

太阳能全玻璃真空集热管参数方程及测算

杨满香 张迎胜* 刘恩臣 马光援
(郑州工业大学能源研究室)

摘 要 论述了太阳能全玻璃真空集热管的热损系数 U_L 、保温率 η_B 、时间常数 τ_C 的参数方程并给出了测算方法。

关键词 真空集热管;热损系数;保温率;时间常数

中图分类号 TK515

太阳能全玻璃真空集热管,采用耐热冲击性能好与强度高的硼硅玻璃,制成内外两同心玻璃管。两玻璃管之间的夹层抽成真空,在内玻璃管的外表面上磁控溅射了太阳选择性吸收涂层,用来吸收太阳光转换为热能以加热内管中的介质(水)。选择性吸收表面使辐射热损降至最低,真空消除了气体的对流和传导热损。因此用真空集热管组成的太阳能热水器可以工作在冬季寒冷、日照不十分强与较高的运行温度,四季均能使用。近几年太阳能全玻璃真空集热管在国内外有较大的发展,就是因为它的热损系数小、保温性好。生产厂家如何用简易的设备,较准确地测算出它的 U_L 、 η_B 、 τ_C 等参数,是比较关心的问题之一。

1 U_L 、 η_B 、 τ_C 的参数方程

已知太阳能真空集热管的热损系数 U_L 、保温率 η_B 、时间常数 τ_C ,为得出其参数方程,可认为集热管内的介质(水)温度 T 大于环境温度 T_0 ,有温差存在就有不可逆的热损失 Q_L ,其能量方程为^[1]

$$- U_L \cdot A \cdot (T - T_0) d\tau = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot dT \tag{1}$$

式中: U_L ——热损系数[W/m²·°C]

A ——外管面积[m²]

T ——水的温度[K]

T_0 ——环境温度[K]

ρ ——水的密度[kg/m³]

V ——水的体积[m³]

C_p ——水的定压比热[J/kg·°C]

——上式左端为在 $d\tau$ 时间内的热损失量 Q_C ,右端为 $d\tau$ 时间内,温度降低 dT 时,水的内能

收稿日期:1997-09-04

* (河南省太阳能科技开发公司,郑州,450002)

第一作者 女 1947 年 9 月生 大学本科 工程师

U 的减少量 ΔU , $\Delta U = Q_L$ 。

设 $\theta = T - T_0$, 称 θ 为温位, 也可称为过剩温度, 当环境温度 T_0 为定值时, 则 $d\theta = dT$, 代入式(1)得

$$-U_L \cdot A \cdot \theta \cdot d\tau = \rho \cdot V \cdot C_P \cdot d\theta \quad (2)$$

解此方程得温位参数方程

$$\theta = \theta_h e^{-k\tau}$$

式中: θ_h ——起始温位, $\theta_h = T_h - T_0$

T_h ——起始温度

K ——时间系数, $K = \frac{U_L \cdot A}{\rho \cdot V \cdot C_P}$

关于时间常数 $\tau_c = \left(\frac{U_L \cdot A}{\rho \cdot V \cdot C_P} \right)^{-1} = \frac{\rho \cdot V \cdot C_P}{U_L \cdot A} = \frac{1}{K}$ 。近

温位方程式: $\theta = f(\tau)$

$$\theta = \theta_h e^{-k\tau} \quad [\text{K}] \text{ 或 } [^{\circ}\text{C}] \quad (3)$$

$$\text{或 } \theta = \theta_h e^{-\frac{1}{\tau_c} \cdot \tau} \quad [\text{K}] \text{ 或 } [^{\circ}\text{C}]$$

1.1 保温率的定义式^[2]

$$\eta_B = \frac{\theta}{\theta_h} = e^{-k\tau} = e^{-\frac{1}{\tau_c} \cdot \tau} \quad (4)$$

当 $\tau = \tau_c$ 时, $\eta_B = \frac{\theta}{\theta_h} = e^{-1} = 0.36787944 = 36.8\%$

