

UV 丙烯酸酯热熔压敏胶的共混与改性研究

杨晓满¹, 钱 军^{1*}, 石一峰²

(1. 华东理工大学材料科学与工程学院, 上海 200237;
2. 上海宏顶房科技有限公司, 上海 200237)

摘要: 选用 2 种商品化 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶, 研究了不同共混配比在不同紫外光固化条件下的性能变化, 以及与增粘树脂共混改性的效果。结果表明: 共混胶的交联程度与共混比例、照射光能呈正相关, 受光照强度影响较小; 共混胶的初粘性能与剥离强度受共混比例和光照能量影响显著, 持粘时间主要受共混比例调控, 力学性能基本不受照射光强的影响; UV 丙烯酸酯热熔压敏胶与氢化/非氢化增粘树脂共混改性后, 其力学性能呈不同变化趋势; 增粘树脂对丙烯酸酯热熔压敏胶的性能影响显著, 当增粘树脂含量为 10% 时, 初粘力和剥离强度有所提高, 而持粘时间随增粘树脂的添加持续降低。

关键词: 丙烯酸酯; UV 热熔压敏胶; 增粘树脂; 共混改性; 紫外光固化

中图分类号: TQ437.2

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2026)S2-0197-09

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.S2.033

Study on blending and modification of UV-curable acrylate hot-melt pressure-sensitive adhesives

YANG Xiao-man¹, QIAN Jun^{1*}, SHI Yi-feng²

(1. School of Materials Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China; 2. Shanghai Hongdingfang Technology Co., Ltd., Shanghai 200237, China)

Abstract: Two commercial ultraviolet (UV)-curable acrylate hot-melt pressure-sensitive adhesives (HMPSAs) were used to investigate the effects of blending ratio on adhesive properties under different UV-curing conditions, as well as the modification effect of tackifying resins. The results showed that the crosslinking degree increased with increasing blending ratio and irradiation energy, but was only slightly affected by irradiation intensity. Initial tack and peel strength were significantly influenced by blending ratio and irradiation energy, whereas holding time was mainly determined by blending ratio. Mechanical properties were essentially independent of irradiation intensity. After blending with hydrogenated and non-hydrogenated tackifying resins, the UV-curable acrylate HMPSAs showed different trends in mechanical properties. Tackifying resins significantly affected adhesive performance; at a resin content of 10%, initial tack and peel strength increased, while holding time continuously decreased with increasing resin content.

Key words: acrylate; UV hot-melt pressure-sensitive adhesive; tackifying resin; blending modification; UV curing

压敏胶是一类无需溶剂或加热等激发方法, 只需要对其施加轻微压力, 即可与被粘物间产生牢固粘接力的胶黏剂^[1-2]。由于其具有快速粘接、粘接性能稳定等优点^[3], 被广泛应用在胶带^[4]、标签^[5]、保护膜^[6]等民用产品以及医药、汽车、航空航天等工业领域^[7-9]。UV 丙烯酸酯热熔压敏胶近年来受到广泛关注, 核心原因首先在于其主要组分丙烯酸酯类单体种类丰富, 可灵活调控组成以实现优异的粘接性能; 其次, UV 光固化技术具备效率高、适用性广、经济节能的显著特点; 同时它还具备了热熔压敏胶近乎 100% 固含量^[10]、涂布效率高等优势, 多重核心优点的融合使其成为当下胶粘剂领域的研究与

应用热点^[11-13]。

当需要高粘接强度且对低表面能材料润湿效果好时, 增粘树脂的引入尤为重要^[14-16]。通过不同胶种和增粘树脂的共混改性, 可以快速获得不同的压敏胶性能^[17]。陆炳坤等^[18]将不同丙烯酸酯热熔压敏胶与不同软化点的萘烯酚树脂进行共混改性, 在 UV 固化后其性能变化呈不同趋势, 当使用极性较低的 TF2100 和 TF3100 萘烯酚树脂, 且树脂质量分数为 10%~20%、涂胶克重为 25 g/m², UV 丙烯酸酯热熔胶的初粘及剥离强度均有不同程度的提升。

值得注意的是, 松香树脂分子结构中含有的碳

收稿日期: 2026-04-14; 修回日期: 2026-06-11

作者简介: 杨晓满 (2001-), 男, 硕士生, 研究方向为 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶, 18701735032@163.com; 钱军 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向为高分子合成、胶粘剂、涂料的开发和研究, 通讯联系人, qianjun@ecust.edu.cn。

碳双键、芳香环等不饱和结构会与光引发剂竞争吸收 UV 能量,而氢化松香树脂^[19],因分子结构中不饱和键已基本饱和,在 UV 固化丙烯酸酯压敏胶过程中基本不吸收 UV 光,因此,有必要对两种树脂的使用情况做对比研究。

尽管 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶已展现出诸多优势,但目前市场产品较少,尚难满足多样化应用需求^[20]。直接合成目标性能产品存在研发周期长、成本高及性能调控灵活性不足等问题;相比之下,通过不同 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶之间的共混改性,可更灵活地调控材料性能并减少合成方面的压力。目前,关于商品化 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶之间及其与增粘树脂共混后性能变化规律的研究依然鲜见。黄柯萌^[21]对同体系不同分子量丙烯酸酯压敏胶的共混研究表明,共混胶力学性能并不随共混比例呈单调变化,而主要取决于体系中高分子量组分的占比。不同交联能力的 UV 胶之间混合,以及不同吸光程度的增粘树脂与 UV 胶混合后的交联和力学行为对性能的影响将是目前拓展 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶应用的研究热点。

本文遵循以上思路,研究了 2 种交联能力不同的 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶,在不同共混比例下经不同照射条件下其性能的变化;并研究氢化/非氢化两种增粘树脂的加入对 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶的力学性能影响,最后运用数学拟合的方法构建了预测共混胶交联度的数学模型,研究结果对拓宽 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶的应用范围具有实际应用价值与指导意义。

