

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

国民科技教育丛书

——能源与我们



序

邓伟志

经过十来年的实践和讨论，科技是第一生产力的科学论断，已成共识。今天，绝大多数中国人对此是没有分歧的。这是近年来理论上的一大突破，一大成果，一大进步。

接下来的问题是，科技如何转化为第一生产力？毋庸讳言，目前中国科技成果转化生产力的状况尚难令人满意。从统计数字上看，有百分之二三十之说，明显低于许多国家。实际上在有些行业连百分之二三十也不到。有人说，高等学校的科研成果转化为生产力的，只占百分之几。只有那么一点科技成果转化生产力，是很可惜的。要不，怎么会被人说成“抱着金饭碗讨饭”呢？如果再进一步细细推敲的话，在那些已经完成的、过去的“转化”中，有许多也不过是转一转而已，并非形成经久不衰的社会生产力。这就是所谓“一鼓作气，再而衰，三而竭”。

如今尽管各种公司多如牛毛，可是，高科技的公司微乎其微，大家都在低水平上重复、拥挤。不要以为我们今天的高速发展已经到了极限，倘若高科技的公司再多几个百分点，我们的生产、生活不知还会提高多少倍。科学之威力就在于以一当十。

科学决不应该是纸上谈兵，也不应该是保险箱里的密件。从社会影响的角度讲，科研奖永远是“银牌”，只有在转化为社会生产力，实现其自身价值以后，才能是“金牌”。

变“银牌”为“金牌”的首要一步是传播和普及。不传播，不交流，谁知道你的创造发明可以应用？有传播，才有普及。普及是高新技术的推广，普及也是产生高新技术的土壤和温床，普及更是生产应用的前奏。

传播高新技术、普及高新技术是我们编写《国民科技教育丛书》的根本出发点。

不过，传播和普及又有两种路子。一条路子是编写“如何使用电脑”、“如何使用多媒体”之类的书籍，实用性强，一是一，二是二，立竿见影，学了能用。可是，我们认为，如果仅限于这一层次上的普及，那么我们所编的书籍就不是什么汗牛充栋的问题了，怕是“铁牛”也拉不动，火车也运不完的。说实在的，那也不是哪一家出版社所能承担得了的。

我们走了另一条路。我们想借助于哲理。辩证法是代数学。我们想编一套可以启发人举一反三的书，让人读了犹如拿到了开门的钥匙，打开思路的钥匙。打开一条思路，胜过拿到一打厚的数据。当然，我们不希望哲理是挤出来的，或者是拔出来的，我们希望能像清泉一样，自然流出来的。我们更不希望哲理是悬空的。我们仍然是依附于能源、交通、资源、生态、环境、信息、高科技等自然科学门类、科学技术前沿。

我们希望我们这套书能成为“准教材”，成为能教育人的教材。它不仅能让人获得生活和工作所需要的具体技能，更重要的是能使人获得一种科学思想、科学精神、科学态度、科学方法。至于说是否完全做到了这一点，那就要让读者去评论了。我们三位主编深感心有余而力不足。好在编书是只有起点而无终点的工作。第一版只能算初稿。我们渴望问世后能得到读者的指点，不断修订，不断完善。

1994年8月25日

能源与我们

一、能源是人类社会发展的柱石

翻开人类社会的发展史，可以发现能源与人类社会的进步结下了不解之缘。

火的利用，使人类结束了茹毛饮血的原始生活，火不但改造了人类自身，使人类头脑更聪明、体魄更强悍，而且推动了社会生产力的发展和社会结构的变革。

蒸汽机的发明和应用，是能源科技进步的又一里程碑，它引来了工业革命，人类结束了刀耕火种的时代，进入了工业化大生产时代，使生产力得到了很大发展。有人把欧洲发生的工业革命时代称之为蒸汽机时代。

进入 20 世纪，电子技术的应用，又使人类再一次大大解放了生产力，使得几千年来人们向往的神话般的奇迹开始出现。例如，被誉为“顺风耳”和“千里眼”的电视走进了千家万户，其他各式各样的家用电器也使人们的生活变得丰富多采，舒适方便。

核能的应用，使人类开发大自然的视野更为广阔，在科学家已经开始的开拓宇宙的新长征中，核能则为星际航行提供了巨大的动力源泉。有人已经开始设计和研究往返火星的核动力火箭，打算建设以核能为动力的月球基地。

能源是人类社会发展的柱石，因而对它的利用和研究，已受到人们的普遍关注。

那么，什么是能源呢？顾名思义，能源就是指能量的来源的意思。能量可以使物体做功，物质的存在和运动与能源是分不开的。

能源在宇宙间广为存在，它是生命起源和演化的必不可少的物质条件。

能源经常以光、热、电、磁等形式表现出它的威力；它可以是固体、液体、气体，也可以以电子、光子和基本粒子形式出现；它可以是无机物、有机物，无生命体、有生命体。

能源广布于天上、地表、地下。煤炭、石油、天然气、水能、太阳能、风能、潮汐能、波浪能、海洋热能、地热能、生物质能都是人们所熟悉的能源。

能源与人类生活休戚相关，人们的衣、食、住、行都离不开它。

如果没有必需的足够的能源，人类就会失去最起码的生存条件，地球上的生命就要终止。物质生活离不开能源，精神生活也不例外。人们看电影，听广播，看电视，需要电能；即使人们看的书籍、报刊，也都需要有能源来印制。而且，人们的生活越是向现代化方向发展，能源的消费也就越多。

我们打开科学技术发展史的画卷，就会发现科学技术的发展是一步一个台阶不断地向高峰前进的。有人在回顾 18 世纪以来科学技术发展史时，指出人类文明社会至今经历了三次产业革命，然而这些无不与能源的变革息息相关。

第一次产业革命第一次产业革命从 18 世纪开始。1769 年，英国发明家瓦特，经过了十几年艰苦钻研之后，对当时已出现的原始蒸汽机作了一系列的重大改进，提高了蒸汽机的热效率和工作可靠性，取得了带冷凝器的蒸汽机发明专利，使蒸汽机成为工业上可应用的发动机，并由此得到了广泛的应用。

蒸汽机的应用具有划时代的意义，它使人类从繁重体力劳动中解放出

来，把旧的作坊手工业变成了大工业，是一次生产技术上的根本性变革。恩格斯高度评价了蒸汽机的发明和应用，指出：“蒸汽机是第一个真正国际性的发明，……”“自从蒸汽和新的工具机把旧的工场手工业变成大工业以后，在资产阶级领导下造成的生产力，就以前所未闻的速度和前所未闻的规模发展起来了。”

这种热能的转换形式促使大工业动力机械蒸汽机的诞生，之后，英国首先完成了以蒸汽推动纺织机械为先导的产业革命，而且迅速波及到矿山、机械、金属等工业部门，凡是有蒸汽机的地方都集中地建起了工厂，从此开创了蒸汽时代，是石器、陶器、新铜器时代无法比拟的新时代，社会生产力获得了巨大发展。这就是人们通常所称的第一次产业革命，这场革命从18世纪70年代开始，到19世纪40年代基本完成。美、法、俄、日、德等国，也相继实现了这场革命。

第二次产业革命对于科学技术发展的第二次巨大推动，是电能的出现和应用。1866年，西门子发电机的问世，在科学技术发展史上具有像瓦特发明蒸汽机一样的划时代意义，导致垄断资本主义社会的到来。

西门子被誉为德国近代科学之父，在他身上集中了科学家、工程师和商人的共同特点。对于机械工程师考虑不成熟而需要改进的东西，西门子作为一个科学家，发展了有关理论，奠定了进一步发展的基础；对实验室里产生的新知识，西门子作为一个工程师把这种科学理论应用于实践，使之成为有血有肉的有实用价值的产品。另外，他作为一个商人，又积极地打开销路，把产品送往市场，寻找买主，获得利润，从而使科学研究不致于发生经济障碍，形成一种良性循环，不断地向前发展。因此，当时西门子-哈尔斯克商会所出售的优良工业品，都是科学、技术和经济结合的产物。

跟随西门子的前进脚步，美国发明家爱迪生于1879年最先发明了钨丝电灯；1881年开始兴建起工业规模的火力发电站，从此电能得到了大规模的利用。

19世纪80年代开始，由于电能应用的迅速发展，一些工业比较发达的国家，出现了资本主义垄断企业。发电机、电动机、电车、电力起重机、有线电报机、电话、无线电话、电炉炼钢（包括炼铜、炼铝）、制氮工业、硝酸铵肥料工业等新兴工业及其产品都相继问世。

19世纪末到20世纪初，电能的利用愈来愈广泛，规模越来越大，科学技术的发展进入了一个崭新的“电气时代”。20世纪的科学技术沿着电气化的道路取得了卓越的成果。这就是所称的第二次产业革命。这场革命的结果是电气时代替代了蒸汽时代。

第三次产业革命第二次世界大战期间，交战国双方都把科学技术动员起来为战争服务。1939年，德国科学家哈恩首先发现了铀的“核裂变”；1942年12月，意大利科学家费米主持在美国芝加哥大学建成了世界上第一座核反应堆，实现了人类首先点燃和控制“核火”，揭开了原子时代的序幕。美国动员了15万人，耗费20亿美元巨资，在1945年7月16日，首次爆炸了世界上第一枚原子弹，核能从此一鸣惊人。

核能的问世与化学革命、冶金革命、电力革命等等相比，具有更大的划

恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971年出版，第92页。

恩格斯：《反杜林论》，人民出版社，1970年出版，第265页。

时代意义。这是因为人类找到了新的“火种”。“核火”的发现和应用，使人类生活和生产所需的能源从过去几乎全部来自太阳，变为从地球自身蕴藏的核燃料（铀、钍等）中获取，而且人类看到了最终获得取之不尽的能源的希望之光。

由于核能的威力要比普通化学能大成百万倍，因此最早被华尔街的老板们用来制造杀伤力比普通炸弹大成千上万倍的原子弹、相继问世的氢弹、中子弹等新型核武器，使战争武器组成发生了根本变革，战略思想也发生了根本的改变，在棱角逐中，核潜艇、核军舰相继问世，成为强大的核威慑力量。战后，出现了世界上第一座核电站，而且如雨后春笋迅速发展起来，成为电力工业的新军，核供热、核能炼钢向人们展示了核能利用的美好前景。放射性同位素应用已经成为核工业中的轻工业。核能的利用揭开了第三次产业革命的序幕。

到了现代，随着电子计算机的诞生和发展，并广泛渗透到人类社会的各个领域，使这次产业革命进一步向纵深发展，因而获得了空间开发、合成材料的蓬勃兴起，以及机器人队伍的成长等等非凡的成就。随着第三次产业革命的步伐向前，人类进入了电子时代。

当代，出现了以激光技术、微电子学、微型电子计算机、光导纤维、新材料、生命科学、海洋开发和新能源发掘为标志的新的工业革命。有人预测，这次新的工业+革命将对人类社会的发展产生新的影响。

让我们沿着科学技术前进的脚步，总结能源科学技术发展的规律，更好地为我国实现“四化”，赶超世界科学技术先进水平服务。

二、能源的基本知识

（一）能源的分类

除人们比较熟悉的一些能源名称外，你是否还听到过一次能源、二次能源；常规能源、新能源；可再生能源、不可再生能源等称呼呢？其实这些都是从不同角度对能源进行的分类。

按能源的来源可分三类：第一类是来自地球以外的太阳能。它们除了太阳直接照射到地球的光和热外，常见的煤炭、石油、天然气，以及生物质能、水能、海洋热能和风能等，都间接地来自太阳。第二类是来自地球自身的能源，其中一种是地球内部蕴藏着的地热能，常见的地下蒸汽、温泉、火山爆发的能量都属于地热能。另一种是地球上存在的铀、钍、锂等核燃料所蕴有的核能。第三类是太阳和月亮等星球对大海的引潮力所产生的涨潮和落潮所拥有的巨大潮汐能。

按能否从自然界中得到补充，能源又分成可再生和不可再生两类。太阳辐射能、水能、生物质能、风能、潮汐能、海洋热能和波浪能等都是能不断地再生和得到补充的能源，所以被称为可再生能源。而煤炭、石油、天然气等化石燃料和铀、钍等核燃料，都是亿万年前遗留下来的，用掉一点就少一点，无法得到补充，总有一天会枯竭的，它们被称为不可再生能源。

根据利用能源的形态不同，又可将能源分成一次能源和二次能源两类。一次能源是指直接取自自然界、而不改变它的形态的能源。例如，煤炭、石油、天然气、柴草、地热、风力、太阳辐射能等等都属一次能源范畴。二次能源是指一次能源经人为加工成另一种形态的能源。例如，电能、热水、蒸汽、煤气、焦炭以及各种石油制品（诸如汽油、煤油、柴油、重油等），还有生产中的余能和余热等也都属于二次能源范畴。

根据应用范围、技术成熟程度及经济与否，又将能源分成常规能源和新能源两类。煤炭、石油、天然气、水能和核能等都已得到大规模经济开发和利用，被称为常规能源；而太阳辐射能、地热能、风能、海洋热能、波浪能、潮汐能等，因它们都是开发研究中的能源，尚未得到经济开采利用，而被称为非常规能源，亦称为新能源。

(二) 形形色色的能源

1. 通向来来能源的桥梁——煤炭

煤炭是能源世界的主将，它被誉为工业的食粮。煤因为浑身乌黑，所以古人称它为“乌金石”，煤的形成是大自然的造化。

我国劳动人民发现和利用煤炭比欧洲人早 1800 多年。古人刚发现煤炭时，不是用它来生火，而是以它当墨写字，据说“煤”字的读音就是“墨”字变来的。后来，有人看到它与木炭的形态很相像，就试着把它与木炭一同放进火里烧，果然，黑石头烧红了，而且比普通木炭烧得猛烈，烧得持久。从此，人们就挖掘煤炭来代替木炭生火。

地球上的化石燃料的地质总储量中，煤炭约占 80%。目前，世界上已有 80 多个国家发现了煤炭资源。全世界煤炭地质总储量为 107500 亿吨标准煤，其中技术经济可采储量为 10391 亿吨。世界煤炭探明可采储量见表 2 - 1。90% 的地质储量和 60% 的技术经济可采储量集中在美国、前苏联、中国和澳

表 2-1 世界煤炭探明可采储量

(单位：亿吨)

洲·国别		煤种	烟煤和无烟煤	次烟煤	褐煤	合计
东 欧 及 前 苏 联	前苏联		1040.00	370.00	1000.00	2410.00
	波兰		296.00	-	116.00	412.00
	其他		25.67	32.92	273.90	332.49
	小计		1361.67	402.92	1389.90	3154.49
北 美	加拿大		45.90	12.87	28.27	86.23
	美国		1126.68	959.29	319.63	2405.61
	小计		1171.77	972.16	347.90	2491.84
亚 洲	中国		622.00	337.00	186.00	1145.00
	印度		606.48	-	19.00	625.48
	印尼		9.62	70.54	240.47	320.63
	日本		8.27	-	0.17	8.44
	朝鲜		3.00	3.00	-	6.00
	台湾省		1.00	-	-	1.00
	其他		4.26	8.68	9.17	22.11
小计		1254.63	419.22	454.81	2128.66	
西 欧	德国		239.19	-	561.50	800.69
	英国		33.00	-	5.00	38.00
	西班牙		8.50	4.00	2.00	14.50
	其他		12.64	2.56	100.85	116.05
	小计		293.33	6.56	669.35	969.24

洲·国别		煤种	烟煤和无烟煤	次烟煤	褐煤	合计
澳洲	澳大利亚		453.40	37.00	419.00	909.40
	新西兰		0.27	0.81	0.09	1.17
	其他		0.02	-		0.02
非洲	小计		453.69	37.81	419.09	910.59
	南非		553.33	-	-	553.33
	其他		54.78	12.63	0.04	67.45
中南美	小计		608.11	12.63	0.04	620.78
	哥伦比亚		42.40	2.99		45.39
	墨西哥		12.52	4.17	0.51	17.20
	委内瑞拉		4.17			4.17
	其他		9.91	36.39	1.24	47.54
中东	小计		69.00	43.55	1.75	114.30
	伊朗		1.93	-	-	1.93
	小计		1.93	-	-	1.93
	世界合计		5214.13	4894.86	3282.84	10391.83

资料来源：第 15 届世界能源会议《1992 年世界能源资源调查报告书》
 大利亚等国。据世界煤炭研究会的预测，从 1977~2000 年，24 年内，
 按最高产量累计可达到 1030 亿吨。以现代开采和利用煤炭的速率计算，煤炭
 资源尚能使用几百年。

当前世界能源年消耗量中，煤炭仍占三分之一。世界能源发展史现正进
 入一个新时期，石油的黄金时代即将告终，大量增加煤炭的生产和利用已是
 当务之急。1982~1992 年世界煤炭消费量见表 2-2。

在各类能源中，今后 20 年内可大量增产和弥补石油不足的能源是煤炭，
 煤炭成了过渡到 21 世纪可再生能源和核能为主的未来能源的桥梁。预计到
 2000 年，全世界煤炭的总需要量将由 1977 年的 25 亿吨标准煤增加到 60~70
 亿吨标准煤，当年的煤炭总量将达 68 亿吨标准煤。

但大规模开发和利用煤炭，将面临着一系列新问题。例如，露天开采会
 破坏土地，使矿井地面塌陷。矿井和选煤厂废水污染，煤矿石处理，烧煤产
 生大量二氧化碳会造成温室效应，影响气候等。另外，煤炭给运输也带来一
 些问题。

尽管如此，随着时间的推移，世界石油资源日趋短缺，

表 2 - 2 1982 ~ 1992 年世界煤炭消费

单位：万吨油当量

	1982	1990	1991	1992	1992 年占世界%
中国	32420	51610	50400	52710	24.4
美国	38310	48140	47300	47670	22.0
前苏联	33240	30790	27760	27070	12.5
印度	6360	10240	10610	11150	5.2
德国	14010	12960	11330	10210	4.7
日本	6200	7600	7900	7790	3.6
波兰	9090	7780	7760	7490	3.5
英国	6530	6370	6330	5920	2.7
非洲	7680	8050	7850	7900	3.7
世界总计	187830	223000	216450	216420	100.0

资料来源：英国石油公司世界能源统计评论，1993 年 6 月。

水电资源开发殆尽，以及环保技术的进步，现代经济对煤炭的需求仍将增加。据联合国欧经会预测，世界煤炭的需求和贸易，在今后 20 年中将呈逐渐上升趋势。全球硬煤的消费量在 2000 年前每年平均增长 1.3%（每年增加 5000 万吨），从 2000 年至 2010 年每年平均增长 1%（每年增加 3000 万吨）。

世界八大产煤国（中国、美国、俄罗斯、乌克兰、德国、波兰、印度、澳大利亚），在今后的 20 年中仍将生产世界煤炭产量的 85%。

世界八大产煤国的煤炭出口量占全球煤炭出口量的 80%。

煤炭的国际能源战略地位日益增强的主要原因是，亚洲地区经济增长速度将比世界其他地区要高，经济增长在很大程度上依赖于能源供应的增加。迄今，煤在亚洲许多国家和地区的能源结构中仍占有很重要的地位，在未来的 5~8 年内，韩国、印尼、泰国、印度、中国和中国台湾省等，对煤的需求十分迫切。

在未来 100 年内，煤炭不可避免地仍将是一种主要能源。我们的任务是寻求更有效的、环境可接受的途径，使每吨煤发更多的电，减少污染物的排放总量。煤炭的综合利用是今后的发展方向，现在世界各国正在执行清洁煤技术计划，这将是造福人类的伟大举措。

2. 工业的“血液”——石油

石油混身是宝，是当今世界的主要能源，它在国民经济中占非常重要的地位。

首先，石油是优质的动力燃料的原料。汽车、内燃机车、飞机、轮船等现代交通工具都是用石油的产品——汽油、柴油作动力燃料的；新兴的超音速飞机、导弹、火箭，也都以石油提炼出来的高级燃料为动力的。

石油也是提炼优质润滑油的原料。一切转动的机械的“关节”中添加的润滑油都是石油制品。

石油还是重要的化工原料。石油化工厂利用石油产品可加工出 5000 多种重要的有机合成原料。常见的色泽美观、经久耐用的涤纶、尼纶、腈纶、丙纶等合成纤维；能与天然橡胶相比美的合成橡胶；苯胺染料、洗衣粉、糖精、人造皮革、化肥、炸药等等都是由石油产品加工而成的。

石油经过微生物发酵，还可以制成合成蛋白。它是利用一种爱吃石蜡的嚼蜡菌，放在石油中的嚼蜡菌吃食石蜡后，会以惊人的速度繁殖起来。嚼蜡菌自身含有丰富的蛋白质，每公斤菌体含有相当于 20 只鸡蛋所含的蛋白质。

如果将目前世界上年产 30 多亿吨石油中的石蜡（约占 10%）的一半制成蛋白质，一年就可制得 1.5 亿吨人造蛋白，这是十分可观的人造蛋白资源。现在，人们已经用嚼蜡菌体作为饲料。不久的将来，它们会被用来制作味道鲜美、营养丰富的食品，送上餐桌。

石油浑身都是宝。就连炼油最后剩下的石油焦和沥青也都是宝贝。石油焦做炼钢炉里的电极，可以提高钢的产量；还可用它作为制造石墨的原料。沥青则可以制作油毡纸或铺路。

石油被人们誉为工业的“血液”，是名不虚传的。地球上蕴藏着丰富的石油，据估计它的蕴藏量为 1000 多亿吨，其中海洋里蕴藏着 700 多亿吨左右。

尽管人们认识石油的模样，但由于它埋藏在地下，要探寻它不是件容易的事，而我们的祖先早就总结了许多寻找石油的宝贵经验。

最简单的办法是通过追寻石油露出地面的蛛丝马迹，以找到它的藏身之地。例如，含石油的岩石受侵蚀露出地面或油层产生断裂，石油沿裂缝流出地面，有时漂在水面形成五光十色的薄膜，这就是油苗，发现了它，可跟踪追击到地下，找到油田。

天然气往往与石油共生，因此通过发现池沼、河道或水坑里冒出的水泡，可判断天然气苗，从而找到石油。

石油开采

有时，在一些地方发现被石油浸过的疏松砂子，这就是油砂，找到了它就可顺藤摸瓜找到石油。

还有，地下深处的石油，沿着岩缝升到地表，轻成分挥发后，留下的成分聚集成沥青丘，找到了它也就有了找到石油的希望。

除这些简易的探油办法外，近代采用了先进的勘查技术，可以迅速而准确地找到石油。这些探查方法有：地球物理勘探法、地球化学勘探法、新型遥感勘探法等。特别是在人造地球卫星上安装了遥感器后，通过远距离摄影，以及电子计算机数据处理，可以进行大面积探寻石油。

人类发现和利用石油的历史，十分悠久。

我国的劳动人民早在 3000 多年前就开始利用石油，在古书《易经》里就有利用石油的记载。2000 多年前，我国开采石油作燃料和润滑剂，到 11 世纪，我国开凿了第一批油井，并炼制出粗石油产品——“猛火油”，还加工制取了其他石油制品（例如炭黑、石蜡、沥青等）。

我国北宋著名科学家沈括在他的名著《梦溪笔谈》中，首先使用了“石油”这个科学的名词，在此以前人们都把石油称作石蜡水、石漆等。沈括还提出了石油生存环境和发展前景的科学理论和预测。

目前，世界上对常规能源资源的储量是否有限，也存在着不同的论点。甚至有的科学家认为石油和天然气储量并非是有限的，对石油是由有机物质形成的传统观念提出了严重的挑战。这部分科学家提出了无机生成石油理论。他们认为，碳氢化合物可在地幔深处产生，并沿裂缝周期性上升；不仅在沉积层内，而且在岩浆岩和多孔火山岩内积聚。为了证明无机成油理论，已经有科学家通过实验室模拟地幔深处条件，无机合成出了石油。另外，在绝无生命存在的空间星体上，也已发现类似于石油和可燃气体的物质。这似乎在证明无机生成石油的理论并非是没有根据的。预计，无机生成石油理论在未来将是能源科技发展前沿的重要依据。如果这一理论得以验证，油、气资源则将不是像有人预测的那样在今后 30~60 年会枯竭，而是可为人类服务更长的时间。

另外，随着科学技术的进步，能源勘探技术日趋发达，使得人们对能源资源的勘探储量每年都有增加。

最近，美国在加利福尼亚湾海底盆地发现了“年龄”仅三四千年的“新鲜”石油，经科学家用先进的放射性碳-14 测定法鉴定，证实其“年龄”为 4240 岁，其中最年轻的石油的“年龄”只有 500 岁。这些“新鲜”石油产于浅海盆地之下，周围的沉积物为半公里厚，虽然因不具备储油条件，没有开采价值，但它高效率的转化过程，为科学家研究石油生成提供了绝好的样本。

随着现代工业的发展，人类社会对能源质量的要求不断提高，石油在世界能源结构中，仍占有举足轻重的地位。特别在世界各国工业化进程中，石油作为优质能源得到优先开发。目前世界总能耗中石油占 48%，到 2000 年仍将占 40%。

世界上采油工业已有 100 多年历史，80 年代以前，世界石油产量不断上升，1979 年达到 32 亿吨的高峰。最近几年，世界石油产量有所下降。1982~1985 年的平均年产量约为 28 亿吨。1993 年世界石油产量达 29.81 亿吨，比 1992 年下降 0.6%。

1973 年以前，一些工业发达国家利用廉价石油，支撑着它们高速发展的经济。1973 年爆发了第一次世界性石油危机。石油大幅度涨价，这大大刺激了世界石油勘探和开采业的发展。1979 年发生了第二次世界性石油危机，石油再次发生世界性涨价。石油涨价促进了石油产量的增加。

1986 年开始，出现了世界性的石油价格大幅度下跌，这对石油勘探和开采业是很大的打击。首先是石油勘探业变得不景气，致使新发现的油气储量急剧下降。

目前，全世界油田共有 12500 个，其中超巨型和巨型油田仅占油田总

超巨型油田为石油储量在 14 亿吨以上。

巨型油田为石油储量在 1400 万吨以上。

数的 2.9%，但它们的储量之和则占世界总储量的 80%。

我国 1993 年原油产量居世界第五位。居世界前十位的国家依次是：沙特阿拉伯 39907 万吨；独联体 39220 万吨；美国 34480 万吨；伊朗 18200 万吨；中国 14477 万吨；墨西哥 13317 万吨；委内瑞拉 11659 万吨；挪威 11237 万吨；阿联酋 10946 万吨；尼日利亚 9479 万吨。

3. 干净的能源——天然气

天然气通常指天然气田、油田伴生气和煤田伴生气。早在 3000 多年以前，在我国古书《易经》中就有关于油气的记载。

我国古代把天然气称作“火井”。据晋朝《华阳国志》记载，早在秦汉时代，我国不仅已发现了天然气，而且开始发掘和利用天然气，如书中记载了在四川以天然气煮盐的情景，这比英国（1668 年）要早 1800 年。用天然气煮盐，在四川一直延续到现在。

在常规能源中，天然气是一种干净而且开采比较方便的能源。天然气不但不经加工即可直接作为燃料，供发电、供暖、炊事之用，而且是宝贵的化工原料，用天然气可以制备上百种化工产品。

以天然气作为能源的最诱人之处是，用它作燃料有以下好处：生产天然气的成本比生产烟煤低 97%；开采天然气的劳动生产率比开采烟煤高 54 倍，比开采原油高 5 倍；开采和运输天然气的投资比开采和运输原油低 4%，比开采运输煤炭低 70%；以天然气作燃料，可提高用气的工业部门的劳动生产率，降低能耗和产品损耗；将铁路和航运所用的固体燃料改用气体燃料，能提高运输能力，降低费用，提高劳动生产率；天然气作燃料可简化生产程序，实现自动化，减轻劳动强度。以天然气作燃料的最大优点是，它在 11 种能源中对环境污染和危险度最小，它的广泛应用可改善卫生条件。

随着世界经济的发展和环境保护要求的不断提高，天然气作为一种优质能源逐渐受到各国的重视。截至 80 年代底，天然气在世界一次能源的总需求量中占 1/5。目前，许多国家只处在发展天然气的初始阶段，只有少数国家（如独联体、印尼、挪威、阿尔及利亚和马来西亚等）出口天然气。

预测表明，世界天然气需求量将从 1990 年的 21070 亿立方米增长到 2000 年的 24581 ~ 26762 亿立方米，到 2010 年上升到 29056 ~ 33870 亿立方米。90 年代平均增长率为 1.55% ~ 2.42%。

今后的 20 年里，发展中国家天然气消费量增长速度最快，平均每年递增 3%，而经合组织成员国为 2%，美国则为 1%。

天然气占世界能源的比重将从 1990 年的 20% 上升到 2010 年的 25%。预计，天然气和液化天然气的供应将持续增长，亚洲的长势最猛。

随着天然气的倍受重视，天然气适用技术也开始发展起来。首先是燃烧天然气的电厂日益增多。例如，美国正在新建许多烧天然气的发电机组，由于它的良好环境效应，被列为实现《美国洁净空气法》第一阶段的重要措施之一。

一些工业发达国家正在积极开发天然气汽车，认为可以用压缩天然气作为城市公共汽车、轻型汽车和私人小汽车的燃料。据美国天然气协会预测：1991 ~ 1996 年，美国将有 420 万辆小汽车和卡车用压缩天然气做燃料。日本也开发出了天然气汽车，西部煤气公司研制出的天然气汽车，CO₂ 排放量减少 20%，NO_x 和 SO_x 亦大幅度下降，一种专烧天然气的客车，充一次气可行走 170 公里。

此外，天然气空调机也已进入国际性试验阶段。天然气空调机与常规含氯氟烃的空调机相比，不仅成本低、运行费用少，而且不会排出破坏臭氧层的有害气体，对保护环境有利，还不消耗电力。天然气空调机是以锂溴溶剂为介质，当空气在天然气制冷装置内干燥后，直接与锂溴溶剂接触，然后再

与干净的清水接触，这样不仅可得到冷空气，同时也可去掉霉菌、花粉和病毒等，从而就不会出现使用常规电空调机所带来的“致人疾患的空调综合症”。锂溴溶剂可循环使用，所以运行费用较低。

随着各国对天然气资源应用前景的越来越乐观的估计，它的探明储量正在不断扩大。1993年世界天然气探明储量达142万亿立方米，比1992年增加2.7026万亿立方米。天然气储量居世界前十位的国家依次是：独联体565151亿立方米；伊朗206590亿立方米；卡塔尔70750亿立方米；阿联酋57901亿立方米；沙特阿拉伯52457亿立方米；美国46699亿立方米；委内瑞拉36479亿立方米；阿尔及利亚36224亿立方米；尼日利亚33960亿立方米；伊拉克30989亿立方米。

近年来，一些国家在近海的海底发现了天然气水化物，这是一种新型能源。例如日本已在北海道近海发现蕴藏量丰富的天然气水化物，日本政府打算在今后10~15年内开发利用这种新能源。

我国已开发的天然气资源极少，我国天然气探明储量只为世界天然气探明储量的1%，这是与中国幅员广大的实际情况不相符的。有专家认为中国的天然气资源至少应与美国一样丰富，但目前美国的天然气产量约为中国的40倍。专家预料，中国可能是一个具有潜在天然气资源的国家。某些最大的沉积构造，可能位于鄂尔多斯和四川盆地。

我国已决定兴建陕甘宁天然气进京工程，从1997年开始，第一期每年可向北京供气10亿立方米左右。天然气进京替代大量燃煤，空气中的粉尘、二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物，以及废渣的排放量会大大减少，整座城市的大气环境质量将基本达到世界卫生组织规定的标准。

4. 被人遗忘的能源——油页岩

油页岩是一种可燃矿物，外表呈褐色，这种石头里含有石油的成分，可以燃烧，但发热量比煤低，每千克油页岩燃烧时只能发出几百到几千千焦热量，灰分含量较高，油页岩一般比煤重。

油页岩的成因，与煤和石油的形成有类同情况。近海和沼泽盆地里的动植物，在地壳变动中随着泥沙一起埋入地层深处，经过几千万年的演变，才成为今天发掘出来的油页岩。现代开采出来的油页岩矿中，常常发现乌龟、古树等动植物化石就是它身世的佐证。

通常的石头，人们无论如何也无法熬出油来的，但油页岩却可以通过加热干馏等办法，熬出油来。从油页岩身上熬出来的油呈黑褐色，略带绿色荧光，成分与石油相似，这便是页岩油。不过人们习惯称它为“人造石油”。

油页岩资源是比较丰富的。有人估计，如果把世界油页岩的已知可采储量折算成页岩油的话，则其总量要超过世界石油的总可采储量。

然而，油页岩的开采和利用曾一度被人们所遗忘，有人称它为“被遗忘的能源”。这是什么缘故呢？这要从世界能源开发历史中寻找答案。尽管油页岩开采利用的历史悠久，但由于世界性大规模开采廉价石油，油页岩就被渐渐地遗忘了。

我国油页岩资源十分丰富，远景储量达二万亿吨，相当 800 亿吨页岩油。仅广东茂名矿田可采储量就有 50 亿吨，相当于 3~3.5 亿吨页岩油。

从事能源发展战略研究的专家预计，随着石油的世界性大量消耗，不久将会遇到资源短缺的问题，人造石油的地位将会越来越显得重要。美国、前苏联、巴西、澳大利亚都蕴藏着大量的油页岩，这些国家都制定了本国加快发展页岩油工业的计划。美国计划到本世纪 90 年代，页岩油的产量最高达每天 30 万桶。从世界范围看，页岩油工业在今后一二十年内将会有较大的发展。

5. 用之不竭的“液煤”——水能

水能开发利用的历史也相当悠久。早在古代,我国劳动人民就发明了“水磨”、“水碾”。现代广泛采用的水力发电是人类对水能利用的高级阶段。

水能是一种廉价的能源资源,而且还是干净的能源。水能的开发利用一直受到世界各国的重视,将它放在优先开发的地位。

世界水能资源的新统计和开发程度见表 2 - 3。

表 2 — 3 世界水能资源新统计和开发程度

单位: 亿千瓦时/年

洲别	理论水能	技术可开发	经可开发	1991年水	开 发 程 度
	蕴藏量	水能资源	水能资源	电发电量	(%)
全世界	350000	150000	93500	22700	24.3
亚洲	150000	50000	27100	5560	20.5
中南美	95000	40000	30000	3900	13.0
前苏联	39420	21900	10950	2260	20.6
欧洲	26231	12270	8600	4390	51.0
北美	15053	-	8000	5686	71.7
非洲	-	14000	7000	506	7.2
大洋洲	5950	-	1720	387	22.5

世界上某些国家水能资源的开发情况——美国水电装机容量居世界第一位

据 1992 年 1 月 1 日统计,美国已开发和未开发的常规水电站共 7261 座,装机容量共计 14670 万千瓦,年发电量 5294 亿千瓦时。另外,已开发和已调查的抽水蓄能电站有 87 处,共 4750 万千瓦。常规水电站和抽水蓄能电站合计可开发水电装机容量 19420 万千瓦。

1992 年初统计,已建常规水电站 2304 座,共计装机 7349 万千瓦,年发电量 3066 亿千瓦时,分别占可开发数的 50%和 58%;已建抽水蓄能电站 38 座(其中 18 座为混合式,20 座为纯抽水蓄能)共 1810 万千瓦。常规水电站和抽水蓄能电站合计 2324 座,共 9159 万千瓦。

已建 100 万千瓦以上大型常规水电站 10 座,大型抽水蓄能电站 7 座,合计 17 座共 3110 万千瓦,占总装机容量的 34%。

已建 3 万千瓦以下的小水电站 2007 座,共 823 万千瓦,占总装机的 9%。在能源危机以后,1984~1992 年新建了 686 座小水电站。

正在建设中的常规水电站 130 万千瓦,抽水蓄能电站 97.5 万千瓦。预计,到 2000 年常规水电可达 8020 万千瓦,抽水蓄能电站 2110 万千瓦,合计 10130 万千瓦。

加拿大水电比重占全国总装机容量的一半以上

至 1991 年底,加拿大已建水电站 6027 万千瓦,占全国电力总装机容量 10542 万千瓦的 57.2%;1991 年水电发电量 3053 亿千瓦时,占总发电量 4930 亿千瓦时的 61.9%。加拿大的水电装机容量虽比美国和前苏联少,居世界第三位,但水电年发电量居世界首位,水电装机年利用小时数 5066 小时,设备利用率较高,因其水电站同时担负电力系统的基荷和峰荷。

加拿大全国可开发水电装机容量 16280 万千瓦,1991 年已开发 37%;经济可开发水能资源 5930 万千瓦,现利用率达 51.5%。

加拿大全国 12 个省(区)中,魁北克省和不列颠哥伦比亚省的可开发水电装机容量分别为 6812 万千瓦和 2739 万千瓦,共计 9551 万千瓦,占全国的 58.7%。已开发水电站也主要在这两个省,1991 年底魁北克省已建水电站 2809 万千瓦,水电比重 93.9%;不列颠哥伦比亚省已建水电站 1085 万千瓦,水电比重 86.9%。两省共有水电站 3894 万千瓦,占全国水电装机容量的 64.6%。

巴西水电装机容量居世界第四位

巴西 1991 年水电装机容量为 4608 万千瓦,水电发电量 2490 亿千瓦时,占全国总发电量的比重达 95%。

巴西的水电装机容量居世界第四位,仅次于美国、前苏联和加拿大;水电年发电量已超过前苏联,居世界第三位。

巴西的理论水能蕴藏量为 30204 亿千瓦时/年;经济可开发水能资源 11169 亿千瓦时/年,仅次于我国,居世界第二位。1991 年已建水电站对其经济可开发水能资源的利用率为 22.3%。

巴西首先开发离经济发达地区较近的巴拉那河流域,30 年来在各支流和干流上游已陆续建成 10 万千瓦以上大型水电站 30 座,共计装机容量 2669 万千瓦。最近在巴拉那河中游与巴拉圭边境共建的伊泰普水电站,装机容量 1260 万千瓦,年发电量 710 亿千瓦时,是当今世界上已建的最大水电站,总投资达 234 亿美元,为开工时估价 31 亿美元的 7.5 倍。

巴西的水电建设,很注意水库蓄洪补枯,如巴拉那河上游干支流已建水库的调节库容有 1075 亿立方米,加上伊泰普水库的 190 亿立方米,共计 1265 亿立方米,相当于年径流量 2860 亿立方米的 44%,调节性能很好。

挪威能源消费中水电占一半

挪威的终端能源消费中,水电占 50%,石油产品占 37%,煤和焦炭占 8%,木材和造纸废物占 5%。

挪威现有电力装机容量 2700 万千瓦,其中 99%是水电,仅有 1%即 27 万千瓦的工厂备用火电机组。年发电量中 99.6%为水电。

挪威按人口平均年用电量达 24700 千瓦时,比美国还高出一倍多。

挪威水电建设的最大特点,是在高山上利用原有湖泊或建高坝形成大水库,利用它调节洪枯径流,在其下游建高水头水电站。水库调蓄电能达 768 亿千瓦时,相当于全国年发电量 1083 亿千瓦时的 71%,可以进行很好的多年调节,在水电比重高达 99%情况下,不论丰枯水季都能满足用户用电要求。

另一特点是在山区所建水电站,地下厂房很多。全国大小水电站约 600 座中,有 200 座的发电厂房设在地下,开挖隧洞总长度达 3000 公里。工程较艰巨,但较经济,工期较短。

挪威的水电站,国有的占 29.1%,市镇所有的占 51.5%,工厂自备和私营的占 19.4%。所有水电站都自愿联入地区电网。纵贯全国南北长达 1700 公里的全国电网,将中部的国有水电站与南方和北方的地区电网相连,进行统一调度。国家电力局所建输电设施占 90%。挪威的电网还与邻国相联,相互补充,出入相抵输出较多。

挪威水能资源的理论蕴藏量为 5000 亿千瓦时/年,技术可开发 1700 亿千

瓦时/年,经济可开发 1250 亿千瓦时/年。现已开发 1083 亿千瓦时/年,还有一定资源可供开发。目前主要对早期所建老水电站进行现代化改造,扩建或重建。

日本有 78%水能资源得到利用

1991 年底,日本水电装机容量 3912 万千瓦,其中常规水电 2091 万千瓦,抽水蓄能 1821 万千瓦。常规水电年发电量 892 亿千瓦时,占经济可开发水能资源 1143 亿千瓦时的 78%。

日本所建大型水电站(单站装机大于 25 万千瓦)包括常规水电和抽水蓄能电站共 30 座,合计装机 1878 万千瓦,占全部水电装机的 48%。

其中已建大型抽水蓄能电站 24 座,共装机 1684 万千瓦,最大的是新高濑川电站,为 128 万千瓦。

日本所建中小型水电站比较多,共有 1700 多座,合计 2034 万千瓦,占水电装机的 52%。

正在建设的常规水电站 55 座,共 175 万千瓦,都是中小型水电站。在建的抽水蓄能电站 8 座,共 548 万千瓦。调查研究中的抽水蓄能电站有 44 处,共可装机 3.29 亿千瓦。当前准备兴建的葛野川抽水蓄能电站,利用水头 714 米,安装 4 台单机容量为 40 万千瓦的可逆式抽水蓄能机组,将是日本水头最高、装机容量和单机容量最大的水电站。

计划到 2000 年水电装机将达 4450 万千瓦,其中常规水电 2150 万千瓦,抽水蓄能 2300 万千瓦,2010 年的水电装机拟达 5170 万千瓦,其中常规水电 2500 万千瓦,抽水蓄能 2670 万千瓦。计划中两个 10 年的水电装机平均年增长率分别为 1.6%和 1.5%。

独联体水电建设近况

光电水泵

1992 年底,独联体共有水电装机容量 6436 万千瓦,其中俄罗斯 4257 万千瓦。1992 年独联体水电年发电量共 2254 亿千瓦时,其中俄罗斯 1670 亿千瓦时,塔吉克 140 亿千瓦时,乌克兰 110 亿千瓦时,格鲁吉亚 100 亿千瓦时,其他诸共和国分别为几十亿千瓦时或几亿千瓦时。

俄罗斯联邦、乌克兰共和国、立陶宛共和国、塔吉克共和国、吉尔吉斯共和国、格鲁吉亚共和国等均有一些规模不等的在建工程。

中国水能资源居世界第一位

我国的水能资源理论蕴藏量有 6.78 亿千瓦,年发电量 5.92 万亿千瓦时,居世界第一位,有美好的开发前景。

到 1991 年,我国已开发水电装机容量 3788 万千瓦,年发电量 1248 亿千瓦时,占经济可开发水电发电量的 9.9%。预计,2000 年我国水电总装机容量可达 9000 万千瓦;2000~2020 年再增加 9000 万千瓦,到 2020 年累计达 1.8 亿千瓦;2020~2050 年再开发 1.1 亿千瓦,将我国经济可开发水能资源全部开发出来,达到 2.9 亿千瓦。到那时,我国的水电发电量将雄居世界首位。

我国水电开发采取大、中、小并举的方针,重点开发黄河上游、长江中下游和红河、澜沧江等。目前在建的规模达 100 万千瓦以上的有二滩、岩滩、李家峡、漂湾、五强溪等 10 座水电站,总规模达 2000 万千瓦以上。

1993 年在国家压缩基建规模对投资结构进行宏观调控的情况下,天荒坪

抽水蓄能电站（180万千瓦）和松江河梯级电站（51万千瓦）列为正式开工项目。1994年电力部建议新开工的项目有8项（在广西红水河的龙滩、百龙滩，云南澜沧江，广东广州，吉林松花江丰满，湖北清江高坝洲，甘肃黄河小峡，安徽淠河响洪甸），共计装机容量778.4万千瓦。

此外，还有4项（在湖南沅江凌津滩，福建汀江棉花滩，贵州乌江大冲河洪家渡，四川大渡河支流南桎河）涉及外资（亚洲开发银行）的工程项目。

青海省还采取多方集资，走股份化道路来开发黄河上游水电资源。日前，“尼直康”有限责任公司在西宁召开发起人会议。将由国家能源投资公司、中国华水水电开发总公司黄河水电工程公司、西北电力集团、西北勘测设计院和青海省共同投资23.3亿元，建设“尼直康”三座（即尼那、直岗拉卡、康扬）中型水电站就是一例。合计装机容量47万千瓦，年发电量20.5亿千瓦时。

黄河上游龙（羊峡）、青（铜峡）段，据西北勘测设计研究院1993年补充规划梯级水电站24~25座，总装机容量1608万千瓦，年发电量588亿千瓦时。其中已建龙羊峡（128万千瓦）、刘家峡（116万千瓦，拟增容至130万千瓦）、盐锅峡（39.6万千瓦）、八盘峡（18万千瓦，拟扩建至25.2万千瓦）、青铜峡（27.2万千瓦）等5级；在建李家峡（200万千瓦，计划1995年开始发电）。

最近，国家能源投资公司，甘肃省与加拿大合作开发大峡（32.5万千瓦）、小峡（23万千瓦）、乌金峡（15万千瓦），再加上青海拟集资开发“尼直康”3座，合计12座水电站，总装机容量达667万千瓦，年发电量267亿千瓦时，占黄河上游梯级规划发电能力的41%和45%。黄河上游洪枯调节良好的梯级水电站，在西北电网中发挥了重大作用。

长江三峡工程是跨世纪的特大型水利、水电工程，具有防洪、发电、航运、供水及发展旅游的综合效益。

三峡工程共安装单机容量68万千瓦的机组26台，总装机容量1768万千瓦，年发电量840亿千瓦时，相当于6.5个已建成的葛洲坝水电站（271.5万千瓦），或相当于每年节省5000万吨火电用煤，还可节省1600公里运输线路。与相同的燃煤水电站相比，每年可少排放1亿多吨二氧化碳、200万吨二氧化硫、37万吨氮氧化物，以及大量废渣、废水。

三峡工程将于2008年全部建成，届时将分别向华东和华中输送600万~800万千瓦电力，它对于这两个地区能源平衡将起到重要作用。这两个地区是我国经济发达地区，随着经济的高速发展，对电力要求也迅速增长，三峡工程的建成在开发长江经济带中将起巨大的推动作用。

三峡水电工程建成之后，华东电网与华中电网实行联合运行，有巨大的错峰效益。因为华东、华中两电网最大负荷出现有季节的差异，华东电网的最大负荷出现在每年的6~8月，而华中电网的最大负荷出现在11~12月。华东、华中两电网能源结构不同，华中电网水电比重大，汛期有大量季节性电能，联网后可将部分季节性电能转化为华东电网夏季季节性负荷所需的电力，提高华东电网火电机组检修备用容量。将来全国大电网形成后，可实现跨流域水电丰枯季节互补。统一电网有着巨大的经济效益和社会效益。

6. 能源世界的“巨人”——核能

核能俗称原子能，它是指原子核里的核子（中子或质子）重新分配和组合时释放出来的能量。核能分为两类，一类叫核裂变能，它是指重元素（铀或钚等）的原子核发生裂变时释放出来的能量。另一类叫聚变能，它是指轻元素（氘和氚）的原子核在发生聚变反应时释放出来的能量。

核能有巨大的威力，1 公斤铀原子核全部裂变释放出的能量，约等于 2700 吨标准煤燃烧时所放出的化学能。一座 100 万千瓦的核电站，每年只需 25 ~ 30 吨低浓度铀核燃料，而相同功率的煤电站，每年则需要有 300 多万吨原煤，这些核燃料只需 10 辆卡车就能运到现场，而运输 300 多万吨煤炭，则需要 1000 列火车。核聚变反应释放的能量更可贵。有人作过生动的比喻：1 公斤煤只能使一列火车开动 8 米，1 公斤铀可使一列火车开动 4 万公里；而 1 公斤氘化锂和氚化锂的混合物，可使一列火车从地球开到月球，行程 40 万公里。

地球上蕴藏着数量可观的铀、钍等核裂变资源，如果把它们的裂变能充分地利用起来，可满足人类上千年的能源需求。

在汪洋大海里，蕴藏着二十万亿吨氘，它们的聚变能可顶几万亿亿吨煤，可满足人类百亿年的能源需求。

核能是人类最终解决能源问题的希望。核能技术的开发，对现代社会会产生深远的影响。

核裂变能

核能的成就虽然首先被应用于军事目的，但其后就实现了核能的和平利用，其中最重要也是最主要的是通过核电站来发电。

核电站已跻身电力工业行列，是利用原子核裂变反应放出的核能来发电的装置，通过核反应堆实现核能与热能的转换。核反应堆的种类，按引起裂变的中子能量分为热中子反应堆和快中子反应堆。由于热中子更容易引起铀 235 的裂变，因此热中子反应堆比较容易控制，大量运行的就是这种热中子反应堆。这种反应堆需用慢化剂，通过它的原子核与快中子弹性碰撞，将快中子慢化成热中子。

早在本世纪 50 年代初，人类开始开发利用核能，诞生了核电站。经过 30 多年的发展，核电已是世界公认的经济实惠、安全可靠的能源。

截至 1993 年 12 月 31 日，全世界已有 34 个国家或地区的 422 座（堆）核电站正在运行，总装机容量为 3.56235 亿千瓦；正在建造的核电站有 61 座（堆），总装机容量为 5586.6 万千瓦。全世界 1993 年全年核发电总量为 21817679GWh，核发电量占世界总发电量的 17% 以上。世界核电厂一览表见表 2 - 4。

核能是能源的重要发展方向，特别在世界能源结构从石油为主向非油能源过渡的时期，核能、煤炭和节能被认为是解决能源危机的主要希望。为此，各国都在大力发展核电。

然而特别令人担心的是，根据目前探明的有经济开采价值的铀矿储量，如果继续按现有速度建造眼下的热中子堆核电站，由于它只能利用铀资源的 1% ~ 2%，则要不了 50 年，

表 2-4 世界核电厂一览表

国家或地区	堆数	正在运行总 电功率 (MW)	堆数	正在建 造总电 功率 (MW)	总计堆数	总计总电 功率 (MW)	至 1993 年 12 月 31 日总发 电量 (GWh)
阿根廷	2	1015	1	745	3	1760	86924
比利时	7	5756	-	-	7	5756	515760
巴西	1	657	2	2618	3	3275	15146
保加利亚	6	3760	2	2000	8	5760	...
中国	2	1250	1	950	3	2200	...
中国台湾省	6	5144	-	-	6	5144	373600
德国	20	22529	-	-	20	22529	1762961
芬兰	4	2400	-	-	4	2400	258318
法国	56	60357	4	6064	60	66421	3395919
英国	29	14090	1	1200	30 (36)	15290	1305690
	(35)						
印度	9	2035	5	1175	14	3210	87892
伊朗	-	-	2	2600	2	2600	-
日本	48	39641	6	5887	54	45528	2500910
加拿大	22	16713	-	-	22	16713	1118343
哈萨克斯坦	1	150	-	-	1	150	...
韩国	9	7616	5	4600	14	12216	432156
古巴	-	-	2	880	2	880	-
立陶宛	2	3000	-	-	2	3000	...
墨西哥	1	675	1	675	2	1350	15217
荷兰	2	538	-	-	2	538	76967
巴基斯坦	1	137	-	-	1	137	6992
罗马尼亚	-	-	5	3500	5	3500	...
俄罗斯	29	21242	6	5600	35	26842	...
瑞典	12	10386	-	-	12	10386	889258
瑞士	5	3141	-	-	5	3141	351484
斯洛伐克	4	1760	4	1760	8	3520	...
斯洛尼亚	1	664	-	-	1	664	50050
西班牙	9	7400	-	-	9	7400	550212
南非	2	1930	-	-	2	1930	85467
捷克	4	1782	2	1962	6	3744	...
乌克兰	15	13818	6	6000	21	19818	...
匈牙利	4	1840	-	-	4	1840	...
美国	109	104809	6	7650	115	112459	7938413
总计	422	356235	61	55866	4831489	412101	21817679
	(428)						

