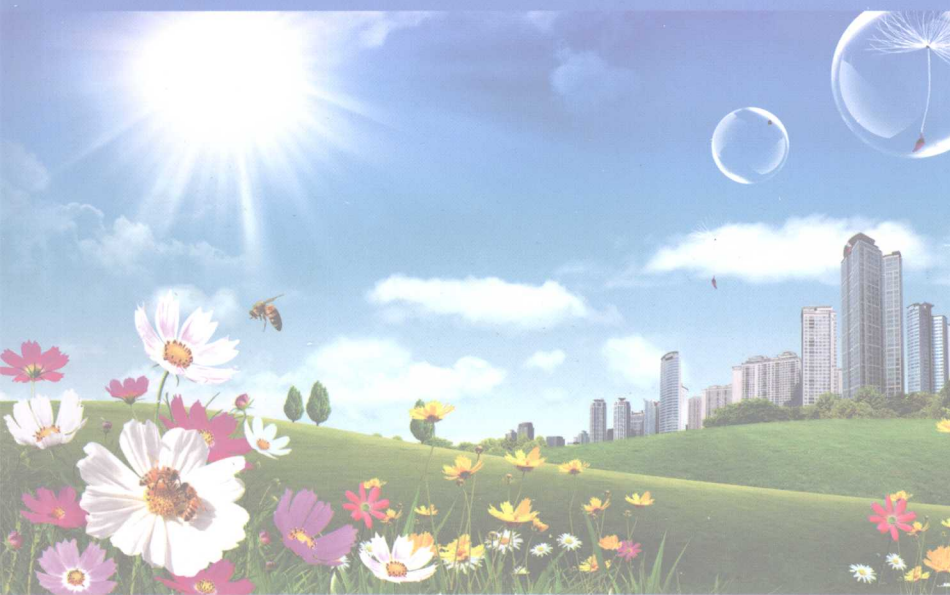


◎ 杨金焕 于化丛 葛亮 编著

太阳能光伏发电 应用技术



<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

太阳能光伏发电应用技术

杨金焕 于化丛 葛亮 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

太阳能光伏系统的应用正在迅速发展,本书在全面介绍太阳能光伏发电基本知识的基础上,着重对光伏系统应用技术,包括太阳辐照量的正确计算,光伏方阵最佳倾角的确定,配套部件的性能及选择,各类光伏系统的优化设计,各种光伏系统的实际应用,以及光伏系统的安装维护等方面,进行了比较详细的阐述和分析,希望能使读者对光伏系统应用技术有比较全面、正确的了解。本书同时也对太阳电池的工作原理、制造工艺,薄膜电池的发展等进行了比较系统的介绍。

本书可作为有关研究机构 and 高等院校师生的参考用书,也可供太阳能光伏企业的管理和工程技术人员以及科技爱好者参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能光伏发电应用技术/杨金焕,于化丛,葛亮编著. —北京:电子工业出版社,2009.1
ISBN 978-7-121-08031-9

I. 太… II. ①杨… ②于… ③葛… III. 太阳能发电 IV. TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第206063号

责任编辑:苏颖杰(sujj@phei.com.cn)

印 刷:北京市通州大中印刷厂

装 订:三河市万和装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15.5 字数:374.2千字

印 次:2009年1月第1次印刷

印 数:4000册 定价:38.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

进入 21 世纪,全球经济增长引发的能源消耗达到了前所未有的程度。常规化石燃料能源不仅在满足人类社会生活上已经捉襟见肘,而且因化石燃料过度消耗引起的全球变暖以及生态环境恶化给人类带来了更大的生存威胁。因此,能源和环境的可持续发展已成为人类最关注的重大问题之一。大力发展可再生能源技术是解决这个重大问题的唯一选择。从长远的观点看,在各种可再生能源技术中,太阳能光伏发电具有最理想的可持续发展特征:最丰富的资源(能源资源和材料资源,如硅)和最洁净的发电过程。因此,太阳能光伏发电成为世界可再生能源发展的最大着力点,也是最亮点之一。

