

高校寝室不同送风口位置热舒适模拟研究^①

王东屏, 油忠超, 陈济臣, 张 华

(大连交通大学 机械工程学院, 大连 116028)

摘 要: 建立高校寝室三维模型, 通过 CFD 软件对室内气流组织进行数值模拟, 得到室内人体周围关键点的风速、温度值, 以及头部与坐骨周围横向截面的 PMV-PPD 和空气龄分布. 利用 PMV-PPD 和空气龄指标, 分析室内 2 个不同位置送风情况下对室内人体热舒适性的影响. 结果表明, 在同样的送风速度下, 远离排风口位置的送风口 2 比靠近排风口位置的送风口 1 更能够提供好的空气品质、较高的热舒适性和较低的室内温度(低于 1-2 °C). 研究结果可为高校寝室送风口位置的布置提供一定的依据.

关键词: 高校寝室; CFD; 送风口; 热舒适性

引用格式: 王东屏, 油忠超, 陈济臣, 张华. 高校寝室不同送风口位置热舒适模拟研究. 计算机系统应用, 2017, 26(8): 238-242. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/5842.html>

Thermal Comfort Simulation of Universities Dorm under Different Air Supply Outlet

WANG Dong-Ping, YOU Zhong-Chao, CHEN Ji-Chen, ZHANG Hua

(School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)

Abstract: To establish the three-dimensional model of dormitories in higher institutions, the CFD software is employed to simulate numerically the indoor airflow distribution conducted so that the wind speed and temperature surrounding the human body as well as the PMV-PPD and Mean age of air distribution of the cross section around the human's head and sciatic nerves can be measured. Specifically, the above-mentioned two indexes PMV-PPD and Mean age of air are supposed to be used in the analysis of the differences caused by the varied positions of two air supply grilles on the human thermal comfort. The statistics collected in this analysis show that with the same wind speed, the air supply grille 2 which is farther away from the air outlet can provide better air quality and higher thermal comfort as well as relatively lower indoor temperature (lower than 1-2 °C) than the supply grille 1 does. The result obtained from this research is able to provide theoretical foundation for the air supply grille installation in dormitories of higher institutions to some extent.

Key words: dormitories in higher institutions; CFD; air supply grille; thermal comfort

随着经济水平和生活条件的提高和改善, 人们对居住的热环境与人体热感觉、热舒适等问题的关注度越来越高. 高校人员密度大, 寝室是学生生活起居的主要场所, 拥有良好的热舒适性对学生的身心健康和学习效率起到积极的促进作用. 近年来, 人们采用数值模拟的方法对室内气流组织和空气品质做过很多研究. 如今, 这种技术已经越来越多地应用于暖通空调领域^[1], 成为工程研究领域不可或缺的工具. 周静等通过

对比分析不同的送风速度和送风口的变化对办公室内活动区域温度和速度的影响^[2,3]. 张军甫等研究了散热器的送风角度对室内热环境的影响, 得到结论: 当送风角度呈 40°时人体不会出现不适的吹风感受^[4]. 薛若军等应用 k-ε湍流模型和数值模拟方法, 对有内热源室内三维温度场、速度场及热舒适指标进行了数值模拟^[5]. 目前利用 CFD 技术^[6]对办公室内热环境研究较多, 而针对高校这种人员密度大的住宿环境相关研究较少.

^① 收稿时间: 2016-10-18; 采用时间: 2016-11-17

本文以高校寝室为研究对象,设计了室内送风口位置两种布置方案,并利用计算流体力学 CFD 技术^[6]分别对两种送风口布置方案进行数值模拟. 研究不同送风口位置对室内人员周围空气流场、温度场、空气龄以及人体热舒适性的影响,利用数据分析的对比,为高校寝室空调安装位置的选择提供参考.

1 计算模型

寝室采用封闭模型,具体尺寸如图 1,房间的大小(长×宽×高)是 7 m×3.5 m×3 m,寝室的外墙有一个宽×高为 2.5 m×2 m 的窗户. 寝室内床位采用上床下桌的布局,其中床板高度是 1.65 m,尺寸为: 0.9 m×2 m; 桌板高度是 0.8 m,尺寸为: 0.9 m×1.5 m; 衣柜的长×宽×高为 0.5 m×0.8 m×1.65 m; 鞋柜的长×宽×高为 0.4 m×0.65 m×0.8 m; 室内定员 4 人,设定坐立姿态,每人正前方各有一台电脑; 送风方式为顶送风,在房间的天花板处设置一个送风口(2 种送风方式的送风口表示在一张图上),大小为: 0.2 m×0.3 m; 排风方式为侧排风,在外墙窗户下方布置两个排风口,大小为: 0.5 m×0.5 m.

