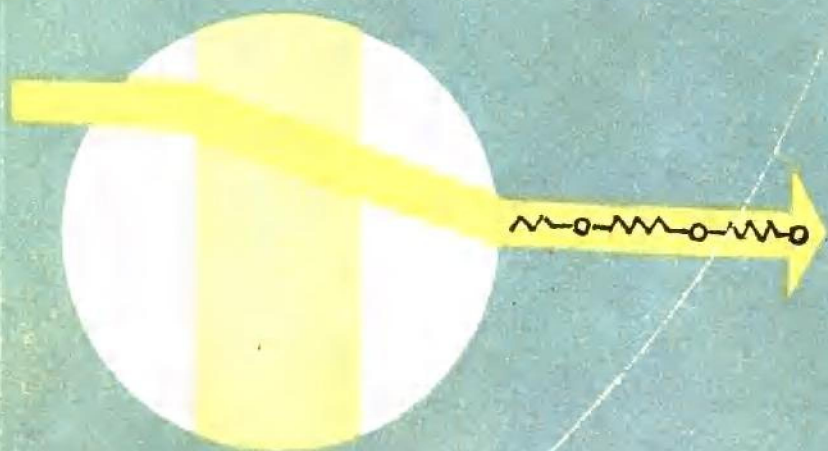




548446

[美] D.R.匹 茨
L.E.西逊姆

机械工业出版社

传热学的理论和习题

548446

TK124-44/01

传热学的理论和习题

HK48/06

[美] D.R. 匹茨
L.E. 西逊姆

上海机械学院 夏雅君 译

徐昂千 校



851A27



C0227477



机械工业出版社

3.11



Schaum's outline series
THEORY AND PROBLEMS
OF
HEAT TRANSFER

BY

Donald R. Pitts

Leighton E. Sissom

McGraw-Hill Book Company 1977

* * *

传热学的理论和习题

D.R. 匹茨

[美] L.E. 西逊姆

上海机械学院 夏雅君 译

徐昂千 校

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $20 \frac{1}{2}$ · 字数 496 千字

1983年7月北京第一版 · 1983年7月北京第一次印刷

印数 00,001—10,600 · 定价 2.55 元

*

统一书号: 15033 · 5443

译者的话

本书是根据美国麦克劳-希尔图书公司 (McGraw-Hill Book Company) 出版一套纲要式的丛书 (Schaum's outline series) 中, 由匹茨 (D·R·Pitts) 和西逊姆 (L·E·Sissom) 编著的“传热学的理论和习题” (Theory and problems of Heat Transfer) (1977) 一书译出。原书是美国高等院校颇为流行的传热学教学用书。

全书共分十一章, 主要内容有一维稳定导热、多维稳定导热、不稳定导热、流体力学、层流受迫对流、湍流受迫对流、自然对流、沸腾和凝结、换热器和热辐射。本书每章前面扼要地论述了传热学的基本理论, 然后备有大量的例题和习题。有些例题属于一般性质, 目的是为了熟悉数值运算和传热学中各种参数的数量级; 有些例题扩展了专业内容, 要求将基本原理应用于新情况, 并自行推导方程式。通过这些例题对传热内容作深入的阐述。全书共有例题 234 题、习题 96 题。

本书具有说理简明、深入浅出的风格; 反映了传热学的近代发展; 原文中采用三种单位制 (英制、公制、SI 制), 在翻译时已全部换算为国际单位制 (SI 制); 例题和习题中大都采用分析解法, 使读者更深刻地理解问题的物理本质, 并且也十分重视传热学原理的工程应用, 介绍了数值解法、对流换热的经验公式以及辐射网络法; 书后附有较为完整的附录, 以供读者查阅, 所以本书是与当前传热学教材紧密配合的习题集; 学习本书时, 在数学基础方面, 除应掌握微积分的一般知识以外, 还应对常微分方程、偏微分方程、数值计算方法及算法语言等有所了解。

本书可作为高等学校工科动力机械、化工等专业的教材参考书, 也可供有关工程技术人员参考。

本书责任编辑为机械工业部教材编辑室周性贤同志。

限于译者的水平, 译文中难免有错误和不妥之处, 恳请读者批评指正。

TK124-44/02

原 序

传热学所包含的课题分类是很广泛的。除论述导热、对流和辐射方式的热能传递外,这门学科还经常包括具有相变的传热以及用于换热器设计的传热问题。有些人把传热的研究集中在热量输运方程的数学推导方面,而另一些人则把论述的焦点放在求取一些大体上都是经验公式的应用方面。在这本肖乌姆纲要式丛书中,我们力求兼顾这二种完全不同的处理方法,深信这样做的结果将适用于各种情况。

