



21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

工程传热学

邬田华 王晓墨 许国良 潘 阳 陈维汉 编著



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

工程传热学

ENGINEERING HEAT TRANSFER

邬田华 王晓墨 许国良 编 著
潘 阳 陈维汉

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

工程传热学/邬田华 王晓墨 许国良 潘 阳 陈维汉 编著. —武汉:华中科技大学出版社,2011.9

ISBN 978-7-5609-7246-6

I. 工… II. ①邬… ②王… ③许… ④潘… ⑤陈… III. 工程传热学-高等学校-教材 IV. TK124

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 149865 号

工程传热学

邬田华 王晓墨 许国良 潘 阳 陈维汉 编著

策划编辑:刘 勤

责任编辑:刘 勤

封面设计:潘 群

责任校对:刘 竣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:仙桃市新华印务有限责任公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:18.5

字 数:400千字

版 次:2011年9月第1版第1次印刷

定 价:34.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

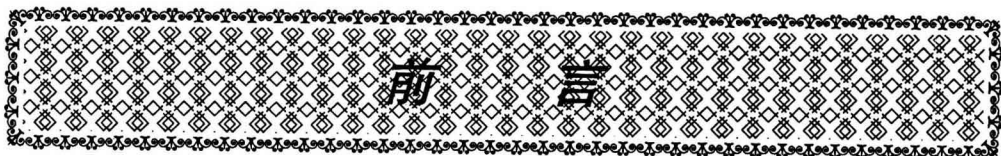
内 容 简 介

本书包括如下内容:第1章绪论;第2章分析稳态导热过程,含一维及多维稳态导热;第3章分析非稳态导热过程;第4章和第5章分别介绍对流换热的原理和计算方法,包括层流对流换热、紊流对流换热、自然对流换热、沸腾与凝结换热;第6章介绍热辐射基础;第7章介绍辐射换热;第8章讨论传热过程与换热器;第9章介绍流动与传热的数值计算。本书内容既可满足大机械类本科32学时的教学要求,也可满足能源动力类本科24~32学时后续深入学习的需要;部分可选内容以带*号的章节来标示。书中所附CD中含有流动与传热数值计算专业软件Saints 2D的教学版,用于传热学课程的虚拟实验教学。

本书除可作为大机械类传热学课程的教材外,也可作为动力、化工、冶金、交通等专业的教科书,还可供有关工程技术人员参考。

Saints 2D 软件的版权归许国良和 Akira Nakayama 所有。

未经书面同意,请勿以任何形式转载发表。



前言

工程传热学是研究工程应用中热量传递规律的科学。在人们的日常生活及工、农业生产和高科技实践等各项活动中,经常伴随着热量传递的现象,传热过程尤其在动力系统中是非常普遍而又十分重要的过程。学习、研究热量的传递规律对改变人们的生活方式,提高能源利用效率,保证工、农业生产的安全可靠等都极为重要。传热学已经成为现代技术科学中充满活力的主要基础学科之一。

由于热科学及技术的重要性,传热学课程的教学改革已成为热工课程教育研究中一项十分迫切的任务。1997年,原国家教委热工课程指导委员会颁发的《重点高校工科热工系列课程教学改革指南》明确指出:“热工课程不仅应是许多大类专业的重要的技术基础课,也应是面向21世纪所有工科类专业的一门公共技术基础课。”2002年,华中科技大学开始了大机械类本科培养模式的改革,将传热学定位为大机械类(机械科学与工程、材料科学与工程、能源与动力工程、环境科学与工程及交通科学与工程共5个学科)的技术基础课程。本书以大机械类培养模式的改革为背景,其基本指导思想是:以培养满足国家和地方发展需要的高素质人才为目标,以提高学生国际竞争能力为重点,以教材建设、教学方法、实验手段的改进为主要途径,加大教学过程中使用信息技术的力度,加强科研与教学的紧密结合,改进和更新实验手段和方法,大力提倡和促进学生主动、自主地学习。同时,也考虑到与国际上著名大学同类学科接轨的要求。

为适应大机械类本科培养模式的改革,本书安排了如下内容:第1章绪论;第2章分析稳态导热过程,含一维及多维的稳态导热;第3章分析非稳态导热过程;第4章和第5章分别介绍对流换热的原理和计算方法,包括层流对流换热、紊流对流换热、自然对流换热、沸腾与凝结换热;第6章介绍热辐射基础;第7章介绍辐射换热计算;第8章介绍传热过程与换热器;第9章介绍流动与传热的数值计算。本书内容既可以满足大机械类本科32学时的教学要求,同时也可以满足能源动力类本科24~32学

