

外呼吸双层通风玻璃幕墙 热工性能模拟分析

华南理工大学 高云飞[☆] 赵立华 李 丽 陈卓伦

摘要 对某建筑外呼吸双层通风玻璃幕墙内的速度场和温度场进行了模拟分析。讨论了遮阳设施、空气层宽度等因素对综合传热系数的影响。分析比较了外呼吸双层玻璃幕墙建筑和四种单层玻璃幕墙建筑的供暖空调能耗。结果表明,外呼吸双层通风玻璃幕墙是一种节能的生态建筑围护结构形式。

关键词 外呼吸双层通风玻璃幕墙 速度场 温度场 综合传热系数 单层玻璃幕墙 能耗

Simulation and analysis of thermal performance of external respiration double skin facade

By GaoYunfei[★], Zhao Lihua, Li Li and Chen Zhuolun

Abstract Simulates and analyses the velocity and temperature fields inside the external respiration double skin facade of a building. Discusses the influences of the shading and airspace width on the integrated heat transfer coefficient. Compares the heating and cooling energy consumption of buildings applying external respiration double skin facade with that of buildings applying four single glazing curtain walls. The results show that the external respiration double skin facade has a superior energy efficiency potential and is one of the ecological building envelopes.

Keywords external respiration double skin facade, velocity field, temperature field, integrated heat transfer coefficient, single glazing curtain wall, energy consumption

★ South China University of Technology, Guangzhou, China

①

0 引言

通风玻璃幕墙一般由内外两层幕墙组成,从构造与气流形式上可以分为内呼吸幕墙与外呼吸幕墙两种。内呼吸幕墙又称封闭式内通风幕墙,外层幕墙完全封闭,内层幕墙上下设有进出风口,依靠机械通风系统从下部进风口吸入空气,经两层玻璃幕墙间的空气层由上部出风口和吊顶内的风管排出,形成室内空气的循环。由于从进风口进入的是室内空气,玻璃幕墙间的空气层中空气温度与室内基本相同,这就减少了供暖和供冷的能耗,采用这种形式的通风玻璃幕墙对供暖地区更为有利。外呼吸幕墙又称开敞式外通风幕墙,与内呼吸幕墙相反,内幕墙是封闭的,外幕墙设有进风口和出风口,将室外新风引入,带走两层幕墙间空气层的热量后从上部出风口排出,可减少太阳辐射热对室内的影

响,节约能源。此种幕墙结构不需要专用机械设备,完全靠自然通风与热压通风实现空气流动,维护和运行费用低,是目前应用最广泛的形式。在夏季,开启上、下风口,进行自然通风,降低空气层内的温度;在冬季,关闭风口,形成温室,起到保温作用^[1]。

本文利用 PHOENICS 软件,对某建筑外呼吸双层通风玻璃幕墙的速度场和温度场进行了模拟,分析了遮阳设施、空气层宽度等因素对双层通风玻璃幕墙的热工性能及综合传热系数的影响;利用

①☆ 高云飞,女,1976 年 9 月生,在读博士研究生
510640 广州五山华南理工大学建筑学院
(020) 83661064 (O) 13676299774
E-mail: yunfei_gao@163.com

收稿日期:2006-08-04
一次修回:2006-09-14
二次修回:2006-12-01

DeST 软件对建筑进行了能耗分析,探讨了双层通风玻璃幕墙的节能与保温隔热性能。

1 外呼吸双层通风玻璃幕墙的构造与参数

该建筑位于杭州市,采用的外呼吸通风玻璃幕墙结构如图 1 所示,外层幕墙为单片钢化透明玻璃,内层幕墙为 Low-E 中空玻璃,两玻璃幕墙间距为 1 100 mm。建筑层高为 3.7 m。空气层内气流组织方式为对角线式流动。玻璃性能参数见表 1。

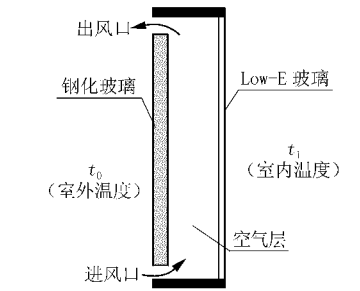


图 1 外呼吸通风玻璃幕墙构造简图

钢化玻璃

Low-E 玻璃

t_0 (室外温度)

t_1 (室内空气温度)

空气层

进风口

出风口

表 1 幕墙玻璃的性能参数

玻璃类型	传热系数/(W/(m ² ·℃))	透射比/%	反射比/%	吸收比/%
Low-E 中空玻璃	2.17	38	22	40
钢化玻璃	5.37	79	8	13

