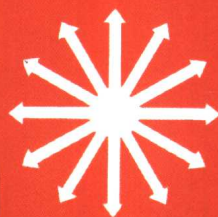


工程热力学

GONGCHENG RELIXUE



施明恒 李鹤立 王素美 编著

GONGCHENG
RELIXUE



东南大学出版社

工 程 热 力 学

施明恒 李鹤立 王素美 编著

东南大学出版社

内容提要

本书是参照教育部制定的热能核能类多学时《工程热力学课程教学基本要求》(1995年修订版),在本书第一版(1995年)的基础上修订而成的。

全书共分五篇。第一篇讲述宏观体系之间发生各种能量转换的基本规律,构建工程热力学的基本理论体系;第二篇讨论工质的热力性质;第三篇是热力学基本理论在分析热力过程和热力循环中的具体应用;第四篇集中讨论了现代工程热力学理论的一个新的发展领域——热能的合理和有效利用;第五篇是基本热力学理论在具有化学反应的热力过程中的应用。全书力图强化基础理论和基本物理概念,启发学生对工程热现象的思考和再认识,同时注意到知识面的拓宽和更新。书后附有各章的思考题和有关物质的热力性质表。

本书可作为热能核能类专业本科生教材,也可以供有关专业研究生、教师和热能工程、制冷与空调、能源与环境领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学/施明恒,李鹤立,王素美编著. —南京:
东南大学出版社,2003.9

ISBN 7-81050-051-1

I.工... II.①施... ②李... ③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(2003)第 049667 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 南京京新印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:18 字数:440千字

2003年9月第2次修订印刷

印数:1~2000 定价:27元

修 订 前 言

《工程热力学》第一版自 1995 年正式出版发行以来,在东南大学和有关院校的使用过程中,受到了各位任课教师和广大学生的欢迎,也提出了一些很好的意见和建议。本书是根据 1995 年教育部制定的《面向 21 世纪教育内容和课程体系改革计划》的精神,参照教育部制定的热能核能类多学时《工程热力学课程教学基本要求》(1995 年修订版),结合第一版教材使用过程中积累的教学心得和经验以及原教材中存在的问题进行修订的。

进入 21 世纪以后,高等工程教育面临着科学技术的迅猛发展和本科专业覆盖面不断加宽的新形势,对于热能和核能类主要专业基础课之一的工程热力学,在适应专业宽、面向广、加强基础精髓、更新教材内容和扩大学生知识面等方面,提出了更高的要求。对此,我们已在第一版中作了一些新的探索与尝试。实践证明,这些探索与尝试是合理的、有效的。本书保留了第一版中所设计的新的工程热力学知识体系,在内容上作了进一步的修改和充实,在文字上进行了提炼;增加了与当前热工装置中新工质利用和新能源发展以及能源合理利用方面有关的知识面。为了使学生更好地理解课程内容,充实了有关章节的例题,并按照新的国家标准,对原书中的有关名词、符号作了修正。

参加本书修订工作的有施明恒、李鹤立和王素美,并由施明恒担任主编。

限于编者水平,加之修订时间匆促,书中的错误与不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2003 年 3 月

前 言

本书是参照高等学校工科热工教学指导委员会审订的四年制动力专业使用的《工程热力学教学大纲》编写的。

为适应当前高等工科院校拓宽专业、加强基础、扩大学生知识面的要求,本书在内容和体系上都较以前的教材作了较大的变动。全书共分五篇。第一篇从物质基本结构入手,阐明热力学的基本概念和热力学现象的物理实质,并从普遍的宏观体系相互作用出发,讨论了热力系之间、热力系与外界之间能量转换的基本规律;对热力学第二定律的叙述方法和内容体系,作了较大的更新,以使读者易于掌握热力学第二定律的精髓。第二篇从工质的一般热力学性质出发,比较详细地介绍了工程上广泛使用的理想气体、水蒸气、理想气体混合物及湿空气的热力学性质。第三篇是热力学基本理论的应用。着重讨论热力过程和热力循环的一般分析方法,并对工程上常见的一些热力过程和热力循环进行了比较详细的分析。第四篇集中讨论了现代工程热力学理论的一个新的发展领域——热能的合理和有效利用。阐明了能源利用和节能技术的基本概念和评价方法。本篇是上一篇内容的深化和综合,部分内容超出了教学大纲的要求,可作为多学时课程的加深加宽内容。第五篇简单介绍了热力学基本定律在具有化学反应的热力过程中的应用。

