



普通高等教育电气电子类工程应用型“十二五”规划教材

可再生能源发电

孙冠群 孟庆海 编著 · · · · ·



免费电子课件



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气电子类工程应用型“十二五”规划教材

可再生能源发电

孙冠群 孟庆海 编著



机械工业出版社

全球环境问题和能源危机促进了可再生能源发电的大发展,本书针对国内大中专院校相关专业开设的或预开设的可再生能源发电(或新能源发电)课程的需要,同时兼顾工程技术人员的需求编写而成。除水力发电之外的可再生能源发电的主要形式,在本书都得到了体现,并且根据当前国内外发展现状,重点突出的发电形式具体包括风力发电及其控制、太阳能发电及其控制、海洋能发电、生物质能发电、地热能发电。书中还介绍了可再生能源发电的电能储存方法。

本书可作为国内各本科及专科院校电气工程及其自动化、自动化等专业的教学用书,也可作为可再生能源发电运行和装备制造领域的工程技术人员的培训或自学用书。

本书配有电子课件,欢迎选用本书作教材的老师发邮件至 jinacmp@163.com 索取,或登录 www.cmpedu.com 注册下载。

图书在版编目(CIP)数据

可再生能源发电/孙冠群,孟庆海编著. —北京:
机械工业出版社, 2015. 2

普通高等教育电气电子类工程应用型“十二五”
规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 49113 - 2

I. ①可… II. ①孙…②孟… III. ①再生能源 - 发
电 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM619

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 002763 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:吉玲 责任编辑:吉玲 崔利平 刘丽敏

版式设计:赵颖喆 责任校对:张莉娟

责任印制:刘岚

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15 印张 · 362 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 49113 - 2

定价: 33.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379469

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

前 言

一提到能源，马上就会联想到日益枯竭的石油、高度污染的煤炭……这些如石油、煤炭等化石能源的大量使用，给地球带来了大气污染、温室效应、酸雨等问题，而这些问题涉及的是人类在地球上的生存问题。

可再生能源是指在自然界中可以不断得到补充或能在较短周期内再产生，取之不尽、用之不竭的能源，如风能、太阳能、海洋能、生物质能、地热能、水力能等，这些能源没有以石油和煤炭为代表的化石能源带给人类的生存负担。

所以，自进入 21 世纪以来，可再生能源发电在全球各国得到了极大的重视和快速的发展，在我国以风力发电、太阳能发电为代表的可再生能源发电形式尤其得到重视和发展。近些年来，全国各高校陆续开设可再生能源发电（或称新能源发电）课程，但所需对口的教材并不多；另外，由于风力发电、太阳能发电等的并网和大量相关装备制造制造，使得很多电力行业运行维护和相关产品制造业的工程技术人员也有这方面知识的需求。基于以上两点，编者组织编写了本书。

本书内容包括了风力发电及其控制、太阳能发电及其控制、海洋能发电、生物质能发电、地热能发电，以及可再生能源发电的电能储存。另外，水力发电在世界上许多国家得到大规模利用，虽然可视为一种可再生能源发电方式，但技术相对成熟，所以并没有列入本书。

感谢欧阳湘晋高工、陈卫民副教授、郭永洪副教授、蔡慧副教授等在编者编写过程中给予的支持和帮助。感谢中国计量学院电气工程及其自动化专业 101、102 班部分同学绘制了部分插图。

鉴于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
引例	1
1.1 能源及其分类	2
1.1.1 一次能源与二次能源	2
1.1.2 可再生能源与非再生能源	3
1.1.3 常规能源与新能源	3
1.2 能源与环境	4
1.2.1 常规能源对环境的影响	4
1.2.2 世界能源与环境问题	4
1.3 可再生能源发电的意义	5
小结	6
阅读材料	6
习题	7
第 2 章 风力发电及其控制	8
引例	8
2.1 风及风能资源	9
2.1.1 风的形成	9
2.1.2 风的描述	10
2.1.3 世界风能资源	11
2.1.4 我国风能资源	12
2.2 风力发电系统结构原理	15
2.3 风力机及其控制	17
2.3.1 风力机的基本类型	17
2.3.2 风力机的工作原理	19
2.3.3 风能利用系数	21
2.3.4 风力机的功率控制	23
2.3.5 变桨系统	25
2.3.6 偏航系统	27
2.4 风力发电机	28
2.4.1 笼型异步发电机	29
2.4.2 同步发电机	32
2.4.3 双馈(绕线转子)异步发 电机	35
2.5 风力发电机系统的运行与控制	39
2.5.1 基本控制内容	40
2.5.2 定桨距恒速风力发电机组的	

