



国家级精品教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材



热工基础与应用

第3版

傅秦生 主编
傅秦生 赵小明 唐桂华 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国家级精品教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

热工基础与应用

第3版

傅秦生 主编
傅秦生 赵小明 唐桂华 编著
史琳 冯霄 主审



机械工业出版社

本书围绕热能的有效利用,对热能间接利用和直接利用所涉及的“工程热力学”和“传热学”内容进行了阐述。本书在体系上打破了把“热工基础”严格分为“工程热力学”和“传热学”的做法,还将热力设备、装置和循环等实际应用内容专门设置了一篇——“热工基础的应用”,以增强学生的工程实践观点。本书在篇幅允许的范围内尽量介绍热工领域的新成果、新发展,以拓宽学生视野和增强学生的创新精神。为了帮助学生理解全书内容和培养学生的各种能力,大部分例题有讨论。本书各章均附有启发性较强的思考题,大部分章节附有丰富多样的习题,以满足教学的要求。

本书是参照《热工课程教学基本要求》编写的,可作为能源、动力类和机械类、土木工程类等专业的本科生和专科生教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工基础与应用/傅秦生主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2015.9

国家级精品教材 普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-51539-5

I. ①热… II. ①傅… 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(2015)第214348号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:蔡开颖 责任编辑:蔡开颖 张丹丹 版式设计:霍永明

责任校对:张晓蓉 封面设计:张静 责任印制:乔宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2015年12月第3版第1次印刷

184mm×260mm·22.5印张·1插页·555千字

标准书号:ISBN 978-7-111-51539-5

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

序

热现象是自然界与科学技术领域中最普遍的物理现象，热能是人类利用自然界能源的一种最主要的能量形式。我国能源资源丰富，但是人均占有量远低于世界平均水平，而且目前我国单位产值的能耗是发达国家的数倍。工程领域的技术工作都离不开能源，并且各种形式的能量最终都以热能的形式散失到环境与宇宙之中。要使我国国民经济走可持续发展的道路，合理使用与节约能源是当务之急。因此作为介绍热能的有效合理利用及传递与转换规律的热工基础类课程，应该成为培养21世纪工科类学生的一门公共技术基础课，学习本课程应是培养复合型工程技术人才科学素质的一个不可缺少的环节。以上基本观点是教育部面向21世纪“热工系列课程教学内容与课程体系改革的研究与实践”项目组经过近5年的研究论证所得出的一个重要结论。为了巩固执行“面向21世纪高等教育教学内容和课程体系改革计划”所取得的成果，进一步推动我国的教育改革，教育部又在2000年设立了“21世纪初高等教育教学改革项目”，其中有“能源动力类人才培养方案改革研究与实践”项目。在该项目的研究内容中，也进一步提出了要编写合适的热工基础教材的任务。

为了实现上述思想，需要对不同大类的专业编写出相应的教材。对能源动力类的学生，一般都单独开设工程热力学与传热学两门课程；而对量大、面广的非能源动力类专业的学生，急需要一本精练的能将工程热力学与传热学的知识有机地结合起来的教材。本书作者分别是上述两个项目研究组的成员，他们多年来在非能源动力类专业的热工基础课程教学中积累了丰富的经验，通过上述两个项目的研究，编写出了这本教材，以适应教学改革的需要。这本教材是两个项目组的重要研究成果之一。

与传统的热工基础教材相比，本书有其明显的特色。在取材上，内容新颖，具有时代气息。本书首先从能源概论开始，以高屋建瓴之势给学生以世界能源及我国能源利用情况的概貌，然后把重点放在热能的利用与转换传递规律上，作者特别重视在能源利用中的环境保护问题，并恰当地引入热工科学技术中最新研究成果，娓娓道来，内容朴实，顺理成章；在编排体系上，本书打破了多年来把热工基础截然分为工程热力学与传热学两大部分的传统做法，而是围绕热能合理利用这根主线来组织与编排内容，使人顿觉面貌一新。这是迄今为止我国出版过的热工基础教材中的一种创新尝试，值得称道；在每章叙述的方式上作者也有改革，每个例题都有启发学生思维的讨论，往往可以收到举一反三、画龙点睛的效果。在每章的末尾都有思考题及具有工程应用背景的习题。显然这些努力把学生的能力与素质的培养潜移默化地体现在了课程的学习过程之中。