资料来源：德国《原子经济》，1994年3月。

经济可采的铀矿也会耗尽。如果到那时，还不能脱离核裂变能利用的初级阶段，人类将可能面临新的能源危机。

在能源新挑战面前，核科学家早已在寻找应战的武器，这就是已经过40多年研究开发的快中子增殖堆（简称快堆）核电站。有了它，相当于把铀资源的利用率提高了50~60倍，那样能源的供应将出现新的奇迹，在今后上千年内，人类完全可以靠快堆发电，保证有充足的能源可用。

快堆的最显著的特点是直接靠核裂变产生的快速飞行的中子来维持链式裂变反应。它以钚-239作燃料，“炉膛”里不设慢化剂，只有冷却剂（钠或氦）。在快堆中，每“烧掉”一个钚-239原子，能够使铀-238吸收中子后新生产出1.4个钚-239原子，这样在快堆中就出现了神话般的奇迹——核燃料越“烧”越多。这就是所谓的核燃料的增殖过程。

快堆开动起来之后，会不断地有铀-238吸收中子变成钚-239，经过一段时间后（例如15~20年），人们可以从“烧”过的核燃料“灰烬”中，提取出足以装备与自身功率一样大的新堆所需要的钚燃料，在此期间，快堆电站只要继续添加热堆中不能作燃料的铀-238燃料，而所得的电能却比热堆核电站还要多。人们把快堆誉为能发电的“核燃料生产厂”。

快堆实际上是核电站家族中资格最老的成员。早在1951年8月，美国建成了世界上第一座实验快堆，而且成功地作了发电试验。虽然当时它的电功率只有200千瓦。可它却是世界上最先问世的快堆核电站。

30多年来，一些工业发达的国家（如美、英、法、前苏联、日本和德国），投入大量人力、物力，耗资几十亿美元来发展快堆。目前，全世界总共有21座快堆。其中在运行的有13座，正在建造的有4座，计划建造的有7座。原型快堆已经成功地运行了十多年，已经证明快堆在技术上是可以实现的，增殖核燃料也是可能的（凤凰快堆的增殖比为1:15）。现在电功率为120万千瓦的大型商业验证快堆正在法国运行。快堆技术已经走出了实验室的大门，正走向工业化应用的康庄大道。

各国普遍认为，快堆是发电堆的最终归宿，特别是在受控核聚变难以在今后相当长时期内工业推广的情况下，快堆发电更是重要。

但需要指出的是，快堆技术至今尚未成熟，重要原因是快堆技术本身要比热堆复杂得多，尚有不少技术关键问题需要攻克。此外，快堆的建造费用要比热堆大得多，现在快堆的造价要比同规模的热堆贵2~3倍。有人估计，当快堆的单堆功率超过200万千瓦时，经济上可能与热堆媲美。预计到下世纪初，人们一定能建造出这样的大型快堆，那时快堆电站将会在全世界推广应用。发展快堆进展最快的法国，计划从下世纪初开始，推广快堆电站工业，因此天然铀的需要量将逐步下降，从而减轻了进口能源所造成的压力。快堆必将是热堆核电站向核聚变电站过渡的桥梁。

核聚变能

人类将最终解决能源需求的希望，寄托在受控核聚变的实现和推广上。核聚变能是利用轻原子核（如氘-氘或氘-氚）在极高温（几千万度或上亿度）下聚合成较重的原子核（如氦）过程中释放出来的巨大的能量。核聚变的主要燃料是氘，可以比较容易地从海水中提取到。据推算，每升海水中所含的氘若完全“燃烧”，可产生相当于300升汽油的能量。海水中至少含有35万亿吨氘，可以供全世界享用百亿年以上。更为可贵的是核聚变反应中几

乎不存在放射性污染，而且核聚变反应堆在任何时刻都只有一丁点的氘在聚变，所以不存在失控所带来的危险。聚变能是名符其实的理想、干净的能源。但是，要使核聚变能顺从地在人为控制下为人类服务却是一件十分困难的事。为了驯服核聚变能，从 50 年代初开始，科学家们就热心地进行受控核聚变的研究。

全世界已有 40 多个国家在进行受控核聚变的研究，它们投入了大量人力和物力，建造了几百个实验装置，从事研究的科学人员约有 12000 多人。目前，全世界每年用于核聚变研究的费用已超过 20 亿美元。

经过几十年的艰苦努力，受控核聚变为什么进展如此缓慢呢？主要是为了实现受控核聚变的条件非常苛刻。首先，我们无法同时造成太阳中心那样高的等离子体密度和极高的温度，只有追求比太阳中心更高的温度来解决问题。理论研究表明，氘核的聚变点火温度达四亿摄氏度，氘氚混合气体的热核反应也要在五千万摄氏度才能进行。要创造这样的环境在技术上是困难重重的。随着新技术的开发利用，人们试用电流、激光等方法来加热气体。其次，还要使这样高的温度保持一段时间，等离子体温度越低，数量越少，密度越小，超高温保持时间就越要长。还有，超高温的等离子体，有强烈地向外扩张的特性，必须有极强的磁场来约束住它们，绝对不让它们与四周容器壁接触，否则任何材料也挡不住如此高的温度，顷刻气化，变为乌有。要解决这些重重困难，有待于激光技术、超导技术、新材料技术等崭新技术的飞跃发展。

科学技术的进步，不断地给受控核聚变的研究带来福音，经过了漫长的接力赛跑之后，受控核聚变的研究已经到了关键的时刻。1982 年 12 月 24 日，美国建成了一座有三层楼高的“托卡马克型”核聚变实验反应堆（TFTR），从设计到建成这座核聚变实验堆总共花了七年时间，耗资 3 亿多美元。设计这座反应堆的目的是为了实现输出能量等于输入能量，以便证明实现受控核聚变的可能性。

我国进行可控核聚变的研究也已多年，并取得一定的进展。我国建有近十个小托卡马克受控核聚变试验装置，其中最大的是“中国环流器一号”，已于 1984 年 9 月建成，并顺利启动。经过一年多的调试，已于 1985 年 11 月 16 日通过国家验收，它为我国核聚变能的研究和等离子体技术的发展，提供了有效的手段。

现在，美、英、俄等国正在共同建设一座博采众长的国际核聚变反应堆，这种国际核聚变堆将采纳 30 年来全世界核聚变研究的成果。它的设计输出热功率为 62 万千瓦，真空室半径为 520 厘米，等离子体磁约束环形半径为 130 厘米，比美国新建的核聚变实验堆规模要大一倍。各国科学家寄希望于这座核聚变堆在受控核聚变攻关中实现质的飞跃。最重要的是，要求在聚变反应中得到的能量超过输入能量，从而证明实现受控核聚变发电在技术上和工程上是可行的。

当然，人类要真正用上廉价的聚变能，尚需经过艰苦的奋斗，经受时间的考验。有人估计，到 2020 年可以建成实证堆，然后，经过工程技术和经济上的验证，才能逐步地推向商用。总之，在能源革命中占有重要地位的核聚变能开发和利用的曙光已在前头。

7. 来自天边的能源——太阳能

光芒四射的太阳是地球上万物生长的能量源泉。尽管它辐射出来的巨大能量只有二十亿分之一到达地球，其中又有一半被大气反射或吸收掉，但每秒钟到达地面的能量仍然高达 81 万亿千瓦 相当于当代全世界发电能力的八万倍。

太阳能是清洁的可再生能源，而且几乎到处都有。但利用太阳能有很大的难度，主要是它照在地球上的能量密度太小，过于分散，而且易受多云、阴雨等气象变化的影响而时断时续。若大规模利用太阳能，投资、设备费用也很高。

尽管如此，太阳能仍然是诱人的。有人估计，只要将撒哈拉大沙漠上的全部辐射能的百分之一利用起来，就比现在全世界消耗的能量要多得多。太阳能无疑是潜力最大的能源。

人类发明了许多利用太阳能的方法，太阳能已开始为现代社会的生活和生产服务。除了太阳能热水器、太阳能灶等早期产品外，太阳能电池、太阳能发电站相继问世，太阳能动力人造卫星、太阳能汽车、太阳能游艇、太阳能飞机、太阳能电话、太阳能彩电、太阳能收音机、太阳能计算器等五花八门的新产品也不断涌现出来。

太阳能热水器

它是利用热箱原理制作的一种太阳能热水器具。首先是将太阳光能转变成热能，然后通过冷热水自然循环而得到热水。70 年代初，世界性石油涨价是促使太阳能热水器发展的一味“催化剂”。美、日两国分别销售了几亿美元的太阳能热水器。澳大利亚、希腊、以色列的许多地区，都广泛利用太阳能热水器为家庭供应热水。英国已经有 2 万多个住宅采用太阳能热水器，日本有 10% 以上的住宅利用太阳能热水器供应热水。澳大利亚有 10 万多个住宅装有太阳能热水器。

许多国家都在研究开发新型的太阳能热水器。例如，奥地利已研制出一种新型太阳能热水器，它既是集水器又是蓄水器，不依赖阳光的方向。其球体外壳由玻璃制成，球体内部是一个中心固定的容量为 30 升的铬镍钢球。使用普通的蛇形管将冷水输入该装置内，由钢和玻璃球之间的一只高真空管（类似一只热水瓶）加热并保温。试验结果表明：在一般的阳光条件下，该装置在 6 小时内能把水加热到 74℃，在模拟的环境温度为 18℃ 的 12 小时夜晚期间，水温降至 40.2℃。

国外新近还发明了一种新颖的太阳能热电装置，它集太阳能供热和发电于一身，很有发展前途。新发明的一种太阳能热电装置在结构架上装有轴对称的半圆柱状凹面反射屏，能高效率地将光线反射到聚焦线上，使其高度聚焦，形成条状高热区。

在上述高热区，有用透射材料制成的条形太阳能加热器，装在用导热材料制成的容器内，能直接利用聚焦光线，能对食品进行烘烤和蒸煮。而且加入太阳能电池，利用聚焦光线产生电能。发电时，可在太阳能加热器的夹缝内通入冷水进行冷却。加热后的水则流入贮水箱，可供随时取用。

太阳热水工程

日本还研制成功太阳能蓄热发电系统，现在已在日本香川县仁尾镇安装了一台 1000 千瓦的太阳能蓄热发电系统，在该系统中，集热器把太阳能聚集起来加热水；四台熔盐蓄热器用来加热蒸汽，并使之过热；四台蒸汽蓄热器每台高 15 米，直径 2.5 米，工作压力 4.2MPa。

整个系统的工作过程为：水由太阳能集热器加热成为高温蒸汽，并送到熔盐蓄热器内使之过热，经减温成一定值后进入汽轮机做功发电，排汽经冷凝后送入空气抽出器和脱气器中，用蒸汽加热除气，之后送回集热器，完成一个热力循环。

当天气晴朗，太阳能集热器产生的蒸汽量大于需要量时，剩余的蒸汽分别用于加热熔盐和向筒内充热，把热量贮存起来；在气候不好或夜间时，集热器产生的蒸汽量小于需要量，此时蓄热器放热，与集热器出来的蒸汽一起，进入熔盐加热，带动汽轮机发电。

通过加装蓄热器，变波动汽源为稳定连续的蒸汽，稳定了汽轮机发电，满足了用电需要。

太阳能电池

太阳能电池的工作原理是使太阳光照在光电材料上使光能直接转换成电能，1954 年诞生了世界上第一台硅太阳能电池，随后它被用作人造卫星的电源，从而取代了只能连续使用几天的化学电池，使卫星电源安全地工作了 20 多年之久。

太阳能电池的缺点是造价高、集光板占地面积大、贮能困难、阴雨天不能发电等。30 多年来，通过大量研究和试制，成本不断降低，品种不断翻新，产量不断增加。从 1981 ~ 1984 年，全世界的太阳能光电池产量增长了三倍，1984 年达到 2.28 万千瓦发电能力。预计本世纪末世界太阳能光电池容量将达 500 ~ 1000 万千瓦。1983 ~ 1992 年世界光电池产量见表 2-5。

太阳能电池新技术的开发已成为世界热门，近年来取得了可喜成果。现在转换效率良好的硅系太阳能电池可吸收太

表 2 - 5 1983 ~ 1992 年世界光电池产量

(单位：千瓦)

	1983 年	1985 年	1990 年	1991 年	1992 年
世界总计	21700	22800	46500	55300	57900
日本	5000	10300	16800	19800	18800
美国	13100	7700	14800	17100	18100
欧洲	3300	3400	10200	13400	16400
其他	300	1400	4700	5000	4600

资料来源：日本《能源》1993 年第 5 期。阳光中较长波部分并转换为电能，最大转换效率为 20% 左右。而用多层积层太阳电池可吸收各种波长的太阳光，提高太阳电池的转换效率。

广岛大学和日本中国电力公司共同研制了超高效率太阳能电池元件。这种元件，上层是吸收太阳光短波波长成分并转换为电能的化合物半导体太阳能电池，下层吸收通过上层太阳能电池的长波长成分并转换为电能的硅系太阳能电池，是积层的串联式太阳能电池，这种电池的制造技术正在开发中。其电池的综合转换效率理论上已确认，可达到 35% 以上。

日本通产省 1994 年度预算约 3 亿日元的研究费用于研制光电转换效率高达 40% 的太阳能电池。这项计划将研制的新型太阳能电池有以下类型：在硅衬片上积以砷化镓、砷化锑、镓化磷等，用透镜集光型；单晶硅型；铜、铟、硒等化合物的半导体型；非晶锗型。计划目标是，到下世纪初，砷化镓系太阳能电池的光电转换效率达到 40%，单晶硅型达到 30%，其他化合物半导体和非晶型达到 20%。

现在，国外已经出现了一些建材一体型太阳能电池，这种太阳能电池有以下优点：太阳能电池和建筑材料一体化，不需支撑台架；太阳能电池安装于屋顶，不需占据设置的土地；设置太阳能电池的屋顶，不需一般的建材。

建材一体型太阳能电池最早是在玻璃基瓦上直接形成 a-si 太阳电池的太阳能电池瓦，样品已出厂。其后，又开发了板式建材一体型太阳能电池（以下简称建材一体型太阳能电池）。这种太阳能电池呈平面形状，易降低生产成本。而且其形状很像用于洋房的板式瓦，可望得到普及。

建材一体型太阳能电池的特别核心问题是管板问题，它与现有的太阳能电池不同，它是作为“建筑材料”（屋顶）所必须使用的部分。在日本建筑综合试验所进行各种性能试验，结果认为，这种与建筑材料一体型太阳能电池作为建筑材料是相当实用的。

使用建材一体型太阳能电池时，必须控制其屋顶的温度上升。因此，必须使电池的设置面盖在屋顶面上，做成双层屋顶结构。为确保这种太阳能电池室外工作的可靠性，用 75 块建材一体型太阳能电池做成屋面板模型房，试验证明，此房能经受令人担心的恶劣环境的吹刮，十分耐用且实用。今后将使其实用化，并开展将该产品用于太阳能空调系统和个人住宅用太阳光发电系统的应用研究。

瑞士研制成一种新型太阳能电池板，将它装在窗户上可以节省能源。这种被誉为“三明治式”的太阳能电池板是根据植物进行光合作用的原理研制成的。它的最大优点是除了能导电的特殊玻璃以外，其余皆取自普通材料，而且易于安装。这种特殊的玻璃好比三明治的两片面包，位于太阳能电池板的里外层。光通过以碘为主的电解质发生散射而达染色层。染色层能像植物中的叶绿素那样捕获光子。光子把染色层里的电子推入“三明治”的最下一层——二氧化钛半导体薄膜。这个厚度只有 10 微米而又透明的薄膜能捕获电荷，把电子送入二氧化锡导体层。这一层位于窗户里层玻璃板上。二氧化锡层指挥电子工作产生电流。

这种太阳能电池板能将照射到它上面的 7.1% ~ 7.9% 的阳光转变为电能，其成本只是同样效果硅太阳能电池板的五分之一到十分之一。

瑞士一位工程师还设计出一种可嵌在玻璃间的厚 1/4 英寸的光电板效率极高，而造价却低，最终可藉玻璃窗发电发热。光电板为一块导电的氧化钛，外涂染料作为天线，染料分子一个个地传递电子。光又将染料分子的电子击出，将其传往氧化钛，形成电流。电流传至光电板另一面的氧化锡涂层，负电荷传至电解液中的中性碘分子，后者收集电子送回到氧化钛导体中，过程周而复始。光电转换效率 7% ~ 12%。复合光电池效率较高，但也较贵，较适合特殊用途。氧化钛吸收光能效率高，是由于其表面粗糙。这种光电板每平方米面积可产生 150 瓦电力，寿命约 5 年。现由 ASEABrown-Bover 及

Sandoz 两家公司开发商业应用的光电板，不久可正式生产。

此外，还进行其他太阳能电池的研究，如美国研制的太阳能分子电池以及太阳能电池的特种材料等。

太阳能电池产业是全球增长最快的高技术产业之一，太阳能电池的发货量 1975 年大约只有 2000 千瓦，到 1991 年已增加到 5.5 万千瓦，年增长率超过 15%。太阳能电池转换效率已提高到 20% 以上，在 80 年代发电成本已降低 3/4，但要与电力网竞争还要再降低 2/3，预计今后 10 年内可以办到。

微机控制的太阳电池测量与分析系统

太阳能光电池实用化推广已被许多工业发达国家所重视，其中瑞士的太阳光发电计划跃居世界第一，计划到 2000 年可设置 5 万千瓦太阳光发电系统，成为太阳光发电最多的国家。

随着人们对环保的关心和光电池制造技术的改进，日本的光电池已接近实用化，加上最近在应用技术方面的改进及日本政府补助和余电上网等优惠政策，居民住宅用太阳光发电的推广步伐将加快。如生产光电池的平井技研公司最近开发成功住宅用光电池板的标准规格，使生产和安装价格大幅度下降。新规格为 10 平方厘米方形电池板 6×8 枚、5×8 枚、8×9 枚和 5×9 枚共 4 种，可适应所有的单位屋顶。由于便于大批量生产和安装简便，每瓦售价仅 300 日元，加上施工费总计才 200 万日元。高知县南国市保险代理商井口正俊，在住宅装上了并网式太阳光发电系统后，运行一个月来除满足全部自用电外，还向电网供电 47.5 千瓦时，井口对此十分满意，并正式向通产省大臣和资源能源厅长官建议，尽快采取有利于环保和节能的光电普及措施。

目前世界上最大的太阳能电池在美国佐治亚州本宁堡，它的面积为 44515 平方米，每天可供热水 1800 多吨，供 6500 人生活使用。这个太阳能电池是用太阳能加热空气的，它包括 80 个独立的太阳能膜板，分 4 行排列，每块膜板长 61 米，宽 4.72 米，另围以 0.4572 米高的水池墙，底部以 8.89 厘米高的水为储热流体。每块膜板上覆以高分子强化玻璃纤维制成的波状面盖，面盖的透射率达 89%，可使水温升到 60~70℃。

这个太阳能电池的优点是：在空气加热器中，不发生任何锈蚀；液体泄漏不像水加热器那样严重。

用与植物叶绿素相同的原理，将太阳光能吸收进行发电的氧化钛 (TiO_2) 元件，一年后实用化的可能性相当大。这种光电元件光转换效率，100 平方厘米模件达 12% 以上，1992 年已达到 15%。它不仅对直达日射有很好的发电效率，即使散乱光的发电效率也很高，工作温度范围 -5℃ ~ +75℃，大量生产可降低成本。电池面积，目前是 100 平方厘米左右，不远的将来可扩大到数平方米。生产成本，如进入批量生产阶段，每 1 平方米面积电池为 100~150 美元，功率可提高到 1 千瓦级。这种光电转换元件，与一般的以硅等固体内的半导体理论为基础的元件不同，它是将 TiO_2 作为感光材料的电解液式电池。

小型太阳能光电和风力发电混合系统

太阳能发电站

太阳能发电站是指将太阳光聚焦到一座几十米高的塔顶锅炉上，利用太阳能热将水烧开使其变成蒸汽，再由蒸汽推动汽轮发电机发电。或者用太阳

能热使低沸点工质沸腾，变成蒸汽，以推动汽轮发电机发电。

1980年12月，欧洲九国在意大利建成了一座电功率为1000千瓦的太阳能电站，耗资1200万美元，占地2400平方米。目前，世界各国都在积极采取措施，降低太阳能发电站的造价。

美国南加利福尼亚爱迪生公司于1993年3月成立了商业的太阳电力公司，并实施先进的战略计划。

太阳计划投资3900万美元，是世界上最先进的没有污染物排出的塔式太阳能发电计划。预定使用新型的熔融盐技术，并将在商用太阳能发电设备（出力1万千瓦）中使用。

太阳是太阳的技术成果，太阳是使用1800台反射镜收集到的太阳能加热塔上的水，用其蒸汽推动透平运行的太阳能发电设备。太阳也使用反射镜，但所获得的太阳能用于加热熔融盐，这种盐在没有太阳时也可将热保存。

太阳能利用的主要目的是将太阳能转换为电力，试验证实，熔融盐技术是最经济最实用的技术。利用熔融盐的塔式聚光式发电设备在白天收集太阳能并储存，在必要时产生电力。

南加利福尼亚爱迪生公司准备1995年完成太阳的工程技术设计、筹措和建设，1998年完成实证试验。

太阳计划的技术要点和优点如下：熔融盐基本上是无害的，到648.89也不会产生腐蚀，在537.78左右也可发挥其性能。与含油溢出污染地下水的现有设备不同，如果有熔融盐溢出，可以将其回收、净化，并返送回系统中继续使用，这样不会产生污染。计划预定将水蒸汽储气罐变为熔融盐，盐成为贮热媒体。所使用的盐是钾、钠的硝酸盐，一般为硝酸钾，熔点为223.89。在287.78~565.56运行。

爱迪生公司实施的第2个计划是在加利福尼亚州Zzyzx的沙漠研究中心实施。该计划的目标是探索向偏远地区提供发电设备和建设的可能性。现在其可移动发电设备正在将能源提供给具有12栋建筑物的沙漠中心。最近，Zzyzx的电力主要由丙烷或柴油发电机获得，尚存在产生噪音的污染问题。

新的系统由10千瓦的PV模块和5180瓦时的密封型蓄电池组成。这种新系统还备有阴天或能量使用多时的蓄电池充电设备和丙烷发电机作辅助电源。

爱迪生公司南岸大气管理部，在高速公路备有电动汽车自动充电用PV设备。这种试验设备是24千瓦的PV阵列，装上太阳能充电孔，设置于管理部停车场的简易车库屋顶，PV将太阳光转换为电力，再用转换器将电能转换为汽车所需的交流电。

太空发电站

由于太阳向地球送来的能量易受多云、阴雨等气象变化的影响，给地面太阳能的开发利用带来一定的困难。因此，科学家们又将探索的眼光透过云层移向太空，使得一个雄心勃勃的大胆设想——开发利用太空太阳能，以期解决21世纪全球规模的供电和能源利用问题。

1968年由美国格拉泽博士提出的这个开发太空太阳能发电蓝图，在70年代世界能源危机时受到广泛关注，美国航天局曾耗资2000万美元进行研究，以后日本、前苏联和欧洲各国也进行了各种研究。近年来，随着光电技术、航天技术、微波技术等高科技的飞速发展，也加快了这一蓝图的进程，

使这一设想有可能得以实现。为此，1991年8月来自世界各国的数十名科学家会聚巴黎，进一步讨论了建立太空发电站的技术问题。

格拉泽设想的太空发电站，将被放置在距地球36000公里的同步轨道上运行，能固定在一个位置向地面的固定区域供电。蓝图中的发电站的太阳能电池板组，宽50公里，长100公里，可以每天24小时进行“三班”连续作业，而不受任何影响，高效地吸收太阳能，将其转换为电能，以强大的微波流的形式发送到地面接收站，接收站直径为9公里的“整流天线场”，接收后再经转换器将微波重新变成用户所需的电力。该发电站的发电能力设计为500万千瓦，其电力足够供应整个纽约市的用电。

科学家预测，世界首座太空太阳能发电站，将由美国在本世纪末，首先上天发电。到2025年将会有上百个这样的人造太阳能转换发电站，高悬在太空环绕地球运行，源源不断地将太阳能转换成电能，造福于人类。

日本通产省开始致力于发射搭载太阳能电池的同步卫星，将太阳能传送到地面的宇宙阳光发电系统的开发。为试制能量收发设备等，新能源产业技术综合开发组织(NEDO)从1994年度起将设立专门委员会，着手开始设备的正式试验。

宇宙阳光发电系统先在人造卫星上安装太阳能电池，利用放大器将吸收的太阳能转换成波长极短的微波(极超短波)，送到地面的收集器并在地面重新获得电能。

1994年起将试制发射机，进而转入实验阶段，试制机的开发预计由设在NEDO内的委员会担当。

美国航空航天局也将宇宙阳光发电列入计划。日本通产省在进行试图自主开发之同时，还在研究与欧美有关研究机构等就系统的实现开展协作。

日本文部省宇宙科学研究所于1993年2月18日进行宇宙微波送电试验。计划从鹿儿岛县内之浦町的鹿儿岛宇宙空间观测研究所发射小型火箭S520号。到达上空二百多米高度后，分离出子火箭，然后由母火箭向子火箭进行4分钟的微波送电试验，以查明微波对电离层的影响。即母火箭载发电机发射约800瓦的微波，由距离母火箭16米左右的子火箭以天线接收，同时查明当微波通过电离层时对地面短波通讯有无影响。

宇宙发电于1981年由美宇航局和能源部提出，设想在地球上空建 60×1000 万千瓦大型光伏电站以充分利用太阳能向地球发电，由人造卫星和宇宙空间站送电。近年来，作为解决地球温室效应的根本措施，由日本京都大学和神户大学开展基础研究，并预测2000年从10千瓦级起步，2050年将达50亿千瓦。在1992年夏从地面微波送电操纵的飞机模型已试飞成功，故接着开展此项试验。

太阳能的多种用途

太阳光照明：太阳光采光系统已获日本优秀技术奖。开发这种采光系统的目的，在于提供利用地下空间建植物工厂、地下住房等所需的阳光。这种采光系统经改进还可作为家庭用采光系统，也可使采光面积由现在的5平方米增到30平方米，实现其大型化和超大型化。太阳采光系统具有以下特征：

使用反射的导光方式。用反射镜采光，成本低且采光效率高；由于用空间直接导光，几乎不产生导光距离的光衰减，且导光效率高。采用直接跟踪太阳方式。可任意选定设置装置地点和方位，也可和建筑物合并设置；

采用计算机跟踪太阳，不需停电时使用的非常蓄电池；雨天、阴天和夜间可自动停止，节省运行费用。在跟踪太阳光时，用单纯的连杆机构控制反射镜，向所定方向导光，结构简单，而且不会产生累积误差。阻止有害紫外光和红外线进入。

太阳光采光系统由丙烯制的圆顶和反射镜等组成。使用该系统紫外光和红外线不能一起进入。

现在以住宅正厅、北侧居室、地下室等为对象的小型太阳采光系统已批量生产；可为地下 35 米的地下室送入 3 万勒克司自然光的中型采光系统已安装于美国明尼苏达大学的地

下空间中心，由多面反射镜组成，可对办公室的正厅等大面积采光，而且采光效果相当好的大型采光系统也已建成。

太阳能氢能发电：加拿大多伦多地区能源负责人宣布，政府已拨款 11.8 万加元用于开发一种太阳能氢能发电系统。承担这项开发任务的是多伦多地区的一个电解工业公司。这项任务能有效利用电解水系统，开发氢储存系统，研制太阳光氢能发电系统。首先用工业电解装置将水分解为氢和氧，并以它们作为燃料发电。另一发电系统是太阳能电池，将其所发出的电能用于电解过程。两者结合使发电成本有所降低，又由于氢为清洁燃料，故这种发电系统对环境无污染，对一些无大电网供电的边远地区而言是经济、实用的发电方式。

太阳能汽车：日本东京电机大学工业部和本田技研工业公司、精工埃普孙公司、京陶公司等单位合作开发成功轻型太阳能汽车，在晴天时充电 3 小时后便可供行驶 1 小时（约 40 公里），同时，还可利用汽车停车场的光电池充电，延长行驶时间，这样可减少汽车排气污染，给城市带来很大好处。

该车原型车采用本田技研工业产品“今日牌”轻型车进行改装，驱动用新开发的轻型高效直流电动机，最大出力达 16 千瓦，能源转换效率高达 85%，比普通的无刷直流电动机高 5 个百分点；重量仅 29 公斤，又比原机轻 25%。光电池板为多晶硅电池板，在车体上装有 2 平方米集光板，此外，另在停车场屋顶上装有 10 平方米，可向车上的电池充电，充足电后一次行驶可达 240 公里，最大时速可达 90 公里。此车已经在日本东京代代木公园举行的“低公害车展览会”上展出。

日本电气公司研制成四轮高速太阳能汽车，起名为“童梦”F9100 号，车长 5.1 米、宽 1.9 米、高 1 米，可载 2 人，马达最大功率为 20 马力，最高时速 100 公里。它为当今世界最高速太阳能汽车。

太阳能汽艇：日本三洋电机和山叶马达配合，设计出一种 Amorton Floner 双底汽艇，这种汽艇由非晶硅太阳能电池供电。太阳能电池发的电通过舷外马达的电池，推动马达运转。艇速可达 4.02 公里/时，太阳能电池完全充电可以行驶 13.3 公里。

太阳能飞机：70 年代末，国外开始研究太阳能飞机。1979 年 4 月 29 日，美国加州的弗拉博布机场，一架“太阳高升”号太阳能飞机起飞，在 12 米高度只飞了 1 分钟，航程才 800 米。同年 6 月 13 日，英国的“太阳一号”太阳能飞机，以每小时 65~78 公里的时速，飞行了 1200 米。1980 年 8 月 7 日，美国的“浮游企鹅”号太阳能飞机，在加州爱德华军用飞机场飞行了 15 分钟，航程 3.2 公里。1981 年 7 月 7 日，美国设计师麦克里迪设计制造的一架取名

为“太阳挑战者号”飞机，第一次成功地飞越了英吉利海峡，并以每小时 50 多公里的航速，飞行了 5 小时 23 分钟，航程达 302 公里。经过设计和制造上的不断改进，太阳能飞机正越飞越远。

美国洛克希德公司正在研制一种带电动机和太阳能电池组的无人驾驶飞机。太阳能电池组给蓄电池充电，驱动一台发动机，即使在夜间该发动机的功率也可达到 12 千瓦。这架翼展 100 米、重约 1 吨的飞机不会污染环境，实际上它可以永久在空中飞行，只有每年一次的例行修理才需要它返回地面。这架飞机于 1993 年试飞，高度为 20 公里，利用电视摄象机对农作物的成熟情况进行观察，以及完成其他使命。

日本三洋电机首创太阳能飞船，取名为“太阳蛋”。太阳能飞船全长 7 米，高 2.5 米，飞船顶部装有 5.6 平方米、输出功率约 280 瓦的太阳能电池板，通过光电转换产生电能，并蓄存在镍蓄电池组中，作为推动飞船螺旋桨电机的动力源。由于飞船采用太阳能作为动力，因此无需从地面供给能源，可长时间在空中飞行。

太阳能冷冻机：印度科学家研制成完全靠太阳能运转的冷冻机，达到了免费运转。

该机的致冷基本原理和通常的冷冻机是相同的：冷冻剂在低压下通过绕在冷冻器上的冷冻管循环，由于压力降低，便蒸发为气体，结果从冷冻器吸走热量。

但是在这台机器内，通常用电力驱动的压缩机已由一台吸收发生器所替代。

完全靠太阳能的冷冻机，冷冻剂蒸气并不先受到压缩，而是被一种液态吸收剂吸收，因此，这一溶液便受到了压缩。由于压缩蒸气比压缩液体要多消耗能量（需多耗 150 倍的电力），所以这台设备就大大地节省了能耗。

只要少许热量，便可把冷冻剂从溶剂中蒸发出来，变成蒸气，因冷冻剂沸点比吸收液低。蒸气由此到达冷凝器凝结为低压液体。低压液态冷冻剂由此循环到冷冻器内蒸发吸热、致冷。

太阳能空调机：日本三洋电机公司研制的太阳能空调机是用太阳能电池和商用电源运行的家庭用倒向式空调器，在日照量少的阴雨天或夜晚，以商用电源作备用电源，可放心使用。这是世界上最早的商品化太阳能空调机。该机具有以下特点：干净，无二氧化碳和有害气体放出；与商用电源并用，不用担心受天气影响；太阳能电池根据日照量发电，对夏季电力调峰有相当大的作用，并可进行最大量的电力贮

山西长治——晋城太阳能供电微波中继站存。

太阳能电池可设置于任何形式的屋顶，方向宜向南，也可东西向。

太阳能电池根据日照量发电。晴天可供给空调器电力消费量的 50% 左右，而在阴雨天发电能力减少，但由于气温升值少，可提供空调消费量和晴天差不多。

太阳灶：由北京节能技术服务中心研制的新产品 PBD1.8 - A 折叠式太阳灶的灶体由三个镶嵌反射板的箱体和调节装置组成。反射板用复合材料制造，具有较高的光学效率，因而热效率很高，其接收器底部温度可达 800 ~ 1000 。

这种折叠式太阳灶的特点是调节装置的零件可拆卸，装在中箱背盖内，

两个侧箱可以折叠收起，形成一个箱体，因而保存及运输极为方便，适合于家庭及边远地区使用。

美国推出一种价廉实用的简易太阳能灶。该灶用硬纸板、玻璃板、薄金属板和铝箔制成，分内、外箱两部分，两箱之间为绝热层。做饭时，只要把外箱盖打开，面向太阳，把蒸饭用的器皿放在黑色金属板上即可。这种太阳能灶的最高温度可达到 135℃，蒸熟 7 公斤米饭需要 2 小时。

太阳能净化环境：现有净化污水的方法，是不能去掉水中的有害物质，只能简单地将有害物质排放到大气中去，或者输入到碳化床内加以脱除，但是，美国的许多工程师认为，太阳能有助于消除污水中的有害物质。

美国新汉普大学的弗雷德拉·K·马瑟在美国化学工程师学会年会上说，有许多研究人员对利用太阳能净化地下水进行了可行性研究。

新汉普大学利用 TiO_2 作催化剂进行过多次试验，使阳光能更加有效地净化含有毒物质的水。

美国国家可再生能源实验室的格雷格·格拉策梅尔说，他们也有过类似的发现。过去在实验室和现场的试验中，已证实了所聚集到的太阳能能够消除氧化物、多氯联二苯和呋喃等许多有害的化学物质。

随着太阳能技术的发展，格拉策梅尔说，可将太阳能的强度聚集到比正常强度高 2300 倍。这样，就可使太阳能更加有效地消除有害物质。

他还说，经过研究表明，阳光中的高能紫外线光量，当其接触到有害废物时，也许可将有害废物焚毁。

格拉策梅尔又报告说，美国国防部经过美国武装有毒和有害材料机构，正在考虑利用所聚集到的太阳能，来消除各种武器上的污染物。

美国国家化肥和环境研究中心的戴维·萨拉德在会上也说，在 TiO_2 的作用下，阳光可以消除污染地下水的农药，能提供最有希望的技术。

在试验中，美国能源技术中心迈克尔·普拉里说， TiO_2 催化剂仅能捕集到 4% 的太阳光谱，这样就“大大地限制了利用太阳能处理废物的效率”。

8. 插上翅膀的能源——风能风能是空气的动能，它是自然界存在的取之不尽的能源之一。产生风能的源泉是太阳，地球的各处受到太阳光照射，因受热情况各不相同，温度差异很大，温差进而产生大气压差。空气便由压力高的地方向压力低的地方流动，从而产生自然界普通存在的现象——风。

风的能量是很大的，台风可以拔起大树，吹倒房屋，飓风可以把万吨巨轮掀翻。例如，1949 年 11 月，大西洋发生的一次风暴，使 600 多艘轮船覆没；我国新疆罗布泊湖附近，古代有一座楼兰城，在一次风暴中被吹来的黄沙所掩埋；欧洲一次大风将 25 万棵大树连根拔起。

然而，风力也可被利用来为人类造福。人类利用风力要比煤炭和石油都要早。早在二千多年前，我国已开始用帆船；明代发明风力水车提水。我国郑和下西洋率领的就是帆船队；哥伦布横渡大西洋，发现美洲新大陆，也是驾驶着帆船完成这一历史使命的。

风能的利用方式大体上可分两种：一种是将风能直接转变为机械能应用；另一种就是将风能先转变成机械能，然后带动发电机发出电能加以使用，这就是风力发电。

将风能转变成机械能的装置就是风车，它是由几片桨叶组成的。传统的风车是采用水平轴式的，近代一些国家研制出了成本低、结构简单的立式式

风车。

利用风力来发电，是现代利用风能最广泛、最普遍的形式。

传统的风力发电方法是把风车、发电机等设备放在铁塔上，风力机可以绕铁塔做偏向转动，靠尾舵或自动控制系统来定向。

19世纪末，人们着手研制风力发电。1891年，缺乏煤炭资源的丹麦建成了世界上第一座风力发电站。进入20世纪，法国、德国、荷兰等国也都开始研究风力发电。第二次世界大战期间，因为燃料缺乏，一些国家积极研制小型风力发电机。60年代，因石油价格低廉，核电也正崛起，风力发电在一些工业发达的国家里遭到冷落。70年代中期开始，石油涨价又促使一些国家重新重视风力发电。全世界风力资源极为丰富，据估计每年可利用的风能总量折合成电能约为500万亿千瓦时，风力发电今后在全世界范围内将会得到新的发展。

世界风力发电情况——

据美国风能协会发表的数据，1992年世界风力发电量由1991年的38亿千瓦时增至43亿千瓦时，美国风力发电量依然是世界第一。欧洲风力发电量有了很大发展，年初已超过10亿千瓦时。丹麦、德国和荷兰三国，1993年风力发电量已经达到12.5亿千瓦时。欧、美、日风力发电现状及未来预测见表2-6。

表2-6 欧美日风力发电情况

(1993年4月调查)

	装机容量, 万千瓦		计划, 万千瓦			
	运行中	在建	1995年	2000年	2005年	2010年
美国	160.0	26.0				
欧洲	79.2	41.4	400		1150	
丹麦	43.7	20.0	100		150	
德国	14.2		25			
荷兰	11.0	5.0		100		
英国	1.5	10.9		100		
瑞典	1.6		10			
西班牙	5.0	1.5	10			
意大利	1.1	2.0		60		
希腊	1.0	1.7		15		
挪威	0.1	1.7	0.4			
加拿大	0.5	2.0				
日本	0.2	0.3		1		

资料来源：《日本能源学会志》，1993年第7期。

美国政府重视开发风力发电

1992年美国能源部拨4000万美元资助美国电力公司开发风力发电设备和系统。该风力发电计划由美国能源部和电力研究院(EPRI)共同推动，并帮助一些美国电力公司在今后5年内开发一种新的风力发电系统。要达到能与化石燃料发电相竞争，并在许多州内得到推广。确立的目标是帮助在1998年完成能达到商业性运行的、世界级的风力发电系统，能够在风速21公里/时的地区运行，而且其发电成本为5美分/千瓦时。

美国还考虑开发其他类型的风力发电系统,希望在 2000 年前后达到实用程度。能源部对该项计划的中心要求是改进风力发电机组和系统,使其发电成本比上述 5 美分/千瓦时再降低 20%。

美国风力发电规模将迅速扩大,据美国电力研究所最近预测,到 2010 年,美国的风力发电规模将达到 5000 万千瓦。这家研究所介绍说,目前,美国对风车进行了两项重大的技术变动,引进了空气动力学和微电子技术,做到使风车的叶片能随着风速的大小随意旋转,风力发电全部计算机化,从而使发电能力提高 4 倍。改进后的风车在风速达到每小时 14 公里,就能发电,而且在风速达到每小时 96 千米时,仍能继续工作。相比之下,旧式风车在风速达到每小时 22 千米才能发电,而当风速达到每小时 72 千米时就得停转。

随着涡轮和合成塑胶树脂轮叶制造的精益求精,美国风车又开始重振雄风。据报道,近年来,风车业有了重大突破,一项新的风车轮叶被列为美国 1991 年 100 项大技术发明之一。这种新轮叶所产生的能源,比传统轮叶高 10%~30%。由于传统的发电厂兴建旷日费时,耗资庞大,整修更是费时、费力、费钱,但风力发电没有这些困扰,弹性十足,兴建容易,安装迅速,而且容易整修,过去 10 年来,美国风力发电的成本已下降了 75%。

现在,全美国靠风力发电可以满足美国能源需要的 10%。30 年内,采用新的技术,可望达到美国能源需要的 1/4。而且价格不断下跌,到 2000 年,从目前的每千瓦时 7 美分,可以降到每千瓦时 1 美分。美国能源专家相信,由于风力发电是大势所趋,因此经营风力发电设备是有利可图的。

美国开发风能的主要经验是: 选择风力充足的地区为场址。 建立风机田,以阵列机群发电。 集中建造风机群,统筹管理,便于联网运行和维护,降低发电成本。 鼓励私营企业开办风电。

美国加利福尼亚州阿尔塔蒙特山口风力发电场,是目前世界最大风电场。1992 年 4 月装机容量为 73.7 万千瓦,1991 年发电 11 亿千瓦时,占美国风力发电的 39.3%,世界风力发电的 29.1%。

美国风电公司开发成功的 33M-VS 型风力发电机组,容量 300 千瓦,是按发电成本 5 美分/千瓦时设计的,采用电子技术,可变速,顶部装有风向传感器,使机组适应风向变化;电子控制系统保护透平免受阵风而超载。它与常规的恒速风力机相比,发电量大,成本低。现已投入使用,运行正常。

欧洲的风力发电走在前列

欧洲风力发电设备的发电能力 1992 年增加 24.7 万千瓦,达到 80.1 万千瓦,其中约 53% 设置于丹麦。1993 年又增加 23.2 万千瓦,总量为 112.3 万千瓦。

开发风力发电最积极的是丹麦,1991 年发电能力为 41.8 万千瓦,占欧洲总风力发电能力的 65%,每年按 10% 的速度递增。1992 年风力发电占全国总发电量的 5%,2000 年计划扩大到 10%。

丹麦在哥本哈根南面的洛南岛附近约 23 公里处建成了一个规模较大的风力发电场,预计到 2005 年,该国风力发电将达到 120 万千瓦,即占该国所需电力的 10%。目前丹麦风力发电装机容量已达到 25 万千瓦。

荷兰政府已制定了一项发展风力发电的计划,以期到本世纪结束时,建造 2000 台新的风力发电机,使全国的风力发电能力增加 20 倍。这些风力发电机,连同现已在运行的约 1000 台风力发电机,发电功率将达 100 万千瓦以上,足以为阿姆斯特丹这样规模的城市供电,相当于全国电力需要量的 10

%。

在今后四年里，荷兰政府和一些能源公司将投资 3 亿美元，用于开发高效风车。通过研制高级齿轮箱，将风车翼板直径由原来的 10 米达到 15 米，使风车发电机的功率由低于 25 千瓦，提高到 500 千瓦。

瑞典和丹麦研究在近海设置风力发电站。瑞典已在离南部海岸 251.5 米的海面建了一个 220 千瓦的试验风力电站，转叶直径 2.27 米，安在离水面 3.75 米的高度。试验期定为五年，如可行，即计划在波罗的海 122 公里长的海岸安装 97 个风力发电站，结合成 7 个风力发电机群，预计 12 个风力发电群即可相当于该国 12 个核电站。

英国拥有欧洲最丰富的风力资源，该国风能协会认为，如果英国投入 40 平方公里的土地用于风力发电，所获得的电力就足以满足全国所需电力的 10 %。英国风能咨询等公司决定支持的风力透平的浮动海洋平台的研究，主要研究和评价系留于深海的试验平台的经济性，如试验成功，则会成为海洋风力发电的先驱者。英国风力发电能力 1992 年为 3 万千瓦，1993 年达到了 13.1 万千瓦。

其他，如意大利计划到本世纪末，将风力发电增加到 60 万千瓦；风力发电设备较多的德国，1991 年风力发电为 9 万千瓦，1995 年的目标为 20 万千瓦；希腊的目标是 400 万千瓦。

到 2030 年，欧洲的风力发电量将占欧洲总发电量的 10%。日本政府积极开发风力发电

日本政府对风力发电十分关心，已建设了相当多的风力发电设备，用于照明、供暖、泵动力和发电所内动力等。主要设备有：1981 年建于东京电力三宅岛的 100 千瓦装置；1982 年建于鹿儿岛冲绳县冲永良部的 300 千瓦装置；1990 年九州电力建于鹿儿岛县甑岛的 250 千瓦装置；北海道寿都町的 5 台 16.5 千瓦装置；1991 年建于爱媛县濑户町的 100 千瓦装置；1992 年东北电力建于青森县竜飞崎的 5 台 275 千瓦装置（风力场）；中部电力建于碧南的 250 千瓦装置；冲绳电力建于宫古岛的 250 千瓦装置等。

日本东北电力公司在本州北部青森县津轻半岛已建成 1375 千瓦的龙飞风力发电场，据称是日本最大的风力发电场。津轻海峡地区年平均风速在 10 米/秒以上，是日本较优越的风力资源区域，颇有开发前景。

该风力发电场目前已装有 5 台风力发电机组，每台机组

中国风能技术开发中心协助福建省科委在
平潭岛安装的比利时产 200 千瓦风力发电机

6m 竖轴 2kW 风力发电机

的额定容量为 275 千瓦。该功率控制采用了改变桨距的方式：当风速超过 5.5 米/秒时机组即开始发电，当风速达 13 米/秒以上时，便将输出功率控制在一定值上，若风速超过 24 米/秒时，风轮则自动刹车停转。

该风力发电机组的特点是：风轮的桨距调节系统可按风速改变，进行最佳功率控制；其偏转调节系统可控制风轮保持逆风方向；采用微机控制系统自动控制运行。

中国政府鼓励发展风力发电

新疆风力发电总厂从丹麦 BONUS 公司和 NTK 公司分别购进的 8 台 300kW

风力机已于 1992 年 11 月 2 日和 12 月 4 日正式并网发电。

目前，新疆风力发电厂总装机容量 2400 千瓦，单机容量 300 千瓦，均居全国风电场前列，1993 年还继续扩建。

1980 年建立的八达岭风力发电试验站正不断向前发展。自 1992 年下半年以来，该站加强信息交流，举办了全国风电培训班，参与了德国专家的讲课。在试验研究方面，加强了常规试验的技术力量和装置。

1993 年还完成“八五”有关攻关项目的阶段性成果。

内蒙辽阔的草原，有丰富的风力资源，全区 80% 以上的地区平均风速超过 3.5 米/秒，全年有效风速达 3650 小时。从 80 年代开始，风力发电在内蒙迅速发展，目前已有 8 万余户牧民用上了电，初步解决了生活用电问题。内蒙风力发电机组在全国各省（区）中居于首位。

内蒙朱日和风力发电试验电站自 1989 年上半年开始筹建以来，已得到迅速发展。于 1989 年底 5 台机组开始发电，1992 年 4 月又接连投入了 6 台机组，并正式并网发电。1993 年 9 月又投入了 4 台 250 千瓦的风力发电机组，还有 10 台 120 千瓦的机组继续施工。1993 年底，该电站的装机总容量达到 3300 千瓦。它是我国目前的第二大风力发电站。

台湾省第一座商业用风力发电站 1993 年建成并投入使用。该电站每年 10 月到第二年 3 月的澎湖季风期进行运转，供应 1050 户居民用电，一年可节省传统发电燃油 20 万升。

这座风力发电站建在澎湖七美岛中和村东方约 1 公里的滨海高地，总投资约 5000 万元新台币。电站的主要设备大部分来自美国，包括两部高约 24.6 米的不锈钢塔架，上面各装有一部 107 千瓦的风力发电机、一组电力调节装置、一个主变压器及一套电脑监控系统。电站完全用电脑控制，除必要维修外，不需要人工看管。年供电量 72 万千瓦时，发电成本为 1 千瓦时电约 70 元新台币。

风能利用新技术——

浮动式风力电站

英国正开始实施一项浮动风力计划，为风力机寻找新的场地，使其不再受必须在浅水区和固定结构的限制。初始资金 73.6 万英镑，其中一半由石油海洋计划中的贸易和工业部资助。

这项为期三年的研究项目，目的是为风力机找到一个理想的浮动支撑结构，使较深水的近海区域的风力经济地发出电来。

一位项目发言人说：“风能在经济上的吸引力，使其作为可再生能源而置于开发的首位。”由海床作为固定结构支撑常规机器的方法，使可利用的风场只局限于相对浅的水域。而使用浮动结构扩大了潜在风场的范围，因而对这项技术提供了可观的出口潜力。

对流层风力发电站

前苏联一个工程师小组提出了一项对流层风力发电机的设计，在离地面 10~12 公里的大气层，有一对流层，其风速达每秒 25~30 米，风能比地面大气层的风能大 2000 倍，因此工程师们计划用这项巨大的风能，作出对流层风力发电站的设计。设计考虑将重量为 30 吨的风力发电机用气球升到离地 10~12 公里的高空，气球与风力发电机的连接使用超强度的缆索和电缆。控制设备和变压器等设备均设置在地面。据分析计算，大规模的对流层风力发电站的发电成本仅为现有电站的 1/5~1/6。此外，这种高空电站不仅降低了

发电成本，而且可用于无线电和电视传播。

新型家庭风力发电机

新型能源装置——家用风力发电机组由风叶、稳速机构、发电机、尾舵，速度器等部分组成，它具有启动风力小的优点，只要有2级风就可发电。它采用变桨距稳速机构，当风速超过4级以上，发电机转速和输出功率稳定不变。发电机组共有五种型号，其中JC-300型，一台一般可供5户家庭用电需要。发电机配有蓄电池，不刮风仍可满足3~4天用电，安装方面，适合农村家庭和小作坊用。

风能热转换装置

日本农业省农业试验场的农业气象研究室正在进行风力热转换装置的试验，风机螺旋桨轴的动力通过伞齿轮传动箱，由驱动轴传到地面，并带动油压式风力热转换装置内的油泵

螺旋泵风力提水机旋转，从油泵喷出的工作油通过复合阀门和节流孔后，通过保温管道进入贮热槽内的热交换器，然后再回到油泵，在工作油循环的过程中，风能就转换成热能，其热能再传给水槽中的水，获得热量后即可使用。

现代化风帆

现在，古老的风能配之以现代新技术，正发挥出它的更大的威力。一些国家正在研制一种完全不带燃料的远洋货轮，这种新型货轮既不装内燃机，也不装蒸汽机，它完全靠两套风力涡轮装置来产生前进的动力，并以太阳能电池作为备用能源。风力涡轮有点像风车，只是没有风车那种巨大的叶片，而是用三四片铝合金及复合材料制成的叶片，两端固定在垂直安置的数轴上。风力涡轮转动时，除了带动船尾螺旋桨使船前进外，多余的能量还能带动发电机发电，给船上的蓄电池充电。在无风时候，由蓄电池供电给电动机驱动螺旋桨。同时，船载太阳能电池板开始集能发电。

