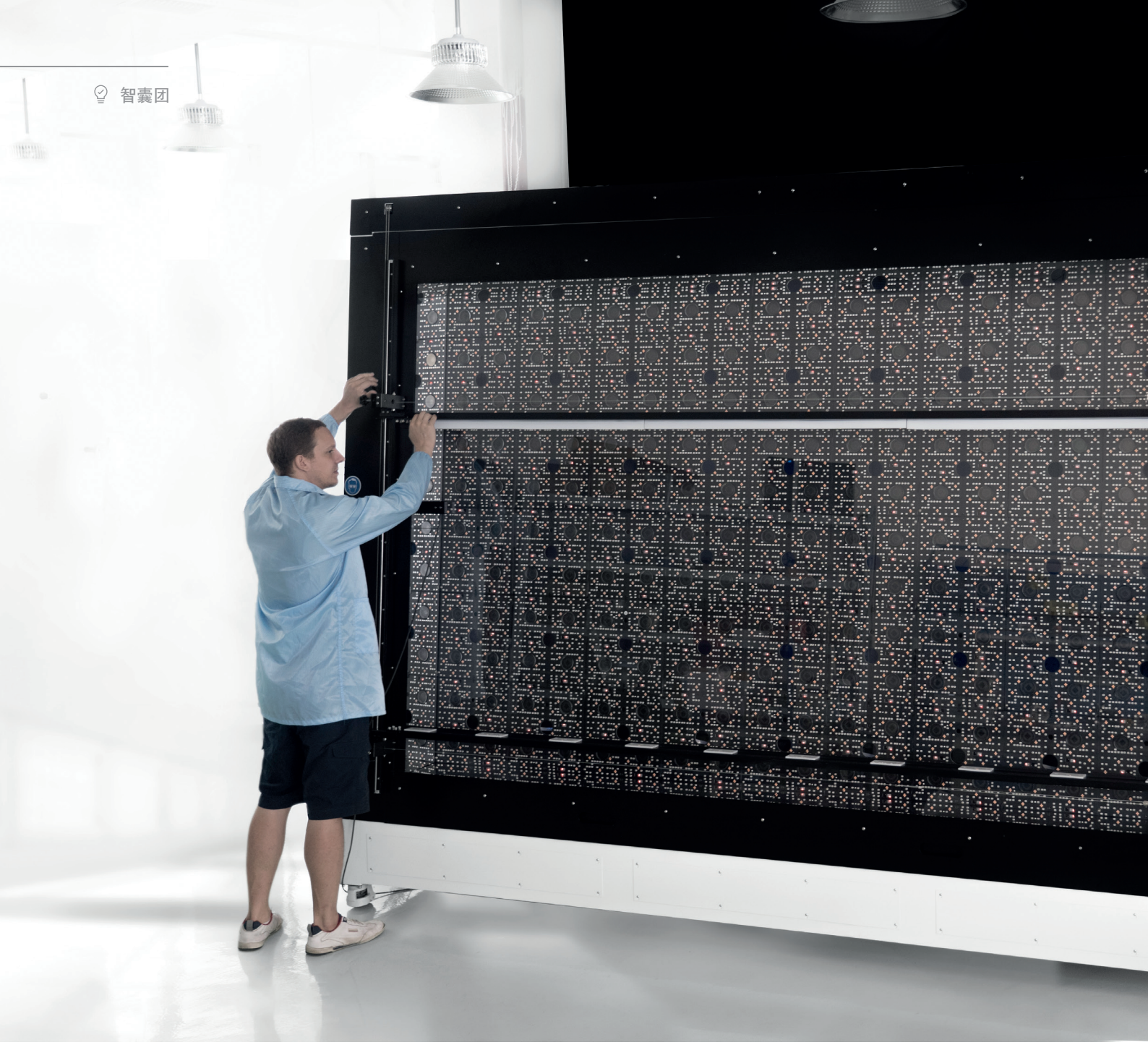

高容性光伏组件电流-电压特性检测研究

撰稿人：王健全[1]，仇雷飞[1]，林福苗[1]

