

太阳能 光伏发电 实用技术

第二版



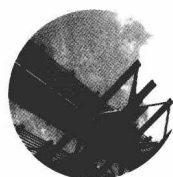
王长贵 王斯成 主编



化学工业出版社

太阳能 光伏发电 实用技术

第二版



王长贵 王斯成 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

太阳能光伏发电作为可再生的清洁能源正受到日益广泛的关注与应用。近年,太阳能光伏发电的技术水平得到快速的发展与提高。本书从工作原理到系统构成和主要部件,从系统设计到操作使用和维护管理,都对太阳能光伏发电的最新技术进行了全面系统的介绍,技术内容先进、实用、可操作性强。

本书针对科研、院校及生产制造单位,对太阳能光伏发电技术的各方面进行了全面翔实的阐述,可供该领域的设计、科研、管理及施工建设人员及大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能光伏发电实用技术/王长贵,王斯成主编.—2版.—北京:化学工业出版社,2009.9
ISBN 978-7-122-06178-2

I. 太… II. ①王…②王… III. 太阳能发电 IV. TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第108100号

责任编辑:郑叶琳

文字编辑:丁建华

责任校对:周梦华

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张20½ 字数432千字 2009年10月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.00元

版权所有 违者必究

第二版前言

《太阳能光伏发电实用技术》一书于2005年9月出版发行，至今已经先后印刷了三次，深受读者欢迎。

为满足广大读者的要求，在本书第三次印刷发行之后，出版社提议，请编著者根据近年来光伏技术的新发展及读者的要求和建议，在第一版的基础上修改、增补出版第二版。于是，我们开始了第二版的撰写。

在第二版中，重写、增补和修改的主要内容如下：①第一章全部重写，概述了世界和中国光伏产业发展和技术进步的最近情况，并提出了中国光伏产业发展面临的问题和挑战；②在第二章中增加了太阳能光伏发电系统的主要应用一节；③在第五章控制器中，详细介绍了控制器的工作原理，特别是详述了蓄电池剩余容量控制法及数学模型，并对最大功率跟踪型控制器和智能型控制器作了较为具体的介绍；④第六章逆变器中于第三节三相逆变器“一、三相电压源型逆变器”中，增加了“VRS空间矢量PWM(SVPWM)控制”，于“二、三相电流源型逆变器”中，增加了“三相CSR PWM信号发生的二、三逻辑转换”；⑤在第八章太阳能光伏发电系统的设计中，增加了太阳和太阳能资源、太阳能光伏水泵系统的设计、太阳能路灯（庭院灯）的设计及在配电侧并网的太阳能光伏发电系统的设计等节，并对辐射量计算、设计方法等作了较为详细的介绍；⑥将中国典型太阳能光伏发电工程简介一章全部更新，共介绍了五个新的典型工程，既有并网光伏系统，也有独立光伏系统，还有光伏照明系统。

第二版仍由王长贵、王斯成主编，第一、二、三、七、九章由王长贵编写，第四章由刘业东、唐征编写，第五、八章由王斯成编写，第六章由曹仁贤编写，第十章由王长贵及刘文良、张红贤编写。

本版仍会有不少不足之处，欢迎批评指正。

编 者

2009年6月

第一版前言

能源是人类社会存在与发展的重要物质基础。目前的世界能源结构是以煤炭、石油、天然气等化石能源为主体的结构。而化石能源是不可再生的资源，大量耗用终将枯竭，并且在生产和消费过程中有大量污染物排放，破坏生态与环境。

为保证人类稳定、持久的能源供应，必须优化现存的以资源有限、不可再生的化石能源为主体的能源结构，建立资源无限、可以再生、多样化的新的能源结构，走经济社会可持续发展之路。

为保护人类赖以生存的地球的生态环境，必须采取措施减少化石能源的耗用，大力开发利用清洁、干净的新能源和可再生能源，走与生态环境和谐的绿色能源之路。

通过太阳能电池将资源无限、清洁干净的太阳辐射能转换为电能的太阳能光伏发电，是新能源和可再生能源家族的重要成员之一。近些年来，世界太阳能电池的产量和装机容量以年增长率在30%左右的速度快速发展，到2004年底全球的总装机容量已达4330MW左右。专家们预言，到21世纪中叶，太阳能光伏发电将发展成为重要的发电方式，在世界可持续发展的能源结构中占有一定的比例。

