

JIENENG JIANPAI PEIXUN JIAOCAI

JIENENG JISHU PIAN

节能技术篇

北京市发展和改革委员会 编

中国环境科学出版社

节能减排培训教材

节能技术篇

北京市发展和改革委员会 编

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

节能减排培训教材. 节能技术篇 / 北京市发展和改革委员会编. —北京: 中国环境科学出版社, 2008. 9

ISBN 978-7-80209-731-5

I. 节… II. 北… III. 节能-教材 IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 062153 号

责任编辑 李恩军
责任校对 扣志红
封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京东海印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2008 年 10 月第 1 版
印 次 2008 年 10 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 19.25
字 数 365 千字
定 价 50.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

编 委 会

主 任：张 工

副 主 任：卢映川 张燕友 陈怀伟

委 员：杨智慧 费 翔 凌文杰 尤 勇

张换枝 刘前光 郑拴虎

顾 问：柴晓钟

策 划：杨智慧 张换枝

统 稿：姚 伟

编写人员：贾振航 翟克俊 徐仁武 徐 芳

编 辑：白龙涛 武德俊 尚国强 岳 红

前 言

能源与环境是当今时代人类面临的共同问题。我国人口众多，能源资源相对不足，生态环境脆弱，目前正处于工业化、城镇化加快发展的重要阶段，能源资源的消耗强度高，消费规模不断扩大，能源供需矛盾越来越突出。解决我国能源环境问题，根本出路是走建设资源节约型、环境友好型社会的可持续发展之路。

20 世纪 70 年代末以来，中国作为世界上发展最快的发展中国家，通过贯彻“开发与节约并举，把节约放在首位”的方针，成功实现了经济增长翻两番、能源消费增长翻一番的目标。1980—2006 年，中国能源消费以年均 5.6% 的增长支撑了国民经济年均 9.8% 的增长，年均节能率 3.9%，扭转了近年来单位国内生产总值能源消耗上升的势头。

随着我国经济社会的持续快速发展，能源资源环境压力日益增大。节能减排是缓解能源约束，减轻环境压力，保障经济安全，实现全面建设小康社会目标和可持续发展的现实选择。《中华人民共和国国民经济和社会发展规划第十一个五年规划纲要》提出“十一五”期间单位国内生产总值能耗降低 20% 左右、主要污染物排放总量减少 10% 的约束性指标。2007 年 10 月 28 日，十届全国人大常委会第三十次会议通过了修订的《中华人民共和国节约能源法》（以下简称《节约能源法》）。修订后的《节约能源法》已于 2008 年 4 月 1 日起施行。新修订的《节约能源法》的实施，为促进“十一五”节能减排目标的实现提供了必要的法律保障，也为加强节能管理队伍能力建设提供了重要依据。《节能减排培训教材》正是基于深入宣传节约资源和保护环境基本国策，加强用能单位节能管理和队伍能力建设应运而生的。我们期待着这套丛书能在进一步增强公众节能环保意识，规范用能单位节

能管理，提高能源管理者业务技能和职业素质，加强专业化人才队伍建设，促进节能减排目标实现等方面发挥重要作用。

本书共分三册，是一套内容实用、知识权威、观念先进，具有针对性、系统性、适用性的节能培训教材。第一册为《政策法规篇》，旨在宣传法律、法规、地方规章、标准等；第二册为《节能技术篇》，系统介绍节能基础知识、电、热、水、新能源技术、锅炉节能、公建节能等专业知识，并选择具有代表性的案例进行讲解；第三册为《节能管理与新机制篇》，引导读者深入了解清洁生产、CDM 机制、能源审计、节能评估、合同能源管理、需求侧管理、能效标准、自愿协议、节能后评价等先进管理机制和理念，对加强企事业单位的节能管理能力，提高管理人员和技术人员具有较强的可操作性和指导作用。

