

热压对住宅厨房集中排烟道排烟能力的影响

魏 洁, 余跃进, 武志远

(南京师范大学能源与机械工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 主烟道横截面积一定时, 采用数值模拟方法模拟并分析了热压对 12 层住宅厨房等截面排烟道系统排烟能力的影响。结果表明: 随着室内外温差的增大, 热压的积极作用更明显, 主烟道出口处排烟能力更高, 主烟道内压力分布更趋向均匀。

[关键词] 住宅厨房, 热压通风, 排烟能力, 压力变化

[中图分类号] TU834.5 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2015)01-0025-05

The Effect of Thermal Pressure on the Central Exhaust System of a 12-Storey Residential Building

Wei Jie, Yu Yuejin, Wu Zhiyuan

(School of Energy and Mechanical Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: If the cross-sectional area of the main flue is certain, numerical simulation methods are used to simulate and analyze the effect of thermal pressure on the central exhaust system of a 12-storey residential building. The results indicate that, with indoor and outdoor temperature difference increasing, the thermal pressure plays a more active role, and the fume exhausting ability of the outlet of the main flue becomes higher, and the static pressure inside the main flue becomes more balanced.

Key words: residential kitchen, thermal pressure, the fume exhausting ability, pressure change

厨房是住宅的重要组成部分,也是住宅内最大的污染源。厨房内的燃料燃烧过程和烹饪过程会产生大量的油烟气,这些油烟气具有浓度高、滞留时间长、粘附性强等特点,若不及时排出,将会严重危害居民的身体健康^[1]。目前,最常用的高层住宅厨房排烟系统是共用竖向集中排烟道系统,避免了分户直排造成的建筑物外表面污染以及室外风大时出现的倒灌现象^[2,3]。共用竖向集中排烟系统采用抽油烟机作为各户厨房的动力源装置:抽油烟机通过机械作用将烹饪操作中产生的油烟气捕集后进行 1 次净化处理,处理后的油烟通过排烟支管排入竖向集中排烟道(主烟道),最后在热压及风压的共同作用下,通过排风口排到大气中。排烟道出屋面设置避风风帽。此外,为防止不开机的楼层出现串烟、串味现象,一般在支管与主烟道连接处安装止逆防火阀^[4]。

常用的厨房集中排烟道主要有以下 4 种类型:子母型烟道、变压式烟道、变截面烟道、等截面烟道^[5]。其中,等截面烟道的应用最广泛。本文应用 CFD 模拟软件对在不同室内外温差下的等截面烟道进行了模拟,分析了其他条件一定时,热压对集中排烟道排烟能力的影响,对集中排烟道的设计有指导意义。

1 热压通风

热压通风是指利用存在温差的空气循环动力进行通风,在通风过程中没有任何机械动力的消耗。在厨房的排油烟过程中,作为动力源的抽油烟机将烟气通过排烟支管排入主烟道,由于烟气与室外空气存在着温差,烟气排放过程中除了受到油烟机所提供的风压作用,必然也会受到热压的影响。将热压以 ΔP 表示, ρ_n 和 ρ_w 分别为室内外空气的密度,则系统排烟过程所受的热压为:

$$\Delta P = gh(\rho_n - \rho_w). \quad (1)$$

2 数值模拟

2.1 物理模型与网格划分

选取 12 层住宅厨房排烟道系统作为模拟研究对象,建立物理模型如图 1 所示. 该集中排烟道系统共 12 层,层高为 2.8 m,每层为 1 段,排烟出口高出屋面 0.4 m,总长 34 m. 主烟道尺寸为 0.3 m×0.3 m,吸油烟机通过排烟支管与主烟道连接,排烟支管截面为圆形,直径为 0.15 m,长度为 0.5 m,排烟支管中心距离地面 2 m. 采用 gambit 软件对该物理模型划分网格,对支管入口处的网格进行加密,局部网格的划分见图 2.

