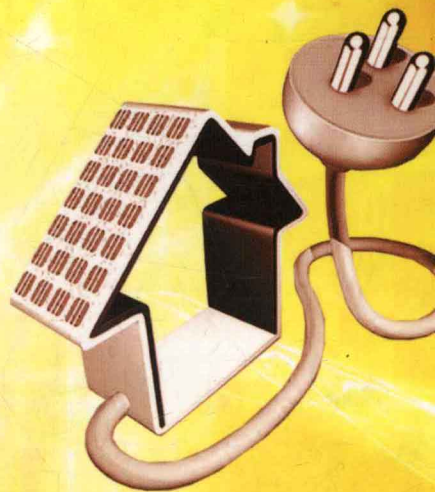


太阳能晶体硅

马强 ◎ 编著



Solar Crystalline Silicon
Module Manufacture

电池组件 生产实务



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

太阳能晶体硅电池 组件生产实务

马 强 编著



机械工业出版社

本书以太阳能电池中常见的72片单晶硅电池组件的标准化生产过程以及相关细节管理为主线,以规范、专业的表达方式及编排形式编写,内容涉及太阳能电池与组件生产的各个方面,包括光伏发电基础知识、组件生产预备知识、生产加工工艺、设备的使用与维护、材料检测与判定、车间管理以及认证等。从太阳能的利用着眼,重点介绍了太阳能电池及其组件生产工艺各个环节的具体操作和注意事项;生产设备、检测设备及其他设备技术参数、操作规程和保养及维护方法;电池片及其制造材料的检测与判定方法;车间管理的一般通则以及针对太阳能电池生产企业的具体车间管理;最后介绍了太阳能电池及其组件的国际、国内认证标准。本书还针对不同岗位,给出了不同的内容侧重,使无论新上岗的一线工作者还是各个层次的管理人员,在全面了解太阳能电池及其组件产品的生产过程的基础上,都能通过本书对整个太阳能电池及其组件产品的设备、原材料、工艺和认证有更深刻的认识,提升自己的业务与管理水平,非常具有实用价值,同时也为广大从业人员提供一个新的视野和角度来审视太阳能电池标准化生产。

本书可作为职业院校光伏技术应用专业教材,也可作为太阳能电池与组件生产企业的培训教材,还可以供广大从业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能晶硅电池组件生产实务/马强编著. —北京:机械工业出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-111-40551-1

I. ①太… II. ①马… III. ①硅太阳能电池-组件-生产工艺
IV. ①TM914. 4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第283385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:高倩 张值胜 责任编辑:王娟 版式设计:闫玥红

责任校对:卢惠英 封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2013年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.25印张·353千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-40551-1

定价:42.00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

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

序

太阳能是取之不尽、用之不竭的可再生能源，具有独特的优势和巨大的潜力。近 10 年来，太阳能的开发利用发展迅猛，不仅光伏发电量增加了约 90 倍，各项技术也越来越成熟。特别是随着光伏电池应用前所未有的推广，光伏电站，光伏建筑一体化在欧洲、美洲得到了普遍应用和认可。伴随“金太阳工程”和“太阳能屋顶计划”的逐步实施，我国的太阳能发电迎来了一次难得的发展机遇。

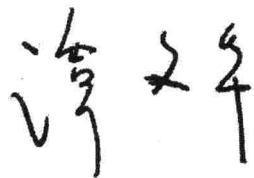
然而，与行业的快速发展不相匹配的是，尽管在世界光伏产业之林中，我国早已凭借其在制造领域的优势占据了重要地位，但光伏应用类的知识性书籍一直没有跟上行业快速发展的脚步，与生产相关的指导性书籍更是难得一见。前不久，我收到了马强同志撰写的《太阳能晶体硅电池组件生产实务》一书的书稿，并邀请我为该书作序。我读了书稿后，作为一名多年从事光伏产业的企业负责人，感到耳目一新。

马强同志几年前曾在锦州华昌光伏科技有限公司从事技术工作，不仅亲身经历了行业发展的起起落落，而且对行业从不规范到逐步规范有着深刻的体会。初读此书，感到全书结构严谨，层次明了，分类清晰，通俗易懂，既阐述了生产中重点的品质监控手段，又兼顾到了大企业与小企业需求的不同，非常适合一线生产人员和技术管理人员阅读，有很强的实用性和可操作性。仔细品味，又从书中强调的重点中，感觉到作者在全力地论述如何加强管理和保证质量，事实上这也是我国光伏行业今天依然不成熟、竞争力不强的症结所在。多年来，我国太阳能光伏产业越做越大，大公司林立，但难得让客户把公司名称和品牌质量联系在一起，只注重企业的壮大和企业利润，却较少注重品牌效应，使更多企业沦为国际大公司的 OEM 代工厂，这些都需要我们认真反思。

有了优质、稳定的产品才会使企业有更强的竞争力，才会使整个行业得到良性发展，我希望此书能对太阳能光伏行业的应用和研发感兴趣的相关人员有所帮助，对所有致力于提高行业能力的人有所帮助。

期望太阳能光伏行业经过大家的不懈努力，更完善、更健康，取得更多的社会和经济效益，为人类地球的绿色环保贡献更多的力量！

教授级高级工程师
锦州阳光能源集团董事长



前 言

太阳能的应用主要有两种形式：一种是把太阳能转换成热能，大家比较熟悉的产品是太阳能热水器；另一种是通过光电技术转换成电能，即太阳能光伏应用技术，主要产品是电池组件。电池组件是光伏发电系统的核心部件。而光伏电池组件中，晶体硅电池组件一直在市场上保持最高的占有率和应用率。

