

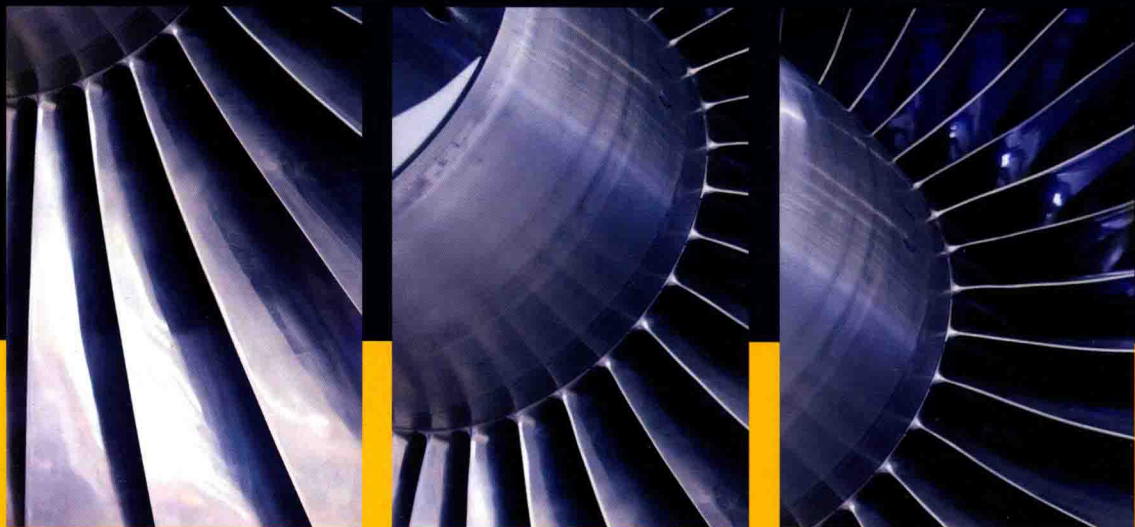


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

热工基础

第三版

童钧耕 王平阳 叶强◎编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

热 工 基 础

(第三版)

童钧耕 王平阳 叶 强 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是热工技术理论基础教材,是在第二版的基础上,总结近几年热工教学改革经验修订而成的。

全书分为工程热力学和传热学两部分。工程热力学部分共 6 章,讲述工程热力学的基本概念,热力学第一定律和第二定律,气体、蒸汽和湿空气的性质,气体的热力过程,热功转换设备和装置的热力分析及热能合理利用等。传热学部分共 5 章,讨论传热学的基本机理,以及导热、对流换热、辐射换热的基本规律,传热过程及其强化和削弱,换热器的基本热计算等。

热工基础知识是工科各类专业人才工程素质的重要组成部分。为适应 21 世纪人才培养的需要,本书力求做到在传统经典内容的基础上引进现代热工科技的新成果,同时注意选编密切联系工程实际的例题、思考题及习题,以培养学生的工程意识,提高学生分析解决实际问题的能力。

本书可作为非能源动力类各专业大学本科 40~60 学时热工基础、工程热力学与传热学课程教材或教学参考书,也可供机械、冶金、化工、环境、交通运输、电子、信息工程、航空航天及生物医学工程等专业的学生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工基础 / 童钧耕,王平阳,叶强编著. —3 版.

—上海:上海交通大学出版社,2016

ISBN 978-7-313-15136-0

I. ①热… II. ①童… ②王… ③叶… III. ①热工学—高等学校—教材 IV. ①TK122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 137514 号

热工基础(第三版)

编 著:童钧耕 王平阳 叶 强

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:上海天地海设计印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:471 千字

版 次:2001 年 1 月第 1 版 2016 年 8 月第 3 版

书 号:ISBN 978-7-313-15136-0/TK

定 价:48.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:19.25 插页:2

印 次:2016 年 8 月第 12 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-64366274

第三版前言

本书是在第二版的基础上,根据教育部热工课程教学指导委员会制订的高等工业学校《热工原理教学基本要求》的精神,总结上海交通大学及兄弟院校近年来热工课程教学经验修订而成。

