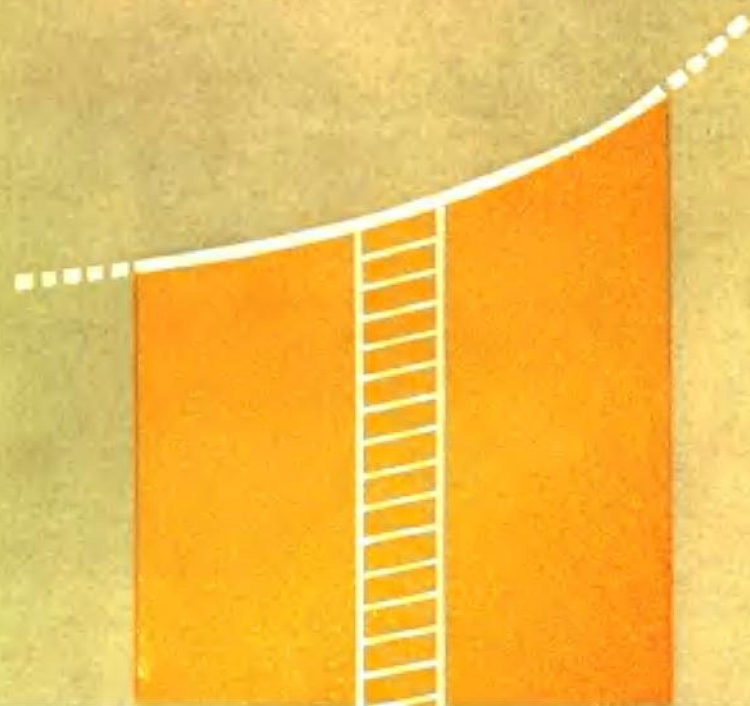


[美] K. 沃克 著

热力学

上册

马 元 刘桂玉 洪春华 刘咸定 吴沛宜 译



人民教育出版社

内 容 简 介

本书根据美国麦克劳-希尔图书公司 (McGraw-Hill Book Company) 1977 年出版 K. 沃克 (Kenneth Wark) 所著的《热力学》第三版译出。该书内容全面, 重视基本概念和基本理论, 注意工程应用。同时, 该书还加强了微观论述。全书共十七章。第一到第八章从宏观角度阐述第一、二定律和纯物质的物理性质。第九章从微观观点引入熵和第二定律。第十章讲述量子统计力学的应用。第十一、十二章分别介绍理想气体混合物、实际气体状态方程及其混合物。第十三章介绍一般热力学关系式。第十四、十五两章论述燃烧、热化学与化学平衡。第十六、十七章讨论气体循环与蒸汽循环。

本书上册部分包括第一到第十章。

全书采用 SI 单位, 同时也并列有 USCS 单位。书中附有大量的例题及习题。

本书可作机械动力、热物理、制冷、低温、能源及空间技术等专业大学生、研究生、教师参考用书, 亦可供有关科技人员参考。

热 力 学

上 册

[美] K. 沃克 著

马 元 刘桂玉 洪春华

刘咸定 吴沛宜 译

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 16.5 字数 400,000

1981年10月第1版 1983年5月第1次印刷

印数 00,001—10,000

书号 15012·0374 定价 2.10 元

译者说明

工程热力学是动力、热物理、制冷、低温、能源及空间技术等学科的重要理论基础。随着工业和科学技术的发展,更多领域都需要有较深厚的热力学基础知识。近年来我国虽已出版了几本工程热力学试用教材,但仍远较国外出版的多种热力学教材为少。同时,教师、研究生、高年级大学生亦迫切需要系统新颖、内容较深广、微观阐述有所加强,但又适合工科大学应用的热力学教材及参考书。为了适应这种需要,我们翻译了美国 K. 沃克所著《热力学》(1977 年第三版)这本书。

本书共有十七章,内容全面、重视基本概念与基本理论,如第一定律扩大了比功的概念,并从更一般的方法发展了关于控制容积的分析;第二定律既从宏观角度阐述,也从微观角度论述,并专有一章讲述能的可用性;在微观论述的基础上还独具特色地专门列入“量子统计力学的应用”一章;针对有化学反应的系统,讨论了用第三定律分析熵以及物性计算,并以化学势为基础讨论了化学平衡。本书亦适当地扩大了热力学理论在工程上的应用。原书并列有 SI 和 USCS 单位的两套例题、习题和图表,其中 SI 单位的例题 200 多题,习题 1000 多题,便于教学和自学中选用。

