



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工程热力学

(第二版)

陈贵堂 王永珍 编著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

TK123/32

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
面向 21 世纪教学内容和课程体系改革推荐教材

工 程 热 力 学

(第二版)

陈贵堂 王永珍 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书运用外界分析法的基本思路及逻辑结构来组织内容,以实现“起点提高、重点后移”的改革目标。全书共十二章,包括基本概念、基本定律、工质性质及工程应用四个部分。

本书从六个非限定定义及六个非限定概念出发,通过推理及论证,逐步形成由一系列可运算定义及概念所组成的、能反映学科全貌的网络体系;又从系统发生变化的根本原因出发,通过对作用量的性质及效果的分析,建立热力学基本定律的普遍表达式。SAM 体系用“能质衰贬原理”作为热力学第二定律的普遍说法,同时提出了熵方程及焓方程,充实了基本定律的内容,有效地消除了对熵及焓的神秘感。

本书与其他教材相比有许多不同的地方,有较好的教学适用性和工程实用性,对培养和提高学生的热力分析的能力有明显的效果。本书具有较好的通用性,提供的内容可使不同专业及不同层次的学生,都有充分选择的余地。同时,翔实的内容,足够的例题、习题、思考题及各种必要的图表,便于学生自学,也可供有关专业技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学/陈贵堂,王永珍编著. —2版. —北京:北京理工大学出版社,2008.1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-81045-414-8

I. 工… II. ①陈…②王… III. 工程热力学-高等学校-教材
IV. TK123

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 174363 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 20.75

字 数 / 485 千字

版 次 / 2008 年 1 月第 2 版 2008 年 1 月第 3 次印刷

印 数 / 5001~9000 册

定 价 / 36.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

主要符号表

一、英文字母

A, a (Availability)	能容量的 E 炯及比炯
A, A^*, A_{cr}	截面积, 滞止截面积及临界截面积
a, a^*, a_{cr}	气流的当地声速, 滞止声速及临界声速
A_U, a_U	热力学能的炯及比炯
A_H, a_H	焓炯及焓的比炯
ΔA	系统的炯值变化
$\Delta A^{TR}, \Delta A^{WR}, \Delta A^{MR}, \Delta A^0$	热库、功库、质量库及周围环境的炯值变化
$(\Delta A)_Q, A_Q$	热量的炯流及炯值
$(\Delta A)_W, A_W$	功量的炯流及炯值
$(\Delta A)_M, A_{fi}, A_{fe}$	质量流的炯流及进出口的质量流能容量的炯值
An (Anergy)	能容量 E 中的熵
c, c^*, c_{cr}	气体的流动速度, 滞止流速及临界流速
C, c	工质的热容及比热容
c	活塞式压气机的余隙比
c_p, c_v	定压质量比热容及定容质量比热容
c'_p, c'_v	定压容积比热容及定容容积比热容
$\bar{c}'_p, \bar{c}'_v$	定压摩尔比热容及定容摩尔比热容
$c_{p0}^t, c_{p1}^{t_2}$	$0^\circ\text{C} \sim t^\circ\text{C}$ 的平均定压比热容及 $t_1^\circ\text{C} \sim t_2^\circ\text{C}$ 的平均定压比热容
$c_{v0}^t, c_{v1}^{t_2}$	$0^\circ\text{C} \sim t^\circ\text{C}$ 的平均定容比热容及 $t_1^\circ\text{C} \sim t_2^\circ\text{C}$ 的平均定容比热容
c_n	多变比热容
d	湿空气的含湿量
E, e	系统的能容量及其比能容量
E_0	寂态时系统的能容量, $E_0 = E_{0\text{无用}} = U_0$
E_K, E_P	宏观动能及宏观位能
E_{fi}, E_{fe}	进口及出口质量流的能容量
ΔE	系统能容量的变化
$\Delta E^{TR}, \Delta E^{WR}, \Delta E^{MR}, \Delta E^0$	热库、功库、质量库及周围环境的能容量变化
$(\Delta E)_Q, (\Delta E)_W, (\Delta E)_M$	热量的能流, 功量的能流, 质量流的能流
$E_{\text{有用}}, E_{\text{无用}}$	系统能容量中的有用能及无用能 $E_{\text{无用}} = U_{\text{无用}}$
F, f	亥姆霍兹函数及比亥姆霍兹函数; 广义力 F
G, g	吉布斯函数及比吉布斯函数

