

系统节能基础

陆钟武 蔡九菊 编著

THE FOUNDATIONS OF
SYSTEMS ENERGY CONSERVATION



東北大學出版社
Northeastern University Press



东北大学资助

系统节能基础

THE FOUNDATIONS OF
SYSTEMS ENERGY CONSERVATION

陆钟武 蔡九菊 编著

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 陆钟武 蔡九菊 2010

图书在版编目 (CIP) 数据

系统节能基础 / 陆钟武, 蔡九菊编著. — 沈阳: 东北大学出版社, 2010.8
ISBN 978-7-81102-846-1

I. ①系… II. ①陆… ②蔡… III. 节能—基本知识 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 150311 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市北陵印刷厂有限公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm×240mm

印 张: 11.5

字 数: 230 千字

出版时间: 2010 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2010 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 孟 颖 郭爱民

责任校对: 郎 坤

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-846-1

定 价: 20.00 元

第一版前言

(1993 年)

如果说我国冶金工业广泛开展节能工作还只有十多年历史的话,那么系统节能的历史就更短了。系统节能这个术语几年前才在冶金界较为普遍地使用,大专院校开设相应课程的时间也很晚。东北工学院(东北大学)热能工程系1982年才开设了一门以系统节能为主要内容的选修课,当时课程的名称是“冶金工业的能源利用”。

热能工程专业或冶金炉专业的早期毕业生没有接触过这门课程。冶金类其他专业如钢铁冶金、有色金属冶炼、金属压力加工等,直到现在也没有开这门课;这些专业的毕业生在校时都没有接触过这门课程。所以,在冶金继续工程教育计划中,列入“系统节能基础”这门课,并编写这门课的教材,是非常必要的。本书就是作为这门课的教材,按照中国金属学会冶金继续工程教育的要求编写的。

从事热工热能和冶金能源工作的工程技术人员,理应较全面地掌握本书的内容,以便做好本职工作。其他各专业的工程技术人员,也可参考本书,熟悉系统节能的基本概念和基本知识,并在工作中加以运用。我们深信,这对于冶金工业的节能工作定能起到有力的促进作用。

系统节能技术基于两个主要概念:一是“载能体”,二是“系统”。本书的全部内容基本上是围绕这两个概念展开的。为了分析研究生产中的能耗问题,所用的方法是各色各样的,可以是定性的,也可以是定量的。关于定量的方法,因受篇幅限制,本书只介绍了投入产出法和线性规划法两种。其实,可供选择的数学方法较多,读者可视情况灵活选用,不要受本书的约束。

本书主要由陆钟武、蔡九菊二人执笔,其中部分章节取自以前出版的《冶

金工业的能源利用》一书（冶金工业出版社，1986），但作了适当修改，还作了大量补充。这些修改和补充工作主要由蔡九菊完成。池桂兴、邵玉良、马宏毅也参加了部分章节的起草。第 10 章开始的几个应用实例都是作者及其合作者所发表过的论文。

我们感谢徐业鹏、孟庆生以及中国金属学会继续教育部的同志们，他们在本书成稿过程中审阅了初稿，提出了宝贵的修改意见，对本书质量的提高起了很好的作用。

这门课程虽已经历了整整 10 年，然而应该说它仍然处在初创阶段，课程的框架、内容的取舍等方面，都还有不少不尽如人意之处。我们相信，在系统节能工作广泛开展的过程中，这门课程必将得到充实和提高。我们衷心希望广大读者关心这门课程的建设，提出批评和建议，集思广益，使这门课程更加完善。

第二版前言

从《系统节能基础》这本书出版到现在，已经过去 17 年了。

这些年来，这本书一直得到广大读者的好评和欢迎。它既是一些大专院校热能工程专业的重要教科书，也是中国金属学会举办一系列节能培训班的基本教材。但是，由于这本书当初的印刷册数有限，几年前就全部用完了，因此把它修订后再次出版已成为当务之急。

