

# 新型屋顶式太阳能烟囱通风性能的模拟研究

顾元, 雷勇刚, 王飞

(太原理工大学 环境科学与工程学院, 山西 太原 030024)

**摘要:**介绍了一种基于风压和热压耦合作用下的新型屋顶式太阳能烟囱,通过三维数值模拟,研究百叶窗安装高度与烟囱高度比值 $h_4/h_1$ 、挡风板高度与百叶窗高度比值 $h_2/h_3$ 、通道II宽度与通道I宽度比值 $w_2/w_1$ 、室外风速 $v$ 和太阳辐射强度 $I$ 对其通风性能的影响。结果表明:该新型屋顶式太阳能烟囱通风量随 $h_4/h_1$ 值的增加先增后减,在 $h_4/h_1=0.15$ 附近通风量达到最大,而烟囱出口截面速度随着 $h_4/h_1$ 值的增加而减小;随着 $w_2/w_1$ 值的增加,不同室外风速下的通风量变化趋势不同。

**关键词:**屋顶式太阳能烟囱;风压;热压;通风性能

中图分类号: TU834.1 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.06.022

## 引言

近年来,建筑能耗不断增加,已接近社会总能耗的33%<sup>[1]</sup>,世界各国都在积极利用可再生能源来实现建筑节能。太阳能烟囱就是利用太阳辐射能量增加通道内空气温度形成自然对流,诱导烟囱通道内空气流出,从而实现建筑自然通风的一种设备,它可以改善室内热湿环境,节能效果显著,已成为一个建筑节能研究的热点。

国内外学者针对太阳能烟囱做了很多研究。Bassiouny和Koura对太阳能烟囱进行数值研究和理论分析<sup>[2]</sup>,获得了吸热墙温度关联式 $T_w = 3.15 I^{0.461}$ ,烟囱出口平均速度关联式 $v_1 = 0.013 I^{0.4}$ ; Sakonidou和Karapantsios运用理论分析方法<sup>[3]</sup>,预测了高为1m的太阳能烟囱模型在不同倾斜角度时的通风性能,其数据与实验结果吻合很好;李安桂和郝彩侠开展了高2000mm,长1000mm的竖直集热板屋顶式太阳能烟囱模型的实验研究<sup>[4]</sup>,其结果表

明在研究范围内自然通风量随着烟囱宽度、热流密度的增大而增大;Arce等人在真实的气象条件下做了太阳能烟囱的实验<sup>[5]</sup>,并将实验结果与仿真结果进行对比,表明太阳能烟囱的空气流量的主要影响因素是进口与出口之间的温度梯度与室外风速大小;杨启容和杜威研究了一个竖直式烟囱和倾斜式烟囱的串联式结构的通风性能<sup>[6]</sup>,得出了在长宽比为12:1时该烟囱通风量最大;Zamora和Kaiser探讨了太阳能烟囱在风热压耦合作用下的通风量和平均 $Nu$ 随 $Ra$ 的变化关系<sup>[7]</sup>;Tan和Wong在一个三层零能耗建筑内对太阳能烟囱进行实验研究<sup>[8]</sup>,结果表明当环境风速小于2.0m/s时,环境风速不影响烟囱内空气流速;而当环境风速大于2.0m/s时,仅影响烟囱内气流速度,不影响室内气流速度;Li和Liu研究了带相变材料的太阳能烟囱在三种不同热流密度下的性能<sup>[9]</sup>,结果表明,在热流密度为700W/m<sup>2</sup>时烟囱通风量为0.04kg/s,出口温度为19.6℃;Imran等人对长2m,宽度在50~150mm,高2m的屋顶式太阳能烟囱在伊拉克地区真实气象环境下进行实验研究<sup>[10]</sup>,并利用二维稳态湍流模型进行数值研究,数据表明在屋顶式太阳能烟囱倾角为60°时可获最大通风量,对12m<sup>3</sup>房间能达到30次的换气次数;Jing等人通过实验的方法<sup>[11]</sup>,对大宽高比的太阳能烟囱的通风性能进行了研究,获得了在宽高比为0.5时烟囱通风量最大的结论。

从已有的实验、数值模拟和理论研究可以看出,目前大多数研究都只是针对热压诱导作用下的传统Trombe墙式、竖直式和屋顶式结构的太阳能烟囱性能,对风热压耦合作用下太阳能烟囱研究较少。本

收稿日期: 2015-07-15; 修订日期: 2015-08-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51106103); 太原理工大学校团队基金资助项目(2013T051)

