

置换通风房间的数值模拟

Numerical Simulation of Displacement Ventilation Room

高辉 敬成君

西南交通大学 机械工程学院

摘 要:通过应用 CFD 技术和 STARCD 软件,对使用置换通风系统的办公室进行数值模拟,对气流的速度场和温度场进行分析和总结,认为这种通风方式对提高空气品质和节能有一定效果,并且能够满足人体舒适性要求。

关键词:置换通风、气流组织、空气品质、CFD、STAR - CD

Abstract: Applying the technology of CFD and STARCD, numerically simulate a ordinary office with displacement ventilation system. Through analyzing and summarizing the velocity field and temperature field, it can be acquired that this ventilation system improves air quality and saves energy, besides it satisfies the standard of human comfort.

Key words: displacement ventilation、air distribution、air quality、CFD、STAR-CD

1 引言

置换通风以其换气效率高、节能、热舒适方面易于满足 ASHRAE 标准的优点,广泛应用于各类建筑。置换通风系统在北欧国家占据了 50% 的空调市场,新建的办公楼中约有 50% ~ 70% 采用置换通风系统^[1]。

这种空调系统的工作原理是在房间的下部设置送风口,以风速 ($<0.25\text{m/s}$) 将低温新风送入室内,依靠室内热源的作用,使新风以类似层流的状态向上流动,同时带走工作区的余热量和污染物,于是置换通风就在室内形成了低速、温度分层分布的流场。

本文将基于 CFD 技术,应用 STAR - CD 流体分析应用软件研究一个普通办公室的置换通风方式,通过得出室内的速度和温度场分布来评价这种通风方式。

2 研究对象

本研究的对象为采用置换通风系统的某普通办公室,如图 1。办公室长 4.2m,宽 3m,

高 2.8m。房间内有两名工作人员，负荷各位 100W，两台计算机，负荷均为 125W。为方便计算，假设热源为两个，均为 $0.4\text{m} \times 0.4\text{m} \times 1.2\text{m}$ 的长方体（一个人和一台计算机合为一个热源体），位于房间的另一侧。

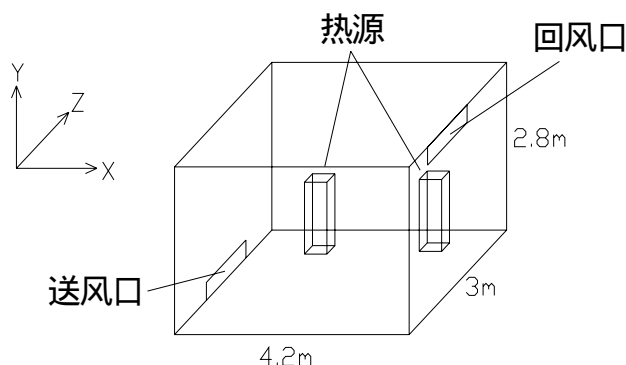


图 1 房间模型

送回风尺寸为 $1\text{m} \times 0.3\text{m}$ ，送风速度为 0.2m/s ，相对湿度为 60%。由于维护结构的热损失不影响置换通风的分层特性及跃层高度^[2]，因此，假设维护结构为绝热条件。

3 数学模型描述

3.1 模拟过程中的假设：

- (1) 室内气体低速流动，可视为不可压缩且符合 Boussinesq 假设；
- (2) 流动为稳态紊流；(3) 忽略能量方程中由于粘性作用引起的能量耗散；

3.2 边界条件：

(1) 送风口： $u = 0.2\text{m/s}$ ， $v = 0$ ， $w = 0$ ； $T = 293\text{K}$ ； k 和 ε 的取值参考文献[3]， $k = 0.04$ ， $\varepsilon = 0.008$ ；