（1. 中检集团南方测试股份有限公司，518055）

摘　要：随着高容性光伏组件市场化进程不断提速，解决容性效应引起的检测结果失真问题变得越来越重要。根据容性作用机理可知，高容性光伏组件的正反扫描I-V特性参数的差异可以反映容性所引起的误差。本文采用宽脉冲测试法和动态I-V测量法对HJT和Topcon等高容性光伏组件进行检测，研究扫描方式、电压扫描速率对于不同类型组件容性误差的影响，为高容性光伏组件I-V特性检测提供参考。

关键词：高容性光伏组件；电压扫描速率；线性扫描；阶梯式扫描

0 引 言

随着光伏平价上网政策实施，光伏行业技术迭代正在加速演绎，高效光伏组件已经成为行业降本增效的必由之路。众所周知，高效光伏组件往往伴随着较强的电容效应，其将影响性能测量的准确性，因此如何准确测量高效光伏组件的电流-电压特性成了行业迫切需要解决的问题。

高容性光伏组件的电容会随着正向电压的增加而增加，这导致其电流-电压特性在从短路电流Isc向开路电压Voc扫描（正向扫描）过程中会因电容充电，从而使测量的电流被低估。同理，从Voc向Isc扫描（反向扫描）过程中会因电容充电，从而也会使测量的电流被高估，且这种与电容相关的误差随着电压的扫描速率的增加而增加[1-2]。由此可以看出快速扫描所引起的电容充放电效应是导致高容性光伏组件I-V特性检测失真原因。

国内外研究机构就如何消除容性效应对高容性光伏组件I-V特性检测的影响进行了研究，并根据检测机理提出了多种解决该问题的关键方法。目前比较流行的方法主要有稳态测试法、分段测试法、宽脉冲测试法、最大功率点修正测试法和动态I-V测试法等[3-4]，其中宽脉冲测试法和动态I-V测试法因高效率和相对低成本等优点，而被广泛关注。

1 试验

1.1 试验设备

Avalon ST公司Nexun One系列长脉冲阳光模拟器，使用LED/卤素混合光源技术，最大脉冲宽度500ms，光

源等级A+A+A+级。

1.2 样品选择

由于影响高效光伏组件性能的因素非常多，导致了存在众多不同路线的高效太阳电池技术，目前产业化的高效太阳电池技术有钝化发射极和背面触点高效太阳电池技术（PERC）、异质结高效太阳电池技术（HJT）、全背电极接触高效太阳电池技术（IBC）和隧穿氧化钝化接触高效太阳电池技术（TOPCon）等。如表格1所示，PERC、TOPCon、IBC和HJT组件在相同测试条件下正向扫描和反向扫面功率结果差异依次增大，这表明它们的容性依次递增。此外，TOPCon和HJT被认为是最可能替代PERC的两种技术路线。因此本文选取了TOPCon组件和容性最强的HJT组件进行试验，以此得出扫描方式、电压扫描速率和扫描方向对于不同技术路线高容性组件I-V特性检测结果的影响

本文分别选取了来自两个不同电池制造商的TOPCon和HJT光伏组件进行后续试验,并依次命名为样品A和样品 B。

电池类型	正向扫描功率/W	反向扫描功率/W	功率差异百分比/%
PERC	382.844	384.744	0.50
TOPCon	397.736	407.032	2.34
IBC	338.597	353.982	4.54
HJT	366.041	415.319	13.46

