

[苏]B.П. 伊萨琴科 等著
王 丰 冀守礼
周筠清 喻锡臣 合译

传热学

高等教育出版社

53.6114
233

传
热
学

传 热 学

〔苏〕 B. И. 伊萨琴科 等著

王 丰 冀守礼 合译
周筠清 喻锡臣



内 容 简 介

本书系根据苏联莫斯科动力学院 (МЭИ) В. П. 伊萨琴科 (В. П. Исаченко) 等著《传热学》(Теплопередача) 1981 年第四版译出。原书经苏联高等和中等专业教育部批准, 为高等工科院校动力类专业教材。

全书包括导热、单相介质中的对流换热、有相变和化学变化时的换热、辐射换热和换热器等五部分, 共二十章。书末有附录、参考文献和索引。书中详细介绍了各种换热过程的物理本质和计算方法。内容比五十年代我国翻译出版的苏联 М. А. 米海耶夫著《传热学基础》有较大变化。全书采用国际单位制(SI)。

本书可作为动力类专业和工程热物理专业的教学参考书, 也可供高等院校教师及有关科技人员参考。

В. П. Исаченко В. А. Осипова А. С. Сукомел

Теплопередача

издание четвертое,

переработанное и дополненное

1981

传 热 学

〔苏〕В. П. 伊萨琴科 等著

王 丰 冀守礼 合译
周筠清 喻锡臣

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*

开本850×1168 1/32 印张20.75 字数535 000

1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷

印数00,001—3,590

书号15010·0655 定价4.70 元

译 者 序

本书根据В. П. 伊萨琴科 (В. П. Исаченко)、В. А. 奥西波娃 (В. А. Осипова) 和 А. С. 苏科缅 (А. С. Сукомел) 著《传热学》(Теплопередача) 第四版(1981年)译出, 它是继М. А. 米海耶夫 (М. А. Михеев) 著《传热学基础》之后, 苏联高等院校动力类专业广泛采用的传热学教科书。

原书自1965年第一版问世以来已经三次修订和补充(1969年第二版, 1975年第三版), 在这一版中, 作者考虑到第三版出版后传热学的新发展以及使用本教科书的经验, 对全书作了很大的增删。与第三版比较, 第一部分(导热)删去了水-热类比, 增加了求解平壁、圆筒壁和球壁导热问题的通用方法等内容。第二部分(单相介质中的对流换热)增加了紊流的热量和动量传递、物性参数变化和来流紊流度等因素对换热系数的影响等内容, 而删减了液体内具有内热源时的放热部分。第三部分(有相变和化学变化时的换热)的内容更新最多, 增加了水平管束上沸腾的特点、管内强迫对流核态沸腾时的计算、扩散边界层、水从多孔金属壁汽化时传热传质的计算方法等内容, 其中第十五章(有化学变化时的热量交换和质量交换)全部是新增加的, 删减的内容有液态金属蒸气的凝结。第四部分(辐射换热)中的第十七章(透明介质隔开的固体之间的辐射换热)、第十八章(吸收和辐射介质中的换热)两章的大部分内容也是新增的。但总的篇幅较上一版还有减少。总之, 本书第四版很好地汇集了60年代后期至70年代初期, 苏联在有相变和化学变化时的传热及吸收和辐射介质中换热的成果。全书涉及的内容多, 比一般传热学教材更充实。

本书注重对学生独立工作能力的培养, 在论述传热的三种基

本换热方式时，注意讲清这些过程的实质。在讨论导热、对流和辐射的基本规律时均采用分析法，这将加深读者对各种换热过程物理本质的理解。在叙述方式上，按照循序渐进的原则由浅入深。各种公式的数学推导详细，有利于自学。此外，作者很重视传热学研究方法的介绍。在导热部分叙述了宏观的研究方法（唯象法）和微观的研究方法（统计法）的实质，它们的优缺点。在对流换热部分，作者除了讲述量纲分析外，还扼要简述了相似理论。这是因为，相似理论不仅是把理论分析与实验研究结合起来的桥梁，用实验方法求解微分方程的一种手段，而且也是寻找相似变量将偏微分方程转变为常微分方程的重要方法。书中介绍了大量参考文献，有利于扩大学生在传热学方面的眼界。

