

办公室不同通风方式效果模拟与分析

尚少文¹,徐颖¹,薄士强²,李龙新¹,毕雪¹

(1. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168; 2. 北京尚华节能环保科技股份有限公司,北京 100080)

摘要 目的 研究夏季办公室置换通风、侧送风和混合通风的特点及效果,探索不同通风方式对室内空气品质和热环境的影响,设计有效的办公室通风系统,创造良好的室内环境. 方法 利用 Airpak 软件对置换通风和侧送风进行模拟计算,得出了两种送风方式下室内温度场、速度场以及 $PMV-PPD$ 指标分布. 结果 侧送风形式下,空调送风运动轨迹呈抛物线分布,新风抛物线以下工作区域温度较低,主要分布在 $24 \sim 28 \text{ }^\circ\text{C}$,在人体经常活动的范围内速度大小为 0.25 m/s , $PMV-PPD$ 指标接近于 0. 置换通风热力分层,温度自下而上升高,工作区内风速为 0.096 m/s ,温度为 $26 \text{ }^\circ\text{C}$, $PMV-PPD$ 指标小于侧送风形式的 $PMV-PPD$ 指标. 混合通风工作区温度分布比较均匀,为 $28 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,但是工作区风速较高,为 0.6 m/s . 结论 办公室采用置换通风方式活动区空气品质好,既能营造良好的工作环境又可利用空气自身浮升力达到节能目的,是一种理想的通风方式.

关键词 Airpak 软件;置换通风;混合通风;模拟计算

中图分类号 X703 文献标志码 A

Simulation and Analysis of the Different Ventilation in Office

SHANG Shaowen¹, XU Ying¹, BO Shiqiang², LI Longxin¹, BI Xue¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. Beijing Sunward Energy Conservation and Environmental Protection Technology Construction Group Limited, Beijing, China, 100080)

Abstract: In order to improve design of ventilation in office and create excellent office environment, we researched the characteristics and influence of office ventilation of displacement ventilation, side ventilation and hybrid ventilation in summer to seek for the air quality and thermal environment caused by the different ventilation ways. Through Airpak software simulation calculation to displacement ventilation and side ventilation, we can get the temperature field, speed field and $PMV-PPD$ data. Under the condition of side ventilation, air-condition ventilation path appear to parabola distribution, lower temperature under fresh air parabola, mainly distributed in $24 \text{ }^\circ\text{C}$ to

收稿日期:2016-02-03

基金项目:国家自然科学基金项目(51408376);辽宁省住建厅项目(SZJT2015008)

作者简介:尚少文(1970—),男,副教授,主要从事室内环境质量保障技术和建筑节能研究.

28 ℃. The velocity of the range of human activities is 0.25 m/s. The index of PMV-PPD closed to zero. Displacement ventilation appeared thermal stratification, the temperature rise from bottom to top. the velocity in working area is 0.096 m/s, the temperature is 26 ℃. The index of PMV-PPD is less than the form of side ventilation. The temperature in working area of mixing ventilation distribute uniform, about 28 ℃. But the velocity in workspace is higher, about 0.6 m/s. Displacement ventilation is a kind of ideal ways that bring high quality of air situation in office and also used air buoyancy to reach the goal of energy conservation and creation of suitable environment.

Key words: Airpak software; displacement ventilation; hybrid ventilation; simulation calculation

随着生活水平的提高,人们对室内工作环境的要求越来越高^[1].创造良好的室内环境更有利于人们的身心健康,因此,保持良好的室内空气环境是室内设计的首要前提^[2].室内空气环境包括室内热湿环境和室内空气品质,而合理的通风形式是良好室内热湿环境和空气品质的根本保障^[3-5].通风的主要目的是通过提升室内空气品质来营造良好的工作环境.因此,合理的通风形式是现代空调技术发展的必然要求^[6].通过送入新风和排出受污染的气体,来降低室内污染物的浓度,改善室内热舒适性,采用不同通风方式和气流组织形式来稀释和排除室内污染物的效果是不同的,室内人员感受的空气质量也不同^[7-10].由于通风组织受到各种客观因素的影响,因此,对不同通风形式的研究就尤为重要.

置换通风不仅能够提供良好的气流组织,营造舒适的热湿环境,而且经济节能,是一种理想的通风形式.由于我国设计和工程人员对置换通风系统的认识匮乏,经验不足,以至于置换通风技术在我国的应用还不是很普遍^[11].因此深入了解置换通风空调室内流场参数、热舒适性参数和空气品质参数^[12-14],有利于我们更好地设计和利用该系统.基于此,笔者应用 Airpak 软件采用计算流体力学分析方法对办公室采用不同通风形式的工作区内的速度及温度场分布情况进行模拟分析,并通过 *PMV-PPD* 指标来反应人体的热舒适性能及不满意度,最后通过对比分析侧送风形式、置换通风形式及混合通风形式下办公室工作区内的速度及温度分布探

索不同通风方式对室内空气品质和热环境的影响.为创造良好的室内环境提供理论依据.

