

材料是关键™

杜邦光伏解决方案

正确选择光伏组件材料的重要性

杜邦光伏解决方案建立了一套全面的户外组件老化评估系统，可更好地去了解光伏组件和材料是如何在真实环境中老化和失效的。这一项目是在杜邦和一些光伏工程总承包商 (Engineering, Procurement, Construction, EPC) 共同努力下，对光伏系统进行技术检测。杜邦借此与这些合作伙伴分享其在光伏材料方面的丰富经验及详尽的分析结果。

通过该报告，杜邦就欧洲和中东地区的一些发现与行业分享总结。杜邦已对美国、加拿大、印度、中国、日本、欧洲和中东的60多个光伏系统进行了检查，其中包括刚安装的新系统到使用了30年的光伏系统。

在欧洲和中东进行光伏系统检测

杜邦以可靠材料、组件制造和加速老化试验数据知识为基础，制定了一套组件检查清单。在进行现场检测期间，利用傅里叶变换红外光谱仪 (FTIR) 来检验组件背面 (称为背板，是用来保护组件并使其与电气绝缘的关键部件) 外层的化学组成，并利用其红外光谱来确定组件制造商所采用的具体背板材料。

该检测主要是通过目测来检查组件的外观变化，例如黄变、开裂或蜗牛纹等问题。根据对整个光伏系统的检测做出统计报告，如果是较大的光伏系统，则根据数百个组件中的一个代表性样本外推到整个装置以做出统计报告。

在欧洲和中东地区，我们对已使用了2~12年的22种晶体硅 (c-Si) 光伏系统进行了调查，从1.4kW到13.3MW，总量约为61MW。据调查，其中只有3种装置是基于屋顶安装。大多数是基于固定建筑物、单轴跟踪装置和双轴跟踪装置混合的地面安装系统。

除进行实地考察外，我们还从现场收集了数百个光伏组件，对其进行分析，更为清晰地了解到不同材料对组件性能的影响。通过现场检测和实验室分析，我们观察并表征了30多种不同的失效模式，这有助于杜邦能够更好地针对材料和组件设计加速试验。

杜邦还与多个政府研究中心展开了合作，其中包括印度太阳能研究所、美国桑迪亚国家实验室、意大利联合研究中心 (JRC)、加拿大矿物与能源研究中心 (Canmet ENERGY)、美国国家可再生能源实验室 (NREL) 和日本产业技术综合研究所 (AIST)。

该文件将以2013年在欧洲和中东进行的大量光伏系统检测为基础，集中阐述一些主要的发现和建议。



进行光伏系统检测的位置

材料是关键™

杜邦光伏解决方案

检测结果综述

在进行现场检测过程中，我们主要对光伏组件进行了目视检查，这是一种简单、直观发现导致组件产生更严重问题的失效证据。

在检测过程中通过目测注意到的变化和缺陷类型包括：乙烯-醋酸乙烯酯(EVA)黄变、焊带腐蚀、蜗牛纹、背板开裂、背板(背侧和前侧)黄变。

对可见缺陷进行统计后发现，在61MW装置中，有32MW的装置上可看到衰减或变化。有相关文献阐述说明由于这些衰减模式已造成的安全与性能方面的问题，该调查中没有涉及电位诱发衰减(PID)或发热斑等缺陷。

尽管使用时间不同，所有光伏系统都出现了可见的缺陷，如图2所示，值得注意的是，我们发现在使用时间相对较短(在现场使用不到6年)的组件中正在大规模地出现这些缺陷。而现行的认证测试并没有发现这些早期衰减情况。

结果和讨论

图3给出了在对光伏系统进行目视检查中所观察到的每种类型的缺陷出现比例。在所观察到的可见缺陷中，焊带腐蚀所占比例最大(见图4A)。焊带腐蚀是在焊接带上看到的任何颜色变化。其中包括焊带表面变暗，这可能是由于对紫外线敏感的焊接残余变暗导致的，这种变化只会对组件的外观有影响。但重要的是，在极端情况下，焊带腐蚀可能会因电阻加热而使背板发生失效，最终影响到组件的安全性和发电性能。

图4B为蜗牛纹的示例，蜗牛纹是指在电池中有裂纹或微裂纹导致的褪色现象。这应该是相当早期的一个问题(使用时间大约6年)，是EVA封装材料中添加剂和银相互作用的结果。

蜗牛纹可能是潜在问题的一种早期表现。例如，冷热循环最终会使裂纹变大，使细栅线连接分开，造成功率损耗。但问题是什么时候会出现这种现象，并会对功率衰减和热斑造成什么样的影响？

