

648121

高等学校教材

582

3212·2

工程热力学和传热学

(轮机管理专业用)

第二版

大连海运学院 潘延龄 舒宏纪 主编

人民交通出版社

2·2

高等学校教材

工程热力学和传热学

(轮机管理专业用)

第二版

大连海运学院 潘延龄 舒宏纪 主编

人民交通出版社

高等学校教材
工程热力学和传热学

(轮机管理专业用)

第二版

大连海运学院 潘延龄 舒宏纪 主编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092_{1/16} 印张：23.5 插页：1 字数：568千

1979年5月 第1版

1982年6月 第2版 第2次印刷

印数：6,201—14,000册 定价：2.45元

前 言

本书是在大连海运学院热工教研室所编《工程热力学》和《传热学》两本讲义的基础上参照1977年轮机管理专业所订《工程热力学（70学时）和传热学（40学时）教学大纲》编写的。

本书力求阐明工程热力学和传热学的基本概念和基本定律，注意基本运算的训练，同时也对有关新技术作了适当介绍。全书采用国际单位制，对工程单位制也作了适当介绍。本书采用的国际单位制图表，大部分选自有关参考书，小部分是按工程单位制图表由编者换算改编制成。书中各章节前打星号者，在讲授时数不足时可以略去，并不影响讲授的系统性。

本书初稿承清华大学王补宣审阅第三、五两章，又承上海海运学院热工教研室蔡士鸣、吴克平、吴孟余以及本院船舶辅机教研室金以铨和船舶柴油机教研室钱天祉等审阅，提出了许多宝贵意见，谨在此表示感谢。由于编写时间短促，书中定会有不少不足之处，希望广大读者批评指正。

本书由热工教研室潘延龄、舒宏纪、詹宗勉、高万功、刘惠枝、阎永健和滕元良分章负责编写，最后由潘延龄和舒宏纪主编定稿。全书大部分插图由李恒国绘制。

大连海运学院热工教研室

一九七八年九月

A013/04

第二版前言

本书是在第一版的基础上，根据1980年8月交通部所属高等院校第一次热工讨论会上交流教材使用经验时提出的意见，以及1981年4月第二次热工讨论会修订的轮机管理专业《工程热力学》和《传热学》教学大纲，并参照1980年5月教育部部订的《工程热力学》和《传热学》两门课程大纲的基本要求编写写的。

与第一版比较，本书对基本概念和基础理论有所加强，同时针对轮机管理专业的特点，保留了必要的联系实际的内容。第一篇工程热力学部分，把基本概念作为一章集中提出，强调了它们的热力学意义，增编了第二章；在第三章热力学第一定律中，全面讨论了封闭和开口系统的能量平衡关系；在第六章热力学第二定律中，力图从物理概念上阐明熵的引出，并介绍了熵流和熵产的概念；在第十章中，增加了实际气体状态参数间普遍关系式简介；在第十三章中，增加了湿空气的绝热饱和过程；还新编了第十四章化学热力学简介。第二篇传热学部分，简要地介绍了用数学分析法和用相似理论指导实验得出计算放热系数的准则方程式；对于各种形式的对流换热和辐射换热的讨论有所加强。

全书由武汉海军工程学院杜先之、卢惠民和武汉水运工程学院林发森审阅。在编写过程中还得到西安交通大学苏长荪和清华大学任泽霈的热情帮助和指导。对此，编者谨在此表示感谢。

本书由大连海运学院热工教研室潘延龄、舒宏纪、詹宗勉、阎永健、滕元良、高万功和刘惠枝分章负责改写，新编的第十四章化学热力学简介由武汉工学院龚崇龄执笔，全书经主编潘延龄、舒宏纪定稿。全书新加的插图由李恒国绘制。