运行与控制	42
2.5.3 变桨距恒速风力发电机组的 运行与控制	43
2.5.4 变桨距变速风力发电机组的 运行与控制	44
2.5.5 最大功率点跟踪(MPPT)控制 简介	48
2.6 风力发电机系统并网	51
2.6.1 同步风力发电机组并网	51
2.6.2 异步风力发电机组并网	54
2.6.3 风力发电机组的并网安全运 行与防护措施	56
2.7 风力发电机系统低电压穿越	58
2.7.1 低电压穿越的基本概念及相 关规范	58
2.7.2 低电压对风力发电机组的 影响	59
2.7.3 低电压穿越技术	60
2.8 风力发电场	62
2.8.1 风电场的概念	62
2.8.2 陆地风电场	63
2.8.3 海上风电场	66
小结	69
阅读材料	70
习题	71
第 3 章 太阳能发电及其控制	73
引例	73
3.1 太阳能及其利用	74
3.1.1 太阳的辐射	74
3.1.2 太阳能的转换与利用	76
3.2 太阳能光伏发电基本原理	80
3.2.1 太阳能光伏发电原理	80
3.2.2 光伏发电系统的构成与分类	82
3.3 太阳能光伏电池	86
3.3.1 光伏电池的分类	86
3.3.2 光伏电池的基本电学特性	89
3.3.3 光伏电池的等效电路	93

3.4 太阳能光伏电池最大功率点跟踪控制	94	4.4 海流发电	143
3.4.1 光伏电池最大功率点	94	4.4.1 海流和海流能	143
3.4.2 最大功率点跟踪控制算法简介	95	4.4.2 海流发电的发展状况	145
3.4.3 太阳光跟踪系统	98	4.4.3 海流发电原理	146
3.4.4 基于最大功率点与最小损耗点跟踪的光伏水泵控制系统实例	99	4.5 温差发电	147
3.5 太阳能光伏发电系统应用分类与设计实例	103	4.5.1 海水的温差和温差能	147
3.5.1 离网非户用系统	105	4.5.2 温差发电原理	148
3.5.2 离网户用系统	105	4.6 盐差发电	149
3.5.3 光伏并网系统	106	4.6.1 海洋的盐差和盐差能	149
3.5.4 光伏并网系统设计	108	4.6.2 渗透和渗透压	150
3.5.5 光伏离网系统设计	109	4.6.3 盐差能发电的方法	150
3.6 太阳能热发电	113	小结	154
3.6.1 太阳能热发电系统的构成	114	阅读材料	154
3.6.2 太阳能热发电系统的基本类型	115	习题	155
3.7 风光互补发电系统	117	第5章 生物质能发电	156
3.7.1 风光互补发电系统的结构与特点	117	引例	156
3.7.2 风光互补发电系统的应用	118	5.1 生物质能	157
小结	120	5.1.1 生物质能的概念	157
阅读材料	121	5.1.2 生物质能存在的形式	158
习题	122	5.1.3 生物质能的开发利用	158
第4章 海洋能发电	123	5.2 生物质燃烧发电	161
引例	123	5.2.1 生物质燃烧技术	162
4.1 海洋能及其开发利用	123	5.2.2 固体燃料成型技术	163
4.1.1 海洋能的分类	124	5.2.3 生物质燃烧热发电	165
4.1.2 海洋能的开发	125	5.2.4 生物质燃烧的污染排放与控制	168
4.1.3 中国海洋能资源及开发利用概况	125	5.3 生物质汽化发电	169
4.2 潮汐发电	127	5.3.1 生物质的汽化技术	169
4.2.1 潮汐电站分类	129	5.3.2 生物质的汽化发电	173
4.2.2 潮汐电站的水轮发电机组	130	5.3.3 城市固体废弃物汽化熔融技术	174
4.2.3 潮汐电站的站址选择	132	5.4 沼气发电	176
4.3 波浪发电	134	5.4.1 沼气的产生原理	176
4.3.1 波浪能资源的分布和特点	134	5.4.2 沼气燃烧发电	177
4.3.2 波浪发电装置的基本构成	136	5.4.3 沼气燃料电池发电	181
4.3.3 波浪能的转换方式	136	5.4.4 沼气发电的控制策略	184
4.3.4 波浪能装置的安装模式	138	5.5 垃圾发电	187
4.3.5 典型的波浪能发电装置	139	5.5.1 垃圾填埋气发电	189
		5.5.2 垃圾焚烧发电	191
		小结	194
		阅读材料	195
		习题	196
		第6章 地热能发电	198

