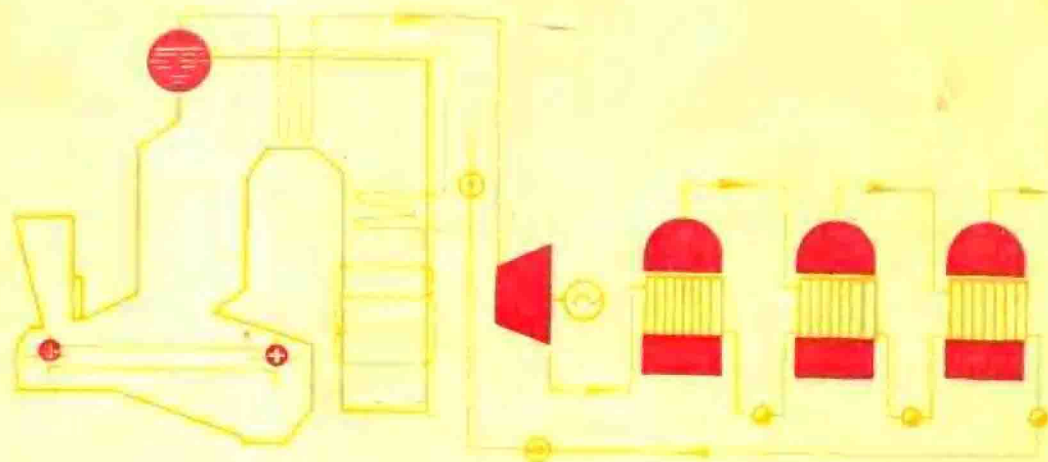


# 节能技术

国家计划委员会

国家经济委员会 《企业热平衡》组 编著

国家物资局



机械工业出版社

# 节 能 技 术

国家计划委员会

国家经济委员会 《企业热平衡》组 编著

国家物资局



机 械

工 业 出 版 社

本书为适应各地抓好节能培训、加强能源管理与提高节能工作技术水平的迫切需要,以节约热能为重点,对节能基础知识、各种节能技术以及能源管理进行了阐述。全书共分十章:能源现状与节能;燃料及燃烧;工业锅炉的简化热力计算;工业锅炉技术改造;工业锅炉经济运行;工业炉窑节能技术;工业企业蒸汽合理利用;集中供热;余热利用;能源管理。内容侧重实用,通俗易懂,适合各级能源管理机构及工业企业具有中专以上文化水平的节能干部以及工程技术人员阅读。

## 节 能 技 术

国家计划委员会

国家经济委员会 《企业热平衡》组 编著

国家物资局

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  · 印张 23 · 字数 565 千字

1984年1月北京第一版·1984年1月北京第一次印刷

印数 00,001—17,000 · 定价 2.90 元

\*

统一书号: 15033·5595

## 前 言

为了适应各地区、各部门抓好节能培训、加强能源管理、提高节能技术水平、落实节能效果、充分发挥节能资金经济效益的迫切需要，在1980年初编写“企业热平衡”讲义的基础上，于1981年4月开始组织编写“节能技术”讲义。全书以节约热能为重点，对能源管理、节能基础知识和技术进行了阐述，共分十章：能源现状与节能；燃料及燃烧；工业锅炉的简化热力计算；工业锅炉改造；工业锅炉经济运行；工业炉窑节能技术；工业企业蒸汽合理利用；集中供热；余热利用；能源管理等。本书内容侧重实用，举了许多节能技术改造的实例，力求通俗易懂，并在全国第一、二期节能技术培训班试用。在编写过程中，广泛征求了各有关节能主管部门、院校、科研等单位富有实践经验同志的意见，先后集中修改了四次，使内容逐步完善。

本书第一章由国家物资局燃料局张继陶同志编写；第二章由哈尔滨工业大学孙恩召同志编写；第三章由哈尔滨工业大学杨明新、孙恩召同志编写；第四章由孙恩召、杨明新同志编写；第五章由吉林省热能研究所张庶同志编写；第六章由机械工业部第五设计研究院杨泽末同志编写；第七章由同济大学蔡长顺、奚士光、方怀德同志编写；第八章由哈尔滨建筑工程学院贺平、盛昌源同志编写；第九章由奚士光、栾庆富（华中工学院）、蔡长顺、岳孝芳（同济大学）、杨泽末同志编写；第十章由张继陶、陈伯泉（上海市企业热平衡组）同志编写。

全书由奚士光、孙恩召和张继陶同志担任主编、主审。盛昌源、杨泽末、杨明新、栾庆富、蔡长顺、张庶等同志协助进行了汇稿和校审等工作。陈伯泉、吉林热能研究所阚成道、北京市节煤办公室王建章、广东省节煤办公室容标以及江苏省燃料公司郭承志、俞家文、童希平等同志参加了汇稿修改讨论，并提供了许多资料。