全书着重基本理论和基本概念的叙述,力求使读者能够较深地理解现象的物理本质,较好地掌握客观现象之间的内在联系。同时在理论联系实际、运用热力学理论分析和解决工程实际问题方面也给予了较多的注意。

为了帮助学生复习和思考,提高他们解决问题的能力,本书每章都给出了一定的例题,书末列有各章的复习思考题和习题。

本书书稿首先在东南大学动力系两届四个班级中试用,之后又承清华大学、大连理工大学热工教研组有关教师审阅并提出了许多宝贵意见。全书最后由国家教委热工教学指导委员会主任王补宣教授主审。谨在此向他们致以谢意。

本书在更新热力学体系和某些内容的叙述方面进行了一些探索性的尝试。限于编者的水平,书中错误和不妥之处在所难免,希望读者给予帮助和指正。

编者

1995年3月

符号表

拉丁字母

A	截面积、焓
a	音速、比焓
C	热容量、摩尔比热容、浓度、常数
c	质量比热容、速度
c'	容积比热容
μc	摩尔比热容
$\bar{c}$	平均质量比热容
d	直径、汽耗率
E, e	能量、焓、比能量、比焓
F, f	力、自由能、比自由能
G, g	自由焓、比自由焓、重力加速度
H, h	高度、焓、比焓、压力温度系数
ΔH_b^0	标准燃烧焓
ΔH_f^0	标准生成焓
K	热量利用系数
K_e, K_p, K_x	化学平衡常数
k	波尔兹曼常数、绝热指数
l	长度
M	马赫数
m	质量
$\dot{m}$	质量流量
n	摩尔数、多变指数
p	压力
Q, q	热量、比热量
$\dot{Q}$	热流率
Q_p	定压热效应
Q_v	定容热效应
R, R_m	气体常数、通用气体常数
r	汽化潜热
S, s	熵、比熵
T	绝对温度
T_i	转回温度
t	摄氏温度、干球温度
t_w	湿球温度

U, u	热力学能、比热力学能
V, v	体积、比体积
$\dot{V}$	体积流率
V_m	摩尔容积
W, w	容积功、比容积功
W_s, w_s	轴功、比轴功
W_t, w_t	技术功、比技术功
W_0, w_0	循环净功及比循环净功
x	干度
x_i	质量成分
y_i	摩尔成分
Z, z	高度、压缩因子
Z_i	容积成分

希腊字母

α	抽汽率、离解度
α_p	热膨胀系数
β_c	临界压力比
β_T	定温压缩系数
ϵ	制冷系数、气体循环压缩比、反应进度
ϵ'	供暖系数
η_c	焓效率
η_N	喷管效率
η_{oi}	相对内效率
η_t	循环热效率
λ	气体循环定容升压比
μ	相对分子量、化学势
μ_j	绝热节流系数
π	压气机增压比
ρ	密度、内燃机循环循环预胀比
φ	喷管的速度系数
ϕ	相对湿度
ω	含湿量

角注符号

α	湿空气中干空气的参数
c	临界点参数
$C \cdot V$	控制容积
g, v	气(汽)体参数
in	进口参数
iso	孤立系统
o	环境参数, 滞止参数

out	出口参数
r	对比参数
sur	环境
sou	热源
sys	系统
x	湿蒸汽状态参数

目 录

绪 论	(1)
一、能源及其利用	(1)
二、工程热力学发展简史	(3)
三、热力学的研究方法	(4)

