



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

核能及新能源 发电技术

张灿勇 马明礼 主 编
张梅有 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书
电力职业技术教育教学改革系列教材

核能及新能源 发电技术

电力职业技术教育教学改革系列教材
建设委员会

主任 张效胜
副主任 李启涛 张 伟
委员 杨立久 苏庆民 王庆民 王焕金
杨新德 朱正堂 侯仰东 郭光宏
高洪雨 孙奎明 蔡卫敏 马明礼

本书主编 张灿勇 马明礼
副主编 张梅有
编写 程翠萍 张 斌
主 审 孙奎明



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

本书对核能发电、风力发电、地热发电、生物质能发电、太阳能发电、海洋能发电和燃料电池发电分别进行了论述,对不同的发电形式从原理、系统结构、制造工艺、现状等方面进行了阐述。本书内容丰富,理论结合实际,工程适用性强。

本书可供职业院校电力技术专业师生选用,也可供从事常规能源发电的工程技术人員参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

核能及新能源发电技术/张灿勇,马明礼主编. —北京:中国电力出版社,2009

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978-7-5083-8504-4

I. 核… II. ①张…②马… III. ①核能发电-技术-职业教育-教材②新能源-发电-技术-职业教育-教材 IV. TM61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 023733 号

中国电力出版社出版、发行

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

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年3月第一版 2009年3月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 16印张 388千字

定价 26.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

地球上的石油、煤炭等化石燃料到底还能供人类使用多久？这是一个有争议的问题，但可以肯定的是，越来越少的化石燃料资源已成为制约人类物质文明进步的重要因素之一。人口的迅速增长和人类生活水平的不断提高，能源需求的大幅增加和化石能源的日益减少，各种能源形式的开发应用和对生态环境要求的提升，使人类生活的地球面临着不可回避的压力。在节能减排和可持续发展的双重要求下，迫切需要发展以清洁、可再生能源为主的能源结构来取代污染严重、资源有限的化石燃料为主的能源结构。

基于上述原因，为在我国更加广泛地开发利用新能源和可再生能源，在大中专学生中普及核能及新能源发电的有关知识，我们编写了本书，以期对我国新能源和可再生能源发电技术的推广应用、人才培养和科学普及等有所裨益。

全书分核能发电技术、风力发电技术、地热发电技术、生物质能发电技术、太阳能光伏发电技术、太阳能热发电技术、海洋能发电技术和燃料电池发电简介等几部分，比较全面地表现了核能及新能源发电技术的相关主流知识和部分进步成果。

本书由山东省电力学校高级讲师张灿勇、高级讲师马明礼主编，宁夏电力科技教育工程院高级讲师张梅有副主编，山东省电力学校高级讲师程翠萍、山东省电力学校讲师张斌编写。其中马明礼编写了绪论和第八章，张灿勇编写了第一、三章，张梅有编写了第二章，张斌编写了第四、七章，程翠萍编写了第五、六章。全书由张灿勇和张斌统稿，由山东省电力学校高级讲师孙奎明主审。

感谢内蒙古阿拉善银星风力发电有限公司总经理翟建军、技术员买文俊的大力帮助，感谢山东省电力学校张伟校长、王焕金主任和苏庆民主任实实在在的大力支持，感谢给予本书启示及参考的有关文献的作者。

由于时间仓促和编者水平所限，成书难免有不足之处和遗珠之憾，恳请读者朋友们批评指正。

编者

2009年2月

目 录

前言	
绪论	1

第一篇 核能发电技术

第一章 核能发电技术	11
第一节 人类向原子核索取能量	11
第二节 核反应及核反应堆	15
第三节 压水堆核电厂	22
第四节 沸水堆核电厂及先进轻水堆核电厂	34
第五节 其他形式的核电厂及核聚变	40
第六节 核电厂事故及核安全	46

第二篇 新能源发电技术

第二章 风力发电技术	51
第一节 风力发电发展概况	53
第二节 风能与风的测量	58
第三节 风力机的工作原理	65
第四节 风力发电机组的结构及技术	69
第五节 风力发电机组的控制技术	94
第三章 地热发电技术	98
第一节 地热能及地热资源	98
第二节 地热发电原理和技术	101
第三节 地热发电系统的部分工程技术	104
第四节 地热能的发电利用状况	109
第四章 生物质能发电技术	112
第一节 生物质能概述	112
第二节 沼气发电技术	119
第三节 生物质气化发电	129
第四节 城市有机垃圾能源	145
第五章 太阳能光伏发电技术	159
第一节 概述	159
第二节 太阳能电池工作原理	169
第三节 太阳能电池的分类及制造工艺	174
第四节 太阳能光伏发电系统	186

第六章 太阳能热发电技术	203
第一节 概述	203
第二节 太阳能热发电站基本系统及构成	204
第三节 典型的太阳能热发电系统简介	211
第七章 海洋能发电技术	224
第一节 海洋能概述	224
第二节 潮汐能发电	225
第三节 其他海洋能发电	236
第四节 我国海洋能的发展现状	241
第八章 燃料电池发电简介	244
第一节 燃料电池的分类和工作原理	244
第二节 质子交换膜燃料电池	245
参考文献	248

绪 论

能产生能量的物质资源统称为能源。能源是推动社会发展和经济进步的主要物质基础，能源技术的每次进步都带动了人类社会的发展。随着煤炭、石油和天然气等化石燃料资源面临不可再生的消耗和生态环境保护的需要，新能源的开发将促进世界能源结构的转变，新能源技术的日臻成熟将带来产业领域的革命性变化。