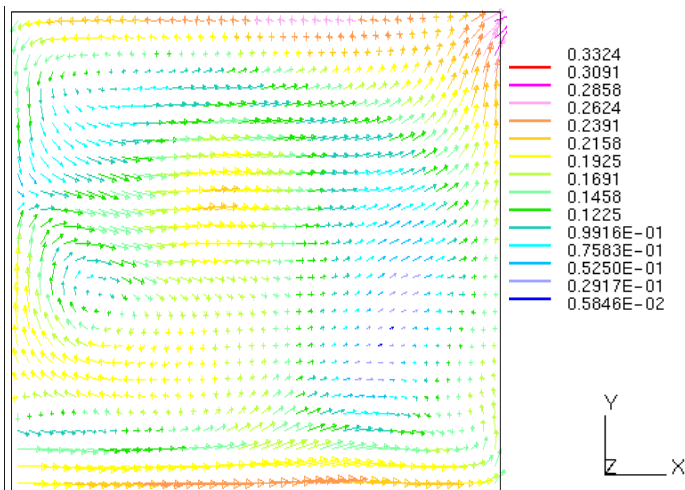
(2) 周围墙体为绝热边界条件；

计算中使用 STAR-CD 软件，采用有限容积法求解 $k-\varepsilon$ 方程模型，方程的离散均采用一阶迎风格式。

4 数值计算结果和分析

4.1 速度场分析

图 2 为 $z = 1.5\text{m}$ 处截面的速度场分布图，由于送入的新风温度低、密度大，在地面附近扩散，形成一个“新风湖”。相似于射流中的贴附射流现象，新风诱导周围空气，并弥漫在房间的底部区域，吸收余热后再以类似层流的活塞流的状态缓慢向上移动。

图 2 $z=1.5\text{m}$ 处的截面速度分布图

由于此截面附近没有热源,整个速度场非常均匀平稳,呈层流低紊流状态。

图3为 $z = 2.6\text{m}$ 处截面的速度场分布图,由于此处存在热源可以看到在热源上方有较大的上升气流。我们还可以发现,新鲜空气流经热源(及人体和计算机)时,吸收热量后在人体上方并没有垂直向上流动,而是向右上角出口处流去,并且这部分流动类似于层流,几乎是单向而互不干扰。这就保证了流经每个人的空气都是没有被他人污染过的新鲜空气,这是置换通风的突出优点^[4]

