

14

实用节能技术

李朝绪等 编著



煤炭工业出版社

实用节能技术

李朝绪等编著

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书是根据能源管理和节能技术的实践经验编写的。

该书较系统地介绍目前几种主要能源现状、消耗和利用水平；工厂能源的科学管理，工厂用各种能源的节约技术和改革工艺，降低能耗的方法，以及某些节能新技术的应用；书中还附有国家有关节能工作的政策、指令和标准。

本书可供能源管理人员、工程技术人员和有关工人阅读，并可供有关技术院校的动力、能源专业师生参考。

责任编辑：施 文 华

实 用 节 能 技 术

李 朝 皓 等 编 著

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平门北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168 \text{mm}^{1/32}$

印张 $11^{7/8}$

字数 313 千字

印数 1—2,700

1988年8月第1版

1988年8月第1次印刷

ISBN 7-5020-0030-5/TD·31

书号 2943

定价 3.30元

序 言

能源、粮食、环境保护和人口，是当今世界各国面临着的四大问题。随着世界人口的不断增长和工业规模迅速扩大，这些问题愈来愈显得重要，必须认真对待和加以解决。特别是能源问题，由于能源消耗以惊人的速度在增长。有关资料指出：从1960年到1975年，世界一次能源（如煤、石油、天然气等）年总消耗量按折合标准煤计算，由44亿吨增为87.5亿吨。15年内增加了98.85%，平均年增长率为4.7%左右。据估计，自1975年起到2000年期间，世界一次能源年总消耗量将达到190亿吨。我国能源消耗情况，同世界各国一样，也是在不断增长着，以煤炭为例，全国煤炭年产量从解放初期的3200万吨，发展到1985年的8亿5千万吨左右，年平均增长率为15.9%。但就是这样高的能源增长速度，与之我国工农业生产的发展和人民生活需要能源的情况，还是不敷使用，每年尚存在着一定的缺口，到2000年末，为了达到四个现代化“小康之家”的目标，据匡算，全国能源消耗折标准煤需要16亿吨，可是按照现今能源生产增长的速度每年保持以3~4%计算，到2000年末只能达到12亿吨，尚差4亿吨标准煤，才能满足“小康之家”对能源的需求。故中央指示，我国的能源方针是：实行能源的开发和节约并重，近期要把节能放在优先的地位，大力开展以节能为中心的技术改造和结构改革。所以，节约能源是一项关系到实现四个现代化的战略问题，是全国人民的一项光荣而艰巨的任务。

基于节能工作的需要，作者不惜浅见，以抛砖之忱，着手写就此书，供读者参考。书中缺点，诚请读者指正。

参加本书工作的还有：副教授李汉炎、副教授张绪祯、黄炳印、李君海四位同志。

作 者

目 录

序 言

第一章 能源概述	1
第一节 能源分类	1
第二节 几种主要能源现状	2
第三节 能源消耗状况	5
第四节 能源利用率	9
第二章 工厂能源结构	11
第一节 工厂能源构成	11
第二节 工厂耗能设备和能耗状况	14
第三章 工厂能源管理制度	17
第一节 能源管理体系	17
第二节 产品耗能定额	21
第三节 计量仪表和测试制度	23
第四节 统计考核制度	26
第五节 竞赛、评比、奖罚制度	34
第六节 燃料、用汽、用电和用水管理制度	51
第七节 节能措施和维护检修制度	53
第四章 煤的管理和节约	55
第一节 对贮煤场的要求	55
第二节 煤的制备技术	56
第三节 煤的贮存效率	59
第四节 煤的合理搭配	63
第五章 蒸汽的有效利用	65
第一节 蒸汽的特性	65
第二节 蒸汽压力的确定	66
第三节 湿蒸汽和干蒸汽	68
第四节 空气的排除	73