帆船在一些工业发达的国家里，曾一度被人遗忘，但今天它又以崭新的英姿，展现在人们的眼前。1980年，日本的风帆船“新爱德凡”号开始在沿海水域作运输航行。这是一艘新式帆船，它载重量1600吨，拥有最先进的科学技术装备，装有两面卷折式纤维增强塑料巨帆，同时装有一台带动大直径螺旋桨的1600匹马力的低速柴油机。当主机与风帆配合使用时，每小时航速可达13海里（24.076公里）。风帆的扬卷和方向的转变完全由微处理机指挥，综合考虑航向、风向、风力的关系，自动选择最有利的帆面受风角度，最佳利用风能。它比载重相同的普通机动船节省50%燃料，其中用风帆可节省30%燃料。日本又建造了两艘载重量为2100吨的风帆船，这艘船的帆面面积进一步加大，主机功率减小，除微处理机控制风帆外，还对主机所带可变螺旋桨叶的角度加以控制，以便在风速增大时，最小限度消耗燃料，还能保持原定航速，经济效益进一步提高。有人估计，只要将全世界的货船中20%装上风帆，一年中节约的燃料价值就达30亿美元。

风能是一种干净而且取之不尽的能源，但亦有它的缺点：分散、时有时无、能量密度低、有大有小等，只有因地制宜地加以利用，才能取得较好的经济效益。风能已越来越广泛地受到世界各国的重视。

9. 来自地心的能源——地热

正当世界面临能源短缺之时，人们自然会想起地球母亲怀抱中的能源——地热。我们的祖先早在二千多年前，就开始享用地下热水，后来开发蒸汽井采热。但因条件限制，只能利用地表的有限热能，而地球深处的能量被埋没了许多个世纪。从70年代开始，地热的开发利用受到了世界各国的重视，深埋了亿万年之久的地下热源被开采出来，为人类供暖和发电，开辟了能源世界新天地。

拜访地宫难一百多年前，法国一名叫凡尔纳的作家，曾在他的科幻小说里提出去月球旅行和入地心探险的遐想。经过了一个世纪，人类终于排除了千难万险，探访了“月宫”，在宁静的月面上踏上了深深的脚印。但入地却比登天难得多，人类至今伸向地球深处的“铁臂”最长也只不过9600米，更没人敢乘坐一辆钻地探险车去拜访地宫。

原来，半径6300多公里的地球，并非是古人想象的那种空心球，也不完全是一个坚硬的实心球，而是一个谜一样的高温高压世界。

今天，人类已经开始探索地球深处的奥秘。实践告诉人们：入地之所以比登天难，是因为地表的岩石密度比最稠密大气层密度大几千倍，而且越往深处密度越大，甚至大上万倍。如果要驾驶一辆钻地探险车去拜访地宫，将会遇到多大阻力啊！

地球表面是气象万千的天地，可是地下却是面目皆非的严酷世界。它的外层是平均厚度只有三十几公里的岩层，称为地壳，海底最薄的地壳只有5公里。

往下2800公里则是带塑性的岩浆，叫地幔。它比岩石还致密（大约是水密度的5倍），难怪有人将地壳比作漂浮在地幔之上的板块。

离地面2900公里以下，则是地球的核心，它是超高密度的固体（密度是水的10倍），叫地核。

如果将地球比作熟鸡蛋，则地壳就好比是薄薄的蛋壳，地幔就像蛋白；地核就似蛋黄。

地球深处是高温高压的神秘世界。实测资料估计，平均每深33米，温度上升1℃，到地壳底层温度已达1000℃以上，地幔的温度则达1200~2000℃，地核温度竟高达5000℃以上，火山爆发时，地球内部从几十公里深处喷射出来的岩浆，经过了长途跋涉来到地面，仍有1000℃以上高温，就是一个证明。美国钻了一口最深的井，钻杆伸到9600米深处时，被220℃熔融硫磺粘住而动弹不得，可知要突破挡路的岩浆是多不容易呀！

人类还能战胜几千度的高温，但地心深处的高压却难以对付。印度南部有一个名叫科拉的金矿，当坑道还没有沿伸到3000米深时，钻孔在一天之内就被四周的压力封闭了。由此可知，地层深处有多大压力啊！

科学家预测，离地面2900公里处的压力可达13多万兆帕，地心的压力竟达36多万兆帕。有人作过试验，在12万兆帕下，金刚石竟变得像黄油一样软，这想必就是地幔成了粘稠岩浆的原因所在。我们目前使用的任何一种材料，都不能适应这样严酷环境的考验。只凭当代的科学技术水平，要想拜访地宫，真比登天还难得多！

然而，任何事物总是一分为二的，难入的地宫却也是一座珍贵的地下热库，它对人们同样充满诱惑，人们是绝不会放弃任何与地热有关的种种利用。

丰富的地热资源——

地球内部像一座高温高压的火炉，当雨水渗入地下或地下水流经这个火炉时，就被加热成蒸汽或热水，再沿着石头的缝隙冒出地面，变成一股股滚烫的热泉。

岩浆是炽热的粘稠熔融体，它受热而大大膨胀了身子，总是气鼓鼓地往外挤，但地壳却死死地将它闸住，“火炉”里始终憋着一股劲儿。

在地壳较薄的地方，岩浆有时冲破地壳的束缚，像脱缰的野马一样奔放出来，这时甚至把整块地皮和石头一齐抛到高高的天空中去。

火山爆发往往会毁坏森林和村庄，甚至危害生命。但是，火山周围也常常形成许多能源源不断地供应地下热水或蒸汽的地热田，那里常是景色宜人的旅游胜地或天然公园。

一般称温度在 20 以上天然露头的地下水为温泉。它们按温度高低分为：低温泉（20~40）、中温泉（40~60）、高温泉（60~100）和过热温泉（100 以上）四种。

地层中如果存在开放的对流水系，就会把地热带到地球浅层或表面，形成温泉、热泉或蒸汽田，而这种条件是不很多的。实际上，在有开采价值的地热资源中，以不含水的热干岩最引人注目。

热干岩温度高达 650，储热量大，通常埋藏于离地表只有 2~3 公里的深处，现代钻探技术已能达到。热干岩地热的开采利用已深受国际上普遍重视，在采用先进的遥感遥测、地质勘探、物理探查和化学分析技术，探明热干岩的类型、埋藏深度和规模之后，就不难加以开采利用。

世界地热资源

地球内部蕴藏着难以想象的巨大能量。据估计，仅地壳最外层 10 公里范围内，就拥有 1254 亿亿焦热量，相当于全世界现产煤炭总发热量的 2000 倍。如果计算地热能的总量，则相当于煤炭总储量的 1.7 亿倍。有人估计，地热资源要比水力发电的潜力大 100 倍。可供利用的地热能即使按 1% 计算，仅地下 3 公里以内可开发的热能，就相当于 2.9 万亿吨煤的能量。这是多么惊人的数字啊！不过世界各地的地热资源分布是不均匀的，有些国家地热资源特别丰富。冰岛就是富地热资源的国家。它地处北极圈附近，尽管气候寒冷，但地下却蕴藏着巨大的热能。冰岛的岩流几乎占全球岩流的三分之一，近几个世纪里，平均每五年有一次火山爆发，有形成地热的得天独厚的条件。据统计，冰岛拥有温泉、热泉、蒸汽泉、间歇泉等达 1500 多个。

美国也蕴藏着丰富的地热资源，据地质调查表明，美国高温地热发电潜力相当于 755~7297 亿吨标准煤，或 600~4750 亿桶石油；可以直接利用的中、低温热能则相当于 1606~9139 亿吨标准煤。

此外，日本、新西兰、意大利、前苏联、印度、菲律宾、法国、匈牙利、墨西哥、肯尼亚等许多国家都蕴藏着地热资源。

我国的地热资源也比较丰富。目前已发现的地热露头有 2700 多处（包括天然和人工露头），还有大量地热埋藏在地下尚待发现。

我国大多数省（区）都有为数不同的地热露头，地热点分布比较多的有：云南（345 处），西藏（342 处），河北（320 处），四川（295 处），广东（229 处）等省区。我国地热资源大部分属于中低温热水，80 以上的地热点只有 600 多处。从我国地热分布情况来看，有从中部向东部大陆边缘和西南部地热数量逐渐增多和水温逐渐增高的趋势。

西藏羊八井地热田闻名世界,它在海拔 4200 米高处,两侧是 5000~6000 米的高山雪岭。谷地平坦,热水沼泽星罗棋布,热汽喷口爆炸遍地可见,许多温泉、热泉和沸泉连成一片。最引人瞩目的是热水湖,湖面 7300 多平方米,最深处达 16 米,水温常常在 46~57℃。

北京蕴有多处低温地热田,它的总面积至少有 600 平方公里。埋藏浅者只有 400 米,深者 2500 米,水温最低的 38℃,最高可达 70℃。

除西藏外,云南和台湾省属高温地热区;福建、广东等沿海省份属中、低温地热带;内地一些盆地蕴有低温地热田。

开发地热,造福人类

地热是大自然恩赐给人类的宝贵能源,开发利用地热能可节约大量煤炭、石油和天然气,人们从而有更多的化工原料可用。特别是在因大量烧煤对环境造成严重污染的情况下,开发地热对保护环境有着更重要的意义。

国内外都广泛重视地热的开发利用,它已广泛为工业、农业、国防、医疗卫生事业服务。世界上已有六十多个国家开发了地热能源。

利用地热能无非有直接利用地热和地热发电两条途径。

地热能的直接利用:我国利用地热能悠久的历史。近代,我国直接利用地热的范围更为广泛,地热这股“暖流”已流遍农、林、牧、副、渔、工业,以及医疗卫生等各行各业。

在农业生产中利用地热温室育种育秧,种植蔬菜。寒冬腊月为市场提供新鲜的西红柿、黄瓜、辣椒、西瓜等果蔬。地热烘干和催芽既可节省燃料,又能提高工效,保证质量。用地下热水灌溉和加温土壤,随时可取;热水中含有多种有助于农作物生长的化学元素,促进作物增产。地下热水为水生作物(水浮莲、红萍、绿萍、水葫芦等)的生长、繁殖、越冬提供了有利条件。

林业上也已广泛使用,地热温室培育苹果苗,可缩短育苗期两个多月;栽培葡萄,可人为地打破休眠期,做到长年结果;还可培育珍贵树种。用地下热水浇灌核桃、苹果、梨、葡萄等多种果树,生长茂盛,果大味鲜。

在畜牧业中,建立牲畜地热浴池,为牲畜治疗皮肤病,消灭吸血寄生虫。供牛羊饮用,增强了消化能力,使牲畜长得膘肥体壮。可利用高温地热水烫褪已屠宰的猪、牛、羊的毛。用地下热水煮饲料喂养牲口等等。

副业上用地热孵化鸡鸭,可控制孵化量的大小,不受季节限制,温差小而稳定,孵化率高,管理方便。可用地下热水加工兽皮、洗羊毛等等。

渔业上用水温 40℃ 的地下热水,使非洲鲫鱼能在北京越冬并生长繁殖。利用温流水高密度放养莫桑比克罗非鱼,三个月内亩产达 9000 公斤,建立地热温水鱼池,养殖鳊鱼喜获丰收。

此外,采用地热制冷设备,可用来制冰或冷藏蔬菜、瓜果、种子等。利用地下热水还可为沼气池加热,在严寒的季节,沼气池照常产气。帕米尔高原的群众在炽热的岩洞里烤羊肉。西藏的群众还经常把牛肉干放在热泉中煮食。西藏农牧民还常常直接用不含有害物质的地下热水沏茶。

工业上利用地下热水来漂染布料,控制车间的温度和湿度。橡胶厂利用地热水供锅炉用水、缫丝厂缫丝用热水。有的地热水井是高浓盐卤水,从中可提取盐类和贵重的微量元素。

还有,可利用地热为房屋取暖,既节煤又干净。利用地热水建立冬季游泳池。

在医疗卫生上,地热温泉浴对皮肤病、风湿性关节炎疗效显著。全国有

不少温泉疗养院。

世界上有不少国家利用地热为工农业生产、居民取暖和医疗卫生服务。冰岛利用地热采暖已占全国人口的70%以上，居世界首位。在冰岛，用喷采的热水就能在室内洗澡和取暖。首都雷克斯雅未克市已经全部利用地热采暖，节约了大量常规能源，大大减轻了城市的环境污染，市内空气洁净，市容幽雅美观，有“无烟城市”美称。冰岛1925年开始利用地热温室栽培蔬菜，1974年开始由地热温室生产的蔬菜和花卉自给有余。全国消耗的热能有80%来自地热。还利用高温蒸汽干燥羊毛、鱼类、海藻、青草和各种谷物。

日本是多火山的国家，地热资源丰富。1916年起利用地热温室栽培花草。并利用地热水取暖、烧饭、洗医疗浴，洁净的温泉水还作为饮用。在农业上，利用地热温室栽培蘑菇、木瓜、香蕉、西红柿、黄瓜等蔬菜及各种花卉，还有热带作物橡胶、椰子等。并用地热加温饲养鳗鱼、鲑鱼；孵化鸡鸭；对猪舍加温等。日本北海道多冰雪的城镇，甚至巧妙地利用地热供暖使道路上的冰雪解冻。

新西兰对地热直接利用也十分重视，除打浅井供家庭采暖、取家庭热水、游泳池热水外，还利用地热蒸汽干燥木材、干燥纸张等。还专门开设温泉、矿泉和治疗浴场。

此外，美国、前苏联、匈牙利、意大利、法国对地热的直接利用也都十分重视，而且发展得比较快。

今后，地热能直接利用的重点领域将是采暖和农业生产。随着常规燃料价格的上涨，利用地热采暖将越来越经济。农业上重点利用地热能提高粮食产量，使以前不能大规模生产商品粮的寒冷地区高产谷物，用地热提高土温，以延长生长季，大幅度增产。加工业方面对地热的直接利用的要求将会有所增长。干旱和缺淡水的地区，将利用地热来淡化盐水。

地热发电：地热发电是利用地下热能的重要途径之一。由于地下热水或蒸汽温度因地而异，有的高达280℃以上，有的还不到100℃；有的压力高达几十兆帕，有的还不到几兆帕。有的热水纯净，含杂质少；有的则含多种腐蚀性强的成分。针对这些不同情况，地热发电的方式也相应而异，大体可分成三种：

第一种是直接利用天然蒸汽发电。这种方法简单，只要打好钻井，将地下热蒸汽直接引入汽轮机，推动汽轮发电机旋转就可发电。如果引出的蒸汽夹杂着热水的话，可先通过汽水分离器，将水除去，再引入汽轮发电机。

但要求温度在100℃以上，压力在2~3兆帕以上，而且不含严重腐蚀汽轮机的有害成分的地下热蒸汽。

第二种方法叫减压扩容法。它可适用于略低于100℃的地下热水。基本原理好比在海拔很高的山顶上煮开水一样，因气压低于1.013兆帕，水温不到100℃也会沸腾。用人工方法造成低压的条件，使得不到100℃的地下热水也沸腾起来，变成蒸汽，再去推动汽轮发电机。具体办法是在汽轮机前方设一扩容器，在后方设有冷凝器和抽气器。启动时先开动抽气器，使整个系统处在负压下（即气压小于1.013兆帕），然后将地下热水引入扩容器。在负压下，不到100℃的热水即刻沸腾起来，产生大量蒸汽，推动汽轮机。尾汽进入冷凝器，冷凝成水排出。这样不断地冷凝和排水，就可以保持系统始终处在一定负压下。如果地下热水里含有别的气体，这些气体不会在冷凝器里变成水，可通过除气器和抽气器除去，使系统保持负压。这种方法易行，是

利用较低水温地热水发电的好办法。

第三种是利用低沸点工质发电的方法。它是将地下热水引入蒸汽发生器的一侧，加热另一侧通过的低沸点有机化合物液体，使它沸腾产生大量蒸气，推动汽轮发电机组发电。从汽轮机排出的低沸点工质的乏气，通过冷凝器，再次变成液体，由循环泵打入预热器，再回到蒸汽发生器中加热，如此循环不已。低沸点工质种类较多，例如氯乙烷（ C_2H_5Cl ）、异丁烷等等都是理想的低沸点工质。氯乙烷的沸点为 12.3℃，当地下热水只有 60℃ 时，就可以得到 55℃， $(4\sim 5) \times 1.031$ 兆帕的氯乙烷蒸气，完全可用来推动汽轮发电机发电。这种方法不但可用于地下热水温度低于 100℃ 的场合，也适用于地下蒸汽中含有腐蚀性成分，不宜直接导入汽轮机的场合。这种方法的缺点是设备较复杂。

世界地热利用新情况：据世界能源委员会（WEC）1993 年发表的 1992 年能源资源调查报告指出，地热资源在几千年前已开始向人类不断提供热能。至 1904 年才开始在意大利实现了工业规模的应用，建立了世界第一座地热电站——拉德瑞罗地热电站。目前该电站的装机容量为 54.8 万千瓦。此后，新西兰、美国、日本、菲律宾等 24 个国家相继开展地热发电利用。现在最大的地热电站是美国的盖塞兹（Geysers）地热电站，装机容量共 283.7 万千瓦。装机容量次于美国的有菲律宾（88.8 万千瓦），墨西哥（70 万千瓦），意大利（54.8 万千瓦），日本（27 万千瓦），新西兰（26.4 万千瓦），印度尼西亚（14.3 万千瓦）等。当前主要国家的地热发电容量共约 600 万千瓦，年发电量共约 300 亿千瓦时。

表 2 - 7 一些国家地热资源利用量

国 家	装机容量	发电量	非发电利用
	(万千瓦)	(亿千瓦时)	(万千瓦)
美国	283.7	169.00	46.3
菲律宾	88.8	54.70	—
墨西哥	70.0	51.24	—
意大利	54.8	32.00	32.9
日本	27.0	13.59	332.1
新西兰	26.4	20.68	25.8
印度尼西亚	14.3	—	—
萨尔瓦多	9.5	3.73	—
尼加拉瓜	7.0	—	—
肯尼亚	4.5	3.48	—
冰岛	4.5	2.83	77.4
中国	2.5	0.90	215.4
土耳其	2.0	0.68	24.6
俄罗斯	1.1	0.25	113.3

此外，地热资源还在非发电（直接利用）方面被大量利用，所被利用的热能约为发电利用能量的 10 倍。报告中列出了一些国家的地热资源发电利用和非发电利用量，见表 2-7。

美国电力大户 OESI 公司在加州和内华达州建了两座大型地热发电站,于 1993 年秋投产。建在加州南部的含拜尔地热发电站装机 32 万千瓦,投资 1.15 亿美元,生产的电力交当地供电公司并网销售;建在内华达州北部的腊依帕奇地热发电站,装机 12.5 万千瓦,投资 3800 万美元,生产电力由当地电力公司并网销售,建设资金全部由 GE 公司金融部门融资。

菲律宾政府和国有石油公司为解决国内电力严重不足,决定在莱特岛建 60.5 万千瓦地热发电站,其中 44 万千瓦向首都马尼拉所在的吕宋岛供电,另 16.5 万千瓦向附近的宿务岛供电。同时建设连接各岛间的输电线路。为了减少输电损失,将采取直流输电,由世界银行融资;发电工程将采取建设、运营一揽子的 BOT 方式,并于 1993 年 4 月进行国际招标。

世界各国加紧开发热干岩发电技术,北美洲和其他大陆下面都是热干岩,但埋藏的深度不同。

迄今在利用大自然的这个恩赐方面迈出最大一步的,是在美国新墨西哥州芬顿山进行的 4 个月连续不停的试验。那里附近的洛斯阿拉莫斯国立实验所的科学家们现在正在进行迄今范围最广泛的验证。他们在地下 2438 米深处用水的压力在一片体积为 2124 万立方米的花岗岩层冲开一些裂口,然后钻两口井,从地球表面直通到 204.45 高温的岩石上。

通过其中一口井向热岩石注入冷水,再用比汽车轮胎里的压力大 200 倍的高压把水从这些裂口里压挤过去。接着用水泵通过另一口井把热水抽回到地面上来。这种热水将在一座发电厂中用来加热丁烷(C_4H_{10}),使丁烷膨胀,驱动涡轮机。据科学家们说,这样发电的成本将和常规发电厂的成本不相上下。

洛斯阿拉莫斯国立实验所的这个研究项目的领导人戴维·达钦预言,第一座正式运行的这种热电厂大约将在 5 年后投产。帮助实现这个梦想的是地热电力公司,这是内华达州里诺的一家新创办的公司,它现在正在同加利福尼亚州克利尔莱克市当局合作建造一座正式运行的地热发电厂,如新墨西哥州的平原电力公司等其他美国公司正在密切注视洛斯阿拉莫斯国立实验所的研究活动,派遣顾问人员去参观这个工程项目。这项技术也在全世界引起浓厚兴趣,日本、英国、法国、德国和俄罗斯都在进行试验。

整个技术仍处于萌芽阶段。它也带有风险,例如钻井时碰上多孔的岩石,就会像漏水一样把水流掉。但是研究人员认为,这种情况要比在勘探石油和天然气时打出空井的可能性要小得多,打空井的可能性为 20/1。

日本中央电力研究所与我国国家地震局地壳应力研究所合作开展高温热岩发电的研究试验工作。高温热岩发电是要取出地下热岩的热量,通过地面的热交换及发电设备转换为电能。其技术关键在于如何取出热岩的热量,现在世界上许多实验中,多数是用不同方法将岩石压裂或爆裂,然后通过钻井将水或其他介质送入热岩裂缝中受热,并将热量带到地面。而地面发电的工艺过程则是利用成熟的技术。目前中日合作的试验就是水压破碎热岩、预测裂纹发展的技术研究。这次试验的场所选定在北京西南的房山。实验是在花岗岩层中进行,破碎用钻孔直径为 120 毫米,深约 250 米。还有 4 个声波观测钻孔,其直径 90 毫米,深约 100 米,在破碎用钻孔的周围埋设有许多声波传感器,日本中央电力研究所对热岩水压破碎已掌握一定的实用技术,正在进一步完善设计。钻井工作中方已于 1993 年 7 月开始,计划破碎试验将在 1994~1995 年间进行。

我国现有地热井 2000 口，其中近半数已投入开采利用。经过 20 多年的地热勘查证实，我国具有较丰富的高温和中、低温地热资源。现已完成地质勘查的地热田有 50 多处，其中西藏羊八井和羊应乡，京津及河北省牛驼镇的地热田均达大型规模。

中国的高温地热资源主要分布于藏南、滇西及川、滇交界一带，一般用于发电。中国目前的地热发电机组数在 17 个有地热发电的国家中居第 5 位，装机容量居第 12 位。

我国最大的地热电站建在西藏羊八井地热田，现有装机容量 2.5 万千瓦，已累计发电近 4 亿千瓦时，占拉萨市电网的 40% ~ 50%。另外湖南、广东等省也有地热电站。

中、低温地热资源主要分布于我国东部，用于纺织、印染、温室种植、水产养殖、医疗洗浴和冬季采暖等。地热利用最突出的天津市现已建成供暖面积 140 万平方米。

防范污染

地热应该被视为洁净和简易的能源，但因有些地方的地下热水中含有一些有害物质，处理不当也会污染环境。例如，热水中含有硫化氢，逸出来可以闻到臭鸡蛋的味道。有些热水中含有砷等有害物质。

在开发利用地热时，应仔细分析水中的有害元素的含量，同时采取相应的防范措施。最有效的处理办法是将废水回注到井内，这样既可解决污染问题，又可防止因大量抽水而造成地面下沉，这在技术上是完全可以办到的，无需顾忌。

10. 蓝色的能源——海洋能

海洋是巨大的能源宝库，海洋能被誉为“蓝色的能源”。

太阳赐给地球的热能，大部分被海洋吸收而贮存在海水之中，人类可利用海水的温差来发电。在太阳和月亮的引潮力作用下，大海总在永不停息地“呼吸”着，这就是潮汐。利用潮汐也可以发电。奔腾不息的海浪，拥藏着巨大的动能，也可被人类驾驭，开辟波力发电。

海洋温差发电

海洋贮存了 140 亿亿吨海水，太阳辐射来的热能给它加温，地球内部散发的热也在对它烘烤，真可谓“天地为炉兮造化爲工”。

在大海中，真正最有力量的，并不是那些看起来气势汹汹的波涛，而是默默地蕴藏在海水中的热能。

同样面积的海洋要比陆地多吸收 10% ~ 20% 的热量，海水的热容量比土层大两倍，比花岗岩大五倍，比空气大 3100 多倍，因此海洋成了地球上吸收太阳能的最大热库。

经过科学家们的多年研究，1926 年 11 月 15 日，在实验室里首次研究成功海洋的温差发电。海洋温差发电的基本原理是利用太阳辐射的热量进入海面以下 1 米处，就有 60% ~ 68% 被海水吸收掉了，而几米以下的热量已所剩无几了，即使海面上有波浪搅动，水温有所调节，但水深 200 米处，几乎没有热量传到。海洋温差发电就是将海洋表面的温水引进真空锅炉，这时因压力突然大幅度下降，温度不高的温水也立即变成蒸汽。例如，在压力为 0.031 兆帕时，24 的水也会沸腾。利用这种温度不高的蒸汽可以推动汽轮发电机发电，然后用深层的冷海水冷凝乏气，继续使用。

从理论上说，冷、热水的温差在 16.6 即可发电，但实际应用中一般都在 20 以上。凡南北纬度在 20 度以内的热带海洋都适合温差发电。例如，我国西沙群岛海域，在 5 月份测得水深 30 米以内的水温为 30 ，而 1000 米深处便只有 5 ，完全适合温差发电。

大海里蕴藏着巨大的热能，据估计只要把南北纬 20 度以内的热带海洋充分利用起来发电，水温降低 1 放出的热量就有 600 亿千瓦发电容量，全世界人口按 60 亿计算，每人也能分得 10 千瓦，前景是十分诱人的。

早在 19 世纪就有人提出过海水温差发电的设想，但世界上第一座试验性海水温差发电厂直到 1979 年 8 月才在美国夏威夷问世。这座电厂的发电能力为 50 千瓦，它设在一艘驳船上。同年 8 ~ 12 月作了试发电。这次发电成功表明，海水温差发电将很快具备商业价值。

海洋是全世界最大的太阳能收集器，6000 万平方公里的热带海洋一天吸收的太阳辐射能，相当于 2500 亿桶石油的热能。如果将这些储热的 1% 转化成电力，也将相当于有 140 亿千瓦装机容量，为美国现今发电能力的 20 倍以上。

海洋热能发电有两种方式：第一种是将低沸点工质加热成蒸汽；第二种是将温水直接送入真空室使之沸腾变成蒸汽。蒸汽用来推动汽轮发电机发电，最后从 600 ~ 1000 米深处抽冷水使蒸汽冷凝。第一种采取闭式循环，第二种采取开式循环。

海水温差发电，1930 年在法国首次试验成功，只是当时发出的电能不如耗去的电力多，因而未能付诸实施。现在，许多国家都在进行海水温差发电

研究。

实践证明，开式循环比闭式循环有更多的优点：以温海水作工质，可避免氨或二氯二氟甲烷等有毒物质对海洋的污染；开式循环系直接接触热交换器，价廉且效率高；直接接触热交换器可采用塑料制造，在温海水中的抗腐蚀性高；能产生副产品——蒸馏水。

开式循环也有缺点：产生的蒸汽密度低，汽轮机体积大；变成蒸汽的海水排回海洋后，会影响附近生物的生存环境。

日本的月光计划拟在 2000 年前后，使利用海洋温差发电达到实用化和向国内提供大型电源，并以占地很少的海上安装为目标。这项计划是从 1974 年开始实施的。

日本一些民间电力公司，为了验证海岛电源在陆地安装的可能性，1981 年在赤道线上的瑙鲁岛研制 100 千瓦级的闭式循环试验工厂，实际发电功率达到了 10 千瓦；1982 年又在德文岛开发了 50 千瓦级混合式试验工厂，实际发电功率也达到 10 千瓦。

1979 年美国在夏威夷岛上，研制成功 50 千瓦级电站，实际发电功率达 10 千瓦，1980 年到 1981 年又进行了相当 1000 千瓦的热环试验，同时还研究了 40000 千瓦的总体设计。

法国准备在塔希底岛进行 5000 千瓦级的开发研究。

海洋温差发电，是以非共沸介质（氟里昂-22 与氟里昂-12 的混合物）为媒质，输出功率是以前的 1.1~1.2 倍。一座 75 千瓦试验工厂的试运行证明，由于热交换器采用平板装置，所需抽水量很小，传动功率的消耗很少，其他配件费用也低，再加上用计算机控制，净电输出功率可达额定功率的 70%。一座 3000 千瓦级的电站，每千瓦小时的发电成本只有 50 日元以下，比柴油发电价格还低。人们预计，利用海洋温差发电，如果能在一个世纪内实现，可成为新能源开发的新的出发点。

年迈的安德森工程师几十年来一直在完善他的“海洋热能转换厂”的设计。他计划中的海洋热能发电厂将利用热带海洋的热能，使一种低沸点的液体蒸发，利用产生的蒸气驱动涡轮发电机发电。为了降低建造费用，安德森缩小了发电“船只”的外壳，其换热设备的大部分，甚至连涡轮机，都是吊在“船”体外面，悬浮在海面上的。

该项设计要求把海面的 26.67℃ 的热水输送到安装在水下 60 米处的锅炉里去。在那里，热水使丙烯蒸发，其沸点只有 21.1℃。当热丙烯蒸气通过管道上升时，驱动 12 台涡轮发电机。这些涡轮发电机悬挂在锅炉上方 10 米的水中。这些气体从涡轮机通过一个热交换器，交换器的水侧是装满了从 900 米深处抽上来的 4.4℃ 海水。这些冷水又把丙烯蒸气冷凝成液体，这些液体又回到锅炉里去。这种方法的海水温差发电试验，早在 60 年前已做过。而现在，由于经济条件好，可使之实用化。

安德森已创办了一家取名为“海上太阳能公司”的小公司，其唯一目的是研究必要的技术。

安德森认为，在印度尼西亚的温暖海面上，建造这种电厂条件特别优越。印度尼西亚政府首先支持了安德森的设计。据估计，这种电厂的发电成本为 6.5 美分/千瓦时，而现在第三世界许多岛国的平均电费为 15 美分/千瓦时。第一座利用海水温差的 10 万千瓦海水温差发电厂的造价可能为 2.5 亿美元。

在今后几年里，安德森式发电厂不仅具有经济意义，而且由于温室效应

造成的全球气温上升，预料将迫使人们限制化石燃料的消耗，而一种有效的无污染的能源显然是具有吸引力的。

潮汐发电

汹涌澎湃的大海，在太阳和月亮的引潮力作用下，时而潮高百丈，时而悄然退去，留下一片沙滩。海洋这样起伏运动，日以继夜，年复一年，是那样有规律，那样有节奏，好像人在呼吸。海水的这种有规律的涨落现象就是潮汐。

潮汐发电就是利用潮汐能的一种重要方式。据初步估计，全世界潮汐能约有 10 亿多千瓦，每年可发电 2~3 万亿千瓦时。我国的海岸线长度达 18000 千米，据 1958 年普查结果估计，至少有 2800 万千瓦潮汐电力资源，年发电量最低不下 700 亿千瓦时。

世界著名的大潮区是英吉利海峡，那里最高潮差为 14.6 米，大西洋沿岸的潮差也达 4~7.4 米。我国的杭州湾的“钱塘潮”的潮差达 9 米。

据估计，我国仅长江口北支就能建 80 万千瓦潮汐电站，年发电量为 23 亿千瓦时，接近新安江和富春江水电站的发电总量；钱塘江口可建 500 万千瓦潮汐电站，年发电量约 180 多亿千瓦时，约相当于 10 个新安江水电站的发电能力。

早在 12 世纪，人类就开始利用潮汐能。法国沿海布列塔尼省就建起了“潮磨”，利用潮汐能代替人力推磨。随着科学技术的进步，人们开始筑坝拦水，建起潮汐电站。

法国在布列塔尼省建成了世界上第一座大型潮汐发电站，电站规模宏大，大坝全长 750 米，坝顶是公路。平均潮差 8.5 米，最大潮差 13.5 米。每年发电量为 5.44 亿千瓦时。

我国解放后在沿海建过一些小型潮汐电站。例如，广东省顺德县大良潮汐电站（144 千瓦）、福建厦门的华美太古潮汐电站（220 千瓦）、浙江温岭的沙山潮汐电站（40 千瓦）及象山高塘潮汐电站（450 千瓦）。

江夏潮汐电站

1980 年 5 月 4 日，浙江省温岭的江夏潮汐电站第一台机组并网发电，揭开了我国较大规模建设潮汐电站的序幕。该电站装有 6 台 500 千瓦水轮发电机组，总装机容量为 3000 千瓦，拦潮坝全长 670 米，水库有效库容 270 万立方米，是一座规模不小的现代潮汐电站。它不但为解决浙江的能源短缺作出应有的贡献，而且在经济上亦有竞争能力。江夏潮汐电站的单位造价为每千瓦 2500 元，与小水电站的造价相当。浙江沙山的 40 千瓦小型潮汐电站，从 1959 年建成至今运行状况良好，投资 4 万元，收入已超过 35 万元。海山潮汐电站装机 150 千瓦，年发电量 29 万千瓦时，收入 2 万元，并养殖蚶子、鱼虾及制砖，年收入 20 万元。

潮汐发电有三种形式：一种是单库单向发电。它是在海湾（或河口）筑起堤坝、厂房和水闸，将海湾（或河口）与外海隔开，涨潮时开启水闸，潮水充满水库，落潮时利用库内与库外的水位差，形成强有力的水龙头冲击水轮发电机组发电。这种方式只能在落潮时发电，所以叫单库单向发电。第二种是单库双向发电，它同样只建一个水库，采取巧妙的水工设计或采用双向水轮发电机组，使电站在涨、落潮时都能发电。但这两种发电方式在平潮时都不能发电。第三种是双库双向发电。它是在有利条件的海湾建起两个水库，

涨潮和落潮的过程中，两库水位始终保持一定的落差，水轮发电机安装在两水库之间，可以连续不断地发电。

潮汐发电有许多优点。例如，潮水来去有规律，不受洪水或枯水的影响；以河口或海湾为天然水库，不会淹没大量土地；不污染环境；不消耗燃料等。但潮汐电站也有工程艰巨、造价高、海水对水下设备有腐蚀作用等缺点。但综合经济比较结果，潮汐发电成本低于火电。

在加拿大新斯科舍省和美国缅因州之间的芬地湾，有巨大的潮汐能源。该处蒙克顿港附近有世界最大的潮差，高约 19 米。自 1910 年以来，美、加两国多次考虑在此建潮汐电站，因投资太大、经济性不佳而未能动工。70 年代后期以来，建立潮汐电站，显示出经济上的优越性。1980 年加拿大新斯科舍电力公司开始兴建试验潮汐电站。该电站位于加新斯科舍省安纳波利斯河芬地湾入海口外，该处最大潮差 8.8 米，平均潮差 6.4 米，安装一台 2 万千瓦新型全贯流式潮汐发电机组，并于 1984 年 5 月建成发电。电站造价约 5500 万美元。该机组是由瑞士埃雪维斯公司设计，由瑞士苏尔寿公司与加拿大的多米宁和通用电气公司合作制造。这种全贯流式机组，发电机转子设在水轮机叶片的外缘，采用瑞士埃雪维斯公司取得专利的新型密封技术，效率较高。

1968 年，法国建成装机容量为 24 万千瓦的朗斯潮汐电站，安装 24 台单机容量 1 万千瓦的双向可逆型灯泡式机组。1970 年前苏联建成 2 台各 400 千瓦的潮汐试验电站。加拿大安纳波利斯的 2 万千瓦全贯流式机组是目前世界上单机容量最大的潮汐发电机组，也是最大的全贯流式机组。这种机组的造价比法国灯泡式机组低 15%，维修方便，可有效地冷却发电机组。

加拿大调查了 37 处可建大型潮汐电站的地址。在芬地湾中，科比魁德湾的米纳斯内湾是兴建大型潮汐电站的理想地址。该处平均潮差 12 米，最大潮差 16 米。加拿大认为，如果安纳波利斯试验潮汐电站运行成功，可望 1995 年在米纳斯建成特大型潮汐电站，采用单机容量 3.8 万千瓦，总装机容量可达 480~500 万千瓦，年发电量约 140 亿千瓦时，可减轻该地区用煤或油发电的负担。

目前世界上已投入运行的潮汐电站中，以法国朗斯潮汐电站为最大，装机 24 万千瓦，年发电量 5.44 亿千瓦时，1966 年底第一台机组发电，1968 年初全部竣工。其次就是加拿大 1984 年 5 月建成的安纳波利斯潮汐试验电站，装机 2 万千瓦。我国的江夏潮汐试验电站装机 3100 千瓦，居第三位。

江夏潮汐电站最后两台机组的技术，达到了法国朗斯潮汐电站的水平，它的优点是涨潮时能发电，落潮时也能发电。既可以发电，又可以在需要时由电网输入电力，把发电机变成电动机，同时水轮机又起着水泵抽水的功能。在不需发电和抽水时，还可以当作泄水管路用来排水。这种一机多用的潮汐发电机组，不仅使水工建筑物大大简化，而且可以提高电能质量，充分发挥机组的作用。这种机组的研制成功，为加快开发潮汐能创造了条件。

世界上已建的较大型潮汐电站和研究中的大型潮汐电站见表 2 - 8。

表 2 - 8 世界已建的较大潮汐电站及研究中大型潮汐电站

	国家	潮汐电站	最大潮差 (米)	平均潮差 (米)	装机容量 (万千瓦)	年发电量 (亿千瓦时)	发电年份
已建	法国	朗斯	13.5	8.4	24.0	5.44	1966
	加拿大	安纳波利斯	8.7	6.4	2	0.50	1984
	中国	江夏	8.4	5.1	0.31	0.11	1980
	前苏联	基斯洛	3.9	2.4	0.08	0.023	1968
研 究 中	独联体	美晋湾	9.0	6.6	1500	500	
	加拿大	图古尔湾	11.0	5.3	800	200	
	印度	芬地湾	16.0	11.8	380	127	
	英国	坎伯兰湾	14.4	10.5	108	34	
	阿根廷	坎贝湾	10.3	6.8	736	154	
	澳大利亚	塞文河口	11.0	8.8	720	14.1	
	中国	圣荷塞湾	7.6	5.9	495	120	
		金伯利湾	12.0	7.0	125	40	
		浙江杭州湾	7.5	4.5	536	161	
		浙江乐清湾	7.6	5.0	60	24	
		福建三都澳	8.4	5.3	129	36	
		江苏长江口	5.9	3.0	70	23	

1979 ~ 1983 年我国对沿海潮汐能资源进行了第二次普查。我国潮汐能理论蕴藏量为 1.1 亿千瓦，年发电量为 2750 亿千瓦时；可开发的潮汐能装机容量为 2157 万千瓦，年发电量 619 亿千瓦时。可开发装机和发电量分别占理论蕴藏量的 20% 和 22.5%。

我国可开发潮汐能资源主要在福建和浙江两省，占全国的 88.6%，各省分布情况见表 2 - 9。

这次普查中，根据调查研究的深度分为四类：一类指已建、在建和具有初步设计深度的潮汐电站；二类指已进行了一定地质勘探和规划设计工作的潮汐电站；三类指已进行过现场查勘和初步规划的站点；四类指未达到一至三类资源或开发条件较差的站点。一到四类资源按装机容量计算，比重分别为 0.18%、2.85%、29.59% 和 67.54%；按年发电量计算，其比重分别为 0.21%、4.2%、31.15% 和 64.63%。上述统计数字表明，已做过一定工作的一至三类资源不足三分之一。

在潮汐能利用上，我国与世界各国一样，尚处在试验阶段。虽然我国从 1958 年开始利用潮汐建设一些小水电站，但因当时技术条件所限，质量较差，大部分已报废拆除。我国已建成的最大的潮汐电站是浙江乐清县的江夏潮汐电站，装机容量 3100 千瓦，年发电量 1070 万千瓦时，已全部投产发电；其次为山东乳山县白沙口潮汐电站，设计装机容量 960 千瓦，年发电量 191 万千瓦时，已有 2 台机组共 160 千瓦并网发电。

表 2-9 我国可开发潮汐电站一览表

省、地区	装机容量 (万千瓦)	年发电量 (亿千瓦时)
福建	1032.40	283.82
浙江	880.16	264.04
长江口北支	70.40	22.80
广东	64.88	17.20
辽宁	58.62	16.14
广西壮族自治区	38.73	10.92
山东	11.78	3.63
河北	0.47	0.09
江苏	0.08	0.04
合计	2157.52	618.68

注：1. 表中所列数字系以装机容量 500 千瓦为起点，小于 500 千瓦的未统计在内。

2. 本次普查未包括台湾省资源，故表中未列。

3. 河北省数字包括天津市；江苏省数字中包括上海市。

我国潮汐能资源理论蕴藏量占世界各国的 3.7%，而可开发潮汐能资源按年发电量计算占世界各国的 34% ~ 44%。可见我国潮汐能资源的可开发程度很高，开发条件比较好。

展望未来，潮汐发电具有诱人的前景。相信不久的将来咆哮的海潮将会被人类充分利用，从而得到电力和别的好处。

波力发电

“无风三尺浪”是奔腾不息的大海真实写照。海浪有惊人的力量，5 米高的海浪，每平方米压力就有 10 吨。大浪能把 13 吨重的岩石抛至 20 米高处，能翻转 1700 吨重的岩石，甚至能把上万吨的巨轮推上岸去。

海浪蕴藏的总能量是大得惊人的。据估计地球上海浪中蕴藏着的能量相当于 90 万亿千瓦时的电能。

科学技术的发展，提高了人类驾驭海浪的本领。本世纪 60 年代初，人们开始研究利用波浪的力量来发电，这便是别具一格的波力发电。

近些年来，世界上一些国家相继进行了波力发电的研究，而且开始了实际应用的探索。

四面环海的日本具有丰富的波浪资源，为了能有效地开发这些资源，日本海洋科学技术中心，从 1974 年开始进行波力发电装置的研制，并建造了大型波力发电船“海明”，船体长 80 米，宽 12 米，总重 788 吨。“海明”的第一次海上试验于 1978 ~ 1979 年在山形县鹤冈市由良海域进行，取得了初步成果，为目前世界最大的波力发电出力，年发电量可达 19 万千瓦时。存在问题是：阀的破损率约为 10%，阀箱大，空气出力不足，发电出力变化大，发电成本高达 340 日元每千瓦时等。

为了解决上述问题，于 1985 年 9 月 3 日至 1986 年 3 月 31 日，在山形县鹤冈市由良海上 3 公里处进行了第二期海上试验。第二期试验以完成经济的空气透平为目标，在“海明”船上进行无阀串联式威尔斯透平试验，以确认其实用化。另外，以发电成本为 50 日元/千瓦时为目标，进行最佳船形、空

气流相位控制、出力集约化等各种实用化研究。

日本在千叶县九十九里町片贝海岸建成一种新式波浪发电装置，总投资 1.46 亿日元，输出功率为 30 千瓦。新式波浪发电装置由波能吸收器、送气管、定压化罐和压缩空气发电机等构成。其最大特点是，定压化罐将压缩空气进行定压化处理后送入压缩空气发电机，容易得到稳定的优质电能，并克服了波浪发电成本较高的缺陷。

实验表明，如果把定压化罐和高效大容量空气压缩发电机联用，则发电效率更高。

挪威石油能源部计划建设发电 10 兆瓦的新波力发电站。该电站 1990 年开始运行。这个波力电站计划由 Kvaerner 公司建设，以现在正运行的“振动水柱方式”（OWC）波力发电为基础。OWC 是将进入高 20 米钢管的波变为水柱，利用活塞的作用，使内部空气运动，驱动 500 千瓦威尔斯透平旋转的装置。

新的 10 兆瓦波力发电站预定建于卑尔根附近，用这种方式发电，在过大的波冲击时，会发生空气透平失速问题，Kvaerner 公司考虑安装圆形控制阀控制，皇后大学的研究小组考虑采用两个威尔斯透平同轴组合方式，即使前段失速，后段仍可产生动力。新的 10 兆瓦机组发电成本预计低于 2.5 便士/千瓦时。

瑞典制造了一种漂浮的三角状装置，它们用铝制成，有许多灵巧的叶轮紧紧“咬住”浪峰，像曲轴那样转动。这种海浪发电站的发电成本为每千瓦时 12 芬尼，比其他发电站便宜得多。

70 年代初爆发的石油危机，第一次大力推动波浪发电技术的研究。那时美国洛克希德公司开始进行了波浪发电实验。

英国拨出 100 万英镑发展海洋动力技术。发明气垫船的克里斯托弗·科克莱尔设计一种活动减摇装置，将它们放在波浪上，各种活动关节都能转动起来。

特赫姆大学科学家的测算表明，仅 2500 公里长的挪威岩石窄湾线上，一年就有 6 亿兆瓦潜在的电力。

在各类海浪发电技术中，“振动杆”更有前途。这座试验电站很像排管，安装在卑尔根以西的岩坑中，按水力活塞原理工作。但现在这种装置运转时也有麻烦。最初实验时，螺旋桨一转动就发出极其悲惨的吼叫声。参观过发电站的专家们说：“噪声很像空袭警报汽笛，而且很远就能听到。”1989 年初大风暴期间，16 米高塔经受不住而倒入大海。

该计划领导人打算使涡轮机在改进结构的新型混凝土基础上重新投产。

与挪威人的笨重设施完全不同，瑞典人的转子结构特别轻巧。它几乎不用铝，便于运输，而且没有沉重的机械零件，瑞典人寄希望于小岛国的订货。

英国试制了一台波力发电装置，并装在一艘浮动式驳船上做试验。它在 3 米高的浪头时，发电能力为 110 千瓦；在 5 米浪头时，最大发电能力为 220 千瓦。这种装置的发电原理是，将空气轮机驱动的发电机装在一个摇摆式的水塔上，随着波浪的升降，水塔上方气室内的空气压力就有所增减。单向调节阀控制着气流朝一个方向流动，这时空气轮机就驱动发电机旋转发电。

我国也在积极开发波力发电技术，中国科学院广州能源研究所研制成功的 BD102 型波力发电装置，于 1986 年 1 月在香港举办的广东省经济贸易展览会上，受到外商的好评。香港中华船舶公司提出代理该产品的出口，并为此

签订了有关意向书。5月份，在1986年春季广州出口商品交易会上展出，有些外国公司要求订货。这是我国第一台波力自动发电装置的对外展出，将使这一科研新成果打入国际市场。

BD102型波力自动发电装置是一种以可再生的海洋能为能源的新型波力发电装置。它是在1985年3月通过鉴定的BD101型的改进型。将其安装在带中心管的浮标上，利用浮标的上下升降运动，使中心管气室吸入和排出空气，将波浪能转换成空气动能，从而驱动透平带动发电机发电。所发电能既可作海洋航标灯用电源，亦可作海洋水文、气象自动遥测浮标的长效电源。

该产品外型尺寸仅为342×500毫米，重量16.5公斤。尺寸小，重量轻，材质耐腐蚀。

其发电量为航标灯所耗电量的5~7倍，灯光射程达五海里以上，和我国目前航标使用的电池相比，可节省费用57%，航标的大修期可延长一年。

同时，在发电机功率，电特性和结构上优于当时世界上较先进的日本商品化产品TG103型波力发电装置，而价格比其便宜四分之三。

11. 绿色的能源——生物质能

生物质能又称“绿色能源”，它是指通过植物的光合作用而将太阳辐射的能量以一种生物质形式固定下来的能源。它包括树木、青草、农作物、藻类、兽类及各种有机废物。生物质能的应用，有不同的形式，可以将树木、干草、秸秆等直接作燃料；也可以通过一定的方式将生物质转化为沼气、酒精等，作为燃料。

据推算，地球上每年由植物固定下来的太阳辐射能是目前全世界年能耗总量的十倍。照射到地球上的太阳能中的 0.024% 被绿色植物的叶子捕获，叶子通过叶绿素产生光合作用，将二氧化碳和水结合成碳水化合物和氧，太阳光的辐射能变成了植物的化学能。

生物质能来源于太阳辐射能，因此它是取之不尽的可再生能源。

世界各国普遍重视生物质能的开发和利用

开发“绿色能源”已成为当今世界上工业化国家开源节流、化害为利和保护环境的重要手段。联合国环境保护机构最近的调查报告说，至少有 14 个工业化国家在开发“绿色能源”方面取得了良好成绩，其中有些国家通过实施“绿色能源”政策，在相当大程度上缓解了本国能源不足的矛盾，而且显著改善了环境。

“绿色能源”有两层含义：一是利用现代技术开发干净无污染新能源；二是化害为利，同改善环境相结合，充分利用城市垃圾、淤泥等能源。与此同时，大量普及自动化控制技术和设备，提高能源利用率。据调查，自 1987 年以来，工业化国家在开发“绿色能源”方面的投资增长了近 1.2 倍，1991 年工业化国家利用水力、风力、太阳能和植物能源获得的电力相当于 900 万吨煤当量，而且这种增幅在本世纪内将以平均每年 15%~18% 的速度增长。

时至今日，城市淤泥将不再是一种污染物，英国、意大利、瑞士、法国和日本等国已开始商业化回收、利用下水道淤泥。意大利从 1990 年起已将开发淤泥燃料列为重要市政工程项目，西欧 1991 年淤泥回收处理设备成交额达 1.25 亿美元，淤泥燃料已成批向企业提供。

目前发达国家已有 50 多座垃圾发电站，其中一半以上是近 5 年建成的。10 年前建成的美国皮内拉斯市的垃圾发电站每周可处理垃圾 120 万吨，年发电 100 亿千瓦时，全部由电脑控制，垃圾燃烧后的废渣无菌，用于道路修筑。日本政府已推出庞大的垃圾发电计划，2000 年实现全国垃圾无害化，到 2010 年实现 500~900 万千瓦发电能力。

国土仅 4 万多平方公里的荷兰，年人均丢弃垃圾超出半吨，给该国造成很大压力。1991 年，荷兰政府颁布沼气发电计划，投资 8000 万美元，设计建造若干大型沼气发电厂，工程将于 1996 年完成。按计划在 2000 年荷兰全国沼气利用 2.5~3 亿立方米，届时全国将有近 30 万户家庭可常年利用沼气能源。据称，该国的废弃物处理公司将向全世界推销沼气发电成套设备，其利润将十分可观。

据世界银行出版物介绍，生物质燃料在发展中国家里目前仍是一种重要能源，特别是在低收入（世界银行定为人均年国民生产总值在 500 美元以下者）的发展中国家里所消费的能源总量中几乎 75% 以上是生物质燃料。

全世界生物质燃料提供的能源总量是较难准确计算的，这是因为大量的生物质燃料不进入市场。据国际能源机构估计，生物质能消费量约占总能源

消费量的 19%左右。

生物质燃料是农村的主要能源，在经济不发达的城市及一些加工企业中
也广泛采用这种能源。其传统品种是木材（薪柴和木炭）、动物粪便、农作
物废料（麦、稻、高粱等茎秆和枝叶，以及甘蔗渣等），其近代产品是沼气。
在发展中国家之间，因地区、农业和森林条件不同，主要使用的品种也不同，
在非洲和拉丁美洲的大部分地区（除巴西主要用甘蔗渣外），主要以木材做
燃料，在亚洲地区也大量用木材做燃料，但有些国家以农作物废料和动物粪
便做燃料，其数量约占燃料消费总量的一半。

