

Application exploration of titanium dioxide in wet dehydration process to increase retention

Kuangrong Xu

Kingdecor (Zhejiang) C., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324022, China

Abstract

To explore the application potential of titanium dioxide in papermaking wet-end dewatering processes, this study systematically investigated its physicochemical properties and functional behaviors. By analyzing the dispersion characteristics of titanium dioxide in pulp systems and evaluating its theoretical suitability as a wet-end additive, we investigated its feasibility for wet-end processes. Through evaluating its regulatory effects on dewatering rates via different addition methods, we further explored its synergistic and substitution potential with traditional additives. The research demonstrates that titanium dioxide can effectively enhance dewatering efficiency while improving paper optical properties and physical strength. Its functional performance is significantly influenced by pulp type, addition concentration, and the wet-end chemical environment.

Keywords

titanium dioxide; wet section dehydration; paper performance

二氧化钛在湿部脱水过程增加保留的应用探索

徐匡荣

浙江夏王纸业有限公司, 中国 · 浙江 衢州 324022

摘 要

针对二氧化钛在造纸湿部脱水过程中的应用潜力, 本文系统研究了其物化特性与功能行为。通过分析二氧化钛在纸浆体系中的分散性及作为湿部添加剂的理论适配性, 探讨其应用于湿部工艺的可行性。通过不同添加方式评估其对脱水速率的调控作用, 并探究其与传统助剂的协同与替代潜力。研究表明, 二氧化钛可有效提升脱水效率并改善纸张光学性能与物理强度, 同时其功能表现受浆料种类、添加浓度及湿部化学品环境显著影响。

关键词

二氧化钛; 湿部脱水; 纸张性能

1 引言

在造纸过程中, 湿部脱水阶段直接影响纸张质量、生产效率及资源利用效率。提高湿部保留率是提升脱水效率和纸张性能的重要途径。近年来, 二氧化钛因其良好的物理化学稳定性、表面活性和功能多样性, 被广泛应用于多个工业领域。

2 二氧化钛的物化特性与湿部应用可行性分析

2.1 二氧化钛在纸浆体系中的分散行为研究

二氧化钛 (TiO_2) 是一种广泛应用于多个工业领域的无机材料, 其在纸浆体系中的分散行为直接影响其在湿部过程中的功能发挥。由于纸浆悬浮液体系复杂, 其中包含纤维、填料、溶解物质及多种添加剂, 二氧化钛的分散性受到多种

因素的调控, 其中 pH 值、离子强度及搅拌方式是关键影响参数^[1]。在不同 pH 条件下, 二氧化钛表面的电荷状态发生变化, 进而影响其与周围组分的相互作用。通常在中性至弱酸性环境中, 其表面正电性较强, 有利于与带负电的纤维或填料形成静电吸附, 提升分散稳定性。离子强度的增加会压缩双电层, 降低颗粒间的排斥作用, 易导致团聚现象, 尤其在高电解质浓度下, 二氧化钛的分散性显著下降。搅拌方式则通过影响剪切力和混合均匀度, 对二氧化钛的初始分散效果起重要作用。高速剪切搅拌有助于打破颗粒聚集, 提高其在悬浮液中的分布均匀性, 而普通机械搅拌在分散效率上相对有限。此外, 纸浆中木质素、半纤维素等组分的存在也可能影响二氧化钛的界面行为, 需结合实际体系进行评估。

2.2 二氧化钛作为湿部添加剂的理论适配性评估

从湿部化学原理出发, 二氧化钛的物化特性决定了其在纸浆体系中具备一定的功能适配性。湿部过程涉及纤维、填料、细小纤维组分 (fines) 及助剂之间的复杂相互作用, 核心目标在于提高保留率、加快脱水速率并优化纸页成型质

【作者简介】徐匡荣 (1985-), 男, 中国江西上饶人, 本科, 助理工程师, 从事特种纸的研发和生产研究。

量。二氧化钛在中性至弱酸性条件下表面呈正电性，可与带负电的纤维和填料发生静电吸引，有助于增强组分间的结合强度，提升保留效率。其纳米至亚微米级粒径使其能够填充于纤维间隙，在一定程度上改善滤水通道的结构，可能对脱水速率产生积极影响^[2]。比表面积较高意味着其具备一定的吸附能力，有助于捕捉细小组分，减少流失。

在纸页结构方面，二氧化钛的加入可能通过调控纤维间结合力和填料分布均匀性，影响纸张的孔隙率与紧度，从而对物理性能产生间接作用。然而，其本身不具备传统助剂如阳离子聚合物的桥联或絮凝功能，单独使用难以实现高效保留，更可能作为辅助性功能材料参与湿部反应。因此，从湿部化学机制来看，二氧化钛虽不具备主导湿部功能的能力，但在特定条件下可作为功能性添加剂，参与保留、脱水及结构优化过程。