本书采用的功的正、负号规则与一般习惯相反,以系统对外做功为负,但有的地方又未能遵守这一规则,以致有些公式令人费解。为此,译者对其中不妥之处加了译注。第八章因公式较多,译注中按一般符号规则推导了相应的公式,以供读者在阅读时参考。

为了减少译文篇幅,译者将原书 USCS 单位习题删去。因原书正文中有时引用 USCS 单位例题的数据,有些章节的两种例题

亦不尽相同，故将 USCS 单位的例题仍全部译出。对原书中的例题、习题的数据和答案译者没有逐题核对，但发现的错误已予以订正。对书中个别不妥之处(除了功的正负号以外)亦作了订正，并在重要之处加了译注。

在翻译过程中得到我校外语教师付承宗同志的大力协助，谨此表示感谢。

限于译者的水平，本书肯定有不妥和错误之处，希望得到同志们的批评和指正。

译 者

一九八一年十月

中文版序

工程热力学研究能量由一种形式至另一种形式的转换,尤其要研究由热能(热)向功转换的限制条件。要理解热力学原理不仅要有微积分学的基础,而且要有物理学和化学的基本知识。本教材着重于热力学的应用,也就是说,其目的不仅在于提供控制能量转换过程的基本原理或基本理论,而且在于这些原理在大量工程装置中的应用。

由于侧重于应用,本书每章都有例题,并在每章末列出许多习题。作者认为只有通过大量解题才能牢固掌握热力学原理。热力学应用于实际过程还要用到很多物性知识。因此,书末附录列有大量的物性数据和图表。习题的数据一般选自实际工程设计的取用值。

感谢西安交通大学热工教研室马元、刘桂玉等将此书译为中文。愿此译本能提供读者解决有关能量领域问题所需的必要的热力学基础。

K. 沃克

一九八一年于普度大学

序 言

本版是对 1971 年发行的第二版作了较大修订的版本。除了增加新的例题和习题外,本书将近一半的内容是新的或经过修改的。一个较大的变动是增加了专门采用 SI 单位的一套例题、习题和图表,这就充实了由第二版沿用下来的、采用英工程制单位 (lb_f , lb_m , ft , s) 的相类似的内容。本版只用这两种单位制。通常,习题或是用 SI 单位表示或是用英工程制单位表示,但是两种单位制不混合使用。因而,在使用本书时可以单独采用 SI 单位或 USCS^① 单位。此外,通过作业题的适当选择,可以使两种单位制都得到训练。凡采用 SI 数据的例题、习题和图表,在其编号后都用符号 M 标明。在本版中 SI 资料通常放在英工程制资料的前面。

本书除少数例外,在用 SI 单位时,能量的单位为 kJ,质量的单位为 kg,压力的单位用 bar 而不用 Pa 的倍数。表中比容的单位为 cm^3/g 而不是 m^3/kg ,如果单位用 m^3/kg ,常常会使比容 v 的数值很小。不过,解题时比容的这两种单位都使用。附录中分别列出以 SI 单位和英工程制单位表示的两套对应的数据。

根据过去五年使用第二版的教学经验,本版还作了其它许多修改。某些部分,采用比较醒目的标题形式,以便在安排课程时可以灵活地选择课题。此外,本书还可用于指导符合个人特点的(按各自进度的)学习。为了便于这种教学,每章后面的习题都分类组合成若干专题,并给予恰当的标题,使教师或学生能较容易地选择所需的习题。

正如第二版那样,本版中第二定律的基本概念既可以从宏观

① USCS(The United States Customary System)为美国常用单位制,原书有时也称英工程单位制——译者注。

的角度得出,也可以从微观的角度得出。不过,这些材料不再合在一章之中。前面七章,从经典的即宏观的角度介绍了第一定律、第二定律的基本概念和物质的性质。第九、第十章则介绍统计学观点。如果想以统计学方法代替宏观的方法来阐述第二定律,则应将第九章接在前五章之后,而把第七章接在第九章之后。