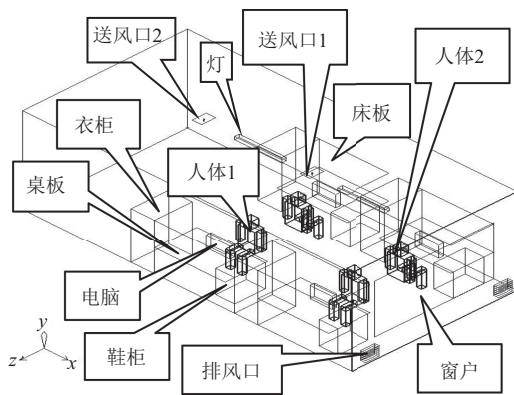


图 1 寝室模型布置

1.1 假设条件

为了便于模拟分析,门和卫生间结构略去,文中设置床板、桌板、衣柜、鞋柜不参与传热计算,设置为绝热层,除了外墙与窗户以外的其他墙面做绝热处理,同时考虑室内常规热源的影响. 由于实际空气为黏性流体, Re 约为 $1.7\text{--}2.3 \times 10^4$, 确定为湍流流动. 本文采用 RNG $k\text{-}\epsilon$ 模型来计算室内流场、温度场、空气龄与人员的热舒适等问题,并做出如下假设^[7]:

- 1) 室内的空气流动为牛顿流体,且是不可压缩的;
- 2) 忽略能量方程中由于粘性作用而引起的能量

损耗;

- 3) 空气的流动考虑浮升力的影响;
- 4) 流动为稳态湍流;
- 5) 所有壁面的密封性良好,不存在漏风现象;
- 6) 收敛条件: 各流动项残差 $\leq 10^{-3}$, 能量残差 $\leq 10^{-6}$.

1.2 网格划分

对流场区域采用结构化网格划分,网格划分之后,共有 21 万个单元,23 万个节点. 为了提高网格精度,需要对风口、人体工作区域附近的网格进行细化^[8],如图 2 所示.

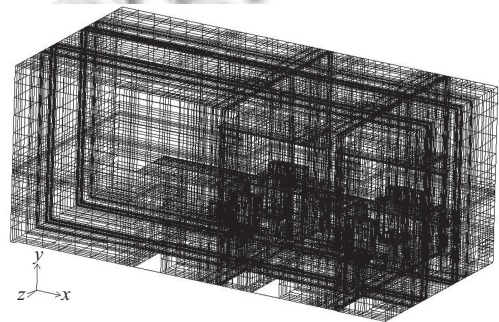


图 2 物理模型网格示意图

1.3 控制方程

室内空气流动与换热满足质量守恒、动量守恒、能量守恒定律. 其控制方程的通用形式^[6]如下:

$$\text{div}(\rho U \Phi) = \text{div}(\Gamma_{\Phi} \text{grad} \Phi) + S_{\Phi}.$$

式中: ρ 为空气密度; U 为速度矢量; Φ 为因变量,可表示速度矢量分量、温度等流体参数; Γ_{Φ} 为对应 Φ 的扩散系数; S_{Φ} 为源项.

1.4 边界条件

本文计算以空调室内夏季运行工况为计算依据,进口采用速度进口,送风速度为 0.85 m/s,送风温度为 19 °C,出口为压力出口;室内初始环境温度 30 °C,相对湿度 60%. 外窗传热系数 $K=2.11 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 外墙传热系数 $K=0.56 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 其他壁面均为绝热壁面^[9].

1.5 室内热源条件

为了确保数值模拟的准确性,常规热源的影响需要考虑在内. 常见热源及尺寸如表 1.

表 1 热源的尺寸和性能

热源	尺寸(m)	数量	参数值
电脑	0.5×0.4×0.1	4	100W/台
灯	1×0.1×0.1	2	34W/盏
人	0.35×0.2×1.3	4	64W/人

2 模拟结果分析

通过对上述两种送风方式下室内人体坐姿进行数值模拟, 分别在人体1与人体2周围取6个典型观测点, 以便观测出这些点的风速与温度, 如图3(观测点位置分别离人体横向距离0.05 m处). 图6~图9为计算典型截面 Y=1.1 m(人体头部呼吸区横向截面)、Y=0.5 m(人体坐骨横向截面)的 PMV-PPD 及空气龄的等值线分布图.

