

ICS 27.160

CCS F 09



团体标准

T/CSTM 00461—2022

晶体硅光伏电池电极剥离强度测试方法

Test method for electrode peel strength of crystalline silicon PV cells

2022-06-06 发布

2022-09-06 实施

中关村材料试验技术联盟

发布

全国标准信息公共服务平台
CSTM标准发布使用

前 言

本文件参照 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》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中国材料与试验团体标准委员会建筑材料领域委员会（CSTM/FC03）提出。

本文件由中国材料与试验团体标准委员会建筑材料领域委员会太阳能光伏系统应用技术委员会（CSTM/FC03/TC22）归口。

全国标准信息公共服务平台
CSTM标准发布使用

晶体硅光伏电池电极剥离强度测试方法

1 范围

本文件规定了晶体硅光伏电池电极剥离强度测试方法的术语和定义、设备要求、样品要求、环境要求、测试方法、数据处理、测试报告。

本文件适用于晶体硅光伏电池电极剥离强度测试。

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 31985 光伏涂锡焊带

ISO 7500-1:2015 金属材料—静力单轴试验机的检验 第1部分：拉力和(或)压力测试 (Metallic materials - Verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

焊带 Ribbon

用于光伏组件产品，在一定尺寸的铜带表面涂敷一定厚度的锡基焊料而形成的复合导电材料。

3.2

电极剥离强度 Electrode peel strength

指焊带、电极及硅片接触面进行单位宽度剥离时所需要的最大力，单位为：牛顿/米 (N/m)。

电极剥离强度的作用和影响因素见附录A。

4 原理

焊带与光伏电池电极焊接后，置于剥离力测试仪上。将焊带基于电池片表面折弯180°后，测试仪以一定速度均匀地从光伏电池上拉脱焊带，根据测试得出剥离力及焊带与电极接触宽度计算所得出的剥离强度即为电极剥离强度。

5 设备要求

本文件所采用剥离力测试仪应符合 ISO 7500-1:2015 的规定，其精度等级为 0.5 级。

6 样品要求

测试样品应符合如下要求：

- a) 测试样品应完成焊接工艺，并且所使用的焊带应满足 GB/T 31985 的要求；
- b) 确认样品外观是否存在异常（破损、裂片等），如有异常需重新送样替换测试样品；
- c) 样品焊接有效率应大于 75%，未达标样品需重新送样替换测试样品，焊接有效率的评估与计算见附录 B。

7 环境要求

测试环境应满足以下要求：

- a) 温度：10℃~35℃；
- b) 相对湿度（RH）：≤75%；
- c) 无振动、腐蚀性和强电磁场；
- d) 大气压力：86kPa~106kPa；
- e) 测试设备应安装在稳定的平台上，水平为 0.2mm/1m。

8 测试方法

8.1 测试夹具

根据所测试电池片样品尺寸和电极图形的要求选择合适的夹具。样品应保证不受张力或压力的干扰，以免影响测试结果。

8.2 测试角度

焊带拉取端与晶硅电池水平面夹角成 180°，测试角度见图 1。

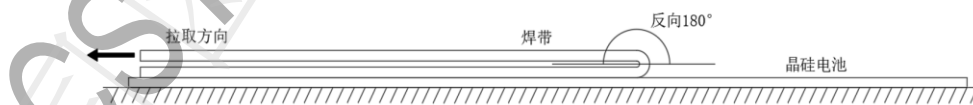


图 1 测试角度示意图

8.3 参数设置

根据焊接长度设定测试仪测试长度范围。设定测试速度，参数范围为 300mm/min~800mm/min。

8.4 测试数据

根据测试曲线读取下列数据：

- 1) 取每段电极曲线波峰值为该段电极剥离力值，波峰取值读数见图 2。
- 2) 如单段电极设计较长，出现较多波峰，读数按多点取值，多点取值读数见图 3。该段电极剥离力

计算见公式（1）。

$$F = \frac{\sum_{i=1}^m F_{pi}}{m} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