第五节 二次蒸汽利用	74
第六节 蒸汽热能的重复利用	79
第六章 余热利用	80
第一节 余热利用的重要意义	80
第二节 冷凝水的余热利用	82
第三节 废气、排气的余热利用	92
第四节 冷却水余热利用的方法	98
第五节 低压差发电	99
第六节 化学反应热的利用	103
第七节 废可燃物的热能利用	104
第八节 锅炉排污热能利用	105
第九节 锅炉烟气余热利用	109
第七章 热水采暖	116
第一节 热水采暖的优越性	116
第二节 热水采暖系统	118
第三节 热水采暖系统的调节和故障消除	122
第八章 热力设备的保温	127
第一节 保温的作用和计算	127
第二节 保温的合理性	133
第三节 保温材料的选择	137
第九章 节约用电	142
第一节 用电效率	142
第二节 提高功率因数	143
第三节 节电技术	155
第十章 能耗参数的监测	162
第一节 温度监测	162
第二节 压力监测	173
第三节 汽量测量	183
第四节 水量测量	207
第五节 煤量测量	209
第六节 电能测量	213
第七节 热量测量	217
第八节 自动控制系统	220

第九节 烟气分析	230
第十一章 消除跑、冒、滴、漏	239
第一节 跑、冒、滴、漏的损失分析	239
第二节 减少跑、冒、滴、漏的方法	240
第三节 疏水器的可靠性	243
第十二章 企业能量平衡	249
第一节 企业能量平衡的意义和要求	249
第二节 能量平衡的技术指标及计算	250
第三节 企业能量平衡技术验收标准	255
第四节 水平衡方法	256
第十三章 节能技术改造	266
第一节 锅炉炉膛结构的合理改造	266
第二节 苯酐节能技术改造	272
第三节 纺织机械技术改造	274
第四节 微机控制加热炉	275
第五节 加热炉的节能改造	277
第十四章 采用新技术,降低能源消耗	280
第一节 太阳能利用	280
第二节 远红外加热技术	284
第三节 空调节能	291
第四节 改革工艺、节约能源	301
第五节 燃油掺水技术	329
第十五章 采用节能新设备、新仪器、新材料	333
第一节 节能新设备	333
第二节 节能新仪器	344
第三节 节能新材料	349
附录 1 煤、灰的近似堆积密度及自然堆积角	355
附录 2 饱和水和饱和蒸汽表	355
附录 3 BA型水泵工作性能	356
附录 4 汽管、水管、风道的经济流速	357
附录 5 采暖房间空气温度控制值(℃)	358
附录 6 不同管径保温材料 and 管道本身的重量	359
附录 7 各种耐火、保温材料的导热系数	360

附录 8 电磁阀的技术规范	361
附录 9 节约能源管理暂行条例 (1986年 1 月 12 日 国务院发布)	364
参考文献	373

第一章 能源概述

第一节 能源分类

能源是发展国民经济和保证人民生活的重要物质基础。正如列宁所说的，煤炭是工业的粮食。也有人把能源比做国民经济的血液和命脉。我们燃烧燃料，把它转换成工农业生产和生活所需要的电能、机械能及热能；而这些自然资源同时也是重要的工业原料，如化纤工业的原料就是石油和煤炭。

追溯人类开发和利用能源的历史，从远古时代的柴草，十八世纪的煤炭，近代的石油、原子能、太阳能和地热能等，经历多次变化，能源的种类日益增多。人们为了合理地利用能源，常常把能源分为两大类，即一次能源和二次能源；或称为一级能源和二级能源。所谓一次能源，就是自然界已经存在，或由于自然条件变化而产生的，并没有经过加工和转换的能源，又叫做天然能源。如人们常说的煤、石油、天然气、太阳能和水能等，都是自然界已经固有的能源，而风能、潮汐能、地震能则属于自然条件变化而产生的能源。二次能源则是由人类对一次能源经过加工或转换得到的产品，如电能、蒸汽、煤气、煤油、柴油等。在工业生产中所产生的余热、余能，如高温烟气、可燃废油、废汽、冷却水等，也是属于二次能源的范畴。

能源的分类情况可见表 1

根据能源构成和使用情况，能源又可分为常规能源和新能源两种。所谓常规能源，就是不同历史时期和科学技术水平下，已经被人们广泛使用于生产和生活的能源。常规能源包括煤炭、石油、天然气、水力和第五能源（即节约能源）。有人估算，通过节能手段，将使在2000年世界能源消耗量要比原计划水平减少

