

中国工程热物理学会

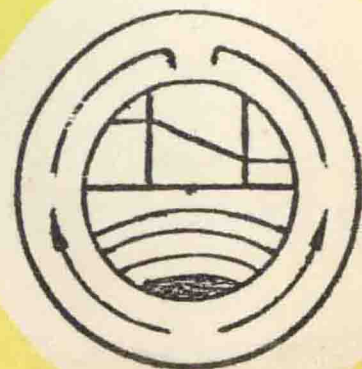
传热传质学术会议

论文集

一九九四

大连

中国工程热物理学会编



传热传质学学术会议论文集

目录

I. 热传导

- 肋片温度周期性变化的传热研究 杨翔翔 何宏舟 I-1-8
- 拓展 IHCP 原理测算物体导热系数方法的最优化问题
..... 林瑞泰 欧峰山 冯树立 I-9-8
- 接触热阻研究中的几个问题 顾慰兰 I-17-7
- 直角坐标系中一维生物传热方程的分析解及实验检验
..... 王补宣 王艳民 蔡伟明 I-24-6

II. 自然对流

- 环形空腔在不同倾角下自然对流换热的实验研究
..... 杨强生 赵嘉 范云良 II-1-6
- 竖环形空腔内有均匀容积热源时自然对流换热的数值研究
..... 魏琪 杨世铭 II-7-8
- 高 Ra 数横圆柱外自然对流换热的实验研究 张智增 杨世铭 II-15-8
- 园内开缝圆环自然对流换热数值解的唯一性
..... 杨沫 陶文铨 杨金顺 金虹 II-23-5
- 水平矩形空腔各向异性多孔介质中的自然对流
..... 张靖周 李立国 孙仁洽 II-28-6
- 二维非定常自然对流问题的特征 - 有限元算法 王同科 II-34-6
- 加热速率对激发浮区液桥振荡对流的影响
..... 解京昌 王根方 胡文瑞 II-40-5
- 由热、质量扩散和化学反应引起的垂直平板层流自然对流的相似性解
..... 许学洛 夏晶 II-45-8

III. 受迫比混合对流

- 空气在微矩形槽道簇内的对流换热 张培杰 辛明道 杨军 III-1-6
- 液膜强化传热的数值研究 夏春林 刘德彰 吴国钊 III-7-6
- 液态金属在环管进口段传热和轴向导热对其影响
..... 张贵勤 向明忠 单建强 III-13-8
- 三维内肋管内油的受迫对流换热实验 吴双应 辛明道 廖强 III-21-6
- 水在微矩形通道簇内进口区层流对流换热的数值计算
..... 张培杰 辛明道 III-27-6

高湍流度对平板边界层传热的影响	张小章	夏春林	王宝官	Ⅲ-33-4
热分层传热流动模型的初步研究	席时桐	高殿武		Ⅲ-37-3
触媒管内换热特性的实验研究	罗棣庵	尤先先	王补宣	Ⅲ-40-8
绕花丝多孔体强化管间换热的实验研究	罗棣庵	张阳兵		Ⅲ-48-6
钢制串片散热器通道内换热规律的实验研究				
.....	童小玲	肖曰嵘	阎雅丽	Ⅲ-54-6
三维离散倾斜肋的传热强化及流动特性	胡振军	神家锐		Ⅲ-60-8
环状扇形通道中紊流充分发展换热的实验研究	吕树申	陶文铨		Ⅲ-68-6
矩形通道内一侧带粗糙元的周期性充分发展流强迫对流换热				
.....	王秋旺	陶文铨		Ⅲ-74-6
亚临界与超临界压力水的受迫与混合对流传热与传质				
.....	姜培学	任泽需	王补宣	Ⅲ-80-8
管壁热边界条件对三维内肋管内对流换热特性的影响				
.....	廖强	辛明道		Ⅲ-88-5
关于平板边界层流动实验的讨论		金峰		Ⅲ-93-3
叶根端壁换热特性实验研究	杨秀花	郑莉	陈凡	姚永庆
				Ⅲ-96-6
底面加热的微矩形通道簇内层流充分发展区的强制对流与导热耦合换热的数值分析				
.....	张培杰	辛明道	廖强	Ⅲ-102-6
温差场均匀性对换热器效能的影响				
.....	过增元	胡槐林	李志信	周森泉
				熊大曦
				Ⅲ-108-8
热可压缩流体的流动和传热	过增元			Ⅲ-116-6
重力加速度对竖直同心套筒混合流动的影响	梁新刚	过增元		Ⅲ-122-6
在不同边界条件下内翅管管内层流换热特性分析	王泽宁	周强泰		Ⅲ-128-8
方形通道内非牛顿流体的强化传热	林成先	葛绍岩		Ⅲ-136-8
叶尖间隙的分析与计算	王宝官	李玲		Ⅲ-144-6
厚翅片管内流体流动和传热的数值分析	张政	张素平		Ⅲ-150-6
加热对二维平行壁面剪切流动稳定性影响的探索				
.....	杨立	华顺芳	杜先之	Ⅲ-156-8
射击过程中燃气对身管的热散失和身管壁温的计算	陶其恒			Ⅲ-164-8
横掠针形管(Sounrod)管簇传热和阻力特性的试验研究				
.....	朱德书	姚寿广		Ⅲ-172-6
高超音速流动中热对流动影响的研究				
.....	桂业伟	过增元	李志信	Ⅲ-178-6
幂律型流体在周期性变化区域中充分发展数值分析及阻力计算				
.....	郑坚强	张政		Ⅲ-184-8

