



21 世纪高校规划教材 (光伏专业)



JIYANGHENG

2011.11.15.25

太阳能光伏发电技术

主 编 罗玉峰 陈裕先 李 玲

江西高校出版社

21 世纪高校规划教材(光伏专业)

太阳能光伏发电技术

主 编 罗玉峰 陈裕先 李 玲

江西高校出版社

图书在版编目(CIP)数据

太阳能光伏发电技术/罗玉峰,陈裕先,李玲主编.
—南昌:江西高校出版社,2009.2
21世纪高校规划教材.光伏专业
ISBN 978-7-81132-506-5

I.太... II.①罗... ②陈... ③李... III.太阳能发电-高等学校-教材 IV.TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第022600号

出版发行	江西高校出版社
社址	江西省南昌市洪都北大道96号
邮政编码	330046
总编室电话	(0791)8504319
销售电话	(0791)8508191
网址	www.juacp.com
印刷	南昌市光华印刷有限责任公司
照排	江西太元科技有限公司照排部
经销	各地新华书店
开本	787mm×1092mm 1/16
印张	9.5
字数	231千字
版次	2009年2月第1版第1次印刷
印数	1~3000册
书号	ISBN 978-7-81132-506-5
定价	18.80元

版权所有 侵权必究

21 世纪高校规划教材(光伏专业)

编写委员会

- 主任** 罗玉峰 新余高等专科学校
- 副主任** 宋京伟 江西中山职业技术学院
薛德钧 南昌理工学院
韩志宏 江西渝州科技职业技术学院
- 委员** (以姓氏笔画排列)
- 李一龙 江西渝州科技职业技术学院
- 张洪涛 江西蓝天学院
- 张存标 江西中山职业技术学院
- 黄汉云 江西渝州科技职业技术学院
- 彭健飞 南昌理工学院
- 廖卫兵 新余高等专科学校

前言

得益于全球光伏产业的高速发展,我国光伏产业近年来也迅速腾飞。2005年,我国的光伏电池总产量仅150MW,而到2006年,这个数字已经上升到450MW左右,增长率达到200%,2007年总产量突破1000MW,增长势头持续强劲。目前,我国已经超越美国、日本和欧洲,成为全球最大的光伏产业基地。

尽管光伏产业已经得到了长足的发展,但光伏发电在全球电网中的份额几乎忽略不计。以光伏发电应用最为发达的德国为例,自2004年推行光伏电力并购补贴法案以来,德国成为全球最大的光伏市场,每年全球50%左右的装机容量均在德国。但即便是如此迅猛的增长,到目前为止,光伏发电在德国电网中的比例也不到0.5%。根据欧盟联合研究中心预测,光伏发电将在本世纪中叶成为全球电网的主要能源之一,在本世纪末,光伏发电在全球电网中的份额将超过50%。显然,现有光伏发电的规模远远不能满足预测中的需求。因此,为了在未来的竞争中占据主动,继续保持快速扩张,我国应加大力度发展太阳能光伏发电产业,将其发展成为21世纪中叶最重要的发电方式,以便在世界可持续发展的能源结构中占有一席之地。

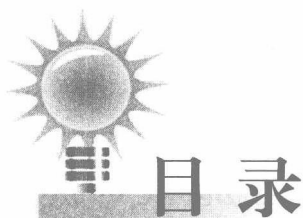
光伏产业是新兴的高科技产业,它对人才的需求,相比传统行业,显得更加迫切。受我国光伏技术发展历史背景的制约,目前我国光伏产业极度缺乏高素质的技术人才和管理人才,现有光伏专业技术队伍总体素质有待提高。因此,加强人才培养力度,建立完善的人才培养体系,为我国光伏产业持续发展培养又多又好的人才,是当前一项急迫和艰巨的工作。为了适应这种需要,我们组织编写了这本《太阳能光伏发电技术》教材。本书着重介绍太阳能光伏发电技术的基本知识、基本理论、基本技能,力争体现思想性、科学性、系统性、先进性、启发性、适用性。本书分9章系统介绍了太阳能光伏发电系统的结构和主要部件,从系统设计到施工及维护管理,对太阳能光伏发电作了较为全面、系统的介绍。本书为21世纪高校规划光伏专业系列教材之一。另外,本书也可供从事太阳能光伏发电应用技术的科技工作者、大专院校师生及太阳能发电爱好者的阅读参考之用。

本书由罗玉峰、陈裕光、李玲任主编,廖卫兵、杨祚宝任副主编。崔海昱编写第一章,王志刚编写第二章,李玲编写第三、六、七章,欧阳小芳编写第四章,杨祚宝、龙维绪编写第五、八、九章。

由于编者水平有限,经验不足,时间仓促,书中难免会有些错误和疏漏之处,竭诚欢迎广大师生和读者提出宝贵意见,使本书不断改进、不断完善。在教材中引用了一些资料,在此一并表示对有关专家学者和单位的感谢!