由于我们的水平有限，本书中还会有不妥和不足之处，希望广大读者批评指正。

大连海运学院热工教研室

一九八一年九月

热工计量单位符号

at	——工程大气压	ata	——绝对大气压
atm	——标准大气压	Btu	——英制热量单位
bar	——巴	°C	——摄氏度
cal	——卡	cm	——厘米
°F	——华氏度	g	——克
h	——小时	hp	——英制马力
in	——英寸	J	——焦耳
K	——热力学温度开尔文	kcal	——千卡
kg	——千克(公斤)	kgf	——公斤力
kmol	——千摩尔(千克分子量)	kW	——千瓦
lbf	——磅力	m	——米
lbm	——磅质量	mm	——毫米
min	——分钟	Nm ³	——标准状况下一立方米容积
N	——牛顿	PS	——公制马力
Pa	——帕斯卡	torr	——托
s	——秒	μ	——分子量; 微米
W	——瓦		

名称符号

- A —— 功热当量, $\text{kcal}/(\text{kgf}\cdot\text{m})$; 吸收率
- a —— 导温系数, m^2/s
- B —— 大气压力, bar [mmHg]
- C —— 辐射系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^4)$ [$\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{K}^4)$]
- C_r —— 阻力系数
- c —— 比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ [$\text{kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$]
- d —— 含湿量, g/kg ; 直径
- E —— 物体的辐射力, W/m^2 [$\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$]
- F —— 表面积, m^2
- f —— 横截面积, m^2
- g —— 重力加速度, m/s^2
- g_i —— 质量成分
- H —— 湿空气焓, kJ/kg [kcal/kg]; 高度, m
- h —— 比焓, kJ/kg [kcal/kg]
- J —— 热功当量
- k —— 传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ [$\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$]
- k —— 玻尔兹曼恒量; 绝热指数
- l —— 定形尺寸; 长度, m
- M —— 千摩尔数; 马赫数
- m —— 质量, kg
- \dot{m} —— 质量流量, kg/s
- N —— 功率, W [PS]
- NTU —— 传热单元数
- n —— 多变指数; 转速, $1/\text{min}$
- P —— 作用力, N [kgf]
- p —— 压力, N/m^2 [bar , ata]
- p_i —— 分压力
- Q —— 热量, kJ [kcal]; 热流量, W [kcal/h]
- q —— 单位质量热量, kJ/kg [kcal/kg]; 热流密度, W/m^2 [$\text{kcal}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$]
- R —— 气体常数; 导热热阻, $(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})/\text{W}$ [$\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$]
- r —— 比潜热, kJ/kg [kcal/kg]
- r —— 容积成分
- S —— 熵, kJ/K [kcal/K]
- s —— 比熵, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ [$\text{kcal}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]; 距离, m

- T ——热力学温度, K
 t ——摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$
 Δt ——温差, $^{\circ}\text{C}$
 U ——内能, kJ, 湿周 m
 u ——比内能, kJ/kg [kcal/kg]
 V ——容积, m^3
 v ——比容, m^3/kg
 W ——功, kJ [kgf·m]; 热容量, $\text{W}/^{\circ}\text{C}$; 流速, m/s
 w ——单位质量膨胀功, kJ/kg
 w_g ——流速, m/s
 x ——千摩尔成分, 干度
 Gr ——葛拉晓夫数
 Nu ——努赛尔特数
 Pr ——普朗特数
 Re ——雷诺数
 St ——斯坦登数
 α ——放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$ [kcal/($\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$)]
 β ——增压比; 体胀系数, $1/^{\circ}\text{C}$; 肋化系数
 γ ——重度, kgf/m^3
 δ ——厚度, m
 ϵ ——制冷系数; 压缩比; 修正系数; 黑度; 传热有效度
 η_t ——热效率
 η_{oi} ——绝热效率 (相对内效率)
 θ ——过剩温度, $^{\circ}\text{C}$
 λ ——压力升高比; 导热系数, $\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ [kcal/($\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$)], 波长, μ
 μ ——分子量; 动力粘度, $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$
 ν ——运动粘度, m^2/s
 ρ ——密度, kg/m^3 ; 预胀比
 σ ——回热度
 τ ——时间, h
 φ ——相对湿度; 角系数

