

XINNENGYUAN ZHUANHUAN YU KONGZHI JIS

新能源转换与控制技术

惠 晶 主 编
方光辉 副主编



TN712/3

2008

新能源转换与控制技术

惠晶 主编

方光辉 副主编

颜文旭 参编

石晨曦 参编

机械工业出版社

大力开发和利用新型清洁能源,减少大气污染和温室效应,已成为衡量一个国家可持续发展的重要指标。本书将新能源转换技术、电力电子技术和控制技术有机结合在一起,围绕目前国际社会综合利用新能源的研究热点,重点介绍几类具有良好应用前景的新能源变换及控制技术。本书主要包括:以可再生能源为代表的新能源的分类、应用现状与发展前景,电力电子变换和控制基础知识,风能和风力发电与控制技术,太阳能和光伏发电与控制技术,天然气和燃气发电与控制技术,生物质能及发电与控制技术,水能和新型小水电应用与控制技术,海洋能及发电与控制技术,其他新能源转换与控制技术等。全书共9章。

本书适用于电力工程专业、电气工程及其自动化专业、自动化专业及其相关专业的本科生作为教材。对从事电能变换与控制技术的广大工程技术人员也是一本较为系统完整的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新能源转换与控制技术/惠晶主编. —北京:机械工业出版社, 2008.2
ISBN 978-7-111-22869-1

I. 新… II. 惠… III. 电能-变换器-高等学校-教材 IV. TN712

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第178838号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:于苏华 责任校对:张晓蓉

封面设计:陈沛 责任印制:李妍

北京富生印刷厂印刷

2008年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·20.5印张·1插页·505千字

标准书号:ISBN 978-7-111-22869-1

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379728

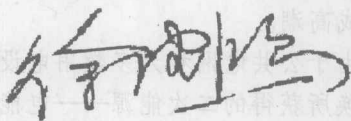
封面无防伪标均为盗版

序

新能源是未来人类解决能源与环境问题的钥匙，21 世纪将是人类大规模开发利用新能源的关键期。我们可以预见 21 世纪也是围绕新能源的技术革命和产业高速发展期。新能源技术是一个涉及电气、动力、材料、控制、电子、计算机、信息等多个学科的交叉高新技术。为了推动新能源技术的发展，目前，急需加紧新能源技术的知识的传播和相关人才的培养。国内外部分大学已将新能源技术作为工学部学生的课程，这是一个很好的尝试。

惠晶教授主编的《新能源转换与控制技术》一书，其特色是将新能源转换技术、电力电子技术和控制技术有机结合，从系统的角度加以阐述。以具有电气工程或自动化方面的基础知识的读者为对象，比较系统、全面地介绍了新能源变换及其控制技术，包括风力发电、光伏发电、燃气发电、生物质发电、小水电、海洋能发电等；书中深入浅出地介绍了几种重要的新能源的存在形式，新能源的获取与转换方法及其综合利用前景；分析了利用新能源发电的主要制约因素，并对书中叙述的几类新能源转换与发电应用作了经济技术性评价。该书是一本系统了解新能源发电技术的基础入门书。

感谢《新能源转换与控制技术》一书的全体作者付出的辛勤劳动，面向国家和社会的需求，克服新能源涉及多学科交叉学问中的困难，为大学奉献了一本很好的书籍。



浙江大学

前言

新能源是指技术上可行,经济上合理,环境和社会可以接受,能确保供应和替代常规化石能源的可持续发展能源体系。广义化的新能源包括两个方面:①新能源体系,包括可再生能源(风能、太阳能、生物质能、水能、海洋能)和地热能、氢能、核能;②新能源利用技术,包括高效利用能源、资源综合利用、替代能源、节能等新技术。自20世纪90年代以来,由常规能源供给紧张带来的“新能源”讨论,早已超出了技术范畴,上升为经济和战略安全命题。近年来,国际社会正是受到不断升高的化石能源价格刺激,加大了对新能源转换与控制技术的研究、开发和利用工作。

新能源转换作为一门涉及多学科的新兴技术,已日益受到国际社会的青睐。据“21世纪可再生能源策略网(REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century)”提供的数据:截至2004年,全球可再生能源总发电量(不含大水电)达到160GW(1GW=10亿W),占全球发电总量的4%。目前,全世界已至少有48个国家,制定了各种可再生能源促进政策,其中包括将可再生能源作为一次能源,通过物理或化学变换,获得优质、清洁的二次能源——电能。到2005年,已有32个国家和5个地区,施行了强制上网政策。随着我国“十一五”规划、《中华人民共和国可再生能源法》、《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》等纲领性文献、政策和法规的相继出台,我国新能源利用在未来20年必将成为形成高潮。

由于公共电网和大多数用电设备对电能的形式和质量有严格要求,因此对将通过新能源转换所获得的二次能源——电能进行再变换、控制和并网调配,使之成为用户可直接利用的优质、高效、清洁的终端能源,最大限度地满足电网和终端用户的需求。本书将新能源转换与控制技术有机地结合起来,重点研究、讨论了新能源转换的原理、电源变换及控制技术。

本书是一本综合性较强的工科教材,内容的选取原则是,以技术相对成熟、发展前景较好、具有可实施性的新能源(包括可再生能源)发电技术为主线,力图全面、系统、完整地讲述近年来国内外的重点发展、热点研究的各种新能源的特点、形式与结构,各类新能源的发电原理、能量变换效能和利用率;以电力电子变换与控制技术为核心,分类描述对各种形式的电能实现变换与控制的方法,使之既能保证不同用户(负载)对电能的直接需求,又能满足将富裕电能回馈电网,实现并网供电。

目前,国内外虽已有多种版本的可再生能源利用的专著面世,但鉴于新能源利用涉及的能源种类繁多,应用规模和水平较低,许多技术尚不成熟的特点,至今尚缺一本能兼顾各类新能源转换与控制技术的综合性教材。在高等教育课程体系改革、专业课时大幅度压缩的情况下,作者在教学实践中也切身感到十分需要一本较为系统全面、综合性、专业性强的相关教材,这些正是编写本书的初衷。