本书在编写修改过程中，还参考了有关科研设计、院校等单位的一些能源管理和节能技术资料，在此一并表示谢意。

由于编者水平有限，不妥之处，请读者批评指正。

国家计划委员会

国家经济委员会 《企业热平衡》组

国家物资局

1982年10月

## 常用符号表

|           |                                                                                   |               |                                                                 |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------|
| $A$       | 功的热当量[kcal/(kgf·m)]; 流量系数                                                         | $Q$           | 热量 (kcal)                                                       |
| $a$       | 保温层初投资 (元/m <sup>3</sup> ); 循环倍率                                                  | $Q_{ys}$      | 有效利用热 (kcal/h)                                                  |
| $a_z$     | 年平均能源增长率 (%)                                                                      | $q$           | 产品燃料热耗 (kcal/kg产品)                                              |
| $a_{GNP}$ | 年平均国民经济增长率 (%)                                                                    | $R$           | 炉排面积 (m <sup>2</sup> )                                          |
| $B$       | 燃料耗量 (kg/h 或 Nm <sup>3</sup> /h); 燃烧能力 (kg/h 或 Nm <sup>3</sup> /h)                | $r$           | 汽化潜热 (kcal/kg)                                                  |
| $b$       | 热价 (元/kcal); 产品单耗 (kg/kg); 宽度 (m); 发电煤耗[kg/(kW·h)]                                | $S$           | 全年成本 (元/年); 管中心距 (mm), 年收益 (元/年)                                |
| $C$       | 能源消费弹性系数; 投资金额 (元)                                                                | $T$           | 总投资 (元); 绝对温度 (K)                                               |
| $C_0$     | 绝对黑体辐射系数[kcal/(m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> ·h)]                                | $t$           | 造价 (元); 温度 (°C)                                                 |
| $C_f$     | 辐射系数[kcal/(m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> ·h)]                                    | $V$           | 容积 (m <sup>3</sup> ); 挥发分 (%)                                   |
| $c$       | 比热[kcal/(kg·°C) 或 kcal/(Nm <sup>3</sup> ·°C)]                                     | $W$           | 产值 (元/年); 水分 (%); 蒸汽湿度(%); 烟速 (m/s); 年发电量 [(kW·h)/年]; 功 (kgf·m) |
| $D$       | 蒸发量 (kg/h)                                                                        | $y$           | 水冷壁受热面利用率                                                       |
| $d$       | 直径 (m 或 mm)                                                                       | $z$           | 单位电度成本[元/(kW·h)]                                                |
| $E$       | 能源消费量 (吨标准煤/年)                                                                    | $\alpha$      | 换 (放) 热系数[kcal/(m <sup>2</sup> ·h·°C)]; 过量空气系数; 国民收入平均增长率       |
| $e$       | 单位能耗 (吨标准煤/吨)                                                                     | $\beta$       | 炉温系数                                                            |
| $F$       | 总费用 (元); 表面积 (m <sup>2</sup> ); 流通截面积 (m <sup>2</sup> ); 炉底面积 (m <sup>2</sup> )   | $\gamma$      | 递年节能率                                                           |
| $f$       | 流通截面积 (m <sup>2</sup> )                                                           | $\delta$      | 燃烧份额; 磨损厚度(m); 保温层厚度(m)                                         |
| $G$       | 循环水量 (kg/h); 炉窑生产率 (kg/h); 固定资产 (元)                                               | $\varepsilon$ | 燃料节约率; 制冷系数; 供热系数                                               |
| $g$       | 单位生产率[kg/(m <sup>3</sup> ·h)]                                                     | $\eta$        | 热效率 (%)                                                         |
| $H$       | 烟囱高度 (m); 烟气焓降 (kcal/kg) 或 (kcal/Nm <sup>3</sup> ); 受热面 (m <sup>2</sup> ); 扬程 (m) | $\eta_i$      | 内效率;                                                            |
| $h$       | 焓 (kcal/kg); 年运行小时 (h)                                                            | $\eta_{ni}$   | 装置能量利用率 (%)                                                     |
| $I$       | 烟气焓 (kcal/kg燃料)                                                                   | $\eta_k$      | 卡诺循环效率                                                          |
| $K$       | 传热系数[kcal/(m <sup>2</sup> ·h·°C)]; 流通系数                                           | $\eta_{oi}$   | 相对内效率                                                           |
| $k$       | 损耗系数                                                                              | $\eta_r$      | 循环热效率                                                           |
| $L$       | 长度 (m); 利润 (元/年)                                                                  | $\theta$      | 烟温 (°C)                                                         |
| $l$       | 长度 (m)                                                                            | $\lambda$     | 导热系数[kcal/(m·h·°C)]                                             |
| $M$       | 国民生产总值 (千元/年); 年固定成本 (元/年)                                                        | $\mu$         | 流体动力粘度[kgf·s/m <sup>2</sup> ]; 含尘浓度 (mg/Nm <sup>3</sup> )       |
| $m$       | 偿还年限 (年)                                                                          | $\xi$         | 负荷率; 浓度 (%)                                                     |
| $N$       | 投资每年偿还率; 功率 (kW)                                                                  | $\zeta$       | 制冷用热系数; 厂用电份额                                                   |
| $n$       | 管子根数; 人数; 贷款复利率 (%)                                                               | $\rho$        | 密度 (kg/m <sup>3</sup> )                                         |
| $P$       | 发电成本[元/(kW·h)]                                                                    | $\tau$        | 时间 (h)                                                          |
| $p$       | 压力 (kgf/cm <sup>2</sup> )                                                         | $\varphi$     | 相对流量比                                                           |
|           |                                                                                   | $\psi$        | 温差修正系数                                                          |

## 上 角 标

0 理论值 / 进口处 / 出口处  $y$  应用基  $f$  分析基  $g$  干燥基  $r$  可燃基

## 下 角 标

|      |                |      |        |        |            |       |           |
|------|----------------|------|--------|--------|------------|-------|-----------|
| $b$  | 壁面             | $bj$ | 边界     | $bq$   | 饱和汽        | $bs$  | 饱和水       |
| $c$  | 出口             | $cc$ | 除尘     | $cr$   | 传热         | $cs$  | 出水        |
| $d$  | 电              | $dj$ | 发电机    | $dl$   | 当量         | $dt$  | 弹筒        |
| $dw$ | 低位             | $fh$ | 飞灰     | $fr$   | 放热         | $fs$  | 发生器, 辐射损失 |
| $ft$ | 沸腾             | $fz$ | 防渣管    | $g$    | 供给, 干      | $gw$  | 固体未完全燃烧   |
| $gd$ | 管道、固定碳         | $gg$ | 锅炉管束   | $gk$   | 干空气        | $gl$  | 锅炉        |
| $gp$ | 钢坯             | $gq$ | 过热汽    | $gr$   | 过热         | $gs$  | 给水、供水     |
| $h$  | 换热             | $hf$ | 化学放热   | $hs$   | 回水、回收      | $hx$  | 化学吸热      |
| $j$  | 计算; 机械; 折旧; 减温 |      |        | $j, d$ | 机、电        | $jr$  | 绝热        |
| $js$ | 进水             | $ky$ | 空气预热器  | $l$    | 炉子, 炉膛; 理论 | $lk$  | 冷空气       |
| $lm$ | 漏煤             | $ln$ | 冷凝     | $lw$   | 炉温         | $lz$  | 炉渣        |
| $m$  | 铭牌; 埋管; 煤气     |      |        | $n$    | 内; 凝汽      | $ndc$ | 凝汽式电厂     |
| $p$  | 泵, 人民          | $pj$ | 平均     | $pw$   | 排污         | $py$  | 排烟        |
| $qw$ | 气体未完全燃烧        | $r$  | 入口; 热  | $rdc$  | 热电联产       | $rk$  | 热空气       |
| $rp$ | 热平衡            | $rs$ | 热水     | $rw$   | 热网         | $sc$  | 输出        |
| $sj$ | 实际             | $sl$ | 水冷     | $sm$   | 省煤器        | $ss$  | 损失        |
| $sx$ | 散失; 蓄热         | $tc$ | 其他支出   | $tr$   | 其他热量       | $w$   | 外界        |
| $wr$ | 物料             | $x$  | 小; 悬浮段 | $xr$   | 吸热         | $xs$  | 吸收器       |
| $y$  | 烟气             | $yd$ | 烟道     | $yq$   | 逸气         | $yx$  | 有效        |
| $z$  | 总计; 轴          | $zy$ | 自用     |        |            |       |           |

