



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



普通高等教育农业部“十二五”规划教材

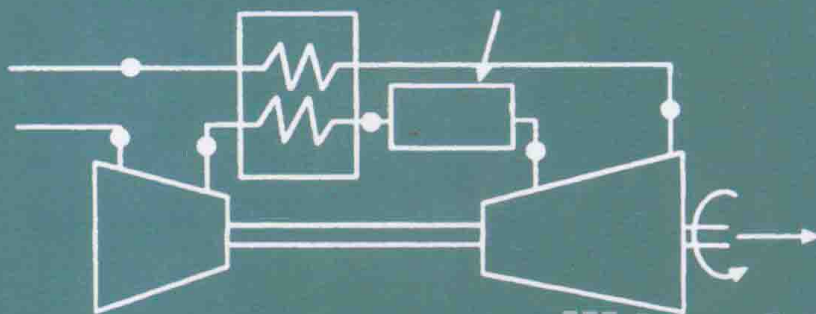
# 工程热力学与

GONGCHENG RELIXUE YU CHUANREXUE

# 传热学

第2版

李长友 主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



普通高等教育农业部“十二五”规划教材

# 工程热力学与传热学

第2版

李长友 主编

中国农业大学出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书是普通高等教育农业部“十二五”规划教材,是在普通高等教育“十一五”国家级规划教材《热工基础》的基础上,总结近几年教学改革经验,对教学内容进行补充、拓展后编写而成的。

全书共分 11 章,包括工程热力学和传热学两篇内容。主要介绍热力学基本概念、基本定律和研究问题的基本方法,焓及焓分析基础;气体压缩及蒸汽的热力性质、各种热力过程和循环、动力装置循环、制冷装置循环的分析和计算;导热、对流换热、辐射换热,传热过程和换热器等内容。本书紧密结合高等农业院校工科院系教学改革特点及复合型工程人才规格的培养要求,考虑到多学科交叉和利用多媒体辅助教学的手段,拓展教材的适应性,取舍内容力求精练、适当加深加宽,注重学生能力的培养,有些问题通过例题、习题启发学生独立思考解决,大幅度节约课堂学时。

本书可作为普通高等院校农业工程类、能源工程类、机械工程类、食品工程类、车辆与交通运输类、林业工程类、农业设施与环境工程类、电气信息类等专业的教材或教学参考,也可供有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程热力学与传热学/李长友主编. —2 版. —北京:中国农业大学出版社,2014. 12  
ISBN 978-7-5655-1097-7

I. ①工… II. ①李… III. ①工程热力学②工程传热学 IV. ①TK123②TK124

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 244043 号

书 名 工程热力学与传热学

作 者 李长友 主编

策划编辑 张秀环

责任编辑 洪重光

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62731190,2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

e-mail [cbsszs@cau.edu.cn](mailto:cbsszs@cau.edu.cn)

经 销 新华书店

印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司

版 次 2014 年 12 月第 2 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开本 16.5 印张 400 千字 插页 1

定 价 39.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

## 编写人员

主 编 李长友(华南农业大学)

编 者 徐凤英(华南农业大学)

洪 英(天津工业大学)

郑先哲(东北农业大学)

杨中平(西北农林科技大学)

袁巧霞(华中农业大学)

吕 娟(华南农业大学)

# 前 言

本书是在普通高等教育“十一五”国家级规划教材《热工基础》的基础上,总结近几年教学改革经验,对教学内容进行补充、拓展后,编写而成的普通高等教育农业部“十二五”规划教材。在介绍热能有效利用、转换与传递规律基本内容的同时,更加注重热力学理论的形成过程和研究问题的方法,特别充实了焓的概念和分析法方面的内容。

由于任何自然过程都不可避免地会出现能量蜕化为热,各种工程都涉及热利用或者防止热的发生和传递,尤其在科学与技术高速发展的今天,能量的发生与利用,能量转换与传递及节能技术,对社会经济发展和提高人民生活水平极为重要。工程热力学与传热学理论和研究问题的方法在各类工程、生态及人文等领域产生了日益广泛的影响,它作为高等院校的一门重要技术基础课程,不仅为学生学习有关的专业课程提供必要的基础理论知识,而且也为学生以后从事热能综合利用、热工设备与能量系统设计,深刻认识能量运动的本质、探索能量的优化利用,实现高效节能等方面提供科学的方法。

