

EVA交联度对其力学性能的影响

摘要：本文以光伏行业常用EVA型号作为样本，研究交联度的变化对EVA各方面力学性能的影响。通过调节层压工艺参数制备不同交联度的EVA研究样本，并对样本进行各种力学性能测试，再经过对数据的统计处理得出结论：光伏组件封装用EVA，交联度在85%左右时，其各方面的力学性能，即EVA的拉伸强度、断裂伸长率、以及EVA与玻璃、背板的粘结强度等综合性能最佳。

1前言

由于乙烯和醋酸乙烯共聚物（EVA）存在极性的醋酸乙烯单元，这种极性单元会降低EVA的结晶能力，反映在其力学性能上，表现为EVA具有良好的韧性、柔软度和抗冲击强度。但由于EVA为线性高分子共聚物，因而其耐热性和内聚强度较差，限制了其应用范围。太阳能光伏行业用的EVA是经过加入偶联剂、引发剂、抗氧化剂等进行改性的热熔、热固型胶膜，EVA胶膜经过热熔、热固后会形成交联的三维网状结构，这种交联的程度会直接影响固化后EVA的物理化学性能。

如果交联度过低，EVA的三维网状结构尚未完全生成，其材质较为疏松，难以形成致密的封装效果，具体表现为EVA材质疏松、且韧性和抗拉强度较差、与背板和玻璃的粘结强度也比较低。但如果EVA的交联度过高，则会造成EVA材质硬化，柔性降低，与背板和玻璃的粘结强度反而会下降，甚至容易造成EVA与背板或玻璃的开裂，EVA的耐老化性能也会降低。由此可见，EVA的交联度将直接影响固化后EVA的物理化性能，进而对组件的封装效果和组件的使用寿命都有着很大的影响。

由于国内太阳能行业的EVA生产厂家较多，不同厂家、不同型号的EVA其成分、配比也不尽相同，反映在EVA的性能上有一定的差异。因此在光伏行业内，EVA的交联度到底多少为最佳，（即固化后的EVA与背板、玻璃的粘结强度和自身韧性、抗拉强度的最佳结合点）一直没有形成统一、明确的认识。本文通过选择行业内较有代表性的3个EVA型号作为研究样本，针对不同交联度的EVA的力学性能做一个全面细致的对比分析，进而找到EVA力学性能的最佳值域，期望会对光伏组件生产的封装工艺有一定的参考价值。

2实验部分

2.1主要原材料

选取行业内的具有代表性的3款EVA胶膜作为研究样本，配以其他辅助类材料（如背板、钢化玻璃、高温布等），其主要性能描述如表1所示。

表1试验用原材料及其性能描述

材料类型	材料编号	性能及其描述
EVA 胶膜	1*EVA	国产某知名 EVA 胶膜，性能比较稳定，厚度 0.45mm
	2*EVA	国产某普通 EVA 胶膜，性能相对稳定，厚度 0.5mm
	3*EVA	国产某普通 EVA 胶膜，性能一般，厚度 0.5mm
背板	TPT 结构	双面含氟复合型背板，用于剥离强度测试样品的制备
玻璃	普通钢化玻璃	规格为 250*250*2.8（单位：mm），用于剥离强度测试样品的制备
高温布	聚四氟乙烯涂覆玻璃纤维布	耐高温、不起皱、不易粘附任何物质。用于 EVA 拉伸强度和断裂伸长率测试样品的制备

备注：除 EVA 胶膜外，其他用于测试样品制备的原材料仅作为辅助材料，且均相同。

2.2主要设备

实验中用到的主要设备和仪器如表2所示。

表2试验用主要设备及其用途

设备名称	厂家/型号	主要用途
太阳能电池层压机	申科 CYY-3824DGM	用于试验样品的层压制备
交联度测试电加热套	荣华 HDM-200	用于交联度测试二甲苯的萃取过程
冲片机	CP25	用于拉力试验样片的冲切
万能电子拉力试验机	中正 WDW-3	用于拉力测试和剥离强度测试

