

第五版

2019 光伏组件 可靠性计分卡



合作对象





PV EVOLUTION LABS

作者



Tara Doyle

首席商务官

tara.doyle@pvel.com



Ryan Desharnais

首席技术官

ryan.desharnais@pvel.com



Tristan Erion-Lorico

光伏组件业务负责人

tristan.erion-lorico@pvel.com

撰稿人

Kenneth Sauer, 高级光伏工程师

Adam Gushansky, 项目经理

Emily te Amo, 销售运营分析师

Tori Clifford, 市场部负责人

关于 PV EVOLUTION LABS

PV Evolution Labs (PVEL) 是全球领先的光伏组件可靠性和性能测试实验室, 服务下游太阳能项目开发商、金融家、资产方和运营商。凭借近十年的经验和数据的积累, PVEL 提供能评估太阳能技术可融资性的测试。其值得信赖的独立报告通过数据驱动、可量化的指标取代有关太阳能设备性能的假设, 从而实现高效的太阳能项目开发和融资。

PVEL 关联所有主要的光伏和存储制造商, 在全球拥有 300 多个下游合作伙伴, 代表着超过 30 千兆瓦的年购买力。PVEL 的使命是通过生成有效的数据来支持全球光伏下游买家社区, 加速采用太阳能技术。访问 pvel.com 了解更多信息。



目录

第 1 部分:简介

前言:首席执行官的来信.....	5
年度光伏装置和光伏组件每瓦价格.....	6

第 2 部分:光伏组件可靠性

现场的可靠性问题.....	8
光伏组件测试.....	9

第 3 部分:测试结果

光伏组件产品认证计划 (PQP) 方法论.....	11
2018 PVEL PQP	12
结果概览.....	13
热循环.....	14
湿热.....	16
动态机械负载序列.....	18
PID.....	19
历史计分卡.....	23
工厂所在地.....	24

第 4 部分:案例研究

产品认证程序失败	26
了解您的物料清单 (BOM)	28

第 5 部分:结论

采购最佳实践.....	30
结论	31



第 1 部分

简介



前言：首席执行官的来信

自 2010 年 PV Evolution Labs (PVEL) 成立以来，全球太阳能市场发生了翻天覆地的变化。我们的行业打破了一个又一个纪录：光伏总装机容量增长了十倍，规模超过 400 GW。全球几家最大太阳能发电厂的规模现已超过 1 GW。依照 DNV GL 的能源转型前景展望，到 2023 年，预计年太阳能装机容量将达到 1 TW。

全球金融行业认可太阳能是一项安全可靠的投资，这推动了过去十年的增长。在我们向无补贴市场的过渡过程中，机构融资仍然至关重要。要使太阳能对全球能源结构作出实质性的贡献，其价格必须持续保持螺旋式下降，同时必须增强对可靠光伏技术的信心。

PVEL 本身已在该行业经历了近十年的快速增长：作为 PV Evolution Labs 运营了四年，2014 年被 DNV GL 收购，而近期，即今年 1 月以独立公司重新运营。我们继续与 DNV GL 密切合作，致力于帮助光伏设备买家更好地了解产品的可靠性和性能。

当前，对太阳能光伏设备进行全面的独立测试，从而构建对高性价比、高性能光伏设备的信心，这比以往任何时候都更加重要。自成立以来，PVEL 就努力以创新的技术尽职调查和可融资性测试，帮助开发商和更广泛的光伏设备购买群体获得可靠的融资。从这个行业的很多数据中得出的一系列有关设备或系统的说法是互相矛盾，但是 PVEL 仅专注于关键的数据。我们提供独立、全面、相关且透明的数据，帮助制造商验证声明、使开发商优化财务状况，以及让贷款人将风险降到最低程度。

PVEL 的光伏组件可靠性计分卡报告第 5 版说明，对光伏设备的彻底审查仍然至关重要。微小的产品材料或结构变化都会导致意想不到的可靠性问题。新的电池技术会带来新的性能衰减形式。技术进步可能会降低太阳能的成本，但广泛的部署需要资金支持。只有在可量化的情况下，绩效收益才能获得资金支持。

通过最新的光伏组件可靠性计分卡报告，产品性能和可靠性变得透明，从而支持全球的战略光伏组件采购。我们很高兴与我们的计分卡合作伙伴 **DNV GL** 一起发布今年的报告。



JENYA MEYDBRAY

首席执行官

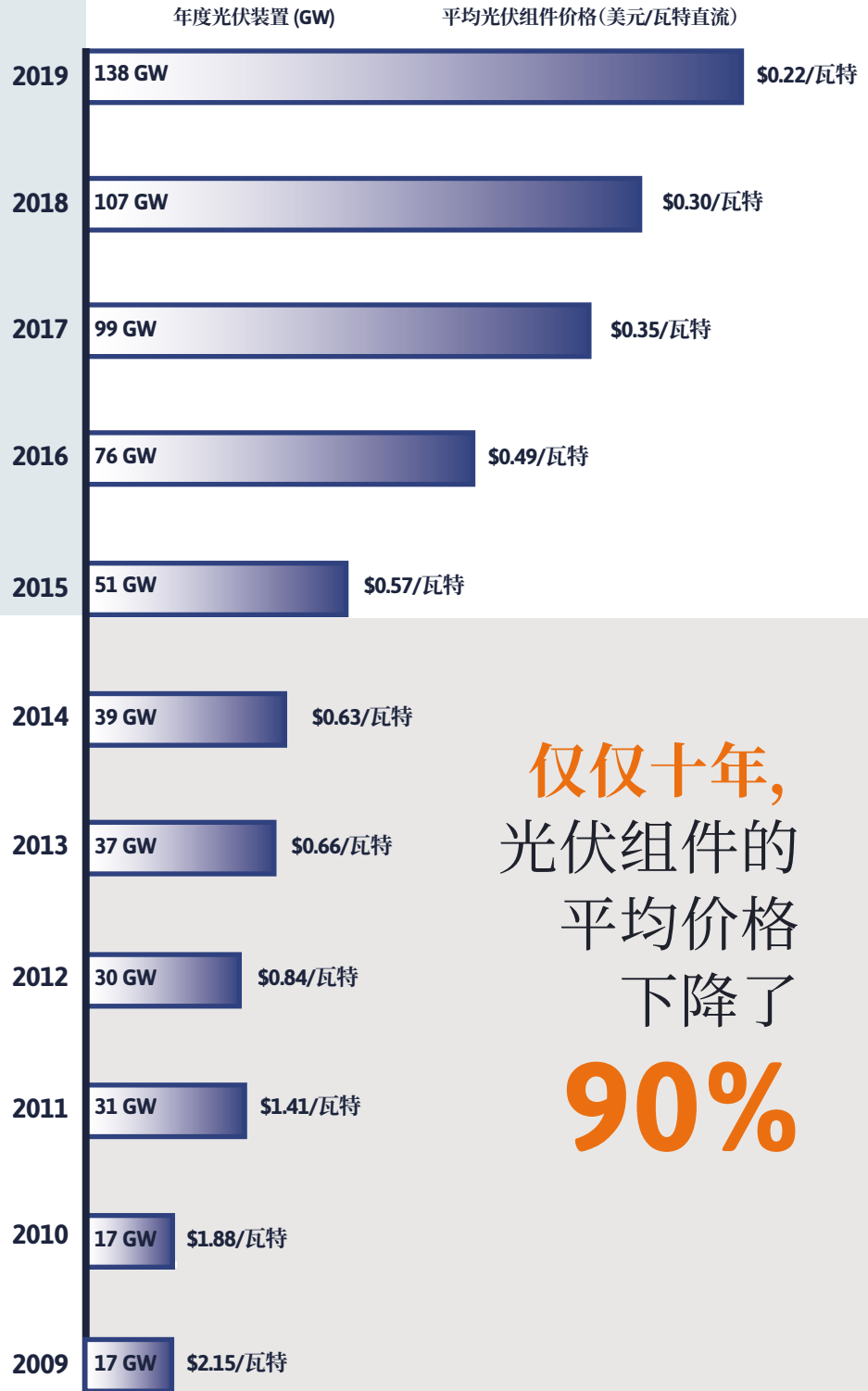
PV Evolution Labs (PVEL)

“

DNV GL 很高兴能继续支持光伏组件可靠性计分卡。在过去的五年中，计分卡已经确定了太阳能投资者和开发商在技术尽职调查中最需要的数据，帮助其了解购买策略。凭借最新的计分卡，PVEL 继续提供独立的测试、数据和报告，指导战略采购并最大限度地降低技术风险。

DITLEV ENGEL 首席执行官, DNV GL – 能源

全世界装机
太阳能
光伏发电
容量的
75%
运行尚未到五年



仅仅十年，
光伏组件的
平均价格
下降了
90%

证明当今光伏组件将可靠运行数十年的
长期现场数据尚不存在。

资料来源: IEA PVPS, NREL, Greentech Media/Wood Mackenzie, IRENA



第 2 部分

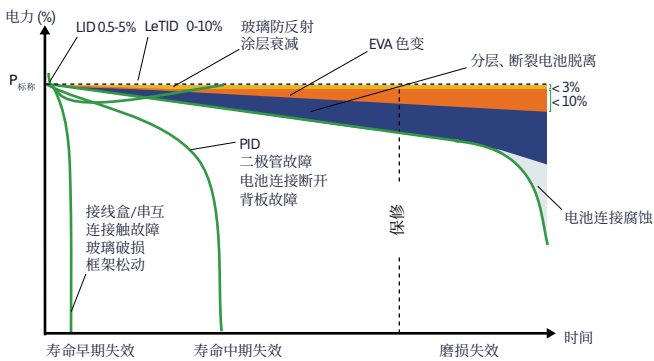
光伏组件可靠性



现场的可靠性问题

组件失效模式和老化机制

光伏组件在整个使用寿命期间都容易受到多种失效模式的影响,从玻璃破损等早期失效问题到电池腐蚀等长期磨损问题均可能发生。在 IEA 于 2014 年首次发布的这张广泛应用的图表中, PVEL 添加了当前正在进行行业评估的两个额外失效机制:光照和高温诱导衰减 (LeTID) 和背板故障 (参见图 1, 右侧)。



资料来源: IEA PVPS 2014; LeTID 和背板故障加上 PVEL, 2019

项目财务影响

不断降低的购电协议价格和利润率使得组件性能和可靠性对财务回报比以往任何时候都更为重要。美国国家可再生能源实验室 (NREL) 广泛研究了光伏电站在组件性能衰减率高于预期时的财务敏感性分析。在最近的研究中, NREL 得出结论, 如果将年组件性能衰减率从 0.5% 提高到 1.5%, 会使现场的实际均化发电成本 (LCOE) 增加 13.6%¹。这会严重影响项目的经济效益, 将盈利投资变成资产所有者的财务负担。