在许多发展中国家里，即使是从农村迁居城市的民众，其传统使用生物
质燃料的习惯会长期延续下去。然而从农村迁居城市以后，单凭劳力无法获
得这种燃料，只能购买薪柴和木炭，因而家庭负担增加，一般，燃料消费要
占家庭必需消费的 5%~10%。随着供求形势的变化，生物质燃料价格经常
波动，上涨时民众则改用石油制品，下跌时恢复用生物质燃料。因此，这种
燃料的价格对能源的供求关系也将起着调剂作用。

欧共体最近重申，发展植物能源是补充西欧能源不足的重要途径。欧共
体委员会最近指出，植物能源有着广泛的发展前景，它不仅有利于保护环境，
而且可以使欧共体国家解决农产品过剩问题。目前，欧共体国家利用粮食、
甜菜、土豆、葵花籽等农产品生产的植物能源，不足欧共体全部能源消费的
10%。

欧洲许多国家已经看到了能源农作物的潜在应用前景。英国科学与工程
研究委员会决定，它将投资 2000 万英镑研究利用洁净能源的技术，其中向绿
色植物要能源是这个研究计划的一部分。英国科学家认为，目前野生植物和
栽培作物对于照射在它们上面的阳光的利用效率只有 4.2%，如果通过研究
使其提高到 5%，那么世界农田面积的 1/10 即可提供相当于目前人类使用的
全部化石燃料的能源。

欧洲一些国家已在大规模种植芒属植物，从中获取干净能源。英国科学
家发现芒属植物生长迅速，能很快长到 3 米高。当这种植物临收割时，它只
含有 20%至 30%的水分。因此适于当作工业锅炉和小型发电站的燃料。丹
麦、奥地利、德国已大规模种植这种植物，每公顷可收获 30 多吨，比其他能
源植物如柳和白杨产量都高。德国在巴伐利亚附近兴建的一座发电能力为 12
千瓦的发电厂，其燃料就是芒属、白杨、柳的混合物和秸秆。实践表明，芒
属作物所产生的能源相当于用油菜籽制作的生物柴油的两倍。

德国最近已开始半商业性应用菜籽油混合燃料，这种植物油被认为是再
生能源，燃烧时污染空气少，故有可能取代石油，成为机动车的能源。现在
使用柴油的车辆，均可不经改装便可换用这种混合燃料。据悉，法国、丹麦、
比利时和荷兰等国希望从德国引进这项技术。欧共体为支持开发植物能源，
决定从 1993 年 1 月 1 日起把植物能源消费税降低 90%，以鼓励投资，大力
开发这种具有“发展前途”的新能源。

不同形态的生物质能——

古老薪柴换新颜

薪柴是人类学会钻木取火之后，首先利用的能源，尽管它的采伐和利用
已有上百万年的历史，但至今还是人类掘取的能源之一。现在，世界上仍有
许多国家，每年要消费掉大量薪柴。

我国一亿七千万户农户，绝大部分靠薪柴为主要生活能源。过去，由于

“重斧头，轻锄头，只伐不养，只造不管”，致使我国的森林覆盖面积逐年减少。全国广大农村严重缺柴。据有关方面统计，全国实际年薪柴需要量为 1.8 亿吨，折合标准煤 1.038 亿吨，但所能提供的薪柴量只有 8858 万吨，差距甚大。

自 1978 年以来，我国由于种植了薪柴林供应薪柴，1983 年薪柴栽种面积新增了 1000 多万亩。贯彻植树造林、绿化荒山的政策后，全国薪柴资源得到了开发和保护。在今后相当长的一段时间内，薪柴仍将是我国农民的主要燃料。

英国和德国的有关专家预测，芦苇将会成为欧洲未来很有希望的能源，它具有生长快、不用肥料、不打农药、可保护环境等优点，所以，很受专家们的重视与青睐。

芦苇，原生长在中国和日本，是常年生植物，它不用施肥，每个季节可长到 3 米高，同时，抗病和抗虫的能力很强，不用喷撒农药，燃烧后，尽管像其他的生物燃料一样，会排放 CO_2 ，但是，在生长过程中，为了光合作用，却要吸入大量的 CO_2 。它的根部能吸入硝酸根等化学物质，这样有利于保护地下水的水质。据德国科学家估计，每公顷土地每年可收获干芦苇 30 吨，是白杨和柳树等快生植物的一倍，所以，德国的农民，把芦苇称为“大象草”，意味着它的生长速度快和收割量大。

英国和德国正在研究以芦苇代替石油和煤炭等能源，一是直接将它作为小型发电站的燃料；二是将它合成氢气，在加工原油时，用作提高轻质油收率的原材料；三是代替取暖油，作家庭取暖用燃料。

为此，德国还制定了使用芦苇作燃料的指标，预计到 1995 年，全国所用的取暖油，按其增长量计算，有 80% 要用芦苇。

英国和德国的农业科研部门，都征用了大量土地来试种芦苇，仅德国就有一个占地面积为 130 公顷的试种基地，目前还在继续扩大。

英国剑桥“国立农业开发咨询服务机构”的科学家科林·斯佩尼尔说：原来我们打算种植柳树和白杨树，尽管它们生长很快，但要间隔 3 年，才能砍伐一次，平均每公顷每年的产量只有 16 吨。现在种植芦苇，每年都可收割。平均每公顷每年的产量能达到 20~35 吨，即使按 20 吨计算，它也是一种很有发展前景的能源。

科学家们一直在尝试从生物量中获取能源，也曾设计成功以木片和蔗渣作燃料的发电厂。但是，人们一直未能找出一种真正有效的方法，来将生物量转化成便于运输的燃料。现在，东京日立公司与石油替代品发展研究所配合，已在实验中取得从生物量中萃取乙醇的方法。该法在工业上的实用希望极大。

新法解决了多年来使科学家们伤脑筋的怎样除去木质素的问题。植物纤维中的木质素极为坚韧，难以使植物细胞壁受到分解。较早的方法中要使用毒性化学品，但新法则用臭氧来除去木质素。留下的纤维素再用酶处理掉，以生成葡萄糖，然后发酵成乙醇，用作燃料或用来生产无铅汽油。

这个从植物中提取乙醇的方法，可使所耗的能量不超过所产生的能量。但目前的困难是，生物量体积庞大，运输费用昂贵，因而利用该法的发电厂，必须靠近生物量的来源区（如糖厂）。

新法的研究人员称，这种厂家能生产出每升成本仅 80 美分的乙醇。

干净的沼气倍受人们重视

人畜的粪便、垃圾都是人类社会的抛弃物，处理不当还有碍卫生。人们将粪便、秸秆、杂草、垃圾等有机物，置入沼气池内，在厌氧菌的作用下发酵产生沼气，沼气是以甲烷为主体的混合可燃气体，它可以像天然气一样由管道传输，可以用来烧饭、点灯、发电，是一种理想干净的能源。发展沼气不但可以变废为宝，提取能源，而且可以净化环境，将粪便和垃圾加以集中处置，从而大大减少传染病的流行机会。同时，办沼气还是优化生态环境，形成一种最佳的生物链的先决条件。沼气池里排出来的肥渣可以喂蚯蚓，蚯蚓长大了可用来喂猪和鸡，猪粪、鸡粪又可作生产沼气的原料，肥水还可当肥料，增加农业产量。

沼气已受世界各国的重视，无论是工业发达的国家，还是发展中的国家都十分重视发展沼气。即使包括美国这样经济发达国家在内，也都积极发展沼气，甚至在积极发展大型沼气工厂。美国俄克拉何马州一家沼气工厂饲养了七万五千多头牲口，每天用 200 吨动物粪便作为产沼气原料，大量生产沼气，并通过地下管道将沼气和天然气一起输送出去，作为工业动力能源。

拉丁美洲已有 28 个国家和地区不同程度地开展了沼气技术的研究与应用。沼气技术的应用领域可分为四类：农业废物，工业废物，城市下水道污水，城市垃圾。

农业沼气的开发：绝大多数沼气池是建在农村，单个体积为 7~40 立方米的小型池，发酵原料主要为畜粪，也有人粪和其他农业废物，所建沼气池主要用于炊事等。

工业沼气的开发：甘蔗、水果、咖啡等农副产品加工产生的高浓度有机废物，肉类、奶类加工产生的废水，造纸工业和石油化工废水都可用沼气技术加以处理。到目前为止，至少有 25 种工艺废水、废物在拉丁美洲开展了沼气发酵的研究，其中使用最多的是酒精厂废醪和咖啡加工后废壳、废水的消化。据报道，仅墨西哥每年就从甘蔗加工废液中回收 3 万桶石油当量的沼气能源。在巴西，目前有 102 个工业沼气发酵罐，总容积达 7657 立方米。

城市下水道污水沼气的开发：在城镇下水道污水厌氧处理方面，已有 33 个国家研究应用报道，其中近一半是实验室试验项目，其余是生产规模的应用，发酵罐单体容积为 200~3300 立方米。拉美是当今利用这项技术的领先者。1990 年 9 月哥伦比亚布卡拉曼加两座总容积为 6600 立方米的上流式厌氧污泥床发酵罐已成功启动。

城市垃圾沼气开发：利用城市垃圾卫生堆埋场技术，可从垃圾中获得沼气。其投资运行费用低，并可以回收能源。据理论计算，一吨垃圾在堆肥场发酵 10~20 年，可产 400 立

方米沼气，实践中可回收 100~200 立方米。拉丁美洲现在是发展中国家中采用卫生堆埋场技术的先行者。智利和巴西已有 5 座堆埋场进行沼气开发。还有 5 座在计划开发中，其中 4 座在巴西，1 座在哥伦比亚。

从垃圾开发沼气，降低了垃圾堆埋场的运行管理费用，其次是减少石油进口，第三是减轻了大气污染。沼气经过净化后，可用作市镇汽车的燃料，减轻汽车尾气污染；如作为城市煤气，则为市民提供一种廉价的气体能源。

拉丁美洲目前沼气年产量约 2.173 亿立方米 相当于 18.64 万吨油当量。其中，农村沼气 340 万立方米，相当于 2900 吨油当量，占总量的 1.6%；工业和城市污水沼气 1.257 亿立方米，相当于 10.78 万吨油当量，占 57.8%；垃圾堆埋场沼气 8820 万立方米，相当于 7.57 万吨油当量，占 40.6%。

拉丁美洲的沼气开发对我们的启示是，应当抓紧发展工业和城镇污水沼气和垃圾堆埋场沼气。

我国广大农村也正大力推广沼气。截至 1992 年底，全国有正规沼气池 498.21 万个，年产沼气量 11.548 亿立方米。沼气发电装机容量 2343 千瓦，年发电量 301 万千瓦时。除西藏外，全国各省区都建有沼气池。

一些积极发展沼气的地区，还开始建设家庭生态农业工程，有些农户建起了与猪栏、厕所相通的“三结合”沼气池，人畜粪便自动流入沼气池，以沼气肥渣喂鸡，肥水肥田或流入小池塘喂鱼或养水浮莲。庭园四周种植绿树和花草，环境优美，五谷丰登，造成了五业协调发展的良性生态循环。

扬州市农村改建沼气式卫生厕所，即沼气池、猪圈、厕所三联通，又有新发展。1993 年上半年新建沼气式卫生厕所 700 多个，乡镇改建大中型沼气公厕 20 座，比 1992 年同期上升 50%。迄今为止，全市已改建沼气式卫生厕所 9.5 万户；乡镇企业、学校、卫生院改造大中型沼气公厕 83 座，总地容积为 7000 立方米，其中邗江县已改 48 座，占总数 57.8%，已有 14 个乡镇卫生院改建沼气净化公厕，使 50% 的卫生院向老式公厕永远告别！

这种新型沼气式净化公厕，采用厌氧和好氧发酵相结合处理粪便污水，具有四级发酵工艺，第一、二节为厌氧发酵，三、四节为好氧发酵，采用环流、折流和生物填料的新装置，增加发酵量的流动，延长了发酵液的滞留期，有效地杀灭各种病菌虫卵，使厌、好氧发酵更为完善，达到国家卫生排放标准。创造了无害化的卫生环境，保护了水资源。

全市通过改厕所、建沼气，开发了沼气能源，用于烧饭、照明，形成年节柴 15.5 万吨，折标煤 10 万吨，还为农民提供优质有机肥 3000 多万担，减少了化肥用量，减轻了农民负担，节约成本，增加农民收入 2500~3000 万元，基本上实现猪进圈、粪入池，消灭了不文明的露天粪坑，有效地改变了农村

卫生环境和传统观念习惯。

湖北省松滋县城建环保局，采取减免城建配套费和重点倾斜环保补助资金的办法，扶持并指导当地骨干企业——湖北省白云边酒厂兴建起全国首家固体酒糟发酵沼气站。该站同与其配套的饲料厂和污水处理厂一起投入运行后，可使日产 120 吨的固体酒糟和酿酒废水得到综合利用。

绿色的油库造福人类

如果有人告诉你，石油可以种出来，也许你不会相信，但是从植物中可以提炼出石油，这是千真万确的事。

人类在长期的生产实践中，经过细心的观察，发现在数以万计的植物中，有的会分泌出类似于石油的乳汁；有的籽实或枝叶里含有很高的油分，只要通过简单的加工，便能提取出各种各样的植物油，这种植物油可以代替柴油当燃料。还有人发现，利用各种农副产品和废料发酵和蒸馏，制成酒精和甲醇，也是汽油的理想代用品。现在，有些已经突破了技术和经济难关，在全世界范围内推广应用。

早在 20 世纪初，柴油机的发明者狄塞尔就在他发明的柴油机上，试验过以各种植物油作燃料。后来，由于中东的廉价石油流入国际市场，“绿色的油库”曾一度被人们遗忘。1973 年，中东爆发石油危机，油价猛涨，一些国家又开始重视植物油的研究和开发利用。

现在，在世界范围内已经找到许多种可以提取燃料油的植物。除了我们

所熟悉的油菜籽、向日葵等油料作物外，在美国发现了一种名叫美洲香槐的石油树，这种树长成时，可以像割橡胶一样，从树干的表皮取出白色乳汁，这种乳汁只要稍加提炼，就会得到石油。此外，东南亚的合欢树，我国台湾省的高冠树，美国的“绿玉树”、“续随树”，都属于石油树。

还有一种能适应沙漠恶劣环境下生活的灌木植物，名叫霍霍巴，它的果实含有 50% ~ 60% 油性乳汁，经过提炼就是高级精密机械的润滑油。

油料作物还有大豆、花生、棉籽、油橄榄、桔皮等，都可榨油。

我国是研究油料植物较早的国家之一，但由于食油缺乏，油料作物得先满足人民日常生活食油所需，作为燃料的为数不多。不过，亦有一些地区的农村，在农忙季节，因柴油缺乏也曾以植物油代替柴油，也收到了较好的经济效果。

可以预计，随着石油资源的消耗，石油产量的下降，人类终将打开“绿色的油库”，为满足社会对液态燃料的日益增多的需要。

12. 未来的洁净能源——氢能

早在 1874 年，富于幻想的作家米尔斯·维恩曾预言，世界能源最终将以氢为基础。发展趋势表明，下世纪过渡到使用无碳燃料已在所难免。氢原子将取代碳原子，使地球恢复洁净。

自从工业革命开始以来，人类通过燃烧化石燃料，已经把数十亿吨有毒污染物倾倒在大气层中。燃烧化石燃料，每年有 50 亿吨炭、约 1000 万吨硫和比此数少一些的氮氧化物进入大气层。

氢作为燃料的独一无二的优点是，它的燃烧产物是水，不会污染环境，燃料循环与生物圈相吻合。

氢的运输和销售费用要比输电的便宜，在许多情况下，把现有的天然气管线改造一下，就能用来运输氢。运送氢的费用只为远距离输电的八分之一。氢还可能比电更宜于储存。按重量计算，氢的能量是同量汽油能量的 2.5 倍左右。如果把喷气机上的燃料换成同等效能的氢，就会大大节省重量，这也使氢成为一种航空燃料具有的明显优点。

如果把气态氢效率高的优点考虑进去，那么生产相当于 3.78 升汽油的气态氢需花费约 1.4 美元。如果要化石燃料燃烧对环境污染负责的话，则每升汽油的实际成本至少要再增加 25 美分。因此，当考虑总的社会开支时，甚至现在用氢也比用化石燃料便宜。

在可再生能源得到大量应用之前，氢主要由天然气作原料来生产。21 世纪中叶以前，煤炭可能成为生产氢的最便宜的原料。高温气冷堆将是制备氢的理想热源，它可提供高达 1000 以上的高温。

现在，世界各国都在探索用廉价的方法制备氢的途径，而且取得了许多新成果。

美国能源部 1993 年投资 6300 多万美元，用于研究与开发利用氢气代替汽油作汽车燃料。科学家们认为氢气将是 21 世纪后半期汽车的主要燃料。氢气具有对大气污染少，燃烧时不会排放 SO_x 、 NO_x 和 CO_2 等有害气体，完全符合美国于 1990 年颁布的净化空气法的要求。石油、天然气和煤炭等化石燃料，生成过程很慢，要经历几百万年，甚至几亿年，开采一点少一点，终究有一天会枯竭的。而氢气却是取之不尽，用之不竭的能源，可减少对进口石油的依赖，能实现能源自给自足，可节约大量用于进口石油的外汇。但是，美国过去对研究与开发氢气重视不够，大大落后于德国、瑞典和日本等国家，所以，现在要迎头赶上。

关于利用氢气作汽车燃料的问题，美国研究的重点是开发燃料电池。这种电池，除了用氢气外，还可用天然气、甲醇、乙醇和其他气体。美国科学家瑟法斯说：燃料电池的能源转换效率可达到 40% ~ 55%，如果利用它的热能，还可使能源转换效率提高到 80%。

美国液化空气专家珀要称：氢气为“未来的燃料”，在 21 世纪下半期，也许会取代汽油作车用燃料。

日本从 1993 年度实行以氢作燃料的发电技术计划。预计 2020 年为实行此计划将投入资金 3000 亿日元。

使系统实用化的关键技术是：以氢作燃料的涡轮发电机；高效率的分解水技术；安全而低成本的氢储存技术。

由日本万事发车厂研制的实验性汽车，燃料不是汽油、柴油、酒精，而

是用氢气发动。而含氢成分极高的水正是它的原料。

目前，尽管这种实验性汽车使用成本极高，而油价目前相对地低，但由于对地球环境污染问题日益重视，而石油总有耗尽一日，用氢作为汽车燃料最为吸引人，因氢与氧结合成为水，而地球上正好有大量的水。

不过以水代替汽油，仍有许多难题。首先将氢从水中分解出来就需用大量的电，这是成本高的一个原因。需用大量的电，意味着用氢作汽车燃料也不是绝对干净，因为发电过程会产生有害物质，不过这个问题可用水力发电解决。另一个问题是如何将氢储藏在汽车内，将气体氢变成液体氢，便于储藏，但必须在零下 253 。尽管难题很多，但是氢作燃料是下一个世纪的选择，前途十分光明。

现在，利用液氢作为燃料的氢能飞机已经研制成功，并且进行了试验，性能十分稳定。德国和俄罗斯目前正在合作研制一种空中客机，它由液氢作燃料，可望在 2010 年前后投入使用。

德俄研制这种飞机的原因：第一，在不久的将来可能出现石油供应短缺。需研究新能源取而代之；第二，从保护环境的角度来看，液氢是最理想的无污染燃料。

目前欧洲每天仅生产液氢 20 吨，而一旦这种燃料投入使用，估计欧洲每天需消耗液氢 6000 吨。

可以预料，随着科学技术的突飞猛进，氢将逐渐取代常规能源，到 21 世纪，它将成为能源舞台上的重要角色之一。氢能时代将会在下世纪后期到来。

三、现代社会面临的能源挑战

据 1992 年统计，全世界消耗的商品能源已经达到 111.346 亿吨标准煤。由于大量燃烧化石燃料（煤、石油、天然气等），给现代社会带来许多难以解决的问题。这些问题包括能源资源的短缺；森林植被遭破坏；大气、水系、土壤被污染；二氧化碳增多导致的温室效应；臭氧层空洞出现带来的危害；气候条件变坏，自然灾害增多等等，这些问题都与能源利用有一定关系。

（一）世界能源形势的评估

能源需求的增长速度与经济增长速度有密切的关系，在六七十年代，西方工业发达国家在实现工业化的过程中，经济保持高速发展势头，能源需求增长也较快，进入 80 年代之后，这种势头开始减慢。跨进 90 年代，世界政治经济格局产生了急剧转变，海湾战争、东欧巨变、苏联解体、全球环境变热，以及高新技术的迅速发展，对世界能源形势产生重大影响。

1. 世界能源态势分析 1992 年世界能源消费仅增长 0.2%，保持了 1990 年以来增长为零的水平，这就使世界能源需求总量在经历了 1982~1990 年期间 2.6% 的年均增长速度之后，进入一个平稳的时期。

但是，在平稳的全球增长水平下存在着显著的局部变动。1991 年，前苏联、中欧和东欧国家能源需求下降了 7.7%，这是造成全球能源需求量下降的主要原因。工业化国家能源需求增长为 10%，而发展中国家为 4.8%，增长最快的亚洲国家则达到了两位数字的水平。

1992 年石油市场比较稳定，海湾战争后，石油市场有效地调整了因科威特产量稳定回升带来的变动，使 1992 年石油价格的跌涨保持在一个较小的范围内。布伦特平均油价有轻微下降，每桶价格从 1991 年的 20 美元跌至 1992 年的 19.40 美元。

1992 年世界石油消费量只增加了 0.5%。发展中国家石油需求量的迅速增长和经济合作与发展组织成员国的中速增长，被欧洲非经济合作与发展组织成员国的低消费所抵消。俄罗斯石油需求下降了近 10%，且以出口石油以换取硬通货，但最快的下降速度出现在前苏联的另外一些加盟共和国，例如 1992 年乌克兰的石油消费量比 1991 年下降了 30.3%

同能源需求相同，亚洲的石油消费量增长也最快，特别是韩国，1992 年增长了 21.2%。

1992 年世界天然气的需求量，发展中国家增加最快，在那里，天然气继续从其他能源那里夺走市场份额。与其石油记录一样，韩国也创造了天然气需求量上升速度的最高记录，1992 年以 30.8% 的速度增长。在美国，由于其本土产量下降，天然气需求的稳定增长（1992 年增加 3.5%）由增加进口量来满足。由于美国天然气市场紧俏，平均进口价格达到了 1986 年以来的最高水平。

1992 年世界煤的需求量没有变化。发展中国家煤的需求量的增长被其他地区需求量的下降所抵消。核能和水力发电分别以 0.5% 和 0.8% 的速度下降。核能利用的下降结束了长期以来连年增长的局面，其主要原因是由于前苏联生产出口的下降（1991 年下降了近 18%）。

1992 年世界主要国家一次能源消费结构情况及世界一些国家及地区人均能耗情况见表 3-1、表 3-2。

表 3-1 1992 年一次能源消费结构

	一次能源消费量, 亿吨标准煤	消费结构 %				
		石油	天然气	煤炭	核电	水电
美国	28.011	39.8	26.1	24.3	8.6	1.2
前苏联	17.707	26.9	46.2	21.9	3.5	1.5
中国	10.890	18.0	2.0	74.9	—	5.1
日本	6.443	57.4	11.2	17.2	12.6	1.6
德国	4.787	40.1	16.8	30.5	12.2	0.4
法国	3.339	40.4	12.2	7.7	37.5	2.2
英国	3.021	39.0	24.9	28.0	7.9	0.2
加拿大	2.980	36.6	28.2	12.1	10.1	13.0
印度	2.793	31.7	7.4	57.0	0.9	3.0
意大利	2.184	61.6	26.9	8.9	—	2.6
韩国	1.630	62.4	4.2	20.4	12.8	0.4
波兰	1.387	14.6	8.2	77.1	—	0.1
世界总计	111.346	40.1	22.9	27.8	6.8	2.4

资料来源：中国，国家统计局；外国，《BP 世界能源统计评论》，1993.6.

名次		国家	人均能耗 (千克)	名次		国家	人均能耗(千 克)
1991	1970			1991	1970		
57	63	埃及	594	68	57	尼加拉瓜	254
58	50	哥斯达黎加	570	69	68	摩洛哥	252
59	59	突尼斯	556	70	65	波里维亚	251
60	44	津巴布韦	517	71	74	巴基斯坦	243
61	47	秘鲁	451	72	79	巴布亚新几 内亚	231
62	73	泰国	438	73	79	巴拉圭	231
63	55	毛里求斯	389	74	71	萨尔瓦多	230
64	54	赞比亚	369	75	58	菲律宾	218
65	61	多米尼加	341	76	76	刚果	214
66	81	印度	337	77	64	洪都拉斯	181
67	84	印度尼西亚	279				

2. 世界一些国家和地区的能源供求情况 从 1973 年第一次石油危机以来，世界各国都在设法提高能源自给率。特别是经济合作与发展组织成员国，都在努力开发可替代石油的能源及其他新能源，并推进节能工作。英、法、瑞典都大幅度提高了能源的自给率。日本进口一次能源的依赖程度已降到和意大利相同的水平。如英国从 1975 年北海油田投产后，能源结构发生戏剧性

变化，原油和天然气产量迅速增加，到 1981 年，英国实现了能源自给，并成为石油出口国。

法国和瑞典也由于大力开发核电，大幅度降低了对进口一次能源的依赖程度。1974 年，法国总统德斯坦批准了核电开发政策，从那时起，法国迅速发展核电，到 1980 年法国已成为仅次于美国的核电大国。现在，法国出口富余的电力进口石油，今后还将大力发展核电。

还有瑞典、日本等一些没有石油资源的国家，对石油的依赖程度也有明显下降。

一些国家过去对石油的依赖程度都很高，如 1973 年，日本是 75.5%，意大利是 73.8%，法国是 68.2%，瑞典是 59.8%。但在实施摆脱依赖石油的政策后，这些国家对石油的依赖程度都大幅度下降了，1987 年日本是 55.9%，意大利是 59.3%，法国是 42.6%，瑞典是 29.6%。

尽管各国都在尽力节省能源，但最近 15 年里，能源消费总量还是在增加（英国除外），不过，各国人均能源消费量不尽相同。

能源消费总量不断增加的国家有德国、法国、加拿大和瑞典，特别是加拿大和瑞典，消费量大幅度增加。与此相反，英、美和日本的能源消费减少了，这是因为节能产生了效果。

目前世界上划属发展中国家的共 115 个，其人口约占世界人口总数的 75%，但所消费的能源仅占 15%。由于这些国家的人口持续增长，对产品和劳务的需求继续增加，因而对能源的需求也迅速增长，年平均增长率达 5% 左右。但另一方面，这些国家相对发达国家而言，能源的开采，储运成本很高，加上能源利用效率不高，管理经验不足，致使这些国家的能源供应日益感到不足。

发展中国家目前应开发利用化石燃料、水力、核能以及其他可再生能源，将来需开发生物质能、化学能、太阳能、地热能、海洋温差能和潮汐能等。

当前应立即采取的能源策略是：全面掌握能源资源和消费的正确资料，以使用于能源规划；改善可再生能源和非再生能源的开发利用方式和流程；

寻求替代能源；提高能源利用效率和采取多种节能措施；制定能源管理政策；建立能源研究发展中心；加强与发达国家间的技术经济合作。

亚洲能源需求增长最为迅速。为了满足亚洲迅速增长的经济需要，其电能需求以每年 10%~15% 的速率增长。提供数量如此庞大的能源需 6000 亿至 10000 亿美元。90 年代中，世界新增装机容量几乎有 2/5 是在亚洲。

90 年代亚洲地区电力将有较大发展。电力总装机容量将从 1989 年的 2.28 亿千瓦增长到 1999 年的 4.72 亿千瓦，年增长率达 7.5%。

香港地区、新加坡、韩国和我国台湾省的经济增长速度较快，被称为“亚洲四小龙”。我国大陆沿海各省区在加快经济发展过程中，都各有追赶“四小龙”的目标。

近几年，香港地区的人均国民生产总值都略高于新加坡，但人均能源消费只有新加坡的一半，人均电力消费只有新加坡的 3/4。所以香港地区的能源和电力消费水平是较低的。而新加坡的能源、电力消费水平就比较高。

“四小龙”中韩国和我国台湾省的人均国民生产总值相近，能源和电力消费水平也比较接近。

亚洲“四小龙”的能源、电力消费水平见表 3-3。

我国大陆 1991 年人均能源消费量为 0.9 吨标准煤，人均电力消费为 600

千瓦时，只分别占香港地区的 38%和 13.6%；

表 3-3 亚洲“四小龙”的能源、电力消费水平

	单位	香港地区	新加坡	韩国	台湾省	备注
人口	万人	580	269	4279	2035	1990 年数字
能源消费量	万吨标准煤	1366	1235	9460	5402	1987 年数字
人均能源消费	吨标准煤/人	2.36	4.59	2.14	2.65	1987 年数字
发电量	亿千瓦时	256.3	156.2	1076.6	797.5	1990 年数字
人均发电量	千瓦时/人	4419	5808	2516	3919	1990 年数字
人均国民生产总值	美元/人	13800	13600	6245	8685	1991 年数字

也就是说，要达到香港地区的能源、电力消费水平，一次能源尚需增加 1.62 倍，电力消费量要增加 6.4 倍，可见要实现现代化，电力建设的任务远比一次能源繁重，为了使我国达到小康水平和中等发达国家水平，必须花大力气加快电力的发展。

（二）世界能源前景预测

世界人口不断增长，人类生活标准继续提高，伴随而来的将是全世界能源消费量的不断上升。化石燃料有限，滥用化石燃料污染环境和使全球变暖是人类面临的严重问题，寻找替代能源是人类确保社会实现富裕文明和健康生存的重大课题。

1992年9月在西班牙举行的世界能源大会上公布了《明日世界的能源》预测报告，对世界能源未来的消费趋向进行了分析。

报告指出，世界能源需求量在过去30年里大幅度上升。1960年尚为33亿吨油当量，到1990年已跃升到87亿吨油当量，年均增长率为3.3%。

在1990年至2020年的30年内，世界能源消费将面临三种选择：其一是低消费，世界能源消费量到2020年将达到112亿吨油当量；其二是中等消费，届时将需要133亿吨油当量；其三是高消费，世界能源需求量将高达172亿吨油当量。未来世界能源消费水平最终将取决于全球经济和人口增长速度及环保水平。预测报告推荐中等消费方案。按此方案，2020年世界的二氧化碳排放量将比1990年增加42%。如果人类加强环保措施，世界二氧化碳排放量增长幅度有可能压缩，反之，就很有可能高达92%。

第15届世界能源大会把能源问题提到了与人类生存休戚相关的高度来认识。要使世界经济发展与生态环境臻于和谐平衡，只有通过各国共同合作才能实现，而南北之间的贫富巨差和利益冲突使世界各国在经济、能源和环保方面的合作面临严峻的挑战。

报告认为，世界能源结构在2020年之前变化不大。1990年世界能源的一次能源结构中，石油占32%，煤炭占26%，天然气占19.5%。到2020年，这三者比重将分别变为28%、24%和21%。在同一时期，核能比重将由5%上升到6%，可再生能源的比重将由17%增至21%，其中水力发电将由5.7%增长到7.5%，太阳能、风能、地热、现代沼气和海洋能的比重将比现在翻一番，达到4%。

国际能源总署发表的《亚太能源需求展望》报告指出，经济高速增长，将使90年代亚太地区能源需求激增，同时该地区的石油进口将空前增长。报告说，2000年之前，该地区能源需求的增长率每年可达2.7%~3.6%。进口能源将占到需求的80%，大部分的进口将来自中东地区。到2000年，这个地区石油需求的70%将依赖进口，1990年为65%，1991年亚洲和澳洲的石油消耗总量为6.5亿吨，同时期西欧的消耗量为6.18亿吨。中国 and 日本的石油需求总量将占亚太地区总额的70%。该地区1990年的石油产量为2.5亿吨。1995年之后，该地区对石油的需求在能源比例中将有所下降，这是因为新的煤矿、天然气和核电厂将陆续投产。未来10年，该地区对天然气的需求每年将增长7%，到2000年时天然气将在整个能源需求比例中占到13%。

报告预测，到1995年，亚太地区的石油日消费量可能比目前的1200万桶增加350~400万桶。日本由于天然气成本较低，利于环境保护，再加上日本国内核能发电厂面临困境以及中小型天然气公司越来越多等因素，作为目前世界第一的液态天然气进口及消费国的日本，至下世纪初仍将继续增加液态天然气的使用。预计到2010年，日本对天然气的需求量将由1990年的3400万吨增加到5700万吨。目前日本从中东地区进口的石油占其国内需求量的

70%以上。

目前已探明，亚太地区的石油储量约 50 亿桶，仅及世界已探明石油储量的 5%。

世界能源协会（WEC）执行主席德来克·戴维斯在美国洛杉矶召开的一次再生能源会议上说，虽然现在人们都在关注着地球变暖，但是未来几年内由于世界经济的持续发展，将促使能源消费的不断上升，而全球对增长着的能源需求的关注将超过对环境的关注。预计到 2020 年期间世界能源需求的平均年增长率可达 1.5%，与世界人口的平均增长率大致相同，从而有可能导致地球环境的进一步恶化。

未来世界能源需求的增长将主要反映在发展中国家，特别是亚洲、非洲以及拉丁美洲的某些地区。这些地区的国家将需要大量增加能源消费来发展经济摆脱贫困，提高人民生活水平。因此，人们对环境的关注并不是排在首位。而且今后化石燃料仍将是这些地区最主要的能源。如大量的煤、石油及天然气仍将会继续使用几十年。特别是世界上人口最多的中国，煤炭仍将是最主要的能源之一。但是现在许多国家在化石燃料需求不断增加的同时，也在抓紧治理二氧化碳等的排放。

随着石油等化石燃料需求的增加，必将导致价格的逐渐上涨。为此，开发可再生能源资源具有较大的吸引力，国际社会对地球环境的日益关注，为世界提供了极好的机会，对经济的发展也将产生巨大的作用。全球可再生能源资源市场资金估计超过 2000 亿美元。

(三) 面临能源的挑战

1. 化石燃料资源面临枯竭的危险

化石燃料是大自然赋予人类的财富，它的总储量是有限的，花去一点就少一点，总有一天会枯竭的。

据世界能源会议 1992 年大会期间提出的《1992 年能源资源调查》，对世界各国各种能源在 1990 年的资源调查和产量作了统计。

煤炭：世界各国煤炭探明共可采储量烟煤和无烟煤 5214 亿吨，次烟煤和褐煤 5177 亿吨，合计 10391 亿吨。1990 年产量共计：烟煤和无烟煤 33.14 亿吨，次烟煤和褐煤 14.35 亿吨，合计 47.49 亿吨。还可开采 219 年。

石油：世界各国原油探明可采储量共计 1348 亿吨，天然气液 26 亿吨，合计 1374 亿吨。1990 年原油产量 30.16 亿吨，天然气液产量 1.03 亿吨，合计 31.19 亿吨。还可开采 44 年。

天然气：世界各国天然气探明可采储量共计 128.85 万亿立方米，1990 年净产量共 2.135 万亿立方米，还可开采 60 年。

铀资源：31 个国家铀资源探明可采储量是每公斤 80 美元以下的共 141 万吨铀，每公斤 80~130 美元的共 67 万吨铀，合计 208 万吨铀。1990 年产量 3.18 万吨铀。还可开采 65 年。前苏联等国，每公斤 130 美元以下的有 80.3 万吨铀。

水能资源：世界各国统计理论水能蕴藏量 34.69 万亿千瓦时，可开发水能资源 13.97 万亿千瓦时，1900 年运行中水电装机容量共 5.98 亿千瓦，年发电量 21332 亿千瓦时。对可开发水能资源相比的利用率为 15%。

地热：24 个国家统计地热发电装机容量共约 600 万千瓦，年发电量 300 亿千瓦时。

风能：世界各国统计风能发电装机容量共约 250 万千瓦，其中美国约 160 万千瓦，欧洲诸国 50 万千瓦以上。

潮汐能：据估计全世界所有海洋的潮汐能蕴藏量共有 22000 亿千瓦时/年，可经济开发的约 2000 亿千瓦时/年，现已开发利用的仅 6 亿千瓦时/年。

世界化石燃料探明可采储量见表 3-4。

表 3-4 世界化石燃料探明可采储量

煤炭, 亿吨	石油*, 亿吨	天然气, 万亿立方米
世界总计 10391.8	1374.3	128.852
其中:		
前苏联 2410.0	沙特 350.7	前苏联 54.530
美国 2405.6	伊拉克 136.0	伊朗 17.000
中国 1145.0	阿联酋 130.0	阿联酋 5.646
澳大利亚 909.4	科威特 127.9	沙特 5.214
德国 800.7	伊朗 127.0	美国 4.732
印度 625.5	委内瑞拉 86.0	卡塔尔 4.589
南非 553.3	前苏联 80.8	委内瑞拉 3.429
波兰 412.0	墨西哥 69.2	阿尔及利亚 3.300
印度尼西亚 320.6	美国 43.1	加拿大 3.116
南斯拉夫 165.7	中国 32.6	伊拉克 2.690
		中国 1.127

*包括天然气液。

资料来源：世界能源委员会《1992 世界能源资料调查》

从总体来看，化石燃料资源还是有限的，由于现代社会对能源需求的高期望，能源资源的短缺将是人类面对的实际问题。

2. 直接燃烧化石燃料已对环境构成严重威胁

燃烧化石燃料给环境造成的危害是当今带世界性的严重问题，其结果是使生态环境遭到破坏，人畜受危害。特别是直接燃烧煤炭所造成的环境危害更是触目惊心。能源的生产和利用过程是产生公害的重要途径之一。

化石燃料在燃烧过程中都要放出二氧化硫、一氧化碳、烟尘、三四苯并芘、放射性飘尘、氮氧化物、二氧化碳等。这些排放物中，一氧化碳、烟尘会直接危害人畜；三四苯并芘是强致癌物质；放射性飘尘使生物受辐照损伤；二氧化硫和氮氧化物会产生酸雨，使植物死亡，饮水变质；二氧化碳被现代社会认为是造成温室效应，使地球气温升高的罪魁祸首。在煤、油、气三种化石燃料直接燃烧中，对环境污染以煤最为严重，其次是石油，天然气相对比较干净。

发达国家在工业化初期由于大量燃烧煤炭而付出了沉痛的代价。酿成灾难的典型例子是，英国伦敦由于大量燃用煤炭等化石燃料，五六十年代，有雾都之称。在 1952 年一次烟雾事件中，死亡人数达 4000 人，1962 年一次死亡人数达 750 人。美国纽约、日本东京也曾出现过严重的大气污染，然而由于采取了改变能源结构，减少煤炭消耗，改烧气体燃料，使大气质量明显改观。在新技术革命到来之时，一些发达国家抢先发展低能耗的高技术产品，将烟囱工业转嫁给第三世界国家，使得本国的环境质量大大得到改善。伦敦的天空也开始变得湛蓝，纽约、东京的空气也变得洁净。但是发展中国家的一些城市却变得越来越脏，而且比 50 年代西方国家出现过的最坏情况还严重。墨西哥城是世界上空气污染最严重的城市之一；希腊首都雅典因酸雨侵蚀，使许多古代留下的雕塑变成了石膏；我国的本溪市，因为上空烟雾弥漫而在卫星上看不到它。

我国是煤炭大国，煤炭占能源消费的比例达 76%，全国每年排入大气的烟尘达 2300 万吨，二氧化硫 1460 万吨，其中燃煤排放的烟尘占 73%，燃煤排放的二氧化硫占 90%。我国大气污染是煤烟型污染，特别是城市每家每户使用小煤炉做饭和取暖，煤烟出现在离地面 2 米以下的呼吸带，对人体造成严重威胁。有的城市烟尘含量已经超过伦敦事件发生时的指标，如果气象条件出现不利情况，也会出现类似伦敦事件情景。

酸雨会使大片森林毁灭，使农作物减产，使桥梁和建筑物受严重酸蚀，造成巨大的经济损失。全国因环境污染造成的经济损失每年达 800~1000 亿元。

我国现在已经年产煤炭 10 亿吨以上，预计 2000 年将达 14 亿吨，到 2050 年可能达到 50 亿吨。1988 年全世界煤炭产量也只有 48.4 亿吨，也就是说，如果到 2050 年把相当于现在全世界所有煤炭都放在中国 960 万平方公里的小天地来烧，届时中国将不可避免地成为一个墨盒子和黑盒子。

亚洲若干国家首都大气质量见表 3-5。

3. 减轻环境污染的对策

面对日趋恶化的环境卫生，世界各国都在千方百计采取措施加以改善。他们通过加强规划，制订政策，完善管理，开发新技术等多种途径加以实现。

世界环境保护协会、联合国环境规划署和世界野生动物基金会等三个主要环境保护组织，公布了一项挽救地球的全

表 3-5 亚洲若干国家首都大气质量（污染物年均浓度）

	SPM mg.cm ³	SO ₂ ppm	No _x ppm
东京	0.05(80)	0.02(78)	0.046(78)
	0.06(91)	0.01(91)	0.048(91)
汉城	0.22(85)	0.095(80)	0.028(84)
	0.12(91)	0.042(91)	0.032(91)
曼谷	0.08(83)	0.04(88)	0.060(83)
	0.14(89)		
雅加达	0.15(83)	0.015(86)	0.005(86)
	0.23(86)	0.035(89)	0.010(89)
德里	0.46(81)	0.015(81)	0.006(87)
	0.46(85)	0.030(85)	0.010(89)

注：曼谷、雅加达、德里为工业区。

资料来源：日本《能源经济》，1993年9月。

面计划，呼吁人们大幅度改变生活方式，要求工业化国家把巨大的资源改用于保护环境。

这些组织在计划中说：“持续发展有赖于对地球的关怀。除非地球丰富的资源和生产力得到保障，否则人类的未来将受到危害。”呼吁减少使用化石燃料，制定严厉的全球反污染标准。

这些组织还敦促各国政府采取限制资源消耗和限制人口的明确政策，并把这些写入他们的国家发展规划。

这些组织认为，高收入和高消费的国家应当抑制浪费和污染。高消费国家政府应征收能源和其他资源消费税，以限制使用。世界野生动物基金会英国分会会长乔治·梅德里说：“富裕国家占世界人口的25%，但消耗的资源却占地球资源的80%，我们必须认真对待我们的消费和我们的浪费。”

关于人口过多问题，这些组织说，1990年低收入国家约有3.81亿对夫妇（占51%）采用了计划生育方法。他们说，为了使生育率达到联合国规定的到2000年61亿的适中人口目标，到本世纪末还必须要有1.86亿对夫妇采用避孕方法。

为尽可能地减小对大气的污染，世界各工业化国家都采取了一些管理和技术措施。

主要是在涉及燃用化石燃料设备（例如工业锅炉或电站）的情况下，可采取的管理措施为：规定燃料含硫量的极限。这一措施可能导致片面利用

低硫燃料，以致不适当的利用资源、劳力和运输方法。避免主要污染源集中。这一措施能够改善某些区域的大气污染，但对整个地区或全国并无效果。

采用经济手段减少燃料消耗。除许多工业部门不可能减少其能耗外，也难以进行公正管理。

技术措施主要采用烟道气净化技术作为执行一般排放标准的基础，以保证在排放源减少排放。大多数高度工业化国家均采用这种严格而更经济的空气污染控制方法。

采用气体净化技术作为减少微粒排放物和气态散发物，尤其是粉尘、二氧化硫和氮氧化物的主要手段，事实证明是可行的。由于污染物主要来自少数而较大型固定污染物，因此，欧洲、北美洲、前苏联和日本等高度工业化地区，正采用庞大的区域供暖系统。在供能方面，这种结构上的发展将为有效地应用气体净化技术提供新的基础。

我国积极采取措施减轻环境污染。经过反复研究和论证，到本世纪末我国的环保目标是：环境污染基本得到控制，重点城市环境质量有所提高，自然生态恶化的趋势有所减缓，逐步使环境与经济、社会的发展相协调，为实现我国生态系统良性循环，城乡环境清洁、优美、安静的远景目标打下基础。研究预测表明，要使环境污染达到“基本控制”的目标，需要投资 2800 亿元，约占同期国民生产总值的 1%。改革开放的十多年使我们看到：快速的经济增长既增加了环境的压力，也为环境保护提供了强有力的资金支持。因此，要尽可能地保证一定的投资比例以实现环境目标。

国家环保局、国家物价局、财政部、国务院经贸办联合以环监 [1992] 361 号文，印发了经国务院批准的《征收工业燃煤二氧化硫排污费试点方案》。同时，国务院领导同志还要求进行以下工作：研究限制和禁止开采和使用高硫煤，鼓励开采和使用低硫煤的问题。研究和修订二氧化硫排放标准，以及严格控制新建项目的二氧化硫排放量的措施。研究加快现有设备的脱硫技术改造，积极推广成熟的脱硫技术以及适当引进国外先进技术和设备的问题。研究加快开发无污染或少污染的替代能源，减少燃煤污染的问题。

我国目前由于大量燃煤产生的二氧化硫污染问题已经相当突出，电力工业燃煤量约为全国煤炭总消耗量的 1/4，到 2000 年有可能提高到 1/3，而且煤质差、含硫高的煤炭往往集中在燃煤电厂使用，因此火力发电厂的二氧化硫排放量较大，较为集中，应当充分重视这一问题。火电厂今后应当尽可能地采用低硫煤，在新建火电厂时要逐步采用除硫装置，加快开发水力发电和无污染、少污染的能源。

4. 采取有效措施减轻温室效应 近几年来，世界上举行了多次国际性会议，提出了限制二氧化碳排放的种种要求和措施。1989 年 5 月，82 国签署了赫尔辛基宣言；又在多伦多举行了国际会议，提出 2005 年减少 20% 二氧化碳排放量，到下世纪中期要求减少 50%。

科学家想出很多办法来减少温室效应气体，这些办法有的是设想，有的正在认真执行，有的将来有可能实现。这些措施包括：

大力开发核能，代替火力发电和常规供热，这是核能重新受到重视的原因所在。

发射一大群队列太阳能卫星，将太阳能转变成微波，再发回地球变成电能，以减少化石燃料的消耗。

大力发展海洋藻类和浮游生物，特别设置巨大的轨道反射器，把阳光折射到两极，让浮游生物生长，以代替化石燃料。

设置轨道伞，也就是在太空设置屏障，部分遮住射往地球的太阳，以降低温度。这种屏蔽层面积相当大，实现起来比较困难。

停止生产和使用氯氟烃（因为氯氟烃对温室效应作用更大。一个氯氟烃分子吸热能力相当于 1500 个二氧化碳分子），并实施冰箱节电。

开发新技术减少二氧化碳排放——

开发二氧化碳回收技术

日本东京农工大学工学部以松永教授为首的研究组开发成功用光纤传输阳光培养的藻类可固化 CO₂ 的技术。已利用球形藻固化 CO₂ 为石灰石小粒，下一步还拟研究利用它做识别小鼠抗体之用。同时该教授已利用该研究组厂家制造的 70 升大型生物反应器进行连续处理的实用化研究。

松永教授认为，这一技术将为回收利用 CO₂ 和控制地球温室效应做出重大贡献。

日本北陆电力公司开发成功 CO₂ 水化物的连续生产技术，为将 CO₂ 在深海底埋存处理提供了条件。据有关资料计算，深海中藏于甲烷水化物中的甲烷贮量将是目前地球上已知天然气贮量的 10 倍，但过去一直无法开采。应用这一技术后即可将 CO₂ 形成水化物埋存于深海，又可将深海甲烷水化物中的甲烷置换出来，实为一举两得。北陆电力公司正和富山大学等共同研究有关实用化的基础技术。

繁殖浮游生物吸收空气中的二氧化碳

科学家们对海洋生物进行仔细研究发现，一种特大浮游生物的数量比人们预料的还要丰富，并且它可能正吸收着空气中大量的二氧化碳，从而将使地球变温的速度要比预测的慢。

研究表明，一种束毛藻属生物体会吸收空气中的氮，是海洋中的一个比预料的还要大的固氮源。科学家们原来认为海水中缺氮，以上新发现也许会改变这种情况。

浮游生物像有叶植物一样，吸收太阳能，并把二氧化碳和氮转化成体内组织。这一光合作用过程是地球上几乎所有食物的基本来源。

束毛藻的直径 3 毫米，它可吸收碳，一些甲壳动物和鱼都吃它，动物的粪粒和尸骨残骸则沉积在海底。

将二氧化碳转化为汽油

日本京都大学教授乾智行所领导的研究小组，开发成功由二氧化碳提炼合成汽油的新技术。它的回收率非常高。

具体办法是：将二氧化碳注入反应器中，第一次通过时，有 26% 转化为汽油，将未转化为汽油的气体反复通过转化装置，结果可使 90% 以上的二氧化碳成功地合成为汽油。

该研究小组推算，如果该系统装置在 200 万千瓦级的电厂内，每天可制造出 14000 吨汽油。

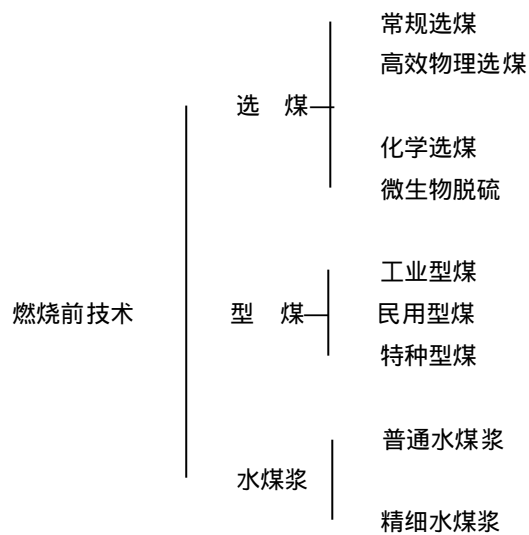
研究工作从 5 年前开始，最初是利用二氧化碳与氢气反应成甲醇，然后将甲醇直接转变成汽油。

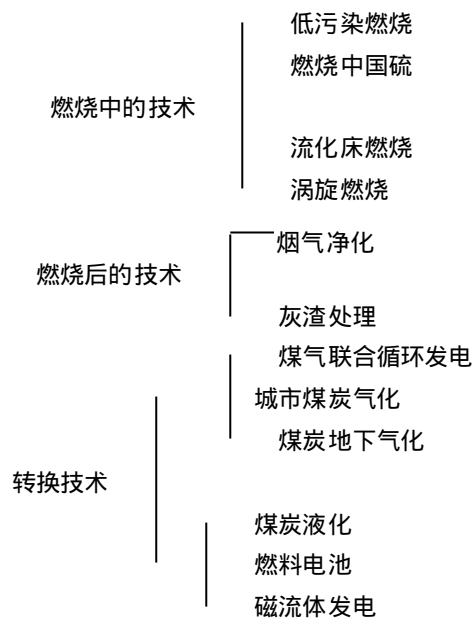
二氧化碳与氢气的比是 1 : 3。由于二氧化碳较稳定，不易变为其他物质，研究组不断改善催化剂，才闯过了难关。

将二氧化碳转化为乙烯

日本熊本工大、熊本大学和科技厅理化技术研究所组成的研究小组，利用生物基因工程培养成一种特点蓝藻，并利用它把 CO_2 制成乙烯，尽管目前效率还很低，但通过对蓝藻的改良还可以提高。另 CO_2 是造成温室效应的主要气体，日本已决定到 2000 年仍控制在 1990 年的排放水平，但难度很大；而作为工业重要原料的乙烯是用石油制成的，故此法实施后对防止温室效应和代替石油将做出重大贡献，从而发展前途很好。

