

上海市—欧洲共同体

能源管理培训中心

编著

现代节能技术

华东化工学院出版社

现代节能技术

上海市-欧洲共同体
能源管理培训中心 编著

华东化工学院出版社

内 容 提 要

本书是一本内容丰富的,反映现代节能技术水平、动态和发展方向的能源利用与节能技术培训教育读物。除了第一章对能源利用与节能技术作概述外,着重阐述了当代新型的国内外瞩目的和行之有效的主要工业节能技术,如系统节能技术、合理高效的燃料燃烧技术、热能有效综合利用技术、电机调速等节电技术、新型快速的节能测试与诊断技术、节能材料及其有关的应用技术等。

本书理论联系实际,国外先进技术与国情相结合;既有先进性,又注意实用性;叙述系统全面、通俗易懂,力避繁琐推衍,故也是一本高级科普读物。它可作为能源培训班教材,也可供能源管理人员、工程技术人员、节能工作者以及有关大专院校师生参考

责任编辑 朱祖萱 陈明珠

现 代 节 能 技 术

Xiandai Jieneng Jishu

上海市-欧洲共同体能源管理培训中心 编著

华东化工学院出版社出版

(上海市梅陇路130号)

新华书店上海发行所发行

上海市晨光印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 16 字数 430 千字

1991年5月第1版 1991年5月第1次印刷

印数 1-3500册

ISBN 7-5628-0164-9/Z · 40 定价 12.20元

前 言

为了缓解上海的能源紧张状况,为了把上海的能源管理水平提高到国际先进水平,为了促进上海的节能技术改造,上海市与欧共体于一九八七年决定联合在上海建立上海市-欧共体能源管理培训中心,除了开展某些合作研究项目外,每年还举办两期能源培训班。

培训班主要采用欧方提供的教育内容,但经头几期培训实践表明,由于该教育内容与我国实际情况差异较大,有关节能新技术介绍较少,也较肤浅,因此学员们兴趣不浓,对指导我国节能工作和技术改造的作用不很显著。后经本培训中心领导小组及其办公室人员与教员们的认真研究,一致认为,为了提高培训中心的教学质量,使学员们学有所获,并回到工作岗位后在能源管理和节能技改方面充分发挥作用,我方必须自行编写一本切合我国和本市实际的,又能反映当代节能技术水平、动态和发展方向的培训教育参考书,并由中方专家与欧共体专家穿插讲课。这个决定也得到欧方赞同。于是于一九八九年开始,成立了以凌志光、倪德良为首的编写小组,邀请了有关专家、学者,从事本书的编写工作,并于一九九〇年十月完稿,历时一年半,书名定为《现代节能技术》。

本书既是一部能源培训教育用书,又是一本以现代主要工业节能技术为内容的中级科技读物。它涉及的节能技术内容广泛,并以节能新技术和新发展作为本书内容的基本特点。如本书阐述的系统节能技术是当代国内外都在致力研究的新的能源管理技术,它将指导我国能源管理的进一步深化;动力配煤、煤水浆、煤油混合、掺水燃料、燃气辐射管、自身预热烧嘴、蓄热式换热陶瓷烧嘴(R·C·B)等燃料燃烧技术,都是当今瞩目的新型节能技术,其中R·C·B是近年才由英国开发成功,现正在欧洲示范推广,但在

我国尚未系统介绍过，目前仍属空白的新技术；蒸汽蓄热器、热电联供、热泵、热管、热轮、集中供热与余热动力回收等等均是现代行之有效的节能技术，所谓煤气、化工和热电“三联供”技术更是现代最新的大型系统节能技术，目前我国正在示范；至于减少无功损耗、电机调速节电等是最有潜力的节电技术，有待继续开发。此外，许多新的节电技术和节能测试的新方法也分别作了较详细的介绍；还首次系统地提出了有关节能材料的完整概念包括定义、分类和净能分析方法等。本书的另一个特点是实用性，书中许多数据、资料来自科研、技改和生产线上，在实际工作中都有较高的参考价值。