编者

2009年1月



第 1 章 太阳能光伏发电概述	1
1.1 太阳能与太阳辐射	1
1.1.1 太阳能	1
1.1.2 太阳能辐射	2
1.1.3 我国丰富的太阳能资源	3
1.1.4 太阳能的利用	4
1.2 光伏发电技术	5
1.2.1 光伏产业发展现状及前景	5
1.2.2 中国光伏市场和产业发展状况	9
1.2.3 光伏在农村电气化和并网发电市场上的潜力	12
第 2 章 太阳能光伏发电系统组成及原理	14
2.1 太阳能光伏发电系统的工作原理	14
2.2 太阳能光伏发电系统的运行方式	15
2.3 太阳能光伏发电系统的组成	16
2.3.1 独立太阳能光伏发电系统的组成	16
2.3.2 并网太阳能光伏发电系统的组成	18
2.3.3 安全保护及“孤岛效应”防护手段	23
第 3 章 太阳电池及其组件	26
3.1 太阳电池	26
3.1.1 太阳电池原理	26
3.1.2 太阳电池的基本特性	27
3.2 太阳电池的分类	32
3.2.1 单晶硅太阳电池	32
3.2.2 多晶硅太阳电池	33
3.2.3 非晶硅太阳电池	33



3.2.4	GaAs 太阳电池	34
3.2.5	CdTe 薄膜太阳电池	34
3.2.6	CuInSe ₂ (CuIn _x Ga _{1-x} Se ₂)薄膜太阳电池	35
3.2.7	聚光太阳电池	35
3.3	太阳电池组件	36
第 4 章	蓄电池及其充放电模式	41
4.1	蓄电池的基本概念与特性	41
4.1.1	蓄电池的基本概念	41
4.1.2	蓄电池的主要参数	42
4.1.3	蓄电池的基本特性	46
4.2	蓄电池分类及工作原理	48
4.2.1	酸性蓄电池的结构及工作原理	48
4.2.2	碱性蓄电池的结构及工作原理	49
4.2.3	光伏发电系统中采用的其他电池	49
4.3	蓄电池充放电特性	50
4.3.1	铅酸蓄电池充放电原理	51
4.3.2	过冲过放现象	52
4.3.3	充放电中电流规律	52
4.3.4	充放电中极化过程	53
4.4	蓄电池充放电控制	54
4.4.1	蓄电池充放电中常见的几个问题	54
4.4.2	蓄电池的充放电控制技术	55
4.4.3	蓄电池的使用和维护	56
第 5 章	光伏控制器与逆变器	59
5.1	控制器	59
5.1.1	控制器的工作原理	59
5.1.2	控制器的分类及选购注意事项	61
5.2	逆变器	65
5.2.1	逆变器的工作原理	67
5.2.2	逆变器的分类	69
5.2.3	逆变器的重要技术指标	69
5.2.4	逆变器选型注意事项	70
第 6 章	光伏发电系统设计	72
6.1	光伏系统容量设计	73
6.1.1	光伏发电系统容量设计步骤	73



