

工程传热学

525422

[美] B.V.卡里卡 R.M.戴斯蒙德 著

刘吉萱主译

人民教育出版社

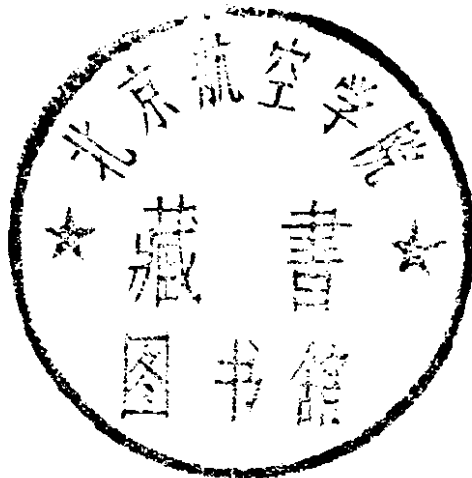
525422

TK124
05

工程传热学

[美] B. V. 卡里卡 R. M. 戴斯蒙德 著

刘吉萱 主译



C0224610

人民教育出版社

内 容 简 介

本书系根据美国B. V. 卡里卡教授与R. M. 戴斯蒙德教授合著的《工程传热学》(Engineering Heat Transfer)第一版(1977)译出。

本书系统地论述了传热学的基本原理。全书共十一章,分别阐述了导热、对流换热、辐射换热及换热器等基本理论。导热部分除系统介绍各种稳态与不稳态问题的分析解法外,用一章的篇幅详细介绍了导热问题的数值解法,并给出了用计算机解题的方法和步骤;对流换热部分加强了理论分析,并尽量介绍了最新的计算关系式;辐射换热分两部分阐述,并讨论了网络法。本书物理概念清楚,推导详细,讲解深入浅出,并附有大量例题和习题。译文采用国际单位制。

本书适于高等院校动力机械、工程热物理、航空、化工、建筑及仪表等专业师生及有关科技人员参考。

工 程 传 热 学

〔美〕B. V. 卡里卡 R. M. 戴斯蒙德 著

刘吉萱 主译

*

人 民 教 育 出 版 社 出 版

新华书店北京发行所发行

沈阳新华印刷厂印装

*

开本850×1168 1/32 印张16.25 字数390,000

1981年11月第1版 1983年4月第1次印刷

印数00,001—10,000

书号15012·0375

定价2.05元

译者序

本书根据美国 B. V. 卡里卡 (B. V. Karlekar) 教授与 R. M. 戴斯蒙德 (R. M. Desmond) 教授合著的《工程传热学》(Engineering Heat Transfer) 第一版(1977) 译出。

关于本书的特点, 著者在原序中做了恰当的说明。此外, 译者认为, 本书反映了传热学这一学科的最新研究成果。在导热部分, 著者除了系统叙述各种稳态与不稳态问题的分析解法(包括有内热源的问题、变物性的问题等)之外, 突出了数值解法, 导出了各种边界条件下的节点方程, 讨论了不稳态问题的稳定性条件, 并叙述了用计算机解题的方法和步骤; 在对流换热部分, 著者侧重于加强理论分析, 用相当大的篇幅叙述了对流换热的流体力学基础和分析解法。同时也强调了实验研究方法, 并尽量给出了最新的计算关系式; 在辐射换热部分, 著者首先介绍了计算实际的辐射换热问题的简化模型, 尔后深入讨论了几个具体问题。这一章还比较详细地讨论了求解辐射换热问题的网络法。

本书著者特别注重于讲清各种热传递问题的物理实质。诸方程的推导大都从基本物理定律出发, 来龙去脉清晰, 推演详细, 讲解深入浅出。书中穿插有较多例题, 章末附有习题。

原书并用 SI 单位和英制单位。为了节省篇幅, 译文中删去了绝大部分英制单位的内容(主要是习题与附录中的英制单位部分)。因为两种单位的习题和附录的内容是重复的, 删去其中的英制部分无损于原著的完整性。译文保留了书中的英制例题, 但已换算为 SI 单位。

本书第一、二、三、四、五、六、八、九章由刘吉萱译出, 第七

章由夏同棠译出，第十、十一章和附录由魏杰译出。最后由刘吉萱对全书译文进行了统一修改并定稿。另外，王培宣和宋大雄曾分别初译了第八章和第十章，给这两章的正式译出提供了参考。