1 建立模型及确立边界条件

1.1 物理模型及边界条件

根据某办公室实际建筑尺寸以及室内陈设并简化建立一典型办公室模型:长宽高为 4.2 m × 3.6 m × 3 m,室内布置如图 1 所示.室内人员负荷 105 W/人,电脑负荷 360 W/台,打印机 500 W/台,灯光 20W/管.侧送风送、排风口设在左墙,风口长宽为 0.6 m × 0.3 m.送风温度为 18 ℃,风速为 1.2 m/s,排风风速为 0.8 m/s.置换通风送风口在左右墙底部距地面 0.1 m 处,风口长宽为 0.6 m × 0.3 m.送风温度为 20 ℃,风速为 0.3 m/s.外墙设为定温墙壁.

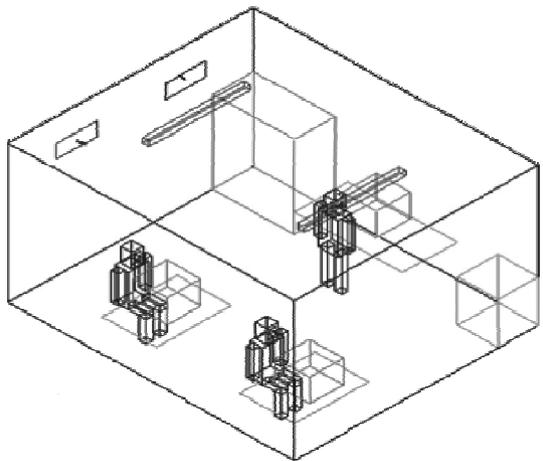


图1 办公室模型

Fig. 1 The office model

1.2 数学模型

模拟根据流体流动状态采用 $k-\varepsilon$ 湍流

模型^[15-17]来描述办公室通风,并依据 Bus-sinesq 假设^[18-19]和流体流动、传热过程约束条件建立数学模型为

(1) 连续性方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial (\rho \bar{v}_j)}{\partial x_j} = 0. \quad (1)$$

(2) 动量方程

$$\frac{\partial (\rho \bar{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\eta \frac{\partial \bar{u}}{\partial x_j} - \overline{\rho u'_i u'_j} \right). \quad (2)$$

(3) 能量方程

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\rho c_p \bar{T}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho c_p \bar{v}_j \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho c_p \overline{v'_j u'_j T'}) + \bar{s}_T. \quad (3)$$

(4) k 方程

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k v_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_n - \rho \varepsilon. \quad (4)$$

(5) ε 方程

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \varepsilon v_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} [c_1 (G_k + G_b) - c_2 \rho \varepsilon]. \quad (5)$$

式中: $\mu_t = c_\mu \rho k^2 / \varepsilon$; $k = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i}$; $\varepsilon = \mu \frac{\partial u'_i \partial u'_i}{\partial x_j \partial x_j}$; $G_k = \mu_t \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial v_i}{\partial x_j}$; $G_b = \beta g_i \frac{\mu_t \partial T}{\sigma_T \partial x_i}$; $c_\mu = 0.09$; $\sigma_k = 1.0$; $\sigma_\varepsilon = 1.3$; $c_1 = 1.44$; $c_2 = 1.92$.

2 侧送风数值模拟结果与分析

2.1 速度、温度分布

为了更好地研究不同高度处侧送风方式对室内环境热舒适性的影响,笔者分别对房间高度为 2.65 m 和 0.92 m 处的速度及温度场进行模拟分析,对比分析距离地面不同高度处房间的速度及温度场的分布情况,并

对距地面高度 0.15 m 和 1.2 m 的水平截面温度分布情况进行模拟分析。

图 2、图 3 分别为 $Z=2.65$ m, $Z=0.92$ m 截面处速度分布. 图 4、图 5 分别为 $Z=2.65$ m, $Z=0.92$ m 截面处温度分布。