编写中着重考虑了高等农林院校工科院系学科建设,教学改革特点,复合型工程人才培养要求以及多学科交叉和利用多媒体辅助教学手段,选材力求精练、内容适当加深加宽,对基本概念、基本定律阐述力求精练、通俗、准确、严谨,有些问题通过例题、习题启发学生独立思考解决,课堂学时以 40~60 学时为宜,可根据专业需要适当取舍部分章节的内容,以较大幅度地节约课堂学时。

全书分工程热力学和传热学两篇,共 11 章。对热力学和传热学基础理论、基本定律和研究问题的基本方法,焓及焓分析基础,气体及蒸汽的热力性质、各种热力过程和循环、动力装置循环、制冷循环的分析和计算,导热、对流换热、辐射换热,传热过程和换热器等内容作了比较详细的论述,力求帮助读者能充分理解热力学第一、第二定律,能量贬值原理以及基本热力过程和循环的计算及分析方法;获得比较宽广的热量传递规律基础知识,具备分析工程传热问题的基本能力,掌握解决工程传热问题的基本方法并具备相应的分析计算能力。

由于编者水平有限,书中错误和欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

李长友  
2014 年 4 月

## 主要符号说明

- $A$  面积,  $\text{m}^2$
- $a$  热扩散率,  $\text{m}^2/\text{s}$
- $Bi$  毕渥数
- $c$  质量热容,  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ; 运动速度,  $\text{m}/\text{s}$
- $c_p$  质量定压热容,  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- $c_v$  质量定容热容,  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- $c'$  容积热容,  $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$
- $c_m$  质量摩尔热容,  $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
- $c_{mp}$  摩尔定压热容,  $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
- $c_{mv}$  摩尔定容热容,  $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
- $c_n = c_v - \frac{R}{n-1}$ , 多变过程比热容,  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- $c_o$  物理量的相似倍数
- $c_f$  流速,  $\text{m}/\text{s}$
- $C_b = 5.67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ , 黑体辐射系数
- $d$  含湿量,  $\text{kg}/\text{kg}$  干空气
- $E$  辐射力,  $\text{W}/\text{m}^2$
- $E_b$  黑体辐射力,  $\text{W}/\text{m}^2$
- $E_\lambda$  单色辐射力,  $\text{W}/\text{m}^2$
- $E_\theta$  定向辐射力,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$
- $e_x$  比焓,  $\text{J}/\text{kg}$
- $F$  力,  $\text{N}$
- $Gr = \frac{\beta g \Delta t l^3}{\nu^2}$  格拉晓夫准则
- $H$  焓,  $\text{J}$
- $h$  比焓,  $\text{J}/\text{kg}$ , 换热系数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $h_a$  干空气的比焓,  $\text{J}/\text{kg}$
- $h_v$  水蒸气的比焓,  $\text{J}/\text{kg}$
- $I$  辐射强度,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$
- $I_\theta$  辐射方向上的辐射强度,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$
- $J$  有效辐射
- $\kappa$  绝热指数, 平均传热系数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $L$  流体润湿流道的周边长度,  $\text{m}$
- $l$  定型尺寸,  $\text{m}$

$m$  质量, kg

$M$  混合物的摩尔质量, kg/kmol

$Ma$  马赫数

$Nu = \frac{hl}{\lambda}$  努谢尔特数

$P$  压力, Pa

$Pe = \frac{c_l l}{a}$  贝克来数

$Pr = \frac{Pe}{Re} = \frac{\nu}{a}$  普朗特数

$p$  绝对压力, Pa

$p_c$  表压, Pa

$p_v$  真空度, 水蒸气的分压力, Pa

$p_a$  干空气的分压力, Pa

$p_b$  大气压力, Pa

$Q$  热量, J

$q$  1 kg 工质与外界交换的热量, J/kg

$R$  气体常数, J/(kg · K)

$R_v$  水蒸气的气体常数, J/(kg · K)

