

文章编号:1006-2467(2008)03-0345-15

# 对中国能源问题的思考

江泽民

**摘要:** 本文阐明了能源问题的重要性,指出能源是我国经济社会发展的重要制约因素,事关经济安全和国家安全。从资源、生产、消费以及对环境和经济社会发展影响等方面,分析了世界能源基本状况和发展趋势,并探讨了我国能源发展面临的机遇和挑战。关于中国能源发展的战略思路,是本文论述的重点。文中提出走中国特色新型能源发展道路,主要涵义是:坚持节约高效、多元发展、清洁环保、科技先行、国际合作,努力建设一个利用效率高、技术水平先进、污染排放低、生态环境影响小、供给稳定安全的能源生产流通消费体系。文章阐述了节约优先的长期战略、一次能源的有效开发利用和先进电力系统的发展等内容,展望了未来能源技术的发展前景。同时,还提出实施好能源发展战略,需要进一步完善能源政策,健全体制机制,加强宏观管理,更好地发挥市场配置资源的基础性作用,为经济社会发展提供有力的能源保障。

**关键词:** 能源; 能源发展; 能源安全; 能源战略; 能源政策

**中图分类号:** TK 01      **文献标识码:** A

## Reflections on Energy Issues in China

*J I A N G Z e - m i n*

**Abstract:** Energy, which has a bearing on both economic and national security, is of importance and a major constraining factor to the economic and social development of China. The article analyses the current world energy status and development trend from the perspectives of resources, production and consumption and in the context of its implications on the environment and economic and social development, and explores opportunities and challenges for China's energy development. With a focus on the strategy of energy development in China, the author proposes a new energy development approach with Chinese characteristics whose main elements are: energy-saving, high-efficiency, diversified development, environment protection, technology guidance and international cooperation. In other words, China is striving to build a reliable energy production, circulation and consumption system that is efficient, technologically advanced, low polluting and ecologically friendly. A long-term development strategy with priority on energy conservation, efficient utilization of primary energy and advanced electricity system is expounded in the paper. The author also describes the prospect of energy technology development and stresses the implementation of energy strategy by further improving energy policy and related mechanisms, strengthening macro-management and the essential role of the market in resource allocation so as to ensure the economic and social development of China through reliable energy supply.

**Key words:** energy; energy development; energy security; energy strategy; energy policy

收稿日期:2008-02-28

能源是人类生存和发展的重要物质基础,也是当今国际政治、经济、军事、外交关注的焦点. 中国经济社会持续快速发展,离不开有力的能源保障. 在经济全球化深入发展和中国现代化加快推进的大背景下,如何认识能源发展趋势,选择什么样的能源发展战略,采取什么样的政策措施,是一个十分重要的问题,需要认真加以思考.

## 1 能源问题的重要性

人类的能源利用经历了从薪柴时代到煤炭时代,再到油气时代的演变,在能源利用总量不断增长的同时,能源结构也在不断变化(见图1、2). 每一次能源时代的变迁,都伴随着生产力的巨大飞跃,极大地推动了人类经济社会的发展. 同时,随着人类使用能源特别是化石能源的数量越来越多,能源对人类经济社会发展的制约和对资源环境的影响也越来越明显.

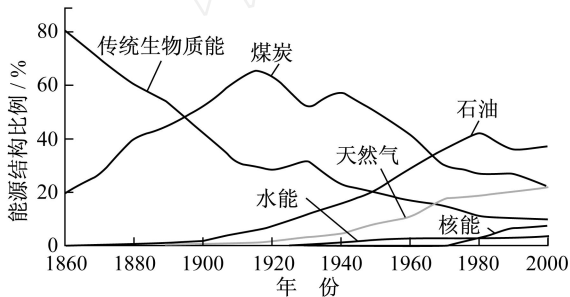


图1 过去100多年世界能源结构变化

Fig. 1 Changes of the world energy resource structure over the past 100 years

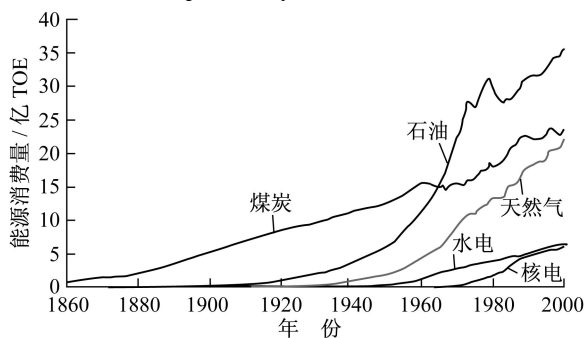


图2 过去100多年世界能源消费变化<sup>[1]</sup>

Fig. 2 Changes of the world energy consumption over the past 100 years

从现代经济社会发展看,能源问题的重要性主要表现在以下4个方面.

### 1.1 能源是现代经济社会发展的基础

现代经济社会发展建立在高水平物质文明和精神文明的基础上. 要实现高水平的物质文明,就要有

资料来源:詹金斯,石油经济手册(第五版),1989;世界能源理事会,2050年及以后世界能源展望,1995

社会生产力的极大发展,有现代化的农业、工业和交通物流系统,以及现代化的生活设施和服务体系,这些都需要能源. 在现代社会,人们维持生命的食物用能在总能耗中所占的比重显著下降,而生产、生活和交通服务已经成为耗能的主要领域. 从发达国家走过的历程看,当一个国家处于工业化前期和中期时,能源消费通常经历一段快速增长期,能源消费弹性系数一般大于1. 到了工业化后期或后工业化阶段,能源消费进入低增长期,能源消费弹性系数一般小于1. 历史还表明,当一个国家或地区人均GDP达到一定水平后,居民衣食住行等方面的能源消费将处于上升阶段,人均生活用能会显著增长. 可以说,没有能源作为支撑,就没有现代社会和现代文明.

### 1.2 能源是经济社会发展的重要制约因素

20世纪50年代以来,中国能源工业从小到大,不断发展. 特别是改革开放以后,能源供给能力不断增强,促进了经济持续快速发展. 但在经济发展过程中,能源供给不足的矛盾十分突出. 往往只要固定资产投资规模扩大、经济发展加速,煤电油运就会出现紧张,成为制约经济社会发展的瓶颈. 到20世纪90年代末,随着能源市场化改革不断推进、能源工业进一步对外开放和能源投入增加,煤炭、电力产能大幅度提高,油气进口增多,能源对经济社会发展的制约得到很大缓解. 进入21世纪以来,能源供求形势又发生了新的变化,工业化和城市化步伐加快,一些高耗能行业发展过快,能源需求出现了前所未有的高增长态势(见图3),能源对经济社会发展的制约又开始加大. 中国是一个人口众多的发展中国家,达到

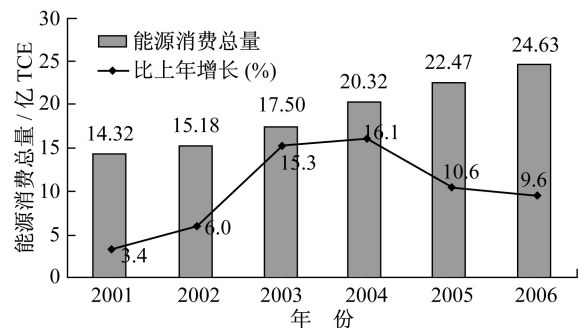


图3 “十五”以来中国能源消费增长情况<sup>[2]</sup>

Fig. 3 Increase of China's energy consumption since the 10<sup>th</sup> Five-year Plan

能源消费弹性系数 (Energy Consumption Elasticity Coefficient) 反映经济增长和能源消费增长之间的关系,其定义是能源消费增长率与国民经济增长率之比. 计算公式为:

$$\text{能源消费弹性系数} = \frac{\text{能源消费年均增长速度}}{\text{国民经济年均增长速度}}$$

较高水平的现代化社会还要走相当长的路.随着经济社会持续发展和人民生活水平不断提高,能源需求还会继续增长,供需矛盾和资源环境制约将长期存在.

### 1.3 能源安全事关经济安全和国家安全

能源安全中最重要的是石油安全.20世纪70年代发生的两次世界石油危机,导致主要发达国家经济减速和全球经济波动.本世纪以来,石油价格不断攀升(见图4),2008年初原油期货价格超过100美元,油价上涨对全球经济特别是石油进口国经济产生较大影响,一些国家甚至因石油涨价引发社会动荡.从历史上看,发达国家在实现工业化的过程中,除开发利用本国能源资源外,还利用了大量国际资源.至今,许多发达国家依然高度依赖国际油气资源.在经济全球化不断发展的今天,能源资源的全球化配置是大势所趋.但是,不合理的国际政治经济秩序以及能源市场规则,给发展中国家利用国际资源设置了重重障碍.一些地区冲突和局部战争,也有深刻的能源背景.由于国内资源制约等因素,中国保障能源供应特别是油气资源供应需要利用国际国内两个市场、两种资源.目前,石油对外依存度已经接近50%,今后可能还会更高一些.国际石油市场的稳定,对中国的能源安全、经济安全乃至国家安全的影响会越来越大.

