

中国电机工程学会

面向 21 世纪  
电机工程科技发展战略  
研讨会论文集

中国电力出版社

199133

TM-53  
Z554

**面向 21 世纪  
电机工程科技发展战略  
研讨会论文集**

---

**中国电机工程学会**

**中国电力出版社**

**面向 21 世纪电机工程科技发展战略研讨会**

**论文集**

**中国电机工程学会**

\*

**中国电力出版社出版、发行**

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

**实验小学印刷厂印刷**

\*

**1999 年 6 月第一版 1999 年 6 月北京第一次印刷**

**787 毫米×1092 毫米 16 开本 26.5 印张 668 千字**

**印数 001—700 册**

\*

**书号 155083·20**

**版权专有 翻印必究**

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

# 前 言

为展示中国电机工程科技界学术水平，交流电机工程领域科学家、工程技术专家和科技管理专家迎接 21 世纪的战略思考，中国电机工程学会在第七次全国会员代表大会期间举办“面向 21 世纪电机工程科技发展战略”学术会议。本次会议是一次回顾电机工程 20 世纪科技进步成就、展望 21 世纪科技发展前景的高层次、综合性的学术会议，它将进一步促进我国的电机工程科技繁荣和发展。

中国电机工程学会所属专委会（分会）、各省级电机（电力）工程学会的著名专家、学者和科技人员，按专业或学科领域撰写了一批文章，以不同方面总结了 20 世纪电机工程科技进步取得的成绩，探讨了 21 世纪电机工程科技发展前景。文章内容丰富，观点鲜明。本次编辑出版的《电机工程科技进步与学科发展》论文集，收录了 63 篇论文。主要内容涉及到我国大型火电厂、核电站和电网的设计、施工、调试、运行及管理技术、新能源发电技术，以及大型电气装备的制造、设计等。本论文集体现了当今中国电机工程学科发展水平，较全面、系统地总结科技发展进程，较准确、客观地反映了最新科技成果，提供的大量科技信息，展示了当代世界科技发展动向和趋势，充分显示了科技对推动中国电机工程发展的重要作用。

我国经济建设正在转移到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来。面向 21 世纪，我们正在迎接知识经济时代的挑战，中国电机工程学会作为国家发展电机工程科技事业的重要社会力量，充分发挥学术交流主渠道的作用，将进一步激发和调动广大科技工作者的主动性和积极性，迎接挑战，勇攀电机工程科技高峰。

希望学术会议的论文能促进广大电机工程科技人员对未来电机工程科技发展的探讨并使科技迅速转化生产力，促进电力工业、电力设备制造业持续、健康发展。

张凤祥

一九九九年六月

# 目 录

## 前言

## 一、能 源

|                                         |                  |
|-----------------------------------------|------------------|
| 研究经济规律,实现电力工业的可持续发展 .....               | 孙嘉平等 (2)         |
| 能源贫富交换和水火电力调节方式的研究 .....                | 王新超等 (18)        |
| 西北地区能源资源及其开发前景展望 .....                  | 张汝楨 (26)         |
| 建议加强对高效低污染燃煤发电新技术的开发研究 .....            | 何学裘 荆伯弘 (32)     |
| 核电,未来电力工业可持续发展的主要潜在能源 .....             | 刘建良 (37)         |
| 核电——新世纪之星 .....                         | 陈 凯 (44)         |
| 面向 21 世纪 积极促进我国风力发电事业<br>的持续建设和发展 ..... | 惠子厚 (47)         |
| 21 世纪中国热电联产的发展 .....                    | 王振铭 (53)         |
| 我国火电建设的历史、现状和发展 .....                   | 杨勤明 (60)         |
| 关于农村电力市场研究的若干意见 .....                   | 农村电气化分会 (65)     |
| 国内外燃气轮机发电现况和 21 世纪展望 .....              | 糜洪元 徐文军 吕水森 (78) |

## 二、电力信息、新技术

|                                    |                      |
|------------------------------------|----------------------|
| 电力技术前沿若干问题 .....                   | 郑健超 (88)             |
| 21 世纪的火力发电新技术 .....                | 黄其励 (96)             |
| IGCC 技术在我国的发展前景 .....              | 董卫国 危师让 (107)        |
| 芬兰奥斯龙公司的 PYROFLOW 循环流化床锅炉 .....    | 陶世键 (112)            |
| 重视超导技术应用研究迎接 21 世纪                 |                      |
| 电力工业革命 .....                       | 赵盛山等 (118)           |
| 面向 21 世纪的稀土永磁电机 .....              | 唐任远 (125)            |
| 异步电动机调速技术研究 .....                  | 贺小华 (130)            |
| 对企、事业单位 MIS 建设的探讨 .....            | 李晖春 (135)            |
| 科技成果在四川电力生产发展中的应用 .....            | 凌廷亮 徐 伟 (138)        |
| 电力工业信息化 .....                      | 张 科 (144)            |
| 雷电定位系统在电力系统中的应用及前景分析 .....         | 黎利佳 (150)            |
| 湖南省电厂化学技术进步回顾与展望 .....             | 李荫才 杨诗模 陈绍艺 (155)    |
| 现代内点二次规划算法在电力系统<br>最优化问题上的应用 ..... | 韦 化 佐佐木博司 横山隆一 (160) |
| 湖南电机工程科技进步现状与展望 .....              | 陈博川 黄汉诚 杨先弟 (172)    |