在每一章中一般都先给出所引述的那类传热问题的明确定义。在推导特定的基本方程时特别注意了将热力学第一定律正确应用于相应的控制体,并表明一组边界条件和初始条件。这些论述过程一般都是为了导出实用的解析关系式或实验关系式,这些表达式均用插入符号■特别标明。

每章备有大量例题,其中约有 60% 是用英国工程单位制的,其余则用国际单位制(SI)。在例题中也包括了许多推导。其他一些附有答案的习题可作为每章复习之用。

本书既可作为现行教材的补充,也可作为专科学校和高等院校传热学课程的教材。本书对于学习这门课的理工科学生以及对于在工作中要用到传热计算的工程师和科学家们都是有所裨益的。本书各主要课题所收集的资料要比大多数单独课程中所包含的多得多。

对于麦克劳-希尔图书公司肖乌姆平装本分部的编辑人员,特别是对于戴维·贝克威斯(David Beckwith)主编所作出的杰出贡献,我们在此表示衷心感谢。

D·R·匹茨

L·E·西逊姆

符号表●

a	加速度	n	法向
A	面积	p	压力
c	比热	P	周长
c_f	摩擦系数	q	热流量
c_p	定压比热	q''	热流密度
c_v	定容比热	q'''	内热源
c_l	饱和液体比热	Q	容积流量
d	直径	r	半径或径向距离
D	直径或深度	R_f	污垢系数
D_h	水力直径	R_h	水力半径
E	辐射力	R_{th}	热阻
E_b	黑体辐射力	S	比重
E_λ	单色辐射力	S	导热形状因数
f	摩擦因子	t	时间
F	力	T	温度
F_f	摩擦阻力	T_b	容积平均温度
F_{i-j}	由表面 i 到表面 j 辐射换热的角系数	u	内能
g	重力加速度	u	速度
g_c	转换系数	U	传热系数
$G = \frac{\dot{m}}{A}$	质量流速	v	速度
h	焓	v	比容
h	换热系数	V	速度
$\bar{h}$	平均换热系数	V	容积
h_{fg}	汽化潜热	x, y, z	空间直角坐标系
I	辐射强度	x_e	入口段长度
I_λ	单色辐射强度	$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$	导温系数
J	有效辐射	α	吸收率
k	导热系数	β	体积膨胀系数
k_e	当量导热系数	δ	流动边界层厚度
l	特性尺度	δ_t	热边界层厚度
L	长度	ϵ	换热器效率
L_c	肋的修正长度	ϵ	辐射率
m	质量	ϵ_λ	单色辐射率
$\dot{m}$	质量流量	$\zeta = \frac{\delta_t}{\delta}$	热边界层厚度与流动边界层厚度比借

● 此表是译者增添的——译者注

η	伸长系数
η_f	肋效率
θ	球座标或圆柱座标的方位角
θ	温差, $T - T_{ref}$
λ	波长
μ	动力粘度
μ_f	动力粘度系数
ν	运动粘度
ν	辐射频率
ρ	密度
ρ_l	饱和液体的密度
ρ_v	饱和蒸气的密度
ρ	反射率
σ	斯蒂芬-玻耳兹曼常数
σ	液-汽界面的表面张力
τ	流体层间的剪应力
τ	穿透率
τ_λ	单色穿透率
ϕ	球座标或圆柱座标的方位角
ψ	流函数
F_{i-j}	由灰表面 i 到灰表面 j 辐射换热的角系数