$\bar{g}_{298}^0, \bar{g}_f^0$	化学标准状态下的标准吉布斯函数及生成吉布斯函数
$\bar{g}_T^0, (\bar{g}_T^0)_f$	标准大气压力下任意温度时的标准吉布斯函数及生成吉布斯函数
$\bar{g}_{TP}, (\bar{g}_{TP})_f$	任意指定状态(T, p)下的标准吉布斯函数及生成吉布斯函数
$\bar{G}_i$	多元系统中组元 i 的分摩尔吉布斯函数
G_P, G_R	生成物(P)及反应物(R)的总吉布斯函数
$(\Delta G_{RP}^0)_T$	标准大气压力下任意温度 T 时的标准反应吉布斯函数
$(\Delta G_{RP})_T$	在温度为 T 的定温条件下的反应吉布斯函数
H, h	焓及比焓
h', h'', h_x	饱和水、干饱和蒸汽及干度为 x 的湿蒸汽的比焓
$h''_{v(t)}$	湿空气温度(t)下饱和蒸汽的比焓
h^*, h_{cr}	滞止状态及临界状态的比焓
$(\Delta \bar{h}_{0 \rightarrow p})_T$	任意温度下的焓的偏差函数
$(\Delta \bar{h}_{0 \rightarrow p}^*)_T$	任意温度下假想理想气体的焓的偏差函数
$\bar{h}_r$	焓偏差
H_P^0, H_R^0	生成物(P)及反应物(R)在化学标准状态下的总焓
$\bar{h}_{RP}^0, h_{RP}^0$	1 kmol 及 1 kg 燃料的标准反应焓, 又称为燃烧焓
$(\bar{h}_{RP})_T, (h_{RP})_T$	在温度 T 时 1 kmol 及 1 kg 燃料的反应焓
HV, HHV, LHV	热值, 高热值及低热值
I, i	焓损及比焓损 不可逆性损失及比不可逆性损失
I_{in}, I_{out}, I_{tot}	内部焓损、外部焓损及总焓损
I_C, I_T	压气机实际过程的焓损及汽轮机实际过程的焓损
k	比热容比; 等熵指数
K_p	化学反应平衡常数
m	工质的质量
m_v, m_a	湿空气中水蒸气的质量及干空气的质量
M	摩尔质量(即气体的分子量)
M, M^*, M_{cr}	气流的马赫数, 滞止马赫数及临界马赫数
M_i	混合气体组元 i 摩尔质量
n	工质的摩尔数; 多变指数
p, p_b, p_g, p_v	绝对压力, 大气压力, 表压力, 真空度
p_0	周围环境的压力
p_r	空气的定熵相对压力
p_v, p_a	湿空气中水蒸气的分压力及干空气的分压力
$p_{s(t)}$	温度 t 时饱和湿空气中水蒸气的分压力, 即湿空气温度下的饱和压力
p^*, p_{cr}	滞止压力及临界压力