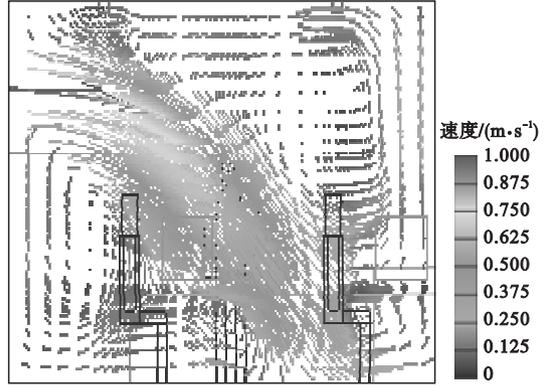


图 2 $Z=2.65$ m 截面处速度分布

Fig. 2 Velocity distribution of $Z=2.65$ m

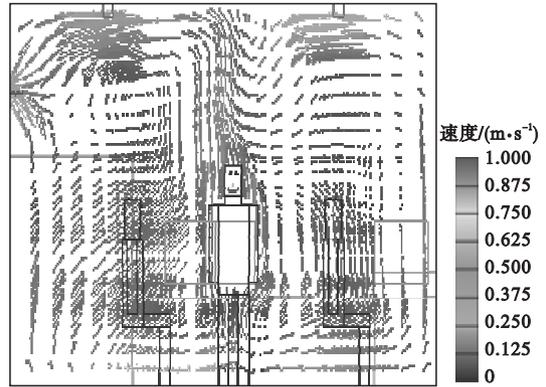


图 3 $Z=0.92$ m 截面处速度分布

Fig. 3 Velocity distribution of $Z=0.92$ m

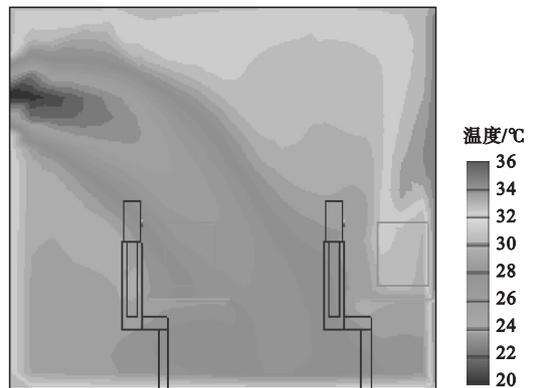
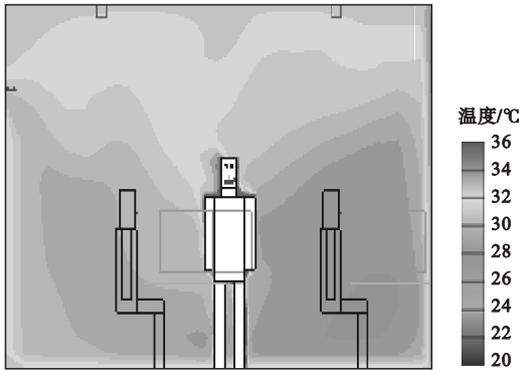


图 4 $Z=2.65$ m 截面处温度分布

Fig. 4 Temperature distribution of $Z=2.65$ m

图5 $Z=0.92$ m 截面处温度分布Fig. 5 Temperature distribution of $Z=0.92$ m

从图2和图3不同高度处的速度分布图可以看出:在人体经常活动的范围内速度分布比较均匀,速度大小为 0.25 m/s,满足人体舒适度的要求,吹风感比较好.而且从图中也可以看出风速大小直接影响射流行程.因此可以通过控制风速,避免气流直接吹向人,造成吹风感.从图4和图5不同截面处温度分布图可以看出:侧送风形式下,空调冷风从侧风口吹入,由于温度低,运动轨迹呈抛物线分布,风口处的温度为 20 °C.新风抛物线以下工作区域温度较低,主要分布在 $24 \sim 28$ °C.人体活动区附近温度分布比较均匀,舒适感比较好.

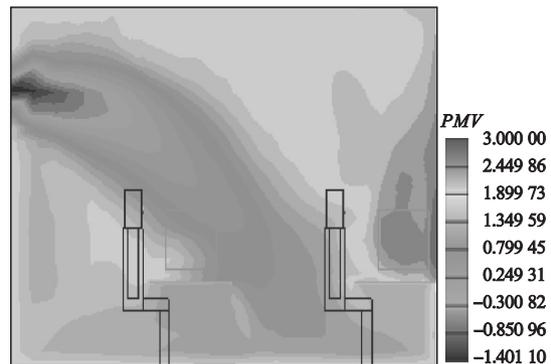
图6和图7为 $Y=0.15$ m和 $Y=1.2$ m截面处温度分布云图,从图中可以看出在 $Y=0.15$ m和 $Y=1.2$ m截面处的人体活动范围内温度分布都比较均匀,温度大小为 28 °C左右,满足人体的舒适性要求.

图6 $Y=0.15$ m 截面处温度分布Fig. 6 Temperature distribution of $Y=0.15$ m图7 $Y=1.2$ m 截面处温度分布Fig. 7 Temperature distribution of $Y=1.2$ m

2.2 PMV-PPD 指标

$PMV-PPD$ 是评价人体热舒适性能的重要指标, PMV 综合考虑了人体活动程度, PMV 越接近于 0 意味着室内热环境为最佳热舒适状态^[20].但是由于人与人之间存在生理差别,因此 PMV 指标并不一定能够代表所有个人的感觉.而 PPD 反应了人体不满意度,其 PPD 值越小,即人体不满意度越好,人体舒适性越好^[21-23].为了更好的分析侧送风对人体舒适性能的影响,笔者分别对不同截面处的 $PMV-PPD$ 进行分析.