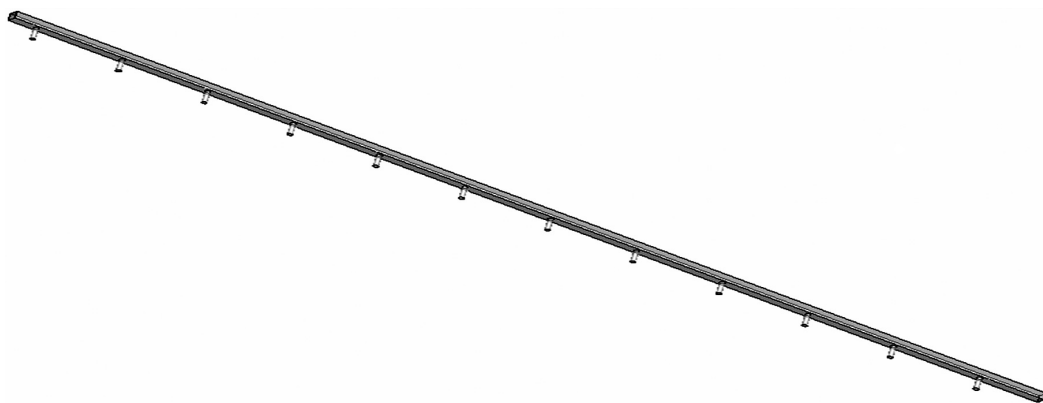


图 1 集中排烟道系统物理模型

Fig.1 Physical model of the central exhaust system

2.2 Fluent 计算说明

2.2.1 模型的简化与假设

该理论烟道模型的简化与假设^[6]如下:空气为稳态的不可压缩流动;烟气为湍流流动;由于只考虑温度而不考虑压强对密度的影响,符合 Boussinesq 假设;无内热源;考虑壁面的散热.

2.2.2 烟气流动的控制方程

模拟选择分离式隐式求解器,选用湍流流动中精度比较高的 RNG 的 $k-\varepsilon$ 模型进行计算,烟气流动的基本控制方程如下:

对于不可压缩流体,连续性方程可简化为:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0. \quad (2)$$

作用于微元体的各种力之和等于微元体中动量的增加量,动量方程为:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(u_i u_j) = -\frac{\partial}{\partial x_i}\left(P + \frac{2}{3}\rho k\right) + \frac{\partial}{\partial x_i}\left[(\mu + \mu_t) \times \left(\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial x}{\partial y}\right) + \beta \varepsilon\right]. \quad (3)$$

控制体中热力学能的增加量等于进入控制体的净热流量与表面力和体积力对控制体所做功之和,能量方程为:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_t}\right) \times \left(\frac{\partial T}{\partial x_i}\right)\right] + \frac{q}{c_p}, \quad (4)$$

式中, u_i 、 u_j 分别为 i 、 j 方向的速度, m/s; P 为压力, Pa; μ 为动力粘性系数, $\text{N}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; μ_t 为湍动粘性系数, $\text{N}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; ρ 为密度, kg/m^3 ; k 为湍动动能, kJ ; ε 为湍动动能耗散率; β 为流体体积膨胀系数; T 为温度, K; Pr 为普朗特数; c_p 为比定压热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; q 为热流密度, m^2/s .

2.2.3 边界条件

由于各户抽油烟机开机时间不固定,模拟选取开机率为 50% (1、2、6、7、11 和 12 层开). 烹饪产生的高温油烟气离开锅灶,在热压与风压的共同作用下上升,上升过程中与锅灶周围的室内空气混合,温度迅速下降,随后被吸入抽油烟机. 室内平均温度取 24 °C,排烟温度取 35 °C^[7]. 冬季室外温度取 -6 °C,室内外温差为 30 °C;夏季室外温度取 38 °C,温差为 -12 °C;春秋季室外温度取 15 °C,温差为 9 °C.

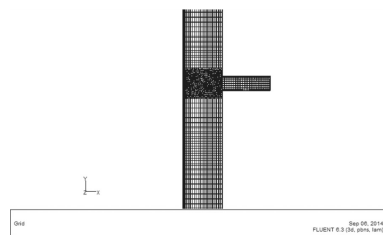


图 2 局部网格划分

Fig.2 Local grid refinement

(1)入口边界条件:抽油烟机开启时,取速度入口,速度为 4 m/s . 为达到较好的排烟效果,同时又能避免能源的浪费,抽油烟机的实际排烟量一般在 $250 \sim 300 \text{ m}^3/\text{h}$. 根据流量与风速的关系,可计算出施加的速度入口边界条件符合实际需要^[8]. 抽油烟机不开启时,假设止逆阀关闭严密,此时支管入口设为壁面边界条件.

(2)出口边界条件:压力出口,出口处压力为 0 Pa .

(3)壁面边界条件:壁面为无滑移壁面. 目前普遍采用的排烟道为玻璃纤维增强水泥混凝土管道,取绝对粗糙度 $k=1.5 \text{ mm}$ ^[9].