作者简介: 顾元(1989-),男,湖北黄冈人,太原理工大学在读硕士研究生。

通讯作者: 雷勇刚(1976-),男,山西平遥人,太原理工大学副教授。

文提出一种基于风压和热压耦合作用的新型屋顶式太阳能烟囱,并通过三维数值模拟,研究其在不同结构参数和操作参数下的通风性能。

### 1 物理模型和工作原理

新型屋顶式太阳能烟囱的物理模型如图 1 所示,该优化结构安置于房间屋顶上,由竖直式烟囱、无色透明挡风板和 8 片无色透明百叶组成。其工作原理为:吸热板吸收透过玻璃盖板、百叶片以及挡风板的太阳辐射,加热太阳能烟囱内空气,使其密度变小而向上流动;一部分室外风进入通道 II,当其以一定速度流出通道时,对通道 I 气流形成诱导作用;同时,一部分室外风在烟囱出口流过而形成负压,对太阳能烟囱内空气形成诱导作用。该结构形式在热压和风压作用下,促使空气从房间进入烟囱而形成自然通风。

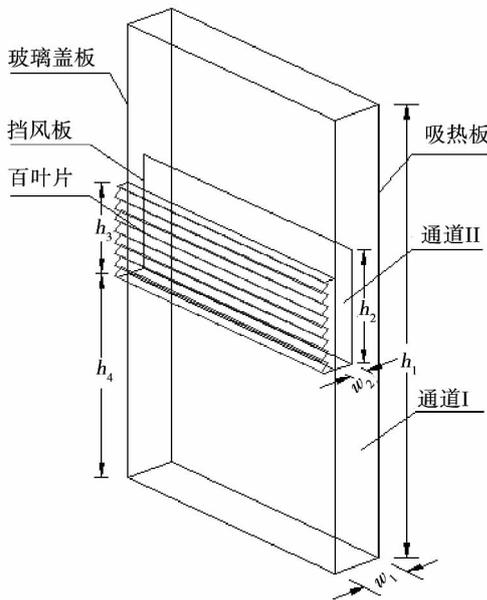


图 1 太阳能烟囱物理模型

Fig. 1 Physical model of the solar chimney

### 2 计算区域

计算区域如图 1 和图 2 所示,带百叶窗的太阳能烟囱安置于房间屋顶上,沿 NO 方向处于中间位置,距房间外墙 MNOP 距离 250 mm。房间高度

MN = 2 500 mm,长度 NJ = 3 200 mm。烟囱长度 QT = 1 000 mm,百叶片长 1 000 mm,宽 50 mm,百叶片与水平面夹角固定为 45°。通道 I 高度  $h_1 = 2 000$  mm,通道 I 宽度  $w_1 = 200$  mm,通道 II 宽度为  $w_2$ ,百叶窗高度  $h_3 = 400$  mm,距房间屋顶高度为  $h_4$ ,挡风板高度为  $h_2$ 。为了准确确定室外风场的影响,需确定合理的风场计算区域,通过不断试算,直到通风量计算数据之间误差小于 5%,最后确定计算区域为:AM = 2 000 mm,IE = 1 000 mm,AB = 8 000 mm,AD = 2 500 mm。

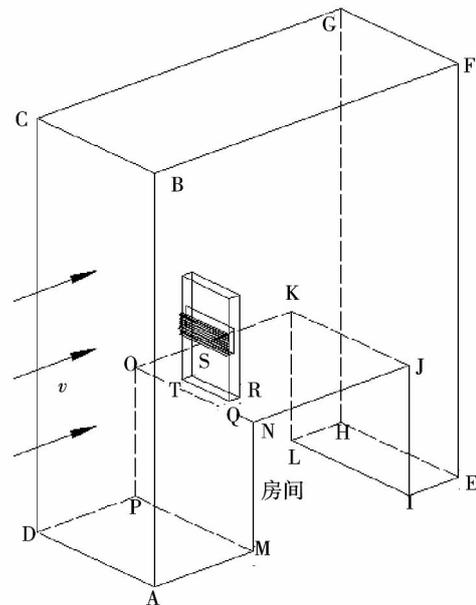


图 2 太阳能烟囱计算区域

Fig. 2 Calculation region of the solar chimney

### 3 数学模型

#### 3.1 控制方程和计算方法

三维稳态湍流控制方程如下:

连续性方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

动量方程:

$$\frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\nu + \nu_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] - g_i \beta (T - T_\infty) \tag{2}$$

能量方程:

$$\frac{\partial(u_j T)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \Gamma \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] \quad (3)$$

k 方程:

$$\frac{\partial(\kappa u_i)}{\partial x_i} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} \right] - \varepsilon + G_k \quad (4)$$

ε 方程:

$$\frac{\partial(\varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{\kappa} (c_1 G_k - c_2 \varepsilon) \quad (5)$$

$$\Gamma = \frac{\nu}{Pr} + \frac{\nu_t}{\sigma_t} \quad (6)$$

$$G_k = \frac{\nu_t}{\rho} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (7)$$