第一篇 宏观体系之间能量转换的基本规律

第一章 热力系的基本概念	(6)
第一节 热力系的定义和分类	(6)
第二节 热力系的状态和热力过程	(7)
第三节 状态参数	(10)
第四节 状态方程	(21)
第二章 能量守恒——热力学第一定律	(22)
第一节 热力系之间的相互作用	(22)
第二节 热力学第一定律——能量方程	(27)
第三节 稳定流动能量方程式的应用	(33)
第三章 过程的方向性——热力学第二定律	(36)
第一节 自然过程的方向性	(36)
第二节 可逆过程与不可逆过程	(38)
第三节 热力学第二定律——孤立系的熵增原理	(39)
第四节 熵函数的宏观表达式	(40)
第五节 熵方程	(42)
第六节 理想热机	(46)
第七节 任意热机	(49)
第八节 热力学第二定律的经典表达形式和它的局限性	(50)

第二篇 工 质

第四章 工质的热力学性质	(52)
第一节 工质的基本概念	(52)
第二节 基本热力学关系式	(52)

第三节	热系数和比热容	(55)
第四节	熵、热力学能和焓的一般关系式	(58)
第五章	理想气体和实际气体	(61)
第一节	理想气体	(61)
第二节	实际气体	(68)
第六章	蒸汽	(76)
第一节	单元工质的集态变化	(76)
第二节	单元系的复相平衡	(78)
第三节	克拉贝龙—克劳修斯方程	(79)
第四节	水蒸气	(80)
第七章	气体混合物	(89)
第一节	理想气体混合物的基本概念	(89)
第二节	理想气体混合物的比热容和主要状态参数的计算	(92)
第三节	湿空气的基本概念和状态参数	(95)
第四节	湿空气的焓—湿图($h-\omega$ 图)	(98)
第五节	湿空气过程	(99)

第三篇 热力过程和热力循环

第八章	理想气体的热力过程	(105)
第一节	研究气体热力过程的任务与一般方法	(105)
第二节	四种基本热力过程的分析	(106)
第三节	多变过程	(113)
第九章	气体与蒸汽的流动	(117)
第一节	稳定流动的基本方程	(117)
第二节	音速与马赫数	(118)
第三节	定熵流动	(119)
第四节	滞止参数	(122)
第五节	喷管的计算	(123)
第六节	有摩阻时的绝热流动	(129)
第七节	绝热节流	(131)
第七节	绝热合流	(134)
第十章	气体的压缩	(136)
第一节	理想活塞式压气机	(137)
第二节	活塞式压气机余隙的影响	(138)

第三节	多级压缩与级间冷却	(140)
第四节	压气机的效率	(142)
第十一章	热力循环及其分析方法	(144)
第一节	热力循环的基本概念	(144)
第二节	分析热力循环的一般步骤与方法	(145)
第十二章	蒸汽动力循环	(147)
第一节	朗肯循环	(147)
第二节	蒸汽参数对循环热效率的影响	(151)
第三节	再热循环	(153)
第四节	回热循环	(155)
第十三章	气体动力循环	(161)
第一节	汽油机的实际工作循环与理想循环	(161)
第二节	柴油机的实际工作循环与理想循环	(164)
第三节	燃气轮装置定压加热循环	(169)
第四节	活塞式热气发动机及其理想循环	(172)
第十四章	制冷循环	(175)
第一节	逆向卡诺循环	(175)
第二节	空气压缩制冷循环	(176)
第三节	蒸汽压缩制冷循环	(179)
第四节	蒸汽喷射制冷循环	(182)
第五节	吸收式制冷简介	(183)
第六节	热泵供热循环	(184)

第四篇 热能的合理和有效利用

第十五章	有效能及有效能分析	(185)
第一节	能量的可用性和作功能力	(185)
第二节	热力系的熵	(187)
第三节	能量系统的熵分析法	(189)
第四节	能量系统的熵分析法	(200)
第五节	三种热力学分析法的比较	(204)
第十六章	热能的合理利用	(206)
第一节	热能合理利用的基本原则	(206)
第二节	总能系统的基本模式	(208)
第三节	电能直接转换	(213)

