



西安交通大学

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY



“十五”规划教材

# 节能原理与技术

主编 李崇祥

编者 何茂刚 黄锦涛 严俊杰 秦国良



西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

西安交通大学“十五”规划教材

# 节能原理与技术

西安交通大学出版社

## 内容提要

本书在介绍世界能源形势及我国能源法规的基础上,介绍了节能基本原理,重点阐述能量平衡、热电联产、联合循环、热电厂节能理论,热管、热泵工作原理及其应用,风机与泵节能节电技术。对当前关注的新能源作了简要介绍。

本书内容丰富,取材新颖,主要章节均有例题,可以作为能源动力类、化工类、机械类专业本科生与研究生的教材,也可以作为工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

节能原理与技术 / 李崇祥主编. — 西安:西安交通大学出版社,2004.3  
西安交通大学“十五”规划教材  
ISBN 7-5605-1814-1

I. 节… II. 李… III. 节能-高等学校-教材  
IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 127199 号

书 名	节能原理与技术
编 著	李崇祥
出版发行	西安交通大学出版社
地 址	西安市兴庆南路 25 号(邮编:710049)
电 话	(029)82668357 82667874(发行部) (029)82668315 82669096(总编办)
印 刷	陕西宝石兰印务有限责任公司
字 数	382 千字
开 本	727mm×960mm 1/16
印 张	21
版 次	2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷
印 数	1~1000
书 号	ISBN 7-5605-1814-1/TK·87
定 价	32.00 元

版权所有 侵权必究

# 前 言

能源是人类赖以生存的重要物质基础,为社会的发展进步提供了强大的动力。随着生产的不断发展,人民生活水平的不断提高,能源需求量日益增加,世界能源特别是常规能源,面临着枯竭的危险。坚持开发与节能并重的方针,以应对愈来愈紧张的能源局势,显得日益迫切与重要。

本教材系统地阐述了节能的原理与技术。在介绍世界能源的基本状况及节能基本原理的基础上,分章详细介绍能源与动力工程领域业已出现的节能技术和装置,旨在使学生和工作在该领域的工程技术人员,熟悉节能技术,在包括能源开发、动力机械设计以及系统运行工作中,树立起节能观念,采取各种可能的措施,提高能源转换效率,开发各种节能新技术,提高能源利用率和系统、装置的工作效率。在取材上,本书在介绍成熟、实用的节能知识的同时,尽可能介绍当前最新的节能研究的成果与技术,反映我国的能源、环保方面的方针政策,力求使学生了解节能的意义,全面地掌握高效利用能源的理论、途径与方式。在内容安排上,注意到理论上的系统性,认识上的连续性与递进性。将热电厂的节能理论、热电联产及联合循环集中讨论,把该领域的最新研究成果介绍给读者,引入了循环叠置与能量的梯级利用的概念。进而介绍节能效果很好、广泛使用的节能设备热管与热泵,工业生产中用量大面广的动力机械风机的节能、节电技术。新能源的开发和利用是当前人们关注的问题,也简要作了介绍。本书每章后面列出了大量参考文献,供读者进一步研究时参考。

本书讨论的是能源与动力工程领域的节能问题,但其理论价值、节能措施及技术,却完全适用于其他领域。

本书吸取了当前国内节能类图书的优点,可作为高等院校热能与动力工程专业及相关专业本科生及研究生的教材,也可作为从事能源工作的工程技术人员参考书。

本书由李崇祥任主编并编写绪论及第3章;何茂刚编写第1、2、7、8、10章;黄锦涛编写第4、5章;严俊杰编写第6章;秦国良编写第9章。

本书由西安交通大学陈昕宽教授主审。陈教授在百忙中仔细阅读了书稿,提出了许多宝贵的修改意见与建议,使我们受益匪浅,为本书的问世做出了重要贡献。西安交通大学朱因远教授,陶文铨教授以及西安交通大学教务处副处长

何雅玲教授,对本书的编写给予了很大支持和帮助。在此对他们一并表示衷心的感谢。

限于作者水平,加之编写时间仓促,书中错误在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2003年10月

