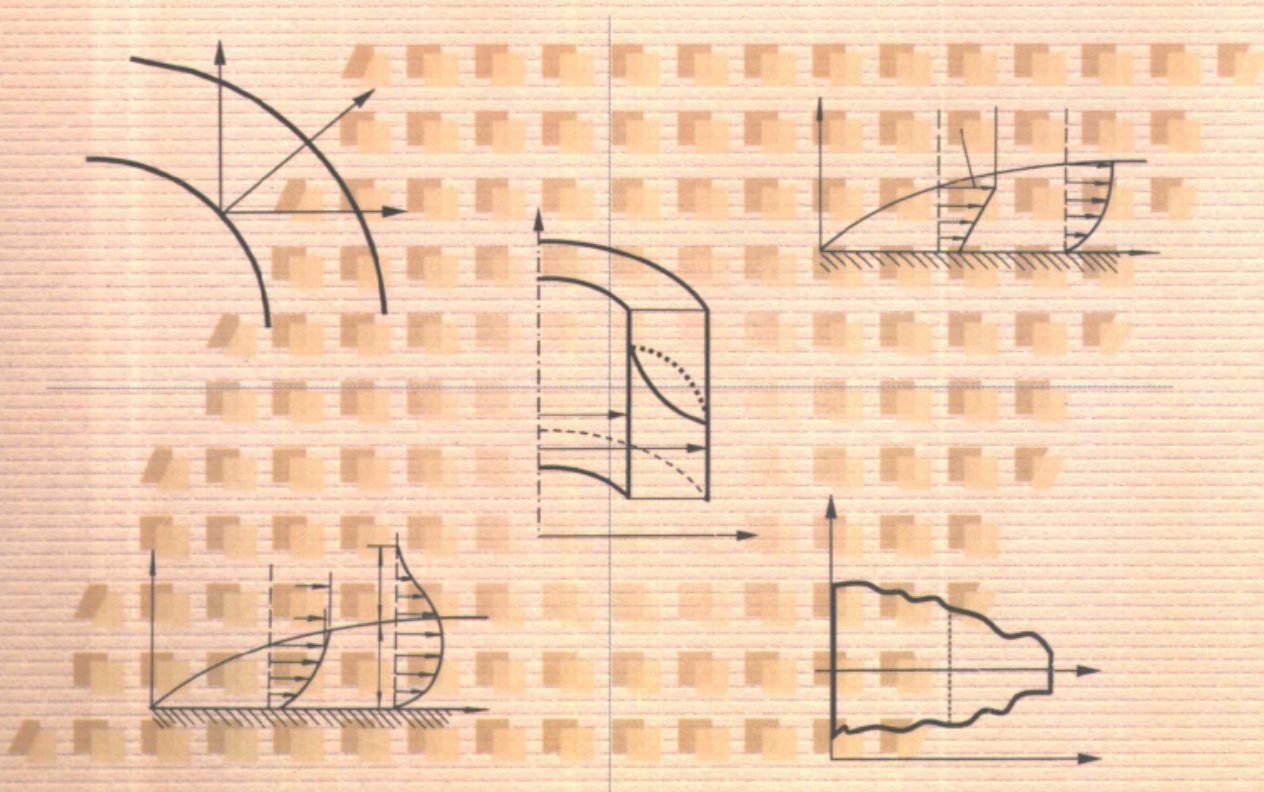


21世纪大学课程辅导丛书

传热学

重点难点及典型题精解

王秋旺



西安交通大学出版社

21 世纪大学课程辅导丛书

传热学

重点难点及典型题精解

王秋旺

西安交通大学出版社

·西安·

内容提要

本书是在按国家教育部工科热工课程教学指导委员会最新制订的高学时“传热学课程教学基本要求”、以杨世铭、陶文铨编著《传热学(第三版)》教材为基架并吸收国内部分高校同行意见的基础上编写而成的,是传热学课程的教学参考书。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、广度及难度。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。书后还附有国内多所高校传学期末考试题和硕士研究生入学考试题。

本书可单独使用,也可作为其它教材的配套用书。既可作为热工类各专业大学生及自学者学习传热学的辅导用书,又是参加硕士研究生入学考试人员的必备辅导书,同时也可供从事热工教学的教师作为参考。

