

文章编号:1673-2049(2010)04-0109-06

玻璃幕墙热工性能及节能研究

习红军,赵登育

(西安科技大学 能源学院,陕西 西安 710054)

摘要:阐述了玻璃幕墙得热转化为冷负荷的工作原理,介绍了目前应用最为广泛的 3 种玻璃幕墙的热工性能,采用传递函数法计算了某会展中心围护结构玻璃幕墙在 11 种组合下的冷负荷;以 3 mm 厚标准透明浮法玻璃为基准,计算了不同组合类型玻璃幕墙的能耗情况,比较了不同地理位置、遮蔽系数及传热系数、朝向、纬度时的冷负荷变化。结果表明:在不同地区,选取合适的玻璃、不同朝向上选取恰当的墙窗比、设置遮阳措施是减少玻璃幕墙能耗的主要方法。

关键词:玻璃幕墙;热工性能;节能;遮蔽系数;传热系数

中图分类号:TU831.2

文献标志码:A

Research on Thermal Performance and Energy-saving of Glass Curtain Wall

XI Hong-jun, ZHAO Deng-yu

(School of Energy Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The operation principle of heat gain transferred into cold load was represented, and the thermal performances of three most widely used glass curtain wall were introduced. Cold loads of an exhibition center glass curtain wall were calculated under eleven combinations using transfer function method. Taking 3 mm standard clear float glass as reference, energy consumptions of different combinations of glass curtains were calculated. Cold loads under different geographical locations, shading coefficients and heat transfer coefficients, orientations and latitudes were compared. Results show that in different regions, the main methods of reducing energy consumptions are selecting proper glass, selecting suitable wall-window ratio in different orientations, and setting shading device.

Key words: glass curtain wall; thermal performance; energy-saving; shading coefficient; heat transfer coefficient

0 引言

中国已成为玻璃幕墙的第一大使用国,许多大型现代公用及商业建筑都使用了大面积的玻璃幕墙,它以良好的采光性能、宏伟的造型、对建筑外立面独特的装饰作用得到人们的喜爱。但一般情况下,玻璃幕墙的传热性能要高于普通实体墙,其特殊的透光性能也使房间得热发生了很大变化,增大了

冷热负荷,提高了设备和系统的投资和运行费用。随着玻璃加工工艺的改进,新产品、新材料的不断涌现,玻璃种类也越来越多,因此,根据当地气候特点,研究不同种类玻璃的能耗及其影响因素具有现实意义^[1]。本文中笔者通过变换玻璃类型计算了典型地区玻璃幕墙围护结构的夏季冷负荷,并分析了影响玻璃幕墙建筑能耗的主要因素,包括玻璃性能参数、朝向、地理位置等。

收稿日期:2010-08-13

作者简介:习红军(1974-),男,陕西合阳人,讲师,工学硕士,E-mail:xianxhj@163.com。

1 玻璃幕墙的种类及性能

玻璃幕墙的支撑及紧固件在使用了具有良好热阻性能的部件后,其热工性能的差异主要体现在构成幕墙大部分的玻璃上^[2]。根据现有技术,幕墙玻璃的种类分为普通透明浮法玻璃、有色玻璃、吸热玻璃、热反射玻璃、低辐射(Low-E)玻璃等;根据框上镶嵌玻璃的层数又可分为单层、双层、三层玻璃,它们中间的夹层可填充干燥空气(中空玻璃)或氮气、氩气、氪气等不活泼气体,或抽高纯度真空形成真空夹层;玻璃表面可以贴有各种阻隔辐射的镀膜或贴膜,如反射膜、低辐射膜、有色遮光膜等^[3],并需要组成不同的组合。组成幕墙的玻璃由于其玻璃种类不同、镀膜不同、组合形式不同,它的热工性能和光学性能差别很大,目前表现这种差异的 2 个主要参数为传热系数 K 和遮蔽系数 S_c 。本文中列举了 11 种玻璃类型及组合,其性能参数见表 1。目前使用较广的幕墙玻璃有:①热反射镀膜玻璃,其对太阳

