

基于螺旋线方程的螺旋板换热器螺旋解析计算方法

高尧林

(南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 在基于螺旋线方程的螺旋板换热器板长计算方法的基础上, 进一步延伸和扩充, 提出了一整套、全新的、通用的螺旋板换热器螺旋解析计算方法, 以改善螺旋板换热器的螺旋几何尺寸计算.

[关键词] 螺旋板换热器, 换热器设计, 螺旋计算, 螺旋曲线

[中图分类号] TK124, [文献标识码] A, [文章编号] 1672-1292(2004)03-0011-03

由两块螺旋板和中心隔板所构成的螺旋体, 是螺旋板换热器的换热元件. 螺旋板由厚度为 δ 的板材卷制而成, 分别焊接在中心隔板的两端. 冷、热流体在螺旋板的两侧流动, 通过螺旋板进行换热 (如图 1 所示). 螺旋体的几何计算, 例如螺旋的径向尺寸、螺旋长度、面积、容积等参数的计算统称为螺旋计算.

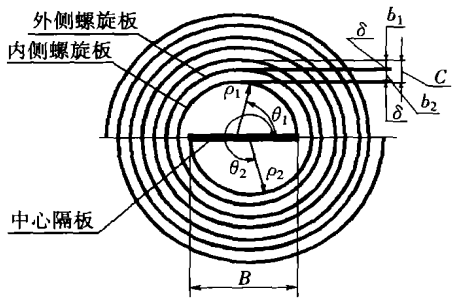


图 1 不等通道螺旋体示意图

长期以来, 无论是手册^[1], 还是教科书^[2,3], 在螺旋板换热器的设计计算中, 大都采用分段的半圆弧来取代螺旋曲线, 进行螺旋板换热器的螺旋计算. 由于采用的是分段半圆圆弧, 所得到的螺旋板沿板长方向的曲率半径是阶跃变化的, 与实际卷板曲率半径均匀变化的事实有所偏离. 本文在文献[4]上提出了一种基于螺旋线方程的螺旋板曲线描述方程, 并由此导出相应的板长计算公式. 本文对该方法又作出进一步的延伸和扩充, 提出了一整套、全新的、通用的螺旋板换热器螺旋计算方法.

1 计算所涉及的通道参数

为叙述方便, 将起点位于中心隔板右端的螺旋板命名为内侧螺旋板, 将起点位于中心隔板左端的

螺旋板命名为外侧螺旋板, 下标 1、2 分别代表内、外侧螺旋板. 参见图 1, 计算所涉及的通道参数主要有:

- 内侧通道宽度 b_1 、外侧通道宽度 b_2 、中心隔板宽度 B ;
- 螺旋板厚度 δ (一般情况下, 两螺旋板壁厚都采用相同厚度);

节距 (螺旋距) C , 也即同一块螺旋板相邻两圈之间的间距, 而且存在关系:

$$C = b_1 + b_2 + 2\delta \tag{1}$$

螺旋板的圈数 n , 指从螺旋起点开始每 360° 为一圈, 无因次量;

内、外侧螺旋板的螺旋初始角 θ_{11} 、 θ_{21} , 螺旋终止角为 θ_{12} 、 θ_{22} ;

内、外侧螺旋板的螺旋起点处的极径 ρ_{11} 、 ρ_{21} , 螺旋终点处的极径 ρ_{12} 、 ρ_{22} ;

螺旋板有效宽度 H_b , 也即螺旋通道的高度.

2 螺旋板曲线方程^[4]

螺旋板曲线方程的通用形式为:

$$\rho(\theta) = P\theta + Q$$

式中的系数 P 、 Q 为常量, 对于内侧螺旋板

$$\rho_1(\theta_1) = P\theta_1 + Q_1 \quad (\theta_1 \geq 0) \tag{2}$$

$$\begin{cases} P = \frac{C}{2\pi} \\ Q_1 = \frac{B + b_1}{2} - \frac{C}{4} \end{cases}$$

对于外侧螺旋板

$$\rho_2(\theta_2) = P\theta_2 + Q_2 \quad (\theta_2 \geq \pi) \tag{3}$$

收稿日期: 2003-11-05.

作者简介: 高尧林 (1944—), 副教授、高级工程师. 从事动力机械工程、程序设计及其语言、计算机应用方面的教学与研究工作.

