

高职高专“十一五”规划教材

热工与流体力学基础

■ 魏 龙 主编 隋继学 主审



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

热工与流体力学基础

魏 龙 主编

隋继学 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是将工程热力学、流体力学和传热学的经典内容及最新成果以能量转换和传递为主线,优化组合而成,是一门课程改革综合化教材。

全书共分三篇:第一篇为工程热力学,包括热力学的基本概念、热力学第一定律、热力学第二定律、理想气体的热力性质和热力过程、水蒸气和蒸汽动力循环、混合气体和湿空气、气体和蒸汽的流动;第二篇为流体力学,包括流体性质和流体静力学基础、一元流体动力学基础、流动阻力和能量损失、管路计算;第三篇为传热学,包括稳态导热、对流换热、辐射换热、传热与换热器。

本书可供高职高专能源技术类、电力技术类和建筑设备类专业使用,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工与流体力学基础/魏龙主编. —北京:化学工业出版社, 2006.12
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-5025-9771-9

I. 热… II. 魏… III. ①热工学-高等学校:技术学院-教材②流体力学-高等学校:技术学院-教材
IV. ①TK122②O35

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第150936号

责任编辑:高钰 韩庆利

责任校对:李林

装帧设计:于兵

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张16 字数413千字 2007年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

高职高专制冷与空调专业系列教材 编审委员会

主任

王绍良

副主任

李晓东 赵玉奇 孙见君 魏 龙
杜存臣 隋继学 魏 琪

委员

(按姓氏汉语拼音排序)

常新中	杜 垵	杜存臣	冯殿义	傅 璞
郝万新	李少华	李晓东	林慧珠	刘玉梅
潘传九	申小中	隋继学	孙见君	王绍良
魏 龙	魏 琪	杨雨松	赵晓霞	赵玉奇
郑智宏	周 皞	朱明悦		

前 言

作为高等教育的重要组成部分，高等职业技术教育旨在培养在管理、服务、生产第一线工作的高等技术应用型专门人才，其显著特征是具有应用多种知识和技能解决现场实际问题的能力，即技术应用能力。为实现这一宏观培养目标，专业课程设置需要做出相应的调整，课程内容的优化、组合和重构也势在必行。

打破传统课程结构的封闭性，进行课程门类相对集中的综合化是目前高职教学改革的重要手段之一。通过综合，减少了课程间的不必要重复，避免了知识的相互割裂和脱节，突出了专业能力的培养，促进了理论与实践、基础与专业之间的紧密结合，有利于学生综合能力的培养，有助于今后发展他们的潜能。

工程热力学、流体力学、传热学是热工三大基础课程，内容十分丰富，是物理学中热学和力学部分在工程领域的延伸、扩展和细化。但其核心部分，也是高职高专能源技术专业选择的部分，是能量转换与传递的理论和工程应用的三个分支。工程热力学主要研究热能与机械能相互转换的规律、方法及提高转化率的途径，比较集中地表现为能量方程。该方程反映转换中总能量的守恒关系。流体力学研究流体的平衡和运动规律，并据此计算工程中所需流体压力和速度。其主要理论依据为稳定流动能量方程，该方程展示流动过程中上下游截面间的机械能守恒规律。传热学则集中地研究热量传递的规律、方法及其工程应用，以计算温度、热流密度等参数。上述内容因能量转换和传递这条主线而在知识能力方面产生紧密的联系，由此可以综合为一门课——“热工与流体力学基础”。

近几年，许多高职高专院校的制冷与冷藏技术、供热通风与空调工程技术、热能动力设备与应用等专业在分析人才知识、能力和素质结构，构建教学内容和课程体系时，将工程热力学、流体力学、传热学整合为“热工与流体力学基础”一门课程。

本书是将工程热力学、流体力学和传热学的经典内容及最新成果，按照知识、能力、素质的内在联系和人们的认识规律，按照教学的科学性、自然适应性、可接受性和循序渐进性等教育教学规律优化组合而成。

