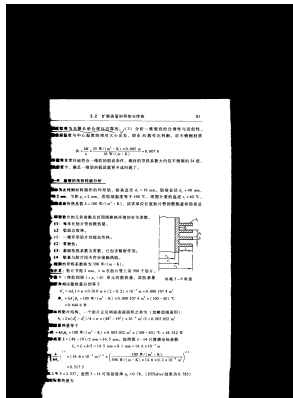


## 第二章教学案例

### 肋壁的传热性能分析

附图所示为由纯铜材料制作的环形肋，肋基直径  $d_1=19\text{ mm}$ ，肋端直径  $d_2=48\text{ mm}$ ，肋片厚  $\delta=0.2\text{ mm}$ ，节距  $p_1=2\text{ mm}$ ，若肋端温度等于  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ，周围介质的温度  $t_f=40\text{ }^\circ\text{C}$ ，肋基及肋片的表面传热系数  $h=100\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，试求单位长度肋片管的散热量和肋面总效率。



示意图

### 分析：

已知：环形肋片的几何参数及其周围换热环境的有关系数。

求：(1) 每米长肋片管的散热量。

(2) 肋面总效率。

假设：(1) 一维环形肋片的稳态传热；

(2) 常物性；

(3) 表面传热系数为常数，已包含辐射作用；

(4) 肋基与肋片间不存在接触热阻。

物性：纯铜的导热系数取为  $398\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

### 解：

肋片节距  $2\text{ mm}$ ， $1\text{ m}$  长肋片管上有  $500$  个肋片。先计算一个肋片（净肋间距  $l=p_1-\delta$ ）单元的散热量。其肋基暴露部分的面积和相应散热量分别等于

$$A_b = \pi d_1 l = \pi \times 0.019 \text{ m} \times (2 - 0.2) \times 10^{-3} \text{ m} = 0.0001074 \text{ m}^2$$

$$\Phi_b = A_b \theta_b = 100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot 0.0001074 \text{ m}^2 \cdot (100 - 40)^\circ\text{C} = 0.6446 \text{ W}$$

参见附图所示的肋片结构，一个肋片正反两面表面面积之和为（忽略肋端面积）

$$A_f = 2\pi(d_2^2 - d_1^2)/4 = \pi[(48^2 - 19^2)] \times 10^{-6} \text{ m}^2 / 2 = 0.003052 \text{ m}^2$$

肋表面的理想散热量等于

$$\Phi_f = A_f \theta_b = 100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot 0.003052 \text{ m}^2 \cdot (100 - 40)^\circ\text{C} = 18.312 \text{ W}$$

环形肋的净高度  $L = (48 - 19) / 2 \text{ mm} = 14.5 \text{ mm}$ 。按照图 2-20 计算横坐标参数

$$L_c = L + \delta / 2 = 14.5 \text{ mm} + 0.1 \text{ mm} = 14.6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\frac{L_c^{1.5}}{A_p h} = \frac{(14.6 \times 10^{-3} \text{ m})^{1.5}}{\frac{\pi}{4}(48^2 - 19^2) \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot 100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})} = 0.5175$$

$r_{2c} / r_1 = 24.1 / 9.5 = 2.537$ ，查图可知肋效率  $\eta_f = 0.78$ 。肋表面的实际散热量为

$$\Phi_f = \eta_f \Phi_f = 0.78 \times 18.312 \text{ W} = 14.28 \text{ W}$$

因此，一个肋片单元（肋表面加肋基）的散热量为  $14.93 \text{ W}$ 。1 m 长肋片管的总散热量等于  $14.93 \text{ W} \times 500 = 7465 \text{ W}$

肋面总效率等于

$$\eta_0 = \frac{A_b + A_f \eta_f}{A_b + A_f} = \frac{0.0001074 \text{ m}^2 + 0.003052 \text{ m}^2 \times 0.78}{0.0031594 \text{ m}^2} = 0.7875$$

## 讨论：

讨论：(1) 若无肋，1 m 长光管的散热量等于

$$\Phi = A \theta_b = 100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot \pi \cdot 0.019 \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot (100 - 40)^\circ\text{C} = 358.14 \text{ W}$$

加肋后总散热量超过光管时的 20 倍，这充分证明了加肋的强化传热效果。文献中也常常把肋表面散热量与被肋所覆盖的基面原有散热量之比称作肋的有效性（fin effectiveness），并以该参数作为判断是否应该加肋的依据。

(2) 若能加大肋片的密集度，会取得更好的强化换热效果。比如当节距减小至 1.2 mm（每米 833 个肋），单位长肋片管的散热量将增加到 12 kW 左右。但应注意，增大肋片密度必须以不牺牲表面换热系数为前提。

(3) 除了加大肋片密度外，还可以通过适当加大肋的净高度（肋效率会降低），或在肋片上增加扰流设置，如选用各种花式的单个和整体式肋片来强化与流体之间的传热。