

# 肋片传热与优化分析的通用程序设计<sup>\*</sup>

林荣德 杨翔翔

(华侨大学化工与生化工程系, 泉州 362011)

**摘要** 研究多变因素条件下, 各种形状肋片传热的通用计算程序及其最优化分析程序. 建立了辐射-对流-导热联合作用下的数学模型, 并进行数值求解, 开发出一套肋片传热及其最优化的计算机辅助设计的小型应用软件.

**关键词** 肋片, 传热, 通用程序, 多变因素, 应用软件

**分类号** TK 124

近几年来, 人们对肋片传热及其最优化进行了大量的分析研究工作<sup>[1~3]</sup>, 取得了许多具有工程实用价值的成果. 但是, 至今尚无一个比较方便、实用的软件, 可对肋片传热进行计算机辅助设计. 因此, 本文的主要任务是开发一个肋片传热分析专用的, 能解决各种不同形状肋片传热及各种不同传热边界条件, 操作简便且易于扩展的通用软件.

## 1 数学模型的建立

### 1.1 基本假设

(1) 导热系数  $k$  是温度的线性函数, 设  $k = k_0[1 + \alpha(T - T_0)]$ ; (2) 对流换热系数  $h$  是肋片位置的函数, 设  $h = h_a H(r/r_b)$ ; (3) 肋根温度  $T_b$  作周期性变化, 设  $T_b - T_{bm} = (T_{bm} - T_0) \sin \omega t$ ; (4) 无内热源, 肋端绝热, 即  $\partial T / \partial r|_{r=r_0} = 0$ ; (5) 肋片是漫灰体, 肋间为透明介质, 周围介质温度  $T_\infty$  恒定; (6) 一维肋片传热.

### 1.2 主控传热微分方程

当考虑热特性参数变化, 肋根温度周期性变化, 在辐射-对流-导热的联合作用下, 肋片的主控传热微分方程可推导如下

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + \frac{E}{1 + E\theta} \left( \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \right)^2 + \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \left( C \frac{1}{\xi} + \frac{1}{\beta} \frac{d\beta}{d\xi} \right) - \frac{\theta}{1 + E\theta} \frac{N^2}{\beta \cos \phi} [H(\xi) + q_k] = \frac{1}{1 + E\theta} \frac{\partial \theta}{\partial \alpha}, \quad (1)$$

边界条件为

$$\xi = 1 \text{ 时} \quad \theta = 1 + \epsilon \sin Bt, \quad (2)$$

$$\xi = L \text{ 时} \quad \frac{\partial \theta}{\partial \xi} = 0, \quad (3)$$

式中  $\theta = \frac{T - T}{T_{bm} - T}$ ;  $\xi = \frac{r}{r_b}$ ;  $L = \frac{r_c}{r_b}$ ;  $\beta = \frac{\gamma}{b}$ ;  $N^2 = \frac{h_a r_b^2}{k_0 b}$ ;  $E = \alpha(T_{bm} - T)$ ;  $q^k = \frac{q_k(\xi)}{(T - T)h_a}$ ;  $t = \frac{\alpha T}{r_b^2}$ ;  
 $B = \frac{\omega_b^2}{\alpha}$ ;  $H(\xi) = \frac{h}{h_a} = K(L, m) \left[ \frac{\xi - 1}{L - 1} \right]^m$ ;  $K(L, m) = \frac{(L + 1)(m + 1)(m + 2)}{2[(m + 1)L + 1]}$ , 相应的符号含义见  
 文 [2, 3]。

在式(1)中, 当  $C = 1$  时, 适用于环肋; 当  $C = 0$  时, 适用于直肋; 当  $\frac{\partial \theta}{\partial \xi} = 0$  时, 适用于肋根温度不变时的稳态传热情况。

对于诸如矩形、梯形、一次双曲线形、二次双曲线形和抛物线形等各种不同剖面形状的肋片, 只需将式(1)中的尺度因素  $\frac{1}{\beta} \frac{d\beta}{d\xi}$  和  $\frac{N^2}{\beta \cos \varphi}$  按照各自形状的几何关系代入, 即可得出具体形状肋片的主控传热微分方程。对于辐射换热量  $q^k$  的计算和角系数的确定, 可参考文 [2, 3], 此处从略。