我国光伏发电产业于 20 世纪 70 年代起步，90 年代中期进入稳步发展时期。太阳能电池及组件产量逐年稳步增加。经过 40 多年的努力，我国光伏产业发展迅速，各种光伏企业已经上千家。作为 21 世纪最有潜力的能源，太阳能产业的发展潜力巨大。作为新兴的朝阳行业，再加上良好的政策环境、行业本身的特性，使太阳能光伏产业具有较高的投资价值和发展潜力。但另一方面，相关的生产指导性书籍并不多，从业人员没有丰富的资料可借鉴。

本书编写的初衷就是想给广大从业者一个介绍和引导，主要目的是通过对太阳晶体硅电池的组件生产介绍，让读者了解整个太阳晶体硅电池制造领域中，电池组件的生产、工艺过程及管理方法。全书的脉络主线是讲解 72 片单晶硅电池组件的标准化生产以及生产过程中的相关细节管理，相信能对广大从业人员和学者提供一个新的视野和角度审视标准化生产与电池组件的结合。

本书在编写过程中，得到了同行们的大力支持，特别是得到我多年前就职的锦州阳光能源集团董事长谭文华教授的帮助，以及营口晶晶光电科技有限公司、辽宁易索尔能源科技有限公司、21SPV 光伏论坛等单位工作人员的大力协助和支持，在此表示衷心的感谢。

由于作者的水平有限，错漏在所难免，对书中不足之处请读者不吝提出宝贵意见，以便我们在重印和修订中及时改正。

马强

于营口鲅鱼圈

目 录

序	
前言	
第 1 章 光伏发电基础知识	1
1.1 能源与太阳能	1
1.2 太阳电池及其组件	5
1.3 太阳电池的参数及介绍	7
1.4 其他相关知识	10
第 2 章 组件生产预备知识	13
2.1 生产基本流程图及节点介绍	13
2.2 材料清单及说明	13
2.3 工具及仪表	15
2.4 组件检测数据的合格范围	16
第 3 章 生产加工工艺	18
3.1 电池片的分选	18
3.2 电池片的切割	19
3.3 背板、EVA、隔板的准备	20
3.4 焊带的准备	22
3.5 单焊	22
3.6 串焊	24
3.7 叠层	26
3.8 中检	31
3.9 层压	31
3.10 装边框	34
3.11 安装接线盒	37
3.12 清洁	39
3.13 检测	40
3.14 包装	43
第 4 章 设备的使用与维护	46
4.1 生产设备	46
4.1.1 激光划片机	46
4.1.2 EVA、背板裁剪台	48
4.1.3 切带机	50
4.1.4 恒温电焊台	51
4.1.5 自动焊接机	52
4.1.6 叠层台	57
4.1.7 层压机	58
4.1.8 装框机	65
4.2 检测设备	66
4.2.1 电池片 I-V 测试仪	66
4.2.2 中检测试台	68
4.2.3 EL 测试仪	69
4.2.4 高压绝缘测试仪	71
4.2.5 大面积太阳电池组件测试仪	72
4.3 其他设备	75
4.3.1 空气压缩机	75
4.3.2 真空泵	77
第 5 章 材料检测与判定	81
5.1 电池片	81
5.1.1 电池片规格尺寸	81
5.1.2 外观质量分档	83
5.1.3 单晶硅与多晶硅电池片性能参数	83
5.1.4 质量检验	83
5.2 玻璃	87
5.2.1 太阳能超白光伏玻璃介绍	87
5.2.2 镀膜低铁光伏用玻璃	89
5.2.3 质量检验	89
5.3 背板	91
5.3.1 基本知识	91
5.3.2 性能指标	92
5.3.3 质量检验	92
5.4 EVA	94
5.4.1 EVA 介绍	94
5.4.2 质量检测	95
5.5 焊带	96
5.5.1 基本知识	96
5.5.2 质量检验	97
5.6 助焊剂	99
5.6.1 基本知识	99
5.6.2 质量检验	100
5.7 铝边框	101
5.7.1 基本知识	101
5.7.2 参数	101
5.7.3 质量检测	102

5.8 硅胶	104	6.4.2 设备事故的处理	181
5.8.1 基本知识	104	6.4.3 设备管理考核指标	181
5.8.2 参数	104	6.4.4 设备日常表格	181
5.8.3 质量检验	105	6.4.5 设备点检	183
5.9 接线盒	106	第7章 认证	190
5.9.1 基本知识	106	7.1 认证标志	190
5.9.2 接线盒参数	106	7.2 质量、环境、职业健康安全管理体系 认证	191
5.9.3 质量检验	107	7.2.1 质量、环境、职业健康安全管 理体系的异同	191
5.10 旁路二极管	107	7.2.2 ISO 9000 系列标准	192
5.10.1 基本知识	107	7.2.3 ISO 14000	193
5.10.2 电子参数	107	7.2.4 OHSAS 18000	194
5.10.3 质量检验	108	7.2.5 标准所需要的支撑文件	195
5.11 四氟布	109	7.2.6 体系运作的时间	195
5.11.1 基本知识	109	7.2.7 关于年审和信息汇总	195
5.11.2 检验方法	109	7.3 产品认证	196
第6章 车间管理	110	7.3.1 TÜV 认证	196
6.1 生产管理	110	7.3.2 UL 认证	198
6.1.1 工序人员分配	110	7.3.3 CE 认证	198
6.1.2 日常管理	111	7.3.4 IEC 认证	199
6.1.3 生产统计	114	7.3.5 VDE 认证	199
6.1.4 生产控制	114	7.3.6 MCS 认证	199
6.1.5 5S 管理	119	7.3.7 3C 认证	199
6.1.6 安全与防火	125	7.3.8 CQC 认证	200
6.2 质量管理	126	7.3.9 CGC 认证	200
6.2.1 抽样	127	7.4 认证执行的标准	200
6.2.2 进料检验 (IQC)	135	7.4.1 执行的标准名称	200
6.2.3 出货检验 (OQC)	140	7.4.2 IEC 61215 标准内容和认证 方法	201
6.2.4 过程巡检 (IPQC)	144	7.4.3 IEC 61730 标准内容和认证 方法	205
6.2.5 工序检验 (QC)	158	7.4.4 UL 1703	214
6.2.6 终检 (FQC)	161	7.4.5 认证试验通常需要提交的表格	216
6.2.7 品质保证 (QA)	163	7.4.6 其他认证所依据标准	221
6.3 工艺管理	168	参考文献	222
6.3.1 文件编制	169		
6.3.2 组件设计	170		
6.3.3 技术试验	179		
6.4 设备管理	180		
6.4.1 设备维修管理规定	180		