太阳能光伏发电自 20 世纪 90 年代后半期进入了快速发展时期。最近 10 年和最近 5 年太阳电池的年平均增长率分别为 41.3% 和 49.5%。2007 年太阳电池产量达到了 4000MW,总装机容量约 10GW。特别是自 2004 年德国实施了经过修订的《上网电价法》以来,市场需求急剧扩大,光伏产品供不应求。尽管有材料短缺的限制,2007 年太阳电池/组件产量的年增长率仍然达到 56.2%。

光伏发电的另一个突出特点是,并网发电的应用比例越来越大,从 21 世纪开始已经成为光伏发电应用的主导市场。2007 年欧洲的并网光伏系统比例达到 95% 以上,世界平均达到 80% 以上。自 2000 年以来,并网光伏发电的年平均增长率超过 60%,是整个可再生能源技术中相对增长最快的技术。光伏发电在能源结构中正在发挥着越来越大的替代作用。

我国光伏产业是在世界光伏市场的拉动下快速发展起来的。2006 年我国太阳电池产量占世界的 17.1%,仅次于日本、欧洲,成为世界太阳电池的第三大生产国;2007 年我国太阳电池产量达到 1088MW,占世界总产量的 27.2%,超过日本(920MW)和欧洲(1062.8MW),成为世界太阳电池的第一大生产国。虽然我国光伏发电市场目前还很小,一旦实施可再生能源法的核心条款——“上网电价法”和“全网平摊”机制,我国光伏市场必将呈现前所未有的蓬勃发展景象,成为世界最大的光伏市场。

正是在国内外光伏发电产业蓬勃发展的时刻,我们面前呈现出《太阳能光伏发电应用技术》这本专著,令人非常高兴。关注光伏发电产业的热情正在从学界、业界向整个社会扩展,有关光伏发电的科学和技术知识也成为社会最迫切、最渴望的需求之一。这本专著从实用角度出发,系统完整地介绍了有关光伏发电的相关知识,为满足社会迫切需求做出了十分积极的贡献。

本书作者杨金焕教授是我国资深的光伏专家,自 20 世纪 70 年代末从未间断过光伏发电技术的研究开发。我国光伏发电应用技术的发展道路上有他厚重的足迹,这部专著又为我们展现出他在学术上严谨、技术上求精的治学态度和风格。

作为一部应用技术专著,本书最大的特点是具有很强的知识性、可读性和实用性。所谓知识性,是指本书内容涵盖了光伏发电的各种知识。值得提出的是,本书还用翔实的文献资料说明了光伏发电的能量回收期以及光伏发电的减排作用,说明光伏发电是一种清洁能源,是一种能源回报率很高的能源技术。希望那些对光伏发电心存疑虑和误解的朋友们有机会阅读到这

些资料,以消除误解、开释疑虑。

所谓可读性和实用性,是指本书无论对从事光伏发电的专业人士,还是那些可望进入光伏发电领域或是热心关注光伏发电的读者,都是一本翻开就想读下去的好书,因为它的内容实用而可读,因为它的内容精彩而可读。

我殷切希望本书能为我国光伏发电技术、产业和市场的发展发挥积极作用。

赵玉文

2008年8月,北京

前 言

人类社会进入 21 世纪,正面临着化石燃料短缺和生态环境污染的严重局面。廉价的石油时代已经结束,逐步改变能源消费结构,大力发展可再生能源,走可持续发展的道路,已逐渐成为人们的共识。

太阳能光伏发电由于具有独特的优点,近年来正在飞速发展。太阳电池的产量平均年增长率在 40% 以上,已成为发展最迅速的高新技术产业之一,其应用规模和领域也在不断扩大,从原来只在偏远无电地区和特殊用电场合使用,发展到城市并网系统和大型光伏电站。尽管目前太阳能光伏发电在能源结构中的所占比例还微不足道,但是随着社会的发展和技术的进步,其份额将会逐步增加,可以预期,到 21 世纪末,太阳能发电将成为世界能源供应的主体,一个光辉灿烂的太阳能时代必将到来。

我国的光伏产业发展极不平衡,2007 年太阳电池的产量已经超过日本和欧洲而居世界第一位,然而光伏应用市场的发展却非常缓慢,光伏累计安装量大约只占世界的 1%,应用技术水平与国外相比还有相当大的差距。光伏产品与一般机电产品不同,必须根据负载的要求和当地的气象、地理条件来决定系统的配置,由于目前光伏发电成本较高,所以应进行优化设计,以达到可靠性和经济性的最佳结合,最大限度地发挥光伏电源的作用。然而,国内很多光伏工程和市场上光伏产品的设计、安装、使用很不合理,不少光伏系统根本不能长期稳定地运行,严重地影响了光伏发电的实际效果。