本书前两版围绕热能的传递、转换和利用阐述热工理论的基本概念、基本定律及热工问题分析计算的基本方法,内容选择强调“提高起点,重心后移”,在正确阐述传统的经典内容的基础上适当引进现代热工科技的新成果,选编了适量的密切联系我国工程实际的例题、思考题及习题。本书基本保持了前两版的内容体系,但对部分内容进行了补充、修改,加强了论述的科学性。主要的变动有:分别以篇首语的形式给出了工程热力学和传热学的主要内容以及教学目标;为使热力学部分和传热学部分更趋平衡,并进一步加强内容的适用性,本书在保持全书总共11章篇幅不变的情况下,将第二版的第5章“热力学第二定律”和第1章“热力学第一定律”合并,并增设第7章“传热的基本形式和机理”;增设“循环分析的一般方法”一节,以活塞式内燃机实际循环的简化为例,帮助学生从复杂的工程实际问题中抽象简化建立理论模型,以培养学生的工程意识,提高学生分析解决实际问题的能力;在第二版强化传热的措施汇集的基础上,将工程上常用的提高循环能量利用经济性的热力学措施概括、汇总成一节“提高循环能量利用经济性的热力学措施”,使分散在各种循环、不同设备中的提高循环能量利用经济性的热力学措施汇集到一起,让学生从热力学理论的高度审视各种措施,提高对能源利用的认识。

同时,在叙述方式上本书也进行了一些改变。为帮助提高教学效果,每章均增设了“小结”,每章后的小结并非本章公式的堆积,而是归纳本章主要内容,指出内容之间的内在逻辑,便于学习和掌握该章的知识。例题是加深知识点理解的重要环节,为避免仅仅关注解题过程的本身和答案而忽略透过例题应掌握的概念,本书在每个例题后设置了讨论,点出解题过程和答案后面的原理和注意点。

本书主要由童钧耕编写,王平阳、叶强参与编写,童钧耕担任全书的统稿。第三版编写过程中得到吴慧英教授、洪芳军教授、于娟副教授、范云良高级工程师和教研组许多同仁的帮助,在此深表谢意。由于编者水平有限,书中有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指教。

编者

2016年2月于上海交通大学

主要符号

a	热扩散率, m^2/s	p_s	饱和压力, Pa
A	面积, m^2	p_v	真空度, 湿空气中水蒸气分压力, Pa
c	比热容(质量热容), $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; 声速、光速, m/s	q	热量, J/kg ; 热流密度, W/m^2
c_f	流速, m/s	Q	热量, J
c_p	比定压热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	q_m	质量流量, kg/s
c_v	比定容热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	q_v	体积流量, m^3/s
$C_{p,m}$	摩尔定压热容, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$	R	摩尔气体常数, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
$C_{v,m}$	摩尔定容热容, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$	R_g	气体常数, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
E	总能(储存能), J	$R_{g,eq}$	平均气体常数, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
E_x	焓, J	S	熵, J/K
$E_{x,Q}$	热量焓, J	S_g	熵产, J/K
$E_{x,U}$	热力学能焓, J	S_f	(热)熵流, J/K
$E_{x,H}$	焓焓, J	S_m	摩尔熵, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
h	比焓, kJ/kg ; 表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	T	热力学温度, K
H	焓, J	t	摄氏温度; 干球温度, $^{\circ}\text{C}$
I	做功能力损失(焓损失), J	t_w	湿球温度, $^{\circ}\text{C}$
J	有效辐射, W/m^2	U	热力学能, J
k	传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	V	体积, m^3
M	摩尔质量, kg/mol	W	膨胀功, J
M_{eq}	平均摩尔质量, kg/mol	W_{net}	循环净功, J
n	多变指数; 物质的量, mol	W_s	轴功, J
p	绝对压力, Pa	W_t	技术功, J
p_0	标准状态压力, Pa	W_u	有用功, J
p_b	大气环境压力, 背压力, Pa	w_i	质量分数
p_e	表压力, Pa	x	干度
p_i	分压力, Pa	x_i	摩尔分数