$R_m$  通用气体常数, J/(kmol · K)

$Re = \frac{c_l l}{\nu}$  雷诺数

$S$  熵, J/K

$s$  比熵, J/(kg · K)

$T$  热力学温度, K

$t$  摄氏温度, °C

$t'_w$  绝热湿球温度, °C

$t_d$  露点, °C

$U$  内能, J

$u$  比内能, J/kg

$V$  容积, m<sup>3</sup>

$V_m$  摩尔容积, m<sup>3</sup>/mol

$V_c$  余隙容积, m<sup>3</sup>

$v$  比体积, m<sup>3</sup>/kg

$W$  功, J

$w$  比功, J/kg

$w_t$  1 kg 工质的技术功, J/kg

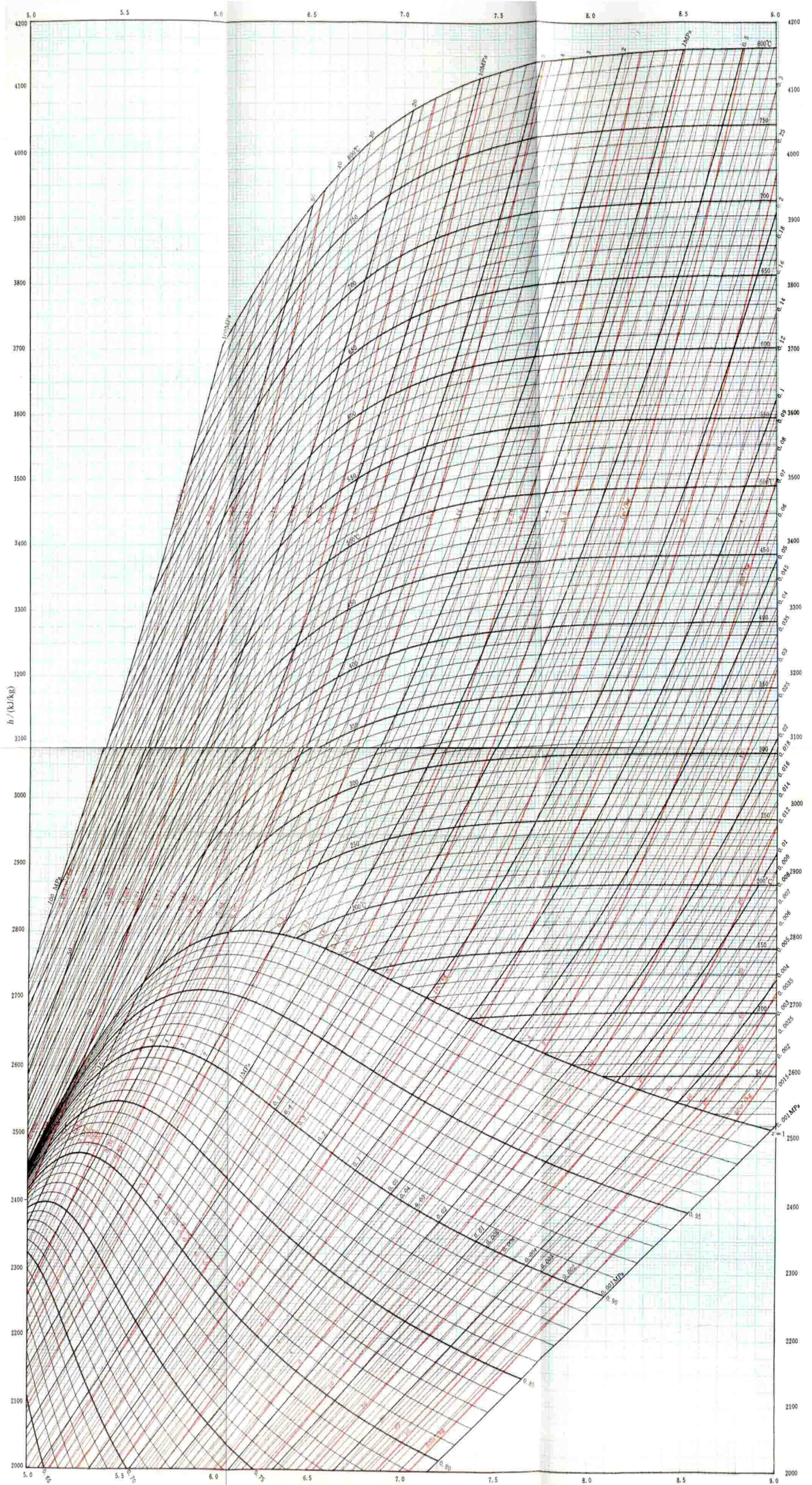
$w_s$  1 kg 工质的轴功, J/kg

$x$  干度

$x_i$  摩尔分数

- $\mu$  气体的分子质量  
 $\nu$  运动黏度,  $\text{m}^2/\text{s}$   
 $\eta_t$  循环热效率  
 $\eta_c$  卡诺循环的热效率  
 $\varepsilon$  制冷系数; 压缩比; 黑度  
 $\varepsilon_c$  卡诺逆循环制冷系数  
 $\varepsilon'$  供热系数  
 $\varepsilon'_c$  卡诺逆循环供热系数  
 $\varepsilon_p$  压力修正系数  
 $\varepsilon_l$  管长修正系数  
 $\varepsilon_R$  管道弯曲影响修正系数  
 $\varepsilon_n$  管排修正系数  
 $\sigma_b$  黑体辐射常数,  $\sigma_b = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$   
 $\alpha$  吸收率  
 $\alpha_\lambda$  单色吸收率  
 $\rho$  密度,  $\text{m}^3/\text{kg}$ ; 预胀比  
 $\rho_v$  绝对湿度,  $\text{kg}/\text{m}^3$   
 $\gamma_i$  体积分数  
 $\phi$  相对湿度, %  
 $\xi$  能量利用系数  
 $\lambda$  导热系数,  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$   
 $\beta$  容积膨胀系数  
