



普通高等教育“十三五”规划教材

工程热力学

Engineering Thermodynamics

陈巨辉 戴冰 李九如 于广滨 编著



科学出版社

普通高等工科院校规划教材

工程热力学

陈巨辉 戴 冰 李九如 于广滨 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是黑龙江省级精品课程“工程热力学”的配套教材,通过不断地修改、补充和完善,目前已经形成了一套科学完整的知识体系,并且入选为科学出版社普通高等教育“十三五”规划教材。本书与当前世界科技发展及国家建设紧密结合,章节编排更符合教学规律,教材立体化方面具有新的突破。全书共12章,第1~9章全面介绍了工程热力学的基本概念、基本定律、气体及蒸汽的热力性质、各种热力过程和循环的分析计算等内容。第10~12章则侧重于学生对知识点的运用和理解能力的培养。

本书适用于高等学校能源动力、化工机械、航空航天、核工程技术、建筑工程、工业管理等专业学生,也可作为这些专业的教师、管理人员的参考书、自学和进修读物,本书也适合于工程技术人员作为参考书,或作为技术手册备查。

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学/陈巨辉等编著. —北京:科学出版社,2017.6

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-03-052869-8

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第111940号

责任编辑:张 震 杨慎欣/责任校对:刘亚琦

责任印制:张 倩/封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2017年6月第一次印刷 印张:20 1/2

字数:525 000

定价:60.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是黑龙江省级精品课程“工程热力学”的配套教材。从本专业 1986 年成立以来,《工程热力学》讲义经过了三十多届的讲授,内容不断得以修改和完善,并结合新技术补充了知识点,目前已形成了一套完整的知识体系。“工程热力学”课程在教学方法、创新实验、多媒体教学、试题库建立、编写教材等方面一直在不断地积累、创新,课程不仅为学生讲授有关专业的基础理论知识,也为其毕业后从事相关专业技术工作和科学研究工作提供重要的理论基础,同时培养了学生的科学抽象、逻辑思维能力。本书在原有讲义的基础上紧跟“十三五”规划思想,并与当前世界科技发展及国家建设紧密结合,章节编排更符合教学规律,教材立体化方面具有新的突破。

本书主要具有以下特色。

(1) 编写思路新颖,内容全面,结构清晰,重点突出。“工程热力学”课程具有概念多、公式多、内容多(一种工质、两个基本定律、三个守恒方程、四个热力过程、五个方面应用)等特点,内容涉及面广、跨度大、知识点多。本书对传统的“工程热力学”课程进行了调整,主要考虑到热能与动力工程专业的特点,着眼于培养学生的学习兴趣,提高学生解决实际问题的能力,改革了习题构成,增加了培养学生能力训练的题目,着重强调全面性、实用性、创新性,做到难度适中、内容详略得当、语言准确精练。

(2) 本书的内容以实用为目的,注重知识应用的先进性和前沿性。本书紧跟“十三五”规划思想,补充了该领域“十三五”规划重点研究内容及最新的研究成果。随着知识的不断探寻及更新拓展,作者结合十多年的讲课经验,对《工程热力学》讲义内容又进行了完善和补充。

(3) 提供丰富的立体化配套资源,教学资源丰富,提供优质教学服务。为使内容更加动态化、形象化,本书提供课程教学资源和网络学习平台。课程教学资源包括课程标准、教学指南、学习指南、电子教案、多媒体课件等;网络学习平台主要为师生提供电子教材、在线交流、在线作业、答疑解惑等即时和非即时的沟通手段。

(4) 作者队伍结构合理,教科研实力强。《工程热力学》作者团队包括从教十几年经验丰富的老教师及有活力有新想法的年轻教师,同时还有系主任对“十三五”规划主导思想的把关。

《工程热力学》讲义得到了所有授课教师和广大学生的好评。经向学生抽样调查,“工程热力学”课程多次被学生认为是“最受欢迎的课程”;《工程热力学》讲义也被评为最受欢迎的教科书,学生表示讲义内容浅显易懂,各类教学资源非常丰富,便于自学。课题组曾多次参加中国工程热物理学会所召开的全国性学术交流会议;基于《工程热力学》讲义的教学方法、教学计划和大纲设计等均得到了同行专家的认可。