无量纲数

$Bi = \frac{hl}{k}$	毕奥准则
$Eu = \frac{p}{\rho V^2}$	欧拉准则
$Fo = \frac{at}{l^2}$	傅里叶准则
$Fr = \frac{V}{\sqrt{gl}}$	佛鲁德准则
$Gr = \frac{\beta gl^3 (T_s - T_\infty)}{\nu^2}$	格拉晓夫准则
$Gz = Re \cdot Pr \cdot \frac{d}{l}$	格雷兹准则
$Nu = \frac{hl}{k}$	努谢尔特准则
$\bar{Nu}$	平均努谢尔特准则
$Pe = Re \cdot Pr$	贝克列准则
$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	普朗特准则
$Re = \frac{Vl}{\nu}$	雷诺准则

$$St = \frac{h}{\rho c_p u} = \frac{Nu}{Re \cdot Pr} \quad \text{斯坦顿准则}$$

$$We = \frac{V^2 l \rho}{\sigma} \quad \text{韦伯准则}$$

下 标

<i>act</i>	实际
<i>air</i>	空气
<i>Al</i>	铝
<i>am</i>	算术
<i>app</i>	表观
<i>asb</i>	石棉
<i>atm</i>	大气压
<i>av</i>	平均
<i>avg</i>	平均
<i>bkn</i>	向后
<i>bo</i>	沸腾
<i>box</i>	箱
<i>cen</i>	中心
<i>ci</i>	冷流体进口
<i>cle</i>	清洁
<i>co</i>	冷流体出口
<i>con</i>	对流
<i>cun</i>	康铜
<i>cri</i>	临界
<i>Cu</i>	铜
<i>dia</i>	菱形
<i>dir</i>	肮脏
<i>dis</i>	盘
<i>dye</i>	染料
<i>emp</i>	经验
<i>eq</i>	当量
<i>fwd</i>	向前
<i>gau</i>	表压力
<i>gra</i>	灰体
<i>gw</i>	玻璃棉
<i>Hg</i>	汞
<i>hi</i>	热流体进口
<i>ho</i>	热流体出口
<i>Hol</i>	空腔
<i>in</i>	进
<i>inf cyl</i>	无限大柱体
<i>inlet</i>	进口
<i>int</i>	分界

lam 层流
ln 对数
long bar 长杆
max 最大
mag 镁
min 最小
mix 混合
oil 油
out 出
outlet 出口
ove 总
pos 杆
ref 参考
rw 玻璃纤维

s 表面
sat 饱和
short cyl 短柱体
sla 板
spa 空间
ste 钢
sto 贮存
sun 太阳
tot 总
tur 湍流
unmix 非混合
wat 水
 ∞ 上游

目 录

符号表	VII	第六章 层流受迫对流	128
第一章 绪论	1	§ 6-1 流动 (等温) 边界层: 平板	128
§ 1-1 导热	1	§ 6-2 热边界层: 平板	132
§ 1-2 对流	1	§ 6-3 管内等温流动	135
§ 1-3 辐射	2	§ 6-4 管内流动的换热	137
§ 1-4 物性	2	第七章 湍流受迫对流	160
§ 1-5 单位	5	§ 7-1 运动方程	160
第二章 一维稳定导热	13	§ 7-2 换热和表面摩擦: 雷诺比拟	163
§ 2-1 引言	13	§ 7-3 流过平板的流动	163
§ 2-2 一般的导热能量方程	13	§ 7-4 管内流动	166
§ 2-3 表面温度恒定时的平壁导热	15	§ 7-5 外掠物体的流动	171
§ 2-4 表面温度恒定的径向导热系统	16	§ 7-6 液态金属的换热	176
§ 2-5 变导热系数的平壁导热	17	第八章 自然对流	195
§ 2-6 具有内热源的导热系统	17	§ 8-1 竖平板	195
§ 2-7 对流边界条件	19	§ 8-2 经验公式: 等温表面	200
§ 2-8 肋片的换热	22	§ 8-3 密闭空间内的自然对流	201
第三章 多维稳定导热	46	§ 8-4 混合的自然和受迫对流	205
§ 3-1 引言	46	第九章 沸腾和凝结	216
§ 3-2 解析法	46	§ 9-1 沸腾现象	216
§ 3-3 导热形状因数	49	§ 9-2 大容积沸腾	217
§ 3-4 数值解	51	§ 9-3 流动 (对流) 沸腾	220
第四章 不稳定导热	73	§ 9-4 凝结	223
§ 4-1 引言	73	第十章 换热器	239
§ 4-2 毕奥准则和傅里叶准则	73	§ 10-1 换热器的型式	239
§ 4-3 集总解	74	§ 10-2 传热计算	241
§ 4-4 表面温度恒定的一维系统	75	§ 10-3 换热器效率 [传热单元数 (NTU) 法]	244
§ 4-5 一维导热系统: 对流边界条件	77	§ 10-4 污垢系数	247
§ 4-6 图解法: 对流边界条件	79	第十一章 辐射	260
§ 4-7 多维系统	84	§ 11-1 引言	260
§ 4-8 数值解	85	§ 11-2 特性和定义	260
第五章 流体力学	108	§ 11-3 黑体辐射	262
§ 5-1 流体静力学	108	§ 11-4 实际表面和灰体	263
§ 5-2 流体动力学	109	§ 11-5 黑体表面的辐射换热	267
§ 5-3 质量守恒	112	§ 11-6 灰体表面的辐射换热	273
§ 5-4 沿流线的运动方程	113	§ 11-7 辐射屏	279
§ 5-5 能量守恒	114		