5. 开发推广洁净煤技术是避免“公害”必由之路洁净煤技术(Clean Coal Technology)一词来源于美国，1980 年列入能源词典。它是针对燃煤对环境造成污染提出的技术对策。所以洁净煤技术包括煤炭利用各环节的净化和减轻污染的技术。针对燃煤带来的废渣、废气和废水等方面问题，洁净煤技术的构成如下：





从燃烧前、中、后三个阶段净化技术看，越往后难度越大投资及成本越高。因此，世界各国在分段抓好各环节净化技术的同时，都分阶段进行技术经济效益优化。现择其主要进行简单介绍。

世界各国洁净煤技术的开发研究和推广——

鉴于未来能源结构中煤炭仍然占有重要位置和人类面临的环境生态问题越加严峻等实际情况，世界各国对洁净煤技术的研究和推广给予了高度重视，它们都制订了各自的发展洁净煤技术的计划，而且取得显著的成效。

美国大力推进洁净煤的商用化

美国是煤炭储量最大的国家，储量占世界总储量的 29%。在一次能源消费中，煤炭占 1/4。全美有一半以上的电站是燃煤电站，因此美国对减少燃煤电站的污染，特别是脱硫技术十分重视。

美国洁净煤技术的发展分三个阶段：60 年代为实验室研究阶段；70 ~ 80 年代为中试阶段；90 年代为工业示范阶段。

美国能源部已拟订了一系列洁净煤燃烧计划。实施这个计划的目的是在煤气化的基础上发展高效低污染发电技术，并使其商业化。以前的实践证明，这种技术能比普通的煤燃烧技术多生产 25% 的电力，而治污费用减少 60%。美国联邦政府为此将投资 5.68 亿美元，其中 75% 用于第二阶段煤气化研究。其他投资用来发展高性能污染控制设备，政府要求尽可能利用老厂原有设备。据能源部介绍，整个计划的总预算为 15 亿美元。

近 10 年来，美国国内净化烧煤发展迅速。据美国爱迪生电力研究所估计，美国到本世纪末需新增 1 ~ 2 亿千瓦装机容量，其中大部分是烧煤电站。发展新的更有效的洁净煤技术，可使这些煤电站的投资费用减少 30% ~ 50%。据调查，70 年代美国电力公司在采用涤气器和其他方法减少大气污染方面花了 42 亿美元，80 年代这一数字达 1000 亿美元。到 1990 年，电力工业为实行规定的污染控制总共花费 1850 亿美元。美国能源部估计，现有电站锅

炉改造成喷石灰多段燃烧器，可使二氧化硫和氮氧化物排放量减少 50% ~ 60%。美国技术评审局估计，20 万千瓦以下的采用流化床锅炉的机组，投资为 1360 ~ 1680 美元/千瓦。

美国能源部开发先进的外燃式煤基联合循环发电技术，目标是高效率（超过 50%）、低污染（CO₂ 排放比煤粉炉少 25%）、经济性、环境效益和性能超过其他技术。

此外，美国能源部发展煤基车用燃料，它把煤转换成煤气再制成二甲基醚用作车用汽油的富氧添加剂，以减少污染物排放。

亚洲地区采用洁净煤技术具有重要意义

目前亚洲地区每年消费 15 亿吨煤，而且以每年 6000 万吨的速度增加。美国东西方中心煤炭研究项目负责人说，煤炭的低效利用和缺乏污染控制手段，导致许多城市的大气污染达到不可接受的水平。但在今后 20 年内煤炭仍是亚洲最便宜、最丰富的能源。因此，先进的、效率更高、污染较少的煤炭利用技术是唯一现实的选择。

日本和美国正在开发的先进煤炭技术，可用于亚洲国家。但烧煤电厂采用这些技术，投资要增加 15% ~ 30%，而许多亚洲国家的电力公司缺乏资金和技术经验。这样一个重大而复杂的问题不是任何一个国家能够独自解决的。亚太经济合作组织可促进先进的煤炭利用技术的主要提供者与用户之间的合作。他希望在东西方中心建立亚太经济合作组织洁净煤技术中心，进行信息交流和培训。

日本积极开发洁净煤技术

日本正在建设洁净煤技术中心，以促进亚太地区洁净煤技术的开发和技术转让。

日本的“绿色计划和煤流计划”建立在先进的污染物控制技术的基础上，日本 70 年代开始采用烟气脱硫装置，目前已有 90% 的烧煤电站安装烟气脱硫装置，是主要煤炭消费国中比例最高的；约 70% 的烧煤电站装有脱氮系统；所有烧煤电站都装有高效除尘装置。

中国重视研究开发洁净煤技术

中国是世界最大煤炭生产国和消费国之一，也是世界上少数几个能源以煤炭为主的国家之一。预见将来，中国也不可能减少煤炭消费。唯一可供选择的方案是发展洁净煤技术。因此，洁净煤技术是中国能源的未来，对我国来说有着深远的意义。首先可大幅度减少大气污染物排放，从而在环境允许条件下可扩大煤炭的作用。其二是可大大提高煤炭利用效率和经济效益，降低煤炭需求的增长速度，减缓二氧化碳排放的增长。其三是可促进中国能源供应向多样化方向发展。21 世纪，随着煤基合成燃料的大规模生产，它可能成为国产液体燃料的主要来源。

我国经过多年努力，在洁净煤技术研究和应用方面已取得了不少成果，例如在开发研究先进的选煤技术，大力推广型煤，研制和生产水煤浆，研究开发煤的先进发电技术及研究磁流体发电技术等方面都取得了可喜的进展。

开发先进洁净煤技术——

选煤是洁净煤技术的主导技术之一

选煤可以大大减少煤中灰分和硫分。选煤分为物理选煤、化学选煤和生物选煤三部分。常规的物理选煤可脱除 60% 的灰分和 30% ~ 60% 的黄铁矿硫，化学和生物选煤方法可脱除 90% 的黄铁矿硫和有机硫，但成本比物理选

煤为高。目前正在开发的先进的物理选煤技术可脱除 90% 以上的黄铁矿硫和灰分。物理方法虽然不能脱除有机硫，但可使单位发热量的含硫率大大降低。而且根据我国是高硫煤的特点，高硫煤中的硫，大部分以黄铁矿硫为主，且黄铁矿在煤中多数以单独的团块或颗粒状存在，可以用费用较低的物理方法脱除。

目前，美国锅炉燃烧用煤有 40% 在燃烧前进行洗选加工，使用经过洗选加工的煤，使美国大气中 SO_2 排放量减少 10%。燃烧用精煤所得到的经济效益，超过了原煤进行洗选所需费用。燃烧前选煤是一项经济有效的控制 SO_2 排放技术，可以自成一体，也可以与燃烧后脱硫技术配合使用。

美国近年来大力开发先进的物理选煤技术，包括微细粒重介或重液旋流器，微泡浮选柱，油团选和选择性絮凝，高梯度磁选和高压静电选等技术。要求将煤粉碎到几百甚至几个微米，使硫分和灰分充分解离，然后脱除。能生产出灰分 $< 1\% \sim 3\%$ ，硫分 $< 0.5\%$ 的洁净精煤，用于制水煤浆、油煤浆或甲醇煤浆以代替燃油，或直接在燃气轮机喷粉燃烧，也可以制备高级碳素材料。

近年来，我国煤炭行业以脱硫降灰、制备洁净精煤为目标，开展了先进选煤技术的研究，已取得了一系列重要成果，但总体上还处于起步阶段，尚未实现工业化生产。因此，迫切需要国家投入相应的资金，加速选煤技术的发展。

我国对选煤脱硫的研究始于 50 年代，进行了多种物理方法、某些化学方法及生物方法的研究，但在工业上获得广泛应用的是常规的物理选煤方法。

60 年代，在四川南桐煤矿建起中国第一座年处理能力为 45 万吨，采用跳汰-摇床联合流程的脱硫选煤厂，该厂把含硫 3.35% 的原煤脱硫后，获得硫分在 $1.5\% \sim 1.7\%$ 之间的精煤，基本满足了当时冶金部门对炼焦精煤硫分的要求，最近在该矿 90 万吨选煤厂改建中，采用了全重介流程。

1978 年河南程湾煤矿用水介质旋流器-摇床联合流程脱硫，把含硫 1.12% 的粒煤脱硫后获得硫分为 0.89% 的精煤。

1984 年河南观音堂煤矿采用大锥角水介质旋流器对煤炭脱硫，特点是两级旋流器的溢流都用弧形筛脱除高硫的细泥，入料硫分为 2.26%，精煤硫分为 1.47%。

由于煤的平均粒度减小，末煤跳汰，水介旋流器分选精度低，脱硫降灰效率低。摇床的分选精度虽然较好，但处理能力小，占地面积较大。采用磁铁矿悬浮液的重介旋流器是最成熟且经济的末煤分选脱硫方法。

中国第一座高硫煤脱硫示范厂，最近在重庆市中梁山矿务局建成投产。该厂入选极难选 (± 0.1 邻近密度物含量 $> 40\%$) 高硫炼焦煤，设计能力 60 万吨/年，采用直径 400 毫米单段圆筒重介旋流器精选跳汰机的粗精煤，煤泥用浮选柱和机械搅拌式浮选机脱硫，原煤平均灰分 27%，硫分 3.60%，最终精煤灰分小于 11.5%，硫分小于 1.40%。重介旋流器的可能偏差 $E_p = 0.03 \sim 0.05$ 。

型煤在洁净煤技术中居重要地位

中国是两千多年前发明型煤的国家，近年十分重视型煤发展，70 年代初邓小平同志就指示煤炭部：大力发展型煤，在四个煤矿建型煤厂；1984 年国务院环委会发布的“防治煤烟型大气污染技术政策的规定”，把型煤摆到防治技术的主要途径。

这是因为：型煤可以有效地提高煤炭使用效率，迅速减少煤烟污染，明显提高煤炭经济效益。

型煤属“燃烧前”范畴的洁净煤技术。美国环保局在总结 60 年代控制燃油排放 SO₂ 污染效果时指出，只有在炼油厂脱硫的“燃烧前净化”途径是成功的，“燃中”和“燃后”的净化技术，效果均很差。因为燃前控制一个加工厂的质量，比控制成百成千个用户的净化效果要容易得多；燃前加工厂投资和运行费，比“燃中”和“燃后”净化装置费用低 5~10 倍。

洁净型煤技术，也具有上述“燃前净化”的优点。

我国煤炭消费构成中，65%（7 亿吨/年）是用中、小型炉窑以层状燃烧方式使用的，而层状燃烧方法最适合应用型煤。若把这五六十万台锅炉、窑炉，以及上亿台的民用炉改为流态床燃烧，或加上烟气装置是非常困难的。

按目前正在合肥建厂的实际投资比较，年加工吨煤的投资，气化站是型煤厂投资的 27 倍（型煤投资仅 40 元/吨·年），液化会超出型煤近 40 倍。

年加工吨煤的加工费，气化是型煤加工费的 8 倍（型煤加工费为 12~24 元/吨）。

型煤适用于工业锅炉、各种工业窑炉、民用炉、冶金、旅游等各种行业。如应用中国矿业大学北京研究生部发明的型煤改性技术，可将本来性能不对口、不能用的煤种，改性后满足各行业使用。从而扩大煤炭用途，减少煤炭消费成本。如在合肥型煤厂，用当地淮南粘结煤“破粘”后，制成型煤做城市煤气，比在当地用大同块煤，降低 330 元/吨的费用，几个月即可收回建厂投资。

所以，洁净型煤技术是很适合我国国情，也是受到国际重视的，商业化最早，能迅速控制燃煤污染，并给型煤厂带来经济效益的途径。

型煤技术发展的三个阶段

第一代型煤：其特点是简单地将“粉煤变块”。目前我国的民用蜂窝煤和煤球仍属“第一代型煤”。

我国大量发展第一代型煤是 50 年代开始的，目前全国有近千个蜂窝煤和煤球厂，约有 2800 万吨/年的生产能力。

第二代型煤：特点是“成型中单项改变型煤特性”，由英国在 50 年代末期发明的。例如英国将烟煤加工成无烟型煤（烟煤变无烟）；日本用无烟煤做成火柴点燃的上点火蜂窝煤（改变点火性能）；中国的合肥型煤，北京郊区七个厂将热稳定极差的京西煤经改性也制成热稳定性优良的合肥型煤（改变热稳定性），均属“第二代型煤”。

我国从 60 年代大量发展第二代型煤，已建成 600 多个化肥型煤厂和 40 多个型焦厂，约有 2300 万吨的生产能力。

第三代型煤：特点是“全面调整改变型煤特性”，是我国 80 年代首先研究成功的。它的核心技术是：“洁净型煤加工成套技术”，“高效型煤加工成套技术”和“特种、专用、系列型煤成套技术”。从而使型煤多样化、专业化和系列化。中国矿业大学北京研究生部已研究成功 18 种专用型煤工艺。新建 12 个型煤试验厂，并陆续投入示范性生产。

型煤可以分为：工业型煤、民用型煤、特种型煤三大类。工业型煤有锅炉、型焦、铁合金、化肥、城市煤气、电石、机车用型煤等；民用型煤有普通蜂窝煤、无烟煤上点火蜂窝煤、烟煤上点火蜂窝煤等；特种型煤有直接还原炼铁、烧烤、壁炉、暖盒、耐火材料用型煤等。

洁净型煤的关键技术

我国“七五”和“八五”都把型煤列为国家重点科技攻关项目，主要解决的关键技术有：

突破“煤炭是肮脏能源”的概念在国际上首先提出并研究成功“洁净型煤加工成套技术”。主要有：型煤直接无烟燃烧技术。可比原煤烟气黑度降低三级（排烟黑度 <0.5 林格曼级）。主要用控制型煤挥发分分解工艺，使挥发分分解速度低于燃烧速度，使挥发分充分燃烧，实现高挥发分煤直接无烟燃烧。与英、美、日等国经过“炭化”的间接无烟燃烧技术相比，投资省 $2/3$ ，加工费省 $3/4$ 以上。型煤高效固硫技术。与原煤比在用于工业锅炉方面可减少 SO_2 排放量 60% ，在用于民用炉方面可减少 SO_2 $80\% \sim 90\%$ 。主要技术有：将固硫剂在型煤“表面密聚、多孔活化”，以大大提高固硫剂活性，提高固硫率。此技术已获美国专利。低烟尘型煤技术。与原煤比，可使烟尘原始排放量降低 $70\% \sim 90\%$ 。技术有：灰渣凝聚技术（使型煤灰形成一个蛋壳状），调整结渣性，使其微粘结以减少“飞灰”等。型煤致癌物分解技术。与原煤比，烟气致癌物（BaP）排放量降低 $60\% \sim 90\%$ 。主要措施是提高型煤“反应活性”，使煤中的碳环混合物充分燃烧分解。低 NO_x 型煤技术。与原煤比，型煤 NO_x 排放量低约 40% ，主要靠“型煤双层低温燃烧技术”，使煤炭中含N的侧链，在低温中燃烧，分裂成 N_2 ，少生成 NO_x 。

减少 CO_2 技术。比烧原煤减少 CO_2 （地球温室气体） $15\% \sim 25\%$ 。靠提高煤层通风均匀性，降低过剩空气系数和减少化学不完全燃烧的损失等。

突破“煤炭是低效能”的概念研究成“高效型煤加工成套技术”，使层燃煤燃烧效率从 $70\% \sim 80\%$ 提高到 $90\% \sim 95\%$ ，设备热效率（以工业锅炉计）从 $65\% \sim 70\%$ 提高到 $78\% \sim 82\%$ 。主要技术如：型煤“定向、定时、定温开花”技术，提高型煤“反应活性” $0.3 \sim 3.6$ 倍的技术，改善型煤洁渣性、扩大燃烧表面等技术。

突破“煤质不可改变”的概念可调整改变型煤的多数煤质指标，如改变罗加指数实现增粘或破粘，改变型煤燃烧温度、速度、点火性能、高温热比电阻等，使型煤能满足不同用煤行业的最佳特性，提高各行业效益。从而也使型煤“多样化、系列化、专用化”。

突破型煤“低投资、低加工、高质量”点在国内首先提出“成型特性”学说，建立型煤工艺参数测定评价成套方法。据此研究出系列高性能、低价格型煤专用设备，超短型煤工艺流程和利用工业废物制成的廉价添加剂。使中国型煤工业生产流程比国外缩短 $1/2 \sim 1/3$ ，设备重量减少 $2/3 \sim 3/4$ 。使建厂投资只有国外 $1/5 \sim 1/8$ ，加工费只有国外 $1/10$ 。

发展洁净型煤技术的意义及前景展望

洁净型煤是治理“面源”煤烟污染的主要技术。洁净型煤是目前唯一能全面控制煤烟中6种污染成分的技术，平均可减少煤烟污染的 $65\% \sim 70\%$ ；投资少、加工费低；有明显节能效益；适用性广，不用改炉，而且是很难得的能盈利的大气污染治理技术。因此，1993年被国务院列为控制面源 SO_2 污染的首项技术，我国适用于本技术的层燃煤达7亿吨/年，可见推广前景广阔，对改善我国大气环境有重大意义。

中国矿业大学在国内首先研究成功这一技术，被“七五”国家攻关鉴定验收委员会评为“国际领先”水平，获美国专利及“七五”国家科技攻关

重大成果奖，并被列为全国环保口获奖单位的第一名，和其他单位共获国家科技进步一等奖。

洁净型煤是显著提高煤炭经济效益的技术。洁净型煤有很高的技术附加值。例如，中国矿业大学北京研究生部的高级洁净烧烤型煤技术被美国第二大型煤公司总裁赞为“在美国各公司之上”，获英国“园艺闲暇协会”90年新产品大赛一等奖。洁净型煤在英国的售价比美国同类产品高80%，比原煤价格高20倍；又如合肥城市煤气型煤厂，建厂投资回报率达300%；效益最低的贵阳锅炉型煤试验厂，建厂投资回报率达65%，如果合理解决工业化过程中的技术问题，将会给煤炭带来良好效益。

洁净型煤是有效提高煤炭使用价值的技术。中山矿业大学研究生部设计的合肥气化型煤厂，用当地不能用于气化的淮南煤，改性破粘后生产成可用于气化的型煤，代替原计划采用的大同块煤，大大提高了吨煤利润。还有，如万寿铁厂用当地的弱粘煤代替外来焦煤，生产出了合格型焦。证明应用“第三代型煤改性技术”可以有效地提高煤炭的使用价值和经济价值。

洁净型煤可以促进其他行业的技术进步。例如中国矿业大学北京研究生部设计的洒河桥直接还原炼铁用“铁炭综合成型试验厂”，减少炼焦污染50%，免去污染最大的烧结工序，使高炉产量增加近一倍，高炉利用系数从2吨铁/米³·日提高到3.6~4.1吨铁/米³·日，而且生铁质量很好。这一成型工艺有力地促进了炼铁的技术进步。

洁净型煤技术出口前景良好中国的洁净型煤已处在“国际先进”和部分“国际领先”水平，型煤又是解决当前具有世界战略意义的环保问题的好途径。因此有很强的国际竞争力和良好的出口前景。中国矿业大学北京研究生部生产的型煤产品已出口美国、英国、日本、新西兰、中国台湾省等8个国家和地区。型煤成套技术和设备已出口哥伦比亚，已和印尼签订出口协议，从而填补了我国两项出口空白。目前还有十多个国家正与我们进行出口洽谈，预计1994年出口额可达2500万美元，并有迅速增长的趋势。

综上所述，加强洁净型煤的科研和开发的投入，迅速解决工业化的关键技术，促进洁净型煤技术的发展和工业化，对提高煤炭的使用价值和经济效益，控制燃煤污染都有重大意义。

6. 水煤浆技术取得长足的进展

水煤浆技术是 70 年代世界石油危机中发展起来的一项高新技术,它实际上是一个由煤炭洗选-磨矿成浆-装贮运-锅炉燃烧到炉后环保除尘的大型系统工程。由于其原料丰富、加工简单、成本低,具有代油、节能、易贮运、高效率、低污染等综合优势,引起世界各国工业界的普遍关注。

“七五”期间,我们顺利完成了水煤浆攻关任务,开发了成套技术,建成了“五厂、六炉”(包括制浆,装贮运,各种锅炉、窑炉燃烧)示范工程体系和制浆、管运、燃烧科技研究开发实验基地,形成了包括科研、设计、工业应用实验厂站在内的跨行业、多学科的协作网络,取得了重大成果。“八五”以来,国家计委、煤代油办公室、能源部相继批准了白杨河 15 万千瓦电厂改烧水煤浆工程及其配套的八一制浆厂扩建工程,国务院经贸办批准了桂林钢厂、北京造纸一厂等五个水煤浆代油、节能、环保项目,我国在水煤浆工业应用的工业化、大型化、系列化方面又上了一个新台阶。继北京造纸一厂 60 吨/时工业锅炉燃用水煤浆、抚顺胜利水煤浆厂、枣庄八一水煤浆厂工业应用项目获得国家攻关成果奖和科技进步一等奖以后,我们又在白杨河电厂 220 吨/时油炉和北京第三热电厂 2 号炉试烧水煤浆取得成功。北京水煤浆示范厂在使用国产添加剂及我国级配和成浆技术的基础上,用成浆性较差的大同煤,经过长期工艺调整,生产出了符合合同质量保证值的商品浆,经专家评议和验收委员会验收,工程正式验收移交,可以批量生产。它标志着水煤浆技术的开发和工业推广应用在我国已进入一个新阶段。

在满足日常生活需要的基础上,进行了第二代水煤浆技术——超低灰水煤浆制备技术、高强度脱硫燃烧技术的开发,引起了国外同行的关注。

通过以上工作的开展,还形成了一支专业门类齐全、覆盖行业广泛的高水平的水煤浆科研设计队伍,在水煤浆中心的统一组织下,具备承担大型浆厂(单系列 25 万吨)、大型锅炉(20 万千瓦电站)、大型管道及其专用配套设备的技术开发工程设计能力。

几年来的实践证明,水煤浆技术的推广应用显示了引人注目的经济效益和社会综合效益。

代油效益:经过几个燃烧示范点的长期使用证明,燃油工业锅炉、窑炉改烧水煤浆,1.8~2.1 吨浆可代替一吨重油。按照开放后的现有市场价格,可以给燃油用户带来明显的经济效益。

节能效益:由于水煤浆原料灰分低,粒度细,燃烧充分,燃烧效率在 96% 以上,对于原燃用块煤和原煤的中小锅炉,可以提高燃烧效率 5%~10%。

大型电站煤粉炉改烧水煤浆后,不仅节省了煤场,而且由于取消了制粉系统,大大降低了电厂的自用电。

冶金燃煤窑炉改烧水煤浆后,由于负荷调整方便,燃烧能耗降低 10%~20%,产品质量明显提高。

环保效益:由于水煤浆是煤水混合物,原料煤灰分低,燃烧时炉膛温较低,所以燃烧中的 NO_x 、 SO_2 排放物较少,排烟的含尘量也有较大幅度降低,环保效果明显。

节运效益:水煤浆由于其流动性好,便于管道运输。管道运输投资少、占地少、运行费用比铁路低得多。目前国外大型管道年运输能力已达 500 万吨。

综合利用效益：随着机械化程度的不断提高，煤矿开采中产生大量的粉煤，煤炭洗选中的煤泥，灰分高、水分高、价值低。把水煤浆技术应用于粉煤和煤泥处理，变废为宝，可变劣质煤为优质煤。

水煤浆技术的开发应用在我国已有近十年的历程，今后的继续努力方向是：要加强综合配套能力，最大限度地发挥水煤浆技术的长处，吸引更多的国内外用户；扩大水煤浆技术领域研究范围，加强超低灰分水煤浆技术研究，加强水煤浆技术在煤泥处理方面的应用研究，在矿区推广无添加剂煤泥浆代煤节能技术；通过国家水煤浆工程技术研究中心的组建，调整布局，完善组织体制，使之更适应技术成果转化的需要。以水煤浆中心为基础，建立煤加工高新技术企业集团，以便承担国内外大型代油、节能、管道运输工程；扩大对外国际合作，发展以单纯的技术合作为技工贸相结合的全方位合作，为中国的水煤浆技术、水煤浆产品走向世界创造条件；到本世纪末奋斗目标为，代油 1000 万吨，管运能力 3000 万吨，达到国家科技发展中长期规划的目标。

总之，水煤浆事业发展的前景是光明的，但由于水煤浆工业尚是幼小的阶段，在今后需要国家继续给予政策上的优惠和支持；由于对水煤浆技术的推广应用还有些人不够了解，今后需要加强宣传和普及有关方面的科学知识。

7. 积极发展燃煤的先进发电技术

燃煤的先进发电技术，目前具有发展前途的有循环流化床燃烧（CFBC）、增压流化床燃烧联合循环（PFBC-CC）、一体化煤气化联合循环（IGCC）、常规煤粉电站+第二代洗涤器、低 NO_x 燃烧及磁流体（MHD）发电技术等，这些先进的燃煤发电技术，都具有达到煤的清洁燃烧和高效率的特点。根据美国能源部资料，使用上述技术的电站排放物均能满足新资源性能标准（NSPS）的要求，电站的系统效率也比现代燃煤电站的效率要高。

70年代初石油危机以来，各工业化国家竞相研究发展各种燃煤发电新技术，以解决燃煤电站的排放污染和提高效率。其中燃煤联合循环发电 IGCC 和 PEBC-CC 最有发展前途。

一体化煤气化联合循环（IGCC）的发展近况

自美国加州洛杉矶附近的 Cool water IGCC 电站获得成功的运行之后，鉴于 IGCC 电站的优越环境排放指标以及十分吸引人的潜在的高发电效率，发达国家正在兴建或计划兴建的 IGCC 商业示范电站和商用电站（其中有些不单是发电，而是与其他工业生产相结合）达十多个，采用当前世界先进的煤气化工艺技术，具备代表性的有 Texaco, Dow, Shell, BGL, HTW, Prenflo, KRW, U-Gas 等，发电规模为 60~500 兆瓦不等。一类是商业示范电站，另一类是采用成熟技术的商用电站。

IGCC 商业示范电站的目标是明确的，它可分为第一代和第二代 IGCC 商业示范电站。

第一代 IGCC 电站的特点为：纯氧气化、湿法加料、空气分离装置产生的 N_2 未作动力回收。

该商业示范电站属美国洁净煤技术第四期计划——CCT-IV，于 1992 年批准，计划 1995 年投产。

第二代 IGCC 电站的特征是：空气或富氧作为气化剂；热煤气除尘、除硫或者冷煤气除尘、除硫；空分后的 N_2 回注到燃气轮机；干法加料；进一步提高燃气轮机的入口初温。

第二代 IGCC 商业示范电站的目标是使发电净效率将提高到 44%~47%（商用阶段）。

其代表性的示范电站如 Pinon Pine 电站，1992 年 8 月立项，属 CCT-计划，1993 年开始实施，将在 1996~1997 年建成。

中国的 IGCC 开发，自 70 年代中在国家科委领导下就已经开始。太原重型机器厂 1986 年仿制成功直径 2.8 米鲁奇固定床气化炉，该炉日处理煤 120 吨，产气 1500 立方米/时。化工部临潼化肥研究所建成了日处理煤 36 吨的气流床水煤浆气化中试装置。鲁南化肥厂、首都钢铁厂、西安化肥厂和上海焦化厂“三联供”工程共引进 8 套德士古煤气化炉。兰州煤气公司引进捷克固定床加压气化炉，并在大连合作生产。上海发电设备成套设计研究所与美国 GE 公司完成了燃气轮机燃用低热值煤气和双燃料调节系统的研究工作。

国内许多单位对 IGCC 用于发电、供热以及联产化工产品进行了许多可行性研究工作。

增压流化床燃烧联合循环（PFBC-CC）研究概况

PFBC 技术自 1969 年首先在英国开始实验室规模研究以来，以瑞典 ABB

carbon 公司开发提供的 P200 型 PFBC 模块为基础的三座 PFBC-CC 电站已成功地建造在西班牙的 Escatron, 瑞典的 Vartan 和美国的 Tidd。这三座商业示范电站已分别在 1990 年开始运行。其中瑞典 Vartan 电站到 1993 年 1 月已燃煤运行 10500 小时, PFB 锅炉最长连续运转时间为 740 小时, 累计发电量 125974 兆瓦时。

上述 PFBC - CC 商业示范电站投运几年来表明, 它的实际运行情况已经基本达到和接近设计数据。电站发电输出功率达到原设计值 97%, 燃烧效率高达 99%, 脱硫效率 > 90%, NO_x 的排放量只有原设计值的 1/3。第一代的 PFBC-CC 电站发电效率比相同参数的常规蒸汽电站效率高 3% ~ 5%, 供电效率达 39% ~ 41% (亚临界或超临界蒸汽参数), 节约煤炭 10% ~ 15%。ABB carbon 公司正准备在 P200 型 PFBC 装置成功基础上, 推出 P800 型 PFBC 装置, 组成 350 规模的 PFBC - CC 电站与相应规模的 IGCC 电站的性能比较。如果以带烟气脱硫的常规燃煤电站 (PC + FGD) 的投资、燃料、运行维修及发电成本为 100, 并与 PFBC - CC, IGCC 作相应比较。

目前, 国外在大力发展第一代 PFBC - CC 发电技术的基础上, 进一步开发第二代 PFBC - CC 发电技术。第二代 PFBC - CC 采用部分气化及前置燃烧的方法使燃机进口温度可以提高到 1200 左右, 从而使联合循环效率达到 45% ~ 48%, 其经济性可以和煤气化联合循环相比。美国 FosterWheeler 等公司开发的典型的第二代 PFBC - CC 方案, 已进入中试阶段, 预计今后十年内第二代 PFBC - CC 将可能进入商业示范。

中国的 PFBC - CC 研究起步较早, 80 年代初期由东南大学 (原南京工学院) 开始进行较全面的试验研究工作。1984 年建成热输入为 1 兆瓦的实验室规模试验装置 (SEU PFBC), 1986 年至 1990 年完成了 PFBC 的试验室试验阶段, 进行了累计 700 多小时的长期考核性试验。为此, 1991 年国家计委正式将 PFBC - CC 列为我国“八五”攻关的重点科研项目之一, 由东南大学协同江苏省电力局下属徐州贾汪电厂、哈尔滨锅炉厂、兰州炼油机械厂、中国石化总公司北京设计院、西安热工所、石油大学等二十多个单位协作, 在贾汪电厂建造一座发电功率为 15 兆瓦的 PFBC - CC 中试电站。计划于 1995 年进行调试、试验, 为我国“九五”进入商业示范电站规模作准备。

对于第二代 PFBC 技术, 东南大学、上海发电设备成套设计研究所和中国煤炭科学研究院也已进入实验室研究阶段。

热电直接转换的磁流体发电新技术

磁流体发电也叫等离子体发电, 它的基本原理是, 使高温高速燃料气流通过磁场, 气体由于高温电离变成等离子导电液体, 切割磁力线而产生感应电势, 这样热能就直接转变成电能。由于磁流体发电的排气温度很高, 如与常规汽轮发电厂联合循环发电, 可将火电站的热效率从 40% 提高到 60%。而且可减少废热的排放量, 减轻热污染。

为了使气体电离成为导电液体, 通常在燃气中加入少量碱金属化合物作为“种子物质”。这样在 3000 左右, 气体就可电离为等离子体。由于引入的燃气种子必须回收重复利用, 因而在回收种子的同时, 在很大程度上降低了排入大气中的粉尘和二氧化硫等有害气体, 另外由于较高的火焰温度及对气体成分的准确控制, 能够减少对大气的污染, 因此磁流体发电能大大减轻对大气的污染。

磁流体发电作为一种新型的热能直接发电的方式, 自 50 年代末期原理性

实验成功以来，以其高效、低污染的显著优越性，引起了科技界与产业界广泛重视，十多个国家开始了开发研究工作。

我国的磁流体发电研究也有了 30 年的历史，取得了一定的成果，在国际上居第四位。自 1987 年以来，燃煤磁流体发电技术列入了国家高技术研究发展计划（863 计划）。为了拟定一个深思熟虑、现实可行的战略，近年来，组织进行了燃煤磁流体发电在我国电力发展中的战略地位的软课题研究和编写了燃煤磁流体发电技术项目可行性研究报告，与国内各方面的专家、领导进行了多次研究讨论，并访问了美国、前苏联、日本等国，参观了他们主要的研究基地，结识了国际上的一些主要专家，了解了他们的经验、教训与看法。此外，还参加了 1991 年美国第 29 届工程磁流体会议，1992 年在北京组织召开了第十一届国际磁流体发电会议，与磁流体专家们又进行了广泛的讨论，逐步形成了关于我国磁流体发展战略的一些想法。

开发磁流体发电技术是发电技术的重大革命

磁流体发电的重大意义在于它提供了一种高效、低污染的热能直接发电方法，为电力工业的发展与更新改造开辟了重大革新的道路，与此同时，它还有力地推动着工程电磁流体力学这门新兴的学科和一系列新技术的发展。

磁流体发电-蒸汽联合循环的总效率可达 50% ~ 60%，而当前燃煤电站的发电效率最高仅 36%，相对我国燃煤电站平均仅为 29% 来说，无疑将是一个重大革新性进展。近年来，使用干净燃料（油、气）的燃气-蒸汽联合循环取得了最高效率近 50% 的良好进展。各种燃煤的燃气-蒸汽联合循环也在积极进行试验，期望能达到 40% ~ 45% 的热效率。磁流体发电可用控制燃烧的方法来有效地控制 NO_x 的产生，作为添加剂所用的钾盐可有效地脱硫，所以磁流体发电同时又是一低污染燃煤发电的良好方法。有关资料表明，燃煤磁流体发电的 SO_2 与 NO_x 的排放量低于标准要求 3 ~ 7 倍，而烟尘排放量也明显低于标准。

作为一种高技术，磁流体发电推动着工程电磁流体力学这门新兴学科和高温燃烧、氧化剂预热、高温材料、超导磁体、大功率变流技术、高温诊断和降低工业动力装置有害排放物的先进方法等一系列新技术的发展。这些科学成果和技术成就可以得到其他方面的应用，并有着美好的发展前景。

综上所述，从高效率、低污染、高技术的考虑，使得磁流体发电从其原理性实验成功开始，就迅速得到了全世界的重视，许多国家都给予了持续稳定的支持。

各国的政策与各自的一次能源和电力发展的情况有着紧密的联系。按照 1988 ~ 2050 年我国电力发展的估计和我国发电能源构成的情况，可以明显看出，我国的特点是：第一，从当前直至 2050 年，我国燃煤发电量将占全国总电量的 75% 左右，是世界各国中比重最高的。第二，我国属于电力超速发展的国家，当前电站总装机容量的增长已达每年 1300 万千瓦，2000 ~ 2020 年间将达 2000 万千瓦，2020 ~ 2050 年间估计将达 3000 ~ 4000 万千瓦，主要靠煤电解决。第三，我国的煤电技术落后，当前全国燃煤电站平均效率为 29%，比发达国家低 3.5% ~ 7%。这些特点决定着我国必须对燃煤磁流体发电给予特别的重视。

世界磁流体发电技术的开发研究阶段取得重大进展

1959 年美国首次磁流体发电原理实验成功后，立即引起了全世界的注意。前苏联、美、日等国在 60 年代初开始组织研究队伍，投入可观的经费，

积极认真地开展了实验室的研究发展工作,至 80 年代初取得了多方面的显著进展。至 80 年代初实验室研究发展工作取得重大进展,表 3 - 6 中列出了按时间顺序有代表性的重大进展情况。

前苏联科学院高温所是磁流体发电研究与开展的主要单位,在世界磁流体发电研究发展中也有着重要地位。工作由 1962 年开始,至 80 年代初先后建成了 Y - 02、Y - 25 与 Y - 25.6 三个装置,进行了大量试验。

表 3 - 6 50 年代末至 80 年代初开环磁流体发电的重大进展

年份	内容	实验室	国别
1959	Ar - K 磁流体发电首次成功	AVCO	美国
1960	燃烧产物磁流体发电首次成功	Westinghouse	美国
1962	首次提出斜连接发电通道概念		法国
1963	水冷组块型绝缘壁长时间试验	AVCO	美国
1965	短时(间 1 分) 3.2 万千瓦发电成功	AVCOMKV	美国
1966	短时间(1 分) 1.8 万千瓦发电成功	AEDCLORHO	美国
1971	U - 25 装置建成	高温所	前苏联
1975	U - 25 发电 2.04 万千瓦, 1 小时成功	高温所	前苏联
1975	具有 4.2 万高斯超导磁体在 2.5 万千瓦(热输入)下发电 482 千瓦, 3 小时	ETLMKV	日本

年份	内容	实验室	国别
1977	U - 25 发电 1.17 万千瓦,持续 250 小时	高温所	前苏联
1978	2.0 万千瓦(热),发电 500 千瓦 持续时间 250 小时	AVCOMKV	美国
1979	5 万高斯鞍形超导磁体, 3 万千瓦(热),发电 1500 千瓦, 10 小时	高温所 U - 25B	美苏合作
1980	CDIF 装置建成	上游基地	美国
1981	CFFF 装置建成	UTSI	美国
1981	1.5 万千瓦(热) 100 千瓦连续 430 小时, 电量 40800 千瓦小时	ETLMKV I	日本
1982	2 万千瓦(热),发电 55 千瓦, 1000 小时	HVCOMKV	美国
1982	白金护帽电极试验 1300 小时	AVCO	美国
1982	HDDE 装置, 燃甲烷 + 富氧, 32.5 万千瓦(热),发电 3.55 万千瓦, 10 秒	AEDC	美国

除高温所外,前苏联科学院动力所,乌克兰科学院节能所等单位也开展了一定规模的研究发展工作。

日本的磁流体发电研究开始于 60 年代初期，自 1966 年开始就由通产省支持实施了国家磁流体发电研究计划，由工业技术院的电子技术综合研究所负责。1966 ~ 1975 年为第一阶段，总投资 64 亿日元，先后建立了 6 个实验装置 (Mark I-Mark) 进行了长期试验。一些试验装置的参数与性能见表 3—7。

美国，是磁流体发电研究的发源地。60 年代以发展军用短时间发电为主，研制成电功率分别为 3.2 万千瓦和 1.8 万千瓦，工作时间约 1 分钟的机组，证实了大功率发电可行性。在油氧燃烧的长时间发电方面，阿芙柯实验室进行了长期、有成效的研究发展工作，先后建成了 MK , MK , MK , MK , MK , LDTE, VIKING 装置。1977 年美国能源部将磁流体发电列为主要国家工艺计划之一，该计划支持建立两个主试验装置，即位于蒙大拿州的部件发展与集成上游试验装置 CDIF 及位于田纳西州的燃煤流动下游试验装置 CFFF。

CDIF 装置是美国磁流体发电的上游主试验装置，占地

表 3 - 7 日本工业技术院磁流体发电计划试验装置的参数与性能

名称	参数 热输入 (MW)	流量 (kg/s)	电输出 (kW)	发电时 间	磁场 (T)	备注
ETL MARK	1.2	0.14	2	10 分	2.2	基础研究
ETL MARK	25	3	1180	1 分	3.5	有 1320 空气预热器
ETL MARK	3.6	0.35 ~ 0.45	2	140 小 时	1.9	最长连续运行 200 小时
ETL MARK	2	0.19	0.025	1 分	2	世界首次用超导磁体的实验
ETL MARK	25	3	482	3 小时	4.5	具有超导磁体与氦液化器
ETL MARK	2.5	0.34	1	合计 470 小 时	1.9	有空气预热器及种子回收装置
ETL MARK	15	2	100	合计 430 小 时	2.5	通道寿命显示

约 300 亩 (20 万米²)，由 MSE 公司负责运行。装置于 1976 年开始建造，1980 年建成，建造费 5000 万美元 (1976 年价)，其中 3200 万美元用于土建及水、气系统；装置的热输入功率为 5 万千瓦。装置于 1981 年开始了油加灰燃烧试验，1985 年开始了燃烧试验，发出约 0.15 万千瓦的电功率。1981 ~ 1987 年的年运行经费约为 900 万美元。

CFFF 装置是美国能源部投资的磁流体发电下游主试验装置，该所于 1965 年开始就从事燃煤磁流体发电研究，装置于 1976 年开始建造，1981 年完成，投资 1880 万美元 (1980 年价)。热输入功率 2.8 万千瓦，有 4.6 吨/时的完善的煤粉制备与供应系统，不排渣燃烧室，油、水、气与液氧供应系统，可

以连续运行 250 小时以上。总占地约 14000 米²，总建筑面积约为 4000 米²。为进行研究，装置配备了良好的气体分析（NO/NO_x，SO₂，O₂，N₂，H₂，CO₂，CO，CH₄）及 NO_x、SO₂、CO 环境监测和数据处理系统，还有电子显微镜、化学与样品准备三个服务实验室。整个实验室有工作人员约 130 人，1976~1987 年总经费由能源部提供约 6000 万美元（平均约 500 万美元/年）。

总的来说，经过 20 年的持续努力，进展是十分显著与可喜的，主要表现在：第一，在多个实验室内已达到最高发电万千瓦、持续时间最长几百小时的良好结果。第二，建成了 Y-25，CDIF，CFFF 三个大型试验基地，积累了一定的工程经验。第三，在各主要国家中均锻炼形成了具有相当经验的研制队伍。在这样的条件下，整个磁流体发电界带着各种建造试验电站的计划进入了 80 年代。

80 年代世界上着重研制试验电站

在实验室研究发展取得前述重大进展基础上，大家比较一致地认识到，下一阶段主要任务应是研制与建造试验电站，进而可以期望在本世纪末、下世纪初实现商业化。80 年代初各主要国家都提出了自己的计划。

走在最前面的是前苏联，国家在 80 年代初就批准了设计、研制、建造梁赞电站的 Y-500 装置计划。Y-500 的技术经济方案比较工作开始于 1978 年，至 1988 年对 Y-500 的建设进行了重新审议决定：

暂缓磁流体发电部分的工程建设；完善 Y-25 装置（Y-25M），继续进行有关研究；加强超导磁体与电极材料的技术研究。

在 Y-500 装置暂缓建设后，1987 年高温所在前苏联科学院支持下，决定充分利用已有工程系统，将 Y-25 装置改成完整的工作试验电站，称 Y-25M，为梁赞电站的继续建造打下可靠基础。

美国于 1984 年提出，决定在建造试验电站以前，充分利用已有条件，进行集成分系统的长时间试验，1987 年批准了 POC（Proof-of-Concept）概念经验计划。其目的是为企业界推进磁流体工艺向商业化发展做出判断经济与技术效益和风险所需的工程数据（表 3-8）。该计划于 1987 年开始执行，预期 1993 年完成，年经费为 3500~4000 万美元，参加工作的人员有 300 多人，取得了良好进展（见表 3-9）。目前两种煤 4000 小时的下流试验已接近完成，上游累计 1000 小时的试验

表 3—8CFFF 装置试验简况

POC 计划前				POC 计划后(1987 年 9 月)			
时间 (年)	试验次数	试验时间 (小时)	累计时间 (小时)	时间(年)	试验次数	试验时间 (小时)	累计时间 (小时)
1981	1	8	8	1987	2	261	261
1982	2	32	40	1988	4	595	956
1983	2	66	106	1989	3	439	1295
1984	2	20	126	1990	3	710	2005
1985	4	43	169	1991	5	377	2382
1986	3	93	262				
1987	1	6	268				

表 3—9 CDIF 装置试验简况

时间	燃烧时间 时 分	发电时间 时 分	时间	燃烧时间 时 分	发电时间 时 分
FY-1996	60 27	20 26			
FY-1990	121 36	73 6			
FY-1987	75 44	42 14			
FY-1991	65 24	23 36			
FY-1988	82 00	43 00	FY-1992		
FY-1989	138 54	50 30			

说明：1. 1981 年 4 月开始燃油加灰试验，共发电 23 小时 37 分，最大功率 0.212 万千瓦。

2. 1984 年燃煤燃烧室调试，燃烧时间 33 小时 43 分。

3. 1985 年 8 月开始燃煤发电试验。装备已到现场，开始了试验，1994 年初完成。

日本在进行国家第二阶段磁流体发电计划同时，还进行了电站系统研究和拟定进一步计划，提出了建造连续运行的、磁流体-蒸汽联合发电的 Mark

试验机组，它有超导磁体，各种空气预热器和锅炉。工业技术院 1984 ~ 1988 年共投资 4 亿日元转入支持小规模燃煤磁流体发电基础研究。而文部省仍然继续支持有关大学的研究，一些企业与电力部门，仍给予一定支持，使全日本的研究发展工作仍以年总经费 2 ~ 3 百万美元、30 ~ 40 名工作人员的规模持续进行，工作重心转为东京工业大学的闭环磁流体研究，几年来也做出了优异的成绩。

总起来说，80 年代以来全世界的磁流体发电界都在积极推进试验电站计划，向产业化的方向迈进。实际上遇到的困难比设想的大，这是因为试验电站的建设与产业化需要得到电力部门的有力支持，而电力部门由于其电力生产的严格要求对此采取了比较谨慎的态度，主要的担心是从一次能源看应考虑燃煤发电，而实验室的研究工作用天然气和油的较多，直接燃煤的还不够多，另方面感到对部件与系统的长时间考验还不够。前苏联采用燃天然气，企图先冲上去，没有能够成功。美国则安排了燃煤的长时间试验工作，作为设计、研制试验电站的可靠准备，却取得了稳步的进展。这十年的经验与教训是值得重视的。

世界磁流体发电产业化展望

当前，美国正在筹划 POC 计划完成的下一步计划，提出了建造比林斯 (Billings) 燃煤磁流体发电示范电站的建议，该电站热输入功率 25 万千瓦，发电 8 万千瓦，磁流体部分发电 2.8 万千瓦，总投资 6.5 亿美元，美国能源部由洁净煤计划

表 3—10 MHD 商业化框架(摘自 1992 年 10 月美国能源部发表的资料)

序号	商用化参数	常规煤电站(基线)	MHDPOC 后之技术水平	第一个集成示范	下一个示范系列	进入市场	商业化突破	商业化成熟	先进系统
1	市场对象	公用事业	——	示范	示范	基本/中间负荷	基本负荷	基本负荷	基本负荷
2	时间轮廓(年)	现有技术	——	1998	2000 ~ 2005	2005 ~ 2010	1010 ~ 1020	2020 ~ 2030	2030 以后
3	配置方式	独立	——	改造/独立	改造/独立	独立	独立	独立	独立
4	电站规模 MWe	100 ~ 1000	2*	70	200	300	500	300 ~ 1000	300 ~ 1000
5	性能效率(%) 部件寿命(年) 利用率(%)	374085	—— ——	33 ~ 40 25 85	37 ~ 42 40 85	40 ~ 45 40 85	45 ~ 50 40 85	55 ~ 58 40 85	55 ~ 62 40 85
6	单位造价(美元/千瓦) 每年投入台数	1400 ~ 2000 已商业化	—— —	4000 ~ 5000 1	2000 1 ~ 2	1700 2	1400 5	1400 大于 5	1250 ~ 14 大于 5
7	加工制造基础	已经成熟	单件	单件	有限量生产	成熟	成熟	成熟	成熟

*只有 MHD 上游，无下游循环。

中支持 2.2 亿美元，蒙大拿州支援 0.25 亿美元，其他靠集资与贷款。如该计划获得批准，将于 1995 年 6 月开始建造，1997 年 6 月建成并开始试验，2000 年完成示范试验并投入运行。商业电站目前估计要有 50 ~ 100 万千瓦发电功率的规模，美国已经提出了商业化的框架设想（见表 3 - 10），则可望在 2010 ~ 2020 年间实现产业化。

日本在坚持开环研究的同时，正在积极争取批准富士-2 (Fuji-2) 闭环磁流体发电装置的计划。该装置考虑前期暂做缓冲式试验，在 10 万千瓦热输入功率下，发出 3 万千瓦的磁流体发电功率，持续时间 1 分钟。然后转入闭环磁流体发电长期运行，在热输入功率 1 万千瓦下，发电 0.2 万千瓦，持续 100 小时，在富士-2 计划成功实现的基础上，可在下世纪初建造试验电站，进而在 2020 ~ 2030 年间实现产业化。应该说明，日本的已有工作基础和产业实力，在美国示范电站成功基础上，也能迅速组织起来，在 2010 ~ 2020 年间实现开环磁流体发电的商用电站。

总起来说，当前估计，世界上第一个商用磁流体发电站将在 21 世纪前期出现，该技术将成为 21 世纪前、中期燃煤电站新建与改造的重要的高效、低

污染方法。

我国磁流体发电技术研究开发情况及其发展战略

我国中科院电工所于 1962 年，上海发电设备成套所于 1966 年，东南大学热能所于 1969 年分别开始了磁流体发电研究，先后建造了 10 台试验装置（表 3 - 11），成为继前苏联、美国、日本后，世界上第四个从事较大规模研究试验工作的国家。最初主要从事短时间发电的研究，取得了油氧燃烧发电近 600 千瓦的良好成绩。70 年代前期开始油与高温（1400℃）预热空气燃烧的长时间发电试验，至 80 年代初，达到了几十千瓦输出，持续时间长达 200 小时的水平。80 年代初开始，由于我国能源资源的特点又转而进行燃煤发电的研究，达到了持续 5 小时，输出 16 千瓦的水平。

1986 年燃煤磁流体发电技术，作为一个主题被列入国家高技术研究发展计划（即八六三计划），使我国的磁流体发电研究有了统一的国家计划。该计划根据我国以煤电为主的能源结构，以往的工作基础和“有限目标，突出重点，立足于 21 世纪上半叶”的精神，选定了燃煤磁流体-蒸汽联合循环电站作为研究目标。

1988 年，在八六三计划燃煤磁流体发电项目主题开始执行时，整个工作分为八个方面进行研究，即高温燃煤燃烧室，磁流体发电通道，余热锅炉，逆变系统，超导磁体，电离种子回收，电离种子再生和磁流体发电改造已有电站的概念设计。在中科院电工所，建立热输入功率 2.5 万千瓦的上游循环装置。在上海成套所，建立输入功率 5000 千瓦的下游循环装置。按照计划，对全国磁流体发电工作进行了合理的安排与分工，积极开展了工作，向着研制试验电站的方向取得了稳步的进展。

在认真分析研究磁流体发电的国际进展、主要的经验与教训，以及我国的实际情况基础上，经多次讨论，建议我国燃煤磁流体发电计划 2000 年的战略目标为：

在 2000 年前建成热输入功率 2.5 万千瓦的燃煤磁流体-蒸汽联合循环试验站，并完成累计 1000 小时的长时间试验。该站的主要部件有：高温燃煤燃烧室、加速喷管、发电通道、超导磁体、扩压器、直流/交流变换装置、锅炉、种子回收、测控系统和工程支撑系统。建设该试验站的目的是：

验证磁流体-蒸汽联合循环的工程技术可行性和现实性；

进行磁流体-蒸汽循环各部件和系统的长时间综合试验；

掌握磁流体发电各重要部件总体的工程设计和建造技术，为示范电站作好准备；

培养我国磁流体发电电站工程技术和操作人员。

在上述目的达到之后，将在电力部门支持下，争取在 2010~2020 年与世界先进国家大体同步进入商业化，为我国电力工业现代化作出贡献。

鉴于燃煤磁流体发电具有高效、低污染的明显优越性和我国燃煤发电在全国电力生产中的重大比重，为了大幅度提高电站效率，节省煤炭资源，燃用我国丰产的中等热值煤和高硫煤，减少燃煤发电带来的运输和污染问题，坚持以实现产业化为目标的研究发展工作有着特别重要的意义。燃煤磁流体发电，作为一种新兴的高技术，产业化的实现是一个相当艰难的任务，需要长期持续的分阶段的努力和大量的资金投入，从而制定正确的战略显得特别重要。