作为教育部及陕西省“热工系列课程教学内容与课程体系改革的研究与实践”项目的负责人及教育部“能源动力类人才培养方案改革研究与实践”项目的负责人，读到了项目组成员编写出来的内容新颖、富有特色的教材，非常高兴，写了以上这些话，作为对教材出版的祝贺，也以为序。

中国科学院院士 陶文铨
于西安交通大学

第3版前言

本书是教育部“面向21世纪高等教育教学内容和课程体系改革计划”中“热工系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”项目的研究成果之一，是国家级精品教材和普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书保持了第2版的特色：在体系上打破了传统的将“工程热力学”和“传热学”严格分开的做法，仍以热能利用（包括间接利用和直接利用）为线索，将二者进行了有机的结合，使学生学完本课程后对热能的直接利用、间接利用和如何在热能利用中进行节能降耗等有一整体理解，融会贯通，以解决有关工程的实际问题。在第2版的基础上，删去了一些偏理论和不常用的内容；增加了一些基本例题、与工程实际尽量结合的例题和习题。为了使读者更好地掌握每一部分的内容，解决第2版每章篇幅过大的问题，将第2版中的“章”改为“篇”，将“节”改编或合并为“章”，并将每章的“本章小结”进行了细化。教材编写仍注意了内容的系统性、理论性、循序渐进和深入浅出。注重在传授知识的同时加强学生能力的培养和素质的提升。

本书由傅秦生主编，参加编写的有：傅秦生（绪论，第一篇，第二篇），赵小明（第四篇第十三章，第十五至第十九章）和唐桂华（第三篇，第四篇第十四章）。主审由清华大学的史琳教授和西安交通大学的冯霄教授担任，她们的宝贵意见对提高本书质量起了极大作用，编者深表谢意！编者对中国科学院院士、国家级教学名师，时任热工课程教学指导委员会主任的陶文铨教授为本书作序表示衷心的感谢！对西安交通大学能源与动力工程学院热流科学与工程系的老师和同事在编写过程中给予的支持与帮助表示感谢！

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处难免，欢迎读者指正。

编者

第2版前言

本书是教育部“面向21世纪高等教育教学内容和课程体系改革计划”中“热工系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”项目的研究成果之一，是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书是根据《热工课程教学基本要求》，结合多年教学与科研经验编写而成的。它保持了第1版的特色：在体系上，打破了传统的将“工程热力学”和“传热学”严格分开的做法，力图以热能利用（包括间接利用和直接利用）为线索，将二者进行有机结合，使学生学完本课程后对热能利用、节能降耗等知识有一整体理解，并融会贯通，以解决有关的工程实际问题。本书涉及内容较广，使本书适用面增加。所配有的较丰富的实际热工设备和循环流程图，以及相配的与工程实际相结合的例题、习题都使本书在培养学生工程实践观点上有所加强。本书编写注重系统性、理论性、循序渐进和深入浅出。叙述流畅，且注意反映热工领域的新发展。为了帮助读者更好地掌握每一章所学内容，第2版每一章都增加了“本章小结”。书中的典型例题不但考虑了各学科、不同层次的需要，而且取材广泛、实用，注重学生建模能力、分析问题和解决问题能力的培养。大部分例题后的讨论不但可以启发读者的思维，而且起到了画龙点睛的效果。

本书由傅秦生主编，参加编写的有：傅秦生（第一章，第二章，第三章），赵小明（第五章第一节，第三~八节）和唐桂华（第四章，第五章第二节）。主审由清华大学的史琳教授和西安交通大学的冯霄教授担任，她们的宝贵意见对提高本书质量起了极大作用，编者深表谢意！本书第1版的编著者何雅玲教授对第2版的编写予以了极大的支持和帮助，在此表示诚挚的谢意！对西安交通大学能源与动力工程学院热流中心的老师和同事在编写过程中给予的支持与帮助表示感谢！

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处难免，敬请读者指正。

本书配有电子课件，向本书授课教师免费提供。

编者

第1版前言

能源和材料、信息一样被视为现代工业和科学的三大支柱之一。能源的利用和发展关系着整个国民经济的发展，关系着整个人类的生产和生活。为了减少能源的大量消耗和能源利用工程中对环境日益严重的污染，使国民经济走可持续发展的道路，就必须合理用能和节能。节能已成为我国发展经济的一项战略方针而列入《中华人民共和国节约能源法》。

