

一流学校 一流老师 一流资源



三一丛书

传热学

要点与解题

王秋旺 曾敏 编著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

TK124
46

西安交大教学资源文库 三一丛书

传 热 学

要点与解题

王秋旺 曾敏 编著

西安交通大学出版社

内容提要

本书是按照国家教育部工科热工课程教学指导委员会最新制订的“基本要求”编写而成的,是传热学课程的辅导教材。全书对传热学的基本知识点及重点、难点进行了详细剖析,并汇集了传热学基本概念,定量计算典型例题 159 道,自我检测题 219 道,这些例题和习题具有一定的深度和广度。在解题过程中着重强调基本概念、解题思路、技巧及需要注意的问题,以便读者能举一反三。书后还附有考研题。

本书可单独使用,也可作为其它教材的配套用书。既可作为大学生及自学者学习传热学的辅导用书,又是参加考研人员的辅导书,同时也可供从事热工教学的教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

传热学要点与解题/王秋旺,曾敏编著. —西安:西安交通大学出版社,2006.8

(西安交大教学资源文库. 三一丛书)

ISBN 7-5605-2258-0

I. 传... II. ①王... ②曾... III. 传热学-高等学校-教学参考资料 IV. TK124

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 087585 号

书 名	传热学要点与解题
编 著	王秋旺 曾敏
出版发行	西安交通大学出版社
地 址	西安市兴庆南路 25 号(邮编:710049)
电 话	(029)82668315 82669096 (总编办) (029)82668357 82667874 (发行部)
印 刷	陕西丰源印务有限公司
字 数	303 千字
开 本	880mm×1230mm 1/32
印 张	8.5
版 次	2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-5605-2258-0/TK·97
定 价	13.80 元

版权所有 侵权必究

丛书总序

为了使普通高等学校理工类专业的大学生更好地学习、掌握基础课和专业基础课知识,我们组织出版了这套“三一”丛书,目的就是提供一流的学习资源,使大家共享一流教师的教学经验和教学成果,为今后的学习打下良好的基础。

西安交通大学是国内仅有的几所具有百年历史的高等学府,是首批进入国家“211 工程”建设的七所大学之一,1999 年被国家确定为我国中西部地区惟一所以建设世界知名高水平大学为目标的学校。西安交大历来重视本科生教学,1996 年成为全国首家本科教学评估为优秀的大学。学校拥有国家级、省部级、校级教学名师数十名,具有丰富的、一流的教学资源。本丛书均由西安交通大学长期在教学一线主讲的教授、副教授主编,他们具有丰富的基础课、专业基础课教学和辅导经验。丛书作者们在长期的教学实践中,深深了解学生在学习基础课、专业基础课时的难点和困惑点之所在,对如何使学生更有效地学习、掌握课程的基本知识和解题技巧进行了深入的探索和研究,并将成果体现于书中。

本丛书针对中少学时课程的特点和教学要求,以普通高等学校的学生为主要对象,不拘泥于某一本教材,而是将有特色和使用量较大的各种版本的教材加以归纳总结,取其精华,自成一体。书中对课程的基本内容、研究对象、教学要求、学习方法、解题思路进行了全面、系统的总结和提炼,按基本知识点、重点与难点、典型题解析、自我检测题等环

节进行编排。本丛书既可单独使用,也可与其他教材配合使用。

我们衷心希望本丛书成为您大学基础课和专业基础课学习阶段的良师益友,帮助您克服困难,进入大学学习的自由王国,并祝您早日成为国家的栋梁之材!