改写这本书的工作量较大。这是因为这些年来我国工业迅猛发展，技术长足进步，节能成绩很大，现在的状况与十多年前相比，已大不一样了。为此，我们在改写过程中，更新了数据，删去了已淘汰的落后工艺（如平炉、模铸等），增补了新发展起来的节能手段和系统节能的研究方法。这些工作主要是由蔡九菊教授完成的。至于系统节能的基本概念、基本理论和基本方法，在新版中均原封未动。

实践表明，掌握系统节能的基本概念、基本理论和基本方法，是搞好节能工作的关键。在实际工作中，要拓宽视野，既关注局部（单体设备），又关注整体（生产系统）；要一手抓能源，一手抓非能源。否则，是不大可能取得很好的节能效果的。

必须说明，本书虽然以钢铁工业作为重点研究对象，但是系统节能的理论和方法对于其他工业也同样是适用的，尤其是对于流程工业，如有色冶金、水泥、建材、化工等工业，更是如此。也就是说，本书对于许多工业领域的工程技术人员都有重要参考价值。

近些年来，在科学发展观思想的指引下，大家的节能意识大大地增强了，节约能源已成为一个热门话题。如果说早先只有一部分企业、一部分工程技术人员重视节能工作的话，那么现在的情况已有很大变化，全国各地、各行各业

节能的积极性都较高。在这种情况下，如果大家都能了解系统节能的基本思路，按照系统节能的要求努力工作，那么我国定能取得更大的节能成绩。

大专院校热能工程专业开设系统节能课程的历史已经比较长了，各校都积累了许多经验，现在或许是进行一次阶段性回顾和总结的时候了。这本书第二版的正式出版，或许可以看成是这次回顾和总结的起点。应该说，这门课程的教材仍处于逐步充实完善的建设阶段，这本书的第二版只能看做是一本过渡性的教材，今后要进行定期修改和补充。为此，我们衷心希望广大读者不吝赐教，对本书提出批评和意见。

作 者
2010 年 5 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 能源及主要能源的更替	1
1.1.1 能源及其分类	1
1.1.2 能源结构及主要能源的更替	2
1.2 我国能源形势和节能任务	4
1.2.1 我国能源状况与问题	4
1.2.2 能源战略与现代化建设	5
1.3 我国钢铁工业的能源消耗和节能进程	7
1.3.1 钢铁工业的能源消耗	7
1.3.2 我国钢铁工业的节能进程及其效果分析	8
1.3.3 我国钢铁工业能耗与国际先进水平的差距	10
1.4 系统节能的一般概念	11
1.4.1 能源和非能源	11
1.4.2 单体设备的节能和整体系统的节能	13
1.4.3 冶金热能工程与系统节能	14
1.5 系统节能技术的现状和展望	15
第 2 章 基本概念	17
2.1 产品能耗	17
2.1.1 直接能耗	19
2.1.2 间接能耗	19
2.1.3 完全能耗	19
2.2 载能体	20
2.2.1 载能体及其分类	20
2.2.2 载能体的能值	20
2.3 产品能值的计算	23
2.3.1 累加法	23