E-mail: gaoyaolin@pine.njnu.edu.cn

$$\begin{cases} P = \frac{C}{2\pi} \\ Q_2 = \frac{B + b_2}{2} - \frac{3}{4}C \end{cases}$$

3 螺旋几何计算

3.1 螺旋板长度^[4]和换热面积

经过推导,就可以得到内、外侧螺旋板都适用的长度 L 计算公式

$$L = \frac{\rho_2 \sqrt{P^2 + \rho_2^2} - \rho_1 \sqrt{P^2 + \rho_1^2}}{2P} + \frac{P}{2} \ln \frac{\rho_2 + \sqrt{P^2 + \rho_2^2}}{\rho_1 + \sqrt{P^2 + \rho_1^2}} \quad (4)$$

对于内侧螺旋板,螺旋初始角 $\theta_{11} = 0$,
螺旋起点处的极径 $\rho_1 = \rho_{11} = Q_1$,
螺旋终点处的极径 $\rho_2 = \rho_{12} = P\theta_{12} + Q_1$.
对于外侧螺旋板,螺旋初始角 $\theta_{21} = \pi$,
螺旋起点处的极径 $\rho_1 = \rho_{21} = P\pi + Q_2$,
螺旋终点处的极径 $\rho_2 = \rho_{22} = P\theta_{22} + Q_2$.
换热面积 F 等于内外螺旋板长度之和与螺旋板有效宽度 H_b 之积(未计入中心隔板).

3.2 板长逆向计算

已知中心隔板宽度 B 、内外侧通道宽度 b_1 、 b_2 、螺旋板厚度 δ ,就可以由长度 L_1 、 L_2 分别通过叠代法计算出内外侧螺旋板的螺旋终止角 θ_{12} 和 θ_{22} .

3.3 螺旋通道长度和通道流通面积

因为内、外螺旋通道宽度中点所构成的曲线也是等距螺旋线,采用类似的方法,导出内、外螺旋通道中点曲线的方程为:

$$\rho_{1T}(\theta_1) = P\theta_1 + Q_{1T} \quad (\theta_1 \geq \pi) \quad (5)$$

$$\begin{cases} P = \frac{C}{2\pi} \\ Q_{1T} = \frac{B - \delta}{2} - \frac{C}{4} \end{cases}$$

外螺旋通道中点曲线的方程为:

$$\rho_{2T}(\theta_2) = P\theta_2 + Q_{2T} \quad (\theta_2 \geq 2\pi) \quad (6)$$

$$\begin{cases} P = \frac{C}{2\pi} \\ Q_{2T} = \frac{B - \delta}{2} - \frac{3}{4}C \end{cases}$$

那么就可以依据内、外螺旋通道的螺旋终止角,套用公式(4) 求出内、外螺旋通道长度 L_{1T} 、 L_{2T} .

在流体作螺旋流动时,流通面积等于通道宽度与通道高度 H_b 之积;在流体沿换热器轴向流动的情况下,流通面积等于螺旋通道的流道面积.

3.4 螺旋通道的流道面积和通道容积

对于极坐标方程 $\rho(\theta) = P\theta + Q$,可以通过积分很方便地求出曲线所形成的螺旋区域的面积,也即螺旋通道的流道面积,进而求出螺旋通道的容积.螺旋通道的流道面积由中心扇形区域面积和螺旋部分面积构成.

中心扇形区域的面积 A_c 为:

$$A_c = \int_{\theta_1}^{\theta_1 + \pi} \frac{1}{2} \rho^2(\theta) d\theta = \frac{1}{6P}(\rho_2^3 - \rho_1^3) \quad (7)$$

螺旋部分的面积 A_s 为:

$$A_s = \frac{1}{2} \int_{\theta_1 + \pi}^{\theta_2} (\rho_o^2(\theta) - \rho_i^2(\theta)) d\theta \quad (8)$$

ρ_i 、 ρ_o 分别为通道螺旋部分内外沿的螺旋线方程,当然,也可以采用通道长度乘以通道宽度的方式来求取螺旋部分的面积 A_s .

$$A_{1s} = L_{1T} b_1 \quad (9)$$

$$A_{2s} = L_{2T} b_2. \quad (10)$$

螺旋通道的流道面积 A 等于中心扇形区域面积 A_c 与螺旋部分面积 A_s 之和,螺旋通道的容积则为螺旋通道的流道面积与螺旋通道高度之积,也即

$$A = A_s + A_c \quad (11)$$

$$V = AH_b. \quad (12)$$

3.5 最小、最大和平均直径

两通道最小直径 d_{\min} 、最大直径 d_{\max} 、平均直径 d_m (内径)可由下式分别求出.