# 目 录

前言	
绪论	
第 1 章 概述	
1.1 能源 .....	(1)
1.2 能源消费及资源状况 .....	(3)
1.3 能源对策 .....	(6)
1.4 节能的意义和途径 .....	(7)
参考文献 .....	(10)
第 2 章 节能原理	
2.1 能量分析的基本概念 .....	(11)
2.2 热力学第一定律和第二定律 .....	(13)
2.3 合理利用能量的原则 .....	(19)
参考文献 .....	(21)
第 3 章 能量平衡	
3.1 概述 .....	(22)
3.2 热平衡 .....	(23)
3.3 设备热平衡 .....	(30)
3.4 烟平衡 .....	(37)
3.5 热平衡及烟平衡结果的表示方法 .....	(45)
3.6 提高能源利用率的途径 .....	(46)
参考文献 .....	(49)
第 4 章 热电联产	
4.1 概述 .....	(51)
4.2 热电联产理论 .....	(60)
4.3 热电联产热负荷 .....	(73)

4.4	热电联产技术的发展	(82)
4.5	热电冷三联产	(90)
	参考文献	(93)
<b>第5章 联合循环</b>		
5.1	概述	(95)
5.2	联合循环的基本型式	(101)
5.3	联合循环性能的理论分析	(109)
5.4	整体煤气化联合循环(IGCC)	(116)
5.5	增压流化床联合循环(PFBC-CC)	(125)
	参考文献	(135)
<b>第6章 发电厂热力系统节能理论</b>		
6.1	凝汽机组等效热降理论	(138)
6.2	再热机组热力系统节能理论	(150)
6.3	供热机组等效热降理论	(158)
6.4	计算实例	(160)
6.5	核电机组常规岛热力系统节能理论	(166)
	参考文献	(177)
<b>第7章 热管及热管换热器</b>		
7.1	热管的基本知识	(178)
7.2	热管理论	(183)
7.3	热管的设计	(194)
7.4	热管换热器及其应用	(205)
	参考文献	(211)
<b>第8章 热泵技术及应用</b>		
8.1	热泵的基本知识	(213)
8.2	热泵原理及其理论循环	(224)
8.3	热泵工质和主要设备	(236)
8.4	热泵的应用	(254)
	参考文献	(260)

## 第 9 章 风机与水泵节能技术

9.1 风机与泵的工作原理及性能曲线 .....	(261)
9.2 风机与泵的联合工作 .....	(268)
9.3 风机与泵的合理选型 .....	(276)
9.4 风机与泵的节能调节方法 .....	(281)
参考文献 .....	(292)

## 第 10 章 新能源

10.1 核能 .....	(294)
10.2 太阳能 .....	(297)
10.3 风能 .....	(300)
10.4 海洋能 .....	(303)
10.5 地热能 .....	(310)
10.6 生物质能 .....	(314)
10.7 氢能 .....	(317)
参考文献 .....	(321)

# 绪 论

能源是人类赖以生存与社会发展的重要物质基础,是推动国民经济发展的强大动力。

纵观人类发展史就不难发现,社会的每一次进步都与能源的开发利用密不可分。古人“钻木取火”,实现了利用能源的第一次大突破,从此以薪炭燃料为能源,改变了原有的生活方式,促进了原始社会的发展。在长期的生产斗争中,人类开始使用畜力、水力、风力等自然力,这是人类利用能源的第二次突破,它促进了生产力的发展,也促进了奴隶社会和封建社会的形成。嗣后,煤炭等化石燃料的应用,带动了“蒸汽机”的发展,人类进入蒸汽机时代,引发了18世纪的工业革命,推动了资本主义的发展。在人类开始探索热能到机械能的转变方式的100年后,即19世纪70年代,人们发现了一种更为强大能量形式——电能,电能的应用促进了电器工业的形成,电动机在很多场合取代了蒸汽机,劳动生产率得到迅速提高。与此同时,世界能源消费结构也在悄然发生变化,石油、天然气以及石油制品和电能等新型高效燃料被广泛使用,改变了以煤炭为主要燃料的状况。1939年,人们发现了原子核的“链式裂变反应”,借助于以铀、钍、钷等放射性元素核裂变反应和氦、氘的核聚变反应放出的巨大能量,人类开始了核能的应用时代。

