

双酚 A 聚氧乙烯醚在纺织印染助剂中的作用机制探讨

王 闯

徐州奥克吉兴新材料有限公司 江苏 徐州 111003

【摘要】：双酚 A 聚氧乙烯醚作为一类重要的非离子表面活性剂，凭借其独特的分子结构与优良的表面活性，在纺织印染行业中占据关键地位。本文基于双酚 A 聚氧乙烯醚的基本理化特性，系统探讨其在纺织印染过程中作为匀染剂、分散剂、乳化剂及润湿渗透剂等助剂的核心作用机制，分析分子结构中环氧乙烷聚合度对其作用效果的影响，并结合实际应用场景阐述其对印染质量的提升作用。同时，提及当前应用中存在的问题及发展方向，为其在纺织印染领域的合理应用与技术优化提供理论参考。

【关键词】：双酚 A 聚氧乙烯醚；纺织印染；助剂；作用机制；表面活性

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.071

1 引言

纺织印染行业是轻工业的重要组成部分，其产品质量与性能直接取决于染料、纤维及助剂的协同作用。助剂作为印染过程的关键配套材料，承担着改善染整效果、提升产品附加值的重要使命。双酚 A 聚氧乙烯醚是由双酚 A 与环氧乙烷经聚合反应制得的非离子表面活性剂，其分子结构兼具疏水的双酚 A 骨架与亲水的聚氧乙烯链，这种双亲结构赋予其优良的乳化、分散、增溶、润湿及匀染等性能。

相较于传统印染助剂，双酚 A 聚氧乙烯醚具有低气味、高反应性、兼亲疏水性等特点，且通过调节环氧乙烷聚合度可精准调控其表面活性，满足不同印染工艺需求。目前，其已广泛应用于涤纶、棉、毛等多种纤维的染色、印花及后整理环节，成为提升印染效率与产品质量的核心助剂之一。本文旨在深入剖析双酚 A 聚氧乙烯醚在各类印染助剂中的作用机制，为其在纺织印染领域的高效应用与技术创新提供理论支撑。

2 双酚 A 聚氧乙烯醚的基本特性

双酚 A 聚氧乙烯醚的化学本质为酚聚醚类非离子表面活性剂，其基本结构由疏水基团和亲水基团构成。疏水基团源自双酚 A 的芳香环结构，亲水基团则为通过聚合反应连接的聚氧乙烯链，分子通式可表示为 $[(C_2H_4O)_nH]_2C_{13}H_{10}O$ ，其中 n 为环氧乙烷聚合度。其核心理化特性与环氧乙烷聚合度密切相关：随着 n 值增大，分子亲水性能显著增强，溶解度从微溶于水逐步转变为易溶于水；外观则从无色至淡黄色液体逐渐过渡为膏体乃至固体。双酚 A 聚氧乙烯醚具有良好的化学稳定性，在常规印染工艺条件下不易分解，且具备优良的乳化、分散、增溶及润湿渗透性能。此外，其临界胶束浓度较低，能在较低浓度下发挥表面活性作用，通过降低体系表面张力实现各类印染辅助功能。表 1 列出了不同环氧乙烷聚合度的双酚 A 聚氧乙烯醚的典型理化指标。

表 1 不同环氧乙烷聚合度的双酚 A 聚氧乙烯醚的典型理化指标

环氧乙烷聚合度 n	外观	溶解度 (25°C)	临界胶束浓度 (%)	表面张力 (mN/m, 1%水溶液)
4-6	淡黄色液体	微溶于水	0.8-1.2	45-50
10-15	淡黄色膏体	易溶于水	0.3-0.6	38-42
20-25	白色固体	极易溶于水	0.1-0.2	32-36

注：数据为实验室标准条件下测定结果，不同生产工艺可能存在细微差异。

3 双酚 A 聚氧乙烯醚在印染助剂中的核心作用机制

双酚 A 聚氧乙烯醚在纺织印染过程中的作用机制均基于其双亲分子结构特性，通过与染料、纤维及染液体系的相互作用，实现对印染过程的调控与优化。根据其在不同工艺环节的功能定位，主要分为匀染、分散、乳化及润湿渗透四大核心作用机制。