第四节 分布式能源系统	(217)
-------------------	-------

第五篇 化学热力学基础

第十七章 化学热力学基础	(221)
第一节 热力学第一定律在化学反应中的应用	(221)
第二节 盖斯定律	(223)
第三节 基尔霍夫定律——热效应与温度的关系	(226)
第四节 理论燃烧温度	(227)
第五节 热力学第二定律在化学反应中的应用	(228)
第六节 离解度	(236)
第七节 温度、压力对化学平衡的影响	(237)
第八节 热力学第三定律	(238)
思考题和习题	(240)
附录	(261)
附表 1 压力单位换算表	(261)
附表 2 能量单位换算表	(261)
附表 3 气体的热力性质	(261)
附表 4 气体的真实定压摩尔热容 C_p [J/(mol·K)]	(262)
附表 5 气体的真实定容摩尔热容 C_v [J/(mol·K)]	(263)
附表 6 气体的平均定压比热容 $\bar{c}_p$ [kJ/(kg·K)]	(264)
附表 7 气体的平均定容比热容 $\bar{c}_v$ [kJ/(kg·K)]	(265)
附表 8 气体的平均定压容积比热容 $\bar{c}'_p$ [kJ/(m ³ ·K)]	(266)
附表 9 气体的平均定容容积比热容 $\bar{c}'_v$ [kJ/(m ³ ·K)]	(267)
附表 10 气体的平均定压摩尔热容 $\bar{C}_p$ [J/(mol·K)]	(268)
附表 11 气体的平均定容摩尔热容 $\bar{C}_v$ [J/(mol·K)]	(269)
附表 12 气体的平均比热容(直线关系式)	(270)
附表 13 101325 Pa、25 °C 下的燃烧焓 ΔH_b^0	(270)
附表 14 101325 Pa、25 °C 下的生成焓和绝对熵	(271)
附表 15 平衡常数 K_p 的对数(以 10 为底)	(272)
附录图 1 通用压缩因子图(高压区 p_r 10 ~ 40)	(273)
附录图 2 通用压缩因子图(中压区 p_r 0 ~ 10)	(274)
参考文献	(275)

绪 论

一、能源及其利用

能源是人类赖以生存的物质基础。在日常生活和生产中,人们无时无刻不在利用各种能源。能源又是整个国民经济发展的支柱,能源的开发和利用,促进了生产力的革命和社会文明的进步。例如,18世纪资本主义发展初期,由热能转化为机械能的蒸汽动力的使用,导致了工业革命,使社会生产力出现了第一次飞跃。19世纪70年代,新的能源利用方式——由热能转化为电能的出现,使人类进入了电气化时代,导致了生产力的又一次革命。由此可见,能源利用技术的每一次突破,都会引起人类社会生产技术和生产方式的重大变革,把社会生产力推到一个新的高度。因此,开发新的能源而获得能量以及合理地、有效地利用能量,理所当然地成为千百年来人类特别关注的议题和竞相研究的热点。

自然界中可以被利用的能源有太阳能、风能、水能、燃料的化学能、地热能和原子核能。太阳能是非常巨大的能量。理论计算表明,在一秒钟里太阳辐射到地球上的能量,相当于500万吨煤燃烧所放出的能量。到达地球表面的太阳能,大约有千分之一被植物所吸收,并转化成化学能贮存下来。其余的太阳能都最终转换成热能,绝大部分散发到宇宙空间。风能、水能也是自然界中可利用的重要能源。它们通常以机械能的形式提供给人们使用。木柴、煤炭、石油和天然气等燃料的化学能,是千百年来人类利用的最基本、最主要的能源。通过燃烧,其化学能转变为热能。地热能是地球内部高温岩浆所拥有的、能被人类直接利用的热能。其资源十分丰富,相当于煤炭储量的一亿多倍。但是,从地下提取地热能所花费的代价太大,因此地热能的利用目前只占人类能源利用中的极小部分。原子核能是某些物质内部进行原子核反应——裂变反应或聚合反应时所释放的能量。这些能量都是以高温热能的形式提供出来的。

我国能源资源十分丰富,但是由于人口众多,能源按人口平均占有量仅为世界平均水平的一半。我国能源工业还比较落后,能源产量有限,加上工业现代化水平较低,技术装备落后、陈旧、能耗高,造成了我国当前能源供需矛盾十分突出。随着我国现代化建设的发展和人民生活水平的提高,对能源的需求将越来越大。因此开发和节约能源,合理与有效地利用能源将是我国一个长期的战略任务。

