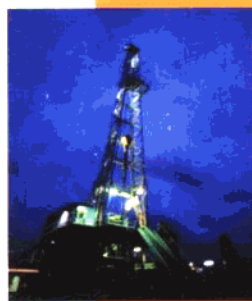
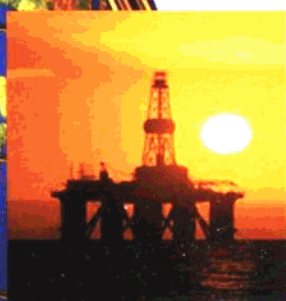


21世纪

中国能源、环境与石油工业发展

贾文瑞 徐 青 王燕灵 张建民 张宏洋 等著



21 CENTURY

石油工业出版社

编者的话

当前,中国的国内生产总值居世界第七位,而年能耗总量居世界第二位,温室气体二氧化碳的排放总量居世界第二位。能源效率低、生态环境破坏和大气污染严重,这是中国以煤为主的能源结构、粗放的生产和消费方式带来的突出问题。

21世纪中叶,中国要实现国民经济和社会发展的第三步战略目标,达到中等发达国家水平。能源发展应与之相适应,基本实现能源生产与消费的现代化和可持续发展。本书的研究目的是,试图探讨未来中国能源、环境和国民经济协调发展的能源发展战略。研究思路是以环境质量和资源可供性为制约,着眼于参与世界经济大循环和全球资源配置,正确估计未来能源科技的发展趋势,寻求符合中国国情变化的科学可行的能源发展目标和措施,进而确立各种能源的未来地位和发展方向。石油和天然气的前景是未来中国能源发展的核心问题,本书重点研究并揭示了世界及中国的石油和天然气发展现状、问题与前景,为正确选择未来能源发展路线提供了依据。

研究表明:

(1) 世界及国内石油与天然气资源的可供性有限,中国能源发展不能走发达国家的老路,即由固体燃料→液体燃料(石油)→气体燃料(天然气)→可再生清洁能源的演化模式,只能走固体燃料为主→能源多元化→可再生、清洁能源为主的发展道路。

(2) 未来30年内世界石油仍可满足需求。然而未来20年内世界发达国家的石油需求量将停止增长,甚至转向负增长;同期世界和中国的天然气生产与消费将快速增加。中国石油产量在经历一段低速增长后,将在十几年内转向递减,中国本土石油产量只能满足国内需求的50%~30%。对资源量和国际政治、经济形势的分析表明,中国有条件利用以周边国家和中东地区为主的油气资源。

(3) 21世纪将是能源变革的时期,中国的太阳能、风能、水能等常规可再生能源资源丰富,新能源及能源科学技术的发展表明,在20~30年内中国有条件逐步优化能源结构,在本世纪中叶,初步实现能源与经济、环境相协调的良性发展。

(4) 2020年后,中国的二氧化碳排放总量将超过美国,居世界第一位,人均排放量逐步接近世界平均水平。因此,2020年以前是中国能源和经济发展的宽松期,2020~2030年为环境制约期,2030年以后为严格制约期。要抓紧前20~30年的时间,加快发展清洁能源,否则将给中国的经济发展带来严重影响。

(5) 2050年中国国内生产总值将达到16万亿美元左右。人均1万美元,单位产值能耗约1.9吨标油/万美元,基本与届时世界平均水平相当。能源需求总量将达到30亿吨标油(约合43亿吨标煤)。

根据上述研究结果,提出了21世纪能源发展的目标和2050年的发展方案:

(1) 21世纪末应实现以清洁、可再生能源为主的能源结构。摆脱以矿物能源为主要能源的状况,基本完成能源的新变革,保护和恢复生态环境,保持生态平衡,实现能源、环境和经济的协调发展。

(2) 2050年前后基本实现能源现代化,初步实现以清洁能源为主的能源结构,基本抑

制生态破坏和大气污染。

(3) 2001~2030 年作为过渡期,完成以煤为主的能源结构向多元化转换。此间主要是适度提高油气在能源消费结构中的比重,2020 年油气占到 35%,同时积极做好清洁和可再生能源的研究开发工作。

(4) 2030~2050 年积极开发和发展利用新能源,初步完成向清洁能源和可再生能源为主的能源结构的变革。2050 年新可再生能源消费比重将占到 25%~30%,清洁能源将占到 50%以上,煤炭消费比例降到 40%以下。

实现上述战略目标,应主要采取以下政策措施:

(1) 2030 年以前重点围绕煤炭清洁、高效利用技术,制定有关政策和措施,其中包括环境控制和污染治理法规;同时要引导能源消费,适度控制石油需求增长,大力开发新能源和清洁能源,尽量减少对石油的依赖程度,缩短依赖期。

(2) 2030 年以后至本世纪中叶,以逐步提高新能源和清洁、可再生能源的比重为目的,制定相应的激励政策与新能源的研究政策。

(3) 天然气将是本世纪的重要能源,应对国内外可利用资源进行统筹规划,建设以跨国天然气供应干线为主的油气输送管网系统,参与国际间的地区性能源合作、能源安全保障及供需体系。

(4) 贯彻节能原则,在国民经济产业结构调整,以信息化带动工业化降低能耗的同时,采取积极措施,提高能源在生产、输送与转换、消费中的效率。

(5) 鉴于冷战结束,全球经济一体化趋势的发展,以及石油在未来世界能源结构中的地位将逐步下降的新形势,中国不宜再仿效发达国家进行战略石油储备,而应实行积极保护国内资源,建立企业商业储备为主的石油储备政策。

根据能源发展战略的要求和加入 WTO 的新形势,对石油工业的发展应做一些重大调整:

(1) 由于国内资源和生产形势演化,进口石油、天然气的渠道和数量增加,国内油品市场供需格局会发生重大变化,因此,石油工业在布局上要逐步进行调整。

(2) 由于国际市场的逐步开放,对石化工业的压力加大,国内石化工业必须尽快进行产品结构调整。

(3) 随着市场化趋势的日益增强,投资主体多元化是大势所趋,因此,打破油气按地区由国家公司垄断经营的思维,进行石油工业管理体制的调整势在必行。

根据能源工业发展的态势和对油气资源消费趋势的分析,石油企业的发展方向主要是,利用好国内外两个市场、两种资源;增加下游产品的科技附加值,向下游要效益;根据能源发展趋势,积极参与能源转换和新能源开发建设,向能源公司发展。