在编写方面，本书力求注意以下几点：

- (1) 内容以必需、够用为度，举例尽量与工程实际相结合，文字表达上力求简单易懂；
- (2) 简化甚至舍去一些数学要求高的公式推导过程，强调从物理概念入手，加深对基本定理的理解和应用，突出工程计算方法；
- (3) 突出基本理论、基本概念和基本方法，侧重于基础知识、基本理论在实际应用

中的分析讨论，注意培养和启发学生解决问题的思路、方法及能力；

(4) 每章之前有学习导引，每章之后有习题，以使学习者对各部分内容的脉络有一个清晰的了解，同时也有利于学生的自主学习。

本书适用学时为 70~90，少学时时的教学内容可根据需要删去部分内容。本书供高职高专能源技术类、电力技术类和建筑设备类专业使用，也可供相关专业的工程技术人员参考。

本书由魏龙任主编，刘星任副主编。各章的编写分工为：魏龙编写绪论、第一章、第二章、第三章、第四章、第八章；李冬梅编写第五章、第七章；冯飞编写第六章、第十三章；刘星编写第九章、第十章、第十一章；李俊仙编写第十二章、第十四章、第十五章。

隋继学副教授在百忙中抽出时间，主审了本书，并为全书的修改提出了不少宝贵意见；杜存臣、滕文锐、郑光文、杜娟丽、申小中参加了审稿。本书在编写过程中，还得到了孙见君、李晓东、常新中、张国东、蒋李斌、黄建、房桂芳等的大力帮助，在此一并表示感谢。

限于编者的水平，书中不妥之处恳请广大读者批评指正。

编 者
2007 年 1 月

目 录

主要符号	1
绪论	3
一、能源概述	3
二、本课程的研究对象及主要内容	6
三、学习本课程的几点要求	7
第一篇 工程热力学	
第一章 热力学基本概念	9
学习导引	9
第一节 工质和热力系	10
一、工质	10
二、热力系、外界与边界	10
三、热力系的分类	10
第二节 工质的热力状态和基本状态参数	11
一、热力状态和状态参数	11
二、基本状态参数	11
第三节 平衡状态和热力过程	14
一、平衡状态、状态方程式及状态参数坐标图	14
二、热力过程	15
习题	16
第二章 热力学第一定律	17
学习导引	17
第一节 热力系统储存能	17
一、热力学能	18
二、外部储存能	18
三、热力系统的总储存能	18
第二节 热力系与外界传递的能量	18
一、热量	18
二、功量	19
三、随工质流动传递的能量	21
四、焓及其物理意义	21
第三节 热力学第一定律	22
一、热力学第一定律的实质	22
二、封闭热力系的能量方程	22
三、开口热力系的稳定流动能量方程	24
四、技术功	25
五、稳定流动能量方程的应用	25
习题	28
第三章 理想气体的热力性质和热力过程	30
学习导引	30
第一节 理想气体及状态方程	30
一、理想气体与实际气体	30
二、理想气体状态方程	31
第二节 理想气体的比热容及热量计算	32
一、比热容的定义和单位	32
二、影响比热容的主要因素	32
三、利用比热容计算热量	33
第三节 理想气体热力学能和焓变化量的计算	35
一、理想气体热力学能变化量的计算	36
二、理想气体焓变化量的计算	36
第四节 理想气体的热力过程	37
一、基本热力过程	37
二、多变过程	42
习题	45
第四章 热力学第二定律	46
学习导引	46
第一节 热力循环	46
一、正向循环和热效率	46
二、逆向循环和工作系数	47
第二节 热力学第二定律	48
一、过程的方向性与不可逆性	48