6.1.2	蓄电池组容量设计	74
6.1.3	太阳电池方阵设计	78
6.2	太阳电池方阵列的基础部分设计	87
6.3	防雷接地设计	89
6.3.1	防雷和防雷设备	89
6.3.2	接地设计	91
第 7 章	太阳能光伏发电系统施工	94
7.1	光伏发电系统安装准备	94
7.1.1	机房条件要求	94
7.1.2	设备器材检查要求	94
7.1.3	安全准备	95
7.2	太阳电池方阵基座	95
7.2.1	地面混凝土基座	95
7.2.2	水泥架空式基座	95
7.3	方阵机架的安装	95
7.3.1	一般机架的安装	95
7.3.2	倾角可调式机架的安装	96
7.4	太阳电池方阵的安装	96
7.4.1	安装前的准备	96
7.4.2	组件的安装	96
7.4.3	方阵布线	96
7.4.4	方阵测试	97
7.5	电源馈线的连接	97
7.5.1	电源馈线的选取	97
7.5.2	电源馈线敷设	98
7.5.3	电源馈线和控制柜的连接	98
7.5.4	通电检查	98
7.6	蓄电池的安装	99
7.6.1	一般规定	99
7.6.2	阀控式密封蓄电池	99
7.7	光伏系统控制柜的安装	99
7.7.1	设备安装	99
7.7.2	通电试验	99
7.8	系统的防护装置	100
7.9	低压架空配电线路	101
7.10	光伏系统安装实例	106



第 8 章 光伏系统工程验收及维护	112
8.1 光伏系统工程的检查	112
8.1.1 工程验收前的检查	112
8.1.2 日常检查	113
8.1.3 定期检查	113
8.2 光伏发电系统的测量	113
8.2.1 光伏系统装置的电气测量	114
8.2.2 系统装置阻抗特性的测量	115
8.3 光伏系统工程验收的相关事项	117
8.3.1 光伏发电系统工程验收注意事项	117
8.3.2 太阳能光伏发电系统竣工技术文件	117
8.3.3 工程验收项目及内容	119
8.4 光伏系统工程的维护	121
8.4.1 太阳电池方阵的维护	121
8.4.2 充放电控制器及逆变器等维护	122
8.4.3 蓄电池的维护	123
第 9 章 太阳能光伏发电系统的典型工程应用	124
9.1 太阳能光伏并网示范工程	124
9.1.1 天和家园 43kWp 屋顶并网光伏发电系统设计范例	124
9.1.2 北京南站太阳能与建筑一体化设计案例	128
9.2 太阳能水泵系统	132
9.2.1 太阳能水泵系统的主要电路结构	132
9.2.2 太阳能水泵系统控制器与控制策略	134
9.2.3 太阳能水泵系统实验	134
9.3 太阳能光伏发电路灯系统	137
9.3.1 太阳能路灯系统简介	137
9.3.2 沈阳工程学院新校区太阳能路灯系统案例	137
主要参考文献	140
后 记	142



太阳能光伏发电概述

对于人类而言,太阳是非常重要的一颗恒星,为人类提供光和热。太阳高温、高压,蕴藏着巨大的能量,不断地通过光线向宇宙放射,太阳能是人类重要的无污染新型能源。当太阳光线到达地球时,一小部分被大气吸收,绝大部分可以直接照射到地球的表面。地球的自转、季节、气候条件和大气层成分等因素,都对地球上接收到的太阳能产生影响,也就是说在地球上不同地球受到的光照是不同的,我国的西藏自治区是地球上太阳能最丰富的地区之一。

本章首先讲解了太阳能的基本性质,阐述了太阳能的辐射、吸收以及大气质量等概念,然后介绍了太阳能的几种利用形式,最后介绍了太阳能光伏技术的历史、现状、存在的问题以及应用前景。

1.1 太阳能与太阳辐射

1.1.1 太阳能

太阳是距离地球最近的恒星,直径 $1.39 \times 10^6 \text{km}$,是地球的 109 倍,而它的体积和质量分别是地球的 130 万倍和 33 万倍。它是由炽热气体构成的一个巨大球体,中心温度约 10^7K ,表面温度接近 5800K ,主要由氢和氦组成,其中氢占 80%,氦占 19%。

太阳内部处于高温、高压状态,不停地进行着热核反应,由氢聚变成氦。据测算,每秒约有 $6 \times 10^{11} \text{kg}$ 的氢转变为氦,净质量亏损约为 $4 \times 10^3 \text{kg}$ 。根据爱因斯坦相对论,通过热核反应,质量可以转化为能量,其公式为

$$E = mc^2 \quad (1.1)$$

式中: m 为物质的质量; c 为真空中的光速($3 \times 10^8 \text{m/s}$)。

在进行热核反应时,生成大量的能量,由式(1.1)可知,1g 物质约可转化为 $9 \times 10^3 \text{J}$ 的能量。巨大的能量不断从太阳向宇宙辐射,达到 $3.6 \times 18^{20} \text{mv/s}$,其中约 22 亿分之一辐射到地球上,经过大气层的反射、散射和吸收,约有 70% 的能量辐射到地面。尽管太阳能只有很少的一部分辐射到地面,但数量仍然是巨大的,每年辐射到地球表面的太阳能能量



