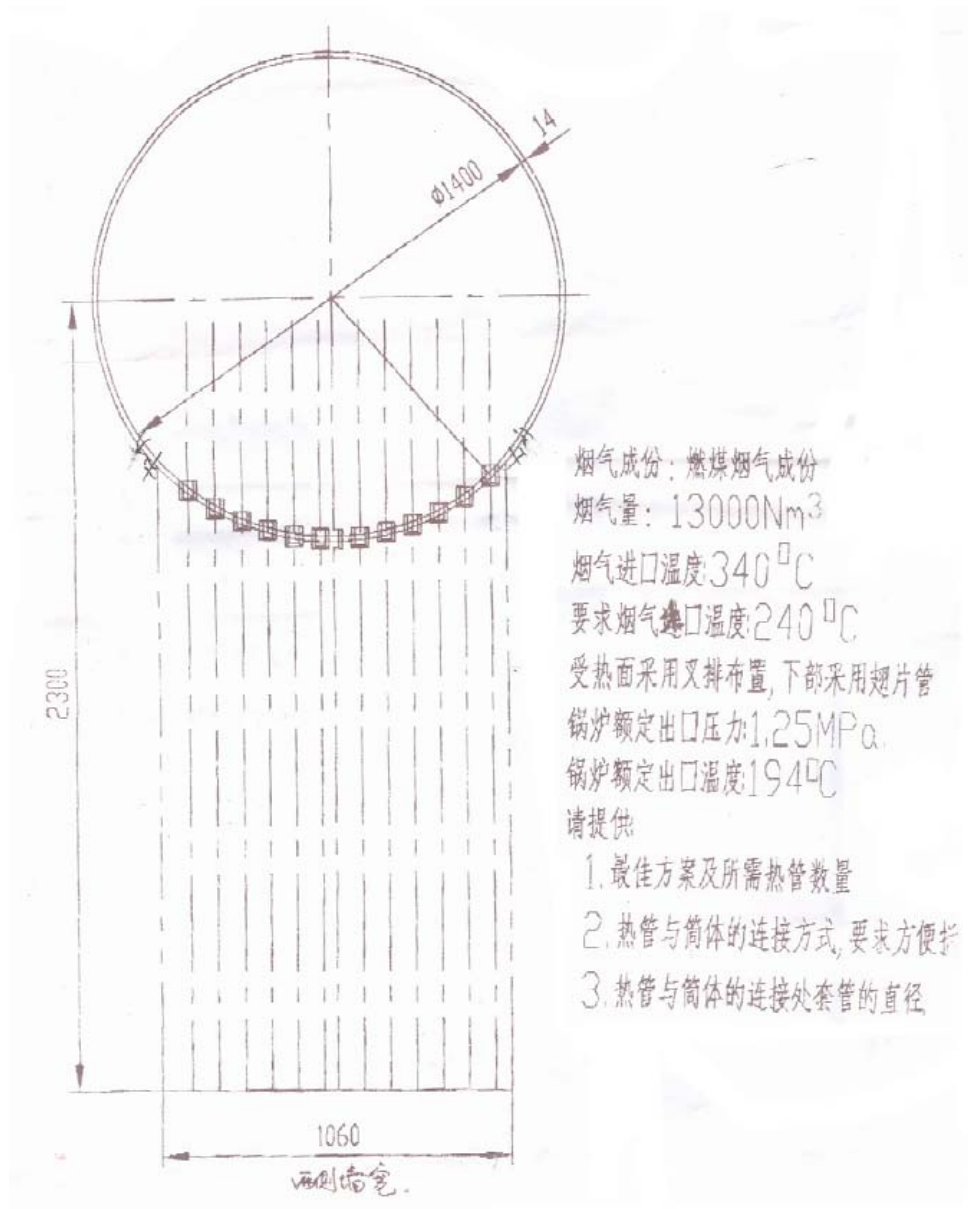


## 热管余热锅炉热力计算书

黄建春

(渝石网络 <http://www.fishsting.com> 中国重庆)

### 一、设备外观及参数



### 二、工艺计算

已知: 排烟量为  $V_h = 13000$  (标准状况), 烟气进口温度  $t_1^h = 340^\circ\text{C}$ , 烟气出预热器温度为  $t_2^h = 240^\circ\text{C}$ , 冷却水进口温度  $t_1^c = 20^\circ\text{C}$ , 饱和蒸汽温度  $t_2^c = 194^\circ\text{C}$ ,