第 1 章 光伏发电基础知识

1.1 能源与太阳能

1. 能源

按产生的方式，能源可分成一次能源和二次能源。一次能源是从自然界直接取得的、未经任何改变或转换的能源，如原油、天然气、生物质能、水能、核燃料、太阳能、地热能等。由一次能源经过加工或转换得到的能源，如煤气、焦炭、汽油、煤油、电力、氢能均称为二次能源。

按是否可再利用，能源可分成可再生能源和不可再生能源。如水能为可再生能源，煤炭、石油等为不可再生能源。

按消费后是否造成环境污染，能源可分为污染型能源和清洁型能源。如煤炭、石油为污染型能源，而水能、太阳能、电能、风能为清洁型能源。

按形态、特性或转换和利用层次进行分类，能源可分为固体燃料、液体燃料、气体燃料、水能、核能、电能、太阳能、生物质能、风能、海洋能、地热能等。

2. 太阳能及其资源量

太阳能是指利用太阳辐射能，通过光热、光电和光化学的转换所得到的能源。它是一次性能源并且蕴含丰富，且免费使用无须运输，是对环境无污染的理想能源。

据测算，太阳每秒向外发射的能量总功率约为 $3.8 \times 10^{23} \text{ kW}$ ，其能量至少可维持几十亿年。太阳能总辐射能量的 22 亿分之一到达地球大气层的上界，约为 $1.73 \times 10^{14} \text{ kW}$ ；到达地球表面约为 $96.88 \times 10^{12} \text{ kW}$ 。

3. 太阳光与太阳光谱

太阳的能量以光辐射方式散发到宇宙中，因为光也是一种电磁波，它除了有干涉、衍射等波的性质外，还有光电效应、康普顿散射效应等。也可将光看成粒子，称为光子，这时可以解释光所具有的高能粒子的性质。

我们日常可见的光是太阳光中的一部分，其波长范围是 $390 \sim 770 \text{ nm}$ ，小于 390 nm 的是紫外线，大于 770 nm 的是红外线。此外，比紫外线波长短的还有 X 射线和 γ 射线。比红外线波长长的还有微波、短波以及无线电波。

理论上，波长越短，光子所具备的能量越大，这就意味着波长短的光是具有较高能量的光。

太阳光在进入大气层后，因为大气的折射、散射以及气体的吸收，到达地面的光谱与太阳发出的光谱发生了一定的变化，到达地面上的太阳光谱如图 1-1 所示。

太阳光的能量到达地球表面上时，辐射能量主要分布在可见光区和红外区，前者占太阳辐射总量的 50%，后者占 43%，紫外区只占 7%。而波长为 480 nm 的光辐射能力最高。

4. 日照强度、日照量与日照时间

(1) 日照强度 日照强度指单位面积、单位时间内太阳光的能量密度。其单位可用两种形式表示：若为热能利用，则为卡/(厘米²·分钟) [$\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$] 或千卡/(厘米²·小时) [$\text{kcal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$]；若为电能利用，则为毫瓦/厘米² (mW/cm^2) 或焦耳/(厘米²·分) [$\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$]。日照强度的单位换算 $1\text{kW}/\text{m}^2 = 1.433\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ 。日照强度的单位换算详见表 1-1。

地球接收到的太阳光并不是一个恒量，而是一个随时间变化的变量，有时还有可能

因为天气、地理位置等因素影响不断变化。因此如果利用太阳电池组件进行发电，其输出电量也必将随着太阳光的不同强度而不断改变。这种不连续性，也是电池组件发电的最大缺点。

(2) 日照量 根据日照强度进行连续测量，并在对应的时间段内，进行逐日和逐月记录，根据这些数据可算出不同月份的日照量平均值。

日照量的单位也因利用方式的不同而不同，转换为热能时为卡/厘米² (cal/cm^2)、千卡/米² (kcal/m^2)、焦耳/米² (J/m^2)；转换为电能时为千瓦小时/米² ($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$)。单位之间的换算见表 1-1。由表 1-1 可知， $1\text{MJ}/\text{m}^2 = 23.89\text{cal}/\text{cm}^2$ 。

通常日照量以日和月累积计算，因此分母中增加日和月单位以扩大计算范围。例如， $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ [千卡/(米²·日)]。

表 1-1 表征日照量的单位换算

日照强度			
不同量纲	kW/m^2	$\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$	$\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$
kW/m^2	1	1.43	860
$\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$	0.698	1	600
$\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$	0.00116	0.00167	1
日照量			
不同量纲	MJ/m^2	cal/cm^2	$\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$
MJ/m^2	1	23.89	0.278
cal/cm^2	0.0418	1	0.0116
$\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$	3.6	86	1

(3) 日照时间 根据世界气象组织 (WMO) 1981 年规定，日照时间的定义是把直接日照强度为 $0.12\text{kW}/\text{m}^2$ 作为一个阈值，在晴天或多云天气，超过该阈值时测定日照量并计算出每日和每月的日照时间。