时后续深入学习的需要,部分可选内容以带*号的章节来标示。

在内容特色上,本书注重加强实验环节,增加了虚拟实验的内容,同时考虑到数值方法在传热学中的重要性,强化了流动与传热问题数值计算方面的知识。具体做法是:一方面,使用自主开发的流动与传热数值计算专业软件 Saints 2D;另一方面,在国际一流专业软件 FLUENT 的基础上进行二次开发,并且两者可以进行对比分析。制作 Saints 2D 软件的教学版 CD 一张,随书一同发行。

本书由华中科技大学邬田华、王晓墨、许国良、陈维汉和华东交通大学潘阳编写,书中所附教学软件 Saints 2D 由许国良和日本静岡大学教授 Akira Nakayama 合作开发,并在两校及其他多所大学的本科教学中使用。华中科技大学黄素逸教授审阅了全书,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示真挚的感谢!

由于作者水平所限,本书内容肯定存在不妥或错误之处,在此恳请读者谅解,并批评指正。

编著者

2011年4月于华中科技大学

主要符号表

a	热扩散系数, m^2/s	S_b	热源项
$a_{E,W,N,S}$	离散方程系数	S_ϕ	通用变量 ϕ 的源项
A	表面积, m^2	t	摄氏温度, $^\circ\text{C}$
A_c	截面积, m^2	T	热力学温度, K
c	比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	u, v, w	速度分量, m/s
c_f	范宁摩擦系数	u', v'	速度偏差值, m/s
c_D	涡扩散中的经验常数	x, y	笛卡儿坐标, m
c_x	x 向重力方向角余弦	y^+	壁面法则相关的无量纲坐标
c_1, c_2	ϵ 方程经验常数	τ	时间, s ;
C_F	Forchheimer 系数		透射比
C_1	第一辐射常量, W/m^2	α	吸收比
C_2	第二辐射常量, $\text{m} \cdot \text{K}$	β	热膨胀系数, $1/\text{K}$
d	直径, m	δ	厚度, m
d_x, d_y	压力偏差项系数	θ	过剩温度, K
E	辐射力, W/m^2	Θ	无量纲过剩温度
$F_{e,w,n,s}$	经控制体界面的流动	λ	导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;
$f_{e,w,n,s}$	插值因子		波长, m 或 μm
f_r	加权系数	γ	潜热, kJ/kg
g	重力加速度, m/s^2	Γ_ϕ	通用扩散系数
h	表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;	ϵ	紊流动能耗散率, m^2/s ;
	比焓, J/kg		发射率
k	单位面积传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;	ϵ_h	紊流热扩散率, m^2/s
	紊流动能	ϵ^+	空隙率
L	长度, m	μ	动力黏度, $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$
L_{ref}	参考长度, m	ν	运动黏度, m^2/s
p	压力, Pa	ρ	密度, kg/m^3 ;
p'	修正压力, Pa		反射比
P	周长, m ;	σ	表面张力, N/m
	功率, W	$\sigma_k, \sigma_T, \sigma_\epsilon$	等效普朗特数
q	热流密度, W/m^2	Φ	热流量, W
r	径向坐标, m	ϕ	通用变量
R	半径, m		

下脚标		*	无量纲
B	容积平均的	~	估计值
E, e	东边的点	准则数	
N, n	北边的点	Bi	毕渥数, hL/λ
P	中心节点的	Eu	欧拉数, $\Delta p/(\rho u^2)$
p	定压的	Fo	傅里叶数, $a\tau/L^2$
ref	参考的	Gr	格拉晓夫数, $gL^3\beta\Delta t/\nu^2$
S, s	南边的点	Nu	努谢尔特数, hL/λ
t	紊流的	Pe	贝克莱数, uL/a
W, w	西边的点	Pr	普朗特数, ν/a
上脚标		Re	雷诺数, uL/ν
n	新数据	St	斯坦顿数, $h/(\rho v c_p)$
o	原数据		



