

# 叔碳酸缩水甘油酯在聚氨酯 UV 树脂中的应用 耐老化、强附着，特别适合于金属基材的粘接

## 一、产业背景

UV 光固化树脂凭借固化速度快（秒级固化）、能耗低、VOC 排放极低、生产效率高等核心优势，广泛应用于木器涂料、塑胶涂装、油墨、胶粘剂、电子三防漆、3C 产品涂层等领域，是绿色涂料与先进制造的核心材料。其中，聚氨酯丙烯酸酯（PUA，俗称聚氨酯 UV 树脂）因兼具聚氨酯的高弹性、耐磨损、耐低温与丙烯酸酯的快速固化、高光泽、耐候性，成为 UV 树脂中占比最高（约 40%）、应用最广的品类，尤其适配 3C 电子、汽车内饰、高端木器等对柔韧性、附着力、耐老化要求严苛的场景。

随着全球“双碳”政策深化、环保法规（如欧盟 REACH、国内 GB 38507-2020）趋严，及下游产业向高端化、功能化、低 VOC 升级，传统聚氨酯 UV 树脂面临三大产业瓶颈：一是本体粘度偏高（25℃下 5000 - 15000 mPa·s），需添加大量丙烯酸酯类活性稀释剂（如 TMPTA、HDDA）降粘，而此类稀释剂刺激性大、固化收缩率高、易致漆膜脆裂、耐候性差；二是固化后柔韧性与耐老化性不足，在高低温循环、湿热、紫外环境下易开裂、失光、附着力下降，难以满足 5G 电子、新能源汽车等高端场景 10 年以上使用寿命要求；三是 VOC 与环保合规压力，部分低分子量稀释剂存在挥发风险与皮肤刺激性，不符合低毒、低 VOC 的产业趋势。

叔碳酸缩水甘油酯（E10P，新癸酸缩水甘油酯）是单官能度环氧单体，分子含高活性环氧基团与高度支链化叔碳长链，兼具低粘度、低毒、低挥发、强结构稳定性等特点。近年，其作为改性单体 / 活性稀释剂逐步应用于聚氨酯 UV 树脂合成与配方，通过化学接枝或物理共混引入叔碳结构，完美解决传统 PUA 树脂的粘度、柔韧性、耐候性痛点。当前，国内高端聚氨酯 UV 树脂年需求量超 10 万吨，叔碳酸缩水甘油酯在其中的应用渗透率正从 15% 向 30% 快速提升，成为推动 UV 树脂产业升级的关键功能性原料。

## 二、客户痛点与核心需求

### （一）聚氨酯 UV 树脂通用痛点

1. 粘度与施工性、性能的矛盾：纯 PUA 树脂粘度高，不加稀释剂无法适配喷涂、辊涂、淋涂等工艺；添加普通丙烯酸酯稀释剂（如 HDDA）虽降粘，但固化收缩率达 8% - 15%，易导致漆膜翘曲、基材变形、附着力变差，且固化物脆性大、抗冲击性弱。
2. 固化后柔韧性与耐老化短板：传统 PUA 树脂固化后玻璃化温度（T<sub>g</sub>）偏高、断裂伸长率低（通常 < 50%），在 \*\* -40℃ 低温环境下易脆裂 \*\*；同时，分子链缺乏稳定保护，耐紫外老化、耐湿热、耐水解性能不足，户外使用 1 - 2 年即出现失光、粉化、开裂，无法满足高端耐用场景需求。
3. 环保与安全性痛点：普通丙烯酸酯稀释剂气味大、皮肤刺激性强，生产与施工环境易危害工人健康；部分低分子量稀释剂固化不完全易残留挥发，导致产品 VOC 超标，不符合出口与国内环保合规要求。
4. 基材附着力不足：传统 PUA 树脂对极性差异大的基材（如 PP、PE、铝合金、老化塑料）润湿与粘接能力弱，易出现缩边、缩孔、脱落问题，需额外添加附着力促进剂，增加配方成本与工艺复杂度。

## （二）下游核心应用场景专属痛点

3C 电子（手机 / 电脑外壳、按键、PCB 三防漆）：要求树脂低粘度适配精密喷涂、快速固化、高硬度（2H - 3H）、高柔韧性（耐弯折）、耐指纹、耐盐雾、低离子杂质，且对 PC、ABS、铝合金基材附着力达 100%，无脱落、腐蚀风险。

汽车内饰（仪表板、门板、座椅涂层）：需满足耐高低温循环（-40℃~85℃，1000 次）、耐湿热（85℃/85% RH，500 h）、耐 UV 老化（3000 h 无失光）、低气味、无卤，同时兼顾高耐磨与触感爽滑。

