




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 热工基础 与应用

第2版

傅秦生 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



● ISBN 978-7-111-09204-9

● 策划：蔡开颖 / 封面设计：张静

## 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

热工基础与应用 第2版	傅秦生
热能与动力机械基础 第2版	王中铮
工程热力学	王修彦
内燃机设计	袁兆成
发动机原理	林学东
流体力学 第3版	罗惕乾
制冷原理与装置 第2版	郑贤德
制冷装置自动化 第2版	陈芝久
制冷与低温原理 第2版	陈光明
低温制冷机	邱利民
制冷装置设计	申江
热能及动力工程专业多媒体实习教材	王立

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037  
联系电话：(010)68326294 网址：<http://www.cmpedu.com> (机工教材网)  
(010)68993821 E-mail: [cmp@cmpedu.com](mailto:cmp@cmpedu.com)  
网址：<http://www.cmpbook.com> (机工门户网)  
E-mail: [cmp@cmpbook.com](mailto:cmp@cmpbook.com)

定价：32.00 元

ISBN 978-7-111-09204-9



9 787111 092049

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 热工基础与应用

第2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





本书围绕热能间接和直接有效利用所涉及的“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”两篇的做法，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，以增强学生的工程应用能力。本书还介绍了热工领域的新成果、新发展，以拓宽学生视野和培养学生的创新精神。为了帮助学生理解全书内容，本书每章均有小结，例题大多有讨论，各章均附有启发性较强的思考题和丰富多样的习题。

本书是根据“热工课程教学基本要求”编写的，是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，可作为非动力能源类各专业本科生和动力能源类各专业大学生的教材或教学参考书，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. —2版. —北京: 机械工业出版社, 2007.7

普通高等教育“十一五”国家级培训教材

ISBN 978-7-111-09204-9

I. 热... II. 傅... III. 热工学—高等学校—教材

IV. TK122

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第095260号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑: 蔡开颖 版式设计: 冉晓华 责任校对: 申春香

封面设计: 张静 责任印制: 杨曦

三河市宏达印刷有限公司印刷

2007年8月第2版第1次印刷

184mm×260mm·19.5印张·1插页·482千字

标准书号: ISBN 978-7-111-09204-9

定价: 32.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379713

封面无防伪标均为盗版

# 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，而目前我国单位产值的能耗却是发达国家的数倍。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是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，并注意了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

中国科学院院士陶文铨教授，是我国能源动力领域著名专家，长期从事能源动力工程领域的教学与科研工作。他主持编写了《工程流体力学》、《工程热力学》、《传热学》、《流体力学》等教材，这些教材在能源动力类人才培养中发挥了重要作用。陶院士在信中高度评价了教材的内容，认为其新颖、富有特色，体现了能源动力类人才培养方案改革的成果。他作为中国科学院院士和西安交通大学的知名学者，对教材的出版表示热烈祝贺，并愿以为序。

陶文铨院士在信中进一步指出，能源动力类人才培养方案改革是适应国家能源发展战略和经济社会发展需要的重大举措。教材的编写和出版是这一改革的重要成果，也是广大师生共同努力的结果。他鼓励广大师生继续支持教材的出版和使用，为培养能源动力类人才做出更大的贡献。

陶文铨院士还提到，他在能源动力领域有着丰富的教学和研究经验，对教材的编写给予了积极的指导和帮助。他希望教材能够成为能源动力类人才培养的精品教材，为我国的能源动力事业培养更多的高素质人才。

陶文铨院士的贺词充分体现了他对能源动力类人才培养工作的重视和支持，也体现了他对教材编写工作的肯定和鼓励。他的贺词将成为教材出版的重要见证，也将激励广大师生继续为培养能源动力类人才而努力奋斗。

## 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“热工课程教学内容和课程体系的研究与实践”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，他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。

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,型式多样、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“热工课程教学内容和课程体系的研究与实践”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。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“传理学”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驛教授等编制的《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(第五章第一~六及八节),最后由傅秦生统一定稿。陈钟颀教授审阅了全书,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。