F ——该段电极平均剥离力，单位为牛顿（N）；

F_{pi} ——该段电极每个波峰读数，单位为牛顿（N）；

m ——波峰的数量。

3) 若每段峰值数据波动剧烈，存在极低或者极高的点，并且该极值点对实验判定结果产生影响，应确认电池片焊接者测试仪器是否存在异常，排除异常后重新取样进行测试。

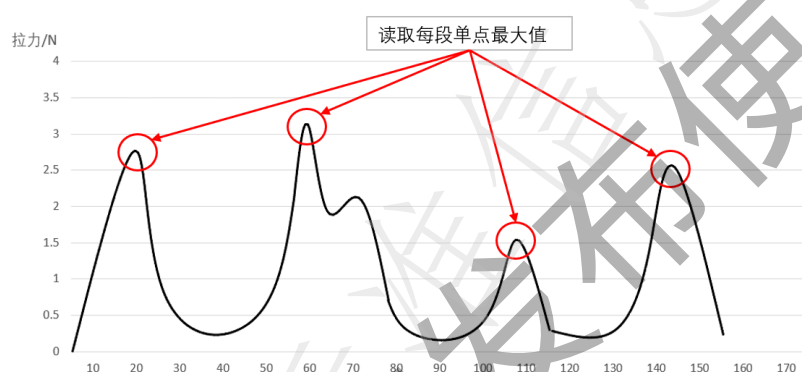


图 2 波峰取值读数

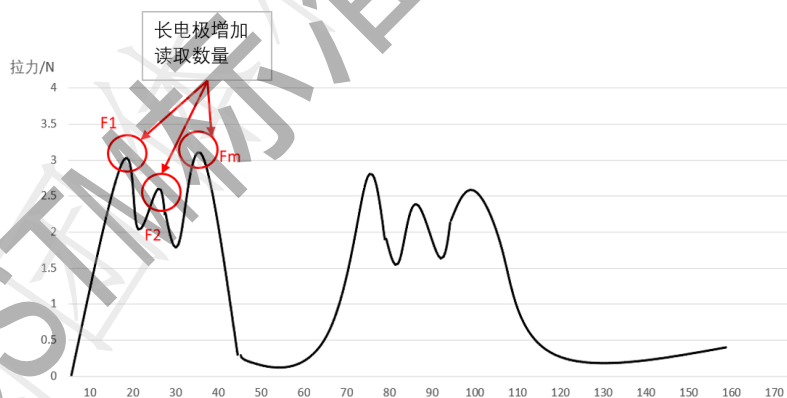


图 3 多点取值读数

9 数据处理与结果判定

9.1 数据处理应符合下列要求：

- 1) 统计所读取的每段电极剥离力值，有效数值保留两位小数。
- 2) 根据所提供样品的电极与焊带的类型与规格，得到焊带与电极接触面宽度。
- 3) 剥离强度计算见公式（2）。

$$\sigma = \frac{F}{W} \dots \dots \dots (2)$$

式中：

- F ——该段电极平均剥离力，单位为牛顿（N）；
- W ——焊带与电极接触面宽度，单位为毫米（mm）；
- σ ——该段电极的剥离强度，单位为牛顿每毫米（N/mm）。

9.2 晶体硅光伏电池电极剥离强度判定标准见附录C。

10 测试报告

测试报告应至少包含以下内容（测试报告见附录D）：

- a) 测试日期；
- b) 送样单位；
- c) 样品编号；
- d) 电池类型；
- e) 焊接方式；
- f) 浆料类型；
- g) 电极宽度；
- h) 焊带规格；
- i) 栅线编号；
- j) 剥离强度测试值，单位为牛顿每毫米（N/mm）；
- k) 剥离现象；
- l) 测试人员信息。

附录A
(资料性)
电极剥离强度的作用与影响因素

A.1 电极剥离强度含义和作用

晶硅电池片电极与焊带间需要一定的剥离强度，以保证在组件的制造及使用过程中，电极与焊带间不会因为外界应力的影响发生脱落、虚连等情况，从而避免组件生产异常或者串联电阻的增加；同时，如果电极与焊带间的连接状态不佳，也有可能造成电池片的变形隐裂等问题，从而影响组件的正常使用。在组件焊接工艺后，焊带与太阳能电池片之间的连接可以认为由焊带与银浆间的连接及银浆与硅基间的连接组成。

A.2 电极剥离力的组成

电极剥离力的组成包括：

- 1) 焊带和银电极表面形成的粘结力；
- 2) 银粉和银粉烧结形成的粘结力；
- 3) 电极浆料无机组分和硅片烧结反应形成的粘结力。

A.3 电极剥离强度的主要影响因素

电极剥离强度的主要影响因素包括：

- 1) 硅片的表面（绒面）状态：硅片表面(绒面)状态会影响浆料电极表面接触的面积及与其的浸润程度；
- 2) 印刷工艺影响电极成膜的厚度：印刷工序中所使用的网版厚度、网纱类型（开口）会影响银膜的厚度；如果成膜的厚度太低，会影响与焊带接触效果，严重会导致过焊现象；
- 3) 烧结工艺影响电极成膜的致密度；
- 4) 电极浆料的配方银粉、玻璃、固含量等；
- 5) 电极版图设计所带来的焊接效果上的差异；
- 6) 焊接方式、工艺类型；
- 7) 焊带类型、宽度。