二、热力学第二定律的实质和表述	48	第四节 焓与焓增原理	52
第三节 卡诺循环与卡诺定律	49	一、焓的基本概念	52
一、卡诺循环及热效率	50	二、焓增原理	53
二、逆卡诺循环	50	习题	53
三、卡诺定律	51		
第五章 水蒸气和蒸汽动力循环	55		
学习导引	55	二、水和水蒸气表	59
第一节 水蒸气的定压发生过程	55	三、水蒸气的焓焓图	60
一、基本概念	56	四、水蒸气的基本热力过程	61
二、水蒸气定压发生过程的三个阶段和五种状态	57	第三节 蒸汽动力循环	64
三、水蒸气定压发生过程在 $p-v$ 图与 $T-s$ 图上的表示	58	一、朗肯循环及热效率	64
第二节 水蒸气表和图	59	二、蒸汽参数对朗肯循环热效率的影响	65
一、零点的规定	59	三、提高蒸汽动力循环热效率的其他途径	66
		习题	69
第六章 混合气体和湿空气	71		
学习导引	71	第二节 湿空气	75
第一节 混合气体	71	一、湿空气的总压力和分压力	75
一、混合气体的分压力和分体积	71	二、湿空气的湿度	76
二、混合气体的成分表示方法与换算	72	三、湿空气的温度	77
三、混合气体的折合摩尔质量和折合气体常数	73	四、湿空气的焓	78
四、分压力的确定	74	五、湿空气的焓湿图	80
五、混合气体的比热容	74	习题	83
第七章 气体和蒸汽的流动	85		
学习导引	85	二、管道截面变化的规律	87
第一节 绝热稳定流动基本方程	85	第三节 喷管中流速及流量的计算	88
一、绝热稳定流动	85	一、喷管出口流速的计算	88
二、绝热稳定流动基本方程	86	二、临界压力比与临界流速	89
三、声速和马赫数	87	三、喷管流量的计算	90
第二节 气体和蒸汽在喷管和扩压管中的定熵流动	87	四、喷管内有摩擦的绝热流动	92
一、流速变化与压力变化的关系	87	第四节 绝热节流	93
		习题	94

第二篇 流体力学

第八章 流体性质和流体静力学基础	95		
学习导引	95	第二节 流体静力学基础	101
第一节 流体的主要力学性质	96	一、流体静压力及其特性	101
一、流体及其基本特性	96	二、流体静力学基本方程	101
二、流体连续性假定	96	三、流体静力学基本方程式的应用	103
三、流体的主要力学性质	97	习题	108
四、作用于流体上的力	100		
第九章 一元流体动力学基础	111		
学习导引	111	第二节 稳定流动的物料衡算——连续性方程	113
第一节 流体流动的基本概念	111	一、稳定流动连续性方程的基本形式	113
一、流量和流速	111	二、有分流和合流时的连续性方程	114
二、稳定流动与非稳定流动	112	第三节 稳定流动的能量衡算——伯努利	
三、三元、二元、一元流动	113		

方程	115	三、伯努利方程的讨论	118
一、理想流体稳定流动时的机械能衡算	115	四、伯努利方程的应用	119
二、实际流体稳定流动时的机械能衡算	117	习题	122
第十章 流动阻力和能量损失			125
学习导引	125	第三节 圆形管内的速度分布和边界层概念	129
第一节 沿程损失和局部损失	125	一、流体在圆形管内的速度分布	129
一、沿程阻力与沿程损失	126	二、边界层的概念	130
二、局部阻力与局部损失	126	第四节 流体在管内流动阻力损失的计算	132
三、能量损失的计算公式	126	一、沿程损失计算	132
第二节 流体的两种流态	127	二、局部损失计算	137
一、雷诺实验和流态	127	三、减少流动阻力的措施	140
二、流态的判断依据	128	习题	142
第十一章 管路计算			144
学习导引	144	一、串联管路	149
第一节 简单管路计算	144	二、并联管路	150
一、基本概念	144	第三节 管网计算基础	152
二、简单管路计算的基本公式	146	一、枝状管网	152
三、简单管路计算示例	147	二、环状管网	154
第二节 串联与并联管路计算	149	习题	155
第三篇 传 热 学			
第十二章 稳态导热			158
学习导引	158	二、多层平壁的稳态导热	163
第一节 导热的基本定律	159	第三节 圆筒壁的稳态导热	165
一、基本概念	159	一、单层圆筒壁的稳态导热	165
二、导热基本定律	160	二、多层圆筒壁的稳态导热	166
三、热导率	161	三、圆筒壁稳态导热的简化计算	167
第二节 平壁的稳态导热	162	习题	169
一、单层平壁的稳态导热	162		
第十三章 对流换热			171
学习导引	171	二、管内流体强制对流换热计算	176
第一节 对流换热概念及牛顿冷却公式	171	三、管外流体强制对流换热计算	178
一、对流换热的概念	171	四、自然对流换热计算	181
二、对流换热过程分析	172	第三节 流体有相变时对流换热	184
三、牛顿冷却公式	173	一、凝结换热	184
四、影响表面传热系数的主要因素	173	二、沸腾换热	187
第二节 流体无相变时的对流换热计算	174	习题	190
一、表面传热系数的一般关联式	174		
第十四章 辐射换热			192
学习导引	192	二、两固体间的辐射换热	198
第一节 热辐射的基本概念和基本定律	192	第三节 气体辐射	200
一、热辐射的基本概念	192	一、气体辐射和吸收的特点	200
二、热辐射的基本定律	194	二、火焰辐射	201
第二节 固体壁面之间的辐射换热	196	第四节 太阳辐射	201
一、角系数	196	习题	203
第十五章 传热与换热器			204
学习导引	204	第一节 传热过程及特点	204

