



创造科学奇迹

材料是关键™

采用杜邦™ Tedlar® 聚氟乙烯(PVF)薄膜背板保护您的组件与品牌
— 公认的业界标准, 超过30年的户外实绩验证

更长的组件使用年限带来更高的投资回报率 杜邦光伏材料经得起时间考验

过去几年来，光伏(PV)产业历经重大变革 - 光伏转换效率不断提升，价格持续下降。

部份地区已达到平价上网；同时我们预期全球大多数区域可在2015年之前达到平价上网。为保持这一趋势，光伏项目必须能够作为可靠的电力来源，并拥有可靠稳定的投资回报。

长时间的系统使用年限是影响度电成本(Levelized cost of energy, LCOE)的关键，同时对于达成平价上网、创造可持续产业及确保光伏发电的普及也极为重要。

以下三大因素将显著影响系统使用年限-材料清单、部件设计及生产工艺。我们“行业最佳”的光伏材料组合，可让您的组件达到预期的电力输出，以及符合客户需要的使用年限。

「光伏产业的目标不仅是制造经济实惠的组件，还要能实现低成本的电力。达成上述目标的方法是提升效率和可靠性。提高品质的方法包括改善生产工艺(加强自动化、在线品管)、产品(材料可持续性、封装材料等等…)，以及进行户外实地验证。」

Reinhold Buttgereit
EPIA 秘书长

采用杜邦™ Tedlar® 聚氟乙烯(PVF)薄膜为材料的组件可确保更长期的电力输出以及投资回报率

使用杜邦™ Tedlar® 聚氟乙烯(PVF)薄膜作为组件背板材料，有助于将您的光伏组件品牌定位于高质量及高可靠性，并有助于降低质保的风险，避免因户外使用时失效而导致品牌名誉受损。

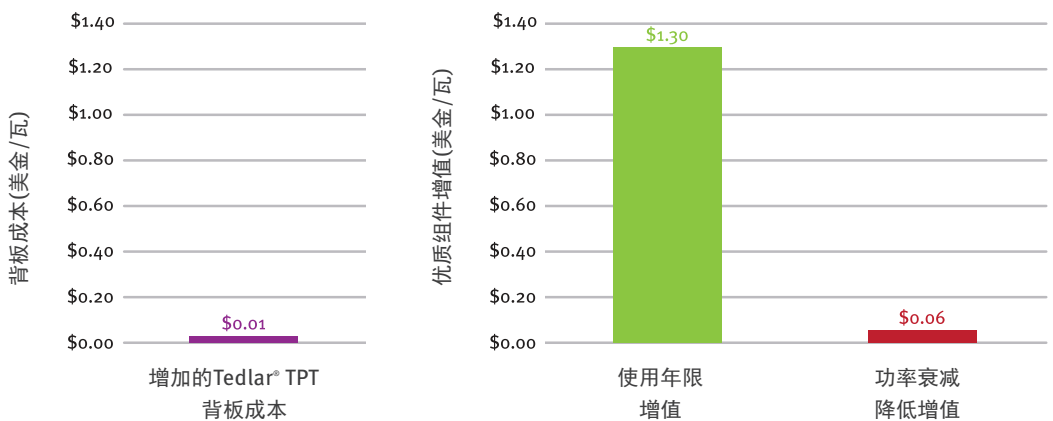
基本上，每瓦仅需要多花费1美分(美金0.013)，即可保护贵公司与您的客户免于承受昂贵的故障及安全性

问题。使用年限的提升及所带来的的财务效益，远超过采用高质量材料的投资。在现今变化剧烈的市场环境中，提供经得起时间考验的光伏组件是正确的。

微小投资 增大回报

Tedlar® TPT 背板的每瓦成本比传统单层氟膜背板多出1美分

但Tedlar® TPT 背板有30年以上实绩验证，可延长组件使用年限、降低功率衰减，并提高电力输出



使用年限价值及功率衰减值代表在组件的预期使用年限中产生的电力输出。

使用年限价值：相较于使用25年的Tedlar® TPT 背板效能，其它品牌背板才使用5年即提早报废。

功率衰减值：相较于Tedlar® TPT 背板的0.5%年衰减率，其它品牌年衰减率为1.0%。

假设：第1年电力价值为8美分/瓦，组件的使用年限期间通货膨胀为每年3%；组件功率250瓦，中国安装享有9%折现率。

为何背板如此重要

背板对于组件保护与使用年限扮演关键角色。它是组件与环境之间的电气绝缘体。背板失效可能导致重大灾难、无预警电力衰减并危及安全。如此巨大冲击可能损害品牌声誉甚至人身安全。

在实际应用中导致背板失效最常出现的原因有：变色、气泡、破裂、脱层以及黄化。范例照片显示在第四页。

背板在户外使用的失效模式



变色

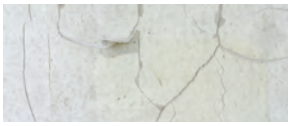


组件表面黄变并产生难以去除的污渍
(PET背板, 日本12年)



脱层

背板内层脱离
(PE聚乙烯背板, 欧洲21年)



破裂

背板破裂
(PET背板, 欧洲, 4年)



