



ENERGY

2018 年光伏组件可靠性计分卡

定义质量, 引导产业。



作者：



Tara Doyle
业务发展和项目管理
负责人
Tara.Doyle@dnvgl.com



Tristan Erion-Lorico
光伏组件业务负责人
Tristan.Erion-Lorico@dnvgl.com



Ryan Desharnais
工程负责人
Ryan.Desharnais@dnvgl.com

撰稿人：

Ken Sauer, 高级光伏工程师, Kenneth.Sauer@dnvgl.com
Adam Gushansky, 项目经理, Adam.Gushansky@dnvgl.com
Steve Jones, 北美可再生能源咨询 - 业务线总监, Steve.Jones@dnvgl.com
Jackson Moore, 太阳能技术负责人, Jackson.Moore@dnvgl.com
Raymond Hudson, 高级首席顾问, Raymond.Hudson@dnvgl.com



目录

简介	05
太阳能行业发展历程	06
光伏组件老化原理	08
光伏组件的可靠性和测试	09
光伏组件产品认证程序	10
结果	13
热循环测试概览与结果	14
湿热测试概览与结果	16
机械载荷 + 热循环 + 湿冷冻测试概览与结果	18
电位诱导衰减概览与结果	20
案例研究:PID 性能	22
案例研究: PAN 和 IAM 性能	23
结果解释	24
工厂所在地	26
历年的计分卡	27
DNV GL 的最佳实践	28
结论	29



简介

太

太阳能行业当前迎来了前所未有的蓬勃发展时期。买家正面临技术上的突飞猛进，这些发展进步将检验我们是否了解实现光伏组件“可靠性”的因素，同时能源价格不断降低，压缩了项目利润。许多领先的光伏组件供应商现已能够提供在最近几年发展起来的技术，包括双面组件和 PERC 电池。印度、中国、巴西、墨西哥和埃及便是其中几个高速发展的光伏市场，而新的制造商正不断在这些市场上涌现。我们现在用来描述光伏发电年产量的单位不再是兆瓦，而是吉瓦。

与繁荣发展并存的还有不确定性。在太阳能行业，风险常常伴随着新技术和行业的快速发展而来。新技术是指组件性能和长期可靠性方面尚未探索的领域。推行这些新技术的速度和规模导致出现与质量低下的组件结构、日渐复杂的物流和此领域有限的历史记录相关的新风险。

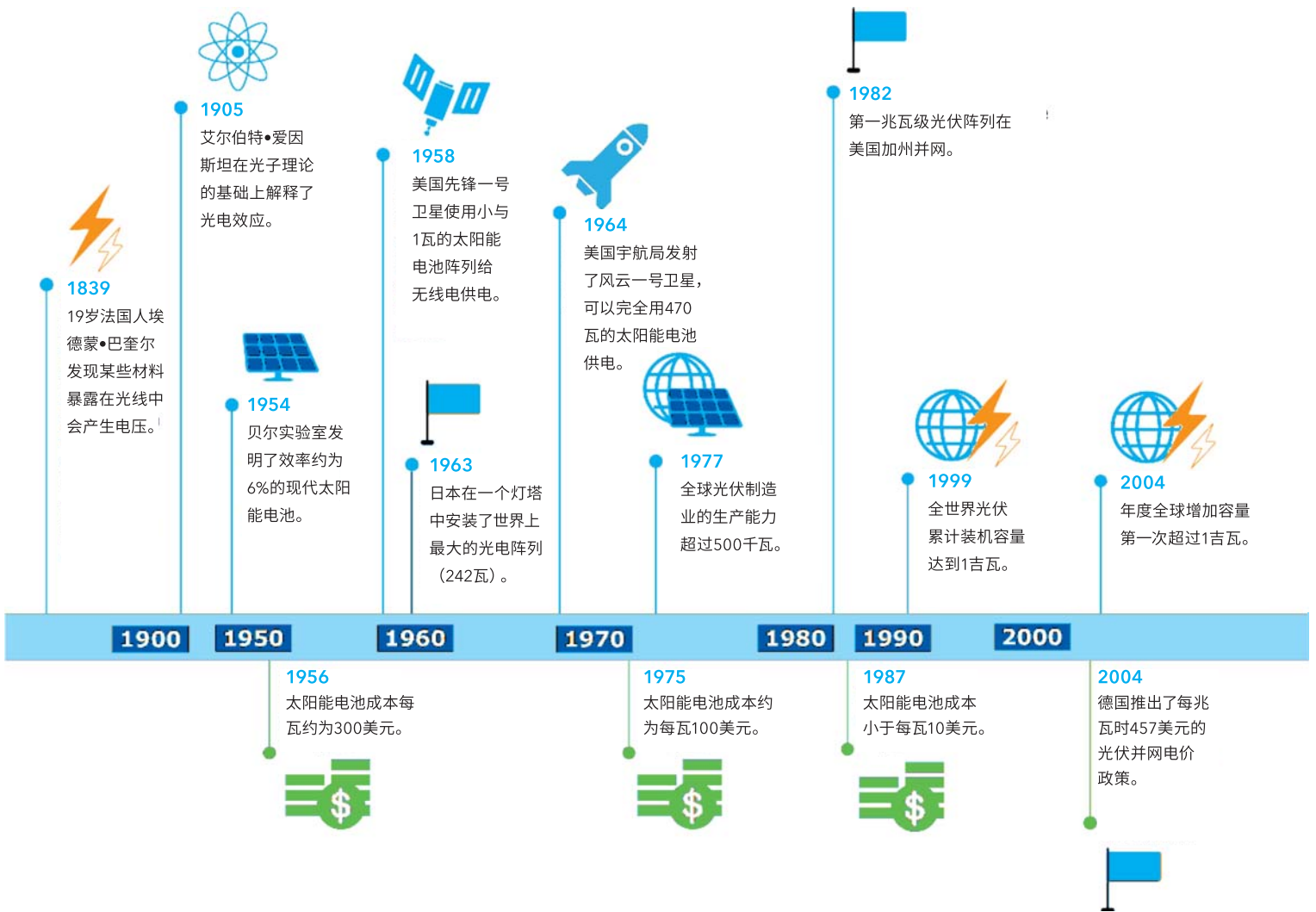
在这些令人振奋但有时又具有挑战性的时期，太阳能行业呈跨越式发展。2017 年，全球总装机容量达 98 吉瓦，与 2016 年相比上升 29%，在太阳能发电新装机容量方面再创纪录。我们预计，2018 年将持续这种创纪录式发展，并且轻松跨过 100 吉瓦的里程碑。DNV GL 能源实验室的专家们与大家一样经历了行业的变化，并且我们依然领先一步。从经验证的技术到技术原型，我们对各方面进行测试，测试结果显示它们或可靠，或存在风险，有些还与传统观点和预期相反。

DNV GL 于 2014 年首次发布这份计分卡，以便向大众（市场）展示我们通过测试所发现和了解的信息。我们很荣幸能展示第四份年度光伏组件可靠性计分卡。



Ditlev Engel
首席执行官
DNV GL - 能源

太阳能发展史





2008

全世界光伏累计装机容量超过15吉瓦。



2012

PVEL, 现在并入DNV GL, 开发了产品认证项目 (PQP) 以支持下游太阳能产业。



2012

装机145兆瓦世界上最大的并网光伏电站在德国建成。



2012

全世界光伏累计装机容量超过100吉瓦。



2014

550兆瓦世界上最大的光伏电站在美国加州并网发电。



2015

中国成为第一光伏年装机超过15 GW的国家。

2016

550兆瓦世界上最大的光伏电站在印度并网发电。



2016

全球光伏累计装机容量超过300吉瓦。



2017

世界上第一个1 GW光伏阵列在到印度并网发电。



2017

有史以来最大的光伏新增产能宣称达到单季度40GW (第四季度)。



2017

一年新增光伏容量达到98吉瓦, 比所有煤炭、燃气发电以及核电加起来还要多。

2010

2011

200美元/兆瓦时创新低的购电协议在加纳签署。

2012

日本推出了每兆瓦时534美元的光伏并网电价政策。

2012

太阳能电池成本下降到每瓦低于1美元。



2012

59美元/兆瓦时创新低的购电协议在美国签署。

2015

2017

沙特出现创新低的17.9美元/兆瓦时的购电协议。

2017

太阳能组件的价格达到每瓦0.37美元。

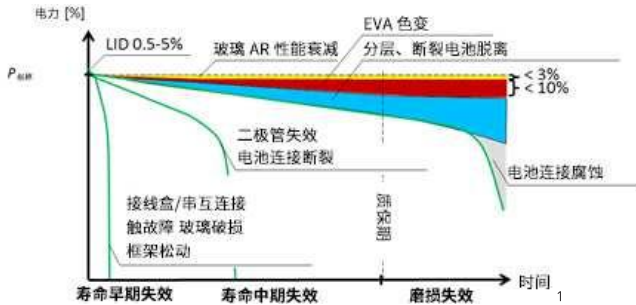


2020

光伏组件老化原理

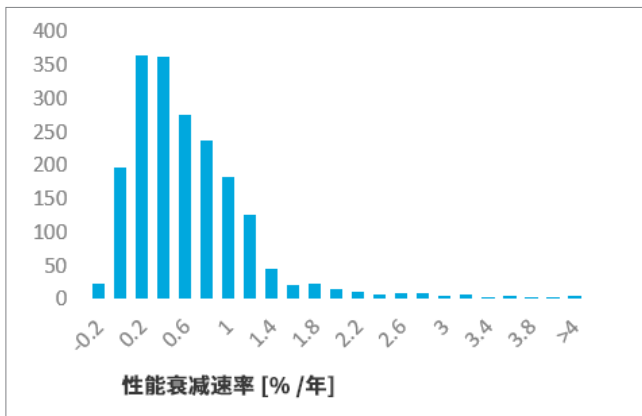
光伏组件老化和失效机制都有记录，涉及世界各地的电厂以及种类各异的材料。光伏设备的现场失效可能源于零部件问题、设计缺陷，或是制造过程期间的质量控制失效。