### 三、电力系统

|                                       |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| 面向 21 世纪的电力系统技术 .....                 | 周孝信 (180)           |
| 电力市场及其对电力系统的影响 .....                  | 曾庆禹 (187)           |
| 面向 21 世纪我国输电线路专业技术发展前景的展望 .....       | 黄志明 (198)           |
| 定制电力简介 .....                          | 陈警众 (205)           |
| 湖南省电网安全稳定控制系统 .....                   | 章建 周全仁 (217)        |
| 面向 21 世纪的东北电力信息网 .....                | 潘民惠 (223)           |
| 城乡电网用输变电设备的现状<br>及近期的发展目标 .....       | 高兴耀 虞恬 杨旭 (230)     |
| 发供电企业安全性评价 .....                      | 华北电力集团公司安全监察部 (235) |
| 继电保护技术发展展望 .....                      | 郑玉平 (242)           |
| 电力系统继电保护技术的现状与未来 .....                | 贺家李 (248)           |
| 再创带电作业辉煌——迎接 21 世纪发展<br>带电作业的建议 ..... | 孙俊伍 杨丞棠 肖坤 (253)    |
| 西宁—大武 110kV 输电线路并联电抗器补偿分析 .....       | 刘文泉 徐强 (260)        |
| 电力系统电磁兼容分析方法与数学模型 .....               | 崔翔 卢铁兵 (267)        |
| 同步电机参数测试技术的新发展 .....                  | 丘昌涛 薛建杰 王金利 (273)   |
| 关于加快农网建设与改造的若干意见 .....                | 董振亚 刘福义 (279)       |
| 火力发电厂建筑工程技术的现状与发展 .....               | 葛增茂 (284)           |
| 工程造价与上网电价的实证分析 .....                  | 叶芙蔓 桂衡 (291)        |
| 电能质量的全过程监测技术 .....                    | 许退 王惠仁 (298)        |

### 四、电气设备制造

|                                        |                   |
|----------------------------------------|-------------------|
| 大型电机的现状与展望 .....                       | 梁维燕 (308)         |
| 将一个稳定发展的我国发电机制造业带入 21 世纪 .....         | 沈梁伟 (315)         |
| 21 世纪变压器类产品的发展趋势预测 .....               | 朱英浩 (320)         |
| 高压断路器 21 世纪发展趋势初议 .....                | 崔成恕 (323)         |
| 论我国高压真空断路器发展方向及制造技术有关问题 .....          | 王季梅 (327)         |
| 百万伏级 SF <sub>6</sub> 封闭式组合电器研制初探 ..... | 吴忠 孙永恒 黎志海 (335)  |
| 新型高低压电器的发展目标 .....                     | 陈绍魁 (339)         |
| 21 世纪变压器类产品的发展展望 .....                 | 董振华 (345)         |
| 面向 21 世纪的先进制造技术 .....                  | 祁国宁 (351)         |
| 无卤低烟电缆技术的现状及发展 .....                   | 王怡瑶 刘露萍 甄志宏 (355) |
| 无卤低烟阻燃电力电缆的性能研究 .....                  | 孙平 (361)          |

### 五、地方电力及其他

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| 依托三峡电站下的湖北电力工业 21 世纪发展展望 ..... | 周世平 (368) |
|--------------------------------|-----------|

|                               |             |       |
|-------------------------------|-------------|-------|
| 面向 21 世纪的甘肃电力科技 .....         | 甘肃省电机工程学会   | (372) |
| 重庆市电力工业的发展 .....              | 陈泽惠 徐重发 汪其昌 | (378) |
| 面向 21 世纪江西电力科技发展展望 .....      | 华志刚         | (382) |
| 21 世纪的青海电网网架建设 .....          | 陈 凯         | (387) |
| 浙江省 21 世纪电力工业可持续发展探讨和展望 ..... | 陈积民         | (397) |
| DSP 在高性能测量及控制系统中的应用 .....     | 龙 伟 江智军 胡华寅 | (401) |
| 我国电工数学发展概况及未来展望 .....         | 丘昌涛 卢 强     | (406) |
| 跨世纪电站焊接技术的发展趋势 .....          | 杨 富         | (409) |

# 一、能 源



# 研究经济规律，实现电力工业的可持续发展

孙嘉平 王文龙 王长海  
张春江 王金萍 贾跃兰

(北京电机工程学会、能源与信息专委会)

## 摘 要

本文从电力工业与国民经济发展、能源与环境之间的相互关系出发，通过对国内外电力工业发展规律的分析研究，提出了增加发电能源在一次能源消费中的比重和电力发展必须适应用电结构变化的论点，充分说明了电力技术是通向可持续发展的桥梁。为实现国民经济的可持续发展，电力工业必须首先实现其自身的可持续发展。论文对我国优化发电能源结构、提高供用电水平以及解决能源与环境问题需要研究的关键技术等方面提出了建议，并对首都地区电力发展形势作了具体分析和建议。

**关键词** 优化一次能源消费结构 优化发电能源结构  
适应用电水平和用电结构变化 实现电力可持续发展

在世纪之交，我国电力工业的发展正处在一个重要的历史时期，近 20 年来电力工业的改革与发展以及经济结构调整出现的新情况，使我国长期严重缺电的局面得以缓解，出现了低水平的电力供需平衡的局面，一些电网呈现出买方市场，甚至出现负增长。如何正确分析这一形势，电力工业应如何发展，这是一个必须认真研究和对待的问题。本文从电力工业与国民经济发展、一次能源需求和环境保护的相互关系（即所谓四个“E”的关系）出发，通过对国内外电力工业发展规律的分析研究，论述了优化一次能源结构，优化发电能源结构，适应用电结构变化，提高供用电水平，开拓电力市场，以及解决能源与环境问题所关心的关键技术等四个方面问题，并以首都地区为例，剖析了四个“E”的关系，提出了具体建议，充分说明了电力技术是通向可持续发展的桥梁，为实现国民经济的可持续发展，电力工业必须首先实现其自身的可持续发展。

## 一、优化一次能源消费结构，提高发电能源所占的比重

### （一）提高发电能源的比重，是节约能源和保护环境的重要途径

无论是发展中国家还是工业发达国家，在其发展过程中，随着大能耗的重工业和基础设施的陆续建成和投产，能源需求与国民生产总值必然相伴增长。以经济合作和发展组织（OECD）国家的一项能源消费与国民生产总值的关系为例，在 70 年代初期及以前，两者是紧密相关的；而在 70 年代初期及以后，由于这些国家从改变能源消费行为、采用新技术、加速技术进步、转变消费结构、将原材料开采和加工等耗能大的工业向发展中国家转移等几个方面改变了其能源消费模式，特别是加快了电力发展、提高了发电能源消费比重，从而降低了