气泡导致破裂

沿着焊带部分气泡产生
(PVDF背板, 美国亚利桑那, 2年)



热斑下产生气泡

背板表面热斑
(PVDF背板, 美国亚利桑那, 2年)



黄化

使用PVDF背板的组件材料使用不到两年, 出现明显黄变
(PVDF背板, 美国亚利桑那, 2年)

数十年前, 美国能源局(Department of Energy)与美国太空总署喷气推进实验室(JPL, Jet Propulsion Laboratory)进行合作, 研发具可靠、耐久并安全的30年使用年限光伏组件。整体计划历时9年, 耗

资7亿美金, 针对不同种类的材料反复测试, 包括实地应用配置。所有最终组件设计结构中都包含了Tedlar® 聚氟乙烯(PVF)薄膜背板材料。

唯有使用Tedlar®PVF薄膜材料的背板, 经实证在长期光伏组件应用中的电力损耗较低

由联合研究中心 (JRC, Joint Research Center) 主导的研究证实美国太空总署喷射推进实验室的发现, 内含EVA/Tedlar® 的组件展现出更优异的效能。时至今日, 只有Tedlar®聚氟乙烯薄膜才是唯一拥有超过30年实绩验证的背板材料; 其他背板材料在户外仅有3~6年的运作时间。

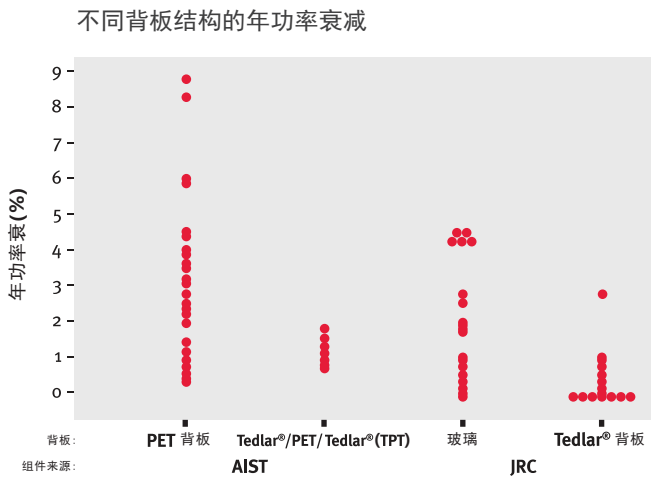
除了上述研究外, 许多其他的独立研究采用 Tedlar®聚氟乙烯薄膜材料背板的组件, 年功率衰减值低于1%。问题在于可供研究的新背板材料的户外使用案例非常有限。Tedlar®薄膜材料、PET材料及玻璃应用于背板已超过15年。其他大多数的背板结构应用仅约 5 年。

虽然户外测试是预测长期性能的最佳指标, 而可靠性测试则可突显这些材料间的差异。目前, 杜邦及其他公司正致力于相关可靠性测试和户外性能测试; 不过尚未达成目标。在这一方面的近期实验中, 相较于户外曝晒情况, 一般过度着重于湿热测试, 而紫外测试却不足。

若要选择正确的背板, 必须定义适用的测试方法及标准, 并对测试结果进行比较。

JRC研究(组件采用封装材料)EVA以及 AIST研究结果

证实使用Tedlar® 聚氟乙烯薄膜的背板组件在历经20年左右的实际使用后, 仅出现较低的 (0.3%) 年功率衰减率



「长期户外曝晒对于组件部件、材料品质以及制造质量是终极的检验。」

数据源: 2012 AIST Modules and Joint Research Centre 2008 Study*.
*ArturSkoczek, Tony Sample, and Ewan D. Dunlop. The Results of Performance Measurementsof Field-aged Crystalline Silicon Photovoltaic Modules, Wiley InterScience, 2008.

长期户外曝晒是对背板材料的终极检验

并非所有的背板都是一样的。为了保护组件达25年, 背板必须具有三个关键特性:耐候性、机械强度与粘接力。然而, 最重要的是能保持上述三点特性的最佳平衡。

由于缺乏长期、户外实绩验证, 今天许多新背板材料使用不同实验室测试数据作为实际性能的参考值。然而, 著名的科学研究机构如美国太空总署喷射推进实验室以及其他领先的光伏研究实验室, 皆明确指出实验室老化数据无法预测使用年限。正如多位科学家所言, 长期户外曝晒对于组件部件、材料以及制造质量才是终极的验证。

值得注意的是, IEC 验证的设计并非是为了预测长期效能, 故不适用于此。进行可靠性测试则必须谨慎, 因为其与户外性能间的关联性仍待厘清; 加速老化测试可能会出现户外使用时不会发生的故障; 且模拟实验建构既昂贵又复杂。

「在理想条件下, 可通过一组较短期的加速老化测试来预测组件的使用年限; 然而, 预测使用年限的技术准则尚未被建立。」

数据源: NREL, July 2011; Ensuring Quality of PV Modules; <http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/50651.pdf>