5. 太阳常数

太阳与地球之间的距离是不断变化的，这就意味着，地球大气层上界的太阳辐射强度会

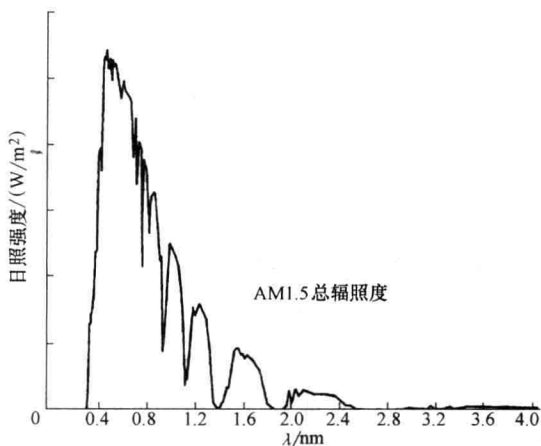


图 1-1 太阳光谱图 (AM1.5)

随时间、地点的变化而变化。然而，由于地球与太阳间距离的变化值与两者的距离比实在太小，这种太阳辐射强度的相对变化基本上不超过 $\pm 3.4\%$ 。因此我们粗略地认为大气层外的太阳辐射强度几乎是一个常数。即“太阳常数”。同时因为大气层外没有大气，此辐射我们定义为大气质量为零（AM0）的辐射。

太阳常数（ I_{sc} ）的定义为：在平均日地（太阳与地球之间）距离时，地球大气层上界垂直于太阳光线表面的单位面积上单位时间内所接收到的太阳辐射能，其参考值 $I_{sc} = (1367 \pm 7) \text{ W/m}^2$ 。

由上述定义知道， I_{sc} 是平均日地距离时的太阳辐射强度。若设大气层上界某一任意时刻的太阳辐射强度为 I_o ，则

$$I_o = I_{sc} = \left[1 + 0.034 \cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right) \right] = I_{sc} \gamma$$

式中 n ——距离 1 月 1 日的天数；

γ ——日地间距引起的修正值。

6. 大气质量

当阳光穿过地球大气层时，至少要衰减 30%。造成衰减的因素很多，主要是瑞利散射或大气中的分子散射、悬浮微粒和灰尘引起的散射以及大气特别是其组成气体的吸收。晴天中决定光线到达地面时所具有的能量要看光线通过大气层时的路程。当太阳在头顶上方时，路程最短。实际路程与此最短路程之比称为光学大气质量。

太阳光垂直入射时，光学大气质量为 1，这时的辐射称为大气质量 1（AM1）的辐射。当太阳和垂直正上方成一个角度 θ 时，大气质量为

$$\text{大气质量} = \frac{1}{\cos\theta}$$

因此，当太阳偏离垂直正上方成 60° 角时的辐射为 AM2 辐射。在实际应用中，我们通常使用 AM1.5 辐射，并以此时的大气质量绘成地面光谱分布曲线。1977 年美国政府的计划将此分布按比例放大后作为光谱分布标准。按比例放大的目的是使总功率密度为 1 kW/m^2 ，即接近地球表面接收到功率密度的最大值。

7. AM1.5 标准光谱辐射

总辐射（直射和散射）AM1.5 太阳光谱分布条件：在与地表水平面成 37° 的倾斜面上辐照度为 1000 W/m^2 ，地面的反射率为 0.2，大气中水含量为 1.42%，大气中臭氧含量为 0.34%，大气浑浊度为 0.27。AM1.5 标准太阳光谱辐照分布见表 1-2。

8. 我国太阳能资源的分布情况

各地太阳能资源的分布情况，取决于该地的纬度、海拔、气候状况，一般以全年的总辐射量来表示。因为较难计算，只能实际测量，有时也用全年日照总时数来表述太阳能资源分布情况。我国各地全年总辐射量大体上在 $80 \sim 200 \text{ kcal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{y})$ 的范围内。其中青海及西藏地区最高，整个四川盆地、两湖地区、秦岭、巴山则是低值区，塔里木盆地经河西走廊至内蒙古高原是另一高值区，我国东部、南部及东北则一般是中等数值区，如图 1-2 所示。表 1-3 给出了我国部分地区年总辐射量及日照总时数的具体值。