能源消费强度和能源总消费量,致使一次能源消费与国民生产总值之间的相互影响日益缩小,以致逐渐分离。

而在发展中国家,为了建设本国经济所必需的基础工业设施,并逐步以商品能源代替在农村广泛使用的非商品能源,对能源需求有很大的潜力。从各类国家经济和能源消费增长速度以及相应的能源弹性系数的历史数据,可以看到:工业化国家的能源弹性系数已降到 0.1~0.4 之间,而发展中国家仍保持在 0.7~1.0 之间。

电力是唯一能够大规模利用煤炭、水力、核能和各种再生能源的二次能源。在最终能源消费中比其他能源形式的直接使用具有无可比拟的优越性。因此,电力增长速度始终高于整个能源消费的增长速度。纵观主要工业发达国家及部分发展中国家在 70 年代及 80 年代的发展过程,发电能源占一次能源总消费的比重都呈增加趋势,这一比重越高,能源利用效率越高,单位国民生产总值的能耗(能源消费强度)越低。当这一比重达到一定数值后(具体数值随各个国家的具体情况不同而不同),能源消费强度的变化即呈平缓趋势,发电能源占一次能源总消费的比重也趋于稳定,见图及表 1-1。

如果在各国之间进行横向对比,可以看出,发电能源占一次能源总消费的比重高的国家,单位国内生产总值的能耗低。

中国是一个能源消费大国。一次能源消费总量按标准煤计,1970 年为 2.93 亿 t,1980 年为 6.03 亿 t,1985 年为 7.67 亿 t,1990 年为 9.87 亿 t,1995 年为 13.12 亿 t;相同年份发电能源占一次能源消费的比重分别为 17.3%,19.3%,19.5%,26.5%及 31.5%;1980、1985、1990 及 1995 年单位国民生产总值的能源消费量分别为 15.48t 标煤/万元、16.50t 标煤/万元、15.02t 标煤/万元及 10.97t 标煤/万元(国民生产总值均按 1978 年不变价格计算)。

所以,无论是从国外统计数字还是从我国统计数字来看,在发展过程中,随着经济的发展,在最终能源消费中电力的比重逐年增加,单位国民生产总值所消费的能源逐年减少,从而相对减少了由于能源消费对环境的破坏。这种趋势对于以火电(煤电和油电)为主的国家尤为明显,而对于以水电和核电为主的国家次之。一般来说,在发电能源占一次能源总消费的比重达到 35%以后,这种变化即趋于平缓。然而,随着先进的发电技术和用电技术的不断发展,这趋于平缓的比重还会有所提高。

表 1-1 主要国家一次能源消费及发电能源消费情况

| 国 家                 | 年 份  | 一次能源消费        |                    |                    | 发电能源消费量<br>(Mtce) | 发电能源占一次能<br>源总消费量的比重<br>(%) | 备 注                     |
|---------------------|------|---------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|
|                     |      | 消费量<br>(Mtce) | 占世界总消费<br>量的比重 (%) | 人均能源<br>消费量 (kg/人) |                   |                             |                         |
| 美<br><br>国          | 1990 | 2686.87       | 24.73              | 10751              | 1129.51           | 42.0                        |                         |
|                     | 1991 | 2704.67       | 24.70              | 10711              | 1108.73           | 41.0                        |                         |
|                     | 1992 | 2739.64       | 24.99              | 10736              | 1117.30           | 40.8                        |                         |
|                     | 1993 | 2771.02       | 25.15              | 10574              | 1166.80           | 42.1                        |                         |
|                     | 1994 | 2963.13       | 26.28              | 11197              | 1187.70           | 40.1                        |                         |
|                     | 1995 | 3021.58       | 25.78              | 11312              | 1206.78           | 39.9                        |                         |
| 俄<br><br>罗<br><br>斯 | 1990 | 1918.83       | 17.66              | 6632               | 572.08            | 29.8                        | 91 年<br>起为俄<br>罗斯数<br>据 |
|                     | 1991 | 1150.00       | 10.50              | 8432               | 345.79            | 30.1                        |                         |
|                     | 1992 | 1027.04       | 9.38               | 7150               | 324.29            | 31.6                        |                         |
|                     | 1993 | 996.02        | 9.04               | 6690               | 306.72            | 30.8                        |                         |
|                     | 1994 | 884.14        | 7.84               | 5945               | 282.52            | 32.0                        |                         |
|                     | 1995 | 1004.65       | 8.57               | 6767               | 278.85            | 27.8                        |                         |

