

防水涂料水性聚氨酯 (WPU) 的性能与制备研究

高红刚

(佛山市涂无忧建材有限公司, 广东 佛山 528131)

摘要 本文聚焦于剖析水性聚氨酯防水涂料的独特性能优势及其制备流程, 并通过一系列实验, 深入探究不同改性策略对 WPU 性能的调控效果, 旨在为水性聚氨酯防水涂料更广泛的应用奠定坚实的理论基础, 并贡献实用的技术改进方案。该研究不仅能丰富水性聚氨酯材料的科学认知, 也为其在实际工程中的优化应用开辟了新路径。

关键词 防水涂料; 水性聚氨酯; 性能; 制备

中图分类号: TU56

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)10-0061-03

传统配方下的水性聚氨酯面临硬度欠缺、黏附力不强、耐水性及耐磨性不佳等瓶颈, 这些因素限制了其更广泛的应用。鉴于此, 针对水性聚氨酯 (WPU) 的改性研究成为科研界关注的焦点, 旨在全面提升其综合性能。本文全面剖析了 WPU 的性能特征、生产工艺流程及其多种改性策略, 同时, 通过一系列实验设计, 直接验证了改性措施对 WPU 性能的积极改善效果。

1 试验设计

1.1 WPU 分散体的制备

表 1 详尽地描述了 WPU 分散体制备过程中所需原料的清单及其精确混合比例。初始阶段, 将多元醇注入 500 毫升四口烧瓶, 随后在氮气保护、冷凝回流与搅拌条件下, 缓慢滴加异氟尔酮二异氰酸酯 (IPDI) 至瓶中, 并逐步升温至 60 °C。随后, 以滴液方式引入催化剂, 并继续升温至 85 °C, 保持此温度反应 90 分钟。紧接着, 向体系中加入二羟甲基丙酸 (DMPA), 再维持 90 分钟的反应时间。确认预聚体 -NCO 含量达标后 (通过正丁胺滴定法), 将温度降至 50 °C, 并加入三乙胺 (TEA) 进行中和成盐步骤。之后, 将预聚物分散于去离子水

中, 并借助乙二胺 (EDA) 催化链增长反应。最终, 通过减压蒸馏技术有效去除丙酮, 成功制得涵盖聚酯及聚醚系列的四种水性聚氨酯分散体。整个制备流程中, 巧妙地利用适量丙酮作为黏度调节剂, 确保了产品的性能与稳定性^[1]。(见表 1)

1.2 WPU 膜的制备

将 30 克已制备的 WPU 分散体倒入直径 7 cm 的模具中, 在室温下静候 48 小时, 任其风干。之后, 将此模具移至预热至大约 60 °C 的烘箱, 继续干燥 4 小时, 待膜层 (其厚度被精确设定为 0.5 mm) 完全脱水并干燥透彻后取出, 以备将来使用或进行各类测试。

1.3 测试分析

采用 IS50 型傅里叶红外光谱仪, 以 ATR 技术深入分析分子结构特征。利用 90 Plus 粒度仪, 设定环境温度为 25 °C, 评估经蒸馏水稀释至 0.5% 的 WPU 分散体的粒径分布。在 25 °C 恒温条件下, 调整 SNB2 黏度计, 设定转子旋转速率为精准的每分钟百转, 旨在测量并确定布氏黏度的具体数值。紧接着, 采用 DSA30 D8 ADVANCE 型 XRD 设备, 设置扫描速度为每秒 0.1 步, 步长精细至

表 1 WPU 分散体组成

样品	多元醇类型	n/mol				
		多元醇	DMPA	IPDI	TEA	EDA
PB-WPU	PB	0.0300	0.0190	0.0687	0.0140	0.0083
PCL-WPU	PCL	0.0300	0.0190	0.0687	0.0140	0.0083
PTMG-WPU	PTMG	0.0300	0.0190	0.0687	0.0140	0.0083
PPG-WPU	PPC	0.0300	0.0190	0.0687	0.0140	0.0083