表 1-2 AM1.5 标准太阳光谱辐照分布

波长 / μm	光谱辐照度 / $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1})$	波长 / μm	光谱辐照度 / $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1})$	波长 / μm	光谱辐照度 / $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1})$	波长 / μm	光谱辐照度 / $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1})$
0.3050	9.5	0.5700	1501.5	0.9800	646.4	1.8000	30.7
0.3100	42.3	0.5900	1395.5	0.9935	746.8	1.8600	2.0
0.3150	107.8	0.6100	1485.3	1.0400	690.5	1.9200	1.2
0.3200	181.0	0.6300	1434.1	1.0700	637.5	1.9600	21.2
0.3250	246.8	0.6500	1419.9	1.1000	412.6	1.9850	91.1
0.3300	395.3	0.6700	1392.3	1.1200	108.9	2.0050	26.8
0.3350	390.1	0.6900	1130.0	1.1300	189.1	2.0350	99.5
0.3400	435.3	0.7100	1316.7	1.1370	132.2	2.0650	60.4
0.3450	438.9	0.7180	1010.3	1.1610	339.0	2.1000	89.1
0.3500	483.7	0.7244	1043.2	1.1800	460.0	2.1480	82.2
0.3600	520.3	0.7400	1211.2	1.2000	423.6	2.1980	71.5
0.3700	666.2	0.7525	1193.9	1.2350	480.5	2.2700	70.2
0.3800	712.5	0.7575	1175.5	1.2900	413.1	2.3600	62.0
0.3900	720.7	0.7625	643.1	1.3200	250.2	2.4500	21.2
0.4000	1013.1	0.7675	1030.7	1.3505	32.5	2.4940	18.5
0.4100	1158.2	0.7800	1131.1	1.3950	1.6	2.5370	3.2
0.4200	1184.0	0.8000	1081.6	1.4425	55.7	2.9410	4.4
0.4300	1071.9	0.8160	849.2	1.4625	105.1	2.9730	7.6
0.4400	1302.0	0.8237	785.0	1.4770	105.5	3.0050	6.5
0.4500	1526.0	0.8315	916.4	1.4970	182.1	3.0560	3.2
0.4600	1599.6	0.8400	959.9	1.5200	262.6	3.1320	5.4
0.4700	1681.0	0.8600	978.9	1.5390	274.2	3.1560	19.4
0.4800	1628.3	0.8800	933.2	1.5580	275.0	3.2040	1.3
0.4900	1539.2	0.9050	748.5	1.5780	244.6	3.2450	3.2
0.5000	1548.7	0.9150	667.5	1.5920	247.4	3.3170	13.1
0.5100	1586.5	0.9250	690.3	1.6100	228.7	3.3440	3.2
0.5200	1484.9	0.9300	403.6	1.6300	244.5	3.4500	13.3
0.5300	1572.4	0.9370	258.3	1.6460	234.8	3.5730	11.9
0.5400	1550.7	0.9480	313.6	1.6780	220.5	3.7650	9.8
0.5500	1561.5	0.9650	526.8	1.7400	171.5	4.0450	7.5

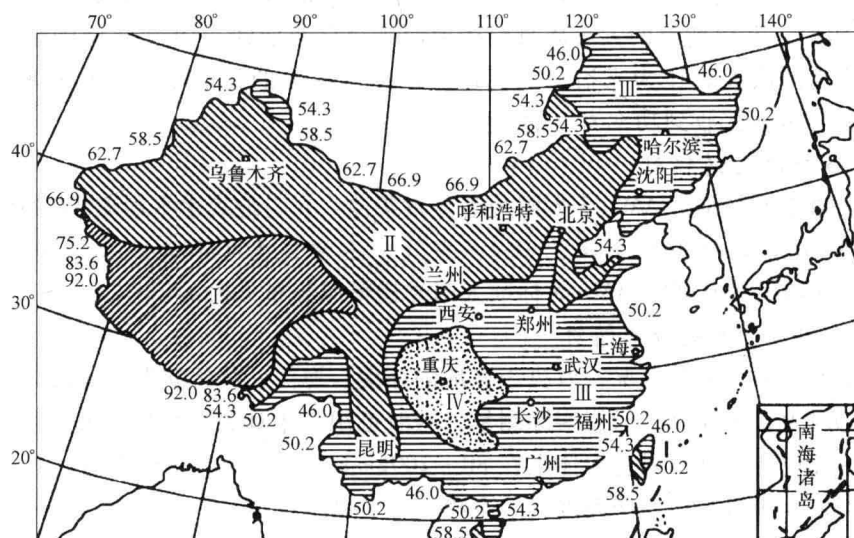


图 1-2 我国太阳能资源主要分布图（注：采用地图为局部图）

表 1-3 我国部分地区年总辐射量及日照总时数

类型	地 区	年日照时数/h	年总辐射量 /kcal/(cm ² ·y)	相当于标准煤量 /kg
1	宁夏北部、甘肃西部、新疆东南部、青海西部、西藏西部	2800 ~ 3300	160 ~ 200	225 ~ 235
2	河北西北部、山西北部、内蒙古、宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部、新疆南部	3000 ~ 3200	140 ~ 160	200 ~ 225
3	山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、广东南部、福建南部、江苏北部、安徽北部	2200 ~ 3000	120 ~ 140	170 ~ 200
4	湖南、广西、江西、浙江、湖北、福建北部、广东北部、陕西南部、江苏南部、安徽南部、黑龙江	1400 ~ 2200	100 ~ 120	140 ~ 170
5	四川、贵州	1000 ~ 1400	80 ~ 100	115 ~ 140

1.2 太阳能电池及其组件

1. 太阳能电池的历史

1839 年, 当时的法国物理学家 Alexandre-Edmond Becquerel 观察到把光线照到导电溶液内, 会产生电流和光伏特效应 (Photovoltaic Effect)。但直到 1883 年, 第一个太阳电池才由美国科学家 Charles Fritts 制造出来, 他在半导体材料硒上涂一层微薄的金, 形成了一个简单的电池。这个太阳电池仅有 1% 的能量转换效率。1927 年科学家们利用金属铜及半导体氧化铜制造出太阳电池。到 1930 年, 硒电池及氧化铜电池已经应用到一些对光线敏感的仪器上, 如光度计。

1946 年第一块硅太阳电池由美国 Russell Ohl 开发出来。1954 年贝尔实验室开发出转换效率达到 6% 的硅太阳电池, 并应用到第一颗人造卫星上。

2. 太阳电池

太阳电池实质就是在阳光照射下的“二极管”, 其能量转换的基础是半导体 PN 结的光生伏特效应。当阳光照射到“二极管”PN 结上时, 在半导体内产生了光生电子-空穴对。这些光生电子和空穴迁移到 PN 结的两端并在边界上累积起来, 由此形成光生电场及电动势 (光生伏特效应), 这就是太阳电池的原理。

3. 太阳电池的分类

太阳电池的种类很多, 大致可分为单晶、多晶、非晶等多种类型。通常学术上太阳电池按制造电池所使用的材料进行分类, 详见表 1-4。本书中所论及的太阳能组件均为晶体硅太阳电池。

