

混床离子交换树脂再生工艺优化及效果评估

顾 淼

江苏中电创新环境科技有限公司 江苏 无锡 214111

【摘 要】：混床离子交换树脂再生工艺直接影响纯水制备系统运行水平，传统再生方式存在流程不合理、药剂管控粗放、树脂再生充分度不足等问题。依托树脂离子置换反应机理开展全流程工艺优化，对再生工序排布、酸碱药剂投加标准、再生环境运行条件同步调整规范，形成标准化再生操作流程。从出水水质、设备运行状态、资源消耗三个层面搭建综合评估体系，检验优化方案实际应用价值。改良后的工艺能够恢复树脂交换活性，减少药剂与水资源浪费，稳定产水品质，为水处理系统长效经济运行提供实操参考。

【关键词】：混床；离子交换树脂；再生工艺；工艺优化；效果评估

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.067

引言

纯水制备是电子、化工、热力行业不可或缺的配套环节，混床依靠深度脱盐能力成为净水系统核心装置，离子交换树脂则承担水体离子吸附去除的核心作用。树脂长期运行后吸附饱和，必须依靠再生手段恢复交换能力。原有再生操作长期沿用固化流程，未结合现场水质与设备工况动态调整，容易出现再生不完全、树脂老化加速、资源损耗量大等情况，持续制约产水稳定性。立足树脂再生反应内在规律改良现有工艺，配套完整的效果评判体系，能够化解传统工艺各类运行缺陷，提升水处理设备综合运行效能。

1 混床离子交换树脂再生工艺现存运行问题

1.1 再生工序流程设置缺乏科学性

工业场景中常规的混床树脂再生工序多依托传统作业经验搭建流程，各作业环节的先后排布、时长管控缺乏精准的理论与实践依据。树脂反洗、药剂浸泡、正洗、置换等核心工序的衔接节奏较为松散，部分工序存在时长冗余或时长不足的情况。反洗环节时长把控不当，无法完全松动树脂层、清除树脂表面附着的杂质与截留污物，导致杂质残留于树脂颗粒间隙。药剂浸泡与置换环节时长不足，酸碱药剂无法与失效树脂充分发生离子置换反应，树脂内部吸附的金属离子、杂质离子难以彻底脱除。多余的冲洗时长则会造成水资源无端消耗，拉长整体再生作业周期，降低混床设备复用效率，长期沿用该流程会持续影响树脂再生整体质量。

1.2 再生药剂使用配比管控不够规范

再生药剂的浓度、用量直接影响树脂离子置换反应的充分程度，是决定再生效果的核心因素。现阶段多数生产场景的药剂配比未结合树脂失效程度、设备运行工况进行动态调整，始终采用固定配比模式。药剂浓度过高时，过量的酸碱药剂会对树脂骨架结构造成侵蚀，加速树脂老化、破碎，缩短树脂使用寿命，同时多余药剂无法充分反应，会造成药剂资源浪费，还会增加后续污水处置压力^[1]。药剂浓度过低时，离子置换反应

动力不足，失效树脂的活性位点无法有效恢复，树脂交换容量难以达到标准水平，设备投运后出水水质稳定性大幅下降，无法满足工业纯水生产的水质要求。

1.3 再生过程工况管控精细化程度低

混床树脂再生过程涉及水流流速、环境温度、药剂压力、静置时间等多项工况参数，各类参数的波动均会干扰再生反应效果。实际作业过程中，再生工况多保持固定运行状态，未根据季节温度变化、树脂运行损耗情况、进水水质差异进行灵活调控。再生水流流速管控失衡，流速过快会冲刷树脂层造成树脂乱层，破坏树脂分层结构，流速过慢则无法快速置换杂质离子，降低作业效率。环境温度偏低时，离子置换反应速率大幅放缓，树脂再生进程受阻，而现场未配套对应的温控调节措施。整体工况管控的粗放化，导致树脂再生效果参差不齐，设备长期运行稳定性难以保障。

2 混床离子交换树脂再生工艺优化基本原则

2.1 水质稳定优先保障运行原则

工艺优化的核心落脚点在于提升混床设备出水品质，保障工业生产用水水质达标。所有优化调整举措均需以稳定出水水质为核心前提，杜绝为简化流程、降低消耗而牺牲水质指标的优化思路。优化过程中需围绕树脂离子交换性能恢复的核心需求，规范各工序运行标准，通过完善流程管控、精准参数调控，让树脂再生后交换容量保持稳定状态。持续强化混床对水体中各类阴阳离子、杂质微粒的去除能力，确保设备投运后出水各项指标符合行业生产标准，为后续工业生产工序提供可靠的水质保障，筑牢工艺优化的核心基础。

2.2 节能降耗兼顾高效运行原则

传统再生工艺存在资源消耗偏高、作业效率偏低的短板，工艺优化需兼顾经济性与高效性双重目标。优化方案需聚焦水资源、药剂资源、电力能源的合理利用，剔除流程中冗余作业环节，精准把控药剂用量、冲洗时长、运行负荷，减少各类资源的无效损耗^[2]。在保障树脂再生质量、不降低设备运行性能