前 言

中国在完成国民经济和社会发展第二步战略目标以后,进入 21 世纪,开始迈向第三步战略目标——在 21 世纪中叶达到中等发达国家水平。为实现这一宏伟目标,能源工业如何发展?石油工业作为能源工业的一个重要组成部分,油气资源保障程度如何?它在未来能源结构中的地位,以及石油天然气生产的空间和时间的演化规律等,成为考虑未来能源发展的重要问题,并已引起有关方面人士的普遍关注。本书从 21 世纪中叶世界及中国经济发展水平与能源需求分析入手,对能源在生态环境制约下的可持续发展进行了探讨,认为 21 世纪是能源发生重大变革的一个世纪。从这一认识出发,结合中国的能源和环境等具体国情,就 21 世纪中叶能源发展的目标、原则、步骤进行了论述,并提出了可供选择的发展方案,以及实现能源发展目标的政策和措施。并以此为依据对中国石油工业和企业的发展的资源战略、发展方向和方式、方法进行了讨论。

本书对 21 世纪能源发展战略、政策和发展方法等提出了新的认识和看法,对世界和中国的石油天然气工业发展进行了分析预测,提出了中国石油天然气供需的时间和空间变化,以及相应的发展策略。本书涉及了能源各个领域,由中国石油勘探开发研究院牵头,在国家计划委员会(下称国家计委)能源研究所、中国矿业大学、中国石油化工研究院以及中国石油勘探开发研究院廊坊分院等单位有关同志协作下共同完成的。由于能力所限难免谬误和不足之处,希望有关部门和同行批评指导,以期就中国的能源发展问题能取得共识,寻求一条符合中国和世界未来情况的发展之路,以利于能源各行业的发展。本书作为一家之言,供大家讨论。

参加本书编写工作的主要人员有:

总论:贾文瑞、徐青、王燕灵、张建民、张宏洋

第一章:徐青

第二章:潘红磊,张士权

第三章:高世宪、刘小丽、李际

第四章:张建民

第五章:徐向阳

第六章:徐树宝

第七章:王燕灵

第八章:王燕灵

第九章:徐青

第十章:刘智强

第十一章:张宏洋

第十二章:华爱刚、张海琴

本书成果在研究过程中得到了中国石油勘探开发研究院沈平平院长、杨杰、钟太贤、王晓梅、李春如,以及国家计划委员会能源所韩文科副所长等领导和同志的支持与帮助,在此致以诚挚的感谢。

目 录

总论	(1)
一、引言	(1)
二、世界及中国的经济发展与能源消费	(8)
三、中国的能源发展战略原则与目标	(15)
四、21 世纪前半叶中国能源发展方案	(20)
五、实现 21 世纪能源战略的措施与政策	(25)
六、中国石油工业与企业发展展望	(31)
第一章 21 世纪中国经济发展与能源消费	(37)
一、概述	(37)
二、世界经济发展与能源消费	(38)
三、中国经济发展与能源消费现状	(46)
四、世界能源消费模式及主要发达国家能源演化规律研究	(49)
五、未来 50 年世界经济发展与能源消费预测	(53)
六、未来 50 年中国经济发展与能源消费预测	(57)
七、中国可持续发展的能源消费结构框架分析	(60)
第二章 21 世纪中国环境发展展望	(65)
一、中国环境现状	(65)
二、影响环境的主要因素	(72)
三、我国的环境保护目标和改善能源结构的对策	(82)
第三章 21 世纪前半叶中国能源需求与供应分析	(88)
一、绪论	(88)
二、能源消费现状及需求预测	(89)
三、中国能源供应现状	(98)
四、中国的能源问题	(99)
五、21 世纪前半叶中国能源供应展望	(102)
第四章 21 世纪前半叶中国能源发展方案	(121)
一、未来能源消费与环境制约	(121)
二、中国能源发展方案	(123)
三、中国三个可供选择的能源发展方案环境影响预测	(126)
四、中国三个可供选择的能源发展方案费用效益分析	(129)
五、研究结论	(135)
第五章 21 世纪中国煤炭工业发展前景	(139)
一、中国煤炭资源的基本情况	(139)
二、煤炭开发利用所导致的环境问题	(142)
三、国际、国内煤炭市场与环境法规限制	(145)

四、21 世纪煤炭工业的新技术和发展方向	(147)
五、21 世纪煤炭与其他能源的优势比较	(152)
六、欧洲三国的煤炭工业政策及其对中国的启示	(154)
七、西北五省的煤炭资源和其他能源展望	(157)
第六章 世界和周缘国家油气资源潜力及其发展趋势	(161)
一、世界油气资源现状及其发展趋势	(161)
二、俄罗斯及其主要盆地油气资源潜力分析	(175)
三、中亚地区石油地质特征和油气资源潜力分析	(189)
四、引进周边国家油气资源建议和对策	(201)
第七章 21 世纪世界油气发展及市场分析	(203)
一、世界石油储量、产量的分布及构成	(203)
二、世界石油剩余可采储量的变化特点及趋势	(217)
三、21 世纪世界石油发展趋势预测	(220)
四、世界天然气发展展望	(231)
第八章 中国油气生产发展分析	(250)
一、中国石油可采资源分析	(250)
二、未来石油勘探发现储量预测	(256)
三、石油产量发展趋势预测	(259)
四、中国天然气生产发展趋势预测	(261)
第九章 国际石油市场投资环境与未来国内石油市场分析	(270)
一、国际石油市场投资特点	(270)
二、国际石油投资环境分析	(284)
三、21 世纪前半叶中国油气供需分析	(298)
四、国内外资源相结合, 统筹规划, 加快上游发展	(304)
五、结论与建议	(309)
第十章 21 世纪中国石化工业发展战略	(311)
一、中国石化工业成就以及面临的机遇和挑战	(311)
二、世界石化工业的发展及其对中国的启示和影响	(318)
三、21 世纪中国石化工业发展战略	(325)
第十一章 中国战略石油储备问题研讨	(333)
一、世界概况	(333)
二、世界主要石油储备国家制度简介	(334)
三、石油储备近年发展趋势	(344)
四、各国主要储备政策	(345)
五、中国石油储备战略的研讨	(347)
第十二章 21 世纪世界能源发展趋势	(352)
一、21 世纪世界能源科学展望	(352)
二、替代能源的发展趋势	(357)
三、能源基础与经济发展	(362)
四、能源结构的变化趋势	(364)
参考文献	(374)

总 论

一、引言

1. 研究目的

20 世纪,特别是近半个世纪以来,世界以其经济的快速发展、科技的空前进步走完了它的里程。在能源领域里,以矿物能源代替薪柴之后,液体燃料的石油替代煤炭充当能源消费的主要角色,近年天然气生产与消费快速增长,能源消费优质化和可持续发展已成为能源发展的新潮流。

