

玻璃幕墙建筑能耗分析

哈尔滨工业大学 高甫生[☆] 杨慧媛

摘要 以某博览中心展厅为建筑模型,采用 EnergyPlus 软件模拟了采用不同玻璃的玻璃幕墙建筑设计日冷、热负荷及月能耗和全年能耗。分析了玻璃类型和地理位置对玻璃幕墙建筑能耗的影响。结果表明,二者的影响很大。

关键词 玻璃幕墙 玻璃类型 地理位置 设计日负荷 能耗

Analysis of energy consumption in glass curtain buildings

By Gao Fusheng[★] and Yang Huiyuan

Abstract Taking an exhibition hall as model, simulates design cooling load, design heating load, and monthly and annual energy consumption in glass curtain building with different glasses by EnergyPlus software. Analysing the influences of glass type and geographic location. The results show that their effects are very remarkable.

Keywords glass curtain wall, glass type, geographic location, design load, energy consumption

★ Harbin Institute of Technology, Harbin, China

①

采用大面积玻璃幕墙作为围护结构,室内平均辐射温度与传统围护结构建筑有所不同,为获得相同的人体热舒适感,必须以升高或降低室内控制温度作为补偿,这就必然引起供暖空调系统能耗的变化。本文以北京某博览中心一展厅为建筑模型,利用 EnergyPlus 进行设计日负荷计算及运行能耗的模拟,并分析了玻璃类型及地理位置对玻璃幕墙建筑能耗的影响。

1 建筑模型及玻璃类型介绍

该展厅结构尺寸为 55.3 m×73 m×10.5 m (长×宽×高),其中南向、西向、北向都设有大面积玻璃幕墙,幕墙高 9.5 m,各朝向的窗墙比分别是 66.7%,84.3%,66.7%,东向为内墙,顶棚为 2 层楼板。外墙、内墙、顶棚的传热系数分别为 1.422, 3.464, 2.615 W/(m²·K)。

为研究不同玻璃类型对建筑围护结构能耗的影响,笔者选择了普通平板玻璃、吸热玻璃、热反射玻璃、中空玻璃及低辐射中空玻璃等 13 种玻璃类型进行模拟。各种玻璃性能参数见表 1,2。

在表 1 中,1#,2# 为浮法玻璃,即普通平板玻璃;3#,4# 为吸热玻璃;5#,6# 为热反射玻璃;7#,8# 为低辐射玻璃,但低辐射玻璃容易被氧化,必须与其他玻璃组合成中空玻璃使用,在模拟中把它作为中空玻璃。

2 玻璃类型对玻璃幕墙建筑设计日冷、热负荷的影响

玻璃类型不同,为达到同样的热舒适,室内控制温度有所不同^[1]。能耗比较应该以满足热舒适要求为前提,本文以文献^[1]给出的最佳舒适温度限值(见表 3)作为室内控制温度进行能耗模拟,不考虑人员、设备散热及渗风的影响,只计算围护结构能耗。

①[☆] 高甫生,男,1938 年 5 月生,大学,教授,博士生导师
150090 哈尔滨工业大学二校区 2644 信箱
(0451) 86282504
E-mail:gfs@hit.edu.cn
收稿日期:2005-12-02
修回日期:2006-06-04