1 实验部分

1.1 实验原料

ODV-2046(低交联型)、ODV-2050(高交联型)型 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶,QH-50(氢化)、SZ-50(非氢化)型增粘树脂,乙酸乙酯(EA),均由上海宏顶房科技有限公司提供。

1.2 实验仪器

JA2102 型电子天平,上海豪晟科学仪器有限公司;DZF-6020 型真空干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;HG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;工业级有极汞灯,武汉政瑞科技有限公司;四通道 UV 能量计,武汉政瑞科技有限公司;RX300-2 型 UV 固化机,广东科建仪器有限公司;KJ-6018 型热熔贴合涂布实验机,KJ-6031 型胶带环形初粘力试验机,KJ-1065B 型胶带剥离强度

试验机,KJ-6012A 型胶带保持力试验机,广东科建仪器有限公司;哈克赛默飞 HAAKE MARS 60 Rheometer 流变仪,上海珩泽科技有限公司。

2 实验方法

2.1 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶间共混及其与增粘树脂复配样品制备

ODV-2046、ODV-2050 型 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶经 150℃ 熔融搅拌混合 150 min 达到共混均匀,按 ODV-2046:ODV-2050 质量比 100:0、75:25、50:50、25:75、15:85、0:100 制备共混胶样;另将 2 种 UV 胶分别与 SZ-50、QH-50 增粘树脂按 10%、20% 和 30% 的质量分数,采用相同工艺共混。所有胶膜均采用 KJ-6018 型热熔贴合涂布机制备,涂布量为 50 g/m²,并经紫外光照射固化。固化后的共混胶样及增粘树脂复配样以乙酸乙酯为溶剂进行凝胶率测试;由于增粘树脂不参与交联反应,凝胶率计算时已扣除其所占质量分数。同时,对各试样进行动态力学分析(DMA)测试。UV 固化胶膜采用 KJ-6003A 型标准裁样刀裁切为 150 mm×25 mm 标准样条,用于后续力学性能测试。

2.2 测试与表征

(1) 凝胶率测试:参照国标 GB/T 5009.6—2016 测试不同共混比例及照射条件下紫外光固化后压敏胶的凝胶率。

(2) DMA 测试:参照国标 GB/T 40396—2021,采用 HAAKE MARS 60 Rheometer 流变仪测试不同共混比例及照射条件下紫外光固化后压敏胶的动态力学性能。

(3) 环形初粘力测试:参照国标 GB/T 31125—2014,使用 KJ-6031 电脑式环形初粘力测试仪测试压敏胶的环形初粘力。

(4) 180°剥离强度测试:参照国标 GB/T 27792—2014,使用 KJ-1065B 电脑式胶带剥离强度测试仪测试压敏胶的 20 min 180°剥离强度。

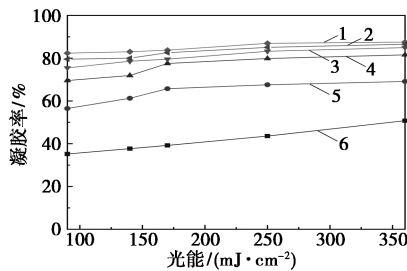
(5) 持粘时间测试:参照国标 GB/T 4851—2014,使用 KJ-6012A 烘箱型胶带保持力试验机测试压敏胶的 40℃ 持粘时间。

3 结果与讨论

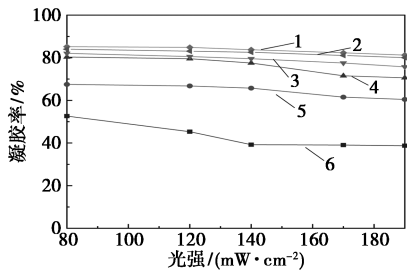
3.1 光强与光能对交联度的影响

为研究 UV 照射条件及共混比例对丙烯酸酯热熔压敏胶交联程度的影响,本文将未照射的高交联能力的 ODV-2050 胶和低交联能力的 ODV-2046

胶混合,将不同共混比例的共混胶进行同光强、不同光能和同光能、不同光强 2 种照射模式的 UV 固化,涂胶克重均为 50 g/m^2 。光强光能均由四通道 UV 能量计测试控制。对于同光强不同光能模式,有极汞灯照射光强设置为 140 mW/cm^2 ,调整传送带速度以改变照射时间进而调整照射光能;对于同光能不同光强模式,照射光能固定为 170 mJ/cm^2 ,调整固化机输入功率以调整照射光强。共混胶的共混比例以 ODV-2050 的质量分数代替,以乙酸乙酯为溶剂测试上述样品的凝胶率,结果见图 1。



(a) 凝胶率随光能变化



(b) 凝胶率随光强变化

1—100%; 2—85%; 3—75%; 4—50%; 5—25%; 6—0%

图 1 不同照射模式对共混胶凝胶率的影响

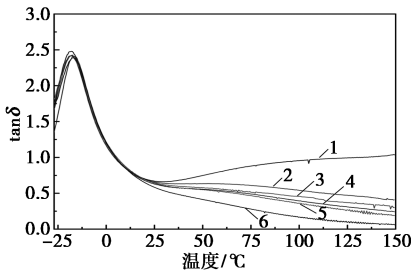
由图 1(a)可知,当光照强度恒定 140 mW/cm^2 时,随着光照能量提高,各共混比例的共混胶凝胶率均上升,其中 2 种单胶 ODV-2046 和 ODV-2050 的凝胶率分别从 35.2% 、 82.36% 升至 50.75% 、 87.55% ,这是因为紫外光激发了体系中的光引发剂基团,引发分子链间交联,光照能量越高,交联密度越大,凝胶率越高;由图 1(b)可知,当光照能量恒定 170 mJ/cm^2 时,随着光照强度的提高,共混胶的凝胶率基本保持不变,甚至略微下降,ODV-2046 和 ODV-2050 的凝胶率从 52.63% 、 85.20% 降至 38.74% 、 81.25% ,该现象在工业界也得到了印证,可解释为在高光强和较短的照射时间下,激发的自由基发生相互碰撞淬灭,降低了实际的交联效果,反而降低了凝胶率。