下图表明主要的光伏组件老化和失效机制，包括寿命初期失效、寿命中期失效和衰老失效。



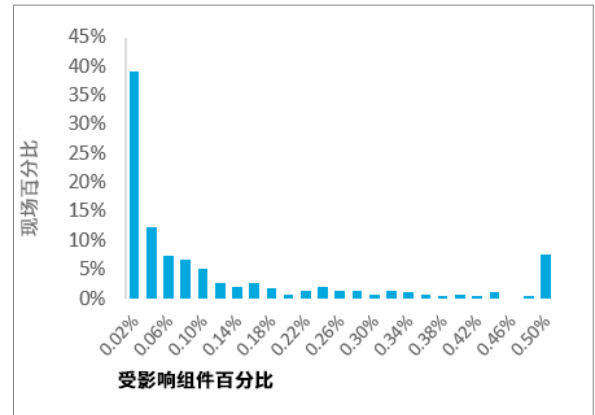
是否提供长期性能数据？

太阳能行业普遍缺乏光伏设备现场性能的全面公开数据库。但是，在 2016 年，来自美国国家可再生能源实验室 (NREL) 的 Dirk Jordan 和 Sarah Kurtz 与 DNV GL 合作，对已公布的光伏性能衰减进行了综合文献调查。该研究从全球近 200 项研究中发现了 11,000 多种光伏组件性能衰减速率。其中具有重大意义的是每年性能衰减超过 1% 的长尾理论。



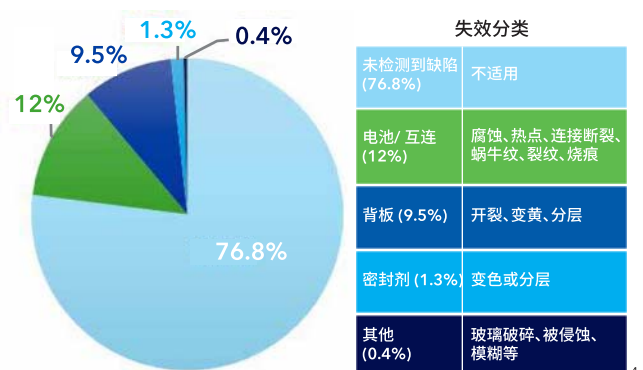
Heliolytics 公司研究的结果也支持这一趋势。

Heliolytics 公司运用空中红外技术，调查了超过 8 吉瓦的正在运行的系统。该研究重点关注具有子组件缺陷的地面安装式组件，他们发现，7% 以上的现场子组件缺陷率超过 0.5%。子组件缺陷包括二极管故障、电池损坏或焊接不良，至少有 1/3 存在这些缺陷的组件都会失效。



两个柱状图中的长尾现象都表明了由制造品质不良、材料或产品设计所导致的组件性能不佳问题。

在另一项大型研究中，杜邦公司在 2012 年至 2018 年期间对超过一吉瓦 (大约四百万个组件) 开展了广泛的现场调查，所调查的系统年龄从 0 到 30 年不等。杜邦公司开展外观检查、热成像和红外光谱分析，确定了约 22% 的被调查组件存在的问题。调查发现结果如下。



1 资料来源：国际能源协会 PVPS 2014

2 资料来源：“Compendium of Photovoltaic Degradation Rates” (光伏衰减速率纲要)，D.C. Jordan, et al, NREL, 2016 年

3 资料来源：地面安装现场子组件失效，由 Heliolytics 提供，2018 年

4 资料来源：由杜邦光伏解决方案提供，“Degradation of Fielded PV Modules from Across the Globe” (全球现场光伏组件的性能衰减)，K.R. Choudhury, et al., 2018 年

光伏组件的可靠性和测试

组件测试方法是如何开发的？

美国喷气推进实验室 (JPL) 的 Block Buy 项目始于 20 世纪 70 年代中期，其目标是为晶体硅组件开发环境试验。此项目建立了许多现在仍用于进行可靠性评估的测试方法。

欧洲太阳能测试机构 (ESTI) 项目于 20 世纪 70 年代后期启动，它专注于进行组件测试和创建太阳能电池的标准性能指标。

这两个项目为当今组件基本认证试验奠定了基础：

- 国际电工委员会 (IEC) 61215 标准“地面用晶体硅光伏组件 - 设计鉴定和定型”
- 美国保险商实验室 (UL) 1703 标准“平板光伏组件和光伏电池板标准”

标准是否有局限性？

虽然大多数光伏项目都要求进行 UL 和/或 IEC 认证，以确保满足最低等级的组件强度和安全性，但人们普遍认为这些认证标准并不足以证明光伏组件的长期可靠性，原因如下：

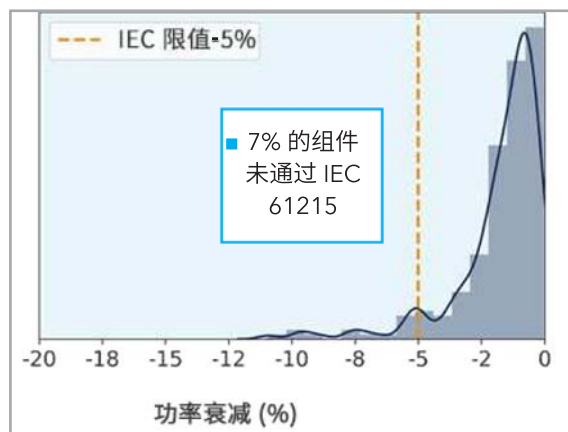
1. UL 1703 标准 (以及类似的 IEC 61730 标准) 只是单纯的安全性测试，目的是确保组件在运行期间不会造成危险。这些测试无法确定组件的长期可靠性或性能。
2. IEC 61215 标准的测试仅适用于识别组件在运行的头几年内显现出的缺陷 (例如缺陷筛查)。
3. 认证测试是在每个制造商所选的光伏组件样本上进行的。如果制造商只选择他们最好的组件进行认证测试，可能造成取样偏差。

性能衰减与组件失效有何关系？

每个项目都预期组件会发生长期功率衰减，长期功率衰减也是制造商的质保参数之一。典型的质保条款保证组件在第一年里功率为标称功率的 97%，并且在接下来的 24 年里，功率每年降低 0.6% 到 0.7%。

由于测量工具和传感器的不确定性，在功率衰减级别较低时在现场测量功率衰减相当困难。实际上，这导致大多数光伏组件质保索赔被限定为组件性能过度不佳或完全失效。DNV GL 注意到，根据 EN 50380 标准，在执行质保时允许存在不确定性，这可有效将所保证的性能水平进一步降低一定的量 (大约 3%)。

基于 DNV GL 的经验和数据，至少有 7% 的商用光伏组件未通过 IEC 61215 湿冷冻测试。7% 这一数字是根据几十到几千个组件的历史数据库抽查得出。



资料来源: DNV GL 实验室测试服务

在购买光伏组件前，非常有必要通过可靠的测试机构测试所选产品对最常见性能衰减机制的恢复能力。



光伏组件产品认证程序

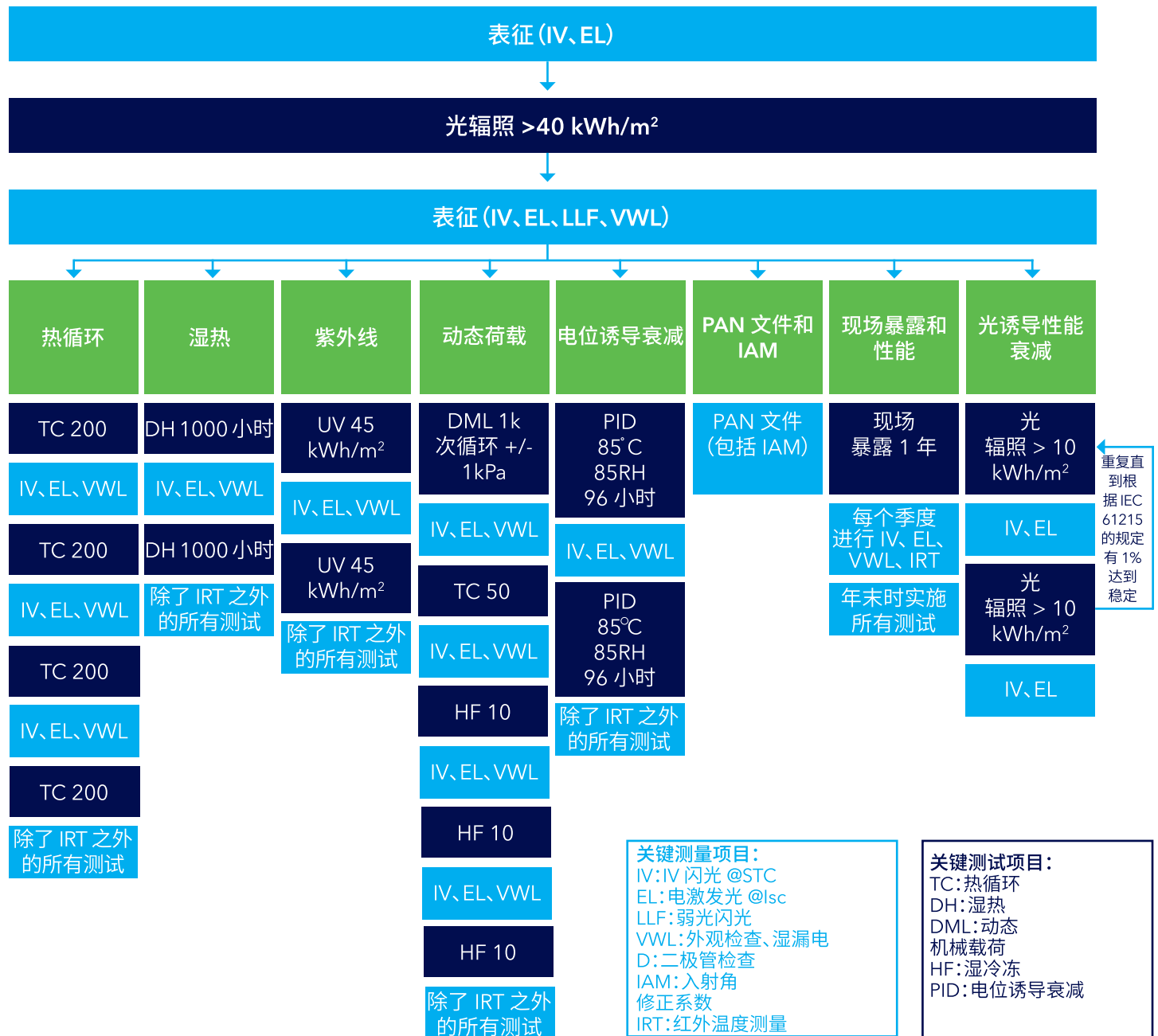
DNV GL 于 2012 年开发了光伏组件[产品认证程序](#) (PQP), 用以支持太阳能产业。PQP 有两个目标:

- 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, 以帮助实施有效的供应商管理程序 (如合格产品或供应商清单)。
- 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。

PQP 的范围符合 DNV GL 下游合作伙伴 (包括开发商、承包商、资产所有者和投资人) 的要求。PQP 经过发展, 现已将人们对了解现场失效和性能衰减机制相关的新见解、DNV GL 下游合作伙伴的要求、以及来自光伏组件制造商的反馈纳入考虑范围。例如, 从 2018 年开始加入了扩展光源浸泡测试序列, 以更好地量化 LID 稳定性。