续表

| 国 家         | 年 份  | 一次能源消费        |                    |                    | 发电能源消费量<br>(Mtce) | 发电能源占一次能<br>源总消费量的比重<br>(%) | 备 注                       |
|-------------|------|---------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------|
|             |      | 消费量<br>(Mtce) | 占世界总消费<br>量的比重 (%) | 人均能源<br>消费量 (kg/人) |                   |                             |                           |
| 中<br>国      | 1990 | 987.03        | 9.08               | 863                | 261.93            | 26.5                        | 根据国<br>家统计<br>局计算         |
|             | 1991 | 1037.83       | 9.48               | 896                | 284.22            | 27.4                        |                           |
|             | 1992 | 1091.70       | 9.97               | 932                | 314.13            | 28.8                        |                           |
|             | 1993 | 1159.93       | 10.53              | 979                | 346.22            | 29.8                        |                           |
|             | 1994 | 1227.37       | 10.89              | 1024               | 381.62            | 31.1                        |                           |
|             | 1995 | 1311.76       | 11.19              | 1083               | 412.93            | 31.5                        |                           |
| 日<br>本      | 1990 | 564.19        | 5.19               | 4567               | 291.67            | 51.7                        |                           |
|             | 1991 | 584.61        | 5.34               | 4718               | 299.47            | 51.2                        |                           |
|             | 1992 | 589.34        | 5.38               | 4743               | 301.70            | 51.2                        |                           |
|             | 1993 | 592.42        | 5.38               | 4758               | 306.86            | 51.8                        |                           |
|             | 1994 | 621.40        | 5.51               | 4979               | 325.08            | 52.3                        |                           |
|             | 1995 | 638.45        | 5.45               | 5105               | 333.31            | 52.2                        |                           |
| 德<br>国      | 1990 | 382.75        | 3.52               | 6241               | 148.56            | 38.8                        | 1991<br>年后为<br>统一德<br>国数据 |
|             | 1992 | 479.34        | 4.38               | 6003               | 173.48            | 36.2                        |                           |
|             | 1992 | 471.35        | 4.30               | 5865               | 173.70            | 36.9                        |                           |
|             | 1993 | 462.34        | 4.20               | 5724               | 169.63            | 36.7                        |                           |
|             | 1994 | 444.80        | 3.95               | 5477               | 169.91            | 38.2                        |                           |
|             | 1995 | 461.02        | 3.93               | 5650               | 172.12            | 37.3                        |                           |
| 英<br>国      | 1990 | 307.42        | 2.83               | 5335               | 114.13            | 37.1                        |                           |
|             | 1991 | 318.19        | 2.91               | 5505               | 115.41            | 36.3                        |                           |
|             | 1992 | 311.94        | 2.85               | 5403               | 114.80            | 36.8                        |                           |
|             | 1993 | 311.05        | 2.82               | 5350               | 110.97            | 35.7                        |                           |
|             | 1994 | 306.33        | 2.72               | 5261               | 112.09            | 36.6                        |                           |
|             | 1995 | 309.87        | 2.64               | 5315               | 114.08            | 36.8                        |                           |
| 加<br>拿<br>大 | 1990 | 291.88        | 2.69               | 10503              | 169.50            | 58.1                        |                           |
|             | 1991 | 293.30        | 2.68               | 10421              | 180.07            | 61.4                        |                           |
|             | 1992 | 300.03        | 2.74               | 10534              | 182.44            | 60.8                        |                           |
|             | 1993 | 312.79        | 2.84               | 10860              | 185.32            | 59.3                        |                           |
|             | 1994 | 325.16        | 2.88               | 11170              | 198.43            | 61.0                        |                           |
|             | 1995 | 320.86        | 2.74               | 10913              | 198.43            | 61.0                        |                           |
| 法<br>国      | 1990 | 294.69        | 2.71               | 5193               | 146.84            | 49.8                        |                           |
|             | 1991 | 311.35        | 2.84               | 5460               | 158.39            | 50.9                        |                           |
|             | 1992 | 320.62        | 2.93               | 5618               | 171.90            | 53.6                        |                           |
|             | 1993 | 312.18        | 2.83               | 5418               | 165.17            | 52.9                        |                           |
|             | 1994 | 298.06        | 2.64               | 5149               | 166.70            | 55.9                        |                           |
|             | 1995 | 308.63        | 2.63               | 5309               | 172.65            | 55.9                        |                           |
| 意<br>大<br>利 | 1990 | 223.73        | 2.06               | 3922               | 71.56             | 32.0                        |                           |
|             | 1991 | 230.95        | 2.11               | 4046               | 73.47             | 31.8                        |                           |
|             | 1992 | 232.33        | 2.12               | 4067               | 74.87             | 32.2                        |                           |
|             | 1993 | 227.44        | 2.06               | 3978               | 72.81             | 32.0                        |                           |
|             | 1994 | 227.69        | 2.02               | 3981               | 75.80             | 33.3                        |                           |
|             | 1995 | 235.64        | 2.01               | 4118               | 78.27             | 33.2                        |                           |

原始资料来源：据联合国《世界能源统计》，历年；

日本海外电力调查资料，计算。

**(二) 我国应努力提高电力消费在总能源消费中的比重**

中国能源消费构成，在过去 20 多年中，煤炭比重从 1970 年的 80.9% 下降到 1995 年的

75.0%，石油比重从1970年的14.7%下降到1995年的17.3%，天然气比重从1970年的0.9%增加到1995年的1.8%，水电和核电的比重从1970年的3.5%增加到1995年的5.9%。根据前1~2年的预测，到2010年，能源消费构成，煤炭比重将下降到64.1%，石油比重将增加到19.4%，天然气、水电和核电比重将分别增加到5.1%、9.4%和2.0%。这种趋势说明，中国过去是，今后一段时期还将是一个煤炭消费大国，石油和天然气比重受国内资源的限制增长缓慢，水电比重略有下降，核电比重受资金和国产化进展缓慢的制约，发展不快，我国能源消费构成在相当长的时期内仍是以煤炭为基础。这种趋势还说明，由于过分依赖煤炭，引起的环境污染已相当严重，酸雨区面积已达到国土面积的1/3。1995年全国SO<sub>2</sub>的排放量从1990年的1571万t增加到2370万t(其中30%左右为火电厂排放的)。1995年在两控区内因SO<sub>2</sub>排放就造成1138.8亿元的经济损失，占GNP的1.98%，如果无新的措施出台，2000年将达到1568亿元。