根据我们多年从事光伏发电技术研究的实践和体会,觉得有必要呼吁社会各界来重视光伏应用技术。太阳电池器件的效率要提高 1% ~ 2% 非常困难,而在实际应用中,由于设计不当,导致光伏系统效率减少 10% ~ 20% 的情况却屡见不鲜。因此,本书在全面介绍光伏发电基本知识的基础上,着重讨论有关光伏系统的应用技术,包括太阳辐照量的正确计算,光伏方阵最佳倾角的确定,配套部件的性能及选择,各类光伏系统的优化设计,以及各种光伏系统的实际应用等。希望本书能够对提高我国的光伏应用技术水平有所促进。

本书编写过程中,于化丛编写第 4 章,葛亮编写附录并承担了绘制全部图稿及全书的校核工作,汪乐、裴骏编写第 5 章部分内容,杨金焕编写其余章节,并负责全书统稿;赵建华博士审阅了第 5 章,并提出了宝贵的修改意见,曹仁贤审阅了第 6 章,并进行了重要的修改和补充;洪承恩、李毅、赵春江、贾国强等提供了很多有关的资料;中国可再生能源学会副理事长、光伏专业委员会主任赵玉文提供了宝贵意见,并欣然为本书做序,使本书得以顺利出版,在此一并致谢。同时,本书还参考了大量的著作和文献,无法全部列出,谨向有关作者致谢。

由于仓促集结成册,限于我们的学术水平和写作能力,加上掌握的资料有限,错误和遗漏在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可,复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为;歪曲、篡改、剽窃本作品的行为,均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人应承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序,保护权利人的合法权益,我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为,本社将奖励举报有功人员,并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话:(010)88254396;(010)88258888

传 真:(010)88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址:北京市万寿路173信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编:100036

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 开发利用太阳能的重要意义	1
1.1.1 化石燃料正面临逐渐枯竭的危机局面	1
1.1.2 保护生态环境逐渐受到人们的重视	3
1.1.3 常规电网的局限性	4
1.2 太阳能发电的特点	4
1.2.1 太阳能发电的优点	4
1.2.2 太阳能发电的缺点	4
1.3 近年来世界光伏产业的发展状况	5
1.3.1 太阳电池的生产	5
1.3.2 光伏应用市场	8
1.4 中国光伏产业的发展	10
1.5 部分国家(地区)发展光伏发电的规划和展望	11
1.5.1 日本	11
1.5.2 欧盟	12
1.5.3 美国	15
1.5.4 中国	18
第 2 章 太阳辐射	19
2.1 太阳概况	19
2.2 日地运动	20
2.3 日出和日落规律	21
2.4 天球坐标	21
2.4.1 赤道坐标系	21
2.4.2 地平坐标系	23
2.4.3 太阳角的计算	23
2.4.4 两排方阵之间的距离	25
2.5 太阳辐射量	26
2.5.1 大气层外的太阳辐射	27
2.5.2 到达地表的太阳辐照度	29
2.5.3 地表倾斜面上的小时太阳辐照量	32
2.5.4 地表倾斜面上的月平均太阳辐照量	37
第 3 章 晶体硅太阳电池的工作原理	41
3.1 太阳电池的分类	41
3.1.1 按基体材料分	41

