

叔碳聚酯多元醇在 UV 树脂中的应用

一、产业背景

全球“双碳”政策深化与环保法规收紧，推动涂料、胶粘剂、油墨等行业加速向低 VOC、高性能、快固化方向转型。UV 固化技术因室温快速固化、能耗低、污染少等优势，市场规模持续扩张，2025 年中国 UV 树脂市场规模预计突破 800 亿元，其中聚氨酯 UV 树脂(PUA)因柔韧性佳、附着力强、耐磨耐候，占比超 40%，广泛应用于木器、汽车、电子、塑料等领域。

聚酯多元醇是 PUA 的核心软段原料，传统己二酸系聚酯多元醇虽机械强度高、成本适中，但存在耐水解性差、粘度高、低温韧性不足等短板，在高湿、户外、低温等苛刻场景易出现漆膜开裂、脱落、黄变等问题。聚醚多元醇耐水解好但机械强度与耐候性弱，聚己内酯多元醇性能均衡但价格昂贵(为常规聚酯的 3 倍)，聚碳酸酯多元醇耐候与耐水解最优但成本极高、国内供应受限。

在此背景下，叔碳聚酯多元醇凭借独特的叔碳支化结构，平衡了耐水解、低粘度、高韧性、耐候性与成本，成为 PUA 领域的升级型核心原料，契合行业对“高性能、低成本、绿色化”的双重需求，产能与应用占比快速提升，成为聚酯多元醇行业的重要增长极。

二、客户痛点与需求

(一) 核心痛点

1. 耐水解与稳定性不足：传统聚酯 PUA 酯键易水解，高湿环境（如南方梅雨、户外淋雨）下 3-6 个月易出现漆膜发白、起泡、开裂、附着力下降，电子涂层、户外木器、汽车内饰等场景投诉率高。
2. 粘度高，施工性差：常规聚酯多元醇室温粘度普遍 5000-10000 mPa·s，制备 PUA 时需大量溶剂稀释（VOC 升高）或加热至 80℃以上（能耗增加、生产效率低），影响流水线施工与绿色生产要求。
3. 柔韧性与硬度失衡：普通 PUA 硬度高则脆、柔韧性差，弯折易裂；柔韧性好则硬度低、耐磨差，难以兼顾高硬度（2H+）、高柔韧性（断裂伸长率 100%+）、耐弯折，无法满足 3C 产品、软塑基材、弹性涂层需求。
4. 耐候与黄变抗性弱：传统芳香族 PUA 易黄变，户外使用 6-12 个月明显变色；脂肪族 PUA 耐候提升但成本高，且部分产品耐污性、耐化学品性不足，影响高端家具、汽车外饰、户外设施使用寿命。
5. 附着力与相容性短板：对低表面能基材（PP、PE、PET）附着力差，易脱落；与丙烯酸酯单体、光引发剂相容性不佳，储存易分层，固化后漆膜光泽不均、缩孔等缺陷多。

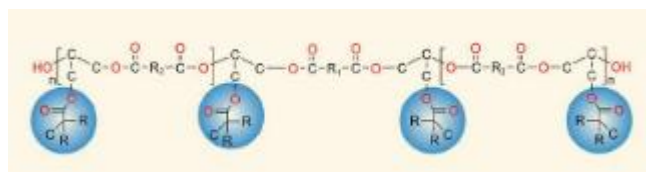
(二) 核心需求

1. 性能均衡：兼顾耐水解、耐候、高硬度、高柔韧性、耐磨、耐化学品，适配苛刻环境与多基材涂装。
2. 低 VOC 与易施工：多元醇低粘度（室温 \leq 3000 mPa·s），可少溶剂或无溶剂制备 PUA，适配喷涂、辊涂、淋涂等工艺，降低能耗与环保压力。
3. 高性价比：性能接近聚己内酯 / 聚碳酸酯多元醇，价格仅为其 1.5-2 倍，低于进口高端产品，降低原材料成本。
4. 适配多场景：满足木器、汽车、电子、塑料、胶粘剂、油墨等不同领域的定制化需求，如电子涂层高透明、汽车内饰耐候、软塑涂层高弹性等。

三、叔碳聚酯多元醇在聚氨酯 UV 树脂中的反应原理

(一) 叔碳聚酯多元醇结构特征

叔碳聚酯多元醇由叔碳二元醇 经缩聚反应制备，分子主链含叔碳支化结构（-C(CH₃)₂-），端基为叔羟基（-OH）。



其核心结构优势：叔碳支化基团的空间位阻效应，屏蔽酯键（-COO-），阻碍水分子、酸碱离子侵蚀，大幅提升耐水解性；支化结构破坏分子链规整性，降低结晶度，赋予低粘度与高柔韧性；叔碳结构热稳定性好，提升树脂耐温与耐候性。