本书从工作原理到系统构成和主要部件，从系统设计到操作使用和维护管理，对太阳能光伏发电作了较为全面系统的介绍，可供太阳能光伏发电的设计人员、科研人员、管理人员、施工建设人员以及大专院校有关专业师生阅读参考。

本书由王长贵、王斯成主编，第一、二、三章由王长贵编写，第四章由刘业东、唐征编写，第五、八章由王斯成编写，第六章由曹仁贤编写，第七、九章由王长贵、叶东嵘编写，第十章由王长贵、毛和璜、高纪凡编写。

本书在编写中参考了不少书刊和文章，在此谨向其作者致以谢意。

由于水平有限，时间仓促，定会有不少不足之处，欢迎批评指正。

编 者

2005年4月

目 录

第一章 世界与中国太阳能光伏发电发展概述	1
第一节 世界太阳能光伏发电现状与展望	1
一、世界太阳能电池产量及装机容量快速增长.....	1
二、并网太阳能光伏发电所占比例飞速上升，已成为太阳能光伏发电应用市场的主流.....	2
三、晶体硅光伏电池技术持续进步，薄膜光伏电池技术加快研发.....	3
四、世界太阳能电池及组件生产成本大幅度降低.....	3
五、世界太阳能光伏发电未来发展目标宏伟.....	4
第二节 中国太阳能光伏发电现状与展望	5
一、2007 年中国太阳能电池产量飞速增长	5
二、中国太阳能光伏发电国内应用市场逐步发展.....	6
三、晶体硅光伏电池生产技术水平不断提高，基本与当代国际水平保持同步.....	6
四、中国太阳能光伏产业的生产能力快速扩大.....	7
五、生产太阳能电池的基本原材料高纯多晶硅主要依靠进口.....	7
六、太阳能光伏产业专用设备、仪器的研发生产取得长足进步.....	7
七、《可再生能源中长期规划》为中国太阳能光伏发电描绘了发展蓝图.....	7
第三节 中国太阳能光伏发电发展面临的挑战	8
一、晶体硅光伏电池生产能力建设投资不断增长升温，大型新建、扩建项目接连启动.....	8
二、薄膜光伏电池建设项目火热，产能巨大.....	9

三、要上马的高纯多晶硅建设项目众多，总规模高达 14 万吨·····	10
四、产业发展快，科技水平提高慢，不相协调·····	11
五、国内应用市场提高缓慢，生产的光伏组件主要出口国际市场·····	11
六、光伏科技人才紧缺，与产业发展不适应·····	12
七、标准、规范、产品检测体系、质量保证体系建设力度弱，落后 于国际光伏产业不断强化、提升、完备的新要求、高要求·····	12

参考文献·····	12
-----------	----

第二章 太阳能光伏发电工作原理、运行方式、系统组成和主要应用 ·····	13
---	----

第一节 太阳能光伏发电的工作原理·····	13
第二节 太阳能光伏发电的运行方式·····	13
第三节 太阳能光伏发电系统的组成·····	14
一、离网型太阳能光伏发电系统的组成·····	14
二、联网型太阳能光伏发电系统的组成·····	17
第四节 太阳能光伏发电系统的主要应用·····	23

参考文献·····	32
-----------	----

第三章 太阳能电池 ·····	33
------------------------	----

第一节 半导体物理知识·····	33
一、半导体及其主要特性·····	33
二、半导体硅的晶体结构·····	34
三、能级和能带·····	36
四、禁带、价带和导带·····	37
五、本征半导体、杂质半导体、载流子浓度和费米能级·····	38
六、载流子的产生与复合·····	42
七、载流子的输运·····	43
八、p-n 结及其能带图·····	44

第二节 太阳能电池工作原理与特性·····	46
一、太阳能电池的分类·····	46
二、太阳能电池的结构·····	47
三、太阳能电池的基本工作原理·····	48
四、太阳能电池的基本特性·····	49

