

文章编号:1000-582X(2006)03-0048-03

影剧院建筑内置换通风方式的优化设计*

赵渊,唐胜利,周李军

(重庆大学动力工程学院,重庆 400030)

摘要:为了更好地研究置换通风方式在影剧院建筑内的应用,采用CFD方法,对影剧院内采用地面附近侧送风形式的置换通风进行了数值模拟.计算结果显示,CFD技术能够较好地应用在影剧院建筑内置换通风方式的优化设计方面,并能够得出比较合理的设计参数.在原有设计的基础上,通过合理地调整风口位置及送风参数获得了较好的通风效果.把CFD技术引入到对影剧院建筑内空调系统气流组织方案的设计中,有利于地面附近侧送风方式的应用,也有助于节能措施的推广与实施.

关键词:影剧院;置换通风;地面附近侧送风;CFD

中图分类号:TP391

文献标识码:A

近年来,置换通风(Displacement Ventilation)在我国日益受到设计人员和业主的关注^[1].置换通风是将稍低于室温的新鲜空气经送风装置以低速直接送入工作区,送风速度一般在0.25 m/s左右,送风的动量很低以致对室内主导气流无任何实际的影响.凉爽的新鲜空气很快扩散到整个室内地面并形成空气湖.热源引起的热对流气流使室内产生垂直的温度梯度.它是空气的密度差和小量的机械力为动力,使新鲜空气随对流向室内上部流动形成热羽流.整个流场分为2个区域:上区空气污浊,温度高;下区空气清新,温度低.这种通风方式与传统的混合通风方式相比较,可使室内工作区有较高的空气品质、热舒适性和通风效率,具有潜在的节能优势^[2].

影剧院类建筑通常具有面积大、顶棚高、人员集中等特点,考虑到节能以及舒适性的要求,置换通风方式在影剧院建筑中得到了较为广泛的应用.影剧院内的置换通风通常采用座椅送风的形式,但是采用这种方式因为风口太多,增加了成本,并且带来了施工和维护的难度.地面附近侧送风形式的置换通风可以解决座椅送风的缺点,但是由于影剧院普遍存在一定的坡度,很难保证设计的温度梯度.

笔者采用CFD方法,研究如何在影剧院内采用地面附近侧送风形式的置换通风来组织气流,并通过合理地调整风口位置及送风参数保证温度分布.

1 模型的建立

1.1 数学模型

CFD方法是研究空调中空气动力学问题的有效

而经济的方法,可对室内空气气流分布情况进行较为精确的数值模拟和预测,从而得到房间内速度、温度、湿度以及有害物浓度等物理量的详细分布情况,为设计部门提供较为完整的技术依据.室内的空气流动和传热通常是三维湍流问题,而且还要考虑到浮升力的影响.笔者采用的是数值模拟结果与实验数据较吻合的零方程湍流模型^[3]:

假设空气为不可压缩气体透明介质,不参与辐射,密度符合Boussinesq假设,空气流动为稳态紊流.采用的紊流涡粘度经验关联式为:

$$\mu_1 = 0.043\rho V l, \quad (1)$$

式中: ρ 为空气密度, Kg/m³; V 为速度, m/s; l 为到最近的固体表面的距离, m.

稳态气体流动与传热的通用控制方程可表示为:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j F) = \frac{\partial}{\partial x_j}(G_F \frac{\partial F}{\partial x_j}) + S_F, \quad (2)$$

其中: u_j 表示三维方向上的速度, m/s; j 分别为1, 2, 3; ρ 为空气的密度, Kg/m³; G_F 为扩散系数; S_F 为源项,随着 F 在不同的方程中选取不同的物理量而改变^[4].

1.2 物理模型

模拟中采用的影剧院模型尺寸为8 m×6 m×3 m(长×宽×高),该模型主要模拟夏季设计工况下影剧院建筑的观众厅.如图1所示,房间从后往前数有3级台阶,与房间等宽,长度为1.5 m一级,高度依次减少0.2 m,直至与地面持平.连地面在内共有4排座位,每排坐4个人,每个人身高为1.72 m,散热量为108 W,散湿量为61 g/h,衣服热阻为1 col^[5].屋顶有6盏灯,每盏灯为200 W,文中研究的是最恶劣的空调情况,因

* 收稿日期:2005-11-20

作者简介:赵渊(1981-),男,江苏金湖人,重庆大学硕士研究生,主要从事CFD在暖通空调设计中的应用研究.