表 1-4 太阳电池的种类及其材料

太阳电池的种类		材 料	
硅太阳电池	结晶态	单晶硅、多晶硅	
	非晶态	a-Si	
		a-SiC	a-SiN
		a-SiGe	a-SiSn

续表

太阳电池的种类		材 料	
化合物半导体太阳电池	Ⅲ - V 族	GaAs InP	AlGaAs
	Ⅱ - VI 族	CdS Cu ₂ S	CdTe
	其他	CuInSe ₂	CuInS ₂
湿式太阳电池		TiO ₂ InP	GaAs Si
有机半导体太阳电池		酞菁 羟基角鲨烯 聚乙炔	

4. 太阳电池组件

由单片单晶硅或多晶硅制成的太阳电池称为单体。若由多个单体串联和并联组成一个大电池，并用铝合金框架将其固定，表面再覆盖高强度、高透光率的玻璃，就构成了太阳电池模块，也叫太阳电池组件。若干个组件（模块）构成的方阵称为太阳电池阵列。

通常每个模块的功率由几瓦到几百瓦不等。这些模块因为规格可以按同一标准生产，有益于大规模的批量化制造，同时也有益于安装。

5. 电池片的常见规格

工业上大批量生产的单晶硅和多晶硅太阳电池片规格基本上都是 5in 和 6in（1in ≈ 2.54cm），仅是对角线会有所不同，见表 1-5。图 1-3 所示为常见晶体硅太阳电池片。

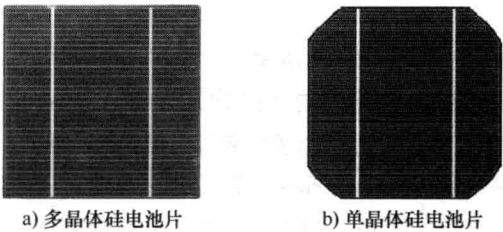


图 1-3 晶体硅电池片

表 1-5 常见晶体硅太阳电池片的尺寸规格

形态	边长/mm	代号	形态	边长/mm	代号
单晶硅	125	TDB125	多晶硅	125	TPB125
	156	TDB156		156	TPB156

在太阳电池行业初级阶段，制作电池片的原料硅片价格昂贵，因此早期的电池片都是圆形，尽可能节约原材料是早期生产电池节约成本的基础。近 20 年来，由于技术和成本的不断降低，原材料价格下降，反而出现了硅片的价格不再占有决定性地位，其他辅助材料价格不断上升，有的已经接近硅片价格的 1/5。从那时起，以节约辅助材料为目的，出现了准方形电池片。

近年来，采用常规工艺生产的电池片效率已经提升到接近理论极限，降低成本只能向着综合成本降低方向发展，开始出现了方形的单晶硅电池片。同时因为多晶硅的生产工艺特点，多晶硅电池片一直以方形在市场上应用。除此之外，因为多晶硅电池生产工艺不断改进，用多晶硅生产的硅片各方面性能指标接近于单晶硅生产的硅片而大量应用，未来将会更多地看到方形电池。

6. 太阳电池组件常见规格

组件的规格定型主要受两方面约束，分别是功率和电压。日常应用规格变化很

多,但对于大型电站和屋顶太阳能发电系统来讲,尺寸变化相对简单,常见规格如图1-4所示。

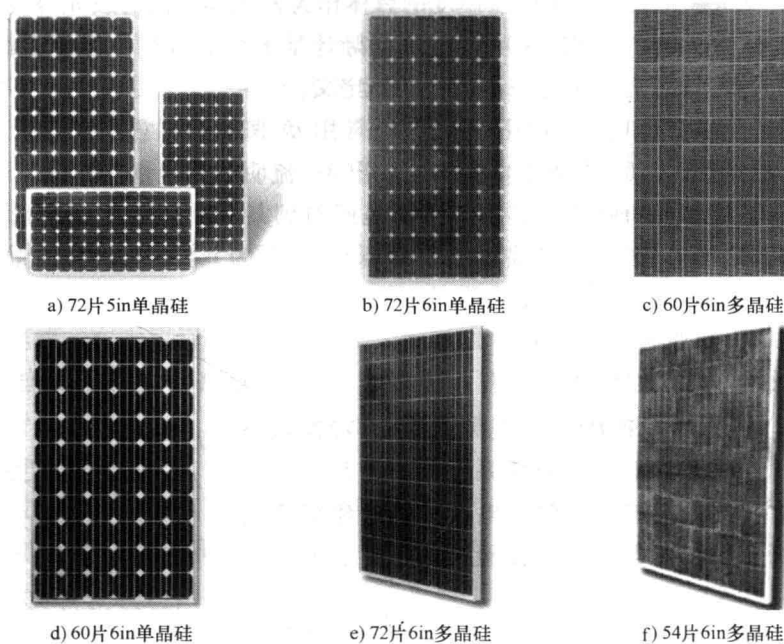


图1-4 组件常见规格

要求主要开路电压控制在45V以上的,常见的有5in单晶硅72片串联方式,尺寸为1580mm×808mm,厚度有35mm、42mm、50mm,功率范围在175~215W,如图1-4a所示;6in单晶硅72片串联方式,尺寸为1956mm×992mm,厚度有42mm、50mm,功率范围在265~320W,如图1-4b所示;6in多晶硅72片串联方式,尺寸为1956mm×992mm,厚度有42mm、50mm,功率范围在250~300W,如图1-4e所示。

要求主要开路电压控制在36V以上的,常见的有6in单晶硅60片串联方式,尺寸为1652mm×992mm,厚度有42mm、50mm,最大功率在250W以上,如图1-4d所示;6in多晶硅60片串联方式,尺寸为1652mm×992mm,厚度有42mm、50mm,最大功率在230W以上,如图1-4c所示。