此光伏组件可靠性计分卡浓缩了过去 18 个月 PQP 结果的精华。每组结果都由一份关于每件受测试产品的完整报告支持; 这些单独的光伏组件报告面向 DNV GL 的下游合作伙伴提供。提交用于 PQP 测试的所有组件物料清单 (BOM) 在生产中都经过见证, 并在相同环境中以同样方式通过测试, 以便进行平准化比较。

在过去五年里, [DNV GL 已经测试过 45 家以上组件制造商的 250 多份物料清单](#)。全球十大组件制造商中的九家以及 70% 以上最新彭博新能源金融 (BNEF) “一级” 制造商都已参加了 PQP。



DNV GL 的产品认证程序可针对不同制造商的产品性能和可靠性提供深入的对比性见解; 测试结果作为有价值的工具, 可为 Sunrun 的采购战略提供建议。



Dirk Morbitzer, Sunrun Inc. 公司战略采购总监 (美国目前最大的专业住宅太阳能公司, 2017 年太阳能发电量为 323 兆瓦)。



结果——概览

Spectrum of Performance

关注过历年的计分卡的读者会发现，相比于过去几年，DNV GL 2018 年计分卡的结果显示，组件性能更高、失效更少。但是接下来几页的结果仍然强调了组件的一系列性能。参与 PQP 和此计分卡的制造商与未参与的制造商相比，更加注重他们产品的可靠性。因此，下面几页所呈现的中间值结果可能比整个行业的中间值结果更好。

方法

后续页上的条形图中所示结果表示单个组件型号不同 BOM 的平均值。计分卡的大多数参加样品为 60 或 72 片电池的单晶或多晶硅组件。

每个测试序列参加的制造商和型号的数量均不同。每个测试类别中的表现最佳者按照字母顺序排列在每个表格中。表现最佳者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。首先，我们概述了压力测试和具体失效机制的实际环境。代表性的性能衰减概述阐释了特殊压力如何通过电激发光在外观上影响组件，以及如何通过 IV 曲线参数影响组件。在第二页上，2018 年的结果以图表形式展示了按型号划分的平均功率损失和表现最佳者。

DNV GL 提醒，每项测试并不能代表所有产品。例如，某些产品并没有经过所有测试，或者某些结果可能在计分卡发布时并不可用。

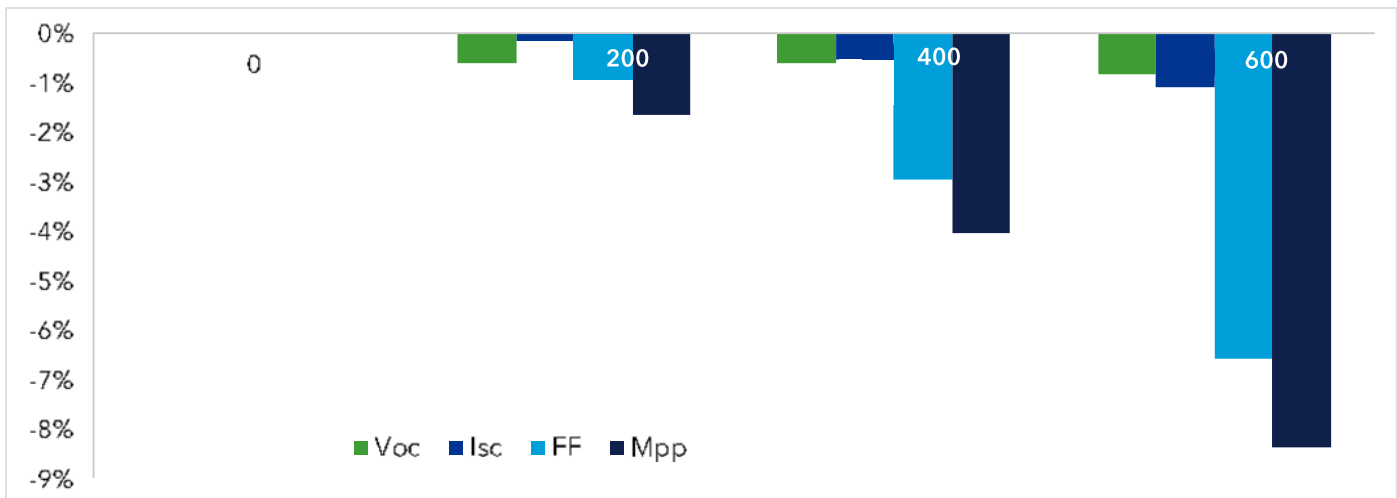
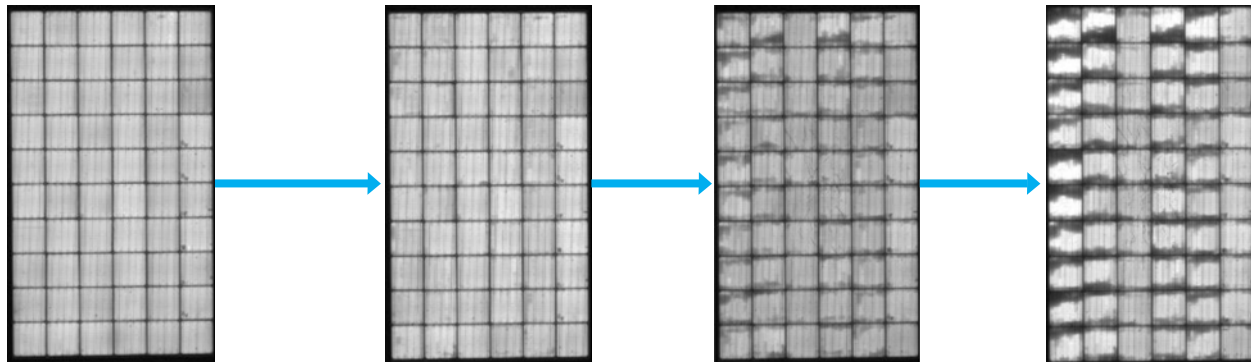
可靠性试验	时长	最好结果	最差结果 (%)	中等结果 (%)
热循环	600 次循环	未测到衰减	-8.8	-1.6
湿热	2000 小时	未测到衰减	-8.1	-2.5
动态机械载荷	1000 次以上循环 TC50 + HF10	未测到衰减	-3.1	-1.2
潜在的电位诱导衰减	192 小时	未测到衰减	-7.4	-1.4

热循环测试概览与结果

光伏组件由若干种材料构成，每种材料具有不同的热膨胀系数。当温度和辐照度发生波动时，材料以不同的比率发生膨胀或收缩，从而产生界面应力。例如焊接接头疲劳，其可能在电气上表现为串联电阻增大以及在高辐照度时性能下降。

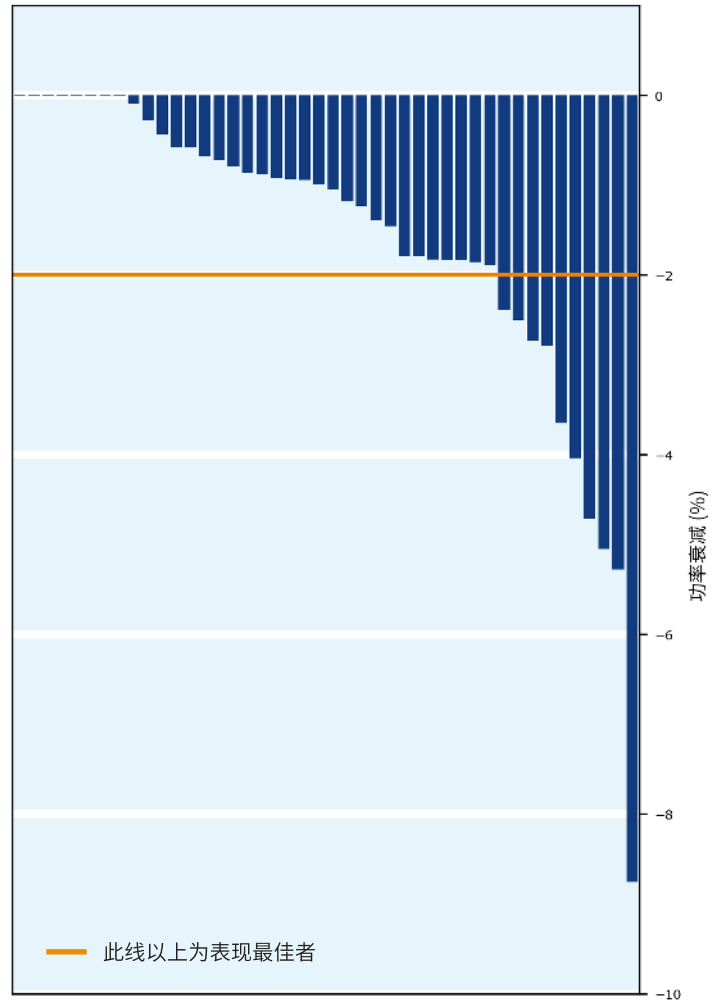
DNV GL 的热循环 (TC) 测试序列是在 IEC 61215 标准基础上作出的外推，其规定了 200 次热循环。在 2016 至 2017 年，DNV GL 的 PQP 序列包括 600 次热循环，但在 2018 年增加至 800 次热循环（用于加入到 2019 年的计分卡）。TC 还包括内部表征，以便简要描述功率衰减的进程。在环境模拟室里，当温度降至 -40°C 时，停留不变然后再升高至 85°C ，最后再停留不变，这一过程完成时单个热循环也就完成了。在温度变化期间，让组件通过最大电力电流。一个热循环的时长一般从三到五小时不等。

无论是日温度范围较宽泛的干旱环境，还是存在许多较小温度范围循环的更为温和的环境，拓展后的热循环都可以深入探究光伏组件结构、制造流程和预期现场性能的可靠性。



2018 年表现最佳者	
制造商	组件型号
Adani (Mundra Solar)	ASP-7-xxx
Astronergy Solar	CHSM6612M/HV-xxx CHSM6612P/HV-xxx
BYD	BYDxxxP6K-36
Flex	FXS-xxxBB-SBD1W FXS-xxxBC-SAD1W
GCL Solar Energy	GCL-P6/72xxx
HT-SAAE	HT72-156P-xxx
JA Solar	JAM6(K)(ZEP)-60-xxx/PR
Jinko Solar	JKMSxxxPP-60 JKMxxxM-60B JKMxxxM-72/JKMxxxM-72-V JKMxxxPP-60 JKMxxxPP-72 JKMxxxPP-72-V
LG Electronics	LGxxxS2W-A5
LONGi Solar Technology	LR6-72PH-xxxM/LR6-60PB-xxxM
Neo Solar Power (NSP)	D6MxxxE4A D6PxxxE3A
Panasonic	VBHNxxxSA16
REC Solar	RECxxxTP2
SunPower	SPR-P19-xxx-COM
SunSpark Technology	SST-xxxM
Suntech Power	STPxxx-20/Wem
Trina Solar	TSM-xxxDD05A.08(II) TSM-xxxDD05A.18(II) TSM-xxxPE14A/TSM-xxxPD14
Yingli Solar	YLxxxD-36b