模拟计算中对实际幕墙的热工性能分析采用了上述幕墙实际尺寸,在幕墙综合传热系数的探讨中还分析了空气层宽度为 800,500,200 mm 三种工况和有遮阳设施(挡板式内遮阳)的情况。在各种工况的讨论中,室内空调温度恒定为 26℃,夏季通风温度为 33℃,室外平均风速为标准风速 2.2 m/s^[2],太阳辐射分析针对北纬 30°、大气透明度为 2 的西向墙面。

2 外呼吸双层通风玻璃幕墙热工性能分析

2.1 空气层内的气体流动

幕墙空气层内气体的流动是通风玻璃幕墙的重要特点,是提高墙体热工性能与建筑节能的关键所在。空气层内速度场分布如图 2 所示。经过分析可知,空气层内气体流动主要有以下几个特点。

- 1) 在外界风压与双层幕墙内热压的共同作用下,双层通风玻璃幕墙内部可以获得良好的空气流动,在室外平均风速 2.2 m/s 的计算条件下,双层通风玻璃幕墙内的空气流速为 0.4~1.0 m/s;
- 2) 气流在进风口和出风口的断面具有比中间过渡段面大的速度;
- 3) 气流在风压的作用下由进风口进入且速度增大,诱导幕墙内气体上升并不断混合,幕墙内气体在来流空气推动与热压的作用下不断上升,从出风口排出,带走热量;

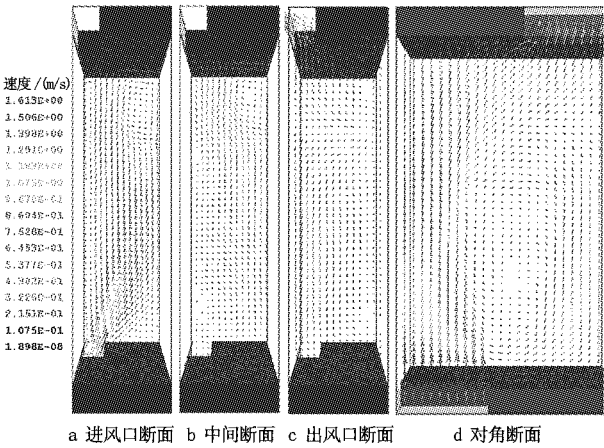


图 2 通风玻璃幕墙空气层内速度场分布

4) 幕墙空气层内对角线式的气流路线不仅有效防止了气流短路情况的发生,而且使得外界空气与幕墙内空气能够充分混合,带走更多热量。

由此可见,双层通风玻璃幕墙内的气体流动可以带走幕墙内的热量,使玻璃幕墙具有良好的热工性能。

2.2 温度场

幕墙的温度分布可以更加直观地反映通风玻璃幕墙的热工性能,内层幕墙内表面温度更是影响室内温度与舒适度及建筑能耗的重要参数。在夏季,内层幕墙内表面温度越低,幕墙壁面与室内空气的温差越小,通过建筑围护结构的热损失就越小,玻璃表面对室内的热辐射也越小,可提高室内热舒适度。

在杭州的气象条件下,室外综合温度为 41.4℃,经过双层通风玻璃幕墙后内层玻璃幕墙温度降低到 27.2℃;由于幕墙内空气的充分混合,空气温度基本一致,在 33~36℃之间变化。幕墙温度场分布如图 3 所示。

综上所述,玻璃幕墙内流动的空气带走了大量太阳辐射透过的热量,大大减少了幕墙内太阳得热量的积聚及其对室内的传热量;尽管外层玻璃仍然会在太阳辐射的作用下温度升高并蓄热,但双层通风玻璃幕墙内的空气流动,一方面迅速地带走了外层玻璃蓄积的热量,另一方面也有效阻隔了外层玻璃热量向内层玻璃的传递,使内层玻璃具有相对较低的温度,保证了与室内空气直接接触的幕墙内表面具有较低的温度,减少了向室内的热量传递,减少了建筑热损失,由此降低了建筑能耗。

2.3 综合传热系数的比较分析

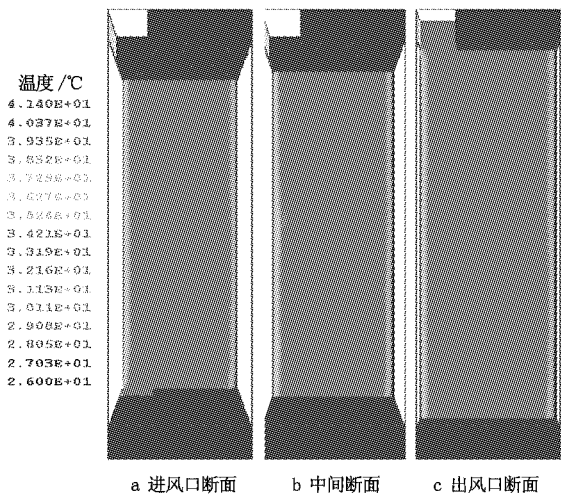


图 3 通风玻璃幕墙温度场分布

综合传热系数是评价双层玻璃幕墙节能效果的最直接参数,数值越小,围护结构的热损失越少,建筑能耗越低。本文计算了实际工况下通风玻璃幕墙的综合传热系数,同时,为了研究影响幕墙性能的因素,采取了改变幕墙空气层宽度、设置遮阳设施等方法,考察其对综合传热系数的影响。