p_B	背压
$\bar{p}$	循环的平均压力
p_N	转变曲线上的最大转变压力
p_c, p_r	临界状态压力及对比态压力
$(p_c)_{\text{mix}}$	混合气体的折合临界压力
Q, q	热量及比热量
$Q_{\text{纯热量}}, q_{\text{纯热量}}$	除热量外无其他作用量时的热量及比热量
Q_1, Q_2	循环中, 系统与高温热库及低温热库交换的热量
Q^{TR}, Q^0	热库交换的热量及周围环境交换的热量
Q_0, q_0	循环的净热及比净热
q_l, q_g	液体热量及过热热量
r	汽化潜热
$R, \bar{R}$	气体常数及通用气体常数
S, s	熵及比熵
s', s'', s_x	饱和水、干饱和蒸汽及干度为 x 的湿蒸汽的比熵
$s_0^0, \bar{s}_T^0$	绝对基准态下的绝对比熵及温度 T 时 1 kmol 的绝对熵
$\bar{s}_f^0, \bar{s}_{298}^0$	化学标准状态(1 atm, 25 °C)下 1 kmol 的生成熵及绝对熵
ΔS	系统的熵值变化
$\Delta S^{\text{TR}}, \Delta S^{\text{WR}}, \Delta S^{\text{MR}}, \Delta S^0$	热库、功库、质量库及周围环境的熵值变化
$(\Delta S)_Q, (\Delta S)_W, (\Delta S)_M$	热量的熵流, 功量的熵流, 质量流的熵流
$S_{\text{Pin}}, S_{\text{Pout}}, S_{\text{Ptot}}$	内部熵产、外部熵产及总熵产
S_P, S_R	生成物(P)及反应物(R)的总熵
SSSF	稳态稳流(Steady State Steady Flow)
$(\Delta \bar{s}_{0 \rightarrow p})_T$	任意温度下的熵的偏差函数
$(\Delta \bar{s}_{0 \rightarrow p}^*)_T$	任意温度下假想理想气体的熵的偏差函数
$\bar{s}_r$	熵偏差
T, t	热力学温度及摄氏温度
T^{TR}	热库的温度
T^0	周围环境的温度
T_{tp}	水的三相点的热力学温度
$\bar{T}_1, \bar{T}_2$	平均加热温度及平均放热温度
t_d	湿空气的露点温度
t_D, t_w	干球温度及湿球温度, 湿球温度等于绝热饱和温度
T^*, T_{cr}	滞止温度及临界温度
T_U, T_D	分别为转变曲线上对应压力下的上转变温度及下转变温度
T_c, T_r	临界状态温度对比态温度
$(T_c)_{\text{mix}}$	混合气体的折合临界温度
U, u	热力学能及比热力学能

$U_{\text{无用}}$	系统的无用能 $U_{\text{无用}} = E_{\text{无用}}$
USUF	均态均流 (Uniform State Uniform Flow)
U_P, U_R	生成物(P)及反应物(R)的总热力学能
$\bar{u}_{\text{RP}}^0, u_{\text{RP}}^0$	1 kmol 及 1 kg 燃料的标准反应热力学能
$(\bar{u}_{\text{RP}})_T, (u_{\text{RP}})_T$	在温度 T 时 1 kmol 及 1 kg 燃料的反应热力学能
V, v	工质的体积及比容
V_0, v_0	物理标准状态下工质的折合标准容积及比容
v', v'', v_x	饱和水、干饱和蒸汽及干度为 x 的湿蒸汽的比容
v^*, v_{cr}	滞止状态及临界状态下气流的比容
v_c, v_r	临界状态比容及对比态比容
$\Delta V, \Delta V^0$	系统的体积变化及周围环境的体积变化, $\Delta V = -\Delta V^0$
V_C, V_h	活塞式压气机的余隙容积及工作容积
W, w	功量及比功
$W_{\text{纯功量}}, w_{\text{纯功量}}$	除功量外无其他作用量时的功量及比功量
W_0, w_0	循环的净功及比净功
W_v, W_t, W_s	容积变化功、技术功及轴功
W_f, W_{fi}, W_{fe}	流动功、进口流动功及出口流动功
$W_{\text{ad}} = W_{\text{绝热}}$	绝热 (Adiabatic) 功
$W_u = W_{\text{有用}}$	有用 (useful) 功
$W_{\text{rev}} = W_{\text{可逆}}$	可逆 (reversible) 功
$(W_{\text{可逆}})_{\text{max}}, (W_{\text{有用}})_{\text{max}}$	最大可逆功及最大有用功
$w_L, w_{\text{LC}}, w_{\text{LT}}$	实际过程的功损, 压气机的功损及汽轮机的功损
x	湿蒸汽的干度 x
x_i	混合气体组元 i 的质量成分
y_i	混合气体组元 i 的摩尔成分, 摩尔成分等于容积成分
Z, Z_c	压缩因子及临界压缩因子