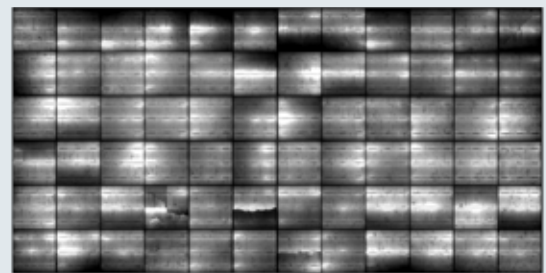
PVEL² 进行的一项民意调查进一步证明了现场性能不佳对项目财务状况的影响, 其中 70% 的受访者都回复, 3-6% 的性能不佳足以使其项目在财务上不可行。

性能损失的现场观察

在对 1,600 多个运行中的光伏系统 (超过 11 GW) 进行航空红外扫描后, Heliolytics 观察到, 现场平均出现 1.52% 的直流发电损失。该项分析涉及对每个红外故障按其能量生产的影响进行加权, 然后汇总以确定每个现场的直流损失。尽管下图清楚地显示, 半数现场的直流能量损失小于 0.53%; 但是直流能量损失高于 10% 的站点多于 10%, 这一长尾是一个令人担忧的统计数据。

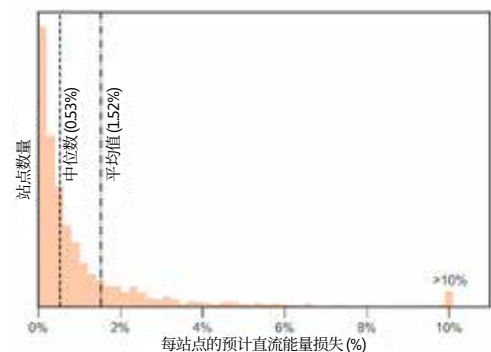
性能不佳案例研究

下文介绍了一个示例, 严重的组件性能不佳会将盈利的项目变成这样的项目: 遭受大幅发电损失, 需要支付现场调查成本以及与组件保修相关的人工和法律费用。在发现该电站没有达到要求后, 电站业主要安排发送了 23 个组件进行实验室测试。经过实验室的测量显示, 组件功率在电站开始运营后不到两年的时间, 降低程度在 8% 至 36% 范围内。通过发光和热成像, 确定了电池金属膏体出现了热机械疲劳。可从整个 EL 图像的许多亮点看到。



从性能不佳的现场拍摄的组件 EL 图像。资料来源: DuraMAT/NREL, 2019

在高串联电阻和互连故障使得电流无法输送, 导致电流沿电池汇流条集中的地方, 出现了亮点。除了发电损失之外, 这种缺陷还可能导致热斑使得现场出现背板烧伤、玻璃破损和潜在的安全问题。此类组件缺陷会引发长期组件可靠性的不确定性, 并导致未来难以确定哪些组件容易受高功率损失的影响。通过 PVEL 的建议来适当地采购组件, 可以避免电站业主要面临这一代价昂贵的问题, 因为通过 PVEL 的 PQP 进行热循环测试和进行串行缺陷测试无疑会在故障组件安装前发现该组件缺陷。



资料来源: Heliolytics, 2019

¹ NREL, 2019 - 假设: 4.5% 实际贴现率, \$10/kW-年平均运营和维护费用, \$1.0/W(DC) 资本成本。
² PVEL, 北美太阳能资产管理, 2016

光伏组件测试

认证仅针对产品安全

大多数太阳能项目开发商和设备买家都需要太阳能光伏组件要有两个关键认证:IEC 61215 和 IEC 61730 或 UL 1703。这些认证用于证明光伏组件是安全的。然而,这两个测试标准均不涉及长期光伏组件的现场可靠性和性能。

- IEC 61730 和 UL 1703 仅对光伏组件是否存在运营危险进行认证。
- IEC 61215 仅筛选运营前几年可能出现的缺陷。
- 制造商可以选择特定的组件作为认证测试使用。为此,可以提供比商业化生产组件更精心制造的“黄金样品”。
- 制造商可以更改其组件 BOM 里的某些材料组合,而无需对组件型号进行重新认证。

此外,更新 IEC 和 UL 标准是一个为期多年的过程,无法跟上太阳能光伏组件技术的创新速度。这两个标准都未能发现与技术进步相关的主要现场性能问题,如光照和高温诱导衰减(LeTID)以及电势诱导衰减(Potential Induced Degradation, PID)。PVEL PQP 的下一个版本将于 2019 年夏季发布,其中包含 LeTID 测试。

可靠性和性能的测试

虽然 IEC 和 UL 认证是组件安全的重要指标,但长期的可靠性和性能对光伏买家亦至关重要。自 2010 年成立以来,PVEL 一直与开发商和金融机构合作,以不断开发测试程序,从而解决在现场观察到的具体问题以及新兴甚至成熟技术的特定问题。

通过扩展 IEC 61215 序列并结合额外的测试,PVEL 的产品认证程序近似于多年现场暴露对光伏组件的影响。



PVEL 伯克利实验室的扩展可靠性测试

光伏组件保修的限制都有哪些?



铭牌和偿付能力

预计组件的功率会衰减,因此在太阳能资产的发电量和财务模型中,以及在制造商的保修条款中,通常会加入额定输出功率衰减系数。保修通常保证第一年达到铭牌额定值的 97% 左右,在随后 24 年内每年减少 0.6-0.7%。但是,仅当制造商有偿付能力并对索赔积极回应时,保修才能为买家提供保护。



不精确的测量

为进行保修索赔而在现场对少量的功率衰减进行测量非常困难,即使这代表重大的经济损失。测量工具和传感器缺乏足够的精度。保修执行通常允许存在 3% 的不确定性,这会有效减少 3% 的保证功率输出。大多数成功的保修索赔仅限于性能过低或完全故障。



保修限制

即使索赔被接受,大多数保修也仅涵盖更换组件的成本,而不包含与劳动力或发电量损失有关的成本。制造流程的进步也会危及未来的组件更换。例如,当前许多主要制造商的产品路线图会要求增加晶圆尺寸,从而增加组件尺寸。这将导致未来的组件与当前销售的组件不兼容。资产所有者可能无法更换运营系统中有缺陷的组件,使得采购可靠的光伏组件变得更加重要。

认证和保修无法完全保护光伏组件
买家免受现场故障和随后的财务后果的影响。



第 3 部分

测试结果



光伏组件 PQP 方法论

PVEL 于 2012 年推出了光伏组件产品认证程序 (PQP), 该程序有两个目标:

- 1 向光伏设备买家和电厂投资商提供独立、一致的可靠性和性能数据, 支持有效的供应商管理。
- 2 向在产品质量和耐用性方面有志超越其竞争对手的组件制造商提供独立认证。

目前, PVEL PQP 是全球系统安装的光伏组件的行业标准要求。

PQP 测试开发

在全球范围内, PVEL 常年调查现场故障、监控光伏标准社区的发展、与研究机构合作、进行实验, 并听取上游组件制造商和下游组件采购商 (EPC、开发商、投资商和保险公司) 的意见。

这些意见为年度 PQP 更新提供指导, 并确保 PVEL 的报告提供设备买家需要的数据。

PVEL PQP 的主要原则

经验数据

PQP 将性能假设替换为实际经验指标, 帮助 PVEL 的下游合作伙伴优化收入和发电量模型。每个 PVEL PQP 都提供九个详细的测试报告, PVEL 的合作伙伴可以自由使用这些报告以支持其采购决策。

不特意挑选样本

进行 PQP 测试的组件的所有物料清单 (BOM) 必须事先提交并在生产流程中见证确保一致: 从打开原材料包装到生产流程的每个步骤, 各个环节均不错过, 并使用防篡改胶带包装打包好的托盘。

标准化流程

所有 BOM 均以相同的方式, 使用一致校准的设备和相同的实验室环境进行测试。这可实现所有制造商的同水平比较。

定期更新

测试程序必须能跟得上快速的技术发展步伐, 以便正确地评估和认证新产品。PVEL 每年都会更新 PQP, 为买家提供一致的相关数据来评估光伏产品。

工厂见证是什么?

多年 PQP 测试结果表明, 组件的物料清单 (BOM) 是关键的质量驱动因素之一。要验证组件生产中使用的特定 BOM 组合, PVEL 审核员会遵循 5 步工厂见证流程:

- 1 将物料从原始包装中取出后, 对 BOM 组件进行拍照
- 2 观察并记录有关 BOM 物料的 100 多个技术细节
- 3 对每个 BOM 组件的生产和包装的每个步骤进行严格跟踪
- 4 记录用于焊接和层压的方法
- 5 对工厂进行高级别的流程审核

在合同中使用指定的 BOM 清单, 这有助于光伏组件买家确保所收到的组件和获得令人满意的 PQP 测试结果的 BOM 清单是一致的。PVEL 为下游合作伙伴提供详细的 BOM 清单以纳入组件供应协议。

有兴趣成为 PVEL 下游合作伙伴?

请访问 pvel.com/pqps 来了解更多关于我们 PQP 的信息
并通过在线注册成为我们下游合作伙伴



作为严格技术尽职调查的早期倡导者, 我们知道, 通过战略采购降低风险比单独依靠担保更为可靠。PVEL 的产品认证程序旨在帮助开发商自信地投资于可带来更高回报的新技术, 尤其是对于长期现场性能数据不可用的情况。”

ABHIJEET SATHE, SB 能源(软银的一个部门)首席运营官

2018 年 PVEL 产品资质程序



结果概览

方法

2019 年计分卡中 PQP 的数据是经过长达 18 个月得出来的结果, 包括工厂见证。后续页上的条形图中所示结果显示不同测试样品和 BOM 的平均值, 这共同代表单个组件型号。每个测试序列均有不同数量的制造商和型号参与。

每个测试类别中的表现最佳者按照字母顺序列出。表现最佳者代表的是整个测试序列中性能衰减低于 2% 的型号。

结果阐释

每个测试序列用两页的篇幅进行详细说明并包括:

- 1 压力测试和具体失效机制的实际环境的概述。
- 2 高级别性能衰减示例, 包括电激发光图像和电参数
- 3 2019 年结果以图表形式展示了按型号划分的平均功率损失
- 4 按字母顺序排列的表现最佳者列表
- 5 该特定测试的结果摘要

PVEL 提醒, 每项测试并不是所有产品/型号都有参与。例如, 某些型号并没有经过所有测试, 或者某些测试可能在计分卡发布时还在进行中。买家应联系 PVEL 以获得包含这些结果的完整报告; 这里仅显示了型号层面的结果, 但每个型号都是在 BOM 层面经过测试并给出报告的。

结果概述

此计分卡版本的新版本是, 包含 PVEL 近十年测试的历史数据。以下条形图显示了 2019 年计分卡的结果与历史数据的差异。

所提供的数据表明了热循环性能和潜在诱发性能衰减有所改善的总体趋势; 并且, 可以观察到湿热和动态机械载荷序列的更广范围性能。

与未参与的制造商相比, 参与 PQP 的制造商更加注重他们产品的质量。因此, 中间值结果可能比更广泛行业的结果要好, 尤其对于在公开市场采购的组件。有关 PVEL 组件采购的建议, 请参见第 29 页的采购最佳实践。

“

JinkoSolar 在国际扩张的关键时刻, 获得 PVEL 的表现最佳者称号有助于我们扩大美国市场份额。从那时起, 我们就一直利用 PVEL 的产品认证计划, 向全球市场的潜在买家证明我们最先进产品的可靠性和性能。

