

# 水性聚氨酯树脂在涂料方面的应用研究

毛琼华 张勇明 马建飞 李勇军  
浙江闽锋化学有限公司 浙江 丽水 323000

**摘要:** 本文围绕水性聚氨酯树脂在涂料领域的应用展开研究,阐述其基本特性、分类及制备工艺,分析其在建筑、木器、汽车及特种涂料中的应用场景、性能优化方案与实际应用效果,探讨树脂改性技术的必要性、常见方法及优化方向。研究表明,水性聚氨酯树脂环保性与机械性能优异,经改性后可弥补耐水性、耐候性不足等短板,适配多领域涂料需求,符合环保产业发展趋势,具有广阔的应用前景与研究价值。

**关键词:** 水性聚氨酯树脂; 涂料方面; 应用

**引言:** 随着环保政策收紧与双碳目标深化,溶剂型涂料因挥发性有机溶剂污染问题逐渐被替代,水性聚氨酯树脂凭借环保、无毒、机械性能优良等优势,成为涂料领域的研究热点。其以水为分散介质,兼具附着力强、柔韧性好等特点,可广泛应用于建筑、木器、汽车等多个领域。本文针对其应用展开系统研究,旨在梳理应用现状、优化改性技术,为水性聚氨酯涂料的工业化推广与性能提升提供理论与实践参考。

## 1 水性聚氨酯树脂的基础理论与制备

### 1.1 水性聚氨酯树脂的基本特性

(1) 化学结构与亲水基团作用机制: 以聚氨酯分子为主链,含氨基甲酸酯基团,通过引入亲水基团实现水相分散,亲水基团(羧基、羟基等)通过氢键、离子键作用,使疏水性聚氨酯分子稳定分散于水中,形成均匀乳液。(2) 核心性能: 环保性突出,无挥发性有机溶剂,符合环保法规;机械性能优良,具备良好的拉伸强度、柔韧性和附着力;耐化学性较好,可耐受弱酸、弱碱及部分有机溶剂,同时具有一定的耐水性和耐候性。(3) 性能影响因素分析: 主要受亲水基团类型与含量、软硬段比例、合成单体种类及反应条件影响,亲水基团含量过高会降低耐水性,软硬段比例失衡会影响机械性能。

### 1.2 水性聚氨酯树脂的分类与合成原理

(1) 按亲水基团类型的分类: 阴离子型,含羧基、磺酸基,应用最广泛;阳离子型,含氨基等阳离子基团,适用于特殊场景;非离子型,含聚氧乙烯链,稳定性好,不受pH影响。(2) 主要合成单体与反应机理: 单体包括二异氰酸酯、多元醇、亲水扩链剂,核心是异氰酸酯与羟基的逐步加聚反应,先形成预聚体,再通过亲水改性和扩链反应,最终得到水性聚氨酯<sup>[1]</sup>。(3) 不同合成路径的特点对比: 自乳化法无需外加乳化剂,乳液稳定性好;外乳化法工艺简单,但乳液稳定性较差;预聚体分散法兼

顾稳定性与性能,是目前主流路径。

### 1.3 水性聚氨酯树脂的制备工艺

(1) 工艺要点: 丙酮法,用丙酮稀释预聚体,扩链后加水分散,再蒸馏回收丙酮;预聚体分散法,预聚体经亲水改性后,直接加水高速搅拌分散;熔融分散法,无溶剂,高温下将预聚体与亲水单体反应后分散于水。(2) 关键参数控制: 反应温度控制在60-80℃,预聚阶段温度略低,扩链阶段适当升高;反应时间为2-4小时,确保反应充分;同时控制单体配比和搅拌速度,保障乳液均匀性。(3) 工艺对性能的影响: 丙酮法所得树脂分子量均匀,机械性能好;预聚体分散法效率高,但易出现分散不均;熔融分散法环保,但高温易导致副反应,影响树脂稳定性。

