

文章编号: 1671-6612 (2019) 06-674-05

# 室内空调风口风速对热舒适度影响

张文雯<sup>1</sup> 李上志<sup>2</sup> 曾理<sup>2</sup> 邱舒婷<sup>2</sup>

(1. 浙江科技学院机械与能源工程学院 杭州 310000;  
2. 温州建正节能科技有限公司 温州 325000)

**【摘要】** 传统空调设备风口位置基本凭借暖通或安装工程师的经验进行布置, 主观性强, 缺乏客观的数据指导, 并不完全满足现代生活水平所要求的舒适度。采用 CFD 软件, 对温州市城区某办公楼的室内气流组织进行模拟。根据模拟结果, 从室内作业热舒适性的角度出发, 分析室内布局的有无对室内风速的影响, 和在不同的送风速率下室内速度场合理性, 并阐述不舒适的问题及改进措施, 为工程应用提供参考。

**【关键词】** 室内气流组织; CFD 模拟; 空调气流速率  
中图分类号 TU834 文献标识码 A

## The Influence of Indoor Air Conditioning Outlet Wind Velocity on Thermal Comfort

Zhang Wenwen<sup>1</sup> Li Shangzhi<sup>2</sup> Zeng Li<sup>2</sup> Qiu Shuting<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical and Energy Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou, 310000;  
2. Wenzhou Jianzheng Energy Technology Co., Ltd, Wenzhou, 325000)

**【Abstract】** The position of outlet of traditional air-conditioning equipment is based on the experience of HVAC or installation engineers, which is subjective and lacks objective data guidance, and does not fully meet the comfort required by modern living standards. In this paper, CFD software is used to simulate the indoor air distribution of an official building in Wenzhou city. According to the simulation results, from the perspective of indoor thermal comfort, this paper analyzes the influence of indoor layout on indoor wind velocity, discusses the rationality of indoor velocity situation under different air supply rates, and expounds the uncomfortable problems and improvement measures, provide reference for practical engineering application.

**【Keywords】** Indoor airflow organization; CFD simulation; Air conditioning airflow rate

## 0 引言

随着我国城镇居民生活质量不断提升, 人们不仅对居住和工作环境的要求逐渐提高, 对室内热湿环境也同样愈发重视, 基于人的一生中 80% 的时间都在室内度过这个痛点, 良好的室内环境已经显著影响到了人的健康与工作、学习效率等<sup>[1]</sup>。因此项目团队就位于夏热冬冷地区的温州市某办公建筑 4 楼东侧集中办公空间展开气流组织影响分析研究。

## 1 概述

影响室内热舒适度因素主要由空气温湿度、风速和热辐射组成。本文以室内风速作为研究突破口。

室内风速, 也就是常说的“通风”。它不仅影响人体体表换热, 也促进着室内空气的流通。当室内空气流动性较低时, 室内环境中的空气得不到充分的更新, 各种有害物质及常见废气(包括过多的二氧化碳气体)不能及时得到排放, 造成室内空气质量恶化, 影响人体健康。室内风速也非越高越好,

特别处于夏季开启空调制冷期间, 当室内气温相对较低, 风速较大, 产生明显的冷热吹风感, 容易造成人体不适, 甚至影响身体健康。通常, 风速以 0.2m/s 作为人体对风速可觉察的阈值, 往往是用来确定室内风速的设计标准<sup>[2]</sup>。

## 2 室内气流组织数值分析

### 2.1 研究目的

本文通过数值模拟, 分析总结室内办公空间的气流组织显性特征 (①在同一送风速度下, 室内有无家具布局对热舒适性的影响; ②研究不同送风速度对室内气流风速的影响), 从而获取营造良好室内微环境的解决策略。

### 2.2 研究步骤

(1) 选定典型办公楼作为研究对象。

(2) 着手调查典型办公空间的日常空调运转情况, 收集该办公空间的空调系统的各项基础资料, 进行归纳整合。

(3) 以归纳整合的数据作为数值模拟的边界条件, 进行仿真。

(4) 呈现室内空间的风场结构分布状况, 结合现行热舒适标准进行分析评价, 并提出相应的改善措施。

### 2.3 研究对象确立

典型办公空间选取对象应满足规模适中且大开间的办公空间, 其平面布局、空调系统风口设计等因素能体现大部分办公建筑的特点。本次模拟考虑实际数据采集因素, 选取温州设计集团大楼 4 楼作为研究对象。