z	压缩因子		喷管速度系数
α	吸收比	φ_i	体积分
α_v	体膨胀系数, K^{-1}	ω	比湿度, $kg(水蒸气)/kg(干空气)$
β	肋化系数	Φ	热流量, W
γ	比热容比; 汽化潜热, J/kg		下脚标
ϵ	制冷系数; 压缩比	a	湿空气中干空气的参数
ϵ'	供暖系数	c	卡诺循环;冷库参数
η	肋片效率; 动力黏度, $Pa \cdot s$	CM	控制质量
η_c	卡诺循环热效率	cr	临界点参数; 临界流动状况参数
$\eta_{c,s}$	压气机绝热效率	CV	控制体积
η_T	蒸汽轮机、燃气轮机的相对内效率	iso	孤立系统
η_t	循环热效率; 肋面总效率	m	每摩尔物质的物理量
κ	等熵指数	s	饱和参数
θ	过剩温度, K	v	湿空气中水蒸气的物理量
λ	定容增压比;热导率(导热系数), $W/(m \cdot K)$	0	环境的参数
π	压力比(增压比)		特征数
ν	运动黏度, m^2/s	$Bi = \frac{hl}{\lambda}$	毕渥数(λ 为固体的热导率)
ν_{cr}	临界压力比	$Gr = \frac{g\alpha_v \Delta t l^3}{\nu^2}$	格拉晓夫数
ρ	密度, kg/m^3 ; 预胀比; 反射比	$Nu = \frac{hl}{\lambda}$	努塞尔数(λ 为流体的热导率)
φ	相对湿度;	$Pr = \frac{\nu}{a}$	普朗特数
		$Re = \frac{ul}{\nu}$	雷诺数

目 录

绪论	1
0.1 热能和热能利用	1
0.2 热工理论的研究对象和方法	2
0.3 热工理论发展简史	3

工程热力学篇

第1章 热力学第一定律和热力学第二定律	7
1.1 热力设备、系统和平衡状态	7
1.2 基本状态参数	12
1.3 热力学能、焓和熵	15
1.4 功和热量	17
1.5 热力学第一定律	21
1.6 热力学第二定律	27
1.7 卡诺循环和卡诺定理	28
1.8* 热力学第二定律的数学表达式	32
1.9 孤立系统的熵增原理	36
1.10* 能量的做功能力、焓	39
1.11 小结	46
思考题 1	47
习题 1	47
第2章 气体的性质	51
2.1 状态方程	51
2.2 气体的比热容	56
2.3 理想气体的热力学能、焓和熵	62
2.4 水蒸气	65
2.5 水和水蒸气热力性质图表及计算机程序简介	69

2.6 小结	73
思考题 2	74
习题 2	74
第 3 章 理想气体混合气体及湿空气	77
3.1 混合气体	77
3.2 混合气体的比热容、热力学能、焓和熵	82
3.3 湿空气和湿空气的相对湿度	85
3.4 湿空气的比湿度和湿度($\omega-t$)图	89
3.5 小结	93
思考题 3	93
习题 3	94
第 4 章 气体的热力过程	96
4.1 理想气体的基本热力过程	96
4.2 气体热力过程的功及热量	101
4.3 压气机的热力过程	108
4.4 湿空气的热力过程	115
4.5 小结	119
思考题 4	120
习题 4	120
第 5 章 气体与蒸汽的流动	123
5.1 喷管内流速变化的条件	123
5.2 喷管的计算	127
5.3 绝热节流	133
5.4 小结	134
思考题 5	135
习题 5	135
第 6 章 循环	137
6.1 循环分析的一般方法	137
6.2 活塞式内燃机循环	139
6.3 燃气轮机装置循环	144
6.4 基本蒸汽动力装置循环——朗肯循环	149