图8和图9为 $Z=2.65$ m截面处 PMV 和 PPD 指标,从图中可看出:冷风流过区域的热舒适性较好,其 PMV 值为 -0.3 ,基本接近于 0 ,在人体经常活动的区域内 PMV 值为 0.79 ,人体热舒适性能较好,而且不满意度也小,不满意度在 5% 左右,而其他区域相对较差.图10和图11为 $Z=0.92$ m截面处 PMV

图8 $Z=2.65$ m 截面处 PMV 指标Fig. 8 PMV index of $Z=2.65$ m section

和 PPD 指标,从图中可以看出:在人体活动区内, PMV 值为 -2.3 左右,不满意度 PPD 也达到了 88% ,人体舒适性较差.从而说明:同侧送、排风形式下室内温度场、速度场等参数分布受气流影响较大,分布不均.

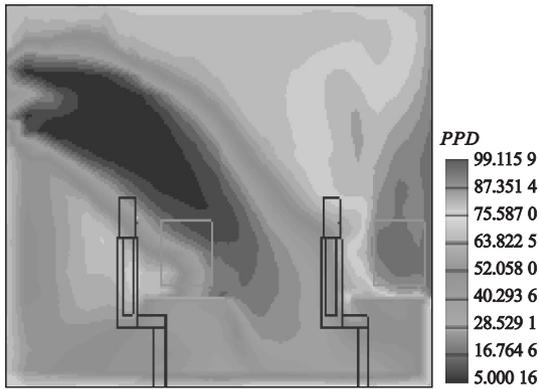


图9 $Z=2.65$ m 截面处 PPD 指标

Fig. 9 PMV index of $Z=2.65$ m section

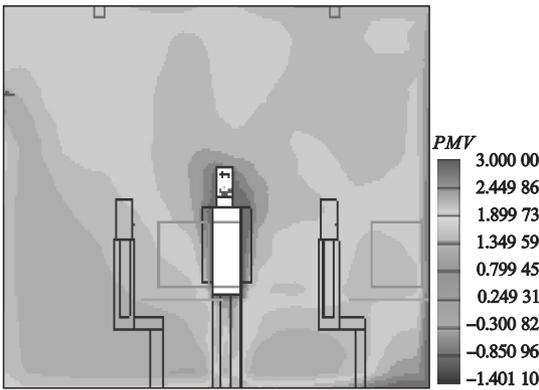


图10 $Z=0.92$ m 截面处 PMV 指标

Fig. 10 PMV index of $Z=0.92$ m section

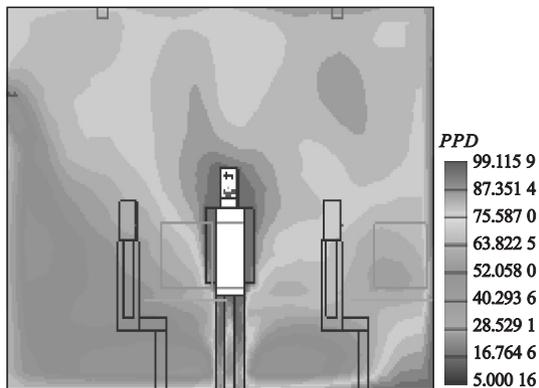


图11 $Z=0.92$ m 截面处 PPD 指标

Fig. 11 PPD index of $Z=0.92$ m section

3 置换通风数值模拟结果与分析

3.1 速度、温度分布

置换通风以低速(文中取 0.3 m/s)送风,在重力作用下送风沉到地面并蔓延到全室地板上,形成一层薄薄的“新风空气湖”^[20].空气湖中的新鲜空气受热源上升气流的卷吸作用、后续新风的推动作用及排风口的抽吸作用而缓慢上升,形成烟羽.烟羽沿程不断卷吸周围空气并流向顶部,气流组织受室内桌子等障碍物阻挡,使得冷风上升受阻.为了更好的分析置换通风方式对室内环境热舒适度的影响,笔者分别对不同截面处的速度及温度分布情况进行模拟分析,如图12~图17所示.