在苏联，为了使学生熟练掌握换热过程的计算方法，深入理解各种热传递过程的物理特点，传热学除了课堂讲授外，还有实验课和习题课，并有专门的教材。因此，本书省去了例题、习题和实验方法与设备的介绍。

对于原书中印刷上的错误和不易理解之处，翻译时酌加了译者注。译者注释中的不妥之处由译者负责。

本书第一、二、三章由冀守礼译出，第十一、十二、十三章由喻锡臣译出，第十六、十七、十八、十九、二十章由周筠清译出，其余各章和附录等部分由王丰译出，最后由王丰对全书译文进行修改并定稿。

译者水平有限，译文中不妥或谬误之处在所难免，敬请读者批评指正。

译 者

一九八四年十二月于北京

前 言

本书是供动力学院和动力系热工专业大学生用的教科书，全书的结构、材料的选择和讲述的方式都是由这一宗旨确定的。

传热学课程是许多工科专业，而首先是热工专业的基础课。由于换热理论的迅速发展，高等学校学生所学习的传热学教材也在逐年改进和完善。课程的内容和水平应能满足掌握一系列的专业课程和解决一些基本的实际问题的要求，并能正确应用科学技术文献中有关换热理论方面的新成果。

大学生在学习了传热学后，不仅应掌握换热理论，而且还应掌握换热基本过程的计算方法。因此，在讲述每种传热问题时，通常还介绍一些计算公式，利用它们能解决某些换热的基本问题。

但是，如果把传热学课程的作用变成为简单计算公式的汇编，那将是十分错误的。目前，实践不断地向换热理论提出各种各样的新课题，要求工程师能独立地和创造性地运用传热学的基本定律和方法。由于在工程实践中愈来愈广泛地采用高速电子计算机，这更加扩大了实际应用换热理论的可能性，不久前还只能由少数换热理论方面的专家解决的许多问题，现在人们能在生产条件下解决它们。在这种情况下，工程师应该非常深入地理解所研究过程的物理特点，而且能用数学方法来描述所研究的现象。

在大学里，传热学课除了讲课外，同时还进行实验课和习题课。为了进行后两种形式的教学，莫斯科动力学院热工学理论基础教研室的教师编写了专门的教材^[87, 147, 152]。因此在本书中省去了数字例题和实验方法与设备的详细分析。由于这个原因，本书只引用了解题所必须的某些参考图表，完整的数据可以在习题

集^[87]中找到。

传热学是一门比较年轻的科学，在近几十年内这门科学得到了更加蓬勃的发展。苏联学者В. М. 基尔比切夫 (В. М. Кирпичев)、М. А. 米海耶夫 (М. А. Михеев)、А. А. 古慈曼 (А. А. Гухман)、Г. Н. 克鲁日林 (Г. Н. Кружилин)、С. С. 库塔捷拉泽 (С. С. Кутателадзе)、А. В. 雷科夫 (А. В. Лыков)、А. А. 茹考乌斯卡斯 (А. А. Жукаускас)、Д. А. 拉布佐夫 (Д. А. Лабунцов)、А. И. 列昂季耶夫 (А. И. Леонтьев)、Б. С. 佩图霍夫 (Б. С. Петухов)、В. И. 苏博京 (В. И. Субботин)、Ю. А. 苏里诺夫 (Ю. А. Суринов) 和许多其他学者，在换热学说的发展中作出了巨大的贡献。

本书采用国际单位制，俄文简写为СИ。1978年12月国际单位制列为СЭВ标准 (СТ СЭВ 1052-78)。

考虑到上一版出版后出现的新内容，以及使用本教科书的经验，本书在这一版 (第四版) 作了许多变动和补充。本书采用苏联科学院 (АН СССР) 科学技术专门名词委员会、苏联高等和中等专业教育部建议在教学过程中使用的换热理论的术语 (ГОСТ 7601-78, 16273-70)，因此某些专门名词和符号有变化。同时，为了便于使用本教材，作者力图保持旧的与新引入的专用名词之间的继承性。书名仍保持原名，这是因为在现行教学计划中本书的名称没有改变。