3.1 作为匀染剂的作用机制

匀染剂的核心功能是解决染色过程中染料上染速率不均、织物色泽差异等问题，双酚 A 聚氧乙烯醚作为亲染料型匀染剂，其作用机制主要通过缓染作用与移染作用的协同实现。缓染作用的本质是通过与染料分子的相互作用降低染料上染速率。双酚 A 聚氧乙烯醚分子中的聚氧乙烯链可与染料分子中的羟基、氨基等基团形成疏松的氢键结合，同时其疏水基团与染料分子的疏水部分通过范德华力相互作用，二者结合形成稳定的染料-助剂复合体。该复合体的形成使染料分子的有效浓度降低，减弱了染料对纤维的亲合力，从而延缓染料在纤维表面的吸附速率，避免染色初期因染料快速上染导致的局部色泽过深。

移染作用则是提升染色均匀性的关键补充。对于已出现局部染色不均的织物，双酚 A 聚氧乙烯醚可借助其对染料的亲和

性,将纤维上过量吸附的染料“拉回”染液中,再重新上染至色泽较浅的区域。这一过程的实现源于双酚 A 聚氧乙烯醚与染料的结合力处于动态平衡状态,在染色温度升高或体系组分变化时,复合体可发生解离,释放出的染料能重新在纤维表面实现均匀吸附。尤其在涤纶高温高压染色过程中,双酚 A 聚氧乙烯醚可有效抑制染料初期吸附速率,同时保障染料在高温下的稳定分散,避免因染料凝聚导致的染色不均。

3.2 作为分散剂的作用机制

在分散染料、还原染料等水不溶性染料的印染过程中,染料粒子易发生凝聚,导致染色缺陷或印花图案模糊。双酚 A 聚氧乙烯醚作为分散剂,通过立体保护作用与电荷排斥作用的协同维持染料粒子的稳定分散状态。

立体保护作用是其核心分散机制。双酚 A 聚氧乙烯醚分子的疏水基团可通过范德华力紧密吸附于染料粒子表面,而亲水的聚氧乙烯链则伸展于水中,形成一层致密的水化膜。该水化膜能有效阻挡染料粒子间的相互碰撞,避免粒子聚集形成大颗粒。与传统阴离子分散剂相比,双酚 A 聚氧乙烯醚的聚氧乙烯链具有更强的可溶化能力,即使在 120-130°C 的高温染色条件下,其水化膜结构也不易被破坏,能有效防止染料粒子发生“二次凝聚”,保障染液的稳定性能。

电荷排斥作用则进一步强化分散稳定性。双酚 A 聚氧乙烯醚虽为非离子表面活性剂,但在水中可通过分子极化产生微弱电荷,吸附于染料粒子表面后使粒子带有相同电荷。根据同性电荷相互排斥原理,染料粒子间会产生排斥力,进一步阻止粒子聚集,维持分散体系的长期稳定。实验表明,添加双酚 A 聚氧乙烯醚的分散染料染液,在高温下放置 4 小时后,染料粒子平均粒径仍可维持在 1 μ m 以下,分散稳定性显著优于未添加分散剂的体系。

3.3 作为乳化剂的作用机制

在印花色浆制备、织物前处理脱脂等工艺中,常需将油相组分与水相组分混合形成稳定乳液,双酚 A 聚氧乙烯醚作为乳化剂,通过降低油水界面张力、形成界面保护膜实现乳液稳定。其乳化机制的核心是双亲分子在油水界面的定向排列。双酚 A 聚氧乙烯醚分子的疏水基团会自发嵌入油相,亲水基团则朝向水相,形成一层紧密的分子界面膜。这一排列方式可显著降低油水界面张力,使油相在剪切力作用下分散为微小液滴。同时,界面膜具有良好的机械强度,能有效阻挡分散液滴的碰撞融合,维持乳液的稳定状态。