一、能源与新能源的概念

能源有多种分类方法，按形成方式可分为一次能源（如煤、石油、天然气、太阳能等）和二次能源（如电能、煤气、蒸汽等）。一次能源是指以原始状态存在于自然界中、不需要经过加工或转换过程就可直接提供使用能量的能源，主要包括三大类：①来自地球以外天体的能量，主要是太阳能；②地球本身蕴藏的能量，海洋和陆地内储存的燃料、地球的热能等；③地球与天体相互作用产生的能量，如潮汐能。由一次能源加工、转化而成的能源称为二次能源，我们使用的电能就是一种比较典型的二次能源。按循环方式可分为不可再生能源（化石燃料）和可再生能源（生物质能、氢能、化学能源）；按使用性质可分为含能体能源（煤炭、石油等）和过程能源（太阳能、电能等）；按环境保护的要求，可分为清洁能源（又称绿色能源，如太阳能、氢能、风能、潮汐能等，也包括垃圾处理等）和非清洁能源；按现阶段的成熟程度可分为常规能源和新能源。

新能源与常规能源是一个相对的概念，随着时代的发展，新能源的内涵不断变化和更新。目前，新能源主要包括太阳能、氢能、核聚变能、化学能、生物质能、风能、地热能和海洋能等。新能源的开发已成为人类解决能源危机和环境保护问题的一把金钥匙。

(1) 太阳能。太阳能是人类最主要的可再生能源。太阳每年输出的总能量为 3.75×10^{26} W，到达地球的大约是其总能量的 22 亿分之一，即 1.71×10^{17} W，其中辐射到地球陆地上的能量大约为 8.5×10^{16} W，这个数量远大于人类目前消耗能量的总和，相当于 1.7×10^{18} t 标准煤。

(2) 氢能。氢能是未来最理想的二次能源。氢以化合物的形式储存于地球上最广泛的物质“水”中，如果把海水中的氢全部提取出来使用，放出的总热量是地球现有化石燃料的 9000 倍。

(3) 核聚变能。核聚变能是原子核结构发生变化时放出的能量。核能释放包括核裂变和核聚变。核裂变所用原料铀 1g 就可释放相当于 30t 煤的能量，而核聚变所用的氘仅用 560t 就可以为全世界提供一年消耗的能量。海洋中氘的储量可供人类使用几十亿年，同样是取之不尽、用之不竭的清洁能源。

(4) 生物质能。生物质能目前占世界能源中消耗量的 14%。估计地球上每年植物光合作用所固定的碳达到 2×10^{12} t，含能量 3×10^{21} J。地球上的植物每年产生的能量是目前人类消耗矿物能的 20 倍。

(5) 化学能源。化学能源实际是直接把化学能转变为低压直流电能的装置，也叫电池。化学能源已经成为国民经济中不可缺少的重要组成部分，同时化学能源还将承担其他新能

源的储存功能。

(6) 风能。风能是大气流动的动能，是来源于太阳能的可再生能源。估计全球风能储量为 10^{14} MW，如有千万分之一被人类利用，就有 10^6 MW 的可利用风能，这是全球目前的电能总需求量，也是水力资源可利用量的 10 倍。

(7) 地热能。地热能是来自地球深处的可再生热能。全世界地热资源总量大约 1.45×10^{26} J，相当于全球煤热能的 1.7 亿倍，是分布广、洁净、热流密度大、使用方便的新能源。

(8) 海洋能。海洋能是依附在海水中的可再生能源，包括潮汐能、潮流、海流、波浪、海水温差和海水盐差能。估计全世界海洋能的理论可再生量为 7.6×10^{13} W，相当于目前人类对电能的总需求量。

二、能源消费与需求

1. 世界能源消费结构

2005 年世界主要能源消费国的能源消费结构及消费统计如表 0-1 所示。

表 0-1 2005 年世界主要国家能源消费统计 (百万 t 油当量)

国 家	石 油	天 然 气	煤 炭	核 能	水 力 等	合 计
美 国	944.6 40.43%	570.1 24.40%	575.4 24.63%	185.9 7.96%	60.6 2.59%	2336.6 100.00%
加 拿 大	100.1 31.52%	82.3 25.92%	32.5 10.24%	20.8 6.55%	81.7 25.73%	317.5 100.00%
法 国	93.1 35.52%	40.5 15.45%	13.3 5.07%	102.4 39.07%	12.8 4.88%	262.1 100.00%
德 国	121.5 37.50%	77.3 23.86%	82.1 25.34%	36.9 11.39%	6.3 1.94%	324.0 100.00%
意 大 利	86.3 46.93%	71.1 38.66%	16.9 9.19%	— —	9.6 5.22%	183.9 100.00%
英 国	82.9 36.47%	85.1 37.44%	39.1 17.20%	18.5 8.14%	1.7 0.75%	227.3 100.00%
俄 罗 斯	130.0 19.13%	364.6 53.65%	111.6 16.42%	33.9 4.99%	39.6 5.83%	679.6 100.00%
日 本	244.2 46.55%	73.0 13.92%	121.37 23.14%	66.3 12.64%	19.8 3.77%	524.6 100.00%
韩 国	105.5 46.97%	30.0 13.36%	54.8 24.40%	33.2 14.78%	1.2 0.53%	224.6 100.00%
印 度	115.7 29.89%	33.0 8.5%	212.9 55.0%	4.0 1.0%	21.7 5.6%	387.3 100.00%
中 国	341.1 21.60%	44.2 2.80%	1089.1 68.98%	11.8 0.75%	90.8 5.75%	1578.9 100.00%
世界合计	3836.8 36.41%	2474.7 23.49%	2929.8 27.80%	627.2 5.95%	668.7 6.35%	10537.1 100.00%

