



“十一五”规划教材
能源与动力工程系列教材

能源环境化学

编著 周基树 延 卫 沈振兴
杨树成 刘萍萍 梁继东



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



“十一五”规划教材
能源与动力工程系列教材

能源环境化学

编著 周基树 延 卫 沈振兴
杨树成 刘萍萍 梁继东



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

能源环境化学/周基树等编著. —西安:西安交通大学出版社, 2011. 2
ISBN 978-7-5605-3731-3

I. ①能… II. ①周… III. ①能源-应用化学②环境化学 IV. ①TK01②X13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 185915 号

书 名 能源环境化学
编 著 周基树 等
责任编辑 王 欣

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西元盛印务有限公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 26.5 字数 492 千字
版次印次 2011 年 2 月第 1 版 2011 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3731-3/K·107
定 价 38.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029)82665248 (029)82665249
投稿热线:(029)82664954
读者信箱:jdjgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前 言

本书内容涵盖了能源及环境的化学知识,是为学习能源、动力工程、环境工程、环境科学、化学工程等专业的本科学生编写的。重点兼顾能源与环境化学,以及相关科学的基本知识,包括有机物化学基础、化学平衡重点及应用、能源化学、能源及清洁煤工艺、石油化学、生物圈及生物质能、水及土壤化学、基本核化学及安全、大气化学及空气污染、光电化学概念及太阳能的转化等。本书以化学应用的知识为主,使相关专业的学生了解与掌握能源及环境方面的基础化学观念,并对新的发展动向有广泛的了解。正因为涉及的内容相当广泛,教师及学生宜掌握专业所需的重点来教导及学习,根据学生的程度及专业要求有所侧重与取舍,并通过参考资料及课外阅读来扩展视野,以达到通识教育的效果。尤其是,在新能源的发展及全球环保的动向方面,由于新的资料在不断推出,需要经常地跟踪和更新。在使用本书时,我们建议读者参读大学化学、能源科学及环境化学类的教科书,以进一步加强和理解相关的化学知识。

由于目前国内涵盖能源及环境的单本书籍还在萌芽阶段,本书在编写上的挑战相对是较大的,在内容的取舍方面因为篇幅的考虑,也难免有鱼和熊掌不能兼得的情况。由于能源环境相关知识的快速发展,本书提供了一些国内和国际的重要专业讯息网站,以便查考最新的发展资料。

本书的另一个特色是提供了较丰富的附录作为参考,包括常用的能源单位换算、日用化学品的特性及安全资料、重要工业化学品、各种燃料特性及热值、石油炼制工艺的英文介绍等。附录中有关实验室化学药品及安全使用的内容是为帮助学生进行相关实验及未来科研工作所提供的。为了提高学生对专业英语的熟悉程度,本书附加了能源环境英语相关的专有名词的注解,以及常用词汇英汉对照说明,作为课外阅读或进修之用。

编 者

2010年8月

目 录

第 1 章 能源环境化学及可持续性发展	(1)
1.1 世界能耗现状及展望	(1)
1.2 中国能源和环境资源的特征与挑战	(3)
1.3 中国能源形势和未来的可持续性发展	(5)
第 2 章 有机化学	(12)
2.1 概述	(12)
2.2 烃	(24)
2.3 卤代烃	(54)
2.4 醇(alcohol)、醛(aldehyde)、酮(ketone)、酸(acid)	(60)
2.5 酚(phenol)、醚(ether)、醌(quinone)	(73)
2.6 含氮有机物	(83)
2.7 含硫和含磷的有机化合物	(90)
2.8 碳水化合物	(94)
2.9 氨基酸与蛋白质	(104)
2.10 类脂化合物	(114)
2.11 杂环化合物	(118)
2.12 化学毒物(poison, toxicant)	(124)
第 3 章 化石能源	(133)
3.1 化石能源的化学成分	(133)
3.2 石油、天然气、煤的生产及消费	(135)
3.3 石油及天然气的生产与炼制	(138)
3.4 主要石油化学工业	(149)
3.5 炼油及石油化学工业的环保现状及需要	(152)
3.6 煤的使用及其对环境的影响	(153)
3.7 煤的加工、传统炼焦及水煤气工艺	(154)

