



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 42633—2023

## 空间用太阳能电池通用规范

General specification of solar cells for aerospace

2023-05-23 发布

2023-09-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 要求 .....	2
4.1 通则 .....	2
4.2 材料 .....	2
4.3 结构设计 .....	3
4.4 尺寸 .....	3
4.5 质量 .....	3
4.6 外观和机械缺陷 .....	4
4.7 减反射膜的缺陷 .....	5
4.8 电极的缺陷 .....	5
4.9 减反射膜牢固性 .....	5
4.10 电极牢固性 .....	5
4.11 电性能 .....	5
4.12 反向特性 .....	5
4.13 电极可焊性和焊点抗拉强度 .....	6
4.14 温度冲击 .....	6
4.15 稳态湿热 .....	6
4.16 带电粒子辐照 .....	7
4.17 温度系数 .....	7
4.18 封装增益 .....	7
4.19 太阳吸收率和半球向辐射率 .....	7
4.20 弯曲半径 .....	7
4.21 产品标志 .....	7
5 试验方法 .....	8
5.1 基体材料 .....	8
5.2 结构设计 .....	8
5.3 尺寸 .....	8
5.4 质量 .....	8
5.5 外观和机械缺陷 .....	8
5.6 减反射膜的缺陷 .....	8

5.7 电极的缺陷 ..... 8

5.8 减反射膜牢固性 ..... 8

5.9 电极牢固性 ..... 9

5.10 电性能 ..... 9

5.11 反向特性 ..... 10

5.12 电极可焊性和焊点抗拉强度 ..... 10

5.13 温度冲击 ..... 11

5.14 稳态湿热 ..... 11

5.15 带电粒子辐照 ..... 11

5.16 温度系数 ..... 12

5.17 封装增益 ..... 12

5.18 太阳吸收率和半球向辐射率 ..... 13

5.19 弯曲半径 ..... 13

5.20 产品标志 ..... 14

6 检验规则 ..... 14

6.1 检验分类 ..... 14

6.2 鉴定检验 ..... 15

6.3 生产过程检验(IP 检验) ..... 17

6.4 质量一致性检验 ..... 18

7 包装、运输和贮存 ..... 20

7.1 包装 ..... 20

7.2 运输 ..... 21

7.3 贮存 ..... 21

图 1 太阳电池结构示意图 ..... 3

图 2 太阳电池表面机械缺陷示意图 ..... 4

图 3 拉力试验片示意图 ..... 11

图 4 弯曲试验器示意图 ..... 14

表 1 太阳电池表面机械缺陷最大允许尺寸 ..... 4

表 2 抗辐射能力等级 ..... 7

表 3 大于 200 片批的泊松抽样方案(置信度 90%) ..... 15

表 4 鉴定检验 ..... 16

表 5 IP-2 组检验内容和试验顺序(第一组) ..... 17

表 6 IP-2 组检验内容和试验顺序(第二组) ..... 18

表 7 IP-3 组检验内容和试验顺序 ..... 18

表 8 A 组、B 组和 C 组检验项目和试验顺序表 ..... 19

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)提出并归口。

本文件起草单位：上海空间电源研究所。

本文件主要起草人：姜德鹏、何昕煜、沈斌、肖瑶、陈国铃、李翛然、王训春、瞿轶、杨帆、陆剑峰、谭雪雁。

# 空间用太阳电池通用规范

## 1 范围

本文件规定了空间用太阳电池的要求、试验方法、检验规则及包装、运输和贮存。

本文件适用于空间用未封装的单晶硅太阳电池、刚性衬底砷化镓太阳电池和柔性衬底砷化镓太阳电池。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2296 太阳电池型号命名方法

GB/T 2297 太阳光伏能源系统术语

GB/T 6494 航天用太阳电池电性能测试方法

GB/T 6496 航天用太阳电池标定方法

## 3 术语和定义

GB/T 2297 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 崩边 chip

太阳电池沿着边沿或拐角局部电池本体材料缺失，但未穿透电池的整个厚度。

### 3.2

#### 缺口 nicks

太阳电池沿着边沿或拐角局部电池本体材料缺失，已穿透电池的整个厚度。

### 3.3

#### 空白 voids

任何直径大于 0.13 mm、没有镀层材料（如电极金属层或减反射膜）的空白点。

### 3.4

#### 电极 metal contact

太阳电池表面成欧姆接触并起收集光生载流子和引出电流作用的导电体。

注：太阳电池的电极分为正极、负极。通常把受光面电极称为上电极，非受光面电极称为下电极。

### 3.5

#### 封装 cover

在单体太阳电池上表面覆盖透光材料进行保护。

注：单晶硅太阳电池与刚性衬底砷化镓太阳电池一般用玻璃盖片进行封装。柔性衬底砷化镓太阳电池一般用柔性透光材料或玻璃盖片进行封装。

3.6

**封装增益 cover gain-loss**

为衡量单体太阳能电池与封装材料的匹配性,测量及计算得到的太阳能电池在封装前后电流的变化值。

3.7

**弯曲半径 bending radius**

为表征太阳能电池的机械性能,测量得到的太阳能电池可承受的弯曲状态下的曲率半径。

3.8

**温度系数 temperature coefficients**

太阳能电池的电压、电流随温度变化的速率。

注:一般分为电压温度系数和电流温度系数。

3.9

**AM0 条件 air mass 0 condition**

标定和测试空间用(AM=0)太阳能电池所规定的辐照度和光谱分布。

4 要求

4.1 通则

太阳能电池应符合本文件和厂家提供的产品技术条件的要求,本文件的要求与厂家提供的产品技术条件要求不一致时,应以厂家提供的产品技术条件为准。

4.2 材料

4.2.1 基体材料

单晶硅太阳能电池与刚性衬底砷化镓太阳能电池的基体材料的电阻率、晶向、位错、导电类型和少子寿命等应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

柔性衬底砷化镓太阳能电池的基体材料应是有机物或金属衬底,其厚度、密度、热膨胀系数等应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