能够提供能量的各种资源,统称为能源。包括与太阳有关的矿物资源以及水力、风力、海洋能等,与地球有关的地热、核燃料等,以及与月球有关的潮汐能等。能量是物质存在的一种形式,种类很多,但就其应用形式看,主要有:①机械能。这是一种高品位的能有效地转换为其他形式的能,常以功的形式出现。②热能。这是最基本的能量形式,常以分子运动的激烈程度来表征。③电能。这是一种和电子流动有关的能量形式,它可有效地转变为其他能量形式。④化学能。从化学反应中释放出来的一种储存能。⑤核能。通过核裂变或核聚变释放出来的一种储存能。⑥辐射能。即电磁能。

热能是最早为人们认识并应用的能量形式之一,现代化工业的发展,无不与热能的转换和利用有着密切的关系。现代能量利用中,大量的的是直接利用热能,或将热能转换为其他形式的能量如电能、机械能加以利用的。常规能源,如煤炭、石油、天然气等矿物质资源,是通过燃烧将化学能转变为热能加以利用,或进而经过蒸汽轮机转变为机械能,实现动力拖动,驱动水泵抽水或驱动发电机发电。核能利用在目前也主要是把核裂变产生的热能直接利用或通过电站设备进

行核发电、磁流体发电等生产电力。核聚变产生的大量热能如何利用正在研究之中。地热能则可以直接提供热水、供暖或用来发电。就是作为新能源的太阳能,也主要是用于采暖、提供热水或太阳能电池。由此可见,上述各种能源利用过程中无不伴随着热现象,足见热能在能量利用中有着十分重要的地位。

人类的生存和社会的发展离不开动力,人们很早就开始利用天然动力如风力、水力,以及畜力从事简单的生产活动,减轻自己的劳动强度并取得更多的收获。18世纪第一台蒸汽机的出现,引起了第一次工业革命。此后的200年间,各种发动机相继问世,促进了人类文明的进步。内燃机的诞生引发了汽车工业的发展;燃气轮机的出现奠定了航空工业和宇航事业的基础;蒸汽轮机使得电力工业变为主导动力工业;第一颗原子弹的爆炸,启发了和平利用原子能的思想,从而促进了原子能电站的发展。可以说,没有动力就没有科学技术的进步。而动力是由动力机械(包括原动机和从动机)消耗某种能量形式产生的,热能在其中起着不可替代的作用。

目前,赖以提供热能的主要能源有煤炭、石油、天然气,称作常规能源。还有太阳能、氢能、核能等,称作新能源。随着生产的发展和人们生活质量的提高,能源消费水平一直处于上升趋势,对煤炭、石油、天然气、电能以及洁净能源的需用量愈来愈大。尽管世界能源储量很大,但必定有限,常规能源中不可再生能源又占很大比重。资料显示,按现在的能源消费速度,世界煤炭储量再过400余年,石油储量再过40余年,天然气再过60余年将使用殆尽,世界范围内将出现能源枯竭的状况。因此,在寻求开发新型能源的同时,大力节约常规能源,不断提高能源转换利用效率已成当务之急。

世界各国对节能工作都十分重视,作了许多研究,采取了许多措施。我国政府制定的开发与节约并重的能源方针,正是应对这种能源形势的需要,在《国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》中指出:“坚持资源开发与节约并举,把节约放在首位,依法保护和合理使用资源,提高资源利用效率,实现永续利用。”因此,我国能源发展战略为:“在保障能源安全的前提下,把优化能源结构作为能源工作的重中之重,努力提高能源效率、保护生态环境,加快西部开发”。

在我国,能源利用过程中存在着巨大的节能潜力。主要的能源转换设备及系统,如热力发电厂、内燃机械等,转换效率较低,与世界水平有较大差距。而6 MW以上机组的火力发电厂,平均煤耗率 $370 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 以上,比起发达国家高出 $50 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 以上。我国能量生产以单一能量为主,生产过程使用单一热力循环,这都限制了能量转换效率的提高。工业生产中大量的废热、废气、余热,多数被排放到环境中去,既浪费了能源又污染了环境。如果加以利用,将是一笔可观的能量资源。