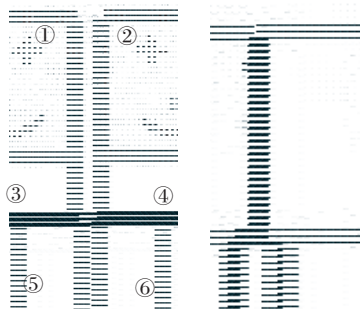


图3 计算模型观测点布置

2.1 典型观测点及头部周围横向截面的风速与温度分析

由图4知, 采用送风口1送风的人体1与人体2的头部两个观测点温度超过了28℃, 剩余人体四个观测点也在26-27℃之间, 且头脚之间的温度差达到2.4℃. 而采用送风口2送风的观测点中, 只有观测点2的温度大约在27.5℃, 其余观测点的温度大约在25-26℃之间, 且头脚之间略有温度差. 通过对比可知, 送风口2的送风方式在人体观测的6个点的温度比送风口1的送风方式低1-2℃, 而国家发改委倡导夏季空调温度为26℃^[10]. 在两种送风方式下, 人体周围6个观测点的风速几乎在0.1 m/s左右, 头脚之间略有速度差. 可见, 在同样的0.85 m/s的送风速度下, 送风口2的送风为最优送风. 该图采用双纵坐标表示, 左纵坐标轴代表温度, 右坐标轴代表风速. 图中上面两条折线分别代表人体1与人体2周围6个观测点的温度, 其中带圆点标识的折线代表人体1的温度, 另外一条折线代表人体2的温度; 下面两条折线分别代表人体1和人体2周围6个观测点的风速, 其中带三角标识的折线代表人体1的风速, 另外一条折线代表人体2的风速.

2.2 PMV-PPD 分布

PMV-PPD 热舒适模型是人体体温调节最早的数学模型, 该模型提出的指标表示大多数人对热环境的

平均投票值, 其有七级感觉, 如表2, PMV=0时意味着室内热环境为最佳热舒适状态, ISO7730对PMV的推荐值为PMV值在-0.5~+0.5之间^[11]. PPD指数为预计处于热环境中的群体对于热环境不满意的投票平均值, PMV与PPD的关系如图5.

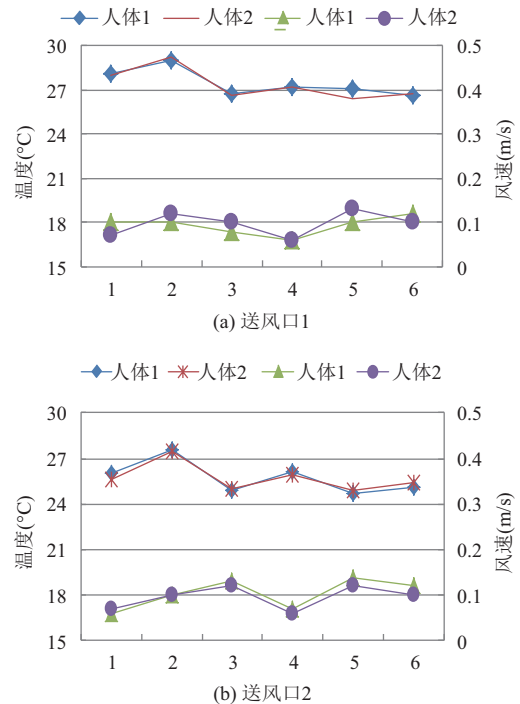


图4 典型观测点速度与温度分布

表2 PMV 热感觉标尺

热感觉 PMV指标	冷	凉	微凉	中性	微暖	暖	热
	-3	-2	-1	0	1	2	3

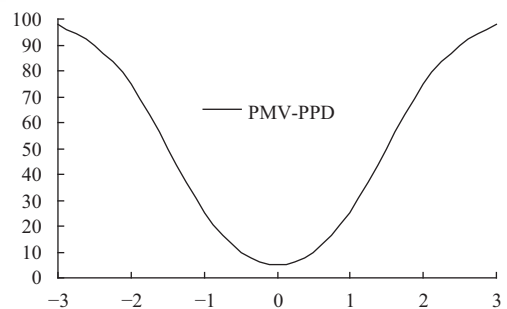


图5 PMV-PPD 关系

本文截取两种方案 Y=1.1m(头部)横向截面的 PMV-PPD 值, 如图6、图7所示, PMV 计算公式参考文献^[12].