式中:  $u_i$ — $x_i$ 方向上的平均速度分量, m/s;  $x_i$ —坐标;  $\rho$ —空气密度, kg/m<sup>3</sup>;  $P$ —平均压力, Pa;  $\nu_t$ 、 $\nu$ —紊流和层流粘滞系数;  $g_i$ — $i$ 方向上的重力加速度, m/s<sup>2</sup>;  $\beta$ —空气膨胀系数, 1/k;  $T$ 、 $T_\infty$ —平均温度和参考点温度, K;  $\Gamma$ —广义扩散系数;  $k$ —湍流脉动动能;  $\varepsilon$ —流体脉动动能的耗散率;  $C_1$ 、 $C_2$ —经验系数;  $G_k$ —湍流动能的产生项;  $Pr$ —普朗特数;  $\sigma_k$ 、 $\sigma_\varepsilon$ 、 $\sigma_t$ —取经经验值。

采用 Boussinesq 假设, 使用有限容积法求解控制方程, 数值模拟采用 RNG  $k - \varepsilon$  两方程模型, 速度与压力之间的耦合采用 SIMPLE 算法, 对流项的离散格式使用二阶迎风格式, 离散方程的求解应用亚松弛 TDMA 算法。

### 3.2 边界条件

如图 2 所示, 平面 ABCD 为速度入口边界条件, 速度取值 1 ~ 3 m/s, 室外风垂直此平面进入; 平面 FGCB 和平面 EFGH 均为压力出口边界条件, 相对总压设为零; 平面 QRST 为压力入口边界条件, 相对总压设为零; 平面 AMPD、平面 MNOP、平面 IJKL 和平面 EHLI 为壁面边界条件, 平面 NJKO 除去平面 QRST 的部分也为壁面边界条件; 平面 AMNJIEFB 和平面 DPOKLHGC 为对称边界条件。

计算域中所有固体壁面速度采用无滑移条件, 玻璃盖板 and 吸热板设置为定热流密度, 热流密度由太阳辐射和材料吸收率、透射率得出, 考虑玻璃吸收率  $\alpha = 0.06$ , 透射率  $\tau = 0.84$ , 吸热板吸收率  $\alpha_1 = 0.95$ , 外界环境温度设为 306 K。

### 3.3 网格独立性考核

由于物理模型包括百叶片、挡风板等多种面, 同

时考虑风场区域, 其结构复杂, 本文采用非结构化网格与结构网格组合的网格; 为保证模拟的准确性, 网格划分时对局部百叶和烟囱内部区域进行加密, 局部计算网格如图 3 所示。

为了使计算结果准确且节省计算资源, 进行了网格独立性考核。建立了 5 套网格, 网格数分别为: 666 982、722 806、808 883、881 760 和 1 007 649, 采用不同网格数计算其通风量, 计算结果如图 4 所示。通过比较, 直到相邻两套网格计算的数据之间偏差小于 1%, 综合考虑节省资源和准确性, 本文采用第 3 套网格进行数值模拟计算。

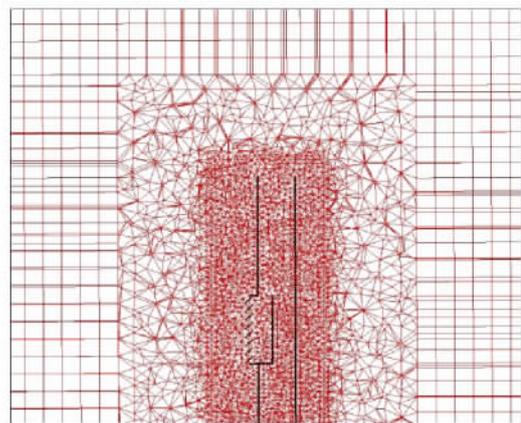


图 3 太阳能烟囱局部网格加密

Fig. 3 Local grid refinement of the solar chimney

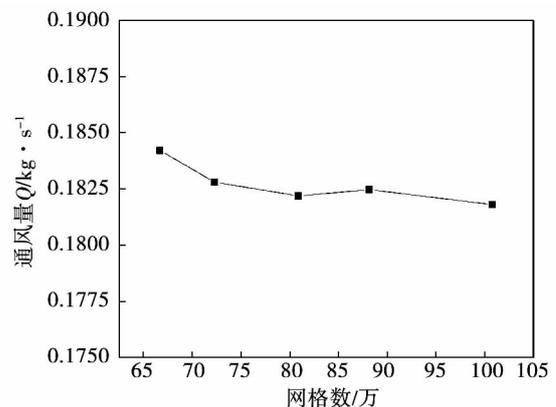


图 4 网格独立性考核

Fig. 4 Grid independence test

## 4 模型有效性验证

为验证本文模型和计算方法的可靠性, 对文献

[12]实验条件下太阳能烟囱诱导通风进行了数值模拟,数值模拟结果与实验结果的对比如图 5 所示。实验条件下的太阳能烟囱由两块侧板和一块吸热板、一块玻璃盖板组成,高 1 025 mm,长度为 925 mm,宽度取 40 mm,热流密度分别为 200、400、600、800 和 1 000 W/m<sup>2</sup>。结果表明,数值模拟的太阳能烟囱通风量随着热流密度的增大而增加,与实验结果的趋势一致,且两种结果的偏差小于 15%,数值模拟结果与实验结果吻合,充分说明本文计算方法的可靠性。