结合图 1 可知,在光照强度 140 mW/cm^2 、光照能量 170 mJ/cm^2 条件下,共混体系凝胶率与 ODV-

2050 质量占比呈正相关。ODV-2046 的凝胶率仅为 39.22% ,随着 ODV-2050 占比增加,体系凝胶率持续升高;当仅含 ODV-2050 时,凝胶率达到 83.74% 。说明引入 ODV-2050 可有效提高丙烯酸酯热熔压敏胶共混体系的交联程度。

3.2 共混比例对丙烯酸酯热熔压敏胶 DMA 的影响

为研究共混比例对共混胶动态力学性能的影响,选取 3.1 中的照射条件,设置照射光强为 140 mW/cm^2 ,照射光能为 170 mJ/cm^2 。将不同共混比例的共混胶膜进行 UV 固化后,进行 DMA 测试其 $\tan\delta$,共混胶的共混比例以 ODV-2050 的质量分数代替。



1—0%; 2—25%; 3—50%; 4—75%; 5—85%; 6—100%

图 2 各比例共混胶的 $\tan\delta$ -温度关系曲线图

各不同比例共混胶的 $\tan\delta$ -温度曲线如图 2 所示。通常,随着交联程度提高,压敏胶的 $\tan\delta$ -温度曲线趋于平缓,交联程度较低时,链段运动自由度较大, $\tan\delta$ 对温度变化更为敏感。基于此,选取 $50\sim 60^\circ\text{C}$ 区间进行分析。该区间内 $\tan\delta$ 与温度近似呈线性关系,计算 50°C 与 60°C 间 $\tan\delta$ 的斜率 K ,以定量表征共混体系的交联程度。同时,将共混比例、 T_g 、 K 及对应凝胶率列于表 1,并以 ODV-2050 质量分数为横坐标,分别与 T_g 、 K 和凝胶率作图,结果见图 3。

表 1 UV 固化后不同共混比例共混胶的 T_g 、 K 及凝胶率

ODV-2046/%	ODV-2050/%	$T_g/^\circ\text{C}$	K	凝胶率/%
100	0	-17.99	0.0054	39.22
75	25	-17.84	-0.0002	65.73
50	50	-17.65	-0.0021	77.54
25	75	-17.49	-0.0028	79.55
15	85	-17.40	-0.0030	82.58
0	100	-17.29	-0.0035	83.74

如图 3(a)所示,随着 ODV-2050 在共混体系中

占比的升高,共混体系的 T_g 也随之升高,且两者呈严格正相关,表明两种丙烯酸酯热熔胶相容性良好且共混均匀,尽管两个胶的 T_g 很接近, $\tan\delta$ -温度关系曲线依然能分辨出来。图3(b)为传统凝胶率方法表征的交联程度随 ODV-2050 占比的增加而增加,图3(c)采用流变的方法表征 ODV-2050 的引入对交联度的贡献。这两种方法均表明,ODV-2050 的引入提高了丙烯酸酯热熔压敏胶共混体系的交联程度,图3(d)表明 K 与凝胶率之间呈现出高度相关性,为流变学快速表征交联程度的方法提供了印证。

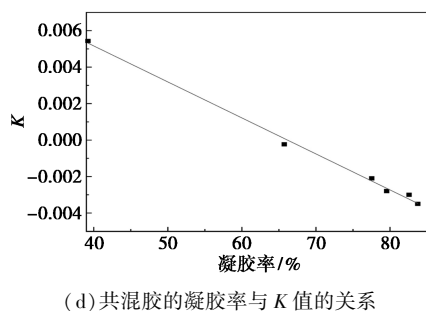
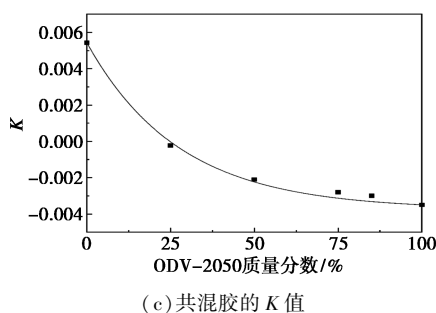
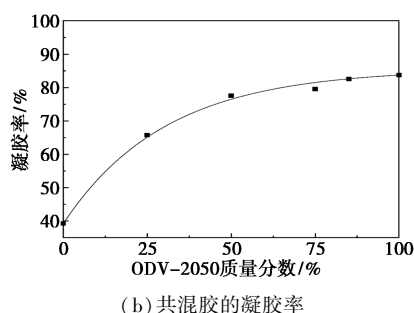
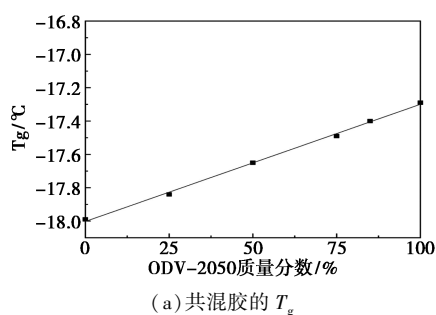
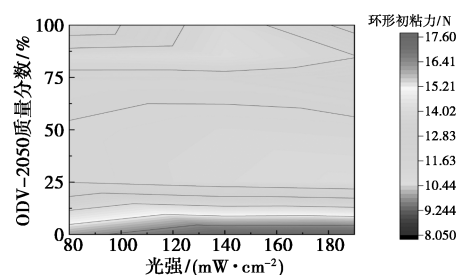
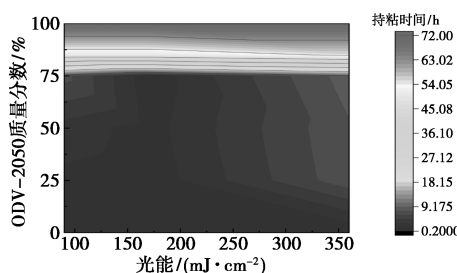
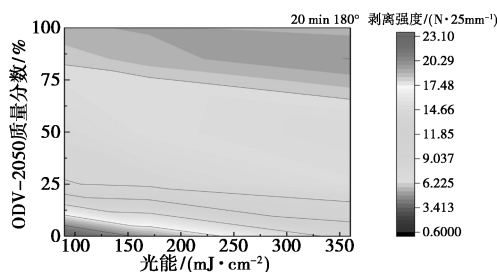
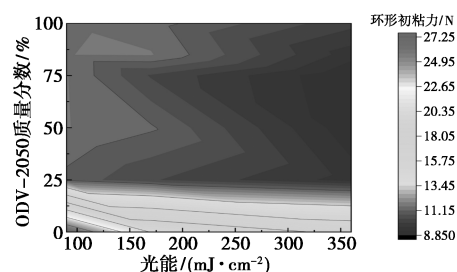