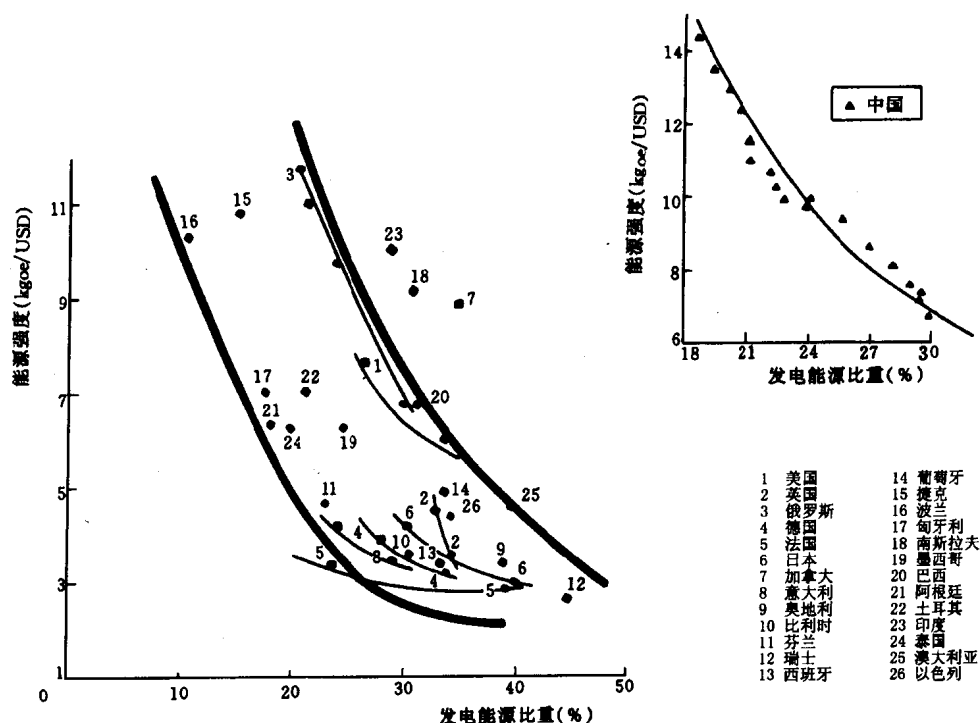


图1 能源强度和发电能源在一次能源总消费中的比重关系

电力消费是唯一能将煤炭直接消费转变为清洁、便利的二次能源消费方式，是提高能源利用效率、降低单位国民生产总值能耗的重要途径。由上所述，我国发电能源占一次能源的比重为32%，仍处于能源强度明显下降区。因此，增加这一比重，提高电力在能源最终消费中的份额，特别是把煤炭转化为电力后消费，对提高能源利用率和保护环境仍有很大潜力。这是因为，在保证相同的能源服务水平的前提下，使用电力作为最终消费方式最清洁、方便、易于控制且效率最高。特别是集中燃煤发电便于实施污染控制。因此把大量分散燃用化石燃料都高效集中地转换为电力使用，我们的生活质量和生存环境必将大大改善。

提高电力在最终消费中的比重是经济发展和社会进步的需要，这是电力发展速度高于一次能源增长的重要原因，也是电力工业必须实现持续发展的根据。与此同时，这也加大了对电力工业本身的压力。电力比重的提高对国民经济和环境保护的贡献是明显的，然而由于电

力比重的提高,其本身对环境影响的比重不但没有减少,反而有所增加,这就要求电力工业必须努力优化发电能源结构,尽量采用先进技术,使发电、输电、供用电各个环节适应可持续发展的需要,真正使“电力技术成为通向可持续发展的桥梁”。

### (三) 优化首都地区能源消费结构的建议

按照前 1~2 年的预测,2010 年我国能源消费总量将达到 20.6 亿 t 标准煤(适中需求量),其构成为:煤炭占 64.1%(比 95 年下降 11 个百分点),石油占 19.4%,天然气占 5.1%,一次电力(水电和核电)占 11.4%,油、气、一次电力等优质能源的消费比例将有所上升。

1996 年首都能源消费总量为 3000 万 t 标准煤。2010 年前生产总值年均增长率为 6%到 7%,能源消费总量年均增长率为 3%左右,到 2010 年时,能源消费总量将是 1995 年的 1.558 倍,达到 4674 万 t。人均年消费量约 4.5t。接近目前国际发达国家平均消费水平(目前发达国家人均能源消费量为 5t)。

增加的 1670 万 t 能源,可以这样考虑:

(1) 天然气,2010 年北京的天然气消费将达 30 亿  $\text{m}^3$ ,合 360 万 t 标准煤。

(2) 如果电量的年均增长率为 5%,2010 年用电量将是 1995 年的一倍。假设热力消费的增长率同用电量增长率,电力(热力)的消费将从目前的 630 万 t 标准煤翻一番,即增加 630 万 t 标准煤。

(3) 1995 年,油品消费为 570 万 t,约占能源总消费量的 19%。2010 年,如该比例不变,将为 887 万 t,每提高一个百分点,多消费 46.7 万 t 油品。如果全部用油品来提供,则要增加 14.56 个百分点,考虑到我国是一个贫油国家,油品需要进口,除了汽车用油会有较大发展外,油品消费增加的难度较大。

(4) 如果用电量年均增长率提高一个百分点,即达到 6%,2010 年时用电量将增长 1.4 倍,达到 1638 万 t 标准煤。即比 1995 年增加 1000 万 t 标准煤。比 5%时多提供 380 万 t 标准煤电力,剩下的 300 万 t 标准煤由油品来提供,约增加 6 个百分点,就可以大大减轻油品消耗的压力;反之,必然大增加油品消费的力度,以至突破煤炭消费总量。

从以上分析可以看出,为了满足 2010 年北京能源消费,又从煤炭消费总量上加以控制,以便保持北京的环保质量。在充分利用天然气资源后,油品消费增加受资源的限制,唯一的出路是增加电力消费。