根据上述物理模型、边界条件及求解过程,在其他条件保持一定时,分别进行了在室内外温差分别为 -12 、 9 和 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ (分别记为 $\Delta t=-12 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $\Delta t=9 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $\Delta t=30 \text{ }^\circ\text{C}$) 时烟道的模拟计算.

3 模拟结果分析

3.1 主烟道出口截面的温度分布

根据模拟计算所得结果,室内外温差为 -12 、 9 和 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,主烟道出口平均温度分别为 309.65 、 297.03 和 285.47 K .

图 3 给出了 $\Delta t=-12 \text{ }^\circ\text{C}$ 时主烟道出口截面温度分布图. 烟道出口截面上靠近烟道中心的烟气温度最低,为 309.1 K ; 烟道边界附近的烟气由于受到周围环境温度的影响,烟气温度最高可达 310.8 K . 在中心烟气温度低于边界烟气温度而产生的密度差的影响下,烟道中心的主流烟气在排放时会受到烟道边界附近空气的抑制,甚至可能产生倒灌的现象,此时热压成为排烟的阻力. 因此, $\Delta t=-12 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,在出口处的烟气不仅排烟能力最低,还可能产生倒灌现象.

图 4 给出了 $\Delta t=9 \text{ }^\circ\text{C}$ 时主烟道出口截面温度分布图. 此时整个烟道出口截面上靠近烟道中心与烟道边界上烟气的温度梯度仍不大,但与图 3 相比,由于室外温度的降低,烟道中心烟气温度大于边界烟气温度,中心温度的升高导致烟气的升力增大,流速也随之增大. 因此, $\Delta t=9 \text{ }^\circ\text{C}$ 与 $\Delta t=-12 \text{ }^\circ\text{C}$ 时相比,主烟道出口处烟气的排放能力有所提高,且不会产生倒灌现象.

图 5 给出了 $\Delta t=30 \text{ }^\circ\text{C}$ 时主烟道出口截面温度分布. 此时,烟道中心与烟道边界烟气的温度梯度达到最大,烟道中心的烟气最高温度为 292 K , 烟道边界上烟气最低温度为 270 K . 与 $\Delta t=9 \text{ }^\circ\text{C}$ 时相比,由于温度梯度进一步增大,作用于出口处烟气上的热压明显升高,烟道中心的烟气在热压的强化作用下升腾,顺

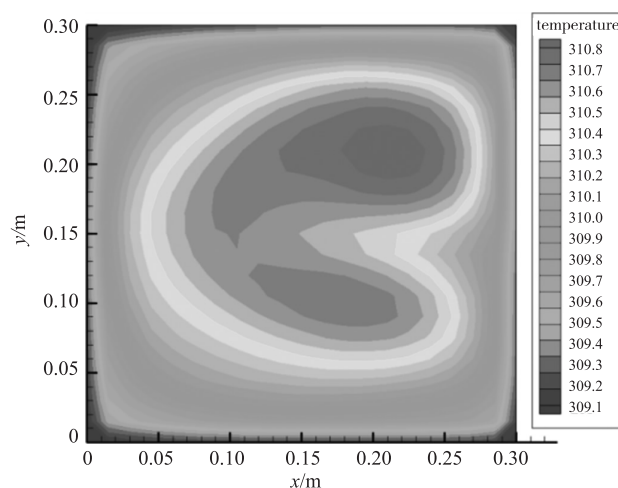


图 3 $\Delta t=-12 \text{ }^\circ\text{C}$ 时主烟道出口截面温度分布图

Fig.3 Temperature distribution of the outlet when Δt is $-12 \text{ }^\circ\text{C}$

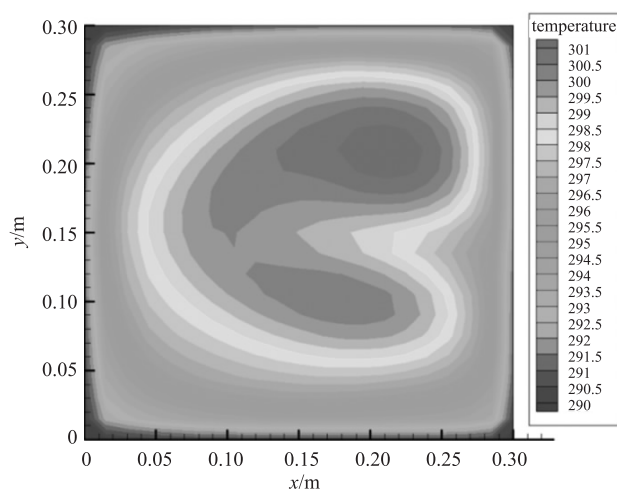


图 4 $\Delta t=9 \text{ }^\circ\text{C}$ 时主烟道出口截面温度分布图

Fig.4 Temperature distribution of the outlet when Δt is $9 \text{ }^\circ\text{C}$