3.1.2	按电池结构分	44
3.1.3	按用途分	44
3.2	太阳能电池的工作原理	45
3.2.1	半导体	45
3.2.2	P型和N型半导体	46
3.2.3	P-N结	47
3.2.4	内光电效应	48
3.2.5	太阳能电池基本工作原理	49
3.2.6	晶体硅太阳能电池的结构	49
3.3	太阳能电池的电学特性	50
3.3.1	标准测试条件	50
3.3.2	太阳能电池等效电路	50
3.3.3	太阳能电池的主要技术参数	51
3.4	提高太阳能电池效率的一些方法	56
3.4.1	最大功率跟踪	56
3.4.2	聚光	58
第4章	薄膜太阳能电池	62
4.1	概述	62
4.2	非晶硅太阳能电池	63
4.2.1	非晶硅薄膜	65
4.2.2	非晶硅太阳能电池结构	66
4.2.3	P-I-N型非晶硅太阳能电池工作原理	67
4.2.4	非晶硅太阳能电池设计	68
4.2.5	大面积非晶硅太阳能电池	69
4.2.6	非晶硅太阳能电池的衰减及可靠性	70
4.3	其他薄膜太阳能电池	74
4.3.1	纳米硅及多晶硅薄膜太阳能电池	75
4.3.2	化合物薄膜太阳能电池	75
4.3.3	染料敏化太阳能电池	77
4.3.4	有机半导体太阳能电池	78
4.4	叠层/多结叠层及渐变带隙太阳能电池	78
4.4.1	改进非晶硅电池性能的措施	78
4.4.2	叠层非晶硅太阳能电池	79
4.4.3	渐变带隙纳米硅太阳能电池	81
4.5	集成型非晶硅太阳能电池	84
4.5.1	集成型非晶硅太阳能电池的特点	84
4.5.2	集成型非晶硅太阳能电池的结构	85
4.5.3	集成型非晶硅太阳能电池的设计原则	85
4.5.4	集成型非晶硅太阳能电池的工艺	86

4.6	薄膜太阳能电池的发展机遇	87
第5章	太阳能电池的制造	89
5.1	硅材料制备	89
5.1.1	四氯化硅法	89
5.1.2	三氯氢硅法	89
5.1.3	硅烷法	90
5.2	多晶硅的制备	91
5.3	单晶硅的制备	91
5.3.1	直拉单晶法	91
5.3.2	区熔法	92
5.3.3	磁拉法	92
5.4	片状硅(带硅)制备	92
5.5	晶体硅太阳能电池制造	92
5.5.1	原材料切割	93
5.5.2	表面处理	94
5.5.3	制作绒面	94
5.5.4	扩散制结	97
5.5.5	去边(刻蚀)	99
5.5.6	去磷硅玻璃	100
5.5.7	制作减反射膜	101
5.5.8	制作电极	103
5.5.9	太阳能电池性能测试	104
5.6	高效太阳能电池工艺简介	106
5.6.1	单晶硅高效电池	106
5.6.2	多晶硅高效电池	108
5.7	太阳能电池组件的封装	109
5.7.1	太阳能电池组件封装材料	111
5.7.2	太阳能电池组件封装工序	112
第6章	光伏系统部件	116
6.1	太阳能电池方阵	116
6.1.1	太阳能电池方阵的结构	116
6.1.2	太阳能电池组件连接的原则	116
6.2	二极管	117
6.3	蓄电池	118
6.3.1	铅酸蓄电池	118
6.3.2	免维护铅酸蓄电池	121
6.3.3	胶体蓄电池	121
6.3.4	镍镉电池	122
6.3.5	镍氢电池	124

6.3.6 蓄电池的性能参数	124
6.4 控制器	129
6.5 逆变器	131
6.5.1 逆变器的分类	131
6.5.2 逆变器的技术性能	131
6.5.3 光伏并网逆变器	132
第7章 光伏系统的应用	139
7.1 光伏系统的类型	139
7.1.1 离网非户用系统	139
7.1.2 离网户用系统	157
7.1.3 分布式并网系统	158
7.1.4 集中式并网系统	158
7.1.5 混合系统	162
7.2 光伏组件的特殊应用	164
7.2.1 光伏与建筑一体化	164
7.2.2 光伏声屏障系统	167
7.3 空间光伏电站	170
第8章 光伏系统的设计	174
8.1 光伏系统容量的设计	174
8.1.1 优化设计的基本原则	174
8.1.2 技术条件	174
8.1.3 方阵倾角的选择	176
8.1.4 均衡性负载光伏系统设计	179
8.1.5 季节性负载光伏系统设计	186
8.1.6 特殊要求负载光伏系统设计	188
8.1.7 并网光伏系统的设计	189
8.2 光伏系统的机械结构设计	191
8.2.1 确定现场布置	191
8.2.2 设计方阵支架	192
8.2.3 设计安排配电房	192
8.3 电气设计	192
8.4 辅助设备选配	192
8.5 热环境设计	193
8.6 其他设计	194
第9章 光伏系统的安装、调试及维护	195
9.1 光伏系统的安装	195
9.1.1 太阳能电池方阵的安装	195
9.1.2 控制器和逆变器等电气设备的安装	197
9.1.3 蓄电池组的安装	199