VI

§ 11-8 具有气体和蒸气时的辐射	280
附录	299
附录 A	
表 A-1 单一量之间的换算因子	299
表 A-2 复合量之间的换算因子	300
附录 B	
图 B-1 流体的动力 (绝对) 粘度	302
图 B-2 流体的运动粘度	303
图 B-3 高压下气体导热系数的 通用曲线图	304

图 B-4 高压下气体动力粘度的 通用曲线图	305
表 B-1 金属的物性	305
表 B-2 非金属的物性	306
表 B-3 饱和液体的物性	310
表 B-4 大气压力下气体的物性	313
表 B-5 气体的临界参数和分子量	316
表 B-6 各种表面的法向全辐射率	316

第一章 绪 论

工程领域中经常遇到的热学有热力学和传热学。传热学对热力学分析起着补充的作用，热力学分析只探讨平衡系统，它和几个补充定律一起方能指出能量传递的速率。

这些补充定律的依据就是三种基本传热方式，即导热、对流和辐射。

§ 1-1 导 热

由均匀介质内部的温度梯度所引起的介质内部的能量传递率可用下式计算

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial n} \quad (1-1)$$

式中 $\frac{\partial T}{\partial n}$ 是面积 A 的法向温度梯度。导热系数 k 是介质的实验常数，其值取决于另一些参数，如温度和压力，这将在 § 1-4 中讨论。 k 的单位是 $W/(m \cdot K)$ 。(有关单位制可参看 § 1-5。)

傅里叶定律[式 (1-1)]中的负号可用热力学第二定律说明：由热势差引起的热能传递一定是从热区到冷区。

如果介质内部的温度分布呈线性(图 1-1)，便可
用下式代替温度梯度(温度梯度为偏导数形式)

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} \quad (1-2)$$

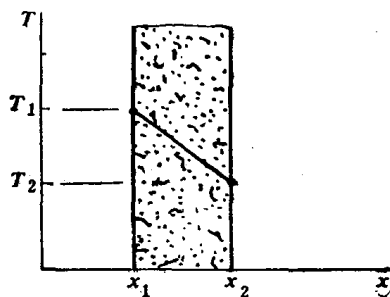


图 1-1

当稳定导热时，在 k 值恒定的均匀介质中总是存在着上述的这种线性关系。

凡是物体内部任意点处(包括表面)的温度确与时间无关时，即出现稳定导热。若温度是随时间变化的，则能量或是被贮存在物体内部，或是被带离物体。这一贮存的能量为

$$q_{sto} = mc_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1-3)$$

式中质量 m 是容积 V 和密度 ρ 的乘积。

§ 1-2 对 流

当物体置于正在流动的、且其温度不同于该物体的流体之中时，则能量必被流体带走即对流出去。

● 原书误为 $\frac{\partial T}{\partial x}$ ——译者注

若流体的上游温度是 T_∞ ，固体的表面温度是 T_s ，则单位时间的热流量为

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (1-4)$$

这即是众所周知的牛顿冷却定律。这一方程把换热系数 h 定义为：每单位时间内单位面积上的热流量与总温差的比值。 h 的单位是 $W/(m^2 \cdot K)$ 。必须记住，在固体-流体边界上主要的能量交换形式是导热，然后这一能量总是被流体以对流形式带出去。比较一下式(1-1)和式(1-4)，便可得出，当 $y = n$ 时，

$$hA(T_s - T_\infty) = -kA\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right), \quad (1-5)$$