6.5 制冷循环	155
6.6* 提高循环能量利用经济性的热力学措施	163
6.7 小结	165
思考题 6	166
习题 6	167

传 热 学 篇

第 7 章 传热的基本形式和机理	173
7.1 热量传递的基本方式	173
7.2 传热过程	176
7.3 小结	178
思考题 7	179
习题 7	179
第 8 章 导热	181
8.1 导热的微分方程和导热系数	181
8.2 稳态导热	183
8.3 非稳态导热	188
8.4* 导热问题的数值解法	193
8.5 小结	197
思考题 8	198
习题 8	198
第 9 章 对流传热	200
9.1 对流传热的基本概念	200
9.2* 对流传热的基本方程组	203
9.3 相似原理	206
9.4 单相流体管内强迫对流传热特征数关联式	209
9.5 外部强迫对流传热的特征数关联式	211
9.6 大空间自然对流传热	216
9.7 相变换热	218
9.8 小结	223
思考题 9	224
习题 9	225

第 10 章 辐射换热	227
10.1 热辐射的基本概念	227
10.2 黑体辐射的基本定律	229
10.3 灰体和基尔霍夫定律	232
10.4 角系数	234
10.5 组成封闭空间的两灰体之间的辐射换热计算	239
10.6 小结	246
思考题 10	248
习题 10	249
第 11 章 传热过程分析和换热器热计算基础	251
11.1 传热过程分析	251
11.2 换热器的基本概念	260
11.3 小结	266
思考题 11	267
习题 11	267
附录	270
附表 1 物理常数和常用单位换算	270
附表 2 饱和水和饱和蒸汽的热力性质(按温度排列)	271
附表 3 饱和水和饱和蒸汽的热力性质(按压力排列)	273
附表 4 未饱和水和过热蒸汽的热力性质	275
附表 5 干空气热物理性质($p = 101\,325\text{ Pa}$)	281
附表 6 在大气压力($p = 101\,325\text{ Pa}$)下烟气热物理性质	282
附表 7 部分金属材料的热物理性质	283
附表 8 部分非金属和耐火、保温材料的热物理性质	284
附表 9 未饱和水($p = 101\,325\text{ Pa}$)与饱和水热物理性质	285
附表 10 干饱和水蒸气热物理性质	286
附表 11 几种饱和液体的热物理性质	287
习题答案	289
参考文献	295

绪 论

0.1 热能和热能利用

能源是人类赖以生存的物质基础,人类社会的发展,离不开自然界各种能源的开发和利用,能源的开发和利用已成为衡量社会物质文明的重要标志。自然界中蕴藏着各种不同形式的能量,人类迄今已不同程度地开发和利用了自然界的风能、水能、太阳能、燃料的化学能和原子核能等。其中风能和水能是自然界以机械能形式提供的能量,其他能源主要以热能的形式或者转换为热能的形式供人们利用(见图 0-1)。因此,可以认为能量的利用过程实质上是能量的传递和转换过程,热能的开发利用对人类社会有着巨大意义。

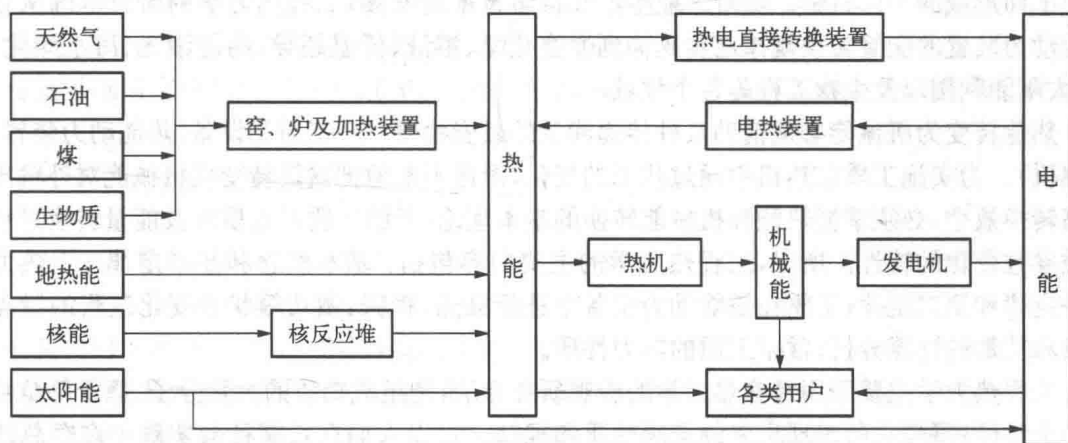


图 0-1 热能及其工程应用

热能的利用原则上有两种不同的方式：一种是直接利用，即把热能直接用于加热物体，诸如烘干、采暖、冶炼；另一种是动力利用，即把热能转化成机械能或电能，为生产及生活提供动力。这两种利用方式，均需要经过一定热工设备或过程才能实现。所以，热能利用的实质是能量的转换和热量的传递。热量的传递不仅在热能动力装置中普遍存在，而且是自然界和生产技术中一种非常普遍的现象。