引例	198	引例	209
6.1 地热能及其利用	198	7.1 概述	209
6.1.1 地热资源的分类	199	7.2 蓄电池储能	211
6.1.2 中国的地热资源	200	7.2.1 常用蓄电池的类型	211
6.1.3 国内外地热能发电开发利用现状	202	7.2.2 蓄电池的等效电路	214
6.2 蒸汽型地热发电	202	7.2.3 蓄电池的主要特性	215
6.2.1 背压式汽轮机发电系统	203	7.2.4 蓄电池的充放电控制	216
6.2.2 凝汽式汽轮机发电系统	203	7.3 飞轮储能	217
6.3 热水型地热发电	204	7.3.1 飞轮储能概述	217
6.3.1 闪蒸地热发电系统	204	7.3.2 飞轮储能的原理	218
6.3.2 双循环地热发电系统	205	7.3.3 飞轮储能的结构	219
6.3.3 联合循环地热发电系统	205	7.4 超级电容器储能	221
6.4 干热岩地热发电	206	7.4.1 超级电容器的原理	221
小结	206	7.4.2 超级电容器的特点和类型	224
阅读材料	206	7.4.3 超级电容器的应用	226
习题	208	小结	228
第7章 可再生能源发电的电能储存	209	阅读材料	229
		习题	230
		参考文献	231

第1章 绪 论

关键术语：

自然资源、能源、一次能源、二次能源、可再生能源、非再生能源、常规能源、新能源、环境污染、可再生能源发电。

学过本章后，读者将能够：

理解有关能源的基本概念；

能熟练地向周围的人描述常规能源给人类造成的危害；

理解大力发展可再生能源发电的意义。

引例

如图 1-1 所示，地球上的冰川在融化，海平面在上升，高温及干旱在持续。



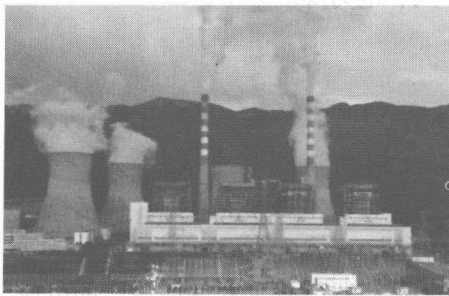
a) 冰雪融化中无处藏身的北极熊



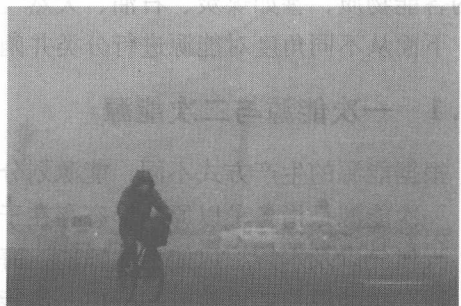
b) 高温带来干旱——颗粒无收

图 1-1 当今的生态

生态环境的恶化是工业化带来的恶果，造成生态环境恶化的首要罪魁祸首是化石能源的利用，尤其是煤炭、石油的利用。它们造成空气污染，随时相伴的雾霾天。图 1-2 为部分实景照片。



a) 燃煤发电厂



b) 雾霾中的城市

图 1-2 火电厂与雾霾中的城市

新型可再生能源的利用,则不会产生如上这些恶果,如图 1-3 所示。

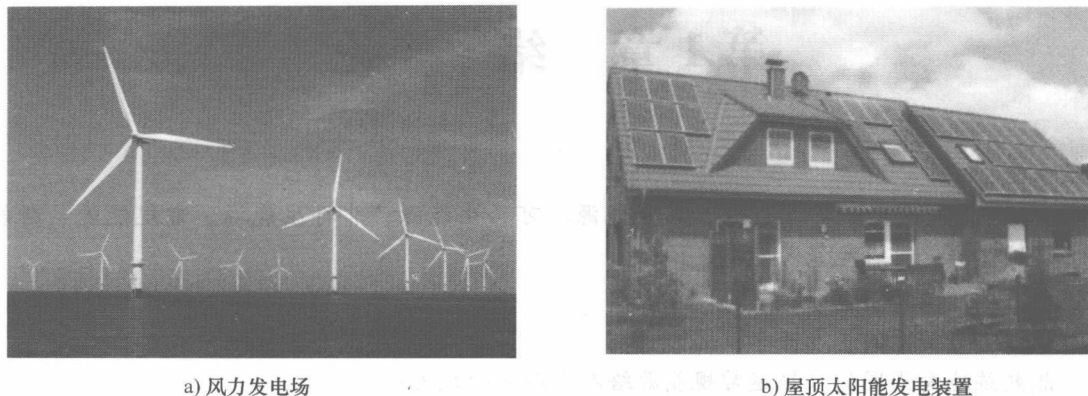


图 1-3 可再生能源发电

以风能和太阳能为代表的可再生能源的发电技术,技术上也日趋成熟。

1.1 能源及其分类

一提到能源,马上就会联想到日益枯竭的石油、高度污染的煤炭……,以及国内外日益高企的能源价格。能源已影响到国际政治、经济和军事问题,是大多数国家政府所持续关注重大问题,当然也是深入影响各国人民日常生活的问题。

什么是能源呢?首先我们先从资源说起。

在一定时期和地点,在一定条件下具有开发价值,能够满足或提高人类当前和未来生产生活的自然环境因素的总和,称为自然资源,简称资源。地球上的自然资源一般包括气候资源、水资源、矿物资源、生物资源、能源等。

