



全国高等职业教育示范专业规划教材
热能动力类专业

热平衡与节能技术

REPINGHENG YU JIENENG JISHU

陈军 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

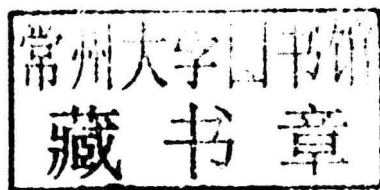


配电子课件

全国高等职业教育示范专业规划教材
(热能动力类专业)

热平衡与节能技术

陈 军 编



机械工业出版社

本书是为了适应当前企业应用节能技术的需要编写的。全书共分 11 章, 内容包括: 能量有效利用的热平衡分析方法, 烟与焓平衡的基本理论, 节能的技术经济评价, 锅炉、工业炉的热平衡与焓平衡, 冷凝锅炉节能、热泵节能等节能新设备, 能源审计等。本书还有大量的工程应用型例题。

该书的主要特点是密切联系工程实际, 并充分反映了国内外本领域的新成果。

本书为高等专科学校教学用书, 也可作为热能工程、热能管理、锅炉及其他热力设备企业热平衡与节能技术的培训教材, 还可以作为各级能源管理人员、热能工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

热平衡与节能技术/陈军编. —北京: 机械工业出版社, 2012. 3

全国高等职业教育示范专业规划教材. 热能动力类专业

ISBN 978-7-111-37756-6

I. ①热… II. ①陈… III. ①热平衡—高等职业教育—教材②节能—
高等职业教育—教材 IV. ①TK123②TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 047399 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: 王海峰 责任编辑: 王海峰 张丹丹

版式设计: 霍永明 责任校对: 张玉琴

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 李 妍

中国农业出版社印刷厂印刷

2012 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11.25 印张 · 273 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-37756-6

定价: 22.00 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

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着社会的不断进步与科学技术的不断发展，人们越来越关心赖以生存的地球，世界上大多数国家也充分认识到了环境对人类发展的重要性。各国都在采取积极有效的措施改善环境，减少污染。这其中最为重要、最为紧迫的问题就是能源问题，要从根本上解决能源问题，除了寻找新的能源外，节能也是目前最直接有效的重要措施。

现在各种节能技术和产品丰富多样，并且在不断地推陈出新。本书是为适应我国节能迅速发展、专业人才亟待培养的需要而编写的，可供各类高等专科学校相关专业教学使用，也可作为热能工程、热能管理、锅炉及其他热力设备企业热平衡与节能技术的培训教材，还可以作为各级能源管理人员、热能工程技术人员的参考书。

本书密切联系工程实际，内容新颖，充分反映了国内在节能方面所取得的新成果，同时注意吸取国外在节能方面的先进经验，反映国外科学技术的新成果。编者的主观愿望是，努力使本书成为较系统论述企业节能技术的专业教材，更好地适应教学及各方面的实际需要。

由于本书涉及面广，编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者赐教指正。

编 者

目 录

前言

第一章 能源简介..... 1

第一节 概述..... 1

第二节 能源与能的评价指标..... 5

第三节 中国能源发展现状..... 8

第四节 节能术语与评价指标 12

第二章 能量有效利用的热平衡分析方法 15

第一节 能量系统及其描述 15

第二节 能行为规律的数学表达 ... 19

第三节 热平衡分析法 21

第三章 锅炉机组热平衡与实例 31

第一节 锅炉机组热平衡组成 31

第二节 锅炉机组热效率 33

第三节 固体不完全燃烧热损失 ... 35

第四节 化学不完全燃烧热损失 ... 38

第五节 排烟与散热损失 40

第六节 其他热损失及锅炉燃料消耗量 44

第七节 锅炉热平衡计算实例 45

第八节 管式加热炉热平衡 48

第四章 焓分析法 55

第一节 焓分析基本概念 55

第二节 焓的计算 59

第三节 焓平衡与评价 63

第四节 锅炉焓分析实例 65

第五章 节能的技术经济评价 78

第一节 技术经济分析基础 78

第二节 资金的时间价值及其等值计算 80

第三节 技术经济的可比性 85

第四节 节能经济评价的常用方法 90

第五节 节能技术改造项目的技术

经济评价 92

第六章 锅炉、加热炉节能技术 97

第一节 提高锅炉热效率的常规

途径 97

第二节 锅炉经济运行与管理..... 100

第三节 高效燃烧器..... 107

第四节 锅炉燃烧的监视与调整..... 113

第七章 冷凝锅炉节能..... 123

第一节 概述..... 123

第二节 冷凝余热回收锅炉热效率分析..... 123

第三节 冷凝余热回收锅炉与辅助设备连接方式..... 126

第八章 热管节能技术..... 129

第一节 热管及热管换热器

概述..... 129

第二节 热管的应用领域..... 139

第九章 其他节能方法..... 142

第一节 变频节能..... 142

第二节 热电厂汽动给水泵节能分析..... 144

第三节 蓄热式高温空气燃烧技术的应用..... 147

第十章 热泵节能..... 156

第一节 热泵概述..... 156

第二节 土壤源热泵..... 160

第十一章 能源审计简介..... 163

第一节 概述..... 163

第二节 企业能源审计..... 165

参考文献..... 173

第一章 能源简介

第一节 概 述

一、能的基本概念

能是物体或物质系统做功的能力或做功的本领，是物质运动的量度。早在 1649 年，法国著名哲学家伽桑狄提出“能”一词，1802 年以后，托马斯·扬从势能、功、变形能等特殊运动能力的量度抽象出科学的能概念，作为各种机械运动的共同量度。1851 年，开尔文从热和机械运动能力之间内在的当量关系，抽象出机械能和能的概念。之后，他把能的概念进一步普遍化，指出能是各种物质运动形态运动能力的共同量度。1905 年，爱因斯坦撰文说明质量是能的一种形态，它可以转化为其他形态能。