图3 共混比例对 T_g 、 K 凝胶率的影响

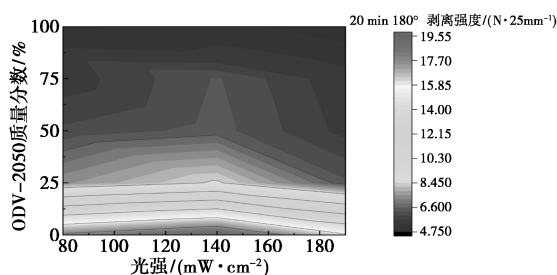
3.3 共混胶力学性能影响因素

为研究共混比例对不同 UV 照射条件下共混体系的力学性能影响,选取不同共混比例的压敏胶作为研究对象,UV 照射同 3.1,采用 2 种模式:固定照射光强为 $140 \text{ mW}/\text{cm}^2$,调整照射时间以改变照射光能;固定光能为 $170 \text{ mJ}/\text{cm}^2$,改变固化机输入功率以调控照射光强,同时调整相应车速以维持相同照射光能,照射固化后进行环形初粘力、20 min 180° 剥离强度和 40°C 持粘时间的力学性能表征,测试结果如图 4 所示。

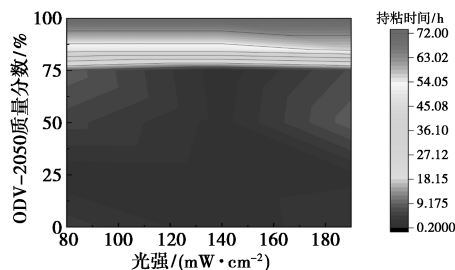
图 4 表明,在上述照射条件下,压敏胶的环形初粘力和 20 min 180° 剥离强度随 ODV-2050 在共混体系中的占比增加而下降,而 40°C 持粘时间随之升



(d) 光强对共混胶初粘力影响



(e) 光强对共混胶剥离强度影响



(f) 光强对共混胶的持粘时间影响

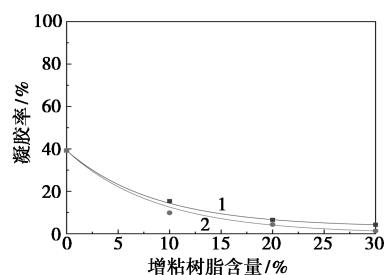
图 4 照射条件对不同共混胶力学性能的影响

高。由 3.1 可知,引入高交联度的 ODV-2050,提高了共混体系的交联程度,导致压敏胶对被粘物的表面润湿效果变差,降低了共混体系的初粘力和剥离强度,而压敏胶交联程度的提高,也提升了胶膜抵抗剪切应力下内部破坏能力,从而提高了压敏胶的持粘时间。

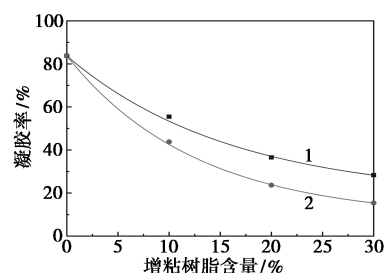
由图 4(a)~(c)可知,压敏胶的初粘力和剥离强度均随照射光能的增加而减小,持粘时间基本没变化,压敏胶的交联程度随照射光能的升高而增大,交联密度提升导致链段运动能力下降,压敏胶对被粘物的润湿效果变差,因此初粘力和剥离强度下降;由图 4(d)~(f)可知,在光照能量固定的条件下,该体系压敏胶的整体力学性能随光照强度的变化不明显,初粘力、剥离强度及持粘时间均无较大变化。

3.4 氢化/非氢化增粘树脂含量对 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶的性能影响

非氢化树脂分子结构中含有碳碳双键、芳香环等不饱和结构会与光引发剂竞争吸收 UV 能量,相较于氢化树脂对丙烯酸酯压敏胶的 UV 光交联过程影响较大。为研究氢化树脂/非氢化树脂对丙烯酸酯压敏胶 UV 固化过程的影响,将 QH-50 氢化和 SZ-50 非氢化树脂与 2 种 UV 胶按 2.1 节方法进行制样,设置照射光强为 140 mW/cm^2 ,照射光能为 170 mJ/cm^2 ,涂膜克重固定为 50 g/m^2 。对上述样品进行 UV 固化,按 2.2 节步骤测试凝胶率,测试结果如图 5 所示。



