

文章编号: 1671-6612 (2022) 03-440-04

工位送风技术节能应用研究 ——以夏热冬冷地区某办公建筑为例

钟辉智 刘联华 周 航

(中国建筑西南设计研究院 成都 610042)

【摘要】 以某办公建筑为例,研究了工位送风对工作区热舒适的影响和节能潜力。利用CFD数值模拟,对不同气流组织形式人员工作区的温度场、速度场进行研究,并对不同风口的耗冷量进行了对比。结果表明,个性化工位送风在优化出风风速基础上提升人员热舒适,同时实现耗冷量降低27.6%。

【关键词】 气流组织;数值模拟;工位送风;节能

中图分类号 TU24 文献标识码 A

Research on Energy Saving Application of Task Air Supply Technology ——The Office Building in Hot Summer and Cold Winter Area is Taken as an Example

Zhong Huizhi Liu Lianhua Zhou Hang

(China Southwest Architectural Design and Research Institute Co., Ltd, Chengdu, 610042)

【Abstract】 Taking an office building as an example, research on the influence of task air supply on the thermal comfort and energy-saving potential of the work area. Using CFD numerical simulation, the temperature field and velocity field of personnel working area with different air distribution are studied, and the cooling consumption of different tuyeres is compared. The results show that personalized ventilation can improve thermal comfort of personnel on the basis of optimizing the outlet velocity, and reduce the cooling consumption by 27.6%.

【Keywords】 Air distribution; Numerical simulation; Task air supply; Energy saving

基金项目:国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项“净零能耗建筑关键技术与示范”项目(19YFE0100300-11);四川省科技计划重点研发项目“绿色建筑运行性能提升关键技术研究”(2020YFS0060)

作者(通讯作者)简介:钟辉智(1980.04-),男,博士,高级工程师,E-mail:83503675@qq.com

收稿日期:2021-11-03

0 引言

通风空调系统节能对降低建筑能耗和减少碳排放有着举足轻重的意义。因此,应用一种既节能又能满足人员舒适需求的空调系统,对净零能耗建筑的设计十分关键。

工位通风是在理论上能够实现热舒适的同时又节约能源的一种通风方式,通过改变局部热环境从而满足人员舒适性的要求^[1]。Antoun等研究了辐射不对称时个性化吊顶送风系统的性能,发现吊顶个性化送风系统与混合通风相比可以节能36%^[2]。Faulkner等人对桌面个性化工位送风系统的通风

效率进行了研究,结果表明个性化工位通风具有节能的潜力^[3]。

此外,人员可以通过对各自工位送风系统的送风参数进行调节,实现对工作区微环境温度、风速、湿度等参数进行控制,满足自身热舒适需求^[4]。杨建荣等人研究了风速、风温等送风参数对局部热环境和空气品质的影响,并通过实验对送风效果进行了分析^[5]。Habchi等从热舒适和空气品质方面,研究了台式扇或座椅扇辅助的顶棚个性化送风系统的性能^[6]。Kaczmarczyk等对比研究了个性化送风与混合送风系统,发现个性化送风系统能够提高空

气品质并降低建筑综合症^[7]。

基于此, 本设计针对不同气流组织形式下, 人员工作区的热舒适和节能效果进行研究, 对个性化工位送风系统在工程实际中的应用潜力进行探讨。提出了一种多出风装置射流耦合的工位送风装置, 对送风系统装置的有效性进行了优化, 并对送风效果和耗冷量进行了横向比较。

1 工程概况及研究内容

办公楼项目位于成都市天府新区核心区兴隆湖北侧, 项目地块南侧距兴隆湖水面直线距离约 200 米, 周边环境良好, 建筑面积为 2079.26m², 建筑类型为办公建筑。项目设计目标为净零能耗建筑, 预期实现采暖和空调能耗≤40kWh/(m²·a)。