高端木器（实木家具、地板）：要求高光泽、高丰满度、耐黄变、耐划伤、耐水性好，且施工时流平性佳、无气泡、无缩孔，适配自动化辊涂、淋涂生产线。

## （三）客户核心需求总结

- 低粘度易施工：低添加量显著降粘，适配自动化工艺，无堵枪、流平不良问题；
- 高柔韧抗开裂：固化物断裂伸长率高、耐低温、抗冲击，解决脆裂、变形痛点；
- 强耐候长寿命：耐紫外、耐湿热、耐水解、耐黄变，延长产品使用寿命；
- 环保低毒合规：低 VOC、低气味、低刺激、无卤，满足全球环保与安全标准；
- 高附着广适配：对多基材润湿好、附着力强，简化配方、降低成本；
- 性价比优：改性后综合性能提升，成本增幅可控，适配高端量产需求。

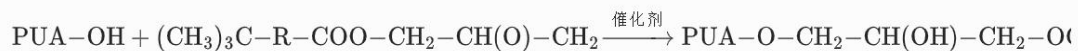
## 三、叔碳酸缩水甘油酯在聚氨酯 UV 树脂中的反应原理

叔碳酸缩水甘油酯（E10P）分子结构含 1 个高活性环氧基团（端基）与 1 个高度支链化叔碳长链（新癸酸酯基），在聚氨酯 UV 树脂中主要通过化学接枝改性（主流）与物理共混辅助改性两种方式引入，核心反应为环氧基团与活性氢的开环加成反应，将叔碳结构稳定键合到 PUA 分子链中。

### （一）化学接枝改性（合成阶段引入，性能最优）

聚氨酯 UV 树脂合成核心为异氰酸酯（-NCO）与多元醇（-OH）的逐步聚合，生成含氨基甲酸酯键（-NHCOO-）的预聚体，再引入丙烯酸羟乙酯（HEA）封端，得到末端含丙烯酸双键（UV 固化基团）的 PUA 树脂。叔碳酸缩水甘油酯的接枝反应嵌入预聚体合成后、封端前的工序，反应原理分两步：

1. 环氧开环引入羟基：在有机锡催化剂（如二月桂酸二丁基锡）与 80 - 100℃温和条件下，E10P 的环氧基团与 PUA 预聚体中残留羟基（-OH）或羧基（-COOH）发生开环加成反应，环氧环断裂生成新的羟基（-OH），同时将叔碳长链通过醚键 / 酯键稳定接枝到 PUA 主链上，反应式简化如下：



2. 双键封端完成改性：接枝后的 PUA 预聚体含新增羟基，继续与 HEA 的 -NCO 基团反应，完成丙烯酸双键封端，最终得到主链含叔碳侧链、末端含 UV 固化双键的改性聚氨酯 UV 树脂。

反应核心特点：反应条件温和（无高温高压）、转化率高（≥95%）、无小分子副产物释放；叔碳长链以侧链形式分布在 PUA 分子链间，不破坏主链结构，同时为树脂引入空间位阻、疏水性、柔性链段三大核心性能。

### （二）物理共混辅助改性（配方阶段添加，便捷高效）

在成品聚氨酯 UV 树脂配方中，直接添加 5% - 20% 的叔碳酸缩水甘油酯，利用其低粘度、与 PUA 无限相容的特点，通过物理分散均匀混合。此方式无需改造合成工艺、操作简单、成本低，适用于中小批量快速改性；但 E10P 仅为物理分散，未化学键合，长期使用可能存在轻微迁移风险，性能提升幅度略低于化学接枝。

#### 四、叔碳酸缩水甘油酯在聚氨酯 UV 树脂中的应用优点

叔碳酸缩水甘油酯通过化学接枝或物理共混引入聚氨酯 UV 树脂后,依托叔碳长链的空间位阻效应、高疏水性、低分子间作用力及环氧开环引入的柔性基团,从施工性、力学性能、耐候性、环保性、附着力五大维度全面提升树脂性能,完美匹配下游高端场景需求。

(一) 低粘度高效降粘, 适配自动化精密施工

- 极低本体粘度: E10P (25℃, 50 - 100 mPa·s) 粘度远低于传统 PUA 树脂与普通丙烯酸酯稀释剂, 添加 5% - 15% 即可将 PUA 粘度从 10000 mPa·s 降至 2000 mPa·s 以下, 满足精密喷涂、辊涂、淋涂等自动化工艺要求, 无堵枪、流平不良、缩孔问题, 施工良率提升 20% 以上。
- 降粘不增收缩: 普通丙烯酸酯稀释剂固化收缩率 8% - 15%, 而 E10P 单官能度、固化时仅参与一次交联, 收缩率 $\leq$ 3%, 大幅降低漆膜翘曲、基材变形风险, 尤其适配薄涂、精密基材(如 PC 薄膜、超薄铝板)。

