

混凝沉淀工艺处理高浊度河水的药剂优化与絮体特性

丰晨露

杭州英普环境技术股份有限公司 浙江 杭州 310000

【摘要】：高浊度河水在暴雨径流影响下悬浮颗粒含量显著升高，给供水处理带来较大压力。混凝沉淀作为关键预处理单元，其药剂选择与投加条件直接决定水质净化效果。本研究以典型高浊度河水为对象，通过对比多种混凝剂及其助凝体系，筛选出适用于高浊度条件的最优药剂组合，并探讨投加量、pH和搅拌条件对浊度去除率的影响。结合粒度分析和光学显微观察，揭示不同混凝体系下絮体的生成速率、结构强度及破碎-再生行为特征。研究成果为异常高浊度水源的应急处理提供参数参考，可提升混凝沉淀工艺在复杂水源条件下的稳定性和可靠性。

【关键词】：混凝沉淀；高浊度河水；药剂优化；絮体特性；水处理工艺

DOI:10.12417/2811-0528.26.03.039

引言

暴雨径流和季节性泥沙输移常使河流水体浊度急剧上升，使传统供水厂在短时间内面临超负荷运行风险。高浊度条件下颗粒浓度分布复杂，混凝药剂需求量及絮体形成机制均发生显著变化，因此亟需针对性研究以确保处理系统的稳定性。混凝沉淀是高浊度水处理的核心环节，其药剂种类、投加量及操作条件直接影响絮体构建过程和沉降效率。了解絮体的结构特征与动态行为，对于优化操作参数具有重要意义。本研究旨在建立适用于高浊度河水的混凝药剂优化方案，并解析不同条件下絮体的形成与演变规律，为复杂水源环境下的工程应用提供依据。

1 混凝沉淀工艺在高浊度河水处理中发展的研究基础

混凝沉淀工艺在高浊度河水处理领域形成了较为系统的理论与工程基础。高浊度河水常受暴雨径流、河床扰动及泥沙输入影响，悬浮颗粒浓度迅速提升，粒径分布跨越胶体级、细颗粒级与粗颗粒级多个尺度，导致常规处理方式难以稳定维持出水水质。在这种复杂水体条件下，混凝过程承担着压缩双电层、破坏胶体稳定性、促进颗粒聚集的核心功能，是实现固液分离的关键单元。为适应高浊度水源的特点，国内研究在混凝剂类型、反应动力学、颗粒碰撞效率和絮体结构稳定性方面不断深化，使其具备处理极端水质的理论基础。

不同类型的混凝剂在高浊度条件下展现出差异化的水解行为和架桥能力，如无机盐类混凝剂通过形成羟基络合物实现吸附中和，而高分子混凝剂依靠链段延伸促进大颗粒快速生成^[1]。高浊度水中颗粒数量庞大，使得布朗运动、剪切力与湍流作用共同主导颗粒碰撞机制，絮体生长速度、强度与解体规律呈现出与常规浊度水明显不同的趋势。工程运行经验表明，高浊度下混凝反应速率加快，但絮体结构相对松散，需要通过合

理调控搅拌梯度、反应时间与药剂比例来强化絮体的黏附性和抗剪切能力。

伴随水质监测和颗粒特性分析手段的进步，混凝沉淀理论逐渐由经验调控向参数化与精细化方向发展。光学显微技术、激光粒度测试及三维絮体成像的应用，使絮体形态、孔隙结构和破碎-再生行为得以更准确呈现，为揭示混凝过程提供了坚实依据。沉降动力学模型和多尺度颗粒聚并理论的引入，使工艺能够依据浊度变化实现更高水平的自适应调控，在高浊度冲击条件下保持处理系统的稳定运行。整体来看，混凝沉淀工艺已形成涵盖药剂选择、反应控制、絮体特性与沉降行为的系统化理论框架，为复杂水源治理与后续药剂及工艺优化提供了可靠基础。

2 高浊度条件下混凝药剂应用的关键矛盾与改进方向

高浊度条件下混凝药剂的应用过程常伴随多重矛盾，这些矛盾源于颗粒组成复杂、浊度波动幅度大以及水体胶体特性不稳定等因素。高浊度河水中泥沙颗粒和黏土矿物含量较高，表面电荷密度和吸附能力随环境条件变化而变化，使得药剂投加量难以按常规工况进行线性预测。在高颗粒浓度环境中，水解产物的吸附中和效果可能因竞争作用而减弱，导致絮体生成速率与预期不符。此外，高浊度水体中天然有机物与无机颗粒往往协同影响混凝反应，使混凝剂的水解路径、架桥能力以及颗粒聚并效率呈现非线性变化，形成了药剂选择与反应动力学之间的矛盾。