该空间长宽高约为 19m×17m×3.3m, 内部通过办公桌及书架进行分隔, 含 22 张办公桌, 29 个大小不同柜子。空调系统出风口和回风口各 9 个, 出风口设于吊顶侧边, 回风口位于吊顶下面, 属于典型的顶部送风系统。

### 2.4 实测及相关数据收集

(1) 使用激光测距仪对办公空间的平面尺寸进行现场测量, 采用 Sketch Up 对室内空间模型进行还原, 详见图 1 至图 2 办公空间平面图和俯视图。

(2) 利用 CFD 模拟软件 STAR-CCM+ 软件, 对研究对象进行数值模拟。

(3) 本次评价分析指标以《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》3.0.2 条室内空气设计要

求对室内气流组织模拟进行评价, 如表 1 所示。

表 1 室内风速对人体以及作业之影响<sup>[3]</sup>

Table 1 Influence of indoor wind velocity on human body and status

类别	热舒适等级	温度 (°C)	风速 (m/s)
供热工况	I 级	22~24	≤0.2
	II 级	18~22	≤0.2
供冷工况	I 级	24~26	≤0.25
	II 级	26~28	≤0.3

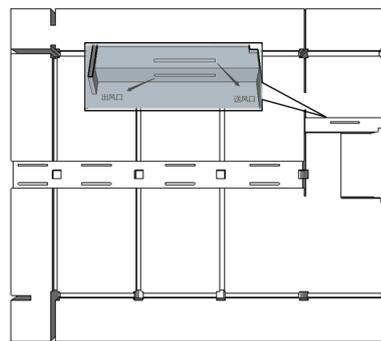


图 1 办公空间平面图

Fig.1 Office space plan

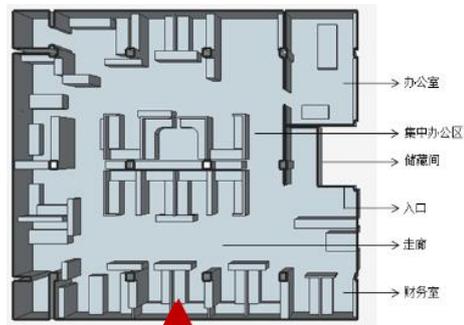


图 2 办公空间俯视图

Fig.2 Office space top view

### 2.5 数学模型及边界

为了对所研究问题进行简化, 本次数学模型设定为:

三维定常不可压缩

介质为空气: 密度为 1.18415kg/m<sup>3</sup>, 动力粘性系数为 1.85508×10<sup>-5</sup>Pa·s

采用分离式求解方法

雷诺应力平均方程

Realizable K-ε湍流模式

高 y<sup>+</sup>壁面函数

假定该模型是气密性良好的封闭空间, 不考虑门、窗漏风的影响。入口进风速率分别设置为:

0.5m/s, 1m/s, 2m/s, 3m/s, 出口边界采用压力出口。

网格质量直接决定了计算的精度和结果,本次采用多面体网格。针对送回风口尺寸较小和速度梯度较大等地方进行局部网格加密,保证模拟精度。如图3至图4室内气流模拟网格示意图。

表2 室内气流模拟网格设置尺寸

**Table 2 Mesh setting dimensions for indoor air flow simulation**

	相对目标尺寸	最小相对尺寸
天花板	0.5m	0.1m
壁面	0.5m	0.1m
地面	0.5m	0.1m
回风口	0.05m	0.01m
送风口	0.05m	0.01m
棱柱层数	6	
棱柱层厚度	0.3m	