0.02度,以深度解析物质的相位结构特性。针对WPU薄膜的机械属性评估,在稳定的25℃环境下,利用Instron 5900型拉力试验系统,以恒定速率每分钟拉伸100mm,进行全面的拉伸试验,从而精确衡量其力学表现与特性。制备规格为20×20mm的WPU薄膜样本,干燥称重得 m_0 之后,将样品置于去离子水中室温浸泡24小时,取出轻拭表面水分,立即再次称重得 m_1 ,并根据公式(1)计算其吸水百分比:

$$n = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

利用型号为DSA30的接触角测量设备,在恒温25℃的条件下,对样品的接触角进行了精确测定。同时,遵循ISO-811国际标准的指导,采用了CT-7046-HS型高压水测试装置,对产品的防水性能进行了全面的评估^[2]。

2 结果与分析

2.1 DMPA含量对水性聚氨酯防水涂料性能的影响

DMPA作为核心的亲水链扩展元素,通过与TEA的化学反应生成盐,将羧基(—COOH)策略性地整合至水性聚氨酯框架内,成功地赋予了该材料优异的水溶性质。低浓度的亲水成分会削弱预聚体在水中的均匀分散,威胁乳液的稳定性;反之,虽高浓度能稳固乳液,却会削弱涂料的防水性能。经优化,在特定条件(R值1.55,全面中和,后扩链占比40%)下,精确调控DMPA的添加量成为调节水性聚氨酯防水涂料性能的核心手段。图1清晰揭示了DMPA含量如何紧密关联涂料的拉伸强度与断裂伸长率,强调了其在防水涂料配方优化中的核心地位与独特价值,是配方设计不可或缺的关键要素。

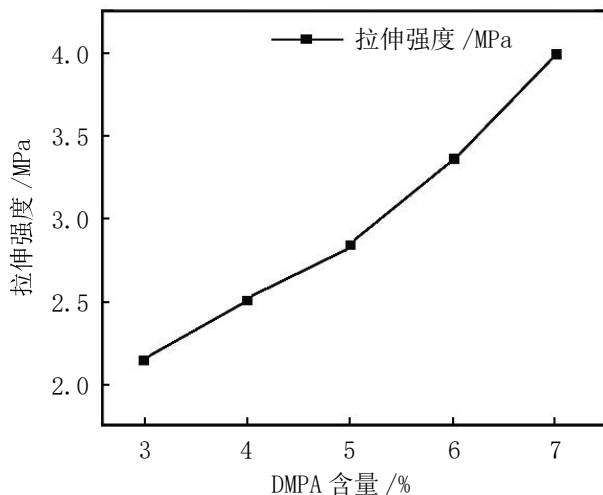


图1清晰表明,提升DMPA浓度后,水性聚氨酯防水涂料的拉伸与撕裂抵抗能力显著增强,但伴随而来的是断裂伸长率的细微降低。这一变化的核心机理在于DMPA对聚氨酯硬质结构的增强效应,它显著强化了聚合物链间的相互作用,特别是通过增强库仑力和氢键网络,导致涂料的初始硬度急剧上升。这种增强直接反映在涂料拉伸与撕裂强度的显著提高上,尽管在一定程度上牺牲了部分断裂延伸性能,但强化了涂料的拉伸与撕裂特性。同时,DMPA的—COOH基团通过增强极性并促进氢键生成,限制了软段活动性,降低了断裂伸长率。此外,DMPA还提升了涂料的亲水离子浓度,增加了吸水倾向,削弱了耐水性,使得吸水率上升。尤为显著的是,当DMPA含量超过6%时,涂料吸水率超出标准(<10%),不再符合规范要求。综合上述分析,确定DMPA最佳添加量应控制在5%,以平衡涂料的各项性能^[3]。