本书初稿由陈巨辉执笔完成，承蒙戴冰、李九如、于广滨仔细审阅，对本书的结构安排和内容取舍提出了中肯的意见，指出了一些细节的错误和不妥。感谢哈尔滨理工大学机械动力工程学院对本书编写和出版的大力支持，及本专业学生的积极配合与反馈。

书中难免有不妥之处，望不吝指正。

陈巨辉

2016年11月9日

主要符号

A	面积, m^2	p_s	饱和压力, Pa
c_f	流速, m/s	p_v	真空度, 湿空气中水蒸气分压力, Pa
c	比热 (质量比热), $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; 浓度, mol/m^3	Q	热量, J
c_p	定压比热, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	q_m	质量流量, kg/s
c_v	定容比热, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	q_v	体积流量, m^3/s
C_m	摩尔比热, $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$	R	通用气体常数, $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$
$C_{p,m}$	摩尔定压比热, $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$	R_g	气体常数, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
$C_{v,m}$	摩尔定容比热, $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$	$R_{g,eq}$	平均 (折合) 气体常数, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
d	耗汽率, kg/J ; 含湿量, kg/kg (干空气)	S	熵, J/K
E	总能 (储存能), J	S_g	熵产, J/K
E_k	宏观动能, J	S_f	热 (熵流), J/K
E_p	宏观位能, J	T	热力学温度, K
F	力, N	T_i	转回温度, K
H	焓, J	t	摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$
H_m	摩尔焓, J/mol	T_w	湿球温度, $^{\circ}\text{C}$
M	摩尔质量, kg/mol	U	内能, J
Ma	马赫数	V	体积, m^3
M_r	相对分子质量	v	比体积, m^3/kg
M_{eq}	平均 (折合) 摩尔质量, kg/mol	V_m	摩尔体积, m^3/mol
n	多变指数; 物质的量, mol	W	膨胀功, J
p	绝对压力, Pa	W_{net}	循环净功, J
p_0	大气环境压力, Pa	W_i	内部功, J
p_b	大气压力, 背压力, Pa	W_s	轴功, J
p_e	表压力, Pa	W_t	技术功, J
p_i	分压力, Pa	W_u	有用功, J
		w_i	质量分数
		x	干度 (专指湿蒸汽中饱和干蒸汽的质量分数)

x_i	摩尔分数	σ	回热度
z	压缩因子	φ	相对湿度; 喷管速度系数
α	抽汽量, kg; 离解度	φ_i	体积分
α_V	体膨胀系数		
γ	质量比热比 (比热比); 相变潜热 (汽化潜热), J/kg	下标	
ε	制冷系数; 压缩比	a	空气中干空气的参数
ε'	供暖系数	c	卡诺循环; 冷库参数
η_c	卡诺循环热效率	C	压气机
$\eta_{C,s}$	压气机绝热效率	cr	临界点参数; 临界流动状况参数
η_T	蒸汽轮机、燃气轮机的相对内效率	CV	控制容积
η_t	循环热效率	in	进口参数
κ	定熵指数	iso	孤立系统
κ_T	等温压缩率	m	物质的量
λ	升压比	s	饱和参数; 相平衡参数
π	压力比 (增压比)	out	出口参数
v_{cr}	临界压力比	v	湿空气中水蒸气的物理量
ρ	密度, kg/m ³ ; 预胀比	0	环境的参数; 滞止参数

目 录

前言

主要符号

第 1 章 基本概念	1
1.1 绪论	1
1.1.1 热能与机械能的转换	1
1.1.2 热力学发展简史	2
1.1.3 工程热力学的主要内容及研究方法	3
1.2 热力学系统	4
1.2.1 热力系定义	4
1.2.2 热力系分类	5
1.3 状态及状态参数的基本概念	5
1.3.1 状态与状态参数	5
1.3.2 基本状态参数	6
1.4 平衡状态、状态方程、坐标图	9
1.4.1 平衡状态	9
1.4.2 状态公理	9
1.4.3 状态方程	10
1.4.4 状态参数坐标图	10
1.5 热力过程	10
1.5.1 准静态过程	11
1.5.2 可逆过程和不可逆过程	12
1.6 功和热量	13
1.6.1 功的热力学定义	13
1.6.2 可逆过程功	14
1.6.3 热量	15
1.7 热力循环	16
1.7.1 循环	16
1.7.2 正向循环	16
1.7.3 逆向循环	17
1.8 单位制简介	18
1.8.1 基本单位	18
1.8.2 导出单位	19
1.8.3 国际单位制词冠	19
思考题	20