人类目前从自然界获得能量的主要形式是热能。因此通常讲的能源利用,主要指的是热能的利用。热能的合理和有效利用,是整个能源利用的核心与主体。热能的利用通常有直接利用和间接利用两种基本形式。

热能的直接利用。在工业生产和日常生活中,常常直接利用热能来加热物体和材料,以实现蒸煮、采暖、熔(融)化以及各种类型的热加工。热能的这种利用形式,其数量相当可观,而目前利用率却很低,因此它是节能的一个重要领域。

热能的间接利用,或称热能的动力利用。它是指首先将热能转化成机械能或电能,然后再加以利用。例如,各种车辆、船舶和飞机的蒸汽机、内燃机等动力装置,是将热能转化成机

机械能而产生动力的。而在火力发电厂中,先将热能转换成机械能,再由机械能转换成电能,然后供生产和生活使用。

图 0-1 是燃烧汽油的内燃机简图,其内部的能量转换过程简述如下:当活塞下行时,进气阀打开,排气阀关闭。雾化的汽油与空气混合物通过进气阀吸入气缸内。然后活塞上行,进气阀关闭,缸内气体受到压缩。电火花将燃料点燃后,燃烧过程产生的热量使缸内气体的压力和温度迅速升高。高温高压的气体推动活塞向下运动,通过连杆机构将机械能传送出去。活塞再次上行,排气阀打开,进气阀关闭,将作功后的废气排出气缸,活塞回到初始状态,整个装置完成一个循环。之后,新循环又重新开始。气缸内这种周而复始的循环过程,不断地将热能转换成机械能。

图 0-2 是近代热力发电厂中采用的蒸汽动力循环装置。煤在锅炉中燃烧,产生大量的热能,使锅炉管中的水变成水蒸气。高温高压的水蒸气进入汽轮机中推动叶轮转动并在其轴上输出机械功。这种机械功带动同一轴上的发电机转子,使之产生旋转运动,从而使发电机发出电能。汽轮机排出的乏汽经冷凝器冷却成液体后再送回锅炉内重新加热汽化,完成一个循环。这样就可以连续地将燃料燃烧产生的热能部分地转变为电能供给用户使用。

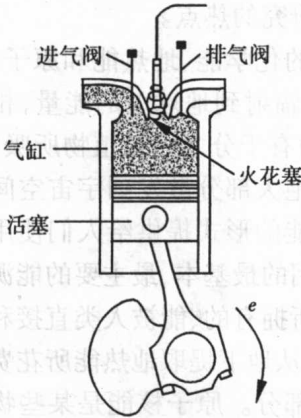


图 0-1

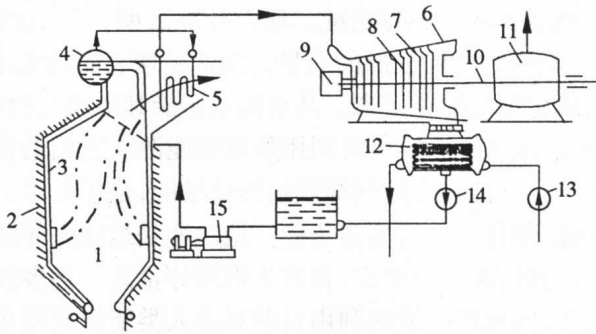


图 0-2

- 1 - 锅炉; 2 - 炉墙; 3 - 蒸发管; 4 - 汽包; 5 - 过热器;
6 - 汽轮机; 7 - 喷管; 8 - 叶片; 9 - 调速器; 10 - 轴;
11 - 发电机; 12 - 冷凝器; 13、14、15 - 水泵

热能的间接利用,对于国民经济的发展有着举足轻重的影响。特别是电能,它既便于集中供应,又便于分散应用,且具有输送快捷、简便和利用效率高等优点;电能的管理十分简单,并且能转化成机械能、热、光、声、化学能等多种形式的能量。此外,电能还是计算机和自动化等新技术的基础。一个国家人均用电水平的高低,反映了这个国家工业化的发展程度。

