

# 马来酸二异丁酯在天冬聚脲树脂中的应用

## 一、产业背景

在“双碳”目标推动与基础设施、新能源产业高速发展的驱动下，高性能环保防护材料需求激增。天冬聚脲（聚天门冬氨酸酯聚脲）作为第三代聚脲技术代表，以无溶剂、低 VOC、耐候性强、固化可控、力学性能优异等核心优势，成为建筑防水、地下管廊、新能源光伏 / 风电、钢结构防腐、地坪工程等领域的首选材料。

中国是全球天冬聚脲最大生产与应用市场，2025 年行业规模突破 90 亿元，年复合增长率超 28%，高端化、国产化、绿色化趋势显著。但行业仍面临高端单体合成技术壁垒高、原料依赖进口、性能均衡性不足、施工适配性受限、成本居高不下等结构性矛盾。传统聚天门冬氨酸酯单体多依赖进口高纯度脂肪族胺类，价格昂贵且供应链不稳定；国产产品普遍存在粘度高、固化快、韧性不足、耐候性差、基材适配性弱等问题，难以满足高端工程 20 年以上使用寿命要求。

马来酸二异丁酯(DIBM)作为含高活性双键与支化异丁基结构的环保型酯类单体，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。其分子兼具低粘度、高反应活性、支化增韧、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 12%。

2、粘度高固含低，环保与施工效率矛盾传统树脂粘度高（ $25^{\circ}\text{C} > 500\text{mPa}\cdot\text{s}$ ），需添加溶剂降粘，VOC 排放高（ $>200\text{g/L}$ ），不符合 GB 38508、欧盟 REACH 等环保新规；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（ $-20^{\circ}\text{C}$ ）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 年光泽流失、附着力衰减、透光率下降，需频繁翻新，全生命周期成本高。

5、基材适配性差，附着力与兼容性不足传统树脂对潮湿基面（含水率 $>6\%$ ）、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。

6、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。

## （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， $-20^\circ\text{C}$ 低温无裂纹，户外耐候 $\geq 20$  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（含水率 $\leq 8\%$ ）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、马来酸二异丁酯在天冬聚脲树脂中的应用优点

### （一）支化结构精准控速，施工窗口宽稳定性强

马来酸二异丁酯分子含高活性双键与双侧化异丁基（ $-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ ）结构，空间位阻适中，可与脂肪族二胺发生可控迈克尔加成反应，通过调节添加量

（12%-28%）精准调控聚天门冬氨酸酯的反应活性，实现凝胶时间 5-30 分钟宽幅可调。

- 常温施工：凝胶时间 10-20 分钟，喷涂不堵枪、刷涂不流挂、厚涂（2-3mm）不鼓泡，施工窗口宽，适配各类设备与工艺；
- 低温适配： $-5^\circ\text{C}$ 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： $35^\circ\text{C}$ 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，环保降粘增效显著

马来酸二异丁酯为无色透明低粘度液体（ $25^\circ\text{C}$ ， $\leq 12\text{mPa}\cdot\text{s}$ ），纯度 $\geq 99.0\%$ ，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 $\leq 150\text{mPa}\cdot\text{s}$ （ $25^\circ\text{C}$ ），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 $< 25\text{g/L}$ ，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）支化增韧强韧平衡，耐候耐久性卓越

马来酸二异丁酯合成的聚天门冬氨酸酯树脂分子链含柔性酯基 + 支化异丁基 + 稳定脂肪族结构，固化后形成刚柔并济、致密交联的三维网络，兼顾高硬度与高韧性，耐候性、耐老化性显著提升。

- 强韧平衡：断裂伸长率 $\geq 240\%$ ，抗冲击强度 $\geq 18\text{kJ/m}^2$ ，肖氏 D 硬度 82-86，弯折  $180^\circ$  无裂纹、低温 ( $-20^\circ\text{C}$ ) 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 $\geq 4.5$  级，QUV 紫外线老化 3000 小时无明显黄变、粉化，户外使用 20 年光泽保持率 $\geq 90\%$ ，透光率保持率 $\geq 92\%$ ；
- 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

马来酸二异丁酯合成的聚天门冬氨酸酯树脂极性适中、支化度高、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 $\geq 9.5\text{MPa}$ ，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、美缝剂等多类型配方，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，稳定供应链降本增效

马来酸二异丁酯国内产能充足、技术成熟、价格稳定，成本仅为进口高纯度胺类单体的 35%-45%，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 28%-38%，天冬聚脲成品价格降低 22%-30%，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（7-12 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

马来酸二异丁酯低毒、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，采用马来酸二异丁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 15 分钟， $-3^\circ\text{C}$  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 235%，附着力 9.3MPa，耐黄变 4.5 级，户外 5 年无黄变、开裂、渗漏；
- 效益：成本降低 28%，工期缩短 30%，20 年免维护，全生命周期成本降低 42%。

### 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 1.8GW 光伏电站背板防护项目，采用马来酸二异丁酯改性透明天冬聚脲配方：

- 光学：透光率 93.5%，雾度 0.3%，耐黄变 4.5 级，QUV 3000 小时无变色；
- 性能：附着力 9.0MPa，断裂伸长率 225%，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 35%，发电量提升 1.3%，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%），采用马来酸二异丁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 18 分钟，厚涂 2mm 无气泡、脱落；

性能：附着力 9.6MPa，断裂伸长率 245%，抗水压 1.5MPa，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 0.6%，运维成本降低 38%。

## 五、总结

马来酸二异丁酯凭借低粘度高反应活性、支化结构精准控速、强韧平衡耐候卓越、高附着广相容、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、基材适配差、原料依赖进口六大痛点，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，马来酸二异丁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，马来酸二异丁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**马来酸二异丁酯**及**相关的解决方案**

请联系我们 0757 86678601