一、传热过程	204	第三节 换热器	213
二、传热过程特点	205	一、换热器的基本结构与工作原理	213
第二节 热负荷和传热基本方程	205	二、间壁式换热器的主要类型	214
一、热负荷	205	三、换热器的传热计算	218
二、传热基本方程	207	四、传热过程的强化和削弱	223
三、传热系数的计算	207	习题	224
附录			226
附表 1 常用气体的平均比定压热容 $c_p _0^t$	226	附表 11 干饱和水蒸气的热物理性质	238
附表 2 常用气体的平均比定容热容 $c_v _0^t$	227	附表 12 过热水蒸气的热物理性质 ($p = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$)	238
附表 3 一些气体的摩尔质量、气体常数、 低压下的比热容和摩尔热容	227	附表 13 常用管件的局部阻力系数	239
附表 4 饱和水与饱和水蒸气的热力性质 (按温度排列)	228	附表 14 常用金属材料的密度、比热容和 热导率	240
附表 5 饱和水与饱和水蒸气的热力性质 (按压力排列)	229	附表 15 保温、建筑及其他材料的密度和 热导率	240
附表 6 未饱和水与过热水蒸气的热力性质	231	附表 16 几种保温、耐火材料的热导率与温度 的关系	241
附表 7 在 0.1MPa 时的饱和空气状态参数	235	附表 17 常用材料表面的黑度值	241
附表 8 干空气的热物理性质 ($p = 1.01325 \times$ 10^5 Pa)	236	附图 1 水蒸气 $h-s$ 图	242
附表 9 烟气的热物理性质 ($p = 1.01325 \times$ 10^5 Pa)	237	附图 2 湿空气的 $h-d$ 图 (大气压力为 10^5 Pa)	244
附表 10 饱和水的热物理性质	237		
参考文献			245

主要符号

英文字母

A	面积; 吸收率	m	质量
c	比热容; 声速	M	摩尔质量
c'	体积热容	Ma	马赫数
c_f	流速	n	物质的量, 多变指数
c_{fc}	临界流速	p	压力
c_p	比定压热容	p_b	大气压力, 背压
c_v	比定容热容	p_c	临界压力
C	灰体辐射系数	p_g	表压力
C_b	黑体辐射系数	p_v	真空度
C_m	摩尔热容	p_s	饱和压力
$C_{p,m}$	摩尔定压热容	P	功率
$C_{v,m}$	摩尔定容热容	Q	热量
d	直径; 含湿量	q	比热量; 热流密度
d_e	当量直径	q_m	质量流量
D	透射率	q_v	体积流量
e	比总储存能	r	汽化潜热; 半径
e_k	比宏观动能	r_i	体积分数
e_p	比宏观位能	R	摩尔气体常数; 单位面积热阻; 反射率
E	总储存能; 辐射力	R_g	气体常数
E_b	黑体辐射力	R_w	热阻
E_k	宏观动能	s	比熵
E_p	宏观位能	S	熵
g	重力加速度	S_c	太阳常数
g_i	质量分数	t	摄氏温度
h	比焓; 表面传热系数	t_c	临界温度
h_c	临界焓	t_d	露点温度
h_f	沿程阻力损失	t_w	湿球温度
h_j	局部阻力损失	t_s	饱和温度
h_w	能量损失	T	热力学温度
H	焓; 高度	u	比热力学能
K	绝对粗糙度; 传热系数	U	热力学能
l	特征尺寸	v	比体积; 速度; 平均流速
L	长度	v_c	临界比体积