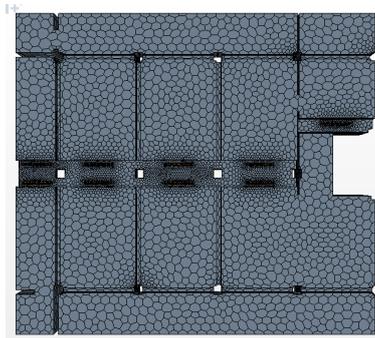


图3 室内气流模拟网格示意图

Fig.3 The grid diagram of indoor air flow simulation

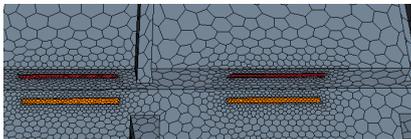


图4 送回风口网格加密示意图

Fig.4 The denser grid diagram of inlet and outlet

## 2.6 数值模拟分析

### 2.6.1 室内有无家具布局对热舒适性的影响

图5至图9为在1m/s的送风风速下的无家具和有家具的室内风场示意图。

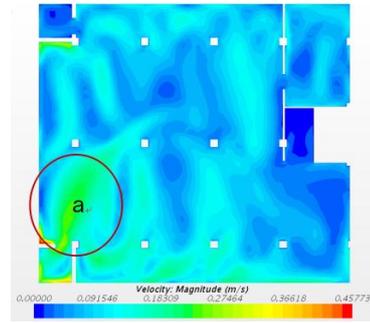


图5 无家具水平风速分布云图 (V=1m/s)

Fig.5 Cloud map of horizontal wind velocity distribution without furniture (V=1m/s)

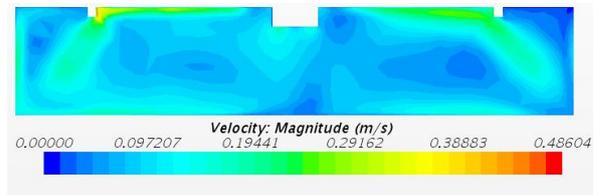


图6 无家具垂直气流分布云图 (V=1m/s)

Fig.6 Cloud map of vertical wind velocity distribution without furniture (V=1m/s)

由图5、图6可知:无家具情况下,除东侧入门处储藏间出现一块低风区外,其余区域气流通畅。在a作业区形成加速风,平均风速在0.25m/s,其他作业区平均风速在0.1m/s左右,风速均匀度不理想。

不同风速下,室内气流分布形态基本一致,整理不同送风风速情况下模拟结果,得表3室内速度范围分布,由此看出平面与截面风速随着送风口速度的增加而增加,且竖直与水平截面处速度相差不大。

表3 室内速度范围分布

Table 3 Indoor velocity range distribution

截面	v=0.5m/s	v=1m/s	v=2m/s	v=3m/s
竖直截面	0-0.235	0-0.486	0-0.964	0-1.461
水平截面	0-0.226	0-0.457	0-0.914	0-1.348

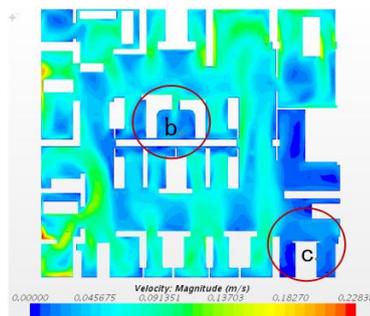


图7 有家具水平风速分布云图 (V=1m/s)

Fig.7 Cloud map of horizontal wind velocity distribution with furniture (V=1m/s)

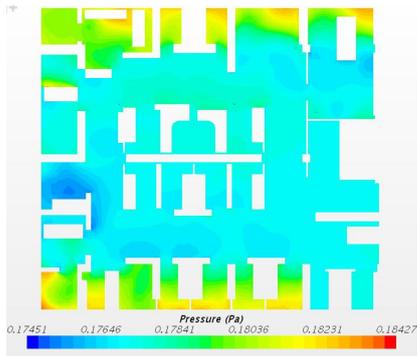


图 8 有家具水平气压分布云图 ( $V=1\text{m/s}$ )

Fig.8 Cloud map of horizontal pressure distribution with furniture ( $V=1\text{m/s}$ )

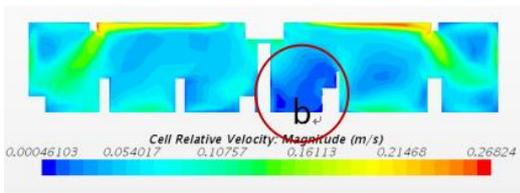


图 9 有家具垂直风速分布云图 ( $V=1\text{m/s}$ )

Fig.9 Cloud map of vertical wind velocity distribution with furniture ( $V=1\text{m/s}$ )