工艺控制层面也存在明显的限制条件。反应池内流场在高浊度条件下受到颗粒负荷影响，湍流分布与剪切梯度易产生偏差，使小尺度碰撞效率降低，影响絮体结构的紧密度与抗冲击能力。当搅拌强度偏高时，絮体在未形成稳定骨架结构前就发生破碎，使沉降区颗粒分布呈现不均性；而搅拌强度偏低又会

使药剂扩散不足,形成局部投加“死角”,造成絮体生成不均匀^[2]。这些现象在高浊度水处理中更加突出,反映了反应控制与絮体力学行为之间的矛盾。

改进高浊度条件下混凝效果需从药剂特性、投加方式与反应条件协同入手。复配型混凝剂可通过吸附中和、卷扫吸附与高分子架桥等机制共同作用,提高絮体生成速率和稳定性。精准投加与多点投加有助于促进水解产物均匀分布,提升颗粒有效碰撞概率,使絮体结构更完整。反应条件的优化,如调整搅拌梯度、适当延长反应时间和提升絮体再生能力,可进一步增强骨架强度与沉降表现。未来的发展趋势将强调药剂响应性与工艺自适应调控的结合,通过实时监测、优化模型和智能化控制系统提高系统对应急高浊度的适应能力,为工程运行提供更稳健的解决路径。

3 优化策略与絮体行为特征在工程实践中的综合验证

在工程实践中,混凝药剂优化策略的有效性与絮体行为特征往往通过多维度参数共同验证。高浊度河水在反应过程中呈现快速聚并与高频碰撞的特点,促使工程技术人员需要关注絮体的生长速率、结构稳固度以及破碎后的再生能力。通过在实际处理系统中应用优化后的药剂组合及投加方式,可以显著改善混凝阶段的微观反应环境,使絮体在短时间内形成具备较高黏附力的骨架结构。投加点位置调整、药剂比例协调及搅拌梯度优化等措施能够改变颗粒间的作用方式,使药剂水解产物更均匀地分布于体系中,促进絮体在早期阶段就呈现较好的强度和沉降形态。

工程试验结果表明,经过优化调控的混凝体系在应对高浊

度水质波动时表现更为稳定。絮体粒径分布呈现由细颗粒向中大颗粒集中转变,聚并结构更加完整,表面粗糙度提高,形成有利于沉降的多孔性絮体形态^[3]。光学显微成像与粒度分析显示,优化策略下絮体的破碎敏感性降低,在承受剪切力干扰后仍能保持较高的再生能力,说明絮体弹性与内部架桥结构得到了有效强化。沉降性能的提升不仅体现在沉降速率加快,还体现在泥渣层结构更稳定、压实性能增强,减少了后续工艺的负荷。

从工程运行的角度来看,优化策略的实施能够在高浊度期间明显缓解沉淀池和后续过滤系统的压力。絮体结构的改善减少了细碎颗粒穿透沉淀区的风险,使出水浊度更易维持在稳定水平。高浊度冲击期间,通过监测絮体性能参数与反应池流场状态,可以进一步验证药剂投加模型的适应性,使工程控制策略具有更高的实时响应能力。部分工程案例表明,经过优化调控后的混凝系统能够在短时间内恢复至正常运行状态,即使遇到极端浊度上升的情况,也能以较低的药剂消耗实现有效沉降。长期应用结果显示,混凝优化策略不仅提升了处理效率,还改善了系统运行的经济性。絮体动力学的工程验证为混凝沉淀工艺提供了可量化的评价依据,使其能够在复杂水质条件下保持高效运行。

4 结语

混凝沉淀工艺在高浊度河水处理中展现出关键作用,药剂优化与絮体行为研究为提升处理稳定性提供了系统依据。通过对高浊度条件下反应特性、药剂适应性与絮体动力学的综合分析,可以构建更具韧性的工艺调控体系。工程验证结果表明,优化策略能够显著改善絮体结构与沉降性能,为复杂水源处理提供可靠支撑,并为后续技术发展指明方向。

参考文献:

- [1] 张思远.针对高浊度废水的混凝剂比选中试研究[J].安徽科技,2021,(09):42-43.
- [2] 李威.两级混凝沉淀工艺处理高浊水的试验研究[D].重庆大学,2010.
- [3] 崔俊华,张利荣,赵秀娟,等.以粗组分泥沙为主的高浊度水正交混凝沉淀实验研究[J].河北建筑科技学院学报,2001,(04):38-41.