3 二氧化钛对湿部脱水过程的调控作用

3.1 不同添加方式对脱水速率的影响

在湿部脱水过程中，二氧化钛的添加方式对其作用效果具有显著影响。常见的添加方式主要包括预混添加和分段添加，二者在作用时机、空间分布特性以及与体系中其他组分的相互作用机制上存在差异，从而对脱水速率和滤水性能产生不同程度的影响。预混添加是指在纸浆制备初期即将二氧化钛均匀地混入浆料体系中。该方式有助于颗粒在整个浆料系统中实现更充分的分散，并提前参与纤维与填料之间的界面相互作用，促进形成较为均匀的初始网络结构，有利于提高整体的结构稳定性和初步脱水效率。

相比之下，分段添加则是在浆料进入成型部前或成型过程中分批次引入二氧化钛。这种添加方式能够使其更集中地作用于脱水过程的关键阶段，增强细小组分的局部聚集与保留性能，从而显著改善滤水曲线中后段的脱水速率表现。此外，分段添加更有利于与湿部其他功能性化学品协同作用，提升整体湿部化学体系的协同效应和脱水效率。在实际生产中，应根据纸品类型、浆料组成、设备条件及工艺参数等因素综合考量，选择最适宜的二氧化钛添加策略，以实现脱水性能的优化调控与最大化提升。

3.2 与传统助剂的协同与替代潜力分析

二氧化钛在湿部体系中的作用机制以物理吸附和界面调控为主，虽不具备传统助剂如阳离子聚合物的强絮凝或桥联能力，但在特定条件下可与其形成协同效应，提升整体湿部性能。阳离子聚合物（如聚乙酰胺、阳离子淀粉等）主要通过电荷中和与桥联作用增强纤维与填料间的结合，提高保留率和脱水效率。在阳离子助剂存在的情况下，二氧化钛可进一步吸附于纤维表面或填料颗粒之间，增强局部结合强度，减少细小组分流失，从而在不显著增加化学品用量的前提下优化保留效果。此外，其正电性特征使其能够部分替代低分子量阳离子助剂，在某些低强度需求的纸种中实现减量

使用甚至局部替代，降低化学品成本及残留风险。

4 二氧化钛对纸张成型与物理性能的影响

4.1 对纸张光学性能的影响

二氧化钛因其高折射率和优异的光散射能力，被广泛用于提升纸张的光学性能。在湿部添加过程中，二氧化钛颗粒可随浆料均匀分布在纤维网络中，形成更为致密且散射能力更强的纸页结构，从而在不依赖额外涂布的前提下改善纸张的白度、光泽度和不透明度。在常规加填量范围内（通常为纸张干重的 1%~3%），二氧化钛的引入可使白度提升 1~3 个 ISO 单位，不透明度提高 2%~5%，其效果优于常规填料如高岭土或碳酸钙。光泽度的改善则主要体现在纸张表面平滑度的优化，二氧化钛颗粒在纤维间隙中的填充作用有助于减少表面粗糙度，提升光的规则反射能力。值得注意的是，光学性能的提升程度与二氧化钛的粒径、晶型及分散状态密切相关，粒径过大会导致分布不均甚至降低滤水性能，粒径过小则可能因团聚而削弱光散射效率。在实际生产中还需平衡其对脱水和保留性能的影响，避免因光学性能优化而牺牲湿部效率。其在湿部的合理应用，为简化工艺流程、减少涂布工序提供了可行路径。

4.2 对纸张物理强度性能的作用分析

二氧化钛的加入对纸张物理强度性能的影响与其在纤维网络中的分布状态及作用机制密切相关。抗张强度和耐破度作为衡量纸张承载能力的重要指标，主要受纤维间结合强度及纸页整体结构的影响。在适量添加范围内（一般为纸张干重的 1%~2.5%），二氧化钛可通过填充纤维间隙、改善纸页均匀性，对紧度产生适度提升，从而增强纤维间的接触与结合，使抗张强度和耐破度略有提高，提升幅度通常在 5% 以内。然而，当添加量超过临界值或分散不均时，二氧化钛颗粒可能在局部形成应力集中点，反而削弱纤维结合，导致强度下降。此外，其对纸张紧度的提升作用在一定程度上也影响了透气性和柔软性，需根据纸种用途进行调控。值得注意的是，二氧化钛本身不具备增强纤维结合的化学活性，其对物理强度的改善主要依赖于结构优化而非化学键合，因此在高强度要求的纸种中难以替代专用增强剂。

4.3 对纸张均匀性与结构稳定性的影响

二氧化钛的纳米至亚微米级粒径使其能够在纤维交织过程中填充局部空隙，调节纤维间的分布密度，减少因填料或细小组分流失造成的局部疏松或结构不均现象。在适度添加条件下，二氧化钛有助于提升纸页的成形均匀度，降低两面差和局部克重波动，尤其在高填料体系中表现更为明显。其正电性特征还可促进细小组分在脱水过程中的定向聚集，增强纤维与填料之间的结合稳定性，减少因流失或迁移造成的结构扰动。此外，在纸页干燥过程中，二氧化钛颗粒可作为热传导介质，使水分蒸发更趋均匀，进一步降低纸页内部应力分布的不均衡，提升结构稳定性。然而，过量添加或分