光具有较高的反射能力,反射率达 20%~40%,可大幅节省室内空调的能源消耗,同时具有较好的遮蔽光性能,使室内光线柔和舒适;②低辐射玻璃是一种镀膜玻璃,其特性是可见光(波长 0.38~0.8 μm)高透过,透射率一般为 80%~90%,因此它的透明性很好,对近红外线辐射(波长 0.8~3 μm)玻璃的透射率较普通玻璃低很多,可根据当地气候特点选择使用,以便发挥其隔热和保温性能,对远红外辐射(波长 3 μm 以上)玻璃具有极高的反射率,反射率达 90%,可起到很好的保温作用^[4],其最大的特点是节能效果良好,但造价较高;③中空玻璃是通过在 2 层平板玻璃中间利用间隔框架隔开,周边密封,充入干燥空气,并且填入少量干燥剂保持空气干燥而制得。由于玻璃的导热系数为 0.8 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$,而空气的导热系数为 0.03 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$,所以中空玻璃具有极好的保温隔热性能、防结露性能和隔音性能,一般情况下可以降低噪声 30~40 dB^[5],其造价适中,目前在中国已得到广泛应用。

表 1 玻璃性能参数

Tab. 1 Glass Performance Parameters

序号	玻璃类型	厚度/mm	反射率/%	透射率/%	吸收率/%	遮蔽系数	传热系数/($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)
1	透明浮法玻璃	3	7.6	85.1	7.3	1.00	6.40
2	透明浮法玻璃	6	7.0	77.0	16.0	0.92	5.80
3	吸热蓝片玻璃	6	5.0	64.0	31.0	0.72	5.70
4	热反射玻璃 YAC0140	6	44.0	43.0	13.0	0.49	5.40
5	单层 Low-E 玻璃	6	10.0	66.0	24.0	0.79	3.90
6	单层 Sun-E 玻璃	6	7.0	36.0	57.0	0.52	3.70
7	F16 加 12A 加 F16	6+12+6	12.0	64.0	24.0	0.83	3.16
8	FL8 加 12A 加 GTSB130	8+12+8	15.0	18.0	67.0	0.32	2.94
9	透明浮法玻璃加 12A 加 Low-E	6+12+6	15.0	52.0	33.0	0.76	2.00
10	透明浮法玻璃加 12A 加 Sun-E	6+12+6	8.0	28.0	64.0	0.42	1.90
11	CEF21-38F 加 12A 加 6C	6+12+6	73.0	13.0	14.0	0.22	1.82

2 太阳辐射得热与冷负荷理论

由于太阳辐射可以透过玻璃幕墙,而且这部分热量在建筑热环境的形成中发挥了重要的作用,因此通过玻璃幕墙的得热包括 2 个部分:通过玻璃板壁形成的传热量和透过玻璃的太阳辐射得热量。它们中的对流部分直接转变为冷负荷,辐射部分则首先被室内其他表面吸收,提高它们的表面温度,再随着时间的推移,逐渐以对流的形式把热量散发到空气中形成冷负荷。影响玻璃幕墙建筑室内热环境形成的室外气象参数主要有太阳辐射强度、室外温度、风速等。

2.1 太阳辐射得热

玻璃幕墙的透射系数和吸收系数可分别由下式计算

$$\tau_g=(1-r)^2a/[1-(ra)^2] \tag{1}$$

$$\alpha_g=1-r-(1-r)^2a/(1-ra) \tag{2}$$

$$r=\frac{1}{2}\left[\frac{\sin^2(\theta-\bar{\theta})}{\sin^2(\theta+\bar{\theta})}+\frac{\tan^2(\theta-\bar{\theta})}{\tan^2(\theta+\bar{\theta})}\right] \tag{3}$$

$$\sin \bar{\theta}=\frac{\sin \theta}{N} \tag{4}$$

$$a=\exp\left[-kt/\sqrt{1-\left(\frac{\sin \theta}{N}\right)^2}\right] \tag{5}$$

式中: τ_g 为玻璃透射系数; α_g 为玻璃吸收系数; N 为玻璃折射系数; k 为玻璃消光系数; t 为玻璃厚度; θ

为太阳入射角。

由式(2)、(3)可以看出,玻璃透射系数和吸收系数是太阳入射角的函数。单位面积的太阳辐射得热量 q_L 可由下式计算

$$q_L = I_b(\tau_{g,b} + F\alpha_{g,b}) + (I_d + I_r)(\tau_{g,d} + F\alpha_{g,d}) \quad (6)$$

