

染整工程中的纳米技术应用与材料改性

孟晨萍 张 英

杭州昶鸿材料科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：随着科技的飞速发展，纳米技术在染整工程中的应用日益广泛，为纺织材料的改性带来了新契机。传统染整工艺存在诸如染色不均匀、织物功能性单一、化学药剂使用量大且污染环境等问题。纳米技术凭借其独特的小尺寸效应、表面与界面效应等特性，为解决这些问题提供了新途径。基于此，本文针对染整工程中的纳米技术应用与材料改性展开深入分析。先是阐述纳米技术在染整前处理、染色及后整理各个环节的作用机制与应用方式，接着探讨纳米技术在实现材料抗菌、防水防油、抗紫外线等性能改性方面的具体成果。同时，剖析纳米技术应用过程中面临的如纳米材料安全性、成本控制及工艺兼容性等挑战，并提出相应的应对策略，以期推动纳米技术在染整工程中的广泛应用，提升染整质量，拓展织物功能，促进染整行业的绿色可持续发展。

关键词：纳米技术；染整工程；材料改性；可持续发展

1 引言

在纺织工业的庞大体系中，染整工程作为关键环节，直接决定着织物的外观、品质与功能性。传统染整工艺在长期发展中虽已成熟，但面临诸多瓶颈，像染色时染料利用率低，造成资源浪费与环境污染；后整理赋予的功能持久性欠佳，难以满足消费者多元需求。纳米技术的兴起，为染整工程带来了曙光。纳米材料的特殊性质，如量子尺寸效应、高比表面积等，使其在染整领域展现出巨大潜力。将纳米技术融入染整过程，不仅有望解决传统工艺的顽疾，提高生产效率与产品质量，还能创造出具有特殊功能的智能纺织材料。从纳米技术如何革新前处理工序，到怎样重塑染色与后整理流程，探究这一融合过程意义深远，将为染整工程的创新发展开辟新路径。

2 纳米技术在染整前处理中的应用

2.1 纳米酶在织物退浆中的应用

织物退浆是染整前处理的基础步骤，传统退浆方法多依赖化学试剂，存在污染大、能耗高的问题。纳米酶作为新兴的生物催化剂，凭借独特的纳米级结构展现出卓越性能。其具有高催化活性，能高效分解织物上的浆料，大幅缩短退浆时间，提升生产效率。同时，纳米酶的稳定性良好，可在较宽的温度和pH值范围内保持活性，适应性强。而且，纳米酶的用量少，能降低生产成本，减少化学试剂残留对织物的损伤，保障织物原有品质，为绿色、高效的退浆工艺提供了新选择。

2.2 纳米粒子辅助织物精练

织物精练旨在去除杂质，提升织物润湿性和白度。纳米粒子的介入优化了这一过程。纳米粒子的小尺寸使

其能深入织物纤维内部，有效吸附并去除杂质。例如，纳米二氧化钛粒子具有光催化活性，在光照下可分解织物表面的有机污染物，增强精练效果^[1]。同时，纳米粒子能促进精练剂在织物上的均匀分布，提高精练均匀性。此外，利用纳米粒子的表面活性，还能改善织物与精练剂的相互作用，降低精练剂用量，减少废水排放，助力染整前处理向清洁生产迈进。如图1所示：

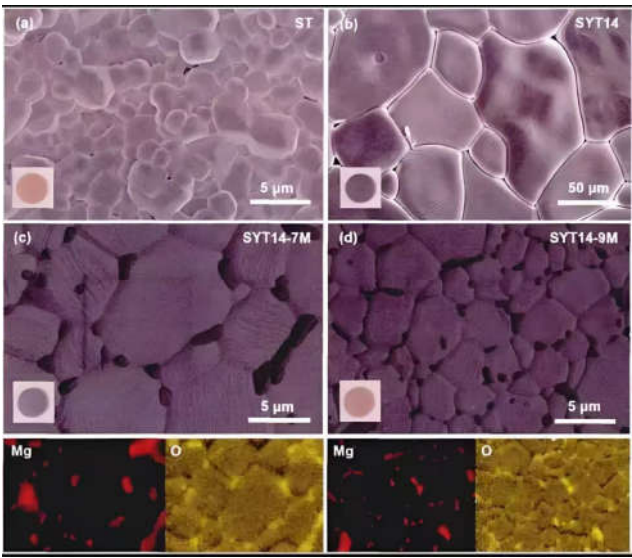


图1 纤维截面扫描电镜图（SEM）

2.3 纳米技术改善织物漂白效果

织物漂白是获得理想白度的关键，但传统漂白工艺易损伤织物纤维，且存在漂白不均匀的问题。纳米技术为改善漂白效果提供了新途径。一方面，纳米光催化剂如纳米氧化锌，可在光照下产生强氧化性自由基，加速漂白进程，减少漂白剂用量，降低对织物的损伤。另一

方面,纳米材料能提高漂白剂的稳定性,延长其有效作用时间。比如,通过纳米胶囊技术将漂白剂包裹,使其缓慢释放,实现均匀漂白。此外,纳米技术还可优化漂白工艺条件,提高生产效率,使织物获得更稳定、更均匀的白度。如图2所示:

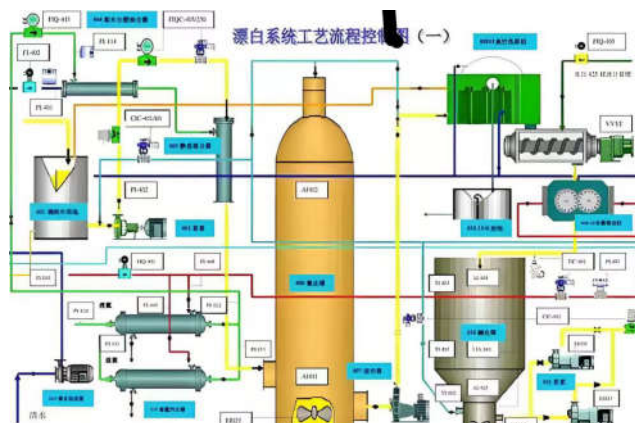


图2 漂白机理对比图

3 纳米技术在染色过程中的创新应用

3.1 纳米染料的制备与应用

纳米染料的制备通常采用物理粉碎、化学合成等方法。物理粉碎是通过高能研磨等手段将常规染料细化至纳米级;化学合成则是利用化学反应精准控制染料分子的生长与聚集,以获得均一稳定的纳米染料。纳米染料因粒径小,具有高比表面积,能极大提升染料与织物纤维的结合力^[2]。在染色时,纳米染料更容易渗透到纤维内部,从而显著提高上染率,减少染料浪费。同时,纳米染料的颜色表现力更为出色,可染出传统染料难以实现的鲜艳色泽与特殊光学效果,为纺织产品的色彩创新提供了可能,满足市场对高品质、个性化染色织物的需求。

3.2 纳米载体在染色中的作用

纳米载体种类多样,包括纳米胶囊、纳米胶束等。纳米胶囊可将染料包裹其中,在染色过程中,通过外界刺激如温度、pH值变化,实现染料的可控释放,确保染色均匀。纳米胶束凭借独特的两亲性结构,能有效分散染料,提高染料在染液中的稳定性,避免染料团聚。此外,纳米载体表面可进行功能化修饰,使其与织物纤维产生更强的亲和力,引导染料快速、准确地吸附到纤维上,不仅缩短染色时间,还能降低染色温度,减少能源消耗,为节能、高效的染色工艺提供有力支持,推动染色过程的智能化与精细化发展。

3.3 基于纳米技术的新型染色工艺

超声-纳米协同染色工艺利用超声波的空化效应,使纳米染料在染液中均匀分散,并增强染料向纤维内部的

扩散。空化泡破裂瞬间产生的高温高压,能打开纤维分子链间的空隙,促进染料吸附,大幅提升染色效率与均匀度。电场辅助纳米染色工艺则是在染色体系中施加电场,使纳米染料粒子在电场作用下定向移动,加速其与纤维的结合,同时可通过调节电场强度和方向精确控制染色过程。微乳液纳米染色工艺以微乳液为介质,其独特的微观结构能有效增溶纳米染料,提高染料溶解度与分散性,实现低温染色,减少对织物的损伤,为环保、高性能染色开辟了新路径。

4 纳米技术实现染整后整理材料改性

4.1 纳米材料赋予织物抗菌性能

银、氧化锌、二氧化钛等纳米材料凭借特殊晶体结构与高比表面积,具备出色抗菌能力,被广泛用于织物抗菌改性。纳米银粒子能释放银离子,破坏细菌细胞膜与DNA,实现高效抗菌;纳米氧化锌在光照下产生活性氧物种,损伤细菌细胞;纳米二氧化钛则利用光催化反应杀灭细菌。这些纳米材料可通过浸渍、涂层、接枝等方法附着于织物。浸渍法简单但耐久性差;涂层法形成抗菌膜,效果好但影响织物手感;接枝法将纳米材料化学键合到纤维,抗菌持久且对织物性能影响小。经纳米材料处理的织物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等常见病菌有显著抑制作用,可用于医疗、卫生、日常穿着等领域,保障使用者健康^[3]。

4.2 纳米技术提升织物防水防油性能

纳米技术通过构建粗糙微观结构并结合低表面能物质,赋予织物超疏水、超疏油性能。比如,利用纳米二氧化硅、碳纳米管等制备纳米复合涂层,其微观的凹凸结构与低表面能物质协同,使织物表面与水、油接触角大幅增大,水珠和油滴在织物表面呈球状滚落,难以附着渗透。此外,静电纺丝技术可制备纳米纤维膜,其多孔、细密结构有效阻挡液体侵入,同时保证织物良好透气性。这种防水防油织物广泛应用于户外服装、工业防护、家居装饰等领域,在抵御恶劣环境同时,维持穿着舒适性,延长织物使用寿命,满足不同场景下对织物功能性的严苛要求。