表1 不同电池类型组件的功率检测结果

1.3 试验方法

分别使用常规线性电压扫描方式（即宽脉冲测试法）和阶梯电压扫描方式（即动态I-V测试法）检测两块TOPCon和HJT组件的I-V特性，具体检测程序如下：

使用超长脉冲LED/卤素太阳能模拟器，并采用常规线性电压扫描方式，分别以不同电压扫描速率检测样品正向扫描和反向扫描的电流-电压特性。

使用超长脉冲LED/卤素太阳能模拟器，并采用阶梯式扫描方式，分别以不同脉冲宽度和阶梯数量检测样品正向扫描和反向扫描的电流-电压特性。

2 结果

2.1 宽脉冲测试法

由2020版IEC60904-1可知，对于线性扫描方式高容性组件正向扫描和反向扫面的I-V曲线参数差异不超过0.5%时，容性误差才被认为可接受。

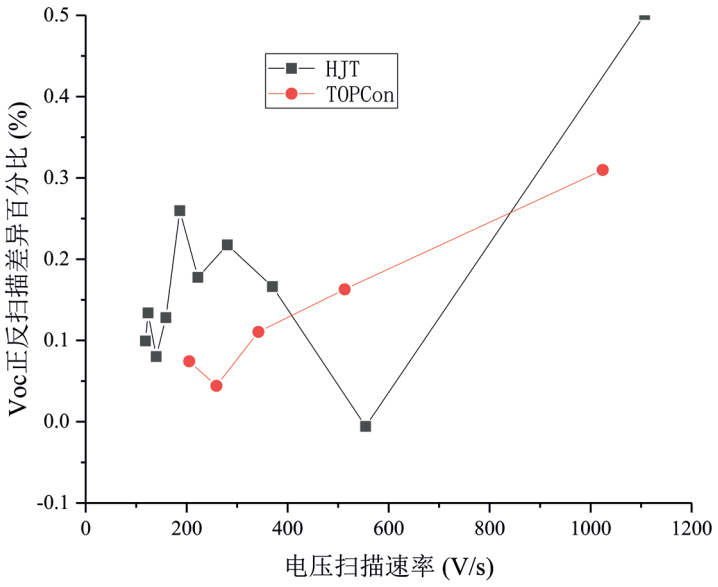

图1 Voc正反差异百分比随电压扫描速率变化曲线

为了评估组件I-V特性参数的测量准确性随电压扫描速率的变化规律，采用了在相同扫描速率下反向扫描参数减去正向扫描参数再除以正向扫描参数得出的差异百分比与电压扫描速率作函数。

2.1.1 电压扫描速率和方向对于Isc和Voc的影响

图1是Voc正反扫描差异百分比随电压扫描速率变化曲线，TOPCon和HJT组件在不超过1000V/s的电压扫描速率条件下均具有相似的Voc，且正反扫描差异百分比均不超过0.5%，由此可见Voc在较高的扫描速率条件下就可以得到相对准确的额定值。当然更低的扫描速率有利于得到更加准确的Voc，TOPCon和HJT组件的正反扫描差异百分比分别在258V/s和139V/s条件下低于0.1%。

图2是Isc正反扫描差异百分比随电压扫描速率变化曲线，TOPCon在1000V/s-200V/s范围内正反扫描差异百分比均不超过

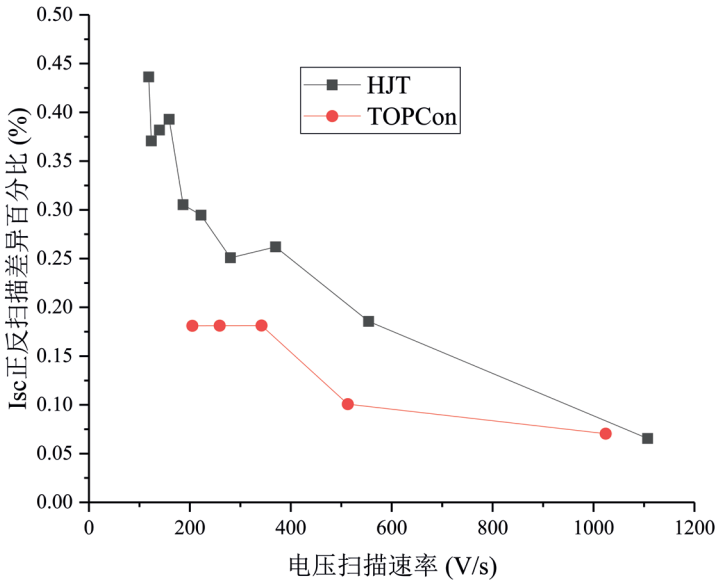

图2 Isc正反差异百分比随电压扫描速率变化曲线

精准测量高迟滞特性光伏组件

0.2%，HJT组件在1100V/s-100V/s范围内正反扫描差异百分比均不超过0.5%，且两种组件在不同电压扫描速率条件下均具有相似的Isc。由此可以看出，在常规线性扫描条件下，电压扫描速率不会对Isc产生明显的影响，即Isc在较高的扫描速率条件下就可以得到相对准确的额定值。