表 1 单层玻璃性能参数

| 序号 | 厚度/mm | 太阳能透射比/% | 太阳能反射比/% | | 长波辐射比/% | | 传热系数/(W/(m ² ·K)) | 遮阳系数 S _c | 太阳得热因子 SHGC |
|----|-------|----------|----------|-------|---------|-------|------------------------------|---------------------|-------------|
| | | | 前侧 | 后侧 | 前侧 | 后侧 | | | |
| 1# | 3.0 | 0.848 | 0.076 | 0.076 | 0.840 | 0.840 | 5.915 | 1 | 0.869 |
| 2# | 5.7 | 0.786 | 0.071 | 0.071 | 0.840 | 0.840 | 5.820 | 0.952 | 0.826 |
| 3# | 6.4 | 0.635 | 0.064 | 0.063 | 0.840 | 0.840 | 5.723 | 0.836 | 0.723 |
| 4# | 5.6 | 0.482 | 0.051 | 0.049 | 0.840 | 0.840 | 5.822 | 0.719 | 0.620 |
| 5# | 5.6 | 0.496 | 0.306 | 0.251 | 0.850 | 0.840 | 5.822 | 0.638 | 0.552 |
| 6# | 5.6 | 0.335 | 0.446 | 0.313 | 0.855 | 0.840 | 5.823 | 0.460 | 0.397 |
| 7# | 5.6 | 0.408 | 0.272 | 0.364 | 0.840 | 0.078 | 3.379 | 0.529 | 0.455 |
| 8# | 5.7 | 0.220 | 0.459 | 0.483 | 0.840 | 0.043 | 3.252 | 0.310 | 0.265 |

表 2 双层玻璃性能参数

| 序号 | 形式 | 厚度/mm | 太阳能透射比/% | 太阳能反射比/% | | 传热系数/(W/(m ² ·K)) | 遮阳系数 S _c | 太阳得热因子 SHGC |
|----|-------------|---------|----------|----------|-------|------------------------------|---------------------|-------------|
| | | | | 前侧 | 后侧 | | | |
| 1# | 单 2# + 单 2# | 6+A12+6 | 0.629 | 0.117 | 0.117 | 2.689 | 0.825 | 0.716 |
| 2# | 单 3# + 单 2# | 6+A12+6 | 0.506 | 0.094 | 0.111 | 2.670 | 0.703 | 0.609 |
| 3# | 单 4# + 单 2# | 6+A12+6 | 0.386 | 0.068 | 0.102 | 2.690 | 0.580 | 0.501 |
| 4# | 单 5# + 单 2# | 6+A12+6 | 0.390 | 0.325 | 0.248 | 2.690 | 0.543 | 0.470 |
| 5# | 单 6# + 单 2# | 6+A12+6 | 0.267 | 0.454 | 0.279 | 2.690 | 0.385 | 0.333 |
| 6# | 单 7# + 单 2# | 6+A12+6 | 0.342 | 0.289 | 0.281 | 1.736 | 0.464 | 0.403 |
| 7# | 单 8# + 单 2# | 6+A12+6 | 0.188 | 0.464 | 0.357 | 1.668 | 0.267 | 0.231 |

注:A12表示中空层厚度为12mm。

表 3 不同玻璃室内最佳温度限值

| | | 冬季温度/℃ | | 夏季温度/℃ | |
|--------|----|--------|--------|--------|--------|
| | | 冬季温度/℃ | 夏季温度/℃ | 冬季温度/℃ | 夏季温度/℃ |
| 单层玻璃 | 1# | 19.3 | 21.7 | | |
| | 2# | 19.2 | 21.9 | | |
| | 3# | 19.3 | 21.9 | | |
| | 4# | 19.4 | 21.9 | | |
| | 5# | 19.5 | 22.5 | | |
| | 6# | 19.8 | 23.0 | | |
| 双层中空玻璃 | 1# | 18.3 | 22.1 | | |
| | 2# | 18.4 | 22.2 | | |
| | 3# | 18.5 | 22.7 | | |
| | 4# | 18.7 | 23.0 | | |
| | 5# | 18.9 | 23.6 | | |
| | 6# | 18.1 | 23.1 | | |
| | 7# | 18.4 | 23.9 | | |