项目	PEDO600	PEDOG1350	PEDOG2100	PEDOR1900	PEDOR1250
外观	粘稠液体	粘稠液体	粘稠液体	粘稠液体	粘稠液体
水分	≤0.10	≤0.10	≤0.10	≤0.6	≤0.5
羟值	180-186	75-83	45-53	60-65	85-90
酸值	≤5	≤5	≤5	≤5	≤5
色度	≤50	≤50	≤50	≤80	≤50
分子量	大约602	大约1354	大约2106	大约1914	大约1258
粘度(mPa·s,30℃)	1125	>10万	>10万	24000	13500
粘度(mPa·s,50℃)	95	3800	22500	800	400
粘度(mPa·s,80℃)	35	50	4500	250	800

(二) 合成反应原理

叔碳聚酯多元醇制备 PUA 的反应分两步，全程无副产物、反应可控：

1、预聚体合成（羟基 - 异氰酸酯反应）叔碳聚酯多元醇的端伯羟基（-OH）与二异氰酸酯（IPDI、HDI、TDI 等，常用脂肪族 IPDI/HDI 提升耐候）的异氰酸酯基（-NCO）发生亲核加成反应，生成聚氨酯预聚体（NCO-terminated）。反应式： $\text{HO-R-OH} + \text{OCN-R}'\text{-NCO} \rightarrow \text{OCN-R}'\text{-NHC(O)-R-OOCNH-R}'\text{-NCO}$ （R 为叔碳聚酯链段，R' 为异氰酸酯残基）反应条件：60-80℃，有机锡（如二月桂酸二丁基锡）或叔胺催化，NCO/OH 摩尔比 1.1-1.5，控制预聚体 NCO 含量 2%-5%，避免凝胶。

2、封端引入 UV 活性基团（羟基封端反应）预聚体的剩余 -NCO 与含羟基丙烯酸酯（HEA、HPA、GMA 等）的 -OH 继续加成，丙烯酸酯基团（-CH=CH₂）封端，得到 UV 可固化聚氨酯丙烯酸酯（PUA）。反应式： $\text{OCN-PU-NCO} + 2 \text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OOC-CH=CH}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{=CH-COO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OOCNH-PU-NHC(O)-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OOC-CH=CH}_2$ 反应条件：70-90℃，催化剂适量，反应至 NCO 含量 < 0.1%，降温出料，得到叔碳聚酯型 PUA 低聚物。

(三) UV 固化原理

叔碳聚酯型 PUA 低聚物与丙烯酸酯单体（稀释剂）、光引发剂复配后，在 UV 光（200-400 nm）照射下：

- 1、光引发剂吸收 UV 能量，分解产生自由基；
- 2、自由基引发 PUA 分子链端丙烯酸酯双键与稀释剂双键发生自由基聚合反应；
- 3、分子链交联形成三维网状结构，几秒至几十秒内完成固化，形成致密、坚韧的漆膜。

叔碳聚酯链段作为软段，分布于交联网络中，提供柔韧性、耐冲击、附着力；聚氨酯硬段（氨基甲酸酯键）提供硬度、耐磨、耐热；丙烯酸酯交联结构提供快固化、高光泽、耐化学品，实现性能协同。

四、叔碳聚酯多元醇在聚氨酯 UV 树脂中的应用优点

（一）卓越耐水解与稳定性，延长使用寿命

叔碳支化结构的位阻屏蔽效应，保护酯键免受水分子侵蚀，耐水解性是传统己二酸聚酯的 3-5 倍。80℃热水浸泡 3 周，漆膜附着力保持率≥90%、无起泡开裂；南方户外暴露 12 个月，无明显发白、脱落，解决高湿环境下的稳定性痛点。

（二）粘度适中，易施工，适配绿色生产

室温粘度适中，制备 PUA 时无需加热或少加热，可减少 30%-50% 溶剂添加，VOC 排放显著降低，契合环保政策；适配高速喷涂、辊涂、淋涂、3D 打印等工艺，提升生产效率 20%-40%，降低能耗与人工成本。

（三）性能均衡，兼顾硬度与柔韧性

叔碳聚酯软段赋予 PUA 高柔韧性（断裂伸长率 150%-300%），-40℃低温弯折 1000 次无裂纹；硬段结构保证高硬度（2H-4H）、高耐磨（耐磨耗≤10 mg/1000 转），解决传统 PUA “硬而脆、柔而软” 的矛盾，适配 3C 产品外壳、软塑基材涂层、弹性胶粘剂等场景。