二、希腊文字母

α_p, α_v	绝热膨胀系数及压力的温度系数
α	化学反应的离解度
β_{cr}	气流的临界压力比
β_s, β_T	定熵压缩系数及定温压缩系数
ε_{HPC}	卡诺热泵的供热性能系数
ε_{RC}	卡诺制冷循环的制冷系数
ε_{HP}	热泵供热系数
ε_{R}	制冷性能系数
ε	压缩比, 湿空气的焓湿变化比, 化学反应的反应度
ξ, ξ_{max}	制冷循环的热量利用系数及最大的热量利用系数

η_i	循环热效率
η_{ic}	卡诺循环的热效率
η_N	喷管效率
η_{sC}, η_{sT}	压气机的绝热效率及汽轮机的绝热效率
η_v	活塞式压气机的容积效率
η_{TC}	活塞式压气机的定温效率
K	热电联产的热量利用系数
λ	升压比
μ_{JT}	焦耳 - 汤姆孙系数, 焦 - 汤系数又称为绝热节流系数
μ_i	多元系统中组元 i 的化学势
π	活塞式压气机的增压比
ρ, ρ_0	密度及物理标准状态下的密度
ρ_a, ρ_v	湿空气中干空气的密度及水蒸气的密度 (即湿空气的绝对湿度)
ρ_s	饱和湿空气的绝对湿度
ρ	预胀比
ρ^*, ρ_{cr}	滞止状态及临界状态下的气流密度
τ	时间, 布雷顿循环的升温比
ϕ	湿空气的相对湿度, 喷管的速度系数
Φ, Φ_0	热力学能的焓函数及寂态时热力学能的焓函数
ψ_0, ψ_i, ψ_e	寂态时焓的焓函数, 在进口状态及出口状态下焓的焓函数
ω	热电联产的电热比

再版前言

1997年8月在太原召开了“面向21世纪热工课程教学改革”的研讨会。在会议上本人作了有关外界分析法(SAM)体系的中心发言,引起与会教师的兴趣和好评。1998年《工程热力学》一书的出版,标志SAM理论体系的诞生。该书出版之后,由东北电力学院及天津大学,于1998年先后承办了东北地区及京津地区部分院校参加的“SAM体系研讨会”,对《工程热力学》一书展开了热烈的讨论,得到与会教师的普遍欢迎和好评。2001年12月,“面向21世纪热工系列课程教学内容及课程体系改革”的研究课题获得国家级教学成果一等奖,《工程热力学》教材获得国家级教学成果二等奖。

SAM体系是在长期教学实践中逐步形成的,其正确性及优越性也在教学实践中得到了证实。实践证明,SAM体系在逻辑结构上的变革是成功的,实现了“起点提高、重点后移”的改革目标,它与其他理论体系相比,有明显的优点。

《工程热力学》一书出版已经九年,虽然现在理解并接受SAM体系的人逐渐多了起来,但由于SAM体系是一种全新的体系,目前积极采用的还是少数。因此,宣传及推广SAM体系仍是当前及今后相当长一段时期的艰巨任务。

《工程热力学》第二版的编写工作已经纳入“十一五”国家级教材规划,也是吉林大学“十一五”教材规划的立项资助项目。本书由吉林大学陈贵堂教授编著,王永珍副教授负责教学实践、制作课件及制图。本书的出版对宣传及推广SAM体系将起重要的作用。

第二版不仅保持了原有的特色,与第一版相比还有以下几个特点。

一、在全书的逻辑结构上更加突出了SAM体系的主线

由于SAM体系是一种全新的体系,在第一版中不可避免地要对其他理论体系进行分析比较,这对SAM理论体系的成功诞生是必要的。但对青年教师及学生来说,线索多了不易掌握主线,在教学上会有一定的难度。第二版删除了一些与SAM体系关系不大的内容,使得本书的知识结构更加合理,SAM体系好教、好学、好用的特点也更好地体现了出来。

二、在全书的内容上SAM体系的特色更加明显

本书与其他教材相比有许多不同的地方,第二版精简了一些内容之后,使这些特色更加明显了。譬如,基本概念的唯一确定性;基本定义的最大包容性;基本定律表达式的普遍适用性。又如用针对性的提示来解决关键性的问题;用概念性的公式及实用性的口诀来淡化长公式。此外,SAM体系的基本思想方法贯穿全书,在教学过程中能够潜移默化地起作用,对培养素质和提高能力有明显的效果。细心的读者定能发现,本书的特点绝不止这些。