2.3试验设计

本文从力学的角度去研究不同交联程度的EVA，其自身的力学性能以及与玻璃/TPT间粘结强度的差异。本试验选取3种不同厂家生产的EVA，采用高温布/EVA/EVA/高温布和玻璃/EVA/EVA/背板两种敷设方式对试验样品进行叠层；依据交联固化的基本原理，通过改变样品层压参数对叠层好的试样进行层压固化（由于层压时间对EVA与玻璃/TP T的粘合力有一定影响，为避免该因素对测试结果造成干扰，在层压参数的设置上保持层压时间不变，只通过调节层压温度来改变样品的交联度），制备不同交联程度的试验样品；采用二甲苯萃取法来测定试样的交联度，继而对样品进行拉伸测试和剥离强度测试。

3测试与表征

3.1交联度的测定

交联度是指EVA小分子经交联反应生成三维网状结构固化的程度，一般通过测定EVA的凝胶含量来反映EVA的交联固化情况。

本文采用溶剂萃取法来测定EVA的交联度，其测试原理是将EVA样品置沸腾二甲苯溶液中萃取，未经交联的EVA全部溶解到二甲苯溶液中，而已交联的EVA大分子无法溶解，通过残留试样量与试样总量的比值确定交联度。

测试步骤：

- 1.提取交联后的EVA样品，装入已知重量（记为W1）的120目不锈钢网袋内，并在电子分析天平上称重（记为W2）；
- 2.将试样袋放入二甲苯溶液中，煮沸5小时，进行萃取；
- 3.将试样袋放入真空烘箱内，烘箱设为140℃，烘3小时后取出，称其重量（记为W3）。

交联度计算公式如下：

$$\text{交联度}(\%) = [(W3 - W1) / (W2 - W1)] \times 100\%$$

3.2拉伸强度和断裂伸长率的测定

拉伸强度是表征材料抵抗（拉伸）破坏的极限能力，通过测定EVA交联后的拉伸强度可以从力学角度表征EVA样品的机械强度；断裂伸长率是衡量材料韧性（弹性）的重要指标，具有较大的断裂伸长率的材料在抵抗冲击时有一定的弹性伸长，不会立即脆断。

本文按国家标准GB/T528-1998，用万能电子拉力试验机测试EVA胶膜的拉伸强度和断裂伸长率，拉伸速率为50mm/min，用冲片机将试验样品制成哑铃型试样，宽度10mm，长度50mm，用千分尺测量样品的厚度。

拉伸强度计算公式如下：

$$T_s = F_m / (W \cdot T)$$

式中：T_s-拉伸强度（Mp）

Fm-最大拉断力(N)

W-EVA小条实际宽度 (mm)

T-EVA小条的厚度 (mm)

断裂伸长率计算公式如下：

$$\text{断裂伸长率} = \left(\frac{L}{L_0} \right) \times 100\%$$

式中： L-试样在拉断时的拉伸伸长长度 (mm)

L₀-试样的原始长度 (mm)

3.3剥离强度的测定

剥离强度又称为粘结强度，是表征材料间粘合、密封效果的重要指标。测定EVA与玻璃、EVA与TPT粘合强度的样品为“玻璃/EVA/EVA/TPT”层压件，试样在太阳能组件层压机设备上完成。

本文按GB/T2791-1995“胶黏剂180°剥离强度试验方法”进行，用万能电子拉力试验机分别测试EVA与玻璃、EVA与背板间的粘结强度，剥离速度为100mm/min，样品宽度为10mm。

剥离强度计算公式如下：

$$180^\circ = F / B$$

式中： 180° -180° 剥离强度，N/cm；

F-平均剥离力，N；

B-试样宽度，cm。

4结果与讨论

4.1交联度对EVA拉伸强度和断裂伸长率的影响

表3列出了部分EVA样品的拉伸强度和断裂伸长率的测试结果。

表3不同交联度EVA样品的拉伸强度和断裂伸长率

项目	1*EVA			2*EVA			3*EVA		
	交联度 (%)	拉伸强度 (Mp)	断裂伸长率 (%)	交联度 (%)	拉伸强度 (Mp)	断裂伸长率 (%)	交联度 (%)	拉伸强度 (Mp)	断裂伸长率 (%)
1	52.3	10.24	1034	45	7.89	955	34.8	7.46	1030
2	68.4	10.91	1045	63.5	10.35	980	46.5	8.3	1075
3	81.5	13.66	1150	77.8	12.75	1040	60.8	9.66	1124
4	84.1	13.78	1145	82.2	14.75	1075	80.1	11.72	1195
5	86.1	13.8	1050	85.5	15.41	995	86.7	14.61	1245
6	87.5	13.58	970	90.8	15.23	930	89.5	11.98	850
7	91.4	13.03	955	92.6	14.23	805	93.7	11.04	730
8	93.6	11.98	82	96.1	13.06	770	95.7	10.53	715