3.8	煤液化技术	(165)
3.9	环保需要及煤化工业的规划	(165)
3.10	煤层气	(168)
3.11	能源环境政策	(170)
第4章	生物圈及生物质能	(172)
4.1	生物圈(biosphere)	(172)
4.2	生物质能的转化	(173)
4.3	有机废物的利用	(192)
4.4	我国生物质资源及利用	(193)
第5章	化学平衡	(198)
5.1	酸碱平衡(acid-base equilibrium)	(198)
5.2	沉淀平衡(precipitation equilibrium)	(216)
5.3	氧化还原平衡(oxidation-reduction equilibrium)	(224)
第6章	物质循环	(228)
6.1	物质循环的一般特点	(228)
6.2	碳循环	(231)
6.3	氮循环	(233)
6.4	硫循环	(236)
第7章	水化学及水圈	(240)
7.1	水圈	(240)
7.2	天然水的组成	(242)
7.3	天然水的化学特性	(245)
7.4	水污染	(253)
7.5	水资源管理技术	(258)
第8章	土壤环境化学	(270)
8.1	土壤概述	(270)
8.2	土壤特性	(275)
8.3	污染物在土壤-植物体系的迁移转化机制	(281)
8.4	土壤污染预防与控制	(285)

第 9 章 核化学概念、应用及安全	(288)
9.1 核化学的基本概念	(288)
9.2 核化学反应及应用	(289)
9.3 放射性污染及控制技术	(300)
第 10 章 大气污染与大气化学	(308)
10.1 大气圈的基本结构及大气成分	(308)
10.2 大气污染及其环境危害	(311)
10.3 大气含碳、氮和硫等化学成分的来源及其变化	(321)
第 11 章 光化学与太阳能	(341)
11.1 光化学概念	(341)
11.2 光化学定律	(341)
11.3 光子能量与化学键能的关系	(342)
11.4 光化学反应过程	(343)
11.5 大气中重要气体的光吸收	(346)
11.6 光化学烟雾	(349)
11.7 太阳能	(350)
11.8 光催化分解水制氢研究进展	(353)
附录 A 能量单位换算	(358)
附录 B 危险废弃物类型及其特性和处理方法	(362)
附录 C 中英文名称对照表	(371)
附录 D 能源环境化学方面英语重要单词定义表	(380)
附录 E 能源相关名词表	(393)
附录 F 标准还原电极电势(水溶液, 25℃)	(396)
附录 G 常用工业化学品中英文名称	(399)
附录 H1 各种燃料、电池单位热值及二氧化碳释放量比较	(401)
附录 H2 各种生物质燃料的单位热值及二氧化碳释放量比较	(404)
附录 I 石油炼制工业简史及工艺介绍	(406)

第 1 章 能源环境化学及可持续性发展

本章对世界与中国能源、环境现况与危机以及可持续性发展的各方面作了概括性的介绍。包括世界能耗现况及展望、中国能源和环境资源的特征与挑战,以及中国能源形势和未来的可持续性发展。

1.1 世界能耗现况及展望

在过去的 150 年里,世界能源主要来自化石能源:石油、天然气及煤需求上升了 20 倍(见图 1-1 和图 1-2)。能源危机和环境污染对全球产生了三个巨大影响。

