

建筑玻璃光学热工性能计算研究

黎娟

清远市建设工程质量检测站有限公司

摘要:介绍了单片玻璃的光学热工性能计算方法,讨论了玻璃光谱数据与其性能的关系,提出了透遮比 λ ,即可见光透射比(Tv)与遮阳系数(Sc)之比值。在不考虑传热的情况下可将 $\lambda \geq 1$ 作为玻璃光学性能优越的依据。计算结果表明,绿色吸热玻璃与Low-E玻璃具有较高的透遮比;红外热辐射的反射率越高,其传热系数也就越小;镀膜面位于室内或室外对遮阳系数和传热系数有显著影响,但对可见光透射比无影响。

关键词:玻璃;节能检测;可见光透射比;遮阳系数;传热系数

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.09.025

一、前言

随着我国对建筑节能要求的不断深入,建筑节能玻璃的应用越来越广泛。人们对居住环境要求的不断提高,对建筑玻璃的要求不仅仅是采光,更多地追求建筑玻璃的阳光调节、遮阳性、保温隔热性能等。建筑玻璃的结构也从最初单一的平板玻璃发展成为钢化玻璃、夹层玻璃、镀膜玻璃、中空玻璃等一种或几种不同类型产品的组成。现在建筑界越来越深刻地认识到了玻璃光学热工性能的重要性,也进行了大量的实验研究来分析对建筑节能的影响。在建筑节能上确定合适的遮阳系数时,需要考虑的影响因素比确定传热系数时考虑的因素要复杂。为了使建筑玻璃能够具有更多更全面的功能,让用户拥有更好的需求体验,我们对建筑玻璃提出了光学性能和热工性能的要求。

选择建筑玻璃时,并不是颜色越深越好,也不是辐射率越低越好,而是要对光热指标进行综合考虑。根据不同地区的自然环境和地理环境,选择合理结构、合理配置的建筑玻璃。在北方严寒地区,冬季漫长,环境温度低,安装具有太阳能总透射比数值较高的建筑玻璃,让更多的太阳辐射热量照射进入室内,提高室内的温度,降低对采暖能耗的需求,同时还要求有较低的传热

系数,以减少室外更多的冷空气进入室内,并减少室内热空气的损失。反之在在南方炎热地区,日照强度大,人们希望避免太阳光直射和过多的太阳辐射尽可能少地进入到室内,同时也需要较低的传热系数,以达到降低室内和室外的热量通过辐射、对流和热传递的方式进行交换的目的,从而降低空调的使用频率。因此遮阳系数低的颜色玻璃和镀膜玻璃就可以很好地发挥节能作用。同时还需保证尽可能地提高可见光透射比,使更多的可见光进入室内,保证室内采光充足,环境明亮,降低白天需要开灯照明带来的能源消耗。不同地区对建筑玻璃光学性能的要求见表1。

二、计算方法与步骤

(一) 光谱数据采集

本实验使用精密进口仪器Lambda950紫外-近红外分光光度计和Spectrum100红外光谱仪。其中,Lambda950采集的光谱数据波长为280~2500nm,包括紫外线、可见光和近红外线,数据点间隔为5nm;Spectrum100采集的光谱数据波长为2500~25000nm,属于远红外光谱,据点间隔为250nm。将两台仪器的光谱数据按波长连接在一起,成为包含透射、前反射、后反射的数据阵列,其中远红外线的透射部分为0。根据需要,取波长范围为300~25000nm的光谱数据进行计算,数据按百分比保留四位有效数字。

(二) 可见光透射比计算

可见光透射比 τ_v 按下式计算:

$$\tau_v = \frac{\int_{380}^{780} D_\lambda V(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} D_\lambda V(\lambda) d\lambda} \approx \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} D_\lambda V(\lambda) \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (1)$$

式中, D_λ 为D65标准光源的相对光谱功率分布, $V(\lambda)$ 为人眼的视见函数,参见JGJ/T 151-2008附录D; $\tau(\lambda)$ 为玻璃透射比的光谱数据。