表 1 能 源 分 类

次别	类 别	名 称
一 次 能 源	第一类能源 (来自地球之外)	太阳辐射能 煤、石油、油页岩、天然气、草木燃料、沼气、风、流水、海流、波浪、直接太阳能、海洋能和其它由光合作用固定下来的太阳能等
		宇宙射线和其它流星物质带入地球大气的能量
	第二类能源(来自地球内部)	地热能 地震、火山活动、地下热水和地热蒸汽、沸泉、热岩层
		原子能 铀、钍、锂、硼等
二 次 能 源	第三类能源 (地球与其它相互作用)	潮汐能
		电能、蒸汽、煤气、煤油、汽油、柴油、酒精、甲醇、苯胺、苯、胍类、氢能、黑色火药、硝化棉、硝化甘油等

20~30%。因此,在今后二十年内,节能可能成为世界最大的能源之一。所以人们一般地把煤炭、石油、天然气、水力称为四大能源,而把节约能源(是一种特殊形态的能源资源)称为第五大能源。所谓新能源,则是目前尚未得到广泛使用,有待科学技术的发展,以期更经济、有效开发的能源,如太阳能、地热能、海洋能、风力能、原子能、生物质能和氢能等。

当今世界上广泛注视着第五大能源。可以说,它的储量是极其丰富的。据估算,如果提高能源的有效利用率10%,则通过节约可以得到的能源数量将比现今世界上使用的水能、电能和核能三者之和还要多;如节约20%,节约的能源数量比世界上天然气储量还大。由此可见节能在当代能源问题中具有重大意义。

第二节 几种主要能源现状

能源的开发和利用推动了生产技术的发展,而能源的丰富或贫瘠,是开发利用的基础。

目前世界上几种主要能源现状如表2。

我国人口众多,能源以可采储量计算,按人口平均只相当世

表 2 几种主要能源情况

能源 种类	能 量 、 储 量 和 开 发
煤	根据1977年英国统计,世界煤(烟煤和褐煤)的可采储量年限以年消耗平均增长率4%计算,还可采110年。我国煤的储藏量较大,占世界第三位,仅山西的煤就可供我们开采几百年之多 世界上煤是仅次于石油的主要能源,而我国的主要能源是煤炭,目前煤在世界能源中的比重占20%左右,我国则为70%以上
石 油	目前已探明海底的石油储量约为270亿吨,占世界总储量23%(世界总储量约为1170亿吨),根据1977年英国统计,可开采37年。世界石油储量和产量近半数分布在碳酸盐岩地层。我国是碳酸盐岩沉积大面积分布的国家,储量很大,占世界第三位,尤其是海底石油资源极为丰富,渤海、黄海、东海、南海都有大量的石油储藏 目前世界上石油能源占33~37%左右,估计到2000年将降低到30%左右,我国的石油产量在逐年提高,已成为一个重要的石油生产国
天 然 气	天然气的生成,主要来自干含煤系地层或腐植层。世界上的大气田和天然气储量70~80%来自煤系地层,现在已探明的海底天然气储量约15万亿m^3,占世界总储量的17%(世界总储量约90万亿m^3)。根据1977年英国统计,世界天然气可采储量年限以不同消耗平均年增长率4%计算,还可采51年 我国天然气资源丰富,四川的天然气井是世界上最早的气井,在1700多年前的东汉时代就有了 目前,天然气在主要能源中牢固地保持着第三位,约占总能源的16.3%
氢 能	地球上的氢储量很大,主要以化合物的形态储存在水中。氢的热值很高,每kg氢可放出热量$14.235 \times 10^6 \text{J}$,为汽油的三倍,海水中的氢含量有$1.5 \times 10^{18} \text{t}$,所产生的总热量约为$21.35 \times 10^{23} \text{kJ}$,比世界上所有矿物燃料发出的热量还大9000倍。氢在-240°C以下加压成无色液体,液态氢是极佳的燃料。氢在极高压力下可能成为金属,金属氢内所能贮藏的能量极高,比TNT炸药大30~40倍。美国正在研制以液氢为燃料的超音速飞机,时速6400km
电 力	电能生产实际上是一次能源的加工和利用。在水力发电方面,有些国家水力资源开发已达可利用的50~90%,火力发电的效率约35~40%。目前正在研究提高效率的各种新技术,如联合循环、磁流发电等 火力发电从1882年开始,至今已有百年的历史,目前火力发电单机组容量已达50~100万kW,正在发展130万kW机组。水力发电单机组容量已达60万kW 我国的年发电量已近3000亿$\text{kW} \cdot \text{h}$,约为解放初期的70倍

