光伏组件质量认证与可靠性评价研究

姜 卫
江苏辉伦太阳能科技有限公司国机新能源研究院，江苏 南京 210061

[摘要]光伏组件质量认证体系是以 IEC 61215 和 IEC 61730 为基本框架的，但是单一的准入型认证不能很好地体现组件在复杂的户外环境中长期可靠性存在的差别。文中对从基础认证到加严测试、差异化评价的发展过程进行了梳理，对 Kiwa PVEL 记分卡、TÜV“质量控制光伏”等超越标准的评价实践进行了分析，并对实验室加速测试和户外实证之间的互补性进行了论述。质量认证可以解决是否合格的准入门槛问题，可靠性评价可以回答能否长久使用、在什么场景下更可靠的问题，二者由分开走向整合，场景化全生命周期可靠性评估是发展趋势。目前的主要矛盾就是标准更新速度跟不上技术的更新速度，实验室测试和真实的失效模式之间还存在着一定的映射偏差。

[关键词]光伏组件；质量认证；可靠性评价
DOI：10.33142/hst.v9i9.20640　　中图分类号：TM315.3　　文献标识码：A

Research on Quality Certification and Reliability Evaluation of Photovoltaic Modules

JIANG Wei
State Machinery New Energy Research Institute of Jiangsu Huilun Solar Energy Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210061, China

Abstract: The quality certification system for photovoltaic modules is based on the basic framework of IEC 61215 and IEC 61730, but a single admission type certification cannot effectively reflect the differences in long-term reliability of modules in complex outdoor environments. The article summarizes the development process from basic certification to stricter testing and differentiated evaluation, analyzes the evaluation practices that exceed standards such as Kiwa PVEL scorecard and TÜV's "Quality Control Photovoltaic", and discusses the complementarity between laboratory accelerated testing and outdoor empirical testing. Quality certification can solve the entry threshold problem of whether it is qualified, while reliability evaluation can answer the questions of whether it can be used for a long time and under what scenarios it is more reliable. They are moving from separation to integration, and scenario based full life cycle reliability evaluation is the development trend. The main contradiction at present is that the standard update speed cannot keep up with the technology update speed, and there is still a certain mapping deviation between laboratory testing and real failure modes.

Keywords: photovoltaic modules; quality certification; reliability evaluation

引言

全球光伏组件产能高度集中在中国，技术和产能的优势和标准的话语权之间还存在着差距。因此质量认证、可靠性评价就成为了产业由“规模扩张”向“质量可信”转变的两个重要支撑点。认证以 IEC 61215、IEC 61730 为主，对产品的进入市场设置安全、设计定型的准入门槛；可靠性评价也试图回答更加复杂的问题，即组件在 25 年甚至更长时间的服役期内，在不同的气候条件下，能否保持预期的功率输出。两者逻辑起点不同，但是产业实践中却越来越交叉。本文主要研究质量认证、可靠性评价的功能边界以及两者之间的互补关系，分析实验室数据和户外失效之间的差异。

1 光伏组件质量认证体系的功能与局限

1.1 基础认证框架：IEC 61215 与 IEC 61730

IEC 61215 对晶体硅光伏组件的设计鉴定和定型做出了规定，用热循环、湿热、紫外预处理、机械载荷等加速应力试验来检验组件在长期户外暴露中是否合格。IEC 61730 主要对安全鉴定进行研究，包括防火、电气绝缘和机械安全。这两套标准就是全球光伏贸易的技术通行证，它所具有的历史价值就在于把光伏组件从无序评价的语言中拉出，纳入到可以比较、可以复现的工程规范中来。但是基础认证的本质是准入型最低门槛，不是性能分级工具。IEC 61215 表示组件有资格进入户外，但是并不意味着它在某一气候条件下表现得好。美国能源部下属实验室

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

早期的研究就表明，IEC 61215 鉴定测试所鉴定出的组件设计是德国表现良好的，对于印度等高温高湿环境的适用性不明。该缺陷不是标准制定者的失误造成的，而是准入逻辑的必然结果，标准要宽泛到能涵盖全世界的贸易，就不能够用太严格来区分不同场景的应用。