备注：表中各参数单位分别为：交联度 (%)、拉伸强度(Mp)、断裂伸长率 (%)；

根据上表中的拉力测试结果，绘制EVA的拉伸强度和断裂伸长率随交联度的变化曲线图，分别如图1、图2所示。

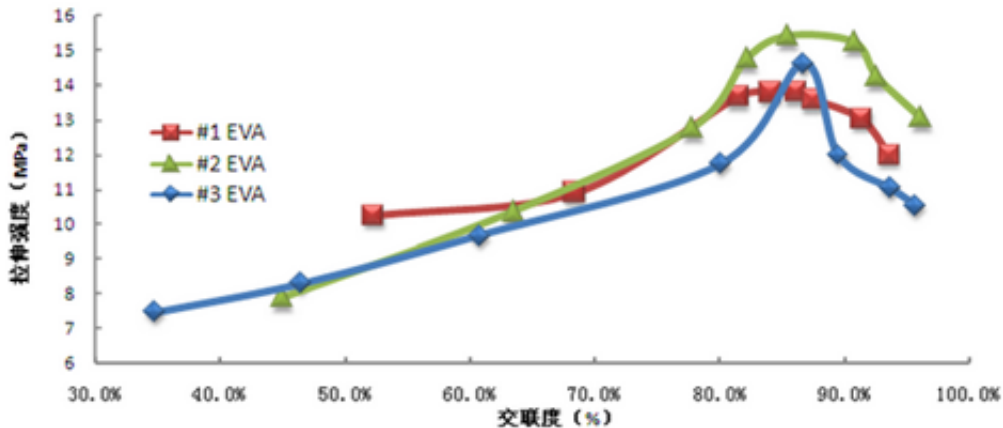


图1 三种不同厂家EVA的拉伸强度随交联度的变化曲线

通过图1我们可以看出，EVA的交联改性能够很明显的提高EVA的拉伸强度，未交联的EVA是线型高分子聚合物，其本身就具有一定的聚合强度，此时聚合物表现出“软而弱”的特点；随着交联反应的进行，EVA大分子间生成新的化学键，使得EVA由线型结构转变为三维网状结构。提高了EVA的内聚强度，使其具有更好的抗机械破坏能力，此时材料表现出“韧而强”的特点；但不同型号、不同交联程度的EVA，其拉伸强度具有一定的差异，且EVA的拉伸强度和交联度的关系曲线是一条有“峰值”的曲线。当交联度超过90%以后，EVA由塑性材料快速向固性材料转变，曲线的斜率（绝对值）很大。材料变得越来越硬且更易拉断，聚合物表现出越来越多的“硬而脆”特点。从图中很明显可以看出，EVA的交联度在80%~90%间，尤其是在87%左右时，EVA的拉伸强度最佳。