图 7~图 9 为家具布置后室内气流分布图, 由结果可知, 室内大部分区域气流通畅。对比无家具气流分布, 最大风速区域依旧在 a 作业区, 但面积有所缩小, 在 b 和 c 区风速减弱, 不同程度出现低风区, 从截面气流分布也可明显了解 b 作业区空间气流较小。a 作业区平均风速最大在 0.13m/s, 其他作业区平均风速在 0.09m/s 左右, 风速均匀度有一定改善。

当送风速率一定时, 布置家具后室内气流最大风速从 0.45m/s 递减到 0.22m/s, 速度递减幅度达到 50%左右, 递降明显。

由图 8 和图 9 可看出, 空调系统将处理后的空气以高于热舒适指标的速度从室内空间上部顶棚侧面送入, 高速空气射流和空间气流形成融合, 随后送风射流的温度迅速趋近于整个房间的温度, 射流流速也随之降低, 在室内南北两侧的墙壁上形成一道相对强压, 中部区域压强较弱, 促使室内气流流动。

### 2.6.2 研究不同送风速度对室内气流风速的影响

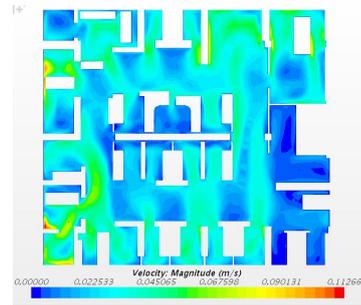


图 10 有家具水平风速分布云图 ( $V=0.5\text{m/s}$ )

Fig.10 Cloud map of horizontal wind velocity distribution with furniture ( $V=0.5\text{m/s}$ )

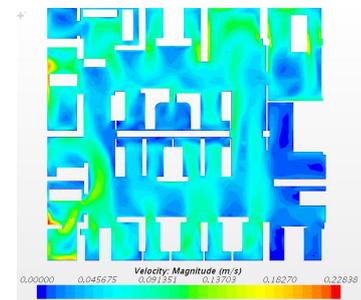


图 11 有家具水平风速分布云图 ( $V=1\text{m/s}$ )

Fig.11 Cloud map of horizontal wind velocity distribution with furniture ( $V=1\text{m/s}$ )

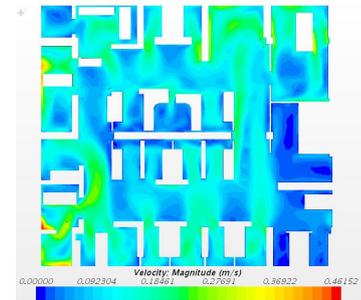


图 12 有家具水平风速分布云图 ( $V=2\text{m/s}$ )

Fig.12 Cloud map of horizontal wind velocity distribution with furniture ( $V=2\text{m/s}$ )

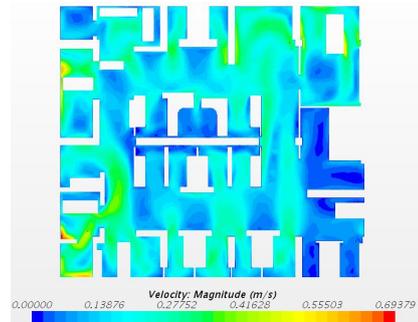


图 13 有家具水平风速分布云图 ( $V=3\text{m/s}$ )

Fig.13 Cloud map of horizontal wind velocity distribution with furniture ( $V=3\text{m/s}$ )

四种不工况下，除变量送风速率变化外，其余参数保存不变，其室内的气流分布轨迹基本一致，气流分布数值随送风速率变化而变化。整理结果如表4室内作业区气流风速分布。

表4 室内作业区气流风速分布

Table 4 Distribution of air velocity in indoor working area

送风速率	v=0.5m/s	v=1m/s	v=2m/s	v=3m/s
$V_{max}$	0.112	0.228	0.461	0.693
$V_{min}$	0.01	0.03	0.05	0.08
$V_{均}$	0.06	0.14	0.23	0.37