2.3.1 改变幕墙空气层宽度

对幕墙空气层宽度为 1 100,800,500,200 mm 4 种工况进行了模拟分析,得到了各工况下的幕墙综合传热系数与综合传热热阻,见表 2。

表 2 不同空气层宽度工况下幕墙综合传热系数与综合传热热阻的计算结果

空气层宽度/mm	幕墙内表面温度/℃	综合传热系数/(W/(m ² ·℃))	综合传热热阻/(m ² ·℃/W)
1 100	27.22	0.69	1.45
800	27.45	0.82	1.22
500	27.71	0.97	1.04
200	28.26	1.28	0.78

由表2可以看出,随着幕墙空气层宽度的减

小,内层幕墙内表面温度逐渐升高,综合传热系数越来越大,综合传热热阻逐渐降低,玻璃幕墙的热工性能降低。幕墙空气层宽度由 1 100 mm 至 500 mm 的变化对幕墙热工性能的影响并不十分明显,当幕墙空气层宽度缩小到 200 mm 时,内层幕墙内表面温度与综合传热系数都有大幅度的增加,幕墙的热工性能大大降低。可见,两层幕墙间的宽度越小,内层幕墙内表面温度越高,传热系数越大,不利于改善玻璃幕墙的热工性能。

2.3.2 设置遮阳设施

对空气层宽度为 1 100 mm 时两层玻璃幕墙间设置遮阳设施的情况进行了模拟分析,计算结果见表 3。

表 3 空气层设置遮阳设施工况下幕墙综合传热系数与综合传热热阻计算结果

遮阳设施设置情况	内层幕墙内表面温度/℃	综合传热系数/(W/(m ² ·℃))	综合传热热阻/(m ² ·℃/W)
无遮阳	27.22	0.69	1.45
有遮阳	26.28	0.16	6.32

由表 3 可以看出,幕墙空气层内有遮阳的情况要优于无遮阳的情况,与无遮阳的情况相比,内层幕墙内表面温度降低 1℃,综合传热系数降低 3/4,热阻提高 3 倍。可见,幕墙空气层内设置遮阳设施可以提高玻璃幕墙的热工性能,改善室内热环境,降低建筑能耗。

2.4 建筑能耗比较分析

为了考察双层通风玻璃幕墙的节能效果,将实际工程中外呼吸双层通风玻璃幕墙结构建筑的空调供暖能耗与其他 4 种单层玻璃幕墙建筑的能耗作了比较分析,比较结果如表 4 所示。由表 4 可以看出,双层通风玻璃幕墙的供暖和空调能耗都小于其他各种单层玻璃幕墙的能耗。

表 4 建筑能耗比较结果

	方案 A:6 mm(ss-60)+9 A+6 mm 白	方案 B: 6 mm(KN45)+9 A+6 mm 白	方案 C:6 mm(ss-60)+1.14 mm PVB+6 mm 白	方案 D:6 mm 白+9 A+6 mm 白	方案 E:外呼吸双层通风玻璃幕墙
全年累计热负荷/(kWh)	104 417	92 559	135 717	77 384	75 328
全年累计冷负荷/(kWh)	309 538	302 219	297 783	423 435	267 227
全年累计热负荷指标/(kWh/m ²)	24.6	21.8	31.9	18.2	17.7
全年累计冷负荷指标/(kWh/m ²)	72.9	71.1	70.1	99.7	62.9
供暖季热负荷指标/(W/m ²)	8.21	7.30	10.59	6.14	5.96
空调季冷负荷指标/(W/m ²)	11.79	11.51	11.44	17.75	10.25
供暖耗电量/(kWh)	69 611	61 706	90 478	51 589	50 219
空调耗电量/(kWh)	114 644	111 933	110 290	156 828	98 973

注:ss-60 指型号为 ss-60 的热反射膜,9 A 指 9 mm 厚空气层,白指普通白玻璃,KN45 指型号为 KN45 的 Low-E 中空玻璃,PVB 指 PVB 安全膜。

图 4 为间歇式供暖、空调作息模式下供暖季和空调季室内一周温度变化图。从图中可以看出,在

供暖季,方案C在非供暖时间室内温度最低,方案(下转第 115 页)