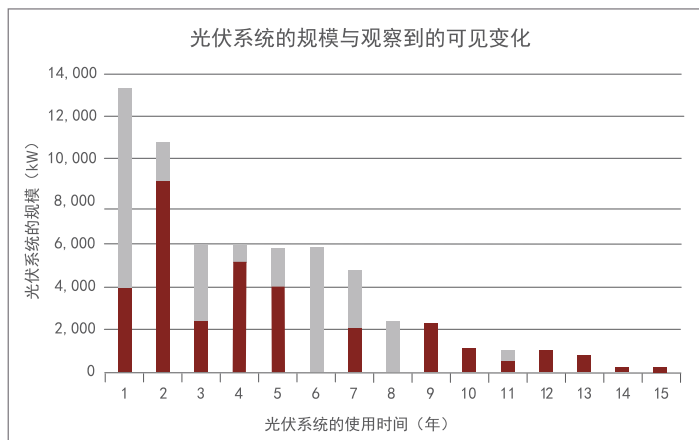


图1 已检测光伏系统中可见缺陷（棕色）比例与系统安装时间

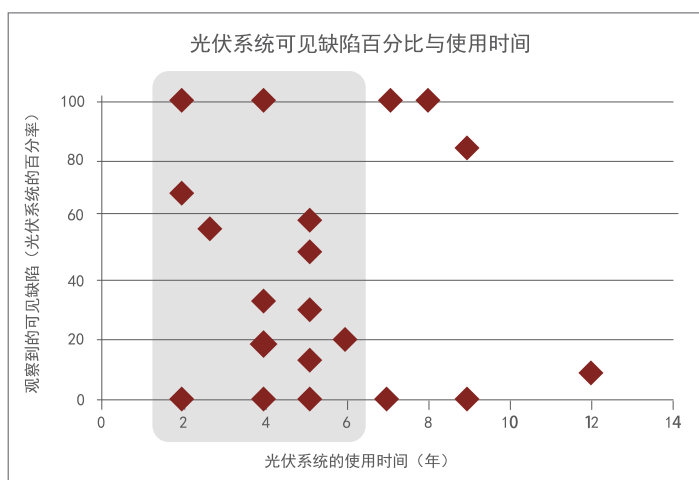


图2 光伏系统的使用时间与可见缺陷光伏系统的百分率
注意：使用时间不到6年的组件上的可见缺陷率较大

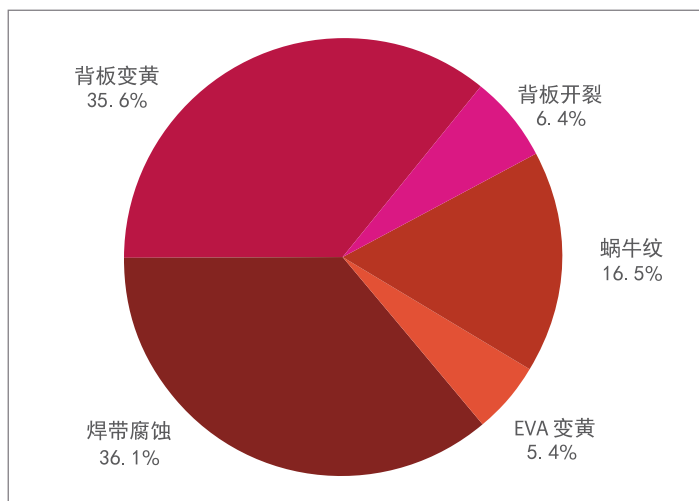


图3 按类型分布的所有光伏系统（61MW）的缺陷率

材料是关键™

杜邦光伏解决方案

结果和讨论

除焊带腐蚀和蜗牛纹外，很多类型和型号的组件上还可发现的第三种缺陷即是封装材料黄变。封装材料黄变主要是因其暴露于紫外线环境下而造成的。封装材料添加交联剂、自由基捕获剂和紫外线吸收剂，以延长组件寿命。尽管EVA封装材料自身会老化变黄，据知这些添加剂也会变黄。该变黄现象可减少透光率达5%，直接对功率构成影响。

在有可视缺陷的32MW组件中，背板缺陷独占所有缺陷的42%。背板作用是对组件中的敏感电路提供电气绝缘和保护。如果背板的可视缺陷率如此之大，则会对组件的安全性和长期发电性能产生重大危险，从而产生负面影响。

背板的主要缺陷包括开裂、黄变和分层。图4C为西班牙的聚酯背板的开裂和分层案例。该现场有两个不同型号的组件，其中一个型号的组件在使用仅4年后发生该缺陷的几率为100%。