蒸汽压力 $P=1.25\text{MPa}$ ，无机热管长度为 $l=2.3\text{m}$ ，加热段 $l_h=1.5\text{m}$ (标准折合长度)，冷却段 $l_c=0.45\text{m}$ (标准折合长度)，管外径为 $d_0=32\text{mm}$ ，内径为 $d_i=26\text{mm}$ ，壁厚为 $\delta_w=3\text{mm}$ ，翅片高度 $l_f=0.015\text{m}$ ，厚度 $\delta_f=0.0015\text{m}$ ，间距 $t=10.5\text{mm}$ ，翅片节距 $12\text{mm}$ ，翅片数 $n_f=130$ ；采用叉排，管子中心距为 $S_T=0.080\text{m}$ ； $S_L=0.070\text{m}$ 。

试求：所需无机热管的数量及排列方式并计算其压力降。

### 一、计算传热量 $Q$

$$(1) \text{ 烟气定性温度 } t_f^h = \frac{t_1^h + t_2^h}{2} = 290^\circ\text{C}$$

查得定性温度下烟气的参数：

$$\text{定压比热 } C_p^h = 1.121\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C} ;$$

$$\text{密度: } \rho_f^h = 0.617\text{kg/m}^3 ;$$

$$\text{粘度: } \mu_f^h = 28.2 \times 10^{-6} \text{kg/(m}\cdot\text{s)}。$$

$$\text{导热系数: } \lambda_f^h = 4.83 \times 10^{-2} \text{W/(m}\cdot\text{k)} ;$$

$$\text{普朗特数: } \text{Pr}^h = 0.651$$

(2) 烟气放热量  $Q_h$

$$Q = V_h \cdot \rho_f^h \cdot C_p^h (t_1^h - t_2^h) = 524.22\text{kW}。$$

(3) 热管传到水侧的热量

$$\text{考虑烟气侧有 } 3\% \text{ 热损, 故: } Q_c = 524.22 \times (1 - 3\%) = 508.5\text{kW}。$$

(4) 水侧实际获得热量  $Q'$

$$\text{考虑冷侧 } 3\% \text{ 热损, 故: } Q_c' = 508.5 \times (1 - 3\%) = 493.24\text{kW}。$$

(5) 可得到的  $194^\circ\text{C}$  饱和蒸汽量：

$$Q_c' = m \square C_p \square (t_2^c - t_1^c) + m \gamma$$

$$m = 658 \text{ kg/h}$$

### 二、计算水的对数平均温差 $\Delta t_m$

$$(1) \text{ 水侧定性温度 } t_f^c = \frac{t_1^c + t_2^c}{2} = 107^\circ\text{C}。$$

$$(2) \text{ 对数平均温差 } \Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = 133.6^\circ\text{C}$$

### 三、确定迎风面积 $A_{ex}$ 和迎风面管排数 $B$

(1) 取标准迎面风速  $w_N = 2.5\text{m/s}$ ;

$$(2) \text{ 烟气迎风面积 } A_{ex}^h = \frac{V_h}{w_N} = 1.4444\text{m}^2;$$

(3) 迎风面宽度  $E$

$$E^h = \frac{A_{ex}^h}{l_h} = 0.963\text{m} \quad (l_h = 1.5\text{m})$$

$$(4) \text{ 迎风面管排数 } B = \frac{E^h}{S_T} = 12.04 \text{ 根, 取 } B = 13 \text{ 根。}$$

$$\text{实际迎风面宽度 } E_h = 13 \times 0.08 = 1.04\text{m}$$

$$\text{实际迎风面积 } A_{ex}^{h'} = 1.56\text{m}^2$$

$$\text{实际迎面风速 } w_N' = 2.31\text{m/s}$$

### 四、求总传热系数 $U_H$

(1) 管束最小流通截面积  $NFA$

$$\text{热侧: } NFA = \left[ (S_T - d_0) - 2(l_f \cdot \delta_f \cdot n_f) \right] \cdot l_h \cdot B = 0.821\text{m}^2$$

$$\text{冷侧: } NFA' = (S_T - d_0) \cdot l \cdot B = 0.281\text{m}^2$$

(2) 最大质量流速  $G_{\max}$

$$\text{热侧: } G_{\max}^h = \frac{V_f^h \rho_f^h}{NFA} = 9.770 \times 10^3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

$$\text{冷侧: } G_{\max}^c = 15.5 \times 10^3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

