

文章编号: 1006-7329(1999)06-0082-04

矩形翅片变形片翅片效率的数值解与性能分析

20
82-85

王厚华 苏 华

TK124

(重庆建筑大学 城市建设学院 400045)

摘 要 利用有限元方法对矩形翅片及三种几何变形片的翅片效率进行了数值求解, 求解结果经回归整理得出效率计算公式。数值计算结果表明, B2形片虽然换热性能优于平片, 但其翅片效率低于平片。C、D形片翅片效率高于平片, 且换热性能也优于平片。本文结果对高效换热翅片的优化设计研究有重要意义。

关键词 翅片; 数值解; 强化传热

中图分类号 TK124

文献标识码 A

翅片效率是衡量翅片散热有效程度的指标, 其定义为: 翅片表面的实际散热量与假定整个翅片表面均处于基管温度时的理想散热量之比。定义式可简化写为:

$$\eta = (T_m - T_f) / (T_0 - T_f) = \theta_m / \theta_f \quad (1)$$

式中: T_m ——翅片表面平均温度; T_0 ——基管表面平均温度; T_f ——流体平均温度; θ ——以 T_f 为基准的过余温度。

在翅片管式换热器强化传热研究中, 对于同种金属材料制成的翅片, 换热条件相同, 材料耗费也大体上相同的条件下, 翅片效率 η 是评价翅片几何形状及尺寸设计得是否合理的标准之一。显然, η 越高的翅片, 散热效果越理想, 几何形状及尺寸就设计得越合理。此外, 在翅片管式换热器的实验研究中, 求出 η 就能正确地分离出翅片表面的平均换热系数, 这对不同形状翅片表面换热性能的分析具有重要意义。

对从平直基面伸展出来的等截面直翅, 三角形翅片, 圆形翅片等几何形状简单的翅片, 已从理论分析直接获得了 η 的计算式^[1]。但对复杂几何形状的翅片, 由于理论求解微分方程的困难, 文献中很难见到有关这类翅片的 η 计算式, 本文采用有限元方法, 对文献[2]中提出的矩形平翅片及三种几何变形片进行了数值求解, 回归整理出了翅片效率的计算式, 结合文献[2]的研究结果, 本文还分析比较了各种变形片的换热性能, 这对高效换热翅片的优化设计研究具有重要意义。

1 翅片表面导热-对流换热问题的数学描述

图1所示为文献[2]中提出的四种翅片, 其中, A为平翅片, B2、C、D为在平翅片基础上几何形状改变后的变形片, B2翅片有3.3mm偏心。四种翅片均为厚度 $\delta = 0.5$ mm的薄钢板轧制而成, 由于翅片金属材料导热系数大, 且 $\delta \ll$ 翅片宽与高, 可作为二维稳态导热分析。

取平面直角坐标系 XOY, 数学描述如下:

$$(\partial^2 T / \partial x^2) + (\partial^2 T / \partial y^2) - 2h(T - T_f) / K\delta = 0$$

基管周边 $T = T_0$ (第一类边界条件)

翅片外边界 $-K(\partial T / \partial n)_s = 0$ (绝热边界条件)

式中: h ——对流换热系数 $W/m^2 \cdot K$, 设为常数; K ——翅片金属材料导热系数 $W/m \cdot K$, 常数; S 表

收稿日期: 1999-10-20

作者简介: 王厚华(1952-), 男, 贵州安顺人, 副教授, 硕士, 主要从事强化传热研究。

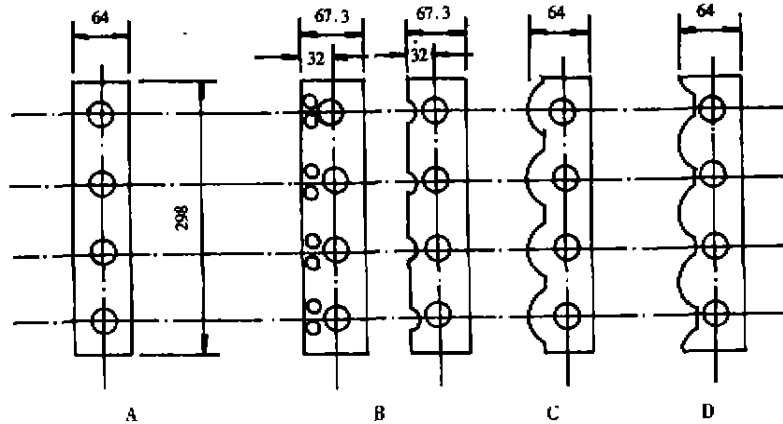


图1 几种翅片的几何形状

示边界; n 为边界外法线方向。翅片外边界采用绝热边界条件是因为 δ 很小, 散热量可忽略不计的原因。该简化条件可使有限元方法中变分计算的积分方程通用, 且计算误差影响极小。