依据室内风速对人体以及作业之影响指标：

(1) 供热工况下，空调系统送风速度2~3m/s时，室内气流流速均>0.2m/s 不满足评价要求，作业区办公人员有较明显的热吹风感，热舒适性较差。<sup>[4]</sup>送风风速在0.5m/s时，空间内气流较缓，容易造成气闷；(2) 供冷工况下，室内气流速率应控制在0.25m/s范围内，热舒适性等级2级可适当放宽到0.3m/s，从模拟结果可知，仅送风速度3m/s不满足评价要求，其余三组工况均符合要求，热舒适性依次为  $V_2 > V_1 > V_{0.5}$ 。

2.6.3 小结

本文通过数值模拟分析，以室内风场结构分布和内表面风压作为判定指标，对室内气流组织进行定量分析。结果表明：(1) 当各参数一定时，变量仅为气流速率时，其室内气流轨迹基本不变，流分布数值随送风速率变化而变化；(2) 有无家具布置气流轨迹分布差异明显，且布置家具后其速度递减幅度在50%左右；(3) 供冷和供热对设备送风速率要求不一，供冷工况热舒适度  $V_1 > V_{0.5} > V_2 > V_3$ ，供热工况则为  $V_2 > V_1 > V_{0.5} > V_3$ 。

3 室内气流组织问题及改进措施

综上所述，该办公空间无论有无家具布置，其室内整体气流组织较为良好，大部分作业区气流均衡，未出现大面积的无风区和涡旋区，但在局部区域依然出现舒适性较差的区域，如a作业区出现加速区、b和c作业区形成小面积的低速区等。具体原因如下：

(1) 无论是否布置家具，在a作业区均出现加速风，主要原因是小房间内形成全空间最大风压差，促使气流加速，再经通道效应增速，该区域作业人员容易形成较强的冷热吹风感。

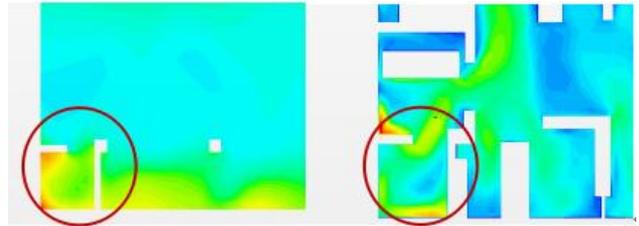


图14 a 作业区放大图（左风压&右风速）(V=1m/s)

Fig.14 a Work space enlarged view (Left.wind Pressure&Right.wind velocity) (V=1m/s)

(2) b作业区位于回风口下方，气流在形成内循环时，受b区的桌子隔板影响，被迫绕流，该区域不能形成有效的通风路径，通风较差，利于污浊气流聚集，不宜长时间办公作业。

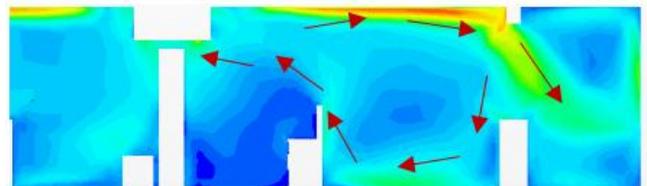


图15 b 作业区竖向截面放大风速图 (V=1m/s)

Fig15 b Vertical wind velocity enlarged view of work space (V=1m/s)

(3) c作业区主要由于该区域未设置出口口。

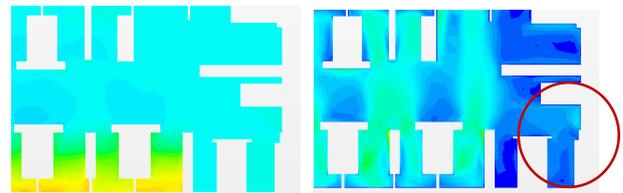


图16 c 作业区放大图（左风压&右风速）(V=1m/s)

Fig.16 c Work space enlarged view (Left.wind Pressure&Right.wind velocity) (V=1m/s)

针对上述问题，提出以下几点改进措施：(1) 在a区上风向书架上增加一定的植物盆栽，减少风口直射小房间，削减小房间里的风压；(2) b区办公桌降低桌子隔板高度或直接取消，构建通风路径；(3) c区则只要增加风口即可改善。

4 结语

传统空调设备风口位置基本凭借暖通或安装工程师的经验进行布置，主观性强，缺乏客观的数据指导，并不完全满足现代生活水平所要求的舒适

(下转第 690 页)