本书共分9章,第1章新能源转换与控制技术导论,概括性地介绍了能源储备与可持续发展战略的关系、新能源的主要分类与基本特征、典型发电—电源变换系统的结构,还归纳

了新能源转换与控制技术的经济意义。为方便非电气工程类学生和广大专业爱好者阅读本书,特编写第2章电源变换和控制技术基础知识,主要介绍了4种常用电力电子器件,归纳了AC—DC、DC—DC、DC—AC、AC—AC等4种典型变换电路和级联变换电路、功率器件的驱动与保护、新能源转换与控制技术的主要应用领域,作为本书预备知识和选教内容。第3章风能、风力发电与控制技术,重点介绍风力发电及工作原理、风电机组的控制策略、并网技术和功率补偿,以及风电的经济技术性评价。第4章太阳能、光伏发电与控制技术,主要介绍了太阳能的转换与应用,光伏发电原理、光伏阵列MPPT发电与控制技术,并网逆变器的结构与控制策略,光伏发电的制约因素与经济技术评价。第5章生物质能的转换与控制技术,主要介绍生物质能的开发利用与应用前景,生物质能发电,沼气、垃圾焚烧、生物质液化制燃料油发电技术,电能的变换与控制策略,生物质能发电的经济技术评价。第6章天然气、燃气发电与控制技术,介绍天然气的综合利用与开发,小型、微型燃气轮机发电机组工作原理,燃气发电机组的电能变换与控制,并网运行与控制策略,经济技术评价。第7章水能、小水利发电与控制技术,介绍小水轮发电机组的构成、工作原理,新型发电机组自动控制系统,无功电力补偿和微机集散控制系统与远程通信,小水电并网运行的远程监控与SCADA系统,小水电的经济技术性评价。第8章海洋能利用与发电技术,主要介绍海洋能的分类与利用,潮汐能、海流能、温差能、盐差能的发电原理及应用,海洋能源的转换与资源评价,海洋能的利用前景与制约因素。第9章其他新能源的发电与控制技术,分别介绍了氢能、空气能、地热能、核能的开发,以及能—电转换与利用技术、能源利用的制约因素与发展。

为便于部分读者的学习,书中引入第1章新能源转换与控制技术导论,第2章电力电子技术基础知识,并在各章简略介绍了相关新能源的背景知识,这些内容可以在课堂教学中选取讲述。本书所选内容以48学时为宜,如采用多媒体教学,可提高教学效率,建议安排44学时。

本书可作为高等学校工科电气信息类电力工程专业、电气工程及其自动化专业、自动化等专业的新能源转换与控制技术选修课程教材。同时,也希望本书成为从事新能源转换、能源管理及其应用的专业技术和管理人员获得所需专业知识的读本。

本书由惠晶担任主编,方光辉担任副主编。第1、2章和第6章由惠晶编写,第3、7章由方光辉编写,第4、5章由颜文旭编写,第8、9章由石晨曦编写,全书由惠晶统稿。本书在编写过程中还得到沈锦飞教授的帮助,研究生崔冬明、周小荣等也参加了收集资料、辅助编写与书稿整理工作,在此对所有参编人员和审稿专家表示衷心感谢。同时,还要向书中所附参考文献的作者致以衷心感谢。