译者水平有限，译文中有不妥或谬误之处，敬请批评指正。

译 者

1981. 1

原 序

这本教科书是为大学传热学基础课程编写的，其内容适合于有关的工程技术专业。它可以作为季度制或半学年制的单一学程的教材，也可以作为季度制相继两个学程的教材^①。

最近几年，教育家们已经开始关注更切合实际的工程技术问题。为此，本书的编写着重于问题的物理解释，但同时又注意到不损害数学上的严密性。

本书论述导热、对流换热和辐射换热等基本课题，论述它们在换热器中的应用以及导热问题的数值解法等等。在介绍这些知识的过程中，我们的基本原则是，先讨论特殊问题，尔后再推广到一般情况。当讨论任何一个课题时，我们都预先告诉读者学习这一具体部分的目的以及达到该目的的方法或步骤。我们认为这一点是特别重要的，否则，初次阅读这些内容的学生会不知从何入手，不能充分理解为他们所安排的解决问题的途径。书中有些内容是通过叙述简单的物理实验介绍的，而不是单纯地罗列现象的数学模型。我们常常看到，工科学生把他们在微积分课程中学到的微积分知识应用于工程技术问题时是有困难的。为此，在处理与热传递现象有关的方程式时，我们尽力结合了典型微积分课程中所学习过的方法。

第一章是传热学总的概括介绍。第二章深入讨论了一维导热问题(包括圆柱系统与球体系统)，具有内热源的系统和变导热系数系统也在本章讨论。第三章论述二维导热，重点是介绍导热形状因数，精确分析解法则作为选择内容收入本章，而数值解法留

^① 美国的学年有一年两学期制和一年四学期制(即季度制)——译者注。

在本书稍后部分再去讨论。第四章是有关不稳态导热的内容，重点是集总参数系统和图线法。

导热问题的数值解法单独构成一章。在这一章里，我们用例题说明那些难以用分析法求解的问题怎样可以较容易地用数值法解决。虽然不少问题是可以用法解的，但往往都是些比较简单的问题。若边界条件稍微复杂一些，分析解的形式就显得太繁杂，不便于实际使用。所以，人们总是不得不去求助于数值法。对热传递的基本原理和求解实际导热问题的近似方法感兴趣的教师将会发现，第一章至第五章再加上第十章是能够满足他们的要求的。

第六章讲辐射换热。与大多数传热学教科书所讲授的方法不同，本书把该章的内容分成了两部分。第一部分引进最低限度数量的参数，以便解决涉及到热辐射的典型的技术热传递问题。当学生对这个问题逐渐有了一些感性认识并增强了信心之后，再在第二部分阐述辐射换热的详细物理特性。

我们单独编写了一章(即第七章)讲述挑选出来的有关流体流动的内容，而不在研究强制对流的第八章中讨论流体动力学问题。凡是只对热传递方面感兴趣的读者，可以跳过第七章不学。第八章讲强制对流，介绍了平板问题的积分解法和微分分析法。这一章还包括了量纲分析的一节。第九章讨论自然对流换热，我们尽量介绍了努谢尔特数的最新关系式。

矩形肋与套管式换热器的分析构成第十章的内容。该章还讨论了对数平均温差(LMTD)法和传热单元数(NTU)方法。第十一章介绍相变换热课题。

显然，越来越多的国家、行业和学校正在向使用米制单位过渡。可以预料，在今后十年里，人们将在由英国工程制向国际单位制(或称SI)转变方面做重大努力。正因为考虑到这一发展趋

势，本书的所有参数表、例题和习题都用了两种单位制。这样，教师就可以在SI单位和英制单位中任选一种使用，或两种同时使用。

尽管已经意识到介绍换算系数 g_c 对于使用SI单位是多余的，但我们认为把它放在本书里将有助于学生们区别“磅质量”与“磅力”这两个概念。^①

我们要感谢明尼苏达大学机械工程系的E. M. 斯帕罗教授。在本书的准备过程中，承他过细地校阅了底稿。他对辐射和强制对流等章所提的意见，对我们有很大帮助。

我们还愉快地感谢罗彻斯特工学院的杰克莱·哈里森夫人、坎迪·吉恩德纳夫人、安托耐特·施密特夫人、依万·乔罗兹娄先生和彼得·迈克尔斯先生，他们在帮助打印手稿、绘制图表和校对文稿等方面做了许多工作。