中国在近半个世纪里,尤其在近 20 年来经济高速发展,成功地实现了人民生活由温饱型向小康型的转化,人均国内生产总值(GDP)由不足 100 美元达到了 800 美元,并正以恢弘之势迈向国民经济和社会发展的第三步战略目标——在 21 世纪中叶达到中等发达国家水平。世纪之初,在展望这一前景的时候,很自然地要想到,作为国民经济发展重要保障的能源工业如何与之相适应?作为能源工业中重要组成部分的石油工业在其中的地位如何考虑?这是一个国家重大的能源战略问题。

回顾近 50 年中国的经济发展史,前 30 年能源短缺一直是制约经济增长和人民生活的一个重要因素。20 世纪 80 年代“改革开放”政策实施以来,逐步建立社会主义市场经济体制。在煤炭和电力行业先后进行了重大改革,由计划经济体制向以公有制为主,多种所有制同时存在的市场化发展,激活了能源工业的内在潜力,煤炭行业中乡镇企业成为生产的重要力量。经过短短的十几年,呈现出了煤炭供大于求、电力供应短缺大大缓解的局面,保证了国民经济的高速发展。20 世纪 90 年代,尤其在国民经济发展“九五”计划实施以来,加强了产业结构调整,以信息化带动工业化,低能耗“朝阳工业”迅猛崛起,高能耗的“夕阳工业”增长速度较缓,以及社会进步和人民生活水平的提高,对优质能源的需求快速增长。10 年间国内原油生产年增长不足 2%,而石油消费增长约 8%。

从 1993 年起中国由石油出口国变为石油进口国,进口量逐年增大。1998 年进口 2732 万吨,1999 年增加到 3661 万吨,2000 年达到 7026 万吨。

在此期间,国家对煤炭、电力“放开搞活”的同时,对石油工业也实施了一系列改革措施,但总体上没有改变行业垄断的格局。直到 1998 年将原主营国内油气勘探与生产的中国石油天然气集团公司与中国石油化工集团公司重组为上下游一体化经营的两大公司,与中国海洋石油总公司一起共同构成了国内石油工业上下游经营的三大国有公司。1999~2000 年三大公司先后在国外上市,形成了以国有资本为主的股份有限公司。地方和其他经济成分在石油工业中所占比例很小,估计不足 1%。

2000 年中国能源生产总量为 7.62 亿吨标油,其中煤炭 10.26 亿吨,居世界第一位;石油 1.6 亿吨,居世界第五位;天然气 325 亿立方米,居世界第十九位;发电量 13500 亿千瓦时,居世界第二位,中国已成为世界能源生产大国。但从能源生产与能源消费来看,目前与世界先进水平相比差距相当大。2000 年中国国内生产总值为 89403.6 亿元,居世界第七位,但能源消费总量 8.95 亿吨标油,居世界第二位。单位 GDP 能耗 8.26 吨标油每万美元,大约是世界平均水平的 2.8 倍,是美国的 2.5 倍,是日本的 6.0 倍。从中可以看出,面对 21

世纪的经济和社会发展目标,给能源工业的发展提出了新的要求,需要的是重新审视过去的能源政策,确定与新世纪要求相适应的能源发展战略。

本文研究的目的是试图寻求 21 世纪油气发展的方向和宏观布局问题。研究这一问题的前提是要有宏观的中长期能源战略,明确各时空段能源的供需,以及石油和天然气在各时空段与其他能源的关系,确定其战略地位。迄今为止,国内外不少研究者对中国未来能源前景作了多方面的估计。国内一些有关研究和学术单位也提出了有关中国中长期能源发展战略的研究,但尚未见到国家政府部门正式确认或制定的中长期能源发展战略或政策,仍处于酝酿阶段。制定能源发展战略是一项浩大的工程,需要对各种资源现状做详细分析,对各种能源生产技术经济环境、运输到消费市场的各环节做出定量的研究,对未来新能源和科技发展作出充分估计,对国民经济和社会发展、用能方式等诸多方面做出宏观、可靠的充分研究。做到这些决非一个部门少数人和不多的投入所能完成的。本书为解决石油天然气发展方向问题,仅从宏观上探讨有关中国能源中长期发展问题,就指导思想、原则和宏观控制目标、措施等方面的有关问题做一些框架性研讨,试图寻求适合中国国情(含内外环境)的未来能源发展和演化的轨迹,进而明确石油天然气工业的发展方针、政策。

2. 影响能源工业的基本因素

研究发展战略,主要是考虑内部和外部因素,确定发展目标,选择制定达到该目标的途径。“战略”本身是一种宏观控制的目标和手段,它与短期和中期规划不同。后者是在“战略”控制原则和部署下的具体实施计划或方案,是达到某一阶段目标的微观构成。显然,制定发展战略关键是目标和起点,即从目前的实际情况出发,确定合理的发展目标,从而考虑内、外部环境因素选择经济、合理的步骤、调控政策、条件。影响中国能源工业发展的各种不同层次的因素或矛盾很多,作为考虑发展战略而言,基本影响因素或矛盾有下面三个方面。

1) 能源资源总量不足,尤其是优质常规能源不足,与未来需求的矛盾

资源量的概念比较复杂,如矿物能源的地下原始埋藏量、可探明量、原始可采储量、剩余可采储量等等。不同时期不同研究或统计机构发布的数据往往差别较大。国际上常以剩余探明可采储量为依据进行分析、排序等等。对于研究能源发展战略而言,所关注的是它们在未来的可供性。

据 1996 年《煤炭工业统计提要》发布的数字,中国煤炭预测储量为 50592 亿吨,至 1995 年累计探明量为 10343 亿吨,保有量为 10009 亿吨,探明率仅 20.25%,保有率为 97.72%,可采储量约 1145 亿吨。煤炭储量大,而且品种齐全。仅从数字来看,21 世纪煤炭充当重要能源是具备条件的。石油资源为 940 亿吨,本书预测可采储量大约在 110~140 亿吨左右,1999 年底已探明可采储量 59 亿吨,已探明剩余可采储量 24 亿吨;天然气资源量为 38 万亿立方米,预测可采储量约 12 万亿立方米,已探明可采储量 1.3 万亿立方米,探明剩余可采储量 1 万亿立方米。水能资源理论蕴藏量为 6.76 亿千瓦,年发电量 59222 亿千瓦时,技术可开发水能资源量为 3.79 亿千瓦,年发电量 19233 亿千瓦时,经济可开发装机总量为 2.93 亿千瓦,年发电量 12600 亿千瓦时,至 1999 年底已装机 7297 万千瓦,是技术可开发资源量的 19.2%。