由于时间仓促及水平所限,书稿难免存在疏漏、错误,殷切期望采用本教材的师生和专业人员批评、指正。

作者

目 录

序

前言

第1章 新能源转换与控制技术导论 1

1.1 能源储备与可持续发展战略 1

1.1.1 中国的能源结构与储备 1

1.1.2 中国的可持续发展战略 3

1.2 能源的分类与基本特征 4

1.2.1 能源的分类 4

1.2.2 能源的基本特征 5

1.2.3 新能源及主要特征 5

1.2.4 分布式能源及主要特征 7

1.3 新能源发电——能源转换的重要形式 9

1.3.1 新能源发电技术的应用 9

1.3.2 我国新能源发电的现状 10

1.3.3 新能源发电及电源变换系统的典型结构 10

1.4 新能源转换与控制技术的经济意义 21

1.4.1 能源是经济发展的引擎 21

1.4.2 新能源转换的经济意义 23

本章小结 26

第2章 电源变换和控制技术基础知识 28

2.1 电力电子器件及应用 28

2.1.1 电力电子器件的概念和特征 28

2.1.2 电力电子器件的分类 28

2.1.3 不可控器件——电力二极管 29

2.1.4 半控型器件——晶闸管 30

2.1.5 电力场效应晶体管——电力 MOSFET 31

2.1.6 绝缘栅双极型晶体管——IGBT 33

2.2 AC—DC 变换电路 34

2.2.1 二极管整流器——不控整流 34

2.2.2 晶闸管整流器——相控整流 35

2.2.3 PWM 整流器——斩波整流 36

2.3 DC—DC 变换电路 39

2.3.1 单管不隔离式 DC—DC 变换器 39

2.3.2 隔离式 DC—DC 变换器 40

2.4 DC—AC 变换电路 43

2.4.1 常用的 DC—AC 逆变器 43

2.4.2 DC—AC 逆变器的分类 44

2.4.3 逆变器的参数计算 45

2.5 AC—AC 变换电路 47

2.6 多级复合形式的变换电路 49

2.7 半导体功率器件的驱动与保护电路 51

2.7.1 晶闸管触发驱动器 51

2.7.2 IGBT 和 MOSFET 驱动器 52

2.7.3 功率器件的保护电路 59

本章小结 62

第3章 风能、风力发电与控制技术 63

3.1 风的特性及风能应用 63

3.1.1 风的产生 63

3.1.2 风的特性与风能 63

3.1.3 风能的应用 67

3.2 风力发电机组及工作原理 68

3.2.1 风力发电机组的结构及分类 68

3.2.2 风力发电机组的工作原理 69

3.2.3 风力机 70

3.2.4 风力发电机 73

3.3 风力发电机组的控制策略 81

3.3.1 风力发电的特点及控制要求 81

3.3.2 并网型风力发电机组的功率调节控制 83

3.4 风力发电机组的并网运行和功率补偿 101

3.4.1 风力同步发电机组的并网运行和功率补偿 101

3.4.2 风力异步发电机组的并网运行和功率补偿 104

3.4.3 风力双馈异步发电机组的并网运行和功率补偿 107

3.5 风力发电的经济技术性评价	107
3.5.1 风力发电的经济性指标	107
3.5.2 影响风力发电经济性的主要因素	109
本章小结	110
第4章 太阳能、光伏发电与控制技术	112
4.1 太阳的辐射及太阳能简介	112
4.1.1 太阳简介	112
4.1.2 太阳辐射	114
4.2 太阳能的转换与应用	116
4.2.1 太阳能应用的发展史	117
4.2.2 太阳能的技术应用	119
4.3 太阳电池与光伏发电原理	125
4.3.1 太阳电池	126
4.3.2 太阳能光伏发电的原理	130
4.4 MPPT 光伏阵列发电的变换与控制技术	135
4.4.1 光伏阵列的组成与输出特性	135
4.4.2 MPPT 光伏阵列发电的变换	139
4.4.3 MPPT 光伏阵列发电的控制技术	142
4.5 光伏阵列并网逆变器的结构与控制策略	149
4.5.1 光伏阵列并网逆变器的结构	149
4.5.2 光伏阵列并网逆变器的控制策略	152
4.6 光伏发电的制约因素与经济技术评价	155
本章小结	157

第5章 生物质能的转换与控制技术	158
5.1 生物质能简介	158
5.1.1 生物质能的概念	158
5.1.2 生物质能在能源系统中的地位	159
5.1.3 生物质能存在的形式	159
5.2 生物质能源的开发利用与应用前景	160
5.3 生物质能的发电及应用	164
5.3.1 沼气发电、电能变换与控制策略	164

5.3.2 垃圾焚烧发电、电能变换与控制策略	176
5.3.3 生物质直接液化制燃料油发电技术	184
5.4 生物质能发电的经济技术性评价	188
本章小结	189
第6章 天然气、燃气发电与控制技术	190
6.1 天然气水合物的形成与物理化学性质	190
6.1.1 天然气水合物	190
6.1.2 天然气水合物的形成	190
6.1.3 天然气水合物的物理化学性质	191
6.2 天然气的综合利用和发展前景	193
6.2.1 天然气的综合利用	193
6.2.2 天然气发电的环境价值	195
6.2.3 天然气的发展前景	196
6.3 小型燃气轮机发电机组	198
6.3.1 小型燃气轮机的原理及用途	198
6.3.2 小型燃气轮机发电的主要形式	199
6.3.3 小型燃气轮机发电机组的应 用前景	201
6.4 微型燃气轮机发电机组	203
6.4.1 微型燃气轮机的发展与现状	203
6.4.2 微型燃气轮机的性能和优缺点	204
6.4.3 微型燃气轮机发电机组的工 作原理	205
6.5 燃气发电机组的电能变换与控制	206
6.5.1 微型燃气发电机组控制与电源变 换系统	206
6.5.2 微型燃气发电机组电网供电 及控制	210
6.6 燃气发电机组的并网运行与控制策略	210
6.6.1 DC—AC 变换低频并网逆 变技术	211
6.6.2 DC—AC/AC—DC—AC 三级变换高 频环节并网逆变技术	213
6.6.3 燃气发电机组高频环节并网逆变的 控制策略	216
6.7 燃气发电机组的经济技术性评价	217
6.7.1 燃气发电机组的经济性比	

比较分析	217
6.7.2 燃气发电机组的经济技术可行性评价	219
本章小结	221
第7章 水能、小水力发电与控制技术	222
7.1 水能及水力资源的特点	222
7.1.1 水能及水力资源	222
7.1.2 水力资源的特点	223
7.2 水力发电	223
7.2.1 水电站的分类	224
7.2.2 水电站的组成	224
7.2.3 小水电	226
7.3 小水轮发电机组的构成及工作原理	227
7.3.1 水轮机	228
7.3.2 水轮同步发电机	234
7.4 小水电新技术及应用	236
7.4.1 小水电新技术概述	236
7.4.2 水轮发电机组的自动控制系统	237
7.4.3 同步发电机自动励磁控制系统	246
7.4.4 无功功率补偿技术及装置	254
7.4.5 水轮同步发电机组的并网技术	260
7.5 小水电站的计算机监控与SCADA系统	265
7.5.1 小水电站的计算机监控	265
7.5.2 监控和数据采集系统	268
7.6 小水力发电的经济技术性评价	269
7.6.1 小水力发电的经济技术性评价概述	269

7.6.2 小水力发电的经济性评价	270
本章小结	272
第8章 海洋能利用与发电技术	273
8.1 海洋能简介	273
8.2 海洋能的分类与利用	274
8.2.1 海洋能的分类	274
8.2.2 潮汐能发电原理及应用	278
8.2.3 海流能发电原理及应用	282
8.2.4 波浪能发电原理及应用	284
8.2.5 海洋的温差能、盐差能发电原理及应用	288
8.3 海洋能的发电与资源评价	292
8.4 海洋能的利用前景与制约因素	294
本章小结	295
第9章 其他新能源的发电与应用技术	296
9.1 氢能及氢燃料电池发电与应用技术	296
9.1.1 氢能简介	296
9.1.2 氢燃料电池发电与应用技术	298
9.2 空气能发电与应用技术	303
9.3 地热能发电与应用技术	304
9.3.1 地热能概述	304
9.3.2 地热能发电	306
9.4 核能发电与应用技术	309
9.4.1 核能概述	309
9.4.2 核能发电	311
本章小结	313
参考文献	314