用电量的年均增长至少应大于 5%,力争达到 6%,才能满足能源的需求。否则,必将增加油品消费的压力,以至煤炭消费总量不能控制。

## 二、优化发电能源结构,走电力可持续发展的道路

### (一) 发电能源多样化,清洁发电能源比重增长快

近 20 多年来和今后 20 多年,国外发电能源结构与一次能源消费结构有类似的变化趋势,即发电能源结构多样化,清洁发电能源比重增长快。

(1) 世界各国的发电能源都有自己的模式,它主要受各自一次能源结构特点、社会经济发展对电力的需求、电力生产建设的经济性以及日益严格的要求等诸多因素的制约。以日本为例,日本能源资源匮乏,以致早年的发电能源结构火主水辅、水主火辅几经变化。二次大战后,日本除继续开发水电外,火电发展迅速,60 年代后期开始发展核电。在火电中煤电、油电和气电在电源构成中的比重不断地发生变化,1971 年煤电占 12%;1995 年煤电增长到 18%,油电从 63%大幅度下降到 23%,气电则从 1.4%增长到 20%。同一期间,英国发电能

源结构变化情况是：火电比重从 1971 年的 88% 下降到 1995 年的 72%，但其中的煤电和油电分别从 64% 和 23% 下降到 43% 和 11%，气电则从 1% 大幅度上升到 18%，如表 2-1 所列。由此可见，多年来各个国家都在不断调整自己的发电能源结构，推行发电能源多样化。不论工业发达国家，还是天然气供应稳定的发展中国家，都出现了发展以天然气为燃料电厂的倾向。但是，世界上很多国家，特别是煤炭资源丰富的工业发达国家和发展中国家，原来煤电即占主导地位，今后还将适当发展。

(2) 煤电的继续发展，带来了严峻的环保问题。以美国为例，美国的煤炭目前大约有 87% 用于发电，1995 年煤电比重高达 52%。根据美国法律，到 2000 年电力工业  $\text{SO}_2$  的排放量应减少到 890 万 t (1986 年美国全国  $\text{SO}_2$  排放量为 2120 万 t，火力发电排放量为 1626 万 t)。计划分为两个阶段实施：第一阶段 (1990~1995 年) 重点治理污染大厂，将原有的 110 座重点电厂 261 台锅炉的  $\text{SO}_2$  排放浓度降至 1450ppm， $\text{NO}_x$  排放浓度 (按两大类锅炉划分) 分别减少到 255ppm 和 285ppm；第二阶段，所有火电厂  $\text{SO}_2$  排放浓度均限制在 700ppm。其主要措施是部分燃煤电厂改烧天然气。

(3) 为了实现发电能源多样化的目的，很多国家都在研究和开发再生能源发电技术，而且政府予以大力支持。仍以美国为例，经过近 10 余年的努力，已经确立了风能、太阳能和生物质能发电技术在世界上的领先地位，其中风能和生物质能发电已达到商业规模。美国能源部和农业部都制订了新能源发电的发展计划，投入了大量的资金并制定了优惠政策，如联邦能源法规定，每 kWh 可再生能源发电减征 1.5 美分所得税。这一政策延续至今，使成本较高的可再生能源发电有可能获得商业利润。

(4) 世界上不少国家，都存在着电网的调峰能力不足的问题。在日本，昼夜、平日假日峰谷差越来越大，甚至深夜低谷负荷仅为白天高峰负荷的 45% 左右。为了满足电网调峰、承担中间负荷和两班制运行的需要，日本大力发展了大容量蒸汽-燃气 (液化气) 联合循环机组，同时，为了加强电网调峰能力，又大量兴建了抽水蓄能电站。至 1995 年 3 月底，日本共建成抽水蓄能机组容量近 20GW，占水电总容量 41.9GW 的 47.5%；预计到 2000 年，抽水蓄能发电容量将达到 24.7GW，占水电总容量的 54% 左右。

## (二) 抓住机遇，积极优化我国发电能源结构

1978 年以来，我国平均每年新增装机容量 10GW，到 1997 年底，全国装机容量达到了 254GW，发电量超过 1100TWh，电力供需矛盾得到了暂时缓和，成功地实现了持续高速增长。当前，应利用这一历史机遇，继续遵循“优化火电结构，大力发展水电，适当发展核电，减少污染，保护环境的方针”在以下几个方面进行电源结构调整和优化的工作：

(1) 优化区域结构。因地因网规划出与地区经济发展相适应的电力发展速度，优先开发我国中西部地区的能源资源，大力发展水电，加速矿口电厂的建设，推动中西部电力向东部和沿海地区送电。在沿海地区，适当建设核电，加速核电国产化，为进一步发展建立基础。同时，适当进口石油和液化天然气，建设燃气-蒸汽联合循环机组；在偏远地区和有条件的农村地区发展风能等新能源发电，实现能源多样化。

(2) 当前，我国不少电网缺少调峰能力，除了充分发挥水电的调峰能力外，要重视抽水蓄能电站和调峰火电厂的建设。

(3) 我国发电装机容量中有 75% 是煤电，今后这一比重会相对降低，但煤电仍占主导地位。我国酸雨面积已达到国土面积的 1/3，从 1980 年到 1997 年，全国火电厂燃煤量分别为 1.2 亿 t 和 4 亿 t， $\text{SO}_2$  的排放量已从 287 万 t 增加到 683 万 t，严格控制  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  排放已刻不

容缓。国务院对酸雨和 SO<sub>2</sub> 污染控制区划分方案的批复文件中提出,除以热定电的热电厂外,禁止在大中城市城区和近郊区建设燃煤电厂,新建和改造燃煤含硫量大于 1% 的电厂,必须装设脱硫设备。除了贯彻执行这一方针外,应加快研究开发洁净煤发电技术,推广应用先进的循环流化床锅炉、脱硫和低 NO<sub>x</sub> 燃烧技术,重视现有火电厂的污染治理工作。