从以上主要能源品种及数量看,其总量不低,已探明储量中煤炭居世界第三位,水能居世界首位。但对中国未来能源需求来说,实现中国社会和经济发展第三步战略目标中需重点解决的问题是:

(1) 人均能源资源占有量低。中国人口占世界人口总量的 22%，上述常规能源总量仅占世界总量的 10.7%，人均占有量仅为世界平均水平的一半。

(2) 优质能源资源量有限。常规石油预测可采储量仅占世界总量的 1/30，常规天然气可采资源仅占世界总量的 3.7%，难以满足未来社会与经济发展对油气的需求。

2) 粗放的能源生产和消费方式与可持续发展的矛盾

中国能源消费结构长期以煤为主，这是国内资源结构与经济发展水平所决定的。其存在的主要问题是：

(1) 煤炭生产中粗放型经营造成大量资源浪费。

据测定，煤炭资源回收率为 40% 左右，其中一般国营矿为 50%~60%，地方矿为 30%~40%，乡镇矿仅为 10%~20%。因回收率低，每年丢掉的煤约在 10 亿吨以上，遗弃在地下的煤炭资源大约在 200 亿吨以上。

煤炭产区水资源缺乏。中国人均占有水资源量仅为世界人均量的 1/4，主要产煤区的新疆、内蒙、山西、甘肃、宁夏等省、自治区，埋深浅于 1000 米的煤炭资源占全国的 87%，其淡水资源仅占全国 1.6%，严重制约了煤炭的生产、洗选和深加工。中国煤炭的入洗率大约为 30% 左右，不足世界发达国家的一半。致使煤炭灰分、硫分、含铅率等均比较高，严重影响了煤炭质量，并带来大量生态和环境问题。

(2) 煤炭消费中绝大部分用于直接燃烧，不但热效率低，而且带来严重的生态和环境问题。

经济发达国家煤炭消费主要用于二次加工转换，终端直接燃烧消费所占比重很低，一般不高于 20%。我国煤炭近一半用于终端直接燃烧消费，发电和炼焦用煤约一半左右。其中燃煤发电约占总发电量的 90%，发电和其他直接燃用原煤约占煤炭消费量的 85%，直接燃用原煤，热效率仅 20% 左右，且煤炭综合利用率低，使大量煤气、煤焦油等重要物质无法回收，并造成严重的空气污染。

(3) 粗放的消费方式造成严重的大气污染。

由于大量燃煤，使全国的大气呈煤烟型污染。1999 年二氧化硫的排放量为 1857.5 万吨，居世界第一。酸雨区面积约占国土面积的 30% 多。世界银行曾对 1995 年中国环境污染的损失进行了估算。水污染和大气污染损失约占当年 GDP 的 3.5%~7.7%（用不同方法计算），其中大气污染造成的损失约占当年 GDP 的 2.9%~7.1%

燃煤所排放的二氧化碳，约占国内排放总量的 80%；全球燃煤排放二氧化碳占总排放量的 40%。据国际能源机构报导，1997 年中国二氧化碳排放量为 8.85 亿吨，占世界总量的 13%，居世界第二位。

(4) 初级的能源生产与消费方式造成能源效率低。

由于能源生产和消费的初级形式，以及大量矿物能源的远距离运输，造成整体能源效率低下。1997 年中国在能源开采上的效率为 33%，加工运输 68.8%，终端利用 45.3%，能源效率 31.2%，总效率仅 10.3%。有近 90% 的能源未得到利用。能源系统各环节的效率仍低于欧洲 70 年代的总体水平，而该时期这个地区相应的指标为 46%、76%、42%、32%、15%，而欧洲地区 20 世纪 90 年代的能源效率已提高到 41%，能源系统效率增加到 30%。

3) 能源资源分布不均衡、运输量大、成本高与能源竞争力的矛盾

中国的能源资源分布很不均衡，常规能源分布与经济发达程度呈逆向分布。矿物能源资源的 80% 分布在北方，其中油气主要集中在东北、西北和环渤海地区，西南地区集中了全

国水电资源的 2/3；华北和西北地区的煤炭资源也占全国总量的 2/3。造成了一次能源由西向东、由北向南的流向。历年来煤炭运输占 40% 以上的铁路运量；在沿海和长江中、下游水运量中，煤炭运量约占 1/3。北部和西部的原油、成品油向沿海省市和中部地区输送，长达 2000~4000 公里。长距离输送造成的高昂运费，使得这些能源到中部和沿海地区的价格大幅度增加，与进口能源相比，并无多大竞争优势。从近年的情况看，煤炭生产主要集中在华北、西北，各消费地区的煤炭价格中，生产成本占 30%~50%，运费占 70%~50%。也就是说，煤炭的运费在当地销售价格中，是生产成本的 1（近生产地区）~2（远离生产地区）倍以上。油气的情况与之相似，沿海消费地的国产油品价格与进口油价格相比并无优势；西部地区天然气输送到中部和沿海地区与进口液化天然气（LNG）相比较，也无明显的价格优势。

上述三个方面的基本问题是考虑未来中国能源战略所要解决的中心问题。

3. 制定 21 世纪中国能源战略的指导思想

正确的部署来源于正确的指导思想，正确的指导思想来源于对目前和未来国内外形势的正确判断分析。研究 21 世纪能源发展战略的主要指导思想总结如下。

1) 充分考虑未来世界经济发展和进步，着眼于参与全球经济大循环和资源配置

20 世纪下半叶以来，世界经济体制发生了很大变化，主要表现在以下四个方面。

(1) 经济体制市场化。主要是原计划经济的国家几乎全部转向市场经济体制，同时发达国家市场化程度已很高，仍进一步向前发展，如金融自由化。

(2) 经济体制国际化。其主要表现是由封闭或半封闭向开放型的经济体制演化，意味着各国经济与世界市场接轨，各国按照国际市场规模来完善发展本国的经济体制。发达国家今后的主要方向是金融体制的对外开放及进一步消除贸易壁垒；发展中国家将沿着对外开放投资、贸易自由化、放松金融管制的方向发展。