## 2 数值求解及其优化分析

在数值求解之前, 必须对式(1)进行离散化。对于稳态微分方程, 可按中心差分公式离散; 对于非稳态微分方程, 可应用 Crank-Nicholson 格式进行离散, 经变换后可得三对角型的非线性方程组。然后, 应用追赶法求解, 这样便可求出肋片的温度分布, 进而可计算肋片的传热量及其肋效率。

肋片传热的最优化分析, 可分为下列两种情况: (1) 由给定肋片体积求最大传热量的肋片最优几何尺寸; (2) 由给定传热量求最小肋片体积时的最优几何尺寸。无论何种情况, 其求解的思路是相似的, 可以应用四阶 Runge-Kutta 法与 Newton-Raphson 迭代法相结合的数值计算方法, 或者应用不变值技术予以求解。

## 3 应用软件的设计

### 3.1 软件的基本要求

研制一个专供肋片传热及其优化分析用的 CAD 小型应用软件, 为工程设计提供简捷而有效的工具。因此, 本软件应达到以下基本要求: (1) 能够对各种不同剖面形状的直肋或环肋, 在复杂边值条件下的传热及其最优化问题进行分析计算; (2) 具有友好的操作界面, 便于掌握和操作; (3) 采用模块化设计, 接口清晰, 便于修改和进一步扩充。

### 3.2 软件的开发和运行环境分析

目前的应用程序所基于的操作系统, 在 PC 机上大多以 DOS 和 Windows 为主, 但后者日益流行, 它以丰富多采的图形界面, 提供比以往任何系统更直观、更有效的工作环境。Windows 环境具有 DOS 不具备的许多优越特性, 它为设计漂亮、统一和友好的用户界面提供一种全新的方法, 应用程序接受输入键盘、鼠标器和定时器的消息, 具有相同的格式, 并以相同的方式处理。它又是一种非剥夺式的多任务系统, 一次可以运行多个应用程序, 每个应用程序都有各自的窗口, 它采用下拉菜单和对话框代替 DOS 提示符, 而 DOS 命令也被 Windows 画面所代替。

Windows 应用程序比 DOS 有更好的有序性, 它提供一套与设备无关的图形函数, 可以方便地调用这些函数来实现各种硬件操作. 其接口 (API) 的要旨是高级编程, 为软件工作人员免除了所有直接写硬件的操作, 使任何能顺利进行 Windows 机制的机器都能支持全部通过 Windows API 编制的软件.

基于上述 Windows 的特点及编程方面的方便, 我们决定以它作为本软件的工作平台, 开发一套具有实用价值的应用程序.

3.3 Windows 应用程序编程的基本原理

一个 Windows 应用程序可以分解为命名为 Windows 的主函数和窗口函数等两个基本部分. 前者为应用程序的入口点, 而後者的任务则是通过要求 Windows 完成各种指定操作. Windows 应用程序的主要特点就是消息循环, 它是从应用程序队列中检索输入消息, 并把它发往相应窗口, 图1以框图形式示出消息循环的情形.

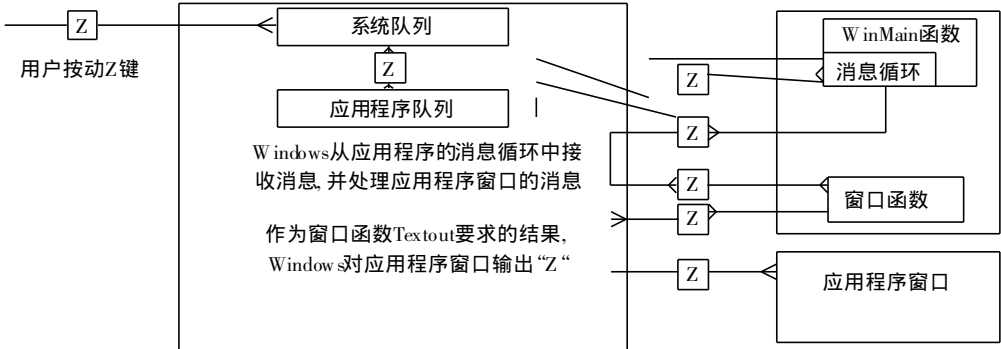


图1 消息循环框图

3.4 系统分析

本软件以数值计算为核心, 包括输入、输出、计算和作图等模块, 现将系统结构表示如下.