在热能间接利用中,能量的转换是最核心的部分。各种热力原动机实质上都是将热能转换成机械能,或者再进一步将机械能转化成电能。目前正在研究的热能直接转化成电能的装置,如磁流体发电、燃料电池等等,可望进一步提高热能转换的效率。但是,各种热能动力装置仍然是目前为人类提供动力和生产、生活用能的主要装置。因此改善各类热能动力装置的运行特性,提高其能量转换效率,更有效地利用自然界的能源资源,研究新型的、性能更优良的热能动力装置,是摆在所有热能工作者面前的一个重要而又艰巨的任务。

二、工程热力学发展简史

工程热力学是研究热能与其他形式能量相互转换规律的一门科学,是人类千百年来不断地发展和改善热能利用的经验总结。工程热力学的发展史,反映了人类对热能的本质以及能量相互转换规律的认识、掌握和运用的历史。这个历史还远远没有完结,它将随着人类文明的进步而不断地延伸下去。

自从人类在远古时代发现了火以后,寻求对热和冷现象本质的理解,一直是人类对大自然法则的主要探索之一。在长期的生活和生产过程中,人类逐步积累了丰富的关于热的知识。古代隧人氏的钻木取火,就是最简单的由机械能转换为热能的例子。我国在南宋时代(公元 1150 年左右)就有用火焰的热力来产生机械旋转运动的走马灯,以及使用火药燃烧后产生的喷气加速箭飞行的记载。16 世纪中期,在北京曾有人试验过用蒸汽来推动车船。但是,由于封建统治的桎梏,限制了这些新鲜事物的发展,它们只能作为统治者玩耍的小技,当然也就谈不上热能利用的系统研究了。

人类对于热现象的系统认识和科学研究是近 300 年间的事。由于社会生产力的发展,生产过程中出现了应用动力机械的要求。18 世纪初期,英国首先出现了用于煤矿中抽水的带动往复式水泵的原始蒸汽机。1763 ~ 1784 年间,随着家庭式作坊向工厂工业的发展,生产中对集中供给大量机械原动力的需求日益增大,英国的瓦特改进了原始蒸汽机,制造出了压力高于大气压力且有独立凝汽器的单缸蒸汽机,并逐步成为纺织、冶金等工业部门的主要动力机械,使生产力得到了很大的提高,形成了第一次产业革命。为了提高蒸汽机的效率和性能,人们开始了对热力原动机的广泛研究,并由此推动了热学方面系统的理论研究,促成了热力学这门科学的建立和发展。

18 世纪以前,人们对热的认识只有粗略的概念。自从 1714 年法伦海托(D. Fahrenheit)改良了水银温度计并定出了华氏温标以后,热力学才走上正规的实验科学的道路。为了解释实验的结果,当时曾出现过一种“热质学说”。这种学说认为热是一种能流动的没有质量的物质,名为“热质”。它可以透入一切物体中,不生不灭。一个物体热还是冷,就看它所含的热质是多还是少。这个学说最明显的缺陷是不能解释摩擦生热现象,最终为科学界所抛弃。

与热质说相对立,培根(Bacon)认为热是一种运动。罗蒙诺索夫(Lomonosov)在 1744 年发表的论文“论热与冷的原因”中断言,热是物质分子运动的表现。随后他又提出了运动守恒的概念。但是他没有给出热是能量形式的明确结论。

最初提出热量与机械功相当的说法,并且定出热的功当量的是德国人梅厄(Mayer)。他在 1842 年提出能量守恒的理论,认为热是能量的一种形式。它可以和机械能互相转化。他从理论上算出了热的功当量。用实验来证明热是一种能量,可以和机械能相互转换的是焦耳(Joule)。在前后 20 多年的实验中,他测定了热功当量。这项结果使能量守恒被科学界公认为是自然界的普遍规律。能量守恒定律在热能利用中的具体表达形式就是热力学第一定律。热力学第一定律的建立为热力学这门科学奠定了基础。

热力学第一定律只是指出了能量转换过程中的守恒关系,但是它不能解决转换效率的问题。蒸汽机在运用的初期,其效率很低。需要耗费大量的热才能获得少量的机械功。这促使人们去研究能量转换效率的问题。1824 年卡诺(Carnot)首先提出了热机(由热变为功