$$d_{\min} = \rho(\theta_1) + \rho(\theta_1 + \pi) - \delta \quad (13)$$

$$d_{\max} = \rho(\theta_2) + \rho(\theta_2 - \pi) - \delta \quad (14)$$

$$d_m = (d_{\max} + d_{\min})/2. \quad (15)$$

4 算例

螺旋板式气体冷却器,外侧螺旋板初始极径 $r_2 = 0.163$ m,螺旋板厚度 $\delta = 0.002$ m,冷却水从外侧螺旋流至中心,从顶部排出,通道宽度 $b_1 = 0.019$ m,通道高度 $H_b = 1.369$ m,气体自下而上作轴向流动,通道宽度 $b_2 = 0.016$ m,此通道后续一段变距通道(如图 2 所示).两条螺旋通道的圈数 n 皆为 14.

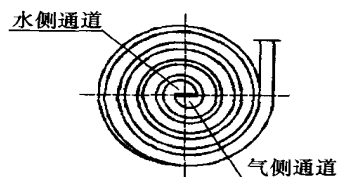


图 2 算例换热器(示意图)

求:

- (1) 螺旋通道的长度、外径、平均直径;
- (2) 内、外侧螺旋板的长度;
- (3) 气体通道的流通面积;
- (4) 冷却水通道的总容积。

解:

- (1) 通道基本参数

螺旋节距:

$$C = b_1 + b_2 + 2\delta = 0.039 \text{ m}$$

中心隔板宽度:

$$B = 2r_1 - b_1 + \delta = 0.312 \text{ m}$$

板长螺旋方程系数 P :

$$P = C/2\pi = 6.207043 \times 10^{-3}$$

内侧板长螺旋方程系数 Q_1 :

$$Q_1 = (B + b_1)/2 - C/4 = 0.15575$$

外侧板长螺旋方程系数 Q_2 :

$$Q_2 = (B + b_2)/2 - 3C/4 = 0.13475$$

- (2) 通道长度和流通截面积

水侧通道螺旋方程系数 Q_{1T} :

$$Q_{1T} = (B + b_1)/2 - C/4 = 0.14525$$

水侧通道螺旋起始、终止角:

$$\theta_{11T} = \pi \quad \theta_{12T} = 28\pi$$

水侧通道螺旋起点极径:

$$\rho_{11T} = P\theta_{11T} + Q_{1T} = 0.16475$$

水侧通道螺旋终点极径:

$$\rho_{12T} = P\theta_{12T} + Q_{1T} = 0.69125$$

水侧螺旋通道长度:

$$L_{1T} = 36.30869 \text{ m}$$

气侧通道螺旋方程系数 Q_{2T} :

$$Q_{2T} = (B + b_2)/2 - 3C/4 = 0.12575$$

气侧通道螺旋起始、终止角:

$$\theta_{21T} = 2\pi \quad \theta_{22T} = 29\pi$$

气侧通道螺旋起点极径:

$$\rho_{21T} = P\theta_{21T} + Q_{2T} = 0.16475$$

气侧通道螺旋终点极径:

$$\rho_{22T} = P\theta_{22T} + Q_{2T} = 0.69125$$

气侧螺旋通道长度:

$$L_{2T} = 36.30869 \text{ m}$$

- (3) 螺旋直径

水侧螺旋通道最小直径(内径):

$$d_1 = P\theta_{11} + P(\theta_{11} + \pi) + 2Q_1 - \delta = 0.329 \text{ m}$$

水侧螺旋通道最大直径(内径):

$$d_{1\max} = P\theta_{12} + P(\theta_{12} - \pi) + 2Q_1 - \delta = 1.382 \text{ m}$$

水侧螺旋通道平均直径(内径):

$$d_{1m} = (d_{1\max} + d_1)/2 = 0.855 \text{ m}$$

螺旋体最大直径(外径):

$$D_{\max} = P\theta_{12} + Q_1 + P\theta_{22} + Q_2 + \delta = 1.404 \text{ m}$$

- (4) 螺旋板长度

水侧螺旋起始、终止角:

$$\theta_{11} = 0 \quad \theta_{12} = \theta_{12T} = 28\pi$$

水侧螺旋起点极径:

$$\rho_{11} = P\theta_{11} + Q_1 = 0.15575$$

水侧螺旋终点极径:

$$\rho_{12} = P\theta_{12} + Q_1 = 0.70175$$

水侧螺旋板长度:

$$L_1 = 37.71949 \text{ m}$$

气侧螺旋起始、终止角:

$$\theta_{21} = \pi \quad \theta_{22} = \theta_{22T} = 29\pi$$

气侧螺旋起点极径:

$$\rho_{21} = P\theta_{21} + Q_2 = 0.15425$$

气侧螺旋终点极径:

$$\rho_{22} = P\theta_{22} + Q_2 = 0.70025$$

气侧螺旋板长度:

$$L_2 = 37.58757 \text{ m}$$

- (5) 气体通道的流通面积(沿轴向流动)