习题	21
第2章 热力学第一定律	23
2.1 热力学第一定律的实质	23
2.2 内能和总能	23
2.2.1 内能	23
2.2.2 外部储存能	24
2.2.3 系统的总储存能	24
2.3 焓	24
2.4 热力学第一定律的表达式	25
2.4.1 基本表达式	25
2.4.2 闭口系统能量方程式	25
2.4.3 开口系统能量方程的一般形式	28
2.5 稳定流动能量方程及其应用	30
2.5.1 稳定流动能量方程式	30
2.5.2 稳定流动能量方程式的分析	30
2.5.3 能量方程式的应用	31
思考题	35
习题	36
第3章 气体的性质	38
3.1 理想气体模型及其状态方程	38
3.1.1 理想气体模型	38
3.1.2 理想气体状态方程	38
3.1.3 通用气体常数与气体常数的关系	39
3.2 实际气体模型及其状态方程	41
3.2.1 实际气体模型	41
3.2.2 实际气体状态方程	42
3.2.3 实际气体临界参数	43
3.3 对比参数及对比态定律	45
3.3.1 对比参数	45
3.3.2 对比态定律	45
3.3.3 通用压缩因子图	46
3.4 理想气体的比热	49
3.4.1 比热的定义	49
3.4.2 定压比热与定容比热的关系	50
3.4.3 利用比热计算热量	51
3.5 理想气体的内能、焓和熵	53
3.5.1 内能和焓	53
3.5.2 状态参数熵	55
3.5.3 理想气体的熵变计算	55

3.6 理想气体混合物	57
3.6.1 理想气体混合物定义与成分表示	57
3.6.2 混合气体的折合摩尔质量和折合气体常数	57
3.6.3 分压力定律和分体积定律	58
3.6.4 w_i 、 x_i 、 φ_i 的换算关系	59
3.6.5 理想气体混合物的比热、内能、焓和熵	60
思考题	62
习题	63
第4章 理想气体基本热力过程及气体压缩	67
4.1 概述	67
4.2 定容过程	67
4.3 定压过程	68
4.4 定温过程	72
4.5 绝热过程	73
4.5.1 过程方程式	73
4.5.2 初、终态参数的关系	74
4.5.3 定熵过程 p - v 图和 T - s 图	74
4.5.4 绝热过程中能量的传递和转换	74
4.6 多变过程	75
4.6.1 过程方程式	75
4.6.2 初、终态参数的关系	76
4.6.3 多变过程的过程功、技术功及过程热量	76
4.6.4 多变过程的特性及 p - v 图、 T - s 图	77
4.6.5 过程综合分析	78
4.7 压气机的热过程	83
4.7.1 压气机概述	83
4.7.2 单级活塞式压气机的工作原理和理论耗功量	84
4.7.3 余隙容积对压气机工作的影响	85
4.7.4 多级压缩和级间冷却	87
思考题	89
习题	90
第5章 热力学第二定律	93
5.1 热力学第二定律的表述	93
5.2 可逆循环分析及其热效率	94
5.2.1 卡诺循环	94
5.2.2 概括性卡诺循环	95
5.2.3 逆向卡诺循环	96
5.2.4 多热源的可逆循环	97
5.3 卡诺定理	98

5.4 状态参数熵及热过程方向的判据	100
5.4.1 状态参数熵的导出	100
5.4.2 热力学第二定律的数学表达式	102
5.4.3 不可逆绝热过程分析	104
5.4.4 熵变量计算	105
5.5 孤立系的熵增原理	106
5.5.1 孤立系熵增原理的基本概念	106
5.5.2 熵增原理的实质	108
5.5.3 孤立系中熵增与做功能力损失	110
思考题	111
习题	112
第6章 水蒸气和湿空气	115
6.1 饱和状态及其参数	115
6.2 水蒸气的定压发生过程	116
6.3 水和水蒸气的状态参数	117
6.3.1 零点的规定	118
6.3.2 过冷水	118
6.3.3 温度为 t 、压力为 p 的饱和水	118
6.3.4 压力为 p 的干饱和蒸汽	118
6.3.5 压力为 p 的湿饱和蒸汽	119
6.3.6 压力为 p 的过热蒸汽	119
6.4 水蒸气表和 $h-s$ 图	119
6.4.1 水蒸气表	120
6.4.2 $h-s$ 图	121
6.5 水蒸气的基本过程	121
6.6 湿空气的性质	123
6.6.1 未饱和空气和饱和空气	124
6.6.2 露点	124
6.6.3 湿空气的绝对湿度	125
6.6.4 湿空气的相对湿度	125
6.6.5 湿空气的含湿量	125
6.6.6 湿空气的焓	126
6.6.7 湿空气的比体积	126
6.7 湿空气的焓湿图	127
6.7.1 湿空气的 $h-d$ 图	127
6.7.2 $h-d$ 图的应用	129
6.8 湿空气的基本过程	129
6.8.1 加热(或冷却)过程	130
6.8.2 绝热加湿过程	130