(a) 增粘树脂复配 ODV-2046



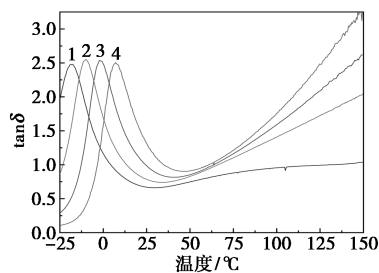
(b) 增粘树脂复配 ODV-2050

1—QH-50;2—SZ-50

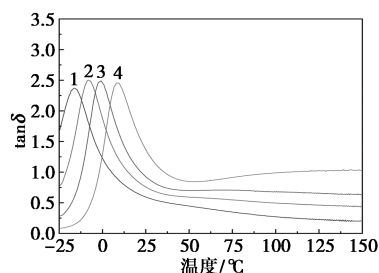
图 5 增粘树脂对丙烯酸酯压敏胶的交联度影响

由图 5 可知,增粘树脂的加入显著降低了 UV 胶的凝胶率。这是因为增粘树脂与光交联剂竞争吸收 UV 能量,从而抑制压敏胶的交联过程。相比之下,QH-50 复配样的凝胶率始终高于 SZ-50 复配样,说明在相同添加比例下,非氢化树脂 SZ-50 对 UV 光吸收更强,对交联过程的干扰更明显。随着增粘树脂添加量增加,凝胶率进一步降低,但在低添加量条件下,两者差异较小。

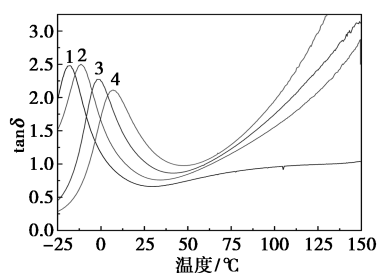
将上述样品按 2.2 节步骤进行 DMA 测试, $\tan\delta$ -温度关系曲线如图 6 所示。



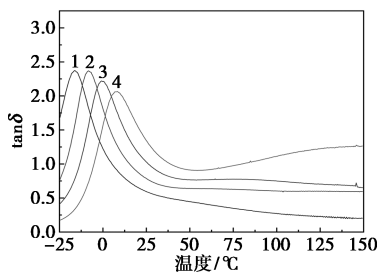
(a) QH-50 复配 ODV-2046



(b) QH-50 复配 ODV-2050



(c) SZ-50 复配 ODV-2046



(d) SZ-50 复配 ODV-2050

1—0%; 2—10%; 3—20%; 4—30%

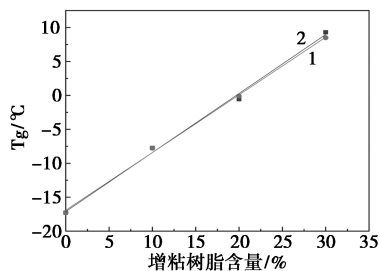
图 6 增粘树脂复配压敏胶的 $\tan\delta$ -温度曲线

将图 6 中样品的 T_g 和 50、60℃ 两点间的 $\tan\delta$ 斜率 K 、以及对应的凝胶率列于表 2, 并将 ODV-

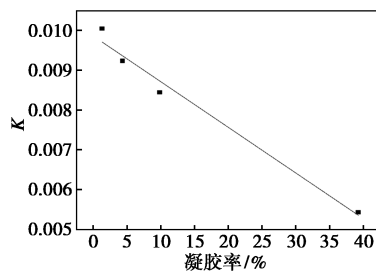
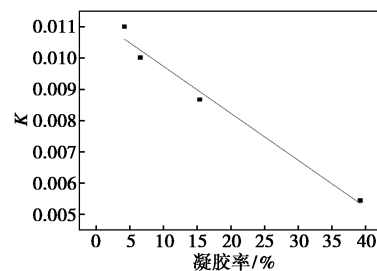
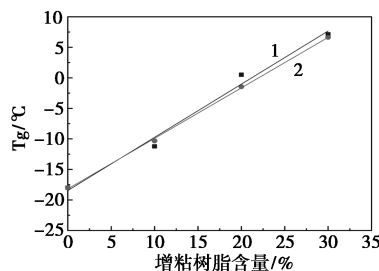
2050 质量分数与之作图, 得到图 7。

表 2 各比例下复配样的 T_g 、 K 及凝胶率

ODV- 2046/%	ODV- 2050/%	SZ-50/ %	QH-50/ %	T_g /°C	K	凝胶率/ %
100		0	0	-17.99	0.0054	39.22
90		10		-11.22	0.0085	9.85
80		20		0.51	0.0092	4.35
70		30		7.13	0.0101	1.32
90			10	-10.32	0.0087	15.37
80			20	-1.45	0.0100	6.54
70			30	6.63	0.0110	4.21
	100	0	0	-17.29	-0.0035	83.74
	90	10		-7.78	-0.0013	43.79
	80	20		-0.12	0.0001	23.67
	70	30		8.49	0.0011	15.34
	90		10	-7.74	-0.0011	55.48
	80		20	-0.56	0.0007	36.54
	70		30	9.30	0.0017	28.29



1—SZ-50; 2—QH-50

(a) 增粘树脂复配 ODV-2046 的 T_g (b) SZ-50 复配 ODV-2046 的 K -凝胶率(c) QH-50 复配 ODV-2046 的 K -凝胶率

1—SZ-50; 2—QH-50

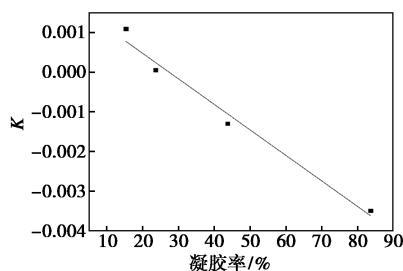
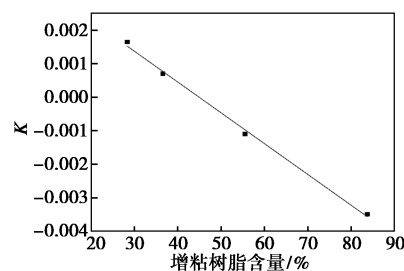
(d) 增粘树脂复配 ODV-2050 的 T_g (e) SZ-50 复配 ODV-2050 的 K -凝胶率(f) QH-50 复配 ODV-2050 的 K -凝胶率