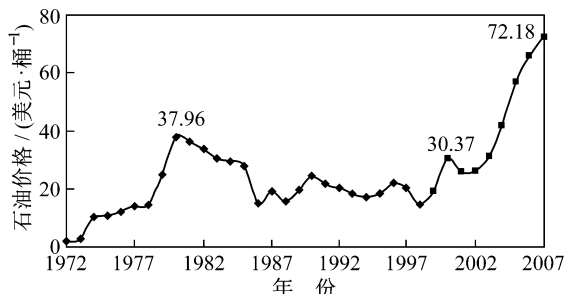


图4 国际市场石油价格增长走势

Fig. 4 Increasing trend of the oil price in the international market

### 1.4 能源消耗对生态环境的影响日益突出

能源资源的开发利用促进了世界的发展,同时也带来了严重的生态环境问题.化石燃料的使用是CO<sub>2</sub>等温室气体增加的主要来源.科学观测表明,地球大气中CO<sub>2</sub>的浓度已从工业革命前的280ppmv上升到了目前的379ppmv(见图5);全球平均气温也在近百年内升高了0.74℃(见图6),特别是近30年来升温明显.全球变暖对地球自然生态系统和人类赖以生存环境的影响总体上是负面的,需要国际社会认真对待.从中国情况看,能源结构长期以煤炭为主,煤炭生产使用中产生的SO<sub>2</sub>、粉尘、

资料来源:美国能源信息署

CO<sub>2</sub>等是大气污染和温室气体的主要来源.解决好能源问题,不仅要注重供求平衡,也要关注由此带来的生态环境问题.

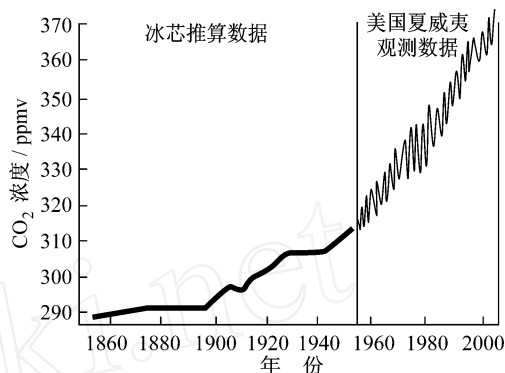


图5 150年来大气中CO<sub>2</sub>浓度变化<sup>[3]</sup>

Fig. 5 Changes of the CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere over the past 150 years

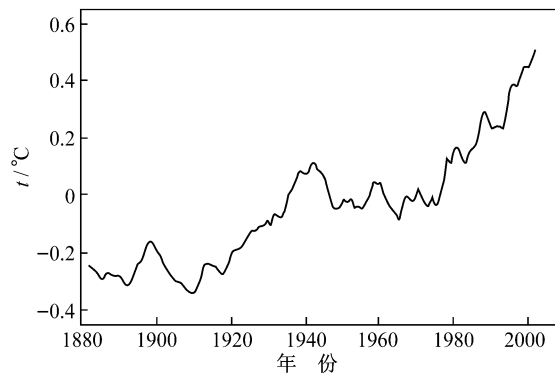


图6 近百年全球平均气温变化<sup>[4]</sup>

Fig. 6 Changes of the global average temperature over the past 100 years

## 2 国内外能源形势

### 2.1 全球能源基本状况与发展趋势

近年来,全球能源消费不断增长,石油价格持续攀升,人们越来越担心世界能源供应的可持续性.目前,世界能源供应主要依赖化石能源.世界化石能源剩余可采储量还有较长的供应保障期,尚未对能源供给形成实质性制约.未来能源供求关系和市场价格,将主要受能源开采利用技术、能源结构调整、环境与气候变化、国际政治经济秩序等多种因素影响.

(1) 世界化石能源储量丰富,各国资源占有分布不均.截止2006年底,世界煤炭探明剩余可采储量9091亿t,按目前生产水平,可供开采147年.

BP(British Petroleum,英国石油公司)世界能源统计回顾是目前定期发布并相对完整的世界商品能源统计之一. BP Statistical Review of World Energy, various editions 1979—2007

与煤炭相比,世界常规石油和天然气资源相对较少,但每年新增探明储量仍在持续增长.20年来世界石油和天然气的储采比(Reserve/Production Ratio,  $R/P$ , 剩余可采储量与年采出量之比)并没有发生大的变化,始终保持在40和60左右的水平(见图7).此外,世界非常规油气资源,即受开采技术和成本限制目前还不能大规模开发利用的油气资源,如重油(此处指密度为 $0.920 \sim 1.000 \text{ g/cm}^3$ 的原油)、油砂油、页岩油以及天然气水合物等十分丰富,开发利用的潜力很大.但是,世界上已经发现的能源资源分布极不平衡.煤炭资源主要分布在美国、俄罗斯、中国、印度、澳大利亚等国家.石油资源各大洲都有分布,但主要集中在中东地区及其他少数国家.石油输出国组织(Organization of Petroleum Exporting Countries, OPEC)国家石油探明剩余可采储量占世界总量的75.7%,其中中东地区国家占60%以上.按国别看,可采储量前10位的国家占世界总量的82.6%.天然气资源主要集中在中东、俄罗斯和中亚地区,其中俄罗斯、伊朗、卡塔尔3国天然气储量占世界总量的55.7%.

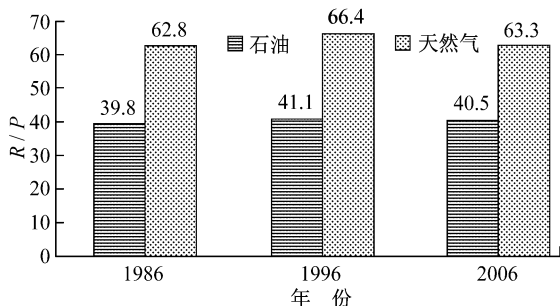


图7 世界石油、天然气资源储采比变化状况

Fig. 7 Changes of the reserve and production ratio of oil and natural gas in the world

**油砂油:**是指从油砂中分离出来的原油.这里的油砂是指一种由沙粒、水和沥青组成的混合物,沥青含量一般在6%~20%.油砂沥青是烃类和非烃类有机物质

**页岩油:**是指从油页岩中提取的原油.这里的油页岩是指一种高灰份可燃有机岩石,由多种无机和有机矿物组成,外观类同泥质页岩,一般含油率4%~20%,最高可达30%.油页岩加热到500℃时,有机质热分解形成页岩油,性质近似于原油

**天然气水合物:**是近年来引起人们重视的非常规天然气资源,它是一种水和甲烷的晶状混合物,是类冰固体,为超分子结构,具有很强的吸附能力.主要分布在大陆架具有特定高压低温条件下的陆坡地区,部分陆地上的永久冻土带也有分布.由于天然气水合物中通常含有大量甲烷或其他碳氢气体,故极易燃烧,亦被称为“可燃冰”

根据英国石油公司世界能源统计资料整理

(2) 能源结构走向多元,化石能源仍是消费主体.2006年世界一次商品能源消费总量为108.8亿TOE(1 TOE=1.428 6 TCE),其中石油占35.8%,居第1位;煤炭占28.4%,居第2位;天然气占23.7%,居第3位,其次为水能和核能,分别占6.3%和5.8%.在经济合作与发展组织(Organization of Economic Cooperation and Development, OECD)国家中,煤炭消费的比重不断下降,天然气消费的比重已经超过煤炭而居第2位.随着国际社会越来越关注环境问题以及能源技术不断进步,替代煤炭和石油的清洁能源增长迅速,煤炭和石油在一次能源总需求中的份额将进一步下降,天然气、核能和可再生能源的份额将不断提高.但是,核能、风能、太阳能和生物质能的发展,除受技术因素影响外,其经济性也是一个制约因素,非化石能源大规模替代化石能源的路还很长.预计在2030年前,石油、天然气和煤炭等化石能源仍将是世界的主流能源.

(3) 发达国家能源消费高位徘徊,发展中国家能源需求快速增长.发达国家在工业化和后工业化过程中,形成了高消耗的产业用能、交通用能和建筑物用能体系.2006年,OECD国家能源消费占世界消费总量的51%,人均能源消费量为4.74 TOE.人均能源消费量最高的国家是美国,达7.84 TOE.中国人均能源消费量为1.31 TOE,非洲国家人均能源消费量仅为0.36 TOE(见图8).从能源消费的增长情况看,发达国家已经处于能源消费的缓慢增长期;发展中国家为摆脱贫穷和落后,正致力于加快发展,其能源消费的增长也在加快.据统计,1996~2006年,欧美26国能源消费年均增长率为0.62%;同期发展中国家能源消费年均增长率为4.36%.据国际能源署(International Energy Agency, IEA)预测,从2006~2030年,全球能源需求总量将以年均1.2%~1.6%的速度增长,其中70%的需求增长来自发展中国家(见图9).