编者

2008 年

目 录

1 节能基础理论	1
1.1 能源及能源效率	1
1.2 节能量与节能率	6
1.3 能源计量管理	10
1.4 企业能源统计	11
1.5 节能诊断	13
1.6 节能监测	17
2 余热利用技术	19
2.1 余热资源概述	19
2.2 余热利用原理和方法	24
2.3 余热回收应注意的问题	26
2.4 余热利用典型案例	27
2.5 余热利用与蒸汽回收	27
2.6 钢铁企业余能和副产品主要形式	31
2.7 水泥企业余热利用技术	34
3 凝结水回收技术	37
3.1 凝结水回收的方式	38
3.2 凝结水回收技术的选择方法	43
3.3 凝结水回收典型案例	46
4 热泵技术	49
4.1 热泵原理	50
4.2 热泵在节能领域的应用和展望	54
4.3 热泵应用典型案例	59

5 企业供电系统节能	62
5.1 企业供电系统损耗	62
5.2 供电损耗计算	63
5.3 降低线路损耗的技术措施	77
5.4 降低变压器损耗的技术措施	81
5.5 企业用电功率因数及其改善	86
5.6 无功补偿技术	91
5.7 企业供电系统谐波污染与治理	96
6 异步电动机系统节能	102
6.1 异步电动机损耗及效率的基本概念	102
6.2 高效异步电动机	105
6.3 异步电动机降低损耗提高效率的措施	110
6.4 异步电动机的合理使用	113
6.5 异步电动机轻载调压节能	118
6.6 异步电动机调速系统节能	122
6.7 异步电动机变频调速技术	136
6.8 变频器的选择	140
6.9 风机、水泵负载交流电动机调速节能	152
6.10 风机、水泵负载交流电动机变频调速节能典型案例	155
7 高效节能照明	159
7.1 照明的基本概念	159
7.2 照明光源	166
7.3 照明光源选择	179
7.4 照明电器附件	183
7.5 照明灯具	188
7.6 照度标准值的选择	193
7.7 照明节电的其他措施	199
7.8 绿色照明工程典型案例	205
8 工业燃煤锅炉节能	207
8.1 工业锅炉机组的节能诊断	207

8.2 节能改造方案的技术经济评价	209
8.3 选择锅炉机组节能改造方案	210
8.4 燃烧系统改造技术	214
8.5 锅炉运行的自动控制	222
8.6 辅机改造、空气预热与烟气净化	226
8.7 锅炉改造实施方法	228
8.8 燃煤锅炉改造典型案例	229
9 供热采暖节能	234
9.1 供热采暖节能技术及其特点	234
9.2 其他供热采暖方式及节能特点	242
9.3 供热锅炉房节能技术	243
10 大型公共建筑空调系统节能	248
10.1 定义及其特点	248
10.2 节能技术及产品	251
10.3 节能诊断中常见问题和案例分析	258
11 新能源与可再生能源	274
11.1 新能源和可再生能源概述	274
11.2 太阳能热利用	284
11.3 生物质能开发	288
11.4 地热合理利用	291
11.5 氢能的技术发展	294
参考文献	298

1 节能基础理论

1.1 能源及能源效率

1.1.1 能源的分类

能源是可以直接或通过转换提供人类有用能的资源。能源在不同的领域、部门其分类方法各有不同，以适应科研、统计、开采、储运及使用的需要。在能源领域一般使用相对比较的分类方法。

1.1.1.1 一次能源与二次能源

在自然界中取得的未经任何改变或转换的能源，称之为一次能源，如原煤、原油、天然气、水能、风能、地热能等。

为了满足生产和生活的需要，有些能源通常需要经过加工转换以后再加以使用。由一次能源经过加工转换成另一种形态的能源产品叫做二次能源，如电力、煤气、焦炭、蒸汽及各种石油制品等。

改变能源物理形态的能源生产，一般都是指一次能源转变成二次能源的生产。例如矿物燃料中的化学能变化情况：①燃料产生热能，再驱动汽轮机产生机械能，最后产生电能；②变成可燃气体，在内燃机中产生燃烧气体，燃烧气体中的热能产生发动机旋转部件的机械能；③在燃料电池中直接转换成电能；④或者转变成另一种形态的化学能，如煤炭气化和液化，油制气。再如通过水坝的水的机械能，经水轮机转变成电能等。