式中温度梯度的下标表示按表面处流体中的温度梯度计算。

§ 1-3 辐 射

第三种传热方式是靠电磁波传播，它们在真空中的传播就象在介质中一样。实验数据表明：辐射换热与绝对温度的四次方成比例，而导热和对流却与温差成线性比例。基本的斯蒂芬-玻耳兹曼定律为

$$q = \sigma AT^4 \quad (1-6)$$

式中 T 是绝对温度。常数 σ 与表面、介质及温度均无关，它等于 $5.6697 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$ 。

理想发射体即黑体是按式(1-6)发射辐射能的一种物体。其它一切表面所发射出的辐射能量均略低于此值，有许多表面(灰体)的热辐射可用下式表达，

$$q = \epsilon \sigma AT^4 \quad (1-7)$$

式中 ϵ 为表面的辐射率，它的变动范围为 0 到 1。

§ 1-4 物 性

一、固体的导热系数

许多纯金属和合金的导热系数表示于附录 B 的表 B-1 中。已知成分的固体金属的导热系数基本上只与温度有关。通常纯金属的 k 随温度下降而减小，而合金却具有与此相反的变化趋势。

金属的导热系数在较大的温度范围内常可用下式表达

$$k = k_0(1 + b\theta + c\theta^2) \quad (1-8)$$

式中 $\theta = T - T_{ref}$ ， k_0 是在参考温度 T_{ref} 下的导热系数。对于工程应用，其温度范围相对都比较小，仅几百度而已，因而可用

$$k = k_0(1 + b\theta) \quad (1-9)$$

非均匀物质的导热系数常常是与堆积密度 (apparent bulk density) 有明显的依赖关系。此堆积密度就是物体质量除以所占据的总容积。此总容积包括孔隙容积，例如一块物料总周界内的许多气孔。导热系数也是随温度而变化的。通常，非均匀物质的 k 值是随着温度和堆积密度两者的增大而增大的。附录 B 表 B-2 中例出了非均匀物质的导热系数值。

二、液体的导热系数

在附录B的表B-3中列出了一些工程上常用液体的导热系数值。对于这些液体来说,其 k 值通常都是随温度而变化的,但与压力却无关。此表中的数据是对饱和状态而言的,也就是说,某一流体在给定的温度下,其压力都是指相应的饱和压力值。绝大多数液体的导热系数都是随温度的增加而减小的。水是例外,其 k 值一直到约422.15K(149°C)为止都是随温度增大而增大的,超过此温度后它才随温度的增大而减小。所有液体中除了所谓液态金属外,水具有最高的导热系数值。

三、气体的导热系数

气体的导热系数是随温度增加而增大的,但在接近大气压的压力下它基本上是与压力无关的。附录B的表B-4中列出了某些气体在大气压下的 k 值。对于高压(也即压力数量级等于或大于临界压力)来说,压力的影响就值得注意了。附录B中图B-3的通用图表表示出高压下气体导热系数的近似值。但此图表只有在缺乏高压下导热系数的专用数据时方可使用。

空气和蒸气是两种最重要的气体。(在本章中气体和蒸气两者之间并无区别。)对空气,在绝大多数工程应用上,表B-4中所列的大气压下的数值适用于下列范围:(i) 273.15K(0°C) $\leq T \leq$ 1922.15K(1649°C) 和 $1\text{atm} \leq p \leq 100\text{atm}$; (ii) 199.82K(-73.33°C) $\leq T \leq$ 273.15K(0°C) 和 $1\text{atm} \leq p \leq 10\text{atm}$ 。图B-3不能用于空气,因为这会造成较大误差(需重新修正)。

蒸气的导热系数与压力有很大关系。在作近似计算时,可将表B-4中所列的大气压下的数据和图B-3一起使用。

四、密度

密度是每单位容积的质量。本书中讨论的所有系统都是相当大的,足以符合统计平均含义的要求;这就是说,我们将只考虑连续域,也就是物质成连续分布的区域。对于变密度系统,可把其某一点(特定位置)处的密度定义成

$$\rho \equiv \lim_{\delta V \rightarrow \delta V_0} \frac{\delta m}{\delta V} \quad (1-10)$$