在学习使用过程中,您如果发现书中有不妥之处或有好的建议,敬请批评指正并反馈给我们,我们会进一步改进自己的工作,力争使您满意。

真诚感谢您使用西安交大版图书。

西安交大出版社网址:<http://press.xjtu.edu.cn>

<http://www.xjtupress.com>

理工医事业部信箱: jdlgy31@126.com

西安交通大学出版社

2006年6月

前 言

传热学是从事能源、动力、化工等专业的技术人员必须牢固掌握的一门与工程实际结合紧密的技术基础课程,它主要研究的是热能传递方面的规律。由于涉及的基本概念较多,在分析具体问题时又常常灵活多变,不少初学者虽然能看懂教材内容,但分析具体问题尤其是一些综合问题时却常常感到无从下手,难以掌握要领。本书是以国内高校普遍采用的传热学教材为基架,结合作者长期的教学改革与实践的基础上编写而成的。

与教材相对应,并针对部分普通院校学生的特点,本书内容共分为9章,其中第1章为绪论,第2章至第4章为导热,第5章和第6章为对流换热,第7章和第8章为辐射换热,第9章为传热过程及换热器。每一章基本框架为四个部分,即“基本知识点”、“重点与难点”、“典型题精解”、“自我测验题”。同时,书后还附有编者所在学校近3年的研究生入学考试试题。

全书内容力求言简意赅,覆盖教学基本内容,使读者在学习时尽量不必翻阅教材,并对重点和难点进行了阐述和强调,对基本概念和定量计算以典型例题的形式加以讲解,并通过自我检测题从基本概念和定量计算的角度检验读者掌握基本知识点的程度。

限于作者的水平,本书定有不少疏漏之处,欢迎广大读者批评指正。

王秋旺,曾敏

2006年4月

wangqw@mail.xjtu.edu.cn

主要符号表

a	热扩散率, m^2/s
A	表面积, m^2
A_c	截面积, m^2
b	宽度, m
c	比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; 光速, m/s
c_p	比定压热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
c_1	第一辐射常量, $\text{W} \cdot \text{m}^2$
c_2	第二辐射常量, $\text{m} \cdot \text{K}$
d	直径, m
E	辐射力, W/m^2
E_λ	光谱辐射力, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{m}$
f	达尔西阻力系数; 频率, Hz
F	力, N
g	重力加速度, m/s^2
G	投入辐射, W/m^2
h	对流换热表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; 流体的比焓, J/kg
J	有效辐射, W/m^2 ; 电流密度, A/m^2
k	传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
L	定向辐射强度, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$
l	长度, m
p	压力, Pa
P	功率, W ; 周长, m
q	热流密度, W/m^2
q_m	质量流量, kg/s
q_v	体积流量, m^3/s
Q	热量, J
r	半径, m ; 汽化潜热, J/kg

R	热阻, K/W; 摩尔气体常数, J/(mol · K); 电阻, Ω
R_A	面积热阻, (m ² · K)/W
s	程长, m; 管间距, m
S	形状因子
t	摄氏温度, °C
T	热力学温度, K; 周期, s
u	比热力学能, J/kg; 速度, m/s
v	比体积, m ³ /kg; 速度, m/s
V	体积, m ³ ; 电位, V
w	速度, m/s
W	功, J
x	笛卡尔坐标, m; 干度
X	角系数; 无量纲坐标
y	笛卡尔坐标, m
z	笛卡尔坐标, m
α	体胀系数, K ⁻¹ ; 吸收比; 衰减系数, m ⁻¹
$\alpha(\lambda)$	光谱吸收比
β	肋化系数
γ	表面张力, N/m
δ	厚度, m
ϵ	发射率, 换热器效能
$\epsilon(\lambda)$	光谱发射率
η	(动力)粘度, Pa · s; 效率
θ	过余温度, °C 或 K; 平面角, rad
Θ	无量纲过余温度
λ	波长, m 或 μm ; 导热系数, W/(m · K)
ν	运动粘度, m ² /s
ρ	密度, kg/m ³ ; 反射比; 电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$
$\rho(\lambda)$	光谱反射比
σ	斯忒藩-玻耳兹曼常量, W/(m ² · K ⁴)
τ	时间, s; 透射比
τ_c	时间常数, s
$\tau(\lambda)$	光谱透射比
Φ	热流量, W

ϕ	对数平均温差修正系数
Ω	立体角, sr
Bi	毕渥数, hl/λ (λ 为固体的导热系数)
Fo	傅里叶数, $a\tau/l^2$
Gr	格拉晓夫数, $gl^3\alpha\Delta T/\nu^2$
Nu	努塞尔数, hl/λ (λ 为流体的导热系数)
Pr	普朗特数, ν/a
Re	雷诺数, ul/ν
Ra	瑞利数, $gl^3\alpha\Delta T/(\alpha\nu)$