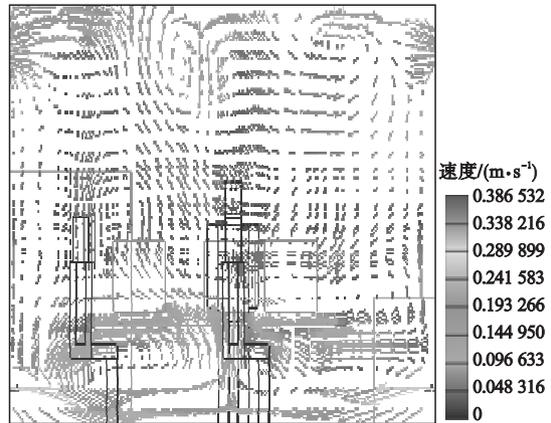


图12 $Z=2.65$ m 截面处速度分布

Fig. 12 Velocity distribution of $Z=2.65$ m

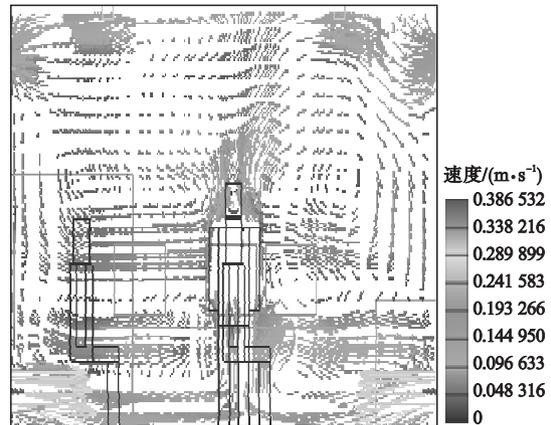
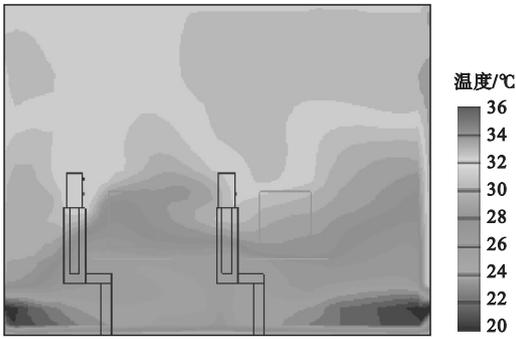
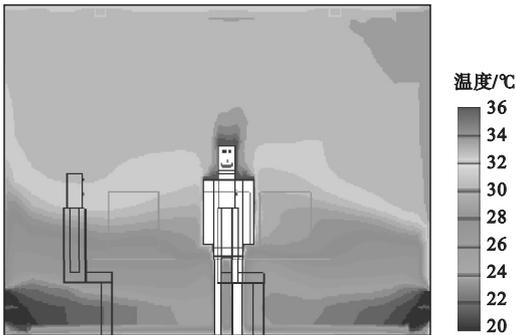
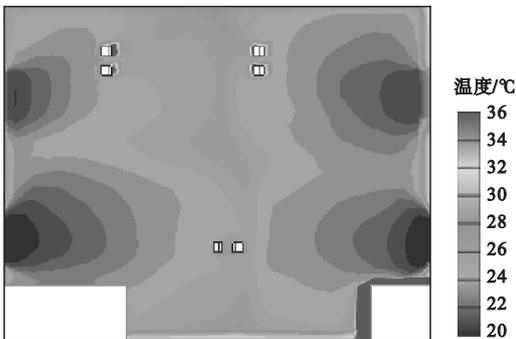
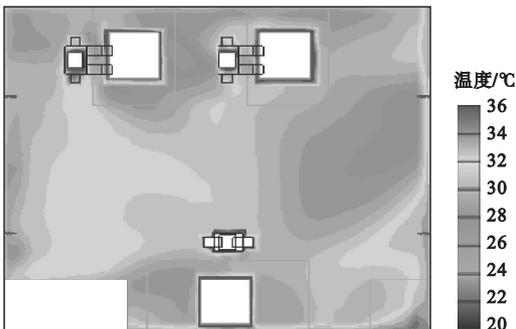


图13 $Z=0.92$ m 截面处速度分布

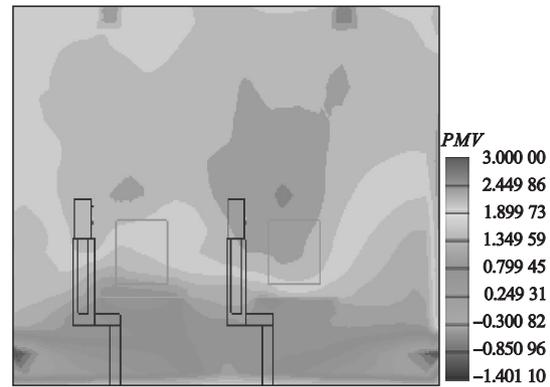
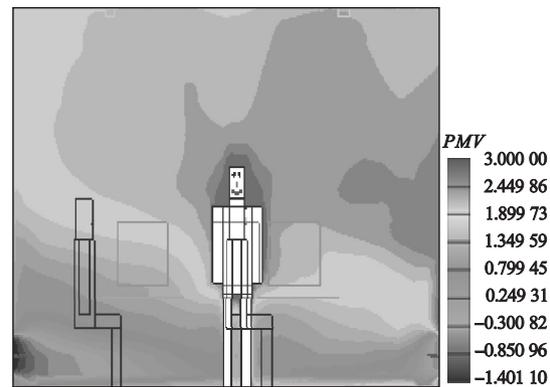
Fig. 13 Velocity distribution of $Z=0.92$ m

图 14 $Z=2.65$ m 截面处温度分布Fig. 14 Temperature distribution of $Z=2.65$ m图 15 $Z=0.92$ m 截面处温度分布Fig. 15 Temperature distribution of $Z=0.92$ m图 16 $Y=0.15$ m 截面处温度分布Fig. 16 Temperature distribution of $Y=0.15$ m图 17 $Y=1.2$ m 截面处温度分布Fig. 17 Temperature distribution of $Y=1.2$ m