大部分一次能源都转换成容易贮运、分配和使用的二次能源。一次能源转换成二次能源总会有转换损失，但二次能源比一次能源有更高的终端利用效率，也更清洁和便于使用。二次能源经过贮运和分配，将在各种设备中使用，即为终端能源，终端能源最后变成有效能。

终端能源亦称终端能源消费。按照 OECD/IEA 的定义，终端消费是终端用能设备入口得到的能源。因此，终端能源消费量等于一次能源消费量减去能源加工

转换和贮运这两个中间环节的损失和消耗的能源。在中国的能源平衡表统计中，终端能源消费只扣除选煤、炼焦、油电、炼油、输配电损失。因此，计算得出的终端能源消费量高于按照国际通行方法计算得出的数量。

1.1.1.2 可再生能源与非再生能源

在自然界中可以不断再生并有规律地得到补充的能源，称之可再生能源。如太阳能和由太阳能转换而成的水能、风能、生物质能等。它们都可以循环再生，不会因长期使用而减少。经过亿万年形成的、短期内无法恢复的能源，称之为非再生能源。如煤炭、石油、天然气、核燃料等。它们随着大规模地开采利用，其储量越来越少，总有枯竭之时。

1.1.1.3 常规能源与新能源

在相当长的历史时期已经被人类长期广泛利用的能源称之为常规能源，如煤炭、石油、天然气、水力、电力等。采用新的科学技术才能开发利用并很有发展前途的能源，称它们为新能源或称替代能源。如太阳能、地热能、潮汐能、氢能等。

1.1.1.4 燃料能源与非燃料能源

从能源性质来看，能源又可分为燃料能源和非燃料能源。属于燃料能源的有矿物燃料（煤炭、石油、天然气），生物质燃料（薪柴、沼气、有机废物等），化工燃料（甲醇、酒精、丙烷以及可燃原料铝、镁等），核燃料（铀、钍、氘等）共四类。非燃料能源多数具有机械能，如水能、风能等；有的含有热能，如地热能、海洋热能等；有的含有光能，如太阳能等。

1.1.1.5 洁净能源与非洁净能源

从使用能源时对环境污染的大小，又把无污染或污染小的能源称为清洁能源，如太阳能、水能、氢能等；对环境污染较大的能源称为非清洁能源，如煤炭、油页岩等。石油的污染比煤炭小些，但也产生氧化氮、氧化硫等有害物质，所以，清洁与非清洁能源的划分也是相对比较而言，不是绝对的。

1.1.1.6 商品能源与非商品能源

商品能源是作为商品经流通环节大量消耗的能源，如煤炭、天然气、电力等。非商品能源指薪柴、秸秆等农林废弃物和禽畜粪便等就地利用的能源。非商品能

源在发展中国家的农村能源供应中占有很大比重。

1.1.2 能源效率

世界能源委员会（WEC）在 1995 年把“能源效率”定义为：“减少提供同等能源服务的能源投入。”根据上述定义，衡量能源效率的指标可分为经济能源效率和物理能源效率两类。经济能源效率指标又可分为单位产值能耗和能源成本效率（效益）；物理能源效率指标可分为物理能源效率（热效率）和单位产品或服务能耗，如具体到服务业和建筑物为人均能耗和单位面积能耗等。

1.1.2.1 能源强度

能源强度也称“单位产值能耗”。是指一个国家或地区、部门或行业，一定时间内单位产值消耗的能源量，通常以吨（或公斤）油当量（或煤当量）/万元来表示。一个国家或地区的单位产值能耗，通常以单位国内生产总值耗能量来表示，它反映经济对能源的依赖程度，以及能源利用的效益。

单位产值能耗的国际比较是一个复杂的问题。通常有汇率（exchange rate）和购买力平价（purchasing power parity, PPP）两种方法。按汇率计算的 GDP 美元值不能反映各国的实际情况，尤其是物价低廉的发展中国家，按购买力平价计算可能比较接近实际。