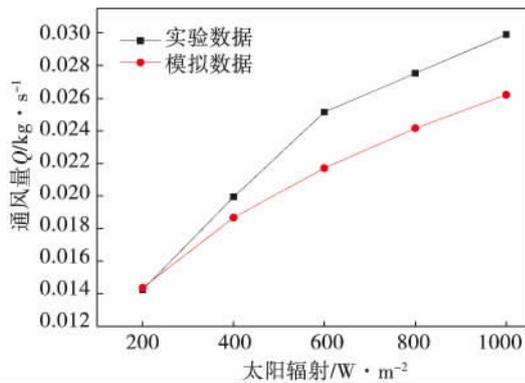


图 5 模拟结果与实验数据对比  
Fig. 5 Comparison of experiment and the simulation data

## 5 计算结果与分析

### 5.1 太阳能烟囱局部流场

图 6 是带百叶窗的太阳能烟囱局部流场图,取挡风板高度与百叶窗高度比值  $h_2/h_3$  分别为 0、1、2,固定百叶窗安装高度与太阳能烟囱高度比值  $h_4/h_1 = 0.45$ ,通道 II 宽度与通道 I 比值  $w_2/w_1 = 0.375$ ,太阳辐射强度  $I = 600 \text{ W/m}^2$ ,室外风速  $v = 2 \text{ m/s}$ 。

从图中可以看出,当  $h_2/h_3 = 0$  时,即没有挡风板,室外风直接倾斜流进通道 I,由于通道 I 底部静压小,室外风一部分沿着吸热板向上流,一部分向下流,而热压诱导的向上气流不足以抵消沿吸热板向下流动的气流,使部分室外风直接回灌至房间内;在  $h_2/h_3 = 1$  时,即挡风板与百叶窗等高,室外风流入通道 II,由于挡风板的阻挡,气流大致向上流动,很好的诱导通道 I 向上流动的气流,此时烟囱内气流组织较均匀;当  $h_2/h_3 = 2$  时,即挡风板 2 倍高于百叶窗,由于此时通道 II 高度过高,通道 II 的室外风诱导通道 I 气流的距离变短,风压诱导作用减弱,使烟囱通风量较  $h_2/h_3 = 1$  时有所减弱,此时烟囱内气流组织均匀。

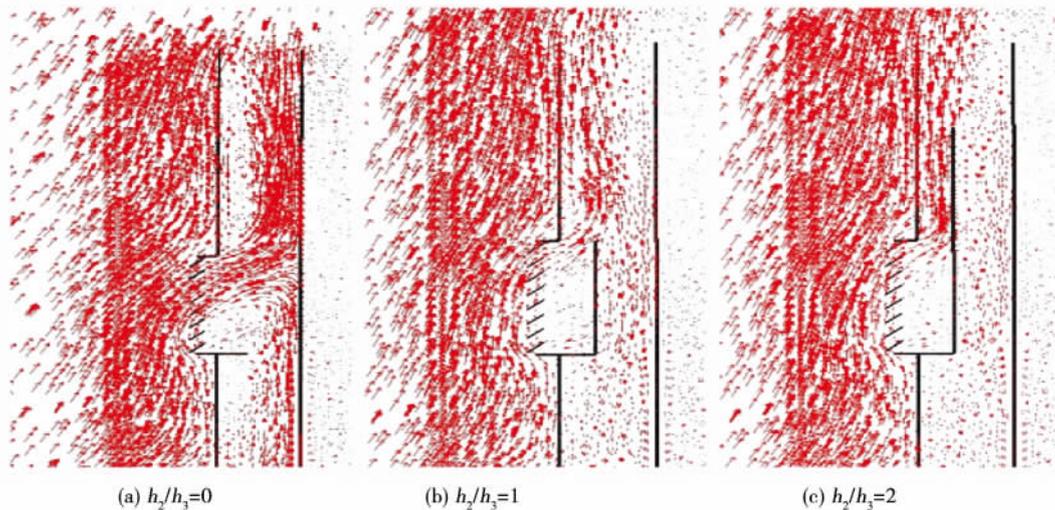


图 6 局部流场  
Fig. 6 Local air flow pattern

### 5.2 通道 II 宽度与通道 I 宽度比值 $w_2/w_1$ 对通风量的影响

新型屋顶式太阳能烟囱在不同  $w_2/w_1$  值下的通

风量  $Q$  随室外风速  $v$  和太阳辐射强度  $I$  的变化分别如图 7 和图 8 所示。其中  $w_2/w_1$  值的研究范围为 0 ~ 0.75,挡风板高度与百叶窗高度比值  $h_2/h_3 = 1$ ,百