式中 δV_0 是符合连续域含义的最小容积。

对于绝大多数固体和液体来讲,密度只是略与温度有关,在压力不超过100atm时,压力对密度的影响可以忽略不计。固体和液体的密度值列于表B-1、B-2和B-3中。然而,气体的密度却是随压力以及温度作剧烈的变化。在缺乏气体的专门数据时,可根据表B-4中所列的在大气压力下的密度值,然后按理想气体定律来修正。

$$\rho = \rho_1 \left(\frac{p}{p_1} \right) \quad (1-11)$$

比容是密度的倒数,

$$v = \frac{1}{\rho} \quad (1-12)$$

比重是指物体的密度与纯水在压力为一个大气压(760mm汞柱高)和温度为277.15K

(4°C) 时的密度之比值。因此

$$S = \frac{\rho}{\rho_w} \quad (1-13)$$

式中 S 为比重。

五、比热

物质的比热是其所贮存的能量随温度而变化的一种度量。热力学中有两种重要的比热：

$$\text{定容比热:} \quad c_v \equiv \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v \quad (1-14)$$

$$\text{定压比热:} \quad c_p \equiv \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right|_p \quad (1-15)$$

这里 u 是每单位质量的内能, h 是每单位质量的焓。通常, u 和 h 是两个变量 (温度和比容, 温度和压力) 的函数。对于不可压缩的物体, 也就是固体和液体, 其 c_p 和 c_v 在数值上是相等的。可是, 对于气体来说, 这两个比热是截然不同的。 c_p 和 c_v 的单位是 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

对于固体来说, 比热数据仅与温度有微小关系, 而压力的影响则更小了。在相当大的温度和压力范围内, 使用表 B-1 和 B-2 中有限的 c_p 数据时, 常能使人满意。

压力对液体比热的影响甚至要比压力对固体比热的影响更小, 但液体比热却略受到温度的影响。某些液体比热数据已列于表 B-3 中。

气体的比热值随温度有剧烈的变化。而压力的影响, 则除在临界状态附近之外, 其影响极微, 而且随着温度的升高, 比热随压力而变的关系也就消失。对于大多数工程计算, 表 B-4 的数据, 适用的压力可高达 13.6 atm。

六、导温系数

导温系数 α 是把上述已讨论过的诸项进行有效组合, 并定义为

$$\alpha \equiv \frac{k}{\rho c_p} \quad (1-16)$$

可以看出, α 是物料的导热系数与热容量之比。其单位是 m^2/s 。具有高 α 的物体可使热能迅速扩散过去, 而 α 低的物体, 则热能的扩散缓慢。

附录 B 的某些表中列出了导温系数值。必须指出, 对气体来讲, 导温系数 α 随压力和温度都有剧烈的变化; 所以这些气体的导温系数仅适用于大气压下, 并且只对特定温度才正确。

七、粘度

实际流体, 即粘度不等于零的流体, 其最简单的流动状况就是沿平壁作层流流动 (图 1-2)。在此模型中, 流体层彼此作平行滑动, 紧贴于壁面处的分子层为静止层。从壁面向外的其次一层沿着此静止层滑动, 由于这些流层之间的摩擦切应力, 就会阻滞或减慢次一层的运动。从壁面继续向外, 到达一定距离之后, 由于壁面而造成的流体减速现象, 在该处就不再象前面那么明显了。

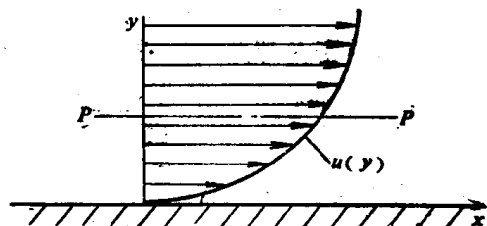


图 1-2

今考察 $P-P$ 平面, 紧贴在此平面之下的流层的速度为 $u - \delta u$, 而紧贴在此平面之上的流层的速度为 $u + \delta u$ 。这里 u 是 $P-P$ 平面 y 位置上 x 方向的速度值。这两个紧靠流层间的速度差产生一个切应力 τ 。牛顿假定这一切应力直接和此平面的法向速度梯度成正比:

$$\tau = \mu_f \frac{du}{dy} \quad (1-17)$$

比例系数 μ_f 称为动力粘度系数, 或简称为动力粘度或绝对粘度。

八、粘度单位

正如式 (1-17) 所示, μ_f 的单位是 $\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$ 。在许多应用中发现, 以质量单位表示的动力粘度比以力单位表示的要方便得多。本书中, μ_m 是表示以质量为依据的粘度系数。在 SI 制中, μ_m 的单位是 $\text{kg} / (\text{m} \cdot \text{s})$, 并且在数值上 $\mu_m = \mu_f$ 。在英国工程制中, μ_m 的单位是 $\text{lbm} / (\text{ft} \cdot \text{s})$, 并且在数值上 $\mu_m = (32.17) \mu_f$ 。正由于这些粘度单位是互不通用的, 我们就将动力粘度简写成 μ 。