购买力是指各个国家本国的一个货币单位在国内所能买到的货物和劳务的数量。购买力平价是指两个或两个以上的国家的货币在各自国家内购买力相等时的比率。按购买力平价计算的单位产值能耗，国内外的差距很小。

中国按汇率计算的单位产值能耗被明显高估，用它直接进行国际比较，特别是同发达国家比较是不恰当的。而按 PPP 计算的又可能偏低，可信度也不高。按 PPP 美元对人民币的比价一般取 2.5~4.6。购买力平价取中间值 3.5 比较妥当（世行取 1.781）。按中间值 3.5 进行计算，2000 年我国国内生产总值折合 25 544 亿美元，按照美国的能源强度创造中国 25 544 亿美元的国内生产总值，只需要消耗 8.4 亿 t 标准煤，有 4.6 亿 t 标准煤的节能潜力。按世界平均能源强度 391t 标准煤/百万美元计算，需要消耗 10 亿 t 标准煤，有 3 亿 t 标准煤的节能潜力，这与我国政府有关部门的估计是一致的，也比较符合实际。世界银行在进行中国单位产值能耗的国际比较时，是把中国与条件比较接近的其他发展中国家的平均值进行比较，而不是同日本等发达国家比较，这也是比较恰当的。

1.1.2.2 能源消费弹性系数

能源消费弹性系数是能源消费增长率与国民经济增长率之比。国家统计的计算公式为：

$$\text{能源消费弹性系数} = \frac{\text{能源消费量年平均增长速度}}{\text{国民经济年平均增长速度}}$$

经济增长率通常采用国民生产总值或国内生产总值的增长率来表示，该式可以具体表述为：

$$e = \frac{\Delta E / E}{\Delta G / G} \quad (1-1)$$

式中 E ——上一年的能源消费量；
 ΔE ——本年的能源消费增量；
 G ——上一年的经济产量；
 ΔG ——本年的经济产量的增量。

由式 (1-1) 可以看出， $\Delta E/E$ 和 $\Delta G/G$ 分别是能源消费增长率和经济增长率。

1.1.3 能源效率

世界能源委员会在 1995 年出版的《应用高技术提高能效》中，把“能源效率”定义为：“减少提供同等能源服务的能源投入。”一个国家的综合能源效率指标是增加单位 GDP 的能源需求，即单位产值能耗；部门能源效率指标分为经济指标和物理指标，前者为单位产值能耗，物理指标对于工业部门为单位产品能耗，对于服务业和建筑物为单位面积能耗和人均能耗。

根据上述定义，衡量能源效率的指标可分为经济能源效率和物理能源效率两类。经济能源效率指标又可分为单位产值能耗和能源成本效率（效益）；物理能源效率指标可分为物理能源效率（热效率）和单位产品或服务能耗，见图 1-1。

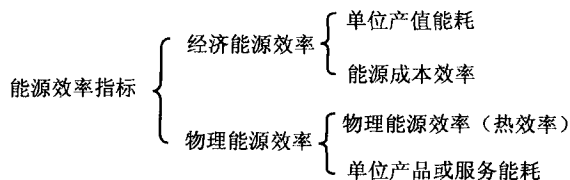


图 1-1 能源效率分类

1.1.3.1 能源成本效率

使用能源必须要考虑能源的费用成本、时间成本和环境成本。这对于节能规划、节能项目以及购置节能产品的决策都是十分重要的。如果不计成本，就可能出现物理能源效率高而成本效率低的结果，甚至得不偿失。

国际上能源成本效率的计算和评估广泛采用寿命周期成本分析（Life-Cycle Cost analysis, LCC）方法。在美国和有关国际组织的节能项目评估、用能设备能效标准和标识的制订等方面，寿期成本分析已成为一种法定的标准方法和程序。

寿期成本分析是把一个项目在给定期内的所有费用按贴现率折算成现值。现值相当于投资者现在（即基期）以特定的币值计算的未来某一日期支付或收取的金额。贴现率是投资者在不同时间收取的现金的利率。例如，现在收取 1 000 元，1 年后可取得 1 100 元，贴现率即为 10%。贴现率可用来评估取决于机会成本的项目，投资者在考虑相对风险的情况下取得最大回报率，这种经济分析方法最适用于功能相同或十分接近，而购置费、运行费和预期寿命不同的设备的多方案选择。