相应于不同形式的运动，能可分为以下几种。

1. 机械能

物体或物质系统因作机械运动而具有的能称为机械能。机械能与物体的位置以及位置的变化有关，其大小等于物体或物质系统在某一时刻所具有的宏观动能和宏观势能的总和。机械能的获得可以采用多种不同的方式，例如，热力发动机通过燃气或水蒸气的膨胀做功过程使热能转变为机械能；水轮机则利用水头落差把势能转变为机械能。

2. 内能

物体因内部微观粒子的热运动而具有的能称为内能或“热能”。内能与物质的热运动相联系，其大小等于宏观物体内部所有分子热运动的动能、分子间相互作用的势能以及分子内原子、电子等运动的能量总和。物体系统的内能取决于温度、体积及外场等因素，因此可以通过向物体传递热量以改变物体系统的温度，做机械功以改变物体系统的体积，以及改变外场等途径来改变内能。如果将由外场变化引起的内能变化也归结为外场对物体系统做了电磁功，那么改变内能的途径就可以概括成两个：传递热量和做功。

3. 电磁能

彼此相联系的交变电场和磁场所具有的能称为电磁能，它与物质的电磁运动相联系。由于电磁场对电荷有洛伦兹力作用，所以电磁能可以通过磁场对运动电荷做功而与其他形式的能量（如热能、机械能等）相互转化。例如通过发电机将机械能转换为电能，通过电动机将电磁能转换为机械能和热能等。

4. 辐射能

辐射能包括电磁波、声波、弹性波、核放射线等所传递的能量。例如，太阳能是典型的辐射能，具有温度的物体均能发出热辐射。

5. 化学能

物质系统的分子结构发生改变时释放的物质结构能称为化学能，它是对物质化学运动所

作的最一般的描述。化学能的大小仅取决于发生化学反应的物质系统中各种物质的分子结构及其数量，而与该物质系统的温度无关。当参与化学反应的某些物质的分子相互发生化学作用，原有物质的分子结构遭到破坏而产生新的反应生成物时，将会导致反应前后整个物质系统的化学能发生变化，并转化为其他形式的能。

6. 核能

原子核在转变过程或反应过程中释放出来的能称为核能，它是区别于化学能的另一种物质结构能。核能起源于将中子和质子保持在原子核中的一种特别强大的短程相互作用力，这种作用力远远大于原子核与外围电子之间的相互作用力，核反应中释放的能量比化学能大几百万倍。核能的获得有两种途径：一是重核的裂变，二是轻核的聚变。

二、能源及其分类

能源是指可以直接或通过转换为人类生产与生活提供能量和动力的物质资源。能源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础。纵观人类社会发展的历史，人类文明的每一次重大进步都伴随着能源的改进和更替。能源的开发利用极大地推进了世界经济和人类社会的发展。

依据不同的基准，能源有不同的分类方法。

1. 按形成条件分类

按形成条件能源可分为一次能源和二次能源。

(1) 一次能源 一次能源是指从自然界取得的未经任何改变或转换的能源，如原煤、原油、天然气、生物质能、水能、核燃料，以及太阳能、地热能和潮汐能等。

一次能源可采取两种方式进行分类，即根据成因分类和根据其能否循环使用和不断得到补充分类。

1) 根据成因可分为以下三类：第一类是来自太阳热核反应释放的能量；第二类是蕴藏在地球内部的岩石和流体中的地热能，以及放射性矿物蕴藏的核能；第三类是月球、太阳和地球的相互作用产生的潮汐能。

2) 根据其能否循环使用和不断得到补充分为以下两类：

① 再生能源，也称“可再生能源”，是指在自然界生态循环中能不断再生，并有规律地得到补充，不致因不断开发而枯竭的一次能源。它包括水能、太阳能、潮汐能、生物质能和地热能等。

② 非再生能源，也称“不可再生能源”，是指自然界经亿万年形成而储存下来的，因数量有限，将随着人类不断开采而枯竭，短期内又无法再生的一次能源。它包括原煤、原油、天然气等化石燃料和核燃料。

(2) 二次能源 二次能源也称“次级能源”或“人工能源”，是由一次能源经过加工或转换得到的其他种类和形式的能源，包括煤气、焦炭、汽油、煤油、柴油、重油、电力、蒸汽、热水及氢能等。一次能源无论经过几次转换所得到的另一种能源，都被称作二次能源。在生产过程中的余压、余热，如锅炉烟道排放的高温烟气，反应装置排放的可燃废气、废蒸汽、废热水，密闭反应器向外排放的有压流体等，也属于二次能源。