对于气体和液体来说, 动力粘度与温度的关系是很密切的, 但与压力的关系就不那么明显了; 其数值列于表 B-3 和 B-4 中。

气体的粘度就和气体导热系数的情况一样, 当压力趋近或超过临界值时, 其动力粘度就与压力有关。在缺少高压下的专门的气体粘度值时可使用图 B-4 的通用图表。然而对于空气来说, 在大多数工程问题中, μ 随压力的变化可忽略不计; 在个别情况中, 使用通用图表计算时需对粘度作严格的修正。

动力粘度与密度之比称为运动粘度 ν :

$$\nu \equiv \frac{\mu_m}{\rho} \quad (1-18)$$

ν 的单位是 m^2 / s 。

务必注意: 运动粘度和动力粘度不同, 它与压力有很大关系 (因为密度是取决于压力的)。表 B-4 的数值仅适用于一个大气压; 若把它们用于高压时必须予以修正。

§ 1-5 单 位

表 1-1 汇总了常用的一些单位制。牛顿第二运动定律中的比例常数 g_c 已示于该表最后一行中。

$$F = \frac{1}{g_c} ma \quad (1-19)$$

表 1-1

单 位 制	基 本 单 位	导 出 单 位	比 例 常 数, g_c
米制 (绝对单位制)	质量, g 长度, cm 时间, s 温度, °K	力: 达因 (dyn) = $\text{g} \cdot \text{cm} / \text{s}^2$	$1 \text{ g} \cdot \text{cm} / (\text{dyn} \cdot \text{s}^2)$
英制 (绝对单位制)	质量, lb 长度, ft 时间, s 温度, °R	力: 磅达 (pdl) = $\text{lbm} \cdot \text{ft} / \text{s}^2$	$1 \text{ lbm} \cdot \text{ft} / (\text{pdl} \cdot \text{s}^2)$

(续)

单 位 制	基 本 单 位	导 出 单 位	比 例 常 数, g_c
英制(技术单位制)	力, lbf 长度, ft 时间, s 温度, °R	质量 斯(sn) = lbf·s ² /ft	1 sn·ft/(lbf·s ²)
英制(工程单位制)	力, lbf 质量, lbm 长度, ft 时间, s 温度, °R	(无)	32.17 lbm·ft/(lbf·s ²)
国际单位制(SI)	长度, m 质量, kg 时间, s 温度, K	力: 牛顿(N) = kg·m/s ²	1 kg·m/(N·s ²)

例 题

1-1 一块厚为 38.1mm 的均质平板, 其两个表面的温度保持均匀不变, 分别为 310.93K(37.78°C)和 294.26K(21.11°C), 试确定稳态时通过该板每单位面积的热流量。板料的导热系数为 0.1903W/(m·K)。

解 此题的实际情况如图 1-3 所示, 对于稳定态, 可联立求解式 (1-1) 和式 (1-2) 得到:

$$\begin{aligned} \frac{q}{A} &= -k \left(\frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} \right) \\ &= -0.1903 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \left(\frac{294.26 - 310.93}{38.1/1000} \right) \frac{\text{K}}{\text{m}} \\ &= +83.26 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

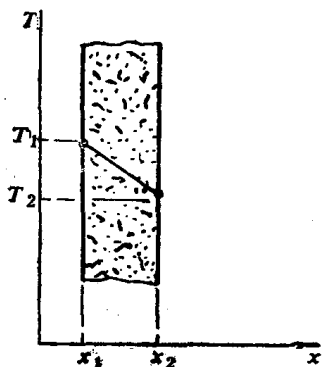


图 1-3

1-2 某一热流体流过一冷表面时, 其换热系数是 227.13W/(m²·K)。在冷表面上游处的流体温度为 394.26K(121.11°C), 而表面温度保持 283.15K(10°C)。试确定流体传给表面的每单位面积的热流量。