DANIEL CHANG, JINKO SOLAR 北美洲技术总监

热循环测试概览与结果

背景

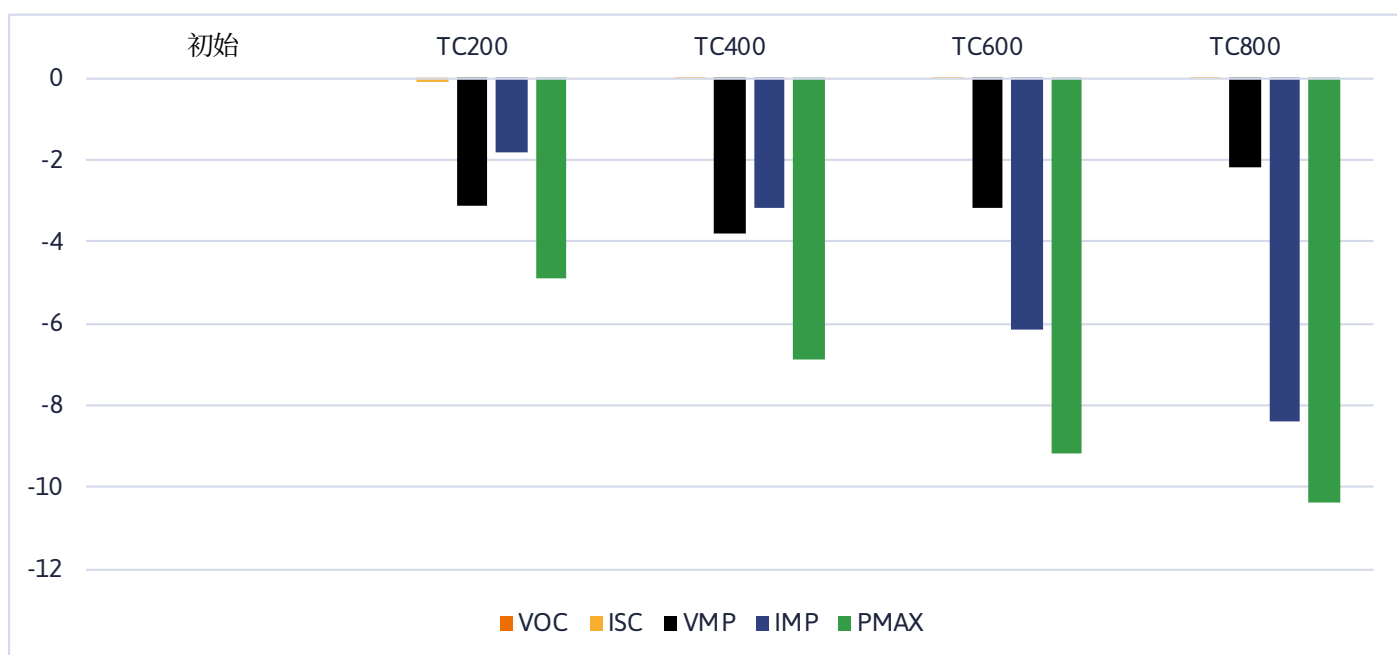
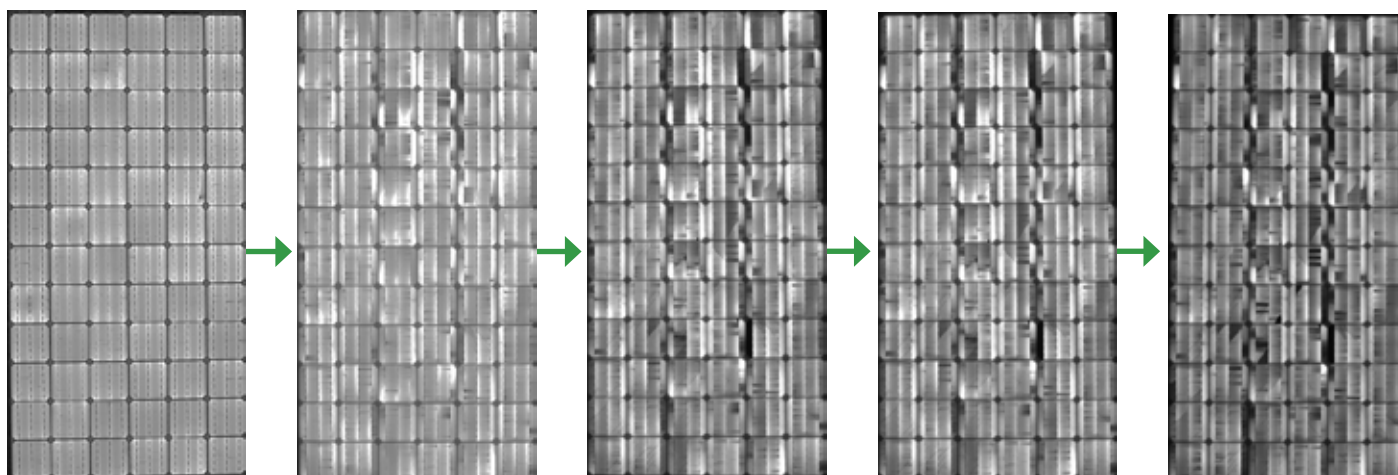
光伏组件的材料会随着温度的变化而膨胀和收缩。由于这些材料具有不同的热膨胀系数,因此在相同的环境条件下,它们会以不同的速率改变尺寸。这就产生了界面应力,这是一种降低光伏组件各层之间的粘合强度的热力学效应。例如焊接接缝疲劳,会增加串联电阻并在高辐照度下降低组件性能。

测试为何重要

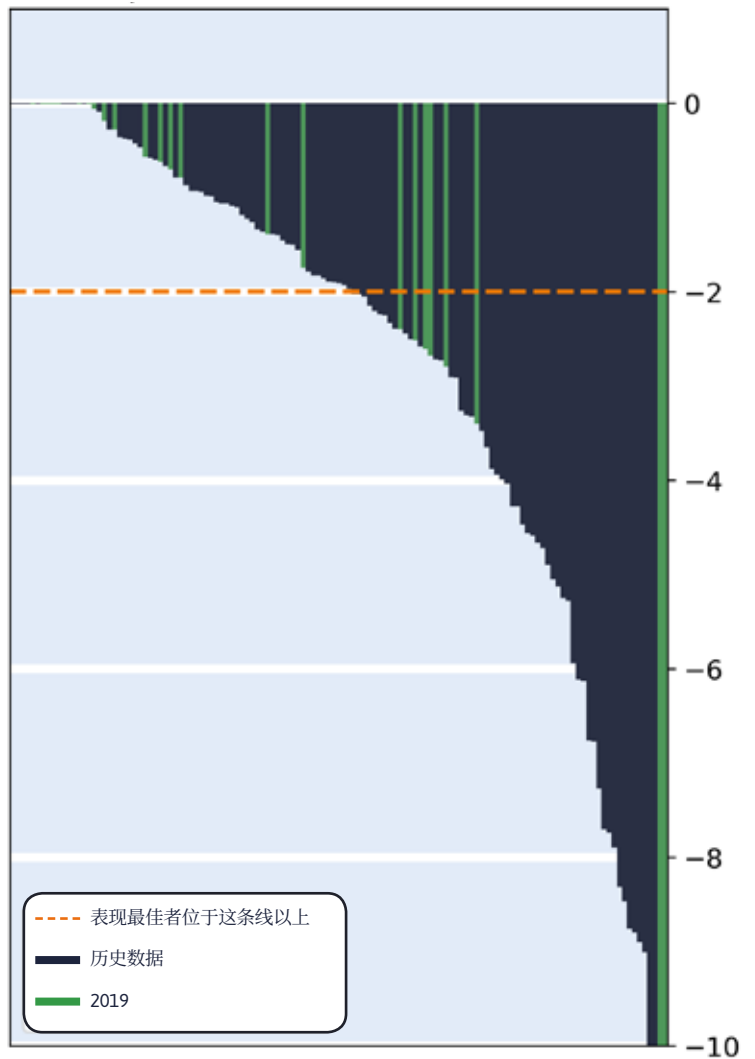
光伏组件的材料成分在超过 25 年的现场运行期间会多次膨胀和收缩,即使在温带气候条件下。由于组件工作温度远高于环境温度,因此这种影响每天都会发生,在沙漠和其他干旱环境会非常严重。该测试证明了温度循环是否可能导致过度界面应力从而降低性能。

热循环测试程序

组件被放置对环境模拟室中,开始时温度降至 -40°C , 停留不变,然后再升高至 85°C , 最后再停留不变。当温度升高和降低时,对组件施加最大功率电流。PVEL 的 PQP 会重复这个循环 800 次。完成一次循环大约需要三个小时。IEC 61215 测试仅要求进行 200 次循环。



2019 表现最佳者	
制造商	组件型号
Boviet	BVM6612M-xxx-H / BVM6610M-xxx-H
GCL	GCL-M6/72Hxxx / GCL-M6/60Hxxx GCL-P6/72Hxxx / GCL-P6/60Hxxx
Hanwha Q-CELLS	Q.PEAK DUO L-G5.2 xxx Q.PEAK DUO-G5 xxx
JA Solar	JAM60S02-xxx/PR JAP72S01-xxx/SC /JAP60S01-xxx/SC
Jinko	JKMxxxM-60B JKMxxxM-72 / JKMxxxM-72-V / JKMxxxM-60 / JKMxxxM-60-V
LONGi	LR6-72PH-xxxM / LR6-60PB-xxxM
REC Solar	RECxxxTP2M RECxxxTP2
Silfab Solar	SLGxxxM / SLAxxxM
Trina Solar	TSM-xxxPE14H / TSM-xxxPE05H TSM-xxxDE14H(II) / TSM-xxxDE05H(II)



结果和关键结论

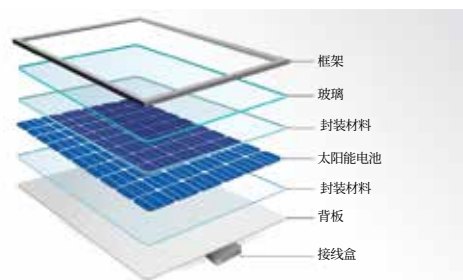
2017 年和 2018 年计分卡显示了过去 PQP 的热循环测试数据, 其中序列持续时间为 600 次循环。因此, 三分之一的历史数据(蓝色)在 600 次循环后结束。2019 年数据(绿色)以 800 次循环表示。尽管测试持续时间增加了 25%, 但性能明显提高。两个值得注意的例外包括高性能衰减数据点, 相对于第 26 页上的二极管失效进行讨论。

EL 图像显示了勉强超过 IEC 61215 TC 阈值, 在 TC200 后的性能衰减不到 5% 的组件。额外的热循环测试显示, 电池和互连色带之间的焊点失效程度增加。这证明了正确进行材料选择、过程质量控制和扩展应力测试的绝对重要性。