能源就是在一定条件下可以转换为人类利用的某种形式能量的自然资源,简单地讲,能源就是能量的来源,即能够提供能量的自然资源及其转化物。从物理学的观点看,能量可以简单地定义为做功的能力。广义而言,任何物质都可以转化为能量,但不同物质转化为能量的数量、转化的难易程度是不同的。人们通常所讲的能源主要是指比较集中而又比较容易转化的含能物质,譬如煤炭、石油、天然气、太阳光、风、电力等。

下面从不同角度对能源进行分类并阐述。

1.1.1 一次能源与二次能源

根据能源的生产方式不同,能源划分为一次能源和二次能源。

一次能源是指各种以原始形态存在于自然界而没有经过加工转换的能源,包括煤炭、石油、天然气以及水能、风能、太阳能、海洋能、生物质能、地热能等。

而二次能源是指直接或间接由一次能源转化加工而产生的其他形式的能源,如电能、煤气、汽油、柴油、焦炭、酒精、沼气等。除了少数情况下一次能源能够以原始形态直接使用外,更多的情况是根据不同目的对一次能源进行加工,转换成便于使用的二次能源。随着科

学技术水平的不断提高和现代社会需求的增长,二次能源在整个能源消费中的比例正不断扩大。其中,电能因清洁安全、输送快速高效、分配便捷、控制精确等一系列优点,成为迄今为止人类文明史上最优质的能源,电能已占全球能源终端消费比例的26%左右(2012年),并继续呈增加趋势。

1.1.2 可再生能源与非再生能源

根据是否可以再生,一次能源可以分为可再生能源和非再生能源。可再生能源是指在自然界中可以不断得到补充或能在较短周期内再产生,取之不尽、用之不竭的能源,如风能、太阳能、海洋能、生物质能、地热能等。随着人类的利用而逐渐减少的能源称为非再生能源,如煤炭、石油、天然气、核能等,它们经过亿万年形成而在短期内无法恢复再生,用掉一点便少一点。当前全球的能源消费中非再生能源占主流。

水力虽然可视为一种可再生能源,但利用其发电的技术相对成熟,没有列入本书的内容。如无特别说明,本书所说的可再生能源,指风能、太阳能、海洋能、生物质能和地热能。

1.1.3 常规能源与新能源

根据开发利用的广泛程度不同,能源可分为常规能源和新能源。常规能源是指开发利用时间长,技术成熟,已经大规模生产并得到广泛使用的能源,如煤炭、石油、天然气、水力和核能等,目前这五类能源几乎支撑着全世界的能源消费。所谓新能源,就是目前还没有被大规模利用、正在积极研究开发的能源,或是采用新技术和新材料,在新技术基础上系统地开发利用的能源。新能源是相对于常规能源而言的,在不同的历史时期和科技水平下,新能源的含义也不同。当今社会新能源主要指风能、太阳能、海洋能、生物质能、地热能等,并且基本都属于可再生能源。

核能利用技术十分复杂,核裂变发电技术已经广泛使用,而可控核聚变反应正处于试验阶段,所以,目前主流的观点是将核裂变能看成常规能源,而将核聚变能视为新能源。

针对以上三种对能源的分类方法,表1-1给出了常见能源的分类。

表 1-1 常见能源的分类

类 别		可再生能源	非再生能源
一次能源	常规能源	水能	煤炭、石油、天然气、核能(核裂变)
	新能源	风能、太阳能、海洋能、生物质能、地热能	核能(核聚变)
二次能源		焦炭、煤气、电力、氢、蒸汽、酒精、汽油、柴油、重油、液化气、电石等	

另外,从环境保护的角度出发,能源还可以分为污染型和清洁型的。清洁型能源还有广义和狭义之分。狭义的清洁能源仅指可再生能源,包括水能、风能、太阳能等,它们消耗以后不产生或很少产生污染物,并能很快得到补充或恢复。广义的清洁能源除可再生能源外,还包括在生产和消费过程中低污染或无污染的能源,如低污染的天然气,利用洁净能源技术处理过的洁净煤和洁净油等化石能源,以及核能等。

本书将聚焦于可再生能源中的新能源类型。

1.2 能源与环境

1.2.1 常规能源对环境的影响

任何一种常规能源的开发利用都会给环境造成一定的影响。以化石燃料为代表的常规能源造成的环境问题尤为严重，主要表现在以下几方面。

1. 大气污染

化石燃料的利用过程会产生一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)、氮的氧化物(NO_x)等有害气体，不仅导致生态系统的破坏，还会直接损害人体健康。在很多国家和地区，因大气污染造成的直接和间接损失已经相当严重。例如火力发电厂为何远离人口稠密区？原因之一是因为火电厂燃煤造成有害气体；中国北方农村为何肺癌发病率高？其中之一也是源于冬季燃煤取暖造成的大气污染非常严重。