第 1 章 绪论	(1)
1.1 传热概述	(1)
1.2 传热过程与传热系数	(6)
思考题.....	(8)
习题.....	(8)
本章参考文献	(10)
第 2 章 稳态导热过程分析	(12)
2.1 分析基础.....	(12)
2.2 一维稳态导热分析.....	(21)
* 2.3 多维稳态导热分析	(38)
思考题	(41)
习题	(42)
本章参考文献	(45)
第 3 章 非稳态导热过程分析	(46)
3.1 基本概念.....	(46)
3.2 集总参数法.....	(48)
3.3 一维非稳态导热.....	(53)
* 3.4 半无限大物体的非稳态导热	(68)
* 3.5 二维及三维非稳态导热	(70)
思考题	(73)
习题	(74)
本章参考文献	(77)
第 4 章 对流换热原理	(78)
4.1 对流换热概述.....	(78)
4.2 层流流动换热的微分方程组.....	(80)
4.3 对流换热过程的相似理论.....	(87)
4.4 边界层理论.....	(95)

* 4.5 紊流流动换热	(103)
思考题	(110)
习题	(111)
本章参考文献	(113)
第 5 章 对流换热计算	(115)
5.1 流体外掠(绕过)物体的强制对流换热	(115)
5.2 管内流体强制对流换热	(122)
5.3 自然对流换热	(130)
5.4 沸腾换热	(139)
5.5 凝结换热	(146)
思考题	(152)
习题	(153)
本章参考文献	(161)
第 6 章 热辐射基础	(163)
6.1 基本概念	(163)
6.2 黑体辐射和吸收的基本定律	(166)
6.3 实际物体的辐射和吸收	(173)
6.4 气体的辐射和吸收	(179)
思考题	(185)
习题	(185)
本章参考文献	(187)
第 7 章 辐射换热计算	(188)
7.1 两黑体表面间的辐射换热	(188)
7.2 灰体表面间的辐射换热	(193)
思考题	(201)
习题	(202)
本章参考文献	(205)
第 8 章 传热过程与换热器	(206)
8.1 传热过程的计算	(206)
8.2 换热器的类型	(211)
8.3 对数平均温差	(213)
* 8.4 换热器计算	(216)
思考题	(222)
习题	(222)
本章参考文献	(226)
第 9 章 流动与传热的数值计算	(227)

9.1 数值计算的基本思想	(227)
* 9.2 流动与传热的数值计算	(234)
9.3 Saints 2D 软件简介	(241)
思考题	(266)
习题	(267)
本章参考文献	(271)
附录	(273)



绪 论

在人们的日常生活及工、农业生产和高科技实践等各项活动中,经常伴随着热量传递的现象,传热过程尤其在动力系统中是非常普遍而又十分重要的过程。学习、研究热量的传递规律对改变人们的生活方式,提高能源利用效率,保证工、农业生产的安全可靠等都极为重要。传热学已经成为现代技术科学中充满活力的主要基础学科之一。

工程传热学是研究工程应用中热量传递规律的科学。热量传递简称传热。根据热力学第二定律,热量可以自发地由高温热源传给低温热源,因此,只要有温差存在,就会有热量传递,温差是热量传递的动力。传热学不但要解释热量是如何传递的,同时也要计算传热的速率,预测热量传递的快慢程度。由于有温差才能传热,因此,必须知道所考虑对象的温度分布才能计算传热量的大小。故传热学的基本任务,一是求解温度分布,二是计算热量传递的速率。传热学与工程热力学是有区别的。工程热力学研究热能的性质、热能与机械能及其他形式能量之间相互转换的规律,讨论的是平衡系统,它可以计算需要多少能量才能使系统从一个平衡态变为另一个平衡态。由于实际的转变过程是非平衡态,工程热力学不能计算这一转变需要多长时间。传热学则以热力学第一定律和第二定律为基础,再利用一些实验规律来研究热量传递的速率,不但要计算传递了多少热量,还要计算在多长时间传递了这些热量。

依据物体温度随时间的变化关系,可将传热过程分为稳态传热过程和非稳态传热过程。若物体中各点温度不随时间改变,则对应的传热过程称为稳态热传递过程;若物体中各点温度随时间改变,则对应的传热过程称为非稳态热传递过程。稳态过程和非稳态过程又称为定常过程和非定常过程。

1.1 传热概述

自然界的热量传递有三种基本方式:热传导、热对流和热辐射。任何热量传递过程都是以这三种方式进行的。一个实际的热量传递过程可以是以其中的一种热量传递方式进行,但多数情况下都是以两种或三种方式同时进行的。

1. 热传导

热传导简称导热,是物体内部或相互接触的物体表面之间,由于分子、原子及自

由电子等微观粒子的热运动而产生的热量传递现象。热传导的发生不需要物体各部分之间有宏观的相对位移。

当物体内部存在温度梯度时,能量就会通过热传导从温度高的区域传递到温度低的区域。单位时间内通过单位面积的热流量称为热流密度,用 q 表示。本书全部使用国际单位制,热流密度的单位为 W/m^2 。根据经验,热流密度与垂直传热截面方向的温度变化率成正比,即