下角标:

- e ——有效; 当量的
 0 ——绝对黑体的
 m ——平均的
 f ——流体的
 w ——壁面的
 max ——最大的
 min ——最小的
 C, Cr ——临界的

- n —— 多变过程的
- p —— 定压的
- s —— 定熵的
- T —— 定温的
- v —— 定温的

注：本书采用国际单位制，同时根据实际需要，将各符号的工程单位放在方括号内列出。

内 容 提 要

《工程热力学和传热学》是船舶柴油机、船舶蒸汽动力装置、船舶辅机等课程的理论基础。全书共分两篇二十一章。第一篇为工程热力学，内容包括基本概念、热力学第一定律、理想气体的性质、理想气体的热力过程、热力学第二定律、气体的流动、压缩机的工作原理、气体循环、蒸气的性质和热力过程、蒸汽循环、制冷循环、湿空气和化学热力学简介等。第二篇为传热学，内容包括导热、对流换热的基本原理以及求解方法、各种对流换热的计算公式、辐射换热、传热和换热器等。书后附有国际单位制和工程单位制附表16个和附图4幅。

本书为水运高等学校轮机管理专业（100~130学时）教材，也可供其他动力类专业师生、轮机管理人员和船厂设计人员参考。

目 录

第一篇 工程热力学

第一章 概论	1
第一节 在热动力装置中热能转换为机械能的过程 工质.....	1
第二节 将热量由低温处传递到高温处的制冷装置.....	2
第三节 工程热力学的研究对象、任务和方法.....	3
第四节 因次和单位 国际单位制简介.....	4
第二章 基本概念	7
第一节 热力学系统.....	7
第二节 热力学平衡态.....	9
第三节 热力状态参数.....	10
第四节 功和热量的热力学定义.....	15
第五节 准静态过程和可逆过程.....	16
第六节 状态参数——熵.....	20
第三章 热力学第一定律	23
第一节 能量转换和守恒定律 内能.....	23
第二节 工质容积改变时所做的膨胀功或压缩功.....	24
第三节 封闭系统的热力学第一定律.....	25
第四节 开口系统的热力学第一定律.....	27
第五节 稳定流动能量方程的应用.....	31
第四章 理想气体的性质	36
第一节 理想气体的状态方程.....	36
第二节 理想气体的比热.....	40
第三节 理想气体的内能和焓.....	45
第四节 理想气体的熵.....	47
第五节 理想混合气体.....	48
第五章 理想气体的热力过程	56
第一节 研究过程的目的和方法.....	56
第二节 定容过程.....	57
第三节 定压过程.....	59
第四节 定温过程.....	61
第五节 绝热过程.....	62
第六节 多变过程.....	65
第六章 热力学第二定律	72

第一节	循环热效率	72
第二节	热力学第二定律的几种表述	73
第三节	卡诺循环和卡诺定理	75
第四节	克劳修斯不等式	79
第五节	状态参数——熵	82
第六节	孤立系统总熵增加原理	88
* 第七节	可用能和能质递降原理	90
第七章	气体的流动	94
第一节	喷管和扩压管的截面变化规律	94
第二节	气体在喷管中的绝热流动	97
第三节	喷管的设计计算及其在非设计工况的工作简介	101
第四节	摩阻对流动的影响	105
* 第五节	绝热滞止	106
第八章	压缩机的工作原理	108
第一节	单级活塞式压缩机的工作原理	108
第二节	单级活塞式压缩机所消耗的机械功和容积效率	109
第三节	双级活塞式压缩机的工作过程	113
第四节	叶轮式压缩机的工作原理	116
第九章	气体动力循环	119
第一节	内燃机理想循环	119
第二节	内燃机理想循环的热效率	122
* 第三节	内燃机循环的平均压力	127
* 第四节	燃气轮机装置的理想循环	133
* 第五节	定压加热燃气轮机装置的实际循环	135
* 第六节	提高燃气轮机装置循环热效率的途径	137
第七节	废气涡轮增压柴油机的理想循环	139
第十章	蒸气的性质和热力过程	142
第一节	实际气体的状态方程	142
* 第二节	实际气体状态参数间普遍关系式简介	145
第三节	实际气体的绝热节流	148
第四节	水蒸汽的定压汽化过程和水蒸汽的 $p-v$ 图和 $T-s$ 图	150
第五节	水蒸汽表	154
第六节	水蒸汽的 $h-s$ 图	155
第七节	水蒸汽的基本热力过程	156
* 第八节	制冷剂的饱和蒸气表和压焓图 ($p-h$ 图)	159
第十一章	蒸汽循环	161
第一节	概述	162
第二节	基本的蒸汽动力装置循环	163
* 第三节	再热循环	167
* 第四节	回热循环	168