第三节 太阳能电池生产工艺·····	58
一、硅材料的制备·····	58
二、太阳能电池的制造·····	64
三、太阳能电池组件的封装·····	68

第四节 太阳能电池的发展趋势	71
一、高效率、低成本晶体硅太阳能电池的研究开发	72
二、各类新型薄膜太阳能电池的研究开发	74
三、关于超高效太阳能电池的研究探索	79
参考文献	80
第四章 铅酸蓄电池	81
第一节 铅酸蓄电池基本知识	81
一、铅酸蓄电池的发展	81
二、VRLA 电池的结构和原理	82
三、铅酸蓄电池制造的工艺流程	84
四、铅酸蓄电池原材料、半成品的物理和化学性质	84
五、铅酸蓄电池的分类、命名和一些常用术语	86
第二节 铅酸蓄电池的应用领域	89
一、铅酸蓄电池的主要应用领域	89
二、太阳能用贮能蓄电池的主要应用领域	90
第三节 铅酸蓄电池一般设计知识和针对太阳能应用的 特别设计	90
一、板栅设计	90
二、电池容量设计	91
三、电解液浓度和用量计算	92
四、隔板的设计	92
五、太阳能用 VRLA 电池设计中应该注意的问题	93
第四节 阀控式铅酸蓄电池目前存在的问题和改进方向	94
一、VRLA 电池目前存在的主要问题	95
二、VRLA 电池应用在太阳能领域所面临的机遇和挑战	100
第五节 太阳能光伏系统用蓄电池的选型、设计和使用、维护	107
参考文献	115
第五章 控制器	117
第一节 控制器的工作原理	117
一、蓄电池充电控制基本原理	118
二、蓄电池过放电保护基本原理	119
第二节 控制器的分类	124
一、并联型控制器	124
二、串联型控制器	124

三、脉宽调制型控制器·····	124
四、多路控制型控制器·····	125
五、智能型控制器·····	125
六、最大功率跟踪型控制器·····	125
第三节 控制器的几种基本电路和工作原理·····	125
一、并联型充放电控制器·····	125
二、串联型充放电控制器·····	126
三、控制器的过、欠电压检测控制电路组成和工作原理·····	127
四、脉宽调制 (PWM) 型三阶段充电控制器 ·····	127
五、多路型控制器·····	129
六、智能型控制器·····	129
七、最大功率跟踪型控制器·····	131
参考文献 ·····	135
第六章 逆变器·····	136
第一节 概述·····	136
一、逆变器的定义及分类·····	136
二、逆变技术的发展趋势·····	137
三、逆变器的主要技术指标·····	137
第二节 单相电压源型逆变器·····	137
一、推挽式逆变电路工作原理·····	138
二、半桥式逆变电路·····	138
三、单相全桥逆变电路·····	139
四、单相方波逆变器的输出波形分析·····	141
五、单相全桥正弦波逆变技术·····	142
六、实用电路·····	150
第三节 三相逆变器·····	151
一、三相电压源型逆变器·····	151
二、三相电流源型逆变器·····	169
第四节 带高频环节逆变技术·····	175
一、不隔离型直流斩波器·····	175
二、隔离型 DC-DC 变换器 ·····	186
三、后级 DC-AC 逆变器 ·····	191
第五节 逆变器的组合、并联、多重叠加和多电平技术·····	195
一、逆变器的组合·····	195

