

## 住宅厨房通风的数值分析

邹声华<sup>1,2</sup>, 李萍<sup>2</sup>, 翁培奋<sup>2</sup>, 罗一新<sup>1</sup>

1. 湖南科技大学能源与安全工程学院, 湖南湘潭 411201;
2. 上海大学上海市应用数学与力学研究所, 上海 200732)

**[摘要]** 分析了我国现有的住宅厨房的通风方法, 认为住宅厨房通风必须采用机械通风方法。将我国现有的住宅厨房通风方式分为三类, 运用 CFD 分析方法, 分别对它们的通风特性进行了分析, 认为在建筑设计方面, 只要布置好厨房的门、窗或排风口, 就可获得较好的气流组织, 有效排放厨房的污染物, 提高厨房的空气质量。为我国住宅厨房通风设计提供了依据, 为住宅建筑设计提供了思路。

**[关键词]** 住宅厨房; 通风方法; CFD; 气流组织

**[中图分类号]** TU834 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)12-0069-04

在所有的建筑中, 住宅占有很大的比例。近年来, 人们越来越关心室内空气品质问题, 厨房是住宅建筑中的一大污染源, 厨房在烹饪时会产生大量的  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  和  $\text{CO}_2$  等燃烧气体和油烟、水汽、溴气等有害物质, 严重影响厨房内部的清洁卫生和室内空气品质; 如果厨房发生煤气泄漏, 还容易发生安全事故。因此, 必须采用合理的通风量和有效的气流组织来进行通风, 使之既能有效地排放污染气体, 又可减少室内冷(热)负荷。本文拟对住宅厨房通风方法和气流组织进行数值分析。

### 1 住宅厨房的通风方法

目前, 我国住宅厨房油烟的处理主要采用通风的方法来排放。即用清洁风流将厨房油烟等废气取代之, 并直接排放至室外。按照通风的动力进行分类<sup>[1]</sup>, 主要有自然通风和机械通风。

自然通风就是依靠由室内外空气的温度差产生的热力风压和大气中的自然风压(取决于风向和风速)以及空气分子扩散作用来排放厨房油烟的过程。这种方式简单、无投资、不消耗能源, 是一种极为经济的排放方法, 它广泛应用于农村低层建

筑。由于这种方法排风能力小, 容易受风向和风速等大气因素的影响, 排风能力也极不稳定, 容易出现油烟倒贯现象, 不能满足有组织排放油烟和有害气体要求。

机械通风是依靠通风动力(换气扇或抽油烟机)将厨房内的油烟和有害气体排出室外。这种方法结构较简单、价格低廉、安装方便。它广泛应用于城镇住宅建筑。

有研究表明<sup>[2]</sup>, 如果厨房不通风, 厨房内污染物浓度会随灶具工作时间的延长而增大, 这样, 厨房内的污染物浓度就会大大超出允许浓度, 特别是有煤气泄漏时, 必须采用机械通风的方式来排除厨房内的有害气体。

一般, 一台焦炉煤气双眼灶在工作时, 会产生  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  的有害气体<sup>[3]</sup>, 主要是水和油蒸气及  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ 。设蒸气和有害气体的组分比是 6:4, 中国建筑研究院空调研究所通过实测不同排风量下  $\text{CO}$  和  $\text{NO}_x$  的浓度变化; 然后确定厨房的排风量为  $250 \text{ m}^3/\text{h}$  左右为合适值。为了有效排放厨房内的污染气体(高温), 考虑热气流的浮力作用, 排风扇或排风口一般高于灶台  $0.8 \text{ m}$ 。

## 2 住宅厨房通风方式的数值实验

### 2.1 结构模型

一般,住宅厨房是六面体结构。取长为 2.4 m,宽 1.8 m,高为 2.8 m。厨房布有门、窗及厨具设备。灶台是厨房的主要污染源,这种污染靠通风排放。其中门是厨房通风的进风口(宽 0.8 m×2.1 m),在机械通风情况下,窗是关闭的,排风靠安装在窗或墙的排风扇或抽油烟机。考虑到烹饪作业的要求,设灶台高为 0.7 m,排风扇的安装高度为 1.5 m,排风口为正方形(0.3 m×0.3 m)。有研究表明<sup>[4]</sup>:排风口距离污染源越近排放效果越好。因此,应将灶台(污染源)设在排风扇的正下方。

### 2.2 数学模型

为了厨房通风的数学描述,要作如下假设:

1) 一般厨房的玻璃窗位于建筑物的北面,可不考虑太阳对窗玻璃的辐射,因此,玻璃窗可作墙体对待;

2) 厨房的六面(东、南、西、北墙面和楼面、地面)视为绝热壁;

3) 厨房通风为定常流;符合 Boussinesq 假设(考虑浮升力的影响);

4) 厨房内的污染物为单一组分并具有一定温度的气体,并以 CO<sub>2</sub> 作为代表物;