式中: I_b 、 I_d 、 I_r 分别为太阳直射、散射、反射辐射强度; $\alpha_{g,b}$ 、 $\tau_{g,b}$ 分别为计算直射辐射时的玻璃吸收系数和透射系数; $\alpha_{g,d}$ 、 $\tau_{g,d}$ 分别为计算散射辐射时的玻璃吸收系数和透射系数; F 为被围护结构吸收的太阳辐射热中,传向室内的热量与围护结构吸收的太阳辐射热的比值, $F = h_i / (h_i + h_o)$, h_i 、 h_o 分别为室内、外表面的传热系数, F 一般取 0.196~0.4^[6]。

2.2 冷负荷

以直射、散射、反射形式进入室内的辐射热,并不能立刻成为瞬时冷负荷,而是被投射到的围护结构、家具等具有蓄热性能的物体所吸收,在其表面温度升到高于周围空气温度时,才以对流换热方式传给周围空气而成为房间的瞬时冷负荷。

本文中采用传递函数法计算冷负荷,采用数学归纳法并引进卷积和周期性加权系数,通过得热公式分别得到冷负荷公式。

房间通过玻璃的总得热量为

$$G = KFx_m(\theta_w - \theta_n) + Ax_mS_cJ \quad (7)$$

式中: G 为得热量; A 为墙面积; x_m 为窗墙比; θ_w 为室外空气温度; θ_n 为室内设计温度; J 为透过玻璃的太阳辐射强度。

在分析得热和冷负荷的关系时,通常把得热看成输入,冷负荷看成输出,用单位三角波对得热进行分解,通过拉普拉斯变换或 Z 变换把冷负荷整理为

$$C_n = \sum_{j=0}^n V_j G_{n-j} - \sum_{j=1}^n \omega_j C_{n-j} \quad (8)$$

式中: C_n 为应用传递函数通过 Z 变换得到的任意时刻 n 的冷负荷; V_j 、 ω_j 为房间的 Z 传递函数系数。

由于 V_j 、 ω_j 收敛很快,只需要取 2、3 项就可满足工程要求,因此,式(8)可简化为 $C_n = V_0 G_n + V_1 G_{n-1} - \omega_1 C_{n-1}$,把 C_{n-1} 逐项展开,并令

$$\left. \begin{aligned} V_0 &= W_0 \\ V_1 - \omega_1 V_0 &= W_1 \\ \omega_1 &= -c \\ c &= \frac{W_{j+1}}{W_j} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

通过整理得

$$C_n = \sum_{j=0}^{+\infty} W_j G_{n-j} \quad (10)$$

式中: W_j 为加权系数; c 为公比。

式(10)的物理意义是: n 时刻的冷负荷 C_n 等于 n 时刻和 n 之前时刻的得热 G_{n-j} 与加权系数 W_j 乘积的代数和。式(9)表示了 Z 传递函数系数与加权系数的关系式。

Z 传递函数系数 V_0 、 V_1 、 ω_1 可以通过建立数学模型计算求得,也可通过试验求得^[7]。美国 1981 年版 ASHRAE 手册载有各种不同结构的建筑 and 不同送风类型的 V_0 、 V_1 、 ω_1 的值。根据本文中的玻璃幕墙建筑结构情况,采用轻型结构,所取数据见表 2。

表 2 Z 传递函数系数及加权系数

Tab. 2 Z Transfer Function Coefficients and Weight Coefficients

得热类型	V_0	V_1	W_0	W_1	ω_1	c'
传导型	0.703	-0.603	0.703	0.029 7	-0.9	0.9
辐射型	0.224	-0.124	0.224	0.077 6	-0.9	0.9