第1章 新能源转换与控制技术导论

新能源利用包括可再生能源(风能、太阳能、生物质能、水能、海洋能)和地热能、氢能、核能转换及利用新技术(高效利用能源、资源综合利用、替代能源、节能等新技术)。可再生能源是重要的新能源组成形式,是自然界中可以不断再生、永续利用、取之不尽、用之不竭的初级资源。科学、高效地利用可再生能源,提高能源的综合利用效率,是保障人类社会可持续发展的可靠途径。新能源转换与控制技术涉及:①利用可再生能源和清洁能源发电,以便持续获得二次清洁能源——电能;②对电能通过变换与控制,满足高质量的终端能源消费需求和电力的高效管理。

1.1 能源储备与可持续发展战略

1.1.1 中国的能源结构与储备

近二三百年来由于人类对化石能源的过度依赖,致使化石类能源面临日益枯竭的危机。对于人类未来能源可持续供应来说,必须重新进入利用新能源和节约能源的时代。中国是一个拥有13亿人口的国家,人均各种资源的占有率都远远低于世界平均水平。随着中国经济的高速发展和对外开放的进一步深入,在政治、经济社会各个领域的发展与变化都会成为全世界关注的焦点。自20世纪90年代以来,中国的能源改革与发展,特别是能源的可持续供应问题,以及可能给世界能源形势带来的影响,一直是世界各国特别是发达国家争论的议题。深入研究和解决利用新能源带来的一系列科学技术问题 and 经济性能问题,是我国当前能源储备与可持续发展战略的当务之急。

1. 中国的能源结构

中国是一个能源大国,在能源结构中煤炭储量最为丰富,已标明的煤炭保有储量超过1万亿t,可采储量在1800亿t以上,仅次于俄罗斯、美国,位居世界第三。再加上地下1500m以内的深层资源,总量估计可达5万亿t。因此,煤炭是我国分布最广、最为丰富的矿物资源。但是,中国又是一个能源贫国,中国的人均能源资源占有量为全世界人均水平的1/2,仅为美国人均水平的1/10。而且,在能源结构的组成中,75%以上是煤,在常规化石能源中,煤炭资源占90%以上。

从传统的一次能源消费与开采情况看,中国是世界上最大的煤炭生产和消费国,占世界煤炭产量的1/4。依据2005年我国能源消费与开采量测算:中国一次能源开采总量约为12.3亿t标准煤,其中煤炭达7.85亿t标准煤,占63.83%;石油达2.31亿t标准煤,占18.78%;天然气达0.73亿t标准煤,占5.96%;水电、核电达1.40亿t标准煤,占11.43%。一次能源消费总量约为13.02亿t标准煤,其中煤炭达7.50亿t标准煤,占57.58%;石油达3.43亿t标准煤,占26.34%;天然气达0.73亿t标准煤,占5.62%;水电、核电等达1.31亿t标准煤,占10.46%。与此同时,2005年我国人均石油可采储量不到3t,人均天然气可采储量为1000m³左右,人均煤炭可采储量为90t左右,分别为世界平均值

的 11.1%、4.3% 和 55.4%。从这 3 组数据可以看出, 中国的能源结构仍是以煤为主, 煤多油少是中国能源储存结构的基本特点, 这种结构到今后 20 年, 甚至到 21 世纪中叶, 我国以煤为主的能源结构将不会改变, 煤炭仍将是当前和今后中国能源的一个最重要的组成部分。

另一方面, 由于传统的燃煤方式和煤炭加工过程不可避免的会产生大量的污染物, 必将导致严重的大气污染、酸雨和水质污染, 会直接破坏生态环境与自然植被, 特别是以煤为主要能源的动力燃料的消耗, 每年我国电站锅炉、工业炉窑与工业锅炉, 仅发电与其他工业耗煤就占煤炭总消耗量的 2/3 左右, 而用于民用生活仅为 1/10 左右, 用于城市供热的煤炭不足 1/20。因此, 长期以来我国在能源生产与消费中, 是以煤炭为主要能源、且直接进行燃烧, 因燃烧不充分、燃烧工艺落后, 造成环境污染严重、效率低下、浪费惊人。

2. 中国的资源和能源储备

中国有 13 亿人口, 是世界人口最多的国家, 人口密度高于世界平均水平, 也高于亚洲国家的平均人口密度, 与经济社会生产需求相比, 人力资源相对过剩。但与新加坡、日本、德国、英国、法国、韩国等先进工业化国家相比, 中国的人口密度并不算高。无论是土地面积、土地资源、林木资源、水利资源, 还是矿藏资源, 中国的资源基础储量都比较丰富, 但如果按人均占有量计算, 中国大多数资源都低于世界平均水平。而如果从国土面积的资源禀赋量来看, 中国各种资源丰度不等。中国人口约占世界总人口的 21%, 国土面积占世界面积的 7.1%, 耕地占世界 7.1%, 草地占世界 9.3%, 水资源占世界 7%, 森林面积占世界 3.3%, 石油占世界 2.3%, 天然气占世界 1.2%, 煤炭占世界煤炭总量的 12%。据国土资源部 2004 年 6 月发布的统计报告: 截止 2002 年底, 中国探明可直接利用的煤炭储量 1886 亿 t, 按全国年产 19 亿 t 煤炭计算, 中国煤炭资源可以保证开采上百年。中国天然气资源蕴藏较丰富, 但勘探、开发和利用不够。据中国石油勘探开发研究院提供的数据, 目前中国天然气远景资源量可达 47.14 万亿 m^3 , 可采资源量为 14 万亿 ~ 18 万亿 m^3 ; 目前中国天然气探明地质储量为 3.86 万亿 m^3 (可采储量为 2.47 万亿 m^3)。按目前的可采储量算, 以每年开采 1300 亿 m^3 的速度, 只可开采 20 年, 但按可采资源量来算, 至少可开采 100 年。