2.3.2 产品能值计算举例·····	24
2.4 系统和系统工程·····	27
2.4.1 系统的概念·····	27
2.4.2 系统工程·····	29
第3章 节能的方向和途径 ·····	31
3.1 节能方向·····	31
3.1.1 降低第一类载能体的单耗及载能量·····	31
3.1.2 降低第二类载能体的单耗及载能量·····	32
3.1.3 回收生产过程中散失的载能体和各种能量·····	33
3.2 节能的途径与措施·····	34
3.2.1 节能途径分析表·····	34
3.2.2 节能潜力及其分析·····	34
3.3 节能工作中的优化问题·····	37
3.3.1 上下工序之间的配合问题·····	37
3.3.2 设备群的负荷分配问题·····	38
3.3.3 设备群的产品任务分配问题·····	40
3.3.4 燃料(能源)分配问题·····	44
第4章 系统节能研究方法 ·····	46
4.1 吨钢能耗分析法·····	47
4.1.1 吨钢能耗 $e-p$ 表达式·····	47
4.1.2 1980—2005 年我国钢铁工业的能耗剖析 ·····	49
4.1.3 物流对吨钢能耗的影响·····	52
4.2 投入产出法·····	60
4.2.1 投入产出表·····	61
4.2.2 能源投入产出模型·····	66
4.2.3 投入产出法的应用·····	71
4.3 最优化方法——线性规划·····	73
4.3.1 线性规划问题及其数学描述·····	74
4.3.2 线性规划模型的几种形式·····	79
4.3.3 二维线性规划的图解法·····	82
4.3.4 线性规划的代数解法·····	89
4.3.5 单纯形法·····	93

4.4 系统分析方法	99
4.4.1 资源供应量变化对系统总能耗的影响	100
4.4.2 边际能值和边际能耗	101
4.4.3 新产品或新工艺的节能技术评价	103
4.4.4 不确定因素的敏感性分析	105
第5章 系统节能优化模型及应用	107
5.1 系统节能优化模型概述	107
5.1.1 模型的变量和参量	108
5.1.2 目标函数	108
5.1.3 约束条件	108
5.1.4 模型结构	109
5.2 数据统计及分析	110
5.2.1 数据处理的一般准则	110
5.2.2 产品单耗指标统计及其能值计算	110
5.2.3 生产过程的能耗分析	112
5.3 模型的应用	117
5.3.1 高炉鼓风的合理温度	117
5.3.2 烧结矿的合理品位	119
5.3.3 烧结生产的合理配料	121
第6章 工艺流程的能耗评价	123
6.1 评价的标准	123
6.2 例 证	124
6.2.1 模型工厂的工艺流程和操作条件	124
6.2.2 能耗计算及若干说明	127
6.2.3 计算结果及结论	132
第7章 企业的能源数据	133
7.1 企业的能源平衡	133
7.1.1 企业能源平衡表	134
7.1.2 企业能源平衡图	136
7.2 企业的物料平衡	137
7.2.1 企业物料平衡表	139

7.2.2 企业物料平衡图	140
第 8 章 炼铁系统的节能	141
8.1 炼铁系统简介	141
8.2 炼铁系统的节能方向	142
8.2.1 降低各工序原材料和动力的单耗及其载能量	142
8.2.2 降低各工序燃料的单耗及其载能量	144
8.2.3 回收各工序散失的载能体和能量	146
第 9 章 炼钢系统的节能	153
9.1 炼钢系统简介	153
9.2 两种炼钢方法的能耗比较	154
9.3 炼钢系统的节能方向	156
9.3.1 生 铁	157
9.3.2 耐火材料	157
9.3.3 铁合金及铝	159
9.3.4 燃 料	159
9.3.5 转炉煤气的回收	159
第 10 章 轧钢系统的节能	162
10.1 轧钢系统简介	162
10.2 热轧的节能	163
10.2.1 降低原材料和动力的单耗	163
10.2.2 降低燃料的单耗	164
10.2.3 回收和利用余热	165
10.3 冷轧的节能	168
10.3.1 冷轧的节能方向	168
10.3.1 热轧与冷轧变形量的分配问题	168
参考文献	170

第 1 章

绪 论

1.1 能源及主要能源的更替

1.1.1 能源及其分类

凡是能够提供能量(如热能、机械能、电能、光能等)的资源,统称能源。能源的种类很多,如各种固体燃料、液体燃料、气体燃料,以及水力能、太阳能、风能、地热能、原子核能、海洋能等都是能源,因为它们都能提供能量。能源可以根据来源、品质、使用程度和对环境的影响等进行分类。