 $\theta$  过剩温度  
 $\sigma$  回热度  
 $\pi$  增压比  
 $\tau$  循环增温比





水蒸气焓-熵图



# 目 录

绪论	( 1 )
----	-------

## 第 1 篇 工程热力学

1 基本概念	( 7 )
1.1 热力系统	( 7 )
1.2 状态方程式及状态参数坐标图	( 11 )
1.3 热力过程及热力循环	( 13 )
1.4 理想混合气体	( 19 )
思考题 1	( 24 )
习题 1	( 24 )
2 热力学第一定律	( 28 )
2.1 热力学第一定律	( 28 )
2.2 稳定流动能量方程式	( 30 )
2.3 稳定流动能量方程式的应用	( 33 )
2.4 理想气体的热力过程	( 35 )
* 2.5 气体的压缩	( 42 )
* 2.6 气体与蒸汽的流动	( 47 )
思考题 2	( 54 )
习题 2	( 55 )
3 热力学第二定律	( 60 )
3.1 热力学第二定律的实质及表述	( 60 )
3.2 卡诺循环和卡诺定理	( 61 )
3.3 熵和克劳修斯积分式	( 63 )
3.4 熵增原理	( 65 )
思考题 3	( 68 )
习题 3	( 69 )
* 4 焓及焓分析基础	( 74 )
4.1 能量转换的差异性及焓和焓	( 74 )
4.2 不同形式焓的计算	( 75 )
4.3 焓平衡方程及焓效率	( 77 )
思考题 4	( 80 )
习题 4	( 81 )
5 水蒸气及湿空气	( 82 )
5.1 水蒸气的定压汽化过程	( 82 )

5.2	水蒸气的状态参数 .....	( 84 )
5.3	水蒸气的基本热力过程 .....	( 87 )
5.4	湿空气及其状态参数 .....	( 89 )
5.5	湿空气的焓-含湿量图及其应用 .....	( 93 )
	思考题 5 .....	( 96 )
	习题 5 .....	( 97 )
6	<b>动力装置循环</b> .....	(100)
6.1	蒸汽动力循环 .....	(100)
6.2	活塞式内燃机循环 .....	(106)
6.3	燃气轮机装置循环 .....	(111)
	思考题 6 .....	(115)
	习题 6 .....	(116)
7	<b>制冷装置循环</b> .....	(117)
7.1	压缩空气制冷循环 .....	(117)
7.2	压缩蒸汽制冷循环 .....	(119)
7.3	制冷剂的性质 .....	(122)
7.4	其他制冷循环 .....	(125)
7.5	热泵循环 .....	(127)
	思考题 7 .....	(128)
	习题 7 .....	(128)

