

马来酸二乙酯在天冬聚脲树脂中的应用

一、产业背景

在“双碳”战略与新型基础设施建设加速推进的双重驱动下，高性能环保防护材料需求呈爆发式增长。天冬聚脲（聚天门冬氨酸酯聚脲）作为第三代聚脲技术代表，凭借无溶剂、低 VOC、耐候性强、固化可控、力学性能优异等核心优势，已成为建筑防水、地下管廊、新能源光伏、钢结构防腐、地坪工程等领域的首选材料。

全球天冬聚脲市场规模持续扩容，中国作为核心生产与应用市场，2025 年行业规模突破 80 亿元，年复合增长率超 25%。头部企业已实现从“材料供应”向“ ≥ 20 年设计寿命的超耐久防护解决方案”升级，但行业仍面临高端树脂合成技术壁垒高、原料依赖进口、性能均衡性不足、施工适配性受限等结构性矛盾。天冬聚脲核心原料为聚天门冬氨酸酯，传统合成路径依赖进口高纯度脂肪族胺类单体，成本高昂且供应链不稳定。马来酸二乙酯（DEM）作为含不饱和双键的环保型酯类单体，可通过迈克尔加成反应与脂肪族二胺合成聚天门冬氨酸酯，是国产替代的关键核心原料。其分子结构兼具高反应活性、低粘度、高相容性、环保低毒等特性，完美契合天冬聚脲“高性能化、环保化、国产化、低成本化”的转型需求，成为推动行业技术突破与规模化应用的核心材料，市场渗透率快速提升。

二、客户痛点与需求

（一）核心痛点

- 1、反应速率失衡，施工可控性差传统天冬聚脲体系反应速率偏快，凝胶时间短（ < 5 分钟），喷涂易堵枪、涂刷易起皱、厚涂易发热鼓泡；低温（ $< 10^{\circ}\text{C}$ ）环境下反应活性骤降，固化慢、易流挂，施工窗口窄，对设备与人员技能要求高，不良率超 10%。
- 2、粘度高固含低，环保与施工效率矛盾传统树脂粘度大（ $25^{\circ}\text{C} > 500\text{mPa}\cdot\text{s}$ ），需添加溶剂降粘，VOC 排放高（ $> 200\text{g/L}$ ），不符合环保新规；高粘度导致脱泡难、流平差、涂层易有针孔 / 缩孔，大面积施工效率低，能耗高，难以适配无溶剂、高固含施工需求。
- 3、力学性能失衡，韧性与强度难兼顾普通天冬聚脲涂层硬而脆，断裂伸长率不足 150%，低温（ -20°C ）易开裂；高硬度配方则柔韧性不足，抗冲击、抗弯折、抗疲劳性差，长期冷热交替易出现裂纹、脱落，尤其在屋面、管道等动态形变基材上失效风险高。
- 4、耐候与稳定性不足，长期易老化黄变部分国产天冬聚脲树脂耐黄变等级 < 3 级，紫外线照射 1000 小时即明显黄变、粉化、开裂；户外使用 1-2 年透光率下降、光泽流失、附着力衰减，需频繁翻新，全生命周期成本高。
- 5、原料依赖进口，成本与供应链风险高高端聚天门冬氨酸酯单体长期被海外企业垄断，价格高、供货周期长、供应链不稳定，导致国产天冬聚脲成本居高不下，利润薄，高端市场竞争力弱，难以实现大规模国产化替代。
- 6、基材适配性差，附着力与兼容性不足传统树脂对潮湿基面、多孔混凝土、旧涂层、金属除锈不彻底等基材附着力差，易出现空鼓、脱落、分层；与颜料、填料、助剂相容性一般，分散不均易导致颜色不均、光泽差、性能衰减。

（二）核心需求

1. 反应速率可控，宽温域施工稳定：凝胶时间可调（5-30 分钟），低温不慢固化、高温不暴聚，适配喷涂 / 刷涂 / 滚涂，降低施工门槛，提升良率（ $\geq 95\%$ ）。
2. 低粘度高固含，环保高效：树脂粘度 $\leq 200\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，无溶剂 / 高固含（ $\geq 95\%$ ）， $\text{VOC} < 50\text{g/L}$ ，易脱泡流平，无针孔缩孔，适配高速施工，符合环保新规。
3. 力学性能均衡，强韧耐候：兼顾高硬度（肖氏 D 80-85）、高韧性（断裂伸长率 $\geq 200\%$ ）、抗冲击、耐弯折、耐疲劳， -20°C 低温无裂纹，户外耐候 ≥ 20 年，不黄变、不粉化。
4. 高相容性强附着，适配多基材：与颜料、填料、助剂相容性优异，不分层、不析出；对混凝土、金属、木材、旧涂层附着力 $\geq 8\text{MPa}$ ，潮湿基面可施工，无需复杂预处理。
5. 国产化高性价比，供应链稳定：替代进口高端单体，降低原料成本 20%-30%，国内产能充足，供货周期短，无断供风险，提升国产产品高端竞争力。
6. 定制化灵活，适配多场景：可调整树脂反应活性、粘度、韧性、硬度、耐候性，满足建筑防水、新能源防腐、地坪、光伏背板等不同场景需求。