# 目 录

## 前言

## 常用符号表

## 第一章 能源现状与节能 ..... 1

### 第一节 能源及其作用 ..... 1

### 第二节 能源的现状与前景 ..... 4

### 第三节 能源与国民经济发展的比例关系 ..... 10

### 第四节 能源需求的预测 ..... 11

### 第五节 节能概论 ..... 15

## 第二章 燃料与燃烧 ..... 21

### 第一节 煤炭的燃烧 ..... 21

### ✓第二节 煤在锅炉中的燃烧 ..... 32

### 第三节 液体燃料与气体燃料的燃烧 ..... 48

## 第三章 工业锅炉的简化热力计算 ..... 52

### 第一节 工业锅炉概述 ..... 52

### 第二节 燃烧空气量与烟气量的计算 ..... 58

### 第三节 锅炉效率与燃料消耗量的计算 ..... 61

### 第四节 辐射换热的简化计算 ..... 66

### 第五节 对流换热的简化计算 ..... 72

### 第六节 锅炉改装设计步骤 ..... 81

### 第七节 锅炉热力计算例题 ..... 86

## 第四章 工业锅炉的改造 ..... 99

### 第一节 改造的原则 ..... 99

### 第二节 改造的基本方法 ..... 102

### 第三节 锅炉改造实例分析 ..... 104

### 第四节 蒸汽锅炉改为热水锅炉 ..... 135

## 第五章 工业锅炉经济运行 ..... 141

### 第一节 概述 ..... 141

### 第二节 固定炉排锅炉经济运行 ..... 142

### 第三节 移动炉排锅炉经济运行 ..... 146

### 第四节 沸腾炉的经济运行 ..... 152

### 第五节 锅炉辅助设备的运行 ..... 156

## 第六章 工业炉窑节能技术 ..... 166

### 第一节 概述 ..... 166

### 第二节 工业炉窑的燃烧装置 ..... 175

### 第三节 工业炉窑节能途径 ..... 192

### 第四节 常见工业炉窑及其节能措施 ..... 203

## 第七章 工业企业蒸汽合理利用 ..... 226

### 第一节 蒸汽蓄热器 ..... 226

### 第二节 热工设备与热力管道保温 ..... 232

### 第三节 凝结水的回收利用和疏水器的维护管理 ..... 243

### 第四节 典型用汽设备节能 ..... 255

### 第五节 按质用能 ..... 262

### 第六节 工业锅炉裕压发电及其技术经济分析 ..... 267

## 第八章 集中供热 ..... 280

### 第一节 概述 ..... 280

### 第二节 集中供热系统的热负荷 ..... 283

### 第三节 发展集中供热应该注意的一些问题 ..... 288

### 第四节 工业企业蒸汽采暖改为热水采暖问题 ..... 295

### 第五节 提高热水供热系统经济性的一些措施 ..... 302

## 第九章 余热利用 ..... 308

### 第一节 余热锅炉 ..... 308

### 第二节 工业余热的动力利用 ..... 322

### 第三节 热泵工作原理及其应用 ..... 325

### 第四节 溴化锂吸收式制冷装置 ..... 328

### 第五节 吸收式热泵装置 ..... 332

### 第六节 热管原理及其应用 ..... 335

### 第七节 其它型式的热交换器 ..... 339

## 第十章 能源管理 ..... 345

### 第一节 管理的含义与发展 ..... 345

### 第二节 能源管理的概述 ..... 348

### 第三节 能源管理基本内容 ..... 351

# 第一章 能源现状与节能

## 第一节 能源及其作用

### 一、能源的概念及分类

能源是指可以从其获得能量的资源，是人类赖以生存的物质基础，在日常生活和生产中，每时每刻都在利用各种能量。例如太阳能、风能、电能、热能、化学能等等都是能源的具体形式。

地球上的能源按其来源可分类如下：

1. 地球本身蕴藏的能源，主要有原子核能、地热。地球是一个大热库，从地面向下，随着深度的增加，温度不断增高。从地下喷出地面的温泉和火山爆发喷出的岩浆，就是地热的表现。地球上的地热资源储量很大，相当于煤炭储量的一亿七千万倍。按目前的钻井技术估计可以达到的地下10公里深度所拥有的地热资源，相当于当前世界能源全年消费量的四百多万倍。我国西藏羊八井地热试验电站，装机容量为一千千瓦，还有北京、山东、云南等地也正在试用地热发电和供热。

原子核能是某些物质在进行人工的原子核反应时放出来的能量。原子核的反应有裂变反应和聚变反应两种。现在许多国家建设的原子能发电站，就是利用铀原子裂变时放出来的能量。原子核聚变放出的能量更多。海洋里可供原子核聚变的氘和氚，能够释放出来的能量，按目前的消耗水平，可以供给全世界使用一千亿年，可见其能量之大。只要人类掌握了核聚变技术，就将从根本上解决能源问题了。

2. 来自地球以外天体（主要是太阳）的能源，目前人类所需能量的绝大部分，都直接或间接来源于太阳能。各种植物通过光合作用，把太阳能转变成化学能，在植物体内贮存下来。这部分能量，为人类的生存提供了能源。地球上的煤炭、石油、天然气等矿物燃料，是由古代埋在地下的动植物，经过漫长的地质年代形成的。所以，矿物燃料实质上是贮存下来的太阳能。大量的风能、水能和海洋波力能等，也都是主要靠太阳辐射作用产生的。

从数量上看，太阳能是非常巨大的能量。理论计算，在一秒钟里太阳射到地球上的能量，就相当于五百多万吨煤燃烧放出的热量。一年就有相当于130万亿吨煤的热量，现在全世界一年消耗的能量，还不到它的万分之一。但是，到达地球表面的太阳能，只有千分之一、二被植物吸收，并转变成化学能贮存下来，其余绝大部分都转换成热，散发到宇宙空间去了。