杜邦建议的光伏背板材料的评估测试与标准

					条件		
条件	时间	性能	单位	测试标准			
外层UVA	>3000h	黄变 (接线盒面)	Δb*	ASTM E308	≥2	<2	<1
	>3000h	伸长率	%减少	ASTM D882	≥80%	<80%	<50%
外层 紫外-氙灯	5000h	内层稳定性	无资料	肉眼观察	开裂	轻微开裂	外观良好
湿热	1000h	EVA粘接力	%减少	ASTM D903 (180 deg) ASTM D1876 (t-peel)	≥50% 或断裂	<50%	<20% 或 与玻璃脱层
	1000h	伸长率	%减少	ASTM D882	≥80%	<80%	<50%
热曝晒	不同	内层软化温度	°C	JIS K7196	无资料	<170	>170
初始值	0h	热膨胀系数(MD, TD)	(μm/C*m)	内部测试	≥100 (MD or TD)	<100 (MD or TD)	< 50 (MD or TD)
户外性能表现	不同	光伏背板使用时间(年)	年	无资料	<20	n/a	≥20

测试/性能细节
湿热: 85°C, 85% RH.
UVA: 70°C, QUV 340 nm, 1.2 W/m²-nm at 340 nm, continuous.
氙气: ASTM G155 cycle 7A (modified), Xenon .55 W/ m²-nm at 340 nm, daylight filter, 65 BPT, continuous, no water spray.
热膨胀系数: -40°C tp 85°C.
* 不含 Tedlar® 薄膜的背板, 数字来源基于 Photon 杂志余2011年的调查

定义测试方法与标准

实验室测试应符合下列三种目的之性能预测表现：
可靠性(IEC61215) · 耐久性(25年使用年限)以及安全性 (美国标准UL1703 与国际标准IEC61730)。

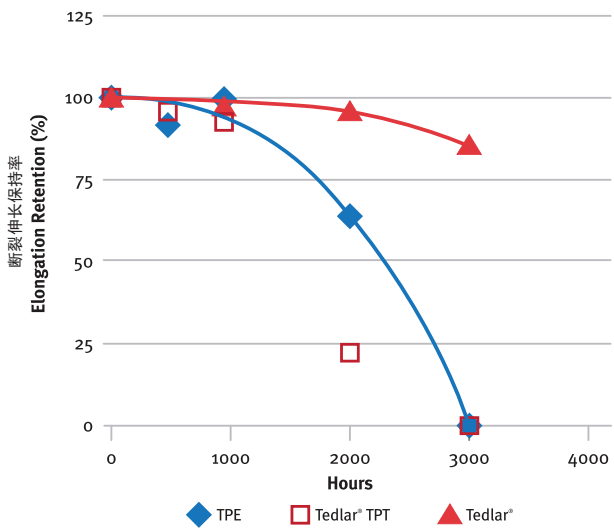
通过长时间湿热测试而采用昂贵的特殊 PET材料，并不合理。杜邦™Tedlar® TPT 背板采用标准PET材料，其成功的户外实绩应用验证了这一点。一般而言，湿热测试多被过度侧重，而NREL及其他机构都承认紫外测试严重不足。

包括NREL在内的尖端机构研究指出：超过1,000小时湿热测试的必要性与相关性是被质疑的；或为了

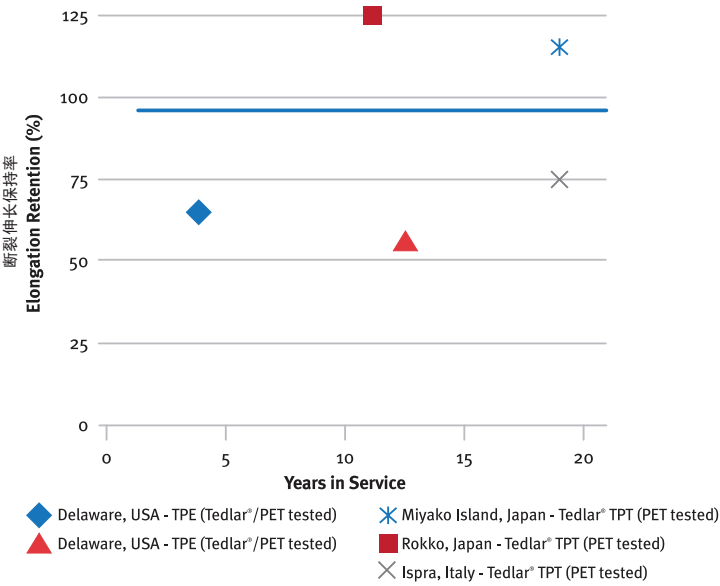
超过1,000小时的湿热测试与户外性能无关	● PET水解(hydrolysis damage)并非实际会发生的失效机制，Tedlar® TPT 背板采用标准PET材料已有27年 ● NREL模拟显示，小于1000小时的湿热测试是足够的 ● 长时间湿热(85/85)并不能复制造成实际使用时的失效，且对PET水解现象而言，是过度的测试」
IEC测试条件中无紫外曝晒及紫外耐候性测试	● IEC认证的紫外预处理剂量低于 70天的户外曝晒 ● 没有对组件背面进行曝晒测试 ● 增加背面的紫外曝晒测试，以及综合紫外曝晒与耐候性测试，以更好理解真实情况下的性能是必要的 ● 实际应用显示紫外曝晒时长为2,600到4,200小时，才可以模拟25年的曝晒量