9.2 光伏系统的调试	200
9.2.1 调试前的准备工作	200
9.2.2 方阵调试	201
9.2.3 控制器调试	201
9.2.4 离网逆变器调试	202
9.2.5 并网逆变控制器调试	202
9.3 光伏系统的维护及管理	204
9.3.1 日常维护	205
9.3.2 定期检查	205
第10章 光伏发电的效益分析	207
10.1 光伏发电的能量偿还时间	207
10.1.1 概述	207
10.1.2 国外分析综述	208
10.1.3 相关参数的计算	219
10.2 光伏系统减少 CO ₂ 排放量	221
10.2.1 发电排放的温室气体	221
10.2.2 CO ₂ 排放指数	222
10.2.3 光伏减排 CO ₂ 潜力	225
10.3 增加就业岗位	226
附录 光伏优化设计软件介绍	228
参考文献	233

第 1 章 绪 论

1.1 开发利用太阳能的重要意义

1.1.1 化石燃料正面临逐渐枯竭的危机局面

随着世界人口的持续增长和经济的不断发展,对于能源供应的需求量日益增加,而在目前的能源消费结构中,主要还是依赖煤炭、石油和天然气等化石燃料。

全球一次能源消费量在 1971—2002 年的平均年增长率为 2%,在 2001—2004 年为 3.7%,其中 2003—2004 年为 4.3%。增长率不断提高的主要原因是:亚太地区在 2001—2004 年的平均年增长率为 8.6%,特别是中国,在 2003—2004 年,达到了 15%。

美国能源部能源信息管理综合分析及预测办公室(EIA)于 2007 年 5 月发表的“2007 能源形势”(Energy Outlook 2007)(DOE/EIA—0484(2007))估计,世界能源消费量从 2004 年到 2030 年预计将增加 57%。在燃料中,石油一直占有最大份额,2004 年占 38%,到 2030 年将降低为 34%。煤炭是消费量增长最快的燃料,在世界能源份额中从 2003 年的 25%,只经过一年,2004 年就提高到 26%,预计 2030 年将增加到 28%。在这期间,发电用煤将占世界煤耗量的 2/3。世界工业用煤增长量中,中国将大约占 78%。表 1-1 为 1990—2030 年世界各种燃料能源消费量的统计和预测。

表 1-1 1990—2030 年世界各种燃料能源消费量的统计和预测(单位: $\times 10^{24}$ Btu^①)

年 度	历史数据			预测数据					2004—2030 年 平均增长率(%)
	1990	2003	2004	2010	2015	2020	2025	2030	
石油	136.2	161.9	168.2	183.9	197.6	210.6	224.1	238.9	1.4
天然气	75.2	99.8	103.4	120.6	134.3	147.0	158.5	170.4	1.9
煤炭	89.4	105.6	114.5	136.4	151.6	167.2	182.9	199.1	2.2
核能	20.4	26.4	27.5	29.8	32.5	35.7	38.1	39.7	1.4
其他	26.2	32.1	33.2	40.4	43.4	46.5	50.1	53.5	1.9
总计	347.3	425.7	446.7	511.1	559.4	607.0	653.7	701.6	1.8

① Btu 为英热单位符号,1 Btu = 2.93071 $\times 10^4$ kW·h。

可见,到 2030 年,全世界消耗的一次能源要比 1990 年增加 120%。然而地球上化石燃料的蕴藏量是有限的,根据已探明的储量,全球石油可开采约 45 年,天然气约 61 年,煤炭约 230 年,铀约 71 年。据世界卫生组织估计,到 2060 年全球人口将达 100 亿~110 亿,如果到时所有人的能源消费量都达到今天发达国家的人均水平,则地球上主要的 35 种矿物中,将有 1/3 在 40 年内消耗殆尽,包括所有的石油、天然气、煤炭(假设为 2 万亿吨)和铀。所以,世界化石燃料的供应正在面临严重短缺的危机局面。