每个组件型号 TC 600 测试序列的功率衰减

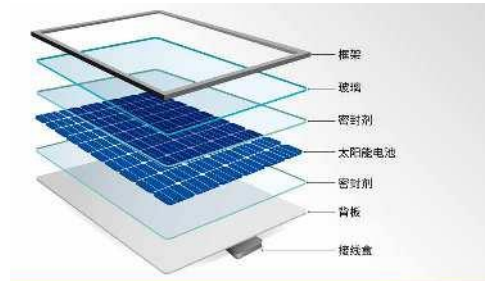


热循环测试结果概述

与之前所发布的计分卡相比，2018 年计分卡的热循环结果显示，TC 600 性能有所提升。性能衰减中间值为 -1.0%，表现最糟糕者的性能衰减测量结果为 -8.8%。在 2017 年计分卡中，该中间值为 -1.9%，表现最糟糕者性能为完全失效且未测量到任何功率输出。

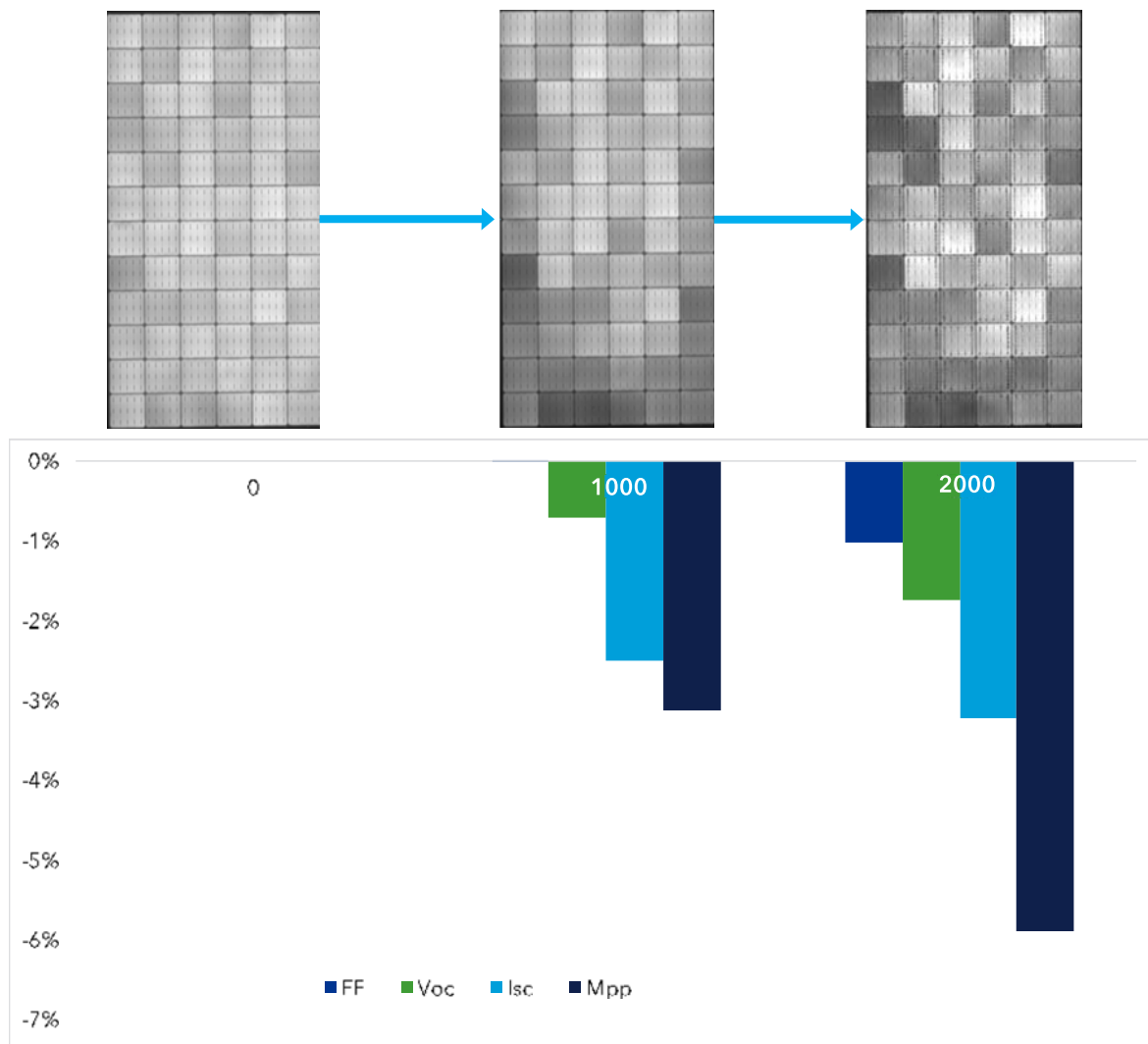
湿热概览与结果

湿热 (DH) 测试序列在高温高湿度条件下进行, 以评估组件结构, 如叠片结构和材料质量。虽然世界上许多区域经常出现高温/高湿度情况, 但是湿热测试序列可有效发现与长期暴露在外相关的性能衰减和失效模式, 即便在温和气候条件下。



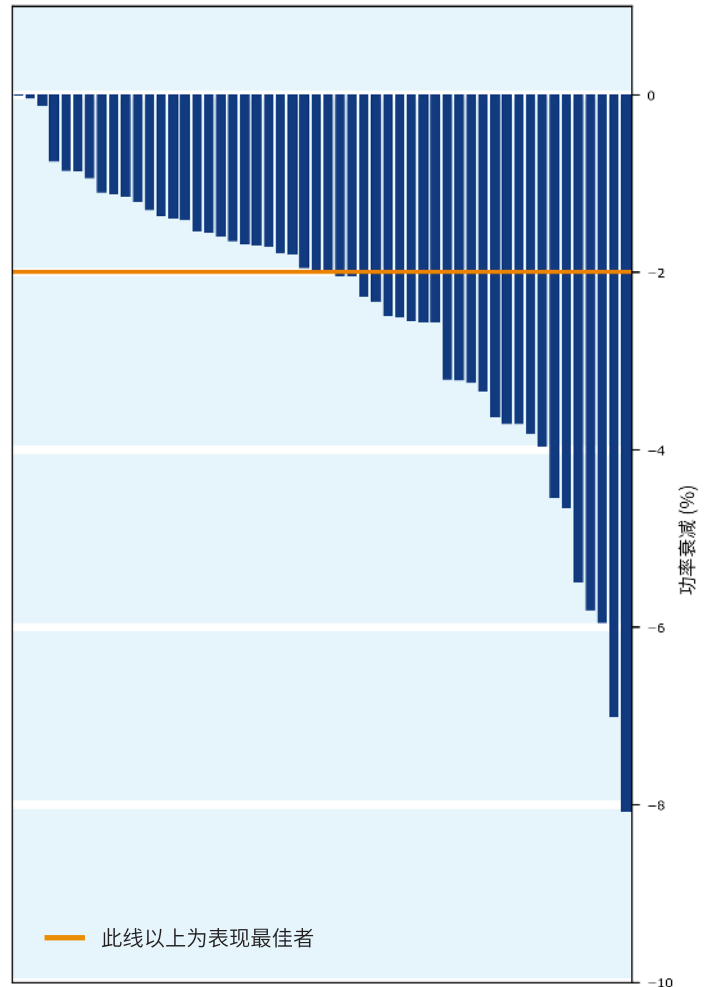
右侧所示为典型晶体硅光伏组件中的各层结构。这些层在现场需要保持牢固粘合长达数十年。

按照 IEC 61215 标准的湿热测试中, 组件被保持在恒温 85°C 和相对湿度 85% 条件下 1,000 小时 (约 42 天)。湿气侵入会给组件的粘合接口施加压力。DNV GL 已执行过数百次不同时间的湿热测试, 以评估组件在这些不同持续时间下的恢复能力。DNV GL 发现, 时长 2,000 个小时 (PQP 中所用测试时长) 的湿热测试可有效区分最佳性能与平均性能。



2018 年表现最佳者	
制造商	组件型号
Astronergy Solar	CHSM6612M/HV-xxx CHSM6612P/HV-xxx
BYD	BYDxxxP6C-36 BYDxxxP6K-36
Flex	FXS-xxxBB-SAB1W FXS-xxxBC-SAD1W
GCL Solar Energy	GCL-P6/72xxx
Hanwha Q CELLS	Q.PLUS BFR-G4.1 xxx
HT-SAAE	HT60-156P-xxx HT72-156P-xxx
Jinko Solar	JKMSxxxPP-60 JKMxxxPP-72 JKMxxxPP-72-V
LONGi Solar Technology	LR6-60PB-xxxM LR6-72PH-xxxM
Neo Solar Power (NSP)	D6PxxxE3A
REC Solar	RECxxxTP2
SunPower	SPR-P19-xxx-COM
Suntech Power	STPxxx-20/Wem
Trina Solar	TSM-xxxDD05A.18(II) TSM-xxxDD14A.18(II) TSM-xxxPD14 TSM-xxxPE14A
Yingli Solar	YLxxxD-36b