第二章中,关于封闭系统能量分析的介绍已经重写,并扩大了比功概念的范围。第四章中涉及物性的种种讨论已作很大修改。关于控制容积的分析,已从更一般的(但仍是非向量的)方法加以发展。稳定态和稳定流动的分析则作为具有工程重要性的特例来阐述。在阐述了熵的概念及方向性的第二定律之后,第七章紧接着叙述了卡诺热机、制冷机和热泵的概念。这样就能及时地加强熵概念和 TS 图的应用,而不需要任何计算熵变的专门方程。

第十一章中,有关空气-水蒸汽混合物的工程应用部分,篇幅大大增加。第十四章包括:有化学反应的理想气体混合物的第三定律的熵分析;在分析反应系统(包括燃料电池)时,讨论了生成吉布斯函数的应用。第十五章关于反应中理想气体混合物的化学平衡的初步分析,现在是以化学势的概念为基础的;还讨论了同时发生几种化学反应时的平衡分析。第十七章包含了吸收式制冷机的初步讨论。

对于引自第二版的习题的适用性,已作过仔细检查,并增加了许多用USCS单位的新习题。当然,SI单位的习题,本教材中过去还从未有过。可供使用的习题数量很多,教师可以从中挑选一些合适的习题并做到若干年内不出现重复。

作者对 L.N. 香克斯为原稿新增部分所进行的出色的打字工作,表示感谢。与学生和教师们的多次讨论,对本版的很多修改工作起了作用,对于他们的帮助也表示衷心的感谢。

K. 沃克

符 号 表

A	面积		变量或自由度(相律中)
	亥姆霍兹函数, $A = U - TS$	F_k	可度量的广义力
	拉格朗日未定乘数	$F_{k,q}$	平衡广义力
a	比亥姆霍兹函数, $a = u - Ts$	f	粒子的自由度
	维里系数	G	吉布斯函数, $G = H - TS$
	加速度	ΔG	单元化学反应的吉布斯函数变化
B	拉格朗日未定乘数, $B = 1/kT$	ΔG_T°	单元化学反应的标准状态吉布斯函数变化
b	维里系数	g	当地重力加速度
C	组份数(吉布斯相律中)常数	g_c	牛顿定律中的重力常数, $F = (1/g_c)ma$
CV	控制容积	g_i	简并度、统计重量
c	维里系数	H	焓, $H = U + PV$
	粒子速度	H	磁场强度
	光速	Δh_R	反应焓
c_v	定容比热 $(\partial u / \partial T)_v$	Δh_f	生成焓
c_p	定压比热 $(\partial h / \partial T)_p$	Δh_c	燃烧焓
c_H	定外加磁场下的比热	h	比焓, $h = u + Pv$
c_M	定磁化强度比热		普朗克常数
d	点函数的无穷小增量	I	不可逆性
E	贮存能		惯性矩
E	电场强度	j	转动量子数
e	比贮存能	KE	动能
F	力	K_T	等温压缩性系数

K_p	理想气体化学反应的平衡常数	Q_u	不可用能
k	比热比, c_p/c_v 平移量子数 玻耳兹曼常数	Q_e	电荷
k_s	弹性常数	R	气体常数, R_u/M
L	长度	R_u	通用气体常数
M	质量, 作量纲用 摩尔质量, 分子量	r	质团间的距离 压缩比
M	单位容积的磁化强度	r_c	截止比(预胀比)
MEP	平均有效压力	r_p	压力比
m	物质的质量	S	熵 表面张力
$\dot{m}$	质量流率	s	比熵 距离
m'	粒子质量	T	温度
N	摩尔数	t	时间
N_A	阿伏加德罗常数	U	内能
n	粒子数 多变常数	u	比内能 x 方向的粒子速度
P	压力 相数(在相律中)	Δu_R	化学反应的内能
P	极化强度	V	容积 速度 静电势
PE	势能	v	比容 振动量子数
P_n	排列数	v_r	相对容积
P_R	对比压力	W	功 重量 热力学几率
p_r	相对压力	w	重度 振动波数
p_i	几率, n_i/n 组份压力	X_i	广义位移
p'_i	分压力	x	干度、品质
Q	热量		
q	单位质量的热量		
Q_A	可用能		