2.1.2 扫描速率和方向对于Pmax的影响

图3和图4分别是TOPCon和HJT组件的正反扫描功率差异百分比与电压扫描速率变化曲线，从图中可以看出，两种类型组件Pmax正反差异百分比与电压扫描速率减小而减小，且呈线性变化，这与电容引起的功率损耗误差与电压扫描速率呈线性关系相一致[5]。通过线性拟合和外推法，可知TOPCon和HJT组件的正反扫描功率差异如要达到可接受的容性误差（0.5%），电压扫描速率分别不能超过247V/s和77V/s。为了更直观看出所需的脉冲宽度，引入等效脉冲宽度概念，公式如下：

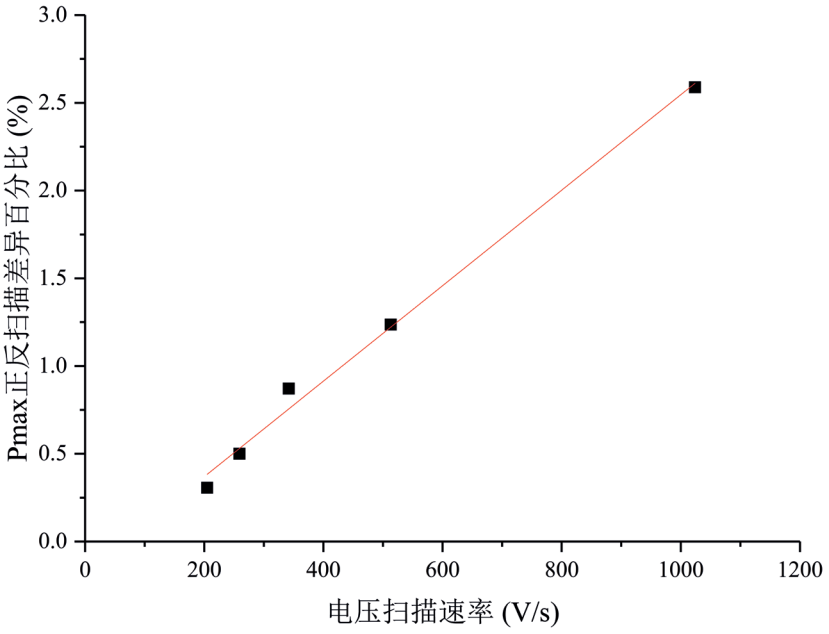

图3 Pmax正反差异百分比与电压扫描速率变化曲线

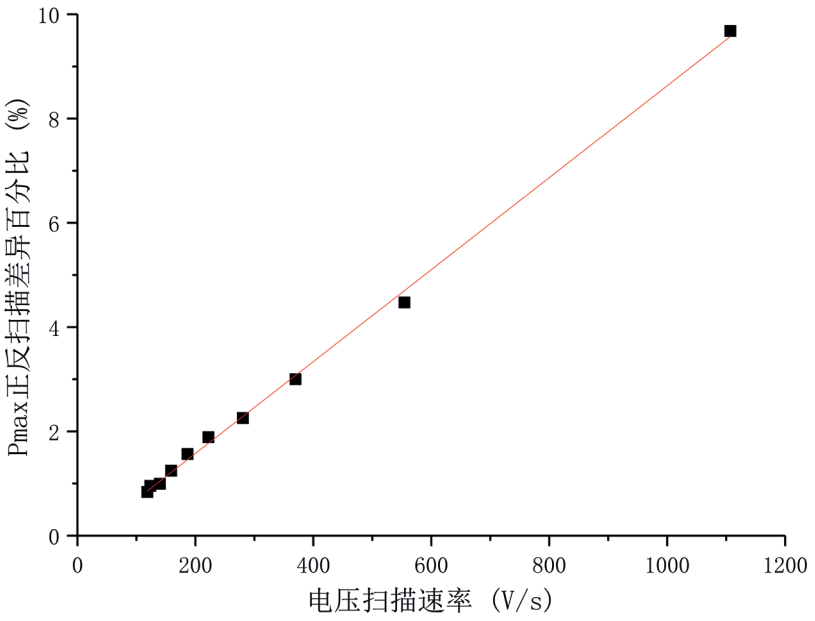

图4 Pmax正反差异百分比与电压扫描速率变化曲线

$$等效脉冲宽度=Voc/(dV/dt) \quad (1)$$

式中，dV/dt代表了电压的扫描速率。

通过公式（1）计算可以得出，样品A和样品B达到可接受的容性误差，其等效脉冲宽度需要达到201ms和693ms。

2.2 动态I-V测试法

动态I-V测量法采用阶梯式电压扫描方式替代了常规的线性电压扫描方式，电压扫描曲线由多个阶梯状的扫描电压组成，保持每个阶梯电压不变，以消除由电压变化引起容性效应导致检测的电流失真问题。其检测机理要求每个阶梯需要保持足够长的时间，以获取有效的数据点，因此该方法很难在窄脉冲太阳能模拟器单次闪光条件下获取足够多的数据点，需要通过数据插值等方式来拟合I-V曲线，而太少的数据点和插值等方法均会影响测量结果的准确度。长脉冲太阳能模拟器具有较长的脉冲宽度，可采集足够多数据点，以确保测量结果的准确度。

2.2.1数据点数量对于I-V特性参数的影响

表2展示了在相似阶梯宽度和不同数量数据点条件下TOPcon和HJT组件I-V特性的检测结果，两种类型组件在50个数据点获取的各项检测结果与100和200个数据点对应的各项检测结果差异均小于0.5%，由此可见超长脉冲LED/卤素太阳能模拟器在50个数据点就可以获取相对准确的I-V特性参数。

2.2.2脉冲宽度对于I-V特性参数的影响

本节通过正向和反向扫描的I-V特性参数确认动态I-V测量法对于容性效应的消除情况，如表3。TOPCon和HJT组件在50个数据点的条件下分别于50ms和150ms达成达到可接受的容性误差，且差异百分比分别不超过0.31%和0.28%。

样品	脉宽/ms	数据点数量	Voc /V	Isc /A	Pmax/W
TOPCon	50	50	49.811	9.943	396.734
	100	100	49.750	9.947	397.099
	200	200	49.724	9.980	398.428
HJT	50	50	52.357	9.161	375.801
	100	100	52.288	9.150	375.744
	200	200	52.348	9.157	376.711

表2 I-V特性检测结果随数据点数量的变化

3 结 论

本文针对高容性光伏组件容性误差问题，通过研究扫描方式、电压扫描速率等对于光伏组件容性误差的影响，可以得出以下结论：