约为 $31.8 \times 10^{18} \text{kW}\cdot\text{h}$, 等于 1.3×10^6 亿吨标准煤, 是地球年耗费能量的几万倍。按照目前太阳质量损耗的速率, 太阳的热核反应可进行 6×10^{10} 年。

太阳能既是一次能源, 又是可再生能源。它资源丰富, 既可免费使用, 又无需运输, 对环境无任何污染。但太阳能也有两个主要缺点: 一是能流密度低; 二是其强度受各种因素(季节、地点、气候等)的影响不能维持常量。这两大缺点大大限制了太阳能的有效利用。

人类对太阳能的利用有着悠久的历史。中国早在两千多年前的战国时期就知道利用钢制四面镜聚焦太阳光来点火; 利用太阳能来干燥农副产品。发展到现代, 太阳能的利用已日益广泛, 它包括太阳能的光热利用, 太阳能光电利用和太阳能的光化学利用等。总之, 严格地说, 除了地热能和原子核能以外, 地球上的所有其他能源全部来自太阳能。这也称为“广义太阳能”, 以便与仅指太阳辐射能的“狭义太阳能”相区别。

狭义太阳能是各种可再生能源中最重要的基本能源, 也是人类可利用的最丰富的能源。太阳每年投射到地面上的辐射能高达 $1.05 \times 10^{18} \text{kW}\cdot\text{h}$, 按目前太阳的质量消耗速率计, 可维持 6×10^{10} 年。所以可以说它是“取之不尽, 用之不竭”的能源。但如何合理利用太阳能, 降低其开发和转化的成本, 是新能源开发中面临的重要问题。

1.1.2 太阳能辐射

当太阳光照射到地球时, 一部分光线被反射或散射, 一部分光线被吸收, 只有约 70% 的光线能透过大气层, 以直射光或散射光到达地球表面。到达地球表面的太阳光一部分被表面物体所吸收, 另外一部分又被反射回大气层。

在地球大气层之外, 地球与太阳平均距离处, 垂直于太阳光方向的单位面积上的辐射能基本上为一个常数。这个辐射强度称为太阳常数, 或称此辐射为大气质量为零 (AM0) 的辐射, 取值 $1.367 \pm 0.007 \text{kW}/\text{m}^2$ 。

阳光穿过地球大气层时, 至少衰减了 30%。造成衰减的原因是:

1. 瑞利散射或大气中的分子散射。这种散射对所有波长的太阳光都有衰减作用, 但对短波长的光衰减最大。
2. 悬浮微粒和灰尘引起的散射。
3. 大气, 特别是其组成气体——氧气、臭氧、水蒸气和二氧化碳的吸收。

晴天, 决定总入射功率的最重要的参数是光线通过大气层的路程。太阳在头顶正上方时, 路程最短。实际路程和此最短路程之比称为光学大气质量。用 AM 表示, 定义为

$$AM = \frac{b}{b_0} = \sec Z \quad (1.2)$$

式中: b_0 —大气厚度; b —太阳光以天顶角 Z 斜入射时通过大气的距离; Z —太阳天顶角。

如图 1.1 所示:



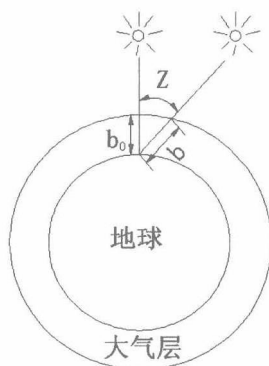


图 1.1 太阳光到入射地球表面示意图

当 $Z=0$ 时, $AM=1$, 称大气质量为 1, 用 AM1 表示。当 $Z=48.2^\circ$, $AM=1.5$; $Z=60^\circ$, $AM=2$;

分别用 AM1.5 和 AM2 表示大气质量为 1.5 和 2。AM1.5, 是指典型晴天时太阳光照射到一般地面的情况, 其辐射总量为 $1\text{kW}/\text{m}^2$, 常用于太阳电池和组件效率测试时的标准。