	摩尔成分		学计算)系数
	直角坐标	Δv	单元化学反应化学计量系数的变化
	统计参量, hcw/kT	ρ	密度
y	汽相摩尔成分	σ	对称数
	直角坐标		应力
Z	压缩性系数 (可压缩性系数), $Z = \frac{PV}{RT}$	t	时间
			力
z	高度	ϕ	封闭系统的可用性
	直角坐标		当量比
	分子的配分函数		相对湿度
希腊字母和专用符号		ψ	随时间变动的波函数
β	等压压缩性系数		总流的可用性
	工作系数(COP)	ψ	不随时间变动的波函数
Δ	点函数或参数的有限增量		单位质量流体的可用性
δ	过程函数无限小增量的符号	ω	角速度
ϵ	粒子能量		比湿、湿度比
	应变	$\mathcal{V}$	容积(只用于 5-2 节)
$\mathcal{E}$	emf, 电动势	$\sum_i x_i$	$x_1 + x_2 + \dots + x_n$ 之和
η	效率	$\prod_i x_i$	$x_1 x_2 x_3 \dots x_n$ 之积
$\mathcal{F}$	法拉第常数	$\equiv$	恒等式符号, 用于给出定义
θ	温度函数	下标	
θ_D	德拜温度, $h\nu_m/k$	a	实际过程的终态
θ_R	转动温度, $h^2/8\pi^2 I k$	c	临界状态
θ_v	振动温度, hcw/k	f	饱和液体值
μ_{IT}	焦耳-汤姆逊系数	fg	饱和液和饱和汽的值差
μ_i	第 i 种组份的化学势	g	饱和蒸汽值
ν	振子的基本频率	H	高温(如 T_H 和 Q_H)
	化学计量(化学当量、化	L	低温(如 T_L 和 Q_L)

m	混合值	mp	最可几宏态
r	相对值	rot	转动能模式
s	等熵过程的终态	tr	移动能模式
R	对比状态	vib	振动能模式
v	汽态	BE	玻色-爱因斯坦
x	湿区参数值	FD	费米-狄喇克
σ	系统标示	MB	麦克斯韦-玻耳兹曼

目 录

译者说明	1
中文版序	3
序言	5
符号表	7
第一章 基本概念和定义	1
1-1 热力学的性质	1
1-2 能量与社会	2
1-3 热力学定律简介	7
1-4 热力系统、参数和状态	9
1-5 量纲和单位	14
1-6 密度、重度、比容和压力	20
1-7 温度和第零定律	25
1-8 理想气体状态方程式	28
1-9 理想气体温标	32
参考文献	33
习题	33
第二章 热力学第一定律	40
2-1 封闭系统和开口系统	40
2-2 功和绝热过程的概念	41
2-3 机械能和静电能形式的功	42
2-4 热力学第一定律	45
2-5 能量 E 的性质、总能量	47
2-6 封闭系统能量守恒原理	49
2-7 热量的测量和能量当量	51
2-8 准静态过程中的各种功量	53
2-9 非准静态功	64

参考文献	67
习题	67
第三章 状态公理和参数关系式	75
3-1 状态公理	75
3-2 简单系统	76
3-3 简单可压缩封闭系统的能量守恒原理	79
3-4 内能、焓及其特性	81
3-5 理想气体的内能、焓和比热的关系式	83
3-6 气体的比热	85
3-7 解题技巧	90
3-8 理想气体封闭系统的能量分析	92
参考文献	102
习题	103
第四章 纯物质的物理性质	110
4-1 PvT 面	110
4-2 压力-温度图	115
4-3 压力-容积图	118
4-4 纯物质性质表	121
4-5 数据表格和封闭系统能量分析	137
4-6 压缩因子和对比态	149
4-7 不可压缩物质的参数关系式	154
参考文献	160
习题	160
第五章 控制容积的能量分析	170
5-1 稳定态控制容积分析的理想化	170
5-2 控制容积的质量守恒原理	173
5-3 控制容积的能量守恒原理	180
5-4 特定的守恒方程	187
5-5 稳定态系统的工程应用	190
5-6 瞬变流动的分析	212