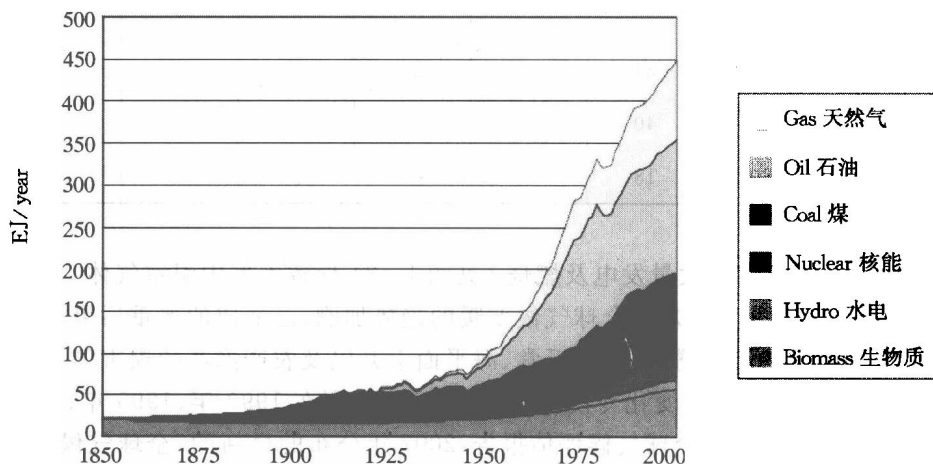


图 1-1 世界能耗在过去 150 年(1850—2000)增加了 20 倍(1EJ=10¹⁸J)

① 因为石油和天然气所占的比例是整个一次能源消耗量的一半以上(见表 1-1),其供应及短缺引起了全球性经济问题及地缘政治冲突。

②由化石能源的使用所导致的空气污染及酸雨的威胁,对都市居民健康、农业生产、土壤及水资源、人居环境和生态等造成了明显损害,并且其不良影响仍在扩

大之中。

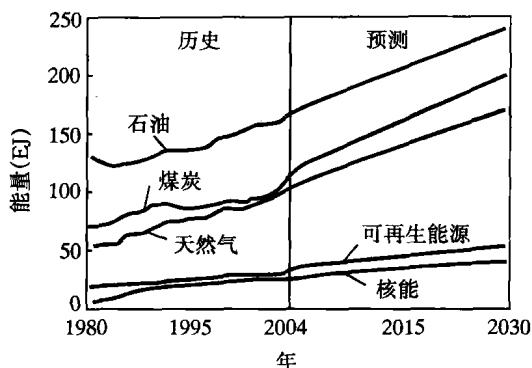


图 1-2 世界能源市场及来源分布 (EIA 2007 报告)
(EIA, 美国 Energy Information Administration 能源信息署)

表 1-1 世界一次能源或主要能源(primary energy)的使用量及来源分布

2005 年	一次能源/ EJ	石油/%	天然气/ %	煤/ %	核能/ %	水力发电/ %	生物质及 其他/%
世界	514	34	21	26	6	2	11
美国	106	40	24	25	8	1	3
中国	80	18	2	62	0.6	2	15

③ 化石能源用于大量发电及燃烧(见图 1-3)导致大气中温室气体二氧化碳的明显上升(见图 1-4),使全球气候变暖的趋势加剧,已造成的严重后果,包括水旱灾、大台风和热浪的增加、气候反常、海平面上升以及农产渔产的损害等。

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)分别在 1990 年、1995 年、2001 年和 2007 年发表了 4 份全球气候评估报告,2007 年公布的最新的《全球气候变化评估报告》指出,全球气候变暖已是毫无争议的事实,并预测从 2007 到 2100 年,全球平均气温上升最乐观的估计也将达到 1.8~4℃。全球气候变暖将给人类生存带来严重威胁,预计届时全球平均海平面将上升 14~44 cm,将有 11~32 亿人的饮水可能遇到问题,2~6 亿人将面临饥饿威胁,每年沿海地区 2~7 亿居民将可能遭受洪涝灾害。

