 王 刚 (1984-), 男, 安徽宿州人, 湖南工业大学硕士研究生, 主要研究方向为计算流体力学的应用, 建筑节能,

E-mail: 276691633@qq.com

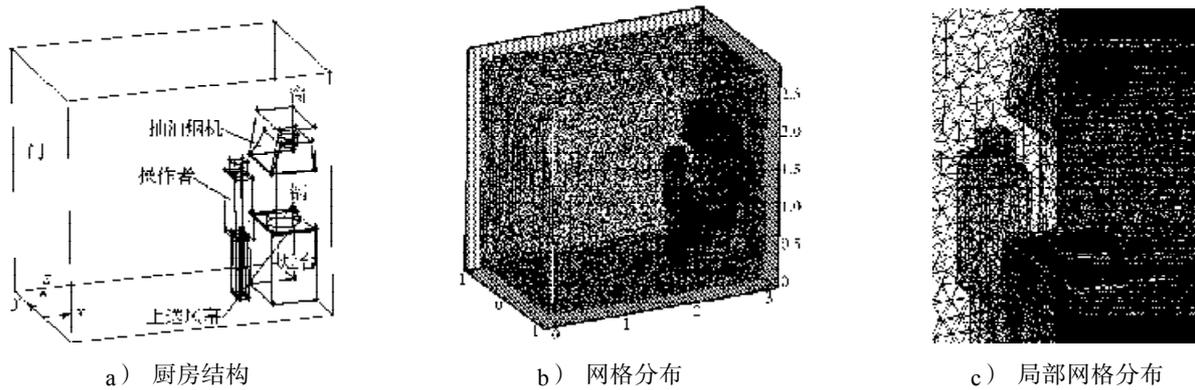


图1 厨房结构和计算网格分布

Fig. 1 Kitchen structure and computing grid distribution

在划分的网格中,  $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向范围分别为  $(0, 3)$ 、 $(-1, 1)$ 、 $(0, 2.8)$ 。对计算结果进行分析时, 取  $y=0$  m 截面(抽油烟机中心面)作为研究对象, 研究截面及排油烟速度  $V_p$ 、上送风幕吹风速度  $V_c$ 、油烟出口速度  $V_s$  的方向、位置示意如图2。

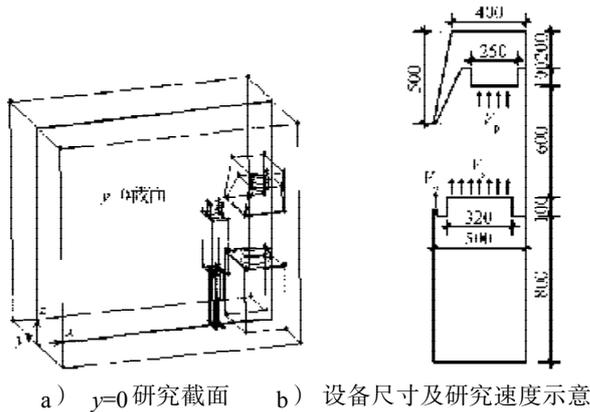


图2 研究截面、设备尺寸及研究速度

Fig. 2 Research of cross-sections, equipment size and velocity

### 1.2 数学模型

为了对抽油烟机油烟控制效果进行研究, 本文对抽油烟机在不同的工作状态下厨房内气流速度场进行了计算。标准  $k-\epsilon$  两方程模型是最简单的完整湍流模型, 其使用范围广、精度合理。本论文采用雷诺平均法中标准  $k-\epsilon$  两方程模型作为计算数学模型, 速度和压力的耦合采用 SIMPLE 算法进行求解, 计算作如下假设: 1) 假设气流为稳态湍流; 2) 流体作低速不可压缩流动且符合 Boussinesq 假设; 3) 忽略能量方程中由于粘性作用而引起的能量耗散。厨房内空气湍流流动控制方程可表示为<sup>[7]</sup>:

$$\text{连续性方程 } \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0;$$

$$\text{动量方程 } \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_j \bar{u}_i) -$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu_{\text{eff}} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] + g \beta \Delta T \delta_{z,i};$$

$$\text{紊流能量方程 (k 方程)} \quad \frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_j k) =$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_{k, \text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \epsilon_k - \sigma_k \frac{k^2}{v_i};$$

$$\text{紊流能量耗散率方程 (\epsilon 方程)} \quad \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_j \epsilon) =$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_{\epsilon, \text{eff}} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + \sigma_\epsilon \sigma_k k \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \sigma_\epsilon \frac{\epsilon^2}{k}.$$