中国能源消费结构中，石油及天然气所占比例均低于世界平均水平和主要能源消费国的一般水平。

世界一次能源消耗统计显示，1973 年，作为燃料的石油占 45%，天然气占 16%；2005

年,在上述构成中石油下降到 36.41%,天然气上升到 23.49%。因此,虽然目前核能、水电等能源比重在逐步加大,但石油、天然气仍然在能源格局中处于主体地位。

2. 世界能源需求预测

进入 21 世纪,世界能源需求将持续上升,但从长期看,石油生产将下降。世界终将面临替代石油和其他化石燃料的新能源时代。美国环境研究集团认为,生物燃料、风能发电和太阳能的生产正在以年均 20%~30% 的速率增长,而石油和天然气的年增速为 2%。新能源投资每年约 300 亿美元。

2005 年全球一次能源的消费增长 2.7%,低于 2004 年 4.4% 的强劲增长,但仍高于过去 10 年的平均水平。各个地区、各种燃料的消费增长率均比 2004 年有所下降。而增长最强劲的仍是亚太地区,增长幅度达 5.8%。

表 0-2 所示为未来世界各地能源需求预测。据美国能源部能源情报署(EIA)完成的《国际能源展望》基准状态预测,世界能源消费在 24 年内(2001~2025 年)将增加 54%,全球能源消费总量预计将从 2001 年的 4.3×10^{17} kJ 增加到 2025 年的 6.8×10^{17} kJ。图 0-1 所示为全球各种一次能源消费及预测。能源枯竭是不可避免的,根据日本、欧盟等能源机构预计,全球化石能源的消耗峰值将在 2020~2030 年出现。

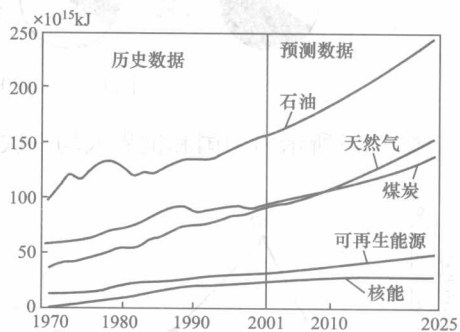


图 0-1 全球各种一次能源消费及预测

表 0-2 未来世界各地能源需求预测 (亿 t 油当量)

地 区	2010 年		2020 年		2025 年	
	需求量	比例 (%)	需求量	比例 (%)	需求量	比例 (%)
北 美	33.56	29.47	37.71	29.26	39.62	29.03
欧 洲	33.16	29.12	34.99	27.15	35.76	26.20
亚 洲	31.77	27.90	37.73	29.27	40.55	29.71
中 东	5.85	5.14	6.85	5.31	7.51	5.50
非 洲	3.38	2.97	3.98	3.09	4.30	3.15
中南美洲	6.14	5.39	7.63	5.92	8.76	6.42
世 界	113.86	100.00	128.89	100.00	136.50	100.00

3. 中国能源消费现状和趋势

根据国际惯例,当人均 GDP 达到 1 万美元时,人均能源消费将达到 4~5t 标准煤当量。中国现在人均 GDP 1000 多美元,随着这一数字的提高,能源供需矛盾将日益突出。

专家预测,到 2020 年中国要实现小康目标,能源需求将达到 29 亿 t 标准煤当量。但国内的能源储量有限,石油、煤炭、天然气人均可采储量分别只有世界平均水平的 11%、55% 和 4.3%。

2005 年中国经济保持了 9.9% 的增幅,由于推进节能和产业结构调整,能源消费增长有所下降,从 2004 年的 15.5% 降至 2005 年的 9.5%。中国已成为全球最大的煤炭生产国和消费国,并步入全球最大的水电生产国之列。图 0-2 所示为 2005 年中国一次能源产销概况。