2. 按使用性能分类

按使用性能不同，能源可以分为燃料能源和非燃料能源。

(1) 燃料能源 燃料是指燃烧时能产生热能和光能的物质。作为燃料使用，并主要以

热能形式提供能量的能源即为燃料能源。燃料能源既可按来源分为矿物燃料（如煤、油、气等）、生物燃料（如藻类、木料、沼气、各种有机废物等）以及核燃料（如铀、钍等），也可按形态分为固体燃料（如煤炭、木料、铀等）、液体燃料（主要是石油及其产品，常用的还有甲醇、水煤浆和煤炭液化燃料等）以及气体燃料（如天然气、氢气及煤炭气化制得的煤气等）。

（2）非燃料能源 非燃料能源是指不作为燃料使用，直接产生能量提供人类使用的能源，如水能、风能、潮汐能、海洋能及激光能等。其中多数包含机械能，有的也包含着热能、光能和电能。

3. 按利用状况分类

（1）常规能源 常规能源又称传统能源，是指在现有经济和技术条件下，已经大规模生产和广泛使用的能源，如煤炭、石油、天然气、水能和核裂变能。常规能源是人类目前利用的主要能源，在讨论能源问题时，主要也是指的这些能源。

（2）新能源 新能源是指在新技术基础上系统地开发利用的能源，是正在开发利用但尚未普遍使用的能源。现在世界上重点开发的新能源有：太阳能、风能、海洋能、地热能及氢能等。新能源大多是天然的和可再生的，是未来世界持久能源系统的基础。

4. 按资源形态分类

（1）载体能源 载体能源是指提供能量的各种含能物质，如燃料、蒸汽等可以直接储存和运输的物质。煤、石油、天然气和电是目前使用最广的载体能源，随着科学技术的发展，氢和微波会成为重要的载体能源。

（2）过程能源 过程能源是指提供能量的物质运动，如水流、风力、潮汐及波浪等。过程能源存在于物质的运动过程中，一般很难储存和运输。

5. 按对环境的影响程度分类

（1）清洁能源 清洁能源是指在开发使用过程中，对环境无污染或污染程度很小的能源，如太阳能、风能、水能、海洋能，以及天然气、氢等气体燃料。如果用太阳能直接分解水制氢和核聚变能利用的研究成功，则太阳的能量和地球上的水都可以成为人类取之不尽、用之不竭的清洁能源。

（2）非清洁能源 非清洁能源是指在开发使用过程中，对环境污染程度较大的能源，如煤、石油等；随着世界环境保护呼声的逐渐高涨，非清洁能源的开发和利用将逐步受到限制。

三、能的客观属性

机械能可以直接用来驱动工作机械，即对外做功；也可以直接用来带动发电机，转换为电能。另外，机械运动伴随着摩擦生热，意味着机械能也可以直接转换为热能。能量守恒定律则表明，能在各种转换过程中维持总数量不发生变化。

1. 能的不等价性

工程上常见的能量有电能、机械能和热能，它们的工程效用各不相同。将电能输入电动机，驱动电动机旋转，对外输出轴功；将其接通电灯，转化为光能，可用来照明；将其输入电热丝，电能便转换为热能。可见，电能可直接转换为任何形式的能量。而且，在没有阻抗和摩擦的理想情况下，电能可全部转换为机械能输出。

任何形式的热能,都只能直接用于加热,而不能直接转变为功。倘若要将热能转变为机械能或电能,则必须配备一些专用设备(如热机),采用间接的方式才能将热能部分地转变为机械能和电能。因此,电能有最强的转换能力,工程效用最大;机械能转换能力也很强,但比电能差;热能只能直接作热利用,工程效用最差。因此,不同形式能的使用价值是有显著差异的,这称之为能的“不等价性”。

热能与机械能、电能之所以不等价,是因为热能是分子作无规则热运动所具有的能,它属于无序能。而机械能,无论是动能,还是位能,都是有序能。至于电能,则是抗干扰能力更强的有序能。由此可见,不同形式能的不等价性,主要取决于它是有序能,还是无序能。凡是无序能,均不能直接作为动力利用,转换能力也差。其价值必定低于既能作动力利用,又能便于转换的有序能。

2. 能的双重属性——能量与能质

等量的能,价值可以不等,说明能除了具有量这一属性外,还有另一个属性。能的价值是由这个属性所决定的,称其为能质。

一般地,可以把能转换为有用功的能力作为对能质的描述,从而使能质的概念具体化。用能质概念来考察各种形式的能量,显然,电能以及各种机械能的能质最高,理论上它们可以全部转换为有用功,具有最大的转换为功的能力。热能的能质较电能、机械能差,它只能部分地转换为有用功。