第五节	蒸汽——燃汽联合循环	170
* 第六节	核能蒸汽动力装置循环	170
第七节	蒸汽循环对工质的要求	171
第十二章	制冷循环	173
第一节	空气压缩制冷循环	173
第二节	蒸气压缩制冷循环	175
* 第三节	喷射制冷装置循环	179
* 第四节	吸收制冷装置循环	180
第五节	热泵	182
第十三章	湿空气	185
第一节	湿空气概述	185
第二节	湿空气的焓和熵	188
* 第三节	绝热饱和过程	189
第四节	湿空气的 <i>H-d</i> 图	191
* 第五节	湿空气的典型过程	192
* 第十四章	化学热力学简介	199
第一节	概述	199
第二节	化学方程式——质量守恒定律	200
第三节	热力学第一定律应用于具有化学反应的一元稳定流动的开口系统	202
第四节	理论燃烧温度	205
第五节	热力学第三定律	207
第六节	热力学第二定律在化学反应中的应用	208

第二篇 传 热 学

第十五章	结论	214
第一节	热传递的三种基本方式	215
第二节	导热系数、放热系数、辐射系数和传热系数	215
第十六章	导热	220
第一节	温度场和温度梯度	220
第二节	傅立叶定律	221
第三节	导热系数	221
第四节	导热微分方程	222
第五节	平壁导热	224
第六节	圆筒壁导热	225
* 第七节	肋壁导热	226
* 第八节	固体接触热阻	230
* 第九节	不稳定导热	231
第十七章	对流换热原理	238
第一节	对流换热过程的速度边界层和热边界层	238

第二节	影响放热系数 α 的因素及确定 α 的方法	242
第三节	对流换热过程的数学描述及其分析解	246
第四节	相似理论基础	251
第五节	动量传递和热量传递的类比	258
第十八章	各种对流换热过程的特征及计算公式	262
第一节	一般受迫放热	262
第二节	自然对流放热	267
第三节	蒸汽凝结放热	269
第四节	液体的沸腾放热	271
第五节	增强对流换热的几种措施	273
第十九章	辐射换热	275
第一节	热辐射的基本概念	276
第二节	热辐射的基本定律	278
第三节	物体间的辐射换热	283
第四节	气体辐射的特点	292
第二十章	传热	295
第一节	通过平壁及圆筒壁的传热	295
第二节	通过肋壁的传热	298
* 第三节	高效能传热装置——热管	300
第四节	热绝缘的应用	301
第二十一章	热交换器	305
第一节	间壁式热交换器的类型	306
第二节	热交换器的热计算公式和污垢系数	310
第三节	平均温压	312
第四节	换热器的热计算及其实例	316
附录		329
附表 1	单位换算表	329
附表 2	饱和水与饱和水蒸汽表 (按压力排列)	330
附表 3	饱和水与饱和水蒸汽表 (按温度排列)	331
附表 4	过热水蒸汽表	332
附表 5	未饱和水表	336
附表 6	F12 饱和蒸气表	337
附表 7	F22 饱和蒸气表	340
附表 8	氨饱和蒸气表	343
附表 9	湿空气的物理性质表	345
附表 10	固体金属的热性质	346
附表 11	非金属材料的热性质	348
附表 12	几种饱和液体的热性质	349
附表 13	在标准大气压力下几种气体的热性质	351
附表 14	常用材料的表面黑度	355