6.8.3 冷却去湿过程	131
6.8.4 绝热混合过程	131
6.8.5 烘干过程	132
思考题	132
习题	133
第7章 气体与蒸汽的流动	134
7.1 稳定流动的基本特性和基本方程	134
7.1.1 喷管和扩压管	134
7.1.2 连续性方程	134
7.1.3 稳定流动能量方程式	135
7.1.4 过程方程式	136
7.1.5 声速方程	137
7.2 促使流速改变的条件	137
7.2.1 力学条件	137
7.2.2 几何条件	138
7.3 喷管的计算	140
7.3.1 流速计算	140
7.3.2 临界压力比	140
7.3.3 流量计算	142
7.4 绝热节流	143
思考题	143
习题	144
第8章 动力循环	145
8.1 朗肯循环	145
8.1.1 工质为水蒸气的卡诺循环	145
8.1.2 朗肯循环及其热效率	146
8.1.3 蒸汽参数对朗肯循环热效率的影响	147
8.1.4 有摩阻的实际循环	148
8.2 再热循环	150
8.3 回热循环	151
8.3.1 抽汽回热	151
8.3.2 回热循环计算	152
8.4 热电循环	155
8.5 活塞式内燃机实际循环的简化	156
8.6 活塞式内燃机的理想循环	158
8.6.1 混合加热理想循环	158
8.6.2 定压加热理想循环	160
8.6.3 定容加热理想循环	160
8.6.4 活塞式内燃机各种理想循环的热力学比较	162

8.7 燃气轮机装置及循环	163
8.7.1 燃气轮机装置简介	163
8.7.2 燃气轮机装置的定压加热理想循环	164
8.7.3 燃气轮机装置的定压加热实际循环	165
思考题	166
习题	167
第9章 制冷循环	168
9.1 概况	168
9.2 空气压缩制冷循环原理及应用	168
9.2.1 空气压缩制冷循环	168
9.2.2 回热式空气制冷循环	170
9.3 蒸气压缩制冷循环	172
9.4 吸收式制冷循环	175
9.5 热泵	176
9.6 气体液化系统	176
9.6.1 理想液化系统所需的功	176
9.6.2 可逆气体液化系统	177
思考题	178
习题	178
第10章 总复习试题精讲	180
第11章 考研复习试题精讲	187
第12章 专升本复习试题汇编	273
复习参考题(一)	273
复习参考题(二)	273
专升本模拟考试试题(一)	274
专升本模拟考试试题(二)	276
专升本模拟考试试题(三)	279
专升本模拟考试试题(四)	281
专升本模拟考试试题(五)	284
专升本模拟考试试题(六)	286
专升本模拟考试试题(七)	289
参考文献	292
附录	293

第1章 基本概念

1.1 绪 论

1.1.1 热能与机械能的转换

随着社会的快速发展，人类不断地开发和利用自然界的各种能源。所谓能源，是指提供各种有效能量的物质资源。自然界中可被人们利用的能量主要有矿物燃料的化学能以及风能、水力能、太阳能、地热能、原子能等。其中风能和水力能是自然界以机械能形式提供的能量，其他则主要以热能的形式或者转换为热能的形式供人们利用，可见能量的利用过程实质上是能量的传递和转换过程。据统计，以热能形式而被利用的能量，在我国占 90% 以上，世界其他各国平均超过 85%。因此，热能的开发利用对人类社会的发展有着重要意义。