3. 能量的性质

能量的性质主要有状态性、可加性、传递性、转换性、做功性和贬值性。

(1) 状态性 能量取决于物质所处的状态,物质的状态不同,所具有的能量也不同(包括数量和质量)。对于热力系统而言,其基本状态参数可以分为两类:一类与物质的量无关,不具有可加性,称为强度量,例如温度、压力、速度、电动势和化学势等;另一类与物质的量相关,具有可加性,称为广延量,例如体积、动量、电荷量等。对能量利用中常用的工质,其状态参数为温度 T 、压力 p 和体积 V ,因此它的能量 E 的状态可表示为

$$E = f(p, T) \text{ 或 } E = f(p, V) \quad (1-1)$$

(2) 可加性 物质的量不同,所具有的能量也不同,即可相加;不同物质所具有的能量也可相加,即体系所获得的总能量为输入该体系的多种能量之和,故能量的可加性可表示为

$$E = E_1 + E_2 + \cdots + E_n = \sum E_i \quad (1-2)$$

(3) 传递性 能量可以从一个地方传递到另一个地方,也可以从一种物质传递到另一种物质。众所周知,自然界的过程是有方向性的,沿某些方向可以自发地进行,反过来则不能。如水总往低处流;热自发地由高温物体传到低温物体;气体自发地由高压区向低压区膨胀,等等。同样,能在转换过程中也具有方向性,换言之,不是每一种形式的能量都能全部无条件地转换为另一种形式的能量。例如,机械能可通过摩擦生热全部转换为热能,而热能只能部分地转换为机械能。热力学第一、二定律阐明了与热现象相关的各种过程进行的方向、条件及限度。

例如,对热量来讲,能量的传递性可表示为

$$Q = KA\Delta t \quad (1-3)$$

式中, Q 为传递的热量; K 为传热系数; A 为传热面积; Δt 为传热的平均温差。

(4) 转换性 工程应用中, 不同形式、不同能质的能之间的转换非常普遍。比如, 热-功转换, 由燃料燃烧、热核反应、地热、太阳能所获得的热能, 可通过热机使其转换为功; 热-电转换, 先借热机变热为功, 再通过发电机变功为电, 或者, 直接由热变为电。各种形式的能量可以互相转换, 其转换方式、转换数量、转换难易程度也不尽相同, 即它们之间的转换效率是不一样的。研究能量转换方式和规律的科学是热力学, 其核心的任务就是提高能量转换的效率。

无数经验和事实表明, 在一个与外界没有能量交换的系统, 即封闭系统内, 不论发生何种变化过程, 能量的总和都是恒量。能量既不能消失, 也不能创造, 只能从一种形式转换为另一种形式, 这一结论称为能量转换守恒定律, 或简称能量守恒定律。能量守恒定律是物理学中具有最大普遍性的定律之一, 可以适用于机械的、热的、电磁的、原子和原子核内的, 以及化学的、生物的任何变化过程。

(5) 做功性 利用能量来做功是利用能量的基本手段和主要目的。这里所说的功是广义功, 但通常主要是针对机械功而言的。各种能量转换为机械功的方法是不一样的, 转换程度也不相同。通常按其转换程度可以把能分为无限制转换(全部转换)能、有限制转换(部分转换)能和不转换(废)能, 又可分别称为高品质能、低品质能和废能, 显然这一分类也是以转换为功的程度来衡量的。能量的做功性, 通常也以能级 ε 来表示, 即

$$\varepsilon = \frac{E_x}{E} \quad (1-4)$$

式中, E_x 为焓, E 为能量的总量。

(6) 贬值性 根据热力学第二定律, 能量不仅有“量的多少”, 还有“质的高低”。前面介绍了, 各种不同形式的能, 按其可转换的程度可划分成两类: 一类为可以全部地、没有任何限制地转换成其他形式的能, 称之为“有序能”; 另一类为不能全部转换成其他形式的能, 称之为“无序能”。这种划分既适用于以物质为载体的能(如物质的内能), 又适用于过程能(如各种形式的热与功)。以工程应用的角度来看, 在任何情况下, 任意有序能由于其无限的可转换性, 比无序能都更有价值, 品位更高。显然, 这种“转换能力”就是“能质”。能在转换过程中数量遵循守恒定律, 质量却发生蜕变。

能量在传递与转换等过程中, 由于多种不可逆因素的存在, 总伴随着能量的损失, 表现为能量的质量和品位的降低, 即做功能力的下降, 直至达到与环境状态平衡而失去做功的本领, 成为废能, 这就是能量的质量贬值。例如, 最常见的有温差的传热与有摩擦的做功, 就是两个典型的不可逆过程, 在这两个不可逆过程中, 能量都会贬值。能量的贬值性, 即能量的质量损失(或称内部损失、不可逆损失), 其贬值程度可用参与能量交换的所有物体熵的变化(熵增)来反映, 即能量的贬值 E_0 可表示为

$$E_0 = T_0 \Delta S \quad (1-5)$$

式中, T_0 为环境温度; ΔS 为系统的熵增。

第二节 能源与能的评价指标

一、能源的评价

能源的形式多种多样, 各有优缺点。为了正确地选择和使用能源, 必须对各种能源进行

正确的评价。能源评价包括以下几方面：

1. 储量

储量是能源评价中一个非常重要的指标。作为能源的一个必要条件是储量要足够丰富。人们对储量常有不同的理解。一种理解认为，对煤和石油等化石燃料而言，储量是指地质资源量；对太阳能、风能、地热能等新能源而言，则是指资源总量。而另一种理解是，储量是指有经济价值的可开采的资源量或技术上可利用的资源量。在有经济价值的可开采的资源量中又分为普查量、详查量和精查量等几种情况。在油气田开采中，通常又将累计探明的可采储量与可采资源量之比称为可采储资比，用以说明资源的探明程度。储量丰富且探明程度高的能源才有可能被广泛地应用。