按来源不同,能源可划分为一次能源和二次能源两类。一次能源是指在自然界中存在的天然资源,如原煤、石油、天然气、核燃料、太阳能、生物质能、风能、地热能、海洋能、潮汐能等。二次能源是指将一次能源经过直接或间接加工转换后得到的能源产品,如电力、焦炭、重油、煤油、汽油、煤气、蒸汽、压缩空气等。

按使用的广泛程度不同,一次能源又可划分为常规能源和新能源两类。常规能源是指已在生产和生活中广泛使用的能源,如煤炭、石油、天然气、水力能等。新能源是指在生产和生活中使用较少或仍处于开发研究阶段的能源,如太阳能、风能、地热能、潮汐能和原子核能等。必须说明,常规能源和新能源的划分是相对的,例如,在我国原子核能被列入新能源是因为将核裂变产生的原子能应用于发电的时间还不长,目前还未成为广泛使用的常规能源。可是,在工业发达国家应用核裂变作为动力或发电已成为成熟技术且广泛应用,因此,在这些国家核能已属常规能源。如果把核聚变燃料也作为能源,则无论在

我国还是在工业发达国家都有许多关键问题尚待解决,从这个意义讲,核能仍被视为新能源。

按能否重复再生,一次能源可划分为可再生能源和非再生能源两类。可再生能源是指能重复产生的能源,如水力能、太阳能、风能、海洋能、生物质能、潮汐能等。这类能源在一定条件下是“取之不尽,用之不竭”的。非再生能源是指不能重复产生的能源,如煤炭、石油、天然气等。现在人类使用的,主要是非再生能源。这类能源的储量正在逐年减少,迟早会枯竭的。

此外,按经使用后对环境的影响程度,能源又可分为清洁能源和非清洁能源。无污染或污染程度很小的能源,统称清洁能源,如太阳能、水力能、风能、氢能等。对环境污染较大的能源称为非清洁能源,如煤炭、石油等。

1.1.2 能源结构及主要能源的更替

能源结构包括能源生产结构和能源消费结构两部分。能源生产结构是指各种能源的生产量在全能源总产量中所占的比重。能源消费结构一般是指国民经济各部门所消耗的各种能源量占能源总消费量的比重。

2004年,全世界一次能源消费总量为146.06亿tce,能源消费结构为:石油36.8%、天然气23.7%、煤炭27.2%、水电6.2%、核电6.1%;中国一次能源消费总量为20.3亿tce,能源消费结构为:石油22.3%、天然气2.5%、煤炭69.0%、水电5.4%、核电0.8%。从中可以看出,中国的煤炭消费量比重很高,天然气和核电比重很低,与世界平均水平相差甚远。

各国的能源生产结构和能源消费结构的变化受许多因素影响,如国家的能源资源状况、工业化进程中的不同发展阶段以及人们的生活水平和社会文明程度等。人类对能源的消费经历了从薪柴时期到煤炭时期再到油气时期的演变过程。在能源消费总量不断增长的同时,能源结构也在不断地变化(如图1-1、1-2所示),每一次能源时期的变迁,都伴随着生产力的巨大飞跃。同时,随着人类使用能源特别是非再生能源的数量越来越多,能源对生态环境的影响和对人类经济社会发展的制约也越来越明显。

在历史上,人类最初使用的是木材、秸秆和部分动物的排泄物,这就是人类利用能源的第一个时期——薪柴时期。这个时期,人类以薪柴等生物质燃料为主要能源,用于炊事、取暖、冶金、制陶等,由于能源使用技术低下,所以那时的社会生产力和人类生活水平都很低,社会发展缓慢。18世纪,工业革命开创了以煤炭作为主要能源的能源利用的第二个时期——煤炭时期。煤炭是我国最早使用的,开始是用它代替木材(木炭)作为工业炉窑的燃料。自出现蒸汽机以后,煤炭便成为蒸汽锅炉、电站锅炉的燃料。从木材到煤炭,是人类一个大的进步,蒸汽机和电力作为生产的主要动力,极大地推动了人类经济社会