## 主要符号表

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

# 目 录

$w_0$	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
$\alpha$	回热抽汽量, 吸收比
$\alpha_v$	体积膨胀系数
$\alpha_\lambda$	光谱吸收比
$\beta$	肋化系数
$\gamma$	比热比
$\delta$	厚度, 绝对偏差
$\varepsilon$	制冷系数, 压缩比, 发射率 (黑度), 相对偏差
$\varepsilon'$	供热 (供暖) 系数
$\zeta$	喷管能量损失系数
$\eta$	效率, 肋效率, (动力) 粘度
$\eta_0$	肋面总效率
$\eta_c$	卡诺循环效率, 卡诺因子
$\eta_{c,s}$	压缩机绝热效率
$\eta_N$	喷管效率
$\eta_T$	汽轮机、燃气轮机相对内效率
$\eta_t$	动力循环热效率
$\theta$	过剩温度
$\kappa$	等熵指数
$\lambda$	升压比, 热导率, 波长
$\nu$	运动粘度
$\nu_{cr}$	临界压比
$\xi$	能源消费弹性系数
$\Pi$	无量纲特征数
$\pi$	增压比
$\rho$	密度, 预胀比, 反射比
$\sigma$	斯忒藩-玻耳兹曼常量
$\tau$	时间, 粘性力, 透射比
$\Phi$	热流量
$\Phi_L$	线热流量

$\varphi$	相对湿度, 喷管速度系数
$\varphi_i$	体积分
$\psi$	对数平均温差修正系数
$Bi$	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, (焓) 流, 液体参数
g	气体的参数, (焓) 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
$T$	定温过程物理量
v	真空, 湿空气中蒸汽的物理量
V	定容过程物理量
w	水, 湿球温度, 壁面
0	环境参数, 滞止参数, 初始状态参数



# 目 录

序	
第2版前言	
第1版前言	
主要符号表	
<b>第一章 能源概述 (绪论)</b> .....	1
第一节 自然界的能源及其利用 .....	1
一、能源及其分类 .....	1
二、能源的利用与社会的发展 .....	2
三、能源与环境 .....	5
四、能源利用与人类社会的可持续发展 .....	7
五、我国的能源与能源事业发展 .....	8
第二节 热能的合理利用 .....	10
一、热能的利用 .....	10
二、热能利用的形式和热科学发展简史 .....	10
第三节 热工基础的研究对象、内容和方法 .....	12
一、热工基础的研究对象 .....	12
二、热工基础的主要内容和研究方法 .....	12
本章小结 .....	13
思考题 .....	14
<b>第二章 热能转换的基本概念和基本定律</b> .....	15
第一节 热能转换的基本概念 .....	15
一、热力系、状态及状态参数 .....	15
二、热力过程、功量及热量 .....	19
第二节 热力学第一定律 .....	24
一、热力学第一定律及其实质 .....	24
二、热力学能 .....	24
三、热力学第一定律的一般表达式 .....	25
四、闭口系的能量方程——热力学第一定律的基本表达式 .....	25
五、稳定流动系统的能量方程 .....	27
六、能量方程的应用 .....	31
第三节 热力学第二定律 .....	34
一、热力过程的方向性 .....	34
二、热力学第二定律的表述 .....	36
三、卡诺循环和卡诺定理 .....	37
四、状态参数熵 .....	40
五、不可逆过程的熵变、熵流及熵产 .....	42
六、孤立系的熵增原理 .....	43
* 七、热量有效能及有效能损失 .....	48
八、能量的品质与能量贬值原理 .....	49
* 九、熵的物理意义探讨 .....	50
本章小结 .....	51
思考题 .....	53
习题 .....	54
<b>第三章 工质的热力性质和热力过程</b> .....	60
第一节 概述 .....	60
第二节 理想气体的热力性质和热力过程 .....	61
一、理想气体及其状态方程 .....	61
二、理想气体的比热容 .....	64
三、理想气体的热力学能和焓及熵 .....	68
四、理想气体的混合物 .....	72
五、理想气体的基本热力过程 .....	76
六、理想气体的多变过程 .....	82
第三节 蒸气的热力性质和热力过程 .....	87
一、定压下水蒸气的发生过程 .....	88
二、蒸气热力性质图表 .....	90
三、蒸气的热力过程 .....	93
第四节 湿空气 .....	94
一、湿空气的状态参数 .....	95
二、干湿球温度计 .....	97
三、焓湿图 ( $h-d$ 图) .....	97
四、湿空气的基本热力过程 .....	98
本章小结 .....	100
思考题 .....	101
习题 .....	103