实际上, 我国对能源的开发利用已达到相当高的强度, 与能源高强度开发和大规模消费相对应的则是能源利用效率的低下。目前, 我国能源利用效率仅为 30% 左右, 比发达国家低近 10 个百分点。我国主要用能产品的单位产品能耗比发达国家高 25% ~ 90%, 加权平均高 40% 左右。以电力为例 (我国电力供应主要依靠以煤炭为燃料的火电), 我国火电厂供电煤耗为每千瓦小时用 404g 标准煤, 国际先进水平为 317g 标准煤, 我国多耗煤 27.4%。根据国家统计局的数据, 2004 年我国新增发电能力 4930 万 kW, 比上年增长 15%。总装机能力为 4.4 亿 kW, 达到相当高的水平。如果进行国际比较, 美国的发电装机能力大约为 8 亿 kW, 英国、德国、法国 3 个国家总共 3 亿 kW。而日本仅用 2.8 亿 kW 的装机能力, 创造了比我国高得多的国内生产总值。也就是说, 我国目前的发电装机能力已超过英、德、法 3 国的总和。但是我国仍然缺电, 重要原因之一是高耗能工业多, 工业耗电占了 74%, 城乡居民用电只占 11%, 第一产业用电占 5% 左右。

中国能源短缺在很大程度上是能源利用结构同资源禀赋结构矛盾的表现。据中国国家信息中心的预测报告, 2010 年中国能源需求将达到 21.6 亿 ~ 23.2 亿 t 标准煤。为了保障能源需求的增长, 中国未来 20 年需要进行大规模的能源基础设施建设, 石油、天然气等仍需大量进口。报告认为, 中国煤炭资源可供开发规模为每年 20 亿 t 左右; 原油产量的高峰期在

2015年前后,最大产量可能达到2亿t左右;2010年,天然气产量将可能达到800亿~1000亿 m^3 。近年来中国能源消费量增长较快,1990~2003年,中国能源消费年平均增长4.2%。现在,我国已经成为世界第二大能源消费国。依靠大量消费能源,推动了中国经济的高速增长,但也使中国经济增长越来越接近资源和环境条件的约束边界。煤电油供需矛盾相当突出。

随着国际石油紧缺状况的影响和我国能源资源约束的日益突出,能源资源情况不容乐观。自1993年中国成为石油净进口国之后,中国石油对外依存度从1995年的7.6%增加到2005年的42.9%。预计到2020年,石油消费量最少也要4.5亿t,届时石油的对外依存度将达到60%,这使得中国的石油安全问题变得十分突出。与世界发达国家相比,中国的能源储备体系建设还相对滞后。以石油储备为例,目前美国的石油储备可供使用150天,日本则多达160天;相比之下,到2005年,中国仅仅只有7天。根据近几年国际石油价格持续上涨和中国石油进口剧增的新形势,中国的石油储备工作从1993年起就已经开始酝酿,自2004年正式得到国务院批复,预计总投资将超过1000亿元,准备用15年时间分3期完成。其储量安排大致是,第一期1000万至1200万t;第二期2800万t;第三期2800万t。预计2007~2008年期间,大连、黄岛、舟山3大石油储备基地也将陆续竣工。各大石油储备基地建成后,总共能形成约10余天消费量的石油战略储备能力,再加上全国石油系统内部的商用石油储备能力,中国总的石油储备能力将超过30天。但相比于西方工业国家,中国的战略石油储备仍然十分有限。综上所述,我国能源结构的核心问题表现在:一是能源结构以煤为主,在我国一次能源生产与消费构成中,煤炭比例超过2/3,2004年,在中国一次能源生产构成中,原煤占75.6%,原油占13.5%,天然气占3.0%,水电占7.9%;二是石油安全问题日趋显著,到2020年,石油的对外依存度将达到60%,我国能源安全尤其是石油安全问题越来越突出;三是煤烟型污染已经给生态环境带来严重问题,而电力、建材、冶金、化工等能源消费密集的行业又是我国的支柱产业,它们占大气污染的70%以上。随着经济发展水平的不断提高,社会对于资源和环境的关注越来越强,标准越来越高,继续大量耗费资源和污染环境,走粗放式工业增长的道路,已经不可能支撑中国工业的持续发展。我国已出台相关鼓励政策,积极发展煤制油产业,使中国油品供应和价格稳定建立在主要依靠国内生产的基础之上;此外,高度重视、加快推广煤炭深加工技术、煤炭高效燃烧及先进火力发电技术、煤炭燃烧污染控制与废弃物处理等洁净煤先进技术。建立高度节约型的循环经济体制,深入研究、大力开发和利用新能源,是中国实现和平崛起的唯一选择。

1.1.2 中国的可持续发展战略

1980~2000年期间,中国能源发展成就巨大:一是取得了GDP翻两番而能源消费仅翻一番的成就。中国GDP在过去的20年期间,年均增长率高达9.7%,而相应的能源消费量年均仅增长4.6%,远低于同期经济增长速度;二是能源利用效率大幅度提高。一方面,单位GDP能耗不断下降;另一方面,主要高耗能部门的产品单耗有了较大幅度的下降,主要耗能产品的能耗与国际先进水平的差距明显缩小。三是取得了相当大的环境效益。这些成就为我国的经济社会可持续发展做出了巨大贡献。但与世界发达国家相比,我国在新能源利用与开发方面还存在很大差距。

鉴于我国“十一五”规划要求单位GDP能耗比2005年降低20%,又要完成党的十六大提出的全面建设小康社会的目标,实现到2020年中国经济翻两番的历史任务,一个十分引