4.2.2 减反射膜材料

太阳能电池的减反射膜材料应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

4.2.3 电极和栅线材料

太阳能电池的电极和栅线材料宜采用金、银、钯等金属材料,具体材料应在厂家提供的产品技术条件中规定。

4.2.4 材料的放射性

太阳能电池的制造材料和工艺过程中所用的材料不应具有放射性。

4.2.5 材料的荧光性和磷光性

太阳能电池所有部分的材料不应在紫外或红外光照射时或照射以后短时间内能发射可见光。

4.2.6 材料的化学与物理性能

太阳能电池本身或工艺过程中所用的材料应不妨碍厂家提供的产品技术条件指定的封装材料的性

能。太阳能电池产品的上表面和表面应是可以封装的。

#### 4.2.7 材料的热匹配

太阳能电池的制造材料应具有相匹配的热膨胀特性或具有对热膨胀特性差异的补偿能力。

#### 4.2.8 材料的抗潮湿和霉菌性

太阳能电池应使用抗霉菌材料,且不应含有利于霉菌生长的成分,可忽略对潮湿水汽的吸收。

### 4.3 结构设计

#### 4.3.1 结构

太阳能电池一般为 N/P 型,结构包括衬底、PN 结、上电极、下电极和减反射膜等,如图 1 所示。

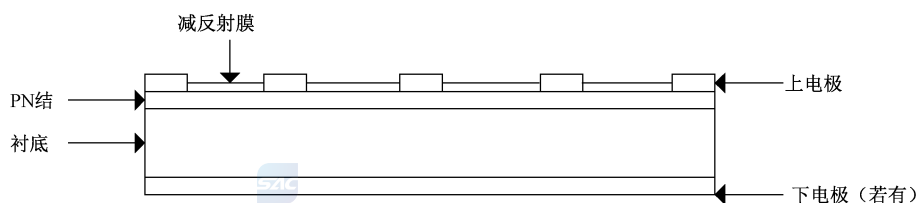


图 1 太阳能电池结构示意图

#### 4.3.2 电极设计

##### 4.3.2.1 电极和电极栅线图形

太阳能电池电极体系及可焊性应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

电极栅线图形应符合厂家提供的产品技术条件的规定。栅线图形应使电池的串联电阻与栅线覆盖面积所引起的功率损失之和为最小。

##### 4.3.2.2 电极的厚度和表面光洁度

太阳能电池电极的厚度应符合厂家提供的产品技术条件的规定,其厚度和表面光洁度应满足焊接的要求。

#### 4.3.3 减反射膜设计

太阳能电池的上表面应有减反射膜,以减少入射光在电池上表面的反射,其结构组成和性能参数应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

### 4.4 尺寸

太阳能电池的长度、宽度和厚度应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

### 4.5 质量

太阳能电池的质量应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

## 4.6 外观和机械缺陷

### 4.6.1 外观

#### 4.6.1.1 电池外观

太阳能电池上表面的颜色应均匀一致,无明显花纹。

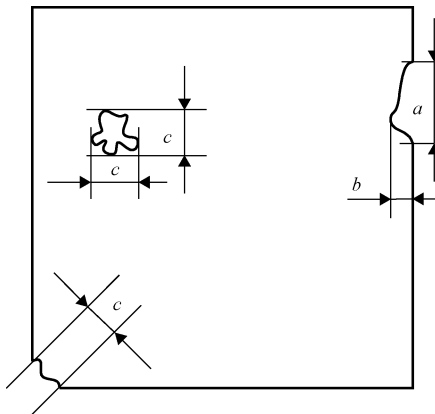
#### 4.6.1.2 电极外观

太阳能电池电极上不应有穿透电极、露出里层金属或半导体的直径大于 0.3 mm 的针孔,电极上不应有起泡或分层的痕迹。

### 4.6.2 机械缺陷

当太阳能电池存在机械缺陷时,应符合下列要求。

- a) 太阳能电池表面存在如图 2 所示的缺损、崩边、缺口时,其最大尺寸不应超过表 1 的规定值,其他面积的太阳能电池可参照执行。



标引符号说明:

- $a$  —— 缺损、崩边或缺口长度;
- $b$  —— 缺损、崩边或缺口宽度;
- $c$  —— 缺损、崩边或缺口直径。

图 2 太阳能电池表面机械缺陷示意图

表 1 太阳能电池表面机械缺陷最大允许尺寸

电池面积 $S$ $\text{cm}^2$	缺陷最大允许尺寸 mm		
	$a$	$b$	$c$
$S \leq 4$	1	0.7	1
$4 < S \leq 8$	2	0.8	1.5
$8 < S \leq 12$	3	0.9	2
$12 < S \leq 25$	4	1	2.5

表 1 太阳电池表面机械缺陷最大允许尺寸 (续)

电池面积 $S$ $\text{cm}^2$	缺陷最大允许尺寸 mm		
	$a$	$b$	$c$
$25 < S \leq 32$	5	1.1	3
$32 < S \leq 64$	6	1.2	3.5

- b) 太阳电池表面缺损、崩边、缺口的累计面积不应超过其总面积的 5%。  
c) 太阳电池应无肉眼可见的裂纹。

#### 4.7 减反射膜的缺陷

太阳电池的减反射膜不应有直径大于 1.8 mm 的空白。当有直径为 0.6 mm~1.8 mm 的空白时,每平方厘米内此类空白不应多于 5 个。直径小于 0.6 mm 的空白忽略不计,但空白总面积不应大于电池总面积的 1%。当存在镀膜夹具造成的空白时,空白面积不应大于电池总面积的 1%。

#### 4.8 电极的缺陷

太阳电池上电极主栅线不应中断。每个太阳电池上电极栅线缺损累计长度不应大于该电池栅线总长度的 5%,缺损数量可不限。栅线缺损小于 0.25 mm 可忽略不计。

每个太阳电池下电极缺损面积不应大于该电池下电极总面积的 10%。

#### 4.9 减反射膜牢固性

按 5.8 进行减反射膜牢固性试验后,减反射膜应符合 4.7 的要求。

#### 4.10 电极牢固性

按 5.9 进行电极牢固性试验后,上电极被剥去的部分不应大于该电池上电极总面积的 5%,下电极被剥去的部分不应大于该电池下电极总面积的 10%。

#### 4.11 电性能

太阳电池的电性能应符合厂家提供的产品技术条件的规定,并按照测试后的电性能参数进行分档。任意检验批的平均转换效率在厂家提供的产品技术条件中应有规定。

带集成旁路二极管太阳电池电性能应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

#### 4.12 反向特性

##### 4.12.1 反向偏置

太阳电池按 5.11.1 进行反向偏置测试后,太阳电池的电性能应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