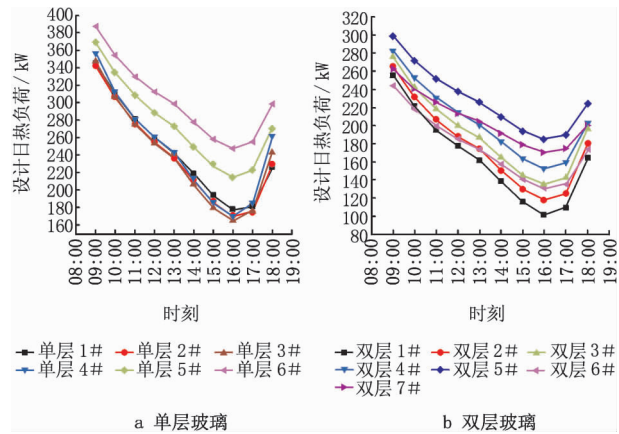


图 1 设计日热负荷

模拟条件为空调间歇运行,工作时间为 8:00~18:00,开机时负荷有突变。图 1,2 给出了 9:00~18:00 时间段的负荷变化情况。从图中可以看出,对于单层玻璃,只有 5#,6# 热反射玻璃负荷差异明显,冷负荷明显低于其他 4 种玻璃,热负荷高于其他玻璃,这是因为热反射玻璃具有较高的太阳能反射比,室内太阳辐射得热较少,从而夏季冷负荷较小,冬季热负荷较大;1#~4# 分别是普通平板玻璃和吸热玻璃,它们的传热系数相近,太阳能透射比依次减小,但由图 1a,2a 发现,这 4 种玻璃热负荷难分大小,冷负荷上午依次降低,但降低幅度很小,下午几乎相同,甚至 4# 有时还高于其

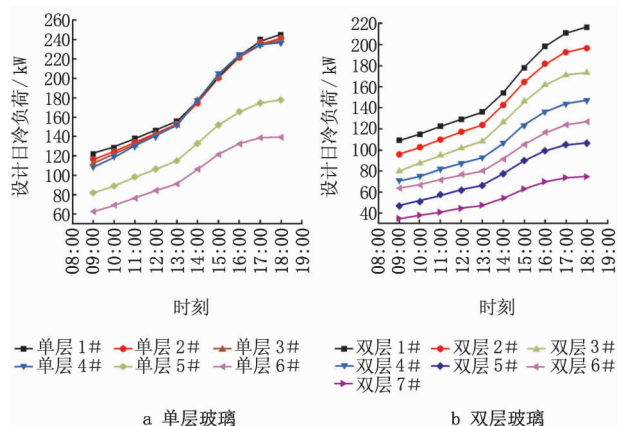


图 2 设计日冷负荷

他3种玻璃。通过玻璃性能参数分析,尽管1#~4#玻璃的太阳能透射比与吸收比不同,使室内以不同方式获得热量的比例不同,但二者之和较为接近,使得通过玻璃的绝对得热量差别很小,因此冷、热负荷波动不大,同时也说明,玻璃反射比对负荷也有很大影响。

由各种单层玻璃+6mm普通平板玻璃构成的双层中空玻璃,传热系数普遍降低,它们之间的负荷差异要比相应的单层玻璃显著。由图2b可以看出,冷负荷排序随着遮阳系数减小依次递减,并与全年运行负荷分析结果相一致(见第5章)。由图1b可以看出,除6#,7#低辐射中空玻璃外,其余玻璃基本上是按照与冷负荷相反的趋势变化的,即透射比小的热负荷大。低辐射中空玻璃热负荷曲线向下移动,这是由于低辐射中空玻璃是一种特殊的镀膜玻璃,它除了在夏天能阻挡大量太阳辐射热进入室内,在冬天还可以反射室内的辐射热,起到保温作用。因此,低辐射中空玻璃不仅比其他玻璃舒适性好,且在冬、夏季都较节能。

3 日平均负荷特点

与上述模拟条件相同,在满足热舒适时,以单层1#,6#,双层7#为例,比较它们的日平均负荷的特点。

图3给出了冬、夏季的日平均负荷。由图中可以看出,由于室外气候反复多变,致使日平均负荷也随着来回起伏,但总体趋势上,北京地区玻璃幕墙建筑热负荷主要集中在12,1,2月,冷负荷最大出现在7,8月;比较这3种玻璃,双层7#低辐射中空玻璃冷、热负荷都最小,单层6#热反射玻璃的热负荷比单层1#普通平板玻璃大,而单层1#普通平板玻璃的冷负荷比另外两种玻璃都大得多,