要求主要开路电压控制在33V以上的,常见的有6in多晶硅54片串联方式,尺寸为1494mm×992mm,厚度有42mm、50mm,最大功率在210W以上,如图1-4f所示。

近年来,大型的建筑一体化太阳电池(Building Integrated Photo Voltaics, BIPV)组件得到了非常广泛的应用,相应的规格尺寸根据结构的不同而不同,往往根据建筑的外形进行设计,本处不再详述。

1.3 太阳电池的参数及介绍

1. 光的参数

(1) 发光强度 发光强度简称光强,国际单位是 candela (坎德拉),简写为 cd。1cd

(即 1000mcd) 是指单色光源 (频率为 540×10^{12} Hz, 波长为 $0.550\mu\text{m}$) 在给定方向上单位立体角内的发光强度。发光强度单位最初是用蜡烛来定义的, 单位为烛光。1948 年第九届国际计量大会上决定采用处于铂凝固点温度的黑体作为发光体, 同时发光强度的单位定名为坎德拉, 曾一度称为新烛光。1967 年第十三届国际计量大会对坎德拉作了更加严密的定义, 1979 年第十六届国际计量大会决定采用现行的新定义。

(2) 光通量 光通量单位是流明 (lm), 通常用 Φ 来表示。它用来计量所发出的光总量, 发光强度为 1cd 的光源, 向周围空间均匀发出 4π 流明的光能量。

(3) 照度 照度即光照强度, 其物理意义是照射到某一面积上的光通量。照度的单位是每平方米的流明 (lm) 数, 也叫做勒克斯 (lux), 简写为 lx。当 1lm 光通量的光强照射到 1m^2 的面积上时, 该面积所受的照度就是 1lx。

2. 太阳能电池及组件的电气参数

太阳能电池及组件电气的性能参数有: 开路电压 U_{oc} 、短路电流 I_{sc} 、最佳工作电压 U_m 、最佳工作电流 I_m 、最大功率 P_m 、填充因子 FF 、转换效率 η 、串联电阻 R_s 、并联电阻 R_{sh} 相互关系详见图 1-5 所示。

这 9 个参数直接或间接地反映出电池片、电池组件电性能的优劣, 测试得出的数据可直接检验电池片、电池组件是否合格。

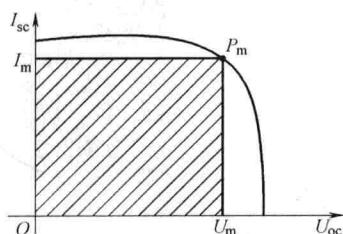


图 1-5 电气测试曲线 ($I-U$)

(1) 开路电压 在标准测试条件下, 光伏发电器件在空载 (开路) 情况下的端电压, 称为太阳能电池的开路电压, 通常用 U_{oc} 表示。

(2) 短路电流 在标准测试条件下, 光伏发电器在端电压为零时的输出电流, 通常用 I_{sc} 表示。

(3) 最佳工作电压 太阳能电池伏安特性曲线上最大功率点所对应的电压, 通常用 U_m 表示。

(4) 最佳工作电流 太阳能电池伏安特性曲线上最大功率点所对应的电流, 通常用 I_m 表示。

(5) 最大功率 在太阳能电池的伏安特性曲线上, 电流与电压乘积的最大值。

(6) 填充因子 又称曲线因子, 系指太阳能电池的最大功率与开路电压和短路电流乘积之比, 通常用 FF 表示, 即

$$FF = \frac{P_m}{U_{oc} I_{sc}}$$

(7) 转换效率 太阳能电池是一种可将太阳能直接转换成电能的半导体光电器件, 可将太阳能能量按比例转换成电能。太阳能电池的转换效率即为输入太阳能能量与输出功率之比。即

$$\begin{aligned} \text{转换效率 } \eta(\%) &= \frac{\text{最大输出功率}}{\text{日照强度} \times \text{太阳能电池受光面积}} \times 100\% \\ &= \frac{P_m}{ES} \times 100\% \end{aligned}$$

为正确定义太阳能电池的效率, 需要附加一些必要的条件, 国际电工标准化委员会 (IEC)

规定如下：地面用太阳能电池的额定效率需在温度 25°C 、光照强度 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 及符合 IEC 规定的空气质量标准的基准光下进行测定，这些条件统称为测试的基本状态。因此，生产厂家对生产的太阳能光伏组件，出厂检验时均按上述规定进行，并必须明确标志在铭牌上。

(8) 串联电阻 串联电阻指太阳能电池内部的与 PN 结或 MIS 结等串联的电阻，主要包括半导体材料体电阻、薄层电阻、电极接触电阻等部分。除此之外，电池组件串联电阻还应包括互连条、汇流条电阻及导线电阻等。实际测量中，不可能准确测量串联电阻，这是由于采样电阻、测试仪表的准确度不同会造成测量误差，因此各种测试设备测试值显示差异较大。

(9) 并联电阻 并联电阻指太阳能电池内部与跨接在电池两端电阻的等效电阻。该值在实际测量中，也很难准确测得，原因与测量串联电阻相同，通常并联电阻的准确度比串联电阻准确度更低。

(10) 暗电流 在光照情况下，产生于太阳能电池内部与光生电流方向相反的正向结电流称为暗电流。

(11) 暗特性曲线 在无光照条件下给太阳能电池施加外部偏压所得到的伏安特性曲线，称为太阳能电池的暗特性曲线。

(12) 光谱响应 光谱响应又叫光谱灵敏度，系指各个波长上，单位辐照度所产生的短路电流密度与波长的函数关系。

(13) 组件效率 系指按组件外形（尺寸）面积计算的转换效率（注意：含铝边框）。

例如，组件效率计算如下（以本书实例）：

组件面积为： $1580\text{mm} \times 808\text{mm} = 1276640\text{mm}^2 = 1.27664\text{m}^2$