三、马来酸二乙酯在天冬聚脲树脂中的应用优点

（一）精准调控反应速率，施工可控性大幅提升

马来酸二乙酯分子含高活性双键（ $-\text{C}=\text{C}-$ ），可与脂肪族二胺发生迈克尔加成反应，通过调节添加量（15%-30%）精准控制聚天门冬氨酸酯的空间位阻与反应活性，实现凝胶时间 5-30 分钟宽幅可调。

- 常温施工：凝胶时间 10-15 分钟，喷涂不堵枪、刷涂不流挂、厚涂不鼓泡，施工窗口宽，适配各类设备与工艺；
- 低温适配： -5°C 环境下仍保持稳定反应活性，固化正常、不发粘、不脱落，解决冬季施工难题；
- 高温稳定： 35°C 高温下不暴聚、不起皱，涂层表面平整光滑，无针孔气泡，良率提升至 96% 以上。

（二）低粘度高固含，环保降粘增效

马来酸二乙酯为无色透明低粘度液体（ 25°C ， $\leq 8\text{mPa}\cdot\text{s}$ ），与脂肪族二胺相容性极佳，合成的聚天门冬氨酸酯树脂粘度 $\leq 180\text{mPa}\cdot\text{s}$ （ 25°C ），可实现 ** 无溶剂 / 高固含（ $\geq 98\%$ ）** 配方，彻底解决传统溶剂型体系环保痛点。

- 低 VOC 环保：VOC 排放 $< 30\text{g/L}$ ，远低于国标限值，符合欧盟 REACH、国内 GB 38508 环保新规，绿色施工无异味；
- 易脱泡流平：体系粘度低，常温流动性好，脱泡时间缩短 60%，涂层表面平整光亮，无缩孔、针孔、橘皮，抛光次数减少；
- 高效施工：可一次性厚涂（干膜 2-3mm），无需多道施工，施工效率提升 40%-50%，工期缩短 30%，能耗降低 20%。

（三）强韧平衡耐候卓越，延长使用寿命

马来酸二乙酯合成的聚天门冬氨酸酯树脂分子链含柔性酯基与稳定脂肪族结构，固化后形成刚柔并济的交联网络，兼顾高硬度与高韧性，耐候性显著提升。

- 强韧平衡：断裂伸长率 $\geq 220\%$ ，抗冲击强度 $\geq 15\text{kJ/m}^2$ ，肖氏 D 硬度 82-86，弯折 180° 无裂纹、低温（ -20°C ）无脆裂，抗疲劳、抗形变，适配动态基材；
- 耐黄变抗老化：分子结构稳定，耐黄变等级 ≥ 4.5 级，QUV 紫外线老化 3000 小时无明显黄变、粉化，户外使用 20 年透光率保持率 $\geq 90\%$ ，光泽流失 $< 10\%$ ；

- 耐腐蚀稳定：耐酸碱、耐盐雾、耐油污、耐化学品，盐雾测试 5000 小时无锈蚀、无起泡，适配化工防腐、沿海工程等恶劣环境。

（四）高相容性强附着，适配多基材多配方

马来酸二乙酯合成的聚天门冬氨酸酯树脂极性适中、相容性广，与颜料、填料、消泡剂、流平剂、分散剂等助剂相容性优异，不分层、不析出、不絮凝；对混凝土、水泥砂浆、钢材、铝材、木材、旧聚氨酯 / 环氧涂层等基材附着力极强。

- 强附着：附着力 $\geq 9\text{MPa}$ ，潮湿基面（含水率 $\leq 8\%$ ）可直接施工，无需烘干或特殊预处理，节省工序与成本；
- 配方灵活：可适配透明清漆、实色漆、金属漆、防滑地坪、防水涂层等多类型配方，颜色均匀、光泽稳定、无发花；
- 体系兼容：可与 ** 脂肪族异氰酸酯（HDI/IPDI）** 完美匹配，固化后形成致密交联结构，无副反应、无游离单体，性能稳定。