以节电为例，总的寿期成本可分为 3 部分：发、输、配电的投资成本，用户购置节能设备的投资成本，设备运行成本。根据设备使用寿命和贴现率算出年平均成本；再根据节能设备比普通设备每年节省的电量和电费，即可算出节省单位千瓦时的成本。

寿期成本分析可以真实反映节能的经济效益，是使节能与开发平等竞争的重要依据。而国内通常采用的计算节能投资效益的方法，非但不能体现节能的优越性，而且往往使节能显得不如开发合算。例如，按 1991—1993 年全国节能基建投资和形成的年节能能力计算，每吨标准煤年节能能力的投资为 700 元，而同期内按每吨标准煤计算的煤矿基建投资（包括矿区基础设施）为 365 元，只有节能的一半左右。采用寿期成本分析方法计算的节电成本，一般仅为发电成本的 20%~30%，在许多情况下不到发电成本的 10%。

1.1.3.2 物理能源效率

物理能源效率通常用热效率来表示。联合国欧洲经济委员会（ECE）的定义是：在使用能源（开采、加工、转换、贮运和终端利用）的活动中所得到的起作用的能源量与实际消耗的能源量之比。

根据 ECE 的物理能源效率评价和计算方法，能源系统的总效率由三部分组成：一是开采效率，即能源储量的采收率；二是中间环节效率，包括加工转换效

率和贮运效率；三是终端利用效率，即终端用户得到的有用能与过程开始时输入的能源量之比。

中间环节效率与终端利用效率的乘积称为“能源效率”。

开采效率、中间环节效率，终端利用效率三者的乘积称为“能源系统总效率”。

把终端利用效率混同于“能源效率”是错误的。例如，有人说：“我国的能源利用效率为 30% 左右，日本和美国在 50% 以上。”实际上，前者是“能源效率”，后者是“终端利用效率。”

中间环节效率是指能源加工、转换和贮运的效率，我国一次能源以煤炭为主，燃煤电厂的效率低于以石油、天然气为燃料的电厂效率，而且随着电力工业用煤数量的增加，注定中间环节效率要比发达国家低，而且还要不断下降，虽然通过发展超临界、超超临界等高效燃煤机组，可以使中间环节效率下降速度放缓，但下降的趋势是不可改变的。

1.2 节能量与节能率

1.2.1 节能量的计算

节能量是统计报告期内能源实际消耗量与按比较基准值计算的总量之差。这个比较基准根据不同的目标和要求，可选择单位产品能耗、单位产值能耗等作为比较的基准。节能量就是节约能源消费的数量，这是在生产的一定可比条件之下，采取了相应的节能措施之后，所获得的节约能源消费的数量指标，而不是某个企业或某个地区能源消费总量的简单增加或减少。

计算节能量可以引出两个概念：一个叫当年节能量，即当年与上年相比，节约能源的数量；另一个叫累计节能量，即以某个年份为基数，在它达到的节能水平基础上，逐年的节能量之和。

当年节能量的计算方法如下。

1.2.1.1 按单位产品能耗计算节能量

一般应以上年同期的实际单位产品能耗为基数计算节约量，低于上年同期实际消耗的为节约，高于上年同期实际消耗的为浪费。

定义：节约量 = (当年单位产品能耗 - 上年同期单位产品能耗) × 报告期实际产量。

某些部门和企业一般都是生产多种产品，各种产品的单位能耗不同，而且产量

又是变化的, 所以当年节能量应是各种产品的节能量之和, 总节能量的计算公式是:

$$\Delta E_c = \sum_{i=1}^n (E_{Dbi} - E_{Dji}) M_i = \sum_{i=1}^n (\Delta E_{Di} \times M_i) \quad (1-2)$$