从不同截面处的速度分布可以看出： $Z=2.65$ m 和 $Z=0.92$ m 截面处速度分布均比较均匀，在人体经常活动区域速度大小为 0.096 m/s，基本感觉不到吹风感，人体舒适感比较好。从 $Z=2.65$ m 和 $Z=0.92$ m 两不同截面处温度分布云图可以看出：置换通风自下而上呈现较为明显的热力分层现象，脚底处温度较低为 20 °C，与地面的距离越大，室内温度越高，在人体活动区附近室内温度为 26 °C，人体舒适感较好。

3.2 PMV-PPD 指标

为了更清楚的分析不同送风方式对人体热舒适性能的影响，笔者采用置换通风的形式，对 $Z=2.65$ m 截面和 $Z=0.92$ m 截面的 PMV-PPD 指标进行分析，如图 18 ~ 图 21 所示。

图 18 $Z=2.65$ m 截面处 PMV 指标Fig. 18 PMV index of $Z=2.65$ m section图 19 $Z=0.92$ m 截面处 PMV 指标Fig. 19 PMV index of $Z=0.92$ m section

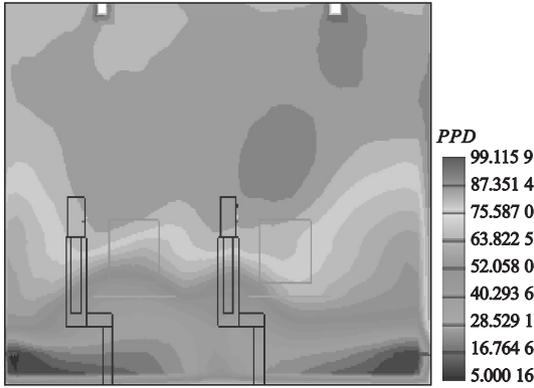


图 20 Z=2.65 m 截面处 PPD 指标

Fig. 20 PPD index of Z=2.65 m section

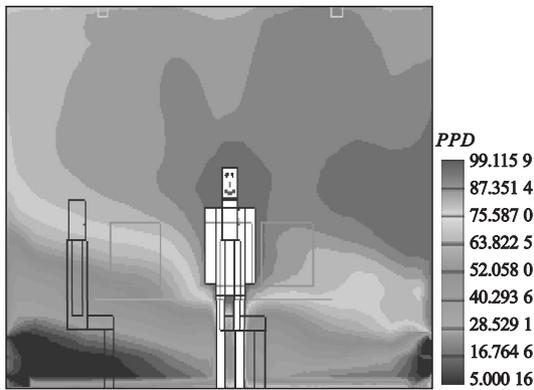


图 21 Z=0.92 m 截面处 PPD 指标

Fig. 21 PPD index of Z=0.92 m section

从图 18 ~ 图 21 的 *PMV* 和 *PPD* 指标来看,在 $Z = 2.65\text{ m}$ 截面处 *PMV* 指标均低于 2.45,在人体经常活动区域内其 *PMV* 指标大约为 1.8,而且通过观察 $Z = 2.65\text{ m}$ 截面处的 *PPD* 指标,可以得出在脚下的 *PPD* 指标较小,大约为 5.0,而由于冷风向上的流动受到桌子的阻挡,使得人体坐姿时头部感觉较差,不满意度较大.在 $Z = 0.92\text{ m}$ 截面处其 *PMV* 和 *PPD* 指标分布情况与 $Z = 2.65\text{ m}$ 截面处相似.因此,在设计置换通风系统时,应充分考虑气流组织效果.

3.3 置换通风与混合通风室内温度、速度分布比较

传统混合通风是以稀释原理为基础,而置换通风以浮力控制为动力.为分析这两种通风方式下室内温度场、速度场分布特点,笔者通过数值模拟,并将模拟结果以图像的形式

进行分析,如图 22 ~ 图 23 所示.

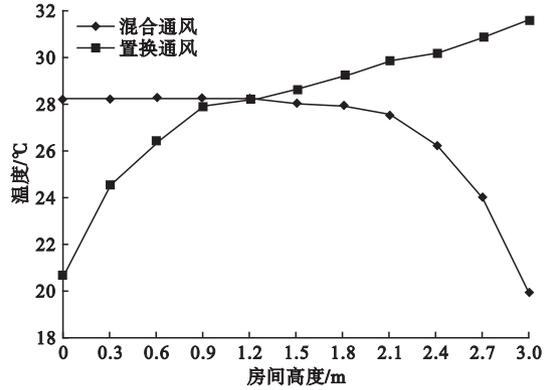


图 22 置换通风、混合通风室内温度分布

Fig. 22 The mixing ventilation, displacement ventilation room temperature distribution