(3) 求  $Re_f$

$$\text{热侧: } Re_f^h = \frac{G_{\max}^h d_o}{\mu_f^h} = 3080$$

$$\text{冷侧: } \text{Re}_f^c = \frac{G_{\max}^c d_o}{\mu_f^c} = 581$$

(4) 求流体给热系数  $h_f$

$$\text{热侧: } h_f^h = 0.1370 \frac{k_f^h}{d_o} (\text{Re}_f^h)^{0.638} (\text{Pr}^h)^{1/3} = 30.10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{冷侧: } h_f^c = 0.1370 \frac{k_f^c}{d_o} (\text{Re}_f^c)^{0.638} (\text{Pr}^c)^{1/3} = 193.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

(5) 求翅片效率  $\eta_f$

$$\text{热侧: } \eta_f^h = l_f^h \sqrt{\frac{2h_f^h}{k_w \cdot \delta_f}} = 0.434$$

$$\text{查图得: } \eta_f^h = 0.84。$$

(6) 求热管管外总表面积  $A_H$

单支热管翅片表面积  $A_f$  为:

$$A_f = \left\{ 2\pi \left[ (\pi \cdot d_m)^2 + t^2 \right]^{1/2} \cdot b + \pi \cdot \left[ (\pi \cdot d_f)^2 + t^2 \right]^{1/2} \cdot \delta_f \right\} \cdot (L_f / t + 1) = 0.613 \text{ m}^2$$

其中,  $d_m = 0.047 \text{ m}$ ,  $d_f = 0.062 \text{ m}$ 。

翅片间光管表面积  $A_r$  为:

$$A_r = \pi \cdot d_0 \cdot l_h (1 - \delta_f / t) = 0.13 \text{ m}^2。$$

加热段热管管外总表面积  $A_h$  为:

$$A_h = A_f + A_r = 0.744 \text{ m}^2。$$

冷却段管外表面积  $A_c$

$$A_c = \pi \cdot d_0 \cdot l_c = 0.05 \text{ m}^2$$

(7) 管外有效放热系数  $h_{fe}$

$$\text{热侧: } h_{fe}^h = \frac{h_f^h (A_r^h + \eta_f^h \cdot A_f^h)}{A_h^h} = 26 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{冷侧: } h_{fe}^c = 193.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

(8) 壁热阻  $r_w$  和污垢热阻  $r_y$

$$\text{热侧: } r_y^h = \frac{\delta_y}{k_y} = 0.03045 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}, \text{ 其中 } \delta_y = \delta_f = 0.0015 \text{ m},$$

$$\text{其中: } k_y = 4.926 \times 10^{-2} \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{k});$$

冷侧可忽略不计。

$$\text{金属管壁热阻: } r_w = \frac{\delta_w}{k_w}$$

$$k_w^h = 48 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{k}), \quad k_w^c = 57 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{k});$$

$$r_w^h = 0.000063 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}, \quad r_w^c = 0.000053 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$$

(9) 求总传热系数  $U_H$

$$A_i^h = \pi \cdot d_i \cdot l_h = 0.1486 \text{ m}^2, \quad A_i^c = \pi \cdot d_i \cdot l_c = 0.083 \text{ m}^2$$

$$A_w^h = \pi \cdot d_w \cdot l_h = 0.269 \text{ m}^2, \quad A_w^c = \pi \cdot d_0 \cdot l_c = 0.102 \text{ m}^2$$

$$A_y^h = A_f = 2.3318 \text{ m}^2, \quad h_{HP}^h = h_{HP}^c = 5810 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{由 } \frac{1}{U_H} = \frac{1}{h_{fe}^h} + r_w^h \frac{A_h^h}{A_w^h} + r_y^h \frac{A_h^h}{A_y^h} + \frac{1}{h_{HP}^h} \cdot \frac{A_h^h}{A_i^h} + \frac{1}{h_{HP}^c} \cdot \frac{A_h^h}{A_i^c} + r_w^c \frac{A_h^h}{A_w^c} + r_y^c \frac{A_h^h}{A_y^c} + \frac{A_h^h}{h_{fe}^c A_i^c}$$