### 1.3 边界条件

对于速度, 按照固体壁面无滑移边界条件处理。抽油烟机排油烟出口、风幕射流出口、锅油烟释放出口设定为速度入口边界条件 (velocity inlet); 假定厨房窗户是关闭的, 围护结构保温性能良好, 壁面按绝热边界处理; 设定厨房门为自由出口 (outflow)。

## 2 计算结果分析

本文研究的抽油烟机排油烟速度 ( $V_p$ ) 有快档和慢档, 分别取 2.1 m/s 和 1.3 m/s, 所采用的油烟出口速度  $V_s$  根据实验测得, 本文在 0.3~1.0 m/s 之间取值。在设置上送式风幕的新型抽油烟机中, 考虑到上送射流可能给操作者带来的吹风感以及射流速度对于油烟捕集的影响, 上送风幕吹风速度  $V_c$  在 0.3~1.5 m/s 之间取值, 射流角度取  $0^\circ$  ——垂直于灶台 (射流角度对油烟捕集的具体影响, 有待进一步研究)。

### 2.1 无风幕时的控制

在无风幕的抽油烟机性能研究过程中, 取排油烟速度  $V_p$  为 1.3 m/s, 计算油烟散发速度  $V_s$  分别为 0.3 m/s, 0.5 m/s, 0.6 m/s, 0.7 m/s 时的流场; 取排油烟速度  $V_p$  为 2.1 m/s, 计算油烟散发速度  $V_s$  分别为 0.7 m/s, 0.8 m/s, 0.9 m/s, 1.0 m/s 时的流场。抽油烟机中心面 ( $y=0$ ) 油

烟散发的流线图及速度场如图3、4所示。

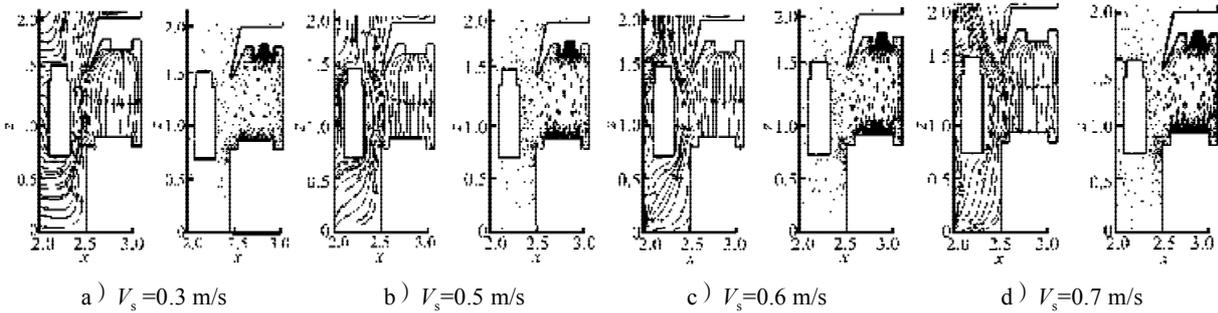


图3  $V_p=1.3 \text{ m/s}$  时油烟散发速度流线及速度场

Fig. 3 The flow pattern and velocity field diagram of fume emission while  $V_p=1.3 \text{ m/s}$