湿热概况及结果

背景

光伏组件由层压在一起的不同材料构成。这些材料层必须牢牢粘附到光伏组件，从而满足性能预期。将这些材料层粘合在一起的粘合剂会被水分和高温降解，使水、灰尘、土壤和其他杂质进入组件，并导致其内部组件性能衰减，从而减少发电量。材料脱层也可能会降低光伏组件的绝缘电阻，使得电击更可能发生。

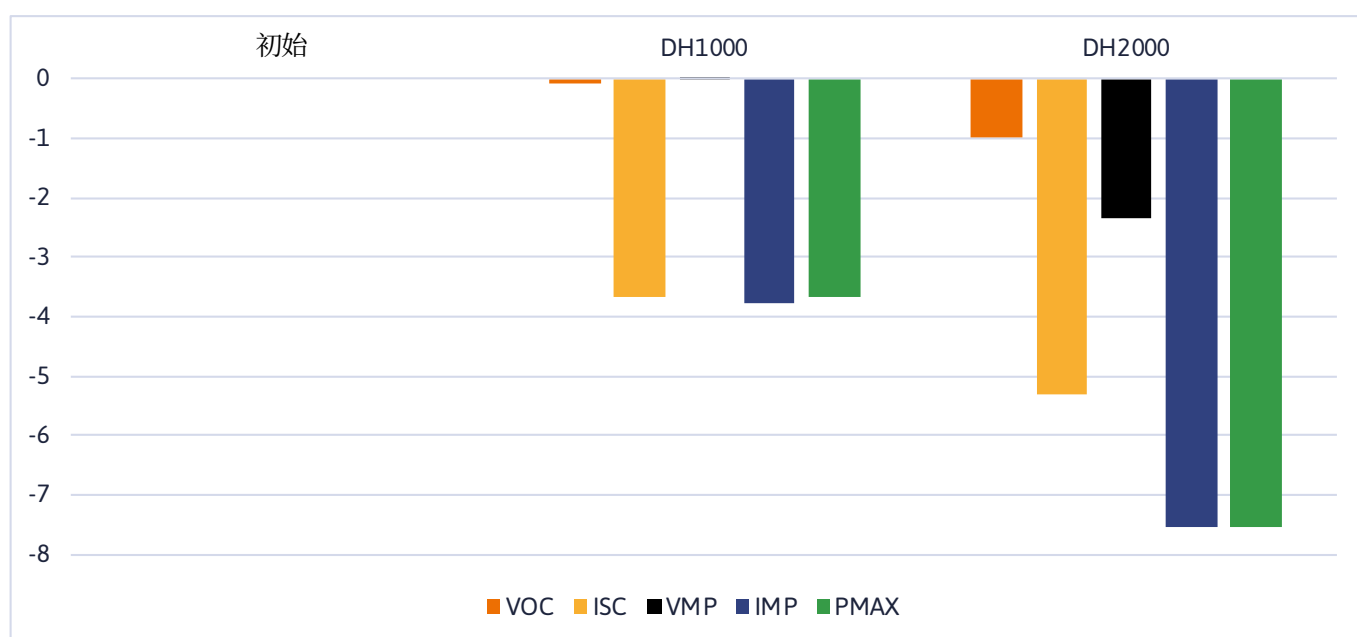
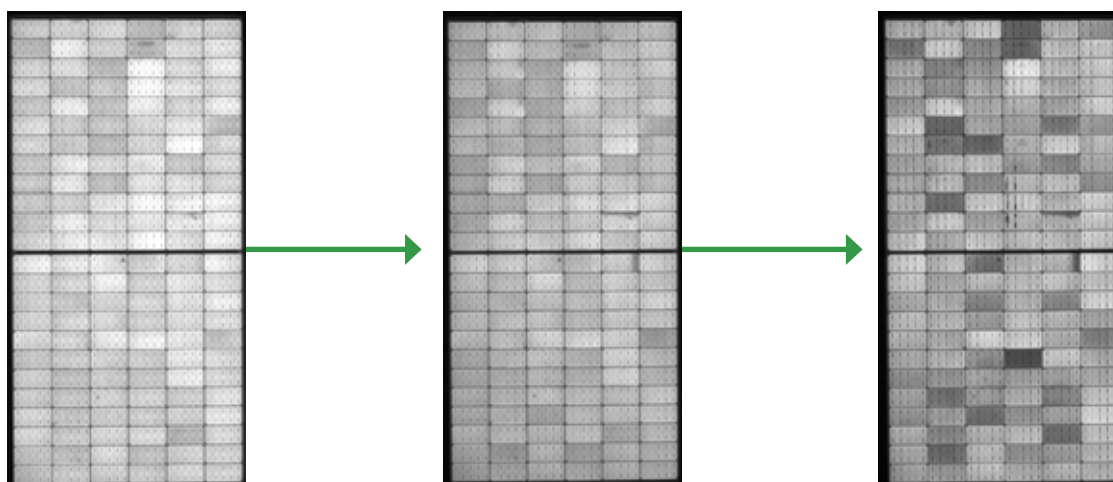


测试为何重要

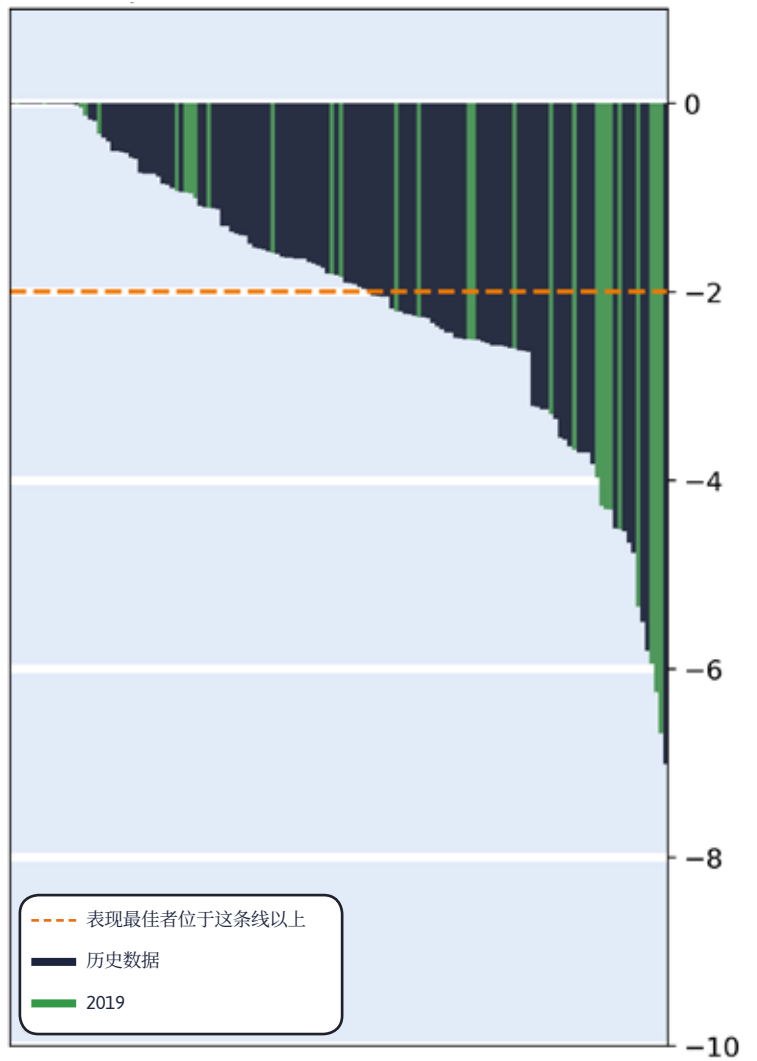
高温和高湿度在全球的许多热带和亚热带地区很常见。在温和气候条件下，光伏组件也会经历高温和潮湿。如果使用的组件质量较差或层压程序不当，这些暴露会导致过早失效和性能衰减。PVEL 的湿热测试再现了现场发生的性能衰减和失效模式。

湿热程序

将组件放置于环境模拟室中，并在 85°C 恒定温度和 85% 相对湿度下存放 2,000 小时（约 84 天）。热量和湿气进入会对光伏组件层施压。IEC 测试的持续时间只有 1,000 小时。



2019 表现最佳者	
制造商	组件型号
Adani/Mundra	ASM-7-PERC-AAA / ASM-6-PERC-AAA ASP-7-AAA / ASP-6-AAA
GCL	GCL-P6/72Hxxx / GCL-P6/60Hxxx
JA Solar	JAM60S02-xxx/PR
LONGi	LR6-60PB-xxxM LR6-60HPB-xxxM LR6-72PH-xxxM
Phono Solar	PSxxxP-24/T / PSxxxP-20/U
Vikram Solar	Somera VSM.72.AAA.05 / VSM.60.AAA.05 Eldora VSP.72.AAA.05 /VSP.60. AAA.05



结果和关键结论

2018 年计分卡的湿热结果显示, 与之前的计分卡相比, 其性能衰减有所增加。这一趋势在 2019 年继续, 大量被测组件的性能衰减超过 4%。出现异常性能衰减的大多数型号都使用 PERC 电池(全尺寸和半切割)制成。如示例所示, 它们在后 DH2000 EL 图像中出现了棋盘模式的电池亮度水平。然而, 并非所有 PERC 组件都是如此, 因为一些表现最佳者也使用该电池技术。