5) 厨房通风以排放污染物为目标,室内风速较低,属低 Re 数,层流流动。

根据流体力学的理论,其数学模型<sup>[5]</sup>描述如下:

$$\text{连续方程} \quad \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0,$$

运动方程

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

其中应力张量为

$$\tau_{ij} = \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij},$$

能量方程

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( k \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j J_j + u_j (\tau_{ij}) \right),$$

扩散方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i C_i) = -\frac{\partial}{\partial x_i} J_i,$$

其中,  $u_i$  为流体在  $x_i$  方向上的速度分量,  $\rho$

为流体的密度,  $h$  为静态焓,  $\mu$  为流体的动力粘度,  $k$  为分子导热率,  $J_i$  为由于浓度梯度引起的组分  $i$  的扩散通量,  $C_i$  为组分  $i$  的平均浓度。

### 2.3 边界条件

进口条件:空气的流量为 200 m<sup>3</sup>/h,温度 293 K;污染物 CO<sub>2</sub> 的散发量为 80 m<sup>3</sup>/h,温度为 313 K,污染源位于排风口正下方,面积为 0.5 m×0.5 m,距离楼面高度为 0.8 m;

出口条件:压力出口条件;

壁面条件:固体壁面上采用无滑移条件。

## 3 数值计算及结果分析

### 3.1 数值计算<sup>[6]</sup>

住宅厨房通风方式是指厨房通风的气流组织形式。一般,厨房的平面布置是长方形,采用机械通风时,厨房门为进风口,厨房内安装的排风扇或抽油烟机就是厨房通风的排风口。按其通风进、出口在平面投影上的位置关系及流场型式,可把厨房的通风方式分为三大类(六种),即 Z 型通风(大 Z 型和小 Z 型);L 型通风(大 L 型和小 L 型);一型通风(大一型和小一型)。其布置方式如图 1 所示。对以上 6 种通风方式的流场进行数值计算。

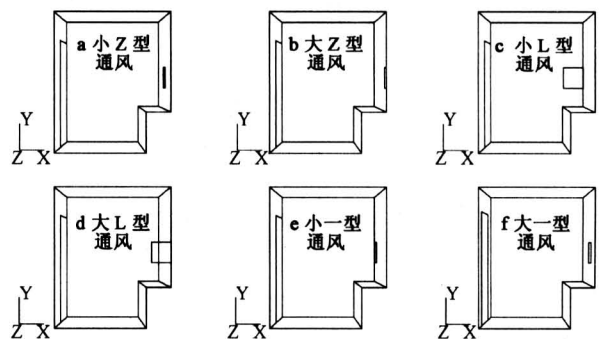


图 1 厨房通风方式布置示意图

Fig.1 Six patterns of ventilation in a kitchen in residence

### 3.2 计算结果分析

通过数值计算,可得到它们各自典型截面  $Y = 1.4$  (离地面高为 1.4 m 处) 的速度矢量图,如图 2 所示。

由上述速度矢量图和及其数值计算的结果可知:小型通风方式的回流区比大型通风方式的回流区大,全面通风效果受到一定的影响,所以大型通风方式的通风效果较好。表面上,人们认为:大一

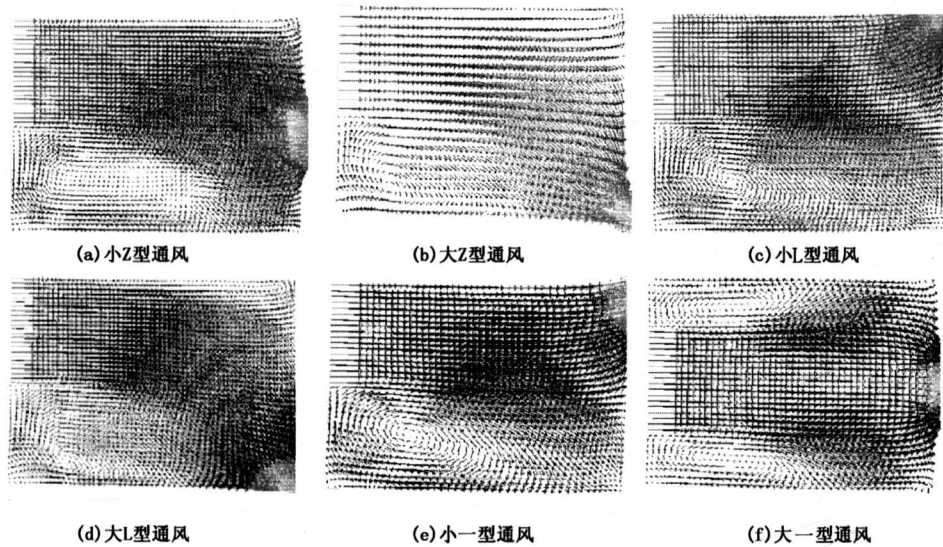


图 2 厨房内 Y = 1.4 m 截面的速度矢量图

Fig.2 Velocity vectorgraph of the section

型通风方式形似穿堂风，全面通风有效作用面积较大，通风效果好。然而，数值计算的结果表明，大一型通风在水平面上有两个较大的涡旋区，而且人员在小小的厨房工作时，往往是站在厨房的中央，阻碍着主风流，从而影响通风效果。