B. V. 卡里卡
R. M. 戴斯蒙德

^① 译文中将绝大部分英制单位的内容删去了，故在所有的方程式中均不出现 g_c ——译者注。

符 号 表

英文符号	名 称	单位(SI)
A	表面积	m^2
A_m	肋的剖面积	m^2
[A]	系数矩阵	
Bi	毕渥(Biot)数, hL/k	无量纲
{B}	列向量	
C	热容量	$W/^\circ C^{\text{①}}$
C_f	表面摩擦系数或 局部阻力系数	无量纲
$C_{f,av}$	平均阻力系数	无量纲
c_p	定压比热容	$J/(kg \cdot ^\circ C)$
c	比热容	$J/(kg \cdot ^\circ C)$
D	直径	m
D_H	水力直径	m
e	辐射力	W/m^2
erf	误差函数	
exp	指数函数	
$F_{i,j}$	面积 <i>i</i> 对面积 <i>j</i> 的 形状系数	无量纲
F	力	N (牛顿)
Fr	付鲁德(Froude)数 u^2/gL	无量纲
f	摩擦因子	无量纲
G	投入辐射	W/m^2
Gr	葛拉晓夫(GraShof)数, $g\beta\Delta TL_c^3/\nu^2$	无量纲
Gr^*	修正的葛拉晓夫数, $g\beta L_c^4 q / (\nu^2 k)$	无量纲

① 原文为“W/°K”。此外导热系数的单位用“W/m°K”或“W/m°C”，比热容等的单位中也是将“°K”与“°C”混用。这原则上当然是可以的，但为了形式上统一起见，译文中除个别情况外，一律改为“°C”——译者注。

g	重力加速度	m/s^2
H	两板间的距离	m
H	表面以上的高度	m
h	对流换热系数	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
h_{av}	平均对流换热系数	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
h_{fg}	汽化潜热	J/kg
I	电流	安培
$I.D.$	内直径	m
i	比焓	J/kg
i	辐射强度	W/m^2
i	x 方向的节点坐标	
i_b	黑体的辐射强度	W/m^2
J	有效辐射	W/m^2
j	y 方向的节点坐标	
k	导热系数	$W/(m \cdot ^\circ C)$
k_e	有效导热系数	$W/(m \cdot ^\circ C)$
L	壁厚度	m
LMTD	对数平均温差	$^\circ C, K$
l	深度	m
M	热流通道(热流管)总数	
M	x 方向节点总数	
m	质量	kg
$M\dot{m}$	动量流量	$kg \cdot m/s^2$
\dot{m}	质量流量	kg/s
N	物体中热流图的等温线 总数	
N	y 方向的节点总数	
NTU	传热单元数, UA/C	无量纲
Nu	努谢尔特(Nusselt)数, hL/k	无量纲
n	垂直于表面的方向, 法线	
$O.D.$	外直径	m
P	功率	W

P	周长	m
Pe	贝克列(Peclet)数 $c_p \rho u_{\infty} L_c / k$	无量纲
Pr	普朗特(Prandtl)数, $\mu c_p / k$	无量纲
p	压力	N/m ²
Q	热流量	W
q	单位面积的热流量即热流密度 ^①	W/m ²
\dot{q}	单位体积单位时间的发生热	W/m ³
R	电阻	欧姆
R	热阻	℃/W
Ra	雷莱(Rayleigh)数, $g\beta\Delta T L^3 / (\nu\alpha)$	无量纲
Re	雷诺(Reynolds)数, $\rho u_{\infty} L_c / \mu$	无量纲
R_f	污垢系数	m ² ·℃/W
r	半径	m
S	导热形状因数	m
S	管距, 节距	m
St	斯坦顿(Stanton)数, $h / c_p \rho u_{\infty}$	无量纲
T	温度	℃, K
$\{T\}$	温度列向量	℃, K
t	厚度	m
U	内能	J
U	传热系数	W/(m ² ·℃)
u	速度	m/s
u	x 方向的速度分量	m/s
u^*	摩擦速度	m/s
u_{av}	平均速度	m/s
u_{∞}	自由流速度	m/s

① 热流密度又称为热通量等——译者注。

V	电压	伏特
V	体积	m^3
V	速度	m/s
v	y 方向的速度分量	m/s
W	做功速率	J/s
w	z 方向的速度分量	m/s
x, y, z	坐标方向	m
希腊符号	名称	单位(SI)
α	热扩散率(导温系数)	m^2/s
α	吸收率	无量纲
β	体积膨胀系数	K^{-1}
Δ	差值, 变化	
δ	边界层厚度	m
δ	空气隙宽度	m
ϵ	表面黑度(表面辐射率)	无量纲
ϵ	管中粗糙元相对高度	无量纲
ϵ	换热器效能	无量纲
ϵ_H	热传递的紊流扩散率	$kg/(m \cdot s)$
ϵ_M	动量传递的紊流扩散率	$kg/(m \cdot s)$
η_f	肋效率	无量纲
θ	角度	度
Θ	无量纲温度	无量纲
λ	波长	μ (微米)
μ	粘度	$kg/(m \cdot s)$
ν	运动粘度	m^2/s
ρ	密度	kg/m^3
ρ	反射率	无量纲
σ	斯蒂芬-玻尔兹曼常数	$W/(m^2 \cdot K^4)$
σ	蒸气-液体表面张力	N/m
τ	时间	S
τ	切应力	N/m^2
τ	穿透率	无量纲