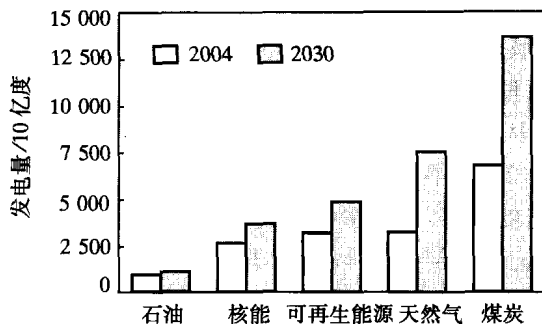
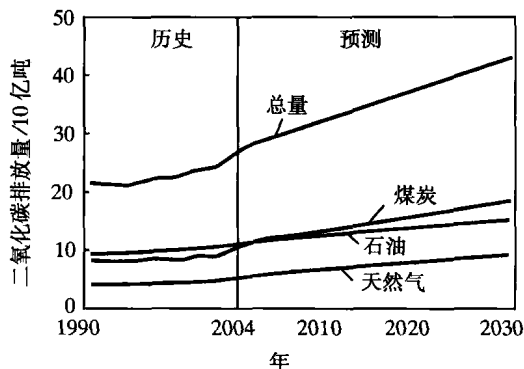


图 1-3 世界发电燃料来源分布图(EIA 2007 报告)

图 1-4 人为燃烧产生的二氧化碳增长趋势
(EIA 2007 报告)

1.2 中国能源和环境资源的特征与挑战

在经济和工业化的快速发展下,中国的人均能源和环境资源凸现出以下特点。这些特点制约着中国社会与经济的发展,但同时挑战与机遇也是并存的。

① 中国人均水资源仅为世界人均水资源的四分之一,长江以北及西部的土地占全国面积的 64%,水资源仅有全国的 19%。西北地区严重缺水,其总面积为全国面积的 35%,而水资源仅为全国的 4.6%。

② 有灌溉的农地比例偏低:中国耕种土地仅 40%有灌溉,生产四分之三的粮食及五分之四的经济作物。由于农田基本设施建设的落后,中国 18 亿余亩耕地中仅 2 亿亩有较为完备的灌溉设施,其余大部分土地要靠天吃饭。如果进口粮食、食用油和

饲料,则受国际市场价格影响甚大。供粮的安全是国家政策重要及优先的考虑。

③ 水资源在地域及时间分布上极不平均。水资源中约三分之二雨水成为洪水,因为70%的降雨量集中在短暂的雨季,其中大部分流失。而与此同时,部分地区缺水现象严重,如从1990年以来,部分黄河河段干涸期平均每年达107天。

④ 青藏高原约250万平方公里的地区自1980年以来均温上升 0.9°C ,冰川面积以每年约7%的速度减少,严重影响江河的水资源源头。

⑤ 国内有检测记录的河流50%受污染,90%以上的城市水体受污染,排放污水仅有四分之一经过处理达到排放标准。中国的出口工业结构能耗及水耗甚大,并集中在沿海地区。太湖及巢湖水质已被严重污染,在2007年发生湖中蓝藻暴长,引发居民饮用水供应问题。而水循环使用比例小于25%。

⑥ 我国能源效率约为31%,与先进国家相差10个百分点。据统计,中国八个高耗能行业的单位产品能耗平均比世界先进水平高47%,而这些行业的能源消费占工业能源消费总量的73%。中国房屋单位面积采暖能耗是同纬度国家的两倍,各类汽车平均百公里油耗比发达国家高20%以上。中国现今的能耗/GDP比值约为发达国家的4~9倍(见表1-2)。煤火力发电量即将超过美国。中国已在2007年超过美国成为二氧化碳第一排放大国。

表 1-2 能源消费量/GDP 比值

国家	中国	美国	日本	英国	法国
公斤油当量/GDP	1.43	0.38	0.16	0.29	0.23

⑦ 中国生物质能源的使用方法落后,浪费大,能效低。直接燃烧秸秆、树叶更造成城乡空气的严重污染。

⑧ 中国洁净能源如天然气生产及人均消耗均远低于发展中国家(见表1-3),核能所占比例也非常低(2%)。工商业及人口密集地区城市空气严重污染。

表 1-3 2005 年人口大国的化石能耗

国家	总能耗 EJ	相对人 均能耗 (以美国 为100%)	原油 消耗 EJ	原油 进口 MB/d	总发 电量 TWh	煤火 力发 电量	化石能 源产生 的CO ₂ MtC
美国	106	100%	42	12	4 200	50%	1 700
中国	80	17%	15	3.4	2 500	80%	1400
印度	28	7.1%	5	1.7	700	70%	300