能源与节能领域宽广，技术门类繁多。为了使本书具有先进性和实用性，邀请了许多专家、学者协作编著。其中第一章由倪德良编著，第二章由凌志光编著，第三章由秦留臣、倪德良、张广平与吴培忠编著，第四章由秦留臣、王财友、张家华、杨笏康和沈建荣编著，第五章由陆安定、周俭德编著，第六章由倪德良、陈传隆编著。王长贵、俞善庆、陈显余、倪德良、秦留臣、徐守义、廖家淦、凌方民和陈明珠等专家分别对本书有关章节进行审阅。全书的组、统稿由倪德良承担，陈明珠负责整理。

在本书编写过程中曾得到上海市科委、上海科学院、上海能源所领导及魏珣、刘海涛、李婷婷、刘志豪等有关领导与专家的支持和上海能源所有关部门及情报室同志们的帮助，在此一并表示衷心的感谢。书中不少地方引用或摘录了有关文献中的图表和数据资料，在此也向这些文献资料的作者表示衷心的感谢。由于本书编写时间仓促，且限于作者水平，书中难免有差错和不妥之处，敬请读者批评指正。

上海市-欧共体能源管理培训中心

目 录

第一章 能源利用与节能概论	(1)
第一节 能源与社会经济发展.....	(2)
第二节 能源利用和节能分析基础.....	(11)
第三节 管理节能与技术节能.....	(21)
第二章 工业系统节能	(28)
第一节 工业系统节能概论.....	(28)
第二节 能量平衡与烟平衡.....	(34)
第三节 过程综合与系统匹配.....	(47)
第四节 能源系统模型与优化.....	(55)
第五节 能量系统的经济评价.....	(63)
第三章 燃料与燃烧节能技术	(67)
第一节 煤油混合燃料.....	(67)
第二节 水煤浆燃料.....	(78)
第三节 乳化燃料.....	(88)
第四节 动力配煤.....	(97)
第五节 成型燃料.....	(114)
第六节 平焰烧嘴.....	(124)
第七节 高速烧嘴.....	(136)
第八节 自身预热烧嘴.....	(145)
第九节 蓄热式换热陶瓷烧嘴.....	(157)
第十节 燃气辐射管.....	(166)
第十一节 沸腾燃烧技术.....	(178)
第四章 热能的有效利用与综合节能技术	(195)
第一节 工业蒸汽按质利用与热电联供技术.....	(195)
第二节 三联供技术(煤气、化工、热电).....	(207)
第三节 蒸汽蓄热器.....	(221)

第四节	热泵·····	(232)
第五节	热管·····	(245)
第六节	热轮·····	(259)
第七节	工业余热动力回收·····	(268)
第五章	节电技术·····	(280)
第一节	电动机的节电技术·····	(282)
第二节	变压器的节电技术·····	(303)
第三节	电压质量与功率因数·····	(315)
第四节	风机节电·····	(324)
第五节	泵的节电·····	(334)
第六节	电焊机与弧焊变压器的节能·····	(345)
第七节	照明节电·····	(355)
第八节	空调设备节电·····	(368)
第六章	其他节能技术与节能材料·····	(380)
第一节	能量平衡与节能监测中的测试新技术·····	(380)
第二节	保温隔热及其材料·····	(408)
第三节	远红外辐射加热及其材料·····	(436)
第四节	抗摩减阻及其材料·····	(469)
第五节	节能材料小结·····	(483)
参考文献 ·····		(505)

第一章 能源利用与节能概论

能源在古代是人类赖以生存发展的物质基础，也是现代发展工农业生产、交通运输和提高人民生活水平的重要物质保证。能源利用虽自古有之，但仅从本世纪七十年代发生了两次能源危机之后，能源问题才变得举世瞩目。现在大多数国家把能源问题摆到国事的重要地位来抓，我国也已把能源问题作为“四化”建设的关键环节，制订了明确的开发与节约并重的能源方针和许多重大的能源发展技术政策以及具体的管理条例、法规和标准等等，以推动能源的合理开发和利用工作。