(3) 区域经济的一体化和集团化。这是基于各国经济的互补性和集团竞争实力的增强，所进行的国家间经济合作的更高级形式。目前有欧洲联盟、北美自由贸易区、亚太经济合作组织（下称经合组织）等。其中欧盟在经济联合的基础上统一了货币。亚太经合组织尚比较松散，其中期目标是在 2010 年发达国家成员实现贸易和资本自由化，发展中国家成员在 2020 年实现贸易和投资自由化。从发展趋势看，区域化、集团化的进程正在加快。未来也有可能形成以欧盟和亚太经合组织为基础的东西两大集团。

(4) 全球经济一体化。开放性的区域一体化推动全球化的发展，在世界贸易组织和国际货币基金组织的推动下，不断采取措施消除各种国际经济交易的障碍，促进商品、服务、资金、人员在全球的自由流动。今后随着社会生产力的发展，将进一步打破国界，全球经济一体化的大势将加快进程。

全球经济一体化的发展，对各国和世界经济发展产生重大影响。它将进一步促进国际分工，使生产要素在世界范围内自由流动；优化资源配置，提高世界经济整体效率，加速世界经济增长，减少经济波动。

从中可以明显看出，未来经济发展将不仅仅依赖于本国的资源（包括人力、财力、自然资源），而与世界经济联系起来，成为世界经济整体的一部分，在全球范围内实现资源、资金和技术的优化配置。能源资源作为一种自然资源或技术，其自然分布不均匀，技术发展不平衡，在全球经济发展中必然实现自由流动。因此，在考虑未来能源战略时，必然要立足国内需求和资源现状，着眼于全球资源和技术，实施全球资源战略。基于传统经济观念，资源

立足国内自给自足的方式是无法实现能源工业现代化,也无法满足未来国家经济和社会发展对能源数量和质量的需求。

2) 充分考虑未来科学和技术进步,逐步优化能源结构

在过去的一个世纪里,人类继用煤炭代替了薪柴成为能源的主体以后,又用液体燃料石油替代煤炭成为能源的主体。20 世纪后期天然气工业迅速发展,有人预料 21 世纪将是天然气世纪,它将逐步替代液体燃料而成为人类能源消费的主体。除了常规天然气资源外,天然气水合物和煤层气都是十分有前景的矿物气体燃料。天然气水合物是由烃类(如甲烷、乙烷)为主的水分子气体构成,在一定温度、压力条件下和水生成的冰状晶体,其分子式是 $M \cdot nH_2O$, M 是以甲烷为主的气体分子数, n 是水分子数。它主要分布在深海和海深 50 米以下的陆坡,北冰洋等永久冻土带更是丰富的储存带。据初步估计其储量远大于目前探明的常规天然气资源量。甲烷作为燃料是清洁的优质燃料,燃烧后二氧化碳排放量低于煤和石油,但甲烷气体的温室效应是二氧化碳的 4 倍,开发利用天然气水合物具有能源和环境方面的双重意义。煤层气则是在煤层中吸附或游离存在的以甲烷为主的气体,估计中国的煤层气储量,大体接近常规天然气资源量,目前勘探开发技术仍处于探索阶段。

氢气是一种新能源和可再生能源,且具有高效率的特点,随制氢技术的发展有望替代化石燃料。燃料电池是将氢、天然气、煤气、甲醇等燃料的化学能直接转化为电能的一类化学电源。因其无燃烧的中间环节,能量转换效率高,若热电联产其总效率可达 80% 以上,而且污染很低,产生的二氧化碳也很少。此外,太阳能、地热能、风能、潮汐能等可再生能源也大都商业化进程当中,如太阳能、风能等都有商业化应用。目前影响其大规模应用的主要原因仍然是成本价格问题,在矿物能源价格低廉的情况下其发展速度受到制约。只有进一步改进技术,降低成本,才有望成为新的替代能源。

核能是 20 世纪的一个重大发展。核裂变技术在以瞬时释放形式的原子弹爆炸后不久,就以可控制的方式转入了核电站技术;目前由于其安全性仍受到怀疑而受阻。核聚变在氢弹爆炸后近半个世纪未能有效地变为可控核聚变反应技术,预计其商业化仍需 30 年左右的时间。核能是人类利用能源技术的一个重大发展。预示着人类将从初级的薪柴、矿物化石燃料的燃烧的初级形式中解脱出来,向高效、清洁能源的转化,进而向更高级的形式即微观,乃至微观与宏观相结合的方向发展。

20 世纪的文明是向微观发展的一个世纪,物理学基本粒子和相对论的发展,奠定了 20 世纪的科学基础和技术发展的方向,技术的发展仍远远落后于科学的发展。近代技术的快速发展仍是主流。然而,研究表明,宇宙中有 90% 以上的物质尚未被认识,极大的能量来源尚未被发现。随着 21 世纪科学的突破,能源科学和技术将进入一个更新的时代。人类所探索和利用能源的形式由初级到高级,能量的来源也是无穷的。

然而,作为能源发展战略的制定,不能立足于未知的,更不能寄托于科幻。需要从现实的技术和资源出发,考虑资源条件和不同成熟度的技术发展,在可持续发展的条件制约下,把握能源发展和转化的方向。完全立足于目前的资源和技术水平去规划未来,只能陷入不可解脱的矛盾当中。需要用尽可能与未来生产力的发展,科学技术进步相适应的思维方式,用发展的眼光科学地规划未来,逐步实现能源优化配置,由初级向高一级发展。21 世纪,在环境和矿物能源数量有限的制约下,将是能源生产和消费发生重大转折的时期,由矿物能源逐步演化为以新能源、可再生能源为主的新阶段。

3) 从中国国情实际出发, 选择经济、可行的发展路线

研究中国国情往往是从某一角度出发, 人们惯用人口多、人均资源少、人均产值低, 经济不够发达等来加以描述, 这些是基本事实, 但在制定未来发展战略时, 所要考虑的是在未来某一时间段内中国发展的目标, 这一目标将标明中国在该时间段内在世界经济领域坐标中的位置, 即时间定位和相对的空间定位。为此, 描述中国国情现状, 就要描述目前的相对位置, 这个位置是以经济发展阶段来定位的。从某种意义上讲, 制定发展战略就是寻求由目前坐标点达到未来坐标点的轨迹。从这一认识出发, 中国国情现状和发展的基本点是:

(1) 中国仍处于完成工业化时期, 综合国力有限, 实施国际战略主要是区域合作战略。

20 世纪末期的中国产业结构状况是第一产业占 GDP 的份额大约是 17.7% (1999 年), 与 1970 年低收入国家的 29%、中等收入国家的 12%、高收入国家的 4% 相比, 仍属于中低收入国家, 与经合组织国家相比约落后 25~30 年。据中国社会科学院“走向 21 世纪的中国经济”研究认为, 到 2010 年中国将处于完成工业化和进行工业现代化两个阶段重叠的时期。目前我国的国民生产总值居世界第七位, 占世界总量的 3.5%。1999 年约是美国的 1/8, 日本的 1/5。整体经济实力仍然不高。