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

式(1-1)就是传热学中非常重要的傅里叶定律,由傅里叶(Joseph Fourier)于1822年提出。式中负号是为了满足热力学第二定律,表示热量传递的方向同温度升高的方向相反。 Φ 为通过面积 A 上总的热量,称为热流量,单位是 W 。式中的比例系数 λ 称为材料的热导率,又称导热系数,单位是 $W/(m \cdot K)$,其数值大小反映材料的导热能力,热导率越大,材料的导热能力就越强。导热系数与材料及温度等因素有关,金属是良导热体,热导率最大,液体次之,气体最小。

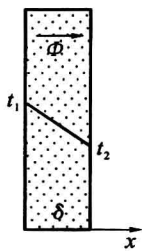


图 1-1 大平板的稳态导热

对于图 1-1 所示的大平板稳态导热,由于是一维问题,且 Φ 和 q 为常量,故 $\partial t / \partial x = dt / dx$ 为常数,这时的傅里叶定律为

$$\Phi = -\lambda A \frac{dt}{dx} = \lambda A \frac{\Delta t}{\delta} \quad (1-2)$$

即稳态情况下流过大平板的导热量与平板的截面积和两侧的温差成正比,与平板的厚度成反比。

这里有必要引入热阻的概念。热量传递是自然界中的一种转移过程。各种转移过程有一个共同规律,即

$$\text{过程中的转移量} = \frac{\text{过程的动力}}{\text{过程的阻力}}$$

如电学中的欧姆定律是这一规律的具体体现:

$$I(\text{电流}) = \frac{U(\text{电压})}{R(\text{电阻})}$$

平板导热可类似写为

$$\Phi = \frac{\Delta t}{\delta / (\lambda A)} \quad (1-3)$$

即

$$\text{热流量} = \frac{\text{温压}}{\text{热阻}}$$

这样导热过程中的导热热阻可表示为

$$R = \frac{\delta}{A\lambda}$$

导热热阻单位是 K/W 。对单位面积而言,有面积热阻

$$R_A = \frac{\delta}{\lambda}$$

面积热阻的单位是 $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ 。

2. 热对流

若流体有宏观的运动,且内部存在温差,则由于流体各部分之间发生相对位移,冷、热流体相互掺混而产生的热量传递现象称为热对流。这时,除了有因流体各部分间宏观相对位移引起的热对流外,流体分子的热运动还会产生导热过程。故热对流和热传导总是同时存在的。

在日常生活及工程实践中,人们遇到更多的是流体流过一个温度不同的物体表面时引起的热量传递,这种情况称为对流换热。在本书中我们只讨论对流换热。当实际流体流过物体表面时,由于黏性作用,紧贴物体表面的流体是静止的,热量传递只能依导热的方式进行;离开物体表面,流体有宏观运动,热对流方式将发生作用。所以,对流换热是热对流和导热两种基本传热方式共同作用的结果。

对流换热可分为强制对流和自然对流两大类。如果流体的运动是由于水泵、风机或其他压差作用而引起,则称为强制对流。自然对流则是由于流体冷、热各部分之间密度不同而导致的流体的运动。另外,流体有相变时的热量传递也是对流换热研究的范畴,如液体在热表面上沸腾或蒸汽在冷表面上凝结。

1701年,英国科学家牛顿提出,当物体受到流体冷却时,表面温度对时间的变化率与流体和物体表面间的温差 Δt 成正比。后来人们在此基础上总结出了计算对流换热的基本公式,称为牛顿冷却公式,其形式为

$$q = h\Delta t \quad \text{或} \quad \Phi = Ah\Delta t \quad (1-4)$$

式中: Δt 为流体和物体表面间的温差,约定永远为正,当流体被加热时 $\Delta t = t_w - t_f$,当流体被冷却时 $\Delta t = t_f - t_w$, t_f 为流体温度, t_w 为物体表面温度,单位为 K 或 $^{\circ}\text{C}$; h 为表面传热系数,单位为 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,习惯上称表面传热系数为换热系数。