续表

能源种类	能 量 、 储 量 和 开 发
水 力	据估计,现在世界经济可利用的水资源约为10万亿 $\text{kW}\cdot\text{h/a}$,如把所有可用的水资源全都开发出来,约可满足目前世界能源耗量的七分之一 我国水力资源有5.8亿 kW,居世界首位,长江水力资源就有2.3亿 kW,还有待进一步开发 水力在世界能源的构成中的比重,1966年为6%,1980年为5%,到2000年将下降为2~2.5% 我国水力资源的利用潜力很大,目前只开发利用了占蕴藏量的几十分之一
太 阳 能	太阳表面温度为6000℃,内部温度高于 $2000\times 10^4\text{℃}$,太阳内部不断地进行着热核反应,相当于一秒钟内爆炸910亿个100万 t 级的氢弹,发出能量376.8亿亿焦,总辐射功率大约有 $3.75\times 10^{26}\text{W}$,但其中只有1/22亿到地球,到达地面的只占1/3,即到达地面的太阳能有56.8万亿 kW,如果全部用来发电,要比现在全世界消耗的电量还大万倍以上 我国幅员辽阔,太阳能极为丰富,总能量12000亿 kW,一年中可获得太阳能近1亿亿度 目前,太阳能的利用,在太阳能发电方面还处于试验研究阶段,太阳能采暖已得到具有实用意义的进展,太阳能热水器已得到较普遍的应用,如日本72%的家庭,已利用太阳能热水淋浴和洗涤
原 子 能	裂变反应的核燃料是铀和钚。目前已知铀和钚的资源,按能量计算约为地球化石燃料的几十倍,一 kg 铀-235所放出的能量大约相当于2700 t 标准煤。聚变反应比裂变反应的能量还要大得多,比如一 kg 铀可使列车运行四万 km,环绕地球一圈。一 kg 氘可以使列车从地球开到月球。同时,氦在地球上含量丰富,不象铀那样稀缺,一桶海水里含有的氦原子能相当于300桶优质石油的能量。地球上的海水共有13亿7千万立方公里,含有氦20万亿 t。一 kg 氦可顶三万 t 煤。地球上全部的氦所含能量,可以使用几亿年,实际上是取之不尽,用之不竭。国外已建成核电站的装机容量有16835.6万 kW,我国正在筹建核电站
海 洋 能	包括潮汐能、波浪能和海洋温差能等。潮汐能是天体运动中形成的一种能源,总共有10亿 kW。估计可供发电的能量最多不超过现有水能资源的2%。一般浅而狭窄的海面上,潮汐能较大。我国潮汐能每年约可发580亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$。海浪的力量很大,据计算波高5米的海浪每平方米的压力可达10 t 以上。海洋热量巨大,估算如果热带地区的海洋有50%可用以进行温差发电,到2000年全世界人口总数如果达60亿的话,平均每人用电10 kW,那么由于海水温差发电使海水温度降低1℃,发出电力就有600亿 kW,足够用一年。法国开发潮汐能发电最早,年发电约5亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$。美国年发电量100~150亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$。我国也建立了一些中、小型潮汐发电站7座,总装机容量3000 kW

能源种类	能量、储量和开发
地	地球本身是个大“热库”，能量仅次于太阳能。地球半径 6300多km，越经深处越热。在15km深的范围内，平均每深 100m，温度升高 3℃。在地层深 4~6km之间所储的热能相当于600万吨标准煤。仅仅地下热水和热蒸汽，所储藏的热能，就等于地球上全部煤炭储量的 1.7 亿倍。天然的水热资源在距地面10km内的，估计为 40×10^{21}J，在3km以内的则为 8×10^{21}J，估计约有4%是可供发电用的蒸汽。热岩层到处都有，分布广，储量大。估计1km³热岩层的储能量相当于一个产油一亿桶的大油田
热	我国已经发现天然露头的温泉就有2000处以上。地热资源十分丰富。天津市已钻热水井380眼，1980年开采地热水总量 4900 万立方米，相当于节煤30 万 t。在广东1970年已建成第一个地热发电站
风	风是一种常见的自然现象，是由大气运动产生的地球表面的风力能量，据估计每年约为13万亿kW·h。风的能量比人类迄今为止所能控制的能量还多得多。全世界每年由于燃烧煤而获得能量，还不到风力在同一时间内给我们提供能量的0.1%，整个大气中的总风力估计是 300×10^{12} kW，即 2600×10^{12} GkW·h/a，其中约1/4在陆地上空，大大地超过水流的能量，也大于固体燃料和液体燃料的总和
能	我国是利用风能最早的国家，早在2000多年前已利用 风力驱动帆船航行。丹麦最早利用风力发电。目前，国外1~10kW小型机组已成批生产。美国100 kW，200kW机组已并入电网运行，正在兴建1500和2500kW机组，到1985年发电 10^6 kW·h，2000年增为 20^7 kW·h 我国利用风力发电还处在试验研究阶段，机组容量为 18kW 和12kW的风力发电机已经生产