2 评价指标

为对比不同气流组织形式下, 人员工作区的热舒适性, 对人员工作区的温度和速度进行分析, 并引入有效吹风温度、气流分布特性指标 ADPI 作为评价指标^[8]。有效吹风温度公式如下:

$$\theta = (t_i - t_n) - 7.66(u_i - 0.15) \quad (1)$$

式中, θ 为有效温度差, t_i 为工作区某点温度, °C; t_n 为室内平均温度, °C; u_i 为工作区某点的风速, m/s。

对于办公室, 当 θ 为 -1.7~1.1 温度, $u_i < 0.35$ m/s 以下的范围, 大多数人感觉是舒适的, 小于下限值有冷吹风感, 大于上限值有热吹风感。气流分布特性指标 ADPI 为满足有效吹风温度要求的点占总点数的百分比, 其公式为:

$$ADPI = \frac{(-1.7 < \theta < 1.1) \text{的测点数}}{\text{总测点数}} \times 100\% \quad (2)$$

3 数值模拟及计算

本设计通过选定传统气流组织形式中典型的上送下回, 与个性化工位送风进行对比, 考虑不同气流组织形式人员工作区温度、风速等环境参数的差异, 确定不同气流组织形式对人员热舒适的影响。

本设计采用 CFD 数值模拟来对不同气流组织形式时, 人员工作区的温度、风速场, 利用 ANSYS Fluent 19.2 进行计算。模型选用为 6m×6m×3m 房间, 上送下回出风口距地面高度 3m, 出风口尺寸

为 0.2m×0.1m, 出风风速为 0.5m/s, 风量满足 GB 50736-2012 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》要求, 设定出风温度为 26°C^[9]。考虑人员散热、计算机及显示屏散热, 将人员设为定壁温边界条件, 温度设为 36°C。计算机及显示器散热, 设为定热流密度边界条件, 热流密度为 50W/m²。出风口尺寸为 0.2m×0.1m, 设置在房间底部距地面高度为 0.3m 处。模型采用非结构网格划分, 在保证计算精度的前提下, 对出风口和人员工作区平面进行了局部加密, 划分结果如图 1 所示。

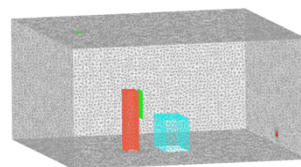
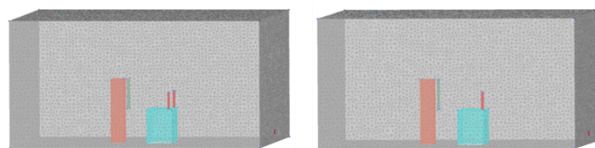


图 1 上送下回模型及网格划分

Fig.1 Up-and-down model and meshing

$k-\varepsilon$ Standard 模型是湍流问题中常用的模型, 具有计算稳定性好、求解精度高、适用范围广等优点, 在现有的气流组织研究中被大量应用^[10]。因此, 本研究湍流模型选择 $k-\varepsilon$ Standard 模型作为计算模型, 模型网格数为 1930K。

个性化工位送风分为两个方案, 方案一是在上送下回形式的基础上, 加入了两个工位送风装置, 风口面积为 0.05m×0.05m, 个性化工位送风口的出风风速为 0.5m/s, 出风温度为 24°C。此时上送风口的出风风速为 0.5m/s, 出风温度为 28°C。其他物理模型设置条件与上送下回形式保持一致。保证网格数仍为 1930K, 选择 $k-\varepsilon$ Standard 模型作为计算模型, 模拟参数设置与上送下回模拟相同。方案二是在上送下回形式的基础上, 加入了一个工位送风装置, 风口面积为 0.1m×0.05m, 其他参数设置与方案一相同。



(a) 方案一

(b) 方案二

图 2 上送下回+个性化工位送风模型及网格划分

Fig.2 Up-and-down + personalized task air supply model and meshing

4 结果与讨论

4.1 不同气流组织形式工作区速度场分析

工作区风速是决定人员热舒适的关键环境参数，风速过大会导致人员出现吹风感，极大的影响人员热舒适。所以本节对不同气流组织形式下人员工作区的速度场进行分析对比。

选取人前方 0.1m 处作为特征面，对不同气流组织形式下人员工作区的速度场进行分析对比。对

于上送下回气流组织形式，由于出风口距离工作区较远，且受到人员阻碍，工作区平均风速接近为零。方案一的个性化工位送风装置，可以实现工作区有风，且工作区风速较小，不会影响人员出现吹风感。对于方案二的个性化工位送风装置，工作区流场均匀性较差，影响人员热舒适。