图 1.2 中最下面的曲线表示到达地球表面的阳光的典型光谱分布, 同时示出与分子吸收有关的吸收带。图中显示出 AM0 和 AM1.5 辐射的光谱分布, 同时还显示出假定太阳是 6000K 的黑体时所预期的太阳辐射的光谱分布。

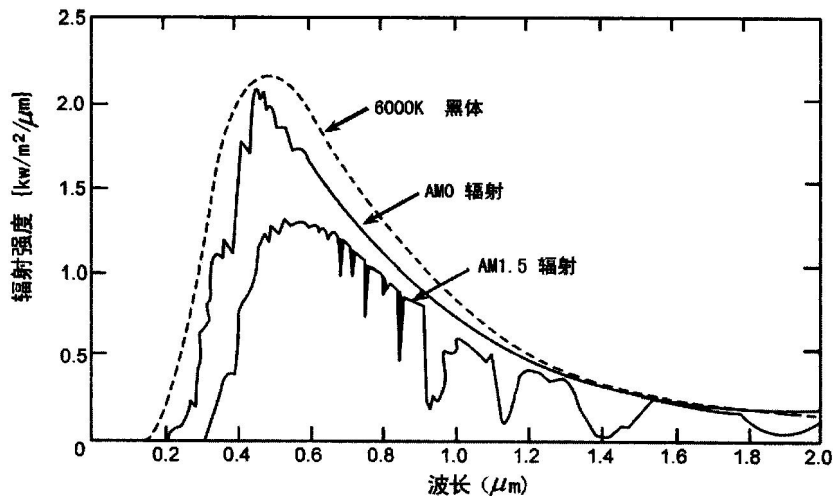


图 1.2 太阳光谱分布图

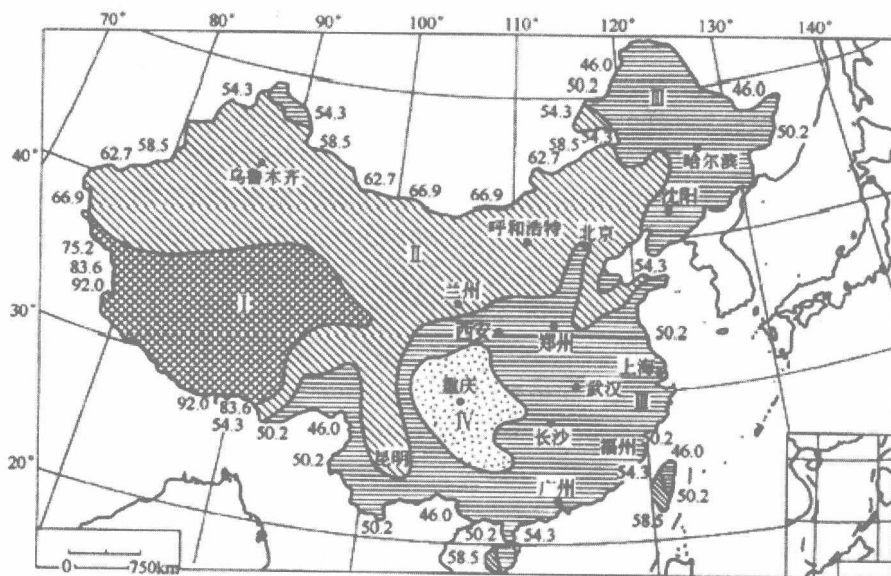
1.1.3 我国丰富的太阳能辐射资源

气候学家根据太阳辐射在纬度间的差异, 将世界划分为 4 个气候带, 其名称和范围是: 赤道带和至南北纬 10° 以内, 热带纬度 10° 至回归线 (23.5°), 温度回归线至极圈 ($23.5^\circ \sim 66.5^\circ$), 寒带极圈以内 ($66.5^\circ \sim 90^\circ$)。在中国, 气象部门将热带气候进一步分为

南热带、中热带、北热带、南亚热带、中亚热带、北亚热带。

世界太阳能资源分布情况如下：太阳能资源丰富程度最高地区为：印度与巴基斯坦、中东、北非、澳大利亚和新西兰；而太阳能资源丰富程度中高地区为美国、中美和南美地区；太阳能资源丰富程度中等地区为：西南欧洲、巴西、东南亚、大洋洲、中国、朝鲜和中非；太阳能资源丰富程度中低地区为：东欧和日本；太阳能资源丰富程度最低地区为加拿大与西北欧洲。