界平均数的一半，为美国的十分之一，苏联的七分之一，能源资源并不丰富。在社会主义经济建设中，我国历来实行增产节约的方针，为了满足对能源的需求，在提高能源的生产能力的同时，也重视能源的合理利用和节约。近年来，也积极开展了对开发和利用新能源的研究。

第三节 能源消耗状况

1973年至1982年，世界能源短缺，特别是石油供不应求，不少工业发达国家出现能源危机。近期因世界性的经济萧条和石油

输出国盲目开采，出现短期石油过剩，但随着经济复苏，能源还将出现短缺。

我国能源储量虽比较丰富，但是能源开发不足。另一方面，就能源消费来说，目前数量和日本差不多，然国民经济产值却低于日本的4.2倍，其原因是我国的工业结构还不完善，许多工艺和设备陈旧，技术水平低，以及能源管理上存在浪费现象。能源利用率低，致使我国的能源消费增长系数（也叫弹性系数或韧性系数）很高，为1.22，即国民经济生产总值每增长1%，能源消费量需要增长1.22%。而国外工业发达国家，由于采用先进技术、更新设备、发展耗能低的工业，能源消费系数一般只在0.6~0.8左右。因此，我国的能源供应远不能完全满足国民经济发展的需求。

关于能源消费的弹性系数，可以通过下面公式计算求得：

$$\text{弹性系数} = \frac{\text{综合能耗增长率}}{\text{产值增长率}}$$

例：一个工厂的年产值增长率为10%，而综合能耗增长率为5%，求该厂能源消耗的弹性系数是多少？

解：将题示数据，代入上式可得：

$$\text{弹性系数} = \frac{5\%}{10\%} = 0.5$$

这个弹性系数（0.5）不算高，是合适的。

同理，若产值增长率保持不变，而综合能耗增长率增大为20%，那么通过上式计算，弹性系数就变为2。这个系数就显得很高了，说明能源管理存在很大的浪费。因为，国内外弹性系数的先进指标只是0.6~0.8。

需要指出：弹性系数这个概念，并无时间约束，可取任何一个单位时间区段来考核，如时、日、月、季或年。只要两种增长率都取同一个时间区段来计算，就可求出该时间区段内的弹性系数。这样一来，工厂在生产实践中，随时可以计算弹性系数，以资评价，发现问题，设法解决，以利在年终考核时，得出一个合理和较

低的系数。

还得指出一点：在工厂的生产实践中，有时为了探明哪一种能源消耗增长情况，也可以分别以每一种能源消耗增长率做弹性系数计算公式中的分子，分母仍以总产值的增长率为基数，也可以通过计算求出每一种能源的弹性系数。

在实践中，经常发生这样的两种情形，即产值增长而能耗降低和产值降低而能耗增长的情况。在这种情况下，又如何计算能源消耗的弹性系数呢？作者认为可以采用数学上的正（+）负（-）运算法则，令增长为正（+），而降低为负（-）来描述。

若产值增长而能耗降低时：

$$\text{弹性系数} = \frac{\text{综合能耗降低率}}{\text{产值增长率}}$$

如令产值增长率为10%，综合能耗降低率为2%，那么

$$\text{弹性系数} = \frac{-2\%}{+10\%} = \frac{-2\%}{10\%} = -0.2$$

通过计算，弹性系数得负值，即说明产值增长，能耗降低。这种现象，在原来能源浪费较大的情况下，由于加强了管理和实现有效的节能措施后，就很明显地出现产值增长而能耗不增长，反有降低的情形。如国内一些节能先进单位的经验就是这样。