V	体积	W_f	流动功
V_m	摩尔体积	W_s	轴功
w	比体积变化功	W_t	技术功
w_f	流动功	x	干度; 湿周
w_s	比轴功	x_i	摩尔分数
w_t	比技术功	X	角系数
W	体积变化功	z	高度

希腊字母

α_v	体积膨胀系数	Φ	热流量
β_p	体积压缩系数	κ	等熵指数
δ	厚度	λ	沿程阻力系数, 热导率, 波长
ε	制冷系数, 黑度	μ	动力黏度
ε'	制热系数	ν	运动黏度
ε_c	临界压力比	ρ	密度
η_c	卡诺循环热效率	σ_b	黑体辐射常数
η_f	肋片效率	τ	切应力
η	热效率	ζ	局部阻力系数, 能量损失系数
φ	相对湿度, 速度系数		

无因次准数

$Gr = \frac{\alpha_v g \Delta t l^3 \rho^2}{\mu^2}$	格拉晓夫数	$Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda}$	普朗特数
$Nu = \frac{hl}{\lambda}$	努塞尔数	$Re = \frac{\rho v l}{\mu}$	雷诺数

绪 论

一、能源概述

从人类学会用火到蒸汽机、内燃机的发明应用，人类文明前进的每一步，都和能源的开发、利用息息相关。人类文明前进的过程，是开发利用能源的规模与水平不断提高的过程。从推动生产力提高的作用来看，是能源的开发利用将人类社会飞速推向现代文明时代。在当代，能源的开发和利用水平仍是衡量社会生产力和社会物质文明的重要标志，并且关系着社会可持续发展和社会的精神文明建设。科学技术的发展、国民经济的繁荣、国防建设的加强、社会生活质量的提高、人类文明的进步等等，都必须以充足的能量供应为支柱。现在以至将来，社会发展对能源的开发利用势必依赖性更强，需求更大；开发利用能源的规模将越来越大，水平将越来越高，速度将越来越快。

1. 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。通常人们按照以下几种分类方式对能源分类。

(1) 按照来源分 根据来源，能源大致可分为三类：第一类是地球本身蕴藏的能源，如原子核能、地热能等；第二类是来自地球以外天体的能源，如太阳能以及由太阳能转化而来的风能、水能、海洋波浪能、生物质能以及化石能（如煤炭、石油、天然气等）；第三类则是来自月球和太阳等天体对地球的引力，且以月球引力为主，如海洋的潮汐能。

(2) 按照开发的步骤分 按照开发的步骤，能源可分为一次能源和二次能源。一次能源，即在自然界以自然形态存在可以直接开发利用的能源，如煤炭、石油、天然气、水力能、风能、海洋能、地热能 and 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，指不会因被开发利用而减少，具有天然恢复能力的能源，如太阳能、风能、地热能、水力能、海洋能、生物质能等；非再生能源，指储量有限，随着被开发利用而逐渐减少的能源，如煤炭、石油、天然气和原子核能等。二次能源，即由一次能源直接或间接转化而来的能源，如电力、高温蒸汽、汽油、沼气、氢气、甲醇、酒精等。

(3) 按照使用程度和技术分 因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。常规能源是指开发时间较长、技术比较成熟、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。新能源是指开发时间较短、技术尚不成熟、尚未被大规模开发利用的能源，如太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能和原子核能等。

(4) 按照开发利用过程中对环境的污染程度分 按对环境的污染程度，能源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、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、石油、天然气等。

(5) 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、天然气和原子核能等。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	煤炭、石油、天然气、水力能等	原子核能、太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能等
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