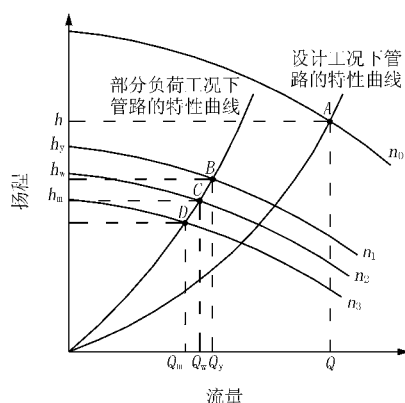


图2 三种控制方式下水泵运行工况

$Q_y > Q_w > Q_m$ ，因此 B 点对应的流量及扬程最大，C 点其次，D 点最小。由图中可看出 $n_0 > n_1 > n_2 > n_3$ 。由于变频泵的功率随转速的降低而减小，因此采用变频泵后在部分负荷工况时系统减少了能耗，而部分负荷工况时采用不同的控制方式下水泵的工作点和能耗各不相同。采用末端压差控制最节能，但总流量达不到设计流量，房间将过热；采用温

差控制的节能率其次，其总流量等于设计流量，但可能出现部分房间过热而部分房间过冷的情况；采用压差控制节能率最小，调节后系统总流量超过系统所需的流量，房间将过冷。以上分析是基于各房间空调器前管路上设置的为一般通断阀得出的，如果设有自动流量调节阀，则自动流量调节阀会根据房间的冷热程度调节其开度，此时各支路流量重新分配，管网特性曲线及泵的工作点都将发生变化，理论上将使各房间温度均达到设定值。

从以上分析可以看出，空调水系统采用变频控制时其控制方式不是随意选用的，应根据空调水系统的规模、负荷的组成和分布、空调精度要求等情况综合分析后选择最合适的控制方式。

参考文献

- [1] 周谟仁. 流体力学泵与风机[M]. 北京: 中国工业出版社, 1985
- [2] 孙一坚. 空调水系统变流量节能控制[J]. 暖通空调, 2005, 35(10): 90-92

(上接第 22 页)

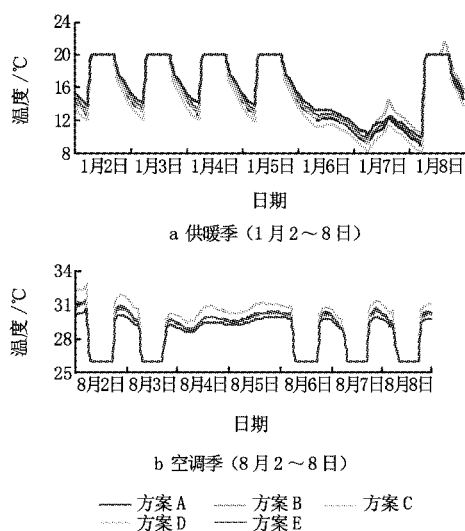


图4 供暖季和空调季室内一周温度变化情况

E 的温度基本为最高；在空调季，方案 D 在非空调时间室内温度最高，方案 E 的温度最低。这种房间温度分布现象说明，方案 E 在冬季有较好的保温性能，在夏季有较好的隔热性能。因此，使用双层玻璃幕墙的建筑在间歇运行的作息模式下，在供暖季节，建筑未被利用的时段内室内温度较高，有利于建筑被利用时段室内迅速升温，减少能耗；在

供冷季节，建筑未被利用的时段内房间温度较低，有利于建筑被利用时段室内迅速降温，节约能源。因此，双层通风玻璃幕墙的保温隔热性能降低了建筑能耗，提高了室内热舒适度。

3 结语

利用 CFD 技术对外呼吸双层通风玻璃幕墙模拟的结果表明，双层通风玻璃幕墙内可以获得较持续稳定的流场，这种空气流动不仅带走了热量，降低建筑能耗，而且有利于提高室内空气质量和热舒适度；能耗模拟分析证明了双层通风玻璃幕墙具有优于单层玻璃幕墙的节能潜力。本文以我国南方夏热冬冷地区为例进行分析的结果也可以推广到夏热冬暖地区。由此，外呼吸双层通风玻璃幕墙是广泛适用于我国南方建筑的一种节能、生态的围护结构形式。

参考文献

- [1] 赵西安. 双层通风幕墙的构造及其工程应用[J]. 建筑技术, 2002, 33(9): 651-655
- [2] 北京有色冶金设计研究院. GBJ 19-87 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2001: 108-113
- [3] 朱清宇, 杜国付, 邹瑜. 内呼吸玻璃幕墙综合传热系数 CFD 模拟计算[J]. 暖通空调, 2005, 35(6): 102-106