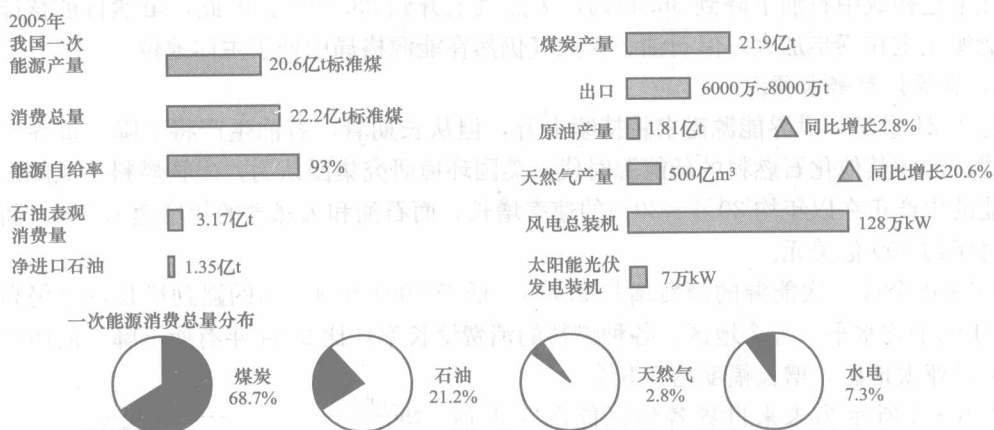


图 0-2 2005 年中国一次能源产销概况

图 0-3 所示为中国和世界人均一次能源消费水平。2005 年，中国消费能源总量为 22.2 亿 t 标准煤，在世界能源消费排名中仅位于美国之后，居世界第二位。

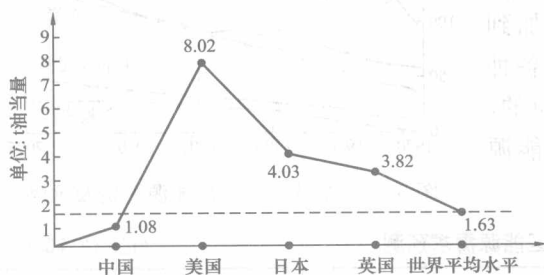


图 0-3 中国和世界人均一次能源消费水平

2005 年，中国消费能源总量为 22.2 亿 t 标准煤，在世界能源消费排名中仅位于美国之后，居世界第二位。从煤炭、原油和天然气三种能源消费结构看，2005 年中国消费最多的是煤炭，消费量达 19 亿 t，增速为 14.4%；原油消费量为 3.08 亿 t，增速为 16.8%；天然气消费量达 645 亿 m³，增速达 18.5%。

中国的石油对外依存度更是在以惊人的速度不断攀升，2005 年原油进口 1.27 亿 t，石油对外依存度达 42.9%，2006 年这一数字更高达 47%。按照中国目前的发展速度，到 2020 年，中国最少需要 4.5 亿 t 原油，而届时本土生产能力将最多不超过 2 亿 t，石油对外依存度将有可能达到 57.6%。

中国的能源消费结构中，煤炭消费量占一次能源消费总量的近 70%。据统计，全国二氧化硫排放总量的 90% 是由燃煤造成的，二氧化硫污染已成为主要大气污染源，致使中国三分之一国土成为酸雨区。

尽管煤炭仍是中国最主要的能源消费品，自从进入工业化加速发展时期以来，中国能源消费结构已出现新的变化，天然气和原油的消费增速比煤炭消费增速加快。

2010 年和 2020 年中国三种能源的生产量和消费量预测见表 0-3。

表 0-3 2010 年和 2020 年中国三种能源的生产量和消费量预测

项 目	2010 年		2020 年	
	生产量	消费量	生产量	消费量
煤炭 (亿 t)	23.6~24.6	23.0~24.0	27.5~29.4	27.0~29.0
原油 (亿 t)	1.8~1.9	3.6~3.9	1.9~2.0	4.2~5.0
天然气 (亿 m ³)	800~1000	1000~1250	1300~1500	1800~2500

不难看出,未来10年,中国煤炭国内生产量基本能够满足国内消费量,原油和天然气的生产则不能满足需求,特别是原油的缺口最大。

作为中国能源结构主体的煤炭,其探明储量将在52年内采光,石油资源将在13年内枯竭,天然气资源也将在47年内用尽,其时间表均早于全球化石能源枯竭的时间。因此,加快可再生能源开发和利用时不我待。

据日本瑞穗证券公司估计,目前中国每生产1美元产值需使用800g原油,美国为230g,日本为130g。2005年5月召开的中国能源战略高层论坛,出现这样一组数据:与世界先进水平相比,中国在能源效率、单位产品能耗等方面仍然存在较大差距,主要产品能耗比世界先进水平高40%。中国能源利用率为33%,与世界先进水平相差10%,节能潜力巨大。据美国能源部2006年4月作出的分析,中国100万美元GDP消费能源约为1300t煤当量,为世界平均值的2.4倍。中国八大主要工业的单位GDP消费能源比世界先进水平高出40%。中国工业产品能源、原材料的消耗占企业生产成本的75%左右。注重能源资源节约和合理利用,缓解能源资源与经济社会发展的矛盾,提高能源资源利用效率,同时加快可再生能源开发和利用任重道远。

国家统计局发布的公报显示,2006年我国单位国内生产总值能耗同比下降了1.23%,而年初预定的目标是下降4%左右,当年我国万元GDP能源消耗为1.21t标准煤。这是我国单位GDP能耗2003年以来的首次下降。

据国家统计局统计,2006年我国能源消费总量为24.6亿t标准煤,同比增长9.3%,低于经济增长率1.4%。其中,煤炭消费量为23.7亿t,增长9.6%;原油3.2亿t,增长7.1%;天然气556亿m³,增长19.9%。

“十一五”期间,国家要求实现单位国内生产总值能耗降低20%左右、主要污染物排放总量减少10%的目标。发改委测算认为,“十一五”期间,预计全国可节能2.4亿t标准煤,减排二氧化碳(以碳计)1.56亿t。