图书在版编目(CIP)数据

传热学重点难点及典型题精解/王秋旺. —西安:
西安交通大学出版社, 2001. 10
(21 世纪大学课程辅导丛书)
ISBN 7-5605-1422-7

I. 传… II. 王… 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(2001) 第 061365 号

*

西安交通大学出版社出版发行
(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)
陕西省轻工印刷厂印装
各地新华书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:16.25 字数:387 千字
2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月第 1 次印刷
印数:0 001~3 000 定价:23.00 元

发行科电话:(029)2668357,2667874

前 言

传热学是一门与工程实际结合紧密的学科,基本概念较多,分析具体问题时又常常灵活多变,读者在学习时常常难以掌握其要领。本书以国内高校普遍采用的杨世铭、陶文铨编著《传热学(第三版)》作为基架,按国家教育部工科热工课程教学指导委员会最新制订的高学时“传热学课程教学基本要求”,结合作者长期的教学改革与实践,在吸收国内部分高校同行意见的基础上编写而成的。

本书的主要特点如下:(1)“基本知识点”部分力求言简意赅,全面覆盖教学基本内容,使读者在学习时尽量不必翻阅教材;(2)“重点与难点”部分对教学内容的重点和教材中的难点加以阐述和强调;(3)“典型题精解”部分对基本概念和定量计算以典型例题的形式加以讲解,很多例题是从工程实际和日常生活中提炼出来的;(4)“自我测验题”部分由浅入深,从基本概念和定量计算的角度检验读者掌握传热学基本理论的程度。同时,书后还附有国内部分高校传学期末考试题和硕士研究生入学试题。

本书在编写过程中,得到了教育部“面向 21 世纪热工课程教学内容和课程体系改革”项目和教育部的《21 世纪初高等教育教学改革项目》中“能源动力类人才培养方案改革研究与实践”项目的大力支持,在此深表谢意。

在本书即将完稿之际,作者深深感谢曾经给予过指导、鼓励与帮助的人们。首先,深深感谢将作者引入传热学教学这块天地的西安交通大学陈钟頔教授,他曾仔细审阅作者讲课的讲义并提出十分中肯的意见,陈教授敏锐的思维方式和幽默的谈吐深深影响着作者。在本书的写作过程中,作者自始至终都得到了教育部工科热工课程教学指导委员会主任、将作者引入传热学研究领域并在教学方面给予极大帮助的作者研究生时期的导师、西安交通大学陶文铨教授的鼓励与支持,他严谨执着、一丝不苟的工作作风,一直深深激励并鞭策着作者。借此机会,作者衷心感谢曾经给予作者极大帮助和关怀的西安交通大学李妩教授,她仔细阅读了书稿,提出了大量宝贵的建议,使本书增色不少。此外,衷心感谢天津大学赵镇南教授、哈尔滨工业大学谈和平教授、东南大学戴锅生教授、上海交通大学童钧耕教授、重庆大学翟贵立教授、华中科技大学黄素逸教授、浙江大学吴存真教授、清华大学张学学教授等为本书的出版提供的热情帮助。同时,感谢西安交通大学热流中心全体同仁给予的支持。西安交通大学 CFD/NHT 与强化传热研究小组的研究生们对本书的出版提供了不少帮助,杨小玉硕士及刘训良、丁文静硕士

生为本书绘制了部分精美的图表,西安交通大学出版社做了大量的工作,在此一并表示谢意。

最后,作者怀着深深的敬意,感谢来自家人的鼓励与支持。我的妻子任劳任怨,几乎承担了全部的家务;作者编写本书正值女儿年幼需要照料之际,是作者的岳父母给予了最有力的支持;而爱女给作者带来的天伦之乐,给作者无限的工作动力,作者从内心里感激他们。

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

2001 年 6 月

wangqw@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, $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$; 电阻, Ω
R_A	面积热阻, $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
s	程长, m ; 管间距, m
S	形状因子

t	摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$
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
$\varepsilon(\lambda)$	光谱发射率
η	(动力)粘度, $\text{Pa}\cdot\text{s}$; 效率
θ	过剩温度, $^{\circ}\text{C}$ 或 K ; 平面角, rad
Θ	无量纲过剩温度
λ	波长, m 或 μm ; 导热系数, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
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, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^4)$
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
ψ	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, $gl^3\alpha\Delta T/(a\nu)$