每个组件型号 DH 2000 测试序列的功率衰减



湿热测试结果概述

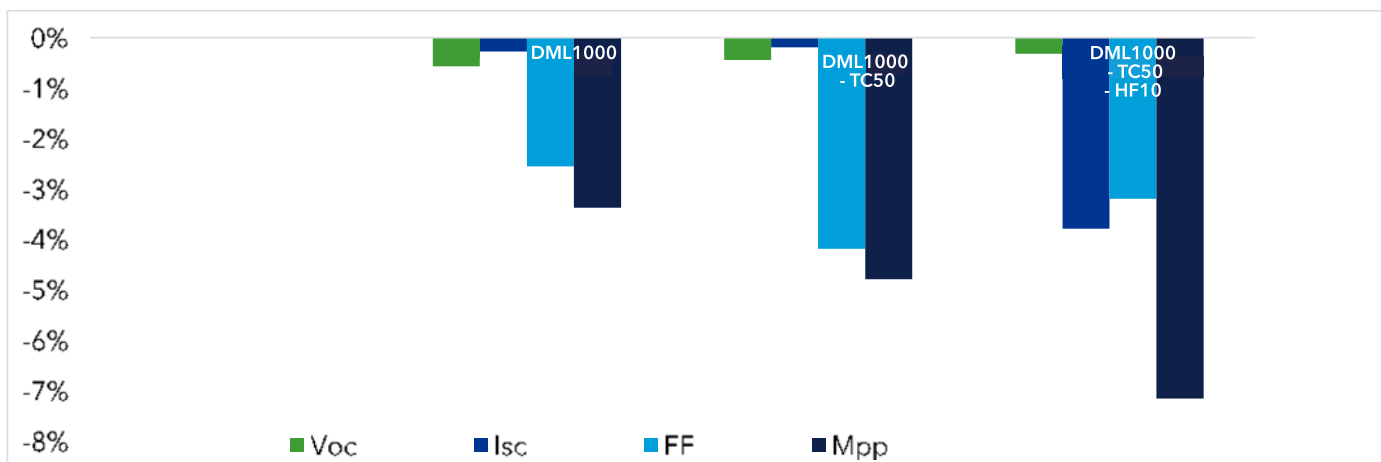
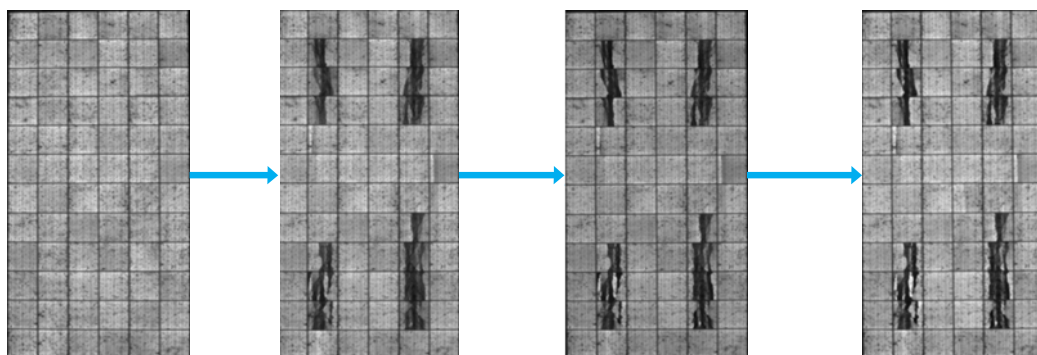
2018 年计分卡中 2,000 个小时湿热测试的结果显示,性能衰减高于历年计分卡中的性能衰减。今年测得的中间值为 -2.0%, 而 2014 年和 2017 年的中间值均为 -0.9%。2017 年湿热测试显示的最大性能衰减为 -5.5%, 而 2018 年该值为 -8.1%。

机械载荷 + 热循环 + 湿冷冻 测试概览与结果

动态机械载荷 (DML) 测试序列可评估组件耐受周期性机械偏转的能力, 周期性机械偏转在测试中充当风荷载和雪荷载的加速替代载荷。顺序机械载荷、热压力和湿气侵入会导致因焊接接头疲劳、微裂纹产生和扩展以及电池腐蚀引起的性能损失。

在 DML 测试序列中, 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。测试过程中, DNV GL 对组件的电路和流向组件框架的漏电流的持续性进行监控。在中期表征后, 组件在实验室中进行 50 次热循环压力处理, 之后再经过 10 次湿冷冻循环来完全达到潜在功率损失。2018 年的 PQP 将湿冷冻循环从一组 10 次循环扩展为三组 10 次循环。

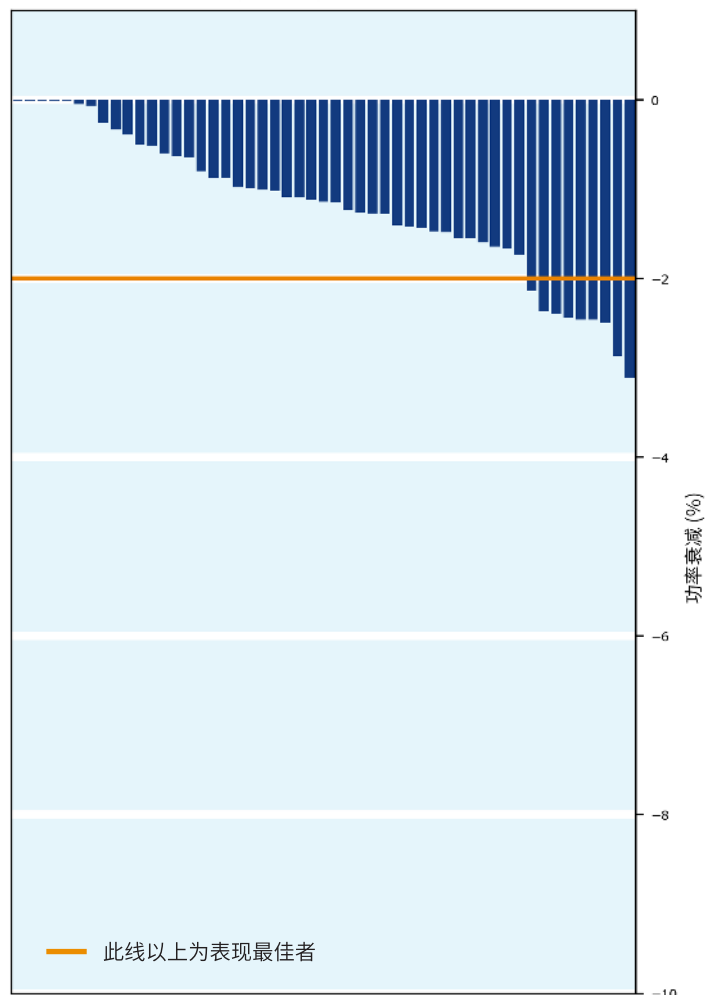
DML 测试可详细检查光伏组件的各个方面, 包括设计特点 (如框架尺寸)、材料选择 (如边缘密封) 以及电池互连和侵蚀方面的制造控制。



2018 年表现最佳者

制造商	组件型号
Adani (Mundra Solar)	ASP-7-xxx
Astronergy Solar	CHSM6612M/HV-xxx CHSM6612P/HV-xxx
BYD	BYDxxxP6C-36 BYDxxxP6K-36
First Solar	FS-4115-3
Flex	FXS-xxxBB-SBD1W/FXS-xxxBC-SBD1W FXS-xxxBC-SAD1W
GCL	GCL-P6/72xxx
Hanwha Q Cells	Q.PLUS BFR-G4.1 xxx
HT-SAAE	HT72-156P-xxx
JA Solar	JAM6(K)(ZEP)-60-xxx/PR JAP72S01-xxx/SC
Jinko Solar	JKMxxxM-60B JKMxxxM-72/JKMxxxM-72-V JKMxxxPP-72 JKMxxxPP-72-V
LG Electronics	LGxxxS2W-A5
LONGi Solar Technology	LR6-60PB-xxxM LR6-72PH-xxxM
Neo Solar Power (NSP)	D6PxxxE3A
Panasonic	VBHNxxxSA16
REC Solar	RECxxxTP2
Solaria	PowerXT-xxxU-WM
SunPower	SPR-P19-xxx-COM
SunSpark Technology	SST-xxxM
Suntech Power	STPxxx-20/Wem
Trina Solar	TSM-xxxDD05A.08(II) TSM-xxxDD05A.18(II) TSM-xxxDD14A.18(II) TSM-xxxPD14 TSM-xxxPE14A
Yingli Solar	YLxxxD-36b

每个组件型号 DML 测试序列的功率衰减



动态机械载荷测试结果概述

与历年计分卡中的结果相比，2018 年计分卡中的 DML 测试结果有所改善。2018 年的中间值和最末结果分别为 -1.1% 和 -3.1%，2017 年这两个值分别为 -1.2% 和 -11%，2016 年为 -1.6% 和 -7.3%，2014 年为 -0.5% 和 -6.3%。

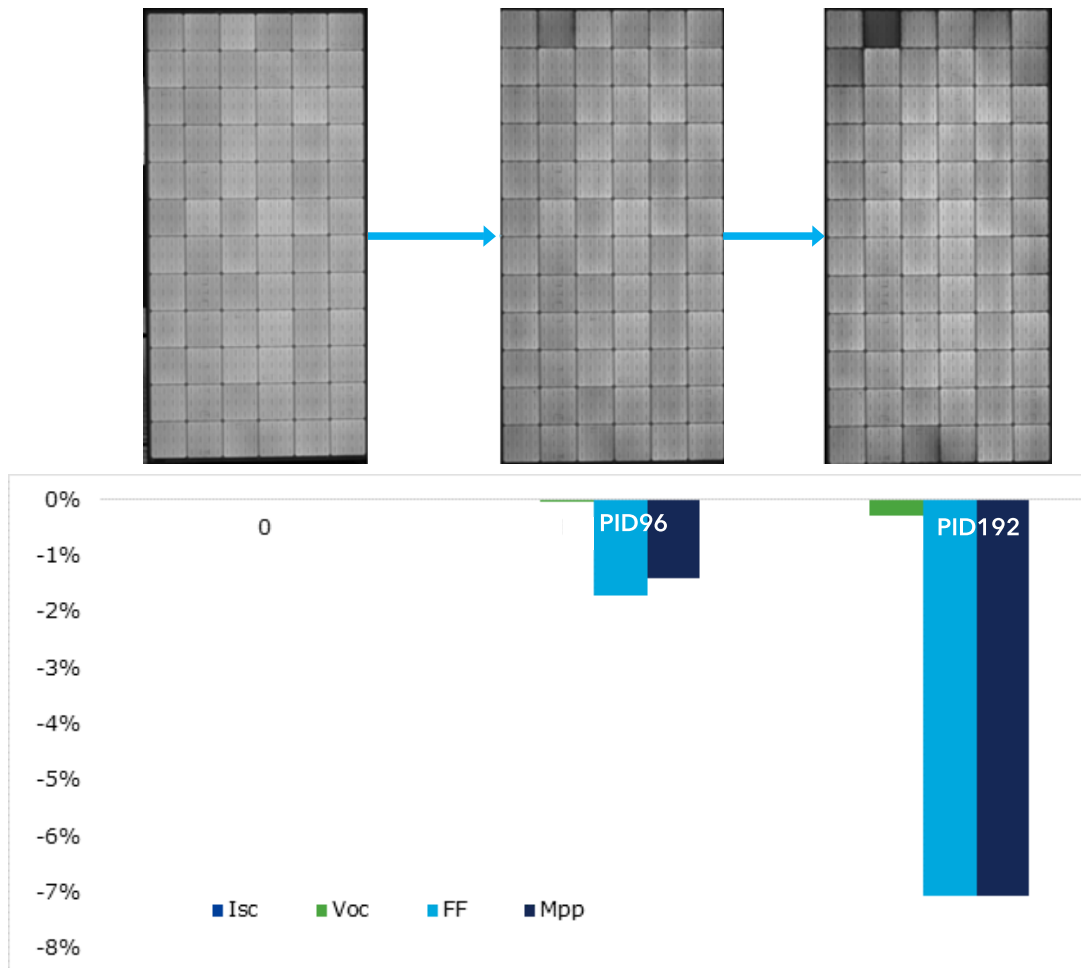
电位诱导衰减概览与结果

电位诱导衰减 (PID) 是在经常性利用高系统电压和未接地系统时出现的一种可靠性问题。尽管 PID 具有不同的失效机制, 但是相对于地面负向偏置或正向偏置的内部光伏电路才是导致其出现的原因。晶体硅主要受电池内离子运动的分流影响。¹