三、充分体现了“起点提高、重点后移”的良好效果

例如,论证“内能”及“熵”的存在的学时数省下来了;热量定义中对功量的依附性可以消除了;热力学第二定律的内容明显地充实了;SAM体系在寂态概念及热力学能和熵变定义的基础上,顺理成章地引出了一系列有关能质的基本概念,在能质分析中起着重要的作用;教学过程的思路与解决工程实际问题的思路一致了;引出质量流的新概念不仅使焓有了明确的物

理意义,而且抓住质量跨越边界这个基本特征来研究开口系统,从根本上改变了传统的、对开口系统的间接分析方法;作用量始终是热力学模型中最活跃的因素,引出作用量的能流、作用量的熵流及作用量的焓流等新概念,为建立具有更大包容性和普遍适用性的基本定律表达式奠定了基础;工质的通用热力性质明显地加强了等等。“起点提高、重点后移”的好处不胜枚举。

四、同时出版了与本书配套的《工程热力学学习指导》

《工程热力学学习指导》是与本书配套的教学参考书,又是以题解的方式来介绍 SAM 体系的工具书。它包含了大量 SAM 体系的重要概念及重要结论,并着重介绍了 SAM 体系的解题思路、解题方法及解题步骤,可以有效地提高解题能力及解决实际工程问题的能力。该书对本书各章都有明确的提示,对充分发挥本书在教学过程中的作用,将起积极的作用。

在本书即将定稿之际,我要借此机会向对本书第一版做出贡献的同志们表示衷心的感谢。

首先要感谢浙江大学吴存真教授对本书第一版书稿认真负责的审稿,并写出了综合评语。特别使我感激不尽的是,清华大学王补宣先生在病中“翻阅”了我的书,并给我写了一封亲笔信(出书后收到的第一封信)。信中提出了宝贵的意见和建议,字里行间渗透着热诚的鼓励和深切的期望,先生的严谨学风令人敬佩。

在申报国家级奖的过程中,浙江大学吴存真教授、哈尔滨工业大学严家骏教授、西安交通大学陶文铨教授和何雅玲教授、上海电力学院华自强教授、天津大学刘嘉智先生及吉林大学于秀敏教授,都对本书写了评论意见。在武汉国际会议(ICECA)期间,海军工程大学资深教授杜先之先生、重庆大学曾丹苓教授、东南大学施明恒教授及华中科技大学黄素逸教授,对本书获奖表示热诚祝贺和鼓励。在此,谨致深切的感谢。

东北电力大学杨善让教授以及天津大学马一太教授和赵镇南教授,分别为承办东北地区及京津地区的“SAM 体系研讨会”不辞辛苦,在此再次表示衷心的感谢。

杜先之先生已经 85 岁了,还答应担任第二版的审稿任务,我很感动。因为本书第一版已由很多教授审阅评论,而且本人已经 72 岁了,想要速战速决在年内交稿,经与出版社商定,第二版就不请专家审稿了。尽管如此,杜先之先生对我的支持和帮助还是难能可贵的。

北京理工大学出版社对编写工作热诚支持,密切配合,在此再次表示衷心的感谢。

陈贵堂

2007 年 5 月于吉林大学

前 言

科技发展为热力学的应用开辟了广阔的前景。热力学在新兴动力装置、新工质、新能源的开发利用,在节能原理及技术的应用、总能系统的优化、高效热工设备的设计等方面都起到了重要的作用。随着科技发展及用能水平的提高,人们对不同形式能量的性质以及能量转换规律的认识也大大提高,使热力学的理论研究有了很大进展。如非平衡热力学、有限时间热力学、变质量系统热力学、溶液热力学、化学热力学以及热力学与其他学科交叉的边缘学科等,都有了不同程度的发展。作为热科学各个分支共同基础的经典热力学,只有在不断完善自身结构的过程中,才能发挥其更大的作用。