王秋旺 1969年9月生，湖北黄冈人，博士，教授。1996年毕业于西安交通大学，获工程热物理专业博士学位并留校任教，从事传热强化和数值模拟研究以及传热学的教学工作，主要讲授本科生《传热学》、《计算流体力学与传热学》和研究生《高等传热学》等课程。作为负责人或主要负责人承担国家重点基础研究发展规划项目、国家自然科学基金重大项目三级子课题、国家自然科学基金项目及横向课题共8项；作为主要完成者承担国家自然科学基金、国家教育部博士点基金项目及横向课题20余项。1996年被评选为第二届“西安交通大学十大杰出学子”和“陕西省优秀毕业生”，1999年获陕西省优秀教学成果特等奖及“研究生教学优秀教师奖”，2000年获“西安交通大学青年教师授课竞赛一等奖”，2001年荣获国家级优秀教学成果二等奖及“西安交通大学首届多媒体授课竞赛二等奖”。主编、参编著作两本，发表科研论文60余篇，其中国际杂志15篇，国际会议15篇，8篇为SCI收录，10篇为EI收录。现任《工业加热》杂志编委，2001年被聘为西安交通大学首批“腾飞人才特聘教授”。

目 录

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 热量是如何传递的? ——热量传递的三种基本方式	(1)
1.1.3 传热过程和传热系数	(3)
1.2 重点与难点	(3)
1.2.1 热量传递的三种基本方式	(3)
1.2.2 传热过程与传热系数	(4)
1.3 典型题精解	(5)
1.3.1 基本概念	(5)
1.3.2 定量计算	(6)
1.4 自我测验题	(9)

第 2 章 导热基本定律及稳态导热

2.1 基本知识点	(11)
2.1.1 导热基本概念及定律	(11)
2.1.2 导热微分方程式及定解条件	(12)
2.1.3 通过几种典型几何形状物体的稳态导热	(13)
2.1.4 通过肋片的导热	(16)
2.1.5 稳态导热的其他情形	(19)
2.2 重点与难点	(19)
2.2.1 傅里叶定律与导热系数	(19)
2.2.2 导热微分方程及定解条件	(20)
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)	(20)
2.2.4 通过肋片的稳态导热	(21)
2.3 典型题精解	(22)
2.3.1 基本概念	(22)
2.3.2 定量计算	(26)
2.4 自我测验题	(36)

第3章 非稳态导热

3.1 基本知识点	(41)
3.1.1 非稳态导热的基本概念	(41)
3.1.2 集总参数法	(42)
3.1.3 一维非稳态导热的分析解	(44)
3.1.4 多维非稳态导热的乘积解	(46)
3.1.5 半无限大物体的非稳态导热	(46)
3.2 重点与难点	(47)
3.2.1 非稳态导热基本概念与特点	(47)
3.2.2 集总参数法	(48)
3.2.3 一维非稳态导热的分析解	(48)
3.3 典型题精解	(50)
3.3.1 基本概念	(50)
3.3.2 定量计算	(53)
3.4 自我测验题	(59)

第4章 导热问题的数值解法

4.1 基本知识点	(62)
4.1.1 导热问题数值解的基本思想	(62)
4.1.2 稳态导热问题数值解法	(63)
4.1.3 非稳态导热问题数值解法	(66)
4.2 重点与难点	(68)
4.2.1 物理问题及数学描写	(68)
4.2.2 节点离散方程的建立	(68)
4.2.3 Taylor 级数展开法和热平衡法的比较	(68)
4.2.4 导热量的计算	(69)
4.2.5 非稳态导热数值解法	(69)
4.3 典型题精解	(70)
4.4 自我测验题	(76)

第5章 对流换热

5.1 基本知识点	(79)
5.1.1 对流换热概说	(79)
5.1.2 对流换热问题的数学描写	(80)
5.1.3 边界层分析及边界层微分方程组	(81)
5.1.4 边界层积分方程组简介	(82)
5.1.5 相似原理	(84)
5.1.6 内部流动强制对流换热及其实验关联式	(85)
5.1.7 外部流动强制对流换热及其实验关联式	(87)