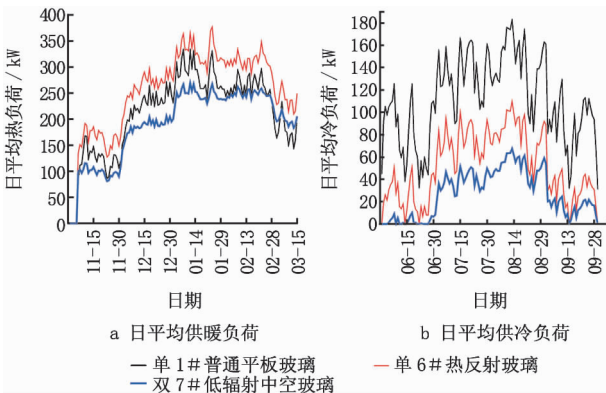


图3 不同时期日平均负荷

8月14日的最大冷负荷约为热反射玻璃的1.6倍,为低辐射中空玻璃的2.7倍。

4 不同类型玻璃幕墙月能耗特点

图4给出了各种单层玻璃在夏、冬季的负荷。由图可见,1#,2#普通平板玻璃和3#,4#号吸热玻璃的夏季冷负荷差别不大,冬季热负荷差别也很小;5#,6#热反射玻璃冷负荷显著降低,可以减少大量空调能耗,热负荷变化趋势正好相反,得热量较少的热反射玻璃耗能最多。

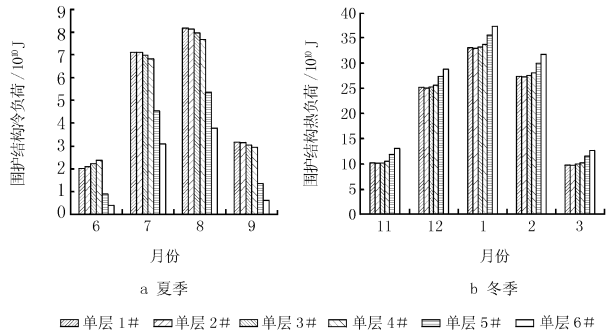


图4 各种单层玻璃夏季和冬季负荷

图5给出了各种双层玻璃在夏、冬季的负荷。从图5可以看出,7#低辐射中空玻璃冷负荷最小,但热负荷不是最大,6#低辐射双层玻璃虽然冷负荷稍大,热负荷却很小,这说明同为低辐射中空玻璃,冬夏季节能效果也不尽相同,在工程中可以根据实际情况选择最优的膜系;5#热反射双层玻璃尽管冷负荷也很少,但热负荷却最大。因此,只有低辐射玻璃兼顾了降低冷、热负荷的要求,实现了热舒适和节能的统一。

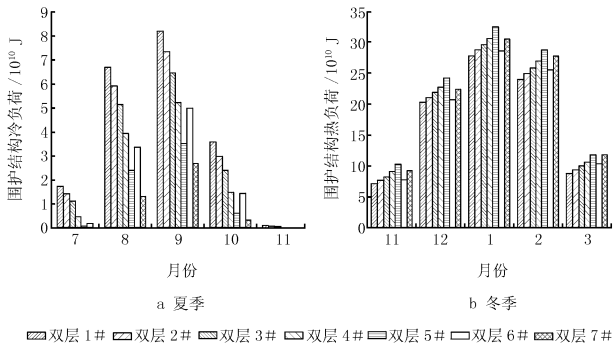


图5 各种双层玻璃夏季和冬季负荷

由上述分析可以看出,玻璃在冬、夏季的表现多是矛盾的,一般若夏季冷负荷较小,冬季热负荷就较大,而且热负荷远远大于冷负荷,但是冷价却远高于热价。因此,在玻璃幕墙建筑玻璃类型的选