双酚 A 聚氧乙烯醚的乳化能力与其环氧乙烷聚合度密切相关:低聚合度产品疏水性能较强,更适用于油包水型乳液的制备;高聚合度产品亲水性能优异,则更适合制备水包油型乳液。在印花色浆制备中,其可使颜料、粘合剂等组分形成稳定乳液,避免印花过程中出现色浆分层、堵网等问题;在织物脱

脂工艺中,可将织物表面的油脂分散为微小液滴,便于后续清洗去除。

3.4 作为润湿渗透剂的作用机制

织物印染前处理及染色过程中,染液需快速、均匀地渗透至织物内部,双酚 A 聚氧乙烯醚作为润湿渗透剂,通过降低染液表面张力、改善纤维表面润湿性实现快速渗透。纤维表面通常具有一定的疏水性,尤其涤纶等合成纤维,其表面张力较高,普通染液难以快速润湿。双酚 A 聚氧乙烯醚分子可吸附于染液表面,通过定向排列降低染液表面张力,使染液能快速在纤维表面铺展。同时,其分子可渗透至纤维内部的缝隙与孔隙中,破坏纤维与空气之间的界面张力,将空气排出,使染液顺利填充至纤维内部。在棉织物前处理过程中,双酚 A 聚氧乙烯醚可加速烧碱、双氧水等处理液的渗透,确保纤维内部的杂质、浆料能被充分分解去除;在染色过程中,可使染料分子随染液快速渗透至纤维内部,避免出现表面染色、内部未染透的“浮色”现象,提升染色的匀透性。此外,其润湿渗透作用还可缩短印染处理时间,提高生产效率。

4 影响双酚 A 聚氧乙烯醚作用效果的关键因素

双酚 A 聚氧乙烯醚在印染过程中的作用效果受多种因素影响,其中环氧乙烷聚合度、应用浓度及印染工艺条件是最为关键的三大因素。

4.1 环氧乙烷聚合度

环氧乙烷聚合度直接决定双酚 A 聚氧乙烯醚的亲水疏水平衡值,进而影响其表面活性剂应用性能。低聚合度产品疏水性能较强,适合作为乳化剂与分散剂,尤其适用于处理油相含量较高的体系;中聚合度产品兼具缓染与移染性能,是优良的匀染剂,可广泛应用于各类纤维染色;高聚合度产品亲水性能优异,润湿渗透效果显著,更适合作为前处理过程的润湿渗透剂。例如,聚合度为 6 的双酚 A 聚氧乙烯醚,其磷酸酯衍生物具有优良的耐高温性能,初始分解温度可达 289°C 以上,适合作为涤纶高温高压染色的分散匀染剂;聚合度为 15-20 的产品,可快速降低染液表面张力,适合作为棉织物前处理的润湿渗透剂。

4.2 应用浓度

双酚 A 聚氧乙烯醚的作用效果与应用浓度呈非线性关系。当浓度低于临界胶束浓度时,其分子主要以单分子形式存在,降低表面张力、分散染料等作用效果较弱;当浓度达到临界胶束浓度后,分子开始聚集形成胶束,表面活性显著增强,作用效果快速提升;当浓度超过临界胶束浓度一定范围后,作用效果趋于稳定,继续增加浓度不仅无法提升效果,还可能导致染液起泡、成本增加等问题。实际应用中,需根据工艺需求精准控制浓度:作为匀染剂时,浓度通常控制在 0.5%-2%;作为分散剂时,浓度为 1%-3%;作为润湿渗透剂时,浓度可低至

0.2%-0.5%。例如,在分散染料染涤纶时,添加1%聚合度为10的双酚A聚氧乙烯醚,即可实现染料的稳定分散与均匀染色;若浓度提升至5%,则会导致染液起泡严重,影响染色操作。

