

梯形剖面圆形肋片管温度场的研究

陆国栋¹, 周强泰¹, 程林², 田茂诚²

(1. 东南大学 动力工程系, 江苏 南京 210096; 2 山东大学 能源与动力工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 提出了一种新的梯形剖面肋片管沿肋高(即沿肋根至肋端方向)温度分布计算方法, 实测结果表明这一计算方法有较高精度, 实验同时显示了沿肋宽方向(即沿肋片的厚度方向)的温度分布不均匀性, 对环肋结构优化有重要参考作用。

关键词: 肋片管; 温度场; 传热特性; 结构优化

中图分类号: TK124; TK172 文献标识码: A

1 前言

肋片管由于外表面的扩展, 导致外侧散热面积较内侧面积增大几倍, 甚至几十倍, 这适应了液固、气固之间传热系数差别较大的场合, 从而以环肋管作元件的换热设备得到了长足的发展^[1~3]。对于扩展表面换热面来说, 梯形剖面肋片比矩形剖面肋片具有较高的肋片效率, 故在一些换热设备中多采用梯形剖面的圆形肋片管作为换热面。在一些肋片管制造工艺中, 原本为矩形剖面的肋片材料与管子加工成肋片管之后, 肋片的剖面形状也接近于梯形。因此, 研究梯形剖面肋片管的计算方法具有一定的现实意义。以往对肋片导热计算均以沿肋宽温度不变为假设, 并认为肋片表面的换热系数在肋片的整个长度上都是常量^[3~5], 这固然简化了计算, 但影响了计算精度。文中通过实测进一步揭示了肋片温度场的分布规律, 并对梯形剖面肋片管提出了新的计算方法。

2 沿肋高温度分布的新计算方法

在环形肋片换热面的传统理论分析解中, 对于梯形剖面环肋管来说, 有考虑肋端换热和不考虑肋端换热的解析解, 还有考虑肋端换热的哈伯—布朗近似解。这些方法都作了许多假设, 如沿肋宽方向温度相同, 肋片表面的对流换热系数 α 在肋片的整个长度上都是常量^[3]等。对于实际应用较多的梯形

剖面环肋换热面来说, 在微分方程组中还应加入肋片剖面的形面方程, 使得微分方程组难以求解。为获得梯形剖面环肋温度分布的计算公式, 可以借助于数值计算方法, 但不便于工程应用。笔者认为, 鉴于矩形剖面是梯形剖面的一种特例, 有可能在简捷的矩形剖面环肋传热计算的基础上加以修正进行计算。在矩形剖面环肋的计算方法中哈伯—布朗法近似解更为简捷。本文在相似流动模型温度场测定的基础上, 在哈伯—布朗法中加入一个与肋片剖面形面有关的修正系数, 使之可应用于梯形剖面的传热计算。

笔者用实验方法对梯形剖面环肋温度场分布进行了研究, 实验设备及数据见文献 [6]。

对于矩形剖面环肋, 哈伯—布朗法近似解对沿肋片径向过余温度 ($\theta = t_f - t$) 的计算式为^[4]:

$$\theta = \frac{\theta_0 [K_1(mr_2)I_0(mr) + I_1(mr_2)K_0(mr)]}{I_0(mr_1)K_1(mr_2) + I_1(mr_2)K_0(mr_1)} \quad (1)$$

式中: $m = [\frac{2\alpha}{\lambda \delta}]^{\frac{1}{2}}$; $\theta_0 = t_f - t_0$;

I_0, K_0 —第一类、第二类零阶变形贝塞尔函数;
 I_1, K_1 —第一类、第二类一阶变形贝塞尔函数; r_1 —肋根半径; r —肋片径向坐标; r_2 —肋端半径; δ —肋片宽度; t_f —周围流体温度; t —肋片温度; t_0 —肋根温度。