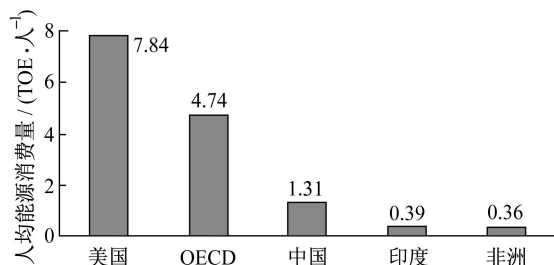


图8 2006年世界一些国家(地区)人均能源消费量比较

Fig. 8 Comparison of the average energy consumption per capita of some countries (regions) in 2006

资料来源:英国石油公司(2007)、国际能源署(2007)

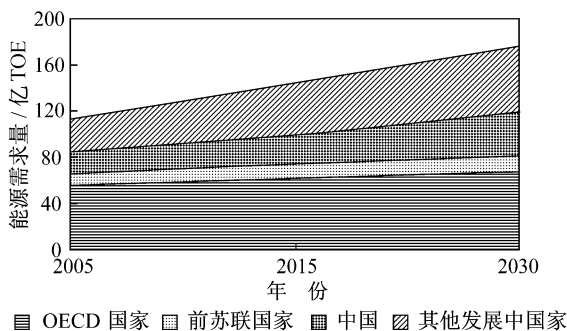
图9 世界分地区能源需求展望<sup>⑩</sup>

Fig. 9 Prospect of energy demand in different regions

(4) 气候变化对能源发展影响加大,低碳和无碳能源成为新热点.随着人们对 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 等温室气体排放与地球气候变化相互关系认识的不断加深,要求国际社会采取对策努力限制或减少温室气体排放的呼声越来越高.从1979年第一次世界气候大会呼吁保护气候系统开始,到1992年联合国环境与发展大会通过《联合国气候变化框架公约》,再到《京都议定书》的出台,国际社会为应对全球气候变化做了不懈努力.许多国家在调整能源战略和制定能源政策时,增加了应对气候变化的内容,重点是限制化石能源消费,鼓励能源节约和清洁能源使用.气候变化问题已成为世界能源发展新的制约因素,也是世界石油危机后推动节能和替代能源发展的主要驱动因素.各国把核能、水能、风能、太阳能、生物质能等低碳和无碳能源作为今后发展的重点.2006年,以电的形式利用的核能在世界一次能源消费中占5.8%<sup>⑪</sup>,核电在世界电力消费中占14.8%.进入新世纪,一些国家又开始重视核电发展,提高核能在电力和一次能源中的比重.世界上已有50多个国家制定了法律、法规或行动计划,提出了推动可再生能源发展的明确目标和发展途径.可以相信,随着国际社会对温室气体减排重要性认识的不断深化,能源技术向低碳、无碳化方向发展的趋势将日益增强.

(5) 国际能源问题政治化倾向明显,非供求因素影响增大.目前,全球石油贸易量占能源贸易量的70%以上.20世纪70年代以来,世界石油市场经历了几次大的波动,一些石油输出国与消费国以及多种国际势力相互博弈,非供求因素对国际油价波动的影响越来越明显.中东等油气资源富集的地区受一些重大国际政治、军事、经济事件的影响,导致正

<sup>⑩</sup> 资料来源:国际能源署《世界能源展望2007》

<sup>⑪</sup> 核电折算成一次能源的数据,是设定现代火电站平均能量转换效率为38%,按照热当量进行折算得出的

常的油气贸易和投资活动受到较大限制和干扰.全球资本市场和虚拟经济迅速发展,金融衍生产品大量增加,各种投机资金逐利流动,也作用于石油市场.这些非供求因素的影响,给一些发展中国家维护本国利益设置了障碍,同时给国际油气资源开发、管网修建和市场供应以及正常的企业并购增加了变数.近年来,国际石油价格持续震荡上行,既受到市场供求关系变化以及石油交易金融化、汇率变化<sup>⑫</sup>等因素的影响,也受到地缘政治、大国政策、公众预期、社会舆论和各种突发事件等因素的影响.

## 2.2 中国能源发展现状及问题

(1) 能源资源品种丰富,人均占有量较少.中国有多种能源资源,其中水能和煤炭较为丰富,蕴藏量分别居世界第1和第3位;而优质化石能源相对不足,石油和天然气资源的探明剩余可采储量目前仅列世界第13和第17位.由于人口众多,各种能源资源的人均占有量都低于世界平均水平(见图10).分品种看:水能资源经济可开发总量为4.02亿kW,年发电量17500亿kW·h,主要分布在西南地区,开发程度还比较低,但开发难度加大、成本升高.煤炭资源探明剩余可采储量为1842亿t,大多分布在干旱缺水、远离消费中心的中西部地区,总体开采条件不好.石油资源探明剩余经济可采储量<sup>⑬</sup>仅为20.4亿t,储采比低,还有增加探明储量的潜力,但

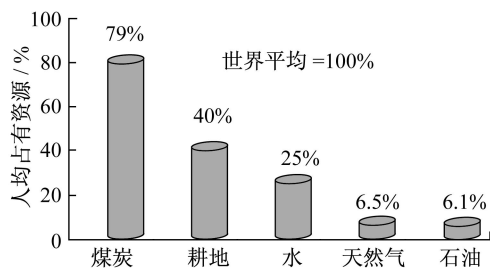
图10 我国主要资源人均占有水平与世界平均水平的比较<sup>⑭</sup>

Fig. 10 Comparison of per capita possession of main resources in China and the average in the world

<sup>⑫</sup> 石油交易金融化主要指石油越来越成为国际金融市场上一种金融投资和投机品种的现象.汇率变化对油价的影响主要是由于国际石油交易大多以美元计价和结算,美元贬值和汇率变化影响国际油价变动

<sup>⑬</sup> 探明剩余经济可采储量:是指在累计探明的经济可采储量中扣除已开发的部分,剩下的即为剩余经济可采储量;经济可采储量是经过地质勘探后确认的在一定的技术条件下能够经济开采的资源量,此概念一般用于石油、天然气

<sup>⑭</sup> 资料来源:中华人民共和国国土资源部等有关统计资料

产能增幅有限. 天然气资源探明剩余经济可采储量为23 900 亿  $m^3$ , 进一步提高探明程度的潜力很大, 具备大幅增产的可能, 但资源总量和开采条件难以同俄罗斯、伊朗等资源大国相比. 风能、太阳能等可再生能源资源量巨大, 其开发利用程度主要取决于技术和经济因素.

(2) 能源建设不断加强, 能源效率仍然较低. 20世纪90年代以来, 中国一次能源生产总量翻了一番多, 2007年达到23.7亿TCE, 已成为世界第二大能源生产国. 电力工业实现了跨越式发展, 2007年底发电装机容量超过7亿kW, 1GW超超临界火电机组、700MW水轮发电机组等先进装备实现了国产化, 一批大型现代化煤矿建成投产, 石油和天然气勘探开采有了新突破. 节能降耗取得积极进展, 20世纪最后20年, 中国以能源消费翻一番, 支撑了经济总量翻两番, 能源消费弹性系数为0.43. 但也要看到, 中国能源利用效率相对较低, 能源生产和使用仍然粗放. 2003~2005年, 单位GDP能耗上升; 2006年以来加强了节能减排, 单位GDP能耗有所下降, 但要实现持续下降, 还需要加大工作力度.

(3) 能源生产迅速增长, 生态环境压力明显. 在需求快速增长的驱动下, 中国能源生产增长很快, 煤炭增长尤为迅速. 过去6年, 中国原煤年产量增加了近12亿t, 2007年产量达到25.4亿t, 约占全球产量的40%. 与此同时, 煤炭大量生产和使用中存在一系列问题, 如资源回采率低、浪费严重, 安全事故多发、死亡率高, 对地表生态和地下水系破坏大. 此外,  $SO_2$ 、烟尘、粉尘(见图11)、 $NO_x$ 以及 $CO_2$ 排放量也有所攀升, 给生态环境治理带来了难度. 中国作为一个发展中国家, 人均 $CO_2$ 排放量低于世界平均水平, 但也面临着温室气体减排的压力(见图12、13).