目 录

丛书总序

前言

主要符号表

第1章 绪论

1.1 基本知识点	(1)
1.1.1 传热学及其重要性	(1)
1.1.2 热量传递的三种基本方式	(1)
1.1.3 传热过程和传热系数	(4)
1.2 重点与难点	(5)
1.2.1 热量传递的三种基本方式	(5)
1.2.2 传热过程与传热系数	(6)
1.3 典型题精解	(7)
1.3.1 基本概念	(7)
1.3.2 定量计算	(9)
1.4 自我测验题	(12)

第2章 导热基本定律及稳态导热

2.1 基本知识	(14)
2.1.1 导热基本概念及定律	(14)
2.1.2 导热微分方程式及定解条件	(15)
2.1.3 通过几种典型几何形状物体的稳态导热	(16)
2.1.4 通过肋片的导热	(19)
2.2 重点与难点	(24)
2.2.1 傅里叶定律与导热系数	(24)
2.2.2 导热微分方程及定解条件	(24)
2.2.3 一维稳态导热问题的解析解(无限大平板、无限长圆筒壁、球壳)	(25)

2.2.4 通过肋片的稳态导热	(25)
2.3 典型题精解	(26)
2.3.1 基本概念	(26)
2.3.2 定量计算	(30)
2.4 自我测验题	(40)

第3章 非稳态导热

3.1 基本知识点	(44)
3.1.1 非稳态导热的基本概念	(44)
3.1.2 集总参数法	(45)
3.1.3 一维非稳态导热的分析解	(48)
3.1.4 多维非稳态导热的乘积解	(52)
3.2 重点与难点	(52)
3.2.1 非稳态导热基本概念与特点	(52)
3.2.2 集总参数法	(53)
3.2.3 一维非稳态导热的分析解	(53)
3.3 典型题精解	(56)
3.3.1 基本概念	(56)
3.3.2 定量计算	(59)
3.4 自我测验题	(64)

第4章 导热问题的数值解法

4.1 基本知识点	(69)
4.1.1 导热问题数值解的基本思想	(69)
4.1.2 稳态导热问题数值解法	(69)
4.2 重点与难点	(73)
4.2.1 物理问题及数学描写	(73)
4.2.2 节点离散方程的建立	(74)
4.2.3 Taylor 级数展开法和热平衡法的比较	(75)
4.2.4 导热量的计算	(75)
4.3 典型题精解	(76)
4.4 自我测验题	(80)

第5章 对流换热

5.1 基本知识点	(84)
5.1.1 对流换热概说	(84)

5.1.2	对流换热问题的数学描写	(86)
5.1.3	边界层分析及边界层微分方程组	(87)
5.1.4	相似原理	(88)
5.1.5	内部流动强制对流换热及其实验关联式	(90)
5.1.6	外部流动强制对流换热及其实验关联式	(92)
5.1.7	自然对流换热及其实验关联式	(97)
5.2	重点与难点	(101)
5.2.1	对流换热及其影响因素	(101)
5.2.2	牛顿冷却公式	(101)
5.2.3	用分析方法求解对流换热问题的实质	(101)
5.2.4	边界层概念及其应用	(102)
5.2.5	相似原理	(104)
5.2.6	管内强制对流换热	(104)
5.2.7	外部流动强制对流换热	(106)
5.2.8	自然对流换热	(107)
5.2.9	对流换热强化	(107)
5.2.10	关于无相变对流换热问题的定量计算	(107)
5.3	典型题精解	(108)
5.3.1	基本概念	(108)
5.3.2	定量计算	(115)
5.4	自我测验题	(129)
第6章 凝结与沸腾换热		
6.1	基本知识点	(133)
6.1.1	凝结换热现象	(133)
6.1.2	膜状凝结的工程计算	(133)
6.1.3	膜状凝结的影响因素及其强化	(135)
6.1.4	沸腾换热现象	(136)
6.1.5	沸腾换热计算	(138)
6.1.6	影响沸腾换热的因素	(140)
6.2	重点与难点	(140)
6.2.1	凝结换热	(140)
6.2.2	沸腾换热	(141)
6.3	典型题精解	(142)
6.3.1	基本概念	(142)