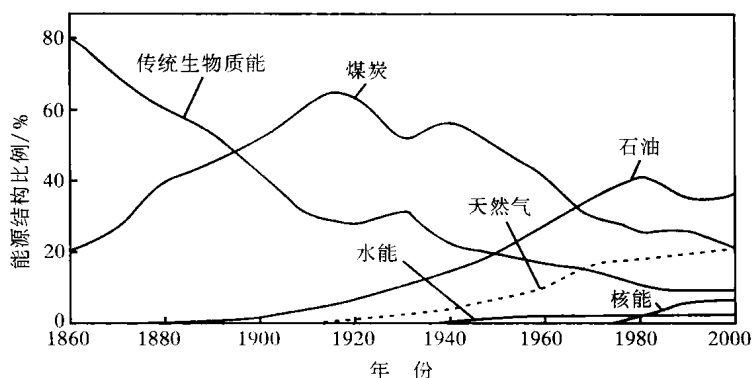


图 1-1 1860—2000 年世界能源生产结构的变化

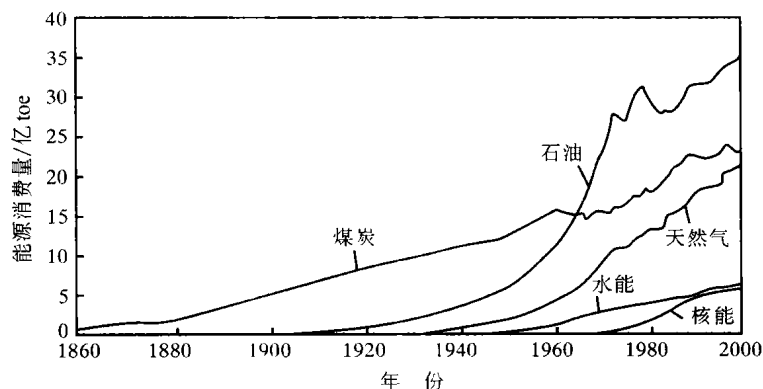


图 1-2 1860—2000 年世界能源消费的变化

的飞跃式发展。到了 20 世纪 50 年代和 60 年代，在美国、中东和北美等地区相继发现了巨大的油田和气田，工业发达国家很快就从以煤炭为主要能源转换到以石油、天然气为主要能源，开始了人类历史上能源利用的第三个时期——石油时期。这一时期，随着石油、天然气的开发利用和内燃机械的快速发展，工业发达国家利用廉价石油使国民经济得到了高速发展和繁荣。1973 年以后，由于石油危机，以石油为主要能源的工业发达国家的经济受到了冲击。石油涨价、供应不足，使这些国家的经济普遍进入了一个“低增长”时期。

进入 21 世纪，全球能源消费不断增长，石油价格持续攀升，由能源引发的环境问题和能源短缺对经济发展的制约日趋严重。目前，世界能源供应仍以石油、天然气等化石能源为主；将来，化石能源总有耗尽的时候，资源有稀缺的时候，环境有承受不起的时候。所以，人类不能贪婪地追求经济发展和物质需求，无节制地使用化石能源，放任 CO_2 的大量排放。可以预见，未来能源结构的变化和主要能源的第三次更替，将主要受经济发展模式、可采能源储

量、新能源开发利用技术、环境与气候变化以及国际政治经济秩序等多种因素的影响。建立国际化、多元化的清洁能源供应体系和消费结构，是未来能源的发展方向。

1.2 我国能源形势和节能任务

1.2.1 我国能源状况与问题

我国是一个能源资源比较丰富的国家，煤的储量居世界第三位，石油储量居世界第十三位，天然气储量居世界第十七位，水力资源极为丰富，居世界第一，原子能燃料铀、钍储量也很多。