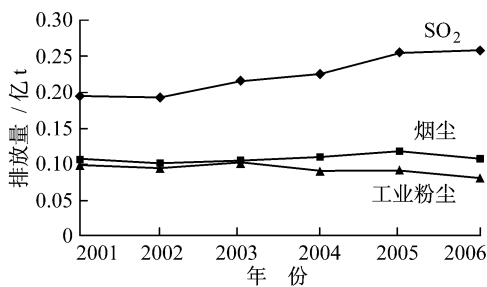


图 11 中国主要污染物排放情况<sup>[2]</sup>

Fig. 11 Emission of the main pollutants in China

<sup>⑮</sup> 资料来源: 国际能源署《世界能源统计》(2007)

<sup>⑯</sup> 资料来源: 国际能源署《燃料燃烧产生的 $CO_2$ 排放》(2005)

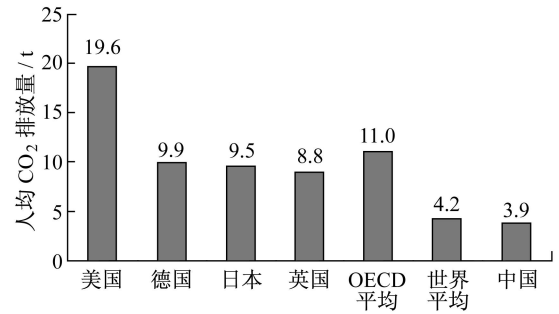


图 12 人均 $CO_2$ 排放量国际比较<sup>⑮</sup>

Fig. 12 Comparison of per capita emission of  $CO_2$  in the world

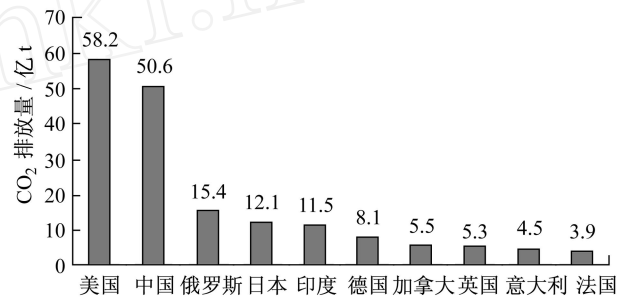


图 13 主要国家燃料燃烧 $CO_2$ 排放情况<sup>⑯</sup>

Fig. 13 Major countries' emission of  $CO_2$  from burning fuels

(4) 能源消费以煤为主, 能源结构需要优化. 改革开放特别是20世纪90年代以来, 中国能源结构总体上朝着优质化方向发展(见表1). 煤炭消费占能源消费总量的比重由1990年的76.2%, 下降到2002年的66.3%. 但近年来, 煤炭占能源消费的比重有所上升, 2006年达到69.4%, 而发达国家这一比重平均只有21%左右. 中国是世界上最大的煤炭生产国和消费国, 在一次能源消费构成中, 煤炭的份额比世界平均值高41个百分点, 油气的比重低36个百分点, 水电、核电的比重低5个百分点. 目前, 清

表 1 中国一次能源消费结构<sup>[5]</sup>

Tab. 1 Structure of the primary energy consumption in China

年份	占能源消费总量的比重/ %			
	煤炭	石油	天然气	水电、核电、风电
1980	72.2	20.7	3.1	4.0
1985	75.8	17.1	2.2	4.9
1990	76.2	16.6	2.1	5.1
1995	74.6	17.5	1.8	6.1
2000	67.8	23.2	2.4	6.7
2001	66.7	22.9	2.6	7.9
2002	66.3	23.4	2.6	7.7
2003	68.4	22.2	2.6	6.8
2004	68.0	22.3	2.6	7.1
2005	69.1	21.0	2.8	7.1
2006	69.4	20.4	3.0	7.2

洁能源、可再生能源开发利用还不充分,风能、太阳能、生物质能发展尚处于起步阶段,调整和改善能源结构的任务十分艰巨。

(5) 能源需求继续增加,可持续发展面临挑战。随着中国经济持续快速发展,工业化、城镇化进程加快,居民消费结构升级换代,能源需求不断增长,今后一段时期,能源消费弹性系数难以大幅降低。同时,油气需求的增长将快于煤炭需求的增长,而国内资源受到自然条件限制难以较快增加,2006年,我国石油储采比仅为11.1,远低于世界40.5的平均水平(见图14),能源尤其是油气供求矛盾将进一步显现。因此,只有从现在起就加大节能力度,加快产业结构调整步伐,合理引导消费行为,才有可能在未来逐步实现能源需求增长率的降低,实现化石能源需求的低增长直至零增长。

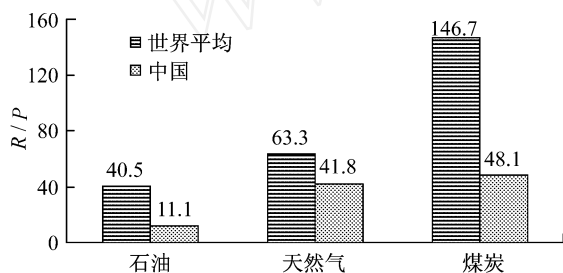


图14 2006年中外化石能源储采比比较<sup>①</sup>

Fig. 14 Comparison of the reserve and production ratio of fossil fuels energy resources between China and the world in 2006

### 3 能源发展的战略思路

今后几十年是中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。在全面建设小康社会的进程中,为满足十几亿人民日益增长的能源消费需求,我国将在今后一二十年内建成世界最大的能源消费和供应体系。为此,迫切需要走出一条中国特色新型能源发展道路,从而以较小的能源资源和环境代价,实现现代化建设的战略目标。能源系统庞大,调整周期较长,一代能源技术和基本装备的更新往往需要几十年时间,这就要求能源发展有长期的战略考虑,寻求最优或较优的发展路径。

#### 3.1 能源发展的战略方向

考虑中国的能源发展战略,有必要眼光放远一点,思路开阔一点,把能源战略置于国家发展战略的

重要位置,认清能源发展的趋势,适时完善能源战略的目标、方针和任务。走中国特色的新型能源发展道路,应坚持节约高效、多元发展、清洁环保、科技先行、国际合作,努力建设一个利用效率高、技术水平先进、污染排放低、生态环境影响小、供给稳定安全的能源生产流通消费体系。

(1) 节约高效。节约资源是中国的基本国策。能源战略应长期坚持节约与开发并举,把节约放在首位。坚持节能优先,开创节约型的发展方式和消费模式,提高能源普遍服务水平,合理平衡供需。提倡生态文明和节约文化,普及节能知识,推广技术成果。大幅度提高能源系统效率,尽快使重点耗能产业的能源效率达到国际先进水平;不断提高能源综合效率,以尽可能小的能源资源消耗,支撑经济社会尽可能大的发展。

(2) 多元发展。只有充分利用各种可以规模利用的能源资源,才能优化能源结构,满足未来能源需求。发达国家已经完成了化石能源的优质化,现在又开始大力发展低碳能源,向更高层次的能源优质化推进。我国能源也需要走多元发展的道路,加快能源结构调整,增加石油供应,显著提高天然气、核能、可再生能源在能源生产和消费中的比重,努力做到新增能源供应以高效能源、清洁能源、新能源和可再生能源等低碳或无碳优质能源为主。

(3) 清洁环保。治理污染、保护环境、缓解生态压力,是能源发展的重要前提。在新的形势下,能源战略还应考虑有效应对全球气候变化的挑战。解决好能源利用带来的环境问题,需要从提高清洁能源比重、实现环境友好的能源开发、实行煤炭高效清洁利用和推进工业、交通、建筑清洁用能等多方面采取措施,尽可能减少能源生产和消费过程的污染排放和生态破坏,兼顾能源开发利用与生态环境保护。

(4) 科技先行。能源发展需要科技先行。只有通过持续的技术创新,才能不断提高能效,发展清洁能源,实现能源可持续发展,支撑现代化进程。着眼未来,需要尽量采用先进能源技术,超前部署能源科技研发,建立能源技术储备。世界能源生产和转换技术不断创新,装备的大型化、规模化趋势明显,能源产业资金密集、集中度高。中国能源产业也需要走集约发展的道路,提高科技创新能力,增强国际竞争力。

(5) 国际合作。解决好中国的能源问题,对世界具有重要意义。通过加强国际能源合作,促进能源经济技术交流,拓宽能源领域对外开放的渠道。通过企业“走出去”,扩大对外投资,开发能源资源,增加石油天然气供应能力。通过开展能源对外交往,加强战

<sup>①</sup> 资料来源:中华人民共和国国土资源部等统计资料(2007)

略和政策对话与协调,促进全球能源安全保障机制不断完善.这不仅有利于增加中国能源供应,也有利于改善世界能源供给.

### 3.2 节能优先的长期战略

**3.2.1 节能优先符合中国的基本国情** 目前我国人均能源消费量比较低,随着经济社会发展,今后还会有所增加,总量也会继续扩大.但中国不能照搬发达国家依靠大量消耗世界资源、实行能源高消费的传统发展模式,而要努力探索新的发展道路,坚持实施节能优先战略,在节约发展中实现工业化、城镇化和现代化.

**3.2.2 节能是能源供需平衡的重要前提** 节能优先是我国达到未来能源供需平衡的重要前提.加强节能,提高能源利用效率,可以有效减缓能源需求过快增长,使我国能源需求总量控制在资源环境约束范围之内,使经济社会在高效低耗中实现发展.

**3.2.3 节能是现代文明的具体体现** 勤俭节约是中华民族的传统美德.珍惜资源、保护环境,是现代文明的重要标志.应引导全社会树立节约型消费理念,建立合理的消费模式,鼓励理性消费、适度消费,健全高效节能的社会公共设施,完善促进节能的资源配置体制和机制,把节约能源资源、提高能源效率切实纳入经济社会发展的各个领域和全过程.