中国的经济正在高速发展,能源消耗量也在迅速增加,根据 EIA 的 *Energy Outlook 2007* 附表 A1 的统计和预测,世界部分国家和地区的一次能源消费量见表 1-2, 预计中国到 2030 年一次能源消费的平均年增长率为 3.5%, 居世界第一。虽然中国的能源资源总量比较丰富, 目前能源产量居世界第二, 但是由于人口众多, 人均能源资源拥有量在世界上处于较低的水平, 一次能源的储量低于世界平均值(见图 1-1), 能源供应形势不容乐观。

表 1-2 1990~2030 年部分国家和地区一次能源消费量(单位: $\times 10^{15}$ Btu)

国家/地区	历史数据			预测数据					2004~2030 年平均增长率(%)
	1990	2003	2004	2010	2015	2020	2025	2030	
美国	84.7	98.3	100.7	106.5	112.3	118.2	124.4	131.2	1.0
加拿大	11.1	13.5	13.6	15.5	15.9	16.7	17.5	18.4	1.2
墨西哥	5.0	6.5	6.6	8.3	9.2	10.2	11.1	12.1	2.3
日本	18.4	22.2	22.6	23.5	24.1	24.6	25.0	25.4	0.5
韩国	3.8	8.7	9.0	9.6	10.8	11.8	12.5	13.4	1.6
澳大利亚/新西兰	4.4	6.0	6.2	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	1.2
俄罗斯	39.0	28.8	30.1	32.9	35.3	37.6	40.1	41.6	1.3
中国	27.0	49.7	59.6	82.6	97.1	112.8	128.3	145.4	3.5
印度	8.0	14.4	15.4	18.2	21.7	25.1	28.6	31.9	2.8
中东	11.3	19.9	21.1	26.3	29.5	32.6	35.5	38.2	2.3
非洲	9.5	13.3	13.7	16.9	19.2	21.2	23.1	24.9	2.3
中南美洲	14.5	21.7	22.5	27.7	31.5	34.8	38.0	41.4	2.4
总计	347.3	425.7	446.7	511.1	559.4	607.0	653.7	701.6	1.8

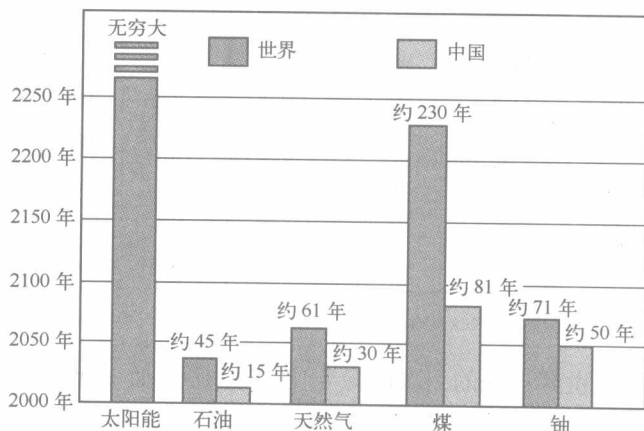


图 1-1 中国与世界化石燃料储量的比较

为了应对化石燃料逐渐短缺的严重局面, 必须逐步改变能源消费结构, 大力开发以太阳能为代表的可再生能源, 在能源供应领域走可持续发展的道路, 才能保证经济的繁荣发展和人类社会的不断进步。

1.1.2 保护生态环境逐渐受到人们的重视

由于人类的能源消费活动,主要是化石燃料的燃烧,造成了环境污染,导致全球气候变暖,冰山融化,海平面上升,沙漠化日益扩大等现象的出现,自然灾害频繁发生。人们逐渐认识到,减少温室气体的排放,治理大气环境,防止污染已经到了刻不容缓的地步。

2007年1月10日,世界经济论坛等机构在日内瓦发布的“2007年全球风险”报告称,气候变化是21世纪全球面临的最严重挑战之一,由全球变暖造成的自然灾害在今后数年内可能会导致某些地区人口大规模迁移、能源短缺,以及经济和政治动荡。