新中国成立以来我国能源开发的速度很快(如表 1-1 所示)。

表 1-1 新中国成立以来我国的能源生产及消费情况

一次能源	1949	1980	1990	1995	2000	2005
生产总量/亿 tce	0.2	6.4	10.4	12.9	12.9	20.6
消费总量/亿 tce	0.2	6.0	9.8	13.1	13.0	22.5

2000 年，煤、石油、天然气、水电等能源生产总量折算成标准煤为 12.9 亿 t(其中不包括农村的非商品能源；所谓非商品能源，是指当地生产当地使用，不进入商品市场的能源，如农村使用的秸秆、稻草、薪柴等均是商品能源)。这个能源总量比新中国成立前增加了 12.7 亿 t。新中国成立前大体上只生产 0.2 亿 tce，还未达到现在能源总量的零头。

目前，我国能源生产总量和消费总量都很大。但是，由于人口众多，人均每年能源消耗量很少，低于世界平均水平，与世界上工业发达的国家比较，那就更低了：2006 年，世界人均能源消费量 2.36t，美国最高 11.20t，OECD^① 国家 6.77t，中国 1.87t，印度 0.39t，非洲国家人均仅为 0.36t。

1980 年，我国 GDP 是 4470 亿元，能耗近 6 亿 tce。按 1980 年不变价格计算，1980 年的万元产值能耗为 7.85tce；2000 年，每万元 GDP 能耗为 2.75tce。目前，与工业发达国家相比，我国的万元产值能耗还高出许多，原因是多方面的，有管理不善、产业结构中重工业比例大、设备陈旧、有些技术较落后、能源结构以煤为主等。这些复杂的原因，使我国的万元产值能耗比工业发达国家高很多。这里只讲两点。一是重工业比例大的问题。重工业比例大，万元产值能耗就高。重工业单位产值能耗比轻工业高。我国重工业万元产

^① OECD 是指国际上的“经济合作与发展组织”的国家。

值能耗是 13.8tce, 而轻工业的万元产值能耗只有 2.6tce。前几年重工业比例是大的, 这样总平均下来万元产值能耗较高。二是以煤炭为主的问题。我国的能源结构以煤为主, 而工业发达的国家以石油为主。全世界平均也以石油为主。现在全世界的能源中石油是主要的, 2006 年石油占总量的 35.8%, 煤炭只占 28.4%, 而我国煤炭占总量的 69.4%。与石油相比, 煤炭在开采、输送、使用方面都相形见绌, 燃烧的效率也较低, 所以这也要影响单位产值的能耗。

总之, 我国的能源产量是相当大的, 比新中国成立前增加了几十倍, 但是由于人口很多, 所以人均能源量很小, 还不到全世界平均水平; 而万元产值能耗却比人家高出许多。

1.2.2 能源战略与现代化建设

20 世纪最后 20 年, 我国各行各业在“能源开发与节约并重, 把节约放在首位”战略方针指引下, 千方百计地开展节能工作, 取得明显成效。1980—2000 年, 我国 GDP 年均增长率高达 9.7%, 而同期的能源消费年均增长仅为 4.6%, 以能源消费翻一番支撑了 GDP 总量翻两番, 实现了中国经济增长所需能源的一半靠开发、一半靠节约的预期目标。

21 世纪头 20 年是我国经济社会全面发展, 实现中华民族伟大复兴的关键时期, 能源建设任务重大, 节能减排任务艰巨。按照全面建设小康社会的要求, 到 2020 年我国将再次实施“翻一番的能源支持经济总量翻两番”的奋斗目标, 届时人均 GDP 将超过 1 万美元。借鉴工业发达国家的经验, 这 20 年也是经济结构、工业化建设、城市化水平、居民消费方式发生明显变化的重要阶段, 人均能源消费量将随人均 GDP 快速增加, 能源结构也要发生较大变化。再加上我国“人口众多”、能源“以煤为主”的特殊国情, 以及经济全球化、低碳化的国际背景, 我国面对的现代化建设比发达国家经历过的工业化时期要复杂得多。

未来我国需要多少能源?