迄今，人类利用得最多的能源之一是燃料的化学能。通过燃烧，燃料的化学能转换成热能，再将热能转换成机械能或电能供人们使用。20 世纪 60 年代以来，人们已开始把原子内部蕴藏的巨大能量通过裂变反应释放出来，加以和平利用。能源的开发利用一方面为人类社会的发展提供了必需的能量，另一方面也造成了对自然环境的破坏和污染。与能源开发利用密切相关的温室效应、酸雨、核废料辐射等对地球的生态系统造成了严重威胁，因此人们正以极大热情关注节能、可再生能源的开发等，努力在满足人类社会对能量需求的同时不破坏或少破坏自然环境，实现可持续发展，为后代留下良好的生存空间。

0.2 热工理论的研究对象和方法

由于能源对人类文明进步的意义,研究和提高能源利用的方式和效果是当今世界的重要课题。热工理论就是研究能量转换,特别是热能转换成机械能以及热量传递的规律的科学,是动力和能源工程、航空航天工程、化学工程及机械工程等专业的重要的技术基础课。现代能源、环境、航空航天、微电子、信息工程、生物医学工程、军事等领域内的许多进展都直接或间接建立在热工学研究进展的基础之上。可以预见在今后的年月里,热工理论的研究仍将在高新科技发展中占有重要地位。因此,热工类课程是高等院校工程类专业的重要基础课程,是上述各类专业的学生提高知识层次和自身科技素质的重要课程。

热工理论包括工程热力学和传热学两部分。工程热力学主要是研究热能与机械能相互转换的规律及其在热能动力工程中的应用;传热学主要研究热量传递的规律及其工程应用。热工理论为研究热力设备的工作情况及提高转换效率提供必需的理论基础。

早期工程热力学作为制造热机的理论基础,是为研究提高热力发动机中热能转变成机械能效率而形成的一门科学。随着工业生产和科学技术的发展,工程热力学的研究范围从各种热能动力装置的能量转换规律逐步延伸到燃烧化学、溶液、低温超导、高能激光、海水淡化、气象、太阳能利用以及生物工程等各个领域。

热能转变为机械能必须借助某种传递能量的载能物质——工质和设备(热能动力装置,简称热机)。为实施工质在热机中通过状态的变化,源源不断地把热能转变成机械能对外输出并提高转换效率,必须掌握热能和机械能转换的基本理论,了解工质的性质以及能量转换过程中工质参数变化的特性。所以,工程热力学的主要内容包括:基本概念和基本定律——热力学第一定律和第二定律;工质在热能动力设备中进行吸热、膨胀、做功等状态变化过程的特点及热量和功量的计算分析;常用工质的热力性质。

工程热力学主要采用经典热力学的宏观研究方法,把组成物质的大量分子、原子等微粒作为一个整体,研究它所表现出来的宏观性质和规律。它以人们在长期社会实践中观察总结无数事实得到的热力学第一定律和第二定律等为基础,通过物系的压力、温度、体积等宏观参数和受热、冷却、膨胀、收缩等整体行为,运用严密的逻辑推理,对宏观现象和热力过程进行研究,形成有关能量转换,特别是热、功转换的理论。这种方法不需要对物质的微观结构作任何假设,而是把与物质内部结构有关的具体性质当作宏观真实存在的物性数据予以肯定,因此分析推理的结果具有高度可靠性和普遍适用性。有时为了解释一些热现象的本质,工程热力学也需引用气体分子运动学说和统计物理的基本观点及研究成果。此外,与大多数工程学科一样,工程热力学还普遍采用抽象、概括、理想化和简化处理方法,突出实际现象的本质和主要矛盾,忽略次要因素,建立合理简化的物理模型,反映热力过程的本质。