(三) 可见光反射比计算

表1 不同地区对建筑玻璃光学性能的要求

| 气候带 | 传热系数 | 可见光透射比 | 太阳红外热能总透射比 | 太阳能总透射比 | 光热比 |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 严寒地区 | ≤ 0.70 | ≥ 0.60 | ≥ 0.20 | ≥ 0.45 | ≥ 1.25 |
| 寒冷地区 | ≤ 0.80 | ≥ 0.55 | ≥ 0.15 | ≥ 0.35 | ≥ 1.25 |
| 夏热冬冷地区 | ≤ 1.00 | ≥ 0.55 | ≤ 0.15 | ≤ 0.40 | ≥ 1.40 |
| 夏热冬暖地区 | ≤ 1.20 | ≥ 0.50 | ≤ 0.12 | ≤ 0.35 | ≥ 1.50 |
| 温和地区 | ≤ 1.50 | ≥ 0.55 | ≤ 0.15 | ≤ 0.40 | ≥ 1.40 |

可见光反射比 ρ_v 按下式计算:

$$\rho_v \approx \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} D_\lambda V(\lambda) \rho(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (2)$$

式中, $\rho(\lambda)$ 为玻璃反射比的光谱数据。

(四) 太阳光直接透射比计算

太阳光直接透射比 τ_s 按下式计算:

$$\tau_s \approx \frac{\sum_{\lambda=300}^{2500} \tau(\lambda) S_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_\lambda \Delta\lambda} \quad (3)$$

式中, S_λ 为标准太阳光谱, 参见JGJ/T 151-2008附录D。

(五) 太阳光直接反射比计算

太阳光直接反射比 ρ_s 按下式计算:

$$\rho_s \approx \frac{\sum_{\lambda=300}^{2500} \rho(\lambda) S_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_\lambda \Delta\lambda} \quad (4)$$

(六) 太阳光直接吸收比计算

太阳光直接吸收比 A_s 按下式计算:

$$A_s = 1 - \tau_s - \rho_s \quad (5)$$

(七) 表面发射率的确定

按JGJ/T 151-2008附录G给出的30个波长值, 在接近入射状况下利用红外光谱仪测出其谱线的反射系数 $R_n(\lambda_i)$ 曲线。取其数学平均值, 得到283K温度系数下的常规反射系数 R_n , 如下式所示:

$$R_n = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} R_n(\lambda_i) \quad (6)$$

在283K温度下的标准发射率 ε_n 按下式计算:

$$\varepsilon_n = 1 - R_n \quad (7)$$

校正发射率按下式计算:

$$\varepsilon = \varepsilon_n \times (\varepsilon / \varepsilon_n) \quad (8)$$

式中, $\varepsilon / \varepsilon_n$ 为校正系数, 由JGJ/T 151-2008附录G给出, 未给定系数值可以通过线性插值或外推获得。

(八) 计算环境边界条件

依据JGJ/T 151-2008, 冬季标准计算条件为: 室内对流换热系数 $h_{c, in} = 3.6W / (m^2 \cdot K)$, 室外对流换热系数 $h_{c, out} = 16W / (m^2 \cdot K)$; 夏季标准计算条件为: 室内对流

换热系数 $h_{c, in} = 2.5W / (m^2 \cdot K)$, 室外对流换热系数 $h_{c, out} = 16W / (m^2 \cdot K)$ 。

(九) 辐射换热的计算

内表面辐射换热 $h_{r, in}$ 按下式计算:

$$h_{r, in} = \frac{4.4(1/\varepsilon_{surf} + 1/\varepsilon_{in} - 1)}{0.837} \quad (9)$$