PVEL 继续与组件制造商、研究机构和下游合作伙伴合作, 了解这种全新性能衰减模式的原因及其对现场性能的潜在影响。

动态机械载荷序列概述和结果

背景

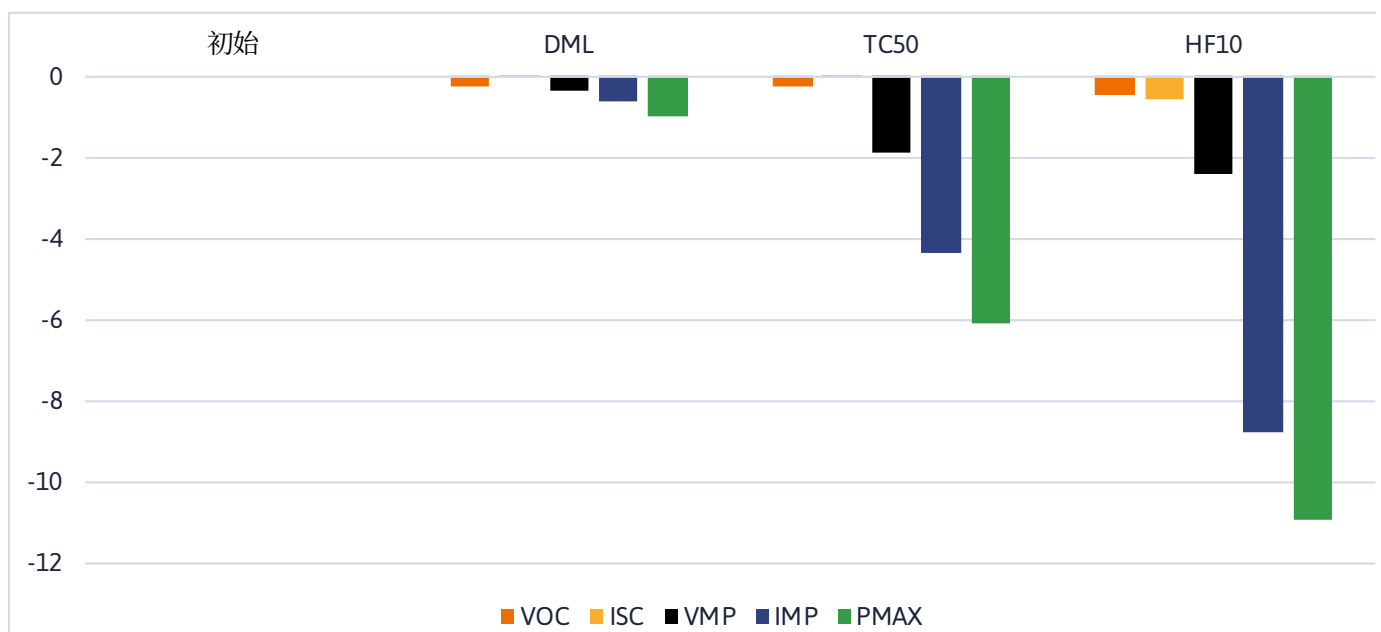
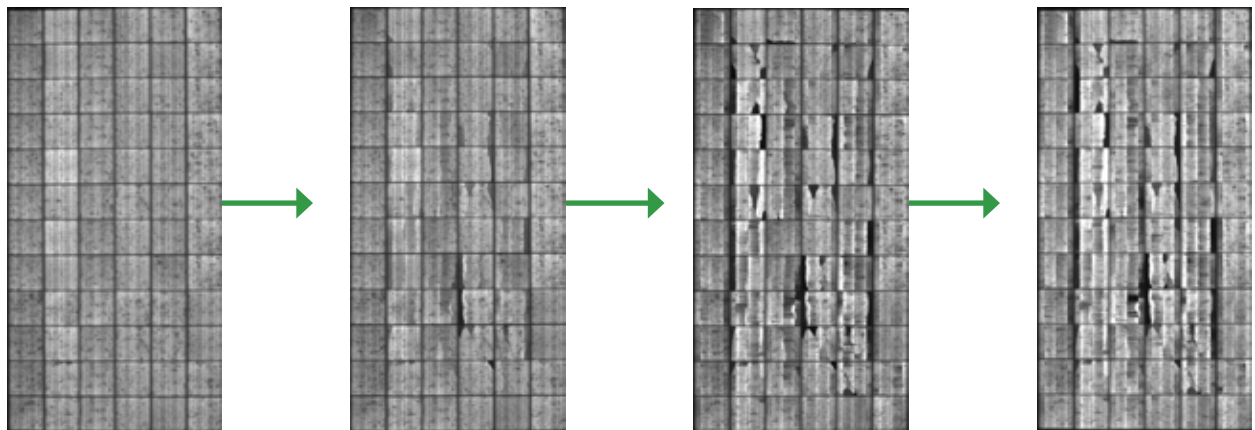
动态机械载荷 (DML) 序列包括 DML、热循环测试和湿度冻结测试的组合。对光伏组件施加机械载荷或力会对组件产生应力并导致其断裂。应力和断裂会导致一系列问题, 包括湿气进入、出现微裂纹和扩展、焊接接头疲劳以及电池腐蚀。此类问题往往会导致发电量减少和现场故障。

测试为何重要

风和雪使现场模块承受动态机械载荷, 或以不同的方向和速度施加力。动态荷载也会发生在组件的运输、交付和安装期间, 尤其在组件包装或处理不当的情况下。本测试证明了模块组件和材料组合在这些条件下是否可能发生故障。

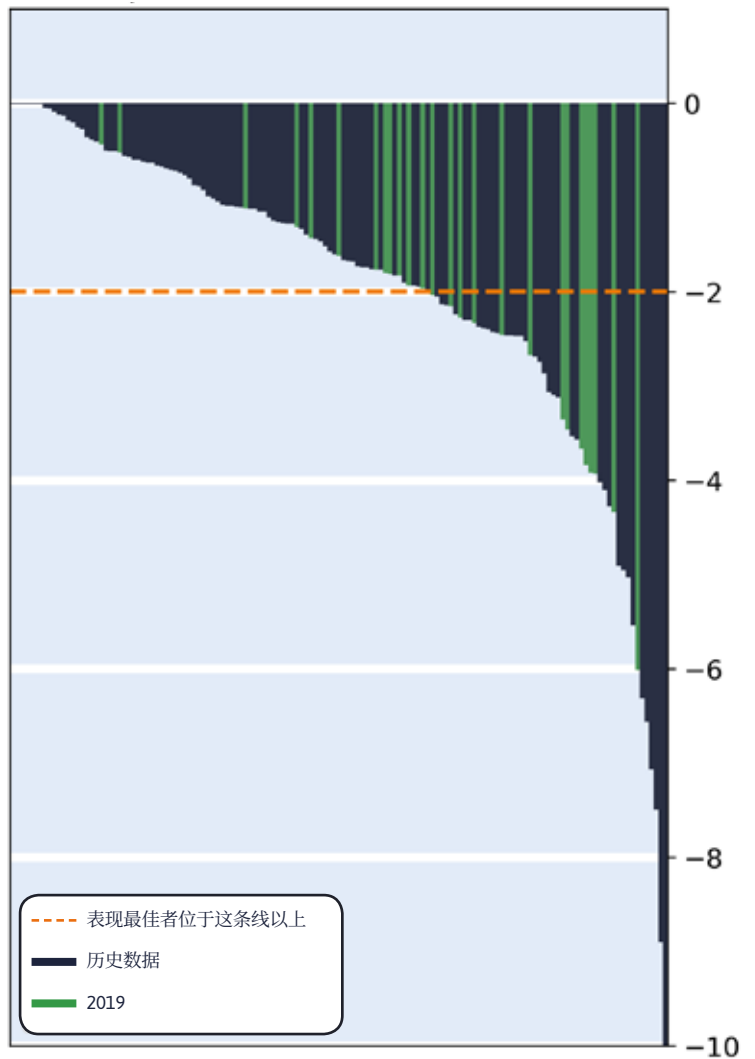
DML 序列程序

组件按照制造商建议的安装配置进行安装, 并在 1,000 Pa 压力下经受 1,000 次交替加载循环。接下来, 将组件放置在环境模拟室中, 完成 50 次热循环 (-40°C 至 85°C) 以发生微裂纹扩展, 然后进行三组 10 次湿度冻结循环 (85°C 温度和 85% 相对湿度 20 小时, 然后快速下降至 -40°C), 从而刺激潜在腐蚀。对组件进行特征化和外观检查, 从而评估组件框架、边缘密封和电池互连的状态。



每个组件型号的功率衰减

2019 表现最佳者	
制造商	组件型号
Adani/Mundra	ASP-7-AAA / ASP-6-AAA
Boviet	BVM6612M-xxx-H / BVM6610M-xxx-H
GCL	GCL-P6/72Hxxx / GCL-P6/60Hxxx
Hanwha Q CELLS	Q.PEAK DUO L-G5.2 xxx
JA Solar	JAM60S02-xxx/PR
LONGi Solar	LR6-72PH-xxxM / LR6-60PB-xxxM
REC Solar	RECxxxTP2M
Silfab	SLGxxxM / SLAxxxM
Vikram Solar	Eldora VSP.72.AAA.05 / VSP.60.AAA.05



结果和关键结论

2019 年计分卡首次提供了延长至 30 次湿冷冻循环的 DML 序列的数据。大约 80% 的历史测试数据仅包括 10 次湿冷冻循环，这反映了过去的 PQP 测试持续时间。与 2018 年计分卡相比，将湿冷冻循环延长至 30 次导致 2019 年样本集的性能衰减范围更广。

本示例证明了动态机械载荷如何引起不一定会导致显著功率损失的微裂纹。只有经过热循环和湿冷冻测试后，受电池裂纹影响的金属导体才会断裂，从而导致黑色不活动区域且功率衰减程度增加。

要更好地测量微裂纹敏感性，PVEL 的 PQP 的下一代迭代将包括此序列开始的静态机械载荷测试。

电势诱导性能衰减： 概览与结果

背景

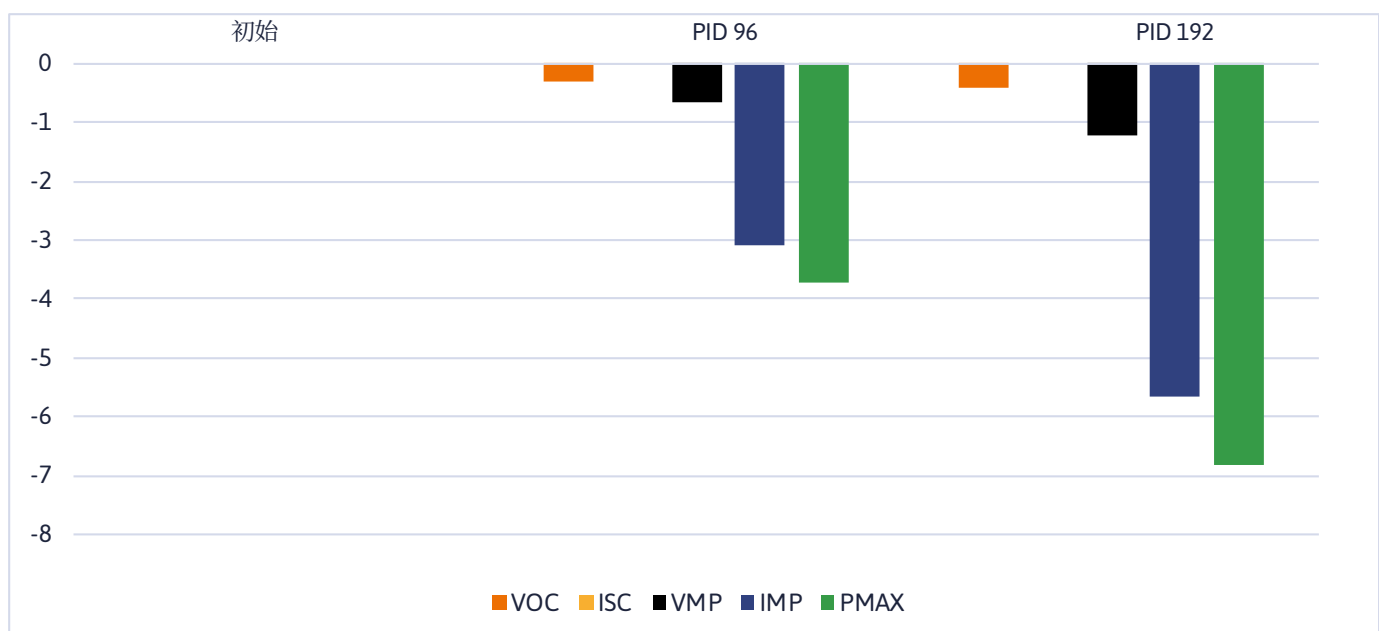
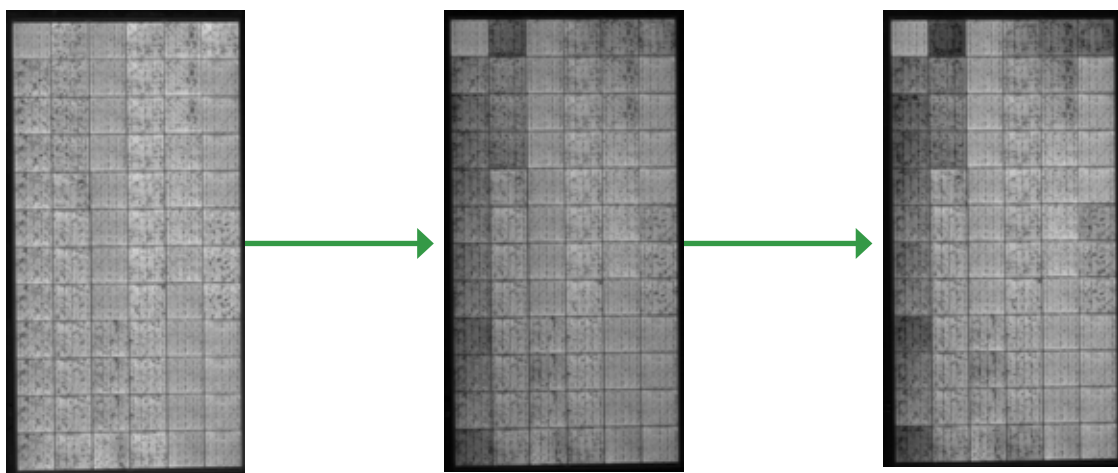
在调试后的几周甚至几天内可能会发生电位诱导衰减 (PID)。近十年来, 随着系统电压的提高和不接地系统的发展, PID 技术应运而生。它通常发生在内部光伏电路相对于地面负偏压时。电压和湿度的组合会导致玻璃或电池表面的钠离子产生从内部光伏电路到框架和安装系统的电流路径。这会降低组件的性能, 因为组件产生的一些电子会在这些新形成的电流路径中损失。