5.1.8 自然对流换热及其实验关联式·····	(88)
5.2 重点与难点·····	(90)
5.2.1 对流换热及其影响因素·····	(90)
5.2.2 牛顿冷却公式·····	(90)
5.2.3 用分析方法求解对流换热问题的实质·····	(90)
5.2.4 边界层概念及其应用·····	(90)
5.2.5 相似原理·····	(93)
5.2.6 管内强制对流换热·····	(93)
5.2.7 外部流动强制对流换热·····	(94)
5.2.8 自然对流换热·····	(95)
5.2.9 对流换热强化·····	(95)
5.2.10 关于无相变对流换热问题的定量计算 ·····	(95)
5.3 典型题精解·····	(95)
5.3.1 基本概念·····	(95)
5.3.2 定量计算 ·····	(101)
5.4 自我测验题 ·····	(112)
 第6章 凝结与沸腾换热	
6.1 基本知识点 ·····	(116)
6.1.1 凝结换热现象 ·····	(116)
6.1.2 膜状凝结分析解及实验关联式 ·····	(116)
6.1.3 膜状凝结的影响因素及其强化 ·····	(119)
6.1.4 沸腾换热现象 ·····	(120)
6.1.5 沸腾换热计算 ·····	(121)
6.1.6 影响沸腾换热的因素 ·····	(122)
6.2 重点与难点 ·····	(122)
6.2.1 凝结换热 ·····	(122)
6.2.2 沸腾换热 ·····	(122)
6.3 典型题精解 ·····	(123)
6.3.1 基本概念 ·····	(123)
6.3.2 定量计算 ·····	(124)
6.4 自我测验题 ·····	(128)
 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 ·····	(130)
7.1.1 热辐射基本概念 ·····	(130)
7.1.2 黑体辐射基本定律 ·····	(131)
7.1.3 实际物体的发射与吸收,灰体,基尔霍夫定律 ·····	(133)
7.2 重点与难点 ·····	(134)

7.2.1 热辐射基本概念及黑体辐射基本定律	(134)
7.2.2 实际物体的辐射特性	(135)
7.3 典型题精解	(137)
7.3.1 基本概念	(137)
7.3.2 定量计算	(139)
7.4 自我测验题	(142)

第8章 辐射换热的计算

8.1 基本知识点	(145)
8.1.1 角系数的定义、性质及计算方法	(145)
8.1.2 被透热介质隔开的两固体表面间的辐射换热	(146)
8.1.3 多表面系统辐射换热的计算	(149)
8.1.4 辐射换热的强化与削弱	(150)
8.1.5 气体辐射	(150)
8.2 辐射换热名词术语一览	(151)
8.3 重点与难点	(153)
8.3.1 角系数	(153)
8.3.2 2个及3个漫灰表面间辐射换热的计算	(153)
8.3.3 辐射换热的强化与削弱	(155)
8.3.4 气体辐射特点及其应用	(157)
8.4 典型题精解	(157)
8.4.1 基本概念	(157)
8.4.2 定量计算	(160)
8.5 自我测验题	(171)

第9章 传热过程分析与换热器热计算

9.1 基本知识点	(174)
9.1.1 传热过程的分析与计算	(174)
9.1.2 换热器的型式及平均温差	(176)
9.1.3 换热器的热计算	(178)
9.1.4 传热强化和隔热保温技术	(181)
9.2 重点与难点	(185)
9.2.1 传热过程	(185)
9.2.2 换热器型式及对数平均温差	(186)
9.2.3 换热器的热计算	(187)
9.2.4 传热的强化与削弱	(188)
9.3 典型题精解	(189)
9.3.1 基本概念	(189)
9.3.2 定量计算	(191)

9.4 自我测验题	(206)
-----------------	-------

附录 A 部分高校传热学期末考试题

A.1 清华大学热能工程系 1999 年传热学期末考试题	(209)
A.2 天津大学热能专业 1999 年传热学期末考试题	(211)
A.3 哈尔滨工业大学 1999 年传热学期末考试题	(214)
A.4 浙江大学 1998 年传热学期末考试题	(216)
A.5 东南大学 2000 年传热学期末考试题	(218)
A.6 重庆大学 1998 年传热学期末考试题	(220)
A.7 华中科技大学 1999 年传热学期末考试题	(222)
A.8 上海交通大学 1994 年传热学期末考试题	(224)
A.9 西安交通大学 2000 年传热学期末考试题	(226)

附录 B 部分高校硕士研究生入学考试传热学试题

B.1 天津大学 1999 年硕士研究生入学考试传热学试题	(228)
B.2 浙江大学 1999 年硕士研究生入学考试传热学试题	(230)
B.3 东南大学 1997 年硕士研究生入学考试传热学试题	(231)
B.4 重庆大学 2000 年硕士研究生入学考试传热学试题	(233)
B.5 华中科技大学 2000 年硕士研究生入学考试传热学试题	(235)
B.6 上海交通大学 1998 年硕士研究生入学考试传热学试题(含流体力学)	(236)
B.7 清华大学工程力学系 1997 年硕士研究生入学考试传热学试题	(238)
B.8 中国科学技术大学 1999 年硕士研究生入学考试传热学试题	(240)
B.9 西安交通大学 2000 年硕士研究生入学考试传热学试题	(242)