式中, ε_{surf} 为玻璃面室内表面半球发射率; ε_{in} 为室内环境材料的平均发射率, 一般可取0.9。

外表面辐射换热 $h_{r, out}$ 按下式计算:

$$h_{r, out} = \frac{3.9\varepsilon_{s, out}}{0.837} \quad (10)$$

式中, $\varepsilon_{s, out}$ 为玻璃面室外表面半球发射率。

表面换热应同时包换对流换热 h_c 与辐射换热 h_r , 即综合换热 h 为:

$$h = h_r + h_c \quad (11)$$

(十) 太阳能总透射比计算

太阳光直接总透射比 g 按下式计算:

$$g = \tau_s + \frac{A_s \cdot h_{in}}{h_{in} + h_{out}} \quad (12)$$

式中, h_{in} 、 h_{out} 分别为玻璃室内、外表面综合换热系数 $[W / (m^2 \cdot k)]$ 。

(十一) 遮阳系数计算

遮阳系数按 Sc 按下式计算:

$$Sc = g / 0.87 \quad (13)$$

(十二) 传热系数计算

传热系数 U 按下式计算:

$$U = \frac{1}{1/h_{in} + \delta/\lambda + 1/h_{out}} \quad (14)$$

式中, δ 为玻璃厚度 (m); λ 为玻璃导热系数 $[W / (m \cdot K)]$, 取 $1W / (m \cdot K)$ 。

三、计算结果与分析

以典型厚度6mm的吸热玻璃、钢化镀膜玻璃、Low-E玻璃、透明玻璃、蓝色玻璃、绿色玻璃、灰色玻璃等为例, 分别计算了其光学热工性能, 如表2所示。

光谱透射比光谱曲线如图1所示:

室内侧热辐射反射率光谱曲线如图1所示:

由表1、图1和图2可知:

1) 透明玻璃的可见光透射比最大, 绿色吸热玻璃次之。

2) 透明玻璃的遮阳系数高达0.93, 遮阳效果不明显。

3) Low-E玻璃的传热系数最小, 因为其室内侧热反射率比其他玻璃高很多, 具有良好的隔热效果。

4) Low-E玻璃在1500~2500nm范围内的近红外透射率比其他玻璃都要低, 很好地阻止了近红外线的热透射

表 2

| 玻璃名称 | 可见光透射比 | 可见光反射比 | 紫外线透射比 | 半球辐射率 | 传热系数 | 遮阳系数 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|-------|------|------|
| 6mm蓝色吸热玻璃 | 0.56 | 0.06 | 0.26 | 0.83 | 5.16 | 0.69 |
| 6mm钢化镀膜玻璃 | 0.68 | 0.08 | 0.19 | 0.83 | 2.93 | 0.52 |
| 6mmF绿玻璃 | 0.73 | 0.07 | 0.21 | 0.83 | 5.18 | 0.66 |
| 6mm透明玻璃 | 0.85 | 0.06 | 0.53 | 0.83 | 2.58 | 0.76 |
| 6mm绿色玻璃 | 0.61 | 0.06 | 0.42 | 0.83 | 5.19 | 0.78 |
| 6mm福特蓝玻璃 | 0.53 | 0.06 | 0.36 | 0.83 | 5.18 | 0.68 |
| 6mm白玻钢化玻璃 | 0.85 | 0.08 | 0.55 | 0.83 | 5.18 | 0.95 |
| 6mm灰色LOW-E镀膜玻璃 | 0.80 | 0.05 | 0.39 | 0.83 | 2.37 | 0.58 |
| 6mm白玻璃+9A +6mm白玻璃 | 0.80 | 0.14 | 0.46 | 0.94 | 2.86 | 0.84 |
| 6mm+9A+6mm浅灰色中空玻璃 | 0.75 | 0.12 | 0.41 | 0.83 | 2.98 | 0.81 |
| 6mmF绿钢化+9A+6mm透明钢化玻璃 | 0.65 | 0.11 | 0.17 | 0.83 | 2.98 | 0.55 |
| 6mm浅灰色Low-E+9A+6mm超白双钢化玻璃 | 0.60 | 0.24 | 0.25 | 0.83 | 1.99 | 0.49 |
| 6mm白玻+12A+6mm LOW-E浅蓝钢化中空玻璃 | 0.35 | 0.25 | 0.22 | 0.83 | 2.09 | 0.35 |