**3.2.4 节能的重点领域** 提高能效是实现节能优先的重要途径.应尽可能减少不合理的能源需求,更加有效地利用能源,以较少的资源投入,提供更多更好的能源服务.工业、交通和建筑是节能的重点领域.

(1) 工业节能.工业用能在中国能源消费中比重很高,节约潜力巨大,可以充分挖掘.在工业化过程中,应利用后发优势,广泛采用先进工艺和技术,使工业能耗达到世界先进水平.当今世界,技术进步加快,新工艺、新设备不断涌现,提高能效已经从单一设备的技术改进,向系统优化、整体提效发展.目前,世界先进钢铁企业吨钢综合能耗仅为 630 kg 标煤,今后还可能降至 570 kg 标煤以下.大型先进干法水泥回转窑水泥单耗只有 96 kg 标煤,今后还可能降至 86 kg 标煤以下.

(2) 交通节能.工业化国家交通用能占能源消费总量的 30%~40%.中国交通用能比重目前还较低,但随着汽车进入家庭,交通能耗上升很快,必须引起重视.公共交通系统可以为大众提供方便而节能的出行服务,既能减少交通拥堵,又有利于改善环境.如日本东京都公共交通周转量占城市客运交通周转量的 80%,其中轨道交通又占客运交通的 70%.交通系统与交通工具能效提高和环境友好已

成为国际趋势.如目前生产的油电混合动力小汽车,其油耗已经低于每百公里 3~3.5 L,比传统动力小汽车平均油耗低 50%~70%,还有进一步降低的潜力.一些国家正在开发可一次充电行驶 500 km 的纯电动汽车,利用氢能实现终端零碳排放的燃料电池汽车也开始示范.我国在工业化、城镇化进程中,应将节油和环保作为汽车工业发展的优先目标,使汽车能效水平逐步进入世界先进行列;同时,大力发展高速铁路和城际轨道交通系统,大幅度提高交通系统效率,减少能耗和污染.

(3) 建筑节能.建筑物用能包括采暖、制冷空调和通风、照明、热水供应、电梯、办公和家用电器等方面的能源消费.工业化国家建筑物用能占能源消费总量的 30%以上.中国正处在建筑业高速发展的阶段,每年新建成的建筑面积达 20 亿  $m^2$  左右,是世界上最大的建筑市场,用于建筑物的能源消费逐渐上升.推进建筑节能,政府办公用房、公共建筑设施应当先行,并引导居民住房和商业用房节能.积极推广应用建筑物节能技术,可以采用高效隔热材料、低散热玻璃、高效供热和空调系统、太阳能热水、水(地)源和空气源热泵、节能照明、楼宇智能化等技术,显著降低建筑物用能需求,使新建建筑物节能 50%~65%,超低能耗建筑物节能 90%,未来还有可能实现新建建筑的低碳乃至零碳排放;可以对集中供热系统进行综合技术改造,改善末端和管网系统调节,提高热源效率,使集中供热系统效率由目前的不到 55%提高到 85%<sup>[6]</sup>左右;强化建筑节能标准,提高节能建筑设计水平,采用节能建筑材料和设备,使建筑物能源系统的运行效率不断改善.这样,可以在改善人民居住和生活条件的同时,有效地减缓建筑物能源需求的增长速度.

### 3.3 一次能源的有效开发利用

中国能源需求总量很大,只有不断提高能源供应能力,才能使经济社会发展得到有力的能源保障.只有充分利用多种能源资源,才能满足对能源总量和品种的需求.展望未来,煤炭在一次能源中举足轻重,但其份额会有所下降,石油、天然气、核能和水能、风能、太阳能等可再生能源的份额则会提高,逐步形成多元化、优质化的能源结构.

**3.3.1 煤炭** 煤炭是中国最重要的能源,生产消费的数量大、比重高,替代有难度.实现煤炭安全、高效、清洁、环保和可持续发展,具有重要意义.煤炭的发展,应坚持以安全生产为前提,依靠科技进步和加强管理,使煤炭生产尽快达到世界先进水平(见表 2).实现煤炭可持续开采和煤炭工业现代化,需要建



设一批技术领先、安全保障好、采掘机械化和生产效率高的大型煤炭基地、大型煤炭企业和现代化矿井。还需要把生态环保贯穿到煤炭资源开发的全过程,根据各地不同的生态环境条件,合理确定煤炭开采规模;发展循环经济,综合治理和利用煤矸石、矿井水和粉煤灰,治理和恢复资源枯竭矿山的生态环境,切实保护好各类矿区及其周边地区的生态环境。

表2 世界主要产煤国家有关技术经济指标比较<sup>⑩</sup>

Tab. 2 Comparison of techno-economic index among major coal production countries

国别	产量/ 亿 t	职工数/ 万人	生产率/ [t·(a·人) <sup>-1</sup> ]	采煤机械 化程度/%	综合机械 化程度/%
美国	9.93	7.17	13 849	100	51.3
澳大利亚	3.50	2.12	16 509	100	100
南非	2.15	4.25	5 059	97	97
德国	2.11	4.87	4 333	100	100
波兰	1.62	14	1 157	99.2	95.3
中国	21.9	550	398	45	30
中国国有 重点煤矿	10.4	258	403	83	72

煤炭的发展,还应解决好高效清洁利用问题。不仅需要提高能源转换效率,还需考虑治理和减少 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等排放的问题。在发展循环流化床燃烧、大规模煤气化等洁净煤技术以及改进煤炭直接、间接液化技术的同时,需要加快研发煤炭多联产等新一代洁净煤技术。应用煤炭多联产技术(见图 15),以煤炭气化为龙头,可以同时生产电力、热力蒸汽、液体燃料和化工产品等。同时,可以实现 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、粉尘、微量元素和有机物的近零排放;而且,去除 CO<sub>2</sub> 比煤炭直接燃烧从烟气中捕集 CO<sub>2</sub> 相对容易,是未来温室气体减排一条重要途径。煤炭多联产与分别生产电力、液体燃料、化工产品等相比,其燃料综合利用效率可以提高 10%~20%,还可以降低单位产品的投资额。美国、日本以及欧洲一些国家已经把煤炭多联产作为洁净煤技术新的发展方向,并制定了具体的研发计划。我国作为一个煤炭大国,研发和应用多联产技术具有重要意义。

3.3.2 天然气 天然气热值高、碳排放强度低,是清洁的化石能源,也是满足城市和人口稠密地区能源需求的较佳选择,可以大规模开发利用。发展天然

<sup>⑩</sup>资料来源:中国国家煤矿安全监察局、国家统计局;美国能源部;国际能源署。中国为 2005 年数据,其他国家为 2004 年数据

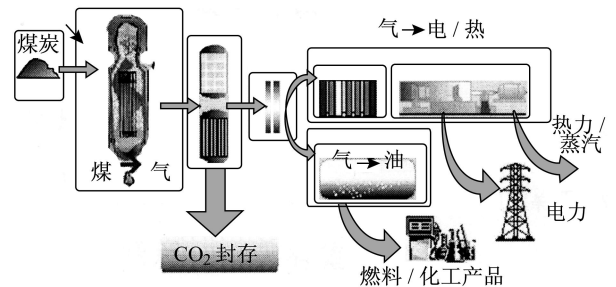


图 15 煤炭多联产原理图<sup>[7]</sup>

Fig. 15 Schematic diagram of the coal poly-generation

气能够有效地缓解环境压力,大幅度提高能源系统效率,并推动多种先进高效能源技术和应用系统的发展,包括高效发电、分布式能源系统、清洁交通燃料等。随着长距离、大规模天然气管道输送技术的日益成熟,以及液化天然气运输和利用技术的普及,世界天然气开发利用规模快速扩大。近年来我国新增天然气探明储量迅速增加,增产有很大潜力;煤层气资源十分可观,利用技术不断提高;进口境外天然气和液化天然气资源也有较好前景。中国大城市数量多,人口密集地区多,对天然气需求数量很大。因此,天然气大规模快速发展的条件已经具备,应当有效地增加天然气供应,大幅度提高天然气比重,使我国能源结构优化迈出更大步伐。

3.3.3 石油 石油是具有多种优良特性的优质能源,石油产品仍然是交通燃料的最佳选择。随着人均收入水平提高和工业化、城镇化步伐加快,中国汽车拥有量迅速增长,其他交通工具也大量增加,对液体燃料的需求日益增长。只有立足国内开发,扩大石油进口,才能保证石油供给。我国陆上和海域油气资源还有很大潜力,保持石油产量长期稳定并有所增加,对确保能源安全十分关键。增加国内石油产能,需要确保资金投入,加大地质勘查力度,力争在勘查技术和地质理论上取得突破。经过长期探索,以陆相成油为代表的石油地质理论体系已经形成,还需要建立和完善海相成油<sup>⑪</sup>地质理论,完善油气资源评价系统,提高低渗油气藏<sup>⑫</sup>、深海油气勘探开采技术与

<sup>⑪</sup>海相成油:是对海相沉积环境中成盆、成烃、成藏的泛称

<sup>⑫</sup>低渗油气藏:油气藏是指具有孔隙性和渗透性的地质体,其内部有一定数量的油气聚集,其上覆盖有非渗透性岩层。根据岩石缝隙大小及其连通性发育情况不同而有不同的渗透率。按照国际标准,低渗油气藏是渗透率小于 50 mD (毫达西)的油藏(1 mD 指粘度为 1 mPa·s 的流体,在压差为 101.325 kPa(1 atm)的情况下,每秒通过 1 cm 长、截面面积为 1 cm<sup>2</sup> 的岩芯的流量为 1 cm<sup>3</sup>)

装备水平.全球石油资源分布相对集中,应通过积极开展国际合作,更多地利用境外资源,多渠道增加石油供给能力.