2007年2月2日,会聚了来自130多个国家的2500多名专家的联合国“政府间气候变化专门委员会”发表了第4份全球气候变化评估报告。这份报告综合了全世界科学家6年来的科学研究成果,报告称气候变暖已经是“毫无争议”的事实,过去50年全球平均气温上升“很可能”(指正确性在90%以上)与人类使用化石燃料产生的温室气体增加有关。报告预测,到2100年,全球气温将升高1.8~4℃,21世纪海平面将至少上升19~37cm,如果近年出现的北极冰层大量融化的趋势继续发展,海平面最多将升高28~58cm,有不少海岛和沿海城市将沉入海底。

Energy Outlook 2007 统计并预测了部分国家和地区在1990—2030年的CO₂排放量,见表1-3。

表1-3 部分国家和地区1990—2030年的CO₂排放量(单位:百万吨)

国家/地区	历史数据			预测数据					2004~2030年 平均增长率(%)
	1990	2003	2004	2010	2015	2020	2025	2030	
美国	4989	5800	5923	6214	6589	6944	7425	7950	1.1
加拿大	474	589	584	648	659	694	722	750	1.0
墨西哥	300	385	385	481	532	592	644	699	2.3
日本	1015	1244	1262	1274	1290	1294	1297	1306	0.1
韩国	238	475	497	523	574	614	649	691	1.3
澳大利亚/ 新西兰	291	410	424	472	490	516	549	573	1.2
俄罗斯	2334	1602	1685	1809	1908	2018	2114	2185	1.0
中国	2241	3898	4707	6497	7607	8795	9947	11239	3.4
印度	578	1040	1111	1283	1507	1720	1940	2156	2.6
中东	705	1211	1289	1602	1788	1976	2143	2306	2.3
非洲	649	895	919	1140	1291	1423	1543	1655	2.3
中南美洲	673	981	1027	1235	1413	1562	1708	1851	2.3
总计	21246	25508	26922	30860	33889	36854	39789	42880	1.8

由表1-3可见,世界CO₂排放量的年平均增长率是1.8%,到2030年CO₂的排放量将是1990年的两倍多。而中国是以年平均增长率3.4%的速度在增加,虽然中国的CO₂人均排放量不算高,但由于中国人口众多,排放总量很快就将超过美国而成为世界第一位。而且中国的能源利用率不高,能源消费以燃煤为主,煤炭中所含的硫等有害成分很高,所以受到普遍关注。据

世界银行估计,到2020年中国由于空气污染造成的环境和健康损失,将达到GDP总量的13%。

减少CO₂排放量,保护人类生态环境,已经成为当务之急。太阳能是清洁无公害的新能源,光伏发电不排放任何废弃物,大力推广光伏发电将对减少大气污染,防止全球气候变化做出有效的贡献。

1.1.3 常规电网的局限性

现在全球还有将近20亿人口没有用上电,其中相当大部分生活在经济不发达的边远地区,由于居住分散,交通不便,很难通过延伸常规电网的方法来解决用电问题,没有电力供应严重制约了当地经济的发展。而这些无电地区往往太阳能资源十分丰富,利用太阳能发电是理想的选择。

2007年,发展中国家的农村地区安装了1000MW左右的光伏系统,大约为100万户家庭提供了基本的电力。

据统计,截止到2005年底,中国大约还有270万无电户,1150万无电人口,计划要在2015年前解决无电地区的用电问题,其中一部分可采用光伏发电来解决。

2004年的《波恩世界可再生能源大会宣言》提出了要利用太阳能为10亿无电人口提供电能的目标。对于偏远地区的供电,光伏发电作为有效的补充能源将会大有用武之地。

1.2 太阳能发电的特点

1.2.1 太阳能发电的优点

太阳能发电的主要优点如下:

(1) 太阳能取之不尽,用之不竭,地球表面接受的太阳辐射能,足够满足目前全球能源需求的1万倍。只要在全球4%的沙漠上安装太阳能光伏系统,所发电力就可以满足全球的需要。太阳能发电安全可靠,不会遭受能源危机或燃料市场不稳定的冲击。

