

文章编号:1673-2049(2006)02-0086-04

地板送风对流热转移

张莉, 郑庆红

(西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要:针对下部有集中热源的地板送风空调小室,利用 PHOENICS 软件,对多种工况下室内气流流动的速度场和温度场进行了模拟,利用模拟结果计算对流热转移量,得出对流热转移量的变化规律。分析了影响对流热转移量的相关因素,主要是由于送风冷射流与热源的热射流在不同的影响因素下对室内气流流动及温度分布产生影响,从而造成对流热转移量的变化。结果表明:地板送风空调小室的对流热转移量与热源数目、送风口密度、热源强度、送风量4个因素有关;回风口数目对对流热转移量的影响很小,可以忽略不计。

关键词:地板送风;对流热转移;热射流;冷射流

中图分类号:TU831.3

文献标志码:A

Convection Heat Transfer with Floor Board Air Supply

ZHANG Li, ZHENG Qing-hong

(School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology,
Xi'an 710055, Shaanxi, China)

Abstract: According to small air conditioner room with floor board air supply and having hot source in concentration sends, authors simulated the temperature and velocity field of many conditions using PHOENICS software; computed the convection heat transfer volume with simulation result, and deduced its variety regulation. By analyzing the correlation factors, the main reason was that the cold air jet and the heat source jet influenced the indoors velocity field and temperature field in the different conditions, therefore, the convection heat transfer volume would have different variety. The results show that the convection heat transfer volume of small air conditioner room with floor board air supply relates to four kinds of factors as follows: the number of hot source, the density of air supply outlet, the intensity of hot source and the volume of air supply; the number of air inlet has a little influence and it can be neglected.

Key words: floor board air supply; convection heat transfer; heat jet; cold jet

0 引言

当用下送上回方式给房间送风时,总有部分热量位于房间的上部区域。此时送入的空气只是吸收了工作区的热量而保持工作区的温度,如工作区温度相当于上送风的温度 t_n 时,排风温度 $t_p > t_n$; 对应

的冷负荷为工作区负荷,它由两部分构成:工作区本身的热量所形成的冷负荷和热转移负荷^[1]。

热转移负荷指的是当冷风由下部送入房间后,工作区与非工作区因空气温度和各个表面温度的不同而产生的自上向下的热转移而形成的空调负荷,由对流热转移负荷和辐射热转移负荷两部分组成。

收稿日期:2006-01-06

基金项目:西安建筑科技大学青年科技基金项目(04QN09)

作者简介:张莉(1971-),女,陕西澄城人,讲师,工学博士研究生,E-mail: xiaoliw@163.com。

对流热转移负荷是由于自下向上送冷风时,惯性力促使冷风向上,重力使冷风向下,当冷射流起始冲量消耗尽时,射流解体并向下回返而形成的工作区热量的增加。笔者对地板送风下的多种热源散热量的室内气流流动的速度场及温度场进行了数值模拟,在数值模拟基础上,计算并分析了对流热转移量。

1 研究对象及方法

本文的研究对象为一个如图 1 所示的空调小室,其尺寸为 $4.73\text{ m}\times2.84\text{ m}\times3.40\text{ m}$,热源是一个尺寸为 $0.50\text{ m}\times0.50\text{ m}\times0.75\text{ m}$ 的长方体,在试验过程中,将热源设定为顶部及 4 个边面均匀散热,布置在房间底部的正中间。回风口设置在房间顶部正中间,尺寸为 $0.8\text{ m}\times0.8\text{ m}$,恰好位于热源上方。送风口尺寸为 $0.18\text{ m}\times0.18\text{ m}$ 。

通风空调房间内的气流流动一般属于紊流流动,笔者采用基于 Reynolds 时均法的 $k-\epsilon$ 双方程模型,应用三维 PHOENICS 程序,采用在 Simple 算法基础上发展起来的 Simplest 算法,对 200 多种工况进行了数值模拟。