3.3.4 可再生能源 世界可再生能源资源潜力巨大,各方寄予厚望.促进可再生能源加快发展,有助于实现能源长期战略替代,也有助于加强环境保护.中国已经通过立法,将可再生能源开发利用列为能源发展的优先领域,并制定了可再生能源中长期发展规划(见表 3).考虑到可再生能源品种较多,资源条件、技术成熟度、经济可行性差异较大,其开发利用需要因地制宜、分类指导,有区别、有重点地推动.水能是重要的可再生能源,其开发利用技术已经成熟,是近期发展的主要对象.风力资源丰富,利用技术也基本成熟,可以作为当前规模开发的一个重点,形成实际供应能力.太阳能资源潜力巨大,一旦关键技术进一步取得突破,经济性改善,就将得到广泛应用,应加大太阳能发电技术与热利用技术的开发与攻关力度,结合建筑节能,积极推广太阳能热水器产品.

表 3 可再生能源中长期发展规划的主要目标<sup>[8]</sup>

Tab.3 Major target of the mid-and-long-term development plan for renewable energy resources

年份	水电/ GW	生物质发电/ GW	风力发电/ GW	可再生能源占 一次能源消费 比例/%
2005	117	2	1.26	7.5
2010	190	5.5	5.0	10
2020	300	30	30	15

国际上对生物质能源开发利用十分重视,一些

土地资源丰富、作物生长条件优越的国家,已经把生物质能源作为替代能源的重要发展方向.如美国大量发展以玉米为原料的燃料乙醇,巴西重点发展以甘蔗为原料的燃料乙醇.大规模利用农业种植作物生产燃料,是否会导致世界性粮食供应紧张,在国际上已经引起争议.各国条件有所不同,生物质能源开发利用需要考虑具体情况.我国生物质能源资源主要是农林畜牧业、工业和城市生活废弃物,也有一些农林作物可以利用.从总体上看,具有品种多、分散性强、收集成本高的特点,宜于发展多种利用技术,开辟不同用户市场.由于土地资源稀缺、农业用地有限、生态环境脆弱,利用农业种植作物生产燃料存在较多限制因素.在我国发展生物质能源,可从现有废弃物资源的利用入手,逐步提高开发利用水平.对一些较为成熟的技术,如农村沼气、秸秆发电等,积极推广,予以扶持.对一些尚未突破的关键技术,如纤维素乙醇等,合理投入,开展研究.

3.3.5 新型能源 发展新型能源和相关技术,对未来能源替代具有重要意义,应当充分重视,早做准备,积极跟踪,组织研发.开发利用新型能源,必须依靠先进的能源科技.虽然氢能、天然气水合物、核聚变等能源研发尚未形成现实生产力,但科技进步日新月异,已经使人们感受到新型能源带来的希望.

氢能是未来有发展前景的新型能源之一,有可能成为一种非常清洁的新型燃料.以多种方式制备的氢气,通过燃料电池直接转变为电力,可以用于汽车、火车等交通工具,实现终端污染物零排放;也可用于工业、商用和民用建筑等固定式发电供热设施(见图16).世界上一些主要工业化国家,正在开发

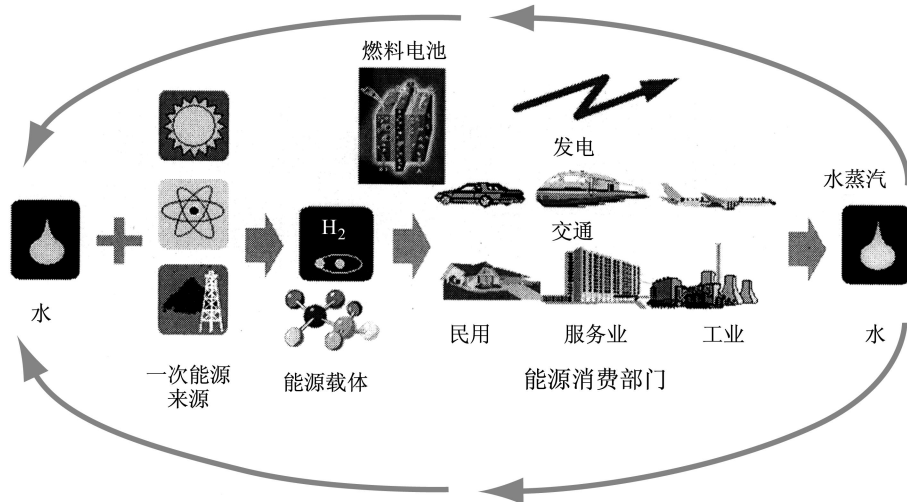


图 16 氢能利用原理图<sup>[21]</sup>

Fig. 16 Schematic diagram of the utilization of hydrogen energy

[21] 来自我国“中长期科技发展规划”讨论材料

氢燃料电池驱动的汽车,并已取得进展。一旦非化石能源廉价制氢、安全贮氢输氢、高效耐用燃料电池等关键技术得到解决,尤其是太阳能、核能、生物质能大规模制氢的技术取得突破,氢能将得到有效利用。

天然气水合物被称为“21世纪潜在新能源”,受到各国科学家和政府广泛重视。天然气水合物又称固态甲烷,主要由甲烷与水分子组成,呈固体状态,是一种特殊的非常规天然气资源。它广泛存在于大陆周边海底和陆地冻土带内,资源极为丰富。联合国政府间气候变化专门委员会的报告认为,天然气水合物可能的资源量约为其他所有化石能源资源量总和的2倍,预计可开发部分也与油气资源总量相当。但天然气水合物的实际开发利用还面临一些难题。目前,我国已将天然气水合物开发技术纳入中长期科技发展规划,需要深化资源调查,开展应用研究,对天然气水合物开发技术进行探索。

热核聚变能被人类寄予厚望。地球上可用的聚变材料数量巨大,受控热核聚变技术一旦成功,将会开辟人类能源应用的新篇章。国际热核聚变实验堆(International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER)合作计划已经启动,如果进展顺利,有可能在2050年前后,开展商业性受控热核聚变发电的示范(见图17)。实现受控热核聚变,除ITER采用的磁约束方式外,还有惯性约束等其他方法。中国在积极参加ITER计划的同时,对这些不同的技术方法,也需进行探索和研究。此外,对核聚变材料也可以有不同选择,目前倾向于选择氘和氚(氢的同位素)反应的方案,也有选用氘和氦-3(氦的同位素)反应的方案。

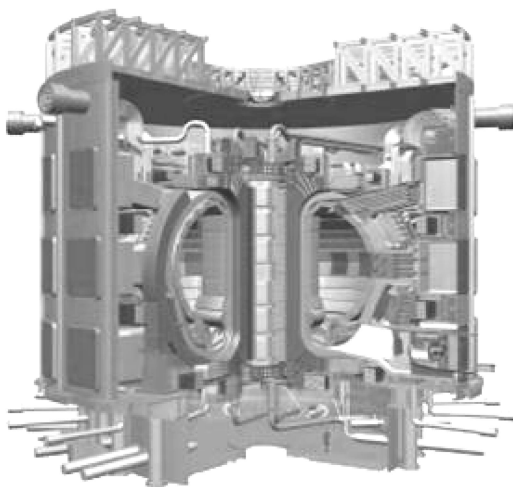


图17 国际热核聚变实验堆装置示意图<sup>②</sup>

Fig. 17 Schematic diagram of ITER

### 3.4 先进电力系统的发展

电力在能源中具有特别重要的地位。通过应用电力技术,能够把各种化石能源、核能、水能、风能、太阳能等一次能源,转化成传输使用方便、高效清洁的二次能源,可以提供优质终端服务,改进系统效率,控制环境污染。提高能源转换和输配的效率,实现高效清洁发电和安全供应,是全球电力技术长期发展的方向。

近两年,我国电力工业高速增长,每年新增装机1亿kW左右,基本缓解了电力短缺的矛盾。2007年,我国电力装机容量达到7.13亿kW(见图18、19)。其中:水电装机容量达1.45亿kW,三峡电站已有21台机组投产,龙滩、向家坝、溪洛渡等一批大型水电站相继开工建设;随着田湾核电站一期工程两台机组投产,核电装机容量已达8850MW;风力发电加速发展,风电装机已达4030MW。发电设备技术水平不断提高,超临界、超超临界机组已开始批量制造和安装。落后发电机组加快淘汰,近两年已关停小火电机组20多GW。装备脱硫设施的燃煤机组已达2.7亿kW,占全部火电装机容量的比重达到45%。2007年,全国供电煤耗降为357g/(kW·h),比2006年降低10g/(kW·h)。预计今后一段时间电力建设仍将保持较大规模,电力增长速度会超过一次能源增长速度,到2010年我国电力装机容量将达到或超过9亿kW,并有望在5年左右形成世界上最大的电力系统。在此过程中,需要促进电力工业提高水平,发展清洁高效煤电,扩大水电、核电比重,推动风力发电和太阳能发电,相应推进输变电建设,形成多元化的电源结构,构筑国际领先的电力系统。