式中 ΔE_c ——企业或部门按产量计算的当年总节能量, t (标准煤);
 E_{Dbi} ——第 i 种产品当年的单位产品能耗, t (标准煤) / 产品单位;
 E_{Dji} ——第 i 种产品上一年的单位产品能耗;
 M_i ——第 i 种产品当年的产量, t (件、箱等);
 n ——当年生产的产品种数;
 ΔE_{Di} ——第 i 种产品的单位产品能耗节能量, t (标准煤)。

如果企业是生产单一产品, 则当年节能量的计算公式可简化为:

$$\Delta E_c = (E_b - E_j) M = \Delta E_b M \quad (1-3)$$

式中 E_b ——当年的单位产品能耗, t (标准煤) / 单位产品;
 E_j ——上一年的单位产品能耗, t (标准煤) / 单位产品;
 M ——当年的产量, t (件、箱等)。

如果上式计算所得的是负数, 就说明能源是节约了; 如果是正数, 就说明是多消耗了能源。

1.2.1.2 按单位产值能耗计算节能量

有些生产部门由于产品的规格较多, 难以按每项产品来计算能源消耗, 因而采用部门产值计算节能量, 企业产值总节能量的计算公式:

$$\Delta E_g = (E_{gb} - E_{gj}) G = \Delta E_g G \quad (1-4)$$

式中 E_{gb} ——企业或部门当年的单位产值能耗, t (标准煤) / 万元;
 E_{gj} ——企业或部门上一年的单位产值能耗, t (标准煤) / 万元;
 ΔE_g ——企业或部门单位产值能耗节能量, t (标准煤) / 万元;
 G ——企业或部门当年产值, 万元。

鉴于各部门、各地区工业产值构成涉及的因素很多, 计算节能量应以产品单耗考核为主, 力求避免以产值推算全部节约量。

累计节能量是指企业或部门、地区或全国, 在某个统计期 (如 3 年、5 年、10 年等) 内的节能量之和 (总节能量)。其计算公式:

$$\sum \Delta E = \sum_{i=1}^n \Delta E_i \quad (1-5)$$

式中 $\sum \Delta E$ ——累计节能量;
 ΔE_i ——第 i 年的年节能量;
 n ——统计期的年份。

1.2.1.3 企业产品结构节能量

企业产品结构节能量是指企业生产的各种产品比重发生变化所形成的能源消耗减少量,该指标是分析企业节能因素,改善经营管理,提高能效的指标。计算公式为:

$$\Delta E_{cj} = G \times \sum_{i=1}^n (K_{bi} - K_{ji}) \times E_{jgi} \quad (1-6)$$

式中 ΔE_{cj} ——企业结构节能量, t (标准煤);
 K_{bi} ——第 i 种产品产值在统计报告期内占企业产值的比重;
 K_{ji} ——第 i 种产品产值在基期内占企业产值的比重;
 E_{jgi} ——基期内第 i 种产品的单位产值综合能耗量, t (标准煤) / 万元。

1.2.2 节能率的计算

节能率是在生产的一定可比条件下,采取节能措施之后节约能源的数量,与未采取节能措施之前能源消费量的比值,它表示所采取的节能措施对能源消费的节约程度,也可以理解为能源利用水平提高的幅度。节能率的计算也和节能量的计算一样,可以求出当年节能率和累计节能率两个指标。

1.2.2.1 当年节能率

当年节能率是当年节能量 (ΔE_g) 与上年可比能源消耗量 (E_{gj}) 的比值。计算公式为:

$$\xi_g = \frac{\Delta E_g}{E_{gj}} \times 100\% \quad (1-7)$$

$$\text{或 } \xi_g = (1 - \frac{E_{gb}}{E_{gj}}) \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 ξ_g ——产值节能率, %;
 ΔE_g ——统计报告期内的单位产值能耗节能量, t (标准煤) / 万元;
 E_{gb} ——统计报告期内 (或当年) 的单位产值能耗, t (标准煤) / 万元;
 E_{gj} ——基期内 (或上一年) 的单位产值能耗, t (标准煤) / 万元。
 一般节能率计算多以一年为计算年度,所以统计报告期指当年,基期指上一年。