3. 地球和月亮、太阳等其它天体之间有规律的运动，造成相对位置周期性的变化，它们之间的引力，使海水涨落形成潮汐能。据估计全世界潮汐能达十亿千瓦，人们也正在试用。

上述各类能源中，煤炭、石油、天然气、原子能等能量，都是短期不能再生的。

现在世界上大量利用的能源，例如煤炭、石油、天然气等习惯称为“常规能源”。其构成情况见表1-1。目前应用较少或处于试验研究阶段的能源，例如太阳能、地热能、原子能等，称为“新能源”。

表1-1 本世纪世界能源消耗构成

| 年 份  | 能源总消耗<br>(亿吨标准煤) | 能 源 消 费 构 成 % |      |       |        |
|------|------------------|---------------|------|-------|--------|
|      |                  | 煤 炭           | 石 油  | 天 然 气 | 水力、原子能 |
| 1900 | 7.75             | 95            | 4.0  | —     | 1.0    |
| 1950 | 26.64            | 59.3          | 29.8 | 9.3   | 1.6    |
| 1960 | 42.33            | 48.9          | 35.8 | 13.4  | 1.9    |
| 1973 | 84.48            | 28.0          | 48.1 | 21.4  | 2.5    |
| 1975 | 85.70            | 29.1          | 46.1 | 21.9  | 2.9    |
| 1978 | 87.55            | 32.0          | 45.2 | 19.9  | 2.9    |
| 2000 | 157.5            | 36①           | 31   | 19    | 14     |

① 另含有4%的合成燃料。

另外，还有一次能源与二次能源之分。煤炭、石油、天然气、水能、风能等叫做“一次能源”，又叫“天然能源”。由一次能源直接或间接转化而来的能源，例如电、蒸汽、焦炭、煤气等，叫“二次能源”，又叫“人工能源”。

为了便于分析，表 1-2 列出了各种能源的分类。

表1-2 能源分类表

| 类 别     | 第 一 类                    | 第 二 类                                                         | 第 三 类 |
|---------|--------------------------|---------------------------------------------------------------|-------|
| 一 次 能 源 | 再 生 能 源                  | 地 热<br>太 阳 能<br>风 能<br>水 能<br>生 物 质 能<br>海 水 温 差<br>海 洋 波 力 能 | 潮 汐 能 |
|         | 非 再 生 能 源                | 煤 炭<br>石 油<br>天 然 气<br>油 页 岩                                  |       |
| 二 次 能 源 | 焦 炭<br>煤 气<br>电 力<br>氢 力 | 蒸 汽<br>沼 气<br>酒 精<br>汽 油<br>柴 油<br>煤 油<br>重 油<br>液 化 气        | 电 石   |

## 二、能源使用的特点

1. 广泛性 从工农业生产、交通运输到人们的衣、食、住、行，各行各业，家家户户，都离不开能源。一切机器设备的运转，一切生产过程的进行，都需要动力。随着生产现代化技术水平的提高，对能源的利用就更广泛、更必不可少。能源的消耗量也就更大。全世界每年的能源消耗量，已经从 1900 年的 7.75 亿吨标准煤，发展到 1978 年的 87.55 亿吨标准煤。

2. 连续性 在很多情况下，能源的使用是连续进行的，不能有所间断，如果能源供应中断，即使是几小时，有的甚至几分钟，也是不允许的。否则就会使生产停顿，交通中断，服务设施毁坏，甚至造成严重事故。因此，必须保证能源供应的连续性。

3. 转换性 各种能源之间在一定条件下可以互相转换，如煤炭、石油等化学能可转化为热能、机械能、电能。电能又能转化为多种形式的能，如热、磁、光、机械运动等。由于能源的可转换性，提出了多种能源之间的相互替代性和能源利用的合理性问题。

4. 先行性 兵马未动，粮草先行。能源是加速国民经济发展，向四化进军的“先行官”。要完成新时期的总任务，实现现代化，首先要从能源和其他资源“化”起。因为，能源是国

民经济各部门生产发展和技术进步的动力基础，只有能源上去了，原材料工业和加工工业才能得到发展，从而整个国民经济才能得到发展。因此，能源必须先行，这是发展现代工业的客观需要，也是社会主义经济有计划按比例发展的客观规律的要求。

由于能源的以上这些特点，决定了能源的重要性，和能源管理工作的复杂性和特殊性。

### 三、能源的作用

能源是发展国民经济的重要物质基础，能源在现代工业生产中的重要地位是由大机器工业本身的性质所决定的，任何机器生产的进行和现代运输工具的运转，都需要有足够的燃料动力来保证，它象血液对人体一样，是保证现代工业得以正常发展的物质基础。所以，能源工业的发展速度和水平，是衡量一个国家经济实力的重要标志之一，它在很大程度上决定着整个工业发展的速度和水平，特别对一些消耗一次能源多的工业部门，如冶金、化工、电力等影响尤其显著。

能源不仅在工业生产中起着显著的作用，而且对国民经济其它部门的发展也有着深刻的影响。如现代化农业中农产品产量的大幅度提高，需耗用大量的能源。耕种、灌溉、收割、烘干、冷藏、运输都需要直接消耗能源，化肥、农药、除草剂的使用，又都间接消费能源。例如，生产1吨合成氨需2.5~3.0吨标准煤，1吨农药平均要3.5吨标准煤。美国1945年至1975年间，平均每吨谷物总的能源消费量由20增加到67公斤标准煤，而每亩产量由204公斤增加到486公斤，也就是说，每亩耕地产量增加1.4倍，而能源消费量增加2.4倍。因此，如果没有足够的燃料、动力供应，那么现代化的农业生产活动就无法进行。因此，随着我国农业机械化、电气化的发展，对能源的需要将愈益增加，可见能源和农业的发展关系密切，能源工业的发展直接影响着农业的发展。

在现代化的交通运输工具中，如果离开了煤炭、石油和电力，则无论是火车、汽车、电车，还是轮船、飞机都不能行驶。所以，没有强大的能源作基础，现代化的交通运输业是不可能得到发展的。

在作为现代化国防的动力来源中，除核能以外，当前还没有其它动力可以代替石油的。石油是军事方面的一种重要战略物资，它在国防上具有非常重大的意义。不用说汽车、坦克等摩托化、机械化的武器需要石油产品，而且在现代化的新式武器中，象喷气式飞机、火箭、导弹等都要消耗巨大的石油资源。因此，要实现国防现代化，也必须首先发展能源工业。

在人民日常生活和公用事业方面也消耗大量能源。随着城市公用事业的发展，煤气、自来水、暖气、空调等用户的不断扩大，以及文化生活用的电器设备品种和数量的不断扩大，使文化和生活用能的数量日益增加，能源在日常生活中的地位越来越重要。