国际油价持续走高,加快了我国启动替代能源的步伐。车用燃料的替代是研究和开发的重点。《中国替代能源研究报告》的研究重点是煤基燃料和生物质燃料在汽车方面的运用。在中国的石油消耗中,交通占到50%左右。车用燃料基本来自石油。目前,我国原油对外依存度在45%左右,2020年,这一比例还会有所提高。随着国际油价上涨,进口石油经济性和安全性都受挑战;另外,我国车用燃料需求增长强劲。据预测,2020年我国汽车保有量将从2005年的3500万辆左右增加到1亿辆左右。届时我国车用汽、柴油需求量将占全部汽、柴油需求总量的65%。我国应加大对替代能源的开发和利用,推进包括煤基醇醚燃料、生物质液体燃料、煤制油、天然气等替代能源的多元化发展。

我国当前包括一次能源、石油与电力在内的总能耗约为1.26t标准煤/(人·a),发电装机容量约为0.3kW/人,预计2020年将增长至约2t标准煤/(人·a)和0.7kW/人,2050年将达约3t标准煤/(人·a)和1.5kW/人。根据预测结果,我国能源发展有以下主要特点和趋势。

(1) 煤炭在21世纪上半叶仍为最主要的一次能源。预计2020年我国煤炭总产量将达约27.5~29.4亿t,2020年后将稳定在30亿t左右。新增煤炭绝大部分用于发电,因此,提高煤电效率与降低污染,实现高效、低污染燃煤发电技术及其产业化和大规模应用,将是很长一段时期内能源科技发展的重点。

我国燃煤电站总装机容量已有3亿kW,至2020年还将新增3亿kW,至2050年将新

增 6 亿~7 亿 kW。

(2) 保障石油供应是能源安全的关键。2003 年中国石油进口已达 0.9 亿 t, 占全国总耗油量的 35%, 预期 2020 年将达 2.7 亿 t, 2050 年达 6.2 亿 t, 分别占全国总耗油量的 60% 和 78%。而世界石油产量将在 2035 年左右达到峰值, 供需矛盾将更加突出。解决石油保障问题, 要从开源、节流两方面努力。前者包括石油资源的勘探开发和推进补充, 以及替代能源的发展和产业化; 后者主要是减缓交通耗油的增长。

中国对石油进口的依赖正不断增加, 但国际石油供应受到政治、经济、运输通道等多方面因素的影响与制约。要保障石油供应, 除加强石油勘探开发与充分利用国际资源外, 还必须大力发展石油替代能源。

(3) 以煤及天然气为基础的液体燃料已形成多种技术途径, 如煤直接液化、间接液化和天然气基合成油、甲醇、二甲醚等, 可成为替代石油的主力。然而, 需要指出的是: 煤液化生产 1t 油需消耗 3~4t 煤, 必须与中国煤炭供应能力协调; 液化过程中需用大量水且排放大量 CO₂, 要考虑与水资源利用及环境问题的协调; 煤液化厂投资大, 百万吨级厂的建设投资达 (0.8 万~0.9 万) 元/t, 而成品油价格要低于石油市场价才可能有竞争力。此外, 车用甲醇燃料也存在一些问题, 如汽油中掺入高含量甲醇 (大于 15%) 时, 会发生冷启动性能差、对材料腐蚀性强以及需进行发动机更新换代等问题。

(4) 生物燃料面临资源来源和生产成本问题。目前的燃料乙醇均用甘蔗、玉米、甜高粱、陈化粮等粮食作物为原料, 3.5t 粮食才能生产 1t 乙醇, 在中国大规模发展势必占用耕地, 并与保障粮食生产发生冲突。生物柴油用油料作物与动物脂肪为原料, 同样受到资源与成本的限制。这些问题的最终解决有赖于深入研究与开发不与农业争耕地的新型能源植物。

(5) 人类化石能源终将耗竭, 有关能源结构的调整过程已经开始。作为未来主要能源, 只能依赖于可再生能源和受控核聚变能。21 世纪上半叶, 预计受控核聚变能还难以成为可用的能源。而可再生能源的水力发电和非商品的生物质能, 已得到大规模应用, 太阳能、风能、生物质能、地热能、潮汐能的离网发电已初步产业化。可再生能源开发的关键是利用太阳的光辐射能。由于太阳能的不连续性, 必须解决大规模电能储存或有效融入电力系统中有机组成互补的综合供电系统。利用好中国大面积的荒漠地区是建立大规模太阳能基地的一个方向, 但荒漠地区远离城市与负荷中心, 大容量长距离输电任务将更为艰巨, 发展超导电力可能成为主要的解决途径。风力发电近年来迅速发展, 仍应继续大力推进。中国陆地风力资源估计最大可发电 2.5 亿 kW, 近海风力资源约为陆地的 3 倍, 达 7.5 亿 kW。但近海风力开发存在台风频发问题, 需要认真加以研究。要高度重视大规模可再生能源基地与技术的研究与发展, 同时还应重视速生能源植物与太阳能制氢的研究。

国务院发展研究中心产业经济研究部在“新能源汽车发展战略国际研讨会”上表示, 到 2025 年后, 中国普通汽油车占乘用车的保有量将下降到 50% 左右, 取而代之的将是先进柴油车、燃气汽车、生物燃料汽车等新能源汽车。结合中国的能源资源状况和国际汽车技术的发展趋势可以判断, 未来中国汽车能源将出现可再生、低排放能源取代传统能源。按照燃料的来源划分, 新能源汽车技术可分为五类: 一是基于传统石油燃料的节能环保汽车, 如先进柴油车和混合动力汽车; 二是基于天然气和石油伴生品的燃气汽车; 三是基于化石燃料化工的替代燃料汽车, 如煤制油等; 四是生物燃料汽车, 包括燃料乙醇和生物柴油汽车; 五是燃料电池汽车和纯电动汽车。汽车能源逐渐由化石燃料向可再生、低二氧化碳排放的能源形式