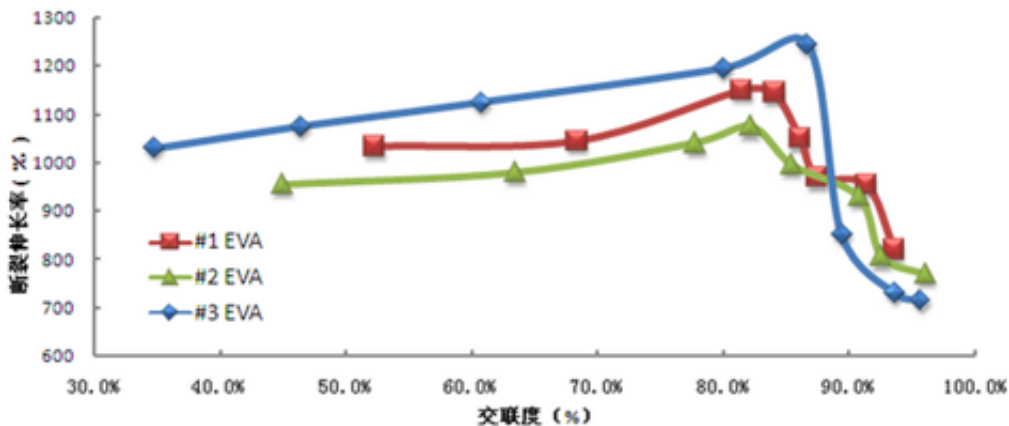


图2 三种不同厂家EVA的断裂伸长率随交联度的变化曲线

图2所描绘的是EVA的断裂伸长率随交联度的变化曲线。该曲线所表现出来的特征是：前期，随着EVA交联度的增大，其断裂伸长率逐渐提高；到达峰值后，特别是交联度超过86%左右以后，其断裂伸长率快速下降。当EVA交联度大于90%时，其断裂伸长率已经变得很低。这表明随着交联度的增加，其弹性伸展能力也随之越来越差。

我们看到，EVA的拉伸强度和断裂伸长率随交联度的变化曲线，都是一条有“峰值”的曲线；尽管三个厂家的EVA在成分和质量上存在一定的差异，但当EVA的交联度在85%左右时，它们拉伸强度和断裂伸长率两项性能都位于峰值点附近。

4.2 交联度对EVA粘合性能的影响

EVA胶膜在实际使用中作为粘合剂，将晶体硅光伏组件的各种材料粘合在一起，起到密封绝缘的作用。不同交联程度的EVA，其粘合强度是不同的，表4列出了EVA样品的粘结强度随着交联度变化的测试结果。

项目	1#EVA			2#EVA			3#EVA		
	交联度 (%)	与玻璃 粘结 (N/cm)	与 TPT 粘结 (N/cm)	交联度 (%)	与玻璃 粘结 (N/cm)	与 TPT 粘结 (N/cm)	交联度 (%)	与玻璃 粘结 (N/cm)	与 TPT 粘结 (N/cm)
1	78.8	136.9	106.4	69.8	110.7	92.1	70.7	123.5	94.1
2	81	139.4	91.1	71.7	113.3	92.6	78.4	139.7	97.6
3	82.2	141.6	95.5	78	116.7	99.4	81.7	151	103
4	84.1	150.6	108.6	80.4	116.3	107.9	85.2	119.7	131.8
5	87.5	141.5	117.7	83	112	119.4	88.4	110.7	116.8
6	90.1	135.5	125.5	88.4	114.7	125.5	91	89.7	113
7	92	101.7	112.1	92.7	76.2	88.1	93.1	74.2	103.4
8	93.8	80	95.6	94.2	72	76.6	94.5	59.4	76