的基础上,压缩整体再生作业时长,提升设备周转复用效率。通过科学的参数调整与流程改良,平衡再生质量与运行成本的关系,实现混床再生工艺低成本、高效率运行,提升设备生产运行的经济效益。

2.3 贴合现场工况适配运行原则

不同生产场景的进水水质、设备规格、运行负荷、环境条件存在明显差异,固定化的再生工艺无法适配所有运行工况。工艺优化需立足现场实际运行条件,结合混床设备型号、树脂使用年限、日常进水水质波动、生产运行频次等实际情况,制定差异化、适配性的工艺方案。摒弃一刀切的固化操作模式,针对现场运行中的突出问题精准施策,确保优化后的工艺能够适配现场复杂工况。同时保证工艺操作流程简洁规范,贴合一线作业实操需求,具备较强的落地性与推广性。

3 混床离子交换树脂再生工艺具体优化举措

3.1 重构科学化再生工序运行流程

结合树脂再生反应原理与现场作业短板,对原有再生工序进行拆解、梳理与重构,优化各环节作业顺序与时长配比。调整反洗作业流程,根据树脂层厚度精准控制反洗水流强度与作业时长,充分松动树脂层结构,彻底清除树脂表面及间隙截留的悬浮物、胶体杂质与失效附着物,为后续药剂反应创造良好条件。优化酸碱药剂进药、浸泡、置换的工序衔接模式,保障药剂与树脂充分接触反应,杜绝工序衔接断层导致的反应不充分问题。精简冗余冲洗环节,分级设置粗洗、精洗流程,逐步置换残留药剂与杂质,在保障清洗质量的同时压缩作业时长,形成工序衔接紧凑、作业节奏合理的标准化再生流程。

3.2 精细化调控再生药剂配比参数

建立动态化药剂配比管控机制,改变传统固定配比的作业模式,根据树脂失效程度、进水离子含量、设备运行周期调整酸碱药剂浓度与投加量。针对轻度失效的树脂,适度降低药剂浓度,在保障再生效果的前提下减少药剂损耗,避免高浓度药剂对树脂的腐蚀损伤。针对深度失效、离子吸附饱和的树脂,精准提升药剂浓度与用量,保障离子置换反应的充足动力,彻底恢复树脂交换活性^[3]。同时规范药剂投加方式,采用匀速分批投加模式,避免药剂集中投入导致的局部反应不均问题,让药剂与树脂颗粒全面、均匀接触,大幅提升药剂利用效率与树脂再生均匀性。

3.3 全方位优化再生工况运行条件

针对再生过程中的各类工况参数进行标准化管控,构建全流程工况调控体系。规范再生水流运行流速,分阶段控制反洗、置换、正洗的水流速度,避免流速异常引发的树脂乱层、杂质残留问题,保障树脂层结构稳定。增设再生环境温控管控措施,低温环境下通过辅助温控设备调节再生水温,保障离子置换反应处于适宜的温度区间,稳定反应速率与再生效果。同步规范

再生静置时长,根据工况差异合理调整树脂与药剂的静置反应时间,杜绝时长不足导致的再生不彻底问题。通过多维度工况优化,消除外界因素对再生工艺的干扰,实现树脂再生过程的稳定可控。

4 搭建混床树脂再生工艺效果综合评估体系

4.1 构建出水水质指标评估维度

出水水质是衡量再生工艺效果的核心指标,需将水质检测作为核心评估维度,搭建系统化水质评估标准。日常检测工作需要覆盖整套混床产水全过程,分别采集再生完成初期、设备稳定运行中期、树脂临近失效阶段的水样,重点监测出水电阻率、各类阴阳离子残留量、水体悬浮物含量与胶体杂质四项核心水质指标,分段记录数值变化,横向对比工艺优化前后不同运行阶段出水水质的波动幅度与达标持续时长。长期不间断跟踪设备连续投运过程中的水质变化曲线,依托多时段水样检测结果综合判断树脂再生后离子交换性能的完整恢复程度,直观评估工艺优化对水体杂质、可溶性离子净化效果的提升作用。依靠长期、多批次的水质监测数据开展横向对比分析,精准判定当前再生工艺的长期实用性与运行可靠性,根据水质波动中暴露的短板,为再生工艺优化方案的持续调整完善提供直观、可靠的核心依据。

4.2 设立设备运行效能评估标准

结合混床设备整体运行状态建立分层细化的设备效能评估标准,从长期运行角度全面考量工艺优化对整套水处理设备运行状态带来的改善作用。效能评估工作围绕三项核心运行内容展开,分别记录树脂再生完成后的有效稳定运行周期、设备月度再生作业总频次、单次完整再生流程所需作业时长,通过不同周期的数据记录,客观分析优化工艺对设备整体周转运行效率带来的提升效果^[4]。持续统计每批次树脂再生完成后能够稳定产水的实际时长,对比工艺调整前后树脂交换容量下降的快慢程度,客观判断改良再生工艺对树脂骨架结构的保护能力以及对树脂整体使用寿命的延长效果。同步持续观察设备全天连续产水工况,统计出水水质突发波动、设备管路压力异常等故障出现的频次,结合多项运行记录综合判定工艺优化对设备长期稳定运行效能的整体提升价值。