2. 能量密度

能量密度是指在一定的质量、空间或面积内，从某种能源中所能得到的能量。显然，如果能量密度很小，就很难用作主要能源。太阳能（指在地球表面接收的太阳光）和风能的能量密度就很小，各种常规能源的能量密度都比较大，核燃料的能量密度最大。几种能源的能量密度见表 1-1。

表 1-1 几种能源的能量密度

能源类型	能量密度/(kW·m ⁻²)
风能（风速 3m/s）	0.02
水能（流速 3m/s）	20
波浪能（波高 2m）	30
潮汐能（潮差 10m）	100
太阳能（晴天平均）	1
太阳能（最高平均）	0.16

3. 能源供应成本

对能源进行评价时，开采费用、利用能源的设备费用、运输费用需要进行综合的经济评估。

（1）能源开采成本 太阳能、风能不需要任何开采成本即可得到，但化石燃料需要勘探、开采等各种复杂的过程，需大量开采成本。

（2）能源使用成本 利用能源的设备费用正好与能源的开采费用相反：利用太阳能、风能、海洋能的设备费用远高于利用化石燃料的设备费用。

（3）能源运输成本 运输费用与损耗是能源利用中需要考虑的一个问题：太阳能、风能和地热能很难输送出去；煤、石油等化石燃料容易从产地输送至用户；核电站燃料的运输费用极少；燃煤电站的输煤费用很高。

4. 能源开发技术

（1）储能技术 多数情况下，用户对能源的使用是不均衡的，如白天用电多，深夜用电少，冬天需要取暖，夏天需要制冷。因此能量利用中储能是很重要的因素，能源不用时储存起来，需要时又能立即供应。在储能方面，化石燃料容易做到；太阳能、风能、海洋能则较难做到；采用蓄冷设备、蓄热设备，电能可以少量储存。

（2）能源转换技术 能源转换后只有保证供能的连续性才可以有效地使用，这需要转

换设备和技术来完成。目前,煤炭、水能、风能和核能都有成熟的设备及技术进行电能转换。能源转换方式如图 1-1 所示。

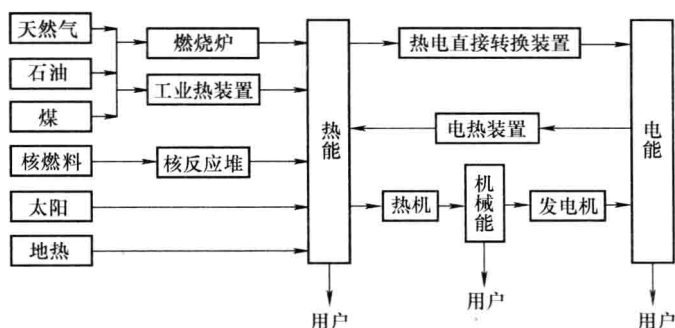


图 1-1 能源转换方式

5. 能源可利用性

(1) 能源可再生性 石油、天然气和煤炭等化石燃料一直作为能源消费主体,近年来随着这些不可再生能源的逐渐减少,以可再生能源为主体的太阳能、生物质能、风能、水能等获得快速的发展。预计到 2050 年,太阳能和生物能等可再生新能源将占世界能源构成的 30% 左右,到 2100 年,可再生新能源将占世界一次能源构成的 50% 左右。人均资源匮乏的中国更需要密切关注这方面的开发技术,并加以推广使用。

(2) 能源品位 能源品位有高低之分,如水的势能可以直接转变为机械能和电能,其品位比先由化学能转变为热能、再由热能转换为机械能的煤炭要高,同时,水电机组的起动速度远远高于燃煤机组的起动速度;燃气的品位要比煤炭的品位高,燃气机组的起动速度高于燃煤机组的起动速度。在使用能源时,我国需要防止高品位能源被降级使用所产生的浪费现象。

6. 能源环境约束

使用能源应尽可能采取各种措施来防止环境污染。如“十二五”期间,我国在使用能源对环境影响的控制目标上,提出了很高的要求:非化石能源占一次能源消费的比重达到 11.4%;单位国内生产总值能源消耗降低 16%,单位国内生产总值二氧化碳排放量降低 17%;主要污染物排放总量显著减少,化学需氧量、二氧化硫排放量分别减少 8%,氨氮、氮氧化物排放量分别减少 10%。

二、能的评价指标

在能量利用中,热效率和经济性是非常重要的两个指标。由于存在着耗散作用、不可逆过程以及可用能损失,在能量转换和传递过程中,各种热力循环、热力设备和能量利用装置的效率都不可能是 100%。根据热力学原理,一切热工设备都可用下式进行评价,即

$$\text{经济性指标} = \frac{\text{获得的收益}}{\text{花费的代价}} \quad (1-6)$$

对热设备,可表示为

$$\text{热效率 } \eta = \frac{\text{有效利用热}}{\text{供给热}} \quad (1-7)$$

对动力循环, 可表示为

$$\text{热效率 } \eta = \frac{\text{输出功}}{\text{供给热}} \quad (1-8)$$

对理想的卡诺循环, 可表示为

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (1-9)$$

式中, T_2 为低温热源的温度; T_1 为高温热源的温度。

对制冷循环, 可表示为

$$\text{制冷系数 } \varepsilon = \frac{\text{从低温热源“抽”走的热}}{\text{消耗功}} \quad (1-10)$$