我国虽是能源资源丰富的国家，具有广阔的开发前景，但是我国毕竟人口众多，国民经济基础薄弱，待建项目不能胜数，又因过去曾对能源建设缺乏全面安排和长远规划，造成近期开发跟不上，能源供不应求，一定程度上限制了经济建设速度。因此，为了四个现代化的早日实现，需要抓紧能源系统工程科学的研究，统筹解决我国的能源问题，既要增加产量，又要节约使用。这就是说，除了继续加强现有的煤、油和电力等常规能源的生产，积极开发利用核能和太阳能、生物质能、风能、地热能、海洋能等新能源外，还要杜绝浪费，合理地、综合地利用能源，提高能源的利用效率。不但要抓管理节能，更要抓技术节能，让新的节能技术尽快地得到研究和开发，让已经成熟的、证明效益显著的节能技术推广到一切可以推广的部门和领域。

正当我国节能工作转移到以技术节能为主这个轨道上来的时候，在本书中对过去能源利用与节能技术认真地总结一下，并向读者介绍部分现代节能技术，也许对促进我国节能工作能起到积极的作用。

第一节 能源与社会经济发展

能源是指能够转换成热能、机械能、电磁能和化学能等各种能量的资源。迄今，人类已经开发利用或者正在研究开发利用的能源有许多种，可以根据其形成条件、产生周期、使用性质和利用技术状况进行粗略分类如表1-1和表1-2所示。

表 1-1 能源分类

按形成条件分 按使用性质分 按利用状况分		一次能源	二次能源
常规能源	燃料能源	煤炭 石油 天然气 生物质能	煤气、焦炭、汽油、煤油、柴油、重油、液化气、甲醇、酒精等
	非燃料能源	水能	电力、蒸汽、热水、余热
新能源	燃料能源	核燃料	人工沼气、氢能
	非燃料能源	太阳能、风能、地热、海洋能源	激光能

一、能源是社会发展的物质基础

能源利用始于火的发现。人类从此开始使用薪柴作为煮食和御寒的能源。人类以薪柴为主要能源的时期是漫长的，大约一直延续到中世纪之前。那时期，尽管在动力方面已经开始使用畜力、风力和水力，但柴草是当时的主要的能源，利用它转化为热

表 1-2 能源分类

按产生周期分 按成因分	再 生 能 源	非 再 生 能 源
第一类能源 (来自地球以外)	太阳能、风能、水能、海洋能、生物质能等	煤炭、石油、天然气、油页岩、砂岩等
第二类能源 (来自地球内部)	地 热 等	核 燃 料
第三类能源 (来自地球与其他天体的相互作用)	潮 汐 能	

能。直到现代，许多发展中国家的广大农村仍以柴草为主要的生活动能。

我国人民早在二、三千年前就发现了煤，而且最先在我国得到开采利用。然而煤炭业作为一种产业直到中世纪才形成，当时由于大量使用木材而出现了木材危机，在英国首先出现了采煤场。十七世纪开始用焦炭代木炼铁，十八世纪已大规模地将煤炭用于冶炼业，煤炭开始成为普遍利用的燃料。到了瓦特发明蒸汽机，能将热能转变为机械能之后，煤炭利用进入了黄金时代，促进了许多工业的发展。十九世纪后期，发展了燃煤电力，有了发电机和电灯，为社会发展开辟了光明的前景。工业化对能源增长的要求使煤炭产量迅速增加，那时煤的消费量已超过了柴草，居主要能源地位。这个时期一直延续到本世纪六十年代石油黄金时代的到来。直到现在，许多产煤或者少油的国家，包括我国在内，煤炭仍是主要能源。

十六世纪，我国四川打出了第一口油井，用石油炼制灯油。此后的一、二百年，石油主要用于照明。十九世纪中期，美国

俄国先后开始采油和炼油。随着内燃机的出现及其在运输和工业生产中逐渐被应用，石油消费迅速增长。到了本世纪五十年代，在美国、中东和北非地区相继发现了大量的油田和气田。六十年代，石油化工得到了飞速的发展，石油进入了人类生活的各个领域，在西方一些发达的国家，石油已压倒煤炭而成为主要能源。一九七三年，全世界石油的消费超过了能源消费的一半，以石油取代煤炭成为主要能源这一过程以美国为最早，如图 1-1 所示。当然各国的发展是不平衡的，我国至今仍未出现以石油为主的能源结构。然而确有不少国家，能够在短短的二、三十左右的时间里实现了现代化，在很大程度上是靠当时丰富而廉价的石油以及由它转化而得的电力。