读者可在工程热力学的学习过程中,逐步铭记工程热力学的基本概念和基本理论,正确获取常用工质的热物理性质,在对基本热力过程分析计算基础上进行常用热力设备(动力装置、制冷装置等)的工作过程分析和计算,最终树立起合理用能、节约能源的观念。

传热学是在热力学第一定律和第二定律基础上研究热量传递规律的科学。热力学第二定律指出凡存在温度差的地方,热量就会自发地由高温物体传向低温物体(或由物体的高温部分传向低温部分),由于在自然界和各生产领域中普遍存在着温差,因此,传热现象是一种非常普

遍的自然现象。根据物理过程的不同,热量的传递可以分为三种基本方式:热传导(导热)、热对流和热辐射。随着现代高新技术的发展,如电子技术中为解决超大规模集成电路的冷却而引起的微尺度的传热问题,航天领域中为航天器、载人飞船的热控制而产生的微重力、零重力条件下的传热问题,生物医学领域中的生物活体组织的传热问题,等等。传热学与其他学科领域的关系愈来愈密切,并且不断深入到这些学科领域内,形成新的边缘学科、交叉学科,使传热理论在许多高科技领域都发挥着极其重要的作用。

工程上的传热问题大致有两类:一类是如何更有效地增强或削弱热量的传递;另一类则侧重于确定物体内的温度分布。传热学的研究方法主要有解析方法、实验方法和数值计算方法。解析法是对描述热量传递的微分方程组用数学分析方法进行求解;实验方法是利用实验对复杂的热传递过程进行测量,并在传热理论的指导下建立经验性的方程;数值方法是利用计算机求解用解析方法难以解决的传热微分方程组。这几种方法可以独立运用,也可以相辅相成、互相补充。计算机在传热领域的广泛应用使传热学研究获得了飞速的发展。

读者在学习传热知识的同时,要注重培养运用基本传热理论对实际问题做出合理的假设,使问题得到简化,进而正确判断所论问题的类型,选择合适的方法,进行分析求解。

工程热力学和传热学是从不同的角度来研究热能及其传递的问题,传热学建立于工程热力学基础上。例如一杯热水,放在桌上冷却,工程热力学研究热水温度下降到室温所放出的热量;传热学则研究热量如何传出、放热过程的快慢、采用什么手段可强化或削弱传热过程等。

0.3 热工理论发展简史

古代人类早就学会了用火和灭火,并早在 1690 年便诞生了第一台带活塞的蒸汽机。1705 年,纽可门(T. Newcomen, 1663—1729)制造了一台带有锅炉的活塞式蒸汽机。1769—1782 年间,瓦特(J. Watt, 1736—1819)多次改良了纽可门蒸汽机,并为蒸汽机配置了冷凝器,使蒸汽机的热效率大为提高,很快应用到矿业、纺织、交通等各领域。但到 17 世纪末还对温度和热量这两个基本概念有错误的认识。当时在科学界,占统治地位的是所谓的“热质说”,把热看成是由没有重量、可以在物体中自由流动且具有相互排斥性的“热质”组成的,既不能被创造,也不能被消灭,温度则是热质的强度。直到 18 世纪末年朗福德(C. Rumford, 1753—1814)观察到钻头钻炮筒时,机械功消耗的结果,使钻头和筒身温度升高;戴维(H. Davy, 1778—1829)用两块冰相互摩擦,致使表面融化才对“热质说”造成致命的打击。19 世纪中叶,迈耶(J. R. Mayer, 1814—1878)提出了能量守恒理论,指出热是能的一种形式,可与机械能相互转化。1842 年,焦耳(J. P. Joule, 1818—1889)用不同方式测定了热功当量,科学界才彻底抛弃了“热质说”,建立起实质为能量守恒和转换定律的热力学第一定律。