热能的利用通常有下列两种基本形式：一种是热利用，如在冶金、化工、食品等工业和生活上的应用；另一种是把热能转化成机械能或电能，为人类社会的各方面提供动力等。

当今热力工程所利用的热源物质主要是矿物燃料。从燃料燃烧中获得热能，以及利用热能得到动力的整套设备（包括辅助设备），统称热能动力装置。

热能动力装置可分为蒸汽动力装置及燃气动力装置两大类。下面以内燃机与蒸汽动力装置为例分析热能动力装置中的能量转换情况。

内燃机的主要部分为气缸、活塞（图 1.1）。内燃机工作时，活塞做往复运动，往复运动连续进行并借助于连杆和曲柄的作用使内燃机曲轴转动，进而带动机器工作。

燃料和空气的混合物在气缸中燃烧，释放出大量热量，使燃气的温度、压力大大高于周围介质的温度和压力而具备做功的能力。它在气缸中膨胀做功，推动活塞，这时气体的能量通过曲柄连杆机构传递给装在内燃机曲轴上的飞轮，转变成飞轮上的动能。飞轮的转动带动曲轴，向外做出轴功，同时完成活塞的逆向运动，排出废气，为下一轮进气做好准备。

每经过一定的时间间隔，空气和燃料即被送入气缸中，并在其中燃烧、膨胀，推动活塞做功。这样，活塞不断地往复运动，曲轴则连续回转。飞轮从气体那里所得到的能量，除了部分作为带动活塞逆向运动所需要的能量外，其余部分传递给工作机械加以利用。此外，把一部分燃料化学能转换来的热能排向环境大气。

蒸汽动力装置的系统简图如图 1.2 所示。这是由锅炉、汽轮机、冷凝器、泵等组成的一套热力设备。燃料在锅炉中燃烧，使化学能转化为热能，锅炉沸水管内的水吸热后变为蒸汽，并且在过热器内过热，成为过热蒸汽。此时高温高压蒸汽具有做功的能力，当它被导入汽轮机后，先通过喷管膨胀，速度增大，内能转变成动能。这样，具有一定动能的蒸汽推动叶片，

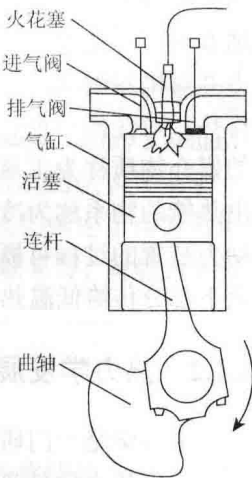


图 1.1 内燃机示意图

使轴转动做功。做功后的乏汽从汽轮机进入冷凝器，被冷却水冷凝成水，并由泵加压送入锅炉加热。如此周而复始，通过锅炉、汽轮机、冷凝器等不断把燃料中的化学能转变而来的热能中的一部分转变成功，其余部分则排向环境介质。

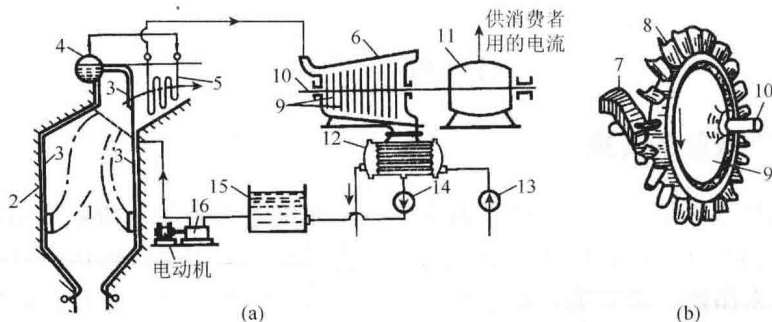


图 1.2 蒸汽动力装置的系统简图

1—炉子；2—炉墙；3—沸水管；4—汽锅；5—过热器；6—汽轮机；7—喷嘴；8—叶片；9—叶轮；
10—轴；11—发电机；12—冷凝器；13、14、16—泵；15—蓄水池