2.2 中和度对水性聚氨酯防水涂料性能的影响

在制备阴离子水性聚氨酯乳液时,中和度作为核心指标,精确反映了中和剂投放量与DMPA羧基完全中和所需量的精细调控。经碱性物质精准中和聚氨酯链羧基后,不仅界面张力显著降低,还极大地促进了预聚体向乳液形态的顺畅转变,并强化了乳液结构的稳定性。需特别指出的是,于特定工艺设定下——R值固定于1.55,DMPA含量占比5%,契阔链效率高达40%的情境中,细致调整中和度,对水性聚氨酯防水涂料的最终性能展现出了非凡的调控效力,其影响尤为深远,既强化了拉伸韧性,又直接影响其延展断裂能力,两者均为性能优化的核心要素。因此,在制备流程中,

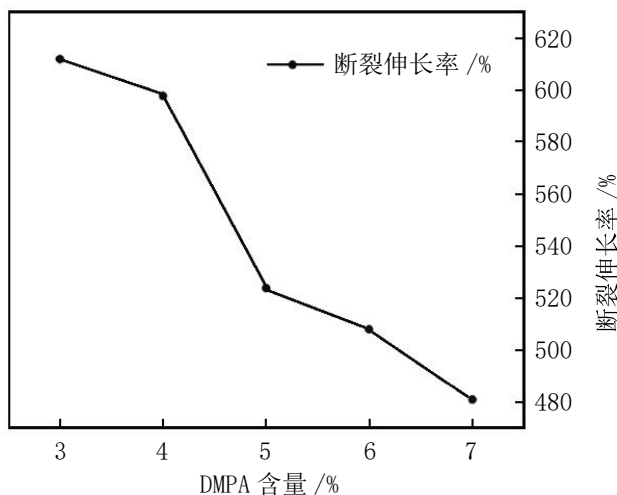


图1 DMPA含量对水性聚氨酯防水涂料拉伸强度和断裂伸长率的影响

对中和度的精细调控成为提升防水涂料整体性能不可或缺步骤,至关重要。

实验结果显示,提升中和度对水性聚氨酯防水涂料产生显著影响,不仅大幅度增强了其拉伸及抗撕裂性能,还伴随着断裂伸长率的合理减少,此现象与 DMPA 含量增加的效应相吻合。深入探究发现,涂料的吸水性增强与中和度的提升之间存在直接关联。具体而言,在低中和度情境下,羧酸基团的电离受到抑制,导致亲水活性位点减少,进而削弱涂料的亲水性和水分散效能。相反,在高度中和的条件下,羧酸阴离子表现出更高的活性,增强了分子链的亲水特性,促进了水分子与聚合物链间的强烈相互作用,最终大幅度提升了涂层的吸水效率。综合考虑亲水性基团的有效利用以及涂料的制备与应用效能,最佳中和度范围应控制在 90% 至 100% 之间,以达到最优性能平衡^[4]。

2.3 多元醇对 WPU 分散体性能的影响

图 2 揭示了多元醇 WPU 分散体粒径分布的独特性,结合其性能评估,清晰展示了所有样本平均粒径的细化趋势,这归因于 DMPA 成分的高占比。值得注意的是,大粒子易在织物表面速凝,细微粒子则能深入纤维内部。本研究精心调控的 WPU 分散体,以其细腻均匀的粒径分布,成为纤维织物防水涂料层的优选材料。同时,所有分散体均展现出低黏度优势,这归功于后扩链制备技术的精妙应用。这一特性进一步增强了其在织物处理中的适用性和效能。