在总结国际 30 年研究发展工作经验和教训基础上，根据我国的实际情

况，经过反复的论证、讨论和可行性研究，提出我国在 2000 年建成热输入功率 2.5 万千瓦的磁流体-蒸汽

表 3 — 11 我国磁流体发电装置简况

单位	名称	热输入 (兆瓦)	流量 (公斤/ 升)	燃料/氧 化剂	磁场 (万高 斯)	最大电力输 出(千瓦)	最长发 电时间	工作年 代(年)	备注
电工所	原理试 验装置	1.0	0.11	汽油/氧	1.2	0.3	3分	1962 ~ 1965	
	短时间 装置	30	3.3	汽油/氧	2.2	595	2分26 秒	1969 ~ 1974	共试验 48 次
	KDC- 1(燃 煤)	6	1.4	轻柴油 /1450 预热空气	1.5	33.5	30时	1977 ~ 1981	累计发电 500小时
	KDM- 1(燃 煤)	6	1.4	煤/氧 +1420 空气	1.5	1.67	5时30 分	1983 ~ 1984	共试验 10 余次
	KDD-2	70	8.0	柴油/氧	2.2	2220	1分40 秒	1984 ~ 1986	累计发电 60小时
	上游试 验装置	24	4.0	煤/富氧 空气	1.9	33	30分	1992 ~	共试验 6 次
成套所	SM ₂	27	3.0	柴油/氧	1.8	580	3分	1971 ~ 1972	自激式
	SM ₃ 8.5	1.11	柴油/ 氧		102	1时	1974	霍耳式	
	SM ₄ 5	1.2	柴油 /1450 预热 空气	1.75	18.3	200时	1975 ~ 1986	1980年 改为磁 流体— 蒸汽联 合循环 发电系 统	
东南大 学	JS-1	4	0.7 — 0.8	柴油 /1450 预热空气	1.9	11 ~ 16	136时 1970 ~ 1979		
	JS-2	4	1.1	煤/氧 +1450 空气	1.9	1.3	45分	1981 ~ 1982	

联合循环试验站并完成长时间的部件与系统试验，在下世纪初可建设示范电站，并与世界大体同步地进入商业化，是一种正确和可行的抉择。

四、能源与我国现代化

(一) 能源是国民经济发展的重要物质基础

能源是国民经济发展的重要物质基础，并与现代化休戚相关。首先是因为能源是现代生产的主要动力来源。现代化生产是建立在机械化、电气化、自动化基础上的高效生产，所有这些过程都要消耗大量能源，而且现代化程度越高，对能源质量和数量的要求也就越高。现代农业的机械化、水利化、化学化和电气化，也要消耗大量能源。从某种意义上说，人们的一切生活和生产活动都是用能源换取来的。

社会经济发展的历史证明，能源消费的增长与国民经济发展，有一定比例关系。而且可以用能源消费弹性系数来定量表示：

$$\text{能源消费弹性系数} = \frac{\text{年平均能源消费增长率}}{\text{年平均国民经济发展增长率}}$$

上述公式中的能源消费指的是能源的总消费量，它包括商品能源和非商品能源。工业发达国家中非商品能源所占比重甚小，而发展中国家的非商品能源所占比重很大。例如，我国 1979 年非商品能源消费量在全国能源总消费量中占 32%。然而，我们通常所分析的能源消费弹性系数，主要是指国民经济发展与商品能源之间的关系。

公式中的国民经济发展指标，在资本主义国家里，一般指国民生产总值。东欧一些国家，一直是指国民经济总产值，两者有一定差别。在我国历年的统计中，缺国民经济总产值的指标，一直以工农业总产值来表示国民经济的发展。

我国 1954 ~ 1980 年的历年能源消费弹性系数列于表 4 - 1。从表可以看出，我国 1977 年以前的 23 年中，有 16 个年头的能源消费弹性系数大于 1.0，6 个年头小于 1.0；1968 年接近 0。

1963 ~ 1966 年是大跃进以后的经济调整年份，大批能耗大的小土群下马，能源生产和消费都大幅度下降，工农业总

表 4 - 1 1954 ~ 1980 年我国能源消费弹性系数

年份	能源消费弹性系数	年份	能源消费弹性系数
1954	1.59	1968	-0.09
1955	1.79	1969	0.98
1956	1.60	1970	1.12
1957	1.12	1971	1.52
1958	2.57	1972	1.78
1959	1.85	1973	0.46
1960	4.82	1974	1.19
1961	1.05	1975	1.19
1962	1.87	1976	3.14
1963	-0.62	1977	0.88
1964	0.39	1978	0.74
1965	0.66	1979	0.35
1966	0.42	1980	0.40
1967	1.00		

产值也大幅度减少，造成能源消费弹性系数远小于 1.0。

1977 年以后的四年里，由于提高了对能源问题的认识，并调整了工业结构，使能源消费弹性系数小于 1.0。

我国从 1980 ~ 2000 年，预计工农业生产总值要翻两番，但是由于受资金、技术等因素的限制，能源只可能翻一番。这样，20 年间能源消费年平均弹性系数只能为 0.5。要实现这一国民经济发展目标，节能便成了举世瞩目的大事。

国外的能源消费弹性系数，在 1973 年能源危机发生以前，除市场萧条、经济发展停滞的年份外，大多数工业发达国家的能源消费弹性系数一般也都在 1.0 以上。例如，1962 ~ 1972 年间，美国平均能源消费弹性系数为 1.10，日本 1.14，意大利 1.76，加拿大 1.20，前联邦德国和法国均为 1.02，经济合作与发展组织各国平均为 1.13。只有英国经济发展速度较低，同期能源消费年平均弹性系数为 0.79。

能源危机以后，工业发达国家的能源消费弹性系数都大幅度下降。1972 ~ 1977 年间，美国平均为 0.12，前联邦德国 0.05，法国 0.23，加拿大 0.38，日本 0.41，意大利 0.50。英国还出现了负值（-0.75），即在能源消费下降 0.9% 的情况下，经济发展速度平均增长 1.2%。但能源危机后，能源消费弹性系数并不是每年都小于 1.0 的。例如，1976 年石油供应情况好转，石油价格趋于稳定的情况下，美国、前联邦德国、法国等的能源弹性系数都大于 1.0。

如果从发展中的变化来观察能源消费与经济增长的关系，最好是用能源消费（或生产）对于国民收入的弹性系数来表示，即年平均能源消费增长率比上年平均国民收入增长率。分析历史资料以后可以看出，在工业化期间，年平均能源消费增长速度往往超过年平均国民收入增长速度，即能源消费弹性系数大于 1.0。在经济发展进入成熟期以后，生产向高精尖产品发展，能

源消费增加不大，但产值增加很大，因而能源的弹性系数逐渐减少。不过，在一些发达国家里，由于生活用能迅速增加（例如私人小汽车猛增、空调和各种家用电器的普及），即使进入了经济成熟期，能源消费弹性系数也可能大于 1.0。

综上所述，无论从国内外经济发展与能源增长关系规律看，还是从我国能源发展潜力分析，以能源翻一番保工农业总产值翻两番的难度是很大的。能源在我国今后经济发展进程中，将是一个很重要的制约因素。

（二）能源是我国实现四化建设的重要制约因素

要实现 2000 年我国工农业年总产值达到 29535 亿元，为 1980 年 7207 亿元的 4.1 倍，实现“翻两番”的目标。届时，国民收入达 14499 亿元，为 1980 年 3688 亿元的 3.9 倍，人均国民收入 1161.8 元（200 美元）。人民生活达到小康水平，必须要有强大的能源供应作后盾，生产和基本建设规模的扩大，有赖于提高燃料和电力的供应能力。随着人民生活条件的逐步改善，各种物质消费必然增加，家庭也要添置各式各样的现代耗能设备，兴建新的社会公益福利设施，这都需要消耗更多的能源。一般地说，社会越富足，人们享受的生活物质水平越高，能源的消费量就越大。能源是建设现代化国家的重要条件。

近二三十年来，世界经济发展迅速，现代化的进程也日新月异，相应的能源增长也十分迅速。全世界能源消费量，1960~1975 年的 15 年间总和，相当于 1900~1960 年的 60 年间总和。1950 年全世界仅消费了 27 亿吨标准煤，现在已高达 100 多亿吨。1978 年世界能源消费量为 1950 年的 3.5 倍，同期，美国是 2.4 倍，前苏联是 5.3 倍，前联邦德国是 2.8 倍，英国是 1.4 倍，法国是 3.4 倍。经济发展最快的日本则是 11.3 倍。

国外经验已经证明，现代化社会是需要消耗大量能源的社会，没有相当数量的能源，现代化社会就无法维持。对于比较落后的国家来说，能源消费没有达到一定的水平，也就谈不上实现现代化。

发达国家的能源消费水平特别高。例如，美国、前苏联、日本、前联邦德国、英国、法国、意大利等七国的人口只占全世界人口的五分之一，而能源消费量却占全世界的 2/3，虽然有些浪费，但很大部分还是生产和生活水平所决定的。我国人口占世界人口的 22%。但能源消费却只占 6%，我国人均能源消费不及世界平均水平的 1/3。由此可见，我国要实现四个现代化，能源消费水平要有大幅度增长。

中央已经提出，能源和交通的紧张是制约我国经济发展的一个重要因素。将能源工业的发展置于国民经济的重要位置，并从财力、物力和人力等方面给予优先保证，已刻不容缓。在本世纪内，我国经济的增长，仍将在一定程度上有赖于能源密集工业的发展。特别是要改变我国交通运输落后的面貌，运输部门的能源需求必将急剧增长。要靠占世界 7% 的耕地解决占世界 22% 人口的吃饭问题，也要投入大量商品能源来实现农业现代化。

各种迹象表明，能源供应不足是我国实现四化的重要制约因素。因此，厉行节约和加速开发便成了能源事业中不可偏废的两个方面。鉴于资源、资金和技术上的限制，能源开发规模到本世纪末只能翻一番，因此解决能源问题一半要靠节能。

节能通常可以分为两类。一类是无需投入人、财、物，只靠改善管理而实现节能，通常称之为“扫浮财”。另一类是要投入一定的人力、物力和财力，采取技术组织措施才能达到的。“扫浮财”节能是通过加强管理，减少跑、冒、滴、漏，杜绝浪费，这种节能的潜力是有限的。后一类节能实质上是一个替代的过程，也就是说要实现这类节能必须付出一定的代价。例如，蒸汽管道的保温节能，是用保温材料去替代能源；安装监测仪表以节能，实质是以仪表代替能源，等等。无论在生产还是在生活中，都存在着能源与资金、材料等互为替代的过程。

社会的经济目标是尽量增大国民收入，尽量减少能源、材料、资金、人力等的投入。从节能角度看，能源消费的弹性系数越小越好，但是实际上当能源消费弹性系数降到一定数值时，其他替代产品的消耗会超过节约能源的价值，这时国民收入反而会减少，这种节能从宏观看是不利的。这里就存在一个最佳的能源弹性系数。高于此值能源有浪费，低于此值国民收入反而下降。在今后 15 年内，我国四化建设中能源消费弹性系数肯定将小于 1.0，但最佳值到底是多少，这就要认真进行科学分析。

（三）我国能源形势分析

1. 我国曾出现过两次“能源危机”

我国能源供应出现过两次极度紧张。第一次是 70 年代末 80 年代初，当时，我国正处在粉碎“四人帮”之后的经济复苏时期，能源需求增长迅速而生产不济。1980 年初在杭州召开的全国第一次能源工作座谈会上，与会专家指出我国存在着“能源危机”，并提出了对策和建议。

1970~1984 年，全国持续 14 年严重缺能。据初步估计，目前全国大约缺少煤炭 2000 万吨，石油 1000 万吨，电力 500 亿千瓦时。工业生产能力的约 25% 主要因缺能而不能发挥作用，影响工业产值近 1000 亿元。有的新厂、新车间、新设备建成后，因缺电投不了产，许多地区经常拉闸停电，给人民生活造成不便。农村缺电尤为突出，目前尚有一半生产队约 3 亿农民没有用上电。有电的队，农用电动机也缺电 40%。农村生活用能按最低限度需要估计，短缺 22%。这就造成薪柴过量砍伐，秸秆不能还田，致使生态严重破坏。

第二次能源供应极度紧张出现在 1988 年，来势凶猛，波及面广。煤炭供应全面紧张，缺电、缺油进一步加剧。因缺能源和原材料，全国有 25% 的工业生产能力的开工不足，农业用电短缺三分之一，年损失产值 4000 亿元，损失利税 500 亿元。

总之，我国能源短缺量之大，范围之广，时间之长，影响之深，是罕见的。

长期以来，为了满足工农业生产的需要，尤其是工业发展的需要，对城市、农村人民生活用能源，缺乏妥善安排，甚至将劣质煤供应城市民用，造成很多城市污染严重。目前，这一情况已有改变，但供应城市民用优质能源的政策，仍未明确。全国农村的商品能源供应量极少，人均年消费煤量仅有 50 公斤。不少城市的生活用煤定量供应，需要自己解决短缺部分，更谈不上用方便、清洁的煤气或石油液化气等高质量能源。电力供应也时常中断，对学生的学习和文化生活都有影响。我国冬季的房屋采暖，一直是低标准的，在采暖季节取暖煤按平方米数定量配给，达不到采暖标准。

能源严重短缺，使工农业正常发展需要也不能满足。由于石油和天然气供应不能满足需要，有相当一部分石油化工企业不能发挥生产能力。电力工业主要受投资限制，水电建设发展不快，目前水力资源利用率仅 3%。火电装机容量不足，供电紧张，有些火电站没有相应的煤炭予以保证。由于供电不足，在不少地区，工业企业生产能力不能充分发挥。

我国华东、广东和辽宁等东南沿海地区缺能最为严重。华东地区三省一市是我国重要工业基地，工业产值占全国 1/4 以上，又是我国重要的农业生产基地。但华东地区能源奇缺，煤炭储量只占全国总储量的 6.7%，水力资源只占 2.6%。

目前，华东地区 70% 左右的发电用煤和 100% 的石油要从地区外调入。全地区缺电三分之一左右，使国民经济造成严重损失。据统计，上海缺 1 千瓦时电能，工业产值就会损失 5 元以上。

广东省煤炭资源甚少，开采条件差，全省用煤半数要靠外省供给，广东水力资源已开发得差不多了。广东省因缺电，许多工厂只能开三天停四天，生产极不正常。为解决电力供应的燃眉之急，每天只好从香港买进 100 多万

千瓦时电能，电价相当于省内发电成本的五倍。

辽宁是我国重工业基地，工业产值占全国工业总产值的 9%。近十几年来，辽宁所需燃料主要靠增加烧油和从省外调入煤炭来维持，但全省工业部门仍缺电 60~70 亿千瓦时，许多企业在冬季不能正常生产。

目前，我国农村每年消耗的生产和生活用能折合成标准煤约为 3.3 亿吨（包括非商品能源）。全国大约有近半数农户每年缺烧 3~6 个月，每户维持基本生活（包括煮饲料）每天约需 18810 千焦有效热值的生活燃料，而实际消费每户只有约 14630 千焦，短缺 22%。

煤炭在农村生产中主要用于农民集体或个人烧制砖瓦、石灰等建筑材料（不包括县办工业）、烘干经济作物或粮食以及加热小煨炉等。随着农民生活提高，盖新房的数量猛增，据统计每平方米农村民房所需砖、瓦、灰等耗费燃料约 31.5 公斤标准煤。国家供应的煤炭有半数以上被用在这方面，其他用能就无法得到保证。

农村的油料供应量严重不足，农业机械年增长率在 15% 以上，农机供油越来越紧张，一些农村在农忙季节，被迫用菜籽油代替柴油作为农机燃料。农村用电更为短缺。农民生活用电仅限于照明和极少量电机、收音机等。

煤、油、电的严重短缺，限制了农业生产的发展和农民生活的进一步提高。

我国能源危机的性质是结构性的、供需失衡的加剧，主要归因于需求失控，而需求失控主要来自加工工业的过度膨胀，特别是消费品工业的超高速发展。1988 年消费品工业增长了 23%，而一次性能源仅增长 4.4%。作为主体能源的煤炭增长速度下降，而电力新增装机超过了煤炭的可供量。一面是生产和生活耗能需求猛增，一面是一次能源生产增长放慢，构成了恶性循环。煤炭行业因投资不足，生产经营困难，国营煤矿后继生产能力已严重不足，乡镇煤矿产量增长速度已经减慢，“九五”期间势必会出现更严重的结构性“能源危机”。

我国能源资源分布偏西，经济发展重心偏东，已经给能源运输带来严重困难。随着能源开发重点西移，我国社会经济发展将面临严重问题。我国以煤为主的能源结构很难改变，交通运输将越来越紧张。目前，煤炭运量占铁路总运量的 40%，而且最长运距达 3000 公里。预计 2000 年需从山西能源基地运出 4.7 亿吨煤炭，其中 4.4 亿吨靠铁路运输，难以实现。以煤炭为主的能源结构不仅造成运输紧张，还会导致利用效率低下和严重污染环境，特别是国际呼吁减少二氧化碳引起的温室效应，都需认真对待。

如果产业结构和产品结构不加调整，我国能源短缺的局面将持续到下世纪中叶。

2. 能源短缺带来的影响

能源供应短缺，给国民经济发展带来了一系列严重后果。

自然生态环境遭到破坏

由于能源奇缺，导致许多地区的林木砍伐过量，地表植被遭破坏，水土流失加剧，生态环境恶化。全国水土流失面积从解放初的 115 万平方公里，扩展到目前的 150 万平方公里，占土地总面积的 16%。每年流失的土壤估计有 50 亿吨，占世界水土流失总量的五分之一。每年流失的土壤中的养分，折合成商品化肥达 4000 万吨，相当于 4000 万亩良田的 5 厘米表层沃土流失掉。有机质得不到补充，土壤肥力减退。每年烧掉的 3 亿吨秸秆，以平均含氮 0.6%，含磷 0.15%，含钾 1% 计，损失有机质 2.3 亿吨、氮 180 万吨、磷 45 万吨、钾 300 万吨。致使我国土壤缺磷少钾，氮、磷、钾比例失调。结果是土壤因有机质减少而板结，理化性状变化，导致贫瘠化和沙漠化。

黄河流域是水土流失最严重的地区，从龙门到河曲，每年有 16 亿吨以上的泥沙流入黄河。沙漠面积由原来的 16 亿亩增加到 19 亿亩。森林覆盖面积逐年缩小，自然生态环境遭受严重破坏。

农、林、牧业发展受到影响

农村生活能源供应短缺，绝大多数农户只好主要靠烧秸秆和柴草烧饭和饲料。但是秸秆直接烧掉，首先燃烧效率极低，只能利用生物质中所含能量的极小部分，灰烬中留下了一些钾肥，而大量有机质和氮、磷等植物营养成分均被烧掉。因为生物质能使用不当，造成了恶性循环。农村燃料、饲料、肥料、轻工业原料缺乏，秸秆不能还田，使土壤肥力急剧下降，土壤变得贫瘠。例如，东北地区开荒时土壤的有机质含量高达 5% 以上，但目前已降到 1% ~ 2%，内地土壤的有机质含量还不到 1%，从而使农作物产量下降。畜牧业也因饲料不足而不能兴旺发达。不少地区年年造林而不见林。砍柴要走几十里路。农业不能为轻工业提供充足的原料。农、林、牧业均受影响。

影响工业生产能力的发挥

长期以来，由于能源供应不足，我国有相当一部分工业企业生产能力得不到充分发挥。特别是过去因对石油产量估计过分乐观，新建的炼油厂原油供应不足，炼油能力不能充分发挥。新建的石油化工厂，由于作为原料的石油和天然气供不应求，而造成设备闲置。有的地区，为了抗旱保收，工业为农业让路，停掉一部分工业企业。也有些地区，因供电不足，只好轮流地让一些企业停产。严重缺电的地区，甚至“停三开四”，以解决电力供求矛盾。结果使许多企业开工不足，造成了人力、物力、财力上的巨大浪费。

影响国家的财政收入

能源费用在不少工业生产成本中，所占比重相当低。据国外统计，全部工业平均燃料动力费用只占 5% ~ 6%，轻工业最低，只为 0.9%；机械制造业 3% ~ 4%；化学工业（不包括原料）7% ~ 10%；钢铁工业 13% ~ 14%。这说明由于能源严重短缺，所造成的国民经济损失，大约为能源本身价值的 8 ~ 100 倍。

我国工业品价格相对较高，能源价格相对较低，这个倍数很大。因能源不足而造成的国民经济损失则更大，这就严重影响国家的财政收入，进一步影响扩大再生产的资金积累，国民经济发展速度势必减慢。

3. 能源工业取得一定成就

我国的能源工业被列为国家经济发展的战略重点，受到中央的高度重视，能源工业得到了迅速发展。1992年，我国一次能源生产达到10.750亿吨标煤。其中煤炭7.987亿吨标煤，占总量的74.3%；石油2.042亿吨标煤，占19%；天然气0.215亿吨标煤，占2%；水电0.505亿吨标煤，占4.7%；核电发电量达5亿多千瓦时，接近0.05%，煤炭11.1亿吨，新井投产2391万吨。原油产量1.42亿吨，天然气157亿立方米。全国发电量达到7420亿千瓦时，比上年增加10%以上。核电实现零的突破，核电年发电量达5亿多千瓦时。我国已成为世界上第一大能源生产国和消费国。一次能源共增加1.85亿吨标煤，平均年增长率4%，相当于每年增加5000万吨原煤。这个速度，在世界各国是少见的。

能源的质量、经济效益虽然未达到应有的水平，但有所提高。如煤炭工业的全员工效，1985~1990年年均提高5.4%。煤矿事故死亡率在不断降低，1985年为百万吨煤3.84人，1990年降至1.5人。

能源工业的改革取得一定成效

在电力工业方面，“七五”期间实行了中央、地方、部门、企业多层次、多渠道、多模式集资办电。实行谁投资、谁用电、谁得利的政策。国务院批准了电力管理体制改革方案，实行政企分开、省为实体、联合电网、统一调度、集资办电的方针和因地因网制宜的原则。1988年国务院批准对电力行业实行征收电力建设基金的制度，即每千瓦时加价2分钱，专款用于电力建设。这些改革措施，调动了地方办电的积极性和责任心，开拓了资金渠道，加快了电力建设步伐。

在煤炭工业方面，能源部先后提出了解决煤炭工业问题的一些具体办法。例如，山西地方煤矿调出省的煤每吨加价10元，每吨煤提取1元作为综采综掘更新改造费，1元作为发展基金，1元作为维简费。

在石油工业方面，实行原油产量1亿吨包干，也取得可喜成绩。当然，这些改革仍需不断深化完善，理顺关系。

4. 能源工业发展中的主要问题

能源与国民经济的关系不够协调

能源短缺是困扰国民经济发展的主要问题之一。“七五”期间，国民生产总值增长速度为 7.7%，工农业总产值平均增长速度为 11.3%，而能源增长速度仅为 4.0%，与工农业总产值相比的能源弹性系数为 0.5，每年缺一次能源约 3%；缺装机容量 1900 万千瓦，缺石油约 1000 万吨。用电设备容量 1990 年为 3.4741 亿千瓦，发电设备容量为 1.3789 亿千瓦，因此，发电、用电设备比例为 1 : 2.52，比合理的比例 1 : 2 高出 24%。

能源工业的投入和产出不成比例

能源工业固定资产约占全国工业固定资产的 1/4，但能源工业产值占工业总产值的 1/10，投入所占比例和产出所占比例极不相称。其主要原因是整个能源工业产品价格过低。1988 年能源产出下降到 51.34 元/百元，是全国工业产出 140.08 元/百元的 36.65%。这使能源工业缺乏自我积累和发展能力，主要靠外部投入维持。如不采取调价措施，能源工业将面临更大困境。

能耗高的状况未根本改变

我国国民生产总值单位能耗比国外高，据 1988 年测算，是法国的 4.97 倍，美国的 2.3 倍，前苏联的 1.7 倍，印度的 1.65 倍。我国产品单耗比国外平均高 40%，能源利用效率约 30% 左右，而美国、日本在 50% 以上，德国在 40% 以上。按目前国际先进水平，我国每年多消耗 3 亿吨标煤。我国从 80 年代开始重视节能，并取得了一定成绩，但总体上来说，效果并不十分明显。

从能源工业来看，煤、电、油、核工业本身耗能占一次能源产量的 23% 左右，其中年耗原煤占其产量的 1/3，耗电占发电量的 1/5。

“七五”计划前四年供电煤耗一直徘徊在 430 克/千瓦时左右，与国外差距为 100 克左右。全国电网线损率从 1985 年以来，一直徘徊在 8.2% 左右。

能源消费与生产的地区布局不协调状况未改善

经济发达地区与其所拥有的能源资源量极不相称，致使能源消费与能源生产的地区布局不协调。1985 年的能源消费，东、中、西部各占全国的 43.0%，35.6%，18.0%，而能源生产却各占 26.99%，53.8%，17.4%。

1985 年东部需要调入能源总量 9966 万吨标煤。“七五”期间，一些高能耗化工、冶金工业在东部大有发展，使东部地区能源消费占全国的比重升高，1989 年为 44.21%，1990 年雷同，比 1985 年升高 1.19 个百分点。而东部能源生产占全国的比重却又下降 1.36 个百分点，使东部能源短缺更加增大。1988 年调入能源总量达 1.5787 亿吨标煤，占全国能源净增总量一半以上。1990 年调入到东部的能源总量在 1.8 亿吨以上，这就更增大了对运输的压力。

一次能源生产和消费结构不合理

煤炭比例过高，水电增长缓慢煤炭在一次能源生产中的比例过大，水电比例太小：我国水能资源开发率只有 9.2%。“七五”期间，煤炭比重不断上升，由初期的 72.8% 上升到 1990 年的 74.3%，上升近 2 个百分点，1992 年仍维持在 74.3% 水平上；水电只是从 4.3% 上升到 4.7%，仅上升 0.4 个百分点。这种能源结构给运输和环境带来很大压力。

一次能源消费中，用于发电的比重偏小 发电消耗能源占一次能源消费的比重，是反映一个国家电气化水平的重要指标。增加发电用能源，是节

能的途径之一，这是世界各国的共同经验。目前，发达国家发电用一次能源比重已达到 35%~45%，我国目前只为 26%。

电力建设和生产的一些比例不当

电网建设不配套，投资比重减少，电网薄弱“七五”期间多家集资办电，但所建电厂只配套送出线，而相应的配电线路投资较少，使输变电建设相对削弱，每千瓦发电设备容量配备的输电线路及变电容量降低。

电站单机容量太低，“七五”期间增长缓慢 1990 年 6000 千瓦及以上发电机组共 2709 台，容量 11470.766 万千瓦，平均 4.2 万千瓦/台。20 万千瓦及以上机组容量共 4346.5 万千瓦，占 37.90%；20 万千瓦以下容量 7124 万千瓦，占 62.1%；10 万千瓦以下占 38.2%。目前，我国大机组容量比重偏小，使整个火力发电煤耗居高不下。

热电联产比重低实行热电联产是节能的有效途径。由于热网投资大、热价低及管理体制问题等因素，使热电联产受阻，区域热电厂发展缓慢。

发电燃料构成中，燃油量并未减少“七五”期间电厂燃煤约增加 1 亿吨，占“七五”期内煤炭增产量 2.18 亿吨的 46%左右，而其燃油量一直维持在 1700 多万吨。

石油储采比降低，老油田递减率加大

我国主要油田已进入后期生产，老油田自然递减率加大，已由“六五”计划末的 5.6%加大到 1989 年的 7.75%，1990 年已达到 10%。

能源工业财务状况不佳，能源价格亟待调整

单位投资增加“七五”期间，物价平均增长指数 10.5%，原煤吨投资年均递增 9.12%，电力及石油的单位造价增长较大。原煤比投资，1985 年为 127.5 元/吨，1990 年增至 155.4 元/吨；电力比投资，1985 年为 1746 元/千瓦，1990 年增至 3706 元/千瓦；原油比投资，1985 年为 4.7 亿元/百万吨，1990 年增至 12.25 亿元/百万吨。

经营成本提高，亏损增大“七五”期间，能源生产成本也大幅度上升，煤炭成本平均增长速度达 14.83%，由 1985 年的 29.33 元/吨增至 1990 年的 58.27 元/吨。石油成本从 1985 年的 61.16 元/吨上升至 1990 年的 177.6 元/吨，年均增长率达 23.8%。电能成本年均增长 20.8%，而电价年增长 10.2%。煤炭、石油都出现严重亏损，煤炭亏损由 1985 年的 12.5 亿元增加到 1990 年的 119.2 亿元；石油企业亏损从 1988 年开始，1989 年亏损 18.16 亿元。电力工业也濒临全行业亏损边缘，有的企业已出现亏损。

负债严重，资金利润率下降，无法实现还本付息由于产品成本提高幅度大，价格调整甚微，使能源工业在“七五”期间的资金利润率和利税率大幅度下降。

能源计划内价格偏低，价格秩序较乱，需要整顿和提高 1990 年煤、油计划价均低于其成本，出售一吨煤赔 11 元；出售一吨油赔 12 元。目前，煤炭和石油的成本为不完全成本，即均未计入勘探开发等费用，如全部摊入成本中，则原油成本为 322 元/吨；原煤为 102.43 元/吨。

(四) 我国能源发展和我们的任务

在今后几年中，能源工业如何适应小康水平的需要？基本方针是：继续贯彻开发和节约并重的方针。能源开发以电力为中心，煤炭为基础，大力发展水电，积极发展核电，积极开发石油和天然气。大力开展节电、节油和节煤，推广热电联产，发展余热利用，继续执行以煤代油政策，努力提高能源利用率，减轻环境污染。

能源工业的发展速度尽力与国民经济的发展速度相适应

根据我国制定的经济发展目标，到本世纪末实现国民生产总值比 1980 年翻两番；到下世纪中叶，人均国民生产总值达到中等发达国家水平。

预测到 2000 年，中国人口总数达 12.5 亿，以后人口增长趋于平缓，预计到 2050 年人口总数将达到 15 亿。随着工业化的发展，也将伴随着城市化的发展，预计中国城市人口的比重将由 1985 年的 20% 增长到 2050 年的 60% 左右。

预计 2000 年中国人均国民生产总值达 1000 美元，2050 年将达到 4000 美元或更多些。

与此相适应，到 2000 年能源应达到 14 亿吨标煤的生产指标，这个任务是十分艰巨的。

加强石油和天然气的勘探开发

采取“稳定东部，发展西部”的战略方针，保证东部老油田稳定增产，适当集中力量加强西部新油区，主要是塔里木、吐鲁番地区的勘探和开发，同时积极开发海洋油田。

千方百计节约能源，提高能源利用率，要求整个社会节能率 3%

火电厂平均发电煤耗 1995 年要求降到 350 克/千瓦时。新建电厂平均供电煤耗要求在 330 克/千瓦时以下。“八五”期间，要求改造超期服役中低压小机组 500 万千瓦。

尽力降低煤炭、油田、电厂能源的自用率，并要开展综合利用，充分利用副产资源。

逐步提高发电用能源在一次能源消费中的比重，要使今后煤炭增产量的一半用于发电，1995 年发电用煤占煤炭总产量的 29%，到 2000 年占 33%。

重视农村能源和农村电气化建设

到 2000 年，全国消灭无电县，90% 以上农户用上电，初步实现农村电气化。

依靠科技进步和加强管理，提高劳动生产率

煤矿机械化程度由 1989 年的 61% 提高到 2000 年的 84%；2000 年全员劳动生产率 2 吨/工，年均递增 5%。电力工业全员劳动生产率年均递增 5.5%。

健全法制，完善管理体制，理顺价格

今后 10 年要逐步制定能源法、节能法、电业法等法规，使能源管理规范化。完善多家办能源的能源管理体制。理顺价格体系，筹集能源建设资金。

五、开发节能新技术造福人类

在保证能源供应质量和水平的情况下，减轻能源供应的压力的最有效办法就是节能。节约能源包括改善管理、完善法制和开发新技术等多方面内容，这是大有潜力可挖的。

节能是我们国家制定的基本国策，要确保本世纪末我国人民过上小康生活，能源问题的解决，一半靠开发，一半靠节约。

（一）节约能源的政策措施

1. 节能的六种政策手段

1973 年和 1979 年两次世界“石油危机”以来，各国大力节约能源，提高能源利用效率，以减少国民经济发展对石油的依赖。各国能源专家普遍认为，有六种政策手段可影响能源的消费密集度及节约能源。它们是：能源价格；能源效率标准；可获得的技术改造资金；信息服务；科研和发展工作，以及对能源消费的指导。

这些政策中，能源价格是最重要的政策手段。一些不重视能源和认为可以任意消耗能源的经济部门，其能源效率是最差的。这些部门实行价格控制和价格补贴，歪曲了市场价值，导致浪费能源。如加拿大、挪威、前苏联、产油的发展中国家的一些经济部门，或多或少都属于这种类型。

目前，某些国家已削减或取消了能源补贴。美国和加拿大已取消了最重要的消费津贴和油价控制。世界银行已利用其影响促使有价格补贴的国家取消补贴，特别是汽油价格补贴。在某些情况下，甚至拒绝给埃及、墨西哥和委内瑞拉贷款，部分因素就是因为这些国家补贴能源价格。最近，巴西、印度尼西亚、象牙海岸、韩国和土耳其已取消或调整了鼓励能源浪费的措施。

能源效率最高的国家，不仅接受了市场价格的现实，并且其能源用户也负担额外的能源费用。这些国家的政府向能源用户征税，以补偿能源消费造成的社会影响。例如，增加对环境的破坏和进口石油的外汇负担。法国、意大利、日本和前联邦德国都采取这种政策，如已征收石油税。

制定各种能源效率标准，也是行之有效的节能政策手段。美国橡树岭国家实验室的研究表明，目前美国消耗的能源，比政策不改变时所消耗的能源约少 20%。美国三分之一的节能是价格因素取得的。剩下三分之一归功于政府采取的各种措施，诸如制定汽车燃料效率标准。

获得必要的技术改造资金、提供正确的市场信息、开展节能新工艺的研究和指导合理的能源消费等政策也是节能行之有效的措施。

2. 我国的节能降耗政策措施

大力推进节能降耗的技术进步

1993年,全国大中型基本建设项目建成投产形成的节能能力约400万吨标准煤,其中电力、冶金、化工和建材四个行业约占三分之二。基建节能约可形成节能能力235万吨标准煤;全国技术改造形成的节能能力约400万吨标准煤,其中单项投资规模在5000万元以上的11个专项约190万吨标准煤;节能技术改造约可形成节能能力200万吨标准煤,以上共形成节能能力约1250万吨标准煤。

国家选择一批技术先进、节能效果显著的示范项目进行预推广。对于技术上已经成熟,经济上可行的项目和投资少、见效快、效益大的节能降耗小改小革项目,建议地方、部门、企业根据产品供需情况自行推广。

为了使产品不断提高质量,降低消耗,增强市场竞争能力,必须改造原有工艺和吸收先进技术,妥善安排和落实节能资金。企业应根据《全民所有制工业企业转换经营机制条例》,按照产业政策和行业地区发展规划,以及市场供需情况统一规划,合理部署来确定技术改造工程。一是能源供需紧张地区和耗能大户的企业,应多安排一些节能降耗技术改造措施,并要建立节能基金;二是国家和各地区都要建立节能基金;三是要在国家、地方和科研经费中,安排节能降耗的科研项目。

在节能资金的筹集和使用上,采取更多的方式。在完善现有投资方式的同时,要对参股、控股、合资、合作的投资方式进行试点,要进一步开展节能租赁业务,增加租赁资金和适当扩大租赁设备品种。

加强对节能降耗的宏观调控

根据党的十四大提出的建立社会主义市场经济体制,以及《全民所有制工业企业转换经营机制条例》的精神,会同有关部门,抓紧制定“节能法”、“资源综合利用法”等法规。

认真贯彻落实最近两三年内颁布的一些技术经济政策。如《关于基本建设和技术改造项目可行性研究报告增列节能篇的暂行规定》、《关于综合利用项目和主体工程“三同时”的规定》、《关于鼓励发展小型热电联产和严格限制凝汽式小火电建设的若干规定》等,同时积极研究制定新的技术经济政策,如“关于风机、泵类系统经济运行的若干技术经济政策”等。要认真宣传已有的各项节能降耗的标准和规范。

在国家制定产业政策时,研究制订振兴能源工业专项发展规划中的节能规划。同时认真组织修订《关于开展资源综合利用若干问题的暂行规定》。

综合运用一些经济杠杆。在目前已对部分风机、水泵技术改造和租赁项目实行的以节电效益还贷的基础上,进一步总结经验,扩大试点。认真落实节能降耗和综合利用新技术、新工艺、新产品的减免税问题;在目前能源价格还没有理顺的情况下,对社会效益好而企业经济效益差的部分资源节约和综合利用项目,国家、地方给予贴息或部分贴息。

进一步研究节能降耗发展战略,组织制定2000年和2010年的节能降耗专题规划。对能源紧张的珠江三角洲和长江三角洲及长江沿江等地区要制定专项节能规划,搞好论证,逐步落实并纳入年度和中长期规划。

围绕社会主义市场经济体制的建立,抓好节能几件事

在简化节能降耗计划指标的同时,加强对保留节能降耗指标的管理。特

别是能源、冶金、化工、建材四个重点耗能行业，要根据节能技术政策和产业政策，采取经济、技术等宏观调控措施。

建立和培育资源节约和综合利用的技术市场。要组织力量抓几个技术先进、节能效果显著、适合我国国情的示范项目，以引导节能技术市场，并通过节能技术市场引导企业。根据市场需要和技术可能，建立定期或不定期节能示范项目市场，以及节材、资源综合利用、农村能源和新能源、节水技术等市场。拟在全国试点建立几个资源节约和综合利用技术市场，以便进一步推广节能新技术、新工艺、新产品、新设备，不断摸索经验，逐步完善法规，制定规划。

加强资源节约和综合利用的信息交流，国家和地方可不定期地组织节能降耗信息发布会。继续搞好全国节能宣传周活动，充分利用现有报刊以及广播、电视，加强节能降耗宣传，重点是面向企业。完善已有节能降耗资料数据库，并对社会开放。加强对外交流，根据中国国情，加强引进、消化吸收国外节能降耗的新技术。

3. 美国的节能措施

调整工业能耗结构

近 20 年来，美国工业能耗结构不断发生变化，电加热趋势日益增强，工业部门的总能耗逐渐下降。调查表明，1973 年以来，美国单位国民生产总值的能源消耗下降了 20%。照此趋势发展下去，到 2000 年，美国每年将可节省能源费用 300 亿美元。

1970 年，美国只有 15% 的钢产量是以电炉炼制的，1983 年这个比例已达到 38.2%。由于电炉炼钢可百分之百地采用废钢作原料，因而用废钢生产一吨电炉钢所需的原始能量仅及用铁矿石和废钢为原料的 40%。在炼铜业中，对电能的依赖已从 1974 年的 17.7% 增加到 1991 年的 31.5%，单位产量的电耗增加了 13%，而直接燃料的用量下降了 26%。在水泥生产中，80 年代初美国已广泛采用输入氧气（氧也用电力生产）来提高燃烧空气中氧的浓度，这种方法使总的能耗减少 15%。此外，采用以电力为能源的等离子体电弧可生产多种水硬性水泥。

广泛推广高效节能设备

70 年代中期以来，美国就全面推广节能电动机。与原有电动机比较，节能电机的效率要高 4.5% ~ 7%，铁芯损耗减少 33%，每年可减少电费 4% ~ 8%，每年损耗费用减少 37%。

与此同时，美国很重视改造电厂设备。如美国能源部 1987 年公布的节能计划中，规定到 2000 年全国发电厂应该有 70% 具有余热发电功能，估计在本世纪末前有数百个电厂将利用余热。1989 年，美国余热发电约 2600 万千瓦，仅占全国发电系统总容量的 3.7%，因此潜力很大。为了资助电厂进行改造，政府将在财政上予以帮助。

大力发展节能产品

发展节能产品已被美国列为一项重要的工业政策，70 年代初，全球性的能源危机后，美国政府大力提倡和鼓励厂商发展节能产品，并且制定有关的法律。例如，1977 年一台 450 ~ 500 升容积的自动除霜电冰箱年耗电 1900 千瓦时，而到 1979 年，美国加州的标准已降到 1500 千瓦时，1990 年又降到 840 千瓦时，到 1993 年将降到 700 千瓦时。这样一来，美国 1.25 亿台电冰箱和冷藏箱所节约的电能将等于 30 个发电厂的发电量。换言之，用于电器改进的 125 亿美元的投资，将能够节约用于 30 个发电厂的 600 亿美元的投资。

鼓励企业在非高峰期间用电

为了充分利用电力，节省新建电厂的投资，美国一些地区于 80 年代初开始制定新的用电政策，鼓励工业企业在非高峰期间用电，并对不同时间用电在收费标准上作出新的规定。佛罗里达州 1983 年以来采用这种办法已收到明显效果，该州已停建 12 座核反应堆，并取消了若干原来打算新建电厂的计划。这个州的电力公司对在非高峰期间用电的用户在收费方面给予优惠，同时规定一些企业在高峰时间内禁止用电，尽量使不同时间的用电平衡。南达科他州已采取措施改变农庄用电制度，该州农庄已同意不在下午 5 点至 9 点的用电高峰期使用水泵灌溉。以前，这个州在高峰期间需补充火力发电，每千瓦时电的成本需 5.2 美分，现在调整用电时间后，峰谷用电趋向平衡，仅需依靠水电，成本仅为每千瓦时电 0.6 美分，州电力公司仅此一项每年可节约 7 万美元。加利福尼亚南部也改变了供电办法，对工业部门在高峰期间使

用电炉、空调和非重要部门的照明提高收费标准。

4. 日本的节能政策措施

当前日本节约能源政策的基本内容是：努力大幅度节能，最大限度地抑制能源需求；降低对石油的依赖程度；继续发展核电；提高化石能源的利用率。

日本推行节能政策面临的问题是：日本国民的价值观念和生活状况发生了变化，追求享受，注意节约人力，使社会转向高耗能化；能源价格偏低，难以推动节能设备投资和技术开发，迫使政府采取财政贴补措施。

目前，集中力量开发的节能技术有：大型热泵和储能系统技术；新型电池蓄电系统技术；超导体蓄电系统技术；高效燃料电池发电技术；海水抽水发电技术；高效废物发电技术；高效沼气发电系统；陶瓷燃气轮机技术；超导电力应用技术；负荷集中控制系统；夜间电力最佳运用系统等。

日本为推行节能政策的落实，在经济方面采取的措施是：为促进国内外节能调查和节约资源、能源的宣传活动，在财政预算中增加年度费用 5600 万日元；为促进能源需求结构的改革，调整税收，对一些主要节能设备和设施给予补贴，如太阳能转换空调系统、太阳能木材干燥装置、高效电气机车、空调给水蓄热装置、最佳规模集成电路设备等；银行为发展热电联供系统、高性能照明系统，以及能源利用效率在 25% 以上的设备和装置增加低息贷款；为促进建筑物保温节能和中小企业节能给予补助。

（二）推行“能源需求侧管理”方法是节能有效措施

1. “能源需求侧管理”已引起国内外的普遍注意

能源需求侧管理（DSM）是电力公用事业作为供应侧，采取行政和财政激励手段鼓励需求侧——用户，采用的各种有效的节能技术和措施以改变其需求方式。在保持能源服务水平的前提下，有效降低能源消费量和负荷水平，从而减少新建电厂投资和一次能源消费量，取得明显的经济和环境效益。而传统能源规划则单纯地扩大供应能力以满足外生的需求目标，这不仅加大了资金和能源资源投入的压力，也加重了环境污染和治理成本，而对降低需求则缺乏内在动力。

因此，DSM 以及综合最小费用规划（LCOP）、综合资源规划（IRP）均是在更系统化层次上，更注重整体经济成本最小、追求社会效益最大的能源规划方法。DSM 的主要行政鼓励手段有：信息交流、技术推广、法规制度、标准（效率，排放）、咨询等；主要的财政激励手段有：电价结构、回扣、奖励、补贴、贴现率等。

2. 我国应大力推广“能源需求侧管理”方法

我国是能源生产和消费大国。但人均资源占有量却相对很少。能源结构以煤为主，环境污染严重，而且能源利用水平偏低，浪费很大。在今后相当长时期里，我国面临着探明资源贫乏（主要是油、气等）、能源供应短缺和环境污染恶化的危机，以及能源开发建设资金严重不足的困境。因此，长期坚持合理用能，大力降低能源需求，具有不可替代的战略意义，尤其是对于供需矛盾突出的电力事业，坚持节电和削峰，更具现实意义。目前，在经济体制转轨过程中，行政调控能力的减弱和节能资金的不落实，使节能节电难度加大。因此，能源需求侧管理无疑给我国提供了一种摆脱上述危机和困境的有效工具，在我国有广阔的推广应用前景。

充分重视能源需求侧管理的应用潜力

DSM 理论提出节能也是一种重要有价资源，我国的节能节电潜力很大，实际应用能源需求侧管理具有广泛的前景。因此，从现在起着手 DSM 的学习、推广、应用，实属迫切，值得国家节能、电力和科技主管部门给予高度重视，推动 DSM 的知识普及和可行性研究工作。要在财政上、人力和物力上予以大力支持，建立专项经费，组织推动科学研究项目，同时大力开展学术交流和宣传，让更多的人了解和重视 DSM。

抓好 DSM 的试点，促进体制改革和政策研究

选择市场经济条件较好的地区或重点耗能行业和企业，进行 DSM 的可行性研究和试点工作，以探索路子 and 积累经验。

能源工业体制、能源价格和税收制度的改革需要加快进行，为 DSM 的应用创造必需的市场经济条件。对能源政策的研究要尽快从计划经济框架下转轨到面向市场经济，帮助建立市场规则和市场经济体制及机制。应从政策研究上认真总结以往我国节能规划经验教训，分析我国 DSM 的潜力和所存在的制约因素和障碍，大力开展推动 DSM 的政策性研究，如投资方向、技术选择、政府干预、跨部门合作、鼓励机制、效益评价、责任权利分配等。

(三) 我国的节能成绩和潜力

1. 节能成绩

能源经济效益不断提高，单位产值能耗逐年下降。1990年每万元国民生产总值(GNP)耗标准煤5.32吨，比1980年的7.64吨下降了30%，年平均节能率3.6%，10年累计节能2.7亿吨标准煤。1991年节能2200万吨标准煤，1992年节能8000万吨标准煤，12年累计节能3.7亿吨标准煤。

能源消费增长率显著降低。1981~1990年间，能源消费年平均增长率由前28年的9.34%，下降到5.06%，而同期的GNP年平均增长率相应由5.8%上升到8.9%，因而使能源消费弹性系数由前28年间的1.62下降到0.57。

主要耗能产品单耗有所下降。10年间国家考核的83项重点产品能耗指标中，有67项下降，占80%，降幅1%~53%。

建成一批节能项目 and 生产能力，加快新能源开发和农村节能。

2. 节能政策

政府及时制定了“开发与节约并重，近期把节约放在优先地位”的方针，确立了把节能作为一项长期战略任务的地位。这是指导节能工作的总方针。

在贯彻执行节能中的具体政策主要有：

调整产品、产业、企业结构，实现结构节能；制定产业政策，规定在一定时期内发展、限制或淘汰的产品、工艺技术、原料路线、生产规模等；发布节能技术政策；能源替代和压缩烧油政策；经济扶持和节能效益与个人分配挂钩政策，包括节能项目予以低息贴息贷款，节能产品定期免税，对节能有功人员发放节能奖金；科学管理，在完善定额、标准、能量审计的基础上，重点开展全能量系统管理。

3. 节能措施

节能措施除 20 多条法规、条例外，主要包括两大方面，一是建立节能体系；二是制定节能管理法规、标准。

已实施的法规、标准主要有“节约能源管理暂行条例”、“关于进一步加强节约用电的若干规定”、“关于基本建设、技术改造工程设计增设节能篇（章）的规定”。

4. 节能潜力

中国能源利用效率仅 30%左右，与发达国家比，目前宏观节能潜力约 3.5~4.0 亿吨标准煤。如果工作得力，中近期内拿下一半，即 2 亿吨左右标准煤的潜力是可以预期的。

节能潜力在哪里呢？

按主要耗能设备或工艺系统分：工业锅炉（潜力 3000 万吨标准煤）；工业窑炉（潜力 3500~4000 万吨标准煤）；余热、余能回收（潜力 3000~4000 万吨标准煤）；炼油、交通运输（潜力 2000 万吨标准煤）；风机、水泵节电（潜力 800 万吨标准煤）；建筑节能（潜力 1000 万吨标准煤）；民用、市场（潜力 1500 万吨标准煤）；乡镇工业（潜力 1000 万吨标准煤）等。

按耗能产品分：如炼钢吨钢能耗下降 0.15 吨标准煤的节能潜力为 1600 万吨标准煤；电力供电煤耗下降 60 克/千瓦时潜力为 5000 万吨标准煤；合成氨耗能大厂降 0.1 吨标准煤，小厂降 0.3 吨，潜力为 800 万吨标准煤。

(四) 大力研究开发节能新技术能取得明显的节能效果

1. 电力电子技术的推广应用带来极大的节能效益

应用电力电子技术改造传统设备，单台节电率平均可达 20% 左右。如在全国推广，节电量将达 500 亿千瓦时，相当于全国总发电量的 1/10。

采用巨型晶体管 (GTR) 等功率集成器件的交流高效调速装置，可使风机和泵类设备调速运行的耗电量比传统的节流方式要少 30% 左右。我国现有风机和水泵 2000 多万台，总耗电量占全国发电量的 30% 以上，其中 70% 靠调节挡板或阀门变流量运行。如有 1/3 改造为调速运行，即可节电 150 亿千瓦时。如果交流电力机车也采用变频调速，可节电近 30 亿千瓦时。

用栅极可关断晶闸管 (GTO) 开发的直流高效调速方式的载波调波装置，以取代电阻器，用于城市电车、工矿电机车和电瓶车调速运行，可节电 20% 左右。沈阳市改造了 500 辆无轨电车，年节电 400 多万千瓦时。如将 GTO 载波技术推广到全国，则可节电 10 ~ 30 亿千瓦时。

采用静电感应晶闸管 (SITH) 或功率 MOS 场效应晶体管 (MOSFET 开发的) 能可靠地工作于 50kHz 的高频镇流器替代工频电感镇流器，可节电 20% 以上；若用稀土三基色高效荧光灯和电感镇流器则可节电 50%。我国照明用电占全国总发电量的 8.0% 以上，如能改造 2/3，则可节电 130 亿千瓦时。采用 MOSFET 开发的逆变式电焊机，电工频交流和直流弧焊机节电 30% ~ 40%，省材 3/4。改造 1 万台直流弧焊机则可节电 1 亿千瓦时。若使工频电炉高频化，则效率将由 50% 提高到 70% 以上。

采用不对称晶闸管 (ASCR) 或 MOSFET、SITH，使中频电源高频化，不仅可提高电热转换效率，而且可扩大应用领域。我国正在运行的 12000 台标准高频电炉 (以 100 千瓦为基准)，由于高频振荡器仍沿用电子管，因此，整机效率只有 50% 左右。若用静电感应晶体管 (SIT) 代替电子管，则效率可达 80% 左右 (其中高频功率转换效率可达 90% 左右)，微观节电 30% ~ 40%，宏观节电量达 10 亿千瓦时左右。