我国是世界上太阳能最丰富的地区之一，特别是西部地区，年日照时间达 3000h 以上。太阳能分布最丰富的是青藏高原地区，可与地球上最好的印巴地区相媲美。全国 2/3 以上地区的年日照大于 2000h，年均辐射量约为 $5900\text{MJ}/\text{m}^2$ 。青藏高原、内蒙古、宁夏、陕西等西部地区光照资源尤为丰富，而我国无电地区大多集中于此。我国各地区的太阳能资源分布如图 1.3 所示。



I 资源丰富带 $6700\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{a}$; II 资源较富带 $5400\sim 6700\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{a}$;
 III 资源一般带 $4200\sim 5400\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{a}$; IV 资源贫乏带 $< 4200\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{a}$

图 1.3 中国太阳能资源分布

1.1.4 太阳能的利用

太阳能利用的基本方式可以分为如下 4 大类：

(1) 光热利用

它的基本原理是将太阳辐射能收集起来，通过与物质的相互作用转换成热能加以利用。目前使用最多的太阳能收集装置，主要有平板型集热器、真空管集热器和聚焦型集热器等三种。通常根据所达到的温度和用途的不同，而把太阳能光热利用分为低温利用 ($< 200^\circ\text{C}$)、中温利用 ($200^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$) 和高温利用 ($> 800^\circ\text{C}$)。目前低温利用主要有太阳能热水器、太阳能干燥器、太阳能蒸馏器、太阳房、太阳能温室、太阳能空调制冷系统等，

中温利用主要有太阳灶、太阳能热发电聚光集热装置等,高温利用主要有高温太阳炉等。

(2) 太阳能发电

未来太阳能的大规模利用是用来发电。利用太阳能发电的方式有多种,目前已实际利用的主要有以下两种:一是光—热—电转换。即利用太阳辐射所产生的热能发电。一般是用太阳集热器将所吸收的热能转换为工质的蒸气,然后由蒸气驱动汽轮机带动发电机发电。前一个过程是光—热转换,后一个过程是热—电转换;二是光—电转换。其基本原理是利用光生伏打效应将太阳辐射能直接转换为电能,它的基本装置是太阳电池。

(3) 光化学利用

这是一种利用太阳辐射能直接分解水制氢的光—化学转换方式。

(4) 光生物利用

通过植物的光合作用来实现将太阳能转换成为生物质的过程。目前主要有速生植物(如薪炭林)、油料作物和巨型海藻等。本书主要介绍太阳能发电中的光伏利用。

1.2 光伏发电技术

从 1839 年法国科学家 E. Becquerel 发现液体的光生伏打效应算起,太阳电池已经经历了 160 多年漫长的发展历史。从总的发展来看,基础研究和技术进步都起到了积极推进的作用。对太阳电池的实际应用起到了决定性作用的是 1954 年美国贝尔实验室的 3 位科学家关于单晶硅太阳电池的研制成功,在太阳电池发展史上起到了里程碑的作用,因为它是第一个能以适当效率将光能转为电能的光伏装置,所以它的出现标志着太阳电池研制工作的重大进展。早在 1958 年,这种电池就用作宇宙飞船的电源。到 60 年代初,供空间应用的电池的设计已经成熟。此后十多年,太阳电池主要用于空间。

70 年代初,硅太阳电池的发展经历了一个革新阶段,能量转换效率得到明显提高。大约与此同时,人们对太阳电池的地面应用重新又发生了兴趣。到了 70 年代末,地面应用的太阳电池的数量已超过了空间应用的数量,成本也随着生产量的增加而明显下降。80 年代初出现了一些新的工艺,这些工艺正通过试生产进行评价,这就为后十年进一步降低成本做好准备。随着成本的不断降低,这种通过光伏效应利用太阳能的方法的商业应用范围会越来越大。

1.2.1 光伏产业发展现状及前景

1. 高速兴起的光伏产业

光伏产业是兴起于世纪之交的各种可再生能源产业中最受人瞩目的明星。迄今为止,人类所取得的文明和成就均是建立在大规模利用化石能源的基础之上。然而,化石能源的储量有限,终将被开采殆尽;同时,在现有的技术条件下,使用化石能源不可避免地带来污染的排放,特别是温室气体的排放,直接威胁到地球这个人类现在唯一的生存空间。因此,大力发展可再生能源,实现人与自然的可持续发展已经成为人类关注的焦点。