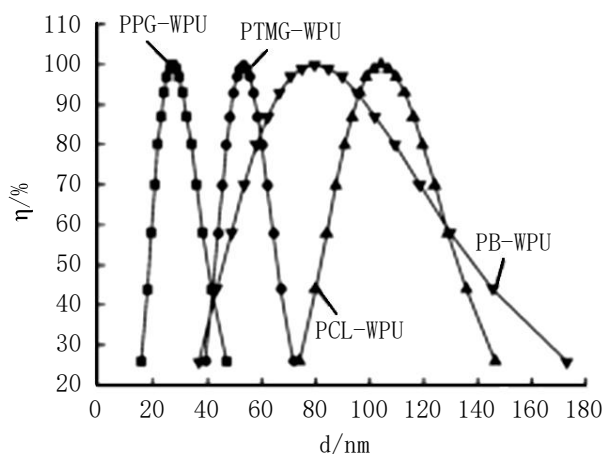


图 2 不同多元醇的 WPU 分散体的粒径分布 η

2.4 多元醇对 WPU 膜结晶性的影响

XRD 图谱解析揭示,利用不同多元醇制备的 WPU 薄膜展现出独特的衍射峰强度序列:PB-WPU 强度最为突出,随后是 PCL-WPU、PTMG-WPU 递减,PPG-WPU 最弱。

此序列凸显了软段成分对嵌段共聚物结晶结构的主导作用。尽管所有 WPU 样品均具结晶性,但其衍射峰却显宽且不尖锐,表明结晶程度有限。特别是 PCL-WPU、PB-WPU 及 PTMG-WPU 的衍射特征可能源于膜内少量结晶域,而 PPG-WPU 则可能主要由无序的非晶态结构构成。这一发现强调,尽管结晶现象普遍存在于各样本,但其表现形式和强度显著受多元醇种类调控,PPG-WPU 尤为显著地展示了非晶态特性,彰显了多元醇类型对 WPU 薄膜结晶行为的关键影响。

2.5 多元醇对 WPU 膜力学性能的影响

研究表明,聚酯型 WPU 薄膜在力学性能上显著优于聚醚型,具体表现为更高的模量与拉伸强度。此优势根源在于酯键的强极性特征,超越了醚键,从而促进了更稳固的分子间连接。聚酯型 WPU 的独特分子结构促进了硬段与软段间氢键网络的紧密构建,使得硬段在软段基质中均匀散布,作为物理交联点强化了整体结构,显著提升了材料的机械性能^[5]。

3 结束语

本文详尽阐述了水性聚氨酯(WPU)防水涂料在性能特性、生产工艺及改性策略上的综合面貌,并通过一系列实验深入探究了多种改性技术对其性能的具体影响。分析显示,这些 WPU 分散体具备细微粒径,尤其是聚酯型较聚醚型展现出更大的粒径尺寸及更广泛的粒径分布。在性能对比上,聚酯型 WPU 薄膜展现了更优越的结晶性能、模量及拉伸强度,然而,其断裂伸长率及耐水性却略逊于聚醚型。尤为值得关注的是,在所有合成的 WPU 分散体中,以 PTMG 为多元醇成分的 WPU 膜,在防水与耐水性能测试中脱颖而出,表现最优。因此,PTMG-WPU 作为防水涂膜材料,凭借其卓越的综合性能,成为织物防水处理领域的理想选择。

参考文献:

- [1] 曾国屏,王玲玲,戴国太,等.水性聚氨酯防水涂料研究进展[J].化工新型材料,2022,50(01):20-23,29.
- [2] 曹瀚,刘顺杰,王献红.基于二氧化碳共聚物的新材料[J].中国材料进展,2022,41(01):30-38,66-67.
- [3] 王新闻,薛晓武.水性聚碳酸酯聚氨酯的研究进展小[J].材料导报,2017(3130):252-254.
- [4] 洗文琪,刘晓暄,刘保华,等.聚碳酸亚丙酯二醇在聚氨酯中的应用研究进展[J].聚氨酯工业,2021(364):1-4.
- [5] 龚云娇,罗艳,曾铮,等.聚碳酸酯二醇型水性聚氨酯的制备[J].印染助剂,2020,37(04):28-33.