2 温度节点线性代数方程组的建立

将翅片表面离散为图2所示的三角形网格单元, 由于横掠翅片管表面的空气流对称流动, A翅片取 1/16, B2、C、D翅片各取 1/8 来进行分析。对称而仍为绝热面。

采用伽辽金有限元方法^[3], 对任意网格单元 e 变分计算的积分方程为:

$$\begin{aligned} \delta T_e / \delta T_p = \iint [k(\partial W_p / \partial X)(\partial T / \partial X) \\ + (\partial W_p / \partial Y)(\partial T / \partial Y) \\ + q_v W_p] dX dY \end{aligned} \quad (3)$$

$p = j, j, k$

式中: W ——权函数, 根据伽辽金法, $W_p = \partial T / \partial T_p$

$q_v = (2h/\delta)(T - T_c) \text{ W/m}^3$
 e 表示单元, 如图3所示。由于边界条件作了简化, 因此边界网格单元的积分方程仍为式(3)。设所求节点的相邻网格单元数为 E , 节点总数为 n , 则合成的总体方程应为

$$\delta T / \delta T_L = \sum_{e=1}^E (\partial F / \partial T_p) = 0 \quad L = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

对(4)中的每一个节点 $L = 1 - n$, 可列出 n 个节点方程式, 得到 n 个代数方程, 将方程组写成矩阵形式, 则有:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

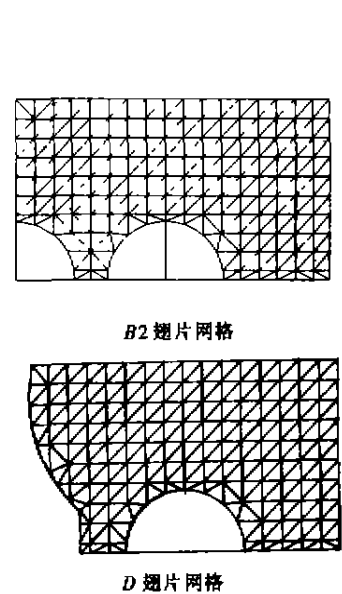


图2 四种翅片的离散网格

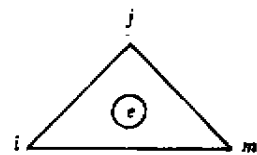


图3 网格单元及节点

简写为 $[A]\{T\} = \{B\}$

式中: A 为系数矩阵, T 为未知温度列矩阵, B 为已知项组成的常数项列矩阵。

3 计算结果与翅片性能分析

3.1 计算结果

采用高斯-塞德尔迭代法求解线性代数方程组, 获得不同换热系数 h 时, 图 2 所示翅片表面上各节点温度 $T_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 。翅片表面平均温度 T_m 用加权平均的方法求得, 即:

$$T_m = (T_1 A_1 + T_2 A_2 + \dots + T_i A_i + \dots + T_n A_n) / A \quad (6)$$

式中: $A = \sum_{k=1}^n A_k$ 为翅片总表面积, $T_k - K$ 网格单元平均温度; $T_k = (T_i^* + T_j^* + T_m^*) / 3$, n - 网格单元总数。

求得 T_m 后, 由式(1)计算出翅片效率 η_f , 整个计算均是在微机完成的, 其结果见表 1。

表 1 翅片效率与效率比较因子的计算结果

换热系数 h	翅片效率(%)				效率比较因子 FCF				毕渥数 $Bi = h\delta/k$
	B2翅片	C翅片	D翅片	A翅片	B2翅片	C翅片	D翅片	A翅片	
10	74.667	78.556	76.707	75.99	0.983	1.034	1.009	1.000	$9.26 E - 05$
15	66.71	71.308	69.121	68.221	0.978	1.045	1.013	1.000	$1.39 E - 04$
20	60.498	65.461	63.105	62.078	0.975	1.054	1.017	1.000	$1.85 E - 04$
25	55.507	60.637	58.211	57.093	0.972	1.062	1.020	1.000	$2.31 E - 04$
30	51.407	56.586	54.149	52.964	0.971	1.068	1.022	1.000	$2.78 E - 04$
35	47.974	53.131	50.718	49.484	0.969	1.074	1.025	1.000	$3.24 E - 04$
40	45.056	50.147	47.781	46.51	0.969	1.078	1.027	1.000	$3.70 E - 04$

表 1 中效率比较因子 FCF 定义为: 变形片效率 / A 翅片效率。不同的基管表面温度 T_0 与不同的流体平均 T_m 的计算表明, η_f 与 T_0, T_i 无关。为验证图 2 划分的网格单元对计算结果的影响, 将 A 翅片网格单元加密 1 倍, 计算表明, 加密节点获得的解与未加密前获得的解几乎一致, 证明解的结果正确。 η_f 的计算式按如下函数关系处理:

$$\eta_f = a Bi^{-b} \% \quad (7)$$

式中: $Bi = h\delta/k$; 毕渥数。一元回归计算获得的系数 a, b 及回归方程的相对标准误差见表 2。

3.2 翅片性能分析

将 $\eta_f = f(Bi)$, $FCF = f(Bi)$ 的关系描绘在图 4 和图 5 中, 可明显看出 C 片、D 片翅片效率均高于 A 片, B2 片低于 A 片。其中 C 片 η_f