注: W_0 、 W_1 、 c' 为加权系数。

3 计算模型

在大空间公共建筑中广泛使用玻璃幕墙作为围护结构,如博览中心、科技馆、体育馆等。本文中以某会展中心为例,计算其采用不同玻璃幕墙时的冷负荷。该会展中心长 228 m,宽 90 m,地上部分高 26 m,采用了大面积玻璃幕墙,根据实际情况,其南向窗墙比为 0.8,北向为 0.3,东、西向均为 0.45。室内空调设计温度为 27℃,建筑地点首先取北纬 30°,以上海地区为代表,室外气象参数见表 3^[8],所选玻璃类型见表 1。

表 3 计算参数

Tab. 3 Calculation Parameters

地区	纬度	空调室外计算干球温度/℃	空调日平均温度/℃	最高温度出现时刻
上海	31°10'N	34.0	30.4	15:00

4 冷负荷影响因素分析

4.1 室外温度

以热反射玻璃 YAC0140 为例,通过编程计算北纬 30°地区夏季逐时冷负荷,计算结果见表 4。室外最高温度和玻璃幕墙的最大辐射冷负荷以及玻璃幕墙的最大总冷负荷都出现在 15:00,而最大传热冷负荷却出现在 16:00,传热冷负荷峰值滞后是由于传热延迟引起的。笔者对不同玻璃种类进行了计算,结果表明:传热冷负荷普遍滞后 1 h,可见从传热角度考虑,玻璃也是有一定蓄热性的,在模拟计算

表 4 设计日冷负荷随时间的变化

Tab. 4 Changes of Cold Loads with Time in

Standard Day								kW	
时刻	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00		
传热冷负荷	48.32	71.88	100.58	132.54	165.64	197.69	226.56		
辐射冷负荷	214.42	273.26	313.49	370.67	416.23	449.60	473.68		
时刻	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00		
传热冷负荷	250.34	267.44	276.75	277.67	270.16	254.77	232.58		
辐射冷负荷	506.21	533.50	546.62	543.57	520.66	464.74	386.81		

中需要加以考虑;但相对于玻璃总体得热而言,传热引起的冷负荷所占比例较小^[9],约为 30%。

4.2 玻璃类型

在给定的建筑模型及北纬 30°地区的条件下,以 3 mm 厚标准透明浮法玻璃为基准,比较不同组合玻璃类型的能耗情况,计算结果见图 1。从玻璃 1、2、3、4、6 可以看出,随着玻璃传热系数和遮蔽系数的减小,冷负荷减少,但从玻璃 3、5 来看,传热系数从 $5.7\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ 降到 $3.9\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ 时,遮蔽系数略有上升,冷负荷则相差无几,即传热系数与遮蔽系数相比较,遮蔽系数影响更大,这也是为什么在玻璃幕墙建筑中要更重视太阳辐射影响的原因。在中空玻璃中,浮法玻璃加热反射玻璃能耗较少,且与低辐射玻璃相比,价格较低,而能耗最少的是由低辐射玻璃加普通玻璃制成的中空玻璃,总能耗仅为标准玻璃的 24%,但价格昂贵,选择时需要与其他玻璃做全年的能耗比较,综合考虑初始投资和运行费用。

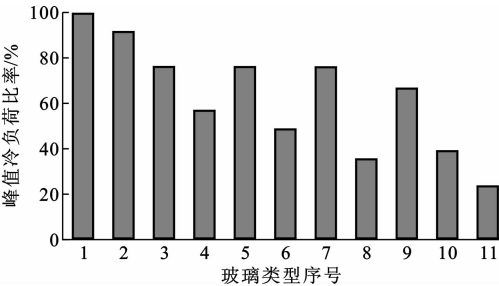


图 1 不同玻璃类型的峰值冷负荷比率

Fig. 1 Proportions of Peak Cold Loads of Different Glass Types

4.3 遮蔽系数及传热系数

由计算可知,玻璃 3、5、7 的冷负荷非常接近,这 3 种玻璃的遮蔽系数差别不大,现只把玻璃 3 表示在图 2 上。从图 2 可以看出,冷负荷随遮蔽系数的减小而减少,但随传热系数变化的规律性不强,如玻璃 9、10、11 传热系数相近,冷负荷相差却很大,因