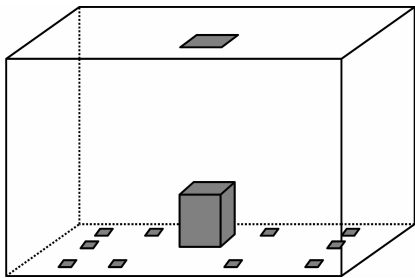


图 1 地板送风空调小室

Fig. 1 Floor Board Air Supply in Small Air Conditioner Room

在室内气流流动的分析过程中,对流热转移量 $q_d = (t_{eml} - t_{in}) \rho V_h c$, 其中, t_{eml} 为回返气流的温度; t_{in} 为入口气流的温度; ρ 为气流的密度; V_h 为回返气流的体积量; c 为质量热容。

2 影响因素分析

根据模拟观察各种工况下的整场速度场和温度场,并结合有关下送风的研究文献^[2-8]可得,影响下送风的速度场及温度场的有热源数目、送风口密度、回风口数目、送风量、热源强度 5 个因素,而对流热转移量与速度场及温度场的分布密切相关,因此笔者将从这 5 个方面分析其对对流热转移量的影响。

2.1 热源数目

笔者所采用的热源是简化为 5 个面散热的体热

源,随着热源数目的增多,则网格数目势必增加,将导致数值计算收敛困难,所以仅做了单热源和双热源的模式。

图 2 为两种热源强度 Q 条件下,不同送风量时的单热源与双热源对流由上向下所传递的热量。从图 2 中可以看出:送风速度在 $0.587\sim1.170\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (换气频率 n 在 $15\sim20\text{ 次}\cdot\text{h}^{-1}$) 范围内,双热源对流热转移量明显高于单热源对流热转移量,而在其他区域,规律不明显。

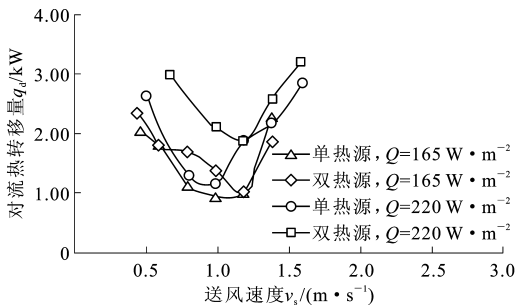


图 2 单热源与双热源对流热转移量对比

Fig. 2 Comparison of Convection Heat Transfer Volume Between Single Heat Source and Double Heat Source

2.2 送风口密度

为了考察送风口密度对流热转移量的影响,共做了 4 种送风口密度条件下的模拟,分别为 0.45 (共计 6 个送风口)、0.66 (共计 8 个送风口)、0.70 (共计 10 个送风口)、1.19 (共计 16 个送风口)个 $\cdot\text{m}^{-2}$ 。在此仅列出不同送风口密度时,热源强度为 $130\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、换气频率为 $20\text{ 次}\cdot\text{h}^{-1}$ 的对比,如图 3 所示。

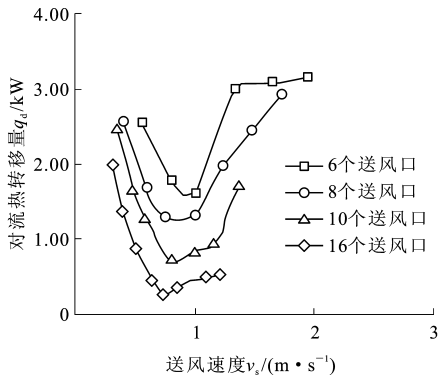


图 3 不同送风口数目下的对流热转移量对比 1

Fig. 3 Comparison 1 of Convection Heat Transfer Volume at Different Numbers of Air Supply Outlet

从图 3 中可以看出:在送风速度相同时,单股射流强度相同,随着送风口数目(气流股数)的增多,气流分布则越均匀,对流热转移量越小。从换气频率上看,在换气频率不大于 $15\text{ 次}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,其对流热转

移量几乎没有差别;当换气频率大于 20 次 · h⁻¹ 时,这个差别就比较明显,送风口数目越多,则对流热转移量越小,如图 4 所示。

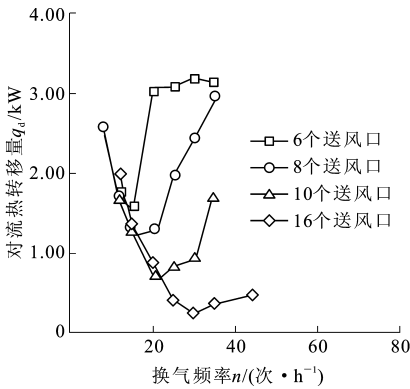


图 4 不同送风口数目下对流热转移量对比 2

Fig. 4 Comparison 2 of Convection Heat Transfer Volume at Different Numbers of Air Supply Outlet