二、逆变器的并联·····	200
三、逆变器的多重叠加·····	206
四、逆变器的多电平变换技术·····	217
第六节 联网型逆变技术·····	223
一、对联网逆变器的要求·····	224
二、正弦波电压的实现·····	224
三、大型光伏联网发电技术·····	226
参考文献·····	227
第七章 交流配电设备、输电线路、备用电源及防雷与接地 ·····	228
第一节 交流配电设备·····	228
一、太阳能光伏电站交流配电设备的构成和分类·····	228
二、太阳能光伏电站交流配电设备的主要功能和原理·····	228
三、对交流配电装置的主要要求·····	229
四、高压配电装置·····	232
五、JKJP-60K-3CH 交流配电柜的 操作使用·····	233
第二节 低压架空配电线路·····	238
一、结构与组成·····	238
二、运行管理·····	240
三、维护和检修·····	242
第三节 柴油发电机组·····	242
一、柴油发电机组的特点及组成·····	243
二、柴油发电机组的操作使用与维修保养·····	245
第四节 防雷与接地·····	250
一、防雷和防雷设备·····	250
二、接地·····	252
参考文献·····	254
第八章 太阳能光伏发电系统的设计 ·····	255
第一节 太阳和太阳能资源·····	255
第二节 太阳辐射原理·····	256
一、直散分离原理·····	257
二、布格-朗伯定律 (Bouguer-Lambert Low)·····	257
三、余弦定律·····	258
第三节 太阳能电池方阵不同运行方式的数学模型·····	259

一、太阳能电池方阵面上辐射量的计算·····	259
二、地平坐标系数学模型·····	260
三、赤道坐标系数学模型·····	260
四、符号及定义·····	262
第四节 太阳能电池方阵面所接收到的太阳辐射的计算·····	263
一、倾斜面上太阳辐射的软件辅助计算·····	265
二、倾斜面上太阳辐射的估算·····	265
第五节 独立太阳能光伏发电系统的容量设计·····	265
一、容量设计步骤·····	265
二、太阳能电池方阵功率计算·····	266
三、蓄电池的容量计算·····	267
四、太阳能电池方阵和蓄电池容量设计实例·····	267
第六节 太阳能电池方阵前后间距的计算·····	268
第七节 不同类型负载的特点·····	269
第八节 太阳能光伏发电系统的设备配置和选型·····	270
第九节 太阳能光伏发电系统的防雷接地设计·····	271
一、雷击的危害·····	271
二、太阳能光伏发电系统的防雷措施·····	271
三、太阳能光伏发电系统的接地要求·····	272
第十节 在配电侧并网的太阳能光伏发电系统的设计·····	273
一、BIPV 的建筑形式·····	273
二、BIPV 的专用太阳能电池组件·····	273
三、BIPV 对太阳能电池组件提出的一些特殊要求·····	274
四、开展 BIPV 应当注意的几个问题·····	276
五、BIPV 的电气连接方式·····	277
第十一节 太阳能光伏水泵系统的设计·····	279
一、太阳能光伏水泵的基本概念·····	279
二、太阳能光伏水泵的设计步骤·····	280
第十二节 太阳能路灯（庭院灯）的设计·····	283
一、太阳能路灯（庭院灯）的容量设计·····	283
二、电光源的选型·····	283
三、控制器的选型·····	285
参考文献·····	286
第九章 太阳能光伏发电系统操作使用与管理维护·····	287

第一节 太阳能光伏发电系统操作使用	287
一、光伏电站供电的操作使用	287
二、启动柴油发电机组补充充电的操作使用	288
第二节 太阳能光伏发电系统管理维护	288
一、独立型太阳能光伏电站管理	288
二、太阳能电池方阵维护管理	289
三、蓄电池组维护管理	290
四、逆变器维护管理	293
五、配电柜和测量控制柜的维护管理	294
参考文献	294
第十章 中国典型太阳能光伏发电工程简介	295
第一节 深圳国际园林花卉博览园 1MW 并网型太阳能光伏发电 系统	295
一、工程简述	295
二、系统设计与安装	295
三、工程关键器件与设备的选型	297
四、工程设计建设中的几个技术亮点	297
五、工程的节能减排效益	298
第二节 国家体育场(鸟巢) 100kW 并网型太阳能光伏发电系统	298
一、项目概况	298
二、工程设计安装中的技术新亮点	298
第三节 “世界屋脊”西藏阿里地区独立型太阳能光伏发电工程	300
一、革吉县 10kW 光伏试验示范电站	300
二、门士煤矿太阳能卫星电视收转站及电视差转台	302
三、改则县 20kW 光伏试验示范电站	303
第四节 北京市延庆县太阳能光伏照明工程	304
一、项目概况	304
二、太阳能路灯和庭院灯(村庄灯)的系统设计和部件选型	305
三、太阳能路灯和庭院灯的安装与施工	308
四、太阳能路灯和庭院灯工程的管理和质量控制	308
五、太阳能路灯和庭院灯的管理维护	309
第五节 慈溪市天和家园住宅小区 43kW 屋顶并网型太阳能光伏发电 示范工程	311
一、项目概况	311