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 基本知识点

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,等等,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 热量是如何传递的? ——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。对气体,导热是由于气体分子无规则热运动相互碰撞引起。对固体,导电体的导热由自由电子的运动引起,而非导电固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),对一维的导热问题

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

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。

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;按流体的流动状态分,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:

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

其中 h 为表面传热系数,单位为 $W/(m^2 \cdot K)$ 。与导热系数不一样, h 为过程量,它取决于换热过程的许多因素,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。掌握教材(本书所指的教材是指由杨世铭,陶文铨编著《传热学(第三版)》,即本书参考文献[2],下同)中表 1-1 所示典型条件下表面传热系数的范围是相当重要的。

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。教材第 240 页给出了电磁波谱,从图中可以看出热射线的波段范围在 $0.1 \sim 100 \mu m$ 之间。

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。物体间通过热辐射而交换热量的过程称为辐射换热。显然,它是一种动态平衡的过程。

与导热和对流不同,热辐射可以无需任何介质,在真空中也可以传播。并且,在能量转移过程中还存在着由热能 $\rightarrow$ 辐射能 $\rightarrow$ 热能的转换。

黑体是研究热辐射规律的理想模型。它是指吸收比为 1 的物体。后面的章节将证明黑体同时也是发射本领最大的物体。黑体在单位时间内发出的辐射能由下式计算

$$\Phi = A\sigma T^4 \quad (1-3)$$

式中, σ 为 Stefan - Boltzmann 常数, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$ 。

实际物体辐射热流量的计算式为

$$\Phi = \epsilon A\sigma T^4 \quad (1-4)$$

注意,式(1-3)和(1-4)均为物体表面自身的辐射热流量。前面已指出,辐射换热是一种动态平衡,需算收支总帐。教材中介绍了大空腔(温度为 T_2)内的非凹小物体(面积为 A_1 ,发射率为 ϵ_1 ,温度为 T_1)之间的辐射换热热量计算式:

$$\Phi_{1,2} = \epsilon_1 A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (1-5)$$

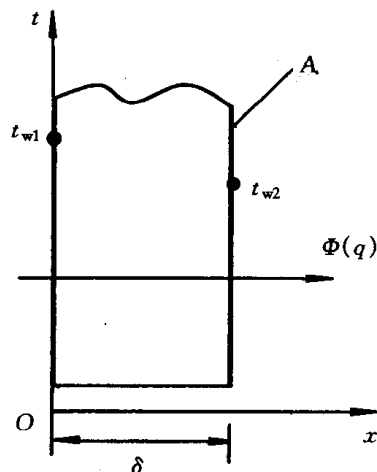


图 1-1 傅里叶定律示意图

1.1.3 传热过程和传热系数

1. 传热过程的概念

我们将热量由壁面一侧流体通过壁面传到壁面另一侧流体的过程称为传热过程。在传热过程中,三种热量传递方式(导热、对流换热、辐射换热)往往同时存在。

2. 传热过程的计算

传热过程的计算由传热方程式确定:

$$\Phi = Ak(t_{f1} - t_{f2}) = Ak\Delta t \quad (1-6)$$

其中,传热系数 k 与表面传热系数 h 的单位一样,为 $W/(m^2 \cdot K)$ 。不同传热过程 k 的大致范围及数量级如教材表 1-2 所示。对平壁传热过程, k 的计算式如下:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} \quad (1-7)$$

k 的大小不仅取决于参与传热过程的流体种类,还与过程本身有关。实际传热过程中,往往由于 t_{f1}, t_{f2} 不是常数,所以需引入对数平均温差 Δt_m 。由式(1-7)可知,表面传热系数 h_1, h_2 是计算传热系数 k 的前提。注意,在必须考虑辐射换热的场合, h_1, h_2 为复合换热表面传热系数。

由于在实际换热器中壁温的测量有时几乎是不可能的,而流体温度 t_{f1}, t_{f2} 容易测定(参见教材第 321 页图 9-6),因而用对数平均温差表示的传热方程式是换热器热工计算的基本公式。

3. 热阻

热阻的概念源自电学中的电阻。图 1-2 示意出了平壁传热过程各部分热阻,其中 $\frac{1}{Ah}$ 常被称为对流换热热阻, $\frac{\delta}{A\lambda}$ 为导热热阻。