采用大 Z 和大 L 型通风方式，进、排风口偏离了中央区域布置，对增大厨房的有效使用面积是

非常有利的，而且其布置更加灵活，可减小因厨房排烟系统布置引起的建筑立面效果不好的影响。对于使用普通排风扇通风的厨房来说，更可以避开冬季北风引起排风扇的风流倒贯现象，是值得推广使用的通风方式。

通过计算，以上各种通风方式对厨房有害气体（CO<sub>2</sub>）的排放能力如表 1 所示。

表 1 排风口的 CO<sub>2</sub> 排放量

Table 1 Removing capacities of CO<sub>2</sub> in outlets

CO <sub>2</sub> 气体排放量	通风方式					
	小 L 型	大 Z 型	小一型	大 L 型	大一型	小 Z 型
质量分数 / kg · h <sup>-1</sup>	29.849 76	29.770 92	29.743 56	29.724 12	29.556	29.345 4

由表 1 可知，小 L 型的排污能力最大，大一型和小 Z 型通风的排污能力最小；在余下的三种通风方式中，小一型、大 Z 和 L 型通风排污能力相差不大。但由于小一型通风的涡旋区太大，对厨房的全面通风换气效果不好。

综上所述，从通风流场和排污能力上看，大 Z 和小 L 型通风方式最为有利。

另外，从计算六种通风方式的排污情况可知，只要排风口尽可能接近污染源，排风口位置不是影响排污能力的主要因素。这就使得设计排风口的位置更加灵活。然而，灶具工作时，产生的有害气体由于高温的影响，形成一股上升气流，它恰好与排风扇的通风气流正交。Wright 等的研究表明：水平排放角圆形浮力射流是有一定的上升高度的，最

大上升高度与热流出口尺寸及出口的弗汝德数有关的<sup>[7]</sup>。因此，排风扇或抽油烟机的吸风口设置的高度一般不大于最大上升高度。张洪顺通过研究表明，如在上升气流的上部加一块与墙壁面成 45 度角的盖板，可大大提高排风扇排放油烟的效率<sup>[8]</sup>。

#### 4 结论

通过分析，可得出如下结论：

1) 对于厨房通风来说，要消除其对建筑室内外环境的影响，必须进行有组织通风，设置机械通风装置，并且要设集中排烟管道，进行集中排放和处理；

2) 厨房在建筑设计时，就应选择合理的通风方式。通过数值计算，在本文讨论的六种通风方式

中,大Z型和小L型通风方式的通风效果较好。

3) 如果厨房排风口的位置尽可能地接近了污染源,排污能力受其位置影响不大。

4) 为了保证在自然通风情况下有良好的室内空气品质,运用CFD技术来指导住宅建筑通风、采光设计将是一种很好的尝试。

致谢: 本文作者感谢湘潭市建设局为本课题研究提供的资助,感谢课题组全体人员付出的辛勤劳动。

#### 参考文献

- [1] 彭 荣. 厨房排烟中几个问题的探讨 [J]. 通风除尘, 1995, (5): 42~43
- [2] 蔡文源, 蔡 政. 居住建筑空气质量现状及改进措施 [J]. 通风除尘, 1995, (4): 4~9
- [3] 朱 杰. 厨房排烟通风量探讨 [J]. 节能, 1990, (10): 17~18

- [4] Che-Ming Chiang, Chi-Ming Lai, Po-Cheng Chou, Yen-YiLi. The influence of an architectural design alternative (transoms) on indoor air environment in conventional kitchens in Taiwan [J]. Building and Environment, 2000, 35, 579~585
- [5] [美] 帕坦卡 S V. 传热与流体流动的数值计算 [M], 张 政译. 北京: 科学出版社, 1984. 12~17
- [6] Yu Fu M S. Room air distribution and indoor air quality modeling by CFD [A], The 2nd International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, Tsinghua-HVAC-95 [C], September 27, 1995, Beijing. 112~117
- [7] 李 炜, 槐文信. 浮力射流的理论及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 106~108
- [8] 张洪顺. 一种用于燃煤公共厨房的自然排油烟方式 [J]. 暖通空调, 1997, 28 (1): 75~76

## Numerical Analysis of the Ventilation of a Kitchen in Residence

Zou Shenghua<sup>1,2</sup>, Li Ping<sup>2</sup>, Weng Peifen<sup>2</sup>, Luo Yixin<sup>1</sup>

(1. Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China;

2. Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai University, Shanghai 200732, China)

[Abstract] In this paper, the ventilation methods of kitchen in residence are classified into three kinds (“—”, “L” and “Z”). Mechanical ventilation must be adopted in the kitchen in residence. The ventilational characteristics are studied with the help of CFD analysis method. In the aspects of building design, if inlets and outlets of the kitchen in residence were well arranged, a good airflow distribution would be acquired, the contamination in kitchen would be exhausted effectively and the indoor air quantity of the kitchen would be improved.

[Key words] ventilation methods; kitchen in residence; CFD; air distribution