能源不仅是发展工业、农业、国防、科学技术和提高人民生活水平的重要物质基础，也是一切生产技术变革的前提，可以说每一次能源利用范围的扩大，都伴随着生产技术的重大变革，甚至引起整个社会生产的革命。例如十八世纪资本主义发展初期，出现了蒸汽机。由于蒸汽机的发明，就促进了煤炭工业的发展，使煤炭在燃料中代替了木柴，又加快促进了蒸汽动力的使用，这是工业革命技术的起点，它为社会大生产创造了条件。随着社会生产的发展，机械化日益普及，要求有便于输送和分散供应的动力，而通过蒸汽机使燃料的热能转化为机械能的能源供应方式已不能满足上述要求。十九世纪七十年代，汽轮机和发电机的出现，促进了电力工业的发展。电力的应用是能源科学技术的一次重大革命，它使燃料的热能先转化为电能，然后用于生产。电能被称为“能的万能形式”，它既便于集中供应，又便于分散

应用,具有传输快和消耗低的特点,又具有输送、使用方便、效率高、管理简便等优点,并能转化为多种形式的能。在工业中,电还是自动化、无线电电子科学等最新技术的基础。电能使人类生产进入了电气化时代。十九世纪后半期,由于石油开采技术有了较大发展,石油和天然气产量的增长,石油和天然气的投资和成本较低,热能利用效率高,因此,引起了内燃机的广泛应用;而内燃机的大量发展,又推动着石油、天然气生产和消费的迅速增长。三十多年前,原子能的发现和应用,是能源发展史上继煤炭、石油和电能之后又一次革命,它为人开辟了新的无限巨大的能源,原子能已成为现代化生产中的新动力。由此可见,能源科学技术的每个重大突破,都会引起人类社会生产技术的重大变革,把社会生产力推到一个新的水平。

## 第二节 能源的现状与前景

### 一、世界能源发展规律

从世界能源发展历史来看,大致可分为三个时期:

1. 第一个时期是能源平衡构成中非矿物能源(如木柴、农副产品一类的植物燃料和水力、风力、畜力等)占主要地位的时期。这个时期经历的时间很长,每个国家在工业化以前都要经过这个时期。从世界范围来看,在十九世纪末以前,许多国家都处于这个时期。1860年以前,世界能源消费以木柴和农作物等产品为主,占世界能源总消费量的73.7%,而煤炭只占24.7%。说明当时技术水平低下,非矿物能源比重大大超过矿物能源。

2. 第二个时期是矿物能源,如煤、油、气为主的时期。每个国家随着工业化的发展,都相继进入这个时期。从世界范围来看,这个时期从十九世纪末开始,可能要延续到下个世纪。这个时期又可分为三个阶段:

(1) 第一阶段从十九世纪末到二十世纪五十年代,矿物能源煤炭在燃料构成中的比重始终在50%以上,居主要地位。

从十九世纪末到二十世纪初,随着钢铁工业的发展和蒸汽机在各部门的广泛采用,出现了煤炭工业的极盛时代。美国1920年煤炭产量曾达到过历史上最高水平六亿吨。其它如英、法、日、西德等国,在五十年代都相继达到了历史最高水平。由于煤炭工业的迅速发展,使世界能源消费构成发生了很大变化。煤炭所占比重由1860年的24.7%上升到1920年的62.4%,而木柴和农作物燃料却由73.7%下降到28.1%。

(2) 第二阶段是从六十年代开始到七十年代底,油、气取代煤炭而占主要地位。六十年代由于内燃机动力工业和石油化学工业的发展,石油成了新型的燃料,特别是化工技术的发展,石油、天然气成为有机化工产品 and 三大合成材料(塑料、橡胶、化纤)的主要化工原料,世界能源消费构成逐渐从煤炭又转向石油和天然气。煤炭所占比重,由1950年的59.3%下降到1960年的48.9%;而石油、天然气则从39.1%上升到49.2%。到六十年代以后,煤炭退居于油、气之下而占第二位。

石油的开发与利用,是工业发达国家实现现代化的重要手段。日本和西德等国在战前一、二十年实现了现代化,在很大程度上是依靠了石油。日本在能源消费结构中,1960年煤炭占58.1%,石油占34.1%,到1975年煤炭的比重下降到20.0%,石油上升到73.4%;在同时期内,西德煤炭比重从77.6%下降到32.2%,石油比重从20.8%上升到49.7%。

(3) 第三阶段是七十年代开始的所谓“石油危机”以后,油气资源的价格提高,因此,油气消费的增长速度逐渐降低,而煤炭及其合成燃料的增长开始加快。见表1-3。

表1-3 各种能源消费量平均年增长率

(%)

| 能源类别  | 1965年~1973年 | 1973年~1979年 | 1979年~2000年(预计) |
|-------|-------------|-------------|-----------------|
| 石油    | 7.7         | 2.2         | 0.4             |
| 合成燃料  | —           | —           | 13.8            |
| 天然气   | 7.3         | 3.6         | 2.6             |
| 煤     | 1.0         | 2.4         | 2.8             |
| 核能    | 27.8        | 20.9        | 10.0            |
| 水电    | 3.9         | 4.6         | 3.5             |
| 能源总消费 | 5.3         | 2.9         | 2.4             |

3. 第三个时期将是新能源占主要地位的时期。随着工业生产和科学技术的发展,将来总有一天太阳能、地热能、风能、海洋能、核聚变能等新能源代替煤、油、气而占主要地位。

## 二、世界能源现状和形势

随着人类社会现代化的实现,能源消费增长速度很快。以1900年至1925年第一个25年中,世界能源消费增长了一倍。第二个25年中,即1950年比1925年增长了70%。第三个25年,是世界上许多国家高速实现现代化的时期,能源消费迅速增长,1975年的能源消费量是1950年的三倍多(见表1-4)。

表1-4 本世纪世界能源消费增长情况

| 年份                | 能源消费量<br>(亿吨标准煤) | 总人口<br>(亿) | 按人平均能源消费量<br>(吨/人) | 能源消费<br>增长倍数 | 按人平均<br>增长倍数 | 备注 |
|-------------------|------------------|------------|--------------------|--------------|--------------|----|
| 1900 <sup>①</sup> | 7.75             | 15.71      | 0.493              | 1.0          | 1.0          |    |
| 1925              | 15.65            | 19.65      | 0.796              | 2.02         | 1.61         |    |
| 1950              | 26.64            | 24.86      | 1.08               | 3.44         | 2.91         |    |
| 1975              | 85.70            | 40.45      | 2.14               | 11.06        | 4.34         |    |
| 2000              | 157.5            | ~50        | ~3.15              | ~20.3        | ~6.39        | 预测 |