取上,要根据不同地点综合考虑冬夏季的能耗及价格因素,一般更应该着重从夏季热舒适及供冷能耗角度考虑。

5 玻璃类型对玻璃幕墙建筑全年能耗的影响

表4是各种玻璃幕墙建筑全年围护结构能耗的汇总,表中还列出了各种玻璃相对于单层1#普通平板玻璃的能耗比值,并根据此能耗比值绘制了图6。

表4 不同玻璃幕墙建筑全年能耗计算结果

| 玻璃种类 | 供冷能耗/ 10 ¹¹ J | 与单层 1#比值 | 供暖能耗/ 10 ¹² J | 与单层 1#比值 | 全年能耗/ 10 ¹² J | 与单层 1#比值 |
|------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| 单层1# | 5.76 | 1.00 | 1.18 | 1.00 | 1.76 | 1.00 |
| 单层2# | 5.54 | 0.96 | 1.17 | 0.99 | 1.72 | 0.98 |
| 单层3# | 5.51 | 0.96 | 1.19 | 1.00 | 1.74 | 0.99 |
| 单层4# | 5.43 | 0.94 | 1.22 | 1.03 | 1.76 | 1.00 |
| 单层5# | 3.67 | 0.64 | 1.32 | 1.11 | 1.69 | 0.96 |
| 单层6# | 2.57 | 0.45 | 1.42 | 1.20 | 1.68 | 0.96 |
| 双层1# | 5.11 | 0.89 | 0.91 | 0.76 | 1.42 | 0.81 |
| 双层2# | 4.62 | 0.80 | 0.95 | 0.80 | 1.41 | 0.80 |
| 双层3# | 3.79 | 0.66 | 1.00 | 0.84 | 1.38 | 0.79 |
| 双层4# | 2.99 | 0.52 | 1.06 | 0.90 | 1.36 | 0.77 |
| 双层5# | 1.90 | 0.33 | 1.15 | 0.97 | 1.34 | 0.76 |
| 双层6# | 2.70 | 0.47 | 0.93 | 0.79 | 1.20 | 0.69 |
| 双层7# | 1.34 | 0.23 | 1.05 | 0.88 | 1.18 | 0.67 |

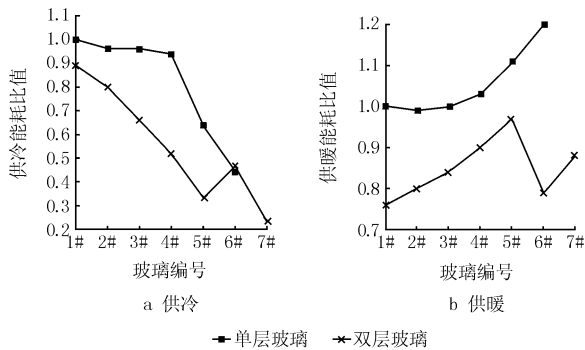


图6 不同玻璃供冷和供暖能耗比值

从图6可见,采用热反射玻璃、低辐射玻璃及各种双层中空玻璃的幕墙建筑,与采用普通平板玻璃的幕墙建筑相比,夏季空调能耗大幅度下降;双层4#,5#玻璃的冬季供暖能耗降低的幅度很小,而单层4#,5#,6#玻璃的供暖能耗不仅不降低,反而上升。这是由于双层4#,5#玻璃是热反射中空玻璃,虽然它们的传热系数比较小,但太阳能透射比较小且反射比较大,两者综合作用,使得它们的冬季供暖能耗较单层普通平板玻璃略有降低,但下降幅度很小;单层4#,5#,6#玻璃的太阳能透射比都较小,其中4#为吸热玻璃,5#,6#为热反射玻璃,因此,单层4#玻璃的夏季供冷能耗