液体火箭发动机推力室的再生冷却模型及计算机仿真	祁锋 III-192-8
-------------------------------	--------------

IV. 相变换热

微型槽结构的冷却特性	彭晓峰 王补宣 项光明 IV-1-6
R_{152a}/R_{22} 非共沸混合工质竖管内凝结换热的研究	蔡放 王维城 IV-7-6
饱和蒸气沿水平管外轴向强制对流凝结换热的数值分析	李维仲 王维成 卫子端 IV-13-6
非等温面沸腾换热关系	刘秋生 沈孟育 IV-19-9
两相半开式热虹吸管的沸腾传热研究	朱华 屠传经 IV-28-6
凝结式降膜吸收的实验研究和理论	郭开华 陈利平 舒碧芬 IV-34-8
空隙率对竖管凝结换热的影响	罗稼庵 尤先先 张彦峰 IV-42-6
铜锭模铸造及使用过程真三维温度场数值分析与热象图测试	傅广瑞 郑贤淑 姚山 IV-48-8
热虹吸式风冷散热器的沸腾滞后现象及其对散热器性能的影响	胡槐林 周宜辉 王爱俊 IV-56-5
垂直加热管外自由降膜流的破断特性	蒋章焰 宋金田 孔旭静 郭朝阳 IV-62-6
R_{12} 蒸汽在三维内翅管中凝结流动的传热及流阻特性的研究	童明伟 莫海龙 段桂英 IV-68-5
名义冻结比热在水冻结过程数值计算中的应用	冯亦步 闫泽生 IV-73-7
均匀受热并联竖管内汽-液两相流动的理论分析	牟楷 吉彪 IV-80-6
不同饱和蒸汽压力下 R_{11} 在水平低肋管和 C 管外凝结换热实验研究	廖强 辛明道 IV-86-6
第三类边界条件下冻融过程的实验模拟技术	王补宣 马骥 IV-92-6
下部管排高热流密度加热时翅片管束的沸腾换热	李志信 E.Hahne IV-98-6
多孔层在高于一个大气压下的临界沸腾	张洪济 蒋爱华 IV-104-6
多孔层在低于一个大气压时的沸腾滞后	童庆明 张洪济 IV-110-6
沿平板具有微槽结构表面的流动沸腾传热实验研究	王补宣 刘荣 彭晓峰 项光明 IV-116-6
水平管束池内沸腾换热的实验研究	温志敏 朱长新 周芳德 IV-122-6
矩形腔内接触熔化的研究	陈文振 程尚模 罗臻 IV-128-6
两相封闭热虹吸管内二元混合工质初始沸腾的研究	曲伟 夏新林 刘风华 刘纪福 IV-134-5

高粘幂率流体垂直管内流动沸腾 CHF	刘均洪 叶林 柳和生 严义刚 丁海德 IV-139-6
高粘假塑性流体流动沸腾流型研究	刘均洪 叶林 柳和生 任建勋 刘建 IV-145-6
有关带蜂窝状结构空气层复合传热研究	浅古丰 山口义幸 陈礼顺 IV-151-18
提拉法晶体生长熔体表面张力热驱动流及其对流不稳定性研究	邬小波 耿旭 过增元 IV-169-6

V. 多孔介质传热与传质

一种测量含湿多孔体中动态湿分布的方法	季杰 高举文 葛新石 黄护林 V-1-5
多孔介质自然对流中温度梯度与浓度梯度的相互耦合	陈宝明 王补宣 方肇洪 V-6-5
神经元网络用于固定床中温度分布的关联	万锡仁 V-11-8
吸附床传热传质强化的研究分析	刘震炎 傅祝满 葛新石 苏跃红 王永堂 V-19-5
地热田中的热质传递及动态响应研究	王补宣 胡柏耿 V-24-6
饱和含湿多孔介质中环绕水平圆柱的自然对流	D.M.Christopher 王补宣 V-30-6
高初始含湿多孔介质干燥过程的传热传质研究	王朝晖 涂颀 V-36-6
用大空隙率多孔体强化管内换热的研究	罗棣庵 陈庚 邢守祥 V-42-8
多孔物料降速干燥阶段水分蒸发机理	李友荣 靳明聪 唐经文 V-50-5

VI. 高温与热辐射

抛物柱面聚焦器焦平面上辐射通量分布的理论和实验研究	赵建中 葛新石 李业发 剑乔力 高崇杰 VI-1-6
煤在热载体流化床中的热解模型	吴文渊 张子栋 陆慧林 杨励丹 鲍亦令 VI-7-6
内表面温度一定的双层平板红外 CAT 解法	宋利明 王红 杨泽宽 王朋 VI-13-7
W 型火焰煤粉锅炉燃烧室中冷态二维流场测试及火焰三元传热数值计算	陆肖马 徐旭常 嵯玉群 VI-20-7
矩形肋壁通道壁面间复合换热的数值模拟	夏新林 余其铮 谈和平 刘纪福 VI-27-6
涡旋流场对电弧等离子体射流稳定性的影响	雷明凯 马腾才 VI-33-4

平行通道中强制对流和辐射组合换热的理论模型的初步研究	席时桐 宋徐辉 VI-37-7
高温电离气体中微细颗粒的加热	陈熙 王艳丹 陈积 VI-44-6
有引射掺混时双收敛尾喷管内温场与辐射通量场	夏春林 刘德彰 VI-50-6