标准光强下应产生的功率： $1.27664\text{m}^2 \times 1000\text{W}/\text{m}^2 = 1276.64\text{W}$

实际功率假设为 198W ，则电池组件效率 $\eta = 198\text{W}/1276.64\text{W} \approx 15.51\%$

(14) 相对光谱响应 相对光谱响应又叫相对光谱灵敏度，它是以某一特定的波长（通常是光谱响应的最大值）进行归一化的光谱响应。

3. 影响太阳能电池转换效率的因素

(1) 日照强度的影响 日照强度 E 对伏安特性的影响可用图 1-6 所示的几组曲线说明：只要太阳光谱、组件温度不变，转换效率受日照强度影响并不非常显著；只有当 $E < 0.2\text{kW}/\text{m}^2$ 时，效率开始明显下降。

(2) 工作温度的影响 工作温度对太阳能电池组件伏安特性的影响较大，一般条件下，温度升高，电流、电压的额定值均会有变化，但在 25°C 标准温度左右各项指标与参数变化不大，这也是电池测试条件均要求温度在 25°C 的原因。在光伏系统工程设计时应应对组件温度升高或降低增加温度修正系数，使系统工作在最佳状态。

4. 标准太阳能电池

标准太阳能电池用来校准测试光源的辐射照度。实际检测时的标准太阳能电池一般为 AM1.5 工作标准太阳能电池。

(1) 种类 标准电池通常分成三级，分别为一级标准太阳能电池、二级标准太阳能电池、工作标准太阳能电池。

一级标准太阳能电池通常指的是国家级的标准电池，由国家指定的法定测量单位使用并维护；二级标准太阳能电池是以一级标准太阳能电池为基准，在规定精度的太阳模拟器下进行标定、复制而成的标准太阳能电池，通常公司级的标准电池指的就是二级标准太阳能电池；工作标

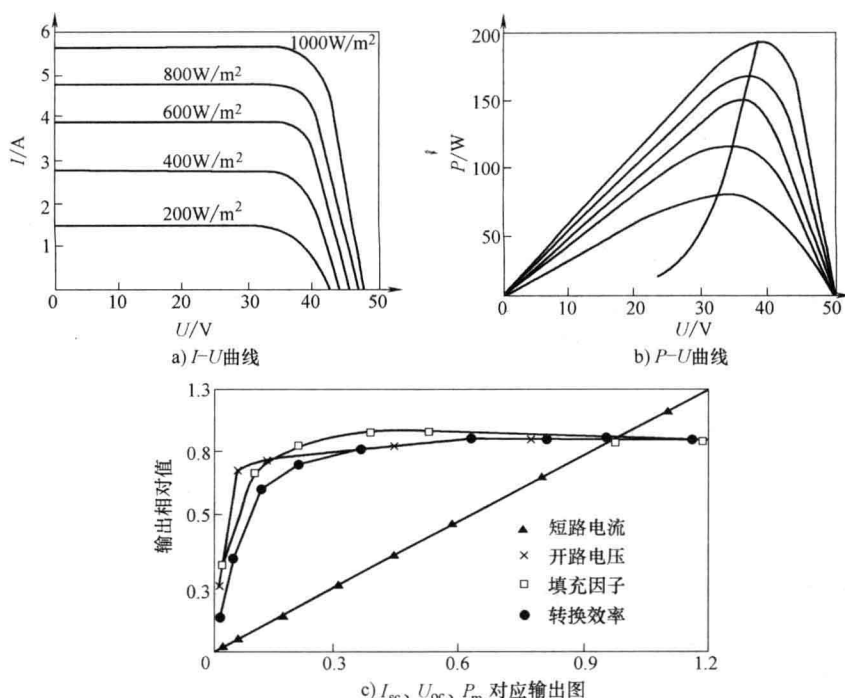


图 1-6 日照条件变化影响电性能参数变化

准太阳电池是以二级标准太阳电池为基准，在规定太阳模拟器下标定、复制后用于日常测试的标准太阳电池。该电池通常指生产中由巡检员进行设备校准的电池。

除此之外，还有用来校准单色光辐照度的光谱标准太阳电池以及带滤光片的标准太阳电池，这种电池用单晶硅太阳电池加适当滤光片将其光谱响应修正到与非晶硅太阳电池基本一致，可作为非晶硅太阳电池测试时的标准太阳电池。

(2) 标准测试条件 太阳电池的标准测试条件为：①温度为 $25 \pm 2^\circ C$ ；②光源辐照度为 $1000 W/m^2$ ，并具有标准的太阳光谱辐照度分布。

(3) 标准工作条件 标准工作条件是用标准太阳电池测量的辐照度为 $1000 W/m^2$ ，具有标准的太阳光谱辐照度分布，并且太阳电池温度为组件的电池额定工作温度（NOCT）。

(4) 组件的电池额定工作温度 在辐照度为 $800 W/m^2$ 、环境温度为 $20^\circ C$ 、风速为 $1 m/s$ ，电池处于开路状态且在中午时太阳光垂直照射到敞开安装于框架中的组件上时；测得的组件内太阳电池的平均平衡温度称为组件的电池额定工作温度（Nominal Operating Cell Temperature, NOCT）。

1.4 其他相关知识

1. 热斑效应

太阳电池组件通常安装在地域开阔、阳光充足的地带。在长期使用中难免落上飞鸟、尘土、落叶等遮挡物，这些遮挡物在太阳电池组件上就形成了阴影，在大型太阳电池组件方阵中，行间距不适合也能互相形成阴影。由于局部阴影的存在，太阳电池组件中某些电池单片