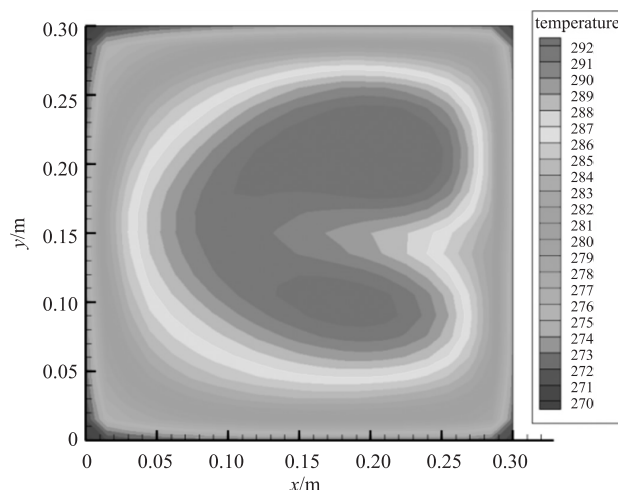


图 5 $\Delta t=30 \text{ }^\circ\text{C}$ 时主烟道出口截面温度分布图

Fig.5 Temperature distribution of the outlet when Δt is $30 \text{ }^\circ\text{C}$

利地排入大气中,排烟效率随之升高. 因此考虑热压对排烟能力的影响时,冬季主烟道出口处的排烟能力高于春秋季节,夏季主烟道出口处由于受到热压的阻力作用,排烟能力最低.

3.2 主烟道内压力的分布

为进一步研究热压对 12 层住宅厨房集中排烟道系统的影响,对各层对应的主烟道进行模拟工况取点,其位置选在距离主烟道与支烟道连接处 150 mm 的主烟道内,以研究不同温差下主烟道内静压变化. 由于主烟道内静压力变化不是很大,选取室内外温差分别为-12 ℃ (最不利工况) 和 30 ℃ (最利工况) 时的模拟计算结果进行对比,分析热压对主烟道内静压可能产生的影响.

根据 fluent 计算结果,整理出开机楼层对应的主烟道静压力,如表 1 所示.

表 1 开机楼层对应的主烟道的静压力
Table 1 Static pressure inside the main flue

层数	1	2	6	7	11	12
$\Delta t = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时主烟道静压力/Pa	39.173	39.040	35.751	30.360	18.285	8.194
$\Delta t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时主烟道静压力/Pa	39.098	39.027	35.773	30.361	18.309	8.226
压差/Pa	-0.075	-0.013	0.022	0.001	0.024	0.032

从表 1 可以看出,12 层住宅厨房集中排烟道系统在 50% 开机率的情况下,整体上压力随着楼层数的增加呈现降低的趋势. 在主排烟道的底层压力最高,而主排烟道出口处的压力将逐渐趋向于 0 Pa. 底层压力过大会导致底层用户可能出现排烟不畅通,甚至出现倒灌、串味等问题. 当夏季最不利工况即室内外温差为-12 ℃ 时,底层压力相对于冬季温差为 30 ℃ 时较大,出现倒灌、串烟的可能性增加,表明热压的阻力作用在一定程度上削弱了排烟道的排烟能力. 当冬季最利工况即室内外温差为 30 ℃ 时,与温差为-12 ℃ 时相比,1、2 层排烟支道对应的主烟道压力有所降低,而 6、7、11 和 12 层排烟支道对应的主烟道压力均有所增加,表明由于冬季热压的积极作用,底层压力降低,中间层、顶层压力增加,整个主排烟道内的压力分布趋向均匀,缓解了底层可能出现的排烟困难、倒流、串味等现象.

4 结论

在其他条件一定的情况下,当冬季室内外温差为 30 ℃ 时,主烟道出口截面上靠近烟道中心的烟气温度高于烟道边界附近的烟气温度,且温度梯度较大,受到热压的积极作用,此时主烟道出口处排烟能力最高;当春秋季节室内外温差为 9 ℃ 时,主烟道出口处的排烟能力次之;夏季室内外温差为-12 ℃ 时,主烟道出口截面上靠近烟道中心的烟气温度低于烟道边界附近的烟气温度,排烟过程中受到热压产生的阻力使排烟能力降到最低,且易产生倒灌的现象.