⑨ 中国能源在 2008 年约 70% 以上来自煤炭,而 60% 的煤用于发电,其中大部分使用非洁净工艺,造成严重的空气和环境污染,对居民健康形成直接的威胁。煤产地多在华北及西北地区,而东部及东南沿海电厂密集的地区离产地远,以致煤炭运输对铁路交通的运力造成极大负荷,2008 年初的电煤紧张即为显著的例子。煤矿安全问题及其对产地居民的健康和居住环境的污染问题也日益突出。2008 年,全国 6 000 千瓦及以上发电生产设备容量为 72 639 万千瓦,其中水力发电 13 576 万千瓦 (18.7%),火力发电 57 318 万千瓦 (79%),核电量 885 万千瓦 (1.2%)。根据英国石油公司《BP 世界能源统计 2008》显示,中国在 2007 年的能源消费增长率为 7.7%。表 1-4 列出了未来 20 年全世界煤火力发电的发展趋势。从表中可以看到,未来 20 年中,全世界的煤火力发电将增加一倍,这将消耗大量煤碳资源,如果不采用洁净的煤利用工艺,将会对环境造成极其严重的破坏,需要引起我们的高度关注。

表 1-4 煤、火力发电容量的估计
(至 2030 年,单位:GWe)

年份	美国	中国	印度	世界
2003	310	239	67	1 120
2010	319	348	95	1 300
2020	345	531	140	1 600
2030	457	785	161	2 000

(EIA 2006 报告)

⑩ 从能源及水源的经济结构来看,取暖费、电费和 water 费皆偏低,人们普遍缺乏节水节能的意识,付费结构对节水节能缺少鼓励性。建设资源节约型社会需要节能建筑及人民的节能意识,但现在中国的节能建筑大约不到 5%,而且居民节能意识落后。我国每年建筑增长量为 16~20 亿平方米,节能建筑及节能使用亟需达到大量降低能耗的目标。

1.3 中国能源形势和未来的可持续性发展

自 1977 年以来,中国经济的快速发展是以资源的高消耗和环境的严重破坏为代价的。在 GDP 提升以后,这种粗放的结构已不能使经济持续健康发展,能源对经济的良性发展已构成严重制约。为此,“十一五”发展目标有两个最重要的指标:一是人均国内生产总值 2010 年要比 2000 年加倍;二是单位国内生产总值能源消耗比“十五”期末降低 20%。基于中国能源资源形势和世界对新型能源的

研究开发现状,中国能源利用应致力于能源利用的多样化和高效化,同时在产业结构上需要降低高能耗的产业比例。

由社会科学文献出版社出版的《中国能源发展报告(2009)》指出,能源资源总量少、人均占有量低是中国能源供应前景堪虞的主要表现之一。蓝皮书显示,中国能源资源总量约为世界的10%,人均资源量为世界平均水平的40%;另一个表现则是优质资源少,保证程度低。中国煤炭剩余储量的保证程度不足100年;石油剩余储量的保证程度不足15年;天然气剩余储量的保证程度不足30年。而世界平均水平分别为230年、45年和61年。以上能源资源保证程度是以中国目前的能源消费量计算的,如果按照2020年的能源需求预测量估算的话,煤炭、石油和天然气的资源保证程度,则将分别下降到30年、5年和10年。在传统能源不能满足中国经济发展的情况下,中国必须要寻找替代能源,发展新能源和可再生能源。

