

绿色可降解分散染料增溶助剂的合成及助染机理

陈玉良 朱炜^(通讯作者) 王海丰

浙江龙盛集团股份有限公司 312368

DOI:10.32629/ems.v8i6.20587

[摘要] 为破解传统分散染料助剂难降解、污染性强、增溶效果不稳定、印染废水处理难度大等行业共性问题，以绿色可降解为核心导向，系统探究分散染料增溶助剂的合成工艺、结构调控、增溶作用机制与绿色应用路径。通过优化分子结构设计、调控合成反应参数、构建可降解官能团体系、强化染料-助剂-纤维界面作用，实现绿色可降解分散染料增溶助剂在分子设计、原料合成、助剂复配、印染应用、废水降解全链条的高效增溶、生态友好与低碳应用，明确各合成与应用环节的核心作用机理与调控准则，契合纺织印染行业绿色化、低碳化、可降解转型对分散染料助剂的安全、高效、可降解、低污染核心诉求。

[关键词] 绿色可降解；分散染料；增溶助剂；合成工艺；助染机理；低碳印染

分散染料作为纺织印染行业中聚酯纤维染色的核心染料，广泛应用于化纤纺织、功能面料、家纺服饰、产业用纺织品等关键领域，其增溶助剂的可降解性、增溶效率、染色均匀性、环境友好性直接决定纺织印染整体绿色化水平与低碳生产成效。当前纺织行业加速向绿色清洁、可生物降解、可持续生产方向转型，对分散染料增溶助剂的无毒无害、易降解、低残留、高增溶属性提出更为严苛的标准。传统分散染料增溶助剂存在分子结构难降解、合成工艺污染高、增溶机理不清晰、印染废水难处理、生态毒性偏高等短板，难以适配绿色纺织、可降解印染、零污水排放的发展要求^[1]。因此，以绿色可降解为目标开展绿色可降解分散染料增溶助剂的合成及助染机理研究，解析分子结构与增溶性能、降解特性、染色效果的内在关联，构建系统化、标准化、可落地的绿色合成与应用体系，对推动纺织印染助剂绿色升级、助力纺织行业“双碳”目标落地具有重要的理论价值与工程实践意义。

1 绿色可降解分散染料增溶助剂合成与助染的核心影响因素

1.1 全生命周期阶段划分与环境作用机理

绿色可降解分散染料增溶助剂全生命周期涵盖分子设计、原料选取、合成制备、助剂复配、印染应用、降解处置六大核心阶段，各阶段的合成工艺、结构选择、应用条件直接作用于原料消耗、能源耗用、污染物排放、降解效率等环保核心指标，各环节相互关联且形成闭环影响。分子设计阶段的官能团设定，决定后续全周期降解性能与增溶效果的基

础水平，可降解结构缺失将引发后续合成、应用、降解环节的不可逆环境压力；原料选取与合成制备阶段的工艺选择、能耗管控，直接影响碳排放总量与污染物排放规模，粗放式合成模式会加剧资源浪费与生态破坏；助剂复配阶段的配伍性控制、副产物处置，关系到复配环节的环境扰动与助剂利用率；印染应用阶段的助剂用量、染色温度、废水排放，影响纺织长期生产的低碳水平；降解处置阶段的分解速率、产物毒性、资源化效率，决定助剂闭环循环能力与末端环境危害程度^[2]。

1.2 助剂分子固有属性与可降解适配性

增溶助剂的固有分子结构、官能团类型、可降解特性、界面活性，是实现全生命周期绿色应用的物质基础，契合绿色印染要求的助剂属性可从源头降低环境负荷。当前纺织印染领域常用增溶助剂包括阴离子型、非离子型、两性离子型分散剂、匀染剂、增溶剂等，其分子骨架、亲水亲油基团、降解路径、生态毒性存在显著差异^[1]。酯基、酰胺基、糖苷基等可降解官能团具备环境友好性，可降低自然环境中残留累积；可生物降解、可光降解、可水解分子结构能够提升末端降解效率，减少废水与污泥污染；高增溶、低添加量、高适配性助剂可降低应用阶段原料消耗，契合长期低碳生产需求。

助剂的绿色环保认证、可降解性能评价数据、生态毒性检测报告，是合成与应用环节的核心依据，缺乏权威环保标识的助剂易在全周期内产生隐性环境危害。助剂的热稳定性、耐酸碱性能、染色适配性，直接影响印染效果与重复利用率，