节能包括两方面内容。一是节约能源,在能源的开采、开发、运输、储藏过程

中,尽可能减少不必要的损失,从源头杜绝浪费,节约天然资源。二是节约能量,在能源的转换、利用过程中,不断提高能源转换效率,做到物尽其用。这是深层次的节能工作,包括机械节能、电力节能、动力节能及化工节能等,涉及的范围又十分广泛,从动力系统、动力机械,到机械、冶金、纺织、交通、建筑、建材、农业、轻工等领域都会涉及。

众所周知,在能源的开发、利用、转换过程中,必然伴随着能量的损失,同时会产生大量余热、废热,品位虽不高但数量却可观。这就为动力系统节能指出了方向,理论研究和生产经验表明,节能工作可从以下几方面入手。

### 1. 提高能量转换设备的效率

热力学第二定律指出:一切自发过程都是不可逆过程,无需施加任何条件就可自动进行。而对于非自发过程,则其实现一定要有另一个自发过程来推动。热能转变为机械能是一个非自发过程,为了实现这一过程必须付出代价,造成能量的损失。我们的任务就是尽量减少这一损失,最大限度的加以利用。为此,对能量转换设备及用能企业进行热平衡与<sub>用</sub>平衡,对汽轮机组进行节能诊断分析等,尽量提高转换设备的转换效率。

### 2. 开发推广联合循环

建立循环叠置的概念,对各种能量转换过程进行分析,取长补短,互补利用能源,推广联合循环,开发新的热力循环,提高系统能源利用率。如燃气-蒸汽联合循环,发电效率可达60%以上。

### 3. 确立能量的梯级利用概念,发展热电冷联产

冷凝式发电厂的发电效率不足40%,冷源损失约55%以上,若加以回收利用则可大大提高电厂效率。发展热电联产的理论效率可达100%,发电煤耗可降到250 g/(kW·h)左右。若发展热电冷三联产,则可实现同时发电、供热和制冷。

### 4. 采用各种技术及设备回收余热、废热资源

热管与热泵是优良的余热、废热利用设备。热管是一种高效的换热设备,具有传热能力强、热负荷高等优点。热泵只需花费少量驱动能量,就可以将低品位热能转化为有用的热量,应该大力推广。

### 5. 开展能源的综合利用

建设坑口电站以减少运输费用。建设坑口能源联合体,可将煤炭生产、电力生产、化工生产结合起来,充分利用能源。

我国能源利用率远低于发达国家水平,GDP能源强度大,能源浪费就大,同时也意味着节能的潜力大。只要我们对节能给予足够的重视,采取各种节能技术和措施,一定会取得显著的成效,实现自我国每万元国内生产总值能耗,到2010年降低到1.25 t标准煤,2030年0.54 t标准煤和2050年0.25 t标准煤的目标。

# 第 1 章

## 概 述

### 1.1 能源

#### 1.1.1 能量及其分类

一切物体都是运动着的,而运动必然伴随着能量的消耗和转化。所谓能量,就是产生某种效果或变化的能力,而产生这种效果或变化的过程必然伴随着能量的消耗和转化。

人类目前所认识并利用的能量主要有 6 种形式。

##### 1. 机械能

机械能包括固体和流体的动能、势能、弹性能及表面张力能等。其中的动能和势能是被人类最早认识并利用的能量。

##### 2. 热能

构成物质的微观分子运动所具有的能量即表现为热能。

##### 3. 电能

电能是和电子流动与积累有关的一种能量。通常是由化学能、机械能和核能等能量转化而来。

##### 4. 辐射能

物体以电磁波形式发射的能量称为辐射能。太阳能就是最普通也是对人类最重要的辐射能。

##### 5. 化学能

化学能是物质结构能的一种,是存在于物质中各组织间连接键内的能量,在原子核外进行化学变化时产生。化学热力学中,物质或物系在化学反应过程中以热

量形式释放的内能即称之为化学能。这是人类目前利用非常广泛的能量之一。

## 6. 核能

核能是蕴藏在原子核内部的物质结构能，当发生核反应时产生，包括放射性衰变，核裂变和核聚变。

### 1. 1. 2 能源及其分类

能源是人类赖以生存和发展的重要物质基础，是发展工业、农业、交通运输、科学技术、国防，以及改善人民生活所必需的燃料和动力来源。

由于能源的形式多种多样，因此从不同的角度，对能源的分类也不相同。

#### 1. 按能源获取方式

(1) 一次能源 自然界中以天然形式存在而不需要经过加工或转换即可利用的能量资源。如煤炭、石油、天然气、油页岩、核燃料、植物秸秆、水能、风能、太阳能、地热能、海洋能、潮汐能等。