##### 4.12.2 恒压反向偏置

太阳电池按 5.11.2 进行恒压反向偏置试验前后,太阳电池在有关厂家提供的产品技术条件规定电

压下的输出电流平均变化不应大于 2.5%，并应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

#### 4.12.3 反向偏置交变

太阳能电池按 5.11.3 进行反向偏置交变试验前后，太阳能电池在有关厂家提供的产品技术条件规定电压下的输出电流平均变化不应大于 2.5%，并应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

#### 4.13 电极可焊性和焊点抗拉强度

##### 4.13.1 电极可焊性

电池的电极应能按 5.12.1 的规定焊上拉力试验片或电极互连片。

##### 4.13.2 焊接后电性能衰减

焊上拉力试验片或电极互连片后，任意一个单晶硅太阳能电池在厂家提供的产品技术条件规定的电压下的输出电流，其焊接前、后的输出电流衰减不应大于 1.5%，整批单晶硅太阳能电池的平均输出电流衰减不应大于 1.0%。任意一个砷化镓电池在厂家提供的产品技术条件规定电压下的输出电流衰减不应大于 2.5%，整批砷化镓太阳能电池的平均输出电流衰减不应大于 2.0%。

##### 4.13.3 焊点抗拉强度

太阳能电池按 5.12.1 的规定焊上电极互连片后，焊点的抗拉强度不应小于  $0.83 \text{ N/mm}^2$ 。

#### 4.14 温度冲击

##### 4.14.1 温度冲击后外观和机械缺陷

太阳能电池按 5.13 进行温度冲击试验后，太阳能电池的外观和机械缺陷应符合 4.6.1 和 4.6.2 的规定。

##### 4.14.2 温度冲击后电性能

温度冲击试验后，任意一个单晶硅电池在厂家提供的产品技术条件规定电压下的输出电流衰减不应大于 2.5%，整批单晶硅太阳能电池的平均输出电流衰减不应大于 1.5%。任意一个砷化镓电池在厂家提供的产品技术条件规定电压下的输出电流衰减不应大于 3.5%，整批砷化镓太阳能电池的平均输出电流衰减不应大于 2.5%。

##### 4.14.3 温度冲击后焊点抗拉强度

试验后焊点的抗拉强度不应小于  $0.83 \text{ N/mm}^2$ 。

#### 4.15 稳态湿热

##### 4.15.1 稳态湿热后外观和机械缺陷

太阳能电池按 5.14 进行稳态湿热试验后，太阳能电池的外观和机械缺陷应符合 4.6.1 和 4.6.2 的要求。

##### 4.15.2 稳态湿热后电性能

稳态湿热试验后，单晶硅太阳能电池在厂家提供的产品技术条件规定的电压下，任意一个电池输出电流衰减不应大于 2.5%，整批太阳能电池的平均输出电流的衰减不应大于 1.5%。任意一个砷化镓太阳能电池在厂家提供的产品技术条件规定的电压下的输出电流衰减不应大于 3.5%，整批砷化镓太阳能电池的平

均输出电流的衰降不应大于 2.5%。

#### 4.15.3 稳态湿热后电极牢固性

试验后上电极被剥去的部分不应大于该电池上电极总面积的 5%，下电极被剥去的部分不应大于该电池下电极总面积的 10%。

#### 4.16 带电粒子辐照

按 5.15.1 进行带电粒子辐照试验，再按 5.15.2 进行光子辐射与高温退火后，整批太阳电池的平均最大输出功率的衰降应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

太阳电池可按 5.15 规定的方法开展电子能量为 1 MeV、累计注量为  $1 \times 10^{15} \text{ e/cm}^2$  的电子辐照试验后，根据平均最大输出功率衰降值，对抗辐射能力进行分级，见表 2。

表 2 抗辐射能力等级

抗辐射能力等级	1 MeV, $1 \times 10^{15} \text{ (e/cm}^2\text{)}^a$ 电子辐射后, 平均最大输出功率衰降 $\Delta\eta/\%$
A	$\Delta\eta < 14\%$
B	$14\% \leq \Delta\eta < 17\%$
C	$17\% \leq \Delta\eta < 20\%$
D	$20\% \leq \Delta\eta < 25\%$
E	$\Delta\eta \geq 25\%$
—	未进行辐射试验验证
<sup>a</sup> $\text{e/cm}^2$ 为每平方厘米电子数, 表示某段时间在单位面积上注入的粒子数量。	

#### 4.17 温度系数

太阳电池的温度系数应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

#### 4.18 封装增益

太阳电池封装前后短路电流的平均变化应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

#### 4.19 太阳吸收率和半球向辐射率

太阳电池按厂家提供的产品技术条件规定封装以后，其平均的太阳吸收率 ( $\alpha_s$ ) 和半球向辐射率 ( $\epsilon_H$ ) 应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

#### 4.20 弯曲半径

太阳电池的弯曲半径应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

#### 4.21 产品标志

太阳电池标志应能溯源到生产批号及电池的其他信息。太阳电池上标识的标志应位于厂家提供的产品技术条件规定的指定区域，且用去离子水和无水乙醇、丙酮等溶剂清洗后仍清晰可见。标志不应影响太阳电池的机械性能、电性能和耐环境能力，并满足本文件其他要求。太阳电池型号命名应符合