科技的迅速发展、新知识的激增,对教学提出了更高的要求。但是,工程热力学的教学内容及体系,基本上仍沿袭 19 世纪在探索“未知”的过程中所建立的 CJKCP 体系,它的起点较低,有些方面比较陈旧落后。目前的这种教学状况,与教学面向 21 世纪的要求及科技发展的形势是很不相称的。教学起点亟待提高,教学内容亟需充实,教改力度理应加强。

1995 年国家教委制订的“面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”正式启动,这项具有远见卓识的计划,对于各系列课程的改革无疑具有强大的“整体推动”作用。本书是根据该计划的改革精神,结合学科发展及课程教学的现状,并在认真总结多年教改经验的基础上编写而成的。

教学过程是传授“已知的”、“成熟的”知识的过程,可以不必完全重复前人对“未知”的思辨探索过程,应当而且可以在现代认识水平的基础上,重新组织教学内容,使课程体系更全面地反映学科的全貌,又具有更好的教学适用性和工程实用性。学时数是有限的,新的课程体系必须建立在新的教学起点上,把重点后移,才有可能把学科近期发展的新成果充实到教学内容中去。

理论的发展是积累和更新、继承和批判的辩证统一。继承并非照搬,本书在“起点提高、重点后移”的思想指导下,慎重地处理了“继承”与“发展”的关系,采用外界分析法(SAM)的结构形式,实现了“起点”的提高及“重点”的转移。“起点提高”的含义是,跃过前人对一系列重要概念(如热力学能、熵等)的曲折的“探索未知”的思辨过程,而在现代认识(即前人的论证结果)的基础上直接给出它们的确切定义,并以此作为本学科的新的起点。“重点后移”的意思是,把学科的基本内容及论证重点,从论证这些参数的存在转移到对这些参数发生变化的根本原因以及对变化过程中所遵循的客观规律的描述及论证上来。

外界分析法是在长期教学实践中逐步形成的,其正确性及优越性也在教学实践中得到了证实。SAM 体系的主要优点体现在以下几个方面:

(1) SAM 体系建立在现代认识水平的基础上,“起点提高、重点后移”既符合学科发展的现状,又符合教学面向 21 世纪的教改要求,较好地处理了“继承”与“发展”的关系。

(2) SAM 体系对于基本定律的表述,具有较大的包容性及普遍适用性,这是 SAM 体系的逻辑结构(包括初始条件、物理模型、研究范畴、基本思路、论证方法、内在联系等)所决定的。在进行热力分析时,应用 SAM 体系的普遍关系式着手比较容易,具有较好的工程实用性。

(3) SAM 体系中的概念及定义,都是在对具体事物的特殊本质的仔细分析的基础上提出来的,因此,这些概念、定义以及相应的计算公式,都具有唯一确定的性质。理解了物理意义,也就记住了公式,实用性好。

(4) SAM 体系中所内含的基本思想方法,在教学过程中能够潜移默化地起作用,这种内在的保证体系,能“逼迫”学生多次重复地进行外界分析法的实践,这对培养和提高热力分析的能力有明显的效果。

本书篇幅较大,其主要原因是:

(1) SAM 体系是一种全新的体系,许多新的概念及新的论证方法都是首次发表,必须尽可能地交代清楚;

(2) 热力学理论的应用范围极为广泛,涉及许多专业。本书提供的内容,可使不同的专业及不同层次的读者,都有充分的选择余地。

(3) 为了适应学时减少的趋势,提供详尽的教材,不仅便于学生自学,而且具有资料保存的价值,可供以后查用。

吉林工业大学、浙江大学、西安交通大学及天津大学承担了“面向 21 世纪工程热力学教学内容及课程体系改革”的研究课题。编写本书是其中的重要任务之一,由吉林工业大学课题组陈贵堂、张忠进教授、崔淑琴副教授担任。本书由陈贵堂编著,张忠进和崔淑琴承担了部分制表、登录及排版等工作。

北京理工大学出版社对编写工作热诚支持,通力合作;聘请国家教委热工课程指导委员会副主任委员、浙江大学吴存真教授担任审稿;许多同行及教研室的同事们,对编写工作热情支持和鼓励,提出了不少宝贵的意见和建议,在此,谨致深切的感谢。