二、光伏系统太阳能电池组件的配置及方阵的构建.....	311
三、光伏系统的串接.....	312
四、太阳能光伏发电系统负载的选择.....	314
五、防雷保护.....	315
参考文献	316

第一章

世界与中国太阳能光伏发电发展概述

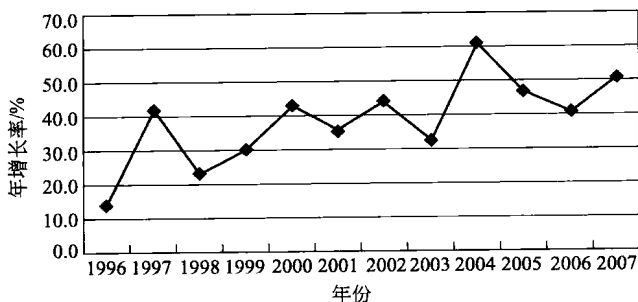
第一节 世界太阳能光伏发电现状与展望

一、世界太阳能电池产量及装机容量快速增长

太阳能光伏产业是世界发展速度最快的行业之一。为实现能源和环境的可持续发展，世界各国均将太阳能光伏发电作为新能源与可再生能源发展的重点。在各国政府的大力扶持下，世界太阳能光伏产业发展迅猛。根据截止到 2006 年的计算，最近 10 年太阳能电池及组件的年均增长率达 33%，最近 5 年的年均增长率达 43%。2007 年世界太阳能电池年产量达到 3733MW，较 2006 年的 2473.8MW 增长 1259.2MW，增幅高达 50.9%（表 1-1）。截止到 2007 年底，世界太阳能电池累计装机容量达到 12300MW（表 1-1）。2007 年世界太阳能电池产量的排名为：日本 920MW，居第 1 位；中国 821MW，居第 2 位；德国 810MW，居第 3 位；中国台湾地区 368MW，居第 4 位；美国 266.1MW，居第 5 位（表 1-2）。2007 年世界太阳能电池生产厂产量的前 3 名为：德国 Q-Cell 为 389.2MW，居第 1 位；日本夏普为 363MW，居第 2 位；中国无锡尚德为 327MW，居第 3 位（表 1-3）。

表 1-1 世界太阳能电池年增长率和累计安装量

年份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
项目												
年产量/GWp	0.089	0.126	0.155	0.201	0.287	0.391	0.561	0.744	1.2	1.76	2.47	3.73
年增长率/%	14.2	42	23.1	30	42.9	35.7	44	32.5	61.2	46.7	42.0	50.9
累计安装量	0.665	0.791	0.946	1.147	1.435	1.825	2.387	3.131	4.331	6.09	8.56	12.30



注：资料来源—PV News March, 2008 Paul Maycock.



表 1-2 世界太阳能电池产量排名

国家或地区	2006 产量/MW	2006 年地区排名	2007 年产量/MW	2007 年地区排名
日本	926.9	1	920.0	2
欧洲(含德国)	680.3	2	1062.8	1
德国	507.8		810.0	
中国 ^①	369.5	3	821.0	3
中国台湾地区	177.5	5	368.0	4
美国	179.6	4	266.1	5
其他	140.0		295.2	
合计	2473.8		3733.0	