下图充分显示湿热测试与户外实际的数据无关，其中第2,000与3,000小时的背板机械性能损失数据，明显高于户外应用时所观察到的衰减值。

湿热测试
Tedlar® 聚氟乙烯(PVF)薄膜及背板的测试值



户外组件老化数据
PET与Tedlar®/PET薄膜的测量值



在大于1000小时的湿热测试中，背板机械性能的损失源于PET核心层(非表面 Tedlar®) 的水解现象

潮湿环境中背板无机械性能的损失日本, Miyako Island

第2,000与3,000小时湿热老化后，背板的机械性能损失数据明显高于户外的观察值

来自不同环境获得的户外老化组件:杜邦(美国)、AIST(日本)以及JRC(意大利)

因为紫外测试值的缺乏，杜邦因此全面检视多位界专家的研究，建立了各区域的年紫外剂量。我们利用此信息并计算地面至背板的光反射率，模拟出测试条件的建议曝晒时数，以及沙漠、热带及温带气候下的25年户外曝晒量。

值得注意的是，这些建议的曝晒量—沙漠4,230小时、热带3,630小时、温带2,630小时—比目前测试计划书中大多比目前测试计划书中大多数组件制造厂商使用的高出剂量2至18倍。为更准确模拟实际的户外条件，我们也建议综合紫外湿热测试。

根据气候环境选择紫外老化剂量

杜邦	沙漠	热带	温和
组件正面年紫外线剂量 (kWh/m²)	91.7	78.5	56.9
组件背面 25 年紫外线总剂量 (kWh/m²)	275	235	171
模拟 25 年组件背面紫外老化测试时间 (hrs)*	4230	3630	2630

其它研究单位相关年紫外剂量UV (kWh/m²)

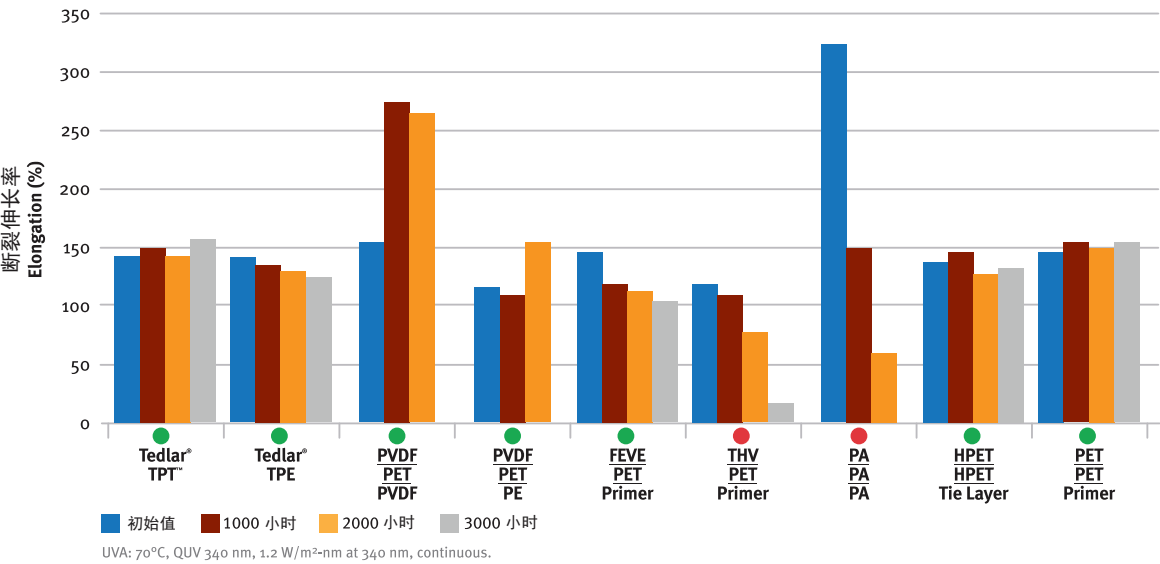
研究机构	沙漠	热带	温和
Fraunhofer ¹	~120	~35	~20, ~30 (city, Alps)
NREL ²		78.2 typical annual**	
Atlas ³	91.7 (Phoenix, USA)	78.5 (Ave. Miami & S. France)	56.9 (Ave. Tokyo & Lochem, NL)

杜邦建议组件背面紫外测试剂量为171~275 kWh/m²以模拟真实户外紫外老化
采用12%的紫外光反射率（地面反射至背板）**
12%紫外光反射率来自文献4 和杜邦实地测试数据
组件厂商一般仅进行15~100 kWh/m²紫外老化测试

在以下各种背板的紫外稳定性比较中，很容易发现Tedlar® TPT 及Tedlar® TPE背板可提供优异的紫外稳定性。THV及PA材质背板紫外老化后断裂伸长率明显下降，可能导致户外使用时出现失效情况；相较于此，Tedlar® TPT 及Tedlar® TPE经紫外