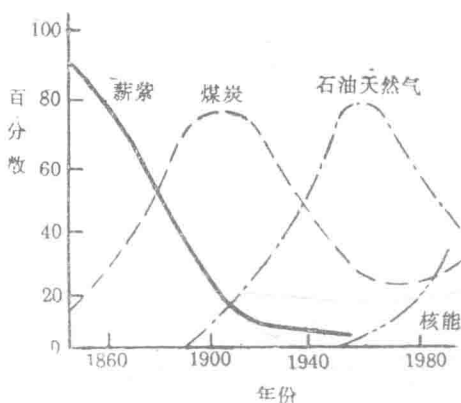


图 1-1 美国能源演变过程

一九七三年，中东一声炮响，西方世界爆发了石油危机（也称能源危机）。一九七九年又发生了农村能源危机。以七十年代能源危机为转折点，世界能源利用进入了一个新的时期——过渡时期。

危机的冲击使人们猛醒过来：世界石油储量有限了！若再一如既往地大肆挖掘和“挥霍”，枯竭之日指日可待，少则几十年，多则上百年就见分晓，于是上至政府首脑，下到庶民百姓，无不关

心能源。几乎大家都认识到,出路只有①努力节约 现有的矿物能源,特别是石油能源;考虑到石油比煤更为珍贵,所以应尽量多保存石油。于是以煤代油,压缩烧油,发展燃煤电力,将煤炭流体化,使能源的利用重新转移到以煤为主的轨道上来。②积极发展已可大规模利用的核能和水电能,积极开发太阳能、风能和生物能等可再生能源,逐步由使用传统的矿物能源向不易穷尽的核能和可再生的清洁能源过渡。

与能源过渡相对应,一些耗能型、集中性的大工业体系已逐步被省能型、分散性和技术密集型的工业(如电子、信息工业等)所替代。同时,能源利用必须与环境保护、生态平衡取得一致和协调发展。作为发展中国家包括我国的广大农村,以柴草为主要生活能源的时期不会维持太久了,因为这样下去,与维持人类必要的生态平衡是背道而驰的。但是一般也不会走城市或发达国家用能的老路,让传统的已趋紧张的油、煤大量进入农村。鉴于未来社会的发展趋向,应该向多能互补的结构过渡。如因地制宜地发展生物质转化的沼气,小水电,太阳能,地热能和风能等新能源或可再生能源中的若干种。无疑,它们是更适合于农村散居生活与生产要求的。

社会在前进,生产要发展,人们需要更多更高的物质和精神文明,这一切都离不开能源。

二、能源与国民经济发展的关系

从社会经济发展进行考察,能源消费的增长与国民经济发展之间存在着一定的比例依赖关系,这可用能源消费弹性系数表示。

$$\text{能源消费弹性系数} = \frac{\text{年均能源消费增长率}}{\text{年均国民经济(国民生产总值)增长率}}$$

式中,年均国民经济增长率,在我国常用工农业生产总值来替代。我国历年工农业生产总值和能源生产、消费量之间的关系列于表1-3。

表 1-3 我国历年工农业生产总值与能源生产和消费量

年 份	工农业生产总值	一次能源生产量	能源消费量
	(亿元)	(万吨标煤)	(万吨标煤)
1949	466	2374	
1952	810	4871	
1953	960	5192	5411
1957	1241	9861	9644
1962	1504	17185	16540
1965	2235	18824	18901
1970	3138	30994	29291
1975	4467	48754	45425
1978	5634	62770	57144
1980	7077	63721	60275
1981	7580	63223	59447
1982	8291	66772	62646
1983	9211	71263	66040
1984	10797	77847	70904
1985	13269	85538	77020
1986*		≈38100	≈30000
1987*	20444	≈91000	
1988*	23718	≈35100	