2. 温室效应

大气中二氧化碳(CO₂)的浓度增加一倍，地球表面的平均温度将上升1.5~3℃，在极地可能会上升6~8℃，结果可能导致海平面上升20~140cm，将给许多国家造成严重的经济和社会影响。由于大量化石能源的燃烧，大气中CO₂浓度不断增加，每100万大气单位中的CO₂数量，在工业革命前为280个单位，1988年为349个单位，现在还要更高，并在持续增加中。

2013年居住在中国中东部地区的人们应该对那个夏天的气温记忆犹新，杭州，这座宜居的“天堂”，当年最高气温已高于历史上有气象记录以来的最高温度的2℃以上。试想一下，也许，未来将有一种人类的迁徙，像候鸟一样，夏季要向地球的南北两极迁移，也将再添一种自然灾害，姑且叫它“热灾”。

3. 酸雨

化石能源燃烧产生的大量SO₂、NO_x等污染物，通过大气传输，在一定条件下形成大面积酸雨，改变酸雨覆盖区的土壤性质，危害农作物和森林生态系统，改变湖泊水库的酸度，破坏水生生态系统，腐蚀材料，造成重大经济损失。酸雨还导致地区气候改变，造成难以估量的后果。例如我国重庆，因其地理位置的特点，尤其受到酸雨的危害，给农业生产等带来明显的损失。

若再考虑能源开采、运输和加工过程中的不良影响，则损失将更为严重。平均每开采一亿吨煤，伤亡人数为15~30人，可能造成2000m²土地塌陷。全球平均每年塌陷的土地有20多万km²。

核能的利用虽然不会产生上述污染物，但也存在核废料问题。世界范围内的核能利用，将产生成千上万吨的核废料。如果不能妥善处理，放射性的危害或风险将持续几百年。

1.2.2 世界能源与环境问题

世界人口从1900年的16亿到2013年的72亿，增加了4.5倍，而能源消耗却增加了18倍，并且继续在持续增加中。由此可以看出，人类对能源的依赖越来越强烈。

目前，全世界石油、煤炭、天然气这些化石能源在世界能源消费结构中所占的份额仍然

很高,合计高达87%以上,我国更是高达92%(2013年)。如果没有新的替代能源充分发展利用,按目前的消耗情况估算,21世纪人类又将面临新的能源危机。另一方面,人类大量使用化石燃料,令环境污染日益严重,生态平衡惨遭破坏,直接危机人类的生存与发展。照此趋势,作者也大胆推测,未来诸如人类的季节性迁移、大面积区域的无人区(不适宜人类生存),以及常见的水灾、旱灾之外的热灾,绝非耸人听闻。

稍显幸运的是,人类,包括世界各国政府,已经在慢慢意识到并逐步发展减缓环境恶化的产业政策。早在1987年,挪威前首相布伦特兰首次提出了可持续发展的概念,今天已被世界上大多数国家认可。可持续发展,就是“满足当代人的需求,又不损害子孙后代满足其需求的能力的发展”,毋庸置疑,这是正确的指导方针。

1.3 可再生能源发电的意义

能源是人类赖以生存的基础,是现代社会的命脉。能源对于现代社会的重要性如同粮食对于人类的重要性,没有粮食,人类就不能生存;没有能源,现代社会将陷入瘫痪。因此,人类进化的历史,也是一部不断向自然界索取能源的历史。伴随着能源的开发利用,人类社会逐渐地从远古的刀耕火种走向现代文明。从主要的能源使用情况来看,人类社会已经经历了薪柴时代、煤炭时代和石油时代三个能源时期,并正在步入可再生能源时期。

目前,煤炭、石油和天然气三大传统化石能源仍然是世界经济的三大能源支柱。而这三大支柱是不可再生的。根据世界上通行的能源预测,石油将在未来40年左右枯竭,天然气将在60年左右枯竭,煤炭也只能用100多年。可见,能源是现代社会的“粮食”,这当中目前占主体的化石能源日益枯竭!

那么,在人口众多的我国,能源形势更为严峻,并且2/3的能源消耗为更高污染的煤炭,人均能源拥有量仅为世界平均值的一半。我国能源形势的特点主要还有:第一,能源分布极不合理,煤炭、石油、天然气主要集中在三北地区,水资源主要集中在南方地区,而人口密集、经济发达的东部沿海地区能源严重匮乏,因此,造成了我国“北煤南运”、“西电东送”的不合理格局,既产生了大量的能源运输损耗,又增加了运输成本。第二,我国的能源结构不合理,煤炭比重过大造成严重环境污染,能源效率也很低下。第三,近年来,全球新增的能源消耗中,一半为我国的新增用量,我国的能源压力甚大。因此,除了前面提到的环境问题之外,日益枯竭的化石能源也是我国大力开发可再生能源的重要原因,迫在眉睫。