本书的第四章至十二章、第十四章和第十五章由 В. П. 伊萨琴科编写；第十三章、第十六章至第十八章以及 § 3-12 由 В. А. 奥西波娃编写；第一章至第三章、第十九章和第二十章由 А. С. 苏科缅编写。在编写本书时，作者运用了自己在传热学课程教学中的经验，和曾经多年在莫斯科动力学院热工学理论基础教研室工作的苏联科学院 М. А. 米海耶夫院士以及苏联科学院通讯院士 Б. С. 佩图霍夫教授的经验，他们在组织传热学的教学和发展这门学科中作出了巨大的贡献。

本书的编写在很多方面是与列宁奖金和国家奖金获得者、俄罗斯苏维埃联邦社会主义共和国 (РСФСР) 功勋的科学技术活动家、技术科学博士 М. В. 武卡洛维奇 (М. В. Вукалович) 教授, 对莫斯科动力学院传热学组织的关怀分不开的。

作者对技术科学博士 Д. А. 拉布佐夫教授表示衷心的感谢, 他对改进本书提出了宝贵意见, 并为本教材的第一版作了大量的校订工作。作者同时也对技术科学博士 В. И. 克鲁托夫 (В. И. Крутов)、А. И. 列昂季耶夫和 С. А. 斯克沃尔佐夫 (С. А. Скворцов) 的很多建议表示感谢。莫斯科动力学院 (МЭИ) 热工学理论基础教研室、萨拉托夫斯基工学院热能教研室、列宁格勒工学院工程热物理教研室和里日斯基工学院热工教研室, 以及其他院校的教师、研究生和工程师也对本书提出了宝贵意见, 这些意见对本书的编写工作有很大的帮助。

作者欢迎读者为改进本书提出意见和要求, 来信请寄: 113114, 莫斯科 (Москва), М-114, 什廖佐瓦亚沿河路 (Шлюзовая Наб.), 10, 动力出版社 (Энергоиздат)。

作 者

主要符号表

符号	名称和单位
a	音速, m/s; 导温系数, m^2/s
c_f	摩擦系数
c_p	等压比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
c_v	等容比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
d	管径, m
f	横截面积, m^2 ; 频率, Hz
g	重力加速度, m/s^2
h	比焓, J/kg
j	质量流密度, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
k	绝热指数; 凝结系数
l	管长、壁高、混合长度, m
p	压力, Pa
q	热流密度, W/m^2
r	半径, m; 汽化潜热, J/kg
u_0	容积辐射力, J/m^3
w	流速, m/s
A	吸收率
C	灰体辐射系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
D	扩散系数; 透过率
E	辐射力, W/m^2
F	表面积, m^2
G	流量, kg/s
H	摩尔焓, J/mol

ΔH	化学反应热, J/kmol
I	辐射强度, W/(m ² ·sr)
J	质量流, kg/s
K	平衡常数
P	横截面的润湿周界, m
Q	热流, W或J/s
R	气体常数, J/(kg·K); 反射率
T 或 t	温度, K或°C
Tu	紊流度
V	体积, m ³
α	对流换热系数, W/(m ² ·K); 容积吸收率
β	体积膨胀系数, K ⁻¹ ; 传质系数
γ	动温恢复系数
δ	边界层的厚度, m
ϵ	紊流交换系数; 黑度
λ	波长, m; 导热系数, W/(m·K)
μ	动力粘性系数, kg/(m·s) 或N·s/m ²
ν	运动粘性系数, m ² /s
ρ	密度或质量浓度, kg/m ³
τ	时间, s