中国主要的储藏及使用能源资源是煤炭和石油,二者占能源总消耗约80%以上。生物质、水力发电及天然气次之。煤层气、核能、太阳能和风能所占比例很小(如表1-1)。

1. 煤炭

我国煤炭储量丰富,按目前的开采规模,可供开采百年以上。但煤炭开采最大的问题一是浪费严重,二是环境成本巨大。据载,国有煤矿每采出1吨煤平均要动用2.5吨的煤炭储量,损耗2.5吨的水资源。以煤炭大省山西为例,每年挖5亿吨煤,就使约12亿立方米水资源受到破坏,相当于山西省引黄工程的总引水量。平均每生产1亿吨煤造成水土流失影响面积约245平方公里。2002年以来,山西省煤炭开采每年造成的资源浪费、环境污染、生态破坏及地表塌陷等损失超过300多亿元,即每生产1吨煤的代价超过70元。1980—2004年,山西省煤矿安全事故死亡17000多人。20年中累计排放烟尘达1743万吨,地下采空区已达2万多平方公里,占山西省面积的七分之一。已经发生地质灾害的土地面积达6000平方公里。如果再加上煤炭燃烧过程中对环境的污染,煤炭利用成本更高。这样的状况对中国的经济持续健康发展及国民健康造成了很大的损失。环境品质及持续提供其功能往往具有不可逆性,破坏之后很难修复。所以中国今后必须限制煤炭过度开采以及不合理的开采,降低煤炭在能源消费结构中的比例,积极推进清洁煤技术,以缓解煤炭对环境的污染和破坏。

2. 石油

2005年石油生产为全国能源产量的18%(折合为标准煤)。中国已探明石油储量有限,对外依存度逐年加大,受国际原油市场波动和国际政治局势影响较大。据估计,全国石油可采资源总量200亿吨左右。在世界石油剩余可采储量中中国

占 2.1%。1993 年中国开始成为石油净进口国,石油进口量逐年增加,2005 年进口原油超过 1 亿吨。当年中国原油产量同比增长 2.9%,而消费量同比增长 16.8%,产量增长远落后于消费增长。而到了 2008 年,我国原油进口量已达 1.89 亿吨。近年来油耗大的公务车浪费严重,应受到制约以示政府的节能决心。

3. 天然气

天然气为最清洁的化石能源,天然气替代煤炭具有巨大的环保作用,但中国天然气开发及利用水平较低。据有关方面统计,2005 年在传统能源的生产总量中,天然气占 2%,而世界平均值为 21%。所以,今后中国应提高天然气的开发和利用水平及天然气在能源消费中的比例。从中亚及俄罗斯的陆上管线及海上输入液化天然气以供应主要都市的能源需求亦成为发展的趋势。

4. 煤层气及焦炉煤气

煤层气是一种与煤炭相伴生的以甲烷为主要成分的气体,也称为瓦斯,其燃烧值与天然气相当。有效利用煤矿瓦斯,既可以缓解能源紧张,又有助于环境保护,还可以降低煤矿安全事故。中国埋藏深度 2 000 米以内的煤层气地质资源总量为 34 万亿立方米,与天然气资源量相当,居世界第三位。焦炉煤气为炼焦生产的副产物,但往往未实现综合利用而直接排空,形成极大浪费。举例来说,作为煤炭大省,山西煤层气、焦炉煤气资源丰富,但目前清洁高效利用的步伐缓慢,不利于资源利用和节能减排。目前,山西全省每年因采煤排放的煤层气(瓦斯)约 60 亿立方米,价值达 100 亿元,但年利用率不足 10%;同时在焦炭生产过程中,山西省每年仍有大量(约 70 亿立方米)的焦炉煤气未实现综合利用而直接排空。

5. 水电

中国水力发电从 1978 年到 2001 年,年发电量增加了 4 倍多。但相对于中国水利能源总量,这个比例仍然很低。在水能利用方面,中国不论在技术上还是在规模上都处于世界前列,而且仍具潜力。根据初步完成的《可再生能源中长期发展规划》,到 2020 年,水电总装机容量将达到 2.9 亿千瓦,开发程度达到 70%左右。