由于水能、风能、太阳能等能源不会随它本身的转化或被人类利用而耗尽，可不断再生并得到补充，称之为可再生能源。

而煤炭、石油、天然气等化石燃料在短期内无法再生，随着人类的利用会耗尽，称之为非再生能源。

(2) 二次能源 又叫人工能源，指由一次能源直接或间接转换而来的能量资源。如电力、蒸汽、煤气、焦炭、汽油、煤油、柴油、氢气、激光等。

#### 2. 按能源开发先后

(1) 常规能源 指早已被人类广泛利用，并在人类生活和生产中起着重要作用的能源。常规能源通常是指煤炭、石油、天然气和水能。

(2) 替代能源 又称新能源，指近期被人类开发利用，或有待于进一步研究的能量资源。目前，常用替代能源主要包括太阳能、地热能、潮汐能、生物质能、氢能以及核聚变能等。核裂变能的利用已有数十年的历史，但在我国核电站数量很少，仍可被看作新能源。

#### 3. 按能源来源

(1) 地球本身蕴藏的能源 主要有地热能，核能等。

(2) 来自太阳的能源 如宇宙射线及太阳能，以及由太阳能引起的水能、风能、波浪能、海洋温差能、生物质能，矿物质燃料等。

(3) 地球与其他天体相互作用产生的能量 如潮汐能。

#### 4. 按能源自身性质

- (1) 合能体能源 指可以直接储存的能源,如石油、煤、天然气、地热、氢能等。
- (2) 过程性能源 指无法直接储存的能源,如水能、风能、潮汐能、电能等。

#### 5. 按能源对环境的污染程度

- (1) 清洁能源 指对环境无污染或污染很小的能源,如太阳能、氢能、水能、海洋能等。
- (2) 非清洁能源 是指对环境污染较大的能源,如煤炭、石油、天然气等。

## 1.2 能源消费及资源状况

### 1.2.1 世界能源消费及资源状况

随着经济的不断发展,世界能源的消费也迅速增长,能源消费的总体结构仍以石油、煤炭(包括火电)、天然气、水电和核电为主。

#### 1. 世界能源消费状况

表 1.1 给出了 1950~2001 年世界能源消费(折算成标准煤)的情况,右边的数字为各种能源消费占总消费量的比例。

表 1.1 1950~2001 年世界能源消费的情况

年份	总消费量	煤炭		石油		天然气		核电		水电	
		Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%
1950	1 750	1 009.7	57.7	542.5	31.0	169.8	9.70	28.0	1.6	0	0
1960	2 890	1 329.4	46.0	1 092.4	37.8	410.4	14.2	57.8	2.0	0	0
1970	4 850	1 479.2	30.5	2 361.9	48.7	902.1	18.6	101.9	2.1	4.9	0.1
1980	6 370	1 802.7	28.3	3 095.8	48.6	1 267.6	19.9	146.5	2.3	57.3	0.9
1990	8 030	2 192.2	27.3	3 099.6	38.6	1 734.5	21.6	538.0	6.7	465.7	5.8
2001	13 076	2 255.1	24.7	3 512.1	38.5	2 161.2	23.7	601.2	6.6	594.5	6.5

由表 1.1 可见,能源消费结构每年都在发生变化,且具有以下特点。

- (1) 消费水平呈逐年上升趋势 20 世纪下半叶,世界能源消费的平均增长速度以指数曲线上升,而人均能耗以几何级数上升,大约 25 年翻一番。
- (2) 消费结构变化明显 煤炭消费比例呈逐年下降趋势,石油和天然气的消费比例不断上升。石油和天然气使用方便、热值高、使用范围广,而且对环境的污染小。因此,世界各国为提高能源利用效率、降低能源系统成本,都在降低以煤炭