过渡是基本的趋势，生物燃料和氢能将是汽车能源的最终解决方案。在生物燃料和氢能最终替代化石燃料前，汽车能源将呈现多元化局面，天然气、生物燃料以及天然气制油在汽车能源中的比重将不断增大。2030年以前，传统燃料仍然是主要的汽车能源，但传统燃料的清洁化将是基本发展方向。

三、可再生能源发展趋势

1. 世界可再生能源发展趋势

可再生能源是指风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能等非化石能源，是强调运用现代科学技术开发自然能源，或者表明开发可再生能源应该建立在高新技术的基础之上，达到高效、安全和实用的目的。

世界大部分国家能源供应不足，不能满足经济发展的需要。煤、石油等化石能源的利用会产生大量的温室效应，污染环境。这一系列问题都使可再生能源在全球范围内升温。从目前世界各国既定能源战略来看，大规模的开发利用可再生能源已成为未来世界各国能源战略的重要组成部分。

世界可再生能源总量显著增加，可再生能源在世界能源供应中占有越来越重要的地位。截至2005年底，世界可再生能源发电装机达到180GW，其中风力发电59GW，小水电80GW，生物质发电40GW，地热发电10GW，光伏发电5GW，生物液体燃料如乙醇则达到330亿L，生物柴油达到220万t。据统计，世界能源供应中，传统生物质能大约占9.0%，大水电占5.7%，新的可再生能源达到2.0%以上。

据业内人士预测，到2070年，世界上80%的能源要依靠可再生能源，毫无疑问，该产业的前景是非常广阔的，这一点从各国政府制定的未来可再生能源开发目标中也可可见一斑，如表0-4所示。

表 0-4 部分国家制定的未来可再生能源开发目标

国 家	2004 年	2010 年	2020 年	2050 年
美 国	风电比例约为 1%	可再生能源利用率将达 7.5%	风电比例将达 5%；可再生能源发电比例 20%	—
加 拿 大	—	将风电产量提高 5 倍	水电比例将达 76%	—
德 国	风电比例为 4%；可再生能源发电比例为 8%	风电比例将达 12.5%	可再生能源发电比例将达 20%	可再生能源发电量比例将达 50%
英 国	可再生能源发电比例为 4.3%	可再生能源发电比例将达 10%	可再生能源发电比例将达 20%	—
法 国	可再生能源占能源消费总量 6.8%	可再生能源发电比例将达 22.1%	—	可再生能源发电比例将达 50%
日 本	可再生能源产量占能源需求的 3%	可再生能源发电比例将达 1.35%	到 2030 年，可再生能源利用率将达 20%	—
韩 国	可再生能源利用率为 2.1%	可再生能源利用率将达 5%	—	—
中 国	风电比例约为 0.2%；可再生能源占能源消费总量 10%	可再生能源发电比例将达 5.3%	风电比例将达 2%；可再生能源发电比例 12%	可再生能源利用率将达 30%，2100 年将达到 50%

20 世纪 90 年代以来可再生能源发展很快,世界上许多国家都把可再生能源作为能源政策的基础。从世界各国可再生能源的利用与发展趋势看,风能、太阳能和生物质能发展速度最快,产业前景也最好。风力发电在可再生能源发电技术中成本最接近于常规能源,因而也成为产业化发展最快的清洁能源技术,年增长率达 27%。测算表明,到 2015 年,新能源和可再生能源的利用将减少 3000 多万吨二氧化碳的温室气体以及 200 多万吨二氧化硫等污染物的排放。

2. 中国可再生能源利用现状和规划

中国以小水电、风能、太阳能、生物质能利用为代表的可再生能源利用量 2005 年只有约 5500 万 t 标准煤,仅占全国一次性能源总消费量的 3%。中国可再生能源资源可获得量是每年 73 亿 t 标准煤,2005 年 5500 万 t 标准煤的开发量,只占总资源量不到 1%。到 2020 年,中国可再生能源利用量将是目前的 10 倍。

中国新能源发电取得良好成绩。根据中电联公布的数据,中国 2006 年运行核电机组的装机容量为 685 万 kW,风力发电机组装机容量 187 万 kW。另据国家发改委统计,2006 年,全国在建秸秆发电项目总装机约 120 万 kW,有三座总装机 8 万 kW 的秸秆发电站已投产。据此测算,包括核电、风电和生物质能发电在内的新能源占全部装机容量的 1%。

数据显示,2006 年电源结构发生了变化,火电比例进一步下降,清洁能源比例上升。截至 2006 年底,全国发电装机容量达到 62 200 万 kW,同比增长 20.3%。其中,水电达到 12 857 万 kW,约占总容量的 20.67%,同比增长 9.5%;火电达到 48 405 万 kW,约占总容量的 77.82%,同比增长 23.7%。从发电量的比例来看,核能发电量达到 543 亿 kW·h,同比增长 2.4%,占全部发电量的 2%;风能发电量 27 亿 kW·h,同比增加 67.4%,但所占比重仍然偏小。

目前除了小水电外,中国可再生能源发电成本远高于常规能源发电成本,如小水电发电成本约为煤电的 1.2 倍,生物质发电成本为煤电的 1.7 倍,风力发电成本为煤电的 1.7 倍,光伏发电成本为煤电的 11~18 倍。成本偏高抑制了可再生能源市场的发展。