2. 能源与国民经济和人民生活

能源是人类社会生存的基础,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,而且与国民经济的发展密切相关。能源在国民经济中具有特别重要的战略地位。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五千多种有机合成原料。有机化学工业的八种基本原料: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。世界各国的经济发展实践证明,在经济正常发展情况下,每个国家能源消费总量及增长速度与其国民经济总产值及增长速度成正比例关系。这个比例关系通常用能源消费弹性系数 ξ 表示,即

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

影响能源消费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。尽管各国实际情况不同,但只要处于类似的经济发展阶段,就具有相近的能源消费弹性系数。一般而言,发展中国家的 ξ 值大于 1,工业发达国家的 ξ 值小于 1。

发展生产和国民经济需要能源,其重要目的是不断改善人民生活质量。而能源的人均消耗量的多少则反映人民生活水平的高低。在人民的生活中,不仅衣、食、住、行需要能源,而且文教卫生、各种文化娱乐活动等都离不开能源。随着人民生活水平的不断提高,所需的能源数量、形式越来越多,质量越来越高。一般而言,从一个国家的能源消耗状况可以看出一个国家人民的生活水平。例如:生活富裕的北美地区的年人均能耗比贫穷的南亚地区要高

出 55 倍。

3. 我国的能源建设面临的主要问题及发展思路

能源问题是全世界关注的重大问题,从 20 世纪 70 年代起,能源问题成为世界 5 大问题(能源、人口、粮食、环境、资源)之一。我国的能源建设面临的主要问题有如下几个方面。

(1) 人均能源占有率低,远低于世界平均水平。我国能源总的产量在世界居前位,但是由于我国人口众多,我国目前人均能源消费量不到国际平均水平的 50%,更远低于发达国家和欧洲工业化程度高的国家。表 0-2 为世界主要能源消费国人均商品能源消费量。随着我国能源生产的增加,人均能源消费量增长得比较快,但和发达国家相比还是比较低的。今后随着我国经济社会发展水平的提高,能源消费需求将进一步增加。表 0-3 为中国主要矿产能源人均占有量与世界平均水平的比较。从表中不难看到,我国常规化石能源的人均占有量低于世界平均水平,优质能源石油和天然气的人均占有量则更低。除煤炭外,石油、天然气都不能满足我国目前和长远发展的需要。

表 0-2 世界主要能源消费国人均商品能源消费量^①

指 标		中国	日本	德国	法国	美国
人均商品能耗 /(kg 标准煤/人)	1980 年	863.5	4243.2	6581.5	4983.4	11401.3
	1990 年	1099.2	5079.6	6400.6	5698.0	11039.1
	1999 年	1241.5	5819.9	5847.1	6221.6	11666.9
相对发展速度/%	1990 年/1980 年	127.3	119.7	97.3	114.3	96.8
	1999 年/1990 年	112.9	114.6	91.8	109.2	105.7
	1999 年/1980 年	143.8	137.2	89.3	124.8	102.3

① 世界银行统计资料,转引自文献 [4]。

表 0-3 中国与世界主要矿产能源人均占有量^①

种 类	中国 人均	世界 人均	中国/世界
煤炭/t	90.45	162.48	55.67%
石油/t	2.59	23.25	11.14%
天然气/m ³	1079.90	24661.32	4.38%

① 2003 年 BP (英国石油) 公司世界能源统计资料,转引自文献 [5]。

(2) 能源开发利用设备和技术落后,能源利用效率低,浪费严重。2000 年,我国能源效率(指使用能源过程中所得有效能源与实际输入能源的比)仅为 33.4%,比发达国家低 10%~20%;单位产品的能耗平均比发达国家高约 40%;2001 年,单位国民经济产值的能耗是日本的 6.58 倍,德国的 4.49 倍,美国的 3.65 倍,巴西的 2.35 倍,印度的 1.24 倍。