叶窗安装高度与太阳能烟囱高度比值  $h_4/h_1 = 0.45$ 。

从图 7 可以看出 随着  $w_2/w_1$  值的增加 不同室外风速下新型屋顶式太阳能烟囱内通风量的变化趋势不同: 室外风速  $v = 1 \text{ m/s}$  时 通风量随  $w_2/w_1$  值的增大而减小 最大通风量在  $w_2/w_1 = 0$  处; 室外风速  $v = 1.5 \text{ m/s}$  时 通风量先增后减 最大通风量出现在  $w_2/w_1 = 0.125$  附近; 室外风速  $v = 2 \text{ m/s}$  时 通风量先增后减 最大通风量出现在比值 0.25 附近;  $v = 2.5 \text{ m/s}$  时 通风量先增后减 最大通风量在  $w_2/w_1 = 0.25$  附近; 室外风速  $v = 3 \text{ m/s}$  时 通风量先增后减 最大通风量在  $w_2/w_1 = 0.375$  附近。其原因为: 通道 II 宽度增加 可以使室外风对通道 I 的风压诱导作用增强 但同时也增加了通道 I 的阻力。当室外风速在  $1 \text{ m/s}$  或更小时 室外风的风压诱导作用低于通道 I 阻力作用 使得通风量持续减小。当室外风速  $v \geq 1.5 \text{ m/s}$  在  $w_2/w_1$  值从零增加 0.125 时 此时风压的诱导作用占主导地位 使通风量增加 在  $w_2/w_1$  值从 0.125 增加到 0.75 时 通道 I 的阻力作用占主导地位 使通风量减小。从图 8 可以看出 随着  $w_2/w_1$  值的增加 在相同太阳辐射强度下 通风量先增后减 最大通风量出现在  $w_2/w_1$  值为 0.25 附近。

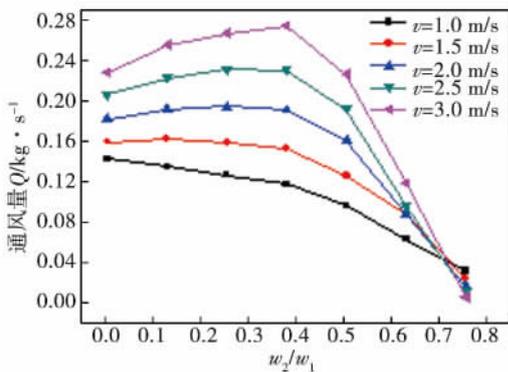


图 7 通风量随比值  $w_2/w_1$  的变化 ( $I = 600 \text{ W/m}^2$ )

Fig. 7 Variation of mass flow rate with the ratio of  $w_2/w_1$  ( $I = 600 \text{ W/m}^2$ )

值得注意的是 在  $w_2/w_1 < 0.5$  时 通风量随太阳辐射的增大而增大 太阳辐射强度  $I$  从  $400 \text{ W/m}^2$  增至  $800 \text{ W/m}^2$  通风量最大可以增加 52.7%; 在  $w_2/w_1 \geq 0.5$  时 通风量受太阳辐射强度影响较小 。

通风量趋于相等 此时室外风速占主导地位。对比图 7 可以看出 室外风速对通风量曲线的走向影响较大。在相同  $w_2/w_1$  值时 室外风速  $v$  从  $1 \text{ m/s}$  增加至  $3 \text{ m/s}$  其通风量最大可以增加 134.3%; 太阳辐射强度  $I$  从  $400 \text{ W/m}^2$  增至  $800 \text{ W/m}^2$  通风量最大可以增加 52.7%。此外 在  $w_2/w_1$  值从 0.375 增至 0.75 时通风量减小 并且减小的幅度与室外风速成正比 如  $v = 1 \text{ m/s}$  时  $w_2/w_1$  值从 0.375 增至 0.75 通风量降低了 72.5%;  $v = 3 \text{ m/s}$  时  $w_2/w_1$  值从 0.375 增至 0.75 通风量降低了 97.4%。