式(1-4)同样可表示成热阻的形式,即

$$\Phi = \frac{\Delta t}{1/(Ah)} \quad (1-5)$$

式中: $\frac{1}{Ah}$ 为对流热阻,单位是 K/W 。

式(1-4)是表面传热系数的定义式,并没有指出其具体的计算方法。影响表面传热系数的因素很多,包括流体的物性(如导热系数、黏度、密度、比热容等)、流动的状态(层流、紊流)、流动的成因(自然对流或强制对流)、物体表面的形状、尺寸,换热时流体有无相变(沸腾或凝结)等。研究对流换热的基本任务就是用理论分析或实验方法得出不同情况下表面传热系数的计算关系式。表 1-1 列举了一些对流换热过程的 h 值的大致范围。由表 1-1 可知,水的对流换热表面传热系数比空气的大,强制对流的比自然对流的大,有相变的比无相变的大。

表 1-1 对流换热表面传热系数的大致范围

对流换热类型	表面传热系数 $h/(W/(m^2 \cdot K))$
空气自然对流	1~20
水自然对流	200~1 000
空气强制对流	20~200
高压水蒸气强制对流	1 000~15 000
水强制对流	500~15 000
水沸腾	2 500~50 000
水蒸气凝结(在垂直面上)	4 000~11 000
水蒸气凝结(在水平管外)	9 000~50 000

3. 热辐射

一切温度高于 0 K 的物体都会以电磁波的方式发射具有一定能量的微观粒子,即光子,这样的过程称为辐射,光子所具有的能量称为辐射能。所以辐射是物体通过电磁波来传递能量的方式。物体会因不同的原因发出辐射能。由于热的原因而发出辐射能的现象称为热辐射,这时辐射能是由物体的内能转化而来,物体的温度越高,其辐射能力越强。

自然界中各个物体都不停地向空间发出热辐射,也不断地吸收其他物体发出的热辐射,其综合过程即为辐射换热。前面所述的热传导和热对流两种传热方式必须借助于介质才能进行,而辐射可以在真空中进行,并且真空中辐射换热最有效。物体进行辐射换热时内能和辐射能将相互转换,一方面物体将内能转换为辐射能辐射出去,另一方面又将吸收到的辐射能转换为内能。物体间以热辐射的方式进行的热量传递是双向的。当两个物体温度不同时,高温物体向低温物体辐射热能,低温物体也向高温物体辐射热能,即使两个物体温度相等,辐射换热量等于零,它们之间的热辐射交换也仍在进行,只不过是处于动态平衡状态。

物体的辐射能力与温度有关,同一温度下不同物体的辐射与吸收本领也大不一样。为此,定义一种理想物体——绝对黑体。绝对黑体(简称黑体)是理想化的能吸收投入到你表面上所有热辐射能的物体。这种物体的吸收本领和辐射本领在同温度的物体中最大。黑体在单位时间内发出的热辐射能由斯忒藩-玻耳兹曼定律计算,即

$$\Phi = A\sigma T^4 \quad (1-6)$$

式中: A 为辐射表面积 (m^2); T 为黑体的热力学温度 (K); σ 为斯忒藩-玻耳兹曼 (Stefan-Boltzman) 常数,也称黑体辐射常数, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$ 。

斯忒藩-玻耳兹曼定律又称四次方定律,是计算辐射换热的基础。

有了黑体的概念后,实际物体的辐射能力就可由黑体的辐射能力进行修正:

$$\Phi = \epsilon A\sigma T^4 \quad (1-7)$$

式中： ϵ 为物体的发射率，或称黑度。一切实际物体的辐射能力都小于同温度下的黑体，即 $\epsilon \leq 1$ 。

两个表面间辐射传热量的计算较为复杂，需要考虑各表面辐射的热量和吸收的热量的总和。但有一种情况计算很简单。当一个面积为 A_1 、发射率为 ϵ_1 、温度为 T_1 的表面被另一个温度为 T_2 的大得多的表面包围时，两表面间的辐射热流量为

$$\Phi = \epsilon_1 A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (1-8)$$

例 1-1 有三块分别由纯铜、碳钢和硅藻土砖制成的大平板，它们的厚度都为 $\delta = 25 \text{ mm}$ ，两侧表面的温差都维持为 $\Delta t = t_{w1} - t_{w2} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ，试求通过每块平板的导热热流密度。纯铜、碳钢和硅藻土砖的导热系数分别为 $\lambda_1 = 398 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ， $\lambda_2 = 40 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ， $\lambda_3 = 0.242 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

解 这是通过大平板的一维稳态导热问题，根据式(1-2)，对于纯铜板，热流密度为

$$q_1 = \lambda_1 \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} = 398 \times \frac{100}{0.025} \text{ W/m}^2 = 1.59 \times 10^6 \text{ W/m}^2$$