在建立第一定律的前后,基于当时生产实践迫切要求寻找大型、高效的热机,卡诺(S. Carnot, 1796—1832)在 1824 年提出了著名的卡诺定理,指明工作在给定温度范围内热机所能达到的效率极限,这在实质上已建立了热力学第二定律。但因卡诺受“热质说”的影响,他的证明方法是错误的。1850 年和 1851 年,克劳修斯(R. Clausius, 1822—1888)和开尔文(L. Kelvin, 1824—1907)先后提出了热力学第二定律,并在此基础上重新证明了卡诺定理(热力学第二定律),提出能量有品质高低之分,从高品质的能转换为低品质能的过程可自发进行。

热力学第一定律和第二定律奠定了热力学理论基础。1906 年,能斯特(H. W. Nernst,

1864—1941)根据低温下化学反应的许多实验事实,归纳得出热力学第三定律,指出绝对零度不能达到。第三定律的建立使热力学理论更臻完善。1942年,凯南(J. H. Keenan, 1900—1977)在泰特(P. G. Tait, 1831—1901)、吉布斯(J. W. Gibbs, 1839—1903)等前人工作的基础上全面建立了可用能的概念和方法。1953年和1962年,朗特(Z. Rant, 1904—1972)进一步提出焔和焔的概念,使对热能装置的分析从能量的数量提升到能量的数量和质量相结合。

人们在探讨提高热机的功率及效率和更有效利用热能的过程中发现,迫切需要对热量传递的基本规律进行深入研究,以便更有效地利用热能。这样就导致了“传热学”的产生和发展。1822年,傅里叶(J. Fourier, 1768—1830)总结出热传导定律,奠定了导热理论的基础。他从傅里叶定律和能量守恒定律推出的导热微分方程是导热问题正确的数学描写,成为求解大多数工程导热问题的出发点。在对流研究领域,流体流动的理论是对流传热理论的必要前提,1845年,斯托克斯(G. G. Stokes, 1819—1903)改进了纳维(M. Navier, 1785—1836)于1823年提出的流动方程,完成了建立流体流动方程的基本任务。由于纳维-斯托克斯方程的复杂性,只有少数简单流动方程才能进行求解。这种局面一直到1880年雷诺(O. Reynolds, 1842—1912)提出了一个对流动有决定性影响的、后来被称为雷诺数的、量纲为一的物理量群之后才开始有所改观。努塞尔(W. Nusselt, 1882—1957)在1910年和1916年提出的管内换热的理论解及凝结换热理论解对对流传热研究作出了重大贡献,他对强制对流和自然对流的基本微分方程及边界条件进行量纲分析,获得了有关量纲为一的量之间的原则关系,开辟了在量纲为一的量原则关系正确指导下,通过实验研究求解对流传热问题的基本方法,有力地促进了对流传热研究的发展。普朗特(L. Prandtl, 1875—1953)于1904年提出的边界层概念,简化了微分方程,有力推进了对流传热微分方程理论求解的发展。1929年的普朗特比拟,1939年的卡门(Th. von Karman, 1881—1963)比拟开始了湍流计算模型的发展历程,有力地推动了理论求解向纵深发展。在热辐射的研究中,19世纪末斯忒藩(J. Stefan, 1835—1893)根据实验确立了黑体辐射力正比于它的绝对温度的四次方的规律,后来在理论上被玻耳兹曼(L. Boltzmann, 1844—1905)所证实。这个规律被称为斯忒藩-玻耳兹曼定律。1900年,普朗克(M. Planck, 1858—1947)总结了维恩(W. Wien, 1864—1928)、瑞利(L. Rayleigh, 1842—1919)等人对辐射的研究成果,提出了与经典物理学的连续性概念根本不同的能量子假说,得出在整个光谱与实际情况完全符合的光谱能量分布公式——普朗克公式,正确地揭示了黑体辐射能量光谱分布的规律,奠定了热辐射理论的基础。20世纪60年代电子计算机开始普及,利用计算机辅助进行传热现象的研究随之兴起,对传热学的发展作出了卓越的贡献。总之,自19世纪以来“传热学”的发展取得辉煌成果,并将在广度及深度上得到进一步发展。