图 7 增粘树脂复配 UV 丙烯酸酯压敏胶的 DMA 测试结果

由图 7(a)、(d)可知,随着增粘树脂含量增加,2 种压敏胶体系的 T_g 均明显升高,且与添加量呈正相关,说明共混均匀且相容性良好;同时,图 7(b)、(c)、(e)、(f)表明 $\tan\delta$ 斜率 K 与凝胶率仍保持较高相关性,流变方法仍可有效表征复配体系的交联程度。

将上述样品进行力学测试,研究增粘树脂的种类及含量对压敏胶初粘、剥离强度、40℃持粘时间的影响,结果如图 8 所示。

由图 8(a)可知,ODV-2046 的初始初粘力为 17.48 N;当增粘树脂含量为 10%时,压敏胶体系流动性和润湿性得到改善,初粘力显著提高至 30.51 N

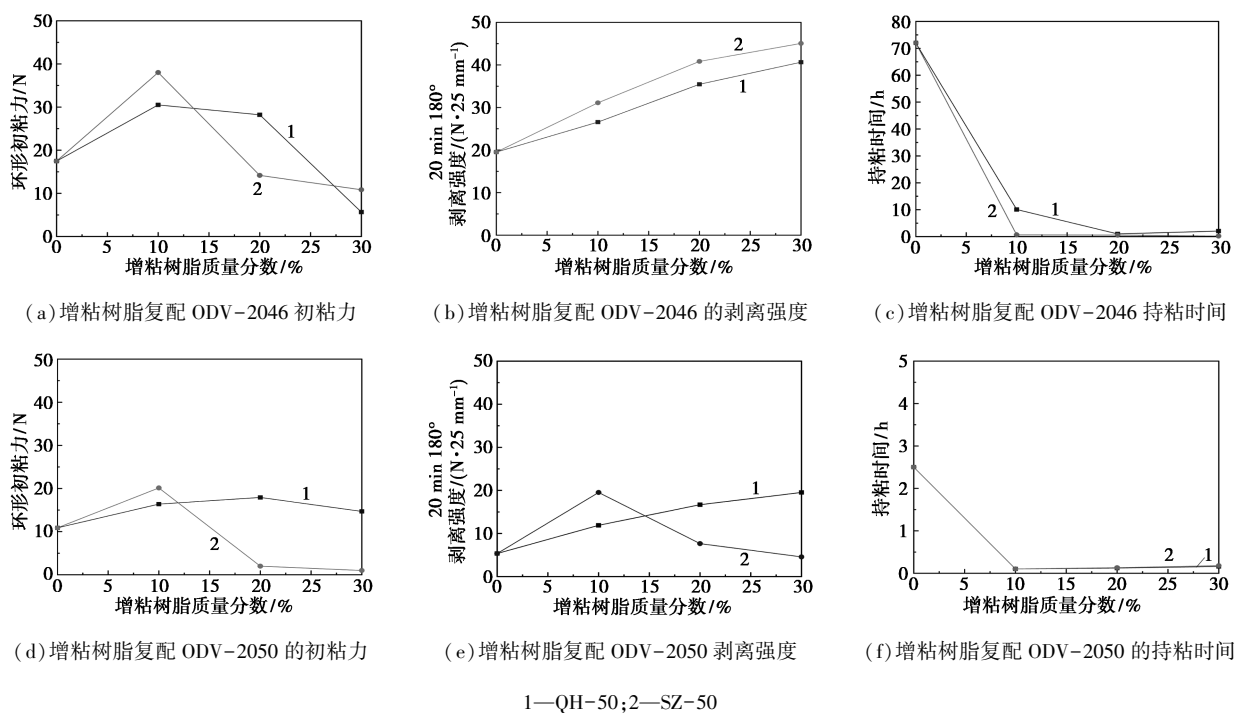
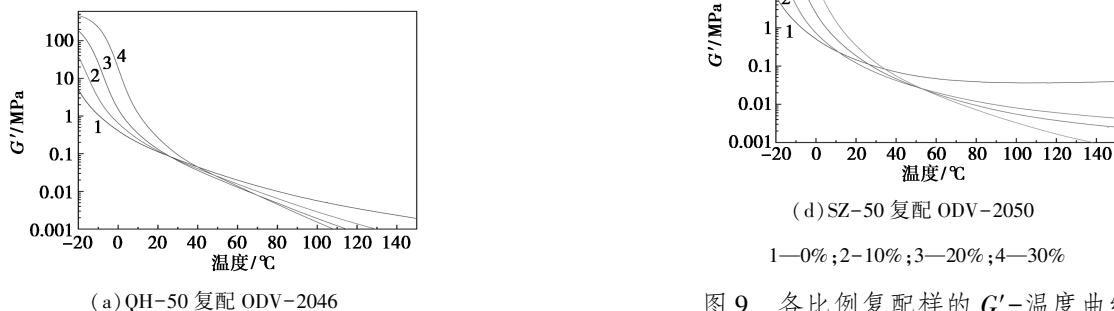


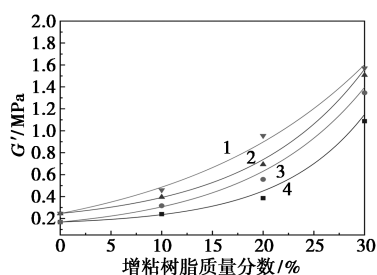
图 8 增粘树脂复配压敏胶紫外光固化后的力学性能

和 38.03 N。增粘树脂含量进一步升高,复配样出现竹节破坏,初粘力降至 5.67 N;由图 8(d)可知,ODV-2050 的初始初粘力为 10.87 N;当 2 种增粘树脂添加量为 10% 时,均表现出明显增粘作用,使初粘力提高。进一步增加树脂添加量后,QH-50 复配样出现竹节破坏,而 SZ-50 复配样基本失去初粘性,初粘力降至 0.99 N。