由于室内外温差存在产生的热压作用,冬季温差为 30 ℃ 时主烟道内各层开机用户所对应的静压力比夏季温差为-12 ℃ 时主烟道内的静压力更加趋向均匀,缓解了底层用户压力过大可能导致的排烟困难、倒灌、串烟等问题.

共用竖向集中排烟道系统主烟道出口处的排烟能力随室外温度的降低而提高,开机用户对应的主烟道内静压力随室外温度的降低而趋向均匀. 因此,在进行住宅厨房集中排烟道设计时,可将室外温度较低时烟气的热压作用考虑作为富裕排烟量. 同时,建议设计师在设计集中排烟道时考虑到室外温度较高时热压产生的阻力,以防止排烟能力降低可能会导致排烟不畅.

[参考文献] (References)

[1] 何红勤,袁建平,张杰,等. 烹饪油烟污染与净化技术[J]. 排灌机械工程学报,2007,25(1):62-64.
He Hongqin,Yuan Jianping,Zhang Jie,et al. Cooking fume pollution and purifying technology[J]. Drainage and Irrigation Machinery,2007,25(1):62-64.(in Chinese)

[2] 陈丽萍,龚延风. 住宅厨房排烟的共用竖烟道的设计方法改进[J]. 南京工业大学学报:自然科学版,2004,26(2):75-77.
Chen Liping,Gong Yanfeng. Development of design method of common chimney in exhaust system of residence kitchens[J]. Journal of Nanjing University of Technology:Natural Science Edition,2004,26(2):75-77.(in Chinese)

[3] 陈丽萍,龚延风,国君杰,等. 住宅厨房集中排烟系统的理论计算[J]. 暖通空调,2002,32(4):107-109.

- Chen Liping, Gong Yanfeng, Guo Junjie, et al. Calculation of central exhaust system of residential kitchens[J]. Heating, Ventilating and Air Conditioning, 2002, 32(4):107-109. (in Chinese)
- [4] 邵治民. 高层住宅厨房集中排气系统[D]. 西安:西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 2010.
- Shao Zhimin. Research on central exhaust system for residential kitchen in high-rise buildings by CFD[D]. Xi'an: Institute of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, 2010. (in Chinese)
- [5] 胡建军, 王汉青. 厨房排风系统现状分析[J]. 制冷空调与电力机械, 2005, 26(6):53-56.
- Hu Jianjun, Wang Hanqing. Research on the kitchen ventilation system[J]. Refrigeration Air Conditioning and Electric Power Machinery, 2005, 26(6):53-56. (in Chinese)
- [6] 高明侠. 高层住宅厨房公共排烟道不均匀开启率对烟道内烟气流体的影响[D]. 西安:西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 2012.
- Gao Mingxia. Effect of gas flow by range hoods in random opening in the residential kitchen public exhaust flue in high-rise building[D]. Xi'an: Institute of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, 2012. (in Chinese)
- [7] 焦春玲, 苏伟. 高层住宅厨房集中排烟道系统烟气热压作用研究[J]. 洁净与空调技术, 2013(4):46-49.
- Jiao Chunling, Su Wei. Research on thermal effect of flue gas in the central exhaust system for high-rise residential kitchen[J]. Contamination Control and Air-Conditioning Technology, 2013(4):46-49. (in Chinese)
- [8] 于利刚, 张燕, 王杰光. 多层住宅厨房排烟道内烟气流场仿真研究[J]. 湖南工程学院学报:自然科学版, 2010, 20(2):91-94.
- Yu Ligang, Zhang Yan, Wang Jieguang. The numerical simulation of smoke liquid-field in flue of multilayer residential kitchen[J]. Journal of Hunan Institute of Engineering: Natural Science Edition, 2010, 20(2):91-94. (in Chinese)
- [9] 樊越胜, 邵治民. 住宅厨房变压式排气系统的数值模拟[J]. 建筑科学, 2011, 27(2):102-106.
- Fan Yuesheng, Shao Zhimin. Numerical simulation on variable pressure exhaust system of residential kitchens[J]. Building Science, 2011, 27(2):102-106. (in Chinese)

[责任编辑:严海琳]