的机器)的效率极限问题,即在一定条件下,任何热机的效率都不可能超过他假想的理想热机的效率。根据卡诺的理论,1844年开耳文(Kelvin)制定了绝对温度标尺。1850年至1851年之间,克劳修斯(Clausius)和开耳文分别提出了不同形式的热力学第二定律。这个定律指明了能量转换的极限和能量转换过程的方向性。它指出:从一个热源取出的热量完全转变为有用的机械功而不产生其他效果是不可能的。

热力学第一和第二定律组成了一个系统完整的热力学体系。到1912年,奈斯特(Nernst)又补充了一个关于低温现象的定律,也有称之为热力学第三定律的。它指出了绝对温度的零点是可能达到的。

热力学的建立与它在理论上所取得的成就,大大促进了热力原动机的发展与性能的改善。但是到了19世纪后半期,蒸汽机已经不能满足工业生产发展的需要。因此,19世纪末,人们又发明了汽轮机和内燃机。目前,汽轮机已成为现今火力发电厂的主要动力设备,并且汽轮机的出现,促进了对蒸汽性质、蒸汽与气体的流动以及蒸汽动力循环的研究。内燃机则逐步成为汽车、飞机、船舶和机车等交通工具的主要原动机,并促进了对内燃热力过程和热力循环的研究工作。进入20世纪以后,人们又发明了燃气轮机、喷气发动机。50年代原子能动力装置的建成,为人类开辟了能源利用的新纪元。在热力原动机和热力工程的发展过程中,也使热力学逐步发展成一门成熟的具有广泛应用的应用基础学科。通常把重点集中在研究热能转化为机械能的规律和方法,以及提高其转化效率的热力学称为工程热力学,以区别内容更广泛、更具有普遍性且涉及各种能量转换过程的理论热力学。

三、热力学的研究方法

在长期对热现象的研究过程中,逐步形成了两类不同的研究方法。一类称为宏观研究方法或唯象方法;另一类称为微观方法或统计方法。两者从不同的角度看待物质和所处理的系统。

宏观方法以观察和实验为基本手段。将物质看成连续介质,并用宏观物理量去描述它。根据由大量观察和实验所总结出来的基本定律,采用严密的逻辑推理方法,研究宏观物系的热力学性质;研究宏观物体所组成的系统中各种热力过程的基本规律。以宏观方法研究处于平衡态物系的热力学常称为平衡热力学,又称为经典热力学或唯象热力学。以宏观方法研究偏离平衡态不远的非平衡态物系的热力学称为非平衡热力学或不可逆过程热力学。宏观研究方法简单、可靠,只需要少数几个宏观物理量就可以对热状态进行描述。同时,由于它所依据的基本定律具有公理性,所以经演绎导出的各种结论具有可靠性和一定的可推广性。但是由于它没有涉及物质的内部结构,把由大量粒子构成的物质当作连续介质,因此无法解释热现象的本质,也不能预示新物质的各种热力学性质,更无法解释一些特殊的热物理现象。此外,由于经典热力学的基本定律是从无数宏观现象中总结出来的,它研究的对象是有限的物质系统,所以它的理论和方法不能推广到无限的宇宙,也不能用于描述物质个别分子的行为。

微观方法把物质看成是由大量的分子和原子等微观粒子所组成的体系。宏观热物理现象是由于大量微观粒子热运动的结果。热运动是物体内部微观粒子的一种永不停息的无规则运动,是物质运动的最基本形式之一。对于每一个微观粒子而言,由于它受到千千万万的其他粒子的复杂作用,其运动规律带有很大的偶然性,但是对于由大量粒子所构成的体系而

言,粒子的热运动却又遵循着某种确定的规律。微观研究方法根据每一个粒子所遵循的力学规律,利用统计学和概率论的方法将大量粒子的行为进行统计平均,从而找出少数能够计算的物理量来研究粒子总体所呈现出的热现象的基本规律。以微观方法研究物系热过程和热力性质的热力学常称为统计热力学。