$$\text{得: } U_H = 22.5 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

五、求加热侧总传热面积  $A_H^h$

$$A_H^h = \frac{Q^c}{U_H \Delta t_m} = 169.2 \text{ m}^2$$

六、所需热管数  $n$

$$n = \frac{A_H^h}{A_h^h \times l^h} = \frac{169.2}{0.744} = 228 \text{ 根}$$

取系统效率为 0.75, 工程实际选用热管数量

$$N = \frac{n}{0.75} = 304 \text{ 根}$$

七、换热器纵深排数  $m$

$$m = \frac{n}{B} = \left[ \frac{300}{25} \times 2 + 1 \right] = 25 \quad \text{排}$$

$$13 \times 13 + 12 \times 12 = 313 \quad \text{根}$$

八、求通过热管换热器的压力降

(1) 换热器的净自由容积 NFV

$$NFV = 0.866 S_L S_T - \frac{\pi}{4} d_0^2 - \frac{\pi}{4} (d_f^2 - d_0^2) \delta_f n_f = 3.546 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{m}。$$

(2) 求容积当量直径

$$D_{ev}^h = \frac{4NFV}{A_h^h} = 5.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2；$$

$$D_{ev}^c = \frac{4NFV}{A_h^c} = 0.1392 \text{ m}^2。$$

(3) 求  $Re'_{ef}$

$$\text{热侧: } Re_{ef}^h = \frac{D_{ev}^h G_{\max}^h}{\mu_f^h} = 601.75$$

$$\text{冷侧: } Re_{ef}^c = \frac{D_{ev}^c G_{\max}^c}{\mu_f^c} = 914.82。$$

(4) 求摩擦系数 f

$$f^h = 1.92 (Re_{ef}^h)^{-0.145} = 0.759$$

$$f^c = 1.92 (Re_{ef}^c)^{-0.145} = 0.714。$$

(5) 平均管壁温度  $\bar{t}_m$

$$\text{热侧: } \bar{t}_w^h = \bar{t}_f^h - \frac{Q_c}{h_{fe}^h A_f n} = 237^\circ\text{C}$$

$$\text{冷侧: } \bar{t}_w^c = \bar{t}_f^c + \frac{Q_c}{hc A c n} = 179^\circ\text{C}。$$

(6) 求壁温下的流体粘度  $\mu_w$

$$\text{热侧: } \mu_w^h = 27.3 \times 10^{-6} \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s})$$

$$\text{冷侧: } \mu_w^c = 211.12 \times 10^{-6} \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s})$$

(7) 求通过换热器的压降  $\Delta p$

$$\text{热侧: } \Delta p^h = \frac{f^h \cdot (G_{\max}^h)^2 \cdot L}{2 \cdot g_c \cdot D_{ev}^h \cdot \rho_f^h} \left( \frac{\mu_f^h}{\mu_w^h} \right)^{-0.14} \left( \frac{D_{ev}^h}{S_T} \right)^{0.4} \left( \frac{S_L}{S_T} \right)^{0.6} 9.8 = 534 \text{ Pa}$$

$$\text{冷侧: } \Delta p^c = \frac{f^c \cdot (G_{\max}^c)^2 \cdot L}{2 \cdot g_c \cdot D_{ev}^c \cdot \rho_f^c} \left( \frac{\mu_f^c}{\mu_w^c} \right)^{-0.14} \left( \frac{D_{ev}^c}{S_T} \right)^{0.4} \left( \frac{S_L}{S_T} \right)^{0.6} 9.8 = 0.033 \text{ Pa}$$

### 三、结论

1、实际迎风面宽度  $E_h = 13 \times 0.08 = 1.04m$

实际迎风面积  $A_{ex}^h = 1.56m^2$

实际迎面风速  $w'_N = 2.31m/s$

2、热管翅片表面积  $A_f = 0.613 m^2$

翅片间光管表面积  $A_r = 0.13 m^2$

加热段热管管外总表面积  $A_h$  为  $= 0.744 m^2$

3、冷却侧总传热面积  $A_c = 15.7 m^2$

加热侧总传热面积  $A_H^h = 232.8m^2$

4、可得到的  $194^\circ\text{C}$ 饱和蒸汽量  $m = 650 \text{ kg/h}$

5、所需热管数  $n = 313$  根

6、换热器纵深排数  $m = 25$  排

7、通过换热器的压降  $\Delta p$

热侧: 534Pa

冷侧: 0.033 Pa