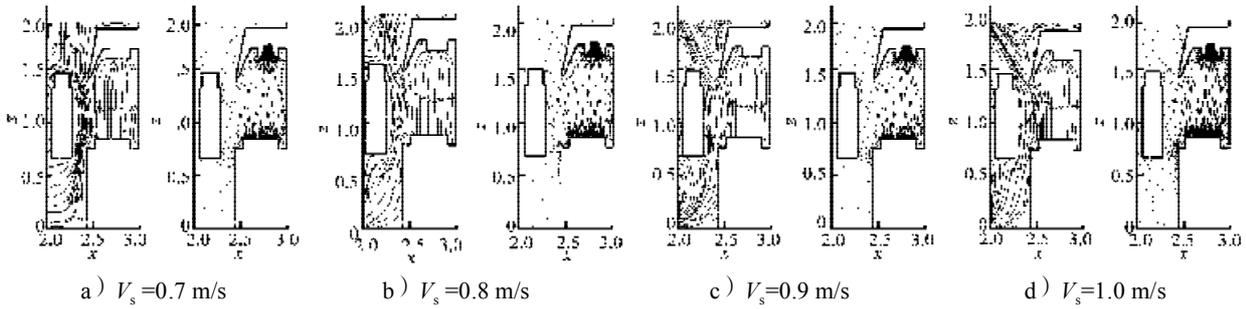


图4  $V_p=2.1 \text{ m/s}$  时油烟散发速度流线及速度场

Fig. 4 The flow pattern and velocity field diagram of fume emission while  $V_p=2.1 \text{ m/s}$

由图3、4可以看出，当油烟散发速度  $V_s < 0.7 \text{ m/s}$ ，抽油烟机的排油烟速度  $V_p=1.3 \text{ m/s}$  时，油烟基本能排尽；当油烟散发速度  $V_s=0.7 \text{ m/s}$ ，抽油烟机的排油烟速度  $V_p=1.3 \text{ m/s}$  时，有部分油烟逃逸，将排油烟速度  $V_p$  加大至  $2.1 \text{ m/s}$  时才能将产生的油烟排尽。但在油烟散发速度  $V_s=1.0 \text{ m/s}$  时，即使排油烟速度  $V_p=2.1 \text{ m/s}$ ，仍有少量油烟逃逸。

### 2.2 设置上送式射流风幕时的控制

在对上送风幕式抽油烟机性能进行研究的过程中，当排油烟速度  $V_p$  取  $1.3 \text{ m/s}$ 、油烟散发速度  $V_s$  取  $0.7 \text{ m/s}$  时，计算上送风幕吹风速度  $V_c$  分别为  $0.7 \text{ m/s}$ 、 $1.0 \text{ m/s}$ 、 $1.2 \text{ m/s}$ 、 $1.3 \text{ m/s}$ 、 $1.4 \text{ m/s}$  时的油烟捕集效果。抽油烟机中心截面 ( $y=0$ ) 油烟散发的流线及速度场如图5所示。