从技术状况来看, 据分析, 中低技术依然“垄断”中国产业。经济发展与合作组织 (OECD) 按研究开发含量 (R&D 的经费占销售收入的比例) 对产业进行分类, 其值小于 1% 的为低技术产业, 1%~3% 的为中技术产业, 大于 3% 的称高技术产业。据文献统计 1995 年中国几大行业 (约占全国工业企业 3/4) 的企业统计, 研究与开发含量仅为 0.3% 左右。低技术产业占国内生产总值的 60% 以上, 研究开发经费约占 GDP 的 0.5%, 仅为 OECD 平均水平的 1/3。1995 年高技术产品出口额占商品出口总额仅为 5.1%, 高技术产品出口额在世界高技术贸易总额中的比例为 1.32% (1994), 是美国的 1/19, 日本的 1/13。近年有所提高, 依然是很低的。

从上述情况看, 与美国、日本等发达国家相比, 无论经济、技术、军事等实力, 都是有限的。因而在近二三十年, 乃至更长的期间内, 在利用国际资源方面仍难于实施全球战略, 只能量力而行, 因势利导, 实施区域经济互补、经济合作为主的国际战略。

(2) 中国所能利用的油气资源有限, 不能走发达国家能源演化的道路。

①主要发达国家一次能源消费演化模式是: 固体燃料—液体燃料—气体燃料—新能源、可再生能源。

从世界能源结构的演化看, 在二次世界大战后, 石油工业蓬勃发展, 在发达的资本主义国家中, 石油在一次能源消费结构中的比重于 60 年代中期超过煤炭。世界石油消费量 1953 年为 6.49 亿吨, 1973 年达到 28.2 亿吨, 主要发达国家美国、日本和西欧石油在一次能源消费中的比重达到 40%~75%。此后 1973 年和 1979 年两次石油危机促进了发达国家经济结构和能源结构的调整, 石油在世界能源结构中的比重逐步下降, 1970 年为 48.7%, 1980 年为 48.6%, 1990 年下降到 38.6%, 1999 年为 40.5%。同期天然气的比重逐步上升, 1970 年为 18.6%, 1999 年上升到 24.2%。

世界石油生产从 20 世纪 50 年代至 70 年代为快速增长时期, 原油储量大幅度增加, 原油产量 1950 年 5.38 亿吨, 而 1979 年达到 31.2 亿吨。20 世纪 80 年代以来的 20 年间, 大体是储采平衡, 当年新增的可采储量略大于生产量。石油生产进入由主要依赖勘探发现新油田, 转化到新区勘探和老油田挖潜并重的新时期。预计今后 20~30 年内石油生产量仍会缓慢增长, 预计可达年产 38~42 亿吨左右。但石油在一次能源中的地位将被天然气以及其他

新能源和可再生能源所取代。本文估计在今后 20 年左右,发达国家对石油的需求将由缓慢增长(年需求增长 1%左右)转向负增长,而发展中国家石油消费仍会持续一段时间。

世界天然气的规模化利用是近 50 年的事。世界常规天然气探明储量增长要明显快于石油,由 1970 年的 44.9 万亿立方米(为石油的 50%)增长到 2000 年的 149.4 万亿立方米(高于石油);同期,除美国外,几乎所有产油国家的天然气产量都稳步增长,世界天然气产量由 11595 亿立方米上升到 23884 亿立方米;随着天然气产量的稳定上升,天然气加工业蓬勃发展,生产加工中心由北美地区扩展到其他地区;同时天然气管道技术不断革新,以及其后的液化天然气的广泛发展,使天然气成为世界性能源,并促进了其规模化开发利用。

过去几十年,世界天然气消费量不断上升,由 1970 年的 1 万亿立方米上升到 3.2 万亿立方米,主要用于发电、工业、商业—民用、化工原料以及天然气工业本身的需求。从世界天然气消费构成看,以工业用气最多,占 28.5%;其次是发电和商业民用,各占 26%;能源部门和化工原料分别占 14.5%和 5%。世界天然气消费比重由 20 世纪 60 年代的 15%上升到 90 年代的 25%。未来较长的一段时期里,由于环保力度的进一步加强,这一增长趋势将继续保持。

从以上可以看出,发达国家主要一次能源消费的演化是由矿物燃料的煤炭—液体燃料石油—气体燃料天然气。20 世纪末由于环保等因素的制约,新能源和可再生能源已在发达国家兴起,在欧盟的一些国家目前的能源结构中,占到 9%~10%。

②中国只能走固体燃料—能源多元化—新能源、可再生能源的道路。

中国由于能源资源结构和国家的政策、财力等因素,决定了煤炭是主要能源。石油和天然气在一次能源消费结构中多年来占的比例一直比较低,一般在 20%以内,20 世纪末增长较快,到 2000 年比例占到近 26.2%。今后半个世纪,中国要实现第三步战略目标,2030 年和 2050 年能源消费分别为 20.8~24.0 亿吨标油和 28.9~36.8 亿吨标油。若石油消费比例达到 1999 年世界平均水平,在一次能源消费中占到 40%,则相应的石油需求总量分别是 8.3~9.6 亿吨标油和 11.6~14.7 亿吨标油。据测算 2030 年世界原油产量为 39 亿吨左右,2050 年世界原油产量约 34 亿吨。若我国的原油需求量取中值,则分别是世界 2030 年石油产量的 23%,2050 年的 39%。在资源的数量上,这显然是不可能满足的。从经济的角度看,若大量进口石油也是难以承受的。2000 年中国进口石油约 7000 万吨,花费达 127.4 亿美元,约占国家外汇储备的 8%。如果按 2000 年的油价水平(每吨原油 182 美元)和美元汇率,2030 年进口石油的花费将达到 1438 亿美元,相当于当年国内生产总值的 23%左右,显然这是无法承受的。

从上述两个方面的分析可以看出,今后世界石油需求趋势将从稳中略升到下降。从资源数量看,由于中国和发达国家发展的时间差,我国无法再走向以液体燃料为主的时代,也难以实现以油气为主的发展模式;从经济上看,过量进口油气也是不可行的。因此,中国的能源战略必须考虑世界今后能源发展的时代背景,制定切实的目标,分阶段实施,使能源消费向多元化发展,进而过渡到新能源和可再生能源。实现跨越式发展,本世纪后半叶逐步达到世界先进水平。在今后一个时期内采取宏观控制措施,引导能源消费,适当控制油气需求增长速度,激励新能源、可再生能源的发展是保证中国经济健康发展的重要政策之一。