电能是迄今为止人类历史上最优质的能源,它不仅易于实现与其他能量(如机械能、热能、光能等)的相互转换,而且容易控制与变换,便于大规模生产、远距离输送和分配,同时还是信息的载体,在现代人类生产、生活和科研活动中发挥着不可替代的作用。全世界总发电量中,排名第一的是燃烧煤炭发电,这种方式造成的环境污染也是最为厉害的,因此,可再生能源发电便成为可再生能源开发利用的主要方式。

可再生能源发电的优点是,没有或很少有污染,可以循环使用,分布广泛,随处可得;其中风力发电和太阳能光伏发电不需要水,对于干旱缺水地区是尤为突出的优点,而火力发电(包括核电)需要大量的水。表1-2也给出了不同发电方式下CO₂排放量的对比。可见以风力发电和太阳能发电为代表的可再生能源发电方式的多方面优势。

表 1-2 不同发电方式下 CO₂ 排放量的对比

燃煤发电	燃油发电	液化天然气发电	风力、太阳能发电
246.3	188.4	128.9	0

在全球范围内,迄今为止,可再生能源发电的发展经历了三次高潮,其中欧洲(尤其是丹麦、德国)、美国等发达国家和地区走在了世界前列。当中欧洲领跑风力发电和太阳能发电这两种最主要的可再生能源发电形式。2010年中国赶超美国成为世界第一的风电装机大国,德国多年来一直是世界最大的太阳能发电利用市场,但2014年中国也取代德国成为最大的太阳能发电市场。

虽然全球范围内可再生能源发电装机容量快速发展,但在整个发电量中只占很小的比例,在可开发的全部可再生能源中的比例也很低,据2012年统计,可再生能源仅占全球能源消耗总量的2.4%(不含水电,后续无特别指出的话,所述可再生能源发电均不包括水电),虽然远高于2002年的0.8%,但发展空间仍然非常巨大。

在我国,风电方面至2020年将规划建成至少7处千万千瓦级的风电场,其中6处在陆地,1处为大型海上风电场。太阳能光伏发电也自2005年起进入井喷式发展期,我国现为世界第一大光伏电池生产国,总装机容量也超越了德国。其他诸如生物质发电、地热发电、海洋能发电等可再生能源发电形式也处于积极发展期。但我国的可再生能源发电在总发电量中也是占很小的比例,发展前景巨大。

小结

能源就是能量的来源。从不同角度可分为一次能源与二次能源,可再生能源与非再生能源,常规能源与新能源。

常规能源造成环境污染,长此以往将给人类带来更大的灾难。必须遏制常规能源的消耗。大力发展可再生能源利用形式,首推利用可再生能源发电,因为电力是仅有的清洁安全、快速高效、控制精确的二次能源。

阅读材料

火电厂引发的环境问题

火电厂生产电能的全过程中,各种排放物对环境的影响超过一定限度而造成环境质量的劣化。这些排放物包括燃料燃烧过程排出的尘粒、灰渣、烟气,电厂各类设备运行中排出的废水、废液等。

火电厂污染物,分为固体的、液体的和气体的几类,主要有以下5种。

1) 尘粒:包括降尘和飘尘。主要是燃煤电厂排放的尘粒。中国火电厂年排放尘粒约600万t。尘粒不仅本身污染环境,还会与二氧化硫、氧化氮等有害气体结合,加剧对环境的损害。其中尤以10 μ m以下飘尘对人体更为有害。一般燃煤电厂的飞灰尘粒中,小于10 μ m的大约占30%。当前在我国大部分地区经常出现的雾霾天气,就是因为空气中存在的小于10 μ m的漂浮颗粒物(一般称为PM10、PM2.5)造成的。

2) 二氧化硫(SO_2): 煤中的可燃性硫经在锅炉中高温燃烧, 大部分氧化为二氧化硫, 其中只有 0.5% ~ 5% 再氧化为三氧化硫。在大气中二氧化硫氧化成三氧化硫的速度非常缓慢, 但在相对湿度较大、有颗粒物存在时, 可发生催化氧化反应。此外, 在太阳光紫外线照射并有氧化氮存在时, 可发生光化学反应而生成三氧化硫和硫酸雾, 这些气体对人体和动植物均非常有害。大气中二氧化硫是造成酸雨的主要原因。

3) 氧化氮(NO_x): 火电厂排放的氧化氮中主要是一氧化氮, 占氧化氮总浓度的 90% 以上。一氧化氮生成速度随燃烧温度升高而增大。它的含量百分比还取决于燃料种类和氮化物的含量。煤粉炉氧化氮排量为 $(440 \sim 530) \times 10^{-6}$; 液态排渣炉则为 $(800 \sim 1000) \times 10^{-6}$ 。二氧化氮刺激呼吸器官, 能深入肺泡, 对肺有明显损害。一氧化氮则会引起高铁血红蛋白症, 并损害中枢神经。