4.3 印染工艺条件

温度、pH值及染色时间等工艺条件会影响双酚A聚氧乙烯醚的分子稳定性与作用效果。温度升高可增强其分子活性,提升润湿渗透与移染效果,但过高温度会破坏其与染料的结合平衡,降低缓染效果;pH值在5-9范围内时,其性能稳定,当pH值超过10或低于4时,分子结构可能发生变化,表面活性下降;染色时间过长则可能导致染料过度上染,反而影响匀染效果。在涤纶高温高压染色中,温度控制在120-130℃时,双酚A聚氧乙烯醚可发挥最佳分散匀染作用;在棉织物活性染料染色中,pH值控制在7-8,染色时间控制在30-40分钟,可实现其润湿渗透与匀染性能的协同优化。

5 应用现状、问题及发展方向

目前,双酚A聚氧乙烯醚已广泛应用于各类纤维的印染加工,尤其在涤纶高温染色、棉织物前处理及印花色浆制备中应用成熟。其衍生产品如双酚A聚氧乙烯醚磷酸酯,通过磷酸化改性进一步提升了耐高温性能与抗静电性能,拓展了在高端纺织印染领域的应用。在实际生产中,合理使用双酚A聚氧乙烯醚可显著提升染色均匀性、降低染料消耗、缩短加工时间,为企业带来显著的经济效益。尽管应用广泛,双酚A聚氧乙烯醚仍存在一些问题。其一,生物降解性较差,大量使用后若直接排放会对水体环境造成污染,不符合当前绿色印染

的发展需求;其二,部分产品在高温工艺中仍存在轻微起泡现象,需搭配消泡剂使用;其三,制备过程中可能产生微量1,4-二噁烷等有害副产物,存在潜在安全风险。

未来,双酚A聚氧乙烯醚的发展方向主要聚焦于三个方面。一是绿色化改性,通过分子结构优化或引入生物降解基团,提升其生物降解性能,开发环保型产品;二是功能复合化,将其与其他助剂的功能结合,开发兼具匀染、分散、消泡等多功能的复合型助剂,简化印染工艺;三是精准化定制,根据不同纤维、染料及工艺需求,精准调控环氧乙烷聚合度与改性方式,开发专用型助剂,进一步提升应用效果。

6 结论

双酚A聚氧乙烯醚凭借其独特的双亲分子结构,在纺织印染助剂中展现出优异的匀染、分散、乳化及润湿渗透性能,其作用机制均基于分子与染料、纤维及染液体系的相互作用:作为匀染剂通过缓染与移染协同实现均匀染色;作为分散剂依靠立体保护与电荷排斥维持染料稳定分散;作为乳化剂通过界面向定向排列降低油水界面张力;作为润湿渗透剂通过降低染液表面张力改善纤维润湿性。环氧乙烷聚合度、应用浓度及印染工艺条件是影响其作用效果的关键因素,实际应用中需精准调控以实现最佳效果。尽管当前存在生物降解性差等问题,但通过绿色化改性、功能复合化及精准化定制等技术创新,双酚A聚氧乙烯醚在纺织印染领域仍具有广阔的发展前景。未来,需进一步加强其作用机制的基础研究与产品改性研发,推动其在绿色印染体系中实现更高效、更环保的应用。

参考文献:

- [1] 乔子航,徐超,王娜娜,等.一种耐高温双酚A聚氧乙烯醚磷酸酯的合成及性能研究[J].应用化工,2025,54(05):1124-1131.
- [2] 顾宇翔.洗涤剂 and 化妆品中烷基酚和烷基酚聚氧乙烯醚的检测进展[J].日用化学工业,2017,47(06):352-356.
- [3] 杨冬雪,袁旭,刘继媛,等.印染助剂在纺织机械自动化领域的应用[J].印染助剂,2025,42(12):50-54.
- [4] 任卿.化工助剂在纺织印染高速加工中的作用机制研究[J].轻纺工业与技术,2024,53(06):38-41.
- [5] 谢彦岐.化学印染助剂的环境影响及发展研究[J].化工设计通讯,2023,49(06):188-190.