增大最为显著。在 $Bi = 9.26 \times 10^{-5}$ 至 3.7×10^{-4} 范围内, C 片 η_f 增大了 3.4% ~ 7.8%, D 片增大了 0.9% ~ 2.7%。可见在矩形片的基础上, 在温度较低的翅片边缘开缺口, 除可减轻换热器的重量外, 还可使 η_f 增大。观察四块翅片的几何形状, 可以得出结论: 远离基管开缺口可更大幅度地提高 η_f 。文献[2]的实验研究指出: 与平片相比, C 片在背风情况下, 其平均当量换热系数提高了 11.5%, 阻力降低了 3.9%, 可见 C 片的综合换热性能与阻力性能均优于平片, 但由于去掉了部分换热面积, C 片散热量增加不大。B2 片 η_f 降低了 1.7% ~ 3.1%, η_f 降低的主要原因是偏心, 偏心使得去掉的半圆部分温度更接近管壁温度。四种片形的翅片管中, 由 B2 片和 B1 片交叉制成的 B 形翅片管综合换热性能最优^[2], 文献[4]的分析也得出 B1 片 η_f 低于平片, 因此, 尽可能在形状上进行改造, 提

表 2 一元回归计算结果

翅片形状	A	B	C	D
a	2.85	3.23	3.91	2.54
b	-0.356	-0.34	-0.325	-0.367
相对标准误差	3.5%	3.29%	3.2%	3.51%

高 B 片的 η_f ，比如说放弃偏心方案，将有可能进一步地提高 B 片的综合换热性能。

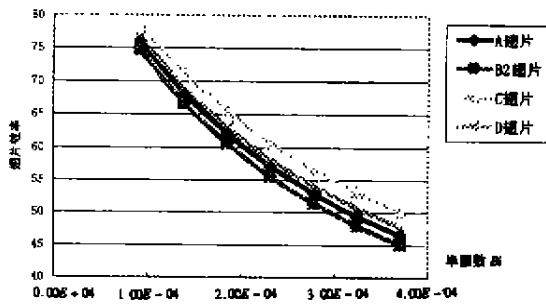


图 4 几种翅片的翅片效率比较

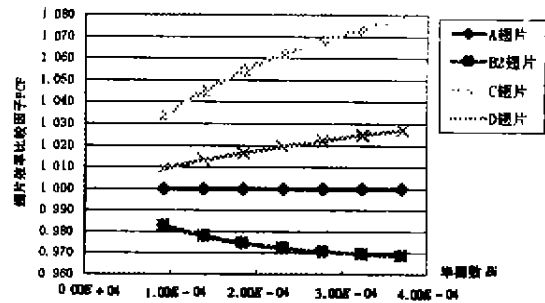


图 5 几种翅片的翅片效率的比较因子

4 结束语

本文利用有限元方法，通过数值计算求得了矩形翅片及其三种变形片的翅片效率，并回归整理成了计算式。研究结果证实，远离基管部分开缺口可更大幅度地提高翅片效率。结合文献[2]的分析，指出：提高翅片效率必须考虑翅片的综合换热性能，综合换热性能优的翅片不一定翅片效率高。

本文的分析对高效换热翅片的优化设计研究具有重要的参考价值。

参考文献

- [1] (美)E. R. G. 埃克特等著，航青译，传热与传质分析[M]，北京：科学出版社，1983
- [2] 王厚华，等，矩形平翅片变形片的换热与阻力实验研究[J]，重庆建筑大学学报，1999，(4)
- [3] 郭宽良，等，编著，计算传热学[M]，合肥：中国科技大学出版社，1988
- [4] 苏 华，扰流孔型翅片管传热与阻力性能实验研究[D]，重庆建筑大学硕士学位论文，1999

Numerical Calculation of Fin Efficiencies and Performances of Rectangular Flat Fins with Modified Geometry

WANG Hou-hua SU Hua

(Faculty of Urban Construction Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045, China)

Abstract Numerical calculation with FEM was carried out for the fin efficiencies of common rectangular flat fin and three flat fins with modified geometry. The result shows that the general heat transfer performance of fin B2 is higher than that of common flat fin, but the fin efficiency is lower. Both the performances of heat transfer and fin efficiencies of fin C and fin D are higher than those of common flat fin. The work of this paper is valuable for optimization design of high efficient fin.

Key Words fin; numerical calculation; enhancement of heat transfer