此在计算中考虑了灯的负荷维护结构外部温度与环境温度相同为30℃,主要热源为室内热源.送风通过房间下部的大小为1.5m×0.6m的矩形送风口送入,送风温度为18.5℃,送风速度为0.25m/s.回风口的尺寸为1m×1m,位于房间顶棚的正中央.模拟采用FLUENT软件.

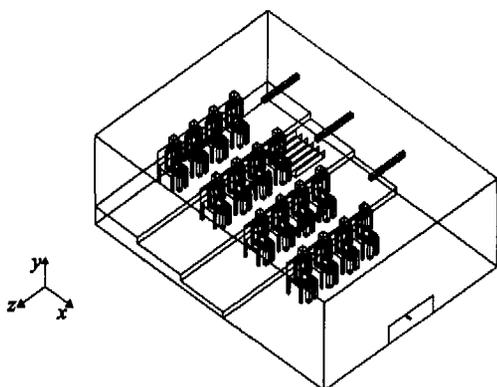


图1 物理模型

2 结果分析

从图2中可以清楚地看到,冷空气通过送风口进来的时候,送风速度为0.25m/s,速度沿X轴反方向,在达到第1排观众的过程中,与上面涡旋返回的气流混合,速度增强,方向发生少许改变,出现沿Y轴负方向的速度增量.到达人体后,一部分气流因为人体散热形成的热对流的缘故,沿Y轴正方向向上扩散,在人体周围形成热烟羽,速度大约为0.03~0.07m/s左右;另一部分气流在惯性的作用下,继续向后面的观众扩散,达到人体后,形成热烟羽,速度仍在0.03~0.07m/s附近.最后大部分空气都通过设在顶棚正中央的回风口排出室外,在出口处,速度达到最大,约为0.3m/s,少量空气在顶棚附近产生回旋,与新风混合.在图中可以明显地看到一个速度分界面,高度大概在2.0~2.6m之间.这个热力分层情况的具体原因,可参看文献[6].通过分析可以看出,速度分布为典型的置换通风方式,且速度场的分布情况比较符合设计的要求,人体不会感到吹风感.

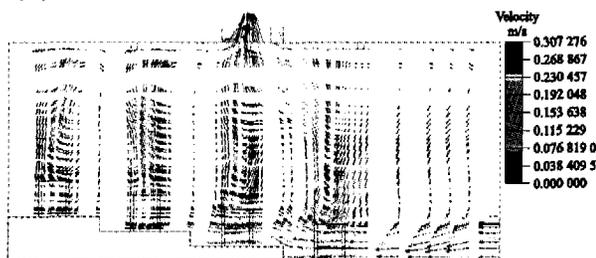


图2 房间中轴面速度矢量分布

图3为中轴面上的温度分布图.从图中可以看出送风口附近的温度梯度最大,后面逐渐缩小.在房间上部也明显出现了温度的分层现象,温度梯度的变化非常小.第1排观众的温度梯度大致在4~5℃/m,脚部

温度约为23℃,头部温度在27~28℃附近,后面3排观众的温度梯度也大致在3~4℃/m,但是由于台阶高度以及送风口距离的影响,平均温度普遍超过25℃,并且温度梯度普遍超出了BS EN ISO 7730 1995所规定的温差应在3.0℃以内的范围,因此设计不能达到预期的设计目标.

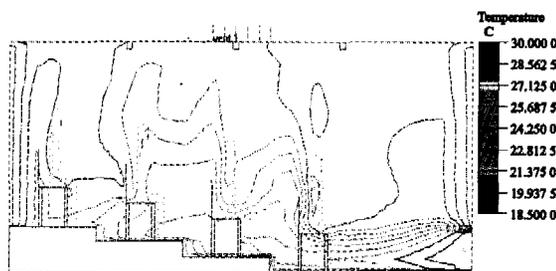


图3 房间中轴面等温线分布

为了保证设计的效果,对送风口进行如下调整:将原来风口的送风速度调整为0.3m/s,同时在对应的墙上重新开设一个风口,大小为2m×0.2m,位于正中间.因为考虑到这个送风口距离观众比较近,因此风速设定比较低(为0.2m/s).