(3) 中国地域辽阔,经济发展不平衡,能源生产与消费要以市场为导向,实现分地区资源优化配置。

前已述及,中国是一个国土和人口大国,经济发展不平衡,资源分布不均匀,能源资源

大多分布在西部地区。一次能源中煤炭和石油、天然气长期维持长距离大量流动是不经济的,也将缺乏国际竞争力。例如,国外 LNG 已进入中国东部沿海省市,并逐步向中部的一些地区延伸。国内天然气主要在西部的四川、陕甘宁和新疆。如果从新疆的塔里木油区将天然气输送到东部沿海,运输距离长达 4000 公里以上。在较低的输气量下,与进口 LNG 进口价大体相当,无明显的价格竞争优势;与煤炭相比,用进口 LNG 发电的上网电价略低于煤炭脱硫处理后的上网电价,且具有建厂投资少、用水少、环保效益高的优势。因而,在参与国际市场循环的条件下,能源资源的配置要充分考虑市场机制,应用价值规律实现能源的优化配置。从国内实际情况出发,因地制宜,从宏观上考虑未来能源的布局。

在这方面欧洲国家的资源利用与消费特征对我国应有所启示。欧洲面临大西洋,背靠亚洲大陆,西部沿海的国家经济发达,能源资源贫乏,东欧各国与西欧相比经济发展有相当差距,能源也并不丰富;东部的亚洲大陆,如俄罗斯的亚洲部分,滨里海各国是油气和其他能源资源丰富的地区,经济相对不发达。欧洲各国特别是西欧各国根据各自的特点成功地解决了其能源问题。从能源结构看各有特色;如法国、瑞士,核电消费比重相当高,大致在 30%~40%,有的年份甚至更高,其余能源主要依赖油气;而德国,拥有较为丰富的煤炭资源,煤炭的消费比重在 25%左右,是西欧国家中煤炭消费比重最高的国家,其余 60%则依赖油气;其他西欧国家则主要以油气为主,比重在 70%~90%,不足靠核电和煤炭来补充。西欧各国根据自己国情,大多重视可再生能源的发展,例如瑞士等国家太阳能、风能,乃至沼气发电,已有相当规模,可再生能源已占一次能源消费的 8%~10%。

本书无力以省或经济区去研究未来的能源发展与供需平衡问题,那将是一个十分庞大而又具体的课题。但在研究能源未来发展、流向等重要问题时,需要充分考虑东、中、西部地区由于经济发展的不平衡,对能源消费观念和消费方式的差异,以及市场机制下的能源配置的经济性,不能以计划经济和自给自足的方式,人为地去配置资源。

二、世界及中国的经济发展与能源消费

1. 世界经济发展与能源消费现状

1) 世界经济发展现状

20 世纪 70 年代以来,全球经济有了较大发展,世界 GDP 翻了 3 番多。1998 年世界 GDP 为 28.8 万亿美元(表 1),是 1970 年的 10 倍多,平均年增长率为 8.7%;在过去 30 年期间,世界人口增长了 20 亿人,年均增长率为 1.5%,1998 年世界人口总量达到 58.9 亿人,世界人均 GDP 为 4890 美元,较 1970 年的 760 美元,增加了 5.4 倍。可见,由于世界人口的快速增长,人均 GDP 的增长速度明显低于 GDP 增长速度。世界产业结构中,农业、工业和服务业的比例由 1970 年的 8:39:53,演化为 1998 年的 4:33:63,世界农业、工业的比重进一步下降,服务业的比率有明显上升,这主要是世界主要发达国家已进入工业化后期,以及高科技产业快速发展所带来的结果。

2) 世界能源消费形势

随着过去几十年经济的发展,世界能源消费总量也明显上升。1998 年世界能源消费总量为 85.2 亿吨标油(表 2),较 1970 年增加了 1 倍,年均增长率为 2.2%;人均能源消费基本保持原有水平,1970 年人均能耗为 1218 千克标油,1998 年也只有 1444 千克标油。尽管能源消费量增长率不高,但能源消费结构有了明显的优化,1970 年世界一次能源消费结构为煤炭 36%,石油 43%,天然气 19%,水电 2%,1998 年演化为煤炭 25%,石油 41%,天

然气 24%，水电与核电 10%，从消费结构的演化可以看出，在过去 30 年中，煤炭的消费比重有明显下降，天然气和一次电力等清洁能源的比重有明显上升。同期世界单位 GDP 能耗有了明显下降，由 1970 年的每万美元 GDP 消耗 16.05 吨标油下降到 1998 年的 2.95 吨标油，能源效率有了明显的提高。世界能源消费正向高效化、优质化方向发展。

表 1 世界经济发展指标^①

年 份	人 口 亿	GDP 亿美元	人均 GDP 美元	产 业 结 构 农业:工业:服务业, %
1970	37.0	28083	759.0	8:39:53
1980	44.4	109395	2463.9	
1990 ^①	52.9	222989	4215.3	5:33:62
1998	58.9	288540	4898.8	4:33:63

①表中 1990 年的世界产业结构为 1995 年数值。

表 2 世界能源消费指标

年 份	人 口 亿	能源消费总量 百万吨标油	人均能耗 千克标油	能源消费结构 煤:油:气:电, %
1970	37.9	4507.9	1218.4	36:43:19:2
1980	44.4	5975.0	1345.7	32:45:20:3
1990	52.9	7594.0	1435.5	30:38:23:9
1998	58.9	8516.9	1444.0	25:41:24:10

3) 世界主要发达国家的经济发展与能源消费特点

在这里，世界主要发达国家所选择的是 1999 年 GDP 值超过 1 万亿美元的国家，即美国、日本、德国、法国、英国和意大利，其中德国由于存在历史上两德分离的情况，在数据处理上有一定难度，故在此不对其做分析。在过去几十年里，主要发达国家经济发展有如下特点：

在过去 30 年里，美国是经济发展最为强劲的，1965 年 GDP 总值是 7013 亿美元，到 1998 年仍然是世界第一，其 GDP 总值达 8.2 万亿美元（表 3），占世界 GDP 总值的 28.5%。而且在过去几十年，美国 GDP 总值与其他各国的绝对值差距在不断增大。1965 年是法国、英国、意大利的 4~5 倍。1998 年则是法国、英国、意大利各国的 7~8 倍。