VII. 工业应用、换热器及其它

换热网络的最优设计	韩玉阁 宣益民 VII-1-6
吸收式热泵降膜吸收过程数学模型	郭开华 舒碧芬 陈利平 VII-7-8
鼓泡式冷却机理分析及实验	童明伟 刘小云 邓小桅 VII-15-4
喷射式热力除氧的脱气效率研究	童明伟 邓小桅 刘小云 VII-19-4
循环床中气固两相局部传热传质规律的研究	陆丰 施明恒 马武忠 VII-23-7
应用多元多项式回归原理建立电站直接空冷凝汽器变工况特性方程	高玉忠 谢鸣 马义伟 VII-30-5
三分仓容克式空预器传热传湿研究	杨纯 孙坚荣 郭卫东 VII-35-8
玉米垂直热吹风干燥中对流换热系数和当量导热系数的确定	曹伟 褚治德 VII-43-4
热交换器内流体混合程度对其性能的影响	王中铮 刘可心 郭新川 谷操 VII-47-6
汽车散热器的强化传热	冯明志 金晶 VII-53-6
宽筛分床料循环流化床传热模型	程乐鸣 骆仲浈 倪明江 李绚天 方梦祥 岑可法 VII-59-9
振动流化床的强化传热传质	褚治德 宋扬 杨俊红 孙延禄 VII-68-6
磁流化床的流动和传热特性	S.C.Saxena 钱壬章 VII-74-6
人体在局部受热情况下温度分布的预测	彭见曙 夏雅琴 王蕴华 VII-80-7
逆流换热器效能的分析	周森泉 过增元 胡桅林 李志信 VII-87-6
相变叉流换热器效能的分析	周森泉 过增元 胡桅林 李志信 VII-93-6
油散热器的性能试验及其评价传热与流阻综合性能的方法	詹宗勉 袁金良 高万功 潘延龄 VII-99-8
非饱和含湿多孔介质微波冷冻干燥的传热传质模型	王朝晖 施明恒 虞维平 VII-107-6
多层流化床内气—固间传质传热的实验研究	周卫 刘登瀛 王雪峰 贾建国 孔繁英 孟群 VII-113-8

计及污垢影响的换热器热优化	徐志明	杨善让	陈钟顺	VII-121-6
换热器网络优化设计	郭维琳	张越民	黄为民	VII-127-8
热管式重油冷却器的可行性研究			徐礼华	VII-135-6

VII. 数值模拟

等参数四边形单元在求解温度场中的应用	李维特	VIII-1-7				
合金凝固传输的混合介质模型及数值求解	徐达鸣	李庆春	VIII-8-8			
高速旋转转子温度分布的有限元方法	邹中杰	丁保庚	VIII-16-8			
蒸气爆炸现象的物理数学分析初探	俞昌铭	熊音	VIII-24-6			
考虑冷凝层的注塑充模过程数值模拟						
..... 周昆颖	陈罕	冯连勋	史银萍	李守杰	李素云	VIII-30-6
垂直喷射薄多孔介质表面对流传质数值研究						
..... 蒋书兴	章熙民	李汛	VIII-36-6			
谷粒内部水分扩散过程的数值模拟	李业波	曹崇文	VIII-42-8			
辐射传递方程的反演计算及数值模拟 — 远距离遥感确定半透明介质内的温度场 ...						
..... 谈和平	余其铮	阮立明	VIII-50-8			
N-S 方程的控制容积有限元方法	王旭	严传俊	VIII-58-6			
循环注液时井筒与地层温度分布的数值计算方法						
..... 卢祥国	高振环	赵小京	VIII-64-5			

IX. 测量与显示技术

热敏电阻式热针的理论和实验研究	程曙霞	蒋玉凤	IX-1-4		
用直单热丝旋转方法测量弯曲管流	许承	郭荣伟	IX-5-6		
管内局部对流换热系数的瞬态测量方法	宣益民	W.Roetzel	IX-11-6		
硅基板上 CVD 沉积金刚石膜的热扩散率和热导率					
.....	顾毓沁	余立新	IX-17-7		
用蜃景效应测量热扩散率时精度的研究					
.....	谈瑞龄	干昌明	章肖融	周俊羽	IX-24-6
微小区域热场的测试与分析					
.....	朱德忠	顾毓沁	何东明	李海元	IX-30-6
微弱动态温度信号的低通和自适应平滑方法					
.....	何东明	罗晓迎	顾毓沁		IX-36-6

肋片温度周期性变化的传热研究

杨翔翔 何宏舟

(华 侨 大 学)

摘 要 本文研究了肋片根部温度作周期性变化时的传热规律。利用分离变量技术,对所建立的控制微分方程进行分解组合,并用数值计算方法进行求解,其中稳态部份应用不变插值原理,波动部份应用叠加原理,求解过程是非迭代的。

对于某种形状的肋片而言,其传热过程受下面三个无因次参数的制约: N —肋片传热的特性参数; B —温度波动的频率参数; ε —温度波动的幅度参数。文中讨论了肋片的温度分布、热流率以及肋效率受这些参数变化的影响。所得结果不但具有理论价值,而且对工程设计也有现实指导意义。

关键词 肋片 分离变量技术 不变插值原理 叠加原理

一、前 言

在航空航天设备,太阳能集热器,内燃机和电子设备中,广泛采用肋片以达到增强传热的效果。在多数情况下,肋片的根部温度对时间具有很大的依赖性。有关这方面肋片的传热机理,J. W. Yang [1]曾对矩形肋片变肋根温度的传热进行过研究,得到了分析解。后来,A. Aziz 和 T. Y. Na [2]又进一步考虑了热特性参数变化时对肋片传热效果的影响,但也仅局限于对形状最简单的直肋的研究。本文将对在现实中更广泛应用的其它复杂形状的肋片,当肋根温度随时间作周期性变化时的传热过程进行研究。