## 第 2 篇 传 热 学

8	<b>导热</b> .....	(133)
8.1	导热的基本定律 .....	(133)
8.2	导热微分方程及其单值性条件 .....	(136)
8.3	稳态导热 .....	(139)
8.4	非稳态导热 .....	(143)
8.5	导热问题的数值解法基础 .....	(146)
	思考题 8 .....	(153)
	习题 8 .....	(154)
9	<b>对流换热</b> .....	(155)
9.1	放热过程及其影响因素 .....	(155)
9.2	相似准则及准则函数 .....	(159)
9.3	自然对流换热与受迫运动换热 .....	(166)
9.4	外掠圆管和管束放热 .....	(173)
	思考题 9 .....	(179)
	习题 9 .....	(179)
10	<b>辐射换热</b> .....	(181)
10.1	热辐射的基本概念 .....	(181)

10.2	热辐射的基本定律	(184)
10.3	实际物体的辐射	(187)
10.4	物体之间辐射换热的计算	(189)
	思考题 10	(196)
	习题 10	(197)
<b>11</b>	<b>传热与换热器</b>	(199)
11.1	传热与换热器概述	(199)
11.2	面式换热器的计算原理	(203)
	思考题 11	(211)
	习题 11	(212)
	<b>附录</b>	(213)
附表 1	某些常用气体在理想气体状态下的平均比定压热容 $c_{pm}  '_0$	(213)
附表 2	某些常用气体在理想气体状态下的平均比定容热容 $c_{vm}  '_0$	(214)
附表 3	饱和水与饱和蒸汽表(按温度排列)	(215)
附表 4	饱和水与饱和蒸汽表(按压力排列)	(217)
附表 5	未饱和水与过热蒸汽表	(219)
附表 6	大气压力( $p=1.013\ 25\times 10^5$ Pa)下空气的热物理性质	(230)
附表 7	未饱和水与饱和水的物理参数	(231)
附表 8	饱和水蒸气的物理参数	(232)
附表 9	0.1 MPa 时饱和空气的状态参数	(233)
附表 10	各种材料的黑度 $\epsilon$	(234)
附表 11	常用换热器传热系数的大致范围	(234)
附表 12	大气压力( $p=1.013\ 25\times 10^5$ Pa)下烟气的热物理性质	(236)
附表 13	大气压力( $p=1.013\ 25\times 10^5$ Pa)下机油的热物理性质	(236)
附图 1	氨(NH <sub>3</sub> )的压-焓图	(237)
附图 2	R134a 的压-焓图	(238)
附图 3	R12 的压-焓图	(239)
	<b>部分习题参考答案</b>	(240)
	<b>参考文献</b>	(247)
	<b>水蒸气焓-熵图</b>	插页

# 绪论

热力学是研究热现象中,物质系统在平衡时的性质、能量平衡关系以及状态发生变化时,系统与外界相互作用的技术科学。它的任务是研究能量转换,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。传热学是研究热量传递规律的科学,它的任务是研究有温差存在时的热能传递规律,分析单位时间传递热量的规律,探求热量传递过程的物理本质。

## 1. 热力学发展简史

热现象是人类最早接触到的自然现象之一,温度和热量是研究热现象的重要概念,对它们的定量测量是热学的开始。温度表征物体冷热的程度,要对它定量测量,必须建立一套温标。日常用的摄氏温标是1742年瑞典天文学家摄尔修斯以水银为测温物质,以其热膨胀为测温属性,固定标准点选为标准大气压下纯水的冰点( $0^{\circ}\text{C}$ )和沸点( $100^{\circ}\text{C}$ )而提出的。但温度和热量两个概念在科学史上曾混淆不清,直到17世纪末,人们还不能正确区分这两个基本概念的本质。受当时流行的“热质说”理论的束缚,人们误认为物体的温度高是由于储存的“热质”数量多。明确区分温度和热量两个概念的是英国化学家布莱克(1728—1799),他把温度叫作“热的强度”,热量叫作“热的数量”,并发现了潜热。