能源的开发和利用在很大程度上是热能的开发和利用。涉及热能利用的各种热力装置和热工设备不但在动力工业中，而且在几乎所有工业中都有，形式多样、五花八门。掌握一定的热工基础知识，在实际工作中采取有效的措施，节能降耗、保护环境，是每一个工程技术人员责任。尤其在科学技术突飞猛进的 21 世纪，学科交叉将不可避免，而且不断发展和深入，掌握一定的热工基础理论必然促进许多学科的发展和研究。对于从事机械、建筑、交通、电气、石油化工、经济、工业管理、力学和科技外语等方面的高级人才而言，热工领域的知识将是他们工程科学知识中不可缺少的重要组成部分，掌握合理用能的基本知识和理论是一个新世纪复合型人才所必需的重要素质。当然，对于动力能源类各专业的大学毕业生，“热工基础与应用”是他们进一步学习专业课程的基础。这样，“热工基础与应用”类课程不单单是技术基础课，而且是重要的提高素质的课程。因此，为使高等理工科学校非动力能源类各专业本科生掌握必要的热工基础知识，为使动力能源类各专业专科生具有坚实的热工理论基础，为使未来人才具有较高的素质和成为复合型人才，特编写此书。

本书是参照《热工课程教学基本要求》，在教育部下达的“面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系改革”计划中“热工系列课程教学内容和课程改革体系的研究与实践”项目研究的基础上，结合长期从事教学和科研的经验编写而成的。编者力图使本书在内容和体系上有较大的改革和突破，以适应新世纪人才培养的需要。本书在体系上打破了把“热工基础”严格分为“工程热力学”和“传热学”两篇的做法，以热能的利用，包括直接利用和间接利用为线索，阐述热能利用中所涉及的基本概念、基本定律和基本理论。为增强学生的工程实践能力，将热力设备、装置和循环等实际应用内容专门设置了“热工基础的应用”一章。本书在篇幅允许的范围内尽量介绍热工领域的新成果、新发展，以拓宽学生视野。各章例题几乎均有讨论，以帮助学生理解所学内容和培养学生分析问题和解决问题的能力。本书中水和水蒸气热力性质部分，采用了我国学者严家骏教授等编制的《水和水蒸气热力性质图表》中的数据。

为使本书适用面广，编写中涉及内容相对较多，教师在授课时可根据不同专业的具体要求选取所需要的内容，以决定详授还是略讲。书中带有星标*的内容，可作为加深、加宽的内容。

本书由傅秦生主编，参加编写的有：傅秦生（第一章，第二章第二、三节，第三章），何雅玲（第二章第一节，第四章，第五章第七节）和赵小明（第五章第一至第六节及第八节），最后由傅秦生统一定稿。陈钟頔教授审阅了全书，他的宝贵意见对提高本书质量起了



极大的作用，编者深表谢意！编者对热工课程教学指导委员会主任陶文铨教授为本书作序表示衷心的感谢！对北京林业大学张壁光教授和天津大学刘嘉智教授为本书提供的素材和帮助表示衷心的感谢！同时对西安交通大学热流中心的许多老师和同事在本书编写中给予的支持和帮助表示谢意！

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者不吝赐教。

编者

主要符号表

A	截面积, 表面积, 传热面积	m	质量
$A_{n,Q}$	热量无效能	n	多变指数, 物质的量
a	热扩散率	P	功率, 周长
$a_{n,Q}$	比热量无效能	p	绝对压力
C	热容, 临界状态	p_b	大气压力, 背压
C_0	黑体辐射系数	p_g	表压力
C_m	摩尔热容	p_i	分压力
$C_{p,m}$	摩尔定压热容	p_s	饱和压力
$C_{v,m}$	摩尔定容热容	p_v	真空度, 湿空气中水蒸气分压力
COP	工作性能系数	Q	热量
c	流速, 比热容	q	比热量, 热流密度
c_a	声速	q_m	质量流量
c_p	比定压热容	q_v	体积流量
c_v	比定容热容	R	摩尔气体常数, 半径, 热阻, 电阻
D	过热度	R_g	气体常数
d	含湿量, 直径	$R_{g,eq}$	折合(平均)气体常数
d_e	当量直径	r	半径, 汽化热, 单位面积热阻, 基本量纲数
d_{cr}	临界热绝缘直径	S	熵
E	储存能(总能量), 辐射力	s	比熵
$E_{x,Q}$	热量有效能	T	热力学温度
E_λ	光谱辐射力	T_0, t_0	环境(大气)温度
e	比储存能	T_d, t_d	露点温度
$e_{x,Q}$	比热量有效能	T_s, t_s	饱和温度
F	力, 作用力	t	摄氏温度
G	投入辐射	t_w	湿球温度
g	重力加速度	U	热力学能, 电位差
H	焓, 高度	u	比热力学能, 速度
h	比焓, 表面传热系数	V	体积
I	有效能损失(焓损失), 电流	V_i	分体积
J	有效辐射	V_m	摩尔体积
k	传热系数, 玻耳兹曼常数	v	比体积
L	长度	W	体积变化功(膨胀功)
l	特征长度, 长度	W_0	净功
M_{eq}	折合(平均)摩尔质量	W_c	压气机耗功
M	摩尔质量		