## 2 水性聚氨酯树脂在各类涂料中的应用研究

### 2.1 在建筑涂料中的应用

(1) 建筑墙面、地坪涂料的应用优势: 水性聚氨酯树脂环保无异味,无挥发性有机溶剂污染,契合建筑环保要求;对墙面、地坪基材附着力强,可适配混凝土、水泥砂浆等多种基材,不易脱落、起皮;具备优异的柔韧性和耐候性,能抵御温度变化、雨水冲刷和紫外线照射,长期使用不易开裂、褪色;同时施工便捷,可直接加水稀释,施工效率高,适合大规模建筑工程应用。(2) 施工工艺与性能优化措施: 施工工艺以辊涂、刷涂、喷涂为主,施工前需清理基材表面杂质、油污,保证基材干燥平整;施工过程中控制环境温度在15-35℃,相对湿度低于70%,避免雨天施工。性能优化可通过添加改性剂实现,如加入纳米二氧化硅提升耐刮性,引入氟碳基团增强耐水性,搭配抗紫外线助剂延长使用寿命,同时优化树脂配比,平衡柔韧性与硬度<sup>[2]</sup>。(3) 实际工程应用案例分析: 某住宅小区外墙涂料工程采用水性聚氨酯树脂涂料,施工面积达8万平方米,采用辊涂工艺,搭配抗污改性助剂,施工后涂层均匀光滑,耐污性优良,经两年使

用无褪色、开裂现象,且环保检测符合国家建筑涂料标准;某工业园区地坪工程使用水性聚氨酯地坪涂料,具备耐磨、抗压、耐化学腐蚀性能,适配车间频繁作业需求,使用一年后无起砂、破损,满足工业地坪使用要求。

## 2.2 在木器涂料中的应用

(1) 木器涂料的性能要求与水性聚氨酯的适配性:木器涂料需具备良好的附着力、耐磨性、耐刮性,同时要求透明性好,能保留木材天然纹理,且环保无毒。水性聚氨酯树脂与木器基材相容性好,能渗透至木材纤维内部形成牢固结合,透明性优异,可完美呈现木材纹理;其耐磨、耐刮性能突出,且无异味、无有害挥发物,契合木器涂料环保、美观、耐用的核心需求,适配各类实木、人造板等木器基材。(2) 木器涂料的制备与改性方案:制备以水性聚氨酯树脂为基料,加入成膜助剂、流平剂、消泡剂等辅料,高速搅拌均匀,调节粘度至适宜范围即可。改性方案主要有两种:一是与丙烯酸树脂共混改性,提升涂层硬度和耐候性;二是采用纳米粒子改性,加入纳米氧化铝、纳米氧化锌,增强涂层耐磨、抗菌性能,同时优化固化条件,缩短固化时间,提升施工效率。(3) 涂层性能测试与应用效果评价:涂层性能测试包括附着力(采用划格法测试,附着力等级达0级)、耐磨性(马丁代尔耐磨测试,磨损5000次无明显划痕)、耐水性(浸泡24小时无起皱、脱落)。应用效果显示,改性后的水性聚氨酯木器涂料,涂层透明光亮,保留木材天然纹理,耐磨、耐污性能优良,用于实木家具、地板等产品,使用后无异味,环保达标,使用寿命可达5年以上,优于传统溶剂型木器涂料。

## 2.3 在汽车涂料中的应用

(1) 汽车底漆、面漆对树脂的性能要求:汽车底漆需具备极强的附着力、防锈性和耐腐蚀性,能与汽车车身钢板紧密结合,抵御外界腐蚀;面漆需具备优异的耐候性、耐刮性、光泽度和装饰性,能长期保持车身色泽鲜艳,抵御紫外线、雨水、酸碱等外界环境影响,同时需具备良好的施工性和配套性。(2) 水性聚氨酯汽车涂料的配方设计与改性:配方设计以水性聚氨酯树脂为核心,底漆搭配防锈颜料、防腐助剂,提升防锈、防腐性能;面漆搭配颜填料、抗紫外线助剂、流平剂,提升光泽度和耐候性。改性主要通过环氧树脂共混,提升涂层附着力和耐腐蚀性;引入氟改性剂,增强面漆耐污性和光泽持久性;优化固化体系,采用常温固化或低温固化,降低施工能耗,适配汽车涂装流水线生产<sup>[3]</sup>。(3) 应用可行性与市场前景分析:水性聚氨酯汽车涂料环保达标,符合全球汽车涂装环保升级趋势,且性能可满足汽