若产值降低而能耗增加时：

$$\text{弹性系数} = \frac{\text{综合能耗增长率}}{\text{产值降低率}}$$

如产值降低10%，而能耗增长1%，那么

$$\text{弹性系数} = \frac{+1\%}{-10\%} = \frac{1\%}{-10\%} = 0.1(-)$$

式中0.1后面的负值（-），即表示产值降低而能源增长的情形。这种现象，在生产不正常，质量差或减产的情况下是经常出现的异常情形。由此，可以充分说明，生产的均衡稳定和质量的优越是节约能源的重要一环。

表3列出世界能源储量和消耗状况

主要资本主义国家的能源是靠石油，煤炭只占第二位。我国

表 3 世界能源储量和耗量概况

能源类别	可采储量(10亿吨烟煤)	消耗量占世界能源总耗量的百分数(%)
石 油	418	45
烟 煤	1425	25
褐 煤	423	—
天然气	313	19
铀、水力	—	10

资料来源：中科情报所，国外科技动态，第6期，P61，1980年。

能源主要是使用煤，每年煤的消耗量占我国能耗总量的70%以上，而水力、石油、天然气等能源只占30%左右。

世界按人口平均每年每人耗能水平如表 4 所示：

表 4 按人口平均每人·年耗能水平

国 别	美 国	苏 联	日 本	英 国	中 国
耗能水平 (吨标准煤/人·年)	12.5	6.6	6.1	5.3	0.67

从表中看出，我国按人口平均的耗能水平比起工业发达国家相差很远。

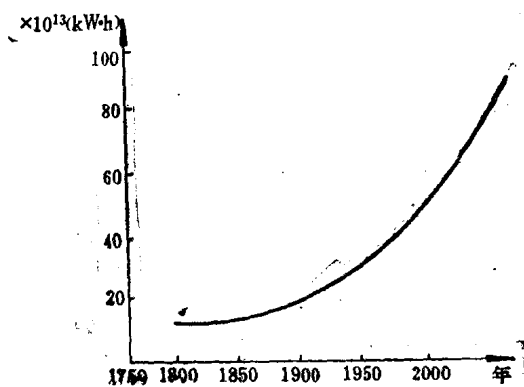


图 1 世界能源消耗增长情况

十八世纪产业革命之后，落后的手工业为现代的机器工业所代替，相应地为驱动机器的能源，也与日俱增。到二十世纪，由于工业的高度发展，能耗的上升速度更为急剧。图1示出了从1800年之后，随着人口的增加和工农业生产的发展世界能耗（折合为用电度数）上升的趋势。

正如前面提到过，从二十世纪六十年代到二十世纪末的四十年内，世界能耗将增长三倍，而从现在起到2000年，我国能耗计划将增长一倍。

第四节 能源利用率

能源开发增长的速度满足不了日益增长的消耗速度，从而引起了能源问题。正如美国一科学家麦克科迈克所说：如果不及早采取“开源节流”的有效措施，总有一天，能量消耗将大于各种来源的能源，而这一天或迟或早都要到来，谁也不能例外。所以，节约能源，提高能源利用率，已被世界各国所认识。把节能视为一独立能源，称做第五大能源，显然有着极为重要的战略意义。目前，各国能源利用率各有不同。如节能工作做得最出色的日本，能源利用率已达到57%；美国达到51%以上，欧洲共同体国家平均为42%左右。

我国能源利用率估计只有30%上下。根据我们在企业热平衡的测试中发现，有些用热设备的热效率极低，只达到8.8%，有些工厂热能利用率仅只有15.7%，存在着大量浪费现象。因此，工厂企业中的节能潜力很大，节约能源大有可为。据此，把我国能源利用率指标再提高10~20%，在技术上是现实的。

根据徐寿波著的《能源技术经济学》（1981年）一书，我国的节能潜力如表5指出的那样，要提高能源利用率和能源经济效益，必须从两方面着手，一是要大力降低实际的能源消耗量，二是要大力提高各部门、各企业的经济效益。