(1) 系统分析框图, 如图2所示; (2) 软件结构框图, 如图3所示.

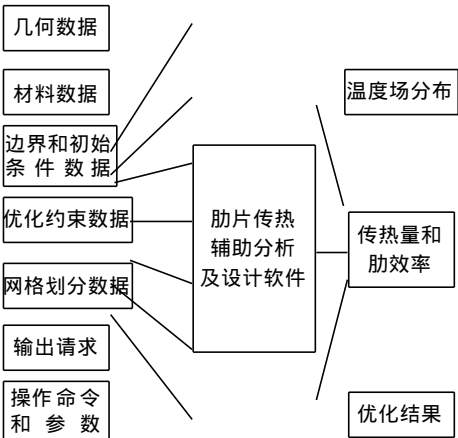


图2 系统分析框图

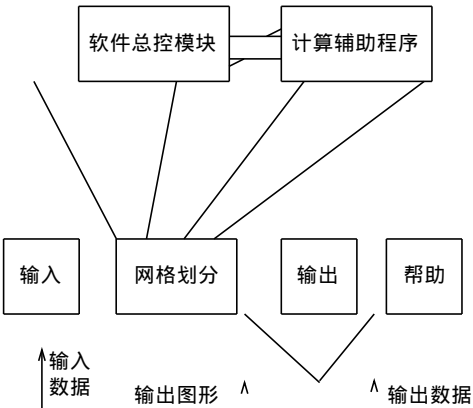


图3 软件结构框图

3.5 主控模块的设计

主控模块的作用是根据消息调用相应的模块完成相应的操作, 它主要有下面几个方面的设计.

(1) 主窗口的设计: 包括窗口数的登记和创建窗口.

(2) 窗口函数的编写: 它处理从系统接收的输入消息和窗口管理消息, 根据消息调用相应的模块.

(3) 菜单的设计: 本程序中的菜单项较多. 最上层菜单共有6个, 分别是 Input, Calculate, Display, Printer, Help 和 Exit. 每个菜单下又包括了数个子菜单. Input 菜单下又分为 Input Data, Griding, Open, Save, About Program 等5项; Calculate 菜单包括 Begin to Run, Run Cancel 等2项; Display 菜单包括 Text Display, Picture Display 等2项; Printer 菜单包括 Text Display, Picture Display 等2项; Help 菜单包括 Index, Keyboard, Using Help 等3项. 所有这些菜单都在资源描述文件中定义.

### 3.6 输入模块的设计

对话框是用户输入的重要手段, 也是提高工作效率的秘诀所在. 对话框允许用户在窗口的项表中选择所需的项, 根据需要位置按钮或直接从键盘输入字符串和数字. 因此, 输入模块的设计主要是对话框的设计, 它包括如下三个内容: (1) 在资源文件中定义对话框资源; (2) 编写对话框的窗口过程函数; (3) 处理对话.

对话框的基本形状如图4所示. 选择 Precede 项进入前一个对话框; 选择 Continue 项进入下一个对话框; 选择 Exit 退出对话框; 选择 Help 项进入帮助提示.

下面列出各个对话框的功能.

(1) 工作方式选择对话框: 此对话框安排了两个无线按钮, 选择 Q optimization 进行肋片最优化传热分析; 选择 Calculate 进行肋片传热的数值计算.

(2) 输入数据方式选择对话框: 定义了两个无线按钮, Load Data From Files 为从文件读入数据; Input Data From Keyboard or Others 为从键盘或其它设备输入数据.

(3) 传热方式选择对话框: 有两个无线按钮, 即 Radiation Condition 和 Non Radiation.

(4) 肋片形状选择对话框: 定义了两组选择. 第一组有两个无线按钮, 即 Straight Fin 和 Annular Fin; 第二组有4个无线按钮, 即矩形(或梯形)、一次双曲线形、二次双曲线形和抛物线形.