为主的固体燃料的比例,加大以石油、天然气为主要燃料的消费比例。

(3) 电能被广泛应用 电能是二次能源,用途广泛,高效清洁,适应现代社会发展要求,因而在能源消费总量中的比重逐年上升。2000年,世界主要的发达国家,如美国、加拿大、日本、德国、法国、俄罗斯等,电力消费占能源消费总量的比例均高于40%,中国的电力消费的比例也达到30%左右。

## 2. 世界能源资源状况

根据BP Amoco石油公司发表的世界能源统计报告,截至到2001年末,全世界各种能源资源的大致情况如下。

煤炭剩余可采储量为 $9.84 \times 10^{11}$  t,按2001年世界煤炭产量 $2.25 \times 10^9$  t折算,储采比约为437年。

石油剩余可采储量为 $1.43 \times 10^{11}$  t,按2001年世界石油产量 $3.58 \times 10^9$  t折算,储采比约为40年。

天然气剩余可采储量为 $1.55 \times 10^{14}$  m<sup>3</sup>,按2001年世界天然气产量 $2.46 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>折算,储采比约为63年。

2001年全世界煤炭、石油和天然气的消费约占整个一次能源消耗的87%。分析上述数据可以看出,常规能源的供给将会日趋紧缺。

## 1.2.2 我国能源的消费和资源状况

### 1. 我国能源消费状况

建国以来,我国能源(折算成标准煤)的消费情况列于表1.2,右边的数字为各种能源消费占总消费量的比例。

表 1.2 建国以后中国能源消费的情况

年份	总消费量	煤炭		石油		天然气		水电	
		10kt	%	10kt	%	10kt	%	10kt	%
1957	9 644	8 901.4	92.3	443.6	4.6	9.6	0.1	289.3	3.0
1965	18 901	16 273.8	86.1	1 946.8	10.3	170.1	0.9	510.3	2.7
1970	29 291	23 696.4	80.9	4 305.8	14.7	263.6	0.9	1 025.2	3.5
1975	45 425	32 660.6	71.9	9 584.7	21.1	1 135.6	2.5	2 089.6	4.6
1980	60 275	43 518.6	72.2	12 476.9	20.7	1 868.5	3.1	2 411.0	4.0
1985	76 682	58 125.0	75.8	13 112.6	17.1	1 687.0	2.2	3 757.4	4.9
1990	98 703	75 211.7	76.2	16 384.7	16.6	2 072.8	2.1	5 033.9	5.1
1995	131 176	97 857.3	74.6	22 955.8	17.5	2 361.2	1.8	8 001.7	(6.1)*
2001	120 329	74 602.0	62.0	33 231.3	27.6	3 570.7	3.0	8 926.0	(7.4)*

\* 包括核电。

## 2. 我国的能源资源

我国地大物博、资源丰富,自然资源总储量居世界第七位。能源资源总储量约折合4万亿t标准煤,居世界第三位。其中:煤炭探明储量为10 024.9亿t,经查可采储量893亿t,居世界第三位;石油储量为930亿t,天然气储量为383亿m<sup>3</sup>,现已探明的储量分别约占资源量的20%和3%;水力的可开发装机容量为3.78亿kW,居世界首位;新能源与可再生能源资源丰富,风能资源约为16亿kW,其中可开发利用的风能约2.53万亿kW,地热资源的远景储量为1 353.5亿t标准煤,其中探明储量为31.6亿t标准煤,太阳能,生物质能、海洋能等储量更处于世界领先地位。

但是,我国人口众多,约占世界总人口的21%。而已探明的非再生能源储量占世界总储量的比例分别为:煤炭11%,石油2.4%,天然气1.2%。人均能源占有量不到世界平均水平的一半,石油仅为1/10。能源资源相对匮乏。我国与世界主要国家1999年的主要能源经济指标对比列于表1.3。