ϕ	角度	度
ω	立体角	立体弧度
下 标 ^①		
av	平均	
B	烧毁	
b	黑体	
b	截面平均状态	
bil	沸腾	
bot	底表面, 下表面	
cr	临界状态	
c	几何中心	
c	特征尺寸	
c	微分方程的补解	
c	冷流体	
c	对流	
cond	传导, 导热	
conv	对流	
e	管的进口区域	
eqv	等效, 当量	
f	肋	
film	膜	
fur	炉子	
g	气体	
gen	发生	
h	热流体	
h	水平的	
i	内部状态	
i	节点(结点)	
i	进口状态	
in	内侧状态	

① 为了使译文统一用英文下标, 译文中对原文的下标做了一些改动, 并增加了几个下标——译者注。

in	流动方向
ins	隔热
l	纵向(S_1)方向
l	液体
lami	层流
lef	左边
liq	液体
M	第 M 个节点的状态
m	平均
max	最大
min	最小
mix	混合
n	法线方向
net	净的, 纯净的
o	外部状态
o	管中 $r=0$ 处的中心线状态
o	出口状态
out	外表面
over	总的, 整个的
p	管
p	平板表面状态
rad	辐射
rig	右边
s	剪切
s	表面状态
sat	饱和状态
st	蒸汽
surf	表面状态
t	热状态
t	横向(S_2)方向
t_e	热电偶
th	总和(例如 ΣR_{th})

tip	端面
top	顶面, 上表面
tot	总的
turb	紊流
unmix	不混合
<i>v</i>	蒸气
<i>v</i>	竖直(铅直)的
vap	气(汽)相
<i>w</i>	壁面或表面状态
with	有(遮热板)
without	无(遮热板)
∞	自由流状态

目 录

译者序	1
原 序	3
符号表	1
第一章 绪论	1
1-1 引 言	1
1-2 导 热	4
1-3 导热、导电和水力系统之间的类似	9
1-4 复合壁	9
1-5 对 流	12
1-6 辐 射	15
1-7 单位制	18
习 题	18
参考文献	19
第二章 一维稳态导热	20
2-1 引 言	20
2-2 通过平壁的导热	20
2-3 通过球壁的径向导热	26
2-4 通过长圆筒壁的径向导热	30
2-5 热阻摘要	32
2-6 隔热临界半径	32
2-7 内热源问题	38
2-8 变导热系数	46
2-9 一般三维导热方程	47
习 题	55
第三章 二维稳态导热	58
3-1 引 言	58
3-2 二维导热问题的图解法	60
3-2.1 曲边方形网络的热流分析	62
3-3 二维导热问题的电模拟法	66

3-4 二维导热问题的分析解法	67
习 题	77
参考文献	79
第四章 不稳态导热	80
4-1 引 言	80
4-2 可略内热阻系统	82
4-3 具有对流换热边界条件的平壁、圆柱和球的不稳态导热	89
4-3.1 平壁问题的图线解法	89
4-3.2 平壁问题的分析解法	94
4-3.3 半径为 r_0 的长圆柱	95
4-3.4 半径为 r_0 的实心球	98
4-4 半无限大物体中的瞬时热流	101
4-5 二维和三维不稳态系统	105
4-6 热平衡积分	109
习 题	115
参考文献	117
第五章 导热问题的数值解法	119
5-1 引 言	119
5-2 一维问题的解法	121
5-2.1 温度分布	122
5-2.2 热流量	128
5-3 广义一维问题的解法	135
5-3.1 变厚度	135
5-3.2 变对流换热系数	137
5-3.3 变导热系数	138
5-4 二维稳态系统	143
5-4.1 凹角处边界条件的表示法	157
5-4.2 曲边界	160
5-5 三维稳态系统	164
5-6 由能量微分方程导出差分方程	165
5-7 不稳态系统	167
5-7.1 一维不稳态系统	167