气侧初始圈半圆面积:

$$A_{2C} = [(2\pi P + Q_2)^3 - (\pi P + Q_2)^3]/6/P =$$

$$4.229791 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

气侧螺旋部分面积:

$$A_{2S} = L_{2T}b_2 = 0.5809391 \text{ m}^2$$

气侧后续段部分面积:

$$A_{23} = (r_1 + nC)b_2/2 = 0.005684 \text{ m}^2$$

气体通道的流通面积:

$$A_2 = A_{2C} + A_{2S} + A_{23} = 0.628921 \text{ m}^2$$

- (6) 冷却水通道的总容积

水侧初始圈半圆面积:

$$A_{1C} = [(\pi P + Q_1)^3 - Q_1^3]/6/P = 4.307428 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

水侧螺旋部分面积:

$$A_{1S} = L_{1T}b_1 = 0.6898652 \text{ m}^2$$

冷却水通道的总容积:

$$V_1 = (A_{1C} + A_{1S}) \cdot H_b = 1.003394 \text{ m}^3$$

5 讨论

1) 本文提出的一整套螺旋计算方法和公式,全部是通过解析几何方法导出的,导出过程中没有采用任何形式的简化,因此,使用该公式计算出的应该是螺旋几何尺寸的精确结果。

(下转第 56 页)

optimization[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, 1(2): 62 - 87.

[3] Kazarlis S A, Papadakis S E, Theocharis J B, *et al.* Micro-genetic Algorithms as Generalized Hill Climbing Operators for GA Optimization [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2001, 5(3): 204 - 217.

[4] 周明,孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 125 - 128.

Improving Monkey-King Genetic Algorithm

LI Yuzhong¹, LIU Hongxing¹, ZHANG Shen²

(1. Department of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China;
2 School of Physical Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Monkey-King Genetic Algorithm is a novel genetic algorithm, and the original research has revealed its some advantages and potentials. Some aspects to be improved for Monkey-King Genetic Algorithm are: a number of running parameters are inconvenient to be determined by users, and there is no local searching operator in the area of surrounding the Monkey-King point, so lacking the whole searching ability. Aiming to these two problems, the Monkey-King Genetic Algorithm is improved in this paper. The innovation includes two aspects: one is to enlarge the proportion of the introduced random individuals, thus reducing the original running parameters, and another is to add a new local searching operator——Monkey-King up-climbing operator in the algorithm. A lot of testing experiments show that the improved Monkey-King genetic algorithm is good and satisfactory.

Key words: genetic algorithm, evolutionary computation, evolutionary algorithms, Monkey-King

[责任编辑: 蓉]

(上接第 13 页)

2) 本文提出的算法是全解析方法, 因此有利于计算机辅助设计技术的进一步使用.

3) 本文提出的计算方法和公式都是与具体结构形式无关的通用公式, 可用于各种不同螺旋布置形式的螺旋计算, 而分段半圆弧方法的计算公式则不是通用公式, 其形式与换热器螺旋外侧切向(或径向) 接管的布置方式有关, 具体说与两螺旋板的圈数有关, 圈数是否相等、圈数是否为整数等, 都会影响公式的最后形式, 因此使用时需要结合换热器的具体结构加以推导.

[参考文献]

[1] 毛希甦. 化工设备设计全书. 换热器设计分册[M]. 上海: 上海科技技术出版社, 1988. 278 - 279.

[2] 史美中,王中铮. 热交换器原理与设计[M]. 南京: 东南大学出版社, 1996. 117 - 119.

[3] 朱聘冠. 热交换器原理与计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 1987. 201 - 202.

[4] 高尧林. 基于螺旋线方程的螺旋板换热器板长计算方法[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2003, 3(1): 70 - 73.

Spiral Plate Heat Exchanger's Analytic Spiral Calculation Based on Spiral Curve Equation

GAO Yaolin

(School of Power Engineering, Nanjing Nomal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: An innovated and universal analytic calculation used for spiral plate heat exchanger design is introduced in this paper. This technique is based on a new spiral plate calculation method, which is deduced from the spiral curve equation. With the techniqued, the spiral geometrical calculation can be improved in spiral plate heat exchanger design.

Key words: spiral plate heat exchanger, heat exchanger design, spiral calculation, spiral curve

[责任编辑: 刘健]