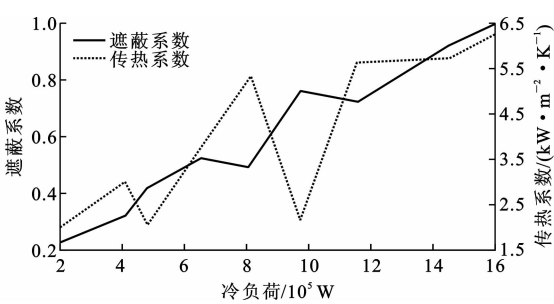


图 2 冷负荷随遮蔽系数及传热系数的变化

Fig. 2 Variations of Cold Loads with Shading Coefficients and Heat Transfer Coefficients

此,为减少冷负荷,通常选遮蔽系数较小的玻璃。

4.4 朝向

仍然以热反射玻璃 YAC0140 为例,计算不同朝向的单位面积冷负荷,见图 3。如果以冷负荷最大的西向为基准,其冷负荷比东向多 13%,比南向多 40%,比北向多 43%,这说明朝向对玻璃幕墙的冷负荷影响显著,其他玻璃具有相似的规律,因此,在玻璃幕墙建筑中要尽量减少东、西向幕墙面积,北向由于冬季耗热量大,玻璃面积也不宜过大。

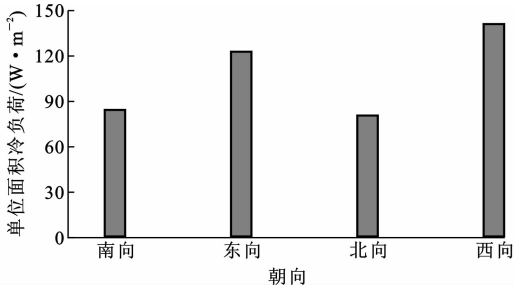


图 3 不同朝向的单位面积冷负荷

Fig. 3 Per Area Cold Loads of Different Orientations

4.5 纬度

以下以几个典型地区为例,分析不同纬度地区冷负荷的变化,北纬 25°地区以厦门为代表,北纬 30°地区以上海为代表,北纬 35°地区以西安为代表,北纬 40°地区以北京为代表,北纬 45°地区以哈尔滨为代表,改变其室外气象参数,分别计算采用热反射玻璃 YAC0140 作为围护结构时的夏季空调最大冷负荷,结果见表 5。

从表 5 可以看出,西安传热冷负荷最大,这是因为其夏季室外逐时计算温度较高的缘故,纬度升高或降低,夏季室外逐时计算温度都降低,传热冷负荷也随之减少,哈尔滨仅为西安的 30%;另外,随着纬度的升高,太阳辐射引起的冷负荷在不同朝向上的变化是不同的,其中南向明显增大,北向略有减小,东、西向没有太大变化,在总冷负荷上,除南向逐渐

表 5 不同纬度地区的单位面积冷负荷
Tab. 5 Per Area Cold Loads of Different

Latitude Regions		W · m ⁻²			
朝向		南向	东向	北向	西向
厦 门	传热冷负荷	29.1	29.1	29.1	29.1
	辐射冷负荷	47.4	92.0	49.9	108.3
	总冷负荷	76.5	121.1	79.0	137.4
上 海	传热冷负荷	32.2	32.2	32.2	32.2
	辐射冷负荷	52.7	91.0	48.6	108.6
	总冷负荷	84.9	123.2	80.8	140.8
西 安	传热冷负荷	37.3	37.3	37.3	37.3
	辐射冷负荷	64.2	94.1	48.4	108.3
	总冷负荷	101.5	131.4	85.7	145.6
北 京	传热冷负荷	26.3	26.3	26.3	26.3
	辐射冷负荷	74.0	97.0	45.7	109.4
	总冷负荷	100.3	123.3	72.0	135.7
哈 尔 滨	传热冷负荷	11.1	11.1	11.1	11.1
	辐射冷负荷	92.70	96.50	43.55	108.00
	总冷负荷	103.80	107.60	54.65	119.10