(5) 材料选择对话框: 有一列表框, 用来选择所要材料及其参数. 如所选材料在对话框找不到, 则可点 New 按钮, 调另一对话框, 输入新的材料名称及其参数(密度、导热系数和比热等).

(6) 传热状态选择对话框: 有两个无线按钮, 即 Unsteady Heat Transfer 和 Steady Heat Transfer.

(7) 非稳态边界条件输入框: 共有六个对话编辑框, 可分别输入对流换热系数( $h_a$ )、对流换热系数随位置变化系数( $m$ )、肋根平均温度( $T_{bm}$ )、环境温度( $T$ )、肋根温度波动频率参数( $\omega$ )和肋根温度波动幅度参数( $\epsilon$ ).

(8) 稳态边界条件输入框: 有四个对话编辑框, 可分别输入对流换热系数( $h_a$ )、对流换热系数随位置变化系数( $m$ )、肋根平均温度( $T_b$ )和环境温度( $T$ ).

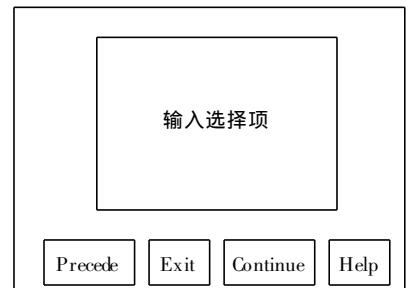


图4 对话框图

(9) 材料及其参数输入框: 可输入材料的名称以及材料的有关参数——导热系数( $h_a$ )、导热系数随温度变化系数( $\alpha$ )、材料密度( $\rho$ )和材料的热容量( $C$ )。此外, 还设定一个 Save 按钮用来执行输入  $\sigma$  参数的存储。

(10) 肋片形状参数输入框: 有六个对话编辑框, 可分别输入肋根半径( $R_b$ )、肋端半径( $R_0$ )、肋根厚度( $b$ )、肋端厚度( $\delta$ )、肋片斜率参数( $\lambda$ )和肋间距( $e$ )。

### 3.7 输出模块的设计

输出模块应完成如下任务: (1) 将肋片的各个结点的温度值、结点之间的温度梯度、最终肋效率、最大传热量以及所有用户输入的数据参数信息, 按照报表的形式分别输出到屏幕和打印机; (2) 将肋片中结点的温度值, 用不同层次的彩色直观显示; (3) 显示不稳态传热计算中温度场数据; (4) 显示肋片网格划分数据; (5) 提供所有输出数据和图形的存盘功能。

输出模块主要有以下几部分组成: (1) 计算结果报表输出子模块; (2) 肋片温度场及肋片网格划分显示子模块; (3) 数据存贮子模块; (4) 不稳态传热计算过程显示子模块。

## 4 结束语

本软件研究历时一年多, 完成了肋片传热的数学物理模型的选择和推导, 软件的系统分析和设计, 程序的编写和调试等工作, 经过在 IBM-PC(486) 以及在 Novell Netware 3.11 网络环境下运行检验, 已经达到了设计的预定目标, 具有工程实际应用和进一步开发、推广的价值。

### 参 考 文 献

- 1 Rigelos P. The optimum dimensions of circular fin with variable thermal parameters. Journal of Heat Transfer, 1983, 102(8): 420 ~ 425
- 2 李亮斌, 杨翔翔. 在辐射和对流条件下肋片传热的研究. 华侨大学学报(自然科学版), 1989, 10(4): 447 ~ 453
- 3 杨翔翔, 许绿丝. 变热特性参数条件下环形肋片非稳态传热研究. 华侨大学学报(自然科学版), 1996, 17(3): 289 ~ 293

## General Programming for the Finned Heat Transfer and Its Optimization

Lin Rongde      Yang Xiangxiang

(Dept. of Chem. & Biochem. Eng., Huaqiao Univ., Quanzhou 362011)

**Abstract** The general calculator program of heat transfer of fins in various shapes and the analyzer of its optimization are studied under the condition of variable factors. The authors construct a mathematical model for heat conduction by radiation and convection; and carry out numerical solution by applying Runge-Kutta method in combination of Newton iteration method; and finally, develop a set of small-size applied software for the CAD of finned heat transfer and its optimization.

**Keywords** fin, heat transfer, general programming, variable factors, applied software