曝晒后的表现相当稳定。此外，当THV、耐水解HPET及PET等材质的背板经UV曝晒后显示黄变，代表聚合物老化；Tedlar® TPT 及Tedlar® TPE背板仅呈现很小的颜色变化。

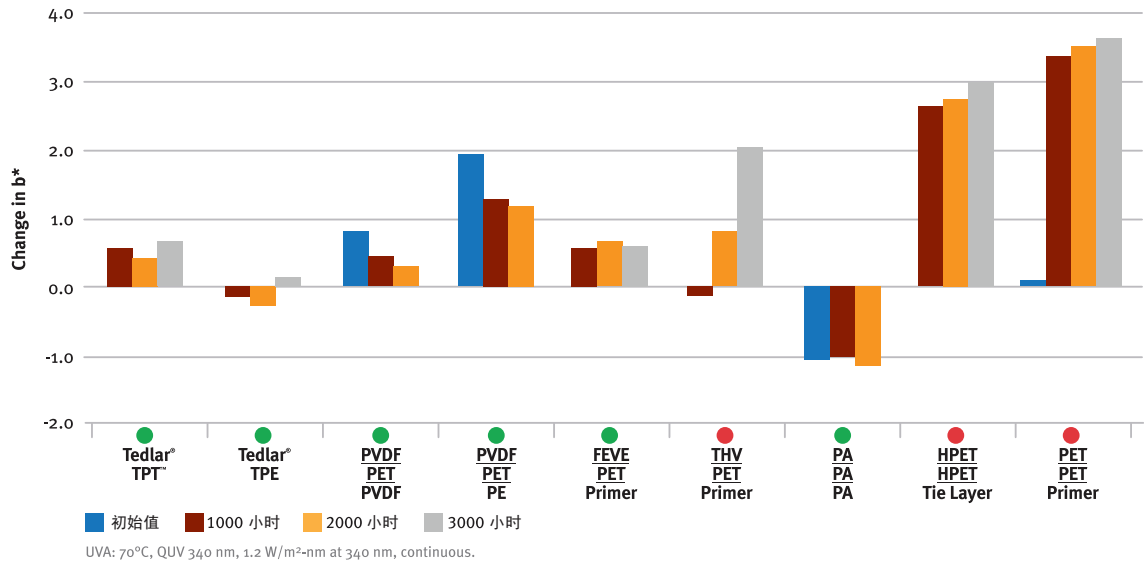
Tedlar® TPT 背板提供优异的紫外稳定性



Tedlar® TPT™与TPE背板在UV曝晒下机械性能稳定

含THV与PA材质的背板断裂伸长率明显下降

断裂伸长率下降会导致背板户外失效



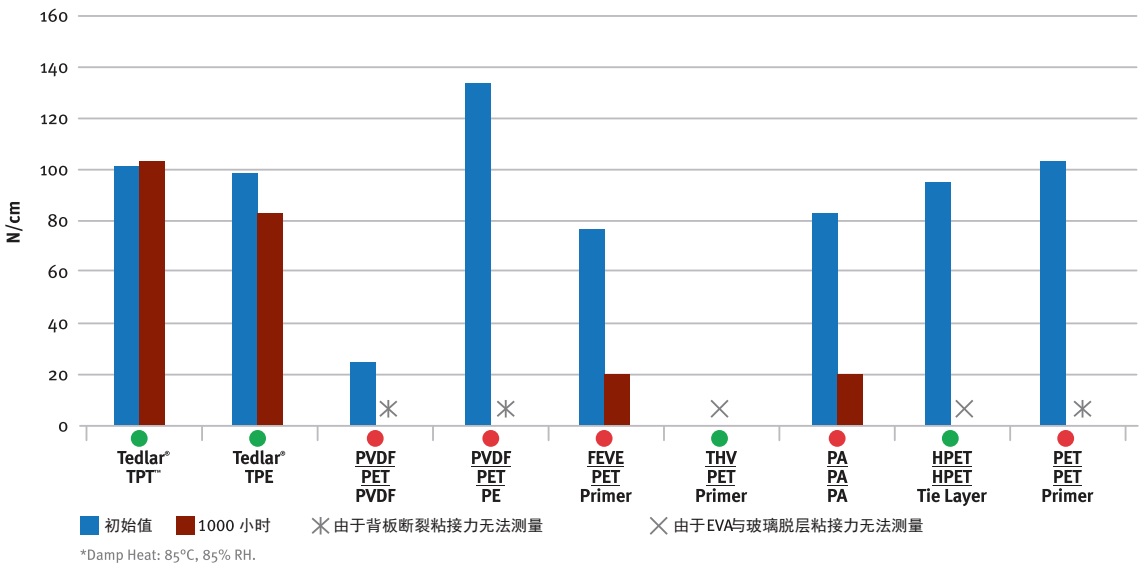
Tedlar® TPT与TPE背板显示很小的颜色变化

含THV、耐水解HPET与PET材质的背板经UV曝晒后显示黄化，表示聚合物老化。

在湿热测试中比较相同背板材料时,Tedlar® 材料背板性能优异：经过湿热老化后，展现优异的稳定性。相反地，如下所示,PVDF及PET材质背板经湿热老化后进行粘接力测试时，变得脆化及