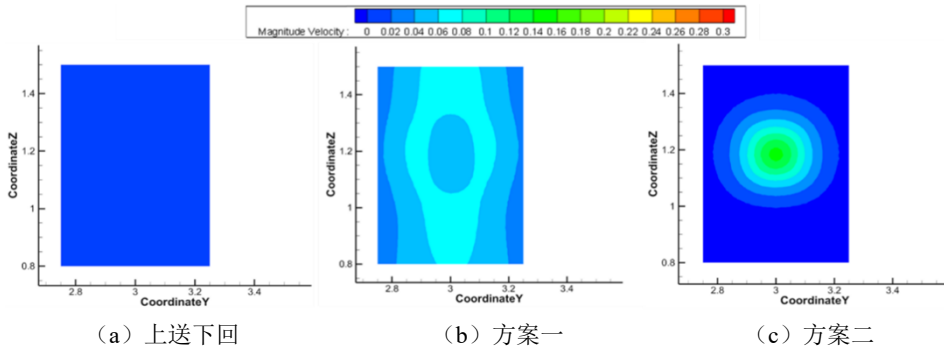


图 3 不同气流组织形式工作区速度场

Fig.3 Velocity field in working area with different air distribution

4.2 不同气流组织形式工作区温度场分析

工作区温度直接影响人员热舒适，所以本节对不同气流组织形式下人员工作区的温度场进行分析对比。

选取人前方 0.1m 处作为特征面，对不同气流组织形式下人员工作区的温度场进行分析对比。对于上送下回气流组织形式，由于人员及设备散热，

且工作区处于无风状态，难以带走热量，工作区平均温度为 30.2℃。

采用方案一的个性化工位送风装置，工作区温度可以降低 1.5℃，工作区平均温度降低为 28.5℃。对于方案二的个性化工位送风装置，工作区平均温度可降低 1℃，降低至 29℃。

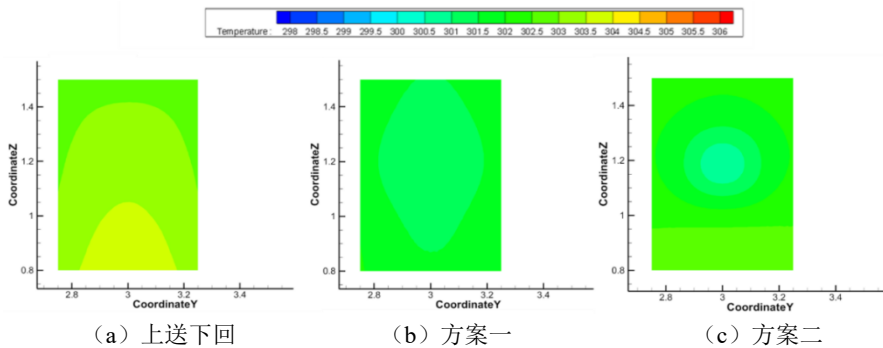


图 4 不同气流组织形式工作区温度场

Fig.4 Temperature field in working area with different air distribution

4.3 有效吹风温度 θ 及 ADPI 分析

表 1 不同气流组织形式有效吹风温度 θ 及 ADPI 对比

Table 1 Comparison of effective draft temperature θ and ADPI with different air distribution			
	上送下回	方案一	方案二
有效吹风温度 θ	2.098	0.236	0.615
ADPI	0	1	0.9

为了进一步分析不同气流组织形式下人员的热舒适，本节针对不同气流组织形式下人员工作区的有效吹风温度和 ADPI 进行分析。

通过公式 (1) 计算不同气流组织有效吹风温度再取绝对值后平均，计算得方案一平均有效吹风温度最低，且 ADPI 值最高为 1，满足 $ADPI \geq 80\%$ 的要求。基于此，选定方案一作为工位送风技术设

计方案。

对方案一的个性化工位送风装置出风风速进行优化, 设定出风风速为 0.3m/s、0.5m/s、0.8m/s、1.0m/s、1.5m/s。考虑不同风速下人员工作区的有效吹风温度 θ 平均值及 ADPI, 调节个性化工位送风装置出风风速。