国家发改委能源研究所指出,有三大理由支撑中国大力发展可再生能源。

(1) 中国能源系统面临严峻挑战。人口多,人均资源占有量少,加上能源利用技术落后,效率低下,能耗高,能源匮乏的威胁可能来得更早,能源供需缺口将越来越大。由于过度依赖煤炭,对环境的影响更加严重。环境专家测算,大气中 90% 的二氧化硫和 70% 的烟尘来自燃煤。而煤炭开发利用过程中产生的大量矸石、腐蚀性水、煤泥、灰渣和飞灰等,已构成对工农业生产和生态环境的危害。

(2) 中国农村小康建设的需要。中国 13 亿人中农村人口占绝大多数,每年消耗的能量相当于 6 亿多吨标准煤,其中约一半来自可再生能源,但这些能源目前还是以传统的利用方式为主。同时,中国还有 700 万户无电人口,无法用常规电网延伸解决用电。另外,根据国际经验,发展可再生能源可以安排大量剩余劳动力。

(3) 保障能源供应安全的考虑。1993 年中国成为石油净进口国,2006 年进口依存度已经达到 47%,随着国民经济的持续增长,石油进口量占整体石油需求量中的份额将进一步增长,预计 2020 年中国石油对外依存度将超过 50%。这对中国能源供应安全构成一定威胁。而可再生能源属于本地资源,通过一定的工艺技术,不仅可转换为电力,还可以直接或间接地转换为液体燃料,为各种移动设备提供能源,缓解能源供应问题。

《中华人民共和国可再生能源法》于2006年1月1日正式施行。我国政府先后制定了《2010年我国新能源和可再生能源发展纲要》、《可再生能源中长期发展规划》以及《中华人民共和国可再生能源法》。于2006年1月1日生效的《中华人民共和国可再生能源法》明确了可再生能源在长期发展中的战略地位,通过加大政府对可再生能源的保护与投入力度,增强市场发展信心,标志着中国在可再生能源的长期开发利用方面确立了法律框架。《可再生能源中长期发展规划》提出未来15年可再生能源发展的目标:可再生能源在能源结构中的比例到2010年达到10%、到2020年达到16%(争取达到18%)、2030年达到30%、2040年达到40%。

为促进可再生能源和新能源技术及相关产业的发展,为2010年中国实现可再生能源开发利用量超过1亿吨标准煤提供技术支撑,国家发改委确定了2005~2007年间重点扶持的可再生能源和新能源高新技术产业化专项重点,主要包括氢能、太阳能等五大领域。在氢能领域,专项重点为氢燃料的制取、存储、专用燃料电池的产业化等内容,其中涉及新一代煤炭制取氢气技术、天然气制取氢气技术、高压氢气储存罐、燃料电池汽车、燃料电池固定电站等专项。其他五个领域为风力发电、太阳能光伏发电、太阳能供热和地源热泵供热(制冷)、高温气冷堆示范电站。在高温气冷堆示范电站领域,主要开展设计研究,对关键设备和材料进行研制及产业化。通过实施此专项,将为中国迅速发展的风电场提供运行可靠、成本低廉的新型大容量并网发电机组,并解决中国太阳能电池用多晶硅原材料生产和光伏产业链发展不平衡问题,实现太阳能热水器产品的更新换代和全天候供水。此外,燃料电池生产将满足专用汽车的安全运行需要,燃料电池固定电站实现批量生产。

中国有丰富的水能、风能、太阳能、生物质能资源。总体来看,可再生能源的开发利用还不够,水电的开发利用率不足20%;风能资源有10亿kW,而风电装机容量仅76万kW;高效清洁的生物质能利用技术尚处于试点阶段,正在调查可用资源量,初步估计有相当于10亿t标准煤的资源潜力。

统计显示,中国太阳能年日照时数在2200h以上的地区约占国土面积的2/3以上,具有良好的开发条件和应用价值,但太阳能利用还没有引起足够的重视。2005年中国太阳能热水器保有量为8000万 m^2 ,2020年太阳能热水器保有量的目标为3亿 m^2 。

中国已探明地热能储存4000多处,折合4600多亿t标准煤,储量丰富。目前可开发的仅76万t标准煤。已勘探的40多个地热田可供中低温直接利用的热储量相当于31.6亿t标准煤。

生物质发电方面,包括农林废弃物直接燃烧蒸汽发电和利用先进的小型燃气轮机联合循环发电、垃圾发电和沼气发电。到2010年可再生能源发电装机容量达到6000万kW,年发电量约1800亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,装机容量届时将占全国总装机容量的8%,发电量届时将占全国总发电量的6%。到2020年,可再生能源发电容量预计将占全国发电总容量的12%,发电量预计将占全国发电量的8%。

中华全国工商业联合会新能源商会于2007年1月在北京举行的“首届中国能源国际国锋论坛”上发布了《中国新能源产业年度报告》,报告指出,中国将大幅度提高风能、太阳能、生物质能等新能源在整个能源消费中的比例,2050年中国30%以上的能源需求将依靠新能源来满足。根据中国中长期能源规划研究,2020年之前,中国基本上可以依赖常规能源满足国民经济发展和人民生活水平提高的能源需要。2020年中国能源需求总量超过30亿t标