1.2 热损系数方程式

$$U_L = \frac{\rho \cdot V \cdot C_P}{A} \cdot K = \frac{\rho \cdot V \cdot C_P}{A} \cdot \frac{1}{\tau_c} \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}] \quad (5)$$

1.3 时间常数(τ_c)计算式

$$\tau_c = \frac{\rho \cdot V \cdot C_P}{A \cdot U_L} = \frac{1}{K} \quad [\text{S}] \text{ 或 } [\text{h}] \quad (6)$$

从以上(3)、(4)、(5)、(6)式中可以看出, 测算出 K 值, 就能测算出 U_L 值和温位方程、保温率的方程式及时间常数 τ_c 。

2 关于 K 值的测算式

采用最小二乘法建立 K 的测算式。

将 $\eta_B = e^{-k\tau}$ 取对数 $\ln \eta_B = -k\tau$

实测 n 组 $\left[\eta_{Bi} = \frac{\theta_i}{\theta_h} = \frac{T_i - T_0}{T_h - T_0}; \tau_i \right]$, 与理论的偏差平方和为

$$\sum_{i=1}^n (\eta_{Bi} - \eta_B)^2 = \sum_{i=1}^n [\ln \eta_{Bi} - (-K\tau)]^2 \quad (7)$$

对(7)式求导, 并令导数为零, 得 K 的测算式

$$1 \quad K = \frac{-\sum_{i=1}^n \ln \eta_{Bi}}{\sum_{i=1}^n \tau_i} \quad \left[\frac{1}{t} \right]$$

3 测算程序(方法 A)

(1)起始时间: $\tau_i = 0$; 真空集热管内水温 t_h ; 环境温度 t_0 ; 水的密度 ρ ; 水的定压比热 C_P ; 水的体积 V , 首先测算出 $\left[\frac{\rho \cdot V \cdot C_P}{T_A} \right]$ 值。

(2)实测数据, 从 $1 \sim n$ [时] 的 n 组数据 (τ_i, T_i, T_{0i}) 。

(3)原始数据整理: $\sum_{i=1}^n \ln \eta_{Bi} = \sum_{i=1}^n \frac{\theta_i}{\theta_h} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{T_i - T_{0i}}{T_h - T_0} \right], \sum_{i=1}^n \tau_i$ 。

(4)计算 K 值: $K = \frac{-\sum_{i=1}^n \frac{\theta_i}{\theta_h}}{\sum_{i=1}^n \tau_i} \quad \left[\theta \frac{1}{s} \right] \text{ 或 } \left[\frac{1}{h} \right]$

(5)计算时间常数: $\tau_c = \frac{1}{K} \quad [s] \text{ 或 } [h]$

(6)计算热损系数: $U_L = \frac{\rho \cdot V \cdot C_P}{A} \cdot K \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C]$

(7)写出保温率式: $\eta_B = e^{-k\tau}$ 或温位方程 $\theta = \theta_h \cdot e^{-k\tau}$, 亦可写成 $t = t_0 + (t_h - t_0) e^{-k\tau}$

4 短时($\Delta\tau$)的热损系数(U_L)测算式及 τ_c 、 K 的计算式(方法 B)

4.1 短时($\Delta\tau$)真空集热管的热损系数(U_L)采用平均值算法。

$$U_L = \frac{\rho \cdot V \cdot C_P (t_h - t)}{A (t_m - t_{0m}) (\Delta\tau)} \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

式中
$$t_m = \frac{t_h + t_1 + t_2 + t_3}{4} \quad [^\circ C]$$

$$t_{0m} = \frac{t_{0n} + t_{01} + t_{02} + t_{03}}{4} \quad [^\circ C]$$

4.2 时间常数: $\tau_c = \frac{\rho \cdot V \cdot C_P}{A} \cdot \frac{1}{U_L}$

4.3 $K = \frac{1}{\tau_c}$

5 利用温位 $\theta = \theta_h \cdot e^{-k\tau}$ 方程, 采用最小二乘法进行回归实测的 n 组数据, 可求出 K 值和 θ_h 值(方法 C)

前面已知温位 $\theta = T - T_0$;