(3) 环境污染严重。我国是世界上能源生产和消费大国,而且我国化石能源的储藏特点决定了我国是世界上少数以煤炭为主要一次能源的国家,煤炭一直占我国一次能源生产和消费总量的 70%左右。据专家预测,在未来的 30~50 年内煤炭在我国的能源构成中仍然将超过 50%。而煤炭燃烧过程所排放出的大量 SO₂、NO_x、CO₂、粉尘等污染物会使大气受到严重的污染。据世界银行统计资料,我国城市空气污染对人体健康和生产造成的损失估计每年超过 1600 亿元人民币;酸雨使农作物每年减产损失达 400 亿元人民币。全世界 2001 年由化石燃料所排放的 CO₂ 达到 236.83 亿吨,其中我国的排放量达到 30 亿吨,占世界总排放量的 13%,仅次于美国,居世界第二位。

为了解决这些问题,我国的能源建设应走可持续发展的道路。2006 年 2 月中华人民共和国国务院发布的“国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)”中将能源列为重点领域及其优先主题中的第一位,并指出:能源在国民经济中具有特别重要的战略地位。

我国目前能源供需矛盾尖锐, 结构不合理; 能源利用效率低; 一次能源消费以煤为主, 化石能的大量消费造成严重的环境污染。今后 15 年, 满足持续快速增长的能源需求和能源的清洁高效利用, 对能源科技发展提出重大挑战。

我国的能源建设发展思路如下。

① 坚持节能优先, 降低能耗。攻克主要耗能领域的节能关键技术, 积极发展建筑节能技术, 大力提高一次能源利用效率和终端用能效率。

② 推进能源结构多元化, 增加能源供应。在提高油气开发利用及水电技术水平的时候, 大力发展核能技术, 形成核电系统技术自主开发能力。风能、太阳能、生物质能等可再生能源技术取得突破并实现规模化应用。

③ 促进煤炭的清洁高效利用, 降低环境污染。大力发展煤炭清洁、高效、安全开发和利用技术, 并力争达到国际先进水平。

④ 加强对能源装备引进技术的消化、吸收和再创新。攻克先进煤电、核电等重大装备制造核心技术。

⑤ 提高能源区域优化配置的技术能力。重点开发安全可靠的先进电力输配技术, 实现大容量、远距离、高效率的电力输配。

4. 能量的转换与利用

能量的利用过程实质上是能量的传递与转换过程。

回顾人类利用能源的各个时期和目前世界各国及我国的能源构成, 人类利用的主要能源有: 水力能、风能、地热能、太阳能、燃料的化学能和原子核能。在这些能源中, 水力能、风能可以通过水轮机、风车直接转换成机械能或者再通过发电机由机械能转换成电能; 太阳能可以通过光合作用转换成生物质能, 也可以通过太阳能集热器转换成热能, 还可以通过光电反应直接转换成电能; 燃料(煤、石油、天然气等)的化学能以及原子核能通常都是通过燃烧或核反应转换成热能直接或间接加以利用。据统计, 目前, 通过热能形式被利用的能源在我国占总能源利用的 90% 以上, 世界其他国家也平均超过 85%。由此可见, 在能量转换与利用过程中, 热能不仅是最常见的形式, 而且具有特殊重要的作用。热能的有效利用对于解决我国的能源问题乃至对人类社会的发展有着重大意义。

热能利用主要有两种基本方式: 一种是直接利用, 即把热能直接用以加热物体, 以满足各种工艺流程和生活的需要, 如采暖、烘干、冶炼、熔化、蒸煮等; 另一种就是间接利用, 把热能转换成机械能或者再转换成电能加以利用, 如火力发电、交通运输及各种动力装置等。自从 18 世纪中叶发明蒸汽机以来, 至今虽然只有 200 多年的历史, 但却开创了热能动力利用的新纪元, 使人类社会的生产力和科学技术的发展突飞猛进。然而, 热能通过各种热机转换为机械能的有效利用程度(热效率)较低, 现代燃气轮机装置的热效率约为 37%~42%, 蒸汽电站的热效率也只有 40% 左右。如何更有效地实现热能和机械能之间的转换, 提高热机的热效率, 是十分重要的课题。

我国目前的热能利用技术水平与世界发达国家相比还有很大差距, 主要是热能利用系统落后, 热能利用率低, 经济性差。为了更加有效、合理地利用热能, 促进国民经济的发展, 工程技术人员要熟悉和掌握热能利用的规律和提高热能利用率的方法。