W_f	流动功
W_{sh}	轴功
W_t	技术功
W_{tot}	总功
w	比体积变化功 (比膨胀功)
w_0	比净功
w_f	比流动功
w_{sh}	比轴功
w_t	比技术功
w_{tot}	比总功
w_i	质量分数
X	角系数
x	干度, 笛卡儿坐标
x_i	摩尔分数
y	笛卡儿坐标
z	高度, 笛卡儿坐标
α	回热抽汽量, 吸收比
α_v	体积膨胀系数
α_λ	光谱吸收比
β	肋化系数
γ	比热比
δ	厚度, 绝对偏差
ε	制冷系数, 压缩比, 发射率 (黑度), 相对偏差
ε'	供热 (供暖) 系数
ζ	喷管能量损失系数
η	效率, 肋效率, (动力) 黏度
η_0	肋面总效率
η_c	卡诺循环效率, 卡诺因子
$\eta_{c,s}$	压缩机绝热效率
η_N	喷管效率
η_T	汽轮机、燃气轮机相对内效率
η_t	动力循环热效率
θ	过剩温度
κ	等熵指数
λ	升压比, 热导率, 波长
ν	运动黏度
ν_{cr}	临界压比
ξ	能源消费弹性系数
Π	无量纲特征数
π	增压比

ρ	密度, 预胀比, 反射比
σ	斯忒藩-玻耳兹曼常量
τ	时间, 黏性力, 透射比
Φ	热流量
Φ_l	线热流量
φ	相对湿度, 喷管速度系数
φ_i	体积分数
ψ	对数温差修正系数
Bi	毕渥数
Fo	傅里叶数
Gr	格拉晓夫数
Ma	马赫数
Nu	努塞尔数
Pr	普朗特数
Re	雷诺数

主要下标

a	干空气参数
ad	绝热系
B	锅炉
b	大气, 黑体
C	临界状态参数
c	卡诺循环, 冷凝
cr	临界流动状况参数
f	流体, 流动, (熵) 流, 液体参数
g	气体的参数, (熵) 产
H	高温 (热源) 的
HR	热源 (高温热源)
i, j, k	序号
iso	孤立系
k	动能
L	液体, 长度, 低温 (热源) 的
l	液体, 单位长度, 长度
LR	冷源 (高温热源)
m	平均, 机械, 中心
max	最大
min	最小
opt	最佳
p	势能
p	定压过程物理量
re	可逆过程
s	定熵过程物理量
s	饱和状态



T	汽轮机, 燃气轮机	V	定容过程物理量
T	定温过程物理量	w	水, 湿球温度, 壁面
v	真空, 湿空气中蒸汽的物理量	0	环境参数, 滞止参数, 初始状态参数

目录

序	
第3版前言	
第2版前言	
第1版前言	
主要符号表	
绪论(能源概述)	1
第一节 自然界的能源及其利用	1
第二节 热能的合理利用	10
第三节 热工基础的研究对象、内容和 方法	12
本章小结	14
思考题	14