由图 8(b)、(e)可知,添加 10% 增粘树脂时,增粘树脂的增粘效果使得两种压敏胶体系的 20 min 180° 剥离强度明显提高,当增粘树脂含量继续升高时,不同体系表现出明显差异:ODV-2046 的剥离强度仍呈上升趋势,而 ODV-2050 复配 SZ-50 体系的剥离强度开始下降。

为阐明上述增粘树脂复配样初粘力和剥离强度变化的原因,将各比例复配样的 G' -温度曲线列于图 9,并将剥离测试条件下对应各比例样品的 G' 示于图 10 中。

图 9 各比例复配样的 G' -温度曲线



1—SZ-50 复配 ODV-2050; 2—QH-50 复配 ODV-2050;
3—SZ-50 复配 ODV-2046; 4—QH-50 复配 ODV-2046

图 10 剥离强度测试条件下各比例复配样的 G'

由图 10 可知,在相同复配比例下,ODV-2050 体系的 G' 明显高于 ODV-2046 体系;对于同一种压敏胶,SZ-50 复配样的 G' 也高于 QH-50 复配样。这说明增粘树脂添加过多会使体系 G' 增大,降低压敏胶对被粘物的湿润效果,对应图 8(a)、(b) 增粘树脂含量超过 10% 后,压敏胶的初粘力发生下降;结合图 5(a) 和图 10 可知,ODV-2046 本身交联程度较低、 G' 较小,因此即使继续增加增粘树脂含量,剥离强度仍能提高,这也解释了图 8(b) 的现象。相比之下,由图 8(d) 可知,ODV-2050 本身交联程度较高、 G' 较大,当 SZ-50 含量超过 10% 时,胶层刚性明显增强,并出现竹节破坏,最终使剥离强度明显下降;而 QH-50 对体系模量的提高相对较缓,因此在本研究范围内仍能较好平衡界面润湿和内聚强度,剥离强度仍呈上升趋势。

由图 8(c) 和图 8(f) 可知,在加入增粘树脂后 ODV-2050 的持粘时间下由 72 h 以上,下降到不足 1 h,ODV-2046 的持粘时间也同样下降明显。这是由于增粘树脂对压敏胶交联反应起明显的抑制作用,导致压敏胶的持粘时间大幅下降。

3.5 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶共混交联度模型研究

不同照射条件下不同共混比例的 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶共混体系具有不同的凝胶率,可将光照能量、光照强度、共混比例作为 3 个自变量以如式 (1) 的幂律模型对凝胶率进行回归。

$$Z = kw^a E^b I^c \quad (1)$$

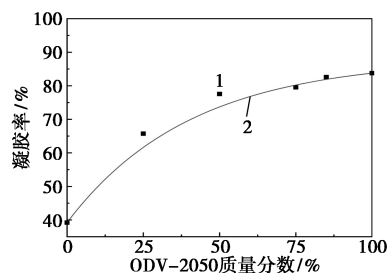
式中: Z 为紫外光固化后不同共混比例 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶的凝胶率,%; w 为共混比例,使用 ODV-2050 在共混体系中的质量分数占比来代替,%; E 为光照能量, mJ/cm^2 ; I 为光照强度, mW/cm^2 ; a, b, c 为相应项的幂率参数

拟合结果为: $k = 78.42$ 、 $a = 0.17$ 、 $b = 0.060$ 、 $c = -0.049$ 、 $R^2 = 0.94$ 。

代入式 (1), 即得式 (2)。

$$Z = 78.42w^{0.17}E^{0.06}I^{-0.049} \quad (2)$$

相关系数 R^2 达到 0.94, 接近 1, 表明该式对光能光强及共混比例与凝胶率的关系描述较吻合。选取照射光强 $140 \text{ mW}/\text{cm}^2$, 照射光能 $170 \text{ mJ}/\text{cm}^2$, 使用式 (2) 进行模拟得到凝胶率随 ODV-2050 质量分数的模拟曲线, 并将该曲线与 3.1 中实际照射条件下得到的凝胶率作图, 得到图 11。



1—原始数据; 2—模拟曲线

图 11 模拟凝胶率与实际凝胶率对比图

可以看到模拟曲线和原始数据十分接近, 模拟效果较好。由式 (2) 可知, 参数 k, a, b 均大于零, 这表明当光照强度 I 保持不变时, 两种丙烯酸酯热熔压敏胶以任意比例共混, 其共混体系的凝胶率均会随照射光能的增加而逐渐升高; 由于参数 $c < 0$, 当光照能量 E 固定时, 任意共混比例的共混胶, 其凝胶率会随照射光强的增大而呈现下降趋势; 此外, 由于关于共混比例的参数 $a > 0$, 且 a 值相对较大, 这说明共混比例 w 对共混体系凝胶率影响占主导地位, 这也解释了图 4(c) 中持粘时间与共混比例的关系。

该经验模型可有效预测不同光照能量、光照强度下, 任意共混比例的丙烯酸酯热熔压敏胶的交联程度, 为 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶的性能调控、参数选择, 以及未来理论模型计算具有参考意义。

4 总结

本文以 2 种商品化 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶为原料进行不同比例共混, 研究 UV 固化条件及共混比例对性能的影响, 并将 UV 丙烯酸酯热熔压敏胶与增粘树脂进行共混改性, 得到以下结论。

(1) 共混胶 UV 固化后, 其交联程度主要与共混比例相关, 高交联度丙烯酸酯热熔压敏胶的加入可以显著提高压敏胶共混体系的交联程度, 而光能、光强对共混体系的交联程度影响相对较小。