经过重新计算后,速度矢量分布如图4所示.因为送风口风速的调整,第1排观众和最后一排观众脚下的风速有所增加,尤以第1排脚下风速最高,约为0.23m/s,很快在膝盖附近,速度衰减至0.1m/s.人体周围膝盖以上部位,气流均表现为热烟羽.气流速度最高的地方仍为排风口,风速最高可达0.45m/s.热力分界面较以前有所下降,幅度约在0.1~0.2m之间.房间内涡旋气流减少,这有助于室内空气质量的提高.

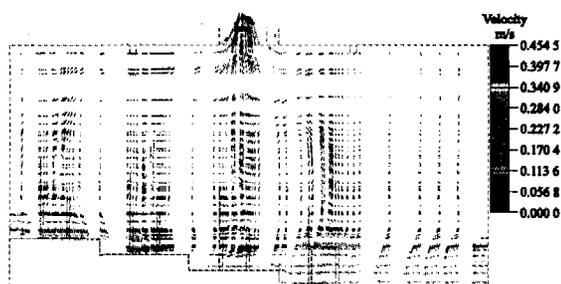


图4 房间中轴面速度矢量分布

经过调整后,房间的温度场也发生了一定的变化.如图5所示,在热力分界面附近温度基本上维持在25℃左右,越向下温度越低,温度梯度也越大.整个室内温度场分布比较均匀,排风温度较高,约为28℃.图6、图7显示的分别是水平高度在0.1m、0.7m的温度分布图,从图中可以看出,空气离开风口以后,向周围均匀扩散,在高度为0.1m处,从风口出来的新鲜空气扩散到观众附近时,温度升高至21℃;在高度为0.7m处,最后一排观众附近的温度约为20~21℃.从对整个纵切面上的温度分布来分析,在人体坐下后

的0.1~1.1 m这个范围内,温度梯度约为2.5~4℃/m,略高于规范要求的范围,较高的温度梯度均出现在靠近送风口的观众附近,而对大部分的中间观众影响较小,他们附近的温度梯度集中在2.5~3℃/m,能满足规范的要求. PMV以及空气龄的计算结果如图8、图9所示. 整个房间内PMV的分布,基本上在-0.4~0.3之间,大部分人都感觉舒适. PMV较高的部分出现在顶棚附近靠近光源的地方,那是由于光源的热效应,导致温度高于设计温度,影响了PMV值;较低的部分出现在送风口附近,因为靠近送风口,速度较高,温度较低,PMV值比较低,大概约为-0.7,但是影响的区域甚小. 根据图9对空气龄场的分析来看,室内的空气质量也比较不错,平均空气滞留室内的时间约为320 s左右,在人体呼吸区域附近,空气龄还略低于平均时间. 空气龄最差的部位出现在房间前部靠近顶棚的地方,因为有空气涡旋的存在,空气流通比较困难,因此空气龄比较高,约为550 s.