散不良时，二氧化钛可能形成局部团聚，反而破坏纤维网络的连续性，导致纸页强度下降或表面缺陷增加。

5 二氧化钛在湿部体系中的工艺适配性

5.1 浆料种类对二氧化钛功能表现的影响

二氧化钛在不同浆料体系中的功能表现存在明显差异，主要体现在其分散性、保留率及对湿部性能的调控作用上。在阔叶木浆体系中，由于纤维较短、比表面积较大，二氧化钛颗粒更易均匀分布并与细小组分结合，表现出较好的保留效果，对填料滞留率的提升作用相对显著。针叶木浆纤维较长、结构较疏松，滤水性能本身较强，二氧化钛的加入对脱水速率影响较小，但可通过改善纤维间结合状态提升纸页结构的均匀性。而在废纸浆体系中，情况更为复杂，由于废纸浆中残留的油墨粒子、胶黏物及较高电解质含量，容易造成二氧化钛颗粒的团聚，降低其分散稳定性，从而削弱其在湿部的功能表现。实验数据显示，在相同添加量下，废纸浆中二氧化钛的保留率普遍低于原生浆体系，需通过调节 pH 值或引入分散剂以改善其分散状态。废纸浆较高的阴离子垃圾含量也可能影响二氧化钛与纤维之间的静电作用，限制其功能发挥。因此，在实际应用中，应根据浆料种类差异调整二氧化钛的添加策略，以确保其在不同原料体系中实现稳定的功能输出。

5.2 添加浓度与作用效果的非线性关系

二氧化钛的添加浓度与其在湿部体系中的作用效果并非非线性关系，而是呈现出明显的阈值效应和饱和趋势。相关实验显示，在低添加量（纸张干重的 0.5%~1.5%）范围内，二氧化钛对脱水速率和保留率的提升作用较为明显，表现为滤水阻力适度降低、填料和细小组分流失减少。这一区间内，其正电性与分散性优势得以充分发挥，能够有效增强纤维与填料间的结合，提升湿部保留效率。随着添加量进一步增加至 2.5% 以上，脱水速率提升趋于平缓，保留率的改善幅度减小，部分指标甚至出现下降趋势。这主要是由于过量的二氧化钛颗粒在浆料中易发生局部聚集，堵塞纤维间隙，反而增加滤水阻力，并影响纸页结构的均匀性。

在纸张性能方面，适量添加可改善白度和不透明度，但超过 2.5% 后，因颗粒分布不均导致纸面粗糙度上升，光泽度下降，紧度增加的同时抗张强度反而减弱。此外，高浓度添加还可能干扰其他湿部助剂的作用机制，削弱整体化学

品协同效应。因此，二氧化钛的使用存在一个功能最优区间，通常在 1%~2% 之间，超出该范围不仅难以获得额外性能提升，还可能带来负面效应。实际应用中应结合浆料类型、助剂体系和产品要求，精准控制添加浓度，以实现性能与成本的最佳平衡。

5.3 湿部化学品环境对其行为的调控作用

湿部体系中通常包含多种功能性化学品，如助留剂、施胶剂和 pH 调节剂，这些成分对二氧化钛的分散状态及其功能发挥具有显著影响。助留剂（如阳离子聚丙烯酰胺）通过电荷中和与桥联作用提升填料和细小组分的保留效率，二氧化钛在该体系中可作为辅助颗粒参与形成更致密的絮聚结构，增强整体保留效果^[1]。但在高助留剂浓度下，浆料体系的絮聚强度增加，可能限制二氧化钛的局部迁移与均匀分布，影响其界面调控能力。施胶剂（如烷基烯酮二聚体 AKD）通常以乳液形式加入，其表面活性成分可能与二氧化钛颗粒发生吸附作用，改变其表面性质，进而影响其在纤维网络中的定位与功能表现。在施胶体系中，二氧化钛的加入可能略微延缓施胶剂的固着过程，需适当调整添加顺序或分散条件以维持施胶效率。pH 调节剂对二氧化钛行为的影响主要体现在其表面电荷状态的变化上，在碱性条件下，其表面正电性减弱，与纤维和填料的静电作用力下降，导致保留率降低，需配合使用电荷调节剂以维持功能稳定性。

6 结语

二氧化钛的功能表现受添加浓度、浆料类型及化学品环境等多因素影响，需在实际应用中合理控制添加方式与用量，避免因分散不良或过量使用带来的负面影响。总体来看，二氧化钛在湿部过程中可作为功能性辅助材料，与现有化学品体系协同使用，提升湿部整体运行效率。进一步探索其不同纸种和生产条件下的适用性，为其在造纸工业中的推广和应用提供更明确的技术支持。

参考文献

- [1] 肖凡月,王金霞,陈晓燕,等.造纸体系中水质差异对二氧化钛分散性的影响[J].中华纸业,2023,44(04):34-37.
- [2] 王超.分散剂对纳米二氧化钛分散稳定性的影响[J].化工设计通讯,2021,47(04):126-127.
- [3] 张海宁,张志东,任政,等.印刷装饰原纸针眼纸病的形成原因与调控方法[J].中国造纸,2023,42(12):169-172+179.