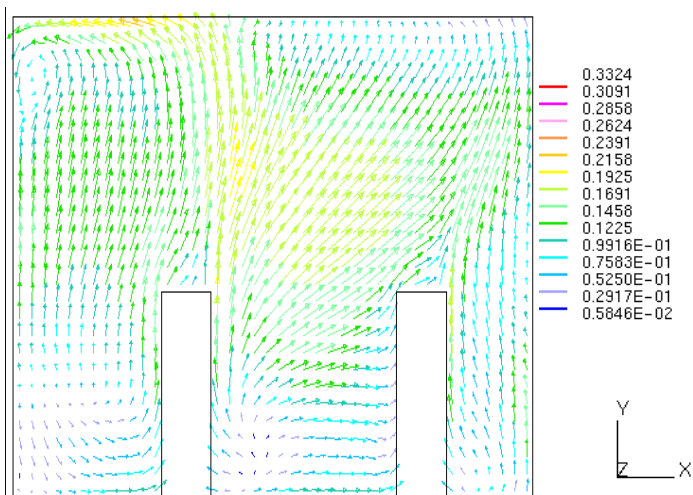


图3 $z=2.6\text{m}$ 处的截面速度分布图

4.1 温度场分析

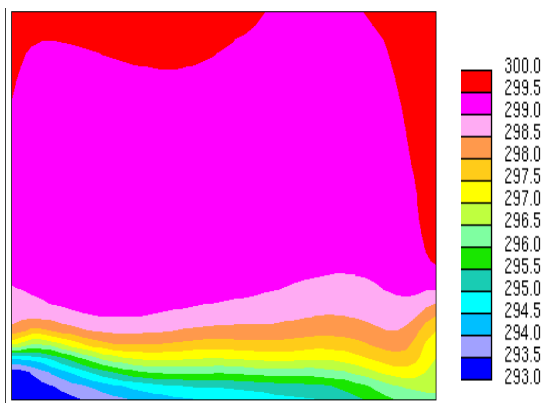


图4 $z = 1.5\text{m}$ 处截面的温度分布图

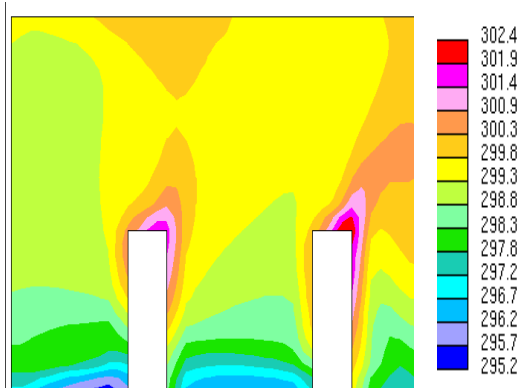


图5 $z = 2.6\text{m}$ 处截面的温度分布图

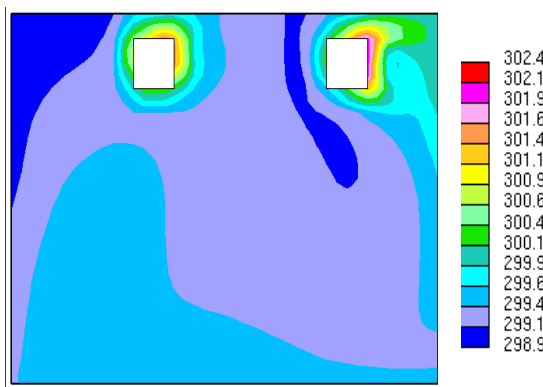


图6 $y = 1.1\text{m}$ 处截面的温度分

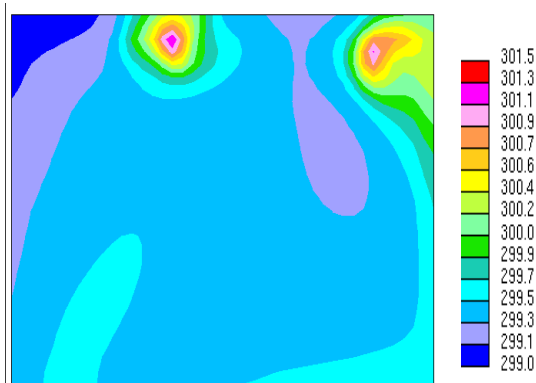


图7 $y = 1.5\text{m}$ 处截面的温度分布

图 4 为 $z = 1.5\text{m}$ 处截面的温度分布图, 从图中我们看到气体温度在水平方向呈一致分布趋势, 有非常明显的分层现象。新风进入室内, 首先被地面加热, 然后与地面附近空气混合, 并慢慢向上扩散。从图中可以明显发现, 空间下部区域的向上的温度梯度高于上部区域, 这是由于热源主要分布在下部的原因。

房间的大部分区域都在 $24 \sim 25$ 之间, 送风口温度较低而回风口温度较高, 在满足设计要求的同时达到了节能的效果。

图 5 为 $z = 2.6\text{m}$ 处截面的温度分布图, 图中除热源(人体)较小区域温度较高外, 周围大部分区域的上下温差在 $2 \sim 3$ 之间, 基本满足人体的热舒适要求(ASHRAE 热舒适要求规定在 3 范围内)。

从图 6、7 可以看出, 房间整个工作区的上下温差在 $2 \sim 3$, 有些区域甚至达到 1 。另外, 除热源外, 房间同一水平断面的温度分布相对均匀, 热源并不影响整个区域的水平方向的温度分布均匀性, 热源无横向扩散^[5]。

5 结论

- (a) 热源(人体)产生的热气流将下部新空气卷吸到呼吸区, 使人体呼吸到的空气好于头部所在平面的平均空气品质^[6]。
- (b) 在垂直截面上, 温度基本呈分层分布。工作区大部分区域内, 垂直方向的温度差小于 3 , 满足人体的舒适性要求。
- (c) 置换通风的送回风温差大, 具有一定的节能效果。

6 参考文献

- [1] 李龙宇, 李强民. 置换通风的原理及应用. 通风除尘, 1996 (1)
- [2] 倪波. 置换通风的实验研究. 暖通空调, 2000 (5)
- [3] 汤广发, 吕文湖, 王汉青. 室内气流数值计算及模型试验[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 1989.
- [4] 高建民, 王汉青, 邓进波, 沈小建. 置换通风的数值模拟研究. 株洲工学院学报, 2004.
- [5] 马云歌, 束永保, 裴峰. 置换通风空调房间气流分布的数值模拟. 制冷空调, 2004.
- [6] Atila Novelac, Jelena Srebric. A critical review on the performance and design of combined cooled ceiling and displacement ventilation systems. Energy and Building, 2002(34): 497-509