工程热力学不深入研究各种热机的结构和各自的特性，而是抽取所有热机的共同问题进行探讨。从上述两种热机的工作情况可以看出，它们构造不同，工作特性不同。例如，活塞式内燃机的燃烧、膨胀、压缩和排气都发生在气缸内，而且可以说气体的膨胀过程发生在气体无宏观运动的状况下；蒸汽动力装置中工质的吸热、膨胀、冷凝等过程分别发生在不同的设备中，而且蒸汽虽然在进入喷管时速度较低，但膨胀后冲出喷管时速度却很大，因此蒸汽的膨胀过程是发生在有宏观运动时。其他形式的热机可能还有另外的方式和特性，但是概括地看来，无论哪一种动力装置，总是用某种媒介物质从某个能源获取热能，从而具备做功能力并对机器做功，最后又把余下的热能排向环境介质。上述这些过程——吸热、膨胀、做功、排热，对任何一种热能动力装置都是共同的，也是本质性的。把实现热能和机械能相互转化的媒介物质称为工质；把工质从中吸取热能的物系称为热源，或称高温热源；把接受工质排出热能的物系称为冷源，或称低温热源。热源和冷源可以是恒温的，也可以是变温的。热能动力装置的过程可概括成：工质自高温热源吸热，将其中一部分转化为机械能而做功，并把余下部分传给低温热源。

1.1.2 热力学发展简史

热力学是一门研究物质的能量、能量传递和转换以及能量与物质性质之间普遍关系的科学。工程热力学是热力学的工程分支，是在阐述热力学普遍原理的基础上，研究这些原理的技术应用的学科，它着重研究的是热能与其他形式能量（主要是机械能）之间的转换规律及其工程应用。掌握工程热力学的基本原理，必将为能源、动力、化工及环境工程等领域内的深入研究打下坚实的基础。

人类的实践活动和探索未知事物的欲望是科学技术发展的动力。热现象是人类最早广泛接触到的自然现象之一，但是直到 18 世纪初，在欧洲，由于煤矿开采、航海、纺织等产业部门的发展，产生了对热机的巨大需求，才促使热学的发展得到积极的推动。1763～1784 年，英国人瓦特（James Watt，1736～1819）对当时用来带动煤矿水泵的原始蒸汽机

进行了重大改进, 且研制成功了应用高于大气压的蒸汽和配有独立凝汽器的单缸蒸汽机, 提高了蒸汽机的热效率。此后, 蒸汽机为纺织、冶金、交通等部门广泛采用, 使生产力有了很大的提高。

蒸汽机的发明与应用, 刺激、推动了热学方面的理论研究, 促成了热力学的建立与发展。1824年, 法国人卡诺(Sadi Carnot, 1796~1832)提出了卡诺定理和卡诺循环, 指出热机必须工作于不同温度的热源之间, 并提出了热机最高效率的概念, 这在本质上已阐明了热力学第二定律的基本内容。但是, 卡诺用当时流行的热质说作为其理论的依据, 因而虽然他的结论是正确的, 但证明过程却是错误的。在卡诺所做工作的基础上, 1850~1851年, 克劳修斯(Rudolf Clausius, 1822~1888)和汤姆孙(William Thomson, 即开尔文 Lord Kelvin, 1824~1907)先后独立地从热量传递和热转变成功的角度提出了热力学第二定律, 指明了热过程的方向性。

在热质说流行的年代, 一些研究者用实验事实驳斥了其错误, 但由于没有找到热功转换的数量关系, 他们的工作没有受到重视。1842年, 迈耶(Julius Robert Mayer, 1814~1878)提出了能量守恒原理, 认为热是能量的一种形式, 可以与机械能相互转换。1850年, 焦耳(James Prescott Joule, 1818~1889)在他的关于热功相当实验的总结论文中, 以各种精确的实验结果使能量守恒与转换定律, 即热力学第一定律得到了充分的证实。能量守恒与转换定律是19世纪物理学的最重要发现。1851年, 汤姆孙把能量这一概念引入热力学。

热力学第一定律的建立宣告第一类永动机(即不消耗能量的永动机)是不可能实现的。热力学第二定律则使制造第二类永动机(只从一个热源吸热的永动机)的梦想破灭。这两个定律奠定了热力学的理论基础。