(二) 强增韧降内应力, 固化物柔韧抗裂

- 柔性侧链增韧: 接枝在 PUA 主链的叔碳长链为柔性侧链, 可在分子链间形成“缓冲层”, 降低分子链间作用力、提升链段运动能力, 改性后 PUA 固化物断裂伸长率从 50% 提升至 150% - 250%, 低温(-40℃)弯折无裂纹, 抗冲击强度提升 60% 以上, 彻底解决传统 PUA 脆裂、不耐低温痛点。
- 低内应力防脱粘: 叔碳结构的位阻效应可降低固化交联密度、分散内应力, 改性后树脂固化内应力降低 50% 以上, 杜绝漆膜因内应力过大导致的附着力下降、脱落, 尤其适配 3C 电子、汽车内饰等复杂材质粘接场景。

(三) 叔碳位阻保护, 耐候耐老化性能飞跃

- 耐紫外老化(位阻防降解): 叔碳长链的高度支链化结构对 PUA 主链的氨基甲酸酯键、酯键形成强大空间位阻保护, 阻碍紫外线(UV)穿透与自由基攻击, 抑制分子链降解、断裂。改性后 PUA 漆膜紫外老化 3000 h 无失光、无粉化、无开裂, 光泽保持率 $\geq$ 90%, 而传统 PUA 仅 50% - 60%。
- 耐湿热耐水解(疏水阻隔): 叔碳长链强疏水性可在漆膜表面形成致密疏水层, 阻隔水分子、湿气渗透, 同时位阻效应保护酯键免于水解。改性后树脂耐湿热(85℃/85% RH, 1000 h)粘接强度保持率 $\geq$ 85%, 耐水解性能提升 1 倍以上, 适配户外、高湿环境长期使用。
- 耐黄变性能优异: 叔碳结构无共轭双键、不易被氧化变色, 改性后 PUA 热黄变(120℃, 100 h)  $\Delta E \leq 1.5$ , 远优于传统 PUA ( $\Delta E \geq 3.0$ ), 满足高端白色 / 浅色涂层(如白色家电外壳、浅色木器家具)耐黄变需求。

(四) 低毒低 VOC 环保合规, 生产使用安全

- 低气味低刺激: E10P 气味极淡(无丙烯酸酯刺激性气味)、LD50 $\geq$ 5000 mg/kg (低毒), 无皮肤刺激性, 生产与施工环境无需复杂防爆、防毒设施, 改善工人作业环境、降低安全风险。
- 低 VOC 无残留: E10P 沸点高(250 - 280℃)、挥发性极低, 固化时环氧基团完全参与交联反应、无小分子残留, VOC 排放 $<$ 50 g/L, 远低于传统丙烯酸酯稀释剂体系( $\geq$ 200 g/L), 满足欧盟 REACH、国内 GB 38507 低 VOC 标准, 适配出口与高端环保场景。
- 无卤合规: E10P 不含卤素(氯、溴), 满足 RoHS 指令, 适配新能源汽车、医疗电子、食品接触级涂层等环保敏感领域。

(五) 强润湿高附着, 适配多基材简化配方

- 基材润湿能力提升：叔碳长链 \*\* 低表面张力（约 32 mN/m）提升树脂对低表面能基材（PP、PE、老化塑料）\*\* 的润湿能力，消除缩边、缩孔，无需额外添加润湿流平剂，简化配方、降低成本。
- 多基材附着力优异：改性后 PUA 对极性（铜、铝、ABS、PC）与非极性（PP、PE）基材均有 100% 附着力（百格测试），无需底涂即可实现高强度粘接，适配 3C 电子、汽车内饰等多材质复合部件涂装需求。

#### （六）性价比优，适配高端量产

- 成本增幅可控：E10P 单价虽略高于普通丙烯酸酯稀释剂，但添加量少（5% - 15%）、性能提升显著，综合核算配方成本增幅 $\leq 10\%$ ，远低于进口高端改性树脂（成本增幅 30% 以上）。
- 综合效益显著：改性后树脂施工良率提升、返工率降低、产品使用寿命延长，长期使用综合成本低于传统体系，助力企业在高端 UV 树脂市场提升竞争力、扩大市场份额。

## 五、总结

叔碳酸缩水甘油酯凭借独特的环氧 - 叔碳双官能结构，通过化学接枝或物理共混方式，为聚氨酯 UV 树脂提供低粘度易施工、强增韧抗开裂、高耐候长寿命、低毒环保合规、强润湿高附着五大核心性能升级，完美解决传统 PUA 树脂在施工性、柔韧性、耐老化、环保性、附着力等方面的痛点。

在 UV 树脂产业向高端化、绿色化、功能化升级的趋势下，叔碳酸缩水甘油酯改性聚氨酯 UV 树脂已成为 3C 电子、汽车内饰、高端木器等领域的主流选择，不仅推动国内 UV 树脂企业实现高端产品国产替代，更助力下游制造业降本增效、提升产品可靠性与市场竞争力，应用前景广阔。

如需叔碳酸缩水甘油酯及相关的解决方案

请联系我们 0757 85999438