在测试中, 在温度 85°C 和相对湿度 85% 的条件下施加相当于组件系统额定电压的电压偏置 (-1 kV 或 -1.5 kV), 施加两次, 持续 96 小时。此加速环境提供了评估与漏电电流增加相关的性能衰减所必需的温度、湿气和电压偏置条件。

值得注意的是, PID 机制有可逆的和不可逆之分。电化学腐蚀和一些钠离子造成的 PN 结损伤被广泛认为是不可逆的, 而由于静电荷在电池表面发生积累产生的 PID, 亦称为极化, 则是可逆的。

在系统内可在多个不同层面对 PID 测试进行管理。某些系统接地配置或分散的电子设备可能不需要抗 PID 的组件。出于此原因, DNV GL 建议在选择抗 PID 或不抗 PID 的组件前, 先对光伏组件的预期用途进行评估。

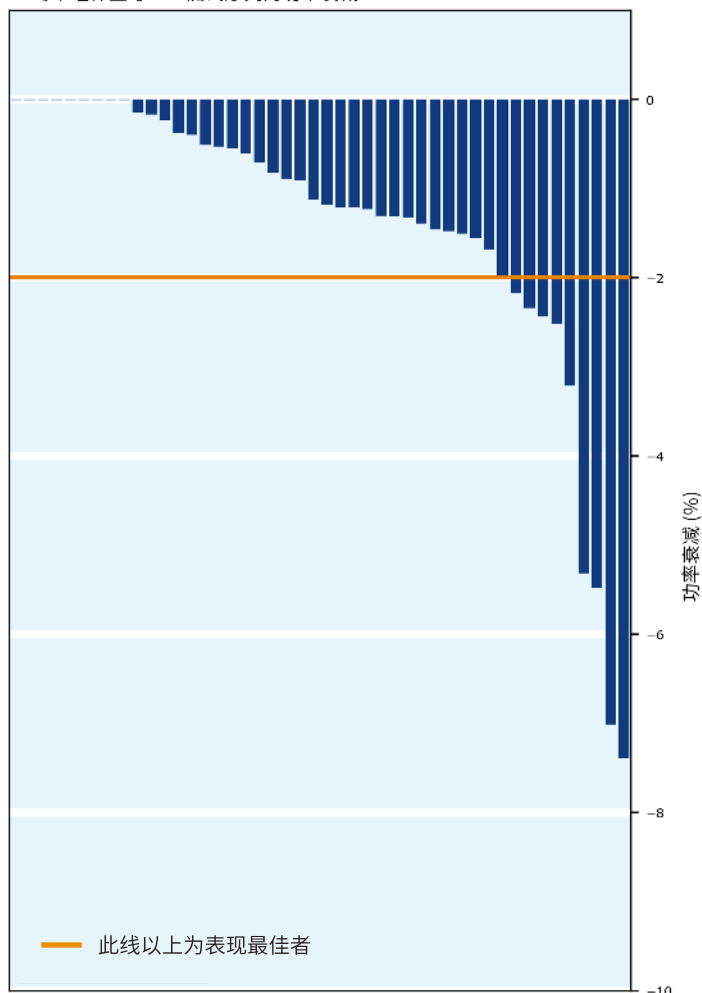


¹Naumann, V. et al. (2013), The role of stacking faults for the formation of shunts during potential induced degradation of crystalline Si solar cells. Phys. Status Solidi RRL, 7: 315-318.

2018 年表现最佳者

制造商	组件型号
Adani (Mundra Solar)	ASP-7-xxx
Astronergy Solar	CHSM6612P/HV-xxx
BYD	BYDxxxP6K-36
First Solar	FS-4115-3
Flex	FXS-xxxBB-SBD1W FXS-xxxBC-SAD1W FXS-xxxBC-SBD1W
GCL	GCL-P6/72xxx
Hanwha Q CELLS	Q.PEAK-G4.1 xxx
HT-SAAE	HT60-156P-xxx HT72-156P-xxx
JA Solar	JAM6(K)(ZEP)-60-xxx/PR JAM60S02-xxx/PR
Jinko Solar	JKMxxxM-60B JKMxxxPP-72 JKMxxxPP-72-V/JKMxxxPP-60/ JKMSxxxPP-60/JKMSxxxPP-72
LG Electronics	LGxxxS2W-A5
LONGi Solar Technology	LR6-60PB-xxxM LR6-72PH-xxxM
Panasonic	VBHNxxxSA16
Phono Solar	PSxxxP-24/T
REC Solar	RECxxxTP2
SunPower	SPR-P19-xxx-COM
SunSpark Technology	SST-xxxM
Suntech Power	STPxxx-20/Wem
Trina Solar	TSM-xxxDD05A.08(II) TSM-xxxPE14A/TSM-xxxPD14
Yingli Solar	YLxxxD-36b YLxxxP-35b

每个组件型号 PID 测试序列的功率衰减



电位诱导衰减 (PID) 测试结果概述

与往年相比，2018 年计分卡中 PID 测试的结果有显著提升。2018 年，PID 测试结果的中间值为 -1.2%，而在 2017、2016 和 2014 年，该值分别为 -0.4%、-2.7% 和 -18.4%。今年的表现最糟糕者 (-7.4%) 与 2017 (-92.2%)、2016 (-58.3%) 和 2014 (-100%) 年相比也能证明今年 PID 性能的显著提高。值得注意的是，部分组件型号并不称得上抗 PID。

案例研究:PID 性能

BOM 非常重要。

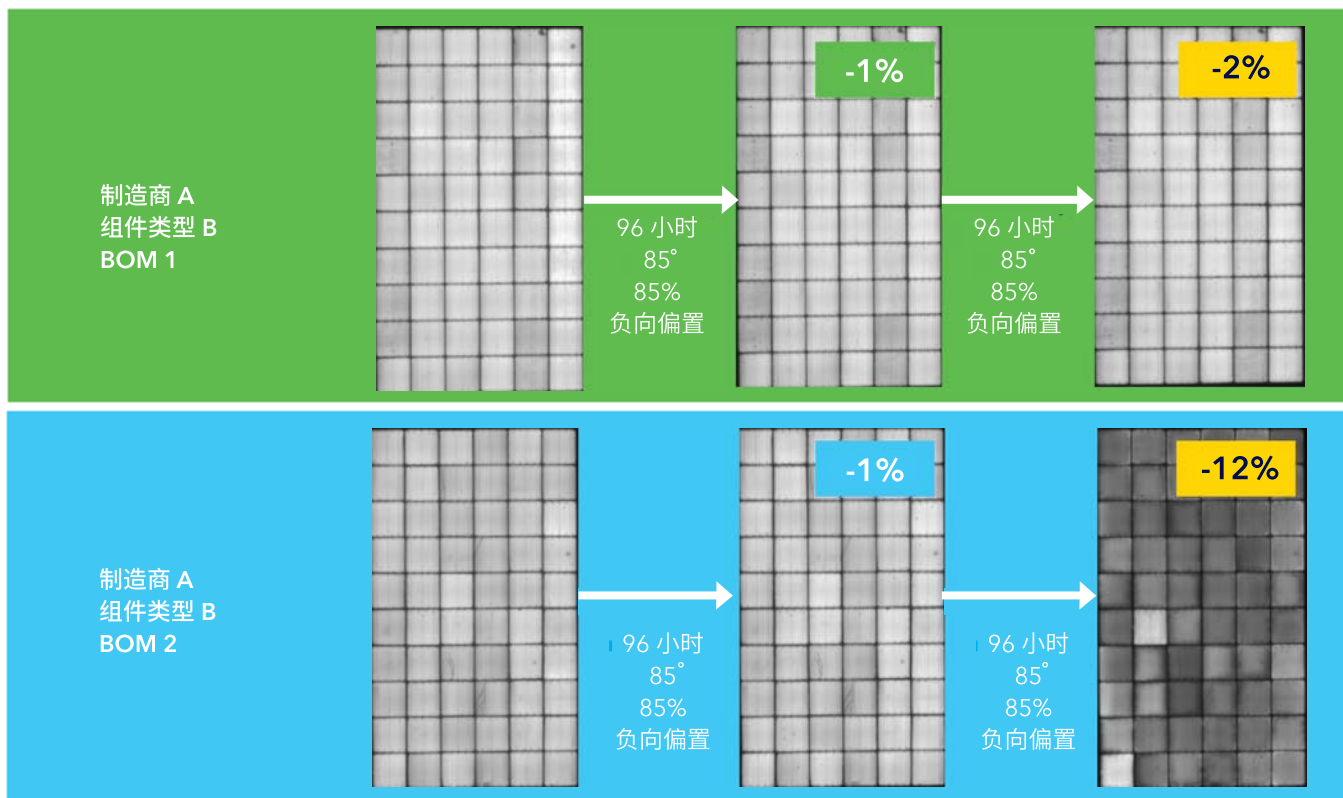
随着制造商多元化发展他们的供应链以及开发商进入新兴市场, 经过指导的 BOM 选择和决策成为确保光伏电厂可靠性的基石。

BOM 如何发挥重要作用。

此 PID 案例研究通过深入探索 DNV GL 的扩展式 PID 测试序列如何预防会带来严重不良后果的 BOM 选择, 重点强调 BOM 的重要性。

即便更改一种材料都会产生巨大冲击。

这里的两个光伏组件样品均产自同一家公司, 标有相同的型号, 并且除了一个组分——密封剂之外, 它们完全相同。



同一制造商。同一组件型号。不同性能。

发现的结果。

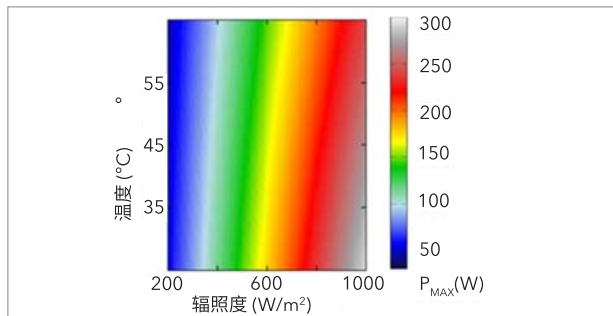
选择密封剂是可用于缓解 PID 的方法之一。密封剂具有高体积电阻率, 能够隔离内部电路。并非所有的解决方案在制定出来都具有同等作用, 一些解决方案仅仅是为了通过质量鉴定试验而设计。BOM 1 和 BOM 2 的对比就说明了这一点; 两份 BOM 都在相似条件下进行了标准耐久性测试, 但不同的是, BOM 2 在经过 DNV GL 的 PQP 所要求的更长耐久性测试时表现糟糕。