GB/T 2296 的相关规定。

对于单体太阳能电池和太阳能电池阵为同一个厂家生产的,产品标志不作要求,但应标明太阳能电池的生产批号和产品代号。

## 5 试验方法

### 5.1 基体材料

按基体材料制造厂提供的方法测试或以基体材料制造厂提供的测试数据为准。

### 5.2 结构设计

查阅厂家提供的设计文件。

### 5.3 尺寸

尺寸测量时,采用准确度不低于 0.05 mm 的量具测量太阳能电池的长和宽;采用准确度不低于 0.001 mm 的量具测量太阳能电池的厚度。

### 5.4 质量

采用感量不大于 10 mg 的天平,对一组太阳能电池样品称重,并用该组太阳能电池的数量除该组电池的质量来确定单个太阳能电池的质量。

### 5.5 外观和机械缺陷

#### 5.5.1 外观

##### 5.5.1.1 电池的外观

太阳能电池的外观采用目视检查。

##### 5.5.1.2 电极的外观

电极的外观采用 5 倍~10 倍的显微镜或者相同放大倍率的光学比较仪进行目视检查。

#### 5.5.2 机械缺陷

太阳能电池机械缺陷采用光学比较仪或测量显微镜检查。

### 5.6 减反射膜的缺陷

减反射膜的缺陷采用 5 倍~10 倍放大镜或者相同放大倍率的光学比较仪进行目视检查。

### 5.7 电极的缺陷

电极的缺陷采用光学比较仪或测量显微镜检查。

### 5.8 减反射膜牢固性

把胶带牢固地覆盖粘贴在太阳能电池的上表面,应摩擦到胶带没有雾状空白,和太阳能电池表面成 180°,然后将胶带撕下来,按 5.6 的规定检查减反射膜的缺陷。选用的胶带与清洁的钢表面之间剥离强

度不应小于 3.4 N/cm。

对于柔性衬底砷化镓太阳电池,应将其背面平整粘接在刚性板上或固定到真空吸附平台上,再按以上方法进行试验。保持平整的方法应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

## 5.9 电极牢固性

把胶带牢固地覆盖粘贴在太阳电池的上(下)表面,应摩擦到胶带没有雾状空白,和太阳电池表面成 45°至 90°,然后将胶带从电池栅线末端向主栅线一端撕下来,按 5.7 的规定检查电极的缺陷。

选用的胶带与清洁的钢表面之间剥离强度不应小于 3.4 N/cm。

柔性衬底砷化镓太阳电池应将其背面平整粘接在刚性板上或固定到真空吸附平台上,再按以上方法进行试验。保持平整的方法应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

## 5.10 电性能

### 5.10.1 标准电池

标准电池应与试验太阳电池具有相似的光谱响应特性。它们之间的光谱一致性可以通过氙灯-钨灯比值法或其他认可的方法证实。使用的标准电池应符合 GB/T 6496 的规定。

### 5.10.2 规定电压下输出电流的测量方法

测试条件:AM0 条件、135.3 mW/cm<sup>2</sup> 或 136.7 mW/cm<sup>2</sup>,测试温度为 25 °C ± 1 °C。

测量在厂家提供的产品技术条件规定的电压下的输出电流。

### 5.10.3 I-V 输出曲线的测量方法

测试条件:AM0 条件,135.3 mW/cm<sup>2</sup> 或 136.7 mW/cm<sup>2</sup>,测试温度 25 °C ± 1 °C。

测量方法应按 GB/T 6494 的规定进行。测试多结砷化镓太阳电池时,应使用与其结构相同的多个子电池分别按以上方法在模拟光源下测试其短路电流,以校准测试光源的光谱匹配度,具体按厂家提供的产品技术条件规定。

柔性衬底砷化镓太阳电池测试时,应将其固定到真空吸附平台上或临时固定到其他支撑材料上以保持平整性,再按以上方法进行测试。

除非厂家提供的产品技术条件另有规定,下列一组测量数据可替代 I-V 曲线:

- a) 短路电流  $I_{SC}$ ;
- b) 开路电压  $V_{OC}$ ;
- c) 最大功率点电流  $I_M$ ;
- d) 最大功率点电压  $V_M$ 。

光电转换效率按公式(1)计算:

$$\eta = \frac{P_M}{P_{IN} \times S} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $\eta$  ——光电转换效率;
- $P_M$  ——最大功率,其值等于最大功率点电压  $V_M$  和最大功率点电流  $I_M$  的乘积,单位为瓦(W);
- $P_{IN}$  ——输入光强,单位为瓦每平方米(W/cm<sup>2</sup>);
- $S$  ——受光面积,单位为平方厘米(cm<sup>2</sup>)。

## 5.11 反向特性

### 5.11.1 反向偏置

将太阳能电池置于暗环境中,在电池两端加与电池极性相反的有关厂家提供的产品技术条件规定的电压,保持 10 s~12 s,然后在 AM0 条件的情况下,按 5.10 的规定测试电性能。

### 5.11.2 恒压反向偏置

将太阳能电池置于暗环境中,在太阳能电池两端加与电池极性相反的有关厂家提供的产品技术条件规定的电压,保持 2 h,然后按 5.10 的规定测电性能,并计算试验前后在有关厂家提供的产品技术条件规定电压下输出电流的衰减。

### 5.11.3 反向偏置交变

将太阳能电池置于暗环境中,在太阳能电池两端交替施加与电池极性相反的有关厂家提供的产品技术条件规定的交变电压,保持 4 h,然后按 5.10 的规定测电性能,并计算试验前后在厂家提供的产品技术条件规定的电压下输出电流的衰减。

## 5.12 电极可焊性和焊点抗拉强度

### 5.12.1 电极可焊性

在太阳能电池的上电极、下电极分别焊接两个电极互连片或拉力试验片。电极互连片的规格、材料和焊接的方法应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

### 5.12.2 焊接后电性能衰减

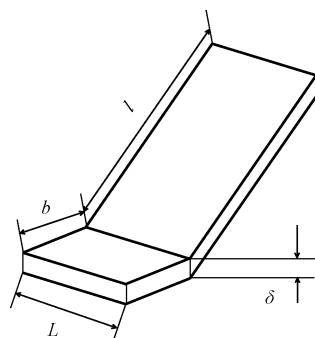
按 5.10 的规定测试太阳能电池在规定电压下的输出电流,并计算焊接前后太阳能电池在厂家提供的产品技术条件规定电压下输出电流的衰减。