<b>第四章 热量传递的基本理论</b> .....	107	二、换热器的种类.....	208
<b>第一节 热量传递的三种基本</b>		三、换热器的热计算.....	211
<b>方式简介</b> .....	107	四、传热的强化和削弱.....	218
一、热量传递的三种基本方式.....	107	<b>第三节 压气机</b> .....	220
二、复合换热及传热过程.....	109	一、单级活塞式压气机的工作过程	
<b>第二节 导热的基本定律及</b>		及耗功计算.....	220
<b>稳态导热</b> .....	110	二、叶轮式压气机的工作原理及	
一、导热的基本定律.....	110	耗功计算.....	221
二、导热微分方程及定解条件.....	112	三、多级压缩、级间冷却.....	222
三、一维稳态导热的计算.....	114	<b>第四节 内燃机的基本构造及循环</b> .....	225
四、多维稳态导热问题简介.....	125	一、内燃机的基本构造.....	226
<b>第三节 非稳态导热</b> .....	125	二、汽油机循环.....	226
一、概述.....	125	三、柴油机循环.....	228
二、非稳态导热问题的求解及		<b>第五节 燃气轮机装置及循环</b> .....	230
<b>诺谟图</b> .....	126	一、流程与设备.....	230
三、集总参数法.....	135	二、定压加热理想循环.....	230
<b>* 第四节 导热问题的数值求解基础</b> .....	138	三、有摩阻的实际循环.....	232
一、导热问题数值求解的基本思想.....	138	四、提高燃气轮机循环热效率的措施.....	234
二、稳态导热问题的数值计算.....	138	<b>第六节 蒸汽动力装置及循环</b> .....	234
<b>第五节 对流换热</b> .....	144	一、蒸汽动力装置.....	234
一、对流换热概述与理论分析.....	144	二、朗肯循环.....	238
二、强制对流换热及其实验关联式.....	152	三、有摩阻的实际循环.....	240
三、自然对流换热及其实验关联式.....	161	四、再热循环.....	241
四、凝结和沸腾时的对流换热.....	163	五、抽汽回热循环.....	241
<b>第六节 辐射换热</b> .....	167	<b>第七节 制冷装置及循环</b> .....	242
一、热辐射的基本概念.....	167	一、逆卡诺循环.....	242
二、热辐射的基本定律.....	168	二、压缩蒸气制冷装置及循环.....	243
三、黑体间的辐射换热和平均角系数.....	170	三、热泵.....	246
四、灰体表面间的辐射换热.....	174	<b>第八节 其他应用简介</b> .....	247
五、气体辐射简介.....	181	一、核能发电.....	247
<b>本章小结</b> .....	182	二、磁流体发电.....	248
<b>思考题</b> .....	183	三、太阳能热利用.....	250
<b>习题</b> .....	185	四、除湿干燥装置.....	251
<b>第五章 热工基础的应用</b> .....	191	五、热管.....	252
<b>第一节 喷管和扩压管</b> .....	191	六、燃料电池.....	253
一、一维稳定流动的基本方程.....	192	七、半导体制冷.....	254
二、气体在喷管和扩压管中的定熵		<b>本章小结</b> .....	255
<b>流动</b> .....	193	<b>思考题</b> .....	258
三、喷管的计算.....	195	<b>习题</b> .....	260
四、喷管内有摩阻的绝热流动.....	199	<b>参考文献</b> .....	264
五、扩压管与滞止参数.....	200	<b>附录 A</b> .....	265
<b>第二节 换热器及其热计算</b> .....	201	<b>附录 A-1 常用单位换算表</b> .....	265
一、传热过程.....	201	<b>附录 A-2 常用气体的热力特性</b> .....	266

附录 A-3 理想气体的摩尔定压 热容公式 .....	266	的密度和热导率 .....	287
附录 A-4a 气体的平均比定压 热容 $c_p  _{0^{\circ}\text{C}}$ .....	267	附录 A-12 几种保温和耐火材料的 热导率与温度的关系 .....	288
附录 A-4b 气体的平均比定容 热容 $c_v  _{0^{\circ}\text{C}}$ .....	268	附录 A-13 干空气的热物理性质 ( $p = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) .....	288
附录 A-5 气体的平均比热容 (直线关系式) .....	268	附录 A-14 饱和水的热物理性质 .....	289
附录 A-6a 饱和水与饱和水蒸气热力 性质表 (按温度排列) .....	269	附录 A-15 干饱和水蒸气的 热物理性质 .....	290
附录 A-6b 饱和水与饱和水蒸气热力 性质表 (按压力排列) .....	271	附录 A-16 几种饱和液体的 热物理性质 .....	291
附录 A-7 未饱和水与过热蒸汽热力 性质表 .....	273	附录 A-17 几种气体的热物理性质 ( $p = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) .....	293
附录 A-8a 氟利昂 134a 饱和性质表 (按温度排列) .....	280	附录 A-18 常用材料的表面 发射率 .....	293
附录 A-8b 氟利昂 134a 饱和性质表 (按压力排列) .....	281	附录 A-19 双曲线函数表 .....	295
附录 A-9 氟利昂 134a 过热蒸气 热力性质表 .....	282	<b>附录 B</b> .....	296
附录 A-10 金属材料的密度和 比热容及热导率 .....	285	附录 B-1 湿空气焓湿图 ( $p_b = 0.1 \text{ MPa}$ ) .....	296
附录 A-11 保温和建筑及其他材料		附录 B-2 氨 ( $\text{NH}_3$ ) 的压焓图 .....	297
		附录 B-3 R134a 的压焓图 .....	298
		附录 B-4 R12 的压焓图 .....	299
		附录 B-5 水蒸气的焓熵图 .....	插页