热力学理论促进了热动力机的不断改进与发展, 而人类生产实践又不断为热力学的前进提供新的驱动力。1906年, 能斯特(Walther Nernst, 1864~1941)根据低温下化学反应的大量实验事实归纳出了新的规律, 并于1912年将之表述为0K不能达到原理, 即热力学第三定律。热力学第三定律的建立使经典热力学理论更趋完善。1942年, 凯南(Joseph Henry Keenan, 1900~1977)在热力学基础上提出有效能的概念, 使人们对能源利用和节能的认识又上了一个台阶。近代能量转换新技术(如等离子发电、燃料电池等)及1974年人们确定了作为常用制冷剂的氯氟烃物质CFC和含氢氯氟烃物质HCFC与南极臭氧层空洞的联系等, 向热力学提出了新的课题。热力学理论将在不断解决新课题中发展。

1.1.3 工程热力学的主要内容及研究方法

工程热力学的研究对象主要是能量转换, 特别是热能转化成机械能的规律和方法, 以及提高转化效率的途径, 以提高能源利用的经济性。它的主要内容包括以下几个方面。

(1) 基本概念与定律及分析计算方法, 如热力系统、状态参数、平衡态、热力学第一定律、热力学第二定律、能量转换过程和循环的分析研究及计算方法等。这些构成了工程热力学的基础。

(2) 常用工质的性质。工质性质对其状态变化过程有着极重要的影响。

(3) 热力学理论在热能动力装置中的应用。重点剖析各种热能动力装置的热效率问题, 即工程上将热机输出的功量与同时期内加给热机的热量之比称为热效率。

热力学有两种不同的研究方法：一种是宏观研究方法；另一种是微观研究方法。

宏观研究方法的特点是以热力学第一定律、热力学第二定律等基本定律为基础，针对具体问题采用抽象、概括、理想化和简化的方法，抽出共性，突出本质，建立分析模型，推导出一系列有用的公式，得到若干重要结论。由于热力学基本定律的可靠性以及它们的普适性，所以应用热力学宏观研究方法可以得到可靠的结果。但是，由于它不考虑物质分子和原子的微观结构，也不考虑微粒的运动规律，所以由之建立的热力学宏观理论并不能说明热现象的本质及其内在原因。

应用宏观研究方法的热力学称为宏观热力学，也称为经典热力学。工程热力学主要应用宏观研究方法。

应用微观研究方法的热力学称为微观热力学，也称为统计热力学。气体分子运动学说和统计热力学认为，大量气体分子的杂乱运动服从统计法则和概率法则，应用统计法则和概率法则的研究方法就是微观研究方法。它是从物质由大量分子和原子等粒子所组成的事实出发，利用量子力学和统计方法，将大量粒子在一定宏观条件下一切可能的微观运动状态予以统计平均，来阐明物质的宏观特性，导出热力学基本规律，因而能阐明热现象的本质，解释“涨落”现象。在对分子结构进行模型假设后，利用统计热力学方法还可对这种物质的具体热力学性质进行预测。但统计热力学也有局限性，对分子微观结构的假设只能是近似的，因此尽管运用了复杂的数学运算，所求得理论结果往往不够精确。

工程热力学主要应用热力学的宏观方法，但有时也引用气体分子运动理论和统计热力学的基本观点及研究成果。随着近代计算机技术的发展，计算机越来越多地应用于工程热力学的研究中，成为一种强有力的工具。

学好工程热力学首先要掌握学科的主要线索：一是研究热能转化为机械能的规律、方法以及怎样提高转化效率和热能利用的经济性；二是在深刻理解基本概念的基础上运用抽象简化的方法抽出各种具体问题的本质，应用热力学基本定理和基本方法进行分析研究；三是必须重视习题、实验等环节，通过这些环节可以培养抽象、分析问题的能力，加深对基本概念的理解。

1.2 热力学系统

1.2.1 热力系定义

热力学中，为了明确分析研究对象，把某种边界所包围的特定物质或空间称为热力系统，简称热力系或系统。边界以外的一切物质统称外界。系统和外界之间的分界面称为边界。边界可以是实际存在的，也可以是假想的。例如，当取汽轮机中的工质（蒸汽）作为热力系统时，工质和汽轮机之间存在着实际的边界，而进口前后或出口前后的工质之间却并无实际的边界，此处可人为地设想一个边界把系统中的工质和外界分割开来（图 1.3 (a)）。另外，边界可以固定不动，也可以有位移和变形。例如，当取内燃机气缸中的工质（燃气）作为热力系统时，工质和气缸壁之间的边界是固定不动的，但工质和活塞之间的边界却可以移动而不断改变位置（图 1.3 (b)）。