① 以1900年为基期数。

而且消耗的能源中,主要是煤、石油、天然气等常规能源,占97%以上。据1976年10月讨论世界海洋地质资源开发问题的伦敦国际会议估计,全世界石油剩余探明可采储量为879亿吨,1980年世界石油产量约为30亿吨,若以此估算,全世界石油还可以开发28年左右。国外普遍估计到2000年,将是石油生产的顶点,以后生产将逐年下降。日本估计美国石油还可能开发十年左右,苏联开发时间可能稍长些。

全世界煤炭的储量较多,目前估计世界煤炭总资源为30万亿吨。又据西德地质与原料研究所一份资料介绍,世界上深度在二千米以内,最小厚度为0.3米的煤层储量约10.7万亿吨标准煤,其中探明储量占31%。在探明储量中,根据目前的技术水平可经济开采的储量只有6600亿吨标准煤,仅占总储量的6.2%。

1980年世界煤炭产量为37.5亿吨,有关单位估计全世界煤炭还可以开采近200年。见表1-6。

表1-5 一些国家的石油剩余探明可采储量和近年产量

| 国 名       | 储 量<br>(亿吨) | 年 生 产 量 (百万吨) |       |       |       |       |       |        |
|-----------|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|           |             | 1950年         | 1960年 | 1970年 | 1976年 | 1977年 | 1979年 | 1980年  |
| 世 界       | 879         | 523           | 1048  | 2252  | 2778  | 2874  | 3100  | 2984   |
| 沙 特 阿 拉 伯 | 228         | 26            | 62    | 188   | 425   | 457   | 476   | 496    |
| 科 威 特     | 93          | 17            | 82    | 150   | 108   | 99    | 125   | 85     |
| 苏 联       | 81          | 38            | 148   | 353   | 520   | 550   | 584   | 603    |
| 伊 朗       | 79          | 32            | 52    | 191   | 295   | 285   | 145   | 74     |
| 美 国       | 36          | 266           | 348   | 475   | 401   | 403   | 432   | 433    |
| 伊 拉 克     | 42          | 65            | 47    | 46    | 192   | 111   | 169   | 130    |
| 阿拉伯酋长国    | 40          |               | 3     | 37    | 95    | 98    | 91.3  | 87     |
| 利 比 亚     | 32          |               |       | 159   | 93    | 100   | 103   | 86     |
| 委 内 瑞 拉   | 26          |               | 149   | 194   | 120   | 117   | 117   | 114    |
| .....     |             |               |       |       |       |       |       |        |
| 中 国       |             | 49年<br>0.12   |       |       |       | 93.6  | 106   | 105.95 |

表1-6 一些国家煤炭实测储量及近年产量

| 国 名   | 储 量<br>(亿吨) | 年 生 产 量 (百万吨) |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |             | 1950年         | 1960年 | 1970年 | 1976年 | 1977年 | 1978年 | 1980年 |
| 世 界   | 19638       | 1775          | 2174  | 2576  | 2822  | 2874  | 3500  | 3751  |
| 苏 联   | 2760        | 261           | 490   | 577   | 654   | 722   | 716   | 716   |
| 美 国   | 3977        | 508           | 394   | 556   | 609   | 612   | 560   | 763   |
| 西 德   | 990         | 187           | 239   | 224   | 230   | 208   | 213   | 217   |
| 英 国   | 450         | 220           | 197   | 147   | 124   | 122   | 123   | 129   |
| 澳大利亚  | 829         | 24            | 37    | 69    | 99    | 107   | 103   | 117   |
| 波 兰   | 760         | 83            | 114   | 173   | 219   | 224   | 234   | 230   |
| 印 度   | 226         | 33            | 53    | 77    | 105   | 104   | 104   | 113   |
| 捷 克   | 130         | 45            | 85    | 110   | 118   | 121   | 123   | 123   |
| 加 拿 大 | 161         | 17            | 10    | 15    | 25    | 29    | 30    | 37    |
| ..... |             |               |       |       |       |       |       |       |
| 中 国   |             | 1949年<br>32   |       |       |       | 550   | 618   | 620   |

天然气是一种清洁的能源，在能源结构中占有相当重要的位置。但天然气储量较少，比较可信的证实储量为731752亿标立方米。1980年，世界（不包括中国）天然气产量为16220亿立方米。因此，天然气也不会使用得太久了。一些国家天然气储量及1980年产量见表1-7。

从上述常规能源：煤、石油、天然气储量和开采情况来看，能源问题已成为世界范围的主要问题，对各国来说不仅是个经济问题，也是一个生存问题。1973年中东战争期间，石油危机席卷整个资本主义世界，造成巨大经济损失。美国由于缺少1.16亿吨标准煤的能源，产值减少了930亿美元，日本缺少0.6亿吨标准煤的能源，产值减少了485亿美元。由此可见，由于能源不足造成的经济损失，往往是能源本身的二十到六十倍。因此，日本、欧洲、美洲一些资本主义国家，在不断受到能源危机冲击的情况下，对能源的合理使用和能源的节省十分重视，都采取了强制性的措施。日本、美国颁布了能源法，并根据世界经济形势、能源资

表1-7 一些国家天然气剩余探明可采储量及1980年产量

单位: 亿标米<sup>3</sup>

| 国 名       | 储 量    | 1980年产量 | 国 名       | 储 量    | 1980年产量 |
|-----------|--------|---------|-----------|--------|---------|
| 世界(未包括中国) | 731752 | 16220   | 世界(未包括中国) | 731752 | 16220   |
| 苏 联       | 257600 | 4350    | 委 内 瑞 拉   | 11760  | 121     |
| 伊 朗       | 135800 | —       | 英 国       | 6944   | 370     |
| 美 国       | 53480  | 5464    | 墨 西 哥     | 18060  | 400     |
| 阿尔及利亚     | 36820  | —       | 西 德       | —      | 180     |
| 沙特阿拉伯     | 31472  | —       | 罗 马 尼 亚   | —      | 270     |
| 加 拿 大     | 24444  | 952     | 其 它 国 家   |        |         |