案例研究：性能

PAN 文件是什么？其是如何生成的？

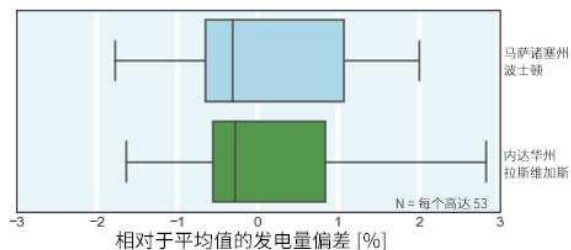
电能预测是促成采购决定项目开发、资本成本和风险缓解的关键因素。对于 PVsyst 软件，扩展名为“.PAN”的文件用来说明光伏组件的性能特征，包括组件对温度和辐照度的反应。

DNV GL 经优化后的 PAN 文件首先描述按照 IEC 61853-1 标准的规定在实验室执行的功率测量，该功率测量可确定组件在一系列辐照度和温度下的功率。此测量数据库是优化 PVsyst 软件所采用的改进后单二极管型号中五个系数的基础。这些测量结果在调整后与制造商的数据表一致，后者管理产品质保服务的合规性。



与默认的仿真相比，优化后的 PAN 文件可对接受测量的组件提供更加准确的性能预测。

基于 PAN 文件测试结果的组件型号预计年发电量分布



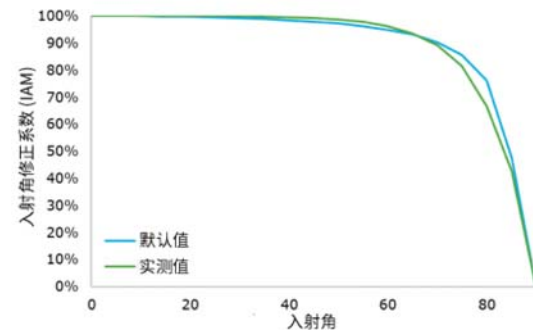
为何其如此重要？

为了更好地展示从优化后的 PAN 文件中获得的组件性能，DNV GL 提供了两个仿真结果，每个结果都附带一份报告，仿真结果使用相同的系统配置，对比了默认 PAN 文件和优化后 PAN 文件之间的性能。如上图所示，当所有其他参数都固定的情况下，组件选择可导致 4% 到 5% 的产量差异。这一差异对光伏项目的价值有巨大影响。

入射角修正系数：反射已定量

地球整天转动，太阳光照射太阳能组件的角度也随之变化。反射损失随照射角度的倾斜度变大而增加。制造商一直专注于通过采用防反射涂层或材质贴图来降低反射损失。若要对这些损失建模，需量化并运用入射角修正系数 (IAM) 曲线。这些结果可用来向制造商的客户或提供或验证制造商的指导。

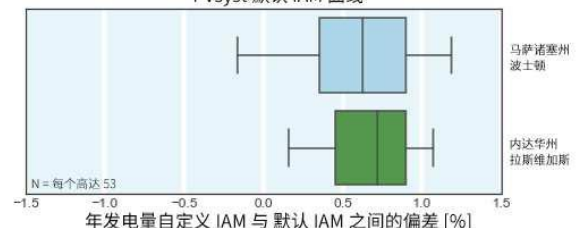
在 PVsyst 软件中，默认 IAM 曲线模型通过采用美国采暖、制冷与空调工程师学会 (ASHRAE) 的模型建成。此模型使用默认参数，可高估非正常入射角产生的反射损失。IAM 曲线基于实验室的表征可对发电量作出更加准确的预测，让能源评估更加清晰明确。



IAM 曲线对模型化生产有怎样的影响？

与 PAN 文件类似，DNV GL 也提供了两个仿真，使用优化后的 IAM 曲线来证明预期发电量。在只改变 IAM 曲线而不改变任何系统设计参数的情况下，这些发电量仿真展示了 IAM 可能的影响。组件的 IAM 曲线表示预测产量存在 1% 到 2% 的差异。与 PAN 文件所显示的产量差异一样，IAM 所体现的差异也会极大地影响光伏项目的估值。

预计年发电量实测自定义 IAM 曲线与 PVsyst 默认 IAM 曲线



结果解释

2018 年计分卡失效分析

在每个测试序列过程中, 在每个测试间隔前后对组件进行表征(例如评估)。在每次表征期间, 在继续推进测试序列前, 按照若干标准对组件安全性和性能进行评估。表征标准包括功率损失不得高于 5%、外观检查失败、绝缘电阻降低(安全性失效) 和零部件缺陷。

对于 2018 年的计分卡, DNV GL 从三个方面评估了组件失效: BOM、组件型号和制造商。

1. BOM

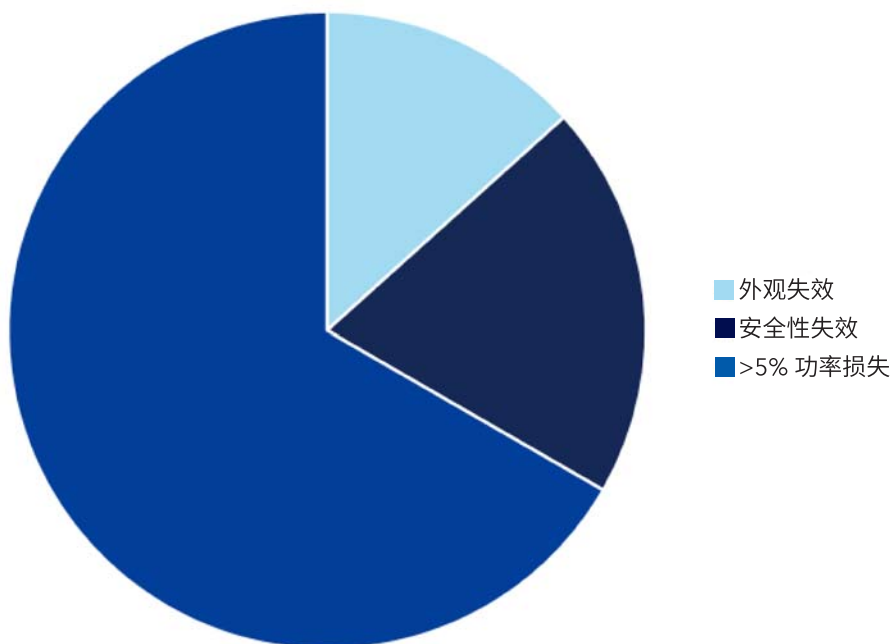
单一的组件型号可具有多个不同的 BOM, 这是由于每个重要零部件更改都有可能改变组件的性能和耐用性。2018 年的测试结果显示, 9% 经过测试的 BOM 不符合至少一项评估标准。

2. 组件型号

从组件型号层面看, 由于首要型号受单个 BOM 失败影响, 失效率有所上升。在 2018 年, 失效率占参与 PQP 测试的型号数量的 12%。

3. 制造商

最后, 评估的最高层面是制造商层面, 在参与过去 18 个月内 PQP 测试的所有制造商中, 有 22% 的制造商至少出现一次组件失效。



上图展示了 2018 年计分卡中所关注的失效类型。它们在间隔表征或最终表征中出现。

结果改进

如前面各页所述，自 2017 年以来，整体测试结果均有所提高。持续关注质量和稳定持续的评估似乎是推动参与 PQP 测试的制造商将性能提升至全新水平的因素。但是，新技术和材料仍然需要通过有细微差别和创新性的测试计划来进行持续不断的评估。因此，在采购光伏组件时了解 BOM 规范以及持续验证光伏组件的耐用性对买家而言非常重要。DNV GL 的 PQP 根据下游合作伙伴的需求积极主动发展，同时在制造流程和材料方面保持技术领先，因此具备这一适应能力。

获取详细报告

如今市场中大多数光伏组件都使用若干种不同的 BOM。光伏组件供应商要保持竞争力并消除对单一供应商零部件的依赖，必须保持 BOM 供应链的灵活性。如果各种物料组合都经过同等测试且/或买家完全知悉所提议的 BOM 及其相关测试结果，那么，使用多家部件供应商就不是大问题。材料和电池都不同的组件、产自不同国家/地区的组件，甚至不同制造商（在合同制造情况下）生产的组件都可以使用同一个产品标签。

为了降低此风险，DNV GL 建议对运送至项目的具体组件的 BOM 和工厂详情（例如，所在地、生产线等）进行了解，并获取有关该具体工厂和正在采购的 BOM 的加速试验结果。相比于单纯依赖供应商的制造能力和声誉来衡量产品质量，这些信息有助于增强对产品质量的把握。

结果对比

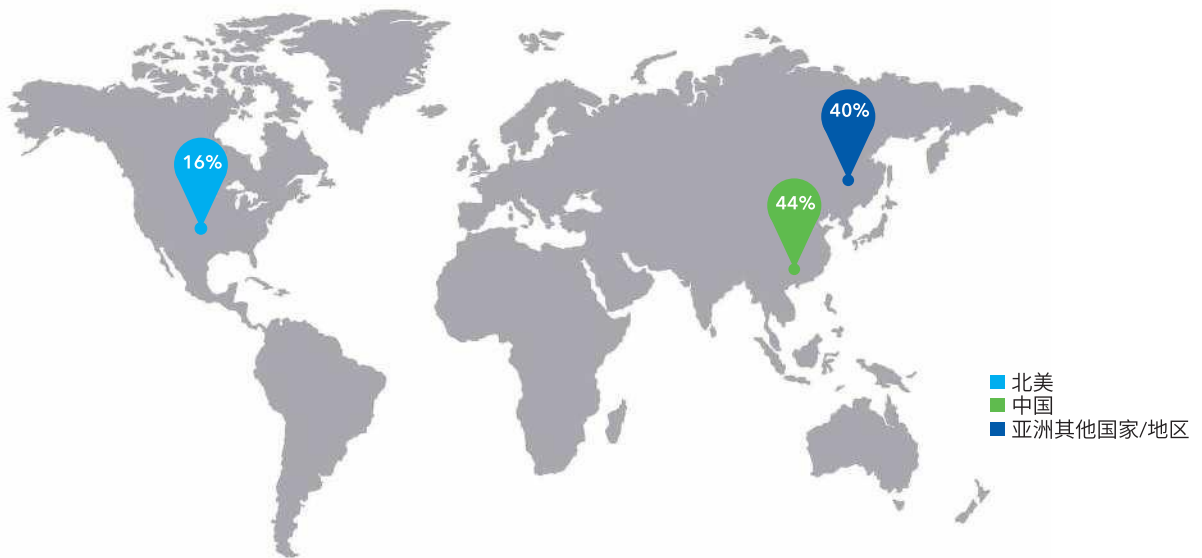
PQP 结果显示的功率衰减基于加速试验，因此，衰减结果不得当作对现场组件的年度功率衰减的直接预测。这些结果只能用作评估光伏组件和相关 BOM 及工厂所在地的一个机制，并作为对组件预期可靠性和长期性能进行定性比较的一个工具。