注：此数据在各种出处中不完全一致，仅供参考。

我国历年的能源消费弹性系数如图1~2所示。(1982年以后的数值用表1~3中的数值计算而得。)能源消费弹性系数也有用能源消费增长率与国民收入增长率之比来表达的，它的值往往偏高。

在国民经济发展中，反映能源利用效益的指标除了能源消费弹性系数外，还有如表 1-4 所示的各种指标。这个表中列出了我

国“六五”期间的主要数据。

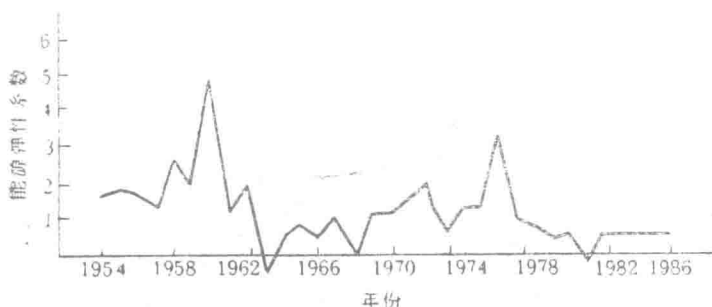


图 1-2 我国的能源消费弹性系数

分析能源消费与国民经济增长之间的关系后，可以粗略地认为，无论国内还是国外，在一长段时间内，国民经济增长与能源消费的增长成正比。

当然，由于各国的情况不尽一致，由于一个国家各个时期的建设方针政策有所不同，有时能源增长快一些，有时却慢一些。近几年由于世界各国对节能的重视，能源消费增长出现了偏低与国民经济增长的倾向，我国也一样。在一个国家内，各地区的情况也是不平衡的，例如我国的上海，近几年内由于注重节能，能源消费弹性系数一直保持低于 0.5，领先于国内其他许多城市。我国到 2000 年，国民经济总值要翻两番，而根据我国能源开发能力，能源消费只能翻一番（预测值为 14.3 亿吨标煤左右）即平均弹性系数必须保持在 0.5，因此，我国今后的节能任务还是相当繁重的和长期的。到了 2000 年，即使如期达到了预测目标，人均年耗也只有 1.12 吨标煤，远低于中等收入发展中国家的水平，能源仍是制约我国社会经济发展的重要因素，必须继续把能源作为我国的战略重点来抓。

三、我国能源资源利用现状与重大方针政策

我国的能源资源是丰富的，煤炭的地质储量仅次于苏联和美

国,居世界第三位。1985年探明的保有储量为7691.81亿吨,资源开发潜力很大。我国的水资源居世界首位,理论蕴藏量达6.76亿千瓦,其中3.78亿千瓦为可开发资源,目前已开发的约4%,开发潜力也很大。石油资源也是比较丰富的,1985年探明的地质储量为116.2亿吨,天然气为3962.62亿立方米。可见我国四化建设所需的能源供应完全可以立足于国内,毋需进口。

表 1-4 能源利用效益主要指标

年 份	每万元工农业总产值消费能源 (吨标准煤)	每万元社会总产值消费能源 (吨标准煤)	每万元国民收入消费能源 (吨标准煤)	每吨能源消费实现的社会总产值 (元)	每吨能源消费实现的国民收入 (元)
1980年	8.52	7.07	16.34	1,415	612
1981年	8.03	6.66	15.36	1,501	651
1982年	7.78	6.41	14.95	1,560	669
1983年	7.44	6.13	14.36	1,632	697
1984年	6.94	5.74	13.58	1,743	736
1985年	6.45	5.35	13.14	1,870	761
六五期间 年平均	7.23	5.98	14.15	1,673	707

注:社会总产值,工农业总产值,国民收入均按1980年价格计算。(下表同)。

但是,我国当前的能源开采能力还较低,而且薄弱的工业基础的加强和拥挤落后的交通运输的改善需要较长时间,故2000年之前,能源生产不可能有大幅度增长。因此现代化建设所要求的能源只能一半靠开发,一半靠节约。开发与节约并重是我国长期的能源方针。据预测每年要求全国节约2000万吨左右的标煤,才能满足国民经济发展的需要。

