

- $h_{c,in}$ —— 室外对流换热系数, $h_{c,in}=2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- $h_{r,in}$ —— 室外表面辐射换热系数, 单位为瓦每平方米开尔文 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];
- σ —— 斯蒂芬-玻尔兹曼常数, $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;
- t_{2n} —— 第 n 层玻璃室内侧玻璃表面温度, 单位为开尔文(K);
- T_{in} —— 室内空气温度, 单位为开尔文(K);
- $\epsilon_{s,in}$ —— 试样最室内侧玻璃表面校正辐射率, 按照 5.12 中规定计算;
- ϵ_{in} —— 室内环境材料的平均辐射率, 一般可取 0.9。

A.3.3 第 k 层气体层对流换热系数 $h_{c,k}$

第 k 层气体层对流换热系数 $h_{c,k}$ 按照式(A.10)计算:

$$h_{c,k} = Nu_k \left(\frac{\lambda_k}{D_k} \right) \quad (k=2 \sim n) \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

式中:

- D_k —— 气体间层 k 的厚度, 单位为米(m);
- λ_k —— 第 k 层气体间层所充气体的导热系数, 参见表 A.2, 单位为瓦每米开尔文 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$];
- Nu_k —— 努谢尔特数, 是瑞利数 Ra_k 、气体间层高厚比和气体间层倾角 θ 的函数, 本附录中按照 $\theta=90^\circ$ 条件计算 Nu_k 。

表 A.2 中空玻璃间层内气体参数(温度 273.15 K 或 0 °C)

气体	气体的导热系数 $\lambda/[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	气体的运动黏度 $\mu/[\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})]$	气体的常压比热容 $C_p/[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$	气体密度 $\gamma/(\text{kg}/\text{m}^3)$
空气	0.024 1	1.722×10^{-5}	1 006.103 3	1.292 498
氩气	0.016 3	2.100×10^{-5}	521.928 5	1.782 282
氦气	0.008 7	2.346×10^{-5}	248.090 7	3.738 741
氙气	0.005 2	2.132×10^{-5}	158.339 7	5.857 956

注: 气体参数的计算条件如下:

气体温度: $T=273.15 \text{ K}/0 \text{ }^\circ\text{C}$

气体压强: $P=101\ 325 \text{ Pa}$

气体常数: $R=8\ 314.459\ 8 \text{ J}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$

气体的摩尔质量: $M_{\text{空气}}=28.97 \text{ kg}/\text{kmol}$; $M_{\text{氩气}}=39.948 \text{ kg}/\text{kmol}$;

$M_{\text{氦气}}=83.80 \text{ kg}/\text{kmol}$; $M_{\text{氙气}}=131.30 \text{ kg}/\text{kmol}$ 。

对于混合气体, 气体特性与各种气体的体积分数成正比。例如: 混合气体中, 气体 1 所占体积分数为 r_1 , 气体 2 所占体积分数为 r_2 , 等, 那么可按式(A.11)计算:

$$F = F_1 \times r_1 + F_2 \times r_2 + \dots\dots\dots (A.11)$$

式中, F 为相关的特性, 如: 导热系数、运动黏度、比热容或气体密度。

瑞利数 Ra_k 按照式(A.12)计算, 其中 β_k 按式(A.13)计算, A_k 按式(A.14)计算:

$$Ra_k = \frac{\gamma^2 \cdot D_k^3 \cdot G \cdot \beta_k \cdot c_p \cdot \Delta T_k}{\mu \cdot \lambda_k} \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

$$\beta_k = \frac{1}{T_{mk}} = \frac{2}{t_{2k-1} + t_{2k-2}} \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

$$A_k = \frac{H}{D_k} \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

式中:

- Ra_k ——第 k 层气体间层的瑞利数;
- γ ——气体密度, 参见表 A.2, 单位为千克每立方米(kg/m^3);
- G ——重力加速度, 取 $G=9.8 \text{ m}/\text{s}^2$;
- C_p ——常压下气体的比热容, 参见表 A.2, 单位为焦耳每千克开尔文[$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$];
- μ ——常压下气体的黏度, 参见表 A.2, 单位为千克每米秒[$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$];
- λ_k ——第 k 层气体间层所充气体的导热系数, 参见表 A.2, 单位为瓦每米开尔文[$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$];
- D_k ——第 k 层气体间层的厚度, 单位为米(m);
- ΔT_k ——气体间层前后玻璃表面的温度差, $\Delta T_k = |t_{2k-1} - t_{2k-2}|$ 单位为开尔文(K);
- β_k ——将第 k 层气体间隔层中填充气体, 作理想气体处理时的气体热膨胀系数;
- T_{mk} ——填充气体的平均温度, 单位为开尔文(K);
- A_k ——第 k 层气体间层的高厚比;
- H ——气体间层顶部到底部的距离, 在本附录中, H 取常数 1, 单位为米(m)。

气体间层努谢尔特数 Nu_k 按下列公式计算($\theta=90^\circ$, 即: 垂直气体间层):

$$\begin{aligned}
 Nu_{k,1} &= 1 + 1.759\ 667\ 8 \times 10^{-10} Ra_k^{2.298\ 475\ 5} & Ra_k \leq 10^4 \\
 Nu_{k,1} &= 0.028\ 154 Ra_k^{0.413\ 4} & 10^4 < Ra_k < 5 \times 10^4 \\
 Nu_{k,1} &= 0.067\ 383\ 8 Ra_k^{\frac{1}{3}} & Ra_k > 5 \times 10^4 \\
 Nu_{k,2} &= 0.242 \cdot \left(\frac{Ra_k}{A_k}\right)^{0.272} \\
 Nu_k &= (Nu_{k,1}, Nu_{k,2})_{\max} \dots\dots\dots (A.15)
 \end{aligned}$$

A.3.4 第 k 层气体层辐射换热系数 $h_{r,k}$

第 k 层气体层辐射换热系数 $h_{r,k}$ 按照式(A.16)计算:

$$h_{r,k} = 4\sigma \left(\frac{1}{\epsilon_{2k-1}} + \frac{1}{\epsilon_{2k-2}} - 1 \right)^{-1} \times (T_{Mk})^3 \quad (k=2 \sim n) \quad \dots\dots\dots (A.16)$$

式中:

- σ ——斯蒂芬 波尔兹曼常数, $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;
 - $\epsilon_{2k-1}, \epsilon_{2k-2}$ ——第 k 层气体间层中前后两个玻璃表面的校正辐射率, 按照 5.12 中规定计算;
 - T_{Mk} ——气体间层中两个表面的平均绝对温度, 单位为开尔文(K)。
- T_{Mk} 按式(A.17)计算:

$$T_{Mk} = \frac{t_{2k-1} + t_{2k-2}}{2} \quad \dots\dots\dots (A.17)$$

式中:

- t_{2k-1}, t_{2k-2} ——第 k 层气体间层中前后两个玻璃表面的表面温度, 单位为开尔文(K)。

A.4 玻璃组件层间能量平衡计算

玻璃组件层间能量平衡计算中, 各符号标示见图 A.2。