人关注的问题是,中国的能源基础能否支撑经济到2020年比2000年再翻两番?在传统化石类能源不断枯竭的严峻事实面前,建立资源节约型社会、大力开发利用可再生能源、扩大清洁绿色能源在能源结构中的比重,已摆上我国经济发展的重要战略位置。我国可再生能源分布广泛,无论是近期还是远期,因地制宜、就地就近开发可再生能源,将是调整能源结构、保护环境、增强能源安全、实现可持续发展的战略选择。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》要求,到2020年,我国可再生能源在能源结构中的比重,将从2006年的大约7%提高到16%左右。中国具有使用可再生能源的条件和传统,近年来可再生能源的开发和利用取得长足发展,以年均超过25%的增速成为世界能源领域增长最快的亮点。截至2004年,全国水电装机容量达1.1亿kW,并网风电场为43个、总装机容量为76万kW,太阳能光伏电池使用约为6万kW,太阳能热水器使用量达6500万 m^2 ,约占全世界的40%以上,在农村建成户用沼气池1100多万口,大中型沼气工程2000多处,年产沼气约为55亿 m^3 。随着技术和管理水平的不断提高、产业规模的不断扩大,可再生能源在保障能源供应、实现可持续发展等方面将发挥越来越重要的作用。此外,2004年制定的《中国能源中长期发展规划》也明确指出,要大力开发水电、积极推进核电建设、鼓励发展风电和生物质能等可再生能源,在提供优质、经济、清洁的终端能源的同时,尽量减少能源开发与利用给生态环境造成的负面影响,促进人与自然的和谐发展。为此,我国将以水电、沼气发电、秸秆发电、太阳能供热等常规清洁能源转换成熟技术和风电、光伏发电、燃料电池、微燃机组热—电联产分布供电等具有大规模发展潜力的新技术为重点,因地制宜、多能互补,不断提高可再生能源在我国能源结构中的比重,并使其在解决全国农村的生产、生活用能方面发挥重大作用。在2006年初,我国正式颁布了《可再生能源法》,即将陆续出台一系列鼓励政策与配套措施。这标志着可再生能源的利用已进入法制化、规范化和可持续发展的新阶段,并将迸发空前的活力,为中国能源事业的发展、为国民经济与社会事业的繁荣再添辉煌。

1.2 能源的分类与基本特征

1.2.1 能源的分类

能源是可以直接或通过转换提供给人类所需的有用能的资源。人类利用自己体力以外的能源是从用火开始的。世界上一切形式的能源的初始来源是核聚变、核裂变、放射线源及太阳系行星的运行。太阳的热核反应释放出极其巨大的能量,射到地球大气层的辐射能量为174000TW/a,这种辐射实际上为地球和太空提供了用之不竭的能源;太阳的热效应产生风能、水能和海洋能;煤炭、石油、天然气等化石燃料,也是间接来自太阳能;生物质能是植物通过光合作用吸收的太阳能;太阳系行星的运行产生潮汐能。

能源一般是按其形态、特性或转换和利用的层次进行分类,并给予每种或每类能源以专门名称。“世界能源理事会(WEC, World Energy Council)”推荐的能源分类如下:固体燃料,液体燃料,气体燃料,水力,核能,电能,太阳能,生物质能,风能,海洋能,地热能,核聚变能。

能源还可分为一次能源、二次能源和终端能源,可再生能源和非再生能源,新能源和常规能源,商品能源和非商品能源等。

1.2.2 能源的基本特征

一次能源是指直接取自自然界没有经过加工转换的各种能量和资源,它包括原煤、原油、天然气、油页岩、核能、太阳能、水力、风力、波浪能、潮汐能、地热、生物质能和海洋温差能等。一次能源又可以进一步分为可再生能源和非再生能源两大类。可再生能源首先是清洁能源或绿色能源,它包括太阳能、水力、风力、生物质能、波浪能、潮汐能、海洋温差能等,它们在自然界中是可以循环再生、取之不尽、用之不竭的初级资源,对环境无害或危害甚微,且资源分布广泛,适宜就地开发利用,一旦建成不必再有原料的投入。有了可再生能源,人类的文明才有可能世代永续传承。非再生能源包括原煤、原油、天然气、油页岩、核能等,它们是不能再生的,用掉一点,便少一点。

由一次能源经过加工转换以后得到的能源产品称为二次能源,例如电力、蒸汽、煤气、汽油、柴油、重油、液化石油气、酒精、沼气、氢气和焦炭等。二次能源是联系一次能源和能源终端用户的中间纽带,二次能源又可分为“过程性能源”和“合能体能源”。当今电能是应用最为广泛的“过程性能源”;柴油、汽油则是应用最广的“合能体能源”。过程性能源和合能体能源是不能互相替代的,各有自己的应用范围。作为二次能源的电能,可从各种一次能源中生产出来,例如煤炭、石油、天然气、太阳能、风能、水力、潮汐能、地热能、核燃料等均可直接生产电能。而作为二次能源的汽油和柴油等则不然,生产它们几乎完全依靠化石燃料能源。随着化石燃料能源耗量的日益增加,其储量日益减少,终有一天这些资源将要枯竭,这就迫切需要寻找一种不依赖化石燃料的、储量丰富的新的合能体能源。

随着技术、经济过关,氢能有可能成为替代柴油、汽油的理想新合能体能源。因为,氢能是取之不尽用之不竭的高密度能源,氢可以从很多种渠道获得,包括原油、天然气、沼气、农作物秸秆和有机废水,而氢的最大来源是水,氢燃料电池产生的排出物也是水,江河湖海就是最大的氢矿,氢能源的可再生性为人类提供了取之不尽用之不竭的完美能源。此外,氢能的储运性能好,使用也方便,可转化性优于其他各类能源,安全性也与汽油相当。太阳能、风能、地热、核能、电能等均可转化成氢加以储存、运输或直接应用,氢是一种理想的载能体。随着科技进步,氢能的开发与利用很有发展前途。

终端能源指供给社会生产、非生产和生活中直接用于消费的各种能源。终端能源消费量指一定时期内社会生产、非生产和生活消费的各种能源,在扣除了用于加工转换二次能源消费量和损失量以后的数量。而能源消费总量分为终端能源消费量、能源加工转换损失量和损失量3部分。

常规能源又称传统能源。已经大规模开采和广泛利用的煤炭、石油、天然气、水能等能源属于常规能源。商品能源是作为商品经流通环节大量消费的能源。目前,商品能源主要有煤炭、石油、天然气、水电和核电5种。非商品能源主要指枯柴、秸秆等农业废料、人畜粪便等可就地利用的能源。非商品能源在发展中国家农村地区的能源供应中占有很大比重。2003年中国农村居民生活用能源中有56%是非商品能源。