当装有已开裂和已分层背板的组件出现失效，可知背板黄变是背板失效的早期潜在证据。这主要与聚合物降解有关，因为在恶劣情况下，聚合物降解会使背板脆化。

脆化的背板经过日夜冷热循环，会使其发生开裂和/或分层，从而导致组件失去电气保护。图4D为现场使用9年后的聚酯背板因为环境应力(紫外线、热应力等)而呈现的严重黄变现象。

需要强调的是，不是所有的黄变现象都发生在组件的背面。背板内层黄变是因背板内层聚合物发生降解而造成的。除焊带腐蚀现象外，图4A是PVDF背板在西班牙现场使用仅5年之后其内层黄变的现象。据报告，这类背板内层黄变现象发生在安装该组件后6个月内。



图4A 安装5年后发生焊带腐蚀以及PVDF背板内层黄变案例（西班牙）

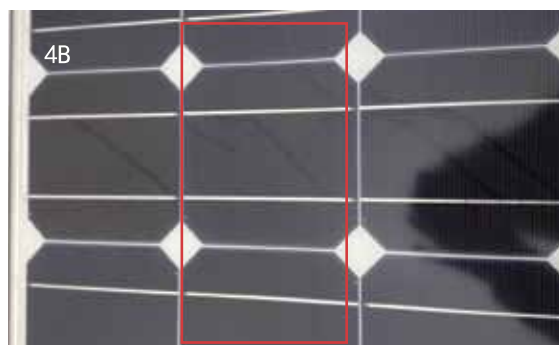


图4B 安装4年后组件的蜗牛纹案例，影响50%的组件（西班牙）



图4C 安装4年后在聚酯背板出现裂纹（西班牙）

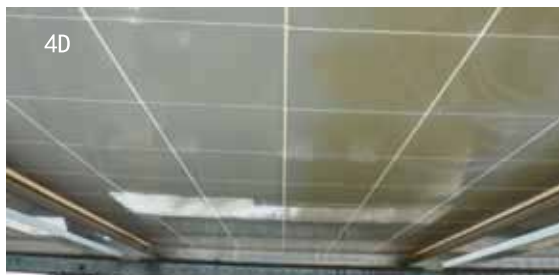


图4D 安装9年后聚酯背板黄变（意大利）

材料是关键™

杜邦光伏解决方案

结论

所有经检测的光伏系统都存在一定程度的可见缺陷。经对22个光伏系统进行检查后发现，其大部分（61 MW中有32 MW）都显示有早期的可见缺陷和衰减迹象。其中包括使用尚不到5年的装置。

蜗牛纹、焊带腐蚀和EVA黄变缺陷都有可能随着时间的推移而对发电性能产生负面影响。背板可见缺陷占所有缺陷的42%。

据观测，聚酯背板外层黄变几率较高，内层黄变现象主要出现在PVDF的背板上。黄变现象是聚合物降解的典型表现形式，而聚合物降解会使背板开裂，进而对进行维护作业的人员构成安全威胁。

而基于杜邦™ 特能® (Tedlar®) PVF薄膜的背板出现这些缺陷的几率最低。在22种经过检查的光伏系统中，有9种采用了至少由一层杜邦™ 特能® (Tedlar®) PVF薄膜构成的背板，且多半是在聚酯层两侧有双层杜邦™ 特能® (Tedlar®) PVF薄膜，也称为TPT (Tedlar® / Polyester / Tedlar®) 背板。

这些TPT背板性能良好，没有重大缺陷。实际上，在这9个系统中，只有一个在使用12年后有内层黄变现象。基于杜邦™ 特能® (Tedlar®) PVF薄膜的背板是唯一得到长期户外实绩验证，可保护光伏组件达30多年的材料，即使是在极端条件下。因聚酯背板和PVDF背板才仅用了不到10年，尚无法对其在这些组件整个使用寿命中的耐久性进行评估。

该研究说明，检验材料性能的最好方式就是将它暴露于实际环境中。该研究还让我们注意到一个事实，即很多这些早期失效都不是通过现行的认证测试发现的。同样地，现在的行业标准不能预测出组件在使用环境中的长期性能。因此仍需对光伏组件进行户外实绩验证。

光伏组件在其使用期间暴露于环境中，受到紫外线辐射、冷热循环和机械载荷，包括风雪等挑战。假设组件制造商对本文件中讨论的很多缺陷没有替换策略，则可通过选用经实绩验证30多年的材料（例如，特能® (Tedlar®) PVF薄膜），以确保组件具有长期可靠的性能。如果要确保投资回报长达25年，材料是关键™。

更多关于户外检测项目的信息，或需要杜邦协助对光伏系统进行现场检测，请与杜邦光伏解决方案（欧洲、中东和非洲）的Lucie Garreau-iles博士联系。

电子邮箱： lucie.garreau-iles@dupont.com
电话： +41 (0) 22 7176622