### 5.12.3 焊点抗拉强度

把已焊接电极互连片或拉力试验片的太阳能电池固定在试验器上,电极互连片应向上弯成 45°并用夹头夹紧,施力方向与太阳能电池成 135°,拉力试验片示意图见图 3。可采用以下任一方法确定焊点抗拉强度:

- a) 对电极互连片以不大于 1 N/s 的速率施力,在电极互连片从电池上拉脱的瞬间,记录读数;
- b) 也对电极互连片施加一个固定的力,力的大小按焊点面积乘以 0.83 N/mm<sup>2</sup> 确定,施加后至少保持 2 s~4 s,然后观察电极互连片是否脱落,如没有脱落,则焊点抗拉强度大于 0.83 N/mm<sup>2</sup>。

对于柔性衬底砷化镓太阳能电池,应先将其背面粘接在刚性板上或采用其他方法将其固定,再按以上方法进行试验。



标引符号说明：

- $b$  —— 试验片焊接区宽度；
- $L$  —— 试验片焊接区长度；
- $\delta$  —— 试验片焊接区高度；
- $l$  —— 试验片延伸区长度，长度足以夹紧。

图 3 拉力试验片示意图

### 5.13 温度冲击

太阳电池按 5.12.1 规定焊上电极互连片(或拉力试验片)后,在室温、正常大气压条件下放入导热容器中,然后把带有电池的导热容器迅速放到液氮表面,太阳电池达到  $-180_{-5}^{\circ}\text{C}$  后取出,直接放入  $+100_{+5}^{\circ}\text{C}$  的烘箱中,电池达到  $+100_{+5}^{\circ}\text{C}$  后至少停留 2 min,然后移至室温停留 5 min,即完成一个循环。共做 6 个循环。待恢复恒定室温后进行后续工作。试验时太阳电池的温度应有热电偶测温仪监测。

### 5.14 稳态湿热

太阳电池在正常大气压、室温下放入试验装置,将试验装置的温度调至  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度不小于 90%,并保持 96 h。稳态湿热试验装置符合下列要求:

- a) 太阳电池样品和样品架材料在稳态湿热条件下不应起化学反应;
- b) 装置的壁和顶部冷凝水不应落在电池上;
- c) 试验装置的湿源用水应为去离子水,试验装置不应给太阳电池带来腐蚀污染物。

### 5.15 带电粒子辐照

#### 5.15.1 辐照

除使用方另有要求,太阳电池在地面带电粒子辐照试验时进行电子辐照试验。按厂家提供的产品技术条件规定的带电粒子种类、能量、瞬时注量和累计注量进行辐照。一般采用 1 MeV 电子,典型电子辐照注量率范围为  $10^9\text{ e}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}) \sim 10^{12}\text{ e}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ,电子辐照注量率不宜超过  $5 \times 10^{11}\text{ e}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ,辐照注量范围宜为  $10^{13}\text{ e}/\text{cm}^2 \sim 10^{16}\text{ e}/\text{cm}^2$ 。

#### 5.15.2 光子辐射与高温退火

在带电粒子辐照完成后,对太阳电池按以下方法进行光子辐照:

- a) 在一个太阳常数(AM0 条件)下照射 48 h;
- b) 保持温度为  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

c) 在开路条件下执行。

随后,太阳电池应在 60 °C 条件下进行 24 h 的退火或在室温、相对湿度小于 50% 的环境中贮存 7 d~30 d。

退火后的太阳电池按 5.10 规定测试电性能,测量退火后的太阳电池的最大输出功率  $P_A$ ,先计算单个太阳电池最大输出功率的衰降  $\delta_i = (P_M - P_A) / P_M$ ,再按公式(2)计算平均最大输出功率的衰降  $\delta$ :

$$\delta = \frac{\sum \delta_i}{n} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $\delta$  ——平均最大输出功率衰降;
- $\delta_i$  ——每个样品的最大输出功率衰降;
- $n$  ——样品总数。

5.16 温度系数

在工作温度 25 °C ±1 °C、40 °C ±1 °C、60 °C ±1 °C 和 80 °C ±1 °C 下或按厂家提供的产品技术条件规定的温度条件,对待辐照样进行电性能参数测量,获得每个样品在各个温度下的短路电流、开路电压、最大功率点下的电压和电流的数值。采用最小二乘法对曲线进行数值拟合,曲线的斜率即为温度系数。

先计算单个太阳电池电压温度系数  $\beta_i$  和电流温度系数  $\alpha_i$ ,再按公式(3)和公式(4)分别计算平均电压温度系数  $\beta$  和平均电流温度系数  $\alpha$ 。

$$\beta = \frac{\sum \beta_i}{n} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $\beta$  ——平均电压温度系数;
- $\beta_i$  ——每个样品的电压温度系数;
- $n$  ——样品总数。

$$\alpha = \frac{\sum \alpha_i}{n} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- $\alpha$  ——平均电流温度系数;
- $\alpha_i$  ——每个样品的电流温度系数;
- $n$  ——样品总数。

然后按 5.15 进行带电粒子辐照,对试验前进行过温度系数测试的太阳电池样品,按照原测试方法和计算方法,再次进行电压温度系数和电流温度系数测量,及平均电压温度系数和平均电流温度系数计算,获得辐照试验后每个样品在各个温度下的短路电流、开路电压、最大功率点下的电压和电流的数值。

5.17 封装增益

按下列步骤进行封装增益的测试:

- a) 太阳电池按 5.12.1 规定焊上电极互连片;
- b) 按 5.10 规定的方法,测量封装前太阳电池的短路电流  $I_{SC1}$ ;
- c) 按厂家提供的产品技术条件规定的方法将太阳电池进行封装;
- d) 按 5.10 规定的方法,测量封装后太阳电池的短路电流  $I_{SC2}$ ;
- e) 计算  $(I_{SC2} - I_{SC1}) / I_{SC1}$  平均变化值,即为封装增益值。