18世纪,英国开始了产业革命,产生了对热机的巨大需求,各种蒸汽机应运而生。在蒸汽机的众多发明者和改进者中,最有名的是英国人瓦特(James Watt, 1736—1819),他在1763—1784年间,主要凭借经验摸索对当时只能用于矿井抽水和灌溉的纽克曼蒸汽机作了重大改进,并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,使蒸汽机能耗降低了75%;1782年,制造了联协式蒸汽机;1784年,发明了调速器并对蒸汽机进一步改进,使其成为适用于各种机械运动的原动机。此后的纺织业、采矿业、冶金业、造纸业、陶瓷业等工业部门,都先后以蒸汽机作为原动机获得了迅速的发展。

蒸汽机的发明与应用推动了热学理论研究,促成了热力学的建立与发展。最先从理论上说明热机运行过程的是法国工程师卡诺(Sadi Carnot, 1796—1832)。他在1824年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,给出了热机最高效率的概念,实际上已在本质上阐明了热力学第二定律的基本内容,但他是在热质说的框架中进行论证的(他认为:热机在高温热源和低温热源之间做功,就像水从高处落到低处做功一样,两个热源的温差相当于热质的下落高度,认为热的量在由高温热源流向低温热源中保持不变)。虽然他得出的结论是正确的,但其证明过程是错误的。在卡诺所做工作的基础上,1850—1851年间克劳修斯(Rudolf Clausius, 1822—1888)和开尔文[Lord Kelvin, 1824—1907,原名汤姆逊(Willian Thomson)]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,英国科学家伦福德(B. T. Rumford)1798年观察到钻炮筒时剧烈地发热,戴维(H. Davy)于1799年用两块冰摩擦融化等实验事实驳斥了热质说,主张热动说,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,迈耶提出了能量守恒理论,认定热是能的一种形式,可与机械能互相转化,并从空气的质量定压热容与质量定容热容之差计算出热功当量。英国物理学家焦耳(James P. Joule)于1840年建立电热当量的概念,1842年以后用不同方式实测了热功当量。1850年,焦耳以各种精确的实验结果充分地证实了能量守恒与转换定律,使科学界彻底抛弃了“热质说”。公认能量守恒、能的形式可以互换的热力学第一定律为客观的自然规律。

热力学第一定律和第二定律的确认,对于两类“永动机”(即不消耗能量的第一类永动机和只从一个热源吸热的第二类永动机)的不可能实现做出了科学的最后结论,正式形成了热现象的宏观理论热力学,并在19世纪中叶形成了“工程热力学”这门技术科学,使内燃机、汽轮机、燃气轮机和喷气推进机等相继取得了迅速发展。在人们运用工程热力学知识,找到了蒸汽动力装置最理想的工作情况后,发现实际蒸汽机的经济性与同条件下最理想的工作情况相比,存在很大的提高空间,这无疑也引起了人们进一步研究实际蒸汽机热损失的极大兴趣,促使人们努力研究热量传递的规律。自20世纪初,“传理学”便作为一门独立的科学,不断地丰富和发展,在生产领域中得到了十分广泛的应用。

能源动力技术与科学的发展,对于社会、经济发展和提高人民生活水平,推动人类社会生产力的发展具有重要意义。蒸汽机的发明实现了热能大规模、经济地转换成机械能,使工业生产、科学技术和人们的生活发生了突飞猛进的变化。从18世纪开始的工业革命一直延续到20世纪50年代前的社会发展可以说是走向工业化社会或技术社会的过程,在这一发展进程中热工基础理论促进了热动力机的不断改进与发展。随着工业化进程,人类生活的质量不断提高,生态环境备受关注,生存和发展问题引起了世界各国的高度重视。20世纪80年代后期以来,人们将发展看作为人的基本需求逐步得到满足、人的能力发展和人性自我实现的过程。随着可持续发展理念的形成,理论科学、方法科学的发展,热力学中建立的焓概念作为具有普遍性的科学方法,在生命、生态、人文、经济等领域受到了普遍关注和广泛的应用。迎合当今人类的发展需求,向热力学提出了能量发生、利用及回收诸多理论科学、方法科学领域的新课题。热工基础理论和方法将在人类揭示能“质”传递、资源可持续利用、物体对外部能量选择性吸收和认识诸如地下矿产(如煤、石油)从分散、无序到集中、有序,深海的甲烷冰聚集过程等实践活动的深入和发展,不断得到充实、完善和发展。