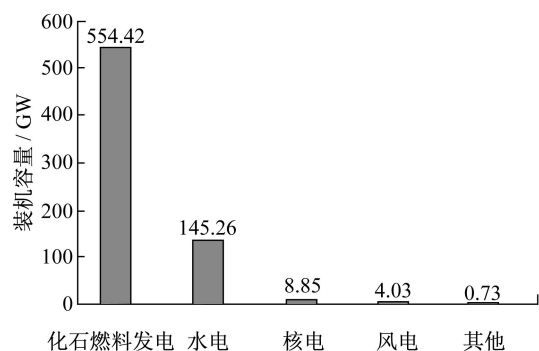


图18 2007年我国电力装机容量<sup>②</sup>

Fig. 18 China's total installed capacity of electric power in 2007

<sup>②</sup> 资料来源: <http://www.iter.org>

<sup>③</sup> 资料来源:中华人民共和国国家统计局,中国电力企业联合会

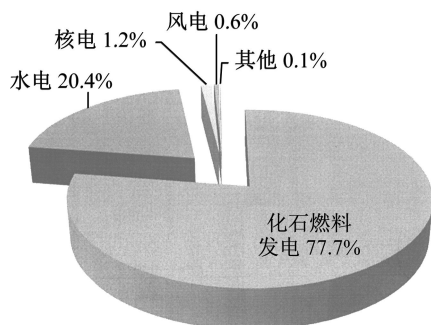
图 19 2007 年我国电源结构<sup>②③</sup>

Fig. 19 China's structure of electric power in 2007

**3.4.1 火电** 中国煤炭比重高,大多通过发电转换用于终端消费。从经济社会发展的趋势看,今后煤炭转为电力的比重还将继续提高,发电装备和能源效率将进一步改善,同时燃煤排放也将向电力工业集中。加强环境保护,要求发展高效清洁煤炭发电技术,探索低碳发电技术,提高  $SO_2$  和  $NO_x$  排放控制的技术装备水平。采用超临界、超超临界机组,可以把发电的燃料利用效率分别提高到 41%~43%、45%~47%。更高温度和压力参数的机组也在开发研制之中,应用整体煤气化燃气蒸汽联合循环(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC)技术,发电的燃料利用效率可能达到 50%以上,而且可以减少污染物排放,并为  $CO_2$  碳封存提供技术基础。天然气燃气蒸汽联合循环(Combined Cycle Gas Turbine, CCGT)技术,可以将发电的燃料利用效率进一步提高到 58%~65%。分布式热电联供技术的燃料利用效率可达 80%以上。这些先进技术应加快开发,推广应用,使我国发电效率尽快达到世界先进水平,并跟上国际电力可持续发展的新趋势。

**3.4.2 水电** 水电是重要的可再生能源,发达国家大多已经实现了水电资源优先利用和充分开发。中国水电资源丰富,还有 2/3 的经济可开发水能资源有待利用。这是极其宝贵的资源财富,是清洁和可再生的能源,应当优先加以利用。水电资源的充分开发,对提高我国能源供应能力、改善能源结构具有重要作用。但水电建设周期长,水电站离负荷中心一般较远,在电力规划中,有必要尽早开展前期工作,早做准备,优先安排。对生态环境影响问题,需要高度重视,科学分析,系统比较,做好相关评价工作,在保护生态环境的基础上有序开发水电,充分利用水能资源。对移民问题,可利用水电成本较低、效益较好的条件,建立合理补偿与扶持的机制,采取必要措施,妥善加以解决。应尽量发挥优势,减少负面影响,

把可以经济利用的水电资源尽可能利用起来。

**3.4.3 核电** 人类利用核能已经取得巨大进展,第 2 代核电技术得到广泛应用,核电在一次能源中已占一定比重(见表 4)。各有关国家正在开发新一代核电技术,以进一步提高核电的安全性和经济性。第 3 代核电技术,有的朝非能动安全<sup>④</sup>的方向发展,从而简化设备的复杂性,有的朝增加相关设备安全冗余度的方向发展,都大幅度提高了安全性。

表 4 2006 年部分国家和地区核电占一次能源的比重<sup>②③</sup>

Tab. 4 Share of nuclear power in primary energy of some countries (regions) in 2006

国家或地区	比重/ %	国家或地区	比重/ %
法国	38.9	德国	11.5
瑞典	32.6	西班牙	9.3
瑞士	21.6	美国	8.1
芬兰	19.6	中国台湾地区	7.9
比利时(含卢森堡)	14.8	英国	7.5
乌克兰	14.8	加拿大	6.9
韩国	14.9	俄罗斯	5.0
日本	13.2	中国	0.8
欧盟 25 国平均	12.7	世界平均	5.8

目前,第 3 代核电技术已经进入商业性实用示范阶段。高温气冷堆(见图 20)、快堆<sup>[9]</sup>等技术有可能成为第 4 代核电技术,也已进入开发阶段。对核废料处理的技术正在积极改进。核电作为一种清洁高效能源,是我国增加能源供应、优化能源结构、应对气候变化最重要的选择之一,把核电规模搞上去应当作为能源战略的一个重点。从长远看,中国的核电规模可能达到亿 kW 的规模,成为重要的一次能源和发电能源。经过多年实践,我国已经掌握了成熟可靠的核电技术,具备了加快核电发展的条件。应积极推动第 3 代核电技术的引进消化,促进国内先进核电技术的加快开发,掌握先进压水堆技术,实现堆型的标准化规模发展,提高核电设备的国产化水平。同时,积极推进第 4 代核电技术的自主研发,发展高温气冷堆、快堆等技术,使其及时进入商业化准备阶

<sup>④</sup> 非能动安全是指在核安全设施中,依赖自然的规律、材料的性能或内部的储能(如重力、浮力、自然循环、压缩气体的能量等)来驱动,不依赖交流电源,无需水泵、应急柴油机机械等,即可长期保持核电站的应急安全系统发挥作用。非能动安全系统可以减少因人员未进行必要应急操作或电源丧失而引起事故危险,提高安全程度

<sup>②③</sup> 资料来源:英国石油公司 2007 年世界能源统计

段.核安全是核电发展的生命线,来不得丝毫马虎.大规模发展核电,需要进一步提高安全监管水平,全面加强核电设计、制造、建设、运行等环节的安全管理和质量管理.规模发展核电,还需要配套形成铀浓缩能力,加快建设乏燃料处理工程,健全核燃料循环体系,使核电发展得到充分的资源保障.规模发展核电,更需要及早培养相关人员,形成人才队伍,为核电发展提供人才保障.

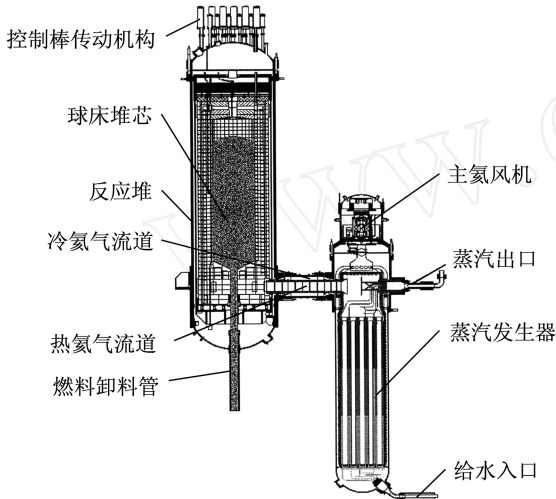


图 20 高温气冷堆一回路系统的示意图<sup>②6</sup>

Fig. 20 Schematic diagram of primary-loop system of high temperature gas-cooled reactor

**3.4.4 风电** 世界风力发电出现规模化发展的趋势.近年来,在美国和欧洲国家新增发电装机容量中,风电装机已经位居第二,仅次于天然气发电装机;同时,风电技术正朝着单机大型化方向发展(见表5).中国风能资源丰富,初步估计我国陆上风电技术可开发总量达10亿kW级,开发利用潜力很大.随着规模化发展和国产化率提高,风力发电成本将显著下降,逐渐具有经济竞争力,可以大力发展.在风电产业起步阶段,需要政策扶持和市场培育,对企业和科研单位技术创新进行支持,包括提高MW级以上风电机组总体设计能力,解决轴承、变流器和控制系统等关键部件设计制造难题.经过努力,建立起一个较为完备并具有国际竞争力的风电产业体系,使我国风电发展进入世界前列.