## 5.18 太阳吸收率和半球向辐射率

### 5.18.1 太阳吸收率

太阳电池按照厂家和使用方认可的方法或下列方法测量电池前表面的太阳吸收率：

- a) 采用 Edwards 式积分球, 测量太阳电池前表面从  $0.28 \mu\text{m} \sim 2.5 \mu\text{m}$  的反射率, 然后按公式(5) 计算太阳吸收率  $\alpha_s$ ：

$$\alpha_s = 1 - \int_{0.28}^{2.5} R(\lambda) \cdot E(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$\alpha_s$  ——太阳吸收率；

$R(\lambda)$  ——电池的光谱反射率；

$E(\lambda)$  ——AM0 条件下太阳光相对分光辐照度, 单位为每微米( $1/\mu\text{m}$ )。

- b) 再按公式(6)计算平均太阳吸收率 $\bar{\alpha}_s$ ：

$$\bar{\alpha}_s = \frac{\sum \alpha_{si}}{n} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$\bar{\alpha}_s$  ——平均太阳电池吸收率；

$\alpha_{si}$  ——每个样品的太阳吸收率；

$n$  ——样品总数。

### 5.18.2 半球向辐射率

太阳电池半球向辐射率( $\epsilon_H$ )可用下列任一方法测量。

- a) 从  $2.0 \mu\text{m} \sim 26 \mu\text{m}$  的波长范围测量太阳电池的光谱反射率, 并对 300 K 的普朗克辐射体函数进行积分。
- b) 太阳电池放在一个液氮冷却的真空室内, 测量电池保持在 300 K 平衡温度下所需的能量密度。
- c) 在  $15 \text{ }^\circ\text{C} \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$  温度条件下, 准备参比试样, 将高、低发射率参比试样置于热沉上, 探测器分别放到高、低发射率参比试样上, 通过微调使数仪表上显示的数值等于它们各自的发射率值, 此步骤重复一遍。将测试样置于热沉上, 把探测器放到被测试样表面上约 90 s, 待读数稳定, 记录读数, 即为被测试样的发射率。此步骤至少进行三次。以三次测试值的算术平均值作为被测试样品的半球向辐射率。计算单个太阳电池半球向辐射率  $\epsilon_{Hi}$ , 然后再按公式(7)计算平均半球向辐射率  $\epsilon_H$ ：

$$\epsilon_H = \frac{\sum \epsilon_{Hi}}{n} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$\epsilon_H$  ——平均半球向辐射率；

$\epsilon_{Hi}$  ——每个样品的半球向辐射率；

$n$  ——样品总数。

## 5.19 弯曲半径

将太阳电池置于弯曲试验器上进行弯曲, 试验器见图 4 所示, 保持 10 s 后, 取下该太阳电池按厂家提供的产品技术条件的规定进行性能测试, 并记录该弯曲试验器的曲率半径。改变弯曲试验器的曲率半径, 重复上述操作, 当太阳电池性能不符合厂家提供的产品技术条件要求时, 判定该太阳电池失效。

太阳能电池失效前的曲率半径值即为该太阳能电池的弯曲半径。

弯曲试验器的曲率半径、太阳能电池弯曲试验次数及弯曲方向等应符合厂家提供的产品技术条件的规定。

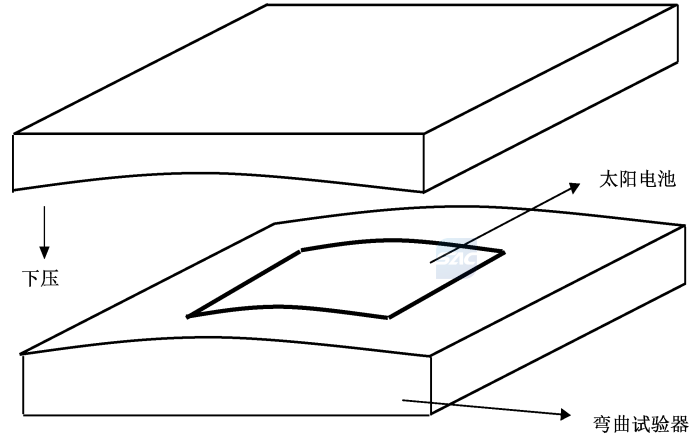


图 4 弯曲试验器示意图

## 5.20 产品标志

将电池置于样品架上,然后将样品架浸没在  $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  的丙酮中,保持 4 min,将样品架拿出直接再浸没在  $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  无水乙醇中保持 4 min,取出后用去离子水清洗,并在室温下用洗耳球或氮气进行干燥,最后目视检查太阳能电池的标志。

## 6 检验规则

### 6.1 检验分类

检验分类如下:

- a) 鉴定检验(见 6.2);
- b) 生产过程检验(IP 检验)(见 6.3);
- c) 质量一致性检验(见 6.4)。

注:检验过程中,下列试验认为是破坏性的:

- a) 电极的可焊性和焊点抗拉强度;
- b) 减反射膜牢固性;
- c) 温度冲击;
- d) 稳态湿热;
- e) 带电粒子辐照;
- f) 弯曲半径。

### 6.2 鉴定检验

#### 6.2.1 通则

同一品种的电池应采用相同的材料和工艺进行制造,并通过鉴定检验。停产超过 2 年或有重大的设计、结构、工艺变化时,应重新鉴定。

## 6.2.2 鉴定检验抽样

### 6.2.2.1 样本大小

样本的大小按表 3 规定的批允许不合格品率(LTPD)方法从检验批抽取,平均分成 5 组,余数分配到靠前的各组中,每组一片。鉴定检验的批允许不合格品率(LTPD)值为 7%,合格判定数( $c$ )不大于 2。

### 6.2.2.2 鉴定批的选择

鉴定批应从经过 IP-3 检验的生产批中选择。



### 6.2.2.3 鉴定批的大小

鉴定批产品数应至少为鉴定检验抽样大小的 2 倍。

表 3 大于 200 片批的泊松抽样方案(置信度 90%)

单位为个

合格判定数( $c$ )	批允许不合格品率(LTPD)							
	50	30	20	15	10	7	5	3
	最小样本大小							
0	5	8	11	15	22	32	45	76
1	8	13	18	25	38	55	77	129
2	11	18	25	34	52	75	105	176
3	13	22	32	43	65	94	132	221
4	16	27	38	52	78	113	158	265
5	19	31	45	60	91	131	184	308
6	21	35	51	68	104	149	209	349
7	24	39	57	77	116	166	234	390