工程热力学篇

工程热力学是研究能量转换规律和合理利用的一门学科,研究范围遍及能源动力、化工、航空航天、低温超导、高能激光、气象、太阳能利用以及生物工程等各个领域。

任何形式的能量,既不能消灭也不能创造,只能从一种形式转换成另一种形式,在转换过程中能量的总量保持恒定,这就是能量守恒和转换定律。能量不仅具有数量的属性,就其用途而言还有品质的属性。对于人类利用动力而言,能量在传递和转换过程中其品质不断下降。

本课程围绕过程中能量数量守恒、能量品质下降的主线展开。第1章引进基本概念和术语,为建立热力学理论体系构造基础。介绍热力学第一定律和热力学第二定律,建立能量数量和能量品质的概念,指出热力过程必须满足能量数量守恒,同时具有方向性,指出过程方向性的标志是孤立系统的熵增。第2章描述工程应用的理想气体、水蒸气的性质。第3章讨论混合气体及湿空气的性质及参数确定。第4章讨论基本热力过程和工程上常见的压气机内过程的能量转换。第5章分析常见的管内流动过程的气体状态变化及能量转换特征。第6章讨论常见热力循环的构成,影响循环热效率的因素以及寻找提高热效率的途径。

通过本篇的学习,读者可应用工程热力学的基本概念、基本定律,对实际的热过程进行抽象简化,确定常用工质的热物理性质,讨论常见热力设备的工作原理,分析计算基本热力过程和简单热力循环的各项参数,树立节约用能、合理用能的观念。

第 1 章 热力学第一定律和热力学第二定律

本章阐述工程热力学的术语、基本概念和基本理论——热力学第一定律和热力学第二定律,它们是进行能量转换分析研究和热工计算的基础,也是热力学宏观分析法的主要依据。

1.1 热力设备、系统和平衡状态

1.1.1 热能与机械能的转换

人类社会的发展,离不开自然界各种能源的开发和利用,自然界中蕴藏着各种不同形式的能量,其中,热能的利用和研究对人类的生产和生活有着巨大的意义。热能的利用原则上有两种不同的方式,一种是直接利用,另一种是动力利用,即把热能转化成机械能或电能,为生产及生活提供动力。这两种利用方式,均需要经过一定的热工设备或过程才能实现。

把热能转换为机械能的整套设备称为热能动力装置,简称热机。燃料在热能动力装置中燃烧,产生热能,热能再转变为机械能。热能动力装置可分为两大类:蒸汽动力装置和燃气动力装置。前者如火力发电厂的蒸汽动力装置及压水堆核动力装置等;后者如内燃机、燃气轮机装置及喷气发动机等。制冷、热泵和空气分离装置等原则上属于机械能转换为热能的设备,在热力学分析上与热能动力装置本质上相似。

图 1-1 所示为蒸汽动力装置的系统简图。它是由锅炉、汽轮机、冷凝器、泵等组成的热力装置。燃料在锅炉中燃烧,化学能转变为热能,锅炉沸水管内的水吸热后变为水蒸气,并在过热器内过热,成为过热蒸汽。此时蒸汽的温度、压力比外界介质的温度及压力高,具有做功的能力。当蒸汽被导入汽轮机后,先流经喷管,在其中膨胀,压力降低,速度增大。具有一定动能的蒸汽推动汽轮机叶片,使轴转动做功。做功后的排汽(称为乏汽)排入冷凝器,被冷却水冷却,凝结成水,又由泵打入锅炉内加热。如此循环不息,源源不断向外输出功。

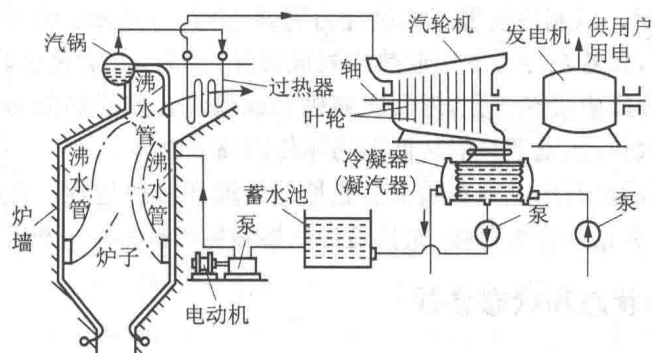


图 1-1 蒸汽动力装置系统简图