早在上世纪 70 年代石油危机引发西方国家的经济危机开始,西方国家便加强了对

新能源的研究和探索;特别是随着人类文明的发展,传统化石燃料面临枯竭的危机更加加速了新能源技术研究的步伐。光伏发电技术由于它独有的优势,在各种新能源技术的竞争中脱颖而出,成为全球最受关注和追捧的新能源产业。从上世纪 90 年代初开始,光伏产业在政府的推动下稳步发展。1999 年至今,9 年间全球光伏产业的年均增长速率超过 40%(如图 1.4),已经成为全球发展最快,最受关注的产业之一。

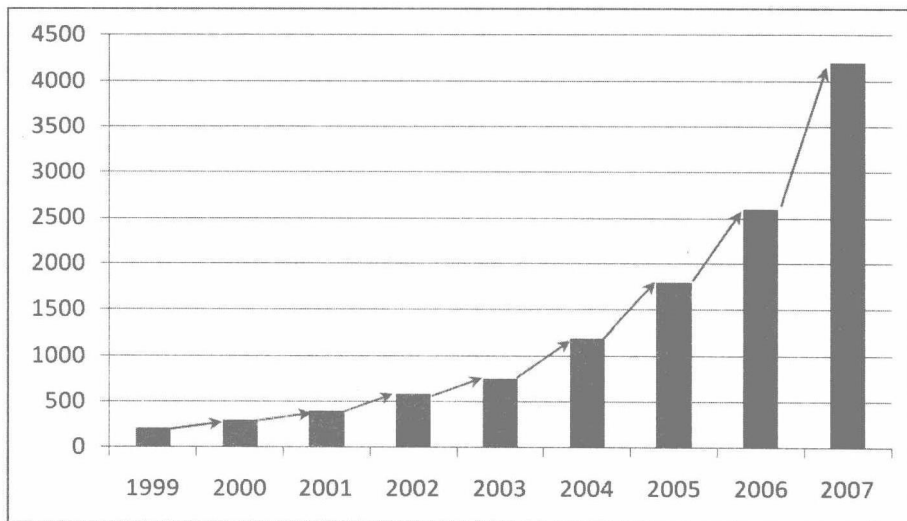


图 1.4 1999~2007 年全球光伏产业年产量及增长率(MW)

技术进步是降低光伏发电成本、促进光伏产业和市场发展的重要因素。几十年来围绕着降低成本的各种研究开发工作取得了辉煌成就,表现在电池效率不断提高,硅片厚度持续降低和产业化技术不断改进等方面,对降低光伏发电成本起到了决定性的作用。

单晶硅电池的实验室效率已经从 20 世纪 50 年代的 6% 提高到目前的 24.7%,多晶硅电池的实验室效率也达到了 20.3%。薄膜电池的研究工作也获得了很大成功,非晶硅薄膜电池实验室稳定效率达到了 13%、碲化镉(CdTe)实验室稳定效率达到 16.4%、铜铟硒(CIS)的实验室效率达到 19.5%,如表 1.1 所示。其他新型电池,如多晶体硅薄膜电池、染料敏化电池、有机电池等不断取得进展,更高效率的新概念电池也受到广泛重视。

表 1.1 太阳电池实验室效率

电池种类	转换效率/%	研制单位	备注
单晶硅太阳电池	24.7 ± 0.5	澳大利亚新南威尔士大学	4cm ² 面积
背接触聚光单晶硅电池	26.8 ± 0.8	美国 sunpower 公司	96 倍聚光
GaAs 多结电池	40.7 ± 1.7	Spectrolab	聚光电池
多晶硅太阳电池	20.3 ± 0.5	德国弗朗霍夫研究所	1.002cm ² 面积



电池种类	转换效率/%	研制单位	备注
InGaP/GaAs	30.28 ± 1.2	日本能源公司	4cm ² 面积
非晶硅太阳电池	14.5(初始) ± 0.7 12.8(稳定) ± 0.7	美国 USSC 公司	0.27cm ² 面积
CIGS	19.5 ± 0.6	美国国家可再生能源实验室	0.410cm ² 面积
CdTe	16.5 ± 0.5	美国国家可再生能源实验室	1.032cm ² 面积
多晶硅薄膜太阳电池	16.6 ± 0.4	德国斯图加特大学	4.017cm ² 面积
纳米硅太阳电池	10.1 ± 0.2	日本钟渊公司	2μm 厚膜
染料敏化电池	11.0 ± 0.5	EPFL	0.25cm ² 面积
HIT	21.5	日本三洋公司	