4.3 建立工艺运行经济性评估模块

从厂区日常生产运行综合成本视角搭建完整的工艺运行经济性评估模块,多角度核算并量化分析再生工艺优化落地后产生的长期经济价值。经济评估工作以单次完整再生作业为统计单元,逐月记录工艺优化调整前后酸碱再生药剂实际消耗量、再生冲洗环节总用水量、再生水泵与配套加药设备产生的电力能耗三类直接成本支出,纵向对比相同产水规模下各类资源的实际利用效率改善幅度。结合优化工艺带来的树脂使用寿命延长效果,逐年核算树脂采购更换费用、混床内部管路及配

套配件日常维护检修费用的下降幅度，综合汇总各项支出变化，完整评估工艺优化持续创造的成本节约效益。同时梳理标准化再生流程落地后一线操作环节的简化空间，核算人工操作时长缩减带来的人力成本优化空间，从物料、水电、耗材、人工多维度综合评判优化工艺的长期经济适配能力，为该套再生工艺在同类水处理设施中的常态化推广应用提供完整经济层面支撑。

5 优化后再生工艺应用成效与工艺完善方向

5.1 优化工艺对树脂性能的改善成效

优化后的再生工艺可有效解决传统工艺再生不均、反应不充分的问题，全面恢复混床离子交换树脂的工作性能。科学化的工序流程与精准的药剂配比，能够彻底清除树脂颗粒吸附的各类杂质离子，充分激活树脂活性交换位点，让树脂交换容量恢复至最优状态。规范的工况条件可有效减少再生过程中树脂破损、老化的情况，降低树脂性能衰减速率，延长树脂稳定使用周期。长期应用优化工艺可保持树脂性能的稳定性，避免树脂频繁失效、再生过度等问题，让树脂始终处于良好的工作状态，为混床设备高效运行提供核心保障。

5.2 优化工艺对生产运行的提升作用

改良后的再生工艺大幅提升了混床设备运行的稳定性与高效性，有效弥补传统生产运行的短板。标准化的作业流程降低了人为操作偏差带来的工艺波动问题，实现再生作业的规范化、标准化开展，保障每一次树脂再生效果均匀稳定^[5]。精简优化后的工序有效缩短了再生作业周期，提升设备复用效率，

能够更好适配连续化工业生产需求。同时节能降耗的优化效果显著减少了生产资源的无效损耗，降低纯水制备的运行成本，提升整套纯水制备系统的运行品质与生产效益，适配工业提质增效的发展需求。

5.3 再生工艺持续改良与完善路径

混床树脂再生工艺的优化升级是持续性的过程，需结合生产工况变化持续完善优化方案。后续可依托精细化管控理念，结合不同季节、不同进水水质的工况差异，进一步细化工艺参数标准，建立动态化工艺参数调整机制。推进再生工艺的智能化管理升级，依托自动化监测设备实时采集再生工况、水质、能耗相关信息，实现工艺参数的自动调控。同时持续积累工艺应用实操经验，针对特殊工况下的再生难题开展针对性优化，不断提升再生工艺的适配性、稳定性与智能化水平，推动混床再生工艺持续迭代升级。

6 结语

本文围绕混床离子交换树脂再生工艺的现存问题开展系统性优化研究，结合树脂再生核心原理与工业现场运行工况，从工序流程、药剂配比、工况条件三个核心维度完成工艺改良，同步搭建多维度工艺效果评估体系，实现工艺优化与效果管控的双向完善。优化后的再生工艺有效解决了传统工艺运行粗放、再生效果不佳、资源消耗偏高的突出问题，显著改善树脂工作性能与设备运行状态，提升纯水制备系统的水质稳定性与运行经济性。后续可持续结合生产实际迭代优化工艺细节，完善智能化管控模式，进一步挖掘工艺运行潜力，为工业纯水制备系统的高效稳定运行提供坚实的技术保障。

参考文献：

- [1] 谭诗雨.混床离子交换柱对压水堆中腐蚀产物去除的模拟研究[D].哈尔滨工程大学,2025.
- [2] 翟睿,赵志坤,葛勇,等.离子交换除盐混床产水电导度升高的原因分析及处理[C]//中国电力技术市场协会.2025年（第九届）发电行业水处理技术研讨会论文集.[出版者不详],2025:85-87.
- [3] 马运娟.影响离子交换树脂处理性能的原因及措施[J].氮肥技术,2024,45(3):43-46.
- [4] 李超.脱盐水系统离子交换树脂污染原因剖析及应对[J].中氮肥,2024,(3):63-65.
- [5] 刘江,陈军福,林源.快速浅层离子交换在除盐水水质控制中的应用[J].山东化工,2023,52(1):223-226.