长效稳定的助剂可减少中间环节原料消耗,提升全周期环保效益。

1.3 合成机制与应用技术的调控效能

全生命周期合成机制与配套应用技术的完善程度,是决定增溶助剂绿色合成与助染效果落地的关键支撑,传统粗放式合成模式与滞后应用技术难以满足绿色管控要求。合成层面,缺乏统一的绿色合成标准、原子经济性调控、副产物回收体系,会导致各阶段合成目标脱节、原料利用率不足;缺少常态化反应监测、能耗统计与环保评价机制,无法精准识别合成短板并实施动态优化。应用层面,传统依赖经验配比、高温高压的应用方式,存在助剂浪费大、能耗偏高、染色不均等问题,难以实现染料增溶、染色均匀、废水减排的精准管控;绿色合成技术、低温印染技术、高效降解技术的应用不足,限制了全周期环保效益提升空间^[3]。

2 绿色导向下分散染料增溶助剂合成与助染机理框架优化

2.1 全周期绿色合成与应用目标体系构建

以绿色可降解为核心构建全生命周期合成与应用目标体系,是实现增溶助剂各阶段协同优化的前提,需统筹高效增溶、可降解、低污染、低碳排放四大核心维度。目标体系需贴合国家绿色纺织、清洁印染、可降解助剂相关政策标准,结合纤维类型、染料品种、印染需求制定差异化指标,涵盖源头绿色合成、过程高效应用、末端完全降解三个层面。源头层面,以可降解分子设计、绿色原料选择、原子经济合成为核心,降低初始环境负荷;过程层面,以助剂减量化、染色均匀化、废水减排放为核心,减少中间环节原料浪费与环境影响;末端层面,以快速降解、无毒产物、生态无害为核心,实现闭环降解与零污染排放。

2.2 全流程合成与应用节点优化与协同管控

基于全生命周期逻辑优化合成与应用节点,破除各阶段割裂管控壁垒,构建分子设计、合成制备、复配应用、印染染色、降解处置一体化协同管控模式。分子设计环节,强化可降解前置设计,将易降解、高增溶、无毒无害作为核心设计标准,优先纳入天然原料、生物基原料的绿色助剂结构,同步考量合成成本与环境效益,避免仅关注增溶效果而忽视长期环境负荷。原料与合成环节,建立绿色原料准入机制,要求原料供应商提供可降解与生态毒性评价报告,严控高污

染、高毒性、难降解原料与工艺,推动合成环节绿色化改造。

助剂复配环节,实施绿色复管控,优化助剂配比、溶解、混合流程,减少助剂损耗与副产物产生,规范复配废料分类收集与临时处置,避免随意排放造成环境污染。印染应用环节,建立绿色印染机制,实施助剂用量精准调控、染色温度优化、废水循环利用,延长助剂有效作用周期,减少非必要添加,降低印染环节原料消耗与废水产生^[2]。降解处置环节,构建规范化降解体系,实施自然降解、生物降解、光催化降解联用,杜绝难降解残留与随意排放,提升末端降解率与生态安全性。

2.3 绿色化合成标准与应用制度体系完善

完善适配绿色可降解目标的合成标准与应用制度体系,为全生命周期管控提供刚性约束与操作依据,实现合成与应用行为规范化、标准化。制定增溶助剂绿色合成标准,明确禁用原料清单、能耗限值、原子利用率、可降解率、环保认证等级等硬性要求,从源头阻断高环境负荷助剂进入纺织印染工程。制定合成环节绿色管控规范,界定原料利用率指标、副产物回收要求、合成污染防治措施,约束合成过程行为。

制定印染应用环节低碳管控细则,建立助剂用量监测、节能染色、定期评估机制,推动应用环节高效低耗。制定降解处置环节管理办法,规范助剂残留、废水处理、降解产物检测流程,明确责任主体与环保要求,严防难降解助剂污染水体与土壤。

3 绿色可降解分散染料增溶助剂合成及助染关键路径

3.1 源头分子设计与绿色合成工艺优化

源头分子设计优化是降低全周期环境负荷的核心举措,需以可降解结构、增溶性能、生态毒性为核心依据,构建科学严谨的分子筛选体系。优先引入酯基、糖苷键、生物基烷基链等可降解官能团,避免芳香族难降解结构,降低合成、应用、降解阶段的环境危害与生态风险。优先选用高增溶效率、低添加量、宽温域适配的助剂结构,降低印染阶段原料消耗与能耗,提升全周期资源利用效率。