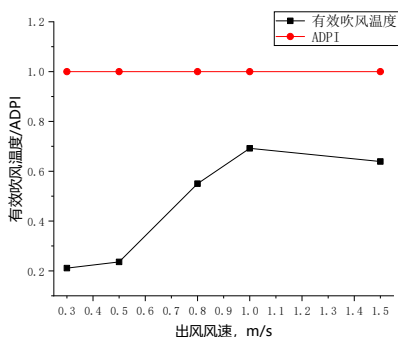


图 5 不同出风风速下工作区的有效吹风温度 θ 及 ADPI

Fig.5 Effective draft temperature θ and ADPI in working area at different air supply velocity

从图 5 可知, 不同出风风速下, ADPI 的值均为 1, 而针对有效吹风温度, 出风风速为 0.3m/s 时最低。在综合考虑人员工作区热舒适及耗冷量的基础上, 确定个性化工位送风装置的出风风速为 0.3m/s。

4.4 不同气流组织形式的耗冷量

对不同气流组织耗冷量分析, 主要针对于送风处理到指定温度参数下所需的冷量进行比较^[1]。计算公式如下:

$$Q = c \cdot \rho \cdot v \cdot s \cdot \Delta t \quad (3)$$

式中, c 为空气的比热容, 当 $t=30^{\circ}\text{C}$ 时,

$c=1.01\text{kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$; ρ 为空气的密度, 当 $t=30^{\circ}\text{C}$ 时,

$\rho=1.165\text{kg/m}^3$; v 为风口出风速度, m/s; s 为风口面积, m^2 ; Δt 为送风温度与室内温度的温差, $^{\circ}\text{C}$ 。

表 2 不同气流组织形式耗冷量对比

Table 2 Comparison of cooling consumption with different air distribution

气流组织形式	风口面积 m^2	风速 m/s	温差 $^{\circ}\text{C}$	耗冷量 kJ
上送下回	0.02	0.5	4	0.047
方案一	0.02	0.5	2	0.034
	0.005	0.3	6	

从表 2 可知, 上送下回形式送风温差较大为

4°C , 出风风速为 0.5m/s。对于方案一的个性化工位送风形式, 上送风的温差较小, 为 2°C , 出风风速为 0.5m/s; 个性化送风的温差较大, 为 6°C , 出风风速为 0.3m/s。相较于只采用上送下回形式, 采用方案一的个性化工位送风形式的风口耗冷量更低, 可降低约 27.6%。

5 结论

不同气流组织形式下, 人员工作区环境参数有较大差异。采用上送下回形式, 工作区接近无风, 人员散发的热量及设备产热无法带走, 工作温度相较于房间初始环境温度提高了 0.2°C , 达到了 30.2°C , 难以满足人员热舒适需求。

应用方案一的个性化送风装置时, 可以实现工作区有风且风速较小, 不会影响人员出现吹风感, 工作区温度可以降低 1.5°C , 平均温度为 28.5°C 。方案二的个性化工位送风装置, 工作区流场均匀性较差, 影响人员热舒适, 工作区平均温度降低 1°C , 降低至 29°C 。

方案一的工位送风装置, 可以较好的满足人员热舒适需求, 降低人员工作区温度。对方案一装置的出风风速进行优化后, 可以在满足人员热舒适需求的基础上, 同时实现节约耗冷量 27.6%。也可以进一步调节个性化送风的送风参数, 满足不同热舒适需求的人群。

本设计通过引入吹风温度和 ADPI 指标等评价指标, 对不同气流组织形式下人员工作区的热舒适和节能效果进行研究, 为之后工位送风技术在工程实际设计中的应用提供参考。

参考文献:

- [1] Yang J, Sekhar C, Cheong D, et al. Performance evaluation of an integrated Personalized Ventilation-Personalized Exhaust system in conjunction with two background ventilation systems[J]. Building and Environment, 2014,78(12):103-110.
- [2] Antoun S, Ghaddar N, Ghali K. Coaxial personalized ventilation system and window performance for human thermal comfort in asymmetrical environment[J]. Energy and Buildings, 2016,111(1):253-266.
- [3] Faulkner D, Fisk W J, Sullivan D P, et al. Ventilation efficiencies of desk-mounted task/ambient conditioning systems[J]. Indoor Air, 2000,9(4):273-281.

- [4] 郑国忠,荆有印.CMP 桌面工位空调的气流组织与微环境评价[J].制冷与空调,2006,(3):33-37.

(下转第 495 页)