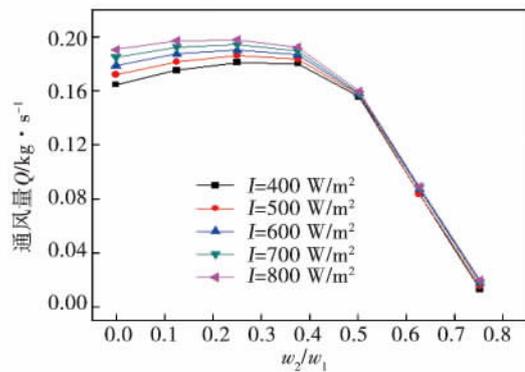


图 8 通风量随比值  $w_2/w_1$  的变化 ( $v = 2 \text{ m/s}$ )

Fig. 8 Variation of mass flow rate with the ratio of  $w_2/w_1$  ( $v = 2 \text{ m/s}$ )

### 5.3 百叶窗安装高度与烟囱高度比值 $h_4/h_1$ 对通风量的影响

新型屋顶式太阳能烟囱在不同  $h_4/h_1$  下的通风量  $Q$  随室外风速  $v$  和太阳辐射  $I$  的变化分别如图 9、图 10 所示。其中  $h_4/h_1$  的研究范围为  $0 \sim 0.75$  挡风板高度与百叶窗高度比值  $h_2/h_3 = 1$  通道 II 宽度与通道 I 宽度比值  $w_2/w_1 = 0.375$ 。

从图 9、图 10 可以看出 随着比值  $h_4/h_1$  的增加 通风量先增后减 在  $h_4/h_1 = 0.15$  附近通风量最大。其原因为: 当  $h_4/h_1 = 0$  时 即百叶窗安装高度为零 由于玻璃盖板外侧的底部有涡流形成 使进入通道 II 能形成诱导作用的有室外风的有效部分减少;  $h_4/h_1$  从零变到 0.15 时 涡流对诱导作用的影响逐渐减小 使得通风量增加 在  $h_4/h_1 = 0.15$  附近 涡流抑制室外风诱导作用消失 此时诱导风量达到最大;  $h_4/h_1$  值继续增大时 虽然没有涡流的抑制作

用,但室外风进入的通道 II 与太阳能烟囱出口距离变小,即对通道 I 气流的诱导距离减小,使得在  $h_4/h_1$  值从 0.15 增至 0.75 时,新型屋顶式太阳能烟囱内通风量减小。在相同  $h_4/h_1$  值,室外风速  $v$  从 1 m/s 增加至 3 m/s 时,通风量最大增加 179.7%;当  $v = 2$  m/s,太阳辐射强度  $I$  从  $400 \text{ W/m}^2$  增至  $800 \text{ W/m}^2$  时,通风量最大增加 9.0%。此外,在  $h_4/h_1$  值从 0.15 增至 0.75 时,通风量持续减小,太阳辐射强度  $I = 600 \text{ W/m}^2$ ,室外风速  $v = 1 \text{ m/s}$  时, $h_4/h_1$  从 0.15 增至 0.75 通风量降低了 38.7%; $v = 3 \text{ m/s}$  时  $h_4/h_1$  从 0.15 增至 0.75 通风量降低了 66.7%。

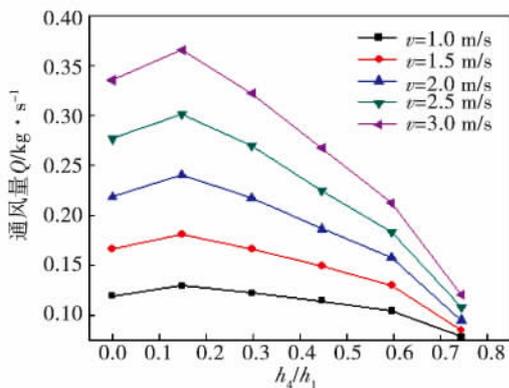


图 9 通风量随比值  $h_4/h_1$  的变化 ( $I = 600 \text{ W/m}^2$ )

Fig. 9 Variation of mass flow rate with the ratio of  $h_4/h_1$  ( $I = 600 \text{ W/m}^2$ )

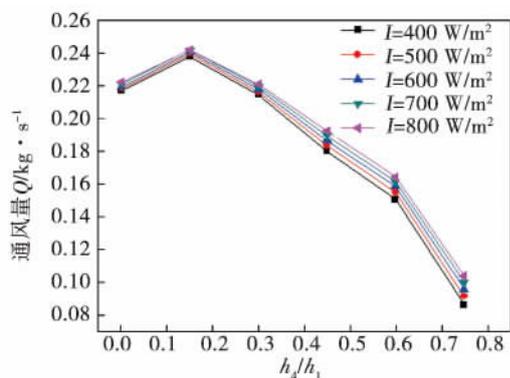


图 10 通风量随比值  $h_4/h_1$  的变化 ( $v = 2 \text{ m/s}$ )

Fig. 10 Variation of mass flow rate with the ratio of  $h_4/h_1$  ( $v = 2 \text{ m/s}$ )