① 未包括中国台湾地区数据。

注：资料来源—PV News 2008 March。

表 1-3 2007 年世界前十六位太阳能电池生产厂商以及其在 2006 年、2007 年的产量

公司名称	2006 年		2007 年	
	产量/MWp	排名	产量/MWp	排名
Q-Cell(DE)	253.1	2	389.2	1
Sharp(JP)(夏普)	434.4	1	363.0	2
Suntech(CH)(无锡尚德)	157.5	4	327	3
Kyocera(JP)	180	3	207	4
Firstsolar(US+DE)	60	13	207	4
Motech(TW)(台湾茂迪)	102	7	196	5
Sanyo(JP)	155	5	165	6
Sun Power(PH)	62.7	11	150.0	7
Baoding Yingli(CH)(保定英利)	35.0	—	142.5	8
Solar World(whole)	86.0	9	130.0	9
Misubishi(JP)	111	6	121	10
Jing-Ao(CH)(晶澳)	25.0	—	113.2	11
BP Solar(whole)	85.7	10	101.6	12
Solarfun(CH)(江苏林洋)	25.0	—	88.0	13
Isofoton(SP)	61	12	85	14
Schott Solar(DE+US)	93.0	8	80.0	15
CEEG Nanjing(CH)(南京中电电气)	54.0	14	78.0	16

注：资料来源：PV News, Vol. 27, NO. 3, March 2008。

二、并网太阳能光伏发电所占比例飞速上升，已成为太阳能光伏发电应用市场的主流

世界太阳能光伏发电应用市场，近年来呈现出如下突出特点，即：太阳能光伏



发电在能源构成中的替代功能大为增强，并网太阳能光伏发电的应用比例快速增长，已成为光伏技术的主流应用、光伏发电的主导市场。并网太阳能光伏发电市场份额的逐年增长情况，如表 1-4 所列。

表 1-4 并网太阳能光伏发电市场份额逐年增长情况

年份/年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
份额/%	7.9	21.3	23.5	29.9	41.7	50.4	51.4	55.5	65.9	约 70	约 75	约 80

三、晶体硅光伏电池技术持续进步，薄膜光伏电池技术加快研发

(1) 晶体硅光伏电池效率不断提高。目前，商业化单晶硅电池效率已提高到 16%~20%，商业化多晶硅电池效率已提高到 15%~18%。

(2) 晶体硅光伏电池硅片厚度持续降低。降低硅片厚度是减少硅材料消耗、降低电池成本的有效技术措施。晶体硅电池硅片的厚度，已从 20 世纪 90 年代的 350~400 μm ，降为目前的 180~280 μm ，预计到 2010 年将降至 150~200 μm ，到 2020 年将降至 80~100 μm 。

(3) 晶体硅光伏电池生产厂的单厂生产规模不断扩大。生产规模的不断扩大和自动化程度的持续提高，将使电池的生产成本大为降低。晶体硅光伏电池单厂的生产规模，已从 20 世纪 90 年代的 5~30MW/a，扩大为目前的 50~500MW/a、甚至 1GW/a。

(4) 薄膜光伏电池研发取得新的进展，并开始积极推进生产线和示范项目的建设。在 2006 年的世界太阳能电池产量中，晶体硅电池占到 92.4%（其中：多晶硅电池占 46.4%，单晶硅电池占 43.4%，带硅电池占 2.6%），而薄膜电池仅占 7.6%（其中： $\alpha\text{-Si}$ 电池占 4.7%，CdTe 电池占 2.7%，CIGS 电池占 0.2%）。但近年薄膜电池的研发工作一直受到重视，积极进行，取得了许多新的进展。2007 年薄膜电池在太阳能电池世界总产量中的比重上升为 9.376%（其中： $\alpha\text{-Si}$ 电池占 7.233%，CdTe 电池占 1.982%，CIGS 电池占 0.161%）。目前，非晶硅（ $\alpha\text{-Si}$ ）薄膜电池实验室稳定效率达到 12.8%，碲化镉（CdTe）电池实验室稳定效率达到 16.5%，硒镓铜铜（CIGS）电池实验室效率达到 19.5%，多晶硅薄膜电池实验室效率达到 16.6%，纳米硅电池实验室效率达到 10.1%，染料敏化电池实验室效率达到 11.2%。同时，许多国家开始积极推进薄膜电池生产线和示范项目的建设。如美国已建立 30MW 非晶硅电池生产线和 90MW 碲化镉电池生产线，德国已建立 90MW 硒镓铜铜电池生产线；如美国已建立 1MW 的非晶硅薄膜电池光伏电站，美国和德国已分别建立 1.8MW 的碲化镉薄膜电池光伏电站，西班牙已建立 40MW 的薄膜光伏电站。据报道，全世界约 65 家薄膜光伏电池生产厂规划，到 2010 年将形成 4000MW 薄膜光伏电池的产能。