对梯形剖面环肋, 根据试验数据的分析, 本文在矩形剖面肋片的哈伯—布朗法近似式基础上, 乘以修正系数 ξ 得出用于梯形剖面肋片的计算方法^[6], 本文称之为修正哈伯—布朗法, 即

$$\theta = \xi \frac{\theta_0 [K_1(mr_2)I_0(mr) + I_1(mr_2)K_0(mr)]}{I_0(mr_1)K_1(mr_2) + I_1(mr_2)K_0(mr_1)} \quad (2)$$

式中: ξ 是半径 r 及肋宽 δ 的函数, 即

$$\xi = 1 + \left[\frac{r_2 - r}{r_2} \right]^{2.3} + \left[\frac{\delta - \delta_0}{10 \delta} \right]^{1.1} = f(r, \delta) \quad (3)$$

式中: \hat{q}_1 —肋根宽度; \hat{q}_2 —肋端宽度。

当 $r = r_2$ 时, $\hat{q} = \hat{q}_2$, 这时 $\xi = 1$, 即哈伯—布朗近似式(1)。

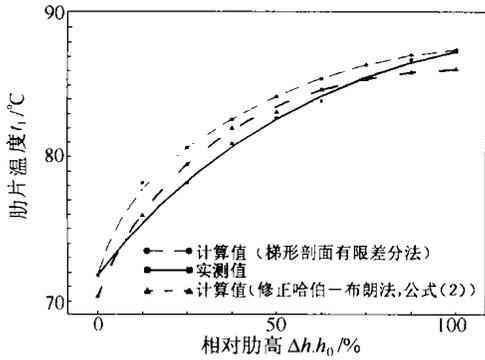


图 1 肋片温度沿肋高变化

将修正哈伯—布朗式、有限差分法的计算结果及本文作者实测值示于图 1。由图可见, 修正哈伯—布朗式的计算值与实测值最大误差绝对值为 1.46 °C, 相对误差(计算值与实测值差的绝对值占实测值的百分数)为 2.03%, 而有限差分法得到的计算值与实测值最大误差为 2.43 °C, 其相对误差为 3.23%。

3 梯形剖面环肋肋根处温度分布

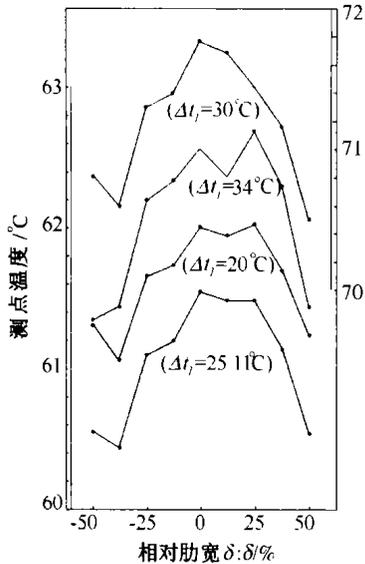


图 2 肋根处温度分布图

试验表明在肋根部位沿肋宽方向的温度并不相同^[6]。这是由于热量沿肋片表面向肋片内部传递, 对于远离肋根的部位, 肋片外侧温度高于肋片中心温度, 而近肋根处, 由于整个肋片的热流都通过这里向管子内部传递, 使得肋片中心温度高于两侧温度。图 2 示出了进口处热冷介质温差不同的情况下肋根处温度沿肋宽的温度分布规律, 由图可见, 在试验条件下同一肋根处沿肋宽方向的温差 Δt_k 随进口介质的温差 Δt_f 增大而

增大, 当 Δt_f 由 20 °C 增至 34 °C 时, Δt_k 由 0.94 °C 增至 1.34 °C。以往的文献中, 在计算肋片温度场分布时, 均假设肋片在宽度方向温度是相等的, 以此假设进行计算, 势必带来较大误差。在考虑到肋根处在肋根宽度方向温度不同这一因素后, 再用有限差分法进行计算, 其精度会得到提高。计算表明, 肋根处在计及温差 Δt_k 时, 取其温度平均值, 代入有限差分法计算得到的值, 与实测值最大误差为 2.14 °C, 相对误差为 2.74%, 其精度提高 15.2%。肋根温度修正前后有限差分法的计算结果与实测值示于图 3。