## 2. 热工基础的主要内容及研究方法

热工基础是由工程热力学和传热学两部分组成的综合性热工技术理论基础,主要研究热能利用的基本规律、提高热能利用率的方法以及热量传递的基本规律。

工程热力学是热力学最先发展的一个分支,它是研究热能与机械能和其他形式能量相互转换的规律及其应用的一门工程科学。它的理论基础是热力学第一定律和热力学第二定律。它的基本任务是通过热力系统、热力平衡、热力状态、热力过程、热力循环和工质的分析研究,改进和完善热力发动机、制冷机和热泵的工作循环,其目的就是提高机械能和热能之间的转换效率,以消耗最少的热能获得最大的机械功,或者以花费最少的机械能而获得最大的热能利用效果。

工程热力学采用经典热力学的宏观研究方法,它以归纳无数事实所得到的热力学第一定律、第二定律为分析推理的基础,通过物质的压力、温度、比体积等宏观参数和受热、冷却、膨胀、收缩等整体行为,对宏观现象和热力过程进行研究。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,对物质的微观结构不作任何假设,分析推理的结果具有高度的可靠性,而且条理清晰,这是它的独特优点。

传热学是研究热量传递规律的科学。一切热能利用过程都离不开传热,一切热机的热效率都和传热过程密切相关。如何计算传递的热流量,确定物体各点的温度及其分布,优化传热过程使可用能的损失降到最低限度,包括强化传热和弱化传热,都是传热学研究的内容。其目的在于掌握传热的规律及其计算方法,寻求强化或弱化传热的途径,为实现高效节能,解决工程实际问题奠定基础。

传热是一个非常复杂的过程,一般将其分为导热、热对流、热辐射三种形式。就物体温度与时间的依变关系而言,传热过程可区分为稳态过程与非稳态过程。凡是物体中各点温度不随时间改变的传热过程均称为稳态过程,反之则称为非稳态传热过程。各种热力设备在持续不变的工况下运行时的传热过程属于稳态过程,而在启动、停机、变工况时所经历的传热过程均为非稳态过程。

研究传热问题有理论研究方法和实验研究方法两类。理论研究方法主要有数学解析法、有限元分析法、数值解析法等。数学解析法在传热问题研究中占据越来越重要的地位,但是到目前为止,只能对一些简单的传热问题,且经过一系列简化假设以后,才能由数学解析法求出理论解;分析问题的根据是要通过实验研究找到过程规律,并以实验来验证理论。实验研究方法是目前研究传热问题的主要方法,但传热实验研究首先遇到的困难是影响因素太多,如果孤立地考虑这些单因素的影响,就会使实验次数多得难以安排,即使进行了大量的实验,在整理数据时也会因变量太多而无法得到一个具有普遍意义的经验公式。为了克服这一困难,一般是遵循相似理论的原理,把影响物理过程的若干因素,按照它们在过程中的内在联系,综合成一个无因次的数群,这样就可把众多的影响因素综合为有限的几个变量,而使实验布置和经验公式的整理大为简化;其分析问题的根据是要通过实验研究找到过程规律,并以实验来验证理论。

热工基础是现代工程技术人才必备的技术基础知识,是各类专业人才工程素质的重要组成部分。它不仅是工科类专业学生必须深入学习的热工基础理论课,同时也是各类专业学生应该掌握的一门技术基础课。







# 第 1 篇

## 工程热力学

- 1 基本概念
- 2 热力学第一定律
- 3 热力学第二定律
- \* 4 焓及焓分析基础
- 5 水蒸气及湿空气
- 6 动力装置循环
- 7 制冷装置循环