二、分 析

考虑如图1所示的梯形截面直肋的传热。对图1中的肋片传热模型作如下假定:(1) 定热特性参数 h, k ;(2) 肋片根部温度按余弦规律作周期性变化

$$T_b - T_{bm} = (T_{bm} - T_a)\varepsilon \cdot \cos \omega \tau \quad (1)$$

(3) 肋片端部绝热,对于端部是非绝热的情况,可根据文献[3]所介绍的方法转化为绝热边界条件求解;(4) 一维传热模型。

根据上述假定,其瞬态传热控制方程为

$$\frac{\partial}{\partial x} [k \cdot y \cdot \frac{\partial T}{\partial x}] - \frac{h(T - T_a)}{\cos \alpha} = \rho C \cdot y \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2)$$

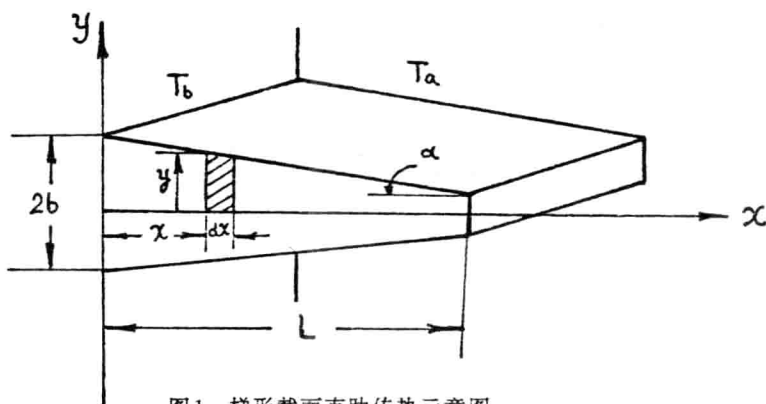


图1 梯形截面直肋传热示意图

边界条件是

$$x = 0, \quad T = T_b; \quad x = L, \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

无量纲化, 则得

$$\frac{\partial}{\partial X} [Y \frac{\partial \theta}{\partial X}] - N^2 \theta = Y \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (3)$$

边界条件相应为

$$X = 0, \quad \theta = 1 + \varepsilon \cos Bt; \quad X = 1, \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} = 0 \quad (4)$$

三、求解

为求解方程式(3)及(4), 可利用变量分离技术。把 $\theta(X, t)$ 分解为稳态部分 $\theta_1(X)$ 和波动部分 $\theta_2(X, t)$, 写成

$$\theta(X, t) = \theta_1(X) + \theta_2(X, t) \quad (5)$$

把式(5)代入式(3), 可得

$$(Y \frac{d^2 \theta_1}{dX^2} + \frac{dY}{dX} \cdot \frac{d\theta_1}{dX} - N^2 \theta_1) + (Y \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial X^2} + \frac{dY}{dX} \cdot \frac{\partial \theta_2}{\partial X} - N^2 \theta_2) = Y \frac{\partial \theta_2}{\partial t} \quad (6)$$

结合式(4)和式(6), 可得下列两个方程组

$$Y \frac{d^2 \theta_1}{dX^2} + \frac{dY}{dX} \cdot \frac{d\theta_1}{dX} - N^2 \theta_1 = 0 \quad (7)$$

$$X = 0, \quad \theta_1 = 1; \quad X = 1, \quad \frac{d\theta_1}{dX} = 0$$

和

$$Y \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial X^2} + \frac{dY}{dX} \cdot \frac{\partial \theta_2}{\partial X} - N^2 \theta_2 = Y \frac{\partial \theta_2}{\partial t} \quad (8)$$

$$X = 0, \quad \theta_2 = \varepsilon \cos Bt; \quad X = 1, \quad \frac{\partial \theta_2}{\partial X} = 0$$

方程式(7)是一个二阶线性常微分方程的两点边值问题。如令

$$Z = Y \cdot \frac{d\theta_1}{dX} \quad (9)$$

则式(7)可转化为下面两个一阶微分方程组

$$\frac{d\theta_1}{dX} = \frac{Z}{Y}; \quad \frac{dZ}{dX} = N^2 \theta_1 \quad (10)$$

此时边界条件为

$$X = 0, \quad \theta_1 = 1; \quad X = 1, \quad Z = 0 \quad (11)$$

对于梯形截面肋片而言,有

$$Y = 1 - \frac{L}{b} \cdot \tan a \cdot X \quad (12)$$

用数值积分方法联解式(10)、(11)和(12),可得到 $\theta_1(X)$ 沿 x 方向的分布值。本文采用不变插值原理[4]对上述方程组进行求解。为书写习惯起见,改写式(10)为

$$\frac{dX}{dt} = \frac{Y}{1 - At} = f(X, Y, t) \quad (13a)$$

$$\frac{dY}{dt} = N^2 X = g(X, Y, t) \quad (13b)$$

和

$$X(0) = 1; \quad Y(1) = 0 \quad (13c)$$

求解过程如下,令 $X \Rightarrow c, t \Rightarrow a, Y \Rightarrow r(c, a)$ 。这里“ $\Rightarrow$ ”是赋值符号,不变插值过程的表达式是:

$$\begin{aligned} & r(c, a) + g[c, r(c, a), a] \cdot \Delta \\ & = r[c + f(c, r(c, a), a) \cdot \Delta, a + \Delta] \end{aligned} \quad (14)$$