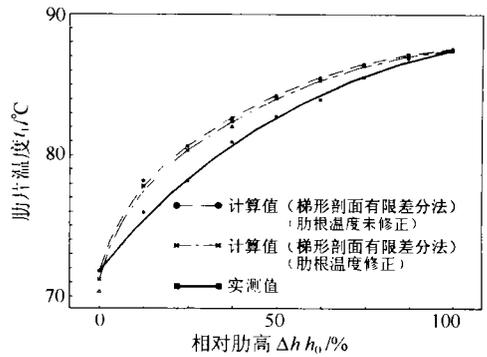


图 3 肋片温度沿肋高变化

4 肋根处 Δt_k 的数学表达式

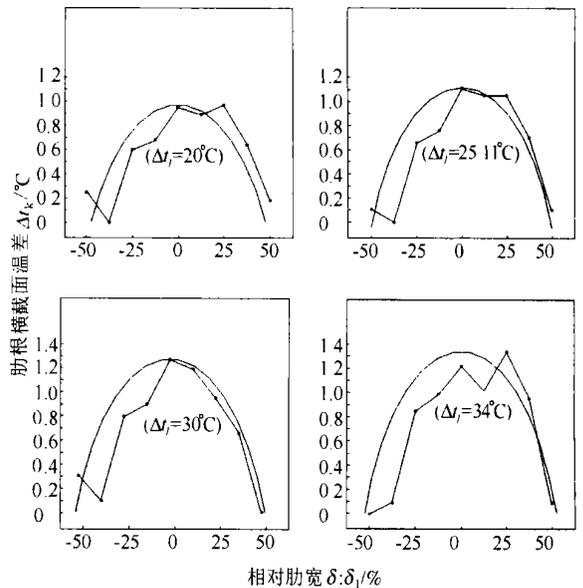


图 4 肋根处温度分布曲线

由图 2 所知, 肋根处温度分布大致呈抛物线形状, 可用如下拟合公式进行计算:

$$\begin{aligned} \Delta t_k &= -7.0656 \left(\frac{\delta}{\bar{q}} \right)^4 - 2.8336 \left(\frac{\delta}{\bar{q}} \right)^2 + \\ &\quad \left[0.047 - \frac{\Delta t_j - 20}{5} \times 0.0027 \right] \times \Delta t_j \\ &= f\left(\frac{\delta}{\bar{q}}, \Delta t_j\right) \end{aligned} \quad (4)$$

式中, δ/\bar{q} —肋根测温点的相对位置, %; Δt_j —进口热冷介质温差, °C。

其计算结果与实测值的比较示于图 4, 由图 4 可见, 计算值与实测值能较好地吻合。

5 结 论

(1) 计算沿肋高方向的温度场分布, 用修正哈伯—布朗法(式 2)具有较高的精度。

(2) 肋根处沿肋宽方向温度分布(式 4)的计算

结果与实测值吻合较好。

(3) 肋根处沿肋宽方向温度分布不均匀的揭示, 为进一步完善环肋温度场的计算提供了依据。

参考文献:

- [1] 周强泰, 黄素逸. 锅炉与热交换器传热强化[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991
- [2] 程 林, 陆 煜. 换热器运行导论[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [3] 米海耶夫 M A. 传热学基础[M]. 王补宣译. 北京: 高等教育出版社, 1959
- [4] KERN D Q, KRAUS A D. Extended surface heat transfer[R]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1972.
- [5] 杨世铭. 传热学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980.
- [6] 陆国栋. 冷轧梯形剖面肋片管传热特性的研究[D]. 济南: 山东大学, 2000

(辉 编辑)