在外界分析法形成的重要阶段,故人李谦六先生曾给予热情的鼓励和具体的帮助,谨以此书,告慰于九泉。

由于编者水平有限,很多内容是初次提出,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

陈贵堂

1997 年 9 月于吉林工业大学

目 录

主要符号表

绪论	(1)
第一节 热力学的研究对象及研究方法	(1)
第二节 SAM 体系的逻辑结构及其主要特点	(2)
思考题	(8)
第一章 基本概念及定义	(10)
第一节 热力学模型	(10)
第二节 热力系统的状态	(14)
第三节 热力过程及热力循环	(22)
思考题	(25)
习题	(26)
第二章 热力学第一定律	(28)
第一节 热力学第一定律的实质	(28)
第二节 系统的能量	(29)
第三节 功量与热量	(32)
第四节 作用量的能流	(38)
第五节 热力学第一定律的普遍表达式	(42)
第六节 热力学第一定律的应用实例	(44)
思考题	(47)
习题	(48)
第三章 理想气体的性质及理想气体的热力过程	(51)
第一节 理想气体的性质	(51)
第二节 理想气体混合物	(60)
第三节 理想气体的热力过程	(64)
思考题	(77)
习题	(78)
第四章 热力学第二定律	(83)
第一节 热力学第二定律的实质及说法	(83)
第二节 有关“能质”的基本概念	(86)
第三节 能量的可用性分析	(89)
第四节 热力学第二定律的普遍表达式	(101)
第五节 热力学第二定律的应用实例	(106)

思考题	(114)
习题	(115)
第五章 水蒸气	(120)
第一节 水蒸气的定压产生过程	(120)
第二节 水蒸气热力性质表和焓熵图	(123)
第三节 水蒸气的热力过程	(128)
思考题	(136)
习题	(136)
第六章 湿空气	(140)
第一节 未饱和湿空气与饱和湿空气	(140)
第二节 湿空气的状态及状态参数	(141)
第三节 湿空气的热力过程	(147)
思考题	(155)
习题	(156)
第七章 气体及蒸汽的流动	(158)
第一节 变截面管道中稳定定熵流动的基本方程	(158)
第二节 喷管中气体的流动特性	(162)
第三节 水蒸气的流动	(172)
思考题	(174)
习题	(174)
第八章 压气机及汽轮机	(177)
第一节 回转式的压气机及汽轮机	(177)
第二节 活塞式压气机	(182)
思考题	(190)
习题	(190)
第九章 动力循环	(192)
第一节 气体动力循环	(193)
第二节 蒸汽动力装置	(206)
思考题	(216)
习题	(217)
第十章 制冷循环	(219)
第一节 概说	(219)
第二节 制冷循环的热力分析	(223)
思考题	(229)
习题	(229)
第十一章 热力学微分方程及工质的通用热力性质	(231)
第一节 特性函数	(231)

第二节 热物性参数	(235)
第三节 热力学能、焓及熵的一般关系式	(237)
第四节 有关比热容的热力学关系式	(240)
第五节 焦耳 - 汤姆逊系数	(242)
第六节 克拉贝龙方程	(245)
第七节 工质的通用热力性质	(246)
思考题	(257)
习题	(258)
第十二章 化学反应过程的热力分析	(260)
第一节 质量守恒定律在化学反应过程中的应用	(260)
第二节 热力学第一定律在化学反应过程中的应用	(264)
第三节 热力学第二定律在化学反应过程中的应用	(272)
思考题	(286)
习题	(287)
附录	(288)
一、附表	(288)
附表 1 压力单位换算表	(288)
附表 2 能量单位换算表	(288)
附表 3 常用气体的热力性质表	(288)
附表 4 理想气体状态下的定压摩尔比热容与温度的关系式	(289)
附表 5 理想气体状态下气体的平均定压比热容	(289)
附表 6 理想气体状态下气体的平均定容比热容	(291)
附表 7 空气的热力性质表	(292)
附表 8 常用气体的热力性质表	(293)
附表 8 - 1 氧(O_2)的热力性质表	(293)
附表 8 - 2 氮(N_2)的热力性质表	(294)
附表 8 - 3 氢(H_2)的热力性质表	(295)
附表 8 - 4 二氧化碳(CO_2)的热力性质表	(296)
附表 8 - 5 一氧化碳(CO)的热力性质表	(297)
附表 8 - 6 水蒸气(理想气体状态)的热力性质表	(298)
附表 9 几种物质的临界参数	(299)
附表 10 饱和水和饱和蒸汽的热力性质(按温度排列)	(300)
附表 11 饱和水和饱和蒸汽的热力性质(按压力排列)	(301)
附表 12 未饱和水和过热蒸汽的热力性质	(302)
附表 13 物质的生成焓、生成吉布斯函数及化学标准状态下的绝对熵	(308)
附表 14 常用碳氢化合物的标准定压热值(kJ/kg)	(309)
附表 15 平衡常数的对数 $\ln K_p$	(310)