增大以外,其他方向变化趋势都与传热冷负荷变化一致。可见,纬度越高,传热系数对冷负荷的影响越大,因此,在南方地区的玻璃幕墙建筑要相对采用遮蔽系数小的玻璃,而北方则更应注意传热系数的影响。因为在严寒及寒冷地区,减少采暖的能耗是主要应该解决的问题,所以玻璃幕墙的节能主要在于降低其传热系数;在夏热冬暖地区,减少空调制冷的能耗是主要应该解决的问题,因此,对玻璃幕墙的遮蔽系数有较高要求;在夏热冬冷地区,则需要两者并重^[10-20]。

5 结 语

(1)室外气象条件对玻璃幕墙建筑的室内热环境及能耗影响显著,其中,温度主要以传热方式作用于室内,太阳辐射大部分通过透射直接作用于室内,且后者影响明显大于前者,其引起的冷负荷是传热冷负荷的 3 倍多。

(2)对目前应用最为广泛的 3 种玻璃幕墙的热工性能做了详尽阐述,利于选型。不同类型玻璃能耗差别很大,传热系数和遮蔽系数是影响玻璃幕墙围护结构能耗的主要参数,其中,遮蔽系数影响较为显著,冷负荷基本随着遮蔽系数的变化而变化,随传热系数变化的规律性不强。

(3)从不同朝向玻璃幕墙的冷负荷可以看出,西向冷负荷最大,其次是东向、南向和北向,其中西向玻璃单位面积冷负荷要比北向多 43%,可见在建筑

中要尽量减少东、西向玻璃的设置。

(4)地理位置对玻璃能耗的影响也很大,对于同一种玻璃,在不同纬度地区能耗不同,同时传热系数和遮蔽系数的影响程度也不同,南方偏重于遮蔽系数,北方则应更多地考虑传热系数的影响。

(5)在不同地区,选取合适的玻璃,在不同朝向上恰当选取窗墙比,设置遮阳措施是减小玻璃幕墙围护结构能耗的主要方法,同时还要综合考虑玻璃的全年能耗及价格因素。

参考文献:
References:

[1] 涂逢祥. 建筑节能[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002.
TU Feng-xiang. Building's Energy-saving [M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2002.

[2] 朱颖心,张寅平,李先庭. 建筑环境学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
ZHU Ying-xin,ZHANG Yin-ping,LI Xian-ting. Built Environment [M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2005.

[3] 黄 晨,姜 坪,罗义英,等. 建筑环境学[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
HUANG Chen,JIANG Ping,LUO Yi-ying, et al. Built Environment[M]. Beijing:China Machine Press, 2007.

[4] 杨云桦,狄洪发. 低辐射能玻璃窗的节能研究[J]. 太阳能学报,2001,22(3):296-301.
YANG Yun-hua,DI Hong-fa. Principles of Low-E Windows and Their Energy-saving Effect [J]. Acta Energiae Solaris Sinica,2001,22(3):296-301.

[5] FINLAYSON E U,ARASTEH D K,HUIZENGA C, et al. Window 4. 0;Documentation of Calculation Procedures[R]. Berkeley:Lawrence Berkeley Laboratory, 1993.

[6] 陈红兵,涂光备,李德英. 玻璃幕墙对建筑能耗的影响[J]. 建筑科学,2004,20(10):101-105.
CHEN Hong-bing,TU Guang-bei,LI De-ying. Glass Curtain Wall's Influence to Energy Consumption[J]. Building Science,2004,20(10):101-105.

[7] REILLY M S,WINKELMANN F C,ARASTEH D K,et al. Modeling Windows in DOE-2. 1E[J]. Energy and Buildings,1995(22):59-66.