### 6.2.2.4 样本的选取

全部样本从鉴定检验批中随机抽取。

### 6.2.2.5 替换

当太阳能电池样品在检验中出现检验项目外的偶然损坏时,可以由同一检验批中随机抽样的新太阳能电池替代。该新太阳能电池应经受该组检验的全部试验。已被替代的太阳能电池不计入失效判定数内。

## 6.2.3 鉴定检验分组

鉴定检验项目按表 4 规定,所有的检验应按表 4 规定的顺序进行。除非另有规定,全部检验的样品应是未封装的太阳能电池。

表 4 鉴定检验

检验项目	检验顺序 <sup>a</sup>					要求章条号	检验方法章条号
	I 组	II 组	III 组	IV 组	V 组		
外观和机械缺陷	1	1、4、6	1、4、6	1	1	4.6	5.5.1、 5.5.2
尺寸	2					4.4	5.3
质量	3					4.5	5.4
电性能	4	2、7	2	2	2	4.11	5.10
电极可焊性	5					4.13.1	5.12.1
焊接后电性能衰减	6					4.13.2	5.12.2
温度冲击	7					4.14	5.13
温度冲击后外观和机械缺陷	8					4.14.1	5.5.1、 5.5.2
温度冲击后电性能	9					4.14.2	5.10
温度冲击后焊点抗拉强度	10					4.14.3	5.12.3
恒压反向偏置 <sup>b</sup>			3			4.12.2	5.11.2
反向偏置交变 <sup>b</sup>			5			4.12.3	5.11.3
稳态湿热				3		4.15	5.14
稳态湿热后外观和机械缺陷				4		4.15.1	5.5.1、 5.5.2
稳态湿热后电性能				5		4.15.2	5.10
稳态湿热后电极牢固性				6		4.15.3	5.9
温度系数		3、8				4.17	5.16
带电粒子辐照		5				4.16	5.15
减反射膜牢固性			7			4.9	5.8
弯曲半径			8			4.20	5.19
封装增益 <sup>c</sup>					3	4.18	5.17
太阳吸收率和半球向辐射率 <sup>c</sup>					4	4.19	5.18
产品标志					5	4.21	5.20

<sup>a</sup> 数字 1、2……表示本组需开展检验项目的顺序,无数字的空格表示该组不进行该检验项目。

<sup>b</sup> 仅适用于砷化镓太阳电池。

<sup>c</sup> 为封装后的太阳电池。

## 6.2.4 检验结果判定

当鉴定检验的不合格数小于或等于合格判定数(c)时,判定此鉴定检验合格;否则为不合格。

### 6.3 生产过程检验(IP 检验)

#### 6.3.1 IP-1 组检验

6.3.1.1 对用于制造单晶硅太阳能电池和刚性衬底砷化镓太阳能电池的基体,厂家自身或要求基体材料制造厂从其检验批中抽取一片,按 5.1 的试验方法测试下列参数:

- a) 导电类型;
- b) 晶向;
- c) 电阻率;
- d) 位错;
- e) 少子寿命。

当测试结果均满足 4.2.1 要求时,判定此 IP-1 组检验合格;否则判为不合格。

6.3.1.2 对用于制造柔性衬底砷化镓太阳能电池的基体,使用方自身或要求基体材料制造厂从其检验批中抽取一片,按 5.1 的试验方法测试下列参数:

- a) 厚度;
- b) 密度;
- c) 热膨胀系数。

当测试结果均满足 4.2.1 要求时,判定此 IP-1 组检验合格;否则判为不合格。

#### 6.3.2 IP-2 组检验

IP-2 组检验的太阳能电池样品应采用批允许不合格品率(LTPD)方法从检验批中随机抽取,并按照批允许不合格品率(LTPD)=30%确定样本大小,但样品数量不应大于 13 个,IP-2 组的合格判定数应符合表 3 规定。该组样本平均分成两组,余数分配到第一组中。其中第一组只进行减反射膜及电极牢固性试验,检验内容和试验顺序见表 5。第二组依次进行其他项目试验,检验内容和试验顺序见表 6。

当太阳能电池样品在检验中出现检验项目外的偶然损坏时,可由同一检验批中随机抽样的新太阳能电池替代。该新太阳能电池应经受该组检验的全部试验。已被替代的太阳能电池不计入失效判定数内。

当 IP-2 组检验的不合格数小于或等于合格判定数( $c$ )时,判定此 IP-2 组检验合格;否则为不合格。不合格的检验批可进行一次筛选后再次提交。

表 5 IP-2 组检验内容和试验顺序(第一组)

顺序	检验项目	要求章条号	试验方法章条号
1	减反射膜牢固性	4.9	5.8
2	电极牢固性	4.10	5.9

表 6 IP-2 组检验内容和试验顺序(第二组)

顺序	检验项目	要求章条号	试验方法章条号
1	结构设计	4.3	5.2
2	尺寸	4.4	5.3
3	电极可焊性和焊点抗拉强度	4.13	5.12

6.3.3 IP-3 组检验

IP-3 组检验内容和试验顺序见表 7。全部太阳能电池应进行 IP-3 组检验,达不到任意一项要求的太阳能电池应从检验批中剔除。IP-3 组检验完成后,按照厂家提供的产品技术条件的要求对太阳能电池进行分档,太阳能电池不合格品率应符合厂家提供的产品技术条件。

表 7 IP-3 组检验内容和试验顺序

顺序	检验项目	要求章条号	试验方法章条号
1	外观	4.6.1	5.5.1
2	机械缺陷	4.6.2	5.5.2
3	电极的缺陷	4.8	5.7
4	反向偏置 <sup>a</sup>	4.12.1	5.11.1
5	电性能	4.11	5.10