四、世界太阳能电池及组件生产成本大幅度降低

影响太阳能光伏发电进入大规模商业化应用的主要障碍，是光伏电池和组件的生产成本过高，致使光伏发电的度电成本比火力发电的度电成本竟高达 8~10 倍。几十年来，在技术进步和生产规模扩大等因素的推动与引领下，光伏组件的生产成

本大幅度下降，从 20 世纪 60 年代第一个地面用光伏组件售价 1500 美元/W_p 下降到 300 美元/W_p，到 21 世纪初已下降为 3 美元/W_p 左右，下降了 2 个多数量级。到 2003 年，世界主要光伏公司光伏组件的生产成本已降到 2~2.5 美元/W_p，售价已降到 2.5~3 美元/W_p。但 2004 年以后，由于硅材料紧缺带动的原材料涨价和光伏组件需要量的增长等因素，使光伏组件售价有相当大的回升。2008 年 4 季度以来，由美国次贷危机为导火索引发的金融危机蔓延全球，愈演愈烈，并已开始严重影响实体经济。在这一严峻形势影响下，世界主体能源石油消费量锐减，售价大跌，在新能源的光伏产业中，由于高纯多晶硅售价大幅度下降，也引起了光伏电池和组件销售价大幅度下降。据统计，到 2008 年 12 月底，世界光伏组件售价约比 2008 年上半年下降约 10%，预计 2009 年将回落到 2003 年 2.5 美元/W_p 左右的水平。对于光伏组件和系统未来的降价趋势，国外许多机构做了预测，可以认为，光伏发电的电价在 2020 年前是有可能降低到与火力发电的电价相竞争的水平。

图 1-1 所示为晶体硅光伏组件价格所经历过的经验曲线图 (Learning Curve)。虽然市场供求不平衡会导致价格波动，但在双对数坐标图上光伏组件降价速率基本为一直线。如果技术上有重大突破，曲线会以更大的斜率下降，比如随着薄膜电池市场份额的增加，组件价格的降低速率会更大。

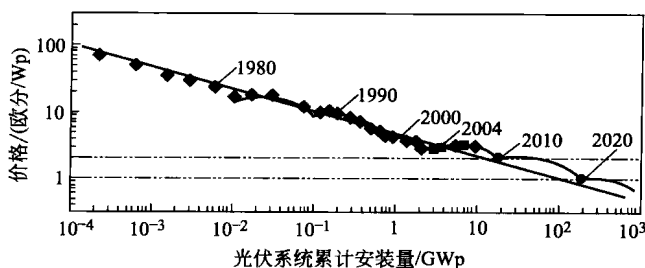


图 1-1 晶体硅光伏组件价格的 Learning Curve 降价曲线

资料来源：1st Workshop Future Direction of PV, Tokyo, 3-4 March 2005

图 1-2 所示为 2006 年世界太阳能光伏组件及系统的平均成本构成。图 1-3 所示为 2010 年光伏发电平均成本的预测。可以看出，光伏产业和技术的发展促进了光伏组件成本的下降，从而导致了光伏发电成本的下降；2006 年世界光伏发电成本为 0.25 美元/(kW·h)，2010 年将下降为 0.14 美元/(kW·h)。

五、世界太阳能光伏发电未来发展目标宏伟

为应对日益逼近的化石能源资源逐步走向枯竭，保护人类赖以生存的地球的生态环境，德、日、美等发达国家十分重视可再生能源的开发利用，制定并实施了一系列鼓励政策，积极扶持可再生能源，特别是光伏发电及风力发电和生物质发电的发展，并制定了各自的光伏发展路线图。美国、日本、欧盟光伏发电发展路线图中提出的世界太阳能光伏发电装机预测目标是：2010 年装机总量达到 14GW，其中，日本 4.8GW，欧洲 3.0GW，美国 3.0GW，中国 0.25GW，其他 2.95GW；2020 年装机总量达到 200GW，其中，日本 30GW，欧洲 41GW，美国 36GW，中国