对应于式(13),有

$$g[c, r(c, a), a] = N^2 \cdot c \quad (15a)$$

$$f[c, r(c, a), a] = r(c, a)/(1 - A \cdot a) \quad (15b)$$

把式(15)代入式(14),并应用不变插值过程中的相互关系

$$r(c, a) \cong r(c, a + \Delta) \quad (16)$$

可得式(13)亦即式(10)的不变插值过程循环控制关系式

$$r(c, a) = r[c + \frac{r(c, a) \cdot \Delta}{1 - A \cdot a}, a + \Delta] - N^2 \cdot c \cdot \Delta \quad (17a)$$

同时由 $Y(1) = 0$,可得

$$r(c, 1) = 0 \quad (17b)$$

联解式(17a)和(17b),采用向后递归的方法,最后可求得 $r(c, 0)$ 即问题的解。

方程式(8)中,由于边界条件中含有 $\varepsilon \cos Bt$ 项,采用复函数求解。设有复函数 $\theta_c(X, t)$ 满足

$$\theta_c(X, t) = \theta_2(X, t) + i\theta_3(X, t) \quad (18)$$

这样来构造 $\theta_3(X, t)$,使之满足方程

$$Y \frac{\partial^2 \theta_3}{\partial X^2} + \frac{dY}{dX} \cdot \frac{\partial \theta_3}{\partial X} - N^2 \theta_3 = Y \cdot \frac{\partial \theta_3}{\partial t} \quad (19)$$

$$X = 0, \quad \theta_3 = \varepsilon \sin Bt; \quad X = 1, \quad \frac{\partial \theta_3}{\partial X} = 0$$

结合式(8)、(18)和(19)知, $\theta_3(X, t)$ 是方程

$$Y \frac{\partial^2 \theta_c}{\partial X^2} + \frac{dY}{dX} \cdot \frac{\partial \theta_c}{\partial X} - N^2 \theta_c = Y \frac{\partial \theta_c}{\partial t} \quad (20)$$

$$X = 0, \quad \theta_c = \varepsilon \exp(iBt); \quad X = 1, \quad \frac{\partial \theta_c}{\partial X} = 0$$

的解。其中, $\theta_2(X, t) = \text{Real}[\theta_c]$ 是解的实部。

为求解式(20), 再次利用变量分离技术, 设 $\theta_c(X, t)$ 有形如

$$\theta_c = \varepsilon \cdot \varphi(X) \exp(iBt) \quad (21)$$

的解, 把式(21)代入式(20)后, 整理得

$$Y \frac{d^2 \varphi}{dX^2} + \frac{dY}{dX} \cdot \frac{d\varphi}{dX} - (N^2 + iBY) \varphi = 0 \quad (22)$$

$$X = 0, \quad \varphi = 1; \quad X = 1, \quad \frac{d\varphi}{dX} = 0$$

式(22)中仍含有虚宗量 $iBY\varphi$, 再次分解 $\varphi(X)$, 令

$$\varphi(X) = \varphi_1(X) + i\varphi_2(X) \quad (23)$$

把式(23)代入式(22), 整理, 得到同解于式(22)的两个方程组

$$Y \frac{d^2 \varphi_1}{dX^2} + \frac{dY}{dX} \cdot \frac{d\varphi_1}{dX} - N^2 \varphi_1 + BY \varphi_2 = 0 \quad (24)$$

$$X = 0, \quad \varphi_1 = 1; \quad X = 1, \quad \varphi'_1 = 0$$

和

$$Y \frac{d^2 \varphi_2}{dX^2} + \frac{dY}{dX} \cdot \frac{d\varphi_2}{dX} - N^2 \varphi_2 - BY \varphi_1 = 0 \quad (25)$$

$$X = 0, \quad \varphi_2 = 1; \quad X = 1, \quad \varphi'_2 = 0$$

方程式(24), (25)是两个二阶线性常微分方程的两点边值问题。本文采用叠加法结合 Runge-Kutta 方法求解[5—9], 既简捷又方便。求解过程是非迭代的。最后可得

$$\theta_2(X, t) = \varepsilon \cdot [\varphi_1 \cos Bt - \varphi_2 \sin Bt] \quad (26)$$

则由式(5), 可得到 $\theta(X, t)$ 的解为

$$\theta(X, t) = \theta_1(X) + \varepsilon \cdot [\varphi_1(X) \cos Bt - \varphi_2(X) \sin Bt] \quad (27)$$

四、 结果与讨论

1. 温度分布

由于肋片的传热效果受温度波动的影响, 因此, 讨论沿肋片的温度分布是很有必要的。

由式(39)可知,沿肋片的温度分布是由一稳态项 $\theta_1(X)$ 及一波动项 $\varepsilon[\varphi_1(X)\cos Bt - \varphi_2(X)\sin Bt]$ 构成的。回顾前面的求解过程发现,稳态项 $\theta_1(X)$ 的解依赖于参数 N ;而波动项除直接与波动幅度 ε 成比例外,其中的 $\varphi_1(X)$, $\varphi_2(X)$ 的求解与参数 N, B 也存在着复杂的关系,因此可以断言,沿肋片的温度分布是受参数 N, B 和 ε 制约的。图2—4给出了当 N, B 和 ε 改变时对肋片温度分布的影响。

为了更好地解释 N 和 B 变化时对沿肋片温度分布的影响,图4给出了在不同的 N 和 B 值情况下肋片上几个点的温度随时间的变化曲线。

2. 热流率 Q

无量纲化的热流率为

$$Q = -[\theta'_1(0) + \varepsilon(\varphi'_1(0)\cos Bt - \varphi'_2(0)\sin Bt)] \quad (28)$$