全国配电变压器若有 70% 配装无功补偿自控装置，则可节电 100 亿千瓦时。

若采用双向晶闸管 (BSCR) 开发大功率交流过零无触点开关，不但可大大降低用电设备的起停冲击能耗，并可延长设备的使用寿命。

2. 建筑节能大有潜力可挖

世界各国对建筑节能都非常重视，把改善建筑物的保温隔热物作为控制和降低能耗的基本有效措施，并制定了建筑节能法。

实践证明，建筑物通过外墙损失的热量占建筑物总能耗的 35% ~ 49%。对于采暖建筑而言，关键是室内热量储存的时间应长。因此，许多国家除了发展低能耗墙体材料以降低能耗外，都非常重视外墙的保温隔热性能，以降低采暖的能耗。国内外经验证明，提高建筑围护结构的保温性能，是减少建筑物热损失的最经济有效的方法。

在建筑节能领域已经出现了许多新技术和新产品。例如，“涂上复合涂料的窗户”，冬天可把热引进来，夏天又使阳光射不进来；“相变材料”，可贮存和放出大量热能，白天蓄能晚上放能，使室温稳定；“可变换窗户”，按能量需要，用电子方法使窗户变暗或变亮；“塑料管和全息照相涂料”，把阳光引至大楼深处，减少人工照明；“超绝热房屋”，用身体、灯泡和器具的温热来加热房子等。

一些国家根据各自的需要，在建筑节能方面进行了探索，并建造了几座新型的节能建筑，现介绍如下：

节能大厦

美国将投资 700 万美元，采用先进技术在佛罗里达州建造一座面积 2 万平方米、耗能很少的节能大厦。

节省能源首先从光线着手，整座大楼的设计都是以取得最多的自然光为目标，采用超级窗户，窗户的玻璃既可让光线几乎完全透过，又能产生隔热作用，使电灯和空调的耗电量大减。

新大楼装有感应器的光管，电灯能按室内光量度变化而自行调节光线强度，而且当房间内无人时，感应器会自动切断电源关灯，到有人再进房时再自动亮灯。

其他新式设备还有高度绝缘的墙壁和天花板，反射热量的屋顶和外墙，以及高效能的空调系统等。

能量管理住宅

日本九州电力公司电力综合研究所建造了一栋所谓能量管理住宅。该住宅结构为八角形，表面积比传统结构的住宅减少约 10%，在屋顶内、地板下均装有冷暖气循环系统，所采用的绝热、保温材料厚度比现有住宅增加一倍。此外，在屋顶上安装整体屋面型太阳能发电板。整个住宅的耗能比传统住宅约减少 40%。

生态能源住宅

我国浙江永康唐光镇金畈村，有一幢用玻璃马赛克装饰一新的三层平顶楼房，这是我国第一幢生态能源住宅楼。它占地 111.9 平方米，三层砖混凝土结构。住宅地下建有沼气池、过滤井、净水井；底层设禽畜圈、水泵房及工副业生产用房；二层建有厨房、卧房、客厅和卫生间；三层为学习、娱乐和科研用房；屋顶按防渗漏标准要求施工后，上面培土 20 厘米，建成屋顶高质量菜园。屋顶种菜养花，肥水怎么解决呢？原来，在屋顶建有一沼肥贮存池，池里黑乎乎的液体就是肥料，它是用小水泵从地下沼气池中抽上来的沼液，是一种优质的有机肥，一扭开关就自动上来了。如遇天旱，打开另一个阀门，可以人工降雨浇灌、滴灌或自流。这幢生态能源住宅楼，以沼气为纽

带，5 根大小不等的室内管道搞循环，厨房废水、下脚料作饲料，人畜粪便自动流入沼气池。厌氧发酵产的沼气，用来点灯、烧饭。沼气渣做肥料，生活污水打上去沉淀后浇菜。

到盥洗室打开水龙头，热水即流出，原来是屋顶安装了圆钢瓶般的太阳能热水器，供应家庭热水。只要天晴，寒冬腊月照常可舒舒服服地洗上热水澡。

这种由人、生物与居住环境空间构成良性循环的农村住宅，具有良好的社会、经济、生态、能源效益。

建筑中，窗户关系到房屋的采光、保暖，与节能有密切关系，所以一些国家的各种节能窗相继问世。

节能玻璃窗

美国加利福尼亚州圣地亚哥的九层楼公共住宅，由于采用了大型玻璃窗，不仅海洋和街道的景致显得更优美了，更由于改进了窗户玻璃的安装角度，在节省能源方面显示了良好效果。这种玻璃窗的下部是垂直的，可开可关，其上方向外倾斜，顶部角度为 45° ，并且一直伸至天花板附近。倾斜 45° 部分的玻璃为双层玻璃，并使用着色玻璃。在玻璃窗垂直部分的下方，有一混凝土的层檐，其厚度为 1 米，伸出长 2 米，起到支持下一层楼的倾斜 45° 窗的上部和屋檐的作用。

省能的效果表现在：寒冷时，从较低角度射入的太阳能，几乎全部透过玻璃进入室内；中等气温时，太阳热量从倾斜的玻璃表面部分反射至下方，被下部的混凝土屋檐吸收，夜间可释放进室内；夏天高照的太阳光被屋檐遮住，不能进入室内，而西照的阳光又被倾斜的窗户反射到下方，故热量向室内的侵入较少。

此外，这个建筑物又由于积极地采用了利用太阳热的冷暖气设备，估计所耗能量约为同类建筑物的 70%。

玻璃窗装上太阳能电池板

瑞士联邦工学院研制成功一种新型透明太阳能电池板，它装在窗户上可使太阳光能变成电能，这种太阳能电池板成

真空管热水系统本只为现行的硅基太阳能电池的 $1/5 \sim 1/10$ ，但效率却完全一样。该成果已获专利。这种电池板夹层的配置（上层为碘基电解质溶液，中间为染料层，下层为二氧化钛半导体薄膜）原理与植物通过光合作用从光中获取能量制造其养料的原理相似。

该太阳能电池板的优点是，除了构成夹层“面包”的专用传导玻璃（涂在玻璃内面上还有氧化锡导电薄膜）外，该板完全是用普通材料制作的。此外，这种太阳能电池板易于安装，用约 2 个小时即可。

太阳能中温集热器

据称，该太阳能电池板能将照射在其上面的阳光的 $7.1\% \sim 7.9\%$ 能量转换为有用的电能，每平方米的这种电池板产生约 150 瓦的电能。据介绍，一般硅电池板的每瓦成本在 400 美元左右，而瑞士的这种太阳能电池板的每瓦成本只为 40 ~ 80 美元。

英国研制成功一种新颖的玻璃窗式太阳板。不用玻璃，而用一块新型的透明太阳板，把它安装在建筑物的窗户上，就可使建筑物的热效率更高。这

种太阳板比目前的硅太阳电池，要便宜 80% ~ 90%，而光变电的效率是相同的。这种多层排列的太阳板，也是模拟植物的办法，即通过光合作用把阳光当作养料。

高级节能塑钢窗

这是一种用导热系数较低的改性 PVC 材料、腹腔内铆嵌槽钢组合而成的单扇双玻璃保温型钢窗。它有密封性和隔音性好、刚性强、防腐蚀、易清洗、保温节能、启闭灵活等特点，可在 - 40 ~ 70 条件下使用不变形。这种门窗在西欧、美国、澳大利亚、日本等国家使用呈上升趋势，目前已达 20%。

目前，我国沈阳市辽青塑钢制品厂已投入生产，质量达国内同类产品先进水平。

3. 开发高效节能灯具取得明显节能效果

民用照明耗电量在各国发电总量中均占有一定的比例，如我国约占全国发电总量的 7% 左右，而美国占了电能消耗总量的 25%。在相当长的时期内，人们照明使用的大多是普通白炽灯，由电能转化为光能的转化率只有 5%，所以各国均寻求节能灯具，积极进行开发研制。现在，经过几代变革，已经发明出许多节能灯具，为节能作出了很大贡献。

白炽灯的节能发展

白炽 PAR 灯：这是利用铝反射器将白炽灯的光线集中到某一立体角内进行照明，提高了光线的利用率，但并没有从本质上改变白炽灯的光效和寿命。

卤钨白炽灯：提高了灯丝的工作温度，光效由普通白炽灯的每瓦 10 流明左右提高到每瓦 20 流明以上，同时由于灯内充有含卤素的混合气体进行卤钨循环，大大延长了灯丝寿命，达到白炽灯的两倍以上，而且体积小，有利于照明设计。但由于工作电压低，必须配变压器才能工作，影响推广使用。

卤钨 PAR 灯：用卤钨灯作为灯芯制成 PAR 灯，保留了卤钨灯的一切优点，直接使用可节电，与使用普通白炽灯一样方便，克服了低压卤钨灯的缺点，同时又提高了光线的利用率。奥斯兰·斯凡尼亚公司声称他们生产的 60 瓦卤钨 PAR 灯可替代 150 瓦白炽 PAR 灯，节能 60%。

红外反射膜卤钨 PAR 灯：利用涂在玻璃壳上的一种选择性反射膜，可将灯丝发出的光的红外部分反射回灯丝，并为灯丝所吸收，而可见光可顺利透过，从而进一步提高了光效，寿命也 longer，而且输出光为冷光。GE 公司生产的这种灯，寿命延长 50%，光输出多 33%。

荧光灯进一步向节能化发展

荧光灯的电能转化为光能的转化率比白炽灯高得多，但也在不断改进中，发展节能型荧光灯的趋势是减小管径，而且又有新的品种。

紧凑型荧光灯：这种灯的光效比普通荧光灯提高 20%，显色指数达到 80 以上，体积小，寿命达 1 万小时。我国有多种产品。

反射紧凑型荧光灯：Lumatech 公司生产的这种灯，外型与 PAR 灯相似，螺口接头，灯芯用四管紧凑型荧光灯，反射罩和透镜都用计算机设计，反射罩由许多小反射面构成，现有 5 瓦、9 瓦、13 瓦、19 瓦等，13 瓦灯的光输出可替代 100 瓦白炽灯，可节能 85%，寿命长 5~10 倍。GE 公司生产的反射紧凑型荧光灯，节能 75%，寿命 1 万小时，显色指数为 82，功率因数大于 0.90，谐波畸变小于 33%。

高强度放电灯的发展已成热门

高强度放电灯作为大功率、长寿命、高光效照明光源最近几年发展也很快。它从高压汞灯、高压钠灯、低压钠灯、金属卤化物灯发展为紧凑型金属卤化物灯。

高压钠灯：GE 公司生产的高压钠灯显色指数只有 22，最大功率已达 400 瓦，最小功率 35 瓦；水银灯的显色指数在 50 以下，寿命为 18000 小时；奥斯兰·西凡尼亚公司生产的低压钠灯，光效每瓦达 183 流明，寿命为 18000 小时。

金属卤化物灯：这是目前高强度放电灯发展的产品，光效每瓦可达 70 流明以上，显色指数在 65 以上，如 GE 公司生产的一批低功率金属卤化物灯，功率有 32 瓦、50 瓦、70 瓦和 100 瓦的，寿命达到 5000~15000 小时，显色

指数 65 以上，光效在每瓦 70 流明以上；高性能 175 瓦金卤灯，比标准金卤灯寿命提高 50%，效率提高 22%，显色指数达 65，色温为 3200K。

紧凑型金属卤化物灯：这是进一步改善金卤灯的性能，缩小其体积，出现的紧凑型金属卤化物灯，并把紧凑型卤化物灯作为灯芯制成 PAR 型灯，GE 公司生产的 70 瓦和 150 瓦的紧凑型金卤灯，显色指数在 80 以上，寿命 6000 小时，光效每瓦 70 流明。小功率、紧凑型、高显色指数的金卤灯是目前世界上高强度放电灯的发展焦点。

新产品层出不穷

除前面介绍的灯具外，还有一些特殊的、高水平的新产品。

长寿命白炽灯：美国 Litronics 公司生产的一种寿命为 20000 小时的“超级服务的”白炽灯，工作电压为 220 伏或 120 伏，寿命是普通白炽灯的 26 倍，该灯在生命的最后 6000 小时里，光输出只减少 7%，该灯功率有 35 瓦、50 瓦、68 瓦、75 瓦、90 瓦、150 瓦等多种。这种灯对于那些更换不便，无人看守的公共场所和同时点亮多级灯，而且要求失效率很低的地方无疑是很有吸引力的。

无极感应荧光灯：飞利浦推出低功率无极灯，功率为 55 瓦，光效每瓦 65 流明，寿命 60000 小时，显色指数在 80 以上。

光纤照明：日本已能通过光纤将太阳光引入室内，从而为室内提供日光照明。以往通过窗耦合的方法，只能在建筑物周边屋内利用日光照明，现在在日本已生产出将太阳光引入室内深处的照光光学系统，该系统叫做“Himawari”或“太阳花”，该系统能分离日光中的紫外线及红外光线，因此可以向室内提供任意种所需要的光，该系统通过光电池自启动，通过传感器及数字软件跟踪太阳，太阳光中的红外光、可见光及紫外光通过蜂巢状透镜而产生不同色差，然后利用光纤获取所需要的可见光，其透镜的聚光是 10000 倍，传输损耗是 2%。由于太阳只有 5.4 度的角直径，因此系统的跟踪范围及透镜的公差都必须很小。透镜的典型直径为 105 毫米，光纤直径为 1 毫米，每个透镜对应一根光纤，6 根或 10 根光纤组成一束光缆。透镜和光纤的数量决定使用的效果，一个简单的由 6 股光纤组成的 40 米长光缆在照度为 98000 勒克斯 (lx) 的直射阳光下，输出光为 1182 流明，相当于 100 瓦白炽灯的光输出。

光纤引太阳光入室，可用于游泳池照明、室内种植和育苗等。光纤将阳光引入水下，可以实现水下照明。由于光纤不带电，因此很安全，而且使用寿命长、维护方便。光纤还可做成各种显示招牌及工艺品，可进行多种颜色变化，色彩变幻简易。

新型长寿灯泡：美国通用电气公司和飞利浦公司等家电厂商，近年来推出省电长寿灯泡，这种灯泡功率只有 18 瓦。

一般的灯泡，75% 的能量是通过红外线散发的。新的节能灯是将这部分能量更有效地转换成可见光。

卤素灯是由两部分组成：外部是一个普通玻璃灯泡，里面装有一个带灯丝和卤素气体的石英灯泡。卤素气体消除了高温下灯丝的蒸发，使得灯泡能在更高的温度下工作（因而效率更高），同时使得灯泡的寿命更长。石英灯内表面涂了一种涂料，它只允许可见光射出，而将红外线反射到灯丝上。

这种灯可重复利用其本身产生的热量，因而可在其寿命期内节约相当于普通灯 60% 的能量费用。另外，这种新型的 60 瓦红外卤素灯相当于标准的

90 瓦卤素灯或普通 150 瓦 PAR（抛物线状铅反射器）泛光灯的亮度。

美国加州因特索斯技术公司宣布发明了一种民用感应灯泡，它既不用灯丝，也不用电极。它的正常使用寿命可长达 14 年，并且耗电量仅为普通灯泡的四分之一。

新型节能卤素灯：在纽约州斯克内克塔迪的通用电气研究开发中心，以及克利夫兰的通用电气光源公司的研究人员，通过循环利用卤素灯产生的热量，使卤素灯的效率提高了 33%。

电磁波激活的电子灯泡：美国推出了一种高效照明技术，它采用高频无线电信号而不是灯丝发光。这种快速震荡的无线电波激活密封在球体里的一种混合气体，这种气体释放出可见光谱以外的光。当这种光撞击到灯泡的玻璃壳内表面上的磷涂层时，磷放出可见光。

这种新型灯泡叫 E 灯泡，它没有电极，不存在荧光灯泡要烧坏电极的问题，因此 E 灯泡的使用寿命较长，但是使用数年之后，这种灯泡会由于磷的消耗而逐渐变暗。

电子灯泡还具备其他优点，它可像白炽灯泡那样使用减光器开关，比目前市场上出售的大多数小型荧光灯泡体积小，而且节能效率高。

这种灯泡还将适用于任何固定装置，而且还能倒装、横装和在室外安装。

这种灯泡将能在不到 1 秒钟内接通或断开，而且不闪，可在寒冷条件下工作。

节电的冷光灯泡：美国已研制出一种新型的节电冷光灯泡。这种灯泡的玻璃表面镀有一层银膜，银膜上面又镀有一层二氧化钛膜。这两层膜结合在一起，可把红外线反射回去加热钨丝，而只让可见光透过，从而大大节约热能。

这种节能冷光灯泡能节约一般灯泡以热辐射形式消散周围的 90% 电能，用这种 100 瓦节电冷光灯泡，其耗电量只相当于 40 瓦普通灯泡。

对于节能，寻求高效节能灯具固然重要，但要使节能灯具为更多用户所接受，政府部门的作用是不可忽视的。实际上，世界各国政府的有关部门都高度重视照明节能。如美国、欧共体、荷兰、法国、德国、印度等国家，有的推行“绿色照明”计划；有的让银行提供专项优惠贷款；有的折价优惠出售乃至免费赠送节能灯；有的投资进行照明改造，等等，均取得了一定效果。

我国的照明节能也大有潜力可挖，并提出了一些措施：

大力推广使用荧光灯，稀土三基色紧凑型荧光灯，已生产出适合家用的 H、双 H、Q、D、双 D、SL 型等多种产品，这种灯与照度相同的管型荧光灯相比约节电 27%，与白炽灯相比，可节电 70%。高压钠灯（适合城市道路用），镝灯、钪钠灯、中显色钠灯和高显色钠灯，适合于工厂车间、体育场馆和建筑工地使用。

推广光电节能开关、延时开关、调光节电器，生产智能电力定量器和饭店客房使用的钥匙开关。

加强照明节电宣传和照明用电管理工作。取消灯泡制、包费制。对新建、改建、扩建的照明用电设备，要从设计抓起，选用照明节电新产品。

充分利用自然光照明，室内顶棚、墙壁的装修要选用反射率高的装饰材料。

对生产照明节电设备的厂家要加强管理，防止低劣产品进入市场，对生产优质照明设备的厂家要给予优惠，奖优罚劣，促进照明节电器具的发展。

我国有关部门正在加紧制定一项政策，以全面推广应用节能灯。

到 2000 年，按每户仅用一支节能灯计，全国 4 亿支节能灯就可节省 2000 万千瓦电力，投资只需 120 亿元；而要建 2000 万千瓦的电力，却需要投资 500 亿元。

有“照明新光源”之称的稀土紧凑型荧光灯（节能灯）是一种高科技产品，它可比普通白炽灯发光效率提高 6 倍。专家们说，我国如全面推广采用节能灯，不但可节约大量的电力，同时每年还可节约数千万吨煤，并减少污染，有利于环境保护。

此外，对路灯也可采取节电办法。如在路灯用电上限期消灭用电不计量；用微机路灯控制仪代替光控开关，节约路灯用电；用单灯补偿来提高路灯的功率因数以达到节电的目的；采用半夜照明以节约电力（在后半夜人车稀少时熄灭部分路灯，也可采用调压或串联电抗器的办法，都可节电 24% 左右）；推广高压钠灯，逐步消灭大功率高压汞灯，严格限制自镇流高压汞灯的使用，等等。

在照明节能方面，我国还研制了一种可使废旧日光灯管（除漏气外）重新发光的新型节能电子产品——“星星牌” DZ 系列日光灯高效节能电子镇流器，取代了传统铁芯电感镇流器，无需启辉和电容器补偿，在 100 伏低压、高低温环境下快速启动。

测试结果表明，使用同功率的灯管，该镇流器节电 30% ~ 50%，亮度提高 20%，连续工作 10000 小时无温升，灯管上工作时无频闪，无蜂鸣，荧光粉不脱落，寿命成倍增长，且对无线电、微机、电视信号无任何干扰。

该电子镇流器最大特点是，可使废旧灯管重新发光，填补国内电子镇流器的一项空白，灯管灯丝（一端或两端）烧坏的废旧灯管使用 DZ 系列电子镇流器，能达到与新灯管同样亮度，亮度降低时，调换灯管位置，直至灯管漏气不能使用为止。

它具有高可靠、强过载、低温升、长寿命、体积小、重量轻等优点，可为我国低压用电区照明带来欢乐，为节电、节资做贡献，是具有较好发展前景的新光源节能电子产品。4. 抽水蓄能发电是节能措施之一抽水蓄能电站指的是利用有利地形，在原来水力发电站的水库的上方建设一个上水库，在电能多余的时候将下水库的水抽到上水库储存起来，到需要电能时再放水发电。抽水蓄能电站的耗电量与发电量之比为 4 : 3，从表面看似乎得不偿失，但实际上这是一种有效的节能措施。因为，社会生产和生活规律决定了用电量在一天 24 小时内是不均衡的，当工厂开足马力生产时，用电量达到峰值；当工厂停开，人们休息时，用电量达到低谷。电力系统就要调峰来解决这种电力盈缺现象。要调峰必须增加费用：一是增加设备后备容量，这要投资，计算表明，抽水蓄能发电要比烧煤发电作为补充电源更为经济。全世界普遍重视发展抽水蓄能发电，1980 年全世界抽水蓄能发电站总装机容量达 7500 万千瓦，比 1965 年翻了一番，目前正以每年 500 万千瓦速度增长着。

我国近些年来才开始考虑抽水蓄能发电，我国第一座农村抽水蓄能电站，最近在湖南省慈利县境内建成，已通过国家鉴定。

最近正在拟建的抽水蓄能电站有广州、十三陵、天荒坪等，还召开了“抽水蓄能电站技术讨论会”，国家也正在加大对抽水蓄能电站的投资，并开展相应的科研工作。

潘家口抽水蓄能电站最后一台机组已于 1992 年 12 月 8 日试运完毕，移

交生产。潘家口抽水蓄能电站位于河北省迁西县境内滦河干流上。建有上下两个水库，上水库即潘家口水库，为多年调节水库，以供水为主，兼顾发电，总库容 29.3 亿立方米，正常蓄水位 222 米，死水位 180 米，最大水头 85.7 米，最小水头 36 米。主坝为混凝土宽缝重力坝，坝高 107.5 米。下水库总库容 3168 立方米，为日调节水库，水位变化幅度为 4.6 米。下库坝为混凝土重力坝，坝高 28.5 米。电站总装机容量为 42 万千瓦。电站的运行方式，考虑常规水轮发电机组在下游用水时发电，年利用小时数约 1580 小时。而 3 台抽水蓄能机组在每年 4~6 月的集中用水期，只发电不抽水，采取与常规水轮发电机组同样的运行方式；其余月份则按日调节抽水蓄能方式运行。年发电利用小时数约 1300 小时。

这一工程完成后，潘家口水库平均每年将引滦河水 19.5 亿立方米，供应天津、唐山等城市生活和工农业用水的要求；在洪水期还有削减洪峰的作用。电站年发电量 5.9 亿千瓦时左右，承担京津唐电网的调峰、调相任务。

5. 正在发展中的储能技术

压缩空气储能技术

高峰用电时，发电不足，但高峰过后，发电又过多。若能将高峰过后多余的电能储存起来，待到高峰用电时再使用，即可降低电厂设备投资及发电成本。

美国在亚拉巴马州的麦克英托什建成了美国第一座压缩空气蓄能电站。该电站投资 6500 万美元，功率为 10 万千瓦。

这座电站在工作过程中，在非用电高峰期把空气压缩进入 57 万立方米的地下岩洞；而在用电高峰时，在压缩空气中加入气体或液体燃料，经过燃烧器产生的燃气用来驱动气轮机发电。该电站的运行时间，平均每天 10 小时，周末为 35 小时。在平时高峰用电期内，每天可提供 100 万千瓦时的电力。

储存压缩空气的地下岩洞是泵入淡水使岩盐层溶解后形成的。

高温超导储能飞轮研究取得新进展

日本的国际超导技术中心高级研究员村上说，当非超导元素分散在一种超导材料里时，它们就“钉住”磁体的磁通量。这就是说，磁体能悬浮在这个超导体上面。此外，由于这两层之间有空气，所以磁体能自由旋转。这些特性有朝一日可使人们制造带有接近于无摩擦轴承的装置。村上和他的同事们认为，一种理想的应用场合可能是储能系统。他们已研制出一种原型装置，来显示这种想法的可行性。这个原型装置包括一个 30 公斤重的盘形旋转体，是用铝中嵌入铁-钷-硼磁体制成，在一个静止超导盘上方 0.76 厘米处飘浮。这个静止超导圆盘装有 33 个以钷为基础的庞大超导体，由液氮冷却。这两个圆盘的直径都是 0.3 米左右。

研究人员用一台小型电动机使这个磁体旋转。为了收回能量，他们把旋转的圆盘同由一台小型发电机和灯光组成装置连接，类似自行车灯所用的那种装置。飞轮储存约 100 瓦时能量。

在美国，阿贡国立实验所和设在康涅狄格州东哈特福德的联合技术研究中心的研究人员一直在真空中共同试验一种类似装置。他们报告说，一种超导磁性轴承的摩擦力大约只是目前最好的磁性轴承的 1/25。这些科学家声称，装有这种轴承的飞轮每小时损失的能量，将不到它储存能量 1‰。这两个研究小组都认为，这样一种系统可用做应急电源。在正常情况下，利用电来使飞轮旋转和用液氮冷却。如果供电中断，则储存在飞轮里的能量就可驱动发电机。据村上的研究小组计算，一个直径 3 米的圆盘可储存 10 千瓦时能量。

从更大规模来说，这样一种飞轮可能帮助供电公司平衡它们的电力需求。在用电量较少的时候，飞轮可把能量储存起来，然后再发电来满足用电高峰时的需要。研究人员认为，这样一套系统可由安装在地下隧道中的巨大环形装置组成。

日本东北电力公司和日立制作所研制成功用超导的能源贮藏装置。这是世界上首次采用“热函保护方式”的装置，作为万一超导状态破坏的情况下的安全对策。装置用液氮使线圈冷却到 -269℃，呈超导状态。它在 1 千安培的电流通过的情况下，可蓄存 100 瓦灯泡使用约 3 小时的电能。

美国正在准备建造一种巨型超导贮电装置，该装置造价 10 亿美元，外形像汽车轮胎，可贮电 500 万千瓦时。如果该装置能够建成，就可将夜间剩余

电能贮存起来，到白天用电高峰时，向电网供电。

巨型超导贮电装置实际上是一块巨大的电磁铁，因此又称这种贮电方法为超导磁铁贮电法（SMES）。它的一个优点是可提供脉冲电能，可以在 0.3 秒的瞬间脉冲放电，普通发电机却需要 15 分钟。它的另一个优点是损耗较少，与其他贮能方法比较，抽水蓄能法只能回收 70% 电能。而 SMES 则可收回 98% 的电能。

此外，这种超导磁铁电能贮存法没有活动部件，所以十分安全可靠。

6. 高温超导材料应用将为节能开辟美好前景

高温超导研究的接力棒越来越接近终点

任何良导体，在常温下它的电阻都不是等于零的，因此当金属导线通过大电流时，都会产生欧姆热。通常高压输电线损失就要达到 8% 左右，而且由于导线发生欧姆热，就限制了电机的功率。人类利用导体在温度相当低的时候，如在 -269 的液氮温度时，它的电阻几乎降到零，要是能将温度降在 -273 绝对温度时，可以说所有金属的电阻都等于零，这时就会出现许多奇妙的超导现象。那时，大电流通过导线时，就会通行无阻，而没有任何发热损失，这是求之不得的。

人类最早于 1911 年在水银上观察到超导现象，从那时起，发现了 6000 多种的元素、合金和化合物有超导性。四年前，科学家研究发现，在液氮温度时 (77K) 发生超导的陶瓷材料，这改变了过去认为只有金属才有导电性的旧观念。后来又发现了钇钡铜氧化合物，超导转变温度高达 93K；铊钡钙铜氧化物，转变温度为 125K。我国的高温超导研究已经步入世界先进行列。

新的高温超导体不像它们的前身那样是有韧性的合金，而是易碎的陶瓷，是用金属氧化物的混合物制成的，因而使用起来比较困难。

多数金属很容易被拉成丝，可是高温超导体却不能。用力拉，它们就断。解决这问题的途径之一是将高温超导体弄成粉末，然后把它填充在一个银管里。银是良好的导热体，所以超导体任何一部分开始变热都能容易地把它的热量散逸到周围的液氮中。而且电不会从超导体渗漏入银里，因为电总是走电阻最小的电路。

世界各地的公司都在研究制造这种粉末导线的方法，处在如何使最大的电流量流过最细的电缆竞争中。

然而，日本、美国的研究人员在研制粉末导线方面并未取得十分理想的结果，而是找到了一种比较独创的方法，是诱使金属氧化物蒸气冷凝在准备好的表面上，从而形成超导体薄膜。劳伦斯-伯克利实验室的里克·拉索和保罗·伯达尔已使用这项技术在金属带上生长精确地排列成行的晶体。他们一开始铺一层锆氧化物晶体，在它们上面吹一种离子风，使它们都面向同一方向。然后，他们使超导体（由钇、钼和铜制成的）沉积。密集排列的锆氧化物晶体迫使超导体有序地结晶。目前，这种蒸气沉积带只有几厘米长，它们的用途看起来局限于小装置。但是拉索博士和伯利尔博士制造的带子能巨大的电流：每平方厘米高达 66 万安培。

日本还在超导技术开发上取得了以下新成就：

东北大学的渡边助教与住友重机公司共同开发出不用液氮冷却的超导磁铁，有关指标达到世界最佳水平。该项电磁铁以 Nb_3Sn 超导体做线圈，置于真空中用氦气做介质的冷冻机进行冷却，用临界温度较高的铌系氧化物超导体做导线，可通过 500A 的电流，同时临界温度还可在 10 ~ 30K 间进行控制，均属世界首例。

过去的超导电磁铁，以 Nb_3Ti 超导体做线圈，只有浸在 4K 的液氮中冷却才能达超导状态，同时氧化物超导体亦需浸在液氮中冷却，这样既造成宝贵的液氮很快蒸发损失，而且通过大电流时，氧化物超导体的性能亦随之劣化，从而难以实用化。过去亦曾有过不用液氮冷却的电磁铁，但均未达到如此良好的指标。

日立公司接受新能源产业技术综合机构的委托，按照通产省工业技术院制订的月光计划中大型节能项目“超导电力应用技术开发”计划的安排，开发成功交流用超导线，其电流损失达到了世界最低水平。

电线以加锰的铜镍合金为母材，超导线使用液氮冷却下的 Nb_3Ti 合金。在直径 0.2 毫米的断面上，中间为铜，由 54 个超导线六角块以环状均匀分布为一圈，外部为加锰的铜镍合金，而每个六角块又由 85 支直径 0.1 微米的 Nb_3Ti 超导细丝组成。经以 50Hz 的交流电做试验时，交流电损失仅为 3.3 千瓦/米²，而小于 25 千瓦/米²，即为超导的作用。电流密度高达 1200 安/毫米²，为铜线最大允许电流的 12 倍。

美国洛斯阿拉莫斯国家实验室研制成功可通过大电流的带状高温超导体可应用于许多重要领域。

对这种带状超导体的检验结果表明，在外磁场为 2 特斯拉、温度为 2K 条件下，一段较短的带状高温超导体的临界电流密度为 9300 安培/厘米²。

目前，该实验室已研制成长度为 39 米的带状高温超导体。制作方法是：先将高温超导粉末装进一个银制的管子里；然后将管子拉长、弄平、加热；最后将管子及管内的粉末一起熔成一条带子。研究者指出，银管可使超导体柔性大增，即使将超导体弄弯也不会破裂。

该实验室的研究人员用一段 1.5 米长的带状高温超导体，制成了一个电磁线圈，它可产生 200 高斯的磁场。

目前，研究人员正在改善这种带状超导体的超导特性。他们发现，当冲压带子时，会产生一纵向断裂；将这种纵向断裂的带子卷起来时，会产生一横向断裂。他们还发现，经过冲压的带状高温超导体，也能运载大电流，其最大电流密度为 4500 安培/厘米²。但这种方法不适于较长的带状高温超导体。

纳入原月光计划中的超导发电机等重大应用研究计划包括以下内容：

以日本青山学院大学理工学部的秋田教授为首的研究组发现了含硼的新超导材料，它在 35K 时电阻明显下降，到 30K 时电阻呈零，同时还出现超导材料特有的近纳斯效应。目前国际上发现含硼的超导材料还是首例，秋田教授拟进一步深入研究以发现临界温度较高的含硼超导材料，以便于实用化。新物质是由碳酸锶、氧化铜和硼酸按一定配比混合后加压制成直径 15 毫米×3 毫米的试样，在空气中以 750 经 24 小时烧结，再在加上少量二氧化碳的氧气中以 900 进行 20 小时热处理后而成。过去亦曾发现过一些含碳酸的超导材料，但像这次不加入氧化硼即不出现超导现象的还是首次，故秋田教授希望借此打开发现超导材料的新途径。

超导工学研究所和东京大学物性研究所发现 149K 时出现超导现象的新物质，比过去公开发表的 130K 提高了 19K，这样对实用化将非常有利。因为在液氮和液化天然气等廉价原料的冷却条件下即可达超导现象，则超导磁浮列车和超导贮电等重大应用工程都可以较便宜地实现。新物质是在氧化铜中加入汞、钡和钙而形成的。在此之前，瑞士联邦大学奥托教授曾发表文章谈发现临界温度为 134K 的汞系超导材料，这次的成分基本相同，只是把这些混合物施以 8.5 万大气压的压力后便发现临界温度提高到 149K。

承担月光计划中超导发电机大型节能研究开发项目的超导电机设备、材料技术研究组宣布，原定 1995 年完成该项目的计划将延迟至 1998 年完成。现在制造中的 7 万千瓦发电机将延期到 1996 年在大阪关西电力火电厂内试运

行，相应的 20 万千瓦样机的设计工作亦顺延。延期的理由主要是机芯用铌钛超导电线的三种绕线工作进度后延，加上电机回转部分用非磁高强度构件的精密加工亦比原来预料的复杂，只好从实际出发适当延迟。

日立研究所开发成功了高温超导（在液氮温度下实现超导）线材的加工方法，即在条带状的基材上生成超导体层的新方法。已利用此法制成长 1 米的铌系线材。只要将条带状基材加长，高温超导线材亦可相应加长。过去高温超导体虽可在价廉的液氮条件下应用，但由于加工为线材困难，迄今仍难以实用，这次是应用技术上的突破。

日立研究所是按新月光计划的要求进行的，该法为先将铌系超导材料成分的铌、钙、铜的粉末加热成等离子状态，然后使之后积于宽 5 毫米、厚 0.1 毫米的银带上，接着暴露于铌的气氛中，这时铌和基材积层上的原子作用形成 0.1 毫米厚的超导结晶。对于这些散乱的结晶，采用辊压后使结晶取向改善。为提高结晶质量，再度暴露于铌气中，使铌渗入结晶之间，并再度辊压。

日立研究所已按此法试制成 1 米长超导线材，在液氮温度下，1 平方厘米断面可通 3900 安的电流，为铜线极限的 10 倍以上。在实验室以 3 厘米短线试验时，1 平方厘米可通过 2 万安电流。现正改进工艺和装备以试制出更长的线材，这从理论上讲是完全可能的。特别是超导性能好的铌系线材的加工方法的突破，将推动高温超导材料的广泛应用。目前的方法略加改进，便可制出磁浮列车电磁铁线圈用的高温超导线材，从而可大幅度降低造价。

高温超导技术应用前景广阔

高温超导输电线路可大大节约电能一般的铜线高架远距离输电，输电线路电能损失达 5% ~ 15%。就美国太平洋煤气电力公司而言，一年线路电能损失达 2 亿美元，如果用高温超导线路远距离输电，则可以避免电能的损耗。届时，我国西南丰富的水能资源即可全部开发出来，通过高温超导输电线路，输送到东南沿海经济发达地区，解决这些地区的缺电问题。

超导线圈的应用前景美好美国俄亥俄州克利夫兰一家电器公司生产了一种装有超导线圈的工作电机。超导线圈是美国超导体公司在一种新型高温陶瓷超导体的基础上制成的，必须将它冷却到接近 -200 。因为超导线圈中的超导线材导电时不会由于电阻而损失能量，所以这种新型电机用 0.5 安培电流就能产生 25 瓦功率。

美国埃默森公司使用陶瓷工艺系统公司提供的超导导线，研制成功一种高转矩分数马力直流超导电动机。在 77K 下，这种导线的电流密度高达 10 万安培。这种能握在手心里的电动机是埃默森公司根据与国防高研局（DARPA）以 550 万美元合同研制出来的。这种电动机的体积虽小，但转矩很大，用手无法使其停止转动。这种电动机的设计方法非常新颖，该公司希望在合同期满后公布其性能参数。

这两家公司还计划研制同这种电机大小相似的 50 马力电动机，目标是制造体积小、重量轻、转矩大的超导电动机。现今这种电动机的体积与汽车相同，过于笨重。它们要研制出能握在手中的 50 马力的超导电动机的主要困难是在于难以制造出性能均一的超导导线。

该公司生产的导线采用的是钇钡铜氧陶瓷超导体，这种超导体基本性能优良，可适合于许多方面应用。在生产工艺上，该公司用纤维丝纺法取代粉末管或挤压法。

超导线圈应用可使受控核聚变的研究步伐大大跨前一步，使受控核聚变

的经济性大为提高，实用化的日期大大提前。

常温超导技术的应用它可使超导电机、超导电缆、超导粒子加速器、超导电磁船等新产品投放市场，成为畅销的节能产品。应用超导材料的电子计算机，电算速度大大加快，即可制成超高速电子计算机。

世界上第一艘在海上进行航行试验的日本超导电磁驱动船“大和1号”引起美国、法国等军事专家们的关注。本次试验中已获成功的驱动系统如果同电池等组合起来，那就可以用到潜艇上。这种潜艇将无任何声响，用超声波探测器根本无法捕捉它的行踪。推进这项开发的SOF财团否认这种系统转用于军事的可能性，对海外出现的出乎预料的反响感到困惑，但驻日公使馆人员频繁访问工厂等，表明国外非常认真地看待这个问题，因为这还牵涉到对美防卫合作等问题，所以，日本独自开发的超尖端技术今后有可能产生出人意料的复杂事态。

由SOF设计、三菱重工业公司神户造船厂等负责建造的这艘旨在高速行驶的运输船花费了7年时间，用了约55亿日元的开发费用，全长30米，宽10米，重280吨。该船行进时看上去好像是航天飞机掠过海面行进。

1992年6月中旬在神户首次进行的试验中，速度仅达到每小时约10公里，但从设计原理来说，时速达180公里也并非梦想。SOF超导电磁驱动船开发部部长竹泽节雄说：“如果实现设计的速度，那将给海运带来巨大变革。”

但是外国军事方面的有关人士关心的不是速度，而是驱动时根本无声响。过去那样以螺旋桨驱动时，必然要在海中产生被称为“空洞”的泡沫，而当这些泡沫破碎时总要发出声音。潜艇在水下辨认对方潜艇时就是利用对方的空洞声，这是现存潜艇的一个弱点。

因为电磁驱动可以防止出现空洞，所以据说美、欧、前苏联等国的海军从60年代起就一直在研究电磁驱动。SOF财团因为使用的是超导磁石，所以把外国抛在后面，实现了先行试验。

据SOF人士说，迄今美国、法国、瑞典驻日使馆的科技负责人为参观“大和1号”而访问了神户。此外，挪威、加拿大使馆的有关人员也到在东京的SOF总部询问过有关“大和1号”驱动系统的情况。

“大和1号”用柴油发电机发电供给用于驱动的电，所以有轻度噪音。超导工学研究所第4研究室主任盐原融说：“如果用燃料电池或原子能电池等供应驱动电流，那就可以达到完全无声的目的。”

作为船舶的驱动系统，最高速度10公里左右太慢了。据说要把速度提高到时速160公里，则需要输出功率为数万千瓦的电源。另外，在试验中，因线圈温度上升等反复出现过超导状态消失的熄火现象，稳定性还有问题。SOF方面的多数有关人士也认为：“到21世纪中叶能实用化也就不错了。”

但是，技术专家中有人认为：“如果是潜艇，平时可以用普通的驱动系统，一旦需要可以使用电磁驱动。”一家大造船公司技术干部说：“从这个意义上来说，即使时速到10海里以下也有足够的利用价值。”

7. 热泵将风靡世界

热泵是从低温热源吸收热能，再提供较高温度的供热装置。1973年能源危机前，因热泵供热投资太高，没能得到发展。能源危机后，才被许多国家大力推广。例如，美国1981年热泵销售量达50万台；前联邦德国1981年销售3万台，1983年安装2.5万台；英国有1万台；丹麦1980年安装约2000台；日本1980~1981年度生产75万台。大多数是数千瓦到数十千瓦的小容量热泵，用于家庭采暖、空调和热水供应。

使用最多的是蒸气压缩型热泵，其原理是利用低沸点介质氟里昂吸收低温热源的热量，在压缩机内压缩使温度升高，再在冷凝器内释放出来为用户供热。当然泵站利用电力作能源时，一般在电网低谷负荷时运行，这样既可改善电网的经济性，又可减少污染。

进行超热泵蓄能系统开发研究，目的是利用夜间的多余电力驱动压缩式热泵，从而使低等级的热能变为高等级的热能，利用化学蓄热器把这些热能高密度地贮藏起来，在白天需要时作为热源再加以利用。

日本九州电力公司研制成高性能冷暖兼用压缩式热泵（超热泵）和笼形包含物冷暖型化学蓄热装置（笼形包含物蓄热装置）。使用该装置可大幅度降低供冷供暖所需动力。由于使用夜间电力，可起电力调峰作用。工质媒体不使用特定的氟里昂，是最早使用替代氟里昂的装置。

系统具有性能比现有热泵高2倍的超热泵，利用化学反应，在高密度蓄热的小型蓄热装置中进行夜间蓄热，在白天需要时作为冷、热放出，用于大楼的空调。

日本通产省工业技术院开发成功新型超级热泵，使空调和取暖用电可比过去节约一半，投资亦可在数年内回收。此种超级热泵效率极高，如将50℃的温水提高到85℃的高温时，其功能系数COP为：用于供热水时为8.1，用于空调、取暖时，空调为7.1，取暖为6.2。据此计算，和一般热泵相比，所耗电力可节约一半左右。同时使用的工质已完全不用氟氯烃，符合新规定。

日本东京煤气公司和前川制作所共同开发成功复合式热泵，已在东京煤气公司的千住营业技术中心开始综合性能试验。它由GHP（煤气机带动热泵）和吸收式冷冻机组成。GHP采用不影响臭氧层的新特优良工质及利用煤气机和热泵余热驱动冷冻机是世界上首创，可供应80℃的热水，空调COP（一次能源产出系数等于产出能量/耗电折合能量）为1.87，其效率比以往大幅度提高。东京煤气公司和三洋电机已开发成功的吸收式冷冻机和热泵系统，对城市低能级余热利用将做出重大贡献。天然气泵在6种高级装置中正显示出适合家用的巨大潜力，它会成为90年代最热门的家庭能源装置。这些热泵能够使美国许多地区的房主节省开支。还可以使电力公司能应付夏天用电高峰期的负荷。

8. 世界上重视开发节能无污染电冰箱

既节电又不污染环境的磁电冰箱将走进千家万户

普通电冰箱和制冷设备所用的制冷剂是氟里昂，它泄漏到大气中以后，就会与臭氧发生反应，成为破坏臭氧层的罪魁祸首。

伦敦召开的“挽救臭氧层”国际会议，有 110 个国家代表魁。

伦敦召开的“挽救臭氧层”国际会议，有 110 个国家代表参加，会上决定在今后 10 年内把破坏臭氧层的氟里昂用量减少 85%。有些国家还决定停止生产用氟里昂做制冷剂的普通电冰箱。

最近，一些工业发达国家在积极研究一种既节能又不用氟里昂冷却的磁冰箱，而且结出了硕果。

美国、日本、法国等国的科学家在研究航天技术中，研制成功的磁冰箱，其工作原理与普通电冰箱截然不同。磁冰箱的工作原理是，利用磁热效应达到制冷目的。所谓磁热效应是利用磁性材料在外磁场作用下，其所有原子中的电子均变成自旋方向一致的磁性物时，放出热量。当外磁场消失时，自旋方向一致的电子又回复到原来无序状态，失去磁性，同时吸热，这就达到冰箱的制冷目的。

磁冰箱的主要工作部件是，以钆、镱为磁性材料制成小球，填满一个空心圆环，圆环绕轴旋转，转到冰箱外侧的半个环受电磁场作用，放出热量，转至冰箱内侧的半个环失去磁性，吸收热量，如此循环不已，达到制冷目的。

磁冰箱无需氟里昂工作介质，从而省去了压缩机和涡轮机，工作效率比普通电冰箱高一倍以上，省电一倍以上。冰箱自重比同体积的普通电冰箱轻得多，箱内容积可增大。磁冰箱因部件少而简单，比普通电冰箱更耐用。

美国、英国、法国等国都已研制成磁冰箱，而且已于 1990 年投放市场。这种新型冰箱的价格只为普通电冰箱的四分之一，效率却提高了 10 倍。法国已作出决定，以后只生产磁冰箱，而停止生产普通电冰箱。我国也已研制成功磁冰箱。可以预计，在不久的将来，节能价廉的磁冰箱将会走进千家万户，成为家用电器的新成员。

各国竞相研制新型无氯氟烃的绿色电冰箱

德国福隆家电公司推出了一种无氯氟烃冰箱，受到各方面重视。新冰箱采用的是丙烷—异丁烷制冷剂，该公司称加工过程不存在任何问题，他们使用它将制造出三星级冰柜。

一种用络合物制冷和贮热的小型冰箱即将投放市场。这种冰箱的冷却系统所用的制冷剂是天然的无毒性卤素盐，而不是破坏臭氧层的氟里昂。因为它没有冷却剂、压缩机，因此在工作时没有活动部件。据美国内华达州罗基研究公司创始人洛肯菲勒推测，在 5 年之内，这种冰箱的年销售额将会达到 0.5~5 亿美元。

一种保护地球大气臭氧层的“双绿色标志”电冰箱，最近已在我国研制成功，并投入批量试产。这种在世界上属于最新一代电冰箱的诞生，揭开了电冰箱历史新的一页，标志着我国电冰箱氟里昂替代技术达到了国际先进水平，破坏大气臭氧层的氟里昂 11 用量减少 50%，氟里昂 12 被完全替代。从 1989 年开始，万宝集团研究所专门成立了“新工质电冰箱研制组”，进行氟里昂 11 和氟里昂 12 的替代技术研究。经过对多种替代物的科学、详细分析研究，进行了一系列热力性能与制冷循环的热力计算，从而确定对臭氧层无

破坏作用的无氯制冷剂 HFC - 152a 为氟里昂 12 的替代物。该项目通过了广州市科委主持的专家鉴定，并作为“中国的臭氧耗损物质逐步淘汰项目”列为联合国多边基金申请项目。

这项具有国际先进水平的科技成果应用到产品上，正式向消费者推出“双绿色标志”万宝牌 BCD - 235B 电冰箱。该种电冰箱所采用的发泡剂 CFC - 11 的用量已减少 50%，按国际惯例，可在冰箱上贴上一个绿色标志。另外，采用对臭氧层无损耗作用的无氯制冷剂 HFC—152a 完全替代氟里昂 12，又可在冰箱上再贴上另一个绿色标志。

经检测，“双绿色标志”冰箱的制冷和安全性能完全符合国家标准要求，耗电量低于国家标准的限定值，达到家用电冰箱产品质量分类分级规定的 A 级水平。

分解氟里昂技术已有新的突破

东京电力公司和关西新技术研究所共同开发成功了在常温下将氯氟烃连续分解为工业原料用氯和氟的新技术。它使用灯光照射和分离膜组成的简单装置，不需要专门的处理系统便达到了分离的目的，且回收利用。

过去对氯氟烃的高温分解，由于破坏了分子结构，产出的是废物。这次则将分解和利用衔接起来，先通过紫外线的光能照射将氯氟烃的一部分分解后使之和氧反应成为用途广泛的氟树脂，真是变废为宝，同时产生的氯亦可达高纯度作工业原料，将氯氟烃不断循环，便可 100% 分解。由于氟树脂和氯气都可作工业原料，故处理费用很低，在最近的蒙罗维亚缔约国会议上要求全部停用氯氟烃的期限提前的形势下，应尽快实用化。

六、世界能源新技术

(一) 洁净的发电设备——燃料电池

1. 燃料电池工作原理及分类

燃料电池的基本原理与一般原电池相似，可将燃料氧化反应所释放的能量直接转换为电能。但是与一般原电池不同的是，在燃料电池中，反应物燃料及氧化剂（空气或氧）可以连续不断地供给电池，反应产物可以连续不断地从电池排出，同时连续不断地输出电能和热能。在这个意义上讲，燃料电池也可视为一种特殊的发电装置。

迄今为止，实用的燃料电池都以氢为燃料，由于氢在自然界不易获得，因此天然气或液化石油气在进入燃料电池之前必须进行重整和纯化。煤炭则需进行气化及纯化。在一些高温燃料电池中，天然气经纯化后可在电池内负极一面进行重整，称为“内重整”燃料电池。按目前的技术水平，每只单体燃料电池可产生约 1 千瓦直流电能，但因单体电池工作电压小于 1 伏。因此，必须将多只单体电池堆叠串联成电池堆以获得所需要的电压。再将多组电池堆并联以获得所需要的电流，从而组成具有一定发电能力的电池组。在燃料电池发电站系统中，除了上述两种主要子系统（即燃料重整纯化及燃料电池堆）外，还需要有交直流逆变器和控制部分两个主要子系统。

与一般热力发电相比，燃料电池发电具有较高的理论转换效率。因为在燃料电池中，燃料不是被燃烧变为热能，而是直接发电。

燃料电池按所用电解质不同，可分为以下几种类型：以 KOH 水溶液为电解质的碱性燃料电池，简称 AFC；以 H_3PO_4 水溶液为电解质的酸性燃料电池，简称 PAFC；以熔融 $Li_2CO_3 \cdot K_2CO_3$ 等为电解质的熔融碳酸盐燃料电池，简称为 MCFC；以固态离子导电氧化物为电解质的固体氧化物燃料电池，简称 SOFC；以高分子电解质膜，特别是阳离子交换膜为电解质的聚合物电解质燃料电池，简称 PEFC。

AFC 和 PEFC 以纯氢为燃料，并用贵金属催化剂，主要用于航天与军事领域。PAFC、MCFC 和 SOFC 称为地面燃料电池，其中 PAFC 发展最成熟，为第一代地面燃料电池，已有 4.8 兆瓦及 11 兆瓦的演示装置。MCFC 和 SOFC 等高温燃料电池分别属于第二代和第三代地面燃料电池，又需要贵金属催化剂，可以耐受 CO，是洁净煤发电可供选择的技术。当前，MCFC 比 SOFC 发展更为成熟，但有人认为，SOFC 是比 MCFC 更有发展前途的燃料电池体系，只是目前电池制造工艺尚不成熟，材料价格昂贵，估计在本世纪末尚不能代替 MCFC。

燃料电池要求采用非常干净的燃料，以防止污染电极及电解质，降低电池性能。它所能允许的硫、颗粒物和其他污染物是极低的。美国能源部于 1988 年开始资助煤气中杂质对 MCFC 和 SOFC 燃料电池影响的研究。