破裂；而FEVE及PA材质背板失去70%的粘接力，可导致脱层。值得注意的是：单层PVDF及PA材质面板在经过湿热老化后，断裂伸长率明显下降，可导致户外应用时出现背板失效情况。

Tedlar® TPT 背板湿热性能稳定性

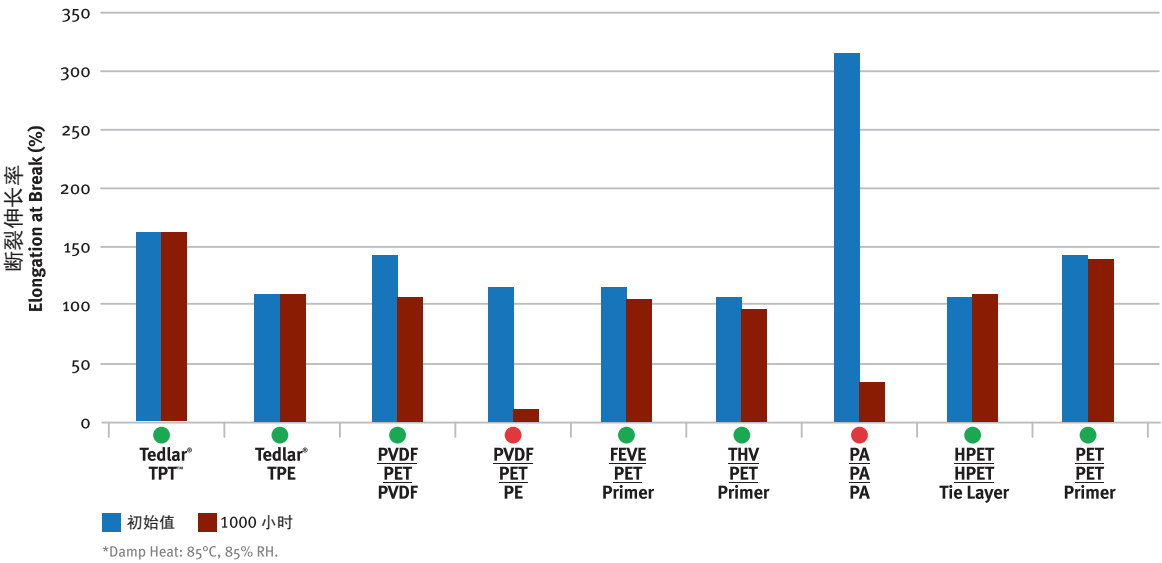


Tedlar® TPT与TPE的背板在湿热老化后表现稳定粘接力

含PVDF和PET的背板经粘接力测试后出现脆化与破裂

含FEVE和PA材料的背板粘接力下降超过70%。

损失粘接力会导致脱层



Tedlar® TPT与TPE的背板在湿热老化后表现稳定

含单层PVDF与PA材料的背板断裂伸长率明显下降

断裂伸长率下降会导致背板失效

定义出合适的测试方法后，下一个步骤是比较测试结果，以判断何种背板可提供最均衡的使用特性，以延长组件的使用年限。如下图所示，使用

Tedlar® 聚氟乙烯薄膜材料的背板显示可保持下列特性的最佳平衡，包括耐候性、粘接力及机械强度，这些皆为长效组件之必要条件。

户外表现是长期效能的最佳指标，而可靠性测试也可作为检验最佳性能平衡的标准。

测试条件	性能	含氟产品					不含氟产品		
		PVF	PVF	PVDF	FEVE	THV	PA	HPET	PET
		PET	PET	PET	PET	PET	PA	HPET	PET
		PVF	Tie layer	Tie layer	Tie layer	Tie layer	PA	Tie layer	Tie layer
性能UVA 3000小时	黄变	●	●	●	●	●	●	●	●
外层 紫外-氙灯 5000小时	伸长率	●	●	●	●	●	●	●	●
	EVA黏接力	●	●	●	●	●	●	●	●
湿热 1000小时	伸长率	●	●	●	●	●	●	●	●
	内层软化温度	●	●	●	●	●	●	●	●
热曝晒	热膨胀系数 (MD, TD)	●	●	●	●	●	●	●	●
初始值									
户外性能表现	使用在光伏 背板时间(年)	30+	22	3	5	6	3	2	15

*PVDF与PA结构背板测试2000小时，其他为3000小时
**不含Tedlar® 薄膜的背板，数字来源于Photon杂志余2011年的调查

户外组件老化显示 — 材料是关键™

在2011年，杜邦启动一项全球性的光伏组件研究，涵盖不同地区及气候范围。本研究的重点为可靠性与其他影响组件完整性的问题。许多组件以PET作为背板材料，均显示有破裂及黄化的问题，进而导致组件失效。上述问题并未出现在Tedlar®材质背板的组件中。