2.3 回风口数目

为了考察回风口数目对对流热转移量的影响,分别做了回风口数目为 1、2、4 个的模拟,回风口均布置在房间顶部。在此仅列出 3 种回风口数目下热源强度为 130 W · m⁻²、换气频率为 20 次 · h⁻¹ 的对比,如图 5 所示。

从图 5 中可以看出:在一定热源强度下,对流热转移量在送风量较小时,几乎均没有差别;当送风量达到一极限值后,则对流热转移量随着回风口数目的增加而增大,但这一差别仅出现在送风量比较大时,在实际工程中,从人体舒适的角度考虑,下送风不宜采用较大的风速,所以,回风口数目对对流热转移量的影响可以忽略不计。

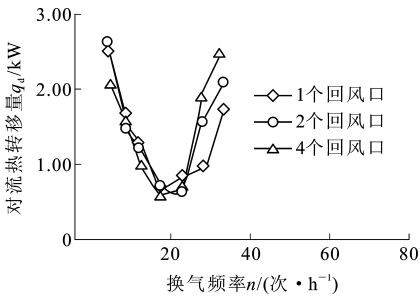


图 5 回风口数目对对流热转移量的影响

Fig. 5 Influence of Air Inlet Number on Convection Heat Transfer Volume

2.4 送风量

图 6 为对流热转移量随送风量即换气频率的变化。从图 6 中可以看出:对流热转移量先是随着换气频率的增加而减小,当达到一极限值后,又开始随着换气频率的增加而增大,而且极限值出现的点随

热源强度不同而有所差异。图 7 为对流体积转移量随换气频率增加的变化。从图 7 中可以看出:换气频率小于 25 次 · h⁻¹ 时,对流体积转移量在数值上几乎没有变化,而随着送风量的减少,室内温度势必增高,从而回返气流温度升高,对流热转移量增加;当换气频率大于 25 次 · h⁻¹ 后,由于随着换气频率的增加,对流体积转移量大大幅度增加,对流热转移量随换气频率增加而增大。

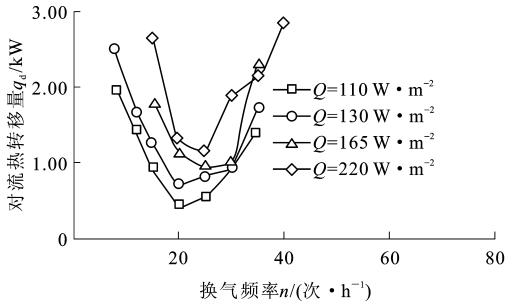


图 6 对流热转移量随换气频率和热源强度的变化

Fig. 6 Variation of Convection Heat Transfer Volume vs Air Exchange Frequency and Intensity of Heat Source

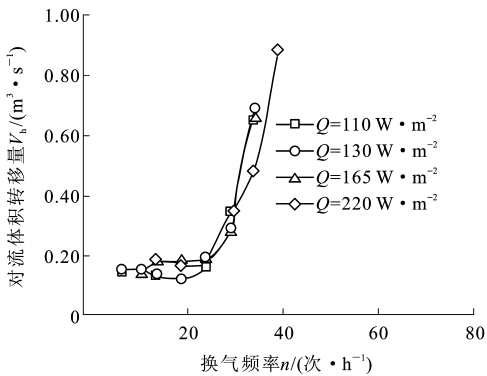


图 7 对流体积转移量随换气频率的变化

Fig. 7 Variation of Convection Bulk Transfer Volume vs Air Exchange Frequency

2.5 热源强度

由于热源强度不同,则热射流强度有所差异,势必会造成流场与温度场的差异,进而影响其对流热转移量。对流热转移量基本上随着热源强度的增加而增大,如图 6 所示。

3 结 语

(1)热源数目对对流热转移量的影响是由于热源数目越多,单股热射流所负担的房间断面积越小,同时在相同总热源强度的条件下,单股热射流强度减小,热射流与送风冷射流相互作用,从而影响对流热转移量。在送风速度为 0.587 ~ 1.170 m · s⁻¹ (换气频率在 15 ~ 20 次 · h⁻¹) 范围内,双热源对流