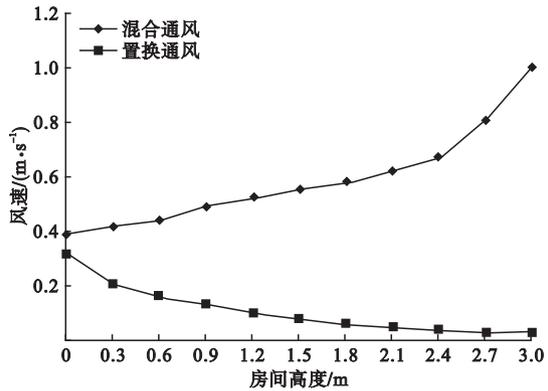


图 23 置换通风、混合通风室内风速分布

Fig. 23 The mixing ventilation, displacement ventilation room temperature distribution

从图 22 中可以看出,采用置换通风形式的房间底部温度低而上部温度高,混合通风出口温度较置换通风出口温度低,出口空气与周围空气充分混合后温度迅速升高并在垂直方向上温度几乎保持不变.从图 23 中两种不同方式的速度分布图来看,置换通风以低风速送风,在人体经常活动的区域内,风速几乎接近于 0,人体几乎感觉不到吹风,而混合通风风速较高,在人体活动区域内,风速为 0.6 m/s,人体的热舒适性较差.

3.4 送风口位置对室内温度场的影响

由于置换送风是底部低风速送风,送风位置必然影响室内温度场.受到建筑形式和室内设备布置限制,送风口在水平方向的设

置位置相对固定,可在垂直方向适当变动.为研究风口位置对室内温度场的影响,分别设置三种风口位置,结果统计如图24和图25所示.

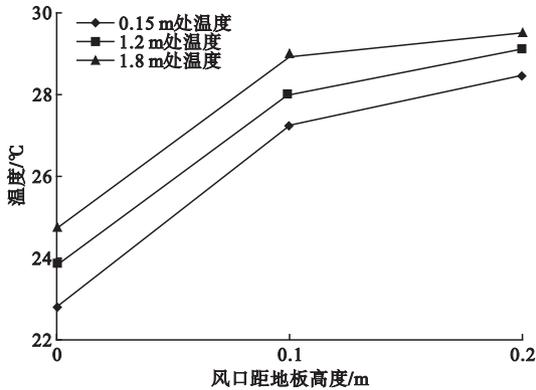


图24 温度随送风口位置变化情况

Fig. 24 Temperature changes with the location of the diffuser

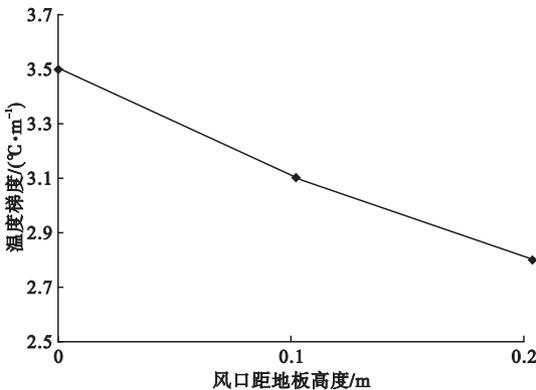


图25 温度梯度随送风口位置变化情况

Fig. 25 The temperature gradient changes with the location of the diffuser

从图24可以看出,提高送风口位置可使室内底部温度增加,提高人体脚部热感觉.房间内温度的高低主要取决于送风温度和送风与室内原来空气的换热情况.送风口位置提高,会降低流场速度,为新风的换热提供了更多的时间,增加了新风换热量,冷风逐渐被加热,温度提高.

由图25中可以看出,当因送风口位置的提高,温度升高时,工作区的温度梯度也会相应降低.热力分层程度变弱,温差对热舒适性的影响减小.图中显示,当送风口位置由贴近

地面提高到距离地面0.2 m时,人头脚之间的垂直温度梯度也有 $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 减小到 $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$.可以看出,模拟结果温度梯度与ASHRAE55—92标准相比较,主要是气流上升受阻所致.

4 结论

采用侧送风形式,空调冷风从侧风口吹入,运动轨迹呈抛物线分布,风口处的温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.新风抛物线以下工作区域温度较低,主要分布在 $24\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$.人体活动区附近温度分布比较均匀,风速为 0.25 m/s ,舒适感较好且在送风处侧的 $PMV-PPD$ 指标好于排风口侧的 $PMV-PPD$ 指标.采用置换通风形式自下而上呈现较为明显的热力分层现象,在工作区附近温度为 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$,风速为 0.096 m/s , $PMV-PPD$ 指标小于侧送风形式的 $PMV-PPD$ 指标人体的舒适感好.采用混合通风方式工作区内的温度值与置换通风差距不大,但其工作区内的风速较高,为 0.6 m/s ,人体的热舒适性较差.因此,办公室内采用置换通风方式工作区内空气品质比较好,是一种理想的通风方式.