1.2 认证实践的分化：从标准符合到加严评价

因此就形成了认证实践的层次分化。TÜV 莱茵的质量控制光伏认证在 IEC 61730 安全认证的基础上增加了基于 IEC TS 63209-1 的扩展应力测试，对量产批次实行月度抽检和材料供应商监控。Kiwa PVEL 产品认证计划更进一步，用物料清单来测试，因为“同样的型号的组件可以用不同的 BOM 来生产”，而行业常规认证测试的严格程度不能发现这些差异。2025 年记分卡显示，83%的组件制造商、59%的 BOM 至少有一次测试失效，比 2024 年的 66%和 41%有明显上升，一方面说明测试覆盖面在扩大，另一方面也表明基础认证和实际可靠性之间存在信息缺口是系统性的。中国机构也正在进行类似的尝试。中国质量认证中心颁发的晶体硅组件高性能认证，是在 IEC 合格线之上建立一个更高维度的性能评价坐标。这些实践的共同指向就是认证体系由原来的只看是否合格的单一评价，变成合格之上，谁更可靠的多层评价。

2 可靠性评价的方法论演进

2.1 加速应力测试的失效模式锚定原则

可靠性评价的方法论基础是加速应力试验，而加速试验的合法性是以一个严格条件为前提的，即测试过程中产生的退化必须和户外观测到的失效模式一致。美国能源部研究材料中给出了晶体硅组件典型的现场失效清单，即互连条断裂、电池裂纹、腐蚀、分层、封装材料变色、焊点失效、玻璃破裂、热斑、旁路二极管故障、电位诱导衰减等。每一项加速试验的设计都应该对应一种或者几种失效模式，而不能简单地增加一些更加恶劣的条件。热循环对应温度交变引起的焊点疲劳和互连断裂，湿热对应封装水解和金属腐蚀，紫外暴露对应封装和背板的老化脆化。该原则就是把有意义的加严测试和盲目的条件堆积区分开来。这一原则的含义就是测试设计者要先回答“我要复现哪一类户外失效”，然后根据答案来确定应力类型、量级和序列，而不是从现有的测试序列中进行线性外推。美国能源部材料认为，加速测试引起的退化必须是和户外相同的失效机理，只有这样才具有外推到寿命预测的资格。反观 IEC 基础认证，由于受到测试成本和周期的限制，它的应力水平和持续时间都是受测试所限定的，设计目的是筛除早期失效而不是复现磨损型退化。因此，锚定原则既是加严测试合法性的依据，又是决定某项测试是否具有可靠性评价资格的第一道门槛。

2.2 从单一应力到复合应力：测试逻辑的转变

早期的可靠性试验把应力因素单独考虑，热循环只做热循环，湿热只做湿热。但是户外失效很少是由单一因素引起的。电位诱导衰减在单一湿热条件下不一定出现，必须有温度、湿度和偏压的共同影响；组件在机械载荷之后出现的隐裂，在之后的热循环中才会发展成互连失效[1]。最近的研究开始对复合应力序列进行研究。一项对 P 型 PERC 和 N 型 TOPCon 组件进行的对比试验发现，在单项测试中 P 型组件功率衰减最高达到 3.9%，N 型组件功率衰减最高达到 3.5%；在复合式测试中 P 型组件功率衰减为 3.4%，N 型组件功率衰减为 1.9%。复合条件不是单项劣化简单叠加的结果，封装材料在不同的应力序列下退化路径是相互影响的。傅里叶变换红外光谱分析显示，在湿热和紫外联合作用下，EVA 和 EPE 封装材料的羰基、过氧化物特征峰变化模式不同，材料层面的化学退化是造成组件功率衰减的主要原因之一。