第一篇 热能转换的基本概念和基本定律

第一章 热能转换的基本概念	18	思考题	42
第一节 热力系统、状态及状态参数	18	习题	43
第二节 热力过程、功量及热量	23	第三章 热力学第二定律	45
第三节 热力循环	26	第一节 热力过程的方向性	45
本章小结	27	第二节 热力学第二定律的表述	47
思考题	28	第三节 卡诺循环和卡诺定理	47
习题	29	第四节 状态参数熵	51
第二章 热力学第一定律	31	第五节 克劳修斯不等式和不可逆过程的 熵变	53
第一节 热力学第一定律及其实质	31	第六节 熵增原理	55
第二节 热力学能和总储存能	31	第七节 热量有效能及有效能损失	60
第三节 热力学第一定律的一般表达式	32	第八节 能量的品质与能量贬值原理	61
第四节 闭口系的能量方程——热力学 第一定律的基本表达式	33	第九节 熵的物理意义探讨	61
第五节 稳定流动系统的能量方程	35	本章小结	62
第六节 能量方程的应用	38	思考题	63
本章小结	42	习题	64

第二篇 工质的热力性质和热力过程

第四章 理想气体的热力性质和热力 过程	68	本章小结	96
第一节 理想气体及其状态方程	68	思考题	96
第二节 理想气体的比热容	70	习题	97
第三节 理想气体的比热力学能、比焓和 比熵	75	第五章 蒸气的热力性质和热力过程	100
第四节 理想气体的混合物	79	第一节 定压下水蒸气的发生过程	100
第五节 理想气体的基本热力过程	83	第二节 蒸气热力性质图表	103
第六节 理想气体的多变过程	90	第三节 蒸气的热力过程	106
		本章小结	107
		思考题	107



习题	108
第六章 湿空气	110
第一节 湿空气的状态参数	111
第二节 干湿球温度计和焓湿图 ($h-d$ 图)	113

第三节 湿空气的基本热力过程及 工程应用	114
本章小结	118
思考题	118
习题	118

第三篇 热量传递的基本理论

第七章 热量传递的三种基本方式	
简介	123
第一节 热量传递的三种基本方式	123
第二节 复合传热与传热过程	125
本章小结	126
思考题	126

第八章 导热的基本定律及稳态导热 ..	127
第一节 导热的基本定律	127
第二节 导热微分方程及定解条件	128
第三节 一维稳态导热	130
第四节 多维稳态导热问题简介	142
本章小结	143
思考题	143
习题	144

第九章 非稳态导热	147
第一节 概述	147
第二节 非稳态导热问题的求解及 诺谟图	148
第三节 集总参数法	157
本章小结	160
思考题	160
习题	161

第十章 导热问题的数值求解基础	162
------------------------------	-----

第一节 导热问题数值求解的基本思想	162
第二节 稳态导热问题的数值计算	163
本章小结	168
思考题	168
习题	168

第十一章 对流传热	170
第一节 对流传热概述与理论分析	170
第二节 强制对流传热及其实验关联式	178
第三节 自然对流传热及其实验关联式	187
第四节 凝结和沸腾时的相变对流传热	190
本章小结	194
思考题	195
习题	196

第十二章 辐射传热	198
第一节 热辐射的基本概念	198
第二节 热辐射的基本定律	199
第三节 平均角系数和黑体表面间的辐射 传热	202
第四节 灰体表面间的辐射传热	206
第五节 气体辐射简介	213
本章小结	214
思考题	215
习题	215

第四篇 热工基础的应用

第十三章 喷管和扩压管	221
第一节 一维稳定流动的基本方程	221
第二节 气体在喷管和扩压管中的定熵 流动	223
第三节 喷管的计算	224
第四节 喷管内有摩擦的绝热流动	229
第五节 扩压管与滞止参数	230
本章小结	231
思考题	231
习题	232

第十四章 换热器及其热计算	233
第一节 传热过程	233
第二节 换热器的种类	240
第三节 换热器的热计算	243
第四节 传热的强化和削弱	250
本章小结	252
思考题	253
习题	253