日本是过去 30 年里 GDP 增长最快的国家。1965 年日本 GDP 总值与英国、法国相当，大致为 900~1000 亿美元，之后其发展速度要明显高于后两者，尤其是 20 世纪 70 年代以后，直到 1995 年年均增长率为 9%，1995 年其 GDP 总值 5.1 万亿美元，与美国仅相差 1.8 万亿美元。之后，由于受亚洲金融危机影响，日本 GDP 总值明显下降。

英国、法国和意大利以基本相近的速度发展，20 世纪 80 年代以 6%~7% 的年均增长率发展，20 世纪 90 年代趋低，与美、日的差距在不断拉大。

1998 年世界人均 GDP 为 4892 美元，而这几个发达国家则远远高于这一世界平均水平，是世界平均水平的 4~6 倍。其中意大利最低，人均 20190 美元，美国最高，人均 30407 美元，但中国仅 775 美元，是世界平均水平的 1/6。

表 3 世界主要国家经济发展指标

国 家	年 份	人 口 亿	GDP 亿美元	人均 GDP 美元	农 业 结 构 农业:工业:服务业, %
美 国	1970	2.10	10115	4816.7	3:34:63
	1980	2.24	27090	12093.8	3:34:63
	1990	2.50	53922	21568.8	2:29:69
	1998	2.70	82100	30407.4	2:26:72
日 本	1970	1.07	2037	1903.7	6:47:47
	1980	1.16	10593	9131.9	4:42:54
	1990	1.23	29429	23926.0	3:42:56
	1998	1.27	37831	29788.2	2:38:60
法 国	1970	0.51	1428	2800.0	6:33:61
	1980	0.53	6646	12539.6	5:34:61
	1990	0.56	11908	21264.3	4:29:67
	1998	0.59	14329	24286.4	2:26:72
英 国	1970	0.54	1065	1972.2	3:45:52
	1980	0.56	5374	9596.4	2:43:55
	1990	0.57	9752	17108.8	2:37:61
	1998	0.59	13574	23006.8	2:31:67
意大利	1970	0.55	1075	1954.5	8:41:51
	1980	0.56	4499	8033.9	6:39:55
	1990	0.57	10907	19135.1	4:33:63
	1998	0.58	11710	20189.7	3:31:66
中 国	1970	9.5	932	98.1	35:40:25
	1980	9.8	2017	205.8	30:49:21
	1990	11.3	3649	322.9	27:42:31
	1998	12.4	9609	774.9	20:51:29

同期一次能源消费总量演化趋势有如下几点:

(1) 美国是能源消费第一大国, 同经济发展趋势一致, 在不断增长, 1998 年能源消费总量为 22.7 亿吨标油 (表 4), 占世界的 1/4。

(2) 日本是世界单位 GDP 能耗最低的国家, 1999 年仅为 1.35 吨标油/万美元。而世界平均为 2.96 吨标油/万美元。近年来, 日本的 GDP 总值仅次于美国, 约占美国的 50% 左右, 但其能源消费总量是美国的 20%, 与法国、英国、意大利相当。

(3) 近 30 年来, 法国、英国、意大利的能源消费总量增长缓慢, 单位 GDP 能耗低。

(4) 1999 年世界人均能耗为 1444 千克标油, 各发达国家的人均能耗是世界水平的 2~3 倍, 美国为 5 倍, 相比之下, 中国远远低于这一平均值, 仅 746 千克标油。

从各国一次能源消费结构对比可以看出:

(1) 自 20 世纪 50、60 年代起, 日本、法国、英国和意大利的一次能源消费结构中, 固

体燃料的比重在持续下降。

表 4 世界主要国家能源消费指标^①

国 家	年 份	人 口 亿	能源消费总量 百万吨标油	人均能耗 千克标油	能源消费结构 煤:油:气:电,%	单位 GDP 能耗 吨标油/万美元
美 国	1970	2.10	1614.7	7689.0	20:43:35:2	15.96
	1980	2.24	1782.1	7955.8	22:45:29:4	6.58
	1990	2.50	1932.3	7729.2	25:41:25:9	3.58
	1998	2.70	2278.5	8438.9	24:39:26:11	2.78
日 本	1970	1.07	270.5	2528.0	22:74:1:3	13.28
	1980	1.16	347.8	2998.3	16:68:7:9	3.28
	1990	1.23	428.4	3482.9	18:58:10:14	1.46
	1998	1.27	511.2	4025.2	19:50:13:16	1.35
法 国	1970	0.51	147.8	2898.0	26:64:6:4	10.35
	1980	0.53	183.0	3452.8	15:60:13:12	2.75
	1990	0.56	220.8	3942.9	9:40:12:39	1.85
	1998	0.59	258.2	4376.3	5:37:14:44	1.80
英 国	1970	0.54	217.0	4018.5	44:48:5:3	20.38
	1980	0.56	202.2	3610.7	35:40:20:5	3.76
	1990	0.57	212.6	3729.8	31:39:22:8	2.18
	1998	0.59	226.1	3832.2	17:34:38:11	1.67
意大利	1970	0.55	114.2	2076.4	9:76:11:4	10.62
	1980	0.56	138.4	2471.4	9:71:17:3	3.08
	1990	0.57	149.8	2628.1	9:63:26:2	1.37
	1998	0.58	165.9	2860.3	7:56:35:2	1.42
中 国	1970	9.5	230.1	242.4	81:15:1:4	24.69
	1980	9.8	419.0	427.6	72:21:3:4	20.77
	1990	11.3	668.0	591.2	76:17:2:5	18.31
	1998	12.4	924.5	745.6	70:21:2:7	9.62

①资料来源:能源消费总量来自 2000 年 BP 能源统计。

(2) 20 世纪 60 年代中至 20 世纪 80 年代初,液体燃料占较大的比重。

(3) 自 20 世纪 70 年代起,天然气比重有明显的增加,20 世纪 80 年代以后增长减缓。

(4) 自 20 世纪 80 年代起,水电的消费比重快速增长,但所占比重有限。

从研究发达国家 1960~1995 年单位 GDP 能耗演化趋势可以得出。在过去 35 年里,各国的单位 GDP 能耗有了明显下降,其中从 1970~1980 年是一个快速下降的转折阶段,其主要原因是:

(1) 世界产业结构的升级。世界各国工业化程度不断提高,如表 3 所示,特别是发达国家工业化的完成,高耗能工业比重明显下降,低耗能工业崛起。同时,服务业,特别是高科技附加值产业比重不断上升,是导致单位 GDP 能耗下降的重要原因。