与普通平板玻璃相比变化不大,而5#,6#玻璃的反射比较大、遮阳系数较小,夏季供冷能耗大大降低,冬季供暖能耗则上升。进一步分析图6中的单层或双层玻璃的曲线可见,单层玻璃的传热系数相近,即通过玻璃的温差传热量相近,因此单层玻璃的耗能与玻璃的光学性能,如透射比、反射比等有关;而双层玻璃不但遮光性能增强,传热系数也大幅度降低,因此双层玻璃节能是光学性能和热工性能同时优化的结果。对比图6a中单层6#和双层6#的节能率,发现二者相差很小,由玻璃性能可知,二者遮阳系数接近,传热系数不同,这说明在夏季,遮阳系数比传热系数更重要;冬季则相反,传热系数影响更大,这从图6b中单层6#和双层6#玻璃供暖能耗的差异可以看出。从节能率大小来看,夏季性能最优的双层7#低辐射中空玻璃能耗仅是普通平板玻璃的23%,此时较小的传热系数和遮阳系数都增强了节能效果;冬季,最节能的是双层1#普通中空玻璃,它的能耗是单层1#普通平板玻璃的76%,这说明传热系数和遮阳系数对能耗的贡献不一致时,传热系数较小、遮阳系数又不是很小的玻璃节能效果最好。总体上,夏天,与普通平板玻璃比较,其他类型的单层或双层玻璃都更加节能;冬季,除单层2#,3#玻璃能耗与1#相近外,其余单层玻璃耗能都较大,而由各种单层玻璃+6mm普通平板玻璃构成的双层中空玻璃则在一定程度上都起到了节能作用。因此,单从运行能耗来看,双层玻璃在冬夏季都是节能的,但最终经济与否还要考虑初投资。

图7给出了围护结构年供冷能耗随玻璃遮阳系数的变化曲线。从图中可以看出,随玻璃遮阳系数的增大,能耗迅速上升,因此遮阳系数可以作为评价夏季玻璃性能好坏的一个重要指标。如果采用太阳得热因子SHGC作横坐标,供冷能耗变化

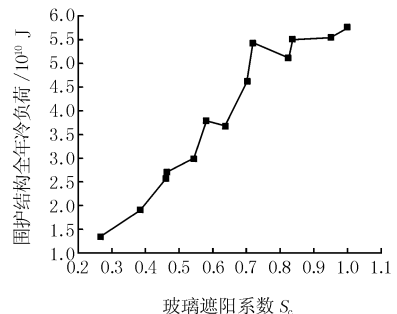


图7 围护结构年供冷能耗随玻璃遮阳系数的变化

趋势与此一致,这也从一个侧面反映了夏季影响室内得热的主要因素是玻璃透射比,玻璃吸收比和传热系数影响相对较小。

6 地理位置对玻璃幕墙建筑能耗的影响

选择广州、上海、兰州、北京、沈阳、乌鲁木齐和哈尔滨七个城市,在保证热舒适的前提下,对其玻璃幕墙建筑能耗情况进行比较。选用双层 7# 低辐射中空玻璃,它的传热系数小,遮阳系数也小,同时兼顾了南、北方地区不同的侧重点。结果见图 8,9。