第十五章 压气机	255
第一节 单级活塞式压气机的工作过程	



及耗功计算	255	第六节 燃料电池	303
第二节 叶轮式压气机的工作原理及 耗功计算	258	第七节 半导体制冷	304
第三节 多级压缩、级间冷却	260	第八节 二氧化碳捕集、封存及资源化 利用	305
本章小结	263	本章小结	307
思考题	263	思考题	307
习题	263	参考文献	308
第十六章 气体动力装置及循环	265	附录	310
第一节 内燃机的基本构造	265	附录 A	310
第二节 汽油机循环	265	附录 A-1 常用单位换算表	310
第三节 柴油机循环	268	附录 A-2 常用气体的热力特性	311
第四节 燃气轮机装置基本结构	270	附录 A-3 理想气体的摩尔定压热容 公式	311
第五节 燃气轮机定压加热理想循环 (Brayton 循环)	271	附录 A-4a 气体的平均比定压热容 $c_p _{0^{\circ}\text{C}}$	312
第六节 有摩阻的燃气轮机实际循环	272	附录 A-4b 气体的平均比定容热容 $c_v _{0^{\circ}\text{C}}$	313
第七节 提高燃气轮机循环热效率的 措施	274	附录 A-5 气体的平均比热容 (直线关系式)	313
本章小结	276	附录 A-6a 饱和水与饱和水蒸气热力 性质表 (按温度排列)	314
思考题	276	附录 A-6b 饱和水与饱和水蒸气热力 性质表 (按压力排列)	316
习题	277	附录 A-7 未饱和水与过热蒸汽热力 性质表	318
第十七章 蒸汽动力装置及循环	278	附录 A-8a R134a 饱和性质表 (按温度 排列)	325
第一节 蒸汽动力装置	278	附录 A-8b R134a 饱和性质表 (按压力 排列)	326
第二节 朗肯循环	281	附录 A-9 R134a 过热蒸气热力性质表	327
第三节 有摩阻的实际循环	283	附录 A-10 金属材料的密度、比热容及 热导率	330
第四节 再热循环	285	附录 A-11 保温、建筑及其他材料的 密度和热导率	332
第五节 抽汽回热循环	286	附录 A-12 几种保温和耐火材料的 热导率与温度的关系	333
本章小结	287	附录 A-13 干空气的热物理性质 ($p=1.01325\times 10^5\text{Pa}$)	333
思考题	287	附录 A-14 饱和水的热物理性质	334
习题	287	附录 A-15 干饱和水蒸气的热物理 性质	335
第十八章 制冷装置及循环	289	附录 A-16 几种饱和液体的热物理 性质	336
第一节 逆卡诺循环	289		
第二节 压缩蒸气制冷装置及循环	290		
第三节 热泵	293		
本章小结	294		
思考题	294		
习题	294		
第十九章 其他应用简介	296		
第一节 核能发电	296		
第二节 磁流体发电	297		
第三节 太阳能热利用	299		
第四节 除湿干燥装置	301		
第五节 热管	302		



附录 A-17 几种气体的热物理性质 ($p = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$)	338	附录 B-1 湿空气焓湿图 ($p_b = 0.1 \text{ MPa}$) ...	341
附录 A-18 常见材料的表面发射率	338	附录 B-2 氨 (NH_3) 的压焓图	342
附录 A-19 双曲函数表	340	附录 B-3 R134a 的压焓图	343
附录 B	341	附录 B-4 R12 的压焓图	344
		附录 B-5 水蒸气的焓熵图	插页

绪论（能源概述）

第一节 自然界的能源及其利用

翻开人类的发展史，不难看到人类社会的发展与人类对能源的开发、利用息息相关。能源的开发和利用水平是衡量社会生产力和社会物质文明的重要标志，而且关系着社会可持续发展和社会的精神文明建设。

掌握和了解能源的基本知识，不但对能源动力类的专业人才是必需的，而且对于机械、材料、环境建筑、力学、工业企业管理和科技外语等专业人才培养和未来发展也是不可缺少的。尤其在 21 世纪，为培养和造就具有创造性的复合型人才和全面提高各类人才的科学素质，掌握能源知识是十分必要的。

一、能源及其分类

所谓能源是指可向人类提供各种能量和动力的物质资源。迄今为止，由自然界提供的能源有：水力能、风能、太阳能、地热能、燃料的化学能、核能、海洋能以及其他一些形式的能量。能源可以根据来源、形态、使用程度和技术、污染程度以及性质等进行分类。

（一）按来源分

根据来源，能源大致可分为三类：第一类是来自地球以外的太阳辐射能。除了直接的太阳能外，煤炭、石油、天然气以及生物能、水力能、风能和海洋能也都间接地来源于太阳能。第二类是来自地球本身的能量。一种是以热能形式储存于地球内部的地热能（如地下蒸汽、热水和干热岩体）；另一种是地球上的铀、钍等核燃料所具有的能量，即核能。第三类则是来自月球和太阳等天体对地球的引力，而以月球引力为主，如海洋的潮汐能。