工厂所在地

组件质量受制造产品时所用的设备、流程和质量控制影响。DNV GL 的 PQP 包括工厂见证，以验证提交用于 PQP 测试的 BOM 和工厂流程。工厂见证结果记录在综合报告中。除了其他可靠性和性能报告，DNV GL 下游合作伙伴还可以获取该见证报告，以便了解 BOM 和生产工厂。

下表所示为 2018 年表现最佳者制造商（按字母顺序排序），后面是生产参与 2018 年计分卡 PQP 测试的组件型号的工厂所在地。右侧图表所示为制造商工厂所在地的所在区域。



制造商	工厂所在地
Adani (Mundra Solar PV Ltd)	印度古吉拉特邦
Astronergy Solar	中国海宁
BYD Co, Ltd	中国上海
First Solar, Inc.	美国俄亥俄州佩里斯堡
Flex Ltd	马来西亚振林山
GCL Solar Energy, Inc.	越南, Song Khe-Noi Hoang Industrial Zone
Hanwha Q CELLS Co., Ltd	马来西亚赛城; 韩国阴城郡
HT-SAAE	土耳其伊斯坦布尔
JA Solar Holdings	中国上海; 中国宁津; 越南, Van Trung Industrial Park
Jinko Solar	中国上饶
LG Electronics Inc.	韩国龟尾市
LONGi Solar Technology Co, Ltd	中国泰州
Neo Solar Power Corp (NSP)	越南, Van Trung Industrial Park
Panasonic	马来西亚居林
Phono Solar Technology Co, Ltd	中国南京
REC Solar	新加坡大士
Solaria Corporation	美国加利福尼亚州费尔蒙市
SunPower Corporation	墨西哥墨西哥卡利
SunSpark Technology Inc	美国加利福尼亚州里弗赛德
Suntech Power	中国无锡
Trina Solar	中国常州; 泰国 Pluakdaeng
Yingli Solar	中国保定

历年的计分卡

虽然产品线和组件型号可能会变化、退役或重新再引入，但是可以根据制造商是否一直当选 DNV GL 光伏组件可靠性计分卡中的表现最佳者来对产品的质量进行评估。

此计分卡展示了 2018 年的表现最佳者以及他们在往年的计分卡中的最佳表现历史记录。计分卡中制造商按字母顺序根据当选表现最佳者的年份排序。

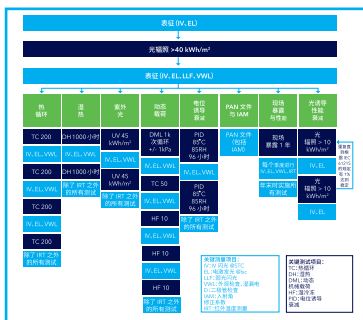


	2018	2017	2016	2014
Jinko Solar	✓	✓	✓	✓
Trina Solar	✓	✓	✓	✓
Yingli Solar	✓	✓	✓	✓
Astronergy Solar	✓	✓		✓
Hanwha Q CELLS Co., Ltd	✓	✓	✓	
JA Solar Holdings	✓		✓	✓
REC Solar	✓	✓	✓	
BYD Co, Ltd	✓	✓		
Flex Ltd	✓	✓		
GCL Solar Energy, Inc	✓	✓		
LONGi Solar Technology Co, Ltd	✓	✓		
Neo Solar Power Corporation (NSP)	✓	✓		
Phono Solar Technology Co, Ltd	✓		✓	
Solaria Corporation	✓	✓		
SunPower Corporation	✓	✓		
SunSpark Technology, Inc	✓	✓		
Suntech Power	✓			✓
Adani (Mundra Solar PV Ltd)	✓			
First Solar, Inc	✓			
HT-SAAE	✓			
LG Electronics, Inc	✓			
Panasonic	✓			

DNV GL 的最佳实践

光伏电站的现实条件各式各样，加速试验无法完全再现。组件在现场不同程度地同时经受着各种压力，计分卡中所述的测试序列可能无法表现出这些压力。实验室测试则受到了很好的控制，而且在某个时刻通常只限于于单一一种压力。实验室观察结果用于评估特定的一套老化机制在试验期间内如何影响组件功率输出。

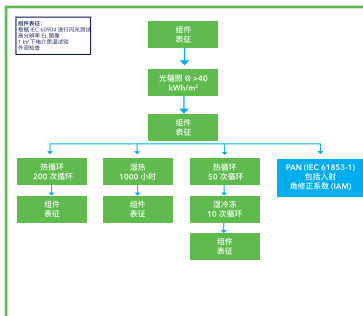
其次，加速试验可用于筛查大宗采购中的光伏组件缺陷。下面的示意图所示为实验室测试的建议流程，其能够最大程度降低光伏电站组件采购、开发和建造以及运行所存在的风险。首次评估某个产品是否能进入组件买家的合格供应商名单时，即出现了资质认证情景 (PQP 范围)。应从生产完成并运送至项目现场的特定批次组件中抽取样品进行统计批量测试或系列缺陷筛查 (通常采用 IEC 规范)。应对组件进行长期现场暴露试验来向买家和供应商提供组件在真实环境中的性能信息。



您是否信任产品?

生产之前: 产品认证程序

1. 评估工厂
2. 参考 DNV GL 的扩展可靠性和性能报告



您是否信任流程?

生产期间: 统计批量测试

1. 验证 BOM 资质
2. 在项目产品生产期间的工厂监造
3. 从为项目所生产的每批次产品中抽取样品进行测试



您是否已验证过长期性能?

持续进行: 现场测试

1. 量化运营容量
2. 监控并检查系统的健康状况
3. 使用先进的分析技术分析系统性能



结论

产品认证程序明确组件质量

若要获得组件的全生命周期现场性能数据，组件至少需要运行 20 年。当质保索赔可用且适用时，组件质保索赔通常仅在组件出现极度性能不佳的情况或肉眼可看见的缺陷时才予以执行。除此之外，大多数组件质保只涵盖组件更换成本，而不包括相关人工成本。

DNV GL 的光伏组件产品认证程序结合项目层面的统计批量测试和现场测试，可为全球市场提供必要的分析技术和尽职调查，确保所采购的产品在整个项目生命周期都经过严格的质量检验。

PQP 测试结果说明了不同供应商、组件、BOM 和工厂如何通过针对在现场遇到的失效机制的一组受控加速试验序列互相进行比较。

计分卡为行业提供指导

光伏组件可靠性计分卡已公开发布四年，一直在光伏组件可靠性和性能方面提供主要指导。通过对供应商和组件型号进行针对性的表现分析，计分卡可以帮助投资者和开发商制定以质量为保障的采购策略，从而保证项目长期可行性。

DNV GL 通常建议选择组件性能衰减水平较低的供应商，因为这样做有助于提高项目获得技术成功和财务成功的可能性。但是，对组件性能衰减水平的评估应当基于针对具体组件型号、BOM 和组件生产工厂所在地所进行的 PQP 测试的结果。DNV GL 可按要求提供这方面的详细信息，并以此方式来为下游利益相关者提供支持。

DNV GL 是您值得信赖的合作伙伴

DNV GL 是世界上最大的独立能源和可再生能源咨询公司，拥有 1,000 多名遍布全球的可再生能源专家。DNV GL 的能源实验室服务团队提供卓越的市场服务和专业知识来帮助制造商生产品质更佳的产品，协助买家作出明智的采购决策，并提供有关市场和供应商在光伏技术方面趋势的信息。

如您有意愿成为 DNV GL 的下游合作伙伴或参与 PQP 测试的制造商，请联系我们。



对于在全球太阳能行业中大量使用的光伏组件，其每一件经过改造的主要产品都应当经过严格的可靠性和性能测试，这样我们才能确保它们的安全性，防止潜在缺陷破坏投资目标，并且在大体上坚持我们对太阳能发电基础设施日益增长的依赖。



- Jonathan Previtali, Wells Fargo (美国最大的可再生能源投资人之一，对太阳能和风能项目的投资超过 50 亿美元) 的科技与技术服务总监



重要通知和免责声明

本文件（“本报告”）由 DNV GL 旗下的 PVEL LLC（“DNV GL”）实验室基于与其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，无论 DNV GL 还是其任何关联公司（“集团”）都不承担因使用本报告而引发的任何合同责任、民事侵权或其他形式的责任。本文件是一份概要，必须整体阅读，并受其中提及的任何假设及资格条件的约束。本报告可能包含有详细的、预期仅供在相关主题领域拥有必要的专门知识的人员使用的技术数据。本报告中没有任何内容会向集团以外任何实体授予任何利益，且使用本文件相关的风险应由用户独自承担。DNV GL 商标由 DNV GL AS 所有。本文件受版权保护。

SAFER, SMARTER, GREENER

DNV GL - 能源

上海市虹桥路 1591 号虹桥迎宾馆 DNV GL 9 号楼

电话: +86 21 32799000

电子邮件地址: contact.energy@dnvgl.com

www.dnvgl.com/cn/energy

关于DNV GL

DNV GL 是一家全球性的质量保障和风险管理公司。在秉承捍卫生命与财产安全、保护环境的宗旨下, 我们推动客户业务的安全和可持续发展。我们为海事、石油天然气和可再生能源行业提供入级、技术保障、软件和独立的专家咨询服务。我们也为各行业的客户提供认证、供应链和数据管理服务。DNV GL 如今在 100 多个国家运营, 我们的专家致力于服务广大客户, 共同打造一个更安全、更智能和更绿色的未来。

在电力和可再生能源行业

DNV GL 为能源价值链提供世界知名的测试和咨询服务, 包括可再生能源和能源效率。我们的专业服务涵盖陆上和海上风电、太阳能、常规发电、输配电、智能电网和可持续能源的使用, 以及能源市场和规范。我们的业务专家为全球客户提供安全, 可靠, 高效, 可持续的能源供应。