注：表中各参数单位分别为：交联度（%）、EVA与玻璃/TPT的粘结强度（N/cm）。

根据表4的测试数据，分别绘制1#、2#、3#三个厂家的EVA样品与玻璃/TPT背板剥离强度随交联度的变化曲线图（如下图所示）。

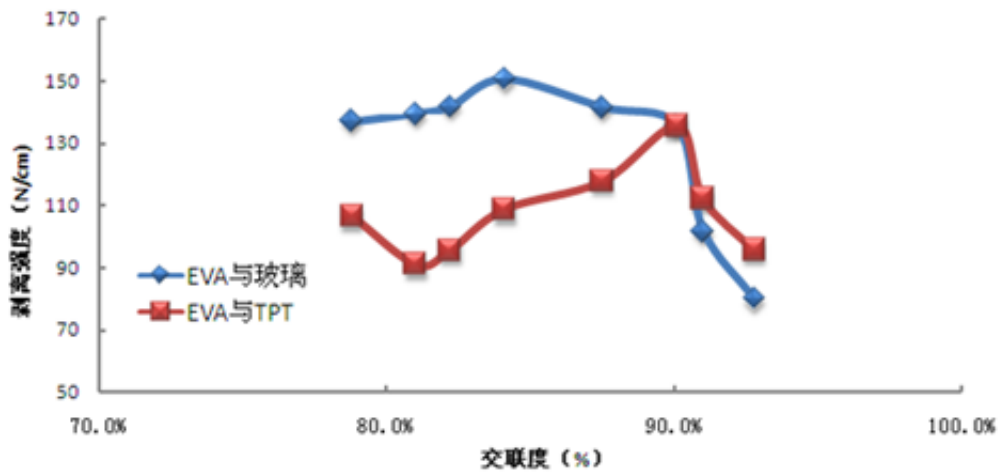


图3 1#EVA 样品剥离强度随交联度的变化曲线

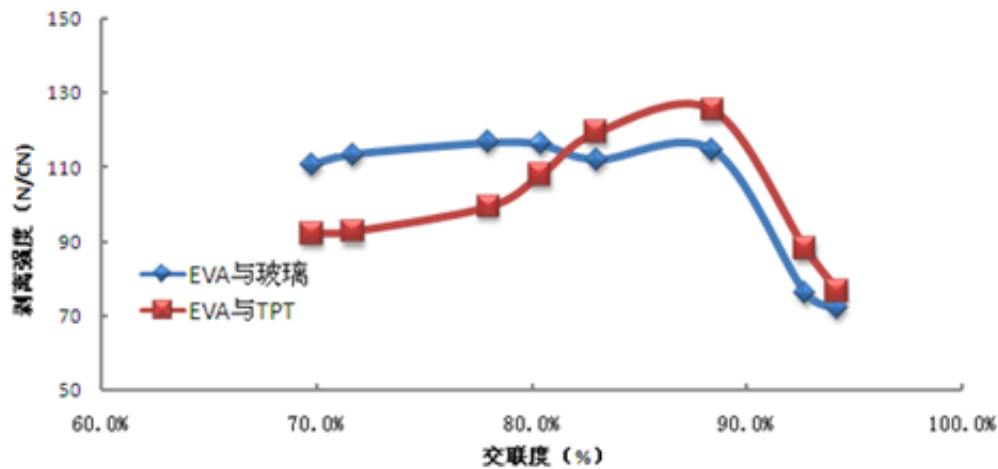


图4 2#EVA 样品剥离强度随交联度的变化曲线

结合图3、图4、图5可以看出：随着交联度的增大，对于不同厂家、不同型号的EVA(成分配比不同)，其对玻璃和背板剥离强度的变化曲线都有先增大后减小的规律，但其峰值对应的EVA交联度存在一定的差异，相对比较离散。总

的来说，三种EVA与玻璃/TPT的剥离强度最大值，均在EVA交联度80%~90%的范围内。当EVA的交联度大于90%时，其剥离强度值均快速下降，尤其是EVA与玻璃的剥离强度。

从此次研究的数据来看，在光伏行业的组件封装工艺中，将EVA的交联度定在85%，控制在80%~90%范围内，能够很好的保证EVA的各项力学性能都处在最佳范围内。

由于市场上EVA厂家型号众多，产品质量不一，此次试验选用行业内用量较大的知名厂家的产品作为研究标本，具有一定的代表性。虽然由于样品制备和实验操作中的一些不可控因素（例如：不同厂家研究样本的质量差异、层压后EVA样品厚度均匀性有一定差异等），但本研究建立在大量的样本测试和数据统计分析的基础上，具有较好的可靠性和稳定性，对组件的封装工艺有一定的参考价值。

5结论

（1）采用化学交联的方法使EVA的线性分子变成三维网状结构，如此提高了EVA的内聚强度，主要表现为其拉伸强度、断裂延伸率和玻璃/背板的剥离强度都得到了很大程度的提高；

（2）随着EVA交联度的增加，其各项力学性能均有着先增高后降低的变化规律，并不是交联度越大，EVA的力学性能就越好。并且，其各项力学性能的最大值点基本分布在80%-90%之间。我们还发现当交联度达到一定程度（超过90%）时，EVA会逐渐表现出“硬而脆”的特征，尤其是其断裂伸长率和与玻璃的剥离强度会急剧下降；

（3）在光伏行业的组件封装工艺中，建议将EVA的交联度定在85%，控制在80%~90%范围内。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/63093.html>