如本研究所示，光伏组件的安全性 with 性能表现的差异明显。比较这些组件，有出现低于一般业界25年质保

的一半，显示耐久性议题可能需要长时间验证具体的衰减模式。

黄变(1号与2号组件的观察发现)是性能衰减的一种征兆，也是性能问题的早期指标。龟裂往往与黄变有关。请注意，性能不佳将因为电池及组件的串联而恶化。

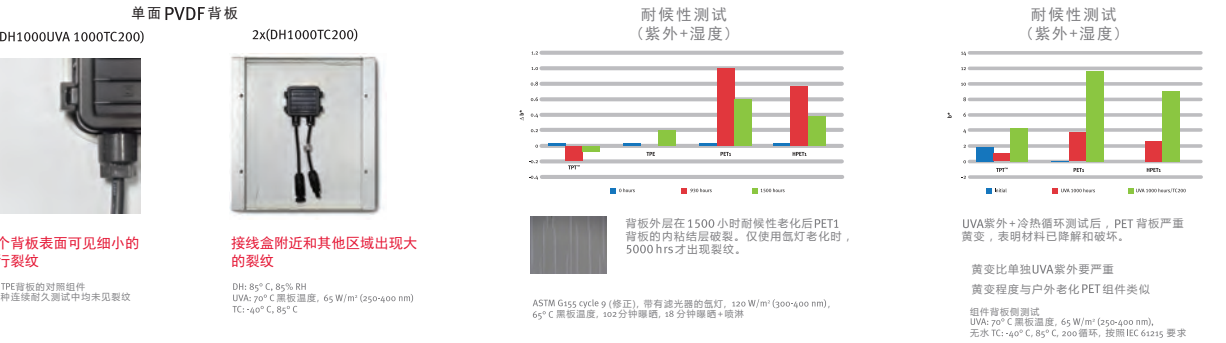
材料的选择组件使用寿命周期内电力输出与失效的差异



序列和综合老化测试 (紫外+冷热循环；紫外+湿热)

耐候性测试与综合老化测试更接近户外老化，可反映单因素老化不能产生的失效，其实验结果与户外老化相符

序列耐久性测试 (湿热+紫外+冷热循环， 湿热+冷热循环)



Tedlar® 聚氟乙烯(PVF)薄膜是背板的行业标准

使用Tedlar® 聚氟乙烯薄膜的背板应用于光伏产业领域超过30年，并可适应各种气候类型(如沙漠、热带气候、滨海与山区)，且持续提供关键长期的组件保护、系统防护以及获得长期的光伏系统投资报酬率。Tedlar® 聚氟乙烯薄膜在耐候性、粘接力以及机械强度提供绝佳平衡的特性，以确保组件使用年限时间更长。

以杜邦的Tedlar® 聚氟乙烯(PVF)薄膜作为背板材料结构有两种选择，都是已量产并实际应用于全球各地的光伏组件。每项产品都能实现高性能，Tedlar® 因而成为背板的行业标准。

Tedlar® TPT 背板

Tedlar® 聚氟乙稀薄膜
PET
Tedlar® 聚氟乙稀薄膜

Tedlar® TPT™特性

- 在严苛气候下，提供耐紫外、耐湿热及机械应力、化学腐蚀的最大保护
- 内层采用Tedlar® 聚氟乙稀薄膜的背板较采用tie layer 粘着层的单层氟膜背板在高温及紫外下更稳定

Tedlar® TPE 背板

Tedlar® 聚氟乙烯薄膜
PET
Tie Layer粘结层

Tedlar® TPE 背板特性

- 关键的外层Tedlar® 聚氟乙稀薄膜拥有超过30年的户外实绩验证
- 采用单层Tedlar® 薄膜的背板为一般应用提供最佳性能平衡

背板的关键性能

背板共有三大基本类型：双层氟材料、单层氟材料，以及非氟材料等，每种类型中又有多种结构。在不含Tedlar®材质的背板上，已观察到众多性能问题，在实际应用时会导致背板失效。

PVDF材质背板在1,000小时湿热老化后，会失去机械性能并脆化。脆化会导致脱层、龟裂及撕裂。黄化显示聚合物的老化，并导致产生其他性能问题。

单层THV材质背板会在2,000小时UV老化后出现黄化，以及在1,000小时湿热老化后形成脆化。黄化代表背板上的聚合物产生老化作用。脆化会导致脱层、龟裂及撕裂。

单层FEVE材质背板经1,000小时湿热老化后，会失去粘结力。脆化会导致脱层、龟裂及撕裂。除了脆化现象外，使用者已反应如低耐磨性能等的其他问题。

聚酰胺材质背板经1,000小时湿热老化后，会明显失去粘结力与机械特性，进而产生脆化。在湿热老化后失去粘结力，表示会有较高的脱层风险。聚酰胺材质背板经2,000小时紫外老化后，也会明显损失耐久性，其会导致使用过程中出现龟裂及撕裂。