4) 废水: 火电厂的废水主要有冲灰水、除尘水、工业污水、生活污水、酸碱废液、热排水等。除尘水、工业污水一般均排入灰水系统。中国每年灰水排放量有几十亿吨, 其中相当部分 PH 超标。个别电厂灰水中还有氟、砷超过标准, 还有部分灰水悬浮物超标。

酸碱废液主要来自锅炉给水系统。不同的锅炉给水处理系统排出的酸碱废液量不同。阴、阳离子处理系统要排出 40% 左右的酸碱, 移动床排出 20%。

热排水主要是经过凝汽器以后排出的循环水, 一般排水温度要比进水温度高 8°C 。如热水排入水域后超过水生生物承受的限度, 则会造成热污染, 对水生生物的繁殖、生长均会产生影响。

5) 粉煤灰渣: 是煤燃烧后排出的固体废弃物。其主要成分是二氧化硅、三氧化二铝、氧化铁、氧化钙、氧化镁及部分微量元素。粉煤灰既是“废弃物”也是“资源”。如不很好处置而排入江河湖海, 则会造成水体污染; 乱堆放则会造成对大气环境的污染。

虽然多年来我国采取了各种技术改造措施, 降低了火电厂对环境的污染危害, 但大部分治标不治本, 或者带来了二次污染。譬如采用更高的烟囱, 虽然火电厂周边空气质量好转, 但确带来了高空有害物质更大面积的扩散; 某些技改措施虽然收到了明显效果, 譬如脱硫装置, 除增加了电厂运营成本之外, 也大多存在二次污染问题。

所以说, 燃煤火力发电厂为千家万户带来光明的同时, 确也极大地破坏着我们的环境。目前, 我国正在下大力气淘汰小型的、落后的燃煤发电机组, 因为这些单位发电量造成的污染量最大。同时严格审批新建火电厂。最新统计数字带来的可喜变化是, 在 2014 年上半年我国新增的发电装机容量中, 可再生能源发电装机量已经首次超过燃煤火电装机量。

习 题

1. 总结你所了解的能源种类, 并根据对人类及环境的影响程度, 列出对人类生产生活负面影响小的能源种类。
2. 结合自己对身边相关事物的了解, 简述可再生能源发电的意义。

第2章 风力发电及其控制

关键术语:

风速、风能密度、风向、风力机、定桨距、变桨距、恒速、变速、风能利用率、叶尖速比、失速控制、变桨控制、偏航系统、笼型异步发电机、直驱永磁同步发电机、双馈异步发电机、输出功率、MPPT控制、并网方法、低电压穿越、风力发电场。

学过本章后, 读者将能够:

- 了解风的形成及风资源分布, 掌握风速、风向、风能密度基本概念;
- 可自信地描述常见风力发电系统的结构及基本原理;
- 熟悉常见风力机的类型、工作原理、力学及数学分析方法;
- 理解何为失速控制、变桨控制、偏航控制, 以及恒速、变速运行;
- 熟悉三种常见风力发电机的结构、发电原理及各自特点;
- 理解三类常见风力发电机组的运行及输出功率特性, 了解 MPPT 控制方法;
- 理解常见风力发电机组的并网条件及并网方法, 了解相关安全防护措施;
- 理解低电压穿越的基本概念和意义, 了解低电压对发电机组的不良影响;
- 了解陆地和近海风力发电场的选址、地点选择等技术。

引例

在历史上, 一提到风, 印象中往往伴随着的是灾难, 仅有的利用风力的例子也仅限于帆船、风车等少数特定的几种。

今天, 风有了一个巨大的用处, 它是绿色环保的代名词。这就是风力发电。并且, 只要风速达到一定程度, 不管是山坡、平地、草原, 还是河海岸边、海上湖中, 或是偏远野外强风无电的乡村、海岛, 都可以建设风力发电设施发电。它不会造成大气污染、没有废水排放, 温室效应也与它无关, 它是一种纯天然绿色的可再生能源。图 2-1 为运行中的风力发电设施。