由图6、图7中可以看出在送风口1工况下人体头部附近的 PMV 值在 0.9-1.2 之间, PPD 在 25-45% 之

间;而送风口2工况下人体头部附近的PMV值在0.6-0.9之间,PPD在12-20%之间.影响PMV值的因素中,温度对其影响最大,在人体头部附近区域,送风口2的工况比送风口1的温度低,所以在人体头部附近区域,送风口2的PMV值比送风口1低.根据PMV热感觉标尺,送风口2的工况明显优于送风口1,且人体热感觉接近于热中性,工作区的热舒适性良好.

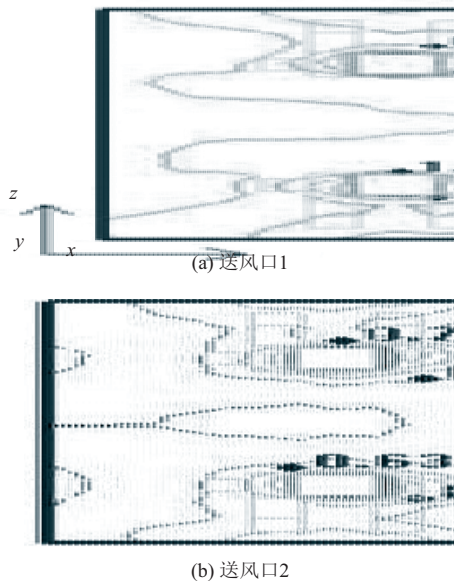


图6 Y=1.1m PMV 分布

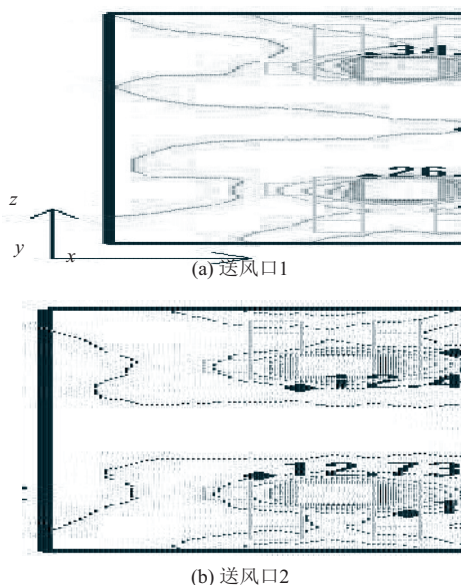


图7 Y=1.1m PPD 分布

2.2 空气龄分布

通常采用空气龄这一指标来衡量室内排污的效果,

即空气龄越小,排污能力越好.