我国能源消费以煤炭为主,约占整个商品能源消费的70%以上,石油和天然气只占20%左右,水能占4%~5%。表1-5为我国“六五”期间一次能源生产总量和构成。因此我国应在煤炭的合理利用和综合利用上狠下功夫,如搞城市煤气化,供应动力配

煤，采用型煤和沸腾燃烧技术等。由于石油是比煤更为高级的能源，又是宝贵的化工原料，还可出口创汇，故我国确定了尽量压缩烧油，以煤代油，并积极探索煤油混合、水煤浆等流体化燃烧技术。从长远着眼，还应大力开展煤液化技术的开发研究。

表 1-5 一次能源生产总量和构成

单位：万吨标准煤；%

	总 量	其中：			
		原煤	原油	天然气	水 电
生产总量					
1980年	63, 735	44, 297	15, 136	1, 898	2, 404
1981年	63, 207	44, 404	14, 461	1, 694	2, 668
1982年	66, 778	47, 596	14, 589	1, 587	3, 006
1983年	71, 270	51, 039	15, 153	1, 624	3, 454
1984年	77, 881	56, 375	16, 374	1, 678	3, 454
1985年	85, 546	62, 307	17, 843	1, 720	3, 676
六五期间合计	364, 702	261, 721	78, 420	8, 303	16, 258
生产构成					
1980年	100	69.50	23.75	2.98	3.77
1981年	100	70.23	22.87	2.68	4.22
1982年	100	71.27	21.85	2.33	4.00
1983年	100	71.61	21.26	2.23	4.85
1984年	100	72.39	21.02	2.16	4.43
1985年	100	72.83	20.86	2.01	4.30
六五期间合计	100	71.76	21.50	2.28	4.46

我国的能源消费部门构成中，以工业为主，近年约有60%的

能源消耗在工业部门(生活用能占22%，交通运输及邮电占5%，农业约占7%，其他占6%)。这个比例随着社会发展，人民生活需要的提高，产业结构的调整，交通运输的发展和工业节能工作的加强，将会逐步下降的。发达国家的工业能耗大多占总能耗的30%~40%(民用和商业30%~40%，交通运输20%~35%)。当前我国工矿企业的能源利用率还较低，产品单耗较高，浪费较大，然而能源又比较紧张，造成较为尖锐的能源供需矛盾。这就是为什么我国的能源管理和节能技术改造重点放在工业部门，并千方百计地提高工业部门的能源利用率的原因。

此外，我国的非商品能源占据相当大的比重，全国约有2.2亿多吨，约占全国总能耗的 $\frac{1}{4}$ ，而且主要在农村，它们又主要是柴草等生物质能，占农村能源的 $\frac{2}{3}$ 。我国农村能源的80%用于人民的生活。尽管如此，我国农村能源还是比较紧张的，在有些地方曾一度因大量砍伐薪柴而遭致影响生态平衡的后果。幸亏我国及时注意了这种情况，制订了“因地制宜，多能互补，综合利用，讲究实效”的农村能源建设方针。在此方针的指引下，大力推广省柴灶，将原来效率只有10%~15%的低效柴灶改造为效率达30%~40%的新型柴灶，还积极发展农村沼气，综合利用肥源和能源；有重点地推广已有实用性的太阳能、风能、小水电等新能源与可再生能源利用技术。

当然，由于我国人口众多，那么多的能源按人口一平均就少得可怜了，目前人年均能耗不足800千克，远远低于发达国家的消费水平。这与我国现代化的要求是不适应的。随着人民物质和文化生活的高度文明化，人均能源消费还要大幅度地增加。因此从长远看，大力加强能源的开发是十分必要的。开发是我国能源建设的基础，但考虑到能源从开发到收效的时间较长，因此必须从现在起，就要统筹规划，要安排九十年代中后期才发挥作用的项目。开发的重点放在常规能源，除加强煤油气的开发外，特别要重视水力的开发。要加快发展电力工业，水火并举，发展坑口电站和热电联产，并在华东、华南等严重缺电地区建立核电站；要压