源的蕴藏、生产等情况,拟订了本世纪和下世纪的能源政策及相应措施。

当前世界能源形势和前景,大致可归纳为以下几点:

1. 油、气比重仍居于领先地位。随着世界各国工业水平的提高,科学技术的发展,不仅对能源的需求越来越多,而且对它的实用价值也要求越来越高。能源的实用价值,取决于单位质量的能源中所发出的能量(热值)大小。

世界能源构成发展变化的规律是煤炭代替薪柴,油气又压倒煤炭。基本上是按照各种能源的热值高低而发展变化的。虽然自中东战争以后,石油作为廉价能源的时代已告结束,促使煤炭需求增加,但是在新能源尚未被人类广泛利用之前,要算石油和天然气的发热量最高,而且有其它一些优点,因此,石油和天然气在能源消费构成中,在一定时期内仍然居于煤炭之上。

2. 煤炭工业在技术进步的基础上将会得到重新发展。在世界近代工业发展史上,煤炭工业是一个古老而落后的工业部门。本世纪五十年代初,化工、机械等加工工业部门已出现自动化流水作业线,但采煤仍靠人工劳动,技术进展十分缓慢,劳动生产率低。另一方面,五十年代以来,由于石油工业的迅速发展,使资本主义国家的煤炭工业遭到沉重打击,致使一些工业发达国家在能源消费构成中,煤炭所占的比重急剧下降。但中东战争以后,以油、气为主的能源形势将日趋衰落,世界能源领域出现的缺口,主要将由煤炭来填补,增加煤炭产量,又成为资本主义世界一个重要动向,煤炭将重新以能源“元老”“东山再起”,并将以煤炭气化和液化的崭新面貌出现,道路将越走越宽。所以,在今后的能源消费构成中,煤炭所占的比重在一定时期内会逐渐增加。

3. 原子能发电将有较大发展。利用原子能发电,不仅可以节省大量可用作化工原料的有机燃料,而且可以避免大量的燃料运输,减少对大气的污染。因此受到世界各国的普遍重视,全世界投入运行的原子能电站已有二百余座,总发电量达一亿多千瓦。特别在石油危机后,更引起人们的广泛注意。世界原子能发电在总发电量中的比重,1970年为2%,目前约占5%,估计到2000年,将有较大的增长。然而,近几年发展速度比预想的要慢得多,其主要原因是放射性废物处理技术还存在一定问题,反应堆运行事故仍然有所发生,不免使人们产生恐惧。

4. 新能源的利用在近期内不会占重要地位。战后西欧各国繁荣的能源支柱——石油,不久将达到顶端,煤炭、天然气和原子能的开发利用跟不上形势。因此,探索发热量更高的蕴藏极为丰富的、又无污染的新能源,就成为全世界所注意的目标了,并在技术上取得了一定的成效。但就太阳能、地热能、潮汐能、风能及氢能等新能源的利用来说,在近期内不会占重

要地位。因为就目前的科学水平，还有许多技术问题没有得到解决，并且各项新能源的利用都要受到自然和地理条件的限制，成本较为昂贵，在今后相当长的时期内还只限于小规模试用。

### 三、我国常规能源资源情况及其评价

能源资源是发展能源工业的基本条件。由于原子核能、太阳能、风能等新能源大规模地利用还不经济，技术上也很不成熟，因此，在本世纪内建设我国的现代化，对能源的需要将主要依靠煤炭、石油、天然气和水能等这样一些常规能源。我国常规能源情况如何，已成为大家极为关心的问题，现简述如下：

#### 1. 常规能源资源的储量和分布

对能源资源的数量估计，有储量和资源两个不同的概念。资源量是不受当前开采技术经济条件限制的总数量。例如，世界能源会议规定，硬煤埋藏深度 2000 米以内，褐煤 1500 米以内的煤层，均计算为煤炭资源量，但只有硬煤埋藏在 1500 米深度以内，厚度为 0.6 米以上，褐煤 600 米以内，厚度 2 米以上的煤层，才被计算为煤炭储量。

根据对能源储藏进行地质和勘探工作的不同程度，又将能源储量区分为地质储量和探明储量两大类。地质储量，是根据已经掌握的资料，按照能源储藏形成与分布的规律进行地质推算而得出的储量。而探明储量，则是指已经作过不同程度勘探工作，并提出相应的地质勘探阶段报告所计算获得的储量。在探明储量中，按当前技术经济条件可以开采的储量，又称为可采储量。

我国煤炭资源储量丰富，国外估计中国的地质储量为 1.44 万亿吨。1980 年底的探明储量达 6000 多亿吨。而且煤种齐全，分布面广。其中山西省的煤炭资源储量多达 2000 亿吨。内蒙古、贵州、安徽、陕西、河南、新疆、云南、河北、黑龙江等省区煤的探明储量都在上百亿吨以上。但从煤炭地质储量上看，新疆和内蒙古等省区，将是有美好远景的地区。全国各区煤炭资源的分布如表 1-8 所列。

表1-8 我国各大区煤炭探明储量表

| 地 区 | 煤 炭 探 明 储 量 (亿吨) | 百 分 数 (%) |
|-----|------------------|-----------|
| 全 国 | 5959.6           | 100       |
| 华 北 | 3585.7           | 60.2      |
| 西 南 | 672.7            | 11.3      |
| 东 北 | 520.2            | 8.7       |
| 西 北 | 550.3            | 9.2       |
| 华 东 | 409.9            | 6.9       |
| 中 南 | 220.8            | 3.7       |

注：表中数字系1978年底探明储量。

对石油资源的储量，通常也用地质储量和可采储量两个概念来表示。地质储量主要是指地下已发现的石油总量，而可采储量则是指在这些地质储量中，用现代技术可以采出的储量。可采储量对地质储量比值的百分数称为采收率。目前石油采收率一般按 30% 计算。随着科学技术水平的提高和石油价格的上涨，采收率将会不断地提高。

我国的石油和天然气资源，由于过去石油地质的勘探程度较低，现在正大力进行勘探，除了在陆地继续寻找含油、气地区外，还要进行沿海大陆架的勘探工作。现在已经探明的石油储量，主要集中在东北和华北，天然气资源主要在四川。在东北和中南地区还有比较丰

富的油页岩资源。

我国地域辽阔，大部分地区雨量充沛，河流众多，而且山区较多，地形高差又大，水力资源极为丰富。据 1979 年复核资料，水力资源理论蕴藏量达 6.8 亿千瓦，居世界第一位。在总蕴藏量中，可开发的水力资源装机容量为 3.7 亿千瓦，年发电量 1.9 万亿度，是我国巨大的能源宝库。