[8] 狄洪发,陈亚芹,王苏颖. 住宅窗户的节能研究[J]. 建筑科学,2004,20(10):135-140.
DI Hong-fa,CHEN Ya-qin,WANG Su-ying. Research for Energy Saving of Room Window[J]. Building Sci-

- ence, 2004, 20(10): 135-140.
- [9] GB 50189—2005, 公共建筑节能设计标准[S].
GB 50189—2005, Design Standard for Energy Efficiency of Public Building[S].
- [10] 杨慧元, 高甫生. 采用不同玻璃的幕墙建筑能耗分析[J]. 建筑科学, 2004, 20(10): 187-191.
YANG Hui-yuan, GAO Fu-sheng. Analysis for Energy Consumption of Glass Curtain Wall with Different Kinds of Glasses[J]. Building Science, 2004, 20(10): 187-191.
- [11] 赵建会, 张刘刚, 符新燕. 公共建筑分时分温供暖节能研究及效益分析[J]. 西安科技大学学报, 2010, 30(3): 336-340.
ZHAO Jian-hui, ZHANG Liu-gang, FU Xin-yan. Energy-saving and Benefit of Public Buildings with Time-sharing and Sub-temperature Heating[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2010, 30(3): 336-340.
- [12] 赵延军. 建筑节能技术轨道的探索[J]. 长安大学学报: 社会科学版, 2009, 11(4): 51-54.
ZHAO Yan-jun. Study on Technological Trajectory of Construction Energy Conservation [J]. Journal of Chang'an University: Social Science Edition, 2009, 11(4): 51-54.
- [13] 邸 芃, 吕秀焱, 罗 静. 生态草砖建筑节能技术研究[J]. 西安科技大学学报, 2008, 28(4): 643-646.
DI Peng, LU Xiu-yan, LUO Jing. Energy-saving Technology of Ecological Straw-bale Buildings [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2008, 28(4): 643-646.
- [14] 杨志明, 胡 昊. 基于能源成本分析的居住建筑节能推广研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2007, 39(3): 414-418.
YANG Zhi-ming, HU Hao. A Study on Applying Energy Thrift in Residential Buildings Based on Cost Analysis of Energy[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2007, 39(3): 414-418.
- [15] 张甫仁, 胡启国. 住宅建筑窗的水平遮阳方式优化设计及节能分析[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2007, 39(5): 695-700.
ZHANG Fu-ren, HU Qi-guo. Optimal Design and Energy Saving Analysis of Horizontal Shading Device in Residential Buildings[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2007, 39(5): 695-700.
- [16] 肖 伟. 居住建筑节能设计初步探讨[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2004, 36(3): 303-305, 309.
XIAO Wei. Study on Economical Design of Residential House[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2004, 36(3): 303-305, 309.
- [17] 冯若强, 武 岳, 沈世钊. 单索幕墙体系中的玻璃与索协同工作机理研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2006, 38(5): 619-623.
FENG Ruo-qiang, WU Yue, SHEN Shi-zhao. Study on the Mechanism of Glass Panels Working in Cooperation with Single-layer Cable Net Glass Curtain[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2006, 38(5): 619-623.
- [18] 赵敬源, 王 琼, 吴晓冬. 半围合组团建筑的能耗模拟研究——以西安地区为例[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2010, 42(4): 579-583.
ZHAO Jing-yuan, WANG Qiong, WU Xiao-dong. The Simulation Research on the Energy Consumption of Semi-enclosed Cluster Residential Buildings—a Case Study in Xi'an [J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2010, 42(4): 579-583.
- [19] 杨丽珍, 孟庆林. 广州地区住宅开窗方式对空调能耗的影响[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2002, 34(1): 30-33, 92.
YANG Li-zhen, MENG Qing-lin. Influence on Energy Consumption of Air-conditioning by Windows in Guangzhou Residential Buildings[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2002, 34(1): 30-33, 92.
- [20] 王 怡, 刘国华, 陈 靖. 建筑室内环境数值模拟中的耦合方法[J]. 建筑科学与工程学报, 2006, 23(4): 79-83.
WANG Yi, LIU Guo-hua, CHEN Jing. Coupling Method by Numerical Simulation of Building Indoor Environment [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2006, 23(4): 79-83.