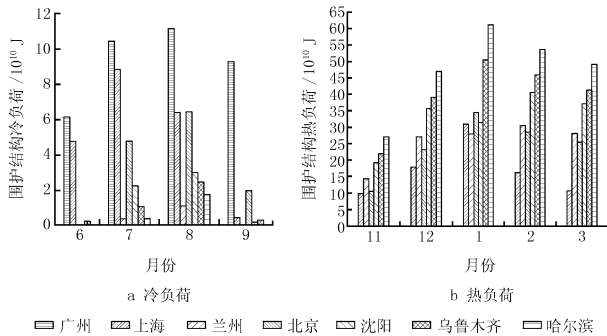


图 8 不同城市玻璃幕墙建筑冷、热负荷的比较

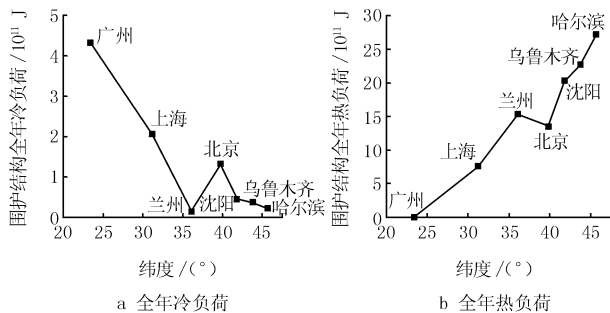


图 9 不同纬度下玻璃幕墙建筑全年冷、热负荷的比较

由于不同地理位置气象条件显著不同,采用同种玻璃的幕墙建筑冷、热负荷差别会很大。就夏季冷负荷而言,从图 8a 可以看出,广州地区始终遥遥领先,在 8 月冷负荷最大;上海地区的最大冷负荷出现在 7 月;兰州纬度居中,但它海拔较高,三面环山,日较差很大,致使其夏季冷负荷最小;沈阳、乌鲁木齐、哈尔滨都属严寒地区,总体冷负荷不大。由图 8b 可以看出,地处东北和西北的哈尔滨、沈阳、乌鲁木齐三个城市的冬季热负荷都很大,其中以哈尔滨为最大。总体上看,冬季热负荷都是 1 月最大,11 月最小,北方城市的冬季热负荷都远远大于夏季冷负荷。

从图 9 可见,随纬度升高制冷能耗依次减小(兰州除外)。冬季热负荷则基本上随纬度升高依

次增大。说明纬度在很大程度上影响着玻璃幕墙建筑的能耗,尤其是供暖能耗。

7 结论

7.1 玻璃类型对玻璃幕墙建筑能耗影响很大,热反射玻璃和低辐射中空玻璃夏季可以大幅度降低峰值冷负荷和总冷负荷,性能最优的双层 7# 低辐射中空玻璃能耗仅是普通平板玻璃的 23%;普通中空玻璃及低辐射中空玻璃冬季热负荷较其他玻璃小。

7.2 各种单层玻璃的能耗差别主要与透射比、反射比等玻璃的光学性能有关;而双层玻璃不但遮光性能增强,传热系数也大幅度降低,因此双层玻璃节能是光学性能和热工性能同时优化的结果。

7.3 夏季,玻璃的遮阳系数比传热系数对能耗影响更大,遮阳系数可以作为评价夏季玻璃性能好坏的一个重要指标。一般遮阳系数越小,冷负荷越小;冬季则相反,传热系数影响更大。传热系数和遮阳系数对能耗的贡献不一致时,传热系数较小、遮阳系数又不是很小的玻璃节能效果最好。

7.4 各种玻璃冬夏表现多是矛盾的,一般夏季冷负荷较小,冬季热负荷就较大,热负荷远远大于冷负荷,但冷价却远高于热价。因此,在玻璃幕墙建筑玻璃类型的选取上,一般更应该着重从夏季热舒适及供冷能耗角度考虑。

7.5 纬度对热负荷的影响大于对冷负荷的影响,不同纬度地区,建筑形式、玻璃类型相同,达到同样热舒适时能耗差别很大。

参考文献

- [1] 杨慧媛,高甫生. 玻璃类型对玻璃幕墙建筑室内热环境的影响分析[J]. 暖通空调, 2005, 35 (10): 23-28

· 征订 ·

《第 13 届全国暖通空调技术信息网大会文集》

第 13 届全国暖通空调技术信息网技术交流大会于 2005 年 11 月 1~3 日在厦门召开,大会文集集中反映各地方、各行业的广大设计、科研、教学和工程第一线的暖通空调专业工作者在各自工作岗位上所作出的新开拓和新成果。文集选登 100 多篇文章,分为综合、空调制冷、供暖供热、通风除尘、洁净技术、计算机网络技术、节能及其他共 7 大部分。

文集作为《暖通空调》杂志 2005 年第 10 期增刊,正式出版,476 页,定价 60 元(邮费 10 元)。订购者请与《暖通空调》编辑部联系,电话:(010)68362755,金庆平;或 88383814。地址:100044 北京市西直门外车公庄大街 19 号。

(本刊)