2000 年, 我国一次能源消费量为 13 亿 tce(人均能源消费 1.0tce), 其中煤炭 67.8%、石油 23.2%、天然气 2.4%、水电 6.7%。我国已经成为世界第二大能源消费国。我国在全面建设小康社会的过程中, 需要多少能源支撑经济社会又好又快发展? 2020 年需要多少能源? 国家发改委最初的预测结果是: 2020 年我国一次能源的需求在 25 亿~33 亿 tce 之间, 大约是 2000 年的两倍。2020 年, 我国人均能源消费将由 2000 年的 1.0tce 增加到 2.0tce; 到 2035 年, 能源多元化发展初具规模。加速发展核电, 核电在发电中的比例达到目前世界 16% 的平均水平, 积极发展风能、生物质能和太阳能, 实现可再生能源规模化发展; 到 2050 年, 人均能源消费量达到 3.0tce, 届时我国的能源需求量约为

50 亿 tce, 煤炭在一次能源中的比重将下降到 50% 以下, 被替代的能源主要由可再生能源和核能来满足。

未来我国贯彻什么样的能源发展战略?

我国必须坚持贯彻执行“能源开发与节约并重, 把节约放在首位”的能源发展战略。解决我国的能源约束问题, 一方面要开源, 加大国内能源勘探开发力度, 充分利用国外资源; 另一方面, 必须坚持节约优先的方针, 把节约能源、提高能效放在首位, 通过优化产业结构、依靠科技进步、转变经济增长方式和消费模式等措施, 推进资源节约型、环境友好型社会的建设, 以尽可能小的能源消耗和环境代价, 实现现代化建设的战略目标。

在能源开发方面, 首先要优先开发煤炭和水电。按规划, 我国今后要新建若干个大的煤矿, 要继续把现有的煤炭基地建设好, 要开发黄河中上游以及红水河的水力资源, 建设若干大型水电站。在地理位置上, 发电地区多数偏西, 而工业集中、需要能源的地区多数偏东, 所以要“西电东调”, 把大电网拉到我国东部、沿海一带、华中一带。

我国独特的农村小型水电站在全世界很有名气。农村三分之一的电力都是由农村自己解决的。今后, 还要继续开发农村的小水电。

其次, 要积极勘探、开发石油、天然气和天然气水合物资源。据专家估计, 我国石油储量丰富, 前景十分美好。在沿海一带和新疆地区已发现了若干个含油气的盆地, 带动了我国石油开采业的发展。

再次, 要在缺能地区建设核电站(原子能发电)。迄今为止, 我国已建 4 座电站, 11 台机组运行: 广东大亚湾核电站、岭澳核电站已投产; 另两座秦山核电站和田湾核电站分别在长江三角洲和江苏省连云港市。因为这几个地区是沿海开放地区, 工业集中, 而能源缺乏。此外, 辽宁也是很缺能源的地方, 每年要从省外调运很多煤, 国家正在瓦房店市规划建设两台百万千瓦级核电机组。

最后, 要积极研究开发新能源, 大力开发沼气和薪炭林, 开发生物质能、风能、太阳能、地热能等。它们会成为 21 世纪工业的重要能源。薪炭林和生物质能是农村的重要能源, 今后要大力开发。

在能源的节约方面, 关键的问题是在 2020 年前必须使万元产值的能耗在 2005 年的基础上大幅度降低。“十一五”规划要求, 到 2010 年底万元 GDP 能耗要由 2005 年的 1.22tce(2005 年不变价), 下降到 0.98tce。如果按年度分解, “十一五”期间的年均节能率不低于 4.4%。否则, 五年内万元 GDP 能耗下降 20% 的目标就要落空。

怎样使万元产值能耗降下来呢? 这涉及调整结构、淘汰落后企业、加强管理、技术改造等问题。改革开放以来, 采取上述措施以后节能已经取得了初步