6. 核电

中国铀矿资源相对来说比较丰富,中国大可以进一步发展核电。在世界局势缓和以及科学技术提高的背景下,核能已经成为一种高效、比较安全、不产生温室气体和一般空气污染物的能源,世界各国近年来都在大力发展。全球核电发电量占有发电量的 17%;美国 103 个核电机组,占其总发电量的 19%;法国 59 台机组,占其总发电量的 80%;日本核电发电量占总发电量的 $\frac{1}{3}$,韩国占 28%。而我国迄 2008 年五月已投产核电装机容量约 900 万千瓦,占电力总装机的 1.3%,比例

很低。在 2007 年底,国家批准了《核电中长期发展规划》,到 2020 年,核电运行装机容量争取达到 4 000 万千瓦,届时,我国核电装机容量将达到全国电力总量的 5%左右,在建核电容量应保持 1 800 万千瓦左右。现有的核电中长期发展规划还可能根据需要进一步修改提高。

在 2006 年底,我国与美国西屋公司签署先进三代核电 AP1000 的合作及技术转让合作备忘录;2007 年,国家核电技术公司正式成立,其使命是通过对 AP1000 技术引进、消化、吸收以及再创新,最终形成中国自主品牌的三代核电技术;2008 年,浙江三门、山东海阳两个自主化依托项目工程相继动工。全球首座最先进三代核电站将在我国建成。

7. 可再生能源

可再生能源是人类能源的未来希望。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。这类能源可再生,用之不竭,又有利于环保。各能源消费大国,甚至产油国均越来越重视这类能源的研究、开发及利用。随着技术进步和规模扩大,可再生能源开发利用的成本将会逐步降低,对煤炭、石油等传统能源的替代会越来越大。据《21 世纪可再生能源政策周刊》2008 年的报告显示,全球可再生能源使用量每年的增速都大于 10%。报告指出,2007 年除了大型的水电以外,全球可再生能源的发电能力已达到 2 370 亿瓦,比前年增长了 15%,约占世界总发电能力的 5.5%。其中,风能发电能力及太阳能发电能力增长最快。在非电用途的可再生能源中,生物乙醇产量增长了 16%,达到 116 亿加仑(1 加仑=3.785 升);而生物柴油产量增长了 $\frac{1}{3}$,超过了 20 亿加仑。到 2015 年,全球使用可再生能源的人口可能达到 10 亿。

以下以各发达国家为例子加以说明。

日本政府制定的目标是,要求到 2010 年可再生能源供应量和常规能源的节能量要占能源供应总量的 10%,2030 年分别达到 34%。目前日本风力发电量居世界第三位,到 2010 年将达到 200 万千瓦。

德国 2004 年明确提出,到 2020 年使可再生能源发电量占总发电量的 20%;能源长期的目标是,到 2050 年一次能源的总消费量中可再生能源至少要供应 50%。德国风力发电占可再生能源发电量的 54%,满足全国 4%的用电需求,占全世界风能发电量的 $\frac{1}{3}$ 。欧盟及法国到 2010 年可再生能源发电比例计划将达到 22%;英国到 2010 年将达到 10%,2020 年达到 20%;丹麦目前风能发电比例已达到 20%,而且还在继续发展。法国制定了在 2010 年,全国可再生能源生产应占全国能源生产 10%的目标。澳大利亚到 2010 年可再生能源发电比例将达到 12.5%;

美国能源部产业研究室最新研究预测,美国到2030年风力发电将从现在的1%增加到20%。如果风电达到20%的份额,到2030年,天然气消耗将可能减少11%,煤炭消耗可能减少18%,碳排放量有望每年减少8.25亿吨。这相当于1.4亿辆汽车的年排放量。

中国可再生能源资源丰富,在今后20~30年内,具备开发利用条件的可再生能源预计每年可达7亿~8亿吨标准煤。到2020年,我国除水电以外的可再生能源所占比重将争取从目前不足5%提高到15%左右,且主要依赖太阳能及风能。生物质能年利用量仅占一次能源消费量的1%。