准煤之后, 新能源的战略地位将日益突出。中国新能源发展的战略目标将是: 最大限度地提高能源供给能力, 改善能源结构, 实现能源多样化, 保障能源供应的安全。报告指出: 第一步, 在 2020 年达到新能源发展装机 1.2 亿 kW, 占全国发电装机总容量的 12%; 新增商品化新能源 3 亿 t 标准煤; 大力推进风力发电、生物质发电、太阳能发电。第二步, 大幅度提高新能源在整个能源消费中的比例, 在 2050 年实现新能源满足能源需求的 30%~40% 的战略目标。要实现这样的目标需要: 风力发电在 30 年后发电装机可能超过核电, 成为第三大发电电源, 2050 年后可能超过水电, 成为第二大主力发电电源, 形成 3 亿~5 亿 kW 的装机能力。中国还必须开发利用相当规模的生物质能、海洋能、地热能等其他形式的新能源, 才能满足 2050 年的能源需求。

从长远来看, 新能源和可再生能源的开发利用可以逐步改善中国以煤炭为主的能源结构, 促进常规能源资源更加合理有效地利用, 缓解与能源相关的环境污染问题, 使中国能源、经济与环境的发展相互协调, 实现可持续发展目标。从近期来看, 新能源和可再生能源的开发除了能增加和改善能源供应外, 还将对解决边疆、海岛、偏远地区的用电用能等问题起到非常重要的作用。测算表明, 到 2015 年, 新能源和可再生能源的利用将减少 3000 多万吨温室气体以及 200 多万吨二氧化硫等污染物的排放, 提供近 50 万个就业岗位, 为 500 多万户边远地区农牧民解决无电问题。

但从总体上来看, 中国新能源产业整体实力不强, 市场竞争能力弱, 一些阻碍产业发展的关键问题没有从根本上得到解决, 迫切需要加快技术进步和机制创新, 以推动这一产业的迅速发展。

第一篇 核能发电技术

第一章 核能发电技术

第一节 人类向原子核索取能量

人类向原子核索取能量的重要方式之一就是发展核电，那么我们为什么要选择核电？人们选择核电，既有经济原因也有对环境保护的考虑。1kg ^{235}U 裂变释放的能量，相当于燃烧 2400t 标准煤产生的热量。一座百万千瓦级的火力发电厂，每年消耗 300 万 t 煤，产生 60 万 t 灰渣，排放 10 万 t 二氧化硫、3 万 t 氮氧化物、3500t 烟尘与 1000 万 t 二氧化碳，会造成大面积酸雨，破坏生态环境；烟尘中含有各种各样对人体有害的物质（例如重金属和砷）。运送这些煤每天都需要 100 节火车皮，运灰渣每天要用 30 节火车皮；而发出同样电力的核电厂，每年需要铀燃料 30~40t，只要一节车皮就够用，它每年产生 11.6t 核废料，深埋之后对环境不会产生危害。核电站在运行过程中，不产生污染环境的物质，不向大气中排放温室气体，只要人们精心设计安全保障体系、妥善处理核废料，核电就是一种比较理想的能源。人们做过一个调查，燃煤的火力发电厂排出的各种废物对人体健康的伤害，比同等规模核电厂产生的各种物质对人体的损害大 830 倍。

自从 20 世纪 40 年代人类开始利用核能以来，这项技术给人们提供了大量的能量，但其探索发展的道路却非常艰辛和漫长。

一、对核能的探索发现

植物的光合作用、人和动物的消化过程以及煤等的燃烧，都是化学反应，其能量转换都发生在原子的外层电子中，而原子核并未参与这种提供能量的过程。在一次偶然的事件中，科学家注意到，有些物质在没有发生化学反应的条件下，仍不断地向外界释放能量，这一发现激发了人类探索原子内部奥妙的情。

1896 年，德国物理学家伦琴发现了 X 射线；在此基础上法国物理学家安东尼·亨利·贝克勒尔经过反复试验后发现：所有含铀的物质无论是固体还是液体都会发出射线，且称之为“铀射线”（贝克勒尔射线）。居里夫妇采用压电石英静电计测量射线产生的电流，能精细地区分射线强度的微小差别。1898 年 7 月，居里夫妇从沥青铀矿中分离出放射性比铀强几百倍的元素“钋”（Polonium，金属元素，有放射性，钋和铍混合可制备中子源）。四年后，他们从 8t 沥青铀矿中提炼出 0.8g 纯净的“镭”（Radium），镭的放射强度比铀高几十万倍，同时，居里夫妇提出了“放射性物质”的概念。新西兰物理学家卢瑟福通过实验研究，发现了带正电的 α 射线和带负电的 β 射线；1900 年，法国物理学家维纳尔德发现了不带电的 γ 射线。据此，卢瑟福总结认为：从原子中发出的射线只有这三种，其中的 α 射线是电离后带正电的氦离子， β 射线是高速运动的电子， γ 射线是比伦琴发现的 X 射线穿透性更强的不带电的射线。后来，卢瑟福发现了放射性物质的衰变规律，并提出了“原子核”的概念。在伊雷娜·居里（居里夫人的女儿）夫妇、德国物理学家博物和英国物理学家查德威克的努力下，人们发现了中子，中子的发现，使人们找到了开启核能之门的钥匙。

用 α 射线轰击铍，可以轻而易举地得到中子。从 1934 年开始，意大利物理学家费米