附表15	不同表面对太阳辐射和一般热辐射的吸收率.....	356
附表16	晴天在纬度40°处的太阳照射力 E_s	356
附图		
附图 1	水蒸汽的焓-熵图	插页
附图 2	湿空气的焓-湿图	插页
附图 3	F12 的压-焓图	357
附图 4	F22 的压-焓图	358
参考书目	359

第一篇 工程热力学

热力学是由物理学中的热学部分发展而形成的学科。它是研究热能和其它形式的能量，如机械能、化学能、电能等，相互转换规律的科学。工程热力学是热力学的一个分支，是研究热能和机械能相互转换规律的。最初，它只限于研究如何提高热机的热效率。近年来，随着科学技术的发展，工程热力学的应用范围日益扩大，不但与热机、制冷、热泵、空气分离等传统工程有关，而且应用到宇宙航行、海水淡化、城市排污及新能源探索等新技术领域中。工程热力学已成为现代工程热物理中的主要学科之一。它是动力工程的一门重要技术基础课程。

第一章 概 论

本章扼要介绍热能动力装置和制冷装置中的能量转换过程和工质的概念，以便于了解工程热力学的研究对象、任务和方法，也便于在后续各章中联系实际进行热力分析。

第一节 在热能动力装置中热能转换为机械能的过程 工质

将热能转换为机械能的一整套设备称为热能动力装置，如内燃机动力装置、蒸汽动力装置、燃气轮机动力装置以及核动力装置等。它们的主要设备有内燃机、汽轮机、锅炉、冷凝器、燃气轮机和压缩机等。

一、内燃机的工作原理

图 1-1 为四冲程内燃机工作原理示意图。图中 a) 为吸气冲程，活塞自上向下运动，进气阀开，新鲜空气经进气阀进入气缸；b) 为压缩冲程，活塞由下向上运动，此时进、排气阀均关闭，空气在气缸内被压缩到高温高压状态；c) 为燃烧和膨胀冲程，当活塞在上死点附近时，从喷油嘴喷入气缸的燃油进行燃烧，燃烧形成的高温和高压的燃气发生膨胀，推动活塞自上向下运动而对外做功；d) 为排气冲程，活塞自下向上运动，排气阀开，气缸中作完功的废气经排气阀排入大气。四冲程内燃机周而复始地完成上述四个冲程，使燃油燃烧所产生的热能中的一部分转换为内燃机曲轴的机械功。

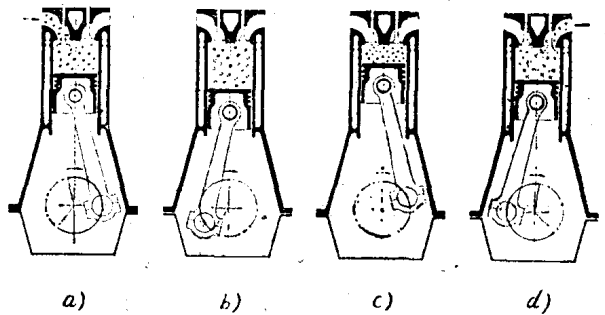


图1-1 四冲程内燃机工作原理示意图

二、蒸汽轮机动力装置

图1-2为蒸汽轮机动力装置示意图。燃油在蒸汽锅炉的炉膛中燃烧。给水在省煤器1中被加热后流入汽包2，再流入沸水管3中被燃气加热而形成湿蒸汽。湿蒸汽在过热器4中进一步被燃气加热而成为温度更高的过热蒸汽。过热蒸汽进入蒸汽轮机5中进行膨胀做功。由蒸汽轮机排出的废汽进入冷凝器6被冷却凝结为水，然后由水泵7压入锅炉。蒸汽轮机动力装置，是通过水和水蒸汽在锅炉中吸热 Q_1 ，在冷凝器中放热 Q_2 ，而由蒸汽轮机对外作机械功 W 。