准则符号与名称

准则符号及其组成	准则名称
$Ar = gl^3(\rho_0 - \rho)/(\nu^2 \rho_0)$	阿基米德数
$Bi = \alpha \delta / \lambda$	毕渥数
$Bo = \rho c_p w / (\sigma_0 T^3)$	玻尔兹曼数
$Bu = kl_0$	布格尔数
$Eu = p/(\rho w^2)$ 或 $\Delta p/(\rho w^2)$	欧拉数
$Fo = a\tau/\delta^2$	傅里叶数
$Fr = w_n^2/(gd)$	傅鲁特数
$Ga = gh^3/\nu_{\pi}^2$	伽利略数
$Gr = g\beta \Delta t l^3/\nu^2$	葛拉晓夫数
$Gr_*^* = g\beta q_w x^4/(\nu^2 \lambda)$	修正葛拉晓夫数
$Ja = c_p \Delta t \rho_{\pi}/(r \rho_n)$	雅各布数
$K = r/(c_{p\pi} \Delta t)$	库塔捷拉泽数
$Ki = \sigma_0 T^3/(\lambda k)$	基尔比切夫数
$Kn = \bar{l}/l_0$	努森数
$Le = D/a = \rho c_p D/\lambda$	刘易士-谢苗诺夫数
$Lp = \sigma R_w/(\rho_{\pi} \nu_{\pi}^2)$	拉普拉斯数
$M = w/a$	马赫数
$Nu = \alpha l/\lambda$	努谢尔特数
$Pe = ud/a$	贝克利数
$Pr = \mu c_p/\lambda = \nu/a$	普朗特数
$Ra = g\beta \Delta t l^3/(a\nu)$	雷莱数
$Re = wd/\nu$	雷诺数
$Sh = \beta d/D$	舍伍德数
$Sh = fd/w_0$	斯特鲁哈里数
$St = \alpha/(\rho c_p w)$	斯坦顿数
$St = \sigma_0 T^3 l/\lambda_c$	斯塔尔克数

下标符号及其意义

下标符号	意义
a	代数平均值
a. c	绝热壁
волн	波动的
всп	浮升
вх	进口处
вых	出口处
г	气体或边界处
ж	液体或流体
ид	理想的
изг	弯曲的
к	临界值
кип	沸腾
кр	临界状态
л	对数平均值
мод	模型参数
н	流体动力稳定段或饱和状态
н. т	流体热稳定段
нач	开始的
обр	原型参数
опт	最佳的
отр	反射
п	蒸气；粘性底层或周期
пад	投射
пер	过热状态
п. о	远离壁面的水蒸气

пов	凝结表面 (相分界面)
погд	吸收
п. с	壁面上的水蒸气
прив	系统的
прот	逆流
расч	计算值
рез	合成的
с	壁面
сг	流体的平均值
ск	滑动或突变
см	总合; 混合物
уз	最窄处
х	局部值
ч	循环的; 有色的
ш	叉排 (或棋式)
э	热屏
экв	当量的
эф	有效的
λ	单色的
0	边界层外或某一给定点的值

目 录

主要符号表	1
准则符号与名称	2
下标符号及其意义	3
绪论	1

第一部分 导 热

第一章 导热理论的基本原理	4
1.1 物理现象的研究方法	4
1.2 温度场	5
1.3 温度梯度	6
1.4 热流 傅里叶定律	7
1.5 导热系数	10
1.6 导热微分方程	16
1.7 导热过程的单值性条件	26
第二章 稳态导热	30
2.1 通过平壁的热量传递 ($q_v = 0$)	30
2.2 通过圆筒壁的热量传递 ($q_v = 0$)	41
2.3 圆筒壁的临界直径	50
2.4 通过球壁的热量传递	53
2.5 求解平壁、圆筒壁及球壁导热问题的通用方法	55
2.6 增强传热的方法	58
2.7 等截面枢轴 (肋片) 的导热	60
2.8 通过带肋平壁的传热	66
2.9 等厚度环肋的导热	69
2.10 变截面直肋的导热	71
2.11 均质半无限大平壁的导热	75

2.12	平壁的多孔冷却	78
2.13	有内热源时的导热	82
第三章 非稳态导热过程		95
3.1	概述	95
3.2	过程的解析描述	96
3.3	无限大平壁的冷却 (加热)	97
3.4	冷却过程中平壁放热量的计算	111
3.5	无限长圆柱的冷却 (加热)	112
3.6	冷却过程中圆柱放热量的计算	121
3.7	球体的冷却	122
3.8	有限大物体的冷却 (加热)	125
3.9	冷却 (加热) 过程与物体的形状和大小的关系	130
3.10	物体冷却 (加热) 的正常状态	131
3.11	求解导热问题的近似方法	139
3.12	用类比方法研究导热过程	149