显然,当 $\varepsilon=0$ 时, $Q=-\theta'_1(0)$,此即为稳态情况时的热流率。因此,是波动项 $\varepsilon \cdot [\varphi'_1(0)\cos Bt - \varphi'_2(0)\sin Bt]$ 引起了热流率的变化。图5给出了在 $B=1.0$ 情况下 N 值变化对热流率 Q 的影响。

图6给出了当 $N^2=0.5$ 和 0.1 时 B 值变化对热流率 Q 的影响。

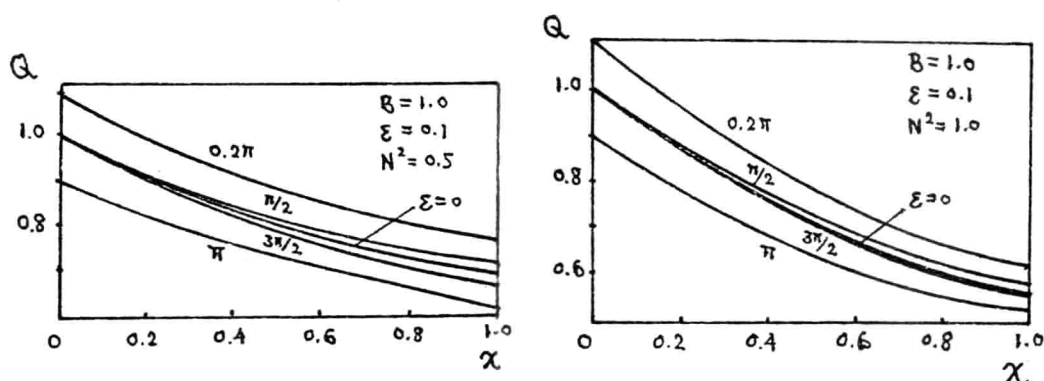


图2 N 变化时对温度分布的影响

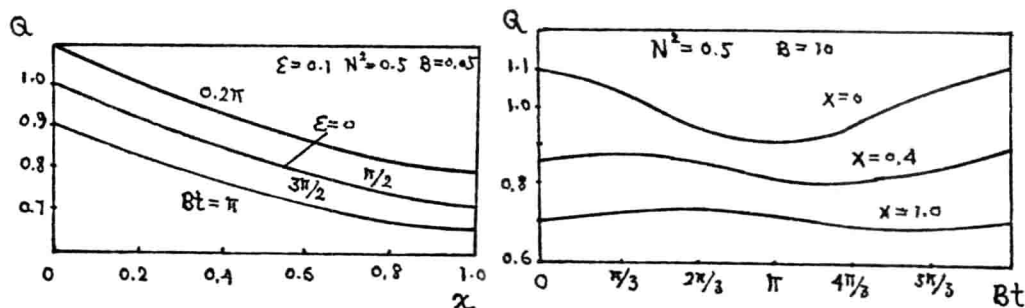


图3 B 变化时对温度分布的影响

图4 不同空间位置的肋片温度与时间的关系

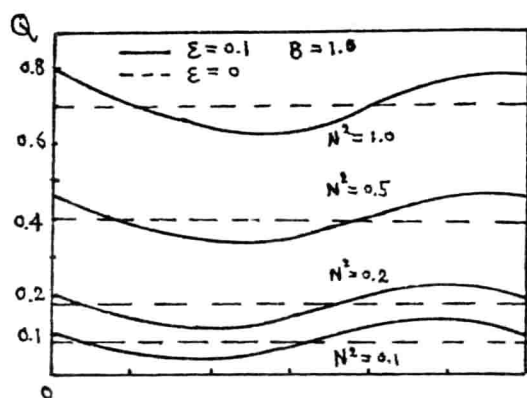


图5 N变化时对热流率的影响

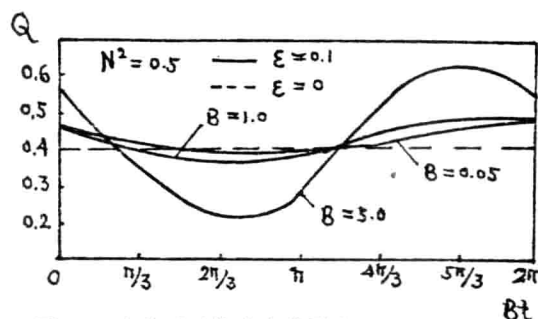


图6 B变化时对热流率的影响

3. 肋效率 η

肋效率是衡量肋片传热效果好坏的重要标志,其定义为肋片实际的散热量与假定整个肋表面均为肋根温度时的对外散热量之比,即

$$\eta = -\frac{1}{N^2} \cdot \frac{\partial \theta / \partial X|_{x=0}}{1 + \epsilon \cos Bt} \quad (29)$$