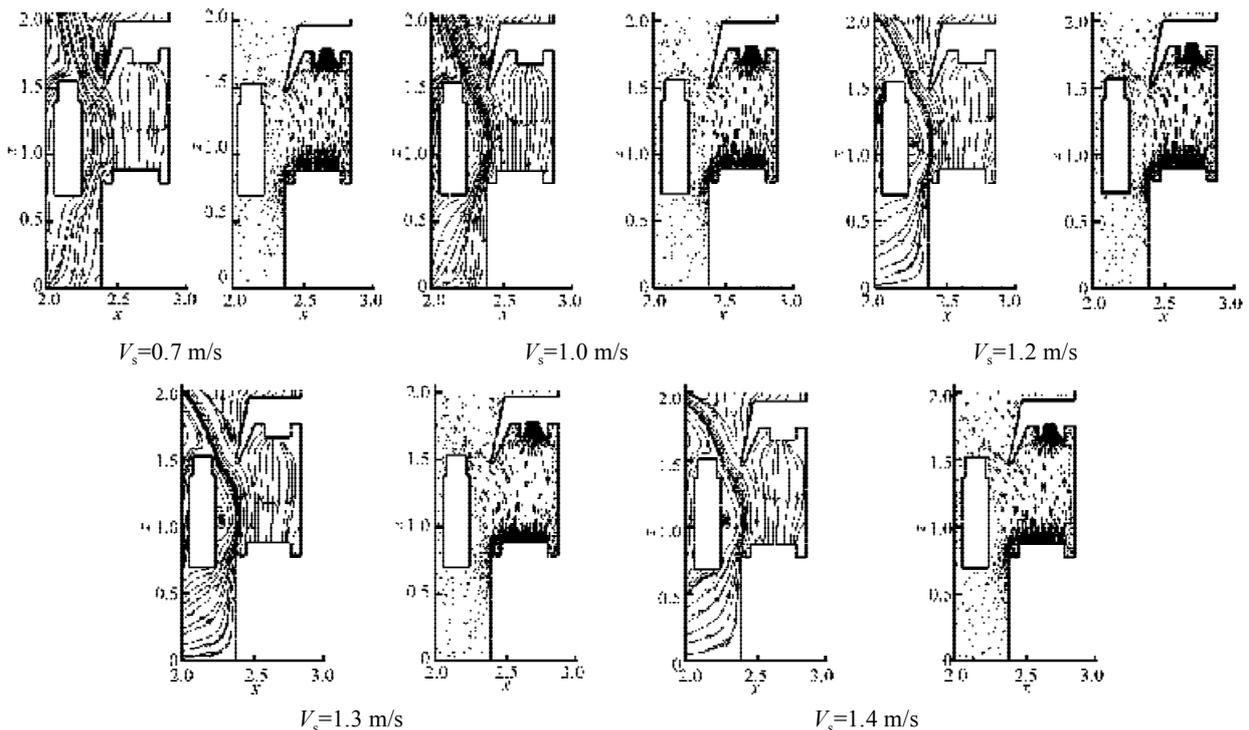


图5  $V_p=1.3 \text{ m/s}$ 、 $V_s=0.7 \text{ m/s}$  时油烟散发流线及速度场

Fig. 5 The flow pattern and velocity field diagram of fume emission while  $V_p=1.3 \text{ m/s}$  and  $V_s=0.7 \text{ m/s}$

由图5可以看出, 当油烟散发速度  $V_s=0.7$  m/s、抽油烟机的排油烟速度  $V_p=1.3$  m/s、上送吹风速度  $V_c=0.7\sim 1.2$  m/s 时, 排油烟状况与无上送风幕时的情况差别很小; 当  $V_c=1.3$  m/s 时, 风幕起到的作用逐渐明显, 到  $V_c=1.4$  m/s 时, 基本上能完全排除释放的油烟。

当排油烟速度  $V_p$  取 2.1 m/s、油烟散发速度  $V_s$  取 1.0 m/s 时, 计算上送风幕吹风速度  $V_c$  分别为 1.0 m/s、1.2 m/s、1.4 m/s、1.5 m/s 时的油烟捕集效果。抽油烟机中心截面 ( $y=0$ ) 油烟散发的流线及速度场如图6所示。

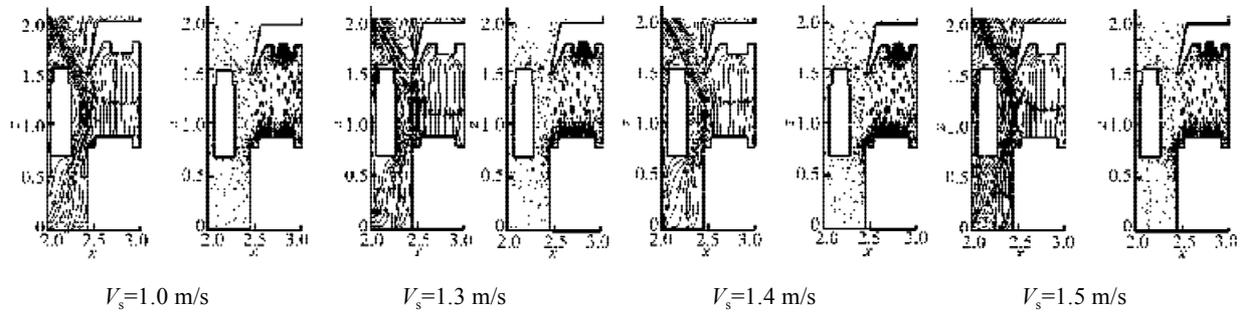


图6  $V_p=2.1$  m/s、 $V_s=1.0$  m/s 时油烟散发流线及速度场

Fig. 6 The flow pattern and velocity field diagram of fume emission while  $V_p=2.1$  m/s and  $V_s=1.0$  m/s