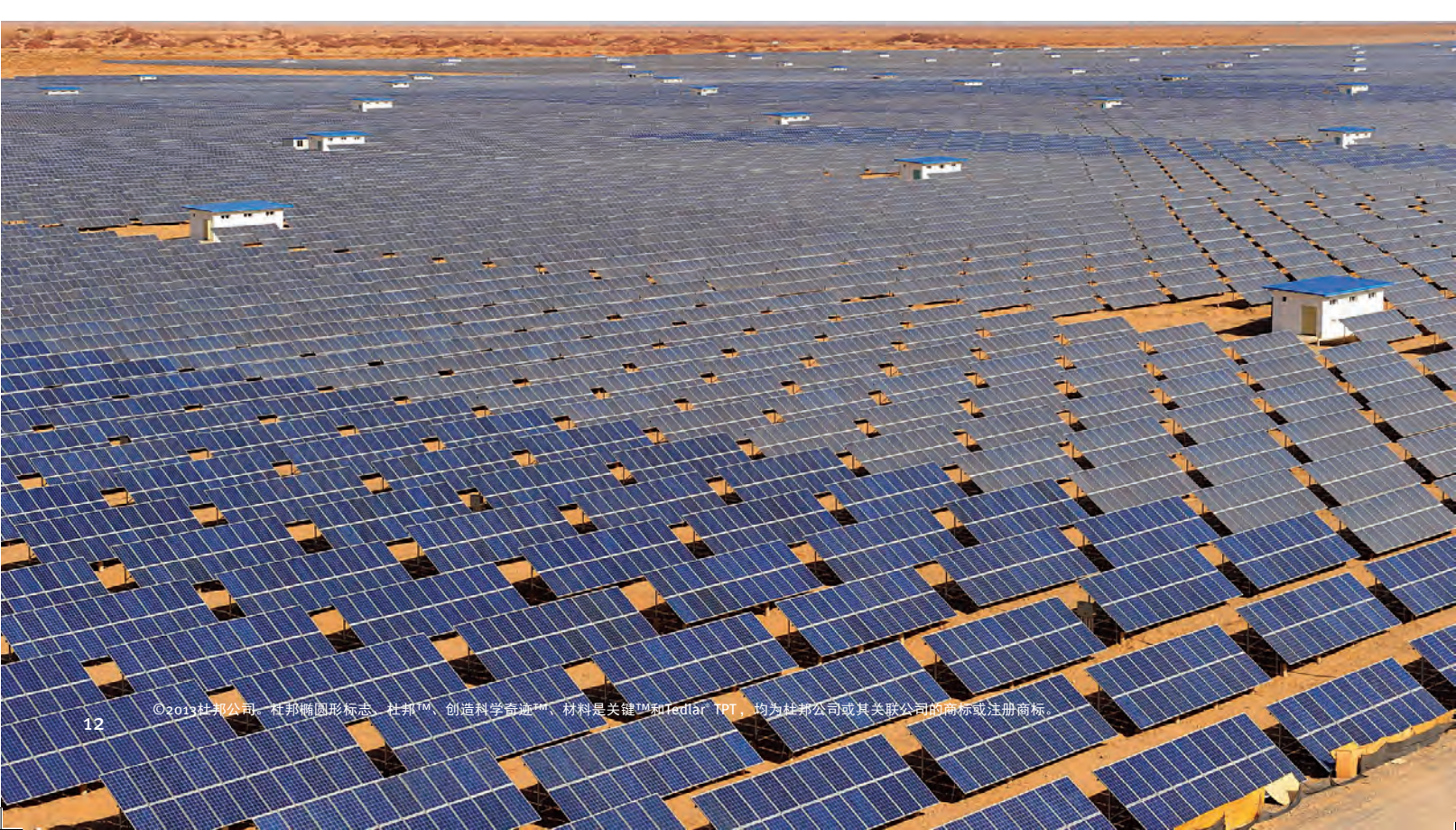
PET材质背板在经过1,000小时紫外老化后，外层会产生严重黄变与表面粉化的情形，这代表聚合物产生老化；同时观察到湿热老化后1,000小时明显失去粘结力，表示实际应用上有较高的脱层和失效风险。

相关背板材料选择咨询请洽杜邦业务代表

选择杜邦作为合作伙伴能协助您拓展品牌与事业

杜邦拥有一系列广泛的光伏材料产品组合，并在制造光伏材料的八项关键材料中提供六项。我们的专业涵盖材料到组件制造，包括基础光伏材料科学、电池和组件加工，制造和测试。杜邦同时也是光伏系统的拥有者以及光伏电力使用者，在世界各地的杜邦据点拥有光伏系统。

杜邦是以市场为导向的科学公司。我们的愿景是成为全球最具动能的科学公司，致力于创造永续解决方案，提供全球人类更美好、更安全、更健康的生活。我们正运用科学去创造能改变世界的永续解决方案。





+50%



自1975年，在全球已安装的4亿个光伏组件中，有超过半数皆采用杜邦材料。

「维持与改善光伏组件的可靠性，是维系投资者及消费者信心与信赖感的重要关键。经实绩验证的高质量材料和最佳制程，可协助使用者与投资者获利，并使美国及全球更为采用太阳能产品。」

数据来源:SEIA, Rhone Resch

材料是关键™确保系统长效使用年限与高投资报酬率

想了解杜邦如何协助您拓展品牌与事业

欢迎来电咨询或访问以下网址

免费产品咨询电话：(86) 400-885-1888

Photovoltacis.dupont.com.cn



创 造 科 学 奇 迹