微观方法可以深入地揭示各类宏观热现象的本质,在一定条件下可以推算出物质的热力学性质,这是它的优势所在。但是,微观方法也有它的局限性。因为微观分析方法所得结果的正确性取决于人们对物质微观结构的认识。由于人们对物质结构的认识还在不断深入,现有的物质微观结构的模型还存在一定的近似性,因此由统计热力学导出的某些结果与实验不能完全吻合。此外,微观研究方法计算复杂,也给统计热力学的应用带来了一定的困难。

总的来说,宏观方法和微观方法两者互相补充,相辅相成。利用宏观方法得到热现象的普遍规律,可以用来检验微观方法得到的结论的正确性,改进人们对物质微观结构的认识;相反,利用微观方法可以深入了解热现象的本质,使宏观理论获得更深刻的物理意义。进一步,人们还可以通过改变物质的微观结构来实现对其宏观物性的控制。

对于工程热力学来说,它着重研究热力原动机的理论和热与功之间相互转换的规律,所以主要采用宏观的研究方法。但是由于目前沿用的经典开耳文—克劳修斯方法论所依赖的公式都是一些经验事实,在对许多热力过程和热力学参数的本质描述上缺乏足够的深度和清晰的物理概念,与人类对物质结构的认识程度不相适应。因此,原有的经典工程热力学体系必须有所改进,这是近年来人们所达成的共识。本书作为这种改进的一个尝试,力求在保持宏观研究方法特点的前提下,在对热现象本质的分析中,引入物质微观结构的基本概念,给出热力学参数真实、明确的物理意义。从状态函数和物系之间普遍的相互作用出发,研究热力过程的基本规律,以期使宏观热力学更好地与其他现代科学互相联系和衔接,同时赋以宏观热力学以更坚实的科学基础。

最后,由于工程热力学具有很强的工程应用背景,是目前热能与核能类专业的一门主要技术基础课。因此,学生在学习工程热力学时,除需要深入理解和掌握工程热力学的基础理论以外,还应重视工程热力学课程的实验环节,加强实验技能的训练。与此同时,也应当加强分析和解决实际问题的能力以及计算能力的培养。

第一篇

宏观体系之间能量转换的基本规律

第一章 热力系的基本概念

第一节 热力系的定义和分类

在进行宏观热力学分析时,总要选择具体的分析对象。这个对象可以是一个物体,也可以是一组物体,还可以只是物体的某一个部分,或者是空间的一定范围。这个对象可以很大,但必须是有限的;也可以很小,但必须是包含足够多分子的一个宏观实体。这种被选中的热力学研究对象,称为“热力系”。热力系的这个定义,同时也给出了选取热力系的两种方法或两条途径,即选取一定的物体或选取一定的空间为热力系。由于热力系总是被包含在大千世界的万物之中,因此需要设想有一个分界面把所研究的热力系和外界相隔开来。这个分界面,简称“界面”。分界面以内是热力系,分界面以外的一切统称为“外界”或“环境”。热力系与外界之间的界面,可以是真实的,例如,研究对象是房间内的空气,那么房间的墙壁就是一个界面,它是真实存在的而且是刚性固定的。热力系的界面也可以是虚设的、假想的,例如,研究对象是房间中的某一团空气(固定质量),那么这团空气与周围其他空气之间的分界面就是虚设的、假想的,且当这团空气受热膨胀时,这个分界面还可以移动。

在一般的情况下,热力系与外界处于相互的作用之中,它们可以互相交换能量和物质。按照热力系与外界之间相互作用的不同,热力系可以分为:

闭口系(闭系)——热力系与外界之间无物质交换。热力系具有固定的质量。该热力系有时也称为控制质量。

开口系(开系)——热力系与外界有物质交换,因此该热力系可以称为变质量热力系或流动热力系。在研究开口系时,为了分析方便,常常把研究范围设定在一定的空间内。这个设定的空间常称为控制容积。

孤立系——热力系与外界之间既无质量也无能量交换。

绝热系——热力系与外界之间无热量交换。

热源(热库)——热力系足够大,以致当它与其他热力系发生任何能量交换时,其总能量基本保持不变。

按照热力系内部组成状况的不同也可以对热力系进行分类。它们是:

均匀系——热力系各部分的成分、状态和性质都相同,有时也称为单相系。

非均匀系——热力系各部分的成分、状态和性质各不相同。即使热力系各部分的成分