对理想的逆向卡诺制冷循环, 可表示为

$$\varepsilon_1 = \frac{T_2}{T_0 - T_2} \quad (1-11)$$

式中, T_0 为高温热源 (如大气) 的温度; T_2 为低温热源 (如冷库) 的温度。

对热泵循环, 可表示为

$$\text{供热系数 } \varepsilon_n = \frac{\text{供给高温热源的热}}{\text{消耗功}} \quad (1-12)$$

对理想的逆向卡诺热泵循环, 可表示为

$$\varepsilon_2 = \frac{T_1}{T_1 - T_0} \quad (1-13)$$

式中, T_1 为高温热源 (如室温) 的温度; T_0 为低温热源 (如大气) 的温度。

以上 η 、 ε_1 、 ε_2 不仅指出了在同样温度范围内实际的动力循环、制冷循环和热泵循环经济指标的极限值, 同时也指明了提高其经济性指标的途径。

第三节 中国能源发展现状

中国是当今世界上最大的发展中国家, 也是目前世界上第二位能源生产国和消费国。能源供应持续增长, 为经济社会发展提供了重要的支撑。能源消费的快速增长, 为世界能源市场创造了广阔的发展空间。中国已经成为世界能源市场不可或缺的重要组成部分, 对维护全球能源安全, 起着越来越重要的作用。

一、中国的能源形势严峻

改革开放以来, 中国能源工业迅速发展, 为保障国民经济持续快速发展作出了重要贡献, 中国已经初步形成了以煤炭为主体、电力为中心, 石油天然气和可再生能源全面发展的能源供应格局, 基本建立了较为完善的能源供应体系。2006 年一次能源生产总量 22.1 亿 t 标准煤, 列世界第二位。其中, 原煤产量 23.7 亿 t, 列世界第一位, 原油产量 1.85 亿 t, 实现稳步增长, 列世界第五位。天然气产量从 1980 年的 143 亿 m^3 提高到 2006 年的 586 亿 m^3 。电力发展迅速, 装机容量和发电量分别达到 6.22 亿 kW 和 2.87 万亿 kW·h, 均列世界第二位。能源综合运输体系发展较快, 运输能力显著增强, 建设了西煤东运铁路专线及港口码头, 形成了北油南运管网, 建成了西气东输大干线, 实现了西电东送和区域电网互联。尽

管如此,我国能源资源人均拥有量只有世界平均水平的一半,且存在以下问题:

1. 资源紧缺,不敷需要

中国拥有较为丰富的化石能源资源。其中,煤炭占主导地位。2006年,煤炭保有资源量 10345 亿 t, 剩余探明可采储量约占世界的 13%, 列世界第三位。中国也拥有较为丰富的可再生能源资源。水力资源理论蕴藏量折合年发电量为 6.19 万亿 kW·h, 经济可开发年发电量约 1.76 万亿 kW·h, 相当于世界水力资源量的 12%, 列世界首位。但中国人口众多, 人均能源资源拥有量在世界上处于较低水平。煤炭和水力资源人均拥有量相当于世界平均水平的 50%, 石油、天然气人均资源量仅为世界平均水平的 1/15 左右, 如图 1-2 所示。耕地资源不足世界人均水平的 30%, 制约了生物质能源的开发。

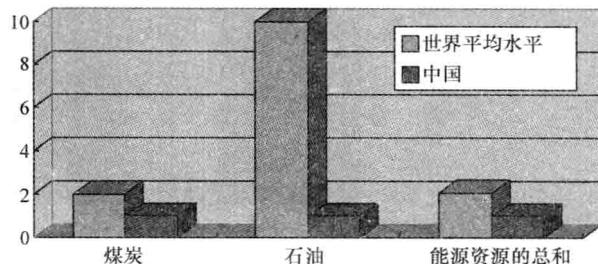


图 1-2 中国能源与世界平均水平比较

能源资源赋存分布不均衡。中国能源资源分布广泛但不均衡。煤炭资源主要赋存在华北、西北地区, 水力资源主要分布在西南地区, 石油、天然气资源主要赋存在东、中、西部地区和海域。中国主要的能源消费地区集中在东南沿海经济发达地区, 资源赋存与能源消费地域存在明显差别。大规模、长距离的北煤南运、北油南运、西气东输、西电东送, 是中国能源流向的显著特征和能源运输的基本格局。

能源资源开发难度较大。与世界相比, 中国煤炭资源地质开采条件较差, 大部分储量需要井下开采, 极少量可供露天开采。石油天然气资源地质条件复杂, 埋藏深, 勘探开发技术要求较高。未开发的水力资源多集中在西南部的高山深谷, 远离负荷中心, 开发难度和成本较大。非常规能源资源勘探程度低, 经济性较差, 缺乏竞争力。