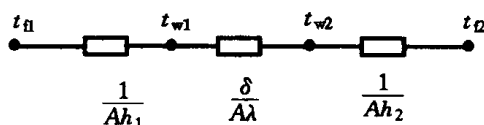


图 1-2 平壁传热过程热阻分析

从图 1-2 可看出:传热过程是一个串联的热量传递过程。在这一过程中,如果通过各个环节的热流量都相等,则各串联环节的总热阻等于各串联环节的热阻之和。

1.2 重点与难点

1.2.1 热量传递的三种基本方式

1. 导热

应充分理解导热是物质的固有本质,无论是气体、液体还是固体,也无论物质是处于气态、液态还是固态,都具有导热的本领。

利用傅里叶定律进行稳态一维物体导热量的计算。应能区分热流量 Φ 和热流密度 q 。前者单位是 W ,后者单位是 W/m^2 且 $q = \Phi/A$ 。同时还应将热流量 Φ 与热力学中的热量 Q 区别开来,后者的单位是 J 。传热学中引入了时间的概念,强调热量传递是需要时间的。

充分掌握导热系数 λ 是一物性参数,其单位为 $W/(m \cdot K)$;它取决于物质的热力状态,如

压力、温度等。对不同的物质,可用教材的附录查得导热系数值。

2. 对流

掌握对流换热是流体流过固体壁面且由于其与壁面间存在温差时的热量传递现象,它与流体的流动机理密不可分;同时,由于导热也是物质的固有本质,因而对流换热是流体的宏观热运动(热对流)与流体的微观热运动(导热)联合作用的结果。

初步会运用牛顿冷却公式 $\Phi = hA(t_w - t_f)$ 或 $q = h(t_w - t_f)$ 计算对流换热量。注意其中 A 为换热面积,必须是流体与壁面间相互接触的、与热量传递方向相垂直的面积。

掌握对流换热的表面传热系数 h 为一过程量,而不像导热系数 λ 那样是物性参数。也正因为如此,不同对流换热过程的表面传热系数的数量级相差很大,这也是教材第5章、第6章所研究的主要内容。记住教材表1-1中不同对流换热过程表面传热系数的数量级对分析具体问题是很有帮助的。牛顿冷却公式只是表面传热系数 h 的定义式。

3. 热辐射

掌握热辐射的特点,区分它与导热及对流的不同之处。掌握黑体辐射的斯忒藩-玻耳兹曼定律。它是一个黑体表面向外界发射的辐射热量,而不是一个表面与外界之间以辐射方式交换的热量。通过对两块非常接近的互相平行黑体壁面间辐射换热的计算,以了解辐射换热的概念。

读者应掌握三种热量传递方式并不是单独出现,常常串联或并联在一起起作用。可以结合日常生活及工程实际中的实例加深理解。教材中以暖气片、省煤器及冷凝器为例进行了分析。读者应能熟练分析一个复杂的实际热量传递过程是有哪些串联的环节组成,以及在同一换热环节中有哪些热量传递方式并联的起作用。这是求解实际热量传递问题的基本功。

1.2.2 传热过程与传热系数

1. 传热过程

充分理解传热过程是热量在被壁面隔开的两种流体之间热量传递的过程。在传热过程中三种热量传递方式常常联合起作用。

能对一维平壁的传热过程进行简单的计算。理解传热系数 k 是表征传热过程强弱的标尺。既然对流换热表面传热系数 h 是过程量,它常作为传热过程的一个环节,因而传热系数也是过程量。同样,记住教材表1-2不同传热过程传热系数的数量级也是非常有用的。将来在分析具体传热过程时,可以用传热系数大致数量级来判断计算结果的正确性。

了解在工程计算中引入传热过程来计算传热量的意义。传热过程广泛存在于各种实际换热装置中。在稳态过程中,通过每一换热环节所传递的热量都是相等的,从原则上讲根据每一环节的换热方式均可计算传递的热量,但在采用傅里叶定律及牛顿冷却公式计算时,式中均含有壁面温度。而工程实际中壁温的测量难度比流体温度的测量难度大。而在传热方程中只需已知冷、热流体的温度。

2. 热阻分析

热阻分析方法与电学中的电阻分析法是一致的;这一分析方法非常重要,读者应很好掌握。热路与电路的相似性表现在:热路中的温度 t 相当于电路中的电势 e ,热路的热流量 Φ 相当于电流 I ,而热阻 R_t 相当于电阻 R 。在电路中,电势差 Δe 是电流的驱动力,同样,在热路中,温差 Δt 是热流的驱动力。同理,电学中电阻的串并联理论同样适用于热学之中。对一个