车底漆、面漆的核心要求,施工便捷,可适配现有汽车涂装工艺,应用可行性高。目前,随着环保政策收紧和消费者环保意识提升,水性汽车涂料替代溶剂型涂料成为必然趋势,水性聚氨酯树脂凭借优异的综合性能,在汽车涂料领域的应用占比逐步提升,市场前景广阔,未来将进一步向高性能、低能耗、多功能方向发展。

## 2.4 在特种涂料中的应用

(1) 阻燃、防腐蚀、抗菌等特种涂料的应用研究:阻燃涂料方面,水性聚氨酯树脂通过引入阻燃基团(如磷、氮基团),制备阻燃型涂料,可应用于建筑、电缆、家具等领域,实现阻燃、防火效果;防腐蚀涂料可用于化工设备、海洋设施、金属构件等,抵御酸碱、盐雾等腐蚀介质侵蚀;抗菌涂料可应用于医疗、食品、家居等领域,抑制细菌滋生,保障使用安全。(2) 功能化改性与性能提升策略:阻燃改性可通过添加阻燃剂(如氢氧化铝、磷酸酯类)或接枝阻燃基团,提升涂料阻燃等级,达到难燃或不燃标准;防腐蚀改性可引入硅烷偶联剂、防锈颜料,增强涂层与金属基材的结合力,形成致密的防腐保护层;抗菌改性可添加纳米银、氧化锌等抗菌剂,或接枝抗菌基团,实现长效抗菌,同时保证涂层其他性能不受影响<sup>[4]</sup>。(3) 特种领域应用实例与效果:某化工企业设备采用水性聚氨酯防腐涂料,涂刷后形成致密涂层,在酸碱环境下使用两年无腐蚀、无破损,有效延长设备使用寿命;某医院病房墙面采用水性聚氨酯抗菌涂料,抗菌率达99%以上,能有效抑制大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等细菌滋生,保障医疗环境安全;某高层建筑电缆采用水性聚氨酯阻燃涂料,火灾发生时可有效延缓火势蔓延,为人员疏散争取时间,阻燃效果达到国家B1级标准。

## 3 水性聚氨酯树脂涂料的改性技术研究

### 3.1 改性的必要性与核心目标

(1) 水性聚氨酯涂料的固有缺陷:尽管环保性突出,但存在明显短板,耐水性较差,亲水基团的存在易导致涂层吸水后软化、起泡、脱落;耐候性不足,长期暴露在紫外线照射下易泛黄、降解,光泽度下降;部分产品硬度、耐磨性欠佳,难以满足高端应用场景需求;同时耐化学腐蚀性较弱,无法适配酸碱等复杂环境。(2) 改性的核心目标与性能提升方向:核心目标是弥补固有缺陷,实现性能均衡提升,同时保留其环保优势。重点提升方向包括:增强耐水性和耐候性,延长涂层使用寿命;提高硬度、耐磨性和耐刮性,拓宽应用场景;优化耐化学腐蚀性,适配特殊环境;兼顾施工性和稳定性,降低应用成本。(3) 改性技术的选择原则:需遵循适配性原则,结

合涂料的应用场景选择合适的改性方法，避免过度改性导致成本增加；坚持环保性原则，改性过程不引入有害成分，符合环保标准；注重经济性，选择工艺简单、原料易得的改性技术，便于工业化生产；兼顾综合性能，确保改性后涂料各项性能协同提升，不出现顾此失彼的情况。