测试为何重要

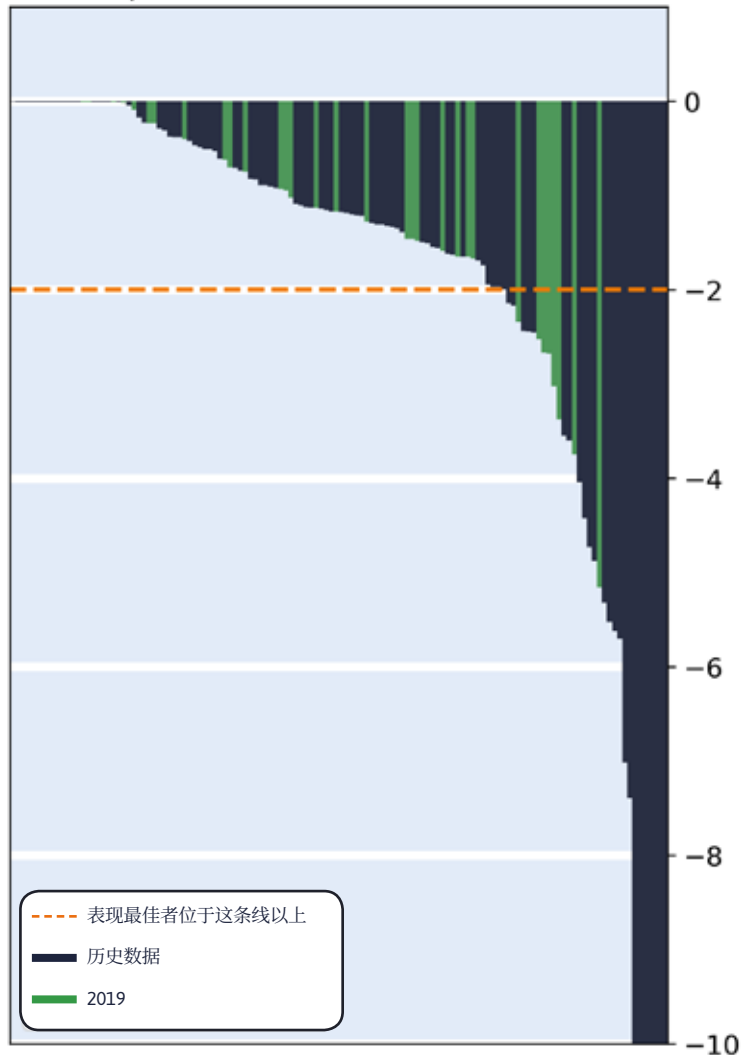
PID 可以将性能降低 30% 以上。虽然某些 PID 机制在性能衰减的早期阶段是可逆的, 但有些则不是。PID 也可通过系统设计进行管理, 包括使用特定的接地配置和分布式电子设备。如果不采购抗 PID 的组件, PVEL 建议评估这些替代解决方案。

PID 程序

将组件放置在环境模拟室中, 在 85°C 和 85% 相对湿度下施加等于模块最大系统额定电压 (-1000 V 或 -1500 V) 的电压偏差, 进行两个各持续 96 小时的循环。这些温度、湿度和电压偏差条件让 PVEL 能够评估与泄漏电流增加相关的性能衰减。



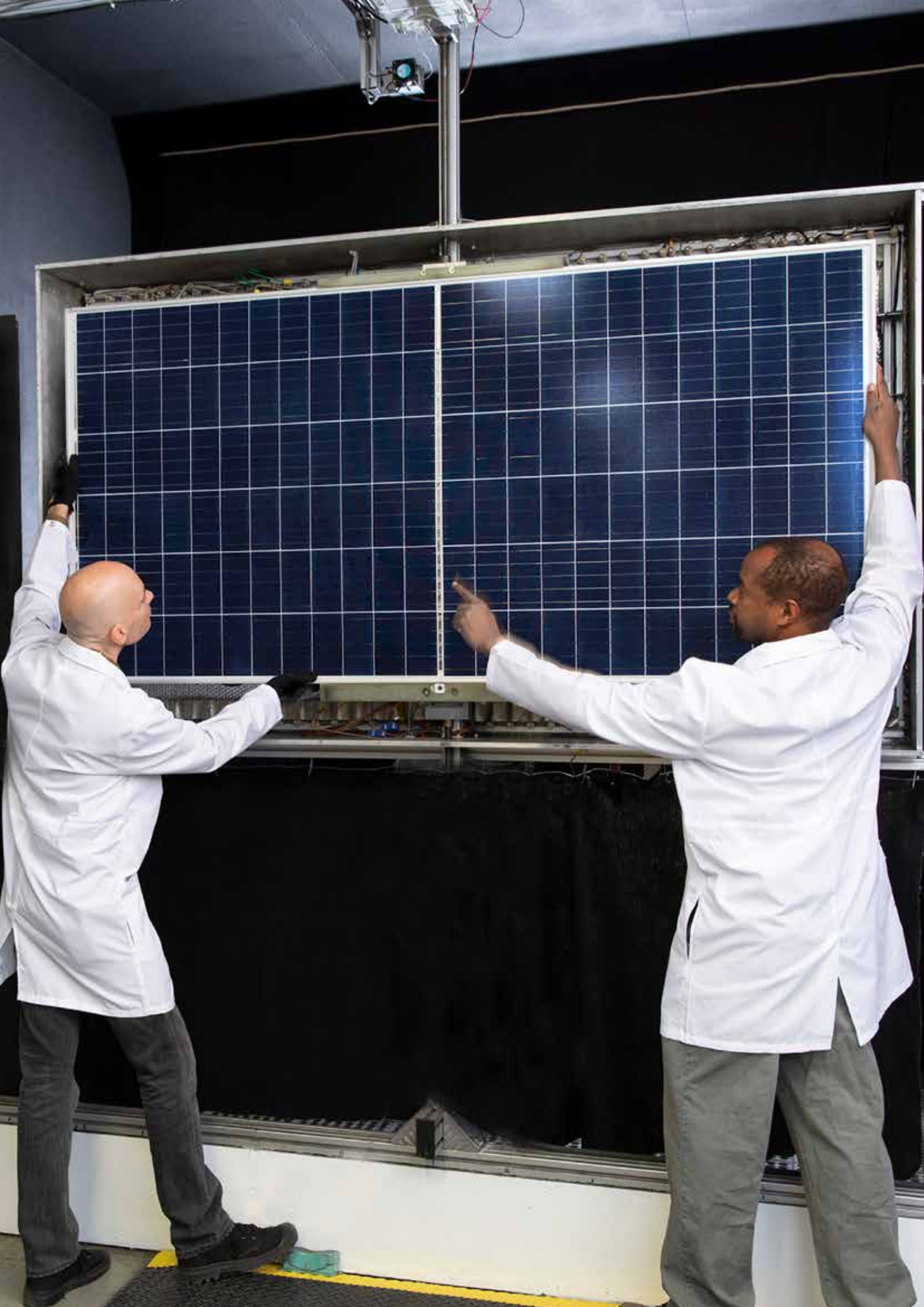
2019 表现最佳者	
制造商	组件型号
Adani/Mundra	ASP-7-AAA / ASP-6-AAA ASM-7-PERC-AAA / ASM-6-PERC-AAA
Boviet	BVM6612M-xxx-H /BVM6610M- xxx-H
GCL	GCL-M6/72Hxxx / GCL-M6/60Hxxx GCL-P6/72Hxxx / GCL-P6/60Hxxx
Hanwha Q CELLS	Q.PEAK DUO-G5 xxx Q.PEAK DUO-G6 xxx
JA Solar	JAM60S02-xxx/PR JAP72S01-xxx/SC /JAP60S01-xxx/SC
Jinko	JKMxxxM-60B
LONGi	LR6-60PB-xxxM LR6-72PH-xxxM
Phono Solar	PSxxxP-24/T / PSxxxP-20/U
REC Solar	RECxxxTP2 RECxxxTP2M
Seraphim	SRP-xxx-6MA-HV / SRP-xxx-6MB-HV
Silfab	SLGxxxM / SLAxxxM
Suntech	STPxxxS-24/Vfh /STPxxxS-20/Wfh
Trina Solar	TSM-xxxPE14H TSM-xxxPE05H
Vikram Solar	Somera VSM.72.AAA.05 /VSM.60. AAA.05
ZNSHINE	ZXP6-72-xxx/P / ZXP6-60-xxx/P



结果和关键结论

行业对 PID 的理解相对先进,可以说这种失效模式已经“解决”。PID 的表现最佳者比任何其他 PQP 测试都多,与许多性能衰减级别更高的历史数据点相比,2019 年数据集的最大性能衰减率为 5.16%。然而,正如第 7 页所述,仅 3-6% 的功率衰减就足以导致光伏电站变得无利可图。在易受 PID 影响的系统设计中安装此处所示的型号,将导致显著的发电损失;因此,需要对每个组件的 BOM 进行 PID 测试。