先进技术不断向产业注入,使商业化电池技术不断得到提升。目前商业化晶体硅电池的效率达到 14% ~ 20%(单晶硅电池 16% ~ 20%,多晶硅硅 14% ~ 16%);与此同时,光伏产业技术和光伏系统集成技术与与时俱进,共同促使光伏发电成本不断降低和光伏市场及产业的持续扩大发展。

2. 光伏产业的发展趋势

为了实现能源和环境的可持续发展,世界各国都将光伏发电作为发展的重点。在各国政府的大力支持下,光伏产业发展迅速。2007 年世界太阳电池产量达到 4800MW_p/年,累计发货量达到 13390MW_p/年。表 1.2 为过去 10 年世界太阳电池的年产量和累计用量,图 1.5 显示了过去 10 年世界太阳电池的年增长率。

表 1.2 过去 10 年世界太阳电池的年产量和累计用量(GW_p)

年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
年产量	0.155	0.201	0.287	0.391	0.561	0.774	1.21	1.76	2.5	4.8
年增长率	23.1	30	42.9	35.7	44	32.5	61.2	46.7	42	47.9
累计用量	0.946	1.147	1.435	1.825	2.387	3.131	4.331	6.09	8.59	13.39

世界光伏发电市场的增长主要得益于德国、日本和美国的鼓励政策。目前 70% 以上的太阳电池用于并网发电系统。美国、日本和欧洲都制定了各自的光伏发展路线,表 1.3 和表 1.4 分别列出了一些国家的光伏发电成本预算和光伏发电装机预测。从长远看,太阳能光伏发电在不远的将来会占据世界能源消费的重要席位,不但要替代部分常规能源,而且将成为世界能源供应的主体。



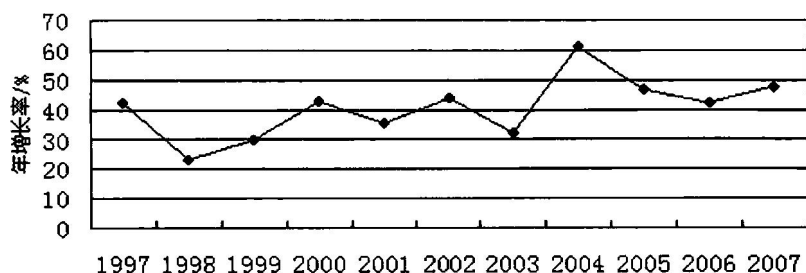


图 1.5 过去 10 年世界太阳电池的年增长率

表 1.3 光伏发电成本预算

年份	2004	2010	2020
日本(日元/kW·h)	30	23	14
欧洲(欧元/kW·h)	0.25	0.18	0.10
美国(美元/kW·h)	1.82	1.34	1.00
中国(元/kW·h)	5.0	3.0	1.4

表 1.4 光伏发电装机预测(GWp)

年份	2004	2010	2020
日本	1.2	4.8	30
欧洲	1.2	3.0	41
美国	0.34	2.1	36
中国	0.065	0.3	1.8
其他	1.195	3.8	91.2
世界	4.0	14	200

作为正在兴起的高技术能源产业,光伏产业的发展势头方兴未艾,而其发展的特点可简要概括为:规模化、规范化、高技术化。

规模化:尽管已经得到了长足的发展,但光伏发电在全球电网中的份额几乎忽略不计。以光伏发电应用最为发达的德国为例:自 2004 年推行光伏电力并购补贴法案以来,德国成为全球最大的光伏市场,每年全球 50% 左右的装机容量均在德国;但即便是如此迅猛的增长,目前,光伏发电在德国电网中的比例也不到 0.5%。然而,根据欧盟联合研究中心预测,光伏发电将在本世纪中叶成为全球电网的主要能源之一;而在本世纪末,光伏在全球电网中的份额将超过 50%(如图 1.6)。显然,现有光伏企业生产规模远远不能满足预测中的需求。因此,为了在未来的竞争中占据主动,继续保持快速扩张,是当前每个光伏企业的不二选择。