热转移量明显高于单热源对流热转移量,而在其他区域,规律不明显。

(2)不同送风口密度随换气频率的变化对对流热转移量的影响是由于因送风口密度不同,冷射流股数不同,在低送风量条件下,射流股数越多,单股射流强度越弱,气流上升高度越小,即使气流股数增多,气流也不叠搭,不足以有效地抵挡热气流的回返,所以在此区间送风口数目不影响对流热转移量,但是,当送风量增加时,随着气流股数的增多,气流分布越均匀,从而增强阻挡热气流回返的作用;同时由于送风速度的增大,射流卷吸作用减弱,横向紊流强度势必减弱,因此在送风量相同时,随着送风口数目的增多,对流热转移量将减少。

(3)送风量对对流热转移量的影响原因是:在送风量较小时,送风冷射流高度较小,对于气流回返不足以造成影响,所以在换气频率小于 $25\text{次}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,随着送风量的减少,对流热转移量增加;当换气频率大于 $25\text{次}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,由于随着换气频率与送风冷射流高度的增加,射流解体回返位置升高,回返量增多,而且,高处热射流回返过程直接干扰上升热气流,使之被挤压而提前解体回返一部分到工作区,对流热转移量随换气频率增加而增加。

(4)由于热源强度越大,热射流强度越高,卷吸机械射流的能力越强,送风冷射流与热源的热射流共同作用,从而对流热转移量基本随热源强度的增加而增加。

参考文献:

References:

- [1] 马仁民. 地板送风气流分布因素影响热分布规律的研究[J]. 暖通空调, 1985, 15(3): 9-15.
MA Ren-min. Influence Factors of Heat Distribution Law Research on Floor Wind[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 1985, 15(3): 9-15.
- [2] 马仁民, 连之伟. 地板送风工作区热分布系数计算方法的综合研究[J]. 暖通空调, 1994, 24(1): 11-14.

- MA Ren-min, LIAN Zhi-wei. Research on Factor Calculation Method of Floor Wind Workspace Heat Distribution[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 1994, 24(1): 11-14.
- [3] 连之伟, 王同军, 马仁民. 下送风房间热分布系数影响因素的方差分析[J]. 暖通空调, 1996, 26(2): 17-19.
LIAN Zhi-wei, WANG Tong-jun, MA Ren-min. Variance Analysis of Heat Distribution Effect Factor of Down Wind Room[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 1996, 26(2): 17-19.
- [4] LIAN Z W, MA R M. Effect of the Factors of a Heat Source on the Heat Distribution Coefficient in an Upward Displacement Room[J]. Int J Refrig, 1996, 19(3): 168-171.
- [5] 霍小平, 葛翠玉. 建筑室内热环境测试与分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2005, 22(2): 75-78.
HUO Xiao-ping, GE Cui-yu. Analysis and Test of Thermal Environment Data in Buildings[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2005, 22(2): 75-78.
- [6] 冼京晖, 倪振华, 谢壮宁, 等. 城市广场环境风场分析及控制[J]. 建筑科学与工程学报, 2005, 22(2): 79-82.
XIAN Jing-hui, NI Zhen-hua, XIE Zhuang-ning, et al. Analysis and Control of Urban Plaza Wind[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2005, 22(2): 79-82.
- [7] 刘静, 俞炳丰, 高振生. 低温送风系统的研究进展[J]. 建筑科学与工程学报, 2005, 22(3): 70-74.
LIU Jing, YU Bing-feng, GAO Zhen-sheng. Study Progress of Cold Air Distribution Systems[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2005, 22(3): 70-74.
- [8] 朱唯, 狄育慧, 王万江, 等. 室内环境与自然通风[J]. 建筑科学与工程学报, 2006, 23(1): 90-94.
ZHU Wei, DI Yu-hui, WANG Wan-jiang, et al. Indoor Environment and Natural Ventilation[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2006, 23(1): 90-94.