图5 房间中轴面等温线分布

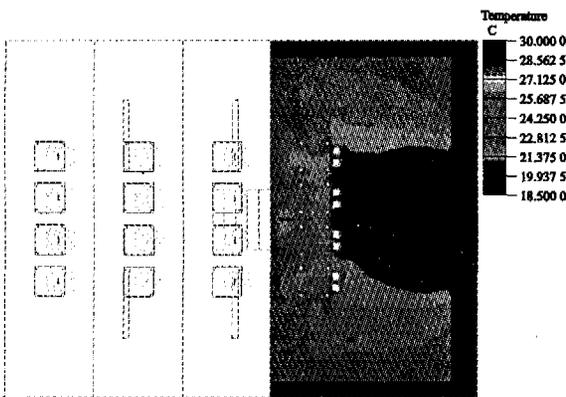


图6 房间水平面0.1 m处温度场分布

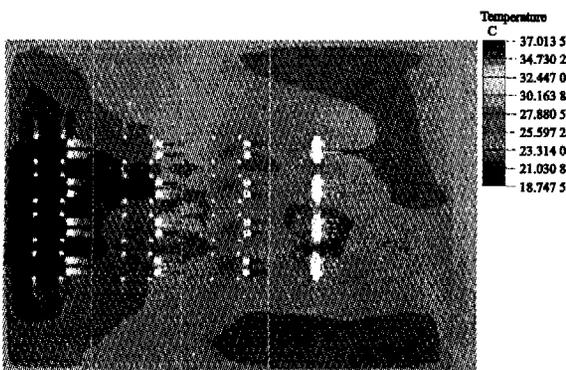


图7 房间水平面0.7 m处温度场分布

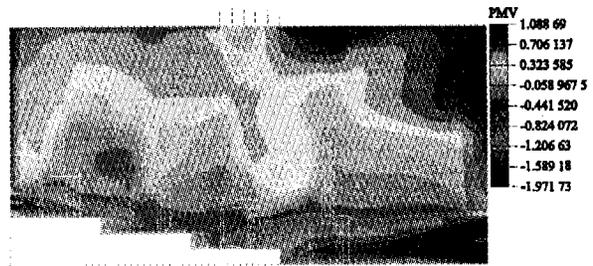


图8 房间中轴面PMV分布



图9 房间中轴面空气龄分布

3 结论

1) 置换通风在房间内产生热力分层现象,下部低温空气层为人的停留区,可以为人员提供良好的空气质量;上部为热空气层,余热主要集中在这个区域,温度较高.

2) 地面附近侧送风的置换通风方式,也可以应用在具有阶梯或者坡度的影剧院建筑内,合理地设置送、回风口的位置以及送风的参数就能获得较好的空调效果. 采用这样的方式,相比座椅送风来说,能够节省大笔的投资以及维护费用. 特别是一些老的影剧院的空调改造,能收到尤其明显的效果.

3) 采用这种方式,空气质量明显高于混合送风,越向下空气质量越高.

笔者仅仅是运用CFD工具对影剧院空调系统采用地面侧送风方式的设计效果进行了初步的分析,需要进一步解决的主要问题是:在中间区域比较大的情况下,如何合理调整送风速度;如何通过改变送风口的位置或者增加送风口数,来减少涡旋,进一步提高室内空气质量. 另外,在大量计算的基础上,总结出简单快速的初算公式,将更加有利于侧送风方式的实际应用.

参考文献:

[1] 赵志超,史自强. 置换通风的数值仿真研究及其评价[J]. 制冷与空调,2004,4(1):51-54.
 [2] 李强民,饶良平. 从设计原理及运行工况特性分析置换通风的节能[J]. 制冷空调与电力机械,2004,25(2):11-13.
 [3] 谭洪卫. 剧场空间置换空调系统的应用研究之一——地上侧送风方式[J]. 暖通空调,2003,33(3):21-24.
 [4] 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安:西安交通大学出版社,1986.
 [5] 李惠民,王鸿章. 影剧院空调设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995.
 [6] 李强民. 置换通风原理、设计和应用[J]. 暖通空调,2000,30(5):41-47.

(下转第102页)

A Sort of Method of State Space Search in Mechanical Translation

DUAN Ying¹, HE Mang²

(1. College of Mechanical Engineering;

2. College of Trade and Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: There is a kind of combination of correlated objects in mechanical translation. When match the combination with the rule, the searching solution becomes un-possible by the "combinatorial explosion". A hierarchical intelligence search method is advanced. According to the prior knowledge, the data which do not satisfy the correlation constraint will be removed by the closed-loop eliminate method at first and then only a simple search in order is needed for obtaining the solution of the problem. This method refrains from any backtracking. The time and space consumed by search are greatly reduced.

Key words: mechanical translation; hierarchical intelligence search; closed-loop eliminate method; combination of correlated objects

(编辑 张小强)

(上接第 50 页)

Optimizing Design of Displacement Ventilation in Cinema

ZHAO Yuan, TANG Sheng-li, ZHOU Li-jun

(College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: In order to research the displacement air conditioning in cinema, the writer simulates the displacement air conditioning system with wall diffuser in cinema with the CFD. According to the result of the computing, we can find that if we adjust the position of the openings and parameter of air-inlet in reason. It is useful to make good use of displacement air conditioning system with wall diffuser and extend the saving energy methods by using the CFD technology in designing the air condition system in cinema.

Key words: cinema; displacement ventilation; wall diffuser; CFD

(编辑 陈移峰)