A.4 拉脱的形态

拉脱的形态包括：

- 1) Ag-Si mode weakest 最弱，过焊；
- 2) Ag-Ag mode medium 中，最常见的拉脱模式；
- 3) Si-Si mode highest 最强，界面应力太强，存在硅片隐裂风险。

A.5 失效模式

失效模式包括：

- 1) 组件内存在的内应力或老化过程中温度变化导致焊带、电极、硅片及组件材料热膨胀系数不一

样从而使焊锡与电极中间出现分裂甚至脱落；

2) 老化过程中，焊料侵蚀、酸腐蚀等导致银硅界面处分层失效。

附录B (资料性)

晶体硅光伏电池图形设计与电极剥离强度测试影响分析

B.1 电极的组成与作用

晶体硅光伏电池使用焊带与电极相连接，将电池受光照产生的电流输送到外部电路中。电极包括正面电极和背面电极。

正面电极一般使用主栅与细栅互联，细栅的主要作用是收集电池片在光照后产生的电流，主栅的作用是将细栅上收集的电流汇集输出到外部电流。因此主栅电极与焊带的剥离强度会影响组件的输出功率与长期可靠性。

背面电极一般由背电极与背电场组成。在不同的工艺路线，背面设计差异也较大，有使用全铝背场的，也有使用栅线设计的。而在一些N型双面电池，也有背面图形结构与正面设计一致的情况。

B.2 电极图形分类与焊接评估

B.2.1 电极图形分类

晶体硅光伏电池主要根据主栅的数量与类型进行图形分类。晶体硅光伏电池图形类别见图 B.1，为图形演变示意。从 2BB 到 <9BB，正面主栅电极与背面背电极均为长宽条状（以下均称长电极），此类型也主要使用扁平焊带焊接互联；9BB 以上的类型，我们统称为 MBB（Multibusbar）结构，此类型焊接位置采用点块状设计（以下均称点电极），并且 MBB 结构电池主要使用圆形焊带焊接互联。



图B.1 晶体硅光伏电池图形类别

B.2.2 焊接有效率的计算

B.2.2.1 焊接是否有效以测试前后所能观察的有无虚焊、错焊作为评判标准：

——虚焊指晶体硅电池在焊接工艺后，焊带与电极未形成良好的接触现象。虚焊现象见图B.2。



图B.2 虚焊现象

——错焊指晶体硅电池在焊接过程中，因设备机台等外部因素导致焊带与电极实际焊接位置出现明显偏离的现象。

B.2.2.2 根据不同电极图形设计及使用焊带种类不同，焊接有效率指满足要求的焊接面积（或焊点个数）占电极可焊面积（或焊点个数）的比率。其他特殊图形可根据实际水平进行核算。

附录C
(资料性)
晶体硅光伏电池电极剥离强度判定标准

C.1 剥离强度值判定




剥离强度值判定如下：

- 1) 长电极结构电池：剥离强度 $\geq 1.50\text{N/mm}$ ；
- 2) 点电极结构电池：剥离强度 $\geq 2.85\text{N/mm}$ ，不合格点数不能超过每根总焊点数量的10%以上，不允许连续两点失效。

C.2 外观判定

外观拉脱现象的判定见表 C.1。

表C.1 外观拉脱现象判定

拉脱现象	外观表现	判定
露白		焊带拉脱后，任意一根电极 25%以上的面积或者任意一段电极 50%以上的面积有露白、发黑、脱晶的现象，则判定不合格。
发黑		
脱晶		

附录 D
(规范性)
电极剥离强度测试报告

电极剥离强度测试报告见表 D.1。

表D.1 电极剥离强度测试报告

测试日期	送样单位	样品编号	电池类型	焊接方式	浆料类型	电极宽度	焊带规格	栅线编号	剥离强度 (N/mm)			剥离现象	测试人员信息

附录E
(资料性)
起草单位和主要起草人

本文件主要起草单位：晶澳太阳能有限公司、杜邦（中国）科技有限公司、浙江正泰新能源开发有限公司、东方日升新能源股份有限公司、TUV 南德意志集团、中国国检测试控股集团股份有限公司、河北省凤凰谷零碳发展研究院、苏州科技大学。

本文件主要起草人：陈泉、赵震亚、杨军、曹千、甘海平、胡玉婷、薄祥喜、杨婧、田惠林、朱爱敏。

国家标准发布使用