（四）优异耐候与抗黄变，适配户外高端场景

叔碳结构热稳定性与抗紫外性佳，搭配脂肪族异氰酸酯制备的 PUA，耐黄变等级≥4 级，户外使用 24 个月无明显变色、光泽保持率≥85%；耐化学品性优，耐酸、耐碱、耐盐雾、耐油污，适配高端家具、汽车外饰、户外设施、船舶涂层等，使用寿命提升 50%-100%。

（五）强附着力与广相容性，适配多基材

叔碳聚酯分子含极性酯键与非极性叔碳支链，对金属、木材、塑料（PP/PE/PET/ABS）、玻璃、陶瓷等基材均有优异附着力，无需底涂即可达到 1 级附着力；与丙烯酸酯单体、光引发剂、颜填料相容性极佳，储存稳定不分层，固化后漆膜高光泽（≥95°）、丰满度好、无缩孔橘皮，提升产品外观品质。

（六）高性价比，降低综合成本

叔碳聚酯多元醇价格仅为聚己内酯多元醇的 1.5-2 倍、聚碳酸酯多元醇的 1-1.5 倍，性能接近高端多元醇，远优于传统聚酯；制备 PUA 时可减少溶剂、降低能耗、提升效率、减少售后投诉，综合成本降低 10%-20%，适配中高端市场规模化应用。

（七）定制化能力强，适配多场景需求

通过调整叔碳二元醇种类、多元酸配比、分子量、羟值，可定制不同粘度、柔韧性、硬度、耐候性的叔碳聚酯多元醇，适配木器漆、汽车漆、电子漆、塑料漆、UV 胶粘剂、油墨等不同领域的定制化需求，满足客户差异化性能要求。

五、实际应用案例

案例 1：高端木器 UV 面漆

某家具企业采用叔碳聚酯多元醇（分子量 2000，羟值 112 mgKOH/g）+ IPDI + HEA 制备 PUA 面漆，对比传统己二酸聚酯 PUA：

耐水解：80℃热水浸泡 3 周无异常，传统聚酯 1 周起泡；

硬度：3H，柔韧性：180° 弯折无裂纹；

耐候：户外 12 个月光泽保持率 90%，传统聚酯 6 个月光泽降至 50%；

施工：粘度 2000 mPa·s，常温施工，无溶剂添加，VOC<50 g/L；

应用：高端实木家具，投诉率降低 80%，使用寿命延长 1 倍。

案例 2：3C 产品塑料 UV 涂层

某电子企业用叔碳聚酯多元醇（分子量 1500，羟值 187 mgKOH/g）+ HDI + HPA 制备软质 PUA 涂层，用于手机外壳、笔记本电脑塑料件：

- 附着力：PP/PE 基材 1 级，无需底涂；
- 性能：硬度 2H，断裂伸长率 250%，-40℃弯折无裂纹；
- 外观：高光泽（98°）、丰满度好、无缩孔；
- 应用：3C 产品软质涂层，耐摔、耐磨、耐指纹，良率提升 15%。

案例 3：汽车内饰 UV 涂料

某汽车零部件企业采用叔碳聚酯多元醇（分子量 3000，羟值 75 mgKOH/g）+ IPDI + GMA 制备耐候 PUA 涂料，用于汽车仪表盘、门板内饰：

- 耐候：氙灯老化 1000 小时，黄变等级 4 级，光泽保持率 88%；
- 耐化学品：耐汽车内饰清洁剂、油污，无腐蚀；
- 附着力：ABS/PC 基材 1 级，长期使用不脱落；
- 应用：汽车内饰件，使用寿命提升至 5 年，满足高端车型需求。

六、总结

叔碳聚酯多元醇凭借独特叔碳支化结构，解决了传统聚酯多元醇在 PUA 应用中的耐水解差、粘度高、性能失衡、耐候弱、附着力不足等核心痛点，兼具耐水解、低粘度、高韧性、高硬度、耐候、强附着力、高性价比等多重优势，适配木器、汽车、电子、塑料等多领域 UV 树脂应用，契合行业“绿色化、高性能化、低成本化”的发展趋势。

随着环保政策持续收紧与高端市场需求增长，叔碳聚酯多元醇作为 PUA 的核心升级原料，市场渗透率将进一步提升，推动 UV 树脂产业技术升级与产品迭代，为客户提供更优质、更环保、更经济的解决方案。

如需叔碳聚酯多元醇及相关的解决方案

请联系我们 0757 85999438