对于碳钢板，

$$q_2 = \lambda_2 \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} = 40 \times \frac{100}{0.025} \text{ W/m}^2 = 1.6 \times 10^5 \text{ W/m}^2$$

对于硅藻土砖，

$$q_3 = \lambda_3 \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} = 0.242 \times \frac{100}{0.025} \text{ W/m}^2 = 9.68 \times 10^2 \text{ W/m}^2$$

由计算可见，由于几种材料的导热系数各不相同，即使在相同的条件下，通过它们的热流密度也是不相同的。通过纯铜的热流密度是通过硅藻土砖的热流密度的1600多倍。

例 1-2 一室内暖气片的散热面积为 $A = 2.5 \text{ m}^2$ ，表面温度为 $t_w = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ，和温度为 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 的室内空气之间自然对流换热的表面传热系数为 $h = 5.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。试计算该暖气片的对流散热量。

解 暖气片和室内空气之间是稳态的自然对流换热，根据式(1-4)，得

$$\Phi = Ah(t_w - t_f) = 2.5 \times 5.5 \times (50 - 20) \text{ W} = 412.5 \text{ W}$$

故该暖气片的对流散热量为412.5 W。

例 1-3 若例 1-2 中暖气片的发射率为 $\epsilon_1 = 0.8$ ，室内墙壁温度为 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 。试计算该暖气片和室内墙壁的辐射传热量。

解 由于墙壁面积比暖气片大得多，由式(1-8)，两者间的辐射传热量为

$$\begin{aligned} \Phi &= \epsilon_1 A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) = 0.8 \times 2.5 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (323^4 - 293^4) \text{ W} \\ &= 398.5 \text{ W} \end{aligned}$$

可见，此暖气片室内的对流散热量和辐射散热量大致相当。

1.2 传热过程与传热系数

1.1 节介绍了热量传递的三种方式。实际的传热过程一般都是这三种方式的组合。工程上经常遇到处于固体壁面两侧的热流体之间的热交换问题,例如热量从暖气片中的热水或蒸汽传给室内空气的过程、热量从蒸汽管道内的高温蒸汽通过管壁传给周围空气的过程、发电厂冷凝器中热量从乏汽通过冷凝管传给冷却水的过程,电冰箱冷凝器中热量从制冷剂传给室内空气的过程,等等。在传热学中,这种热量从固体壁面一侧的流体通过固体壁面传递到另一侧流体的过程称为传热过程。这一定义有其特定的含义,不是泛指的热量传递过程。一般来说,传热过程由三个相互串联的热量传递环节组成:

- (1) 热量以对流换热和辐射换热的方式从高温流体传给高温流体侧壁面;
- (2) 热量以导热的方式从高温流体侧壁面传递到低温流体侧壁面;
- (3) 热量以对流换热和辐射换热的方式从低温流体侧壁面传给低温流体。

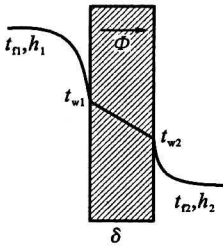


图 1-2 传热过程示意图

在第一和第三个环节中的辐射换热有时可以忽略不计。考虑图 1-2 所示的稳态传热过程,一个导热系数 λ 为常数、厚度为 δ 的大平壁,两侧分别有冷热流体流过。平壁左侧远离壁面处的流体温度为 t_{f1} ,表面传热系数为 h_1 ,平壁右侧远离壁面处的流体温度为 t_{f2} ,表面传热系数为 h_2 ,且 $t_{f1} > t_{f2}$ 。传热过程的三个环节由平壁左侧的对流换热、平壁的导热及平壁右侧的对流换热三个相互串联的热量传递过程组成,各环节的热流量计算如下。

- (1) 热流体到壁面 1 的对流换热:

$$\Phi = Ah_1(t_{f1} - t_{w1})$$

- (2) 从壁面 1 到壁面 2 的导热:

$$\Phi = \frac{A\lambda}{\delta}(t_{w1} - t_{w2})$$

- (3) 壁面 2 到冷流体的对流换热:

$$\Phi = Ah_2(t_{w2} - t_{f2})$$

上面三式中的热流量 Φ 相等,联立可解得

$$\Phi = \frac{A(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} = Ak\Delta t = \frac{\Delta t}{\frac{1}{Ak}} \quad (1-9)$$

式中: k 为传热系数或总传热系数,单位为 $W/(m^2 \cdot K)$;当壁面为平壁时,其计算式为

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} \quad (1-10)$$