2.3 实验室加速与户外实证的互补逻辑

加速测试具有固有的不足之处，它只是对户外应力的一种简化和加速，并不是复现。实验室可以控制单一变量、缩短时间尺度，但是不能完全模拟真实气候中温度波动模式、辐照光谱变化、风载和积雪的非规则叠加。户外实证基地的价值不是取代实验室，而是给真实失效提供暴露环境，在综合应力下。国检集团在吐鲁番干热、漠河极寒、海南湿热等气候区建立的实证体系，隆基 BC 组件在吐鲁番 8 个月实证中得到的单瓦发电量增益约 4%，能效保持率 93%的数据，就是该逻辑的实践。实验室回答的是在给定应力下是否退化，户外实证回答的是在真实场景中退化多少。两者一起形成可靠性评价的证据链两端，缺一不可。户外实证不是实验室结论的被动接受场，它还具有把实验室发现的新失效模式反馈给实验室的功能。国检集团技术负责人认为，只有真实的气候，才能暴露单一实验室环境下不能重现的失效模式。这一判断表明，实证基地的价值不单是积累发电量数据，更是把户外新发现的退化路径变成实验室测试条件修订的参照，进而形成一个从实验室提出假设、到户外检验假设、再到户外发现异常、最后回到实验室修改方法的循环。缺少这个反馈环节[2]，加速测试的应力设计就可能会一直停留在已有的认知框架里，不能够涵盖技术更新过程中出现的新失效机理。

2.4 数据驱动方法对传统评价框架的补充

随着运行数据量变大，机器学习和统计方法也进入了

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

可靠性评价当中。长期运行数据可以识别出热循环、光致衰减、湿气侵入和机械应力等机制在不同的气候区所起的作用的权重差别，红外热成像和电流-电压曲线跟踪给缺陷检测提供了一种非破坏性的方法。该类方法不事先规定失效机制，从数据中发现退化模式，可以发现标准加速测试未涵盖的失效途径，但是数据质量受传感器可靠性和标注准确性影响，模型的可解释性还存在工程决策中的问题。目前阶段，数据驱动的方法可以当作传统测试的筛查和预警的补充，并不能代替。

3 认证与可靠性评价的衔接机制

3.1 标准体系的层级关系：准入、分级与场景化

目前光伏组件评价体系已经形成了三个层次。第一层为准入认证，以 IEC 61215、61730 为基础来解决贸易流通的基本资格问题。第二层为性能分级，以 CQC 高性能认证、TÜV 质量控制光伏认证、PVEL 记分卡为代表，在合格产品中区分可靠性的好坏。第三层是场景化评价，根据沙漠、沿海、屋顶、极寒等不同的环境，制定出相应的评价标准。CQC 与隆基签订的联合开发协议就表明其已经明确了这一目标，即共同创建起一个差异化全生命周期可靠性评价体系，并对不同的应用场景做出相应的评价标准。这三个层次不是互相取代的，而是一条由粗到细的信息粒度。准入层回答能不能卖，分级层回答好不好，场景层回答在哪用更合适。

3.2 物料清单级评价的必要性

一个被行业长期忽略的事实就是，同一种型号铭牌的组件可以由不同的电池片供应商、封装胶膜、背板、接线盒、边框等组合而成。IEC 基础认证只对送样样品进行设计定型，不能保证后续量产物料的稳定性[3]。PVEL 的 BOM 级测试逻辑就是对上述问题的回答，可靠性差异很大一部分是由物料组合造成的，而不是由电池技术本身决定的。TÜV 的“质量控制光伏”把供应商和材料监控作为认证的一部分。这就意味着认证和可靠性评价的衔接点已经从型号下移到了物料清单上，评价的颗粒度要和供应链实际变异程度相适应。

3.3 首年衰减承诺与实验室评价的脱节问题

首年功率衰减承诺和验证之间存在明显的脱节现象，部分技术路线声称首年衰减≤1%，但是户外实证结果表明实际值常常超过承诺值，最高可以达到 4%。现行 IEC 标准重视长期可靠性和安全性，没有和首年衰减建立直接对应关系；中国光伏行业协会于 2025 年立项制定相关的测试和评价方法。该案例说明认证体系和可靠性评价之间不是自动完成的，要根据具体的性能指标来制定专门的规程。首年衰减直接影响产品的价值和质保的诚信，基础认证不能覆盖这个方面。