2. 能源利用效率低下

我国能耗强度在 1980 ~ 2006 年间呈现明显下降趋势。尽管如此, 由于中国优质能源资源相对不足, 经济增长方式粗放、能源结构不合理、能源技术装备水平低和管理水平相对落后, 和工业发达国家及部分发展中国家相比, 我国的能源消耗强度仍比较高。根据相关研究显示, 中国单位 GDP 的能耗是日本的近 6 倍、美国的 2.5 倍, 比印度等发展中国家的单位 GDP 能耗也高近 1 倍。据统计, 中国 8 个高耗能行业的单位产品能耗平均比世界先进水平高 47%, 而这些行业的能源消费占工业能源消费总量的 73%。按此推算, 与国际先进水平相比, 中国的工业每年多用能源约 2.3 亿 t 标准煤。再如中国房屋单位面积采暖能耗是同纬度国家的 2 倍, 各类汽车平均百公里油耗比工业发达国家高 20% 以上。图 1-3 示出中国与世界工业发达国家单位产品能耗的比较。

3. 能源环境问题突出

中国长期以来的以煤为主的一次能源结构已经造成了严重的环境污染。大气中 SO_2 排放量的 90%、 NO_x 排放量的 60% 都来自于燃煤。全国 SO_2 排放总量超过环境承载能力的 70% 左右。目前, 酸雨率在全国已经达到 40%, 工业较为发达的广东则达到 70%, 中国的 343 个城市中仅有 1/3 城市的空气质量可以达到二级空气质量标准。依据世界银行发布的

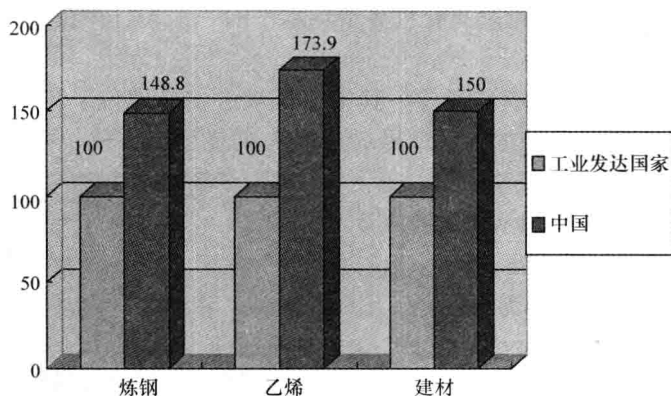


图 1-3 中国与世界工业发达国家单位产品能耗比较

《世界发展指标 2006》报告，在调查所涉及的总共 110 个超过百万人口的各国城市中，如果按照悬浮微粒来排名，空气污染最严重的前 20 个城市，中国实际占了 13 个。生态破坏造成的经济损失占 GDP 的 8%，已严重威胁经济和社会的可持续发展。

4. 资源对外依存度增长过快

中国 1993 年开始成为石油净进口国，石油进口量逐年增加，对外依存度逐年提高，且进口原油的 80% 以上要经过马六甲海峡运输。根据国家统计局公布的最新数据显示，2009 年前 11 个月我国原油对外依存度达到 50.59%，同比增加 2.57 个百分点，不仅超过了 50% 的国际警戒线，还创出了这一数据的历史新高。

二、中国能源发展战略和目标

中国能源发展坚持立足国内的基本方针和对外开放的基本国策，以国内能源的稳定增长，保证能源的稳定供应，促进世界能源的共同发展。中国能源发展坚持节约发展、清洁发展和安全发展。坚持走科技含量高、资源消耗低、环境污染少、经济效益好、安全有保障的能源发展道路，最大限度地实现能源的全面、协调和可持续发展。

中国能源战略的基本内容是：坚持节约优先、立足国内、多元发展、依靠科技、保护环境、加强国际互利合作，努力构筑稳定、经济、清洁、安全的能源供应体系，以能源的可持续发展支持经济社会的可持续发展。

为经济社会发展提供安全稳定经济清洁的能源保障，是“十二五”能源发展的根本任务。“十二五”能源发展的三个主要目标为：

总量目标：一次能源消费总量控制在 40 亿 t 标准煤。其中，煤炭消费总量控制在 40 亿 t 左右，净进口 2 亿 t；石油消费总量控制在 5 亿 t 左右，净进口 3 亿 t。

结构目标：非化石能源在一次能源消费中所占比重达到 11.4%。其中水电、核电、风电发电量分别为 9200 亿 kW·h、3200 亿 kW·h 和 1800 亿 kW·h，折合标准煤合计约 4.6 亿 t。

民生目标：人均每年能源消费量达到 2.9t 标准煤，人均每年用电量达到 4300kW·h，分别比 2010 年提高 20% 和 30%。

三、全面推进能源节约

中国是人口众多、资源相对不足的发展中国家。要实现经济社会的可持续发展，必须走节约资源的道路。中国有计划、有组织地开展节能工作始于 20 世纪 80 年代初，通过贯彻“开发与节约并举，把节约放在首位”的方针，到 20 世纪末实现了经济增长翻两番、能源消费增长翻一番的目标。为继续深入推进能源节约，在推进节能减排工作中，做到“六个依靠”：依靠结构调整，这是节能减排的根本途径；依靠科技进步，这是节能减排的关键所在；依靠加强管理，这是节能减排的重要措施；依靠强化法制，这是节能减排的重要保障；依靠深化改革，这是节能减排的内在动力；依靠全民参与，这是节能减排的社会基础。2004 年制定并实施的《节能中长期专项规划》，重点规划了到 2010 年节能的目标和发展重点，并提出 2020 年的目标：2020 年每万元 GDP 能耗下降到 1.54t 标准煤，2003 ~ 2020 年年均节能率为 3%，形成的节能能力为 14 亿 t 标准煤，相当于同期规划新增能源生产总量 12.6 亿 t 标准煤的 111%，相当于减少二氧化硫排放量 2100 万 t；完善国内生产总值和能源消耗指标体系，将能源消耗纳入各地经济社会发展综合评价和年度考核，实行单位国内生产总值能耗指标公报制度，实施节能目标责任制和问责制，构建节能型产业体系，促进经济发展方式的根本转变。