第二部分 单相介质中的对流换热

第四章 对流换热理论的基本原理		157
4.1	基本概念和定义	157
4.2	流体的物理性质	159
4.3	对流换热微分方程 (对流换热边界问题的提出)	162
4.4	流体动力边界层和热边界层	173
4.5	紊流的热量传递和动量传递	180
第五章 对流换热过程的相似和模拟		189
5.1	一般概念	189
5.2	把边值问题的数学表达式变为无量纲变量	190
5.3	无量纲变量 (相似数) 和相似方程	193
5.4	物理过程的相似条件	200
5.5	相似条件的结果	203
5.6	量纲分析法	205
5.7	对流换热过程的模拟	209

第六章 对流换热计算和测量结果整理的一般问题	214
6.1 局部放热系数	214
6.2 流体的截面平均温度	214
6.3 根据流体的能量平衡计算热流	216
6.4 热流密度、流体温度和壁温沿管长的变化	214
6.5 放热系数和温压的平均值	222
6.6 经验公式的获得	226
第七章 强迫纵掠平壁时的放热	229
7.1 边界层的积分方程	229
7.2 层流边界层的放热	232
7.3 层流流动向紊流流动的转变	242
7.4 紊流边界层的放热	245
第八章 流体在管内强迫流动时的放热	256
8.1 管内流动和换热的特点	256
8.2 稳定换热的放热积分方程	266
8.3 流体在光滑圆管内流动时的放热	270
8.4 流体在非圆形截面通道、弯管和粗糙管内的放热	279
第九章 受迫横掠单管和管束时的放热	285
9.1 横掠单管时的放热	285
9.2 横向流过管束时的放热	290
第十章 流体自由运动时的放热	298
10.1 基本原理	298
10.2 大空间流体自由运动时的放热	298
10.3 有限空间内流体自由运动时的放热	308
第十一章 单相介质中对流换热的特殊问题	312
11.1 液态金属的放热	312
11.2 物质在超临界状态下的放热	318
11.3 气体高速流动时的放热	320
11.4 稀薄气体的放热	329

第三部分 有相变和化学变化时的换热

第十二章 纯蒸气凝结时的换热338

- 12.1 基本原理338
- 12.2 静止蒸气膜状凝结时的换热346
- 12.3 管内运动的蒸气在膜状凝结时的换热359
- 12.4 运动蒸气在水平单管和管束上膜状凝结时的换热363
- 12.5 蒸气珠状凝结时的换热366
- 12.6 蒸气凝结时换热的特殊问题373

第十三章 单组分液体沸腾时的换热376

- 13.1 液体核态沸腾时换热过程的机理376
- 13.2 大容器内液体核态沸腾时的气流结构392
- 13.3 自由运动情况下液体核态沸腾时的放热395
- 13.4 水平管束上沸腾的特点399
- 13.5 液体在管内沸腾时两相流的结构和换热400
- 13.6 管内强迫对流情况下核态沸腾时的放热计算408
- 13.7 液体膜态沸腾时的换热机理409
- 13.8 蒸气膜层流运动时的放热410
- 13.9 蒸气膜紊流运动时的放热413
- 13.10 沸腾临界414

第十四章 双组分介质中的热量交换和质量交换423

- 14.1 基本概念和定律423
- 14.2 热量交换和质量交换的微分方程428
- 14.3 热量传递和质量传递433
- 14.4 扩散边界层437
- 14.5 热量交换和质量交换过程的类比438
- 14.6 汽-气混合物中蒸气凝结时的热量交换和质量交换441
- 14.7 液体向汽-气介质蒸发时的热量交换和质量交换445

第十五章 有化学变化时的热量交换和质量交换452

- 15.1 化学变化的基本知识452
- 15.2 化学变化时热量交换和质量交换的基本方程458