(2) 太阳能随处可得,可就近供电,不必长距离输送,避免了长距离输电线路的损失。

(3) 太阳能不用燃料,运行成本很低。

(4) 太阳能发电没有运动部件,不易损坏,维护简单,特别适合于无人值守情况下使用。

(5) 太阳能发电不产生任何废弃物,没有污染、噪声等公害,对环境无不良影响,是理想的清洁能源。

(6) 太阳能发电系统建设周期短,方便灵活,而且可以根据负荷的增减,任意添加或减少太阳能电池方阵容量,避免了浪费。

1.2.2 太阳能发电的缺点

太阳能发电的主要缺点如下:

(1) 地面应用时有间歇性和随机性,发电量与气候条件有关,在晚上或阴雨天就不能或很少发电。

(2) 能量密度较低,标准条件下,地面上接收到的太阳辐射强度为1000W/m²。大规模使用时,需要占用较大面积。

(3) 目前价格仍较贵,为常规发电的5~15倍,初始投资高。

1.3 近年来世界光伏产业的发展状况

1.3.1 太阳能电池的生产

1954年美国贝尔实验室的恰宾、富勒和皮尔松制成第一个效率为6%的太阳电池,经过改进,效率达到了10%,并于1958年装备于美国的先锋1号人造卫星上,成功地运行了8年。在20世纪70年代以前,光伏发电主要是在外层空间应用,至今人类发射的航天器绝大多数是用光伏发电作为动力的,光伏电源为航天事业做出了重要的贡献。70年代以后,由于技术的进步,太阳电池的材料、结构、制造工艺等方面不断改进,降低了生产成本,开始在地面应用,光伏发电逐渐推广到很多领域。但由于价格偏高,在相当长的时期内,陷入了“要使市场扩大,太阳电池应当降价;太阳电池要进一步降价,就要大规模生产,要依赖于市场的扩大,而市场的扩大又总不能满足进一步降价的要求”这样一个“怪圈”中。到1997年,这个怪圈开始被打破,此前太阳电池产量的年增长率平均为12%左右,由于一些国家宣布实施“百万太阳能屋顶计划”,1997年增长率就达到了42%。全球1977—1989年的太阳电池历年产量见表1-4,1990—2006年的太阳电池产量如图1-2所示,2007年的产量达到了4000MW。在1997—2007年的10年中,平均年增长率为41.3%,最近5年,更是达到了49.5%。可见,近年来光伏产业正在加速发展,已成为世界上发展速度最快的高新技术产业之一。

表1-4 全球1977—1989年太阳电池产量

年 度	1977	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
产量(MW)	0.5	9.3	21.6	25.0	24.4	27.5	29.1	35.0	42.2

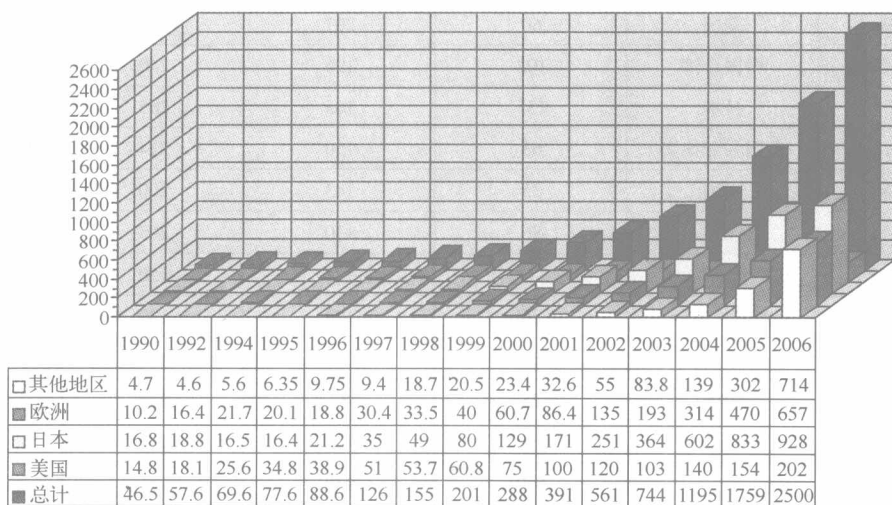


图1-2 全球1990—2006年太阳电池产量(单位:MW)

在很长时间内,太阳电池产量基本上一直是美国居第一位,1999年开始被日本超过,并长期保持领先地位,到2007年,中国迅速崛起,产量已经超过日本而成为世界第一位。全球