注:44% 的历史数据(蓝色)扩展到 600 小时的 PID 测试,这是过去 PQP 测试的终点。



“PVEL 的光伏组件可靠性计分卡是我们更新批准供应商名单的起点。这可帮助我们确定要优先进行深入调查的供应商, 从而节省时间。下一步是深入了解表现最佳者排名背后的数据, 确定满足我们项目渠道的性能、可靠性和融资要求的 BOM。”

CHRIS JACOBS, Cubico Sustainable Investments 资产工程经理

历年的计分卡

持续获得光伏组件可靠性计分卡最高性能的评价证明了制造商对产品质量的承诺。随着新产品的推出和老型号的淘汰, 制造商必须坚持严格的质量控制标准, 以保持其产品的高可靠性和高性能。

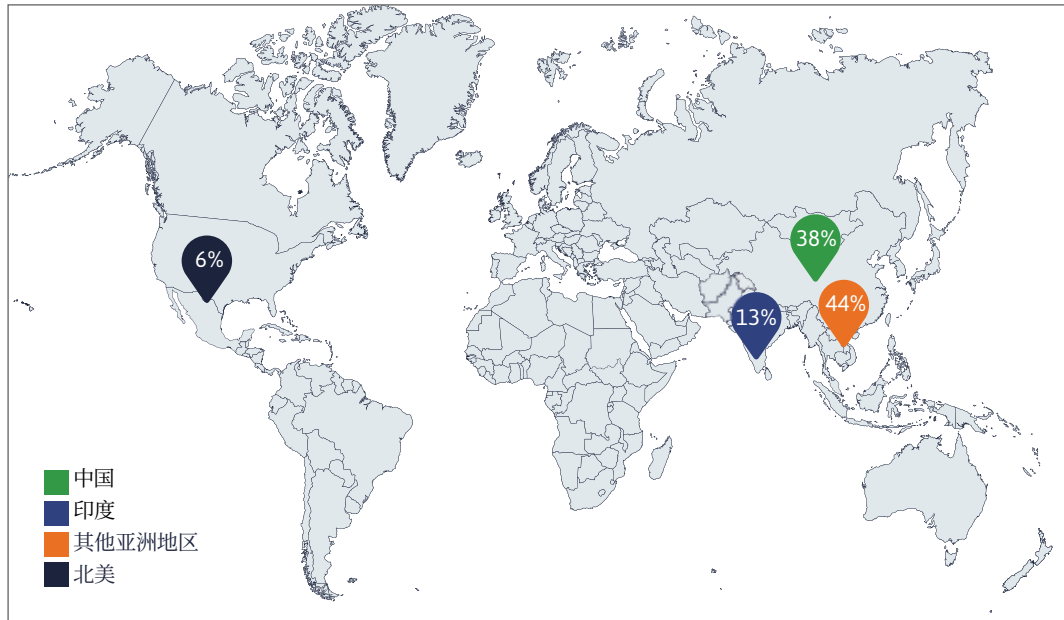
以下的历年计分卡展示了 2019 年的表现最佳者以及他们在往年的计分卡中评为最佳表现的历史记录。制造商以字母顺序按被指定为表现最佳者的年份数列出。



	2019	2018	2017	2016	2014
Jinko	●	●	●	●	●
Trina Solar	●	●	●	●	●
Hanwha Q CELLS	●	●	●	●	
JA Solar	●	●		●	●
REC Solar	●	●	●	●	
GCL	●	●	●		
LONGi	●	●	●		
Phono Solar	●	●		●	
Suntech	●	●			●
Adani/Mundra	●	●			
Seraphim	●		●		
Silfab	●		●		
Vikram Solar	●		●		
ZNShine	●			●	
Boviet	●				

工厂所在地

制造中所用的设备、流程和质量控制程序会影响光伏组件质量。记录 BOM 和制造过程中每个步骤的工厂见证报告可供 PVEL 的下游合作伙伴使用。下图显示了 2019 年计分参与者的工厂所在地。



制造商	工厂所在地
Adani (Mundra Solar PV Ltd)	印度古吉拉特邦
Boviet Solar Technology Co., Ltd.	越南, Song Khe-Noi Hoang Industrial Zone
GCL System Integration Technology Co., Ltd.	中国张家港; 越南, Van Trung Industrial Park
Hanwha Q CELLS Co., Ltd.	韩国镇川郡
JA Solar Technology Co.	中国上海; 越南, Van Trung Industrial Park
Jinko Solar Co., Ltd.	中国上饶
LONGi Solar Technology Co. Ltd	中国台州; 马来西亚古晋
Phono Solar Technology Co., Ltd.	中国南京
REC Solar	新加坡 大士
Seraphim Solar System Co., Ltd.	中国常州
Silfab Solar Inc.	加拿大米西索加
Wuxi Suntech Power Co., Ltd.	中国无锡
Trina Solar Co., Ltd	中国常州
Vikram Solar Ltd.	印度加尔各答
ZN Shine PV-Tech Co., Ltd.	中国常州

第 4 部分

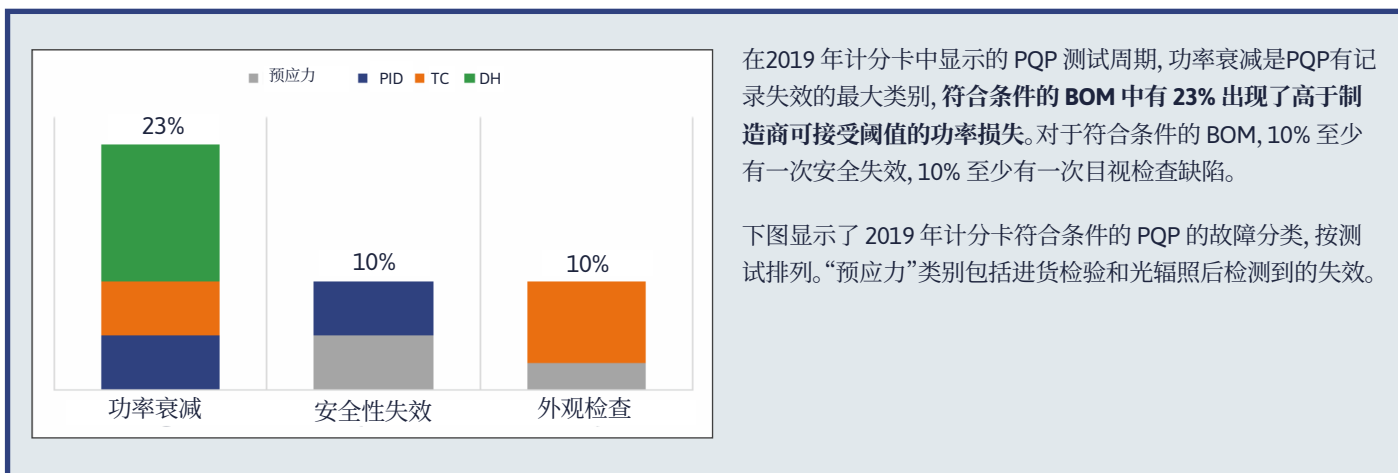
案例研究



案例研究:PQP 失败

在整个 PQP 测试过程中, 组件将经历多种特性鉴定, 包括外观检查、安全测试和电气性能测试。这些特性鉴定的结果包含在每个被测组件的 PQP 报告中。

PVEL 不为功率衰减分配通过/失败阈值; 然而, 当视觉异常、EL 图像或功率衰减不符合组件制造商的预期时, 组件制造商能够将其产品从测试中移除。这些实例以及安全测试失效被 PVEL 视为 PQP“失效”。在 2019 年计分卡符合条件的所有 BOM 中, 有超过 30% 在 PQP 测试期间出现一次或多次失效。

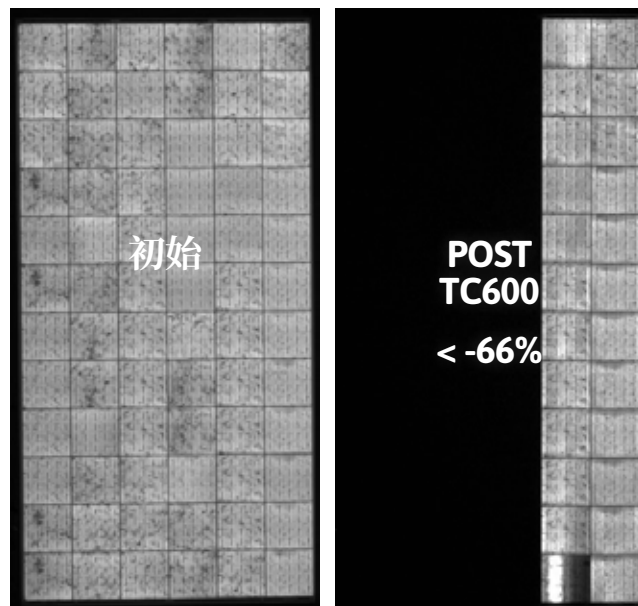


示例 1: 热循环测试期间的旁路二极管失效

依照 Heliolytics, 他们使用航空红外 (IR) 成像扫描的超过 1 兆瓦的现场中, 超过 80% 都出现了子组件缺陷, 至少三分之一的组件受到影响。其中许多子组件故障的原因是, 组件接线盒中的一个或多个旁路二极管在开路或短路条件下出现故障。

对于典型的晶体组件, 为防止遮光条件下造成组件热斑, 必须使用旁路二极管 - 这是一个可能严重损坏组件并使其不安全的问题。尽管旁路二极管发挥着关键作用, 但其故障的原因多种多样, 如元件选择不当、天气事件或接线盒和/或组件制造缺乏可靠的工艺和质量控制。当组件旁路二极管发生短路故障时, 三分之一的组件将不再发电。当组件旁路二极管在开路情况下发生故障时, 会增加热斑的风险。

PVEL 的 PQP 测试使用延长的热循环对模块组件进行热应力测试。该测试期间, 容易发生故障的二极管会对组件的性能产生灾难性的影响, 例如在以下情况下, 两个二极管在 600 次热循环后发生故障, 组件功率输出下降 66%。



对于过去五个版本的计分卡, 可以观察到组件性能和可靠性提升的总体趋势; 然而, 这些失效提醒了组件购买者在购买光伏组件时仍然需要进行尽职调查, 因为即使“成熟”的技术也会出现意想不到的问题。

案例研究:PQP 失败(续)

示例 2:湿漏电失效

尽管组件性能风险肯定是一个很大的问题,但组件安全也非常重要。PQP 评估安全的其中一种方法是,在 PQP 特性鉴定阶段进行湿漏电测试。本测试将评估组件在潮湿工作条件下的电气绝缘,例如由于下雨、雾、露水、湿度或融雪而在现场发生的情况。

执行此测试时,会将组件浸入导电水溶液中,并用相同的溶液湿润接线盒、电缆和接头。然后,在组件的电路和液体之间施加 1,000 或 1,500 伏电压,持续两分钟。在此期间测量绝缘电阻,绝缘电阻必须等于或超过 $40 \text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2$ 才能根据 IEC 61215-2:2016 的标准通过测试。