中国全面落实能源节约的措施如下：

1. 推进结构调整

长期以来，中国能源效率偏低的主要原因是经济增长方式粗放、高耗能产业比重过高。将转变发展方式、调整产业结构和工业内部结构作为能源节约的战略重点，努力形成“低投入、低消耗、低排放、高效率”的经济发展方式。中国加快产业结构优化升级，大力发展高新技术产业和服务业，严格限制高耗能、高耗材、高耗水产业发展，淘汰落后产能，促进经济发展方式的根本转变，加快构建节能型产业体系。

2. 加强工业节能

工业是中国能源消费的重点领域。中国坚持走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源得到充分发挥的新型工业化道路，加快发展高技术产业，运用高新技术和先进适用技术改造传统产业，提升工业整体水平。重点加强钢铁、有色金属、煤炭、电力、石油石化、化工、建材等高耗能行业节能降耗。调整产品结构，加快技术改造，提高管理水平，降低能源消耗。支持一批节能降耗的重大及示范项目，带动工业提高能效水平。进一步完善工业行业能效标准和规范，强制淘汰落后的高耗能产品，完善能效市场准入制度。

3. 实施节能工程

中国正在实施节约替代石油、热电联产、余热利用、建筑节能等十大重点节能工程，支持节能重点及示范项目建设，鼓励高效节能产品的推广应用。中国大力发展节能省地型建筑，积极推进既有建筑节能改造，广泛使用新型墙体材料。实施节约和替代石油工程，科学发展替代燃料。加快淘汰老旧汽车、船舶，积极发展公共交通，限制高油耗汽车，发展节能环保型汽车。加快燃煤工业锅（窑）炉改造、区域热电联产和余热余压利用，提高能源利用效率。促进电机节能和能源系统优化，提高电机运行和能源系统效率。加快节能监测和技术服务体系建设，强化节能监测，创新服务平台。

4. 加强管理节能

中国政府建立了政府强制采购节能产品制度,选择部分节能效果显著、性能比较成熟的产品予以强制采购。积极发挥政府采购的政策导向作用,带动社会生产和使用节能产品。研究制定鼓励节能的财税政策,实施资源综合利用税收优惠政策,建立多渠道的节能融资机制。深化能源价格改革,形成有利于节能的价格形成机制。实施固定资产投资项目节能评估和审核制度,严把能耗增长的源头。建立企业节能新机制,实施能效标识管理,推进合同能源管理和节能自愿协议。建立健全节能法律法规,依法强化节能管理。加强节能管理队伍建设,加大执法监督检查力度。

5. 倡导社会节能

中国采取多种形式大力宣传节约能源的重要意义,不断增强全民资源忧患意识和节约意识。倡导能源节约文化,努力形成健康、文明、节约的消费模式。把节约能源纳入基础教育、职业教育、高等教育和技术培训体系,大力宣传和普及节能知识。继续深入开展节能宣传周活动,动员社会各界广泛参与,努力建立全社会节能的长效机制。

第四节 节能术语与评价指标

一、节能的定义及涵义

节能是针对能源浪费而言的,物理学家严济慈对能源浪费作过精辟的论述:“所费多于所当费,或所得少于所得,都是浪费。”由此可知,减少所费,增加可得就是节能。《中华人民共和国节约能源法》(简称节能法)对节能的定义是:节能是指加强用能管理,采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施,从能源生产到消费各个环节,降低消耗,减少损失和污染物排放量,制止浪费,有效、合理地利用能源。

节能的定义阐明了三方面的涵义:

1) 节能的目的是要减少从能源生产到消费各个环节中的损失和浪费,更加有效、合理地利用能源。其中,“从能源生产到消费各个环节”是指对能源生产、加工、转换、输送、供应、储存,一直到终端使用等所有过程;“有效、合理地利用能源”是指使用能源要做到综合评价、合理布局、按质用能、综合利用,对于终端用能设备做到高效率并能符合环境保护要求,经济效益好。

2) 实现节能的管理途径是加强用能管理。在国家层面上要通过制定节能法律、政策和标准体系,实施必要的管理行为和节能措施;在用能单位这一层面上要提高管理水平,运用现代化的管理方法,减少能源利用过程中各项损失和浪费。

3) 实现节能的技术途径是采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施。节能措施应满足三个条件:一是技术上要可行,在现有技术基础上可以实现;二是经济上要合理,就是要有一个合适的投入产出比,要有一定的经济效益;三是环境和社会可以承受,就是要节能,还要符合环境保护要求,并且不影响正常生产与生活水平的提高。

节能分为广义节能和狭义节能。狭义节能是指节约煤、电、气等能源;广义节能除狭义节能内容外,还包括节约原材料、人力、资金,提高作业效率等各方面内容。就狭义节能的内涵而言,它又可分为直接节能和间接节能。