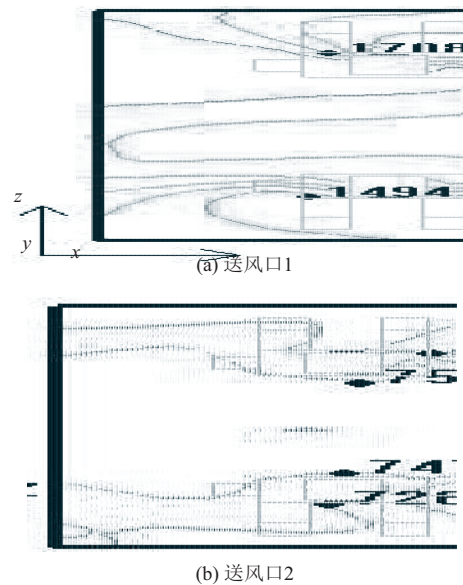


图8 Y=1.1m 空气龄分布

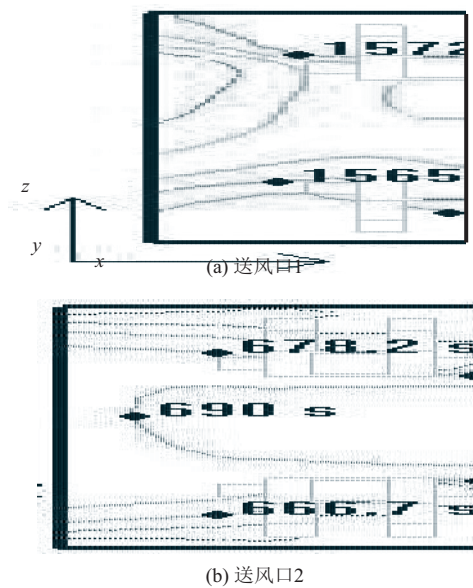


图9 Y=0.5m 空气龄分布

从图8、图9可知,在送风口1这种送风布置的工况下Y=1.1m(头部)和Y=0.5m(坐骨)截面的空气龄比较大,最高达到了1787s,而在送风口2工况下空气龄最大为750s.造成这一现象最主要的原因是新鲜空气沿着送风口方向大部分直接送达地板,由于距离排风口不是很远,气流大部分沿着地板送往排风口方向,大部分新鲜冷空气来不及与热空气进行热交换就从排风口排出.这就会使风口左侧的人员周围附近空气几乎

处于停滞状态,达不到良好的排污效果,导致整个房间的空气龄很高.而送风口2布置在室内左侧天花板上,距离排风口有段距离,冷空气的不断下降会导致送往地板的冷空气能与热空气进行充分混合,造成热空气受浮力的作用不断上升.通过对比可知送风口2的布置方式优于送风口1.

3 结论

通过对室内流场三维模拟数值计算,分析出人体周围关键点的风速,温度分布,并对比了两种送风方式下的温度、速度差异,根据室内PMV-PPD,以及空气龄的值对室内人员的热舒适性和空气品质进行了评价.由以上分析可以得出:

(1) 在送风口1的送风方式下,人体1与人体2表面附近的风速都在0.1 m/s左右,符合微风速要求;人体1与人体2附近的温度在26~29℃之间,人体会感到热感.而在送风口2的送风方式下,人体1与人体2表面附近的风速也都在0.1 m/s左右,符合微风速要求;而人体1与人体2表面附近的温度在24~27℃之间,比送风口1的送风方式下的人体附近的温度低1~2℃.相比于送风口1的布置,送风口2的布置合理一些.

(2) 在舒适度方面,对于送风口2的送风方式,人体1与人体2表面附近的PMV-PPD值远远小于送风口1的送风方式下的PMV-PPD值,送风口2的送风布置能够提供更好的热舒适性.

(3) 在空气龄分布方面,通过对比人体头部与坐骨的横向周围截面的空气龄值,可以得出送风口2的送风方式布置有较强的排污能力.

(4) 在送风口位置方面,远离排风口位置的送风口

2比靠近排风口位置的送风口1能够提供更好的空气品质和较好的热舒适性.

参考文献

- 1 陶建兴,杨亚东,孙庆宽. CFD仿真技术在空调房间温度场研究中的应用. 暖通空调, 2002, 32(2): 95-98.
- 2 周静,李异. 送风速度对冬季空调房间环境影响的数值分析. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(1): 157-159, 168.
- 3 周静,李异. 送风口的变化对冬季室内环境影响. 低温建筑技术, 2014, 36(6): 34-36.
- 4 张军甫. 办公建筑室内空气品质测试与气流组织分析[硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.
- 5 薛若军,王革,方磊. 空调房间内热舒适度的数值模拟. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(8): 1145-1147.
- 6 陶文铨. 数值传热学. 2版. 西安: 西安交通大学出版社, 2001: 18-19.
- 7 王福军. 计算流体力学分析. 北京: 清华大学出版社, 2004: 144-158.
- 8 许健. 办公建筑的层式通风气流组织优化分析[硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2015.
- 9 柏文,何丹峰,余跃进,等. 层式通风与传统通风方式数值模拟分析对比. 建筑节能, 2015, 43(12): 20-24, 76. [doi: 10.3969/j.issn.1673-7237.2015.12.004]
- 10 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 公民节约行为公约[EB/OL]. http://www.ndrc.gov.cn/rdzt/jsjyxsh/200512/t20051223_54469.html. [2005-12-23].
- 11 ISO 7730 Moderate thermal environments determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva: International Standard Organization, 1994.
- 12 张登春,翁培奋,邹声华. 旅客列车空调硬座车厢内热舒适性研究. 铁道学报, 2006, 28(5): 35-40.