#### 5.4 太阳能烟囱出口截面速度特性

图 11 是百叶窗安装高度与烟囱高度比值  $h_4/h_1$

分别为 0.15、0.45 和 0.75 时的太阳能烟囱出口速度分布,取挡风板高度与百叶窗高度比值  $h_2/h_3 = 1$ ,通道 II 宽度与通道 I 宽度比值  $w_2/w_1 = 0.375$ ,室外风速  $v = 2 \text{ m/s}$ ,太阳辐射  $I = 600 \text{ W/m}^2$ 。

从图 11 可以看出,在  $h_4/h_1$  值增加时,太阳能烟囱出口截面速度减小, $h_4/h_1$  值增大导致通风量减小,而太阳能烟囱出口横截面积不变,导致速度减小。 $h_4/h_1$  值从 0.15 增至 0.75 时,速度最多减小 70.8%。在相同的  $h_4/h_1$  值下,速度的最大值出现在距玻璃盖板垂直距离 50 mm 左右,此时通道 II 进入的室外风对通道 I 气流进行诱导作用较大。

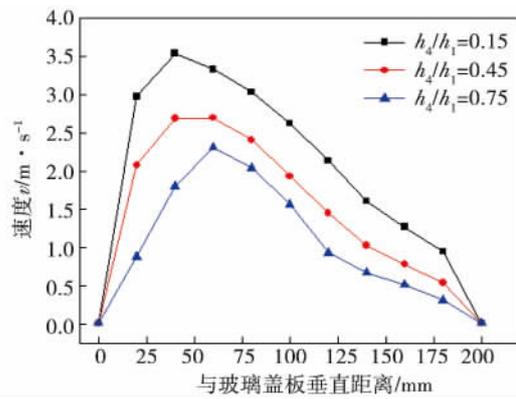


图 11 不同比值  $h_4/h_1$  下太阳能烟囱出口截面速度分布

Fig. 11 Velocity distribution across the chimney outlet at different ratios of  $h_4/h_1$

## 6 结 论

提出了一种带百叶窗的新型屋顶式太阳能烟囱,通过三维数值模拟,研究了该种太阳能烟囱在不同的结构参数和操作参数下的通风性能,主要结论如下:

- (1) 百叶窗安装高度与烟囱高度比值  $h_4/h_1$  从零增至 0.75 时,通风量先增后减,在  $h_4/h_1 = 0.15$  附近通风量达到最大;
- (2) 随着通道 II 宽度与通道 I 宽度比值  $w_2/w_1$  的增加,不同室外风速下的通风量变化趋势不同,在通风量最大时的  $w_2/w_1$  值也不同;
- (3) 随着百叶窗安装高度与烟囱高度比值  $h_4/h_1$

$h_1$ 的增加,太阳能烟囱出口截面速度减小;在相同  $h_4/h_1$  值时,太阳能烟囱出口截面速度最大值在距玻璃盖板垂直距离 50 mm 左右。

参考文献:

[1] 江 亿. 我国建筑耗能状况及有效的节能途径[J]. 暖通空调, 2005 35(5): 30-40.  
JIANG Yi. Current building energy consumption in china and effective energy efficiency measures [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning 2005 35 (5): 30-40.

[2] Bassiouny R ,Koura N S A. An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation [J]. Energy and Buildings 2008 40(5): 865-873.

[3] Sakonidou E P ,Karapantsios T D ,Balouktsis A I ,et al. Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow [J]. Solar Energy 2008 82(1): 80-94.

[4] 李安桂,郝彩侠,张海平. 太阳能烟囱强化自然通风实验研究[J]. 太阳能学报 2009 30(4): 460-464.  
LI An-gui ,HAO Cai-xiao ,ZHANG Hai-ping. Experimental study on solar chimney for natural ventilation [J]. Acta Energaie Solaris Sinica 2009 30(4): 460-464.

[5] Arce J ,Jimenez M J ,Guzman J D ,et al. Experimental study for natural ventilation on a solar chimney [J]. Renewable Energy 2009 , 34(12): 2928-2934.

[6] 杨启容,杜威,张金翠. 建筑一体化太阳能烟囱的通风性能研

究[J]. 太阳能学报 2010 31(7): 873-878.  
YANG Qi-rong ,DU Wei ,ZHANG Jin-cui. Research on ventilation performance of a series solar chimney integrated with a building [J]. Acta Energaie Solaris Sinica 2010 31(7): 873-878.

[7] Zamora B ,Kaiser A S. Numerical study on mixed buoyancy-wind driving induced flow in a solar chimney for building ventilation [J]. Renewable Energy 2010 35(9): 2080-2088.

[8] Tan A Y K ,Wong N H. Influences of ambient air speed and internal heat load on the performance of solar chimney in the tropics [J]. Solar Energy 2014 102: 116-125.