1.2.3 新能源及主要特征

新能源是指技术上可行,经济上合理,环境和社会可以接受,能确保供应和替代常规化石能源的可持续发展能源体系。广义化的新能源包含两个方面:①新能源体系,包括可再生能源(风能、太阳能、生物质能、水能、海洋能)和地热能、氢能、核能;②新能源利用技

术,包括高效利用能源、资源综合利用、替代能源、节能等新技术。自20世纪90年代以来,由能源紧张带来的“新能源”讨论,早已超出了技术范畴,上升为经济命题。

对于“新能源”的定义长期以来存在着误区,人们对于“新能源”的认识有过于狭义化的趋势。所谓“新能源”包涵着狭义和广义的两层定义,关键是对“新”字的界定对象和理解。“新”与传统的“旧”能源利用方式和能源系统相对立,“新”不仅区别于工业化时代以化石燃料为主的传统能源利用形态,而且区别于旧式的只强调转换端效率,不注重能源需求侧的综合利用效率,只强调经济效益,不注重资源、环境代价的传统能源利用理念。

目前对于新能源的狭义化定义,主要是将新能源局限在可再生能源技术之中。客观地说,仅仅谈可再生能源,而不强调“新”与“旧”的本质区别,会束缚人类的创造性和新能源自身的健康发展。严格地讲,可再生能源不是新的能源体系和能源利用形式,在人类进入工业革命以前,是没有大规模利用化石能源的,我们的祖先是开始利用火之后,数十万年来就在利用自然能(风能、太阳能、水能、地热能)征服和改造世界,是可再生能源一直支撑着人类的文明进程。因此,可再生能源是最古老的能源利用方式,只是今天当人类无法承受化石能源所带来的环境和资源的巨额代价时,才重新赋予可再生能源以“新”的含义,它的新不在于它的形式,而在于它在今天对于环境和资源利用的新的意义。显然,对赋予环境和资源新的意义的能源利用方式,不应该仅仅局限于可再生能源利用。

为了不断满足日益增强的能源需求,工业时代的基本法则是“规模效益”,生产形态同时强调社会分工的细化。在细化分工之后,要想提高能源的转换效率,唯一的方法就是不断扩大生产规模。这种传统的能源生产利用形态,必然导致企业不断扩大能源转换装置的规模,不断大量消耗能流密度高的化石类燃料资源,同时造成污染物的集中排放。在电力方面的主要表现是“大电网、大电厂、超高压”;在热力行业是追求大型热力厂、大型管网系统等。

传统规模化的能源生产利用形态造成了一系列的问题:①人类面临严峻的化石能源短缺,支撑能源生产规模效益的代价是对高密度化石燃料能源的大规模开采,导致化石类燃料资源日益枯竭,国际石油价格不断升高;②终端能源利用效率无法提高,转换成本加大,输送能源的电网、热网、铁路、管网等都要加大,中间损失自然会增加;③必须大规模利用资源,一方面造成小规模资源被忽略或浪费,另一方面被资源的规模所局限,造成利用资源供应瓶颈;④由于效率无法提高,导致环境污染加剧,特别是集中排放二氧化硫造成酸雨问题和大量排放温室气体导致全球变暖,造成极端气候变化频发,不是酷暑就是严寒,又进一步加大了能源的消耗,使整个能源系统和生态系统同时陷入恶性循环。因此,人类需要在能源问题上寻找到一条新的出路,需要有多种新的能源转换利用形态,建立多个新的能源供应系统,来解决人类文明的可持续发展。这就是广义化的“新能源”。

新的技术必然要替代落后的生产方式,这是不以人们意志为转移的。蒸汽机动力代替牲畜,内燃机代替蒸汽机,新的能源体系和由新技术支撑的能源利用方式,以及新的能源利用理念最终会代替传统的能源利用方式。所以,新能源的关键是针对传统能源利用方式的先进性和替代性。由此分析,广义化的新能源体系主要包涵以下几个方面:①高效利用能源;②资源综合利用;③可再生能源;④替代能源;⑤节能。

1.2.4 分布式能源及主要特征

1. 分布式能源

国际分布式能源联盟(WADE)对“分布式能源”给出的定义是,由下列发电系统组成,这些系统能够在消费地点或很近的地方发电,并具有:①高效的利用发电产生的废能生产热和电;②现场端的可再生能源系统;③包括利用现场废气、废热及多余压差来发电的能源循环利用系统。这些系统就称为分布式能源系统,而不考虑这些项目的规模、燃料或技术,以及该系统是否连接电网等条件。

换言之,分布式能源是一种建在用户端的能源供应方式,既可独立运行,也可并网运行,而不论规模大小、使用什么燃料或应用的技术。分布式能源高效、节能、环保,目前许多发达国家已可以将分布式能源综合利用效率提高到90%以上,大大超过传统能源利用方式的效率。由于这种能源利用方式正处于发展过程,因此无论是国内还是国外,在概念和名词术语的叙述和采用上尚比较混乱。

新能源利用技术的重要表现形式是分布式能源利用技术。因为,分布式能源技术对能源的利用方式与传统的能源利用存在很大的区别,它不再追求规模效益,而是更加注重资源的合理配置,追求能源利用效率最大化和效能的最优化,充分利用各种资源,就近供电供热,将中间输送损耗降至最低。由于小型化和微型化,使能源需求者可以根据自己对于多种能源的不同需求,设置自己的能源系统,调动了终端能源用户参与提高能源利用效率的积极性。分布式能源可以和终端能源用户的能源需求系统进行协同优化,通过信息技术将供需系统有效衔接,进行多元化的优化整合,在燃气管网、低压电网、热力管网和冷源管网上,以及信息互联网络上实现联机协作,互相支持平衡,构成一个多元化的能源网络,使能源供应与能源的实际需求更加匹配。许多发达国家认为,分布式能源是信息能源系统的核心环节,并称之为第二代能源系统。