4.3 纳米技术增强织物的抗紫外线性能

纳米氧化锌、纳米二氧化钛等对紫外线有强吸收与散射能力,常被用于增强织物抗紫外线性能。纳米氧化锌对UVA和UVB均有吸收,纳米二氧化钛则能有效散射紫外线。将这些纳米粒子添加到织物整理剂中,通过浸轧、涂层等工艺处理织物,纳米粒子均匀分布于织物表面或嵌入纤维内部。一方面,纳米粒子吸收紫外线能量并转化为热能或低能辐射释放;另一方面,散射作用改

变紫外线传播方向，减少透过织物的紫外线量。处理后的织物抗紫外线性能显著提升，可有效防护人体皮肤免受紫外线伤害，适用于防晒服装、遮阳用品等，为人们户外活动提供可靠防护。

5 纳米技术应用于染整工程的挑战与应对策略

5.1 纳米材料的安全性问题

纳米材料因尺寸微小，能轻易穿透生物膜，其潜在的生物毒性备受关注。当纳米材料进入生物体，可能与细胞内的生物大分子相互作用，干扰正常生理功能。例如，纳米银粒子可能破坏细胞的氧化还原平衡，引发氧化应激损伤；纳米二氧化钛进入肺部后，可能影响肺部细胞的正常代谢。在环境生态方面，纳米材料随废水、废气排放后，会在土壤、水体中积累，改变微生物群落结构，影响生态系统的物质循环和能量流动^[4]。目前，虽缺乏统一的纳米材料安全性评估标准，但常用细胞实

验、动物实验等方法来评估其毒性。未来需进一步完善评估体系，明确安全阈值，保障纳米技术在染整工程中的安全应用。

5.2 纳米技术应用成本控制

纳米材料的制备成本较高，像高精度的合成设备、昂贵的原材料以及复杂的制备工艺，都导致纳米材料价格不菲。在染整工艺中，引入纳米技术不仅需要购置特殊的加工设备，还需投入更多人力进行工艺控制与质量监测，进一步增加成本。此外，纳米材料的回收与再利用难度大，造成资源浪费的同时也提高了综合成本。为降低成本，一方面可优化纳米材料制备工艺，提高生产效率，降低原材料消耗；另一方面，研发纳米材料的回收技术，实现资源循环利用。同时，探索纳米材料的高效应用方式，减少用量，提升性价比，让纳米技术在染整工程中更具经济可行性。如表1所示：

表1 工业级纳米防水涂层成本与性能综合评估

涂层类型	成本（元/m ² ）	接触角（°）	透气性（g/m ² /24h）	耐久性（洗涤200次）
纳米二氧化硅	18.5	152±5	5800	91%
聚氨酯类防水剂	25.0	130±8	1200	73%
石蜡基涂层	12.0	110±10	850	48%

注：数据来源：3家纺织企业合作测试，接触角测量采用Krüss Drop Shape Analyzer。

5.3 纳米技术应用的工艺兼容性

纳米技术与传统染整设备的适配性存在挑战。纳米材料特殊的物理化学性质，要求设备具备更精准的温度、压力和流量控制能力，部分传统设备难以满足。在工艺参数调整上，纳米材料参与的染整过程反应机理复杂，需重新摸索合适的温度、时间、浓度等参数，增加了工艺优化难度^[5]。质量控制也成为难点，纳米材料的团聚、分散不均等问题，易导致产品质量不稳定。解决这些问题，需对传统设备进行升级改造，融入智能传感与自动化控制技术；通过深入研究纳米染整反应动力学，建立精准的工艺参数模型；并运用先进的检测手段，实时监控纳米材料在染整过程中的状态，确保产品质量稳定。

6 结语

纳米技术在染整工程中的应用，革新了传统工艺，极大推动了纺织材料的功能性拓展与性能提升。在染整前处理中，纳米酶与纳米粒子优化了退浆、精练和漂白环节，降低污染并提高效率；染色时，纳米染料、纳米载体及新型染色工艺，实现了高效、节能与色彩创新；后整理阶段，纳米技术赋予织物抗菌、防水防油、抗紫外线等优异性能。然而，纳米技术在染整工程的全面应

用仍面临挑战，如安全性评估标准缺失、成本居高不下以及工艺兼容性难题。未来，随着研究深入，纳米技术有望在智能织物、自清洁织物等领域取得突破，持续引领染整工程向绿色、智能、高性能方向发展。跨学科合作也将成为关键，结合材料学、生物学、工程学等多学科知识，解决现存问题，为染整行业的可持续发展注入源源不断的动力。

参考文献

[1]曾化雨.纳米技术在高分子材料改性中的应用探析[J].石化技术,2018,25(4):204-204.

[2]贾栋.纳米技术在土木工程材料改性中的研究与应用[J].中文科技期刊数据库（全文版）工程技术,2024(8):0102-0105.

[3]沈晓南.纳米技术在高分子材料改性中的应用[J].区域治理,2018(32):284-284.

[4]张振伟.纳米技术在高分子材料改性中的应用及研究进展[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(18):156-157.

[5]汪津.纳米技术在纺织品染整中的应用[J].印染,2017,43(20):54-55.