温位方程 $\theta=f(\tau): \theta=\theta_h \bullet e^{-k \tau}$

取对数得 $\ln \theta=\ln \theta_h+(-k \tau)=\ln \theta_h-k \tau$

实测 n 组 $(\theta_i=T_i-T_0, \tau_i)$, 令实际测出的 θ_i 与理论计算的 θ 的偏差和为

$$\sum_{i=1}^n(\ln \theta_i-\ln \theta)^2=\sum_{i=1}^n[\ln \theta_i-(\ln \theta_h-k \tau_i)]^2=\sum_{i=1}^n(\ln \theta_i-\ln \theta_h+k \tau_i)^2 \quad (8)$$

求时间系数 K 和起始温度常数 θ_h 的方法——对(8)式分别求偏导, 并令导数等于零, 解联立方程, 就可求出 K 和 θ_h 。

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \tau_i & \sum_{i=1}^n \tau_i^2 \\ \sum_{i=1}^n \frac{1}{\theta_h} & \sum_{i=1}^n \frac{1}{\theta_h} \tau_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ln \theta_h \\ K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \tau_i \ln \theta_i \\ \sum_{i=1}^n \frac{1}{\theta_h} \ln \theta_i \end{pmatrix}$$

$$\ln \theta_h = \frac{\Delta \ln \theta_h}{\Delta} \quad \theta_h = e^{\ln \theta_h} \quad K = \frac{\Delta K}{K}$$

6 例题

实测 8 组数, 时间 τ_i [h], $\theta_i=t_i-t_0$ [°C]

τ_i	$\tau=$	0	1	2	3	4	5	6	7	[h]
θ_i	$\theta_h=$	66	59	52	48	44	40	38	34	[°C]
次数	n_i	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	

6.1 计算矩阵中的元素

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^8 \tau_i &= 28 & \sum_{i=1}^8 \tau_i^2 &= 140 \\ \sum_{i=1}^8 \frac{1}{\theta_h} &= 0.1212 & \sum_{i=1}^8 \frac{1}{\theta_h} \tau_i &= 0.4242 \\ \sum_{i=1}^8 \frac{1}{\theta_h} \ln \theta_i &= 0.46555 & \sum_{i=1}^8 \tau_i \ln \theta_i &= 103.6848 \end{aligned}$$

6.2 计算 $\Delta, \Delta \ln \theta_h, \Delta K$

$$\Delta=-5.0904, \Delta \ln \theta_h=-21.1939078, \Delta K=0.4688$$

6.3 计算 θ_n 和 K 值

$$\ln \theta_h = \frac{\Delta \ln \theta_h}{\Delta} = 4.1635, \theta_h = e^{\ln \theta_h} = 64.3 \quad [^{\circ} \text{C}]$$

$$K = \frac{\Delta K}{\Delta} = -0.092 \quad [1/\text{h}]$$

参考文献

- 1 陈荣耀. 工程热力学及传热学. 北京: 农业出版社. 1992, 10
- 2 刘恩臣. 太阳能热水器保温性能测算. 北京: 中国科学技术出版社. 1995, 11

The Parametric Equation of Solar Energy All-glass Vacuum Collector Tube and the Measurement

Yang Manxiang Zhang Yingsheng Liu Enchen Ma Guangyuan
(Zhengzhou University of Technology)

Abstract This paper discusses the parametric equation of heat waste coefficient, heat preservation rate and time constant of solar energy all-glass vacuum collector tube and gives three kinds of calculating methods.

Keywords vacuum collector tube; heat waste coefficient; heat preservation rate; time constant

(上接 39 页)

Studies on the Optimal Design of Engineering Structure Using Genetic Algorithms

Lu Yueli
(Zhengzhou University of Technology)
Zhou Liping
(Henan Machinery and Equipment Imp. and Exp. Corporation)
Yamamoto Yokei
(Muroran Institute of Technology)

Abstract The optimal design of engineering structure using genetic algorithms was studied, the improvement of GA with growth operator was proposed, and some examples prove the GA with growth operator can achieve a higher computing speed and optimum with smaller population size.

Keywords genetic algorithm; engineering structure; growth operator