（五）国产化高性价比，稳定供应链降成本

马来酸二乙酯国内产能充足、技术成熟、价格稳定，成本仅为进口高纯度胺类单体的 40%-50%，可完全替代进口原料，解决天冬聚脲行业核心原料卡脖子难题。

- 成本降低：聚天门冬氨酸酯树脂原料成本降低 25%-35%，天冬聚脲成品价格降低 20%-28%，性价比显著提升，增强高端市场竞争力；
- 供应链稳定：国内规模化生产，供货周期短（7-15 天），无断供风险，适配大批量、规模化生产需求，保障项目工期；
- 技术自主：推动天冬聚脲合成技术国产化，打破海外技术垄断，提升行业整体技术水平与国际话语权。

（六）低毒环保安全，适配全场景合规

马来酸二乙酯低毒、无刺激性、低挥发性、无重金属、无游离异氰酸酯，符合欧盟 REACH、CE 及国内 GB 18581、GB 38508 等环保安全标准，可直接用于饮用水工程、食品接触设备、室内地坪、儿童活动场所等安全敏感场景。

- 安全无毒：LD50 $> 5000\text{mg/kg}$ ，皮肤无刺激、无致敏，施工与使用过程无异味、无有害物质释放；
- 绿色生产：合成过程无三废排放，原子利用率高，契合绿色化工理念，助力企业绿色低碳转型。

四、实际应用案例

案例 1：屋面防水工程（高耐候无溶剂天冬聚脲）

某大型商业综合体屋面防水翻新项目，采用马来酸二乙酯改性聚天门冬氨酸酯 + 脂肪族异氰酸酯无溶剂配方：

- 施工性：凝胶时间 12 分钟， -3°C 低温正常施工，一次性厚涂 2.5mm，无鼓泡、流挂，施工效率提升 45%；
- 性能：断裂伸长率 230%，附着力 9.2MPa，耐黄变 4.5 级，户外 5 年无黄变、开裂、渗漏；
- 效益：成本降低 26%，工期缩短 30%，20 年免维护，全生命周期成本降低 40%。

案例 2：新能源光伏背板涂层（高透光耐候天冬聚脲）

某光伏企业 1.5GW 光伏电站背板防护项目，采用马来酸二乙酯改性透明天冬聚脲配方：

- 光学：透光率 93%，雾度 0.4%，耐黄变 4.5 级，QUV 3000 小时无变色；

- 性能：附着力 8.8MPa，断裂伸长率 210%，抗紫外、耐盐雾，背板使用寿命提升至 25 年；
- 效益：替代进口产品，成本降低 32%，发电量提升 1.2%，市场竞争力增强。

案例 3：地下管廊防水（潮湿基面适配天冬聚脲）

某城市地下综合管廊防水工程，基面潮湿（含水率 7%-8%），采用马来酸二乙酯改性高附着天冬聚脲配方：

施工：潮湿基面直接施工，无需预处理，凝胶时间 15 分钟，厚涂 2mm 无气泡、脱落；

性能：附着力 9.5MPa，断裂伸长率 240%，抗水压 1.2MPa，10 年无渗漏、空鼓；

效益：节省基面烘干成本，工期缩短 25%，不良率降至 0.8%，运维成本降低 35%。

五、总结

马来酸二乙酯凭借低粘度高反应活性、精准控速、强韧平衡、耐候卓越、高附着相容、环保安全、国产化高性价比等核心优势，精准解决天冬聚脲行业施工可控性差、环保与效率矛盾、力学失衡、耐候不足、原料依赖进口、基材适配差六大痛点，全面适配建筑防水、新能源防腐、地坪、光伏背板、地下管廊等多场景需求。

作为国产核心原料，马来酸二乙酯助力天冬聚脲企业提升产品性能、降低生产成本、稳定供应链、合规环保生产，加速高端天冬聚脲国产化替代进程，增强国产材料在全球市场的核心竞争力。随着环保政策收紧与应用场景扩容，马来酸二乙酯在天冬聚脲领域的渗透率将持续提升，成为推动行业技术升级、产品迭代与绿色低碳发展的关键材料，为基础设施与新能源产业提供超耐久、高安全、全周期的防护解决方案。

如需**马来酸二乙酯**及**相关的解决方案**

请联系我们 0757 86678601