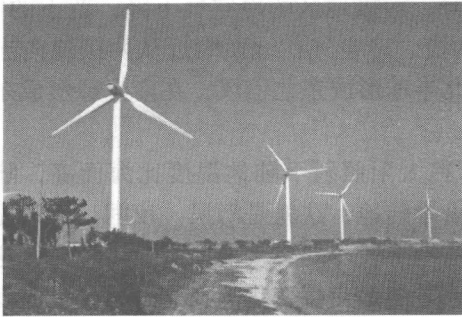


a) 平地风电场

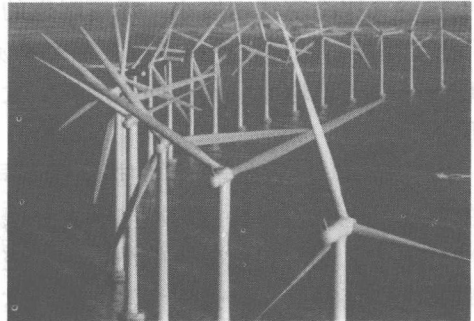


b) 山坡风电场

图 2-1 风力发电设施



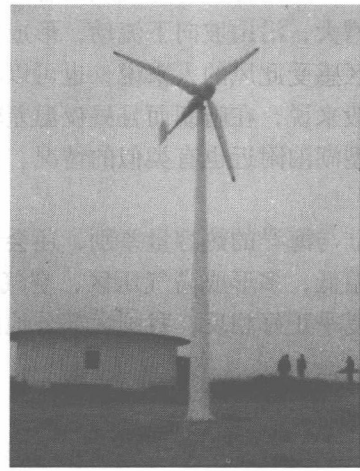
c) 海岸风电场



d) 近海风电场



e) 野外通信设施自备风力发电装置



f) 电网达不到的偏远乡村风电设施

图 2-1 风力发电设施(续)

2.1 风及风能资源

2.1.1 风的形成

众所周知，地球从地面直至数万米高空被厚厚的大气层包围着。由于地球的自转、公转运动，地表的山川、沙漠、海洋等地形差异，以及云层遮挡和太阳辐射角度的差别，虽说是阳光普照，但地面的受热并不均匀。不同地区有温差，外加空气中水蒸气含量不同，就形成了不同的气压区。

空气从高气压区域向低气压区域的自然流动，称为大气运动。在气象学上，一般把空气的不规则运动称为紊流，垂直方向的大气运动称为气流，水平方向的大气运动称为风。

风，按照形成原因，有信风、海陆风和山谷风等几种。

1) 信风。赤道附近地区, 受热多, 气温高; 两极附近, 太阳斜射, 受热少, 气温低。由于热空气比冷空气密度小, 赤道附近的热空气上升, 两极地区的冷空气下降, 留下的“空缺”相互填补, 就形成了热空气在高空从赤道流向两极、冷空气在地面附近从两极流向赤道的现象。由于地球本身自西向东旋转, 大气环流在北半球形成东北信风, 在南半球形成东南信风。

2) 海陆风。大陆与海洋的热容量不同。白天, 在太阳照射下陆地温度比海面高, 陆地上的热空气上升, 海面上的冷空气在地表附近流向沿岸陆地, 这就是海风。夜间, 陆地比海洋冷却得快, 相对温度较高的海面上的空气上升, 陆地上较冷的空气沿地面流向海洋, 这就是陆风。沿海地区, 陆地与海洋之间的这种海陆风, 方向是交替变化的, 这是由昼夜温度变化造成的。

3) 山谷风。白天受太阳照射的山坡朝阳面受热较多, 形成热空气; 地势低凹的山谷处受热较少, 则山谷内冷空气从山谷流向山坡, 形成谷风。夜间, 山坡降温幅度大, 上方的空气密度增大, 沿山坡向下流动, 形成山风。山谷风是在靠山地区与山坡地形有关的风, 对于平原地区感受此风的人来说, 也可以称其为平原风。

一般来说, 在晴朗而且昼夜温差较大的沿海地区, 白天吹来海风, 夜晚则有陆风吹向海上。大型湖泊附近也有类似的情况。在山区, 白天谷风从谷底向山上吹, 晚上山风从山上向山下吹。

大陆与海洋的热容量差别, 还会形成季节性的气压变化。以我国的华北地区为例, 冬季内陆气温低, 多形成高压区, 空气流向东南方向的海洋低气压区, 所以在冬季多刮西北风。而夏季正好相反, 我国大部分地区常刮东南风。

2.1.2 风的描述

风的方向多变, 大小也随时随地不同。一般常用风向、风速、风能密度等参数来描述风的情况。

1) 风向。风向就是风吹来的方向。例如, 大气从南向北流动形成的风, 就称为南风。观测风向的仪器, 目前使用最多的是风向标, 它可以在转动轴上自由转动, 头部总是指向风的来向。

2) 风速。风速就是单位时间内空气在水平方向上移动的距离。通常所说的风速, 是指一段时间内的风速的算术平均值。

离地高度不同, 风速也不一样。一般在几千米高度范围以内, 随着高度的增加, 风会逐渐增大。

在日常生活中, 经常用风级来描述风的大小。风级是根据风对地面或海面物体产生影响而引起的各种现象, 并按风力的强度等级对风力大小的估计。1805年英国人蒲福(Francis Beaufort)提出了风速的等级, 这就是国际著名的“蒲福风级”。蒲福风级的定义和描述见表2-1。

表 2-1 蒲福风级的定义和描述

蒲福风级	名称	风速/(m/s)	表现形式
0	无风	0~0.2	零级无风炊烟上