二、本课程的研究对象及主要内容

《热工与流体力学基础》是能源技术专业的主要专业基础课之一, 它由工程热力学、流体力学和传热学三部分组成。

工程热力学、流体力学和传热学内容十分丰富, 是物理学中热学和力学部分在工程领域

的延伸、扩展和细化。但其核心部分，也是能源技术专业选择的部分，是能量转换与传递的理论和工程应用的三个分支。工程热力学主要研究热能与机械能相互转换的规律、方法及提高转化率的途径，比较集中地表现为能量方程。该方程反映转换中总能量的守恒关系。流体力学是研究流体在平衡和运动时所遵守的规律及其在工程中的应用。在热工设备运行中工作介质的输送、冷与热的供应、除尘排毒等都是以前流体作为工作介质，通过流体的各种物理作用对流体的流动有效地加以组织来实现的。其主要理论依据为稳定流动能量方程，该方程展示流动过程中上下游截面间的机械能守恒规律。传热学主要研究热量传递的规律和方法，以及根据工程需要，研究提高传热效果或削弱传热以减小热损失的方法和途径。

工程热力学部分的主要内容包括：

- (1) 基本概念与基本定律，如工质、热力系、热力状态、状态参数及热力过程、热力学第一定律、热力学第二定律等，这些基本概念和基本定律是全部工程热力学的基础；
- (2) 常用工质的热力性质，其主要内容是理想气体、水蒸气、湿空气等常用工质的基本热力性质，工质热力性质的研究是具体分析计算能量传递与转换过程的前提；
- (3) 各种热工设备的热力过程，其主要内容有理想气体的热力过程、气体和蒸汽在喷管和扩压管中流动过程及蒸汽动力循环等热力过程的分析计算，这些典型热工设备热力过程的分析计算，是工程热力学应用基本定律结合工质特性和过程特性分析计算具体能量传递与转换过程完善性的方法示例。

流体力学部分的主要内容包括：流体的基本物理性质；流体静压力基本方程及测压管工作原理；流体稳定流动能量方程及应用；管路阻力及能量损失的分析、计算等。

传热学的主要内容包括：稳定导热、对流换热、辐射换热的分析及计算；换热器及传热过程的强化和削弱。

三、学习本课程的几点要求

由于流体流动和能量转换与传递过程的复杂性，其影响因素很多，本课程将涉及的某些理论和某些计算公式，并不完全是直接通过数学推理得出来的，而是通过数学推理与实验相结合的方法，或者是通过大量实验而总结出来的，这是本课程的重要特点之一。为了能学好本课程，各章节都安排了较多的计算习题。计算过程中所需的某些计算公式、流体的物理性质及其单位的确定，都是学习本课程时要注意的问题，这也是今后在实际工程计算中必须注意的问题。为此，提出以下几点要求。

1. 掌握不同单位制之间的换算

任何物理量的大小都是由数字和单位联合来表达的。过去，由于历史地区的原因及学科的不同要求，出现多种单位制度，致使计算和技术交流极不方便。1960年10月第十一届国际计量大会上正式通过一种优越性较大的单位制，称为国际单位制，代号为SI。SI制是一种完整的单位制，它包括了所有领域中的计量单位。这样，科学技术、工农业生产、经济贸易甚至日常生活中只使用一种单位制度。也就是SI制具有通用性的优点。在SI制中，同一种物理量只有一个单位，如能量、热、功的单位都采用焦耳(J)，这个优点称为“一贯性”。

以SI制为基础，我国于1984年颁布了《中华人民共和国法定计量单位》，于1993年发布了中华人民共和国国家标准GB 3100~3102-93《量和单位》。确定我国统一实行以国际单位制为法定单位，除个别领域外，不允许再使用非法定单位。

本书采用了法定计量单位，但考虑目前存在的书籍和手册中还有的采用非法定单位，所以在个别例题和习题有意识的编入一些非法定单位，目的是让读者练习单位之间的换算。

在进行物理量的单位换算时，物理量本身的量并没有改变，只是由于所采用的单位不