图7和图8分别给出了N值和B值变化时对瞬态肋效率的影响。

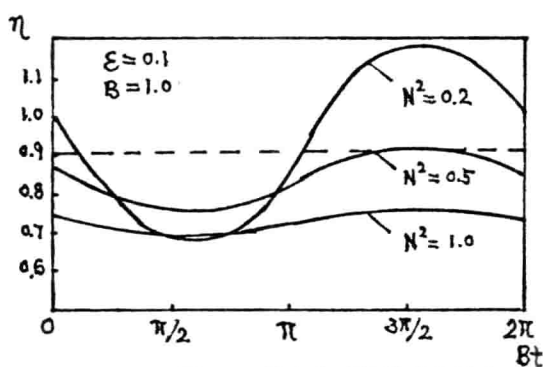


图7 N值变化对肋效率的影响

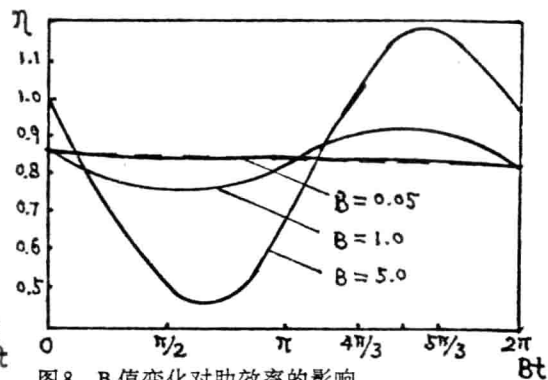


图8 B值变化对肋效率的影响

五、结 论

由于受肋根温度波动的影响,肋片的传热情况与稳态时相比发生了较大的变化。传热过程受三个参数的制约:N、B和 ϵ 。

肋片的温度分布,热流率和肋效率均随时间发生波动。参数B是引起波动的主要因素,而参数N则是抑制波动的因素。当N值较小B值较大时,有逆流发生。然而,对于一定的N值,B值的改变只是影响热流率随时间的波动幅度,不影响它的时间平均值。

尽管本文仅对梯形截面肋片的传热规律进行研究,然而本文所提供的分析求解方法具有普遍意义,对于诸如矩形、三角形及抛物线型等其他截面肋片的变肋根温度传热规律,只需改变文中 $Y(x)$ 的函数关系形式,便可以同样的方法对之求解。

值得指出的是,为简化研究,本文忽略了热特性参数随温度及位置变化的情况。由于变热特性参数是工程现实存在的现象,必须予以考虑,我们将另文对此作进一步的研究。

符 号 表

a 热扩散率	T 肋片根部的瞬态温度
B 肋片温度波动的频率参数	T_{bm} 肋片根部的平均温度
b 肋根半厚度	t 无量纲时间参数
C 肋片材料的比热	X 无量纲肋片高度
h 对流换热系数	Y 无量纲肋片宽度
k 肋片的导热系数	α 梯形肋片倾角
L 肋 高	τ 时 间 变 量
N 肋片传热的特性参数	ρ 肋片材料的密度
q 单位长度肋片的热流率	ε 肋片温度波动的幅度参数
q_b 肋片表面以根部温度传热时的热流率	ω 肋根温度波动的频率
Q 无量纲热流率	θ 无量纲温度变量
$\bar{Q}$ 无量纲化的一个周期中肋片的平均热流率	η 肋 效 率
Q_c 无量纲化的一个周期中肋片的累积热流率	$\bar{\eta}$ 平均肋效率
T 肋片温度	μ 待 定 系 数
T_∞ 环境温度	λ 待 定 系 数

参 考 文 献

- [1] J. W. Yang, Periodic Heat-Transfer in Straight Fins, Journal of Heat-Transfer, August, 1972.
- [2] A. Aziz and T. Y. Na, Periodic Heat-Transfer in Fins With Variable Thermal Parameters, Journal of Heat & Mass Transfer, Vol. 24, No. 8, 1981.
- [3] 杨翔翔,何宏舟,梯形肋片端部第三类边界条件的换热研究. 华侨大学学报(自然科学版), NO. 3, 1993.
- [4] Lee, E. S, Quasilinearization and Invariant-Imbedding, With Applions to Chenical Engineering and Adaptive Control, Academic Press, 1968.
- [5] Milan KuBicek and Vladimir Hlavacek, Numerical Solution of Nonlinear Boundary Value Problems with Applications, Englwood Cliffs, New Jersey, 07632, 1983.
- [6] Sanford M. Roberts and Jerome. S. Shipman, Two-point Boandary Value Problems; Shooting Methods, American Elsevier Publishing Company, INC, NY.

- [7] 俞昌铭, 热传导及其数值分析, 清华大学出版社, 1981.
- [8] J. A. 亚当斯和D. F. 罗杰斯, 传热学计算机分析, 科学出版社, 1980.
- [9] T. Y. Na, Computational Methods In Engineering Boundary Value Problems, Academic Press, New York, 1979.

A Study of Periodic Heat Transfer in a Fin

Yang Xiangxiang He Hongzhou

(*Hua Qiao University*)

Quanzhou 362011, Fujian, PRC

Abstract A study is made on the heat transfer in fin with periodic variation of base temperature. separation of variables is used for decomposing and combining the established governing differential equations; while numerical calculation is used for solving them. The principle of invariant imbedding is applied to its steady component; while the method of superposition is applied to its oscillatory component. The whole solving process is non-iterative.

For a fin of certain shape, the heat transfer process is governed by three dimensionless parameters; characteristic parameter N of heat transfer in the fin; frequency parameter B of temperature fluctuation; and amplitude parameter ϵ of temperature fluctuation. A discussion is devoted to the effects of these parameter changes on temperature distribution and heat flow rate and efficiency of the fin. The results are of practical significance for guiding engineering design as well as theoretical value.

Key words fin, separation of variables, principle of invariant imbedding, method of superposition.