1) 宽脉冲测试法可以有效解决容性误差带来检测结果不准确问题，但是该方法对于脉冲宽度要求过高，比如TOPCon和HJT组件的等效脉冲宽度分别至少需要201ms和693ms。此外，通过电压扫描速率与正反扫描Pmax差异百分比的线性关系，可以推算不同类型光伏组件达到可接受容性误差所需的等效脉冲宽度。

2) 相比于宽脉冲测试法，宽脉冲结合动态I-V测试法在确保数据准确性的基础上可以大幅降低消除容性误差所需的脉冲宽度，就效率和成本而言宽脉冲结合动态I-V测试法更适用于检测高容性光伏组件的I-V特性。

样品	脉宽/ms	Voc正反差异百分比/%	Isc正反差异百分比/%	Pmax正反差异百分比/%
TOPCon	50	0.07	0.18	0.31
	100	0.02	0.12	0.05
HJT	50	2.11	0.36	0.10
	100	0.90	0.03	0.16
	150	0.13	0.11	0.28
	200	0.06	0.05	0.26

表3 I-V特性检测正反扫描结果差异百分比随脉冲宽度变化

[参考文献]

www.avalon.solar

[1] IEC 60904-1-2020，Photovoltaic devices-Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics [S]．

[2] P.R. Beljean，A. Lo, M. Despeisse, Y. Risesen, Y. Pelet, V. Fakhfouri, N. Wyrsch and C. Ballif. I/V measurement of high capacitance cells with various methods [J]．European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2011.

[3] 陈喜平，张昌远，何宝华，何涛，杜军涛，张忠卫。N型太阳电池组件的电性能测试技术研究 [J]．第14届中国光伏大会 (CPVC14) 论文集126-131.

[4] C. Monokroussos, D. Etienne, K. Morita and et.al. Accurate power measurements of high capacitance PV module with short pulse simulators in a single flash [J]．27th European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition．2012, 3687-3692.

[5] Adrienne L. Blum, Ronald A. Sinton and Harrison W. Wilterdink, Determining the accuracy of solar cell and module measurement on high-capacitance devices[J]. 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion. 2018, 3603-3606.