（二）按形态分

能源可按其有无加工、转换分为一次能源和二次能源。一次能源是自然界现成存在、可直接取得而未改变其基本形态的能源，如煤炭、石油、天然气、水力能、风能、海洋能、地热能和生物质能等。一次能源中又可根据能否再生分为可再生能源和非再生能源：可再生能源是指那些可以连续再生，不会因使用而逐渐减少的能源。这类能源大都直接或间接来自太阳，如太阳能、水力能、风能、地热能等；非再生能源是指那些不能循环再生的能源，它们会随着人类不断地使用而逐渐减少，如煤炭、石油、天然气和核燃料等。

由一次能源经过加工转换成另一形态的能源称为二次能源，如电力、焦炭、煤气、沼气、氢气、高温蒸汽、汽油和柴油等各种石油制品等。

（三）按使用程度和技术分

在不同历史时期和不同科技水平条件下，能源使用的技术状况不同，从而可将能源分为



常规能源和新能源。常规能源是指那些在现有技术条件下，人们已经大规模生产和广泛使用的能源，如煤炭、石油、天然气和水力能等。新能源是指目前科技水平条件下尚未大规模利用或尚在研究开发阶段的能源，如太阳能、地热能、潮汐能、生物能、风能和核能等。常规能源与新能源的分类是相对的。例如，核能在我国属新能源，因为将核裂变产生的原子能作为动力（主要应用于发电）在我国还时间不长，还有一些技术是引进的，有一些新的问题尚待解决，目前还未成为成熟而常用的常规能源。但在发达的西方国家和俄罗斯应用核裂变作为动力和发电已经成为成熟技术，并得到广泛应用，因此核能即将或已成为常规能源。然而，如果考虑和平利用核聚变作为能源，则无论在我国还是在工业发达国家都有大量技术问题要解决，从这个意义上讲，核能仍被视为新能源。即使是一般意义上的常规能源，当研究利用新的技术进行开发时又可被视为新能源。如磁流体发电，利用的燃料仍是常规的煤、石油和天然气等，和常规火电厂不同的是将气体加热成高温等离子体通过强磁场而直接发电，此时的常规燃料又是新能源。又如风能和沼气也是如此。

（四）按污染程度分

按对环境的污染程度，能源又可分为清洁能源和非清洁能源。无污染或污染很小的能源称为清洁能源，如太阳能、风能、水力能、氢能和海洋能等。对环境污染大或较大的能源称为非清洁能源，如煤炭和石油等。

（五）按性质分

能源按本身性质可分为含能体能源和过程性能源。含能体能源是指集中储存能量的含能物质，如煤炭、石油、天然气和核燃料等。而过程性能源是指物质运动过程产生和提供的能量，此种能量无法储存并随着物质运动过程结束而消失，如水力能、风能和潮汐能等。

还有一些其他分类方法和基准。但对于能源工作者而言，更多的是采用一次能源和二次能源的概念，着眼于一次能源的开发和利用，并按常规能源和新能源进行研究，这样的分类见表 0-1。

表 0-1 能源分类

类别	常规能源	新能源
一次能源	煤、石油、天然气、水力能等	核能、太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能等
二次能源	煤气、焦炭、汽油、柴油、液化石油气、电力、蒸汽等	沼气、氢能等

二、能源的利用与社会的发展

从能源利用的观点看，人类社会经历了三个不同的能源时期，而这三个不同时期都与人类社会生产力的发展密切地联系在一起。这三个时期是：薪柴时期、煤炭时期和石油时期。

古代人类从“钻木取火”开始，就开始了能源利用的第一个时期——薪柴时期。在这一时期，人类以薪柴、秸秆和部分动物的排泄物作为燃料，用于做熟食物和取暖。恰恰是由于熟食，人类自身进化有了长足的发展。在这个时期，人类除了利用薪柴等作为能源进行食物加工、取暖和生产（陶瓷加工和冶炼金属等）外，同时以人力、畜力和一小部分简陋的风力和水力机械作为动力，从事一些生产活动。由于以薪柴等生物质燃料为主要能源，能源使用水平低下，因而社会生产力水平和人类生活水平都很低，社会发展缓慢。这一时期由于