5-7	刚性容器的充气 and 放气	214
5-8	有边界功的瞬变流动系统的分析	222
	习题	226
第六章	第二定律的宏观阐述	239
6-1	引言	239
6-2	平衡与第二定律	242
6-3	热机	243
6-4	永动机	247
6-5	可逆过程与不可逆过程	248
6-6	贮热器和贮功器	253
6-7	可逆机与不可逆机的热效率	255
6-8	热力学温标	257
6-9	卡诺(Carnot)效率	258
6-10	克劳修斯(Clausius)不等式	259
6-11	熵	262
6-12	熵增原理	264
6-13	贮热器和贮功器的熵变化	267
	参考文献	268
	习题	269
第七章	第二定律的推论	271
7-1	温熵图	271
7-2	卡诺热机和可逆卡诺循环	273
7-3	可逆与不可逆热作用的影响	282
7-4	TdS 方程	285
7-5	理想气体的熵变	287
7-6	实际气体饱和状态的熵变	298
7-7	不可压缩物质的熵变	303
7-8	功的相互作用的关系式	306
7-9	等熵过程	309
7-10	焓熵图	320

7-11	一些稳定流动装置的效率	322
7-12	稳定态装置中的不可逆绝热过程	324
7-13	控制容积的熵增原理	340
	参考文献	343
	习题	343
第八章	可用能与可用性	359
8-1	可用能和不可用能	359
8-2	封闭系统的可用性	370
8-3	稳定流动过程中的可用性	379
8-4	封闭系统和开口系统的不可逆性	383
	习题	387
第九章	熵和第二定律的统计观点	398
9-1	能的量子化	398
9-2	熵函数	400
9-3	热力学第二定律	407
9-4	可逆过程与不可逆过程	414
9-5	功和热的微观含义	414
9-6	熵和最可几宏态	416
9-7	用宏观变量表示的熵的变化	421
9-8	贮热器和贮功器	427
9-9	第二定律在封闭系统中的应用	427
9-10	热机的概念	429
	参考文献	434
	习题	434
第十章	量子统计力学的应用	439
10-1	气体的简单动力理论	439
10-2	玻色-爱因斯坦、费米-狄喇克和麦克斯韦-玻耳兹曼 统计学	446
10-3	BE、MB 和 FD 分布律	453
10-4	拉格朗日乘数 A 的计算	460

10-5	拉格朗日乘数 B	461
10-6	分子的配分函数及其与理想气体宏观参数的关系	465
10-7	粒子的平移能级	470
10-8	刚性直线转子的旋转能量	471
10-9	线性谐振子的振动能量	472
10-10	平移能量模式的分子配分函数	473
10-11	刚性转子的分子配分函数	474
10-12	线性谐振子的振动配分函数	476
10-13	理想单原子气体的性质	477
10-14	旋转模式对双原子气体性质的贡献	479
10-15	振动模式对双原子气体性质的贡献	483
10-16	平移能的麦克斯韦能量分布函数	487
10-17	辐射和光子气体	493
10-18	爱因斯坦和德拜(Debye)的单原子固体模型	498
10-19	电子气体	501
	参考文献	505
	习题	505

第一章 基本概念和定义

1-1 热力学的性质

热力学是一门研究能量转换以及与转换有关的物性(或参数)间的相互关系的科学。物质的性质可以通过分析物质的宏观性质或者通过组成物质的各个粒子的性质的统计平均值来预测。热力学分析中不涉及各个粒子的性质及其相互作用,因而,属于经典热力学的范畴。经典热力学是以宏观观点研究物质及物质间的相互作用的,它所关心的焦点在于总的、全局的效果。经典热力学不要求对物质的原子规模的详细结构作出假定,因此,它的一般定律不会随着物质性质的新知识的被发现而改变。

研究热力学性质和能量间关系的另一种方法是建筑在大量粒子群的统计性质的基础上的。这种方法乃是建立在微观观点之上的,称为统计热力学。统计热力学把统计力学的计算技术和量子论的结论结合了起来。由微观出发,预测并解释平衡情况下物质的宏观特性是统计热力学的双重目的。统计热力学假定,我们直接测量到的或根据其他测量计算得到的宏观参数(如压力、温度、密度等)仅仅是反映大量粒子行为的某种统计平均值。在现代技术中,当物质处于极端的温度、极端的压力时,统计热力学的方法就极其重要。此外,用微观方法来解释也有其用处。例如,对熵这个热力学参数的微观解释往往有助于学生进一步理解这一概念。熵的微观意义将在第九章中讨论。这项理论对于象热离子现象、热电现象等一类能量直接转换的新方式的近代发展也是有帮助的。

另一种分析粒子行为的独立的途径是属于动力理论的领域。