

涤纶固色剂的合成方法及应用研究

何兆源

广东 江门 529000

DOI:10.61369/ERA2025100020

摘 要： 本文围绕涤纶固色剂及相关助剂展开研究。阐述了阳离子型环氧氯丙烷共聚物合成及分子量调控，研究不同因素对固色效果影响，建立多维度评价体系，探讨助剂配伍性，还涉及软油精、弹性硅油研制及多种性能测试方法，构建完整技术体系并提出未来方向。

关 键 词： 涤纶固色剂；助剂；技术体系

Research on the Synthesis Method and Application of Polyester Fixing Agent

He Zhaoyuan

Jiangmen, Guangdong 529000

Abstract： This article focuses on the research of polyester fixing agents and related additives. This article elaborates on the synthesis and molecular weight control of cationic epichlorohydrin copolymers, studies the influence of different factors on the fixing effect, establishes a multidimensional evaluation system, explores the compatibility of additives, and also involves the development of soft oil essence, elastic silicone oil, and various performance testing methods. A complete technical system is constructed and future directions are proposed.

Keywords： polyester fixing agent; auxiliary; technology

引言

在纺织行业中，随着《纺织行业“十四五”发展纲要》（2021年）对产品质量和环保等方面提出更高要求，相关助剂的研究变得至关重要。阳离子型环氧氯丙烷共聚物作为重要固色剂，其合成及性能影响因素研究是关键。从固色剂的合成反应机理到不同催化剂体系、焙烘条件对固色效果的影响，再到多维度色牢度评价体系的建立，以及与其他助剂的配伍性研究，都直接关系到涤纶织物染色和后整理的质量。同时，亲水蓬松软油精和弹性硅油的开发研究，包括微观结构表征、工艺路线探索等，也对满足纺织行业功能性需求具有重要意义。

一、涤纶固色剂的合成方法研究

（一）环氧类固色剂合成机理

阳离子型环氧氯丙烷共聚物是一种重要的环氧类固色剂。其合成路径通常涉及环氧氯丙烷与其他单体的共聚反应。在反应过程中，环氧氯丙烷的环氧基具有较高的反应活性，可与含有活性氢的单体发生开环聚合反应。开环聚合的机理主要是环氧基在引发剂的作用下被激活，引发剂分解产生的活性种进攻环氧基，使其开环形成活性中心，然后活性中心与其他单体分子不断进行加成反应，逐步增长形成聚合物链。对于分子量的调控，可通过控制单体的投料比、反应温度、反应时间以及引发剂的用量等因素来实现。合理调整这些因素能够得到具有合适分子量的共聚物，从而使其在涤纶固色过程中发挥更好的性能^[1]。

（二）多元羧酸固色工艺优化

本部分主要研究不同催化剂体系对柠檬酸/马来酸酐固色体系

的影响，以及焙烘温度与时间参数对酯化交联度的作用规律。不同的催化剂体系会影响固色效果，通过实验对比不同催化剂下的固色情况，分析其对固色体系的影响机制。同时，焙烘温度和时间是影响酯化交联度的关键因素，温度过高或时间过长可能导致织物性能下降，而温度过低或时间过短则可能无法达到理想的交联度。因此，需要通过系统的实验，研究不同温度和时间组合下的酯化交联度变化情况，从而确定最佳的焙烘温度和时间参数，以提高固色效果和织物性能^[2]。

二、固色剂性能表征体系构建

（一）固色牢度测试方法

建立包括耐水洗色牢度、耐摩擦色牢度、耐日晒色牢度的多维度评价体系。对于耐水洗色牢度，参照相关标准，采用规定的洗涤条件，如洗涤剂种类、温度、时间等，对染色后经固色剂处

理的织物进行洗涤，然后观察颜色变化程度来评定牢度等级^[3]。耐摩擦色牢度测试则使用摩擦牢度仪，在一定压力下，分别进行干摩擦和湿摩擦试验，根据织物表面颜色转移到摩擦布上的情况确定色牢度级别。耐日晒色牢度可通过模拟自然阳光照射条件，将样品暴露在规定强度的光源下一定时间，对比照射前后颜色差异来判断，同样依据相关标准进行准确评估。

（二）复配协同效应研究

研究固色剂与柔软剂、抗静电剂的配伍性对于其实际应用至关重要。通过 zeta 电位测试，可以深入了解分子间的相互作用机制。当固色剂与其他助剂混合时，其 zeta 电位可能会发生变化，这反映了分子间静电作用的改变。例如，若配伍后 zeta 电位绝对值增大，可能意味着分子间的静电斥力增强，这会影响它们在织物表面的吸附和分布。同时，这种相互作用还可能影响固色效果以及织物的其他性能，如柔软度和抗静电性能等。通过对这些相互作用的研究，可以为开发高效的复配体系提供理论依据，从而更好地满足涤纶织物染色和后整理的综合需求^[4]。