新 设 计

新型高效的滑油冷却器

据《Гяжелое ма шинострение》2001 年 11 月号报道, 滑油冷却器在汽轮机装置的滑油供应系统中得到最广泛的应用。

鉴于不断上涨的能源和设备的费用以及对动力和资源储备和生态问题的高度关注, 提高这种换热设备效率任务的解决在目前是尤为迫切的。

为了改进这种设备热流体的、重量尺寸的和生态的指标, 应用水平管膜式装置(ГТТ А)是很有前途的。它们的特点是液膜在重力作用下沿水平换热管外表面流动。

计算表明与液流式比较, 膜式换热器具有更好的特性。此外, 由于这些设备管间的空间没有余压, 就能保证:

- 由于不需要沿管间空间加固壳体, 简化了结构并降低了金属消耗量;
- 通过把它们直接安装在滑油箱上面或直接装在滑油箱中而简化了布置;
- 由于设备工作时没有滑油漏入冷却水系统, 提高了生态的安全性。

研究表明, 对管子外表面进行一定型式的成型, 能保证使管壁到液膜的传热强度增加到 1.4~1.9 倍。

(思娟 供稿)

Intensification Heat-transfer Tube Incorporating an Electric Field and Spiral Coils [刊, 汉] / LIU Zhen-hua, YI Jie (Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 475 ~ 477

An experimental study of combined-intensification heat transfer was conducted by using two intensification techniques to the laminar flow heat transfer of in-tube oil, namely, the installation of internally inserted spiral coils and an externally added high-voltage electric field. The result of the experiment indicates that the intensification tube with the use of internally inserted spiral coils can lead to an enhancement of convection heat transfer of the laminar flow by about 100%. The use of intensified heat exchange with the help of a high-voltage electric field in addition to the above approach can further enhance the heat exchange intensification rate by about four times. Oil temperature and its flow speed do not exert any significant influence on the heat exchange intensification rate. The heat exchange intensification rate basically depends on the externally applied high-voltage electric field. **Key words:** convection heat transfer, combined intensification of heat exchange, electro-hydrodynamics

梯形剖面圆形肋片管温度场的研究 = A Study of the Temperature Field of Annular Finned Tubes with a Trapezoidal Cross-section [刊, 汉] / LU Guo-dong, ZHOU Qiang-tai (Power Engineering Department, Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096), CHENG Lin, TIAN Mao-cheng (School of Energy & Power Engineering under the Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 478 ~ 480

A new method is proposed for calculating the temperature distribution along the fin height (i.e., along the fin-root to fin-end direction) of an annular finned tube with a trapezoidal cross-section. Measurement results indicate that the proposed calculation method features a fairly high precision. Meanwhile, a non-uniform distribution of temperature was identified along the fin-width direction (namely, along the fin thickness direction), which is of major reference value for the structure optimization of annular fins. **Key words:** finned tube, temperature field, heat transfer characteristics, structure optimization

高温鼓泡流化床的流化行为 = Fluidization Behavior of a High-temperature Bubbling Fluidized Bed [刊, 汉] / GUO Qing-jie, LU Jun-fu, WANG Xin, et al (Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 481 ~ 484

With the bed temperature ranging from 20 - 1000 °C and coal ash of four kinds of particle diameter serving as experimental materials the variation relationship of the following parameters is investigated under various apparent gas speeds. The parameters include: the minimum fluidization speed, bed average voidage, pressure fluctuation standard deviation and main frequencies. The minimum fluidization speed will decrease with a rise in bed temperature. Under the same bed temperature the average voidage will increase with a rise in apparent gas speed. Under different temperatures the pressure fluctuation deviation will experience an increase with an increase in fluidization number. Under the same fluidization number the influence exerted by a change in bed temperature on pressure fluctuation standard deviation of B particles is insignificant, while for particles of D category the pressure fluctuation standard deviation will decrease with a rise in bed temperature. An increase in fluidization number will lead to a decrease in the main frequency of pressure fluctuations. **Key words:** fluidized bed, high temperature, minimum fluidization speed, pressure fluctuation deviation

一维管道汽液两相流动的小波数值瞬态计算 = Transient Calculation by a Wavelet Numerical Method for a One-dimensional Piping of Vapor-liquid Two-phase Flows [刊, 汉] / SHANG Zhi, YANG Rui-chang (Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17