**3.4.5 太阳能发电等其他电力** 中国太阳能资源丰富,是最具开发潜力的可再生能源之一.在全球范

表 5 世界最新风力发电机组发展趋势<sup>[10]</sup>

Tab. 5 Development trend of the latest wind power units in the world

年份	额定功率/kW	风轮直径/m	轮毂高度/m	年发电量/(MW·h)
1980	30	15	30	35
1985	80	20	40	95
1990	250	30	50	400
1995	600	46	78	1 250
2000	1 500	70	100	3 500
2005	5 000	115	90	17 000

(海上)

围内,太阳能发电尤其是光伏发电发展较快,并开始从非并网向并网方向发展,已形成一定规模.但目前光伏发电成本还很高.人们寄希望于科技进步,显著降低光伏发电成本,使太阳能发电能够进入大规模发展时期.当前,需要继续增加对太阳能发电技术研发的投入,争取在关键技术上有所突破,为未来太阳能成为重要的电力来源打下坚实基础.

此外,中国还有多种可再生能源资源具有成为发电能源的潜力,除生物质发电(包括直接燃烧、气化发电等)可以因地制宜发展外,地热能、海洋能也都可以开发利用来发电,需要不断推进技术研发和应用.

**3.4.6 输配电系统** 电网建设是电力建设的重要组成部分.我国地域辽阔,西电东送距离远,数量大,对输配电技术发展提出了很高要求.从大型水电和火电基地向外输送电力,需要加强高等级、大容量输电能力建设.目前,1 000 kV交流和±800 kV直流特高压输电技术及工程正在开发试验.1 000 kV交流特高压输电线路(单回路)的自然功率接近5 GW,约为500 kV输电线路的5倍;±800 kV直流特高压输电线路(单回路)的自然功率可达6.4 GW,是±500 kV输电线路的2.1倍,可以显著提高输电效率和减少输电走廊用地,应做好试验示范工程 and 环境影响的评估工作.输电线路实际输电能力与系统动态特性密切相关.加强电网网架结构,强化受端系统,采取各种继电保护措施和电网控制技术,研发并应用先进的广域测量系统、柔性交流输电<sup>②7</sup>等技术,可以有效地提高系统安全稳定水平,增强输电能力.现代社会生活对电力供应高度依赖,需要进一步开

<sup>②6</sup> 根据中国清华大学核能与新能源研究院提供的有关资料

<sup>②7</sup> 柔性交流输电指一种可变参数的交流电网传输调节技术.它通过调节电网的电阻、电感、电容值,可以均衡潮流,保持稳定性,增大系统的输电能力

发电网安全稳定控制技术,不断提高电网管理水平,形成高效安全的输配电系统。此外,随着风电、太阳能发电等间断型电源的增加,还需要提高多元化电源结构接入及输配电技术水平和能力。

与先进电力系统发展密切相关的新技术很多,如固定式燃料电池、超导材料及其应用、高参数大功率燃气发电、微燃机发电<sup>②</sup>等技术,都在不断开发和进步。当今时代,发电技术不仅向高参数大型化方向发展,也向分布式微型化方向发展,需要密切跟踪,积极参与。发电和输配电技术的发展,还带动着新材料、电力电子、自动控制、先进制造工艺、高精尖装备制造等多个领域技术的发展。对新的电力技术和科学原理,应超前研究,夯实基础,努力增强自主创新能力,全面提高电力技术水平。

## 4 能源发展政策

能源政策是能源战略的重要保障。制定能源政策,应充分体现能源战略意图,为中国特色新型能源发展道路提供保障条件。完善我国的能源发展政策,应注意突出能源在经济社会发展中的重要地位,使能源战略目标和方针通过各方面具体政策得以贯彻落实;注意建立有利于能源可持续发展的体制机制,使市场配置能源资源的基础性作用得以充分发挥,同时加强和改善政府的引导与管理;注意体现科技是第一生产力,鼓励对能源科技增加投入,使能源科技创新得以不断推进。从中国长期发展看,完善能源发展政策并使之有效地执行,应考虑以下几个方面。

(1) 把能源发展政策放到国家经济政策的重要位置。能源是工业的粮食,是国民经济的命脉。能源问题不仅是重大的经济和社会问题,而且涉及重大的外交、环境、安全问题。确保能源的稳定供应,适应和减缓气候变化,是我国长期发展面临的战略性问题,具有很强的挑战性。能源节约和能源可持续发展,需要在国家宏观调控、产业发展、财政金融、科学技术、对外经济等各项政策中得到充分重视和体现。

(2) 超前部署重大能源建设和关键领域能源科技项目。许多能源建设项目规模巨大、跨地域、跨行业,需要长期谋划,超前部署,协调政策,有效实施。如全国油气管网工程、国家石油储备基地、水电流域梯级开发、大型煤炭基地、电力电网系统等,都需要从长计议,早做规划,有序建设。对重大能源技术,如新一代煤炭清洁高效利用技术、先进核能技术、太阳

能利用等新型能源技术,需要未雨绸缪,早部署、早安排、早实施,组织协调攻关,形成必要的能源技术储备。

(3) 多渠道增加能源开发和科技创新资金投入。能源科技创新决定未来能源发展,在国家科技创新中占有重要地位。能源科技项目规模大,基础性强,其研发、验证、示范项目和配套工程,都需要加大资金投入力度。除国家财政增加投入外,也需要调动企业投入的积极性。实施国家重点工程,应以企业为主体,广泛吸引社会资金投入,运用现代金融手段拓宽资金来源,国家在财税政策上给予必要的支持。

(4) 建立合理的能源资源价格形成机制。各种常规能源特别是化石能源,大都是不可再生资源。能源价格应当充分反映资源稀缺程度,反映市场供需状况,反映生态保护和环境治理成本,这样才能向各类市场主体传递正确信号,从根本上促进能源节约和合理利用。应完善能源产品价格形成机制,逐步与国际能源市场互接互补;还应完善资源有偿使用制度、生态环境补偿机制,体现资源所有者、使用者和公共环境保护者的权利与义务,促进能源资源利用效率的提高,弥补能源资源开发带来的生态环境损失。

(5) 实行有利于可持续发展的能源财税政策。财政、税收等经济手段对实施能源战略、落实能源规划,具有很强的引导和支持作用,有助于推动节能,推广应用能源新技术和新产品,加快新能源和可再生能源开发利用。资源税对调节开发企业和资源产地的利益关系、促进地区可持续发展十分重要,其征收标准应当继续合理提高。燃油税、能源税等消费税种在许多欧洲国家和日本长期实施,促进了能效提高和技术开发,收到了显著的节能效果,有的国家还对CO<sub>2</sub>排放征税。这些政策可供我们研究借鉴。

(6) 完善能源管理体制机制。能源管理体制机制的完善,应当有利于加强和改善能源领域宏观调控。在经济全球化和我国能源市场化进程中,需要进一步明确政府能源管理的职责,通过履行宏观调控、市场监管、社会管理和公共服务等职能,提高能源规划和政策协调能力,组织实施能源发展战略,促进能源总量平衡、结构优化和效率提升,确保国家能源安全。对一些实践中已经证明行之有效的制度,如节能发电调度、电力需求侧管理、能效标识、政府节能采购等,应总结完善,积极推广,健全有利于能源节约和高效利用的机制。

(7) 促进能源发展和管理步入法治化轨道。运用法律手段规范和调节能源开发利用活动,是世界

<sup>②</sup> 通常指户用或单个建筑物用的燃气轮机发电,一般功率在1 MW以下

各国通行的做法。改革开放以来,中国颁布实施了《煤炭法》、《电力法》、《节约能源法》、《可再生能源法》等法律,以及一系列配套法规,在实践中产生了良好效果。在此基础上,应抓紧研究制定《能源法》,健全能源领域基础性法律,完善专项法律规范,形成能源法律法规体系。加强能源领域执法,依法监督,依法管理,保障能源发展。

(8) 进一步加强能源资源国际合作。在努力增加国内能源供给的同时,应统筹国内能源发展和能源对外开放,进一步加强国际能源资源合作,把能源“引进来”和“走出去”更好地结合起来,充分利用国际国内两个市场、两种资源。在能源、资源、环境领域的对外交往中,应体现和平、发展、合作的要求,奉行互利共赢的开放战略,本着平等相待、互利互惠的原则,积极开展国际能源政策和环境政策的对话协调,促进能源生产国、消费国的沟通联系,扩大能源贸易与投资合作,增进能源技术、管理、人才交流,促进世界各国资源优势互补、能源保障供应、经济共同发展。

本文撰写得到马富才、宁吉喆、周大地、韩文科等同志的协助,特此感谢。

#### 参考文献:

- [1] 华泽澎. 能源经济学[M]. 山东东营:石油大学出版社,1991.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴(2001~2007)[M]. 北京:中国统计出版社,2001-2007.
- [3] 联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC). 关于气候变化的第4次评估报告[R]. 2007.
- [4] Hansen J, Sato M, Ruedy R, *et al.* Global temperature Change[J]. *PNAS*, 2006, 103:14288-14293.
- [5] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2007[M]. 北京:中国统计出版社,2007.
- [6] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能发展研究报告 2007[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [7] 姚强,陈超. 洁净煤技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [8] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 可再生能源中长期发展规划[EB/OL]. 2007-09-28[2008-02-28]. <http://www.ndrc.gov.cn/fzgh/ghwb/115zhgh/P0200709304919147302047.pdf>.
- [9] 马翎泉. 核能开发与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [10] 李俊峰. 风力12在中国[M]. 北京:化学工业出版社,2005.