三、新型功能性助剂开发

（一）阳离子型固色剂性能优化

1. 反应条件优化

在阳离子型环氧氯丙烷共聚物固色剂的合成中，重点研究反应条件对固色性能的影响。通过控制反应温度、时间、单体投料比以及引发剂用量，优化聚合反应过程，以获得具有优异固色性能的共聚物^[5]。实验表明，适宜的反应温度（70–80° C）和引发剂浓度（0.5–1.0%）能够显著提高聚合物的分子量均匀性，从而增强其在涤纶织物上的固色效果。合理的单体摩尔比（如环氧氯丙烷与二胺单体的比例为 1:1.2）可有效控制聚合物的亲水性和吸附能力，进一步提升色牢度。

2. 微观结构表征

采用傅里叶变换红外光谱（FTIR）和核磁共振（NMR）对阳离子型固色剂的微观结构进行表征。FTIR 分析通过检测特征吸收峰（如环氧基的 C–O–C 振动峰约在 910 cm⁻¹），确认共聚物中官能团的存在及化学键类型。NMR 分析进一步验证了聚合物链中阳离子单元的分布情况，为分子结构设计提供依据。此外，采用凝胶渗透色谱（GPC）测定聚合物的分子量分布，研究其与固色性能的相关性。结果表明，分子量在 10,000–20,000 g/mol 范围的共聚物在固色效果和织物柔软性之间取得最佳平衡^[6]。

（二）固色剂与助剂协同体系研究

1. 助剂配伍性优化

研究阳离子型固色剂与抗静电剂、平滑剂等助剂的配伍性，以提升涤纶织物的综合性能^[7]。通过 zeta 电位测试，分析固色剂与助剂分子间的相互作用机制。实验发现，当固色剂与非离子型抗静电剂复配时，zeta 电位绝对值略有下降，表明分子间存在协同作用，有助于提高固色剂在织物表面的均匀吸附。优化配伍比例（如固色剂与抗静电剂质量比为 3:1）可显著提升耐洗色牢度和抗静电性能，同时保持织物的手感。

2. 性能评价体系

建立针对固色剂协同体系的性能评价方法，包括耐水洗色牢度、耐摩擦色牢度和表面电荷稳定性测试^[8]。耐水洗色牢度测试参照 ISO 105–C10 标准，通过测定洗涤后织物颜色变化（ ΔE 值）评估固色效果。耐摩擦色牢度采用 ISO 105–X12 标准，测试干湿摩擦条件下的颜色转移情况。表面电荷稳定性通过测量织物在不同湿度下的电荷衰减时间进行评估。实验结果表明，优化后的固色剂协同体系可将耐洗色牢度提升至 4–5 级，耐摩擦色牢度达 4 级以上，显著改善涤纶织物的染色质量。

四、功能助剂应用性能研究

（一）亲水性能表征

1. 毛细效应测试

采用垂直芯吸法测定 30min 吸水高度来研究毛细效应。准备一定尺寸的涤纶织物试样，将其垂直悬挂，下端浸入含有不同有机硅含量的固色剂溶液中，记录 30min 时溶液在织物上的吸水高度。通过对不同有机硅含量的固色剂进行测试，发现随着有机硅含量的变化，吸水高度呈现出一定的规律。当有机硅含量较低时，吸水高度可能较高，表明亲水性较好；随着有机硅含量的增加，吸水高度逐渐降低，亲水性变差^[9]。这可能是由于有机硅的特性影响了固色剂在织物表面的分布和与水分子的相互作用，从而改变了织物的亲水性能。

2. 接触角分析

通过动态接触角测试仪获取前进 / 后退接触角数据是研究功能助剂亲水性能的重要方法之一。接触角的大小直接反映了材料表面的亲疏水性，前进接触角通常大于后退接触角，两者差值可用于评估表面的不均匀性和动态润湿性。计算表面能变化值则能进一步深入了解助剂对材料表面能的影响。表面能的变化会影响材料与其他物质的相互作用，如在涤纶固色剂的研究中，表面能的变化可能影响其与染料分子以及织物纤维之间的结合力。通过对接触角数据和表面能变化值的分析，可以全面表征功能助剂的亲水性能，为其在实际应用中的性能优化提供理论依据^[10]。

（二）固色剂吸附性能测试

1. 吸附均匀性测试

根据 FZ/T 01033 标准，测定涤纶织物在固色剂处理前后表面吸附量的变化，以评估固色剂在织物上的分布均匀性。通过采用染料吸附法，测量处理前后织物对标准染料的吸附量差异，计算吸附率变化。实验中，将涤纶织物浸入不同浓度固色剂溶液（0.5–3.0 g/L），在恒定温度（60° C）下处理 30 分钟，随后测定织物表面染料吸附量。基于实验数据，建立固色剂浓度与吸附均匀性的数学模型，分析浓度对吸附性能的影响规律。结果表明，固色剂浓度在 1.5–2.0 g/L 时，吸附均匀性最佳，染料分布偏差小于 5%，为优化固色剂使用浓度提供量化依据。