拓展 IHCP 原理测算物体导热系数方法 的最优化问题*

林瑞泰 欧峰山 冯树立

(天津大学热能系, 天津, 300072)

摘 要

本文对拓展与利用 IHCP 原理测算物体导热系数方法的最优化问题进行了更深入的研究、揭示了敏感度系数 X_k^* 、 X_h^* 的变化规律, 得到了最优化判别式, 确定了实测环境与条件、参数优选及最优化测算程序。

符号表:

a : 热扩散系数; Bi : *Boit* 准则; C_p : 比热; Fo : *Fourier* 准则; h : 对流换热系数; k : 导热系数; LB, L , 集总参数物体; x : 空间坐标; $X: \left(= \frac{x}{\delta} \right)$; X_c : 最佳测量位置; X_k^T, X_h^+ : 各为温度对 k 和对 h 的无因次敏感度系数; δ : 试件厚度; ρ 密度; τ : 时间; $\tau_c(k), \tau_c(h)$: 各为 k, h 最佳测算时刻; 下标 0: 初设(算)值; 1, 2: 二个不同值; exp : 实测值; max : 最大值; mc : 测算值; opt : 最优值; r : 真值。

文献〔1〕中提出了一种拓展 IHCP 原理去测算无限大平板物体导热系数的新方法, 该方法将解析解与实验测量结合起来, 既简便又准确还可自动反馈。文献〔2〕指出, 使用该方法时, 其测算结果的精确度与温度测量误差关系密切; 并对 X_k^* 求极值, 确定了使用该方法的最优化原则。在本文中, 将对 X_k^* 与 X_h^* 的变化规律与其影响因素进行进一步定量分析, 以得到在理论上与实际应用上均有价值的最优化分析计算结果, 并对其进行实验验证, 对最优化实际测算、参数选择与程度设计进行探讨。

最优化问题的理论分析与计算

现仍以文献〔1〕所示无限大平板物体为例加以分析, 在无内热源、均质、各向同性、常物性、初始温度 T_i 为恒温, 处于环境温度 T_f 及 h 均为常数的第三类边界条件下, 当 $Fo > 0.01$ 后, 该物体无因次温度分布为:

* IHCP为导热逆(或反)问题的缩写; 本课题是天津市自然科学基金资助项目。

$$\theta(X, \tau) = \frac{T(X, \tau) - T_f}{T_i - T_f} = \sum_{n=1}^4 C_n \cos(\mu_n X) e^{-\mu_n^2 Fo} \quad (1)$$

式中 $T(X, \tau)$ 为物体 X 处温度, μ_n 为特征值, 是特征方程 $\mu_n \operatorname{tg} \mu_n = Bi$ 的解, 即 μ_n 是 Bi 值的函数, 而

$$C_n = \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n} \quad (2)$$

于是有:

$$\theta(X, \tau) = f(BiFo, Bi, X) \quad (3)$$

取 $Bi < 0.01$ 的一导热性能良好的金属块为集总参数物体 (LB), 则其无因次温度分布为:

$$\theta(\tau) = \frac{T(\tau) - T_f}{T_i - T_f} = e^{-BiFo} \quad (4)$$

上式中 $T(\tau)$ 为 LB 温度, 而 $BiFo = h\tau / C_{pL} \rho_L L = \tau_L^+$, τ_L^+ 也是一种无因次温度, $L = V/A$, 其中 V, A 各为 LB 的体积与表面积。重新整理上列二式则有

$$h = \frac{\rho_L C_{pL} L}{\tau} \ln [\theta(\tau)] \quad (5)$$

文献 [1] 所述方法就是: 测定 T_i 及 $T(X, \tau)$ 、 $T(\tau)$ 、 T_f 及时间 τ , 在已知 C_{pL} 、 C_{pmc} 、 ρ_L 、 ρ_{mc} 时, 通过式 (5) 求出 h 值, 再计算 $(BiFo)_{mc}$, 并利用式 (3) 由 $k = h\delta / Bi$ 求出被测物体的 k 值, 上述计算过程是利用计算机进行的 (计算程序从略)。

文献 [2] 和本文研究结果均表明: 温度测量误差 ΔT 对导热系数测算误差 Δk 影响显著, 其显著程度以 k 对温度的敏感度系数 $\partial T / \partial k$ 表示, 将其无因次化, 于是有:

$$X_k^+ = \frac{k}{T_i - T_f} \frac{\partial T}{\partial k} \quad (2) \approx \frac{k}{T_i - T_f} \frac{\Delta T}{\Delta k} \quad (6)$$

显然, 当 $k / (T_i - T_f)$ 为定值时, X_k^+ 值愈高, 则意味着 ΔT 值高而 Δk 值低, 也就是说即使温度测量误差大也没有引起 k 值测算误差增加, X_k^+ 值愈低结果则相反。

对前述条件下的无限大平板, 可将式 (1) 对 k 求偏导再代入式 (6) 可得到:

$$X_k^+ = \sum_{i=1}^4 (\theta_i \Phi_i) \quad (7-1)$$

式中 θ_i 如式 (1) 所示, 而

$$\Phi_i = (G_i + H_i + P_i) R_i - \mu_i^2 Fo \quad (7-2)$$

$$G_i = X \operatorname{tg}(\mu_i X) \quad (7-3)$$

$$H_i = 2Fo\mu_i \quad (7-4)$$

$$P_i = (c \operatorname{tg} \mu_i) \frac{\mu_i - \cos \mu_i \sin \mu_i}{\mu_i + \cos \mu_i \sin \mu_i} \quad (7-5)$$

$$R_i = \frac{Bi}{\operatorname{tg} \mu_i + \mu_i \sec^2 \mu_i} \quad (7-6)$$

由以上各式知