# 第一章 能源概述（绪论）

## 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、原子核能、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，即原子核能。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、风能和原子核能等。

常规能源与新能源的分类是相对的。例如，原子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。又如风能和沼气亦是如此。

#### （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 1-1。

表 1-1 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，人类社会的发展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，用于熟食和取暖。恰恰是由于熟食，使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品加工、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。这一时期由于能源的结构和利用长期不能得到根本的变革，从而使薪柴时期延续了相当长的时间。在中国可以说从远古一直到清王朝的几千年都属于这一时期。

18 世纪工业革命开创了煤炭作为主要能源的第二个时期——煤炭时期。在这一时期，

蒸汽机成为生产的主要动力,从而促进了工业迅速发展,劳动生产力得到了极大解放,生产水平有了显著提高。特别是在19世纪后期出现了电能,由于它具有易于传输,能方便地转变为光、热和机械能的特点,使电能的应用突飞猛进,并进入到社会的各个领域。电动机代替蒸汽机成为工矿企业的基本动力,电灯代替油灯和蜡烛成为生产和生活照明的主要光源,社会生产力有了大幅度的增长。随着各种电器的出现,人们的物质和精神文明生活也有了极大提高,从根本上改变了人类社会的面貌。

石油资源的发现和开发开始了能源利用的新时代。尤其是20世纪50年代,在美国、中东和北非等地区相继发现了巨大的油田和气田后,工业发达国家很快从以煤炭作为主要能源转换到以石油、天然气作为主要能源,开始了人类能源历史的第三个时期——石油时期。到20世纪50年代中期,世界石油和天然气的消费超过了煤炭,成为世界能源的主力。这是继薪柴向煤炭转换后能源结构变化上的又一里程碑。随着石油、天然气的开发利用和内燃机械的快速发展,使汽车、飞机、内燃机车和远洋客货轮这些以石油制品为能源动力的交通工具也迅猛发展,不但缩短了地区和国家间的距离,也促进了世界经济的发展和繁荣。近50年来,世界上许多国家依靠石油、天然气以及蓬勃发展的电力,创造了人类历史上空前的物质文明。

进入21世纪,随着可控热核反应的实现,核能将成为世界能源的重要角色,同时随着煤炭清洁化技术的开发和利用,一个清洁能源的时代也将随之而来,并将迎来又一个能源变革新时代。世界将变得更加繁荣,人类生产和生活将会得到更大的提高。

从人类所经历三个能源时期不难看出,能源和人类历史发展的密切关系。

能源的开发和利用,不但推动着社会生产力发展和社会历史的进程,而且与国民经济发展的关系密切。首先,能源是现代生产的动力来源,无论是现代工业还是现代农业都离不开能源动力。现代化生产是建立在机械化、电气化和自动化基础上的高效生产,所有生产过程都与能源的消费同时进行着。例如:工业生产中,各种锅炉和窑炉要用煤、石油和天然气;钢铁和有色金属冶炼要用焦炭和电力;交通运输需要各种石油制品和电力。现代农业生产的耕种、灌溉、收获、烘干和运输、加工等都需要消耗能源。现代国防也需大量的电力和石油。其次,能源还是珍贵的化工原料。以石油为例,除了能提炼出汽油、柴油和润滑油等石油产品外,对它们进一步加工可取得5000多种有机合成原料。有机化学工业的8种基本原料:乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔和萘,主要来自石油。这些原料经过加工,便可得到塑料、合成纤维、化肥、染料、医药、农药和香料等多种多样的工业制品。此外,煤炭、天然气等也是重要的化工原料。

由此可以看到一个国家的国民经济发展与能源开发和利用的依存关系,可以说没有能源就不可能有国民经济的发展。对世界各国经济发展的考察表明,在经济正常发展情况下,一个国家的国民经济发展与能源消耗增长率之间存在正比例关系。这个比例关系通常用能源消费弹性系数 $\xi$ 表示为

$$\xi = \frac{\text{能源消费的年增长率}}{\text{国民经济生产总值的年增长率}}$$

表面上看该系数关系简单,其值越小越好。但实际上影响弹性系数的因素较多,较复杂。一个国家的能源消费弹性系数与该国的国民经济结构、国民经济政策、生产模式,能源利用率、产品质量,原材料消耗、运输,以及人民生活需求等诸多因素有关。尽管各国实际情况