5) 镀膜玻璃因其镀膜面具有热反射作用, 其传热系数比非镀膜玻璃要低。

6) 镀膜面外于室内或室外对遮阳系数和传热系数有一定的影响, 对Low-E玻璃影响

1) 透明玻璃、白色钢化玻璃的可见光透射比最大, 灰色LOW-E镀膜玻璃次之。

2) 白色钢化玻璃的遮阳系数高达0.95, 遮阳效果不明显。

3) 浅灰色Low-E超白双钢化玻璃的传热系数最小, 因为其室内侧热反射率比其他玻璃高很多, 具有良好的隔热效果。

4) Low-E玻璃在1500~2500nm范围内的近红外透射率比其他玻璃都要低, 很好地阻止了近红外线的热透射。

5) 镀膜玻璃因其镀膜面具有热反射作用, 其传热系数比非镀膜玻璃要低。

6) 镀膜面外于室内或室外对遮阳系数和传热系数有一定的影响, 对Low-E玻璃影响最大。因此建筑施工过程中要注意区分镀膜面。

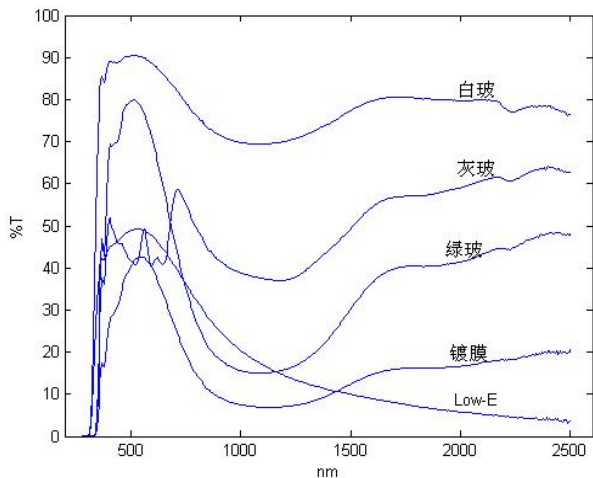


图1 太阳光透射率光谱图

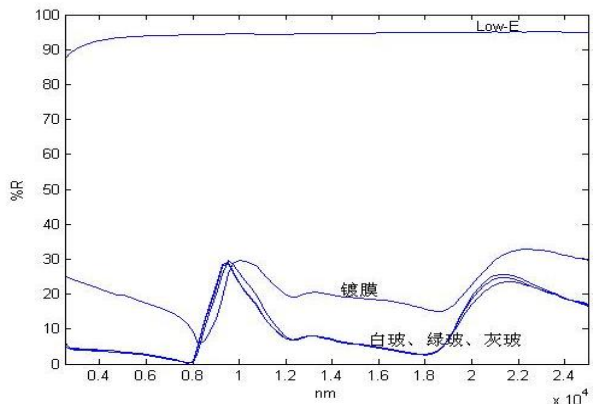


图2 室内侧热辐射反射率光谱图

由图1和图2可知:

四、结论

1) Low-E玻璃具有较高的透射比, 传热系数低至于3.5以下, 具有最佳的光学热工性能。但由于昂贵的价格, 其应用范围受到了一定的限制。

2) 绿色吸热玻璃的透射比较高, 经济又实用。建议将绿色吸热玻璃广泛应用于工程中。

3) 灰色吸热玻璃的透射比较低, 建议使用绿色吸热玻璃代替。

参考文献

[1] 杨仕超等, JGJ/T 151-2008 建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程. 22-23, 58-65, 75-78.

[2] GB/T2680-2021, 建筑玻璃 可见光透射比、太阳光直接透射比、太阳能总透射比、紫外线透射比及有关窗玻璃参数的测定. [S].