表 1.3 1999 年世界各国能源经济主要指标

国家	人口 百万	GDP 10 亿美元	一次能源产量 Mt 标准油	一次能源供给 Mt 标准油	电力消费量 10 亿 kW·h	人均占有能源 吨标准油/人	人均电力消费 kW·h/人
美国	273.00	8 587.70	1 687.89	2 269.98	3 672.06	8.32	13 450.96
中国	1 260.32	1 112.84	1 057.01	1 106.24	1 179.13	0.88	935.58
俄罗斯	146.20	323.24	950.59	602.95	735.90	4.12	5 033.52
日本	126.69	5 356.14	104.22	515.45	1 030.06	4.07	8 130.77
印度	997.52	449.12	409.79	480.42	417.58	0.48	418.62
德国	82.09	2 603.18	132.96	337.20	531.96	4.11	6 480.45
法国	60.27	1 697.58	127.62	255.04	430.47	4.23	7 141.99
加拿大	30.49	663.3	366.55	241.78	505.26	7.93	16 570.82
英国	59.50	1 255.78	282.22	230.32	351.17	3.87	5 901.92
巴西	167.97	752.27	133.65	179.70	314.70	1.07	1 873.54
意大利	57.63	1 170.75	27.75	169.04	289.11	2.93	5 016.61
西班牙	39.42	674.95	30.70	118.47	194.72	3.01	4 939.75
荷兰	15.81	476.28	59.05	74.07	101.16	4.69	6 399.70
全世界	5 921.39	32 445.29	9 722.55	9 774.48	13 502.41	1.65	2 280.27

目前我国能源现状和特点。

(1) 能源生产和消费结构仍以煤炭为主 我国是世界主要国家中最依赖于煤炭的国家。从表 1.2 中可见,2001 年一次能源消费结构中,世界煤炭、石油、天然气、水电(包括核电)比例分别为 24.7%、38.5%、23.7%和 13.1%,美国同比数据分别为 24.8%、40.0%、24.9%、10.3%,我国同比数据分别为 62.0%、27.6%、3.0%、7.4%。相比之下,我国的能源结构很不合理。以煤为主的能源结构是造成能源浪费、环境污染和能源利用率低下的主要原因。

(2) 人均能源消费水平仍很低 我国自改革开放以来,经济迅速发展,能源消费量也日益增大。从表 1.3 可以看出,1999 年我国一次能源的总消费量为 1 106.24 Mt 标准油(折合 1 585.24 Mt 标准煤),仅次于美国居世界第二位,占全世界一次能源消费量的 11.3%。但我国人均能源消费水平仍很低,1999 年我国人均能源消费量仅 0.88 t 标准油,约为世界人均能源消费水平的 1/2,美国人均能源消费水平的 1/10。

(3) 能源利用率低 当前国际上通常采用国内生产总值(GDP)的能耗强度作为衡量能源效率的宏观指标。GDP 能耗强度是指单位国内生产总值所消费的能源量,GDP 能耗强度低,表示能源利用率高,反之亦然。1999 年我国 GDP 能源强度为 0.99 t 标准油/千美元,约为世界平均水平的 3.3 倍,美国的 3.8 倍,日本的 10.3 倍。由此可见,我国的能源利用效率远远低于世界的平均水平。

(4) 电力增长迅速,但电力消费水平仍然很低 从 1980 年到 2000 年,我国电力总消费量由 3 006 亿 kW·h 时增加到 11 503 亿 kW·h,平均年增长率为 7%左右。电能是高效、清洁的二次能源,增加一次能源用于发电的比重,有利于环境保护,也有利于提高总能源利用效率。1980 年我国用于发电的能源占一次能源总量的 20.6%,1999 年增加到 33.8%,有了很大提高,但同期世界平均水平为 42.0%,美国则已达到 65.7%,几乎是我国的 2 倍。1999 年我国人均电力消费量为 935.58 kW·h,而世界平均为 2 280.27 kW·h,是我国的 2.44 倍,美国人均电力消费达 13 450.96 kW·h,约为我国的 14.38 倍。

## 1.3 能源对策

能源工业作为基础产业,对于社会进步、经济发展和提高人民生活水平都至关重要。新中国成立以后,特别是改革开放以来,我国能源建设发展迅速,取得了巨大成就。主要表现在:能源产量迅速增加;能源结构不断优化;重大能源工业项目的建设加快;能源工业的现代化程度和技术水平日益提高;能源工业管理体制不断改革;节能工作卓有成效。长期困扰国民经济和社会发展的能源“瓶颈”已大大缓