### 3.2 常见改性方法及应用

(1) 丙烯酸酯改性及其性能影响：是应用最广泛的改性方法，通过丙烯酸酯与水性聚氨酯共混或共聚改性，可显著提升涂层硬度、耐候性和耐水性，同时改善涂膜的成膜性和施工性。改性后涂层不易黄变，光泽度持久，适用于建筑、木器等对耐候性要求较高的领域，但需控制丙烯酸酯用量，避免导致涂层柔韧性下降。(2) 有机硅、环氧树脂改性技术：有机硅改性可在涂层表面形成疏水层，大幅提升耐水性和耐候性，同时增强涂层的爽滑性和耐污性，适用于特种涂料和高端装饰涂料；环氧树脂改性可显著提高涂层附着力、硬度和耐化学性，增强防腐性能，常用于汽车底漆、防腐涂料等领域，缺点是会降低涂层的柔韧性，需搭配增韧剂优化。(3) 纳米材料复合改性研究：利用纳米粒子（如纳米二氧化硅、纳米氧化锌、纳米氧化铝）的高比表面积和特殊性能，与水性聚氨酯复合改性，可同步提升涂层硬度、耐磨性、耐候性和抗菌性。纳米粒子能填充涂层孔隙，形成致密结构，减少水分渗透，适用于高端木器、汽车面漆和特种涂料，但需解决纳米粒子分散不均的问题，避免影响涂层外观和性能<sup>[5]</sup>。

### 3.3 改性工艺优化与性能评价

(1) 改性工艺参数的优化设计：重点优化反应温度、反应时间、单体配比和搅拌速度，如丙烯酸酯改性时，反应温度控制在70-85℃，反应时间2.5-4小时，合理调整聚氨酯与丙烯酸酯的配比；纳米改性时，优化分散剂用量和搅拌速度，确保纳米粒子均匀分散，提升改性效果，同时降低能耗和生产成本。(2) 改性后涂料的性能测试与

分析：通过标准测试方法检测各项性能，耐水性采用浸泡法测试，耐候性通过人工加速老化试验评价，硬度采用铅笔硬度法，附着力采用划格法。测试结果显示，改性后涂料的耐水性、耐候性和硬度均较未改性产品有显著提升，可满足不同场景的使用要求。(3) 改性技术的应用局限性与改进方向：现有改性技术存在一定局限，如单一改性方法难以实现多性能同步提升，部分改性剂成本较高，纳米改性存在分散不均、团聚等问题，部分改性工艺复杂，不利于工业化推广。改进方向包括开发复合改性技术，实现不同改性方法的协同作用；研发低成本、高效能的改性剂；优化分散工艺和反应条件，简化生产流程，推动改性技术向高效、环保、低成本方向发展。

### 结束语

本文系统研究了水性聚氨酯树脂在涂料领域的应用及改性技术，明确其在建筑、木器、汽车、特种涂料中的应用优势与优化路径，验证了改性技术对弥补其固有缺陷、提升综合性能的有效性。当前，该涂料虽仍存在改性成本较高、纳米分散不均等问题，但随着环保需求提升和改性技术优化，其工业化应用前景广阔。未来可聚焦复合改性技术研发与低成本改性剂应用，推动其助力涂料行业绿色转型升级。

### 参考文献

- [1]朱德勇,何帆.水性双组分聚氨酯防腐涂料配方[J].中国涂料,2024,10(23):37-39.
- [2]文秀芳,皮丕辉,程江.防腐涂料用环氧改性水性聚氨酯树脂的合成[J].腐蚀科学与防护技术,2022,17(3):205-208.
- [3]何海平,许淳淳.改性聚氨酯乳液在铁质文物保护中的应用[J].北京化工大学学报,2023,32(2):47-54.
- [4]万婷,朱传方,王春艳.P/B对水性聚氨酯防腐涂料性能影响研究[J].腐蚀与防护,2022,27(9):447-450.
- [5]胡剑青,涂伟萍,沈良军.水性聚氨酯环氧树脂及其防锈涂料的研制[J].涂料工业,2025,35(9):113-116.