在风力方面,据国家发改委提供的数据,截至2007年底,中国风电装机累计已达到605万千瓦,在建的风电装机420万千瓦,其风电规模已居世界第五位。2008年中国风力发电装机将达到1000万千瓦,2010年有望达到2000万千瓦,力争2020年风电装机规模达到3亿千瓦左右。我国目前尚未完全掌握大型风力发电机的核心技术,国内生产大型风电的技术要赶上欧洲先进国家的水平还有很长的路要走。中国陆地及近海的风力资源是可观的,发展风电能源大有可为。

在太阳能利用方面,我国太阳能热水器保有量现已达到9000万平方米,覆盖4千多万户家庭约1.5亿人,在规模上居世界第一。目前,中国光伏电池效率达到21%,其中可商业化光伏组件效率为14%~15%,一般商业化电池效率为10%~13%。目前我国可能将比预计的2016年提前成为世界第一大光伏电池生产国家,但太阳能光伏的原料多晶硅产能过剩以及生产过程的环境污染是近年的一个大问题。

可再生能源成本的估算至关重要。表1-5的估计显示出各个可再生能源的潜力及发电成本的可能范围。北美最大的风电涡轮机制造商GE公司估计风电正在成为主流能源。目前风电成本大约在每千瓦时8~10美分之间,太阳能发电仍然太高,超过30美分/千瓦时。而煤炭和燃气及核能发电的成本在5~10美分之间。

表1-5 可再生能源成本现状及未来趋势的估计

技术	交钥匙投资成本 /美元	目前能源成本 /(美分/度电)	未来可能能源成本 /(美分/度电)
生物质发电	900~3 000	5~15	4~10
生物质供热	250~750	1~5	1~5
乙醇		8~25 美元/GJ	6~10 美元/GJ
风电	1 100~1 700	5~13	3~10

续表 1-5

技术	交钥匙投资成本 /美元	目前能源成本 /(美分/度电)	未来可能能源成本 /(美分/度电)
光伏发电	5 000~10 000	25~125	6~25
太阳热发电	3 000~4 000	12~18	4~10
低温太阳热	500~1 700	3~20	3~10
大型水电	1 000~3 500	2~8	2~8
小型水电	1 200~3 000	4~10	3~10
地热发电	800~3 000	2~10	1~8
地热供热	200~2 000	0.5~5	0.5~5
潮汐能	1 700~2 500	8~15	8~15
波浪能	1 500~3 000	8~20	不清楚

8. 天然气水合物

天然气水合物也称甲烷水合物,俗称“可燃冰”,是近年来在海底和冻土带发现的新型洁净能源。它是甲烷分子和水分子在一定的温度和压力条件下相互作用所形成的冰状的可以燃烧的固体。据估算,世界上天然气水合物所含有机碳的总资源量相当于全球已知煤、石油和天然气的 2 倍。国土资源部于 2009 年 9 月公布,我国在青海省祁连山南缘永久冻土带(初略估算),可燃冰的远景资源量至少有 350 亿吨油当量。我国是世界上第三冻土大国,冻土区总面积达 215 万平方公里,具备良好的天然气水合物储存条件和资源前景。可燃冰的开采面临两个问题:一是效益问题,即开采的经济价值;二是技术及环保问题。由于甲烷是一种可以导致气候变暖的物质,其温室效应是二氧化碳的 20 倍以上。如果在空气中扩散,将造成严重后果。所以,目前来看天然气水合物仍只是一种未来有潜力的能源。

9. 未来展望

中国国家能源局 2008 年的报告显示,未来中国要解决能源问题,科技创新是根本途径。2008~2030 年,科技研究与开发重点的趋势是在以下三方面:

- ①煤炭的清洁高效利用;
- ②能源结构多样化,使可再生能源由辅助走向主流;
- ③提高能源系统总效率,包括采集、转化、终端利用效率。

因为中国一次能源人均占有率较低;能源消费随经济发展而迅猛增长;以煤为主的能源结构短期难以改变;生态环境及缺少水资源的压力明显增大——这些仍