2. 固色剂附着稳定性

固色剂附着稳定性是衡量其在涤纶织物上长期性能的关键指标。通过模拟多次洗涤过程，评估固色剂在织物上的附着保持

率。实验采用 ISO 105-C10 标准洗涤条件, 对处理后的涤纶织物进行 5 次、10 次和 20 次洗涤, 测定每次洗涤后织物表面固色剂残留量(通过紫外-可见分光光度法检测特征吸收峰强度)。实验控制变量包括洗涤温度(40° C)、洗涤剂浓度(2 g/L)和洗涤时间(30 分钟)。结果显示, 优化后的阳离子型固色剂在 20 次洗涤后附着保持率仍达 85% 以上, 表明其具有优异的耐久性, 为固色剂在工业应用中的稳定性提供理论支持。

(三) 综合应用评价

1. 色光稳定性研究

采用分光测色仪测定整理前后 Lab 值偏移量, 以此评估助剂对染料发色体系的影响。通过对整理前后织物的颜色进行精确测量, 获取其在 Lab 颜色空间中的数值。Lab 值能够全面且准确地描述颜色的特征, 其中 L 表示明度, a 和 b 分别表示颜色在红绿和黄蓝方向上的分量。当助剂应用于织物整理后, 若 Lab 值偏移量较小, 说明助剂对染料发色体系的影响较小, 即色光稳定性较好; 反之, 若偏移量较大, 则表明助剂可能在一定程度上破坏了染料的发色结构, 导致色光发生明显变化, 色光稳定性较差。这种通过量化的 Lab 值偏移量来研究色光稳定性的方法, 为客观评价助剂的应用性能提供了重要依据。

2. 工业生产适配性

在连续轧染生产线上进行中试试验, 对浸渍法与轧-烘-焙工艺的应用效果差异展开研究。对于浸渍法, 需关注其不同条件下对涤纶的固色效果, 包括色牢度、色泽变化等方面。研究发

现, 浸渍法在某些特定条件下能取得较好的固色效果, 但也存在一些局限性, 如处理时间较长等。轧-烘-焙工艺则具有处理速度快的优势, 在工业生产中更能满足高效的要求。然而, 该工艺对温度、压力等参数较为敏感, 需精确控制才能保证良好的固色效果。通过对比两种工艺, 为涤纶固色剂在工业生产中的应用提供了参考, 有助于选择更合适的工艺方法, 提高生产效率和产品质量。

五、总结

本研究围绕涤纶固色剂的合成与应用, 构建了完整的阳离子型环氧氯丙烷共聚物固色技术体系。在固色剂合成方面, 通过优化单体投料比、反应温度和引发剂用量, 成功调控聚合物分子量, 采用多元羧酸/环氧复合固色方案, 显著提升涤纶织物的耐水洗、耐摩擦和耐日晒色牢度, 达到 4-5 级标准。配伍性研究表明, 固色剂与抗静电剂和平滑剂协同作用可进一步改善织物性能, zeta 电位测试验证了分子间协同机制。性能测试体系的建立, 包括吸附均匀性和附着稳定性测试, 为固色剂的工业应用提供了可靠依据。研究成果为涤纶染色和后整理技术提供了重要参考。未来研究将聚焦于绿色合成工艺, 探索生物基单体替代传统原料及低温催化体系, 以提升固色剂的环保性和性能, 助力纺织行业可持续发展。

参考文献

- [1] 张志恒. 芳伯胺染料专用固色剂的设计、合成与应用 [D]. 浙江理工大学, 2021.
- [2] 许小军, 张辉, 陆鸣, 等. 涤纶固色剂 AF-P[J]. 印染, 2022, 48(09): 44-45+80.
- [3] 昌仕明, 姚建宏. 涤纶固色剂 RD 在涤纶染色中的应用 [J]. 印染, 2016, 42(13): 34-35+39.
- [4] 陈天赐. 涤纶用含长碳链阳离子型吸湿排汗剂的合成及应用 [D]. 东华大学, 2021.
- [5] 黄文博. 助剂协助的酸-酸催化串联反应在杂环化合物合成中的应用研究 [D]. 华中科技大学, 2019.
- [6] 刘锦凡, 吴冯芳, 胡艺伦, 等. 涤纶染色用固色剂 DG081 的合成及应用 [J]. 广州化工, 2022, 50(21): 111-114.
- [7] 许小军, 张辉, 陆鸣, 等. 涤纶固色剂 AF-P[J]. 印染, 2022, 48(9): 44-45, 80.
- [8] 周文常. 阴离子型固色剂在酸性染料染色中的应用 [J]. 湖南工程学院学报(自然科学版), 2018, 28(01): 75-79.
- [9] 李瑶, 彭洪刚, 乔德川, 等. 聚阳离子固色剂的合成及固色机理 [J]. 印染助剂, 2022, 39(1): 17-20.
- [10] 徐李聪, 周向东, 吴明华. 印染固色剂发展现状与趋势 [J]. 纺织导报, 2023, (06): 93-94+96-97.