上述两种热能动力装置，虽然在结构和工作原理方面不同，但从能量的转换关系上来看，都是将燃料燃烧时所发出的热能的一部分转换为机械能的装置。

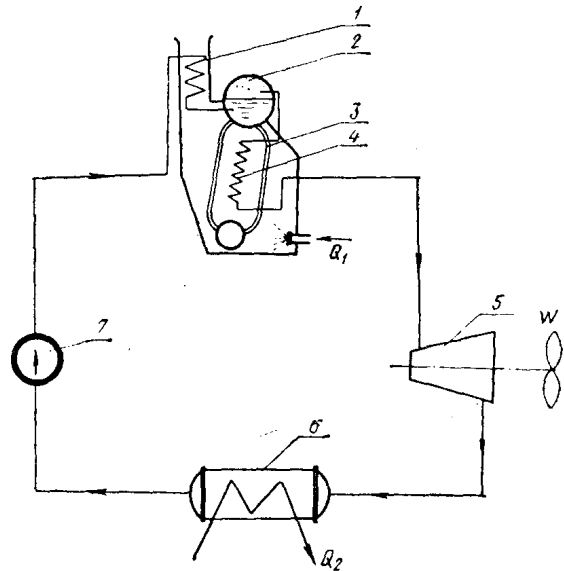


图1-2 蒸汽轮机动力装置示意图
1-省煤器；2-汽包；3-沸水管；4-过热器；
5-蒸汽轮机；6-冷凝器；7-水泵

三、工 质

在热能动力装置中，把热能转变为机械能是由受热而膨胀做功的媒介物来实现的，这种媒介物称为工质。例如燃气是内燃机的工质，水和水蒸汽是蒸汽动力装置的工质。作为工质的物质必须具有良好的膨胀性和良好的流动性。所以，热能动力装置所用工质为气态物质，如空气、燃气和蒸汽。

第二节 将热量由低温处传递到高温处的制冷装置

制冷装置的类型很多，常用的为蒸气压缩制冷装置。由图1-3可见，活塞式压缩机1把低温低压的气态制冷剂压缩为高压常温的蒸气。这种蒸气进入冷凝器2放热 Q_1 给大气或冷却水，并凝结为高压常温的液体。液态制冷剂经过膨胀阀3时压力突然降低，一部分液体气化，并因需要气化潜热，制冷剂急剧降温。这样，制冷剂经过膨胀阀后就变为低压低温的气液共存的混合物。当制冷剂进入冷库中的蒸发器4时，它由于吸热 Q_2 而全部气化，又变为低压低温的气态制冷剂而被压缩机吸入。制冷剂在制冷装置中循环的效果是从冷库吸收热量 Q_2 ，而通过压缩机把这部分热量在冷凝器中传递给温度较高的大气或冷却水。制冷装置所花费的代价是压缩机所消耗的机械能 W 。

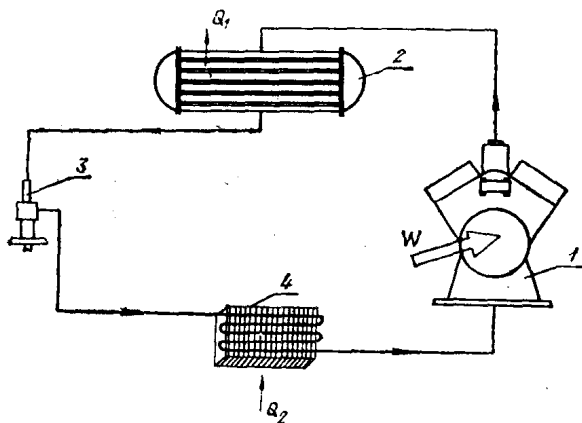


图1-3 蒸气压缩制冷装置示意图
1-压缩机；2-冷凝器；3-膨胀阀；4-蒸发器

由上述的介绍可以看出，由低温处向高温处传递热量，必须消耗外界的能量（机械能、