表 2-1 世界一些国家发电能源构成 %

| 国别               | 能源 | 1971 年 | 1980 年 | 1985 年 | 1990 年 | 1995 年 |
|------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 中<br>国           | 煤电 | 81.89  | 59.48  | 54.58  | 72.09  | 76.00  |
|                  | 油电 | (包括油电) | 21.16  | 12.93  | 7.57   | 4.18   |
|                  | 气电 |        |        |        |        |        |
|                  | 水电 | 18.11  | 19.36  | 22.49  | 20.34  | 18.55  |
|                  | 核电 |        |        |        |        | 1.27   |
| 美<br>国           | 煤电 | 44.79  | 51.20  | 57.22  | 53.42  | 51.50  |
|                  | 油电 | 13.82  | 10.84  | 4.09   | 4.11   | 2.45   |
|                  | 气电 | 23.49  | 15.26  | 11.91  | 12.37  | 14.86  |
|                  | 水电 | 15.47  | 11.49  | 10.83  | 8.58   | 8.83   |
|                  | 核电 | 2.38   | 10.97  | 15.51  | 19.22  | 20.06  |
| 日<br>本           | 煤电 | 11.86  | 9.60   | 15.32  | 14.49  | 17.83  |
|                  | 油电 | 62.63  | 46.23  | 28.87  | 31.57  | 22.88  |
|                  | 气电 | 1.44   | 14.71  | 19.23  | 19.46  | 19.48  |
|                  | 水电 | 15.47  | 11.19  | 10.83  | 8.58   | 8.38   |
|                  | 核电 | 2.09   | 14.43  | 23.93  | 23.78  | 29.69  |
| 德<br>国           | 煤电 | 74.99  | 62.94  | 61.94  | 58.81  | 55.75  |
|                  | 油电 | 11.66  | 5.73   | 1.84   | 1.90   | 1.69   |
|                  | 气电 | 6.49   | 14.15  | 5.38   | 7.40   | 8.11   |
|                  | 水电 | 4.11   | 4.09   | 3.34   | 3.17   | 3.71   |
|                  | 核电 | 1.90   | 11.92  | 26.63  | 27.85  | 28.93  |
| 英<br>国           | 煤电 | 63.94  | 73.18  | 60.51  | 65.27  | 40.01  |
|                  | 油电 | 23.02  | 11.67  | 16.39  | 10.78  | 10.66  |
|                  | 气电 | 0.96   | 0.75   | 0.98   | 1.14   | 17.52  |
|                  | 水电 | 1.31   | 1.37   | 1.39   | 1.63   | 1.59   |
|                  | 核电 | 10.77  | 13.03  | 20.73  | 20.74  | 26.72  |
| 法<br>国           | 煤电 | 29.10  | 27.22  | 13.15  | 8.51   | 5.41   |
|                  | 油电 | 28.09  | 18.86  | 2.07   | 2.13   | 1.58   |
|                  | 气电 | 4.75   | 1.73   | 0.92   | 0.68   | 0.78   |
|                  | 水电 | 31.34  | 26.90  | 17.87  | 12.82  | 14.58  |
|                  | 核电 | 5.99   | 23.84  | 65.58  | 75.47  | 77.09  |
| 澳<br>大<br>利<br>亚 | 煤电 | 71.03  | 73.25  | 74.69  | 77.12  | 77.01  |
|                  | 油电 | 3.37   | 5.43   | 3.90   | 2.73   | 1.73   |
|                  | 气电 | 3.27   | 7.33   | 9.61   | 10.60  | 10.29  |
|                  | 水电 | 21.83  | 13.59  | 11.42  | 9.17   | 9.16   |
|                  | 核电 |        |        |        |        |        |
| 加<br>拿<br>大      | 煤电 | 18.80  | 16.02  | 17.33  | 17.23  | 15.11  |
|                  | 油电 | 2.89   | 3.70   | 1.48   | 3.32   | 1.90   |
|                  | 气电 | 3.14   | 2.46   | 1.48   | 2.20   | 3.95   |
|                  | 水电 | 73.24  | 67.28  | 66.16  | 61.59  | 60.54  |
|                  | 核电 | 1.92   | 10.19  | 13.19  | 15.12  | 17.74  |

(4) 2020 年我国发电能源构成的预测。根据前两年对我国电力工业的发展预测,表明经济增长趋势:90 年代为 8%~9%,2000~2010 年为 6%~8%,2010~2020 年为 5%~6.3%。

据此分析预测,到 2020 年我国电力供应能力将达到 790.1GW,这一预测反映了我国今后发电能源构成变化的趋势(详见表 2-2)。

表 2-2

中国电力供应能力预测

| 项 目  |           | 1990 年        | 2000 年         | 2010 年         | 2020 年         |
|------|-----------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 火电   | 容量 (GW)   | 101.8 (74.0)  | 235.0 (76.9)   | 413.8 (77.2)   | 575.8 (72.9)   |
|      | 发电量 (TWh) | 494.9 (79.8)  | 1175.0 (83.2)  | 2069.0 (82.3)  | 2879.0 (78.5)  |
| 煤电   | 容量 (GW)   | 87.8          | 207.0          | 368.8          | 500.8          |
|      | 发电量 (TWh) | 426.9         | 1035.0         | 1844.0         | 2504.0         |
| 油电   | 容量 (GW)   | 10.0          | 20.0           | 30.0           | 50.0           |
|      | 发电量 (TWh) | 48.6          | 100.0          | 150.0          | 250.0          |
| 气电   | 容量 (GW)   | 4.0           | 8.0            | 15.0           | 25.0           |
|      | 发电量 (TWh) | 19.4          | 40.0           | 75.0           | 125.0          |
| 水电   | 容量 (GW)   | 35.7 (26.0)   | 67.5 (22.1)    | 100.0 (18.7)   | 160.0 (20.2)   |
|      | 发电量 (TWh) | 125.3 (20.2)  | 220.0 (15.6)   | 318.0 (12.7)   | 498.0 (13.6)   |
| 抽水蓄能 | 容量 (GW)   | 0.3           | 4.5            | 10.0           | 20.0           |
| 核电   | 容量 (GW)   |               | 2.7 (0.9)      | 20.0 (3.7)     | 40.0 (5.1)     |
|      | 发电量 (TWh) |               | 16.2 (1.1)     | 120.0 (4.8)    | 248.0 (6.8)    |
| 新能源  | 容量 (GW)   | 0.04          | 0.5 (0.1)      | 2.0 (0.4)      | 14.3 (1.8)     |
|      | 发电量 (TWh) | 0.15          | 1.6 (0.1)      | 5.8 (0.2)      | 41.0 (1.1)     |
| 总计   | 容量 (GW)   | 137.5 (100.0) | 305.7 (100.0)  | 535.8 (100.0)  | 790.1 (100.0)  |
|      | 发电量 (TWh) | 620.1 (100.0) | 1412.8 (100.0) | 2512.8 (100.0) | 3666.0 (100.0) |