优先选用线性可降解、易生物分解、高配伍性的分子骨架,简化末端降解路径,提升自然环境降解比例。优化合成反应方案,结合染料类型、纤维材质、印染条件合理匹配分子结构与合成工艺,避免过度官能化造成原料闲置与浪费。

建立多维度助剂评价模型,综合考量可降解性、增溶性能、生态毒性、全周期成本,实现合成可行性、经济合理性、环境友好性协同统一。加强原料供应商管理,构建绿色供应链体系,对原料的可降解性、生态毒性、合成适配性进行定期审核,确保上游环节符合绿色环保要求,从源头保障增溶助剂的绿色可降解属性。

3.2 合成制备与复配过程绿色化升级

合成阶段是原料消耗与副产物产生的关键环节,通过绿色催化与精细化管控,可显著降低资源浪费与环境扰动。优化原料投料与反应管控,采用精准计量、恒温催化方式降低能源消耗与碳排放,实施密闭反应、尾气吸收管理,避免原料挥发变质导致无效损耗。推行原子经济合成、绿色催化工艺,减少副产物生成,提升原料利用率,实现合成环节源头减废。

规范合成副产物分类收集、暂存、转运流程,将可回收原料、无害副产物、有害副产物分开处置,避免混合排放造成二次污染与资源损失。采用低能耗、低排放、低毒性合成工艺,减少合成过程对周边环境的影响,契合绿色化工生产要求。加强合成过程环保监测,实时管控原料利用率、副产物回收率、能源消耗量,对超标环节及时调整优化,保障合成阶段绿色管控目标达成。

3.3 印染应用阶段高效化与低碳化管控

印染应用阶段作为全生命周期时长最长的环节,其绿色管控水平直接影响纺织长期低碳生产成效。建立增溶助剂用量动态监测系统,实时采集染料溶解状态、染色均匀度、助剂残留参数,识别高耗低效添加量并实施优化调控,降低无效添加与原料浪费。实施精准染色与低温匀染机制,通过助剂预溶、温度梯度调控、匀染协同作用,避免染色不均引发的二次印染,延长整体有效作用周期,减少助剂添加频次与资源投入。

规范印染助剂选用标准,优先采用绿色可降解、可循环使用的印染助剂,减少一次性助剂使用量,降低印染废水产生。建立印染数据统计与分析机制,定期评估助剂增溶效率、染色效果、环保成效,形成应用优化报告并持续改进。推行智能化印染管理,依托物联网、大数据技术实现染料-助剂自

动配比、在线监测、智能调控,提升印染效率的同时降低人力投入与能源消耗。

3.4 降解处置阶段无害化与高效化处置

降解处置环节是实现生态友好、杜绝末端环境污染的最后一道关口,要创建起“残留—降解—产物—处置”的全流程绿色体系。建立纺织印染助剂残留专项降解机制,明确印染企业、处理机构、监管单位的责任边界,保证助剂残留全部降解、不残留、不随意排放。采用多种降解途径,即生物降解、光降解、水解降解相结合,提高降解速率和产物安全性。

对残留助剂中含有的微量有害组分,交由有资质的专业机构进行无害化处理,防止有害物质进入水体和土壤。对于完全可降解的助剂产物,实现自然回归和生态循环,减少二次污染。建立降解数据台账,记录降解速率、产物成分、环境影响等信息,形成全周期闭环追溯。

4 结论

以绿色可降解为目标,通过全周期合成与应用目标体系构建、全流程合成节点优化、绿色标准制度完善、源头分子设计升级、合成过程管控、印染低碳调控、降解无害化处置等系统化优化路径,可实现绿色可降解分散染料增溶助剂全链条高效增溶、原料集约消耗、污染物减量排放、降解完全无害,全面契合现代纺织印染绿色化、低碳化、可降解发展需求。该优化体系可有效破解传统难降解助剂的环保短板,提升分散染料增溶助剂全周期生态效益与经济价值,为纺织行业绿色转型与印染助剂领域可持续发展提供坚实的技术支撑与理论借鉴。

[参考文献]

- [1]洪健欣,高南,王红蕾.绿色可降解微胶囊的现状与未来趋势[J].中国洗涤用品工业,2026,(01):32-49.
- [2]李清林.电商物流中可降解塑料应用对绿色供应链的影响[J].塑料助剂,2025,(06):128-131.
- [3]张润寒.绿色可降解多模态智能防护服在突发灾害应急防护中的应用探索[J].塑料工业,2025,53(11):187.

作者简介:陈玉良,男,出生年月:19870522,籍贯:江苏省南京市,汉族,研究方向:化工,职称:中级工程师,学历:硕士。