目前所谓的分布式发电(电源)通常并非指采用柴油发电机组的紧急备用电源或燃煤的自备小火力发电厂,而是指以天然气、煤层气或沼气为燃料的燃气轮机、内燃机、微型燃气轮机发电,太阳能光伏发电,以天然气、氢气为燃料的燃料电池发电,生物质能发电,小型风力发电等。由于其在效率、能源多样化、环保、节能等多方面的优越性,再加上电力市场化的快速发展进程,使这种发电技术获得广泛的关注,并在某些方面获得巨大进展(燃气轮机、内燃机、微型燃气轮机发电等)。随着分布式能源水平的提高、各种分布式电源设备性能不断改进和效率不断提高,分布式发电的成本也在不断降低,分布式能源的应用范围将不断扩大,可以覆盖到包括办公楼、宾馆、商店、饭店、住宅、学校、医院、福利院、疗养院、大学、体育场馆等多种场所。目前,这种能源利用方式在我国仅占较小比例,但可以预计未来的若干年内,分布式电源不仅可以作为集中式发电的一种重要的补充,还将在能源综合利用上占据十分重要的地位。因此,分布式电源无论是在解决城市的供电、还是解决边远和农村地区用电问题中,都存在巨大的潜在市场,一旦解决了主要的技术障碍和瓶颈,分布式能源系统将获得迅速发展。

目前,国际公认的两个具有发展前途、最重要的分布式能源利用形式:一个是微型燃气发电机组,这是实现热电联产、高效利用能源和节能的最主要形式;另一个是燃料电池技术,这也是未来最主要的分布式能源利用技术方向之一。

热电联产虽然是一种传统的能源技术,但在丹麦得到广泛的应用和高度的重视,并赋予

它可持续发展的新含义。目前中国的能源综合利用效率为 35% 左右, 丹麦的能源综合利用效率超过 60%, 而且丹麦经过分析研究, 认为能源综合利用效率至少可以再提高 20%。丹麦的热电联产利用多种燃料(秸秆、垃圾、天然气和煤炭等)资源进行燃烧, 基本上是什么烧什么, 什么便宜烧什么, 能源综合利用效率 60% 是依靠热电联产对能源实现梯级利用实现的, 而从 60% 再往上增加则主要依靠可再生能源实现。工业化国家在发展热电联产的同时, 由于燃料结构向气体化和非矿物燃料转化, 热电联产的规模也越来越小型化、多功能化。

微型燃气发电机组是理想的能源转换载体, 它的优点是靠近需求侧, 将输送损耗降至最低, 并充分利用了低品位的热能, 将燃料燃烧温度的利用空间进一步扩大, 有效实现了“分配得当, 各得其所, 温度对口, 梯级利用”。燃料电池的能源利用效率更高, 污染更小(可以在能源转换现场实现零排放)。理论上燃料电池使用的是氢能, 属于可再生能源, 但自然界中可以直接利用的氢根本不存在, 氢能属于二次能源, 制氢需要其他外部能量实现。利用太阳能和风能制氢, 或者利用生物细菌制氢, 还仅仅停留在理想或试验阶段, 缺乏广泛的经济性和可操作性。现实的技术方向还是如何利用天然气、煤气化、甲醇、乙醇等能源, 特别有前途的是利用废弃的地下煤炭资源进行地下可控气化再制氢技术。燃料电池不仅可以解决人类发展的电力难题, 同时也可以解决对于石油的替代难题。虽然大多数燃料电池并不依赖可再生能源, 但就燃料电池技术本身应该属于新能源。此类例子非常之多, 它们都是立足于新技术、新工艺, 或者新理念构架的新型的能源利用技术, 虽然不是可再生能源, 但是针对传统的大规模集中生产的能源系统而言, 分布式能源可以显著提高能源的综合利用效率, 有效减少污染的排放。

2. 分布式能源主要特征

分布式能源可使用天然气、煤层气等清洁燃料, 也可以利用沼气、焦炉煤气等废弃资源, 甚至利用风能、太阳能、水能等可再生能源。由于目前的分布式能源项目多建在城市, 所以大部分分布式能源系统的燃料多为天然气或是柴油。分布式能源的主要特征有:

(1) 高效性 由于分布式能源可用发电后工质的余热来制热、制冷, 因此能源得以合理的梯级利用, 可根据自己所需向电网输电和购电, 从而可提高能源的利用效率(可达 60%~90%); 由于其投资回报的周期较短, 因此投资回报率高, 可降低一次性的投资和成本的费用; 靠近用户侧的安装可就近供电, 因此可降低网损(包括输电和配电网的网损)。

(2) 环保性 采用天然气做燃料或以氢气、太阳能、风能为能源, 可减少有害物的排放总量, 减轻环保的压力; 就近供电减少了大容量远距离高电压输电线的建设, 由此减少了高压输电线的电磁污染, 也减少了高压输电线的线路走廊和相应的征地面积, 减少了对线路下树木的砍伐。分布式能源系统由于实现了优质能源梯级合理利用, 能效可达 80% 以上, 超过燃煤火力发电机组一倍, SO_2 和固体废弃物排放几乎为零, 温室气体(CO_2)减少 50% 以上, NO_x 减少 80%, TSP 减少 95%, 占地面积与耗水量减少 60% 以上。

(3) 能源利用的多样性 由于分布式能源可利用多种能源, 如洁净能源(天然气)、新能源(氢)和可再生能源(生物质能、风能和太阳能等), 并同时为用户提供电、热、冷等多种能源应用方式, 因此是节约能源, 解决能源短缺、能源危机和能源安全问题的好途径。

(4) 调峰作用 夏季和冬季往往是电力负荷的高峰时期, 此时如采用以天然气为燃料的燃气轮机等热、冷、电三联供系统, 不但可解决冬夏季的供热与供冷的需要, 同时也提供了