过去 18 个月观察到的最常见 PQP 故障之一是湿漏电失效,其中组件的绝缘电阻测量值低于 IEC 规定的通过阈值。未通过湿漏电测试意味着,组件在现场可能存在安全隐患,尤其是在潮湿条件下运行时。

超过 30% 的测试 BOM 至少有一次失败。



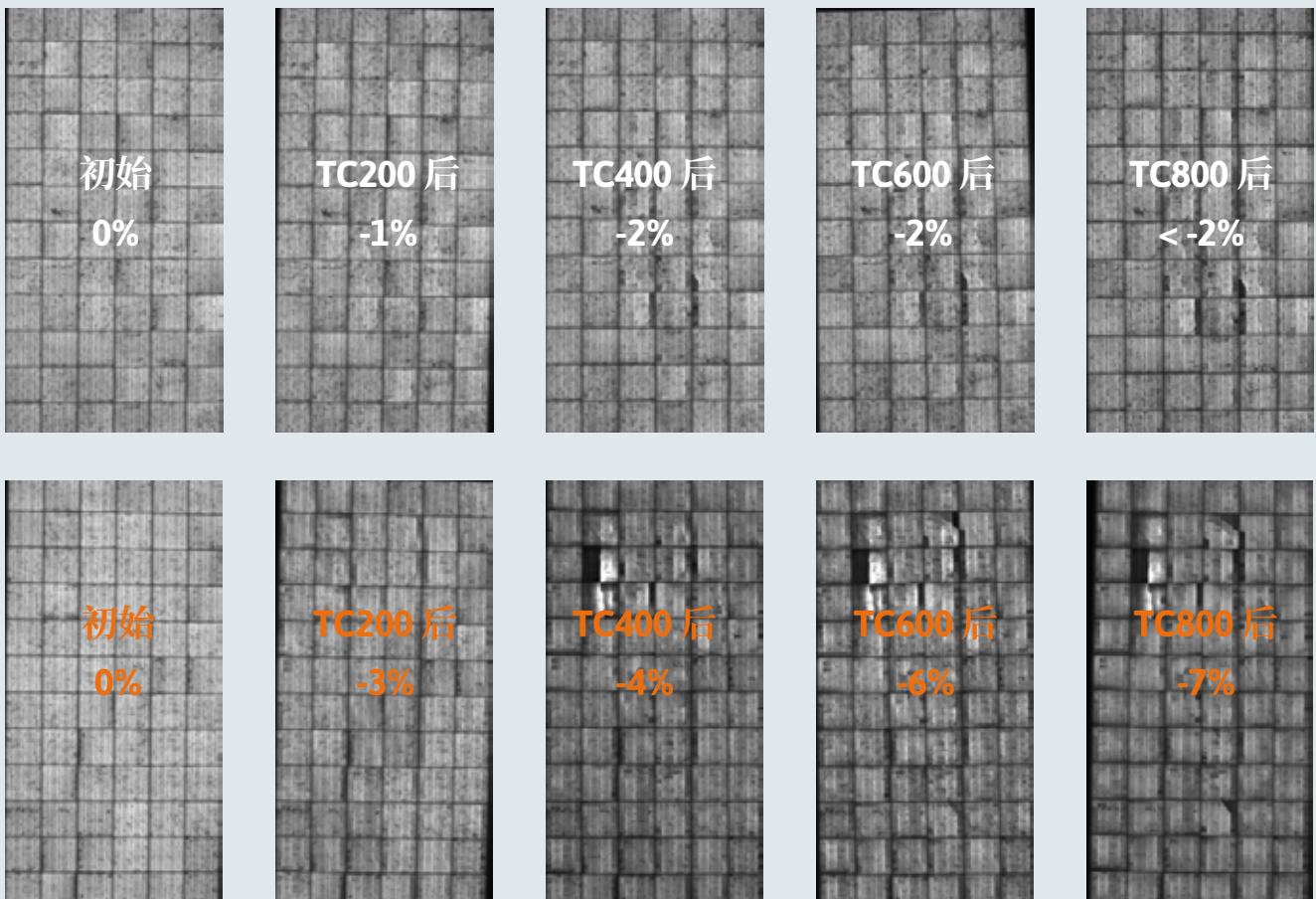
案例研究:了解您的 BOM

一家顶级组件制造商为 PQP 测试提交了组件,这些组件使用两种不同的物料清单 (BOM) 制造。这两个 BOM:

- 具有相同的型号、标签和数据表
- 视觉上无法区分
- 在同一工厂生产
- 通过了 IEC 61215 测试标准(TC200 后的性能衰减不到 5%)

一个 BOM 的 TC800 结果是,达到 PVEL 光伏组件可靠性计分卡的“性能最佳产品”级别(性能衰减不到 2%)。另一个 BOM 的 TC800 结果在 PQP 结果中排名较低,性能衰减为 7%。

同一制造商。同一型号。不同性能。



当采购商订购组件而未指定 BOM 时,制造商可为该型号自由使用已通过 IEC 认证的任何材料组合。一个供应订单可以由使用同一型号的多个不同 BOM 组成。其中一些 BOM 可能已经过第三方测试,而有些则没有。当部署了多个 BOM 时,组件买家和资产所有者可能会在现场体验到不同的可靠性和性能水平。如果没有独立的测试和 BOM 验证,买家就不能确定每个组件是否会按预期运行。

计分卡中指定的性能最好的组件型号代表特定的详细 BOM,它们已在 PVEL 实验室中经过严格测试。仅仅订购性能最好的组件型号并不能保证购买到性能最好的 BOM。PVEL 的下游合作伙伴可以访问已获得“性能最佳产品”称号的特定 BOM 讯息。PVEL 还为下游合作伙伴的组件供应协议提供免费又详细的 BOM 清单的合同附件。这些附件里的条款规定,提供的组件必须使用经 PVEL 测试的 BOM。

了解您的 BOM。

第 5 部分

结论



采购最佳实践

资产所有者希望太阳能发电厂能够安全可靠地发电数十年。如今,大多数光伏组件 BOM 最多只生产了几年,这使得了解长期安全性和可靠性变得极具挑战性。使用长期现场数据来验证光伏组件质量并预测终身能量产量是不可能的,特别是在快速发展的技术环境之下。

正如今年计分卡中的数据所示,即使 BOM 组合中的微小变化也会影响产品的可靠性和性能。虽然受控的实验室测试永远无法完全复制现场条件,但它仍然是光伏组件买家评估其质量的最客观、最全面的来源。

独立测试不仅支持战略采购和数据驱动的发电量分析建模,还可用于筛选数周或数月内大量生产订单中的缺陷。最后,通过现场测试运营资产,利益相关者可以验证发电量模型并快速解决任何问题。

降低风险的 3 个步骤

1

了解您的 BOM: 产品认证程序

光伏组件采购前:

- 查看独立测试数据
- 评估工厂
- 在供应协议中指定 BOM

除 PQP 报告外, PVEL 还免费向下游合作伙伴提供纳入组件供应合同的 BOM 清单。

2

验证生产标准: 统计批量测试

在生产过程中:

- 验证是否使用了指定的 BOM
- 对工厂进行生产监督
- 测试每个生产批次的随机样本

PVEL 提供 BOM 认证、工厂监督和高通量统计批量测试服务。

3

确认实际表现: 现场测试

验证组件符合预期:

- 量化运营容量
- 监控并检查系统的健康状况
- 分析系统性能

PVEL 为运营中的资产和表现不佳的资产提供现场白天 EL 测试和高级系统性能分析。

超越采购:

PVEL 的 PQP 为能源模拟和融资研究带来附加价值

DNV GL 的能源模拟从不同光伏组件技术的平均性能的默认假设开始。我们使用独立的测试数据来验证我们的假设,并在必要时更新这些假设以反映产品性能的变化。这种测试数据对于确保在评估产品和项目性能时尽可能减少不确定性至关重要。

在评估融资和审查技术时, DNV GL 始终指示组件是否经过 PQP 测试。未经独立测试的技术将被标记以供额外审查,而这会引起投资者的担忧。当产品未经权威实验室进行独立测试时,我们就会缺乏客观证据证明其将按预期运行。PVEL 的 PQP 为 DNV GL 提供了客户需要的数据,为客户选择光伏组件树立了信心。

DANA OLSON 太阳能部门负责人, DNV GL – 能源



结论

PVEL 的 2019 年光伏组件可靠性计分卡显示, 随着技术的进步, 独立测试至关重要。正如今年的湿热结果所示, PERC 等新技术存在潜在的风险。在光伏发电厂运行期间, 即使光伏组件保修索赔成功, 投资者也会因发电量损失和更换设备的人工成本(通常不在保修范围内)而面临财务损失。由于缺乏长期的现场数据以及设备故障对项目经济性的影响, **独立测试和技术尽职调查是目前买家可使用的最佳风险减轻工具。**

了解您的 BOM。

计分卡中超过 30% 的 PQP 结果显示至少有一次失败。改变模块的组件, 甚至更换生产工厂, 都会使它更容易受性能衰减加速和早期寿命失效的影响。PQP 测试报告为买家提供了选择符合其质量标准的 BOM 所需的数据。PVEL 的 BOM 清单可帮助确保其订单使用了正确的材料。统计批量测试展现了生产一致性。现场测试可验证光伏组件是否按预期运行。**遵循 PVEL 采购最佳实践的买家可以降低其采购风险。**

数据推动回报。

以数据为主的采购策略是保护太阳能光伏投资的最佳方式。通过独立测试, 买家可以更有信心地投资于新技术或更具成本效益的产品。通过在生产预测和财务模型中使用经验数据, 太阳能项目利益相关者可以优化融资并获得更高的投资回报。买家可以通过展现性能和可靠性的独立数据获得更好的回报。

PVEL 的 PQP 是用于服务下游客户的。

当涉及到光伏组件测试时, 认证机构、主管当局、制造商和光伏组件买家都有不同的优先考量。PVEL 与我们的下游合作伙伴密切合作开发其 PQP 序列。只有经过精心设计的资格认证程序才能为买家提供以数据为主的采购决策所需的信息。

我们提供重要的数据。

有兴趣成为 PVEL 下游合作伙伴?
了解关于我们 PQP 的更多信息, 并在线注册:
pvel.com/PQPs



让数据变得更重要



我们的光伏组件可靠性计分卡只是开始。凭借近10年积累的测试数据和报告, PV Evolution Labs (PVEL) 成为为下游太阳能光伏产业提供服务的领先独立实验室。

了解更多:

PVEL.COM | info@pvel.com



重要通知和免责声明

本文件(“本报告”)由 PVEL LLC 基于与本报告中提及的日期和期限相关的信息编制而成。本文件不保证信息不会发生变化。在法律允许的范围内, PVEL LLC 及其任何关联公司(“集团”)均不会就本报告的使用而承担任何责任,无论是基于合同、侵权或其他。本文件是一份概要,必须结合全文阅读,且相关表述受文中所述任何假设和资格条件的约束。本报告可能包含有详细的技术数据,该数据仅供在相关领域拥有必要专业知识的人员使用。本报告中没有任何内容意图授予除集团外的任何其他实体任何权益,且使用本文件相关的风险均应由用户独自承担。本文件受版权保护。