2. 世界燃料电池发展现状

我国在 60 年代曾进行过多种燃料电池的试验室研究工作（熔融碳酸盐、碱性氢氧、离子交换膜， NH_3 空气、肼空气等），70 年代曾投入大量人力、物力研制空间用燃料电池（离子交换膜、培根氢氧、石棉膜氢氧等）及地面用燃料电池（ NH_3 空气、肼空气）系统，并分别达到系统演示的程度。进入 80 年代，哈尔滨电站设备成套设计研究所进行了短期（1987 ~ 1991 年）熔融碳酸盐燃料电池探索性研究。

美国近 30 年来一直在进行燃料电池的研究。美国政府（能源部）和私人公司每年燃料电池的总投资为 7000 万美元（不包括能源部和国家宇航局 NASA 对国防和空间用燃料电池的投资）。在 90 年代达到燃料电池系统的商品化。

目前，美国主要有两家公司在研制 1 ~ 11 兆瓦的分散型 PAFC 电厂，经过 12 千瓦级、40 千瓦级和 4.5 兆瓦级的预先研制及现场试验和演示，美国 IFC 与东芝合作研制的 11 兆瓦级分散型发电系统（准商用机）于 1991 年由日本东京电力公司五井火力发电厂进行试验运转。1993 年 3 月完成了试验。

IFC 研制的 200 千瓦级电厂，已有 50 多家订货，并在 1992 ~ 1993 年间陆续交货。200 千瓦级电厂目前价格为 2500 美元/千瓦，期望能在 10 年内降至 1500 美元/千瓦，再进一步降低至 1000 美元/千瓦。

自 1987 年起，美国燃料电池研究重点转向 MCFC 和 SOFC。对于 MCFC 的基础研究是从 1975 年开始的，研究工作进展较快。

美国能量研究公司（ERC）从 70 年代就开始 MCFC 和内重整技术的研究，1992 年制造 4 平方英尺 170 千瓦级 MCFC 电堆，1992 ~ 1993 年与 PG & E 一起对 6 平方英尺/120 千瓦级的 MCFC 电堆进行评价试验。根据 NOMO 协议设计制造的 2 千瓦级电池，计划于 1994 年进行演示。1996 年出售 2 千瓦级早期产品（计划 50 台）。1998 年开始出售正式商品，年生产能力约为 400 兆瓦。美国于 1990 年 6 月又成立了燃料电池商品化集团（FCCG），由 ERC 产品未来的用户与投资者组成。

ERC 认为内重整煤制气作燃料的电厂，效率可达 47%。排放物 CO_x 、 NO_x 至少比目前最严格的标准低一个数量级，释放的 CO_2 也由于系统效率高而很少。

日本于 1981 年开始执行燃料电池发展 15 年计划，是日本大规模节能计划——月光计划的一部分，对 PAFC、MCFC、SOFC、AFC 等四种燃料电池作研究。政府对月光计划中燃料电池的总投资为 4 亿美元，私人公司投资为政府的 3 ~ 4 倍，为 12 ~ 16 亿美元。现日本每年花在燃料电池上的费用为 1.2 ~ 1.5 亿美元。1990 年政府追加约 2 亿美元专门用于 MCFC 的研究。

从 1981 ~ 1990 年集中研究 PAFC，现已有 2 个 1 兆瓦级电厂，一个设在关西靛港发电所，低温（190 °C）、低压（4 大气压）型，分散发电。

日本 PAFC 研究协会还制订了下一阶段目标，进行 5 兆瓦级集中型发电厂和 1 兆瓦级就地分散型发电 PAFC 的设计、制造与运转试验，以加速 PAFC 商品化。从 1991 年起，研究重点放在 MCFC 上。

欧洲对燃料电池的注意在增长。欧共体制定了一个自 1989 ~ 1992 年的

JOULE 计划（非常规或远期能源联合行动计划）。各国的国家计划都与欧共体的计划紧密相连，具体方针是 PAFC 从日、美购买进行试运转，MCFC 及 SOFC 自行设计研究，但规模较小。

韩国从日本购置 5 千瓦 PAFC 电堆，自己配置重整装置，以甲醇为燃料，电池于 1988 ~ 1989 年进行了两年试验，现已完成。

3. 新型燃料电池层出不穷

世界上最大的燃料电池问世

由美国 IFC 公司制造，日本东芝公司改装，安装在东京电力公司五井火电厂进行连续运行试验的容量为 1.1 万千瓦（目前世界最大）的磷酸盐型燃料电池发电系统，现已按 7000 千瓦负荷连续运行 1000 小时成功。今后拟继续运行 1 万小时以考核其装备的可靠性、发电效率和质量。如经长期运行无问题，则下一步将出力提高到 1.1 万千瓦设计值，继续进行长期连续运行试验，以便为转入商业性运行创造条件。

这台燃料电池耗资约百亿日元，于 1991 年建成试运行，在运行中曾不断进行改进。它以甲烷为燃料，发电效率已达 40%，利用余热后总的热效率可达 70%。由于它基本上不排放 NO_x 和 SO_x 等污染物，是首都圈内的理想的小型分散电源。适于医院、宾馆自用型的 200 千瓦级磷酸盐型燃料电池已在大量试用中。

高温下工作的燃料电池有商业前景

以商用为目的开发的燃料电池，因引起电化学反应的电解质种类不同，大体上可分为以下三种类型：

磷酸型电解质燃料电池工作温度为 200 ，最后的产物是电、蒸汽和热水。这种技术基本上已达到实用阶段，日本和美国都在推进其商用化。

熔融碳酸盐型燃料电池这种燃料电池在高温下以熔化状态的碳酸盐作为电解质，工作温度为 650 ，发电效率高。这种燃料电池由于需要热量，也可以直接供给高温气体。

固体电解质型燃料电池采用固体氧化物的烧结体作为电解质，工作温度高达 1000 。

在这三种类型的燃料电池中，工作温度最高的就是固体电解质型燃料电池。这种燃料电池与其他类型的燃料电池相比，工作温度（1000 ）要高得多，而且发电效率也高。另外，由于工作温度高就能促进燃料电池的化学反应，而不再需要促进反应的催化剂，这也是一个特征。因此，作为基本燃料，除了利用天然气之外，还可利用包含一氧化碳的煤气等气体。进一步来说，这种类型的燃料电池因为构成要素全都是固体的，耐用性也就有可能提高。而且由于制造方法和结构简单，容易进行大量生产也是这种电池的一个优点。但是，如果要在实际中应用，开发高性能和高可靠性（长寿命）的陶瓷元件就十分重要了。突破这个重点的是东陶机器公司（TOTO）。

东陶机器公司与九州电力公司合作，共同开发了固体电解质燃料电池。他们采用“浆料镀层法”（将基片浸入能使原料分散的溶剂中进行焙烧而形成薄膜，再在薄膜上进行镀层的方法）开发了圆筒型固体电解质燃料电池，这也是世界上首次获得成功的燃料电池。这里所谓的浆料，是应用该公司制造卫生陶瓷的技术研制的。

该公司今后以 2000 年为目标，面对实用进行开发必然取得更大的成果。当前他们在进行 2000 小时的耐久性试验，有希望取得理想的结果。

第三代燃料电池开发取得显著成就

天然气驱动的陶瓷燃料电池有望获得便宜、清洁的电能。

澳大利亚科学家建造了一些小型陶瓷燃料电池。它们能直接把天然气转变成电能，无需发电机。正在研究这项技术的科学家认为，这种化学反应能

比最好的常规燃气发电厂多生产 30% 电能，而且它能给任何场合提供电能。

这种氧化锆燃料电池，使用矿物沙锆（伴有其他奇异的物质）绕过这一工艺过程，直接把天然气转变成了电能。

这种工艺过程还能产生 1000 高温。如用来驱动燃气轮机电厂，则效率可达 80%。

该工艺过程比常规燃气发电对环境的危害小，它产生的二氧化碳只有常规燃气发电厂的一半。它产生的氧化氮和二氧化硫也比常规燃气发电厂少得多。

预计在七年内这种样机可投入运行。陶瓷燃料电池公司计划在今后 5 年中将花约 2400 万美元研制这种燃料电池技术。

这种燃料电池可制成积木式，它能为边远的作业单位提供动力，这样做要比柴油发电或把该地同附近的电网连接起来要便宜。随着需求量的增加，能层叠更多的燃料电池，以满足增加的电力需求。

第一代燃料电池在 60 年代用于航天器，使用的是磷酸，但实践证明这种燃料电池效率很低。后来又研究过熔融碳酸盐电池。

以氧化锆为基础的第三代燃料电池，通常叫作固体氧化物燃料电池。

燃料电池堆的成本约为一座发电厂的 20% ~ 30%，必须能连续运行 5 年才能在经济上可行。这种燃料电池的运行时间能超过 5 年。

小型燃料电池堆能为购物中心、医院、军事基地供电，而较大的燃料电池可为城市供电。

美国威斯汀豪斯电气公司研制成功的固体电解质型燃料电池已经连续运行 5000 小时，功率为 25 千瓦。

这台燃料电池原型装置在匹兹堡郊外研制成功，1993 年 1 月底运往日本，设置在神户市的六早新能源实验中心。该公司将把实证试验委托给关西电力公司，自己则开始研制 100 千瓦的装置。

固体电解质型燃料电池是不产生二氧化硫等大气污染物质的燃料中发电效率最高的（达 60% 以上），被认为是下一世纪的主要发电技术。

日、美、加等国均在积极开发固体电解质燃料电池。

日本东邦煤气公司开发成功发电密度最高的固体电解质燃料电池。它采用在锆质陶瓷电解质中加入氧化铈添加剂，达到成本低和耐热性好的目的。电池由厚 0.25 毫米自立型电介质板被电极夹紧而成，强度和导电率均为以前的 2 倍以上，发电试验结果，平均 1 平方厘米发电 1.61 瓦（以前均 < 1 瓦），从而保证了电池体积的小型化。由于导电率的改善，工作温度亦可降低。这样对提高使用寿命亦有利。下一步拟进行实证试验，争取 2000 年商品化。

美国道氏化学公司和加拿大巴兰道动力公司决定合作开发使用阳离子交换膜新材料的高效第三代燃料电池，力争 2000 年商品化。由于燃料电池以从天然气等燃料中分解后的氢和氧通过塑料膜的电介质反应而发电。故薄膜变薄可加速离子通过速度而提高出力，道氏公司利用本公司生产交换膜和有经验的燃料电池开发者巴兰道公司合作，争取 2010 年在可达数十亿美元的大市场中占有大份额。

日本新能源产业技术综合机构已开始组织开发固体高分子电解质燃料电池。鉴于这种燃料电池电力密度高、体积小和低温下启动等特点，将来可作为电动汽车和家庭分散用电源。计划到 1995 年投资 10 亿日元，第一步先开发 1 千瓦级。关于实用电池组的开发，委托东芝、三菱电机和三洋电机负责。

高分子固体电解质燃料电池和常用磷酸盐型燃料电池不同，它以固体高分子膜为电解质，可在低温下启动，并占地小，1965年美国已用于宇航事业，但由于价格高和以纯氢作燃料，故长期只限于宇航和军用。近年来随着高分子膜性能和燃料处理技术的进步，美、德已开始研究用于民用，为此，日本亦紧紧赶上。

储能用的再生型燃料电池

近年来铁铬氧化还原液流电池在日本快速发展起来，这是用于储能的一种新型再生型燃料电池。这种电池于1975年开始小型研究，而到了80年代才作为大型节能技术开发目标之一，被列入日本工业技术院新型电池电力储存系统的12年研究开发的“月光计划”。

这是一项完整的实用性电力储存技术计划。它的最终目标是研制成功功率为1000千瓦级的新型燃料电池电力储存系统，这一系统的基准充放电时间为：8小时充电，8小时放电。总能量效率为70%以上（交流输入、输出功率）；寿命为充放电循环1500次以上（耐用年数约10年）；环保达到全部法定环境标准。

这种新型铁铬氧化还原液流电池具有如下优点：电、热两用可以提高电池能量效率，由于这种电池可在建筑物地下空间设置电解液贮存箱，利用夜间电力蓄电同时蓄热，白天进行供电调峰和供热。与太阳能电池、风力发电机配套，构成独立供电系统。与太阳光发电板、铅蓄电池配套作为蓄电装置，当发电装置供给的电量大于负荷需要时，多余的电量给铅蓄电池和氧化还原液流电池充电；而当负荷用电量大于电源供给量时，铅蓄电池给负荷供电，同时氧化还原液流电池给铅蓄电池进行均等的充电。可以利用钢厂废液或废弃物发电。发电部分和贮能部分相分离，因而寿命长、成本低、使用灵活。

质子交换膜燃料电池

质子交换膜（PEM）燃料电池使用固体聚合物电解质，它与用在空间飞行器中的燃料电池相似。该电池中的薄膜组件为夹层结构，中间是固体聚合物电解质，在膜的两面上都有一层铂催化剂，在膜的两侧还分别有一个阳极和一个多孔碳阴极。与其他的燃料电池一样，用氢和富氢的物质（如甲醇和天然气）作为燃料。

在汽车上，PEM燃料电池之所以有吸引力，是由于它能在需要时即刻提供动力，而磷酸燃料电池要经过一段时间才能达到全功率，然后才按恒定的输出功率正常工作。与由磷酸燃料电池驱动的机车（如Marail）不同，PEM燃料电池不需要辅助蓄电池就能提供停止后再启动的动力。

该项技术至今尚未成熟，Mazda公司所表演的机车的最高速度仅为40.23公里/小时，在每充一次氢燃料之后，只能走12.07公里。该公司正集中力量研究如何提高功率输出并开发氢的存贮与处理技术，降低成本。

便携式燃料电池

日本三洋电机公司宣布，它已开发出世界上第一个高性能的便携式燃料电池。该公司称，这个燃料电池重28公斤，能产生250瓦功率，足够户外摄影或从事文娱活动用，对环境无害。该燃料电池采用磷酸和吸氢金属产生电能。预计还将研制家庭供电用的2千瓦或3千瓦的小型电池。

作为小型潜艇动力源的燃料电池

据英国VSEI公司报道，下一代小型潜艇将不会被声纳监测到。这家基地

设在巴隆的公司计划用无声燃料电池代替现在一般潜艇用的高噪声柴油机和电池系统。这种燃料电池一次就能使潜艇在水下作业达三个星期，而且无需补充燃料，电池靠氢氧产生电能。

该公司计划采用先让煤气通过被加热的催化剂，然后再使其与水反应的方法来从液态甲醇中提取氢气。而氧气以液态形式储存在潜艇的绝缘罐中。

该公司发展部经理克莱夫·西摩说，传统的燃料电池使用的是液态电解质，如果在潜艇的有限空间内泄漏，就会出现危险。而这种聚合物燃料电池所使用的是固态电解质，因而更安全、可靠。

4. 燃料电池发展前景据

Arthur D Little 咨询服务公司的巴尼特博士预测，到本世纪末或下世纪初，世界对燃料电池的需要总数将超过 400 万千瓦。

巴尼特看到了燃料电池的一些固有优点，如较高的效率，较低的排放，较低的噪音水平及标准组合结构等。由于人们对全球变暖和空气污染的忧虑不断增加，以及公共机构支持热电联产和独立能源的趋势，使燃料电池日益受到重视。

巴尼特预料，开始应用时的功率范围在 50 千瓦到 5 万千瓦之内。他指出，把小型燃料电池设在都市负荷附近，将可避免增加额外输、配电设备的费用。

其他国家的预测，对巴尼特的预言提供了一定程度的支持。日本通商产业省预测，到 2000 年，日本燃料电池的装机容量为 105 万千瓦，2010 年将增加到 550 万千瓦；而美国公用电力协会预计，在 15 年后至 2010 年，美国公用事业的总需求为 1400 万千瓦。

国际燃料电池委员会认为，欧洲的电站忽视了比燃烧石油、煤炭和天然气更加清洁的能源，这就是燃料电池。许多人对此项技术感兴趣。

燃料电池是要使用电瓶的，这些电瓶不会枯竭，分解水之后可产生 H_2 与 O_2 ，以及电力与热量。目前市场上所销售的电瓶，是通过氢氧反应产生电力，可释放出 44% 的能量。可是，常规电站在最佳运行状态下，也只有 35% 的能量可转变成电力。

国际燃料电池委员会的成员约翰逊·马真说：如果能很好地捕集到热量，燃料电池的热效率可达到 80%，而燃气轮机的热电联合循环装置的热效率也只有 50%。

燃料电池的缺点是，在技术上还不够成熟，价格也较昂贵。日本东京的大型燃料电池，其容量一般也只有 1.5 万千瓦。将来生产氢气的主要方法，是“重整”天然气，但这个过程要产生 CO_2 。

尽管有上述缺点，然而国际电池委员会研究认为，如果在公路上用燃料电池取代汽油和柴油发动机，并取代电站所用的化石燃料，那么，就会对环境保护带来相当大的好处，今日的燃料电池可使 CO_2 的排放量减少 40% ~ 60%。同时，也可使 NO_x 的排放量减少 90% 以上。

据国际电池委员会的报告预测，如果燃料电池的容量达到 20 万千瓦，那么，在经济上就是可行的。日本通产省制定了一个目标，到 2000 年可使燃料电池的容量达到 200 万千瓦，并且还要给予免税，以资鼓励。

英国贸易和工业部已认识到燃料电池是“未来一种潜在的重要能源技术”。

日本企业界为适应 NO_x 排放规定日益严格的要求，正积极发展燃料电池发电。首先是煤气行业较为积极。他们认为目前各种节能型的热电联产机组，如燃气轮机、煤气机和柴油发电机，常用的以柴油发电机较多，它占民用的 54%，占工业用的 56%，但其 NO_x 排放量达 40ppm，而即将实用的磷酸盐型燃料电池 NO_x 排放量仅 2 ~ 3ppm，显然，优越得多。

尽管目前造价和成本还高，但技术已过关，随着批量生产将大幅度降低，故日本和美国合作大批试用 50 ~ 200 千瓦机组。

随着俄国萨哈林油气田的开发，正酝酿建一条天然气管线向日本供气，

其次为电力行业。他们认为燃料电池是解决电力调峰的好办法，由于占地不大，利用现有的变电所即可增设，不需另行购地，与收购上网的风电和光电基本上售价一样，约每千瓦时电 20 日元，而燃料电池发电和垃圾发电一样，有可能按每千瓦时 10 日元收购，经济上较为合算。为了加速实用化步伐，将原定 1995 年扩大试用 30 台的计划又扩大 20%。石油行业亦在迎头赶上，他们利用同样热值下油比气便宜的优势，积极开拓煤气管网不通处的市场，最近已决定在千叶（50 千瓦，出光兴产开发，富士电机制造）和京都（200 千瓦，美国 IFC 公司制造）建设石脑油的实证机组。样机初试结果综合效率达 70%，寿命 5 年以上，含 NO_x 3ppm。

近年来，随着美国环境保护法规的日趋严格，各种发电厂必须耗费巨资加装防污设备，因此，发电成本与生产燃料电池成本大大缩小，目前仅差约 25%。但一旦燃料电池大量生产，将可与传统电能相竞争。据美国马萨诸塞州研究这种电池的巴奈特表示，90 年代燃料电池可获得广泛的使用。他估计，到 2000 年全球燃料电池的市场容量可达每年 60 亿美元。

巴奈特的上述估计，吸引了美国联合科技、西屋电气以及能源研究等公司。而他们的竞争对手则为日本及德国。如日本三菱重工及东芝等 10 余家公司及德国西门子公司都加快了研究步伐。

美国太平洋煤气电力公司最近宣称，该公司建在加州圣拉蒙市的美国第一家以熔融碳酸盐燃料电池为基础的发电厂最近已投产。这家投资 500 万美元的以天然气为燃料的实验性发电厂容量 100 千瓦，足以供应 20 家住宅的用电。据介绍，这种发电设备比一般汽轮机的效率高 50%。燃料电池可直接将燃料能转化为热能和电能，而无需燃烧过程，因此排放物极少。据测定，该电厂的二氧化碳排放量比其他烧化石燃料的电厂低 22% ~ 36%，而且由于燃料电池没有运动部件，因而工作时噪音很小。

在加利福尼亚的圣克拉拉市，将建造一座 2000 千瓦级的燃料电池发电厂，可满足 2000 户家庭用电，1994 年启用。

报道说，美国计划在 21 世纪初大规模扩大燃料电池的应用，目前正在加速发展燃料电池新技术。最近，美国马萨诸塞州安多弗市物理科学公司已推出一种新型燃料电池，其特点是电池的电解质溶液在阳极和阴极之间传导电流。把氢和氯注入电池，形成氯化氢和电子，这些电子的运动形成电流。由于氢和氯很容易结合和分离，当用电量少时，利用电解技术把氯化氢分解；当用电量多时，把这些原子重新结合获得电流。实践证实，用这种方法可把过剩的 70% 电流储存起来。

(二) 室温核聚变的热浪仍在世界激荡

1. 来自犹他州的激动人心的消息

通常认为，要将两个轻核用人为的方法聚在一起，从而获得聚变能，必须创造 1 亿摄氏度高温，使得氘和氚等气体变成等离子体，才可实现。

然而，1989 年 3 月，从美国传出了一条振奋人心的消息。报告说美国犹他州的犹他大学两位科学家庞斯和弗莱希曼，将铂和铱电极插入重水中，通电之后，竟发现了核聚变的现象。据说，放出的能量是输入的 10~50 倍，还有中子和射线放出。消息传出后，使世人为之一振。于是有数百个实验室立即进行重复实验，试图证明这种常温核聚变的可能性。犹他州也随后拨出 450 万美元给犹他大学作为研究经费。

过了一段时间之后，来自世界不同角落的消息有悲有喜。总结起来看，一些名牌实验室没有取得重复的实验结果，一些不出名的实验室反而报告说他们实现了重复实验。随之而来的是议论纷纷。有些科学家还试图寻找解释常温核聚变的理论。赞成常温核聚变存在的科学家认为，由于铱是一种很好的吸氢材料，当电极通电后，重水就会发生电离，氘就可能成为自由粒子状态，被吸入到铱的晶格的空隙中，成为间隙离子态，这就给氘与氚的紧密结合创造了一个良好的条件。也有人认为这还不够，也可能有 μ 介子参与这一反应。

持怀疑态度的科学家认为，这是一场电化学反应过程，根本不是什么常温核聚变，他们认为所测到的中子数比天然本底高不了多少，所测到的辐射线很可能是自然界氡所带来的。

为此，国际上举行了电化学家会议，对此举行了激烈的辩论，最后没有下明确的结论。尽管这次尝试尚未结出硕果，但科学家的努力将我们的眼界大大拓宽了，给人们一种极好的启迪，催促人们去寻找一种非常规办法，以解决人类最终的能源问题。

2. 日本已获得室温核聚变的突破性进展

日本大阪大学工学部的高桥亮人教授 1994 年 1 月 27 日在名古屋举行的“在磁场中的非线性现场应用问题国际会议”上发表了实验结果。实验使用的电解装置是以 1 毫米厚的高纯金属钷做阴极，阳极是白金线圈。电极全部浸在重水里电解。电极间通过的电流每 6 小时以 0.25 安培和 4.2 安培交替变动。

从 1993 年 12 月 20 日开始实验出现发热反应。0.25 安培低电流时发生 50~70 瓦的热，4.2 安培电流时发生 200~250 瓦的热。电解时使用的电力，在低电流时为 1.25 瓦，在高电流时为 90~110 瓦，所以放出的热量是以低电电解时使用电力的几十倍。

将放出热量减去消耗电量，平均盈余约 150 瓦，这部分功率产生余热。从实验开始，放出的热能合计为 200 兆焦耳。

以核反应堆核燃料棒每 1 立方厘米产生的热量与这次实验相比，后者的单位比功率大 10 倍。

用精度最高的液体闪烁器测到了中子（中子被认为是发生核聚变反应的证据），因而确认了中子的发生。据测量，发热多则中子数减少，这两者关系也是首次查明的。另外，在实验过程中交换电极后，同样的发热反应继续不断，所以人们认为实验结果是能够再现的。

核聚变研究所教授池上英雄说，中子和发热的关系这样鲜明地显示出来，这还是首次。关于理论，虽然是大胆的设想，但很有趣。至于热功率达消耗的电力几十倍，这是令人非常惊讶的。但是，要断定这是由于核聚变引起的，还需要继续研究。

日本电信电话公司（NTT）公布，利用简单装置得到大量能量的室温核聚变试验成功，核聚变时发生的 ^4He 和热量均经证实。迄今一直作为机理不明的发热反应，将使核聚变的可能性取得飞跃发展。

室温核聚变是在 1989 年由美国犹他大学和南安普敦大学的两位教授利用简单装置产生大量热后而发表的，并引起了一场大争论。但由于未观测到核聚变反应证据的 ^4He 或中子，被认为反应现象不清。而 NTT 则利用自身研制的实验手段测出了核聚变产物 ^4He ，且再现性好，从而解决了这一问题。

实验使用面积 3 厘米 × 3 厘米、厚度为 1 毫米的钷板，一面涂以氧化膜，并使之吸收重氢至饱和程度后放于真空容器中，在吸收重氢的一面镀金以防止重氢的逸出。对钷板通电加热后，便可观测到 ^4He ，同时钷极亦温升 100 以上，从 ^4He 的发生量可计算出每秒核聚变的反应次数达千兆次以上。

对此，NTT 推论，封闭于钷极中的重氢离子化后带有从高温向低温转移的特性，从而离子密度升高的局部，重氢离子互相碰撞而结合，从而引起产生 ^4He 的核聚变反应。

过去的室温核聚变常采取将水电解后并将重氢封闭于电极中的办法进行。由于无法和自然界存在的 ^4He 和中子区别，故难以证实。而这次 NTT 的试验可算出多少热量是由核聚变产生的，并有很好的再现性，故认为是成功的。如室温核聚变得以实用化后，则核聚变试验装置将可大大简化，这将对世界能源政策带来巨大的影响。

日本文部省核聚变科学研究所池上英雄教授最近向报刊记者系统地发表了他对常温核聚变的观点。他主张“能否产生过剩热的争论阶段已经结束，

下一步应转向材料研究开发和弄清反应机理”。

对氢的吸收率是关键：从实验方面的结果看，只要选用合适的材料作电极，肯定会产生过剩热。如以钯为电极时，当氢的吸收率 $>0.9\%$ 时肯定会产生过剩热，但难度是如何使氢吸收率 $>0.9\%$ 。目前企业对此很关心，参加通产省组织的氢能研究组的共有15家（新日铁、日立、东芝、三菱重工、日本电话电讯、三菱原料、日本钢管、富士电机、东京电力、关西电力、中部电力、九州电力、北海道电力，东京煤气和大阪煤气等），其中有关能源的厂家更多关心其动向外，制造厂则在拼命探索。为顺应各厂要求，已委托能源综合工学研究所牵头研究并到国外进行了考察。

距实用还有相当长距离：目前可以完全再现的试验，产热量仅为输入的1.3倍，亦有达到2~5倍甚至10倍的，但很难再现。且往往在未预期时发生，或发生的热量难以控制，所以说产生热量和核聚变的关系尚不明。但从科学上看，产热量达1.1倍亦是很大的成就，而从实用看则很不足。

关键是机理不明：常温核聚变这一叫法欠妥，因为能量是否为核聚变所产生的目前证据尚不足。从实验中我们测到了氦、中子和氘，证明是起了核反应，但并非重氢核聚变的D-D反应；另产出过剩热已经证实，但尚不能说明两者的关系。

国际研究动态：尽管在一些国家还有人坚决反对常温核聚变的可能，但拥护的人在增多。美能源部一位局长最近就改变了看法，但他已经离开了能源部。马萨诸塞工科大学已请俄国有造诣专家克狄洛夫来做试验。

(三) 先进核反应堆将为人类提供充足的能源

核能是为人类提供长期、稳定和充足能源的有效途径，核能的利用要经历从热中子堆-快中子堆-聚变堆的三个发展阶段。

现在世界上正在运行的 400 多座核发电堆中，绝大部分是热中子堆。为了确保反应堆的安全，国际上正在寻求一种具有固有安全性的核反应堆，为了获取高温工艺用热，还在开发一种高温堆。从这些目的出发，现代的核反应堆正向先进反应堆发展。这些先进核反应堆有：先进压水堆、高温气冷堆、快中子增殖堆、聚变-裂变混合堆，等等。

1. 发展快中子增殖反应堆是有效利用核燃料资源的必由之路

快中子增殖反应堆与现有的热中子堆的根本区别是，快堆是直接利用裂变产生的快中子来轰击核燃料原子核使之发生裂变。这种堆的最大特点是，每烧掉一个裂变原子可以产生一个以上的新的核燃料原子，利用这种堆发来电，除了自身发电外，还能增殖核燃料。

法国人把电功率 25 万千瓦的原型快堆取名为 Phenix，翻译成中文叫“凤凰”，是传说中的吉祥鸟，西方称它为“不死鸟”。在埃及神话里，传说它生活在阿拉伯的沙漠中，每隔五百年自焚一次，然后又从死灰中复生。法国将快堆取名为“凤凰”和“超凤凰”是对快堆的生动正确的描绘。

世界上早在研究原子弹的初期就开始研究快堆，1951 年建成的世界上第一座试验核电站（EBR - I）就是一座快中子堆核电站，它第一次为两排房子点亮了电灯，人类第一次享用了核电。

由于快中子堆技术复杂，从研究快堆原理至今已有 40 多年历史，还没有完成商业化推广使命。不过，现在全世界已经建成了 20 座快堆，其中法国的 120 万千瓦电功率“超凤凰”快堆，从 1985 年启动至今仍在顺利运行。现在，美国利用早期建设的试验快堆（EBR - II），改装成 EBR - II 金属堆芯试验电站，经 20 年研究证明，金属型燃料快堆将有较好的发展前途。用这种快堆可以将燃料倍增时间从原来的 20 年缩短到 6~7 年，如果这种快堆将来能够实现商用，将为增殖燃料作出重大贡献。

现在，快堆发展正处在商业应用前夜，预计到下个世纪初期，可能逐步进入商业化应用。

2. 高温气冷堆将为人类提供理想的高温热源

现在，全世界普遍认为高温气冷堆是一种具有固有安全性的先进堆。这种堆采用涂敷颗粒燃料，氦作冷却剂，石墨作慢化剂，是一种热中子堆。涂敷颗粒燃料是一颗颗比小米稍小些的球体，它的芯子是二氧化铀燃料，外层涂上热解炭和碳化硅等坚固涂层，这些涂层将颗粒包住，裂变过程的产物都可以包在内，相当于一个小压力容器。将这些小涂敷颗粒弥散在石墨基体中，然后制成球状或块状燃料元件。

由于这种燃料基体石墨能耐 3000 高温，涂敷颗粒自身又可以耐烧，所以这种堆的出口温度可高到 950 ，甚至 1000 以上，由此得名叫高温堆。

现在，地球上储存的石油资源是有限的，随着时间的推移，会渐渐地被消耗完。煤炭的储量比石油多得多，将来液体燃料的供应主要靠煤的液化，也叫煤制甲醇。煤的液化要提供 1000 以上的高温，常用化石燃料作为热源，除了自身要消耗常规燃料外，还会带来二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、二氧化碳等有害气体的环境污染。如果用高温气冷堆作高温热源，则可减少化石燃料的消耗，也可避免常规燃料燃烧带来对环境的污染。

预测表明，我国的石油产量大约到 2030 年达到 3 亿吨，到达顶峰，以后将逐年下降，到 2050 年产量将降至 1 亿吨。届时，由于航空航天事业和交通事业的蓬勃发展，液体燃料的消耗量将越来越大，解决液体燃料供应问题的主要出路是煤的液化。如果开发高温气冷堆作为高温热源，利用我国储量丰富的低热值的褐煤来生产液煤，则将是十分理想的方案。

还有，我国有丰富的稠油资源，由于它的粘度太大，只有注入蒸汽才能开采。通常，生产蒸汽要耗去 1/3 石油产量，不大合算。如果用高温气冷堆供热，则可以有效地开采稠油。

现在，日本已经制订核能炼钢计划，打算发展高温气冷堆，用煤气化生产还原气体，并利用还原气来使铁矿直接还原生产海绵铁，作为炼钢的原料。

3. 聚变-裂变混合堆一旦开发成功可 能为增殖核燃料开辟一条新的途径

受控核聚变的实现将是人类解决长期稳定能源供应的最终途径。由于实现可控核聚变需要上亿度高温及强大的约束磁场，尽管世界各国已经花了几百亿美元的投资，建造了一个个实验装置，经过了千百次试验，但接力赛离终点还尚远。美国人预计，要真正实现受控核聚变的商业推广应用，大约还要 60 年。

现在，有些科学家已经提出研制一种聚变-裂变混合堆。这种堆的堆芯是一个受控聚变装置，它也是用氘氚作燃料，产生核聚变只是条件要比纯聚变要求低些，容易实现。在聚变堆芯的周围包上铀-238 贫料，吸收核聚变放出的大量中子后，铀-238 就会变成钚-239，钚-239 就可以供快中子堆作燃料，也可供压水堆作燃料，而且，这种混合堆因放出中子量大，增殖核燃料效果较为显著。

混合堆在当前国际上还没有真正进入试验研究阶段，不过前苏联的个别研究所有一些概念设计。

“七五”期间，我国高技术能源领域已经将快中子增殖堆、高温气冷堆和聚变-裂变混合堆列为先进核反应堆的前期研究计划，并拨出了专款，还专门设立了先进核反应堆在我国未来能源供应中的地位及发展战略研究专家组，进行这方面的研究工作。

现正打算在 2000 年以前建成一座快中子实验电站、一座高温气冷实验堆，进行聚变-裂变混合堆技术跟踪研究，国家将继续拨出专款进行先进核反应堆的研究和开发。

(四) 世界能源新技术展望

当今社会正面临着能源和环境的的双重挑战，日趋严峻的生态环境的恶化，要求现代社会进入经济-能源-环境协调发展阶段。为使人类走出困境，当今能源新技术在现代科技发展前沿中越来越显出它的重要地位，世界各国都争先进行各种类型能源新技术的研究。工业发达国家由于涉足较早，在某些新能源技术方面已耗资巨额，取得了长足的进展，其商业化时间也为此大大提前。有的技术已经过实证，现在正处在商业化的前夜。例如，在美国，洁净煤技术中的增压流化床燃烧和煤气化联合循环发电等技术已经过示范阶段，通过努力将在本世纪末进入商业化。现在，根据国外的有关报道进行综合，将 21 世纪世界能源新技术展望列于表 6-1。

表 6-1 21 世纪世界能源新技术展望

技术	成熟度	商业化时间(年)	说明
1. 增压流化床燃烧	示范	1998	美国正建 2 × 175MW 电厂，2005 年推广
2. 煤气化联合循环发电	示范	1997	新一代的供电效率 43 % ~ 46 %，2005 年推广
3. 高效陶瓷燃气轮机	研究开发	21 世纪初	入口温度 1350 ，热效率 40 % ~ 45 %
4. 第三代煤液化工艺	正建示范厂	2010	两段加氢液化和煤-油共炼，2010 年可与石油竞争
5. 燃料电池	磷酸型中试高温型试验	磷酸型 2000 高温型 2010	发电效率 45 % ~ 60 %，日本计划 2000 年安装 1050MW，2010 年达 5500MW
6. 超导发电机	样机试验	2005	发电效率提高 1 %，体积、重量减半，2005 年 600 ~ 1000MW 机组实用化
7. 燃煤磁流体发电	示范	2010	MHD 联合循环的效率达 55 % ~ 60 %，600 ~ 1500MW
8. 快中子增殖堆	示范	2010	一座热中子反应堆运行约 30 年得到的钚，可建一座同容量快堆
9. 核聚变	工程设计	2050	国际聚变实验堆 2022 年完成试验
10. 大规模光电池发电	示范	2010	转换效率 20 % 以上，2020 年世界光电池产量将达 365GW，造价降到 0.3 美元/Wp
11. 氢发动机	试验	21 世纪初	用于汽车、飞机等交通工具

技术	成熟度	商业化时间(年)	说明
12.世界规模氢能系统	研究开发	2030 普及	包括大型高效制氢技术，高密度氢贮存利用技术大量输送技术，2050 减排 CO ₂ 20 %
13.高温岩体发电	钻井试验	21 世纪初	深 2000 ~ 4000m，200 ~ 400 ， 200MW，成本与水电相当
14.岩浆发电	试验	2020	6000m，500
15.太空太阳能发电	设计	2020	100 ~ 150MW 级卫星太阳能电站
16.大型高效热泵集热系统	1MW 级中试	21 世纪初	COP6 ~ 8，为普通热泵 2 倍，可回收低温余热
17.新型电池蓄电系统	中试	2000	钠-硫、锌-氯、锌-溴电池，1MW 级
18.电动汽车	样机	1998	无污染，一次能源利用率 32 %，为汽油车的 2 倍，美国加州立法规定 1998 年销售 3 万辆，2003 年销售 15 万辆
19.汽油机稀薄燃烧	示范	21 世纪初	空气/汽油比从 14.7 提高到 25.0，可节油 20 %
20.CO ₂ 固定和利用技术	实验室试验	2010	2030 年使 CO ₂ 减少 10 %

资料来源：日本《能源》1993 年第 2、3 期，21 世纪的能源特集；美国能源部，《洁净煤技术——煤炭的新时代》，1991；日本月光计划《世界能源博览》1991 年 10 月。

七、回答能源的挑战

能源是人类赖以生存的物质基础，能源问题是举世瞩目的重大问题。随着社会向现代化方向发展，要满足人类生活现代化需要，能源需求量将越来越大，随着常规能源资源的逐渐枯竭，能源供需矛盾将日趋尖锐。特别是消耗大量化石燃料，给地球的生态环境已带来了严重的影响，人类已面临着自毁家园的危险。

为了共同研讨全人类关心的能源问题，世界能源理事会每四年举行一次世界性大会。

1992年9月，第15届世界能源大会在西班牙首都马德里举行。与会的有100个国家或地区的3000多名专家。大会公布了《明日世界的能源》预测报告，对世界能源未来的消费趋向进行了分析。

报告指出，世界能源需求量在过去30年里大幅度上升。1960年尚为33亿吨油当量，到1990年已跃升到87亿吨油当量，年均增长率为3.3%。

在1990年至2020年的30年内，世界能源消费将面临三种选择：其一是低消费，世界能源消费量到2020年将达到112亿吨油当量；其二是中等消费，届时将需要133亿吨油当量；其三是高消费，世界能源需求量将高达172亿吨油当量。未来世界能源消费水平最终将取决于全球经济和人口增长速度及环保水平。预测报告是推荐中等消费方案。按此方案，世界2020年的二氧化碳排放量将比1990年增加42%。如果人类加强环保措施，世界二氧化碳排放量增长幅度有可能压缩，反之，就很有可能高达92%。

第15届世界能源大会把能源问题提到了与人类生存休戚相关的高度来认识。要使世界经济发展与生态环境臻于和谐水平，只有通过各国共同合作才能实现，而南北之间的贫富巨差和利益冲突使世界各国在经济、能源和环保方面的合作面临严峻的挑战。

报告认为，世界能源结构在2020年之前变化不大。1990年的世界能源一次能源结构中，石油占32%，煤炭占26%，天然气占19.5%。到2020年这三者比重将分别变为28%、24%和21%。在同一时期，核能比重将由5%上升到6%，可再生能源的比重将由17%增至21%，其中水力发电将由5.7%增长到7.5%，太阳能、风能、地热、现代沼气和海洋能的比重将比现在翻一番，达到4%。

第15届世界能源大会对当今世界能源问题作了结论，对解决办法提出了建议：

人类面临着获取足够能源的困难。能源还不能满足目前的基本之需以及将来社会、经济发展的需要。因此，能源战略必须以向全人类提供足够、可靠而又可负担的能源服务为宗旨，这将需要对全球现行的政策法规重新进行根本性评估。

人类绝大多数的环境面临着实际的或潜在的环境恶化——包括地方性、区域性和全球性的。地方性的环境恶化确实使人深受其害，而区域性恶化则可能成为跨境紧张局势的根源，至于全球恶化则会加剧国际间的争端。

因此，应制定改善地方环境，控制环境污染，将全球性恶化减到最低限度的措施，以及如何对那些一旦经科学论证的环境恶化原因迅速作出反应，列入能源战略目标。

温室气体的所有人为排放源均应纳入到国际讨论与谈判中，就人为CO₂

排放而言，值得注意的是化石燃料燃烧造成的排放刚好超过总量的一半。

人们已采取了很多措施来减少化石燃料燃烧对环境的消极影响，如果要要求使用者为其污染付出代价的话，今后这方面还可以做更多的事情。但是，这个情况需要被看成一个整体。不应只简单地将经济发展与环境保护两者对立起来，而应当把它作为制定能源战略的一个要求，使战略中包含在确保经济增长的同时，充分实现环境保护所需要的合理构成的那些内容。

人口的日益增长，更加剧了全球大部分居民的能源供应不足和地方性环境的恶化。据联合国预测，今后 30 年人口增长将会超过以往同期任何时候，随之引起的能源用量的增大也会带来更多的问題。而 90% 的人口增长是在发展中国家。

全球性的人口增长问题不属于能源理事会关注和负责的范围，除非涉及到全球能源问题。然而，能源理事会宗旨之一是找到一条能同时改善能源供应紧张状况和人口增长状况的路，只有这样才能满足人口日益增多的发展中国家的能源需求。

解决能源问题没有一条通行于全世界的统一途径。世界上主要的三类国家在能源前景规划、优先权及宗旨方面是各不相同的。这三类国家是：发达工业国家；处于过渡阶段的中央经济国家；众多的经济水平不一的发展中国家。

对于发达工业国家，发展能源着重在于提高其效率和饱和效应，以使在不增加能源消耗的情况下继续保持经济的增长。化石燃料仍然是今后数十年的基础能源，但政府有必要鼓励采用其他替代能源。

因此，建议发达国家应该把影响和强化能源效率的措施，以及加速能源供应多样化作为能源战略目标。

对于处于经济过渡的国家，重点是实现能源产品和供应基础结构的现代化，减轻环境污染，提高能源效率并通过合理的阶段逐步过渡到市场型政策和企业。对于这些国家，开展国际间的合作就需要对法律、经济、体制、管理和技术进行改革。但这种改革只有在内部发生了根本变化，并提供可接受的投资和贸易环境以后才可能，而这两点需要待以时日来实现。

对于发展中国家，尽管人均能源消费较低，但人口增长和经济发展将意味着能源需求的快速增长。调查表明，除非条件变化，否则不可能向这些国家提供足够的能源。

经济发展会因能源短缺而受阻碍，从而导致社会不稳定。在使用传统燃料和技术需求增长的情况下，将会伴随产生对环境污染迅速增大的威胁。因此，一方面，不同国家的能源战略应当以满足需求为目标，同时强调能源效率和洁净能源技术，机构和管理的变革，改善能源基础供应设施和技术。

世界能源大会在 1989 年蒙特利尔大会的结论中建议联合国对发展中国家能源的困难进行调查。在这里需更加紧迫重申该项建议。

一次能源储量分布不均是在现在很多地方能源供应不足以及相关的服务落后的根源。尽管目前未出现全球性的一次能源短缺，但 30 年以后，化石燃料的进口依赖程度和采掘成本将会增加，所以开发替代能源势在必行，而这需要一段时间。

获取足够能源的根本性制约因素是无法产生和吸引足够的资金。虽然开发能源需要大量的投资，但是，国际和国内资本市场如果它们能够被调动的话，有可能满足资本供应的长期要求，这就要求创造效率驱动型能源体系，

改进地方机构，确保投资环境，只有通过市场系统才能真正实现相关技术的转让。

在此，特地向发展中国家和过渡中国家建议，应为鼓励国内、国外投资而建立经过改组的机构体制和政策。这就要求协调好政府法规和开放的市场竞争之间的关系，要求鼓励向新企业投资，进而建立反映发生所有成本的价格体系。政府应该初步创造适当的条件，鼓励能源企业在政府责任范围内进行有效管理。

国际能源和技术贸易将不断扩大。保护主义障碍、供应市场的垄断、排它性竞争、能源补贴，以及机构的效率低下和制度的不完善都会阻碍能源生产，从而影响经济的发展。这样就导致能源利用不充分，也会导致一次能源的浪费。

鉴于此，特向所有与会国家和地区提出一个极其重要的建议，那就是要尽量提高能源效率，保护一次能源资源。

这就需要诸如调整价格之类的激励措施，当然，价格也并不是解决所有能源问题的灵丹妙药。效率的提高会带来可观的效益，但毕竟是有限的。

不过，在当今过渡时期，成本效益驱动的效率投资的好处是，将有助于延长利用有限的化石燃料，有助于减轻能源利用引起的环境污染，减缓全球气候的变化，而这些是有科学依据的。

无论是能源产品的生产、运输、转换和使用都会对环境造成影响。工业化国家已经开发出基本解决本国区域内的环境问题的技术，现在正面对国境外的全球跨境环境问题。众多的发展中国家仍不得不应付解决能源利用的本地问题，而且还面临着净水、卫生等基本问题。

发展中国家的区域报告强调，由于缺乏足够的资金，这些地方性的环境问题将先于越境和全球环境问题。

发展中国家应采用更有效的方法来避免能源利用产生的环境影响，利用现有的技术虽有一定成效，但还是远远不够的。政府应尽力使能源的供应和利用与提高能源技术和效率的经济管理相适应，而两者又影响到环境保护的进程。

在今后数十年中，化石能源将继续满足世界的需要。因此，当今世界总的能源体系的急速转换既不现实，也不可能，而且制定根本性改变基础设施的计划也将是不明智的。不过，2025年后的二十多年中，随着某些油气资源逐渐被耗尽，能源的价格也将上涨。

今后几十年中，环境因大量化石燃料释放的气体而日趋恶化，形势所迫，需对能源和环境保护技术进行新形式的研究，以找到新的可再生的替代新能源并加速核能技术的发展。如果不及时大规模地发展替代能源，则会导致国际关系的紧张。

因此，现在，而不是20年或30年以后，各国的政府就应该促进新技术的开发，并帮助实现在技术和商业上的可行性。

拥有90多个成员国的世界能源理事会，作为世界上唯一的非官方的能源机构，负责所有的能源及学科。它有责任而且有能力进一步进行这方面的研究。它是世界上起关键作用且具有强大影响力的重要能源机构。在这里可以交流经验，收集信息，而且作为一个实体，有权使能源发展方案得以实施（与决策机构的职能相同），决定世界能源范围内哪些方面能够而哪些方面又应该去努力。

世界能源理事会 1992 ~ 1995 年甚至更长时期内的任务是先扩展委员会目前的工作范围。比如，要求尽可能提高有限能源的效率，并增加这方面的资金；对于正由中央计划经济向市场调节经济过渡的国家，改革要有实质性的进展；对于发展中国家，应大力发展能源生产以满足市场需要，同时也应重视环境影响。

小资料

能源领域世界之最

1. 煤炭探明可采储量最多的国家
前苏联，1992 年 1 月 1 日，2410 亿吨
2. 石油探明可采储量最多的国家
沙特阿拉伯，1992 年 1 月 1 日，353 亿吨
3. 天然气探明储量最多的国家
前苏联，1992 年 1 月 1 日，495250 亿立方米
4. 可开发水能资源最多的国家
中国，1992 年，3.8 亿千瓦，19233 亿千瓦时/年
5. 一次能源产量最大的国家
美国，1991 年，24.31 亿吨标准煤
6. 煤炭产量最大的国家
中国，1991 年，10.87 亿吨
7. 石油产量最大的国家
前苏联，1991 年，5.15 亿吨
8. 天然气产量最大的国家
前苏联，1991 年，8100 亿立方米
9. 发电量最多的国家
美国，1990 年，30310 亿千瓦时
10. 水力发电量最多的国家
加拿大，1990 年，2967 亿千瓦时。
11. 水电占总发电量比重最高的国家
挪威，1990 年，99.6%
12. 核电最多的国家
美国，1991 年，6125.6 亿千瓦时
13. 核电占总发电量比重最高的国家
法国，1991 年，77.5%
14. 铀矿产量最大的国家
加拿大，1990 年，8750 吨铀
15. 地热电站装机容量最大的国家
美国，1990 年，283.7 万千瓦，占世界的 47.8%
16. 风力发电量最多的国家
美国，1990 年，25 亿千瓦时，占世界的 70.7%
17. 光伏电池产量最大的国家
日本，1991 年，2 万千瓦，占世界的 36.2%
18. 沼气池最多的国家
中国，1992 年，超过 500 万个

19. 世界最大油田
俄罗斯秋明油田，1991 年，日产 540 万桶
20. 世界最大气田
俄罗斯乌连戈伊气田，年产天然气约 2500 亿立方米
21. 世界最大煤矿区
美国阿巴拉契亚矿区，1990 年商品煤产量 4.436 亿吨
22. 世界最大水电站
巴西/巴拉圭的伊泰普水电站，装机容量 1260 万千瓦，年发电量 710 亿千瓦时
23. 世界最大地热电站
美国加州吉瑟斯地热电站，1990 年装机容量 200 万千瓦，占世界的 1/3
24. 世界最大风力发电厂
美国加州阿尔塔蒙特山口风电场，1990 年发电 11 亿千瓦时，占世界的 30.7%
25. 世界最大太阳能发电站
美国加州莫哈韦沙漠太阳能发电站，1991 年，9 套系统，总装机容量 35.4 万千瓦
26. 一次能源消费量最大的国家
美国，1991 年，29.29 亿吨标准煤
27. 石油消费量最大的国家
美国，1991 年，7.397 亿吨
28. 天然气消费量最大的国家
前苏联，1990 年，7071 亿立方米
29. 煤炭消费量最大的国家
中国，1991 年，10.88 亿吨标准煤
30. 用电量最多的国家
美国，1991 年，27592.6 亿千瓦时
31. 薪柴消耗最多的国家
中国，1990 年，2.3 亿吨
32. 人均能耗最多的国家
加拿大，1990 年，11.29 吨标准煤
33. 人均拥有电量最多的国家
挪威，1990 年，28638 千瓦时
34. 最大石油出口国
沙特阿拉伯，1992 年，643 万桶/日
35. 最大石油进口国
美国，1991 年，3.813 亿吨
36. 最大煤炭出口国
澳大利亚，1991 年，1.20 亿吨
37. 最大煤炭进口国
日本，1991 年，1.1195 亿吨
38. 最大天然气出口国
前苏联，1990 年，1104 亿立方米
39. 最大天然气进口国

德国，1990年，576亿立方米
40.最大液化天然气出口国
印尼，1991年，308亿立方米
41.最大液化天然气进口国
日本，1991年，518亿立方米
42.石油储备最多的国家
美国，1992年3月，2.1亿吨
43.煤矿事故死亡率最低的国家

美国，1991年，0.069人/百万吨
44.矿井全员率最高的国家
美国，1990年，18.43吨/工（商品煤）
45.吨钢能耗最低的国家
日本，1991年，636.9公斤标准煤/吨
46.水泥综合能耗最低的国家
日本，1990年，113.2公斤标准煤/吨

后 记

为发挥上海科技出版力量整体优势，及时出版成套丛书（或系列书），经上海科学技术出版社、上海科技教育出版社、上海科技文献出版社、上海科学普及出版社及上海远东出版社社长、总编商议，成立了上海科技出版联合编辑部。《国民科技教育丛书》是上海科技出版联合编辑部组织有关专家围绕信息、人口、资源、环境、交通、灾害等与国民切身利益息息相关的问题而编写的一套丛书，旨在向国民普及有关科技知识，增强国民的参与意识和责任感。这套丛书由上海科技教育出版社具体负责出版。

上海科技出版联合编辑部

1995·6