二、附图	(311)
附图 1 水蒸气的焓熵图($h-s$)	(311)
附图 2 湿空气的焓湿图($h-d$)	(312)
附图 3 氨的 $p-h$ 图	(312)
附图 4 通用压缩因子图($Z_c=0.27$)	(313)
附图 5 通用焓偏差图($Z_c=0.27$)	(314)
附图 6 通用熵偏差图($Z_c=0.27$)	(314)

绪 论

第一节 热力学的研究对象及研究方法

热力学是研究能量属性及其转换规律以及工质热力性质及其变化规律的科学,研究的目的是为了掌握和应用这些规律,充分合理地利用能量。

对热力学的研究,有宏观的方法和微观的方法,分别称为经典热力学及统计热力学。

经典热力学把物质看作是连续体,它以宏观的物理量来描述大量粒子的群体行为,并用宏观的唯象方法进行研究。通过对大量的热力现象的观察和实验,从中总结归纳出热力学的基本定律,并用严密的逻辑推理及数学论证的方法,进一步演绎出热力学的一系列重要结论。热力学基本定律不能从其他的基本定律来导得,它是直接从长期的大量的实践经验中总结出来的,本身就是最基本的定律。热力学基本定律的正确性,已经被无一例外的违背实例所证实。建立在这些基本定律基础上的热力学重要结论,同样具有高度的可靠性和普遍适用性。

统计热力学则从物质的微观结构出发,根据有关物质内部微观结构的基本假设,利用量子力学关于微粒运动规律的有关结论以及统计力学的分析方法,来研究物质的热力性质及能量转换的客观规律。由于统计热力学深入到物质内部的微观结构,它可以说明宏观物理量的微观机理;也能够说明热力学基本定律及宏观热力现象的物理本质。但是,由于对微观结构的假设条件的近似性,使统计热力学的结果有时与实际不尽相符。

经典热力学与统计热力学是关系非常密切而又各自独立的两门学科,它们之间不能互相替代,都有独立存在的价值。在对热力现象的研究上,它们能起到相辅相成、殊途同归的作用。实际上,在一定宏观条件下大量粒子的群体行为(如压力、温度、能量及熵等宏观参数),就是物质内部粒子微观运动状态的统计平均值。因此,如果将这两种不同的研究方法应用于同一个系统,应当得出相同的结论。经典热力学得出的普遍而可靠的结果,可以用来检验微观理论的正确性;统计热力学的分析则可以深入热现象的本质,使宏观的理论获得更为深刻的物理意义。

工程热力学是将经典热力学的基本原理与工程的实际应用密切结合起来,而发展成的一门基础性的应用学科。由于热现象的普遍性及能量对社会发展的重要性,使热力学理论的应用领域日益广阔,并已经在许多科技领域中发挥着积极的作用。长期以来,工程热力学作为一门重要的基础技术课程,在各类专业人才的培养中发挥了重要的作用。

工程热力学的基本内容,按照其性质可分为四个部分:① 基本概念;② 基本定律;③ 工质性质;④ 工程应用。这些内容都是有机地结合在一起的。前三个部分都是从大量的工程应用实践中总结出来的基础理论;第四部分则是这些基础理论在解决实际工程问题时的综合应用。应当联系工程实例来理解基础理论;又应当在解决工程实际问题时体验基础理论的指导作用。加强工程观念,理论联系实际,这是学习工程热力学的基本方法。