6.3.2 定量计算	(143)
6.4 自我测验题	(147)
第7章 热辐射基本定律及物体的辐射特性	
7.1 基本知识点	(149)
7.1.1 热辐射基本概念	(149)
7.1.2 黑体辐射基本定律	(150)
7.1.3 实际物体的发射与吸收,灰体,基尔霍夫定律	(153)
7.2 重点与难点	(155)
7.2.1 热辐射基本概念及黑体辐射基本定律	(155)
7.2.2 实际物体的辐射特性	(157)
7.3 典型题精解	(160)
7.3.1 基本概念	(160)
7.3.2 定量计算	(162)
7.4 自我测验题	(167)
第8章 辐射换热的计算	
8.1 基本知识点	(170)
8.1.1 角系数的定义、性质及计算方法	(170)
8.1.2 被透热介质隔开的两固体表面间的辐射换热	(171)
8.1.3 多表面系统辐射换热的计算	(174)
8.1.4 辐射换热的强化与削弱	(175)
8.2 辐射换热名词术语一览	(176)
8.3 重点与难点	(178)
8.3.1 角系数	(178)
8.3.2 2个及3个漫灰表面间辐射换热的计算	(179)
8.3.3 辐射换热的强化与削弱	(180)
8.4 典型题精解	(183)
8.4.1 基本概念	(183)
8.4.2 定量计算	(186)
8.5 自我测验题	(196)
第9章 传热过程分析与换热器热计算	
9.1 基本知识点	(199)
9.1.1 传热过程的分析与计算	(199)
9.1.2 换热器的型式及平均温差	(201)

9.1.3	换热器的热计算	(204)
9.1.4	传热强化和隔热保温技术	(206)
9.2	重点与难点	(209)
9.2.1	传热过程	(209)
9.2.2	换热器型式及对数平均温差	(210)
9.2.3	换热器的热计算	(212)
9.2.4	传热的强化与削弱	(214)
9.3	典型题精解	(215)
9.3.1	基本概念	(215)
9.3.2	定量计算	(217)
9.4	自我测验题	(229)
附录 A		
	西安交通大学 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试传热学试题	(232)
	西安交通大学 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试传热学试题	(235)
	西安交通大学 2006 年攻读硕士学位研究生入学考试传热学试题	(237)
附录 B 无限长圆柱与球的非稳态导热线算图		
附录 C 两表面间的角系数		
附录 D 不同流动布置下 ϕ 值		
自我测验题参考答案		
主要参考文献		

第 1 章 绪论

通过本章的学习,读者应对热量传递的三种基本方式、传热过程及热阻的概念有所了解,并能进行简单的计算,能对工程实际中简单的传热问题进行分析(有哪些热量传递方式和环节组成)。

1.1 基本知识

1.1.1 传热学及其重要性

1. 什么是传热学?

传热学是研究有温差存在时热量传递规律的科学。凡是有温差的地方,就存在热量传递。自然界中温差无处不在,无时不有,因而热量传递就是自然界和生产技术中一种普遍存在的现象。

2. 为什么要学习传热学?

传热学是能源、动力、化工、电子、机械、土木等行业的主干技术基础课程。能源科学是 21 世纪的主要学科。大到尺寸为几十米的热动力设备(如锅炉),小到微米甚至纳米级的微电子设备,上至航空航天领域(如航空航天器返回大气层的传热问题),下到地热能的开采及深海潜艇的航行,无一不与传热学的理论和实践知识息息相关。无论是军用、民用工业领域还是人们日常生活中,都存在着大量的热量传递现象,而且在很多行业中如何让热量有效地传递成为解决问题的关键所在。正因为如此,结合实际问题进行传热方面的分析,是学习传热学后应掌握的基本功。