<sup>a</sup> 适用于砷化镓太阳能电池,检验时反向偏置中的电性能测试和序号 5 的电性能的测试合并进行。

6.4 质量一致性检验

6.4.1 检验项目

太阳能电池应采用相同的材料和工艺进行制造。

质量一致性检验包括 A 组、B 组、C 组检验。A 组、B 组和 C 组检验试验顺序见表 8。

6.4.2 统计抽样

6.4.2.1 样本大小

A 组样本的大小根据表 3 和 10%批允许不合格品率(LTPD)确定,平均分成两组,余数分配到第一组,其中第一组进行 A 组中第 1 项~第 6 项的试验,第二组进行 A 组中第 1 项、第 2 项、第 5 项和第 7 项试验。B 组和 C 组样本的大小根据表 3 和 10%批允许不合格品率(LTPD)确定,任何组检验的样品合格判定数(c)不应大于 4。

6.4.2.2 样本的选取

样本从检验批中随机抽取。

### 6.4.2.3 样本替换

当太阳能电池样品在 A 组、B 组或 C 组检验中出现检验项目外的偶然损坏时,可以由同一检验批中随机抽样的新太阳能电池替代。该新太阳能电池应经受该组检验的全部试验。已被替代的太阳能电池不计入失效判定数内。

### 6.4.3 检验批的选取

#### 6.4.3.1 A 组检验

太阳能电池样品应按照 6.4.2.1 的规定从已通过生产过程检验的检验批中选取。检验项目和试验顺序按表 8 中 A 组的规定进行。当样品未通过 A 组检验时,应停止产品的验收和交付,按 6.4.4 的规定处理。

表 8 A 组、B 组和 C 组检验项目和试验顺序表

检验项目	试验顺序 <sup>a</sup>				要求章条号	试验方法章条号
	A 组		B 组	C 组		
	1 组	2 组				
外观	1	1	1	1	4.6.1	5.5.1
机械缺陷	2	2	2	2	4.6.2	5.5.2
尺寸	3				4.4	5.3
质量	4				4.5	5.4
电性能	5	3	3	3	4.11	5.10
电极可焊性和焊点抗拉强度	6				4.13	5.12
减反射膜牢固性		4			4.9	5.8
稳态湿热			4		4.15	5.14
稳态湿热后外观和机械缺陷			5		4.15.1	5.5.1、 5.5.2
稳态湿热后电性能			6		4.15.2	5.10
稳态湿热后电极牢固性			7		4.15.3	5.9
封装增益 <sup>b</sup>				4	4.18	5.17
太阳吸收率和半球向辐射率 <sup>b</sup>				5	4.19	5.18

<sup>a</sup> 数字 1、2……表示本组需开展检验项目的顺序,无数字的空格表示该组不进行该检验项目。  
<sup>b</sup> 为封装后的太阳能电池。

### 6.4.3.2 B 组和 C 组检验

#### 6.4.3.2.1 样本的选取

太阳能电池样品应按照 6.4.2.1 的规定,从通过生产过程检验且 A 组检验合格的检验批中选取。检验项目和顺序按表 8 中 B 组和 C 组的规定进行。

#### 6.4.3.2.2 最初检验批的 B 组和 C 组检验的取消

当厂家在最初检验批生产之前,已通过了鉴定检验,应免做最初检验批的 B 组和 C 组检验。

#### 6.4.3.3 B 组和 C 组检验批处理

在 B 组和 C 组检验没有通过之前,抽取 B 组和 C 组检验样品的检验批不应交收。

#### 6.4.4 检验结果判定

当质量一致性检验的 A 组、B 组和 C 组不合格数小于或等于合格判定数( $c$ )时,判定质量一致性检验合格;否则为不合格。

当样品未通过 A 组检验,可经过返工或剔除有缺陷的产品,然后再提交经受质量一致性检验,但应清楚地标明为复检批。复检批应重新进行全部 A 组、B 组和 C 组检验,对不合格的项目应降低批允许不合格品率(LTPD)值。当复检仍不合格,则整批产品判定为不合格批。

当样品未通过 B 组和 C 组检验,厂家应将不合格情况通知鉴定机构,并应重新按照表 8 中 B 组和 C 组的规定再重新抽样后进行检验。若仍不合格,可经过返工或剔除有缺陷的产品,然后再提交经受质量一致性检验,但应清楚地标明为复检批。复检批应重新进行全部 A 组、B 组和 C 组检验,对不合格的项目应降低批允许不合格品率(LTPD)值。当复检仍不合格,则整批产品判定为不合格批。

### 7 包装、运输和贮存

#### 7.1 包装

##### 7.1.1 通则

装有太阳能电池的容器内应有充足的保护材料,防止太阳能电池受冲击或损坏。每个容器应热压焊在一个气密的、防湿气的袋内,袋内还应放有足够的袋装活性干燥剂,以防止大气或其他物质对太阳能电池表面污染。

注:当单体太阳能电池和太阳能电池阵为同一厂家时,本条不作要求。

##### 7.1.2 干燥剂

选用的干燥剂不应影响太阳能电池的机械性能、电性能产生有害影响,同时不应和太阳能电池直接接触。

##### 7.1.3 湿度指示器

每个密封袋内应在明显位置放入量程为 10%~80%的相对湿度指示器。

##### 7.1.4 包装材料

全部包装材料不应影响太阳能电池的机械性能、电性能有损害,不应污染太阳能电池表面。包装方法应与使用方协商确定。

##### 7.1.5 装箱

将包装完毕的太阳能电池放入专用包装箱内,包装箱内应采取充分的保护措施,以防太阳能电池受冲击或损坏。

## 7.1.6 包装标志

7.1.6.1 每个装有太阳能电池用于发货的容器宜清楚标明如下内容：

- a) 厂家的名称和商标；
- b) 产品的型号；
- c) 批号和太阳能电池数量；
- d) 制造的年和月。

注：当单体太阳能电池和太阳能电池阵为同一厂家时，本条不作要求。

7.1.6.2 包装箱上除符合 7.1.6.1 规定外，还应有“小心轻放”“防湿”“防雨”等标志。

## 7.2 运输

当单体太阳能电池和太阳能电池阵不是同一厂家时，产品运输应在有专用包装容器的条件下进行。运输中应避免雨淋和机械冲击。

## 7.3 贮存

产品应贮存在温度 10℃~40℃、相对湿度小于 50% 的密封容器中。容器及容器内的气体应是干净、无污染的。