注 括号内数字为所占比重。

### (三) 京津唐电网电源结构的合理调整

#### 1. 确定京津唐电网电源结构的基本因素

京津唐电网处于山西、陕西、蒙西能源基地附近,因此以煤电为主的格局在今后相当长的时间内不会改变。京津唐地区严重缺乏水资源,特别是受环保要求严格的制约,使京津附近建设大型燃煤电厂越来越困难。

通过对华北电网,特别是京津唐电网负荷曲线的分析可以看出,年负荷曲线呈尾部向上的态势,即负荷最大值出现在 11 月、12 月、1 月三个月份,尤以 11 月为最。拉动负荷上扬的主要原因是生活用电,随着夏天空调负荷的增长,将来年负荷最大值出现的月份也可能转移。日负荷曲线中峰谷差呈逐年增大的趋势,它以高于最大负荷增长速度两个百分点的速度增长。究其原因,是第三产业增长迅速,其比重已接近第二产业。随着人民生活水平的提高,居民生活用电增长迅速,使峰谷差越来越大。环保问题是京津地区建设火电要解决的一个重要问题。华北电网地处煤炭基地,煤电在发电能源结构中约占 80%,显然是最重要的污染源。

#### 2. 合理调整京津唐电网的电源结构

由于华北及京津唐地区一次能源结构的特点,以及受煤电占主导地位、峰谷差进一步扩大、环保要求、经济性等的影响,京津唐电网电源结构的合理调整意见如下。

(1) 新增装机尽量安装 600MW 机组,严格控制建设小火电机组,减少直至避免依靠小机组调峰的不合理局面。

(2) 努力实现京津唐电网发电能源多样化。天然气是一种理想的清洁能源,天然气发电的关键是可靠的气源和合理的价格。京津唐电网可以利用的天然气源有:陕西靖远气田、渤

海湾天然气、胜利油田天然气（在保证京津居民用气的前提下，每年尚余 10 多亿  $\text{m}^3$ ，是可供一座 1000MW 级燃气电厂燃用的），俄罗斯天然气、进口液化天然气等。既然京津唐电网有这样好的天然气供应条件，从电网运行、环保压力及经济性各方面考虑，现在应积极研究和落实天然气和煤层气发电的问题。由于京津电网电源结构调整受到严重缺水、运输条件和环保要求等因素的制约，现在也应开始研究核电的建设问题。

（3）鉴于京津唐电网调峰能力的现状，调峰容量应增加燃气轮机和抽水蓄能机组的比例，形成煤电带基荷和中间负荷，燃气轮机组和油电机组调峰，抽水蓄能机组调峰并带尖峰的合理局面。

（4）加快 IGCC 等洁净煤发电技术的研究开发。

### 三、电力工业的发展要适应用电水平和用电结构的变化

#### （一）国民经济的发展必然引起用电水平和用电结构的变化

随着经济的发展和用电水平的提高，用电结构必然会发生相应的变化，表 3-1 列出了包括美国、俄罗斯、日本、德国、加拿大、英国、法国、意大利、澳大利亚、中国、印度、巴西等 12 个国家 1975、1985、1995 年三个不同年代的用电量和用电结构概况。分析表明：

（1）工业（第二产业）用电比重呈下降趋势（澳大利亚除外）。美国工业用电在全国用电量的 40% 以下，而我国的工业用电比重在 70% 以上，其次是俄罗斯和澳大利亚约为 60%，其他国家均在 40%~50% 之间。

（2）农业用电（第一产业）比重一般均较低，在 2%~3% 以下。印度最高，超过 15%；俄罗斯在 10% 左右；我国在 6% 左右。

（3）市政生活和商业服务业（即第三产业）用电比重呈上升趋势。美国、英国最高，超过 60%；日本、加拿大、法国均超过 50%；印度也超过 20%；俄罗斯和中国最低仅在 17% 左右。

表 3-2 给出一些国家的人均年用电量。从比较可以看出，我国的人均用电水平与发达国家差距十分大，美国、加拿大人均用电量已达 12000kWh 以上，而我国人均用电量还不到 1000kWh。根据联合国《世界能源统计年鉴》资料，1980 年世界总用电量达到 82198 亿 kWh，按人口平均用电量为 1868kWh；1994 年达到人均 2252kWh。按世界人均用电水平计算，我国排在 80 位之后。

我国目前已经处于人均收入 560~1120 美元的初步工业化向工业现代化过渡时期，与发达国家处于我们这个发展阶段时所不同的是年代不同，今天的科技水平已大大提高。消耗电力较大的第二产业内部结构调整是工业化深入发展的必然趋势。这也是导致目前用电需求减少的主要原因。经济增长点的重点是建设铁路、公路、房地产、农林水利等新的增长点。它们的启动必将进一步促进对电力的需求，与此相关的建材、钢铁和化工产品也将增长，对电力的需求也随之增长。

用电结构变化的最显著特点是市政生活用电和商业服务业用电比重增长。我们目前还远远低于所处发展阶段所需要的水平。美国 1960 年的生活用电已占全国用电量的 25.3%；日本 1970 年生活用电占 16.4%，商业用电占 13.4%；印度 1985 年生活用电占 12.9%，商业服务业及其他用电占 9.6%；我国 1997 年生活用电仅占 11.35%，商业和服务业及其他用电占 6.5%。

北京市近年来国民经济的发展和用电结构的变化，可以充分说明第三产业及居民生活用