由图6可以看出, 当油烟散发速度  $V_s=1.0$  m/s、抽油烟机的排油烟速度  $V_p=2.1$  m/s、上送吹风速度  $V_c=1.0\sim 1.3$  m/s 时, 排油烟状况与无上送风幕时的情况差别很小; 当  $V_c=1.4$  m/s 时, 风幕起到的作用逐渐明显, 到  $V_c=1.5$  m/s 时, 基本上能完全排除释放的油烟。

### 3 结论

- 1) 通过采用CFD数值仿真计算方法, 证明了新型上送风幕式抽油烟机具有较明显的控烟效果;
- 2) 普通抽油烟机在低速档工作时可以排除释放速度为 0.7 m/s 以下的油烟; 高速档工作时, 可以排除释放速度为 1.0 m/s 以下的油烟;
- 3) 对于新型上送风幕式抽油烟机, 当抽油烟机在低速档工作、上送风幕速度达到 1.4 m/s 时, 能将释放速度为 0.7 m/s 的油烟完全排除; 而对于释放速度为 1.0 m/s 的油烟, 抽油烟机需在高速档工作、上送风幕速度达到 1.5 m/s 才能将其排尽。

### 参考文献:

[1] Rbeumer R, Kusumaningru H. Kitchen Hygiene in Daily Life[J]. International Biodeterioration&Biodegradation, 2003, 51(4): 299-302.

[2] 朱利中, 王静, 江斌焕. 厨房空气中PAHs污染特征及来源初探[J]. 中国环境科学, 2002, 22(2): 142-145.

Zhu Lizhong, Wang Jing, Jiang Binhan. Preliminary Exploration of Features and Sources of PAHs Pollution in Air of Kitchen[J]. China Environmental Science, 2002, 22(2): 142-145.

[3] 王凯雄, 朱杏冬. 烹调油烟气的成分及其分析方法[J]. 上海环境科学, 1999, 18(11): 526-528.

Wang Kaixiong, Zhu Xingdong. The Constituents in Cooking-Oil Smoke and their Analytical of Methods[J]. Shanghai Environmental Sciences, 1999, 18(11): 526-528.

[4] 张国强, 喻李葵. 室内装修——谨防人类健康杀手[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

Zhang Guoqiang, Yu Likui. Indoor Decoration-Prevention of Human Health Killer[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002.

[5] Shun Chen Lee, Wai Ming Li, Lo Yin Chan. Indoor Air Quality at Restaurants with Different Styles of Cooking in Metropolitan Hong Kong[J]. The Science of the Total Environment, 2001, 279: 181-193.

[6] 常武敏. 深型油烟机的安装高度与外形尺寸[J]. 家用电器, 1999(3): 17.

Chang Wumin. Height and Overall Dimension Setting of the Deep Absorption Lampblack Presser[J]. Household Electric Appliance, 1999(3): 17.

[7] 汤广发, 吕文瑚, 王汉青. 室内气流数值模拟与模型试验[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 1989.

Tang Guangfa, Lv Wenhuh, Wang Hanqing. Numerical Simulation and Model Experiment of Indoor Air Flow[M]. Changsha: Hunan University Press, 1989.

[8] 史漫兴, 王汉青, 王志勇, 等. 一种风幕式抽油烟机的实验研究[J]. 湖南工业大学学报, 2008, 22(3): 20-23.

Shi Manxing, Wang Hanqing, Wang Zhiyong, et al. Experimental Research on New Design for Wind-Curtain Lampblack Presser[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2008, 22(3): 20-23.

(责任编辑: 张亦静)