4 当前评价体系的不足与改进方向

4.1 标准更新滞后与技术迭代的张力

N 型 TOPCon、HJT、BC 等电池技术在近几年内实现了产业化导入，封装材料也由 EVA 向 POE/EPE 迁移，但是 IEC 61215 的修订周期远远大于技术更新的速度。2014 年的一份文献就表明，当时的加速测试主要是根据 P 型多晶、单晶组件的历史失效数据来进行的，对于新型电池结构的适用性还需要重新验证。十年以后，该问题仍然存在，但是对象从 PERC 变成了 TOPCon 和 BC。标准滞后不是随机的，它是个体化、技术发展速度与技术标准化之间的矛盾结构。缓解之道不是加快标准修订的速度（这样会降低标准的稳定性），而是建立标准之外的快速评价渠道，比如 PVEL 记分卡用年度为周期更新测试结果，给正式标准之间提供信息补充。

4.2 实验室失效与户外失效的映射偏差

加速测试的效度是由一个隐含假设所决定的，即测试中出现的失效机理和户外主导失效机理是一致的，但是这一假设在很多情况下是不成立的。电位诱导衰减没有包含在 IEC 61215 的原始版本中，因为实验室测试条件没有施加系统电压偏置，而户外组串中的对地电压就是 PID 的直接诱因。类似地，组件在运输和安装过程中产生的隐裂，在实验室机械载荷测试中不一定完全再现出来，但是在户外风载和热循环的共同作用下会逐渐扩展成互相连接的断裂。改进的方向不是无限增加测试项目，而是建立失效数据的闭环反馈，即户外实证和现场失效分析结果应该系统地反馈到加速测试条件的修订当中。美国能源部提出的资格增强框架就是按照这样一种思路来工作的，把现场暴露出来的新的失效模式变成补充测试项目。

4.3 场景化评价标准的缺失与构建尝试

现有的认证体系具有全球通用性，这是它场景适应性不足的又一侧面。一个在德国温带气候下经过认证的部件，在中东沙漠或者东南亚沿海的表现会和预期大相径庭。国际太阳能联盟已经把质量保证措施的协调化作为议程的重点，但是其工作还处在推动成员国采纳 IEC 标准的阶段。更具有操作性的发展是由企业层面的共同参与完成的，CQC 同隆基展开的场景化可靠性评价合作，国检集团在漠河、吐鲁番、海南等地设立的实证基地网络，正在形成可以用来制订场景化标准的数据支撑。场景化评价的难点在于把气候参数、安装方式、运行工况纳入同一个评价矩阵中，而不能只是简单地提高某个测试标准，因此必须从

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

失效机理反向来定义应力剖面，而不能从已经有的测试序列进行线性外推。

5 结语

光伏组件质量认证和可靠性评价正处在由“合格判定”向“场景化可信度评价”的转变期。IEC 基础认证有必要的市场准入底线，但是它的准入属性决定了它不能承担区分可靠性的功能。PVEL 记分卡、TÜV 质量控制光伏认证、CQC 高性能认证等实践在标准之上开辟出分级评价的空间，多气候区户外实证的推进，给场景化评价提供了不可缺少的真实数据。目前核心矛盾不是认证和评价哪一个更重要，而是二者之间信息传递不畅的问题，实验室测试要从户外失效中校正应力情况，户外数据要经由标准体系转成可以互相参照的评价结果。首年衰减评价规程的制定、BOM 级测试的推行、复合应力序列的改良，属于近期可以看见的改善方向。更为长远的课题就是，在标准的稳定性和技术迅速更新之间寻找动态平衡，不能让标准变成技术变革的追随者，也不能成为创新的阻碍。

[参考文献]

[1]郭毅,黄国平,赵桂香,等.不同模拟环境下高效 HJT 光伏组件的可靠性研究[J].太阳能,2024(11):76-83.
[2]陶海全,方振雷,孙勇,等.薄膜光伏组件可靠性测试研究[J].太阳能学报,2025,46(2):410-415.
[3]叶添翼,柳翠,许佳辉,等.光伏组件综合序列加速老化测试方法综述[J].太阳能,2022(11):34-43.

作者简介：姜卫（1982—），男，汉族，江苏高邮人，中级工程师，大学本科，毕业于南京工业大学电子信息科学与技术专业，研究方向/现从事工作为光伏、储能等新能源行业产品测试、认证合规及可靠性等技术研究。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.