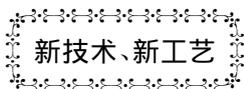
[9] Li Y C ,Liu S L. Experimental study on thermal performance of a solar chimney combined with PCM [J]. Applied Energy 2014 , 114: 172-178.

[10] Imran A A ,Jalil J M ,Ahmed S T. Induced flow for ventilation and cooling by a solar chimney [J]. Renewable Energy 2015 78: 236-244.

[11] Jing H W ,Chen Z D ,Li A G. Experimental study of the prediction of the ventilation flow rate through solar chimney with large gap-to-height ratios [J]. Building and Environment 2015 89: 150-159.

[12] Burek S A M ,Habeib A. Air flow and thermal efficiency characteristics in solar chimneys and Trombe Walls [J]. Energy and Buildings 2007 39(2): 128-135.

( 陈 滨 编辑)



### 船舶推进用燃气轮机技术规范

《Gas Turbine World》2014 ~ 2015 年年度手册发布了该年度的船舶推进用燃气轮机技术规范。

介绍了世界各个船舶燃气轮机制造公司: GE Marines、MTU Friedrichshafen、Rolls-Royce、Vericor 和 Zorya-Mashproekt 生产的各型船舶燃气轮机。列举了各型船舶燃气轮机设计性能规范,包括首台可应用的年份、ISO 条件下的连续功率及其耗油率、效率、压气机压比、质量流量、涡轮转速、排气温度、燃气轮机大约的重量和尺寸。

列出了一些本身可直接倒车的船用燃气轮机型号: UGT3000R、UGT6000R、UGT6000R +、UGT15000R、UGT15000R + 和 UGT16000R,它们是乌克兰 Zorya-Mashproekt 研制和生产的。并给出了可以双机配置形式应用的一些燃气轮机: TF40、ETF40B 和 TG50B,它们是美国 Vericor 研制和生产的。

( 徐立民 提供,吉桂明 译)

condition is most stable ,but it is most intense at the outlet of impeller. The cyclical fluctuation in transient performance is equal to the number of impeller blades in a rotation period. The pressure fluctuation occurs mainly at the main frequency and its harmonics ,and with low and intermediate frequencies. **Key words:** reactor coolant pump , pressure pulsation ,impeller ,diffuser ,transient flow field

**新型屋顶式太阳能烟囱通风性能数值模拟研究 = Numerical Investigation on Ventilation Performance of a New Roof Solar Chimney** [刊 ,汉] GU Yuan ,LEI Yong-gang ,WANG Fei ( School of Environment Science and Engineering ,Taiyuan University of Technology ,Taiyuan ,Shanxi ,China ,Post Code: 030024) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. . -2016 31( 6) . -98 ~104

A new roof solar chimney based on the coupling action of wind pressure and thermal pressure was introduced. The effects of the ratio of the shutters installation height to the solar chimney height ( $h_4/h_1$ ) ,the ratio of the windshield height to the shutters height ( $h_2/h_3$ ) ,the ratio of the channel II width to the channel I width ( $w_2/w_1$ ) ,outdoor wind speed ( $v$ ) and solar radiation intensity ( $I$ ) on the ventilation performance of the new structure were studied by three-dimensional computational fluid dynamics method. The results show that the mass flow rate of the new roof solar chimney firstly increases ,and then decreases with the increase of the ratio ( $h_4/h_1$ ) . There is an optimum ratio ( $h_4/h_1$ ) at around 0.15 for the maximum of mass flow rate ,but the velocity across the chimney outlet decrease with the increase of the ratio ( $h_4/h_1$ ) . With the increase of the ratio ( $w_2/w_1$ ) ,the mass flow rates of the solar chimney under different outdoor wind speeds have different variation trends. **Key words:** roof solar chimney ,wind pressure , thermal pressure ,ventilation performance

**回热汽轮机用于再热机组的理论研究 = Theoretical Research on the Thermo-economics of Regenerative Turbine for the Reheat Unit** [刊 ,汉] GUO Jun ( Northwest Electric Power Design Institute ,Xi' an ,Shaanxi ,China ,Post Code: 710075) ,Han Xiao-qu ,MU Qi-wei ,Liu Ji-ping ( State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering ,Xi' an Jiaotong University ,Xi' an ,China ,Post Code: 710049) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. . -2016 31( 6) . -105 ~113

Reheating and regenerating technologies are widely used in modern thermal power units with large capacity and high steam parameters. However ,with the increasing reheat steam temperature ,the superheat degree of the steam extracted after the reheater increases ,so that the irreversible loss inside the corresponding regenerators becomes larger and the regenerative effectiveness is weakened. Therefore ,the retrofitting scheme by installing a regenerative back pressure turbine has been proposed in order to improve the system thermo-economics. In this paper ,on a 1 000 MW ul-