(2) 共混胶的力学性能与照射光能、共混比例均相关, 其中初粘力和剥离强度随照射光能的增大

而减小,持粘时间基本不受光能影响。

(3) 氢化树脂与非氢化树脂对丙烯酸酯热熔压敏胶的性能影响较为显著,在照射光强 140 mW/cm^2 ,照射光能 170 mJ/cm^2 的条件下,增粘树脂含量达 10% 时,两种丙烯酸酯热熔压敏胶的初粘性能和剥离强度均有所提高,而持粘时间下降明显。

(4) 针对不同照射条件与共混比例的丙烯酸酯热熔压敏胶共混体系凝胶率,采用幂律模型进行回归拟合,结果表明该模型能够较好表征其交联行为,可为共混胶体系性能调控及应用参数优化提供参考。

参考文献

- [1] 黄毅,蔡捷鸿,张溢辉,等.丙烯酸酯预聚物及其压敏胶的制备与性能研究[J].中国胶粘剂,2024,33(10):31-37.
- [2] Fang C, Jing Y, Zong Y, et al. Preparation and characterization of fluorine-containing acrylic latex PSAs using a reactive surfactant[J]. Journal of Fluorine Chemistry, 2016, 192: 113-119.
- [3] Fonseca G E, McKenna T F, Dube M A. Miniemulsion vs. conventional emulsion polymerization for pressure-sensitive adhesives production[J]. Chemical Engineering Science, 2010, 65(9): 2797-2810.
- [4] Lei H, He D, Guo Y, et al. Synthesis and characterization of UV-absorbing fluorine-silicone acrylic resin polymer[J]. Applied Surface Science, 2018, 442: 71-77.
- [5] Jin X, Bai Y, Shao L, et al. Properties of solvent-borne acrylic pressure-sensitive adhesives synthesized by a simple approach[J]. eX-PRESS Polymer Letters, 2009, 3(12): 814-820.
- [6] Sabatini V, C Cattò, Cappelletti G, et al. Protective features, durability and biodegradation study of acrylic and methacrylic fluorinated polymer coatings for marble protection[J]. Progress in Organic Coatings, 2018, 114: 47-57.
- [7] 尉晓丽,傅和青.改性水性丙烯酸酯压敏胶研究进展[J].化工进展,2012,31(1):176-184.
- [8] Drosbeke M A, Aksakal R, Simula A, et al. Biobased acrylic pressure-sensitive adhesives[J]. Progress in Polymer Science, 2021, 117: 101396.
- [9] Bednarczyk P, Mozelewska K, Czech Z. Influence of the UV crosslinking method on the properties of acrylic adhesive[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2020, 102: 102652.
- [10] 王虎,胡维,林克华,等.耐高温保护膜压敏胶的制备及性能研究[J].中国胶粘剂,2023,32(6):1-5,25.
- [11] 宋亚军,梅佳明,沈树人,等.辐射固化压敏胶研究进展[J].精细与专用化学品,2024,32(6):1-5.
- [12] Wongsamut C, Suwanpreedee R, Manuspiya H. Thermoplastic polyurethane-based polycarbonate diol hot melt adhesives; The effect of hard-soft segment ratio on adhesion properties[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2020, 102: 102677.
- [13] Doi T, Takagi H, Shimizu N, et al. Effects of conditions in hot-melt coating process on microphase-separated structures and macroscopic deformation in coated layers composed of di- and triblock copolymer blends[J]. Progress in Organic Coatings, 2021, 152: 106115.
- [14] Wang D, Hao D, Wu J, et al. Rheology-based analysis of the effect of different tackifying resins on the cross-linking behavior of UV SBS pressure-sensitive adhesives[J]. Reactive and Functional Polymers, 2025, 213: 106272.
- [15] Zhang A, Ha Z, Xia Y, et al. Synergistic improvement on both the oil-resistance and heat-resistance performance of a single-component acrylic pressure-sensitive adhesive[J]. Progress in Organic Coatings, 2022, 172: 107096.
- [16] Mallégol J, Bennett G, McDonald P J, et al. Skin development during the film formation of waterborne acrylic pressure-sensitive adhesives containing tackifying resin[J]. The Journal of Adhesion, 2006, 82(3): 217-238.
- [17] 颜标.丙烯酸酯压敏胶改性的研究进展[J].化学工程与装备,2013,(1):144-146.
- [18] 陆炳坤,钱军,石一峰. UV 固化条件对丙烯酸酯热熔压敏胶的性能影响研究[J].现代化工,2025,45(12):187-193.
- [19] 任晓康.氢化松香/丙烯酸酯复合细乳液的制备及其压敏胶的研究[D].广州:华南理工大学,2013.
- [20] 王宝兰. UV 固化聚丙烯酸酯压敏胶的制备[D].武汉:华中师范大学,2023.
- [21] 黄柯萌.丙烯酸酯压敏胶的共混行为研究[D].上海:华东理工大学,2023. ■
- [15] Yang H, Liu Y, Li J. Full-wood photoluminescent and photothermic materials for thermal energy storage[J]. Chemical Engineering Journal, 2021, 403(1): 126406.
- [16] Kazaz O, Karimi N, Kumar S, et al. Thermally enhanced nanocomposite phase change material slurry for solar-thermal energy storage[J]. Journal of Energy Storage, 2024, 5(2): 78.
- [17] Gupta K K, Rathore P K S, Sikarwar B S, et al. Solar to thermal energy storage performance of composite phase change material supported by copper foam loaded with graphite and boron nitride[J]. Solar Energy, 2024, 272: 112459.
- [18] Yu H, Ge X, Xing R, et al. Intelligent thermal control system in dark environments based on azobenzene-graphene photothermal phase-change energy storage composites[J]. Composites Part B: Engineering, 2026, 309: 113095.
- [19] 肖俊兵,钟湘宇,任建地,等.基于生物碳材料强化的硬脂酸相变材料储热性能研究[J].化工学报,2025,76(3):1312-1322.
- [20] 张永文,杨郁,杨倩倩,等.生物炭/聚乙二醇复合相变材料的制备及其性能研究[J].化学工程师,2024,38(6):6-11. ■

(上接第 196 页)