我国的水力资源，主要分布在西部地区，其中以西南地区为最多，约占 71%。云南、四川、西藏的水力资源均超过 1 亿千瓦。其次是中南和西北区，分别占全国的 10% 左右。东北、华北、华东三个地区，仅占 9%，是水力资源相对较少的地区。各地区水力资源的蕴藏量如表 1-9 所列。

表1-9 我国各大区水力资源蕴藏量

| 地 区 | 理论蕴藏量 (亿度/年) | 可开发量 (亿度/年) | 可开发量百分率 (%) |
|-----|--------------|-------------|-------------|
| 全 国 | 57770        | 19047       | 100         |
| 西 南 | 40647        | 13511       | 70.9        |
| 中 南 | 4791         | 2641        | 13.9        |
| 西 北 | 7325         | 1836        | 9.6         |
| 华 北 | 995          | 210         | 1.1         |
| 东 北 | 1057         | 353         | 1.9         |
| 华 东 | 2928         | 496         | 2.6         |

## 2. 对我国常规能源资源的评价

我国的能源资源是丰富还是贫乏，对这个问题，有截然不同的看法。有一种看法认为：我国的能源资源很丰富，可以称得上是一个能源大国。持这种看法的理由是：我国已经探明的煤炭资源有 6000 亿吨。其中，可采储量就有 1000 多亿吨，占世界可采储量的六分之一。石油和天然气资源，尽管地质工作做得还很不够，但探明储量已居世界前列，在大力进行勘探以后，资源数量可望进一步增加。我国水力资源更是丰富。所以，从常规能源的总储量来看，我国无疑是世界上拥有丰富能源资源的国家，能与我国相比较的仅有美、苏两国。

也有另一种看法认为：我国人口众多，用可采储量来计算，按人口平均的能源资源占有量，只相当于世界平均数的二分之一，美国的十分之一，苏联的七分之一。从每人能源资源平均数看，我国能源资源并不丰富。

因此，能源资源丰富不丰富是相对而言的，但我们对能源资源所最关心的，是能不能依靠我国的能源资源，建设起一个现代化的国家，并满足我国人民过现代化生活的需要。从我国已经探明的能源资源数量来看，按照目前的消费量计算，可以使用近二百年。而且，我国煤炭的地质储量，估计是可采储量的十几倍，甚至几十倍，石油的地质储量估计也要比探明储量大得多。所以，依靠我国的能源资源，可以建设起一个现代化的中国，并且满足我国人民过现代化生活对能源的需要。

另外，目前所获得的能源储量，仅仅是反应了迄今为止人们对自然规律的认识水平。随着科学技术的发展和地质勘探工作的深入，对能源资源的储量会产生新的突破。能找到更多的石油煤炭资源。而且能源资源的经济可采储量，取决于开发技术水平。例如，煤的开采深度，如果从目前的数百米增加到 1500 米以上，将会使可采储量成倍地增加。如将石油资源的回采率提高一倍，世界上现有的石油资源储量，按目前的生产水平，可以延长开采三、四十年。

另一方面,从我国的能源资源来看,还有一些不利的条件,也需要引起足够的重视。

(1) 我国的能源资源分布很不均匀,而且远离消费中心,这带来了:一是远距离运输问题,二是增加了能源建设上的投资。

(2) 从能源资源的构成上看,质量较差。就能源资源的可采储量而言(按燃料的热值计算),世界上固体燃料和液体、气体燃料的比例是四比一,而我国是四十比一,相差悬殊。质量差的能源,无论在开采、运输和利用等各个方面,都将带来较多的困难。

(3) 能源资源勘探程度不高,可供开发的后备精查储量不足。从开发煤炭来看,煤矿建井规模要求是精查储量的百分之一至二百分之一。这样,要增加1000万吨煤的产量,相应地要增加10~20亿吨精查储量才能满足需要。否则,就可能出现储采比的失调。石油也有类似的问题,应该有一个适当的储采比。国外一般采用三十至五十比一,即年产一亿吨石油,需要有可采储量30~50亿吨。否则,也会出现储采比的失调。对水力资源来说,只有做好地质勘探、河流规划、坝址选择、设计科研等前期工作,才能使它的开发利用成为可能。因此,为满足现代化建设对能源的需要,加强能源资源的勘探工作是极为紧迫的工作。

### 第三节 能源与国民经济发展的比例关系

能源是实现四个现代化和提高人民生活水平的重要物质基础,是保证国民经济高速度发展的重要条件。

一个国家和地区的国民经济发展通常用国民生产总值来衡量,国民生产总值的增长速度代表了国民经济的发展速度。世界各工业发达国家经济发展的历史表明:在一定的技术条件下,经济发展越快,能源需要越多;在正常情况下,能源增长速度与整个国民经济增长速度之间,形成了正比关系。能源消费量和国民生产总值两者年平均增长速度之间的比值叫做能源消费弹性系数。1950~1975年主要工业国家消费弹性系数如表1-10。

表1-10 1950~1975年主要工业国家能源消费弹性系数情况

| 国 别 | 国民生产总值年平均增长率 | 能源消费年平均增长率 | 能源消费弹性系数                  |
|-----|--------------|------------|---------------------------|
|     | $a_{GNP}\%$  | $a_E\%$    | $C = \frac{a_E}{a_{GNP}}$ |
| 日 本 | 8.7          | 8.8        | 1.01                      |
| 苏 联 | 8.3          | 6.5        | 0.78                      |
| 西 德 | 5.4          | 4.0        | 0.74                      |
| 法 国 | 4.8          | 3.9        | 0.81                      |
| 美 国 | 3.3          | 2.9        | 0.88                      |
| 英 国 | 2.6          | 1.2        | 0.46                      |

注:表中数据日本1952~1975年,苏联1951~1975年。

从表可见,从1950年到1975年,在主要工业发达国家中,日本的能源消费量增长最快,平均每年增长8.8%,它的国民生产总值也增长最快,平均每年增长8.7%;英国的能源消费量增长最慢,平均每年为1.2%,它的国民生产总值增长也最慢,平均每年只有2.6%。以同一个国家来说,不同时期也是如此。日本在六十年代能源消费量增长速度最快,平均每年为12.2%,国民生产总值的增长速度也最快,平均每年为10.8%;七十年代由于能源危机,能源消费量增长最慢,平均每年3%,国民生产总值的增长速度也最慢,平均每年只有5.4%。