参考文献

- [1] 王冬青.层式通风气流组织及热舒适性的数值研究[J].电学学报,2011(6):20-24.
(WANG Dongqing. Layer ventilation and numerical studies of thermal comfort[J]. Journal of electric power, 2011(6): 20-24.)
- [2] 张军甫.办公建筑室内空气品质测试与气流组织分析[D].西安:西安建筑科技大学,2012.
(ZHANG Junfu. Office building indoor air quality testing and air distribution analysis [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2012.)
- [3] 德权,李晓东.办公室置换通风的数值模拟[J].应用能源技术,2011(1):20-24.
(DE Quan, LI Xiaodong. Numerical simulation and analysis of displacement ventilation of office[J]. Applied energy technology, 2011(1): 20-24.)
- [4] 周文慧,刘东,王康.办公建筑内地板送风和

- 置换通风模式对室内环境质量影响的数值模拟对比研究[J]. 建筑节能,2012(1):1-4.
(ZHOU Wenhui, LIU Dong, WANG Kang. The numerical simulation study on indoor air quality in the floor ventilation supply and displacement mode in office buildings[J]. Building energy efficiency,2012(1):1-4.)
- [5] 姚林,彭小勇,刘振昊. 不同气流组织下空调客房热舒适性的数值模拟[J]. 制冷与空调,2012,26(1):101-106.
(YAO Lin, PENG Xiaoyong, LIU Zhenhao. The numerical simulation of thermal comfort of air-conditioned guest room with different air-flow [J]. Refrigeration and air-conditioning, 2012,26(1):101-106.)
- [6] 李先庭,赵杉. 室内空气流动数值模拟[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
(LI Xianting, ZHAO Shan. Numerical simulation on indoor air flow [M]. Beijing: China Machine Press,2009.)
- [7] ZHONG K, YANG X, KANG Y. Effects of ventilation strategies and source locations on indoor particle deposition[J]. Building and environment,2010,45(2):655-662.
- [8] 王泮浩,刘晓东,李远斌,等. 办公建筑通风系统的实验与数值模拟研究[J]. 制冷学报,2009,30(5):45-50.
(WANG Fenghao, LIU Xiaodong, LI Yuanbin, et al. The experiment and numerical simulation research on office building ventilation system [J]. Journal of refrigeration, 2009, 30(5):45-50.)
- [9] 王智伟,郭聪. 新型置换通风系统耦合作用机理分析研究[J]. 流体机械,2010,38(6):1-10.
(WANG Zhiwei, GUO Cong. The analysis and research on new type of displacement ventilation system coupling mechanism [J]. Fluid machinery,2010,38(6):1-10.)
- [10] 殷结峰. 兰州地区办公室层状通风方式下室内环境数值模拟研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2012.
(YIN Jiefeng. Indoor environment numerical simulation research on office layered ventilation mode in Lanzhou [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology,2012.)
- [11] TIAN L, LIN Z, WANG Q W. Experimental investigation of thermal and ventilation performances of stratum ventilation [J]. Indoor and build environment, 2009, 18 (14) : 360 - 375.
- [12] LIN Z, LEE C K, FONG S, et al. Comparison of annual energy performances with different ventilation methods for cooling [J]. Building and environment, 2011, 43 (1) : 130 - 136.
- [13] 马最良,姚杨. 民用建筑空调设计[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
(MA Zuiliang, YAO Yang. Civil building air condition design [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.)
- [14] 李永兵,张华玲,张慧玲. 重庆地区通风舒适区及通风季节划分的探讨[J]. 建筑热能通风空调,2008(12):63-66.
(LI Yongbing, ZHANG Hualing, ZHANG Huiling. The discussion on district ventilation comfort zone and ventilation of season in Chongqing [J]. Building energy and environment, 2008(12):63-66.)
- [15] LIN Z. Effective draft temperature for evaluating the performance of stratum ventilation [J]. Building and environment, 2011, 46 (9) : 1843 - 1850.
- [16] LIN Z, YAO T, CHOW T T, et al. Performance evaluation and design guidelines for stratum ventilation [J]. Building and environment, 2011, 46 (11) : 2267 - 2279.
- [17] SHINSUKE K, JEONG-HOON Y. Study on inhaled air quality in a personal air-conditioning environment using new scales of ventilation efficiency [J]. Building and environment, 2008, 43 (4) : 494 - 507.
- [18] 李小华,唐景立. 空调房间不同送风方式的实验研究[J]. 建筑热能通风空调,2013(11):63-66.
(LI Xiaohua, TANG Jingli. Experimental studies on different supply air of air conditioning room [J]. Building energy and environment, 2013(11):63-66.)
- [19] CHEN Qingyan. Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications [J]. Building and environment, 2009(44):848-858.
- [20] ZHONG Ke, YANG Xiufeng, FENG Wei, et al. Pollutant dilution in displacement natural ventilation rooms with inner sources [J]. Building and environment, 2012, 56 (1) : 108 - 117.