解 对此题可使用方程式 (1-4), 但该式所示热流是从表面到流体, 故符号必须相反。因此

$$\frac{q}{A} = h(T_\infty - T_s) = 227.13 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} [(394.26 - 283.15) \text{K}] = 25236 \text{ W/m}^2$$

1-3 日落后, 人们站在砖墙附近可感到辐射能。此时砖墙具有的表面温度约为 316.48K(43.33°C), 而型砖辐射率约为 0.92。试问在此温度下每平方米砖墙所放出的辐射热流量是多少?

解 可使用方程式 (1-7)。

$$\frac{q}{A} = \epsilon \sigma T^4 = (0.92) \left(5.6697 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right) [(316.48)^4 \text{K}^4] = 523.28 \text{ W/m}^2$$

必须指出, 在所有的辐射能计算中都必须使用绝对温度。

1-4 试确定氢气在 533.15K(260°C)和 15atm 时的导热系数。

解 对于这一压力, 人们或许会怀疑表 B-4 中所给出的在 533.15K(260°C) 和 1 atm 工况下的数值需要作压力修正。其实, 从表 B-4 中, 使用线性内插法即可求得:

$$k_1 \approx 0.2852 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

式中下标“1”表示压力为 1 atm。

在附录 B 的表 B-5 中, 给出各种气体的临界参数, 从该表中得: $p_c = 12.8 \text{ atm}$ 和 $T_c = 33.3 \text{ K}$ 。因此, 对比压力和对比温度是:

$$P_r = \frac{15}{12.8} = 1.172 \quad T_r = \frac{533.15}{33.3} = 16$$

从图 B-3 中可看出当 $T_r \approx 16$ 时, $\frac{k}{k_1} \approx 1.0$, 因此 $k \approx 0.2852 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 。在此情况下由于温度相对较高, 所以就不存在压力影响。

1-5 试估算在 273.15 K 和 $13.789 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ 时空气导热系数的最大值 $[\text{W/(m} \cdot \text{K)}]$ 。

解 从表 A-2 得到:

$$p = \left(13.789 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \left(\frac{1}{1.01325 \times 10^5} \frac{\text{atm}}{\text{N/m}^2} \right) = 136.1 \text{ atm}$$

从表 B-5 中查得, 临界状态为 $p_c = 37.2 \text{ atm}$, $T_c = 132.4 \text{ K}$ 。因此,

$$P_r = \frac{136.1}{37.2} \approx 3.66 \quad T_r = \frac{273.15}{132.44} \approx 2.06$$

从图 B-3 中(对于空气或许尚需要修正)查得 $\frac{k}{k_1} \approx 1.37$ 。从表 B-4 中查得 $k_1 \approx 0.024 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 。

$$k \approx \left(0.024 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right) (1.37) = 0.033 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

1-6 试确定氮气在 299.82 K (26.67°C) 和市售通用瓶装压力 136 atm 时的 k 值。

解 从表 B-5 查得, 临界状态为 $p_c = 33.5 \text{ atm}$, $T_c = 126.1 \text{ K}$ 。因此,

$$P_r = \frac{136 \text{ atm}}{33.5 \text{ atm}} = 4.06; \quad T_r = \frac{299.82 \text{ K}}{126.1 \text{ K}} = 2.378$$

从图 B-3 查得 $\frac{k}{k_1} \approx 1.25$ 。从表 B-4 查得 $k_1 = 0.02619 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, 故

$$k = \left(0.02619 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right) (1.25) = 0.0327 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

1-7 试问空气在 4.08 atm 和 449.82 K (176.67°C) 下的近似密度值为多少?

解 从表 B-4 查得空气在 1 atm 和 449.82 K (176.67°C) 时的密度为 $\rho_1 = 0.7833 \text{ kg/m}^3$ 。由式 (1-11) 求得:

$$\rho = \rho_1 \left(\frac{p}{p_1} \right) = \left(0.7833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \frac{4.08 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 3.196 \text{ kg/m}^3$$

● 原书将 59.9°R 误为 59.9°F——译者注

● 原书误为表 A-1——译者注

● 原书误为 300°F——译者注

● 原书将 lbm/ft³ 误为 lbm/ft——译者注