1.1.2 热量传递的三种基本方式

1. 导热

导热是由于物体中的微观粒子(分子、原子、电子等)的无规则热运动引起。只要温差高于热力学温度 0 K,物体便有热运动的本领。导热是物质的固有本质。

发生导热时,物体各部分之间不发生宏观相对位移。对于气体,导热是由于气体分子无规则热运动相互碰撞而引起。对于固体,导电体的导热由自由电子的

运动引起；而非导体则通过晶格的振动来传递热量。至于液体的导热，可以认为介于气体和固体之间。

导热的热量传递方程由傅里叶定律来表示(如图 1-1 所示)，对一维导热问题：

$$\Phi = -\lambda A \frac{\partial t}{\partial x} \quad (1-1)$$

式中：“-”表示热量传递方向与温度梯度方向相反； A 为平板面积； λ 为物质的导热系数，其单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。由于导热是物质的固有本质，故导热系数为物性参数。一般而言，金属材料的导热系数最高，液体次之，气体最小。

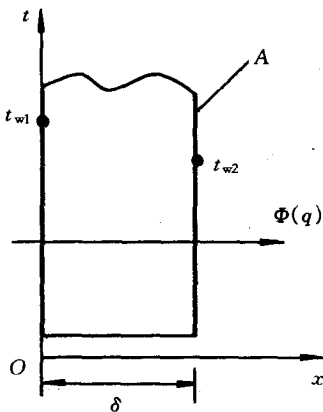


图 1-1 傅里叶定律示意图

2. 对流换热

对流是由于流体各部分发生宏观运动而引起的热量传递现象。由于分子无规律热运动是流体的固有本质，因此对流必然伴随着导热现象。运动着的流体同与之相接触的固体表面之间由于存在温度差而引起的热传递现象称为对流换热。本书只讨论对流换热。

对流换热机理与紧靠壁面的薄膜层的热传递有关，同时，对流换热与具体的换热过程密切相关。按引起流体流动的原因，可分为强制对流和自然对流；按流体的流动状态，可分为层流和湍流；按流体是否发生相变，可分为有相变和无相变的对流换热；按几何布置，又可分为外部流动和内部流动。

对流换热的基本计算式是牛顿冷却公式：

$$\Phi = hA\Delta t = \begin{cases} hA(t_w - t_f) & \text{流体被加热时} \\ hA(t_f - t_w) & \text{流体被冷却时} \end{cases} \quad (1-2)$$

式中 h 为表面传热系数,单位为 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。与导热系数不一样, h 为过程量,它取决于换热过程中的许多因素,如流体流动的状态,流动的起因,流体的物性及换热面的几何状况等等。式(1-2)仅仅给出 h 的定义式。掌握典型条件下表面传热系数的范围是相当重要的,见表 1-1。

表 1-1 表面传热系数的数值范围

过程	$h/\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$
自然对流	
空气	1~10
水	200~1 000
强制对流	
气体	20~100
高压水蒸气	500~3 500
水	1 000~15 000
水的相变换热	
沸腾	2 500~35 000
蒸汽凝结	5 000~25 000

3. 热辐射

物体会因各种原因发出辐射能,而由于热的原因而发出辐射能的现象称为热辐射。图 1-2 给出了电磁波谱,从图中可以看出热射线的波段范围在 $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$ 之间。

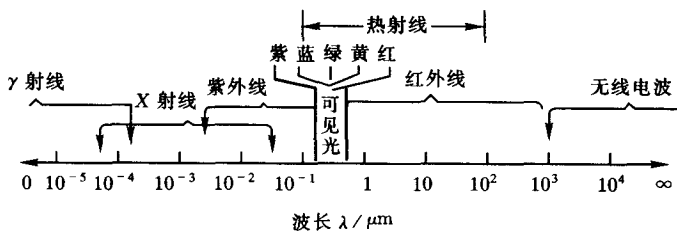


图 1-2 电磁波谱

只要温度高于热力学温度 0 K ,物体便具有发射辐射能的本领。物体间通过