

火电厂凝结水精处理混床树脂再生效率优化研究

朱 帅 范芝瑞 肖连壮

徐州华润电力有限公司 江苏 徐州 221100

【摘要】：火电厂凝结水精处理中混床树脂再生效率直接影响水处理质量与机组运行经济性，提升该效率需针对再生过程关键环节进行优化。通过探究再生剂选用、再生操作参数控制及树脂预处理方式等因素对再生效果的影响，结合实际运行场景调整工艺方案，可有效减少树脂再生损耗，提高树脂交换容量恢复率，进而降低火电厂水处理成本，保障机组长期稳定运行。研究成果可为火电厂凝结水精处理系统的高效运行提供实践参考，推动水处理工艺的优化升级。

【关键词】：火电厂凝结水精处理；混床树脂；再生效率；工艺优化；运行经济性

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.047

引言

凝结水作为火电厂热力系统的重要工质，其水质纯度对机组安全运行至关重要，而混床树脂在凝结水精处理过程中承担着去除水中杂质离子的核心作用。树脂再生环节是维持混床处理能力的关键步骤，然而当前部分火电厂在树脂再生过程中，常因再生工艺参数不合理、再生剂利用不充分等问题，导致树脂再生效率偏低，不仅增加了水处理成本，还可能因水质不达标影响机组运行稳定性。深入分析混床树脂再生过程中的制约因素，探索切实可行的效率优化路径，能够为解决实际运行中的水质处理难题提供方向，同时助力火电厂实现节能降耗与高质量发展的目标，为后续具体研究与实践操作奠定基础。

1 火电厂凝结水精处理混床树脂再生效率现存问题分析

1.1 再生剂选用与配比不合理导致的效率问题

在火电厂凝结水精处理混床树脂再生过程中，再生剂的类型、浓度及配比是影响再生效率的重要因素。部分火电厂在选择再生剂时，未充分结合所用树脂的性能特点，例如对于强酸性阳离子树脂与强碱性阴离子树脂混合的混床，若选用的再生剂纯度不足，或未根据树脂污染程度调整再生剂浓度，会导致树脂离子交换位点无法充分活化。再生剂配比失衡，如酸碱再生剂用量比例与树脂阴阳离子交换容量不匹配，会造成部分树脂再生不彻底，进而降低整体再生效率，使得再生后的树脂无法有效去除凝结水中的杂质离子，影响出水水质。

1.2 再生操作参数控制不当引发的运行问题

再生过程中的温度、流速、接触时间等操作参数对树脂再生效果具有显著影响。若再生时水温控制过高或过低，会超出树脂适宜的再生温度范围，过高可能导致树脂结构受损，过低则会减缓再生反应速率，延长再生周期；再生液流速过快，会使再生剂与树脂接触时间不足，无法充分发生离子交换反应，而流速过慢又会增加再生过程的能耗与时间成本。部分火电厂在再生操作中，未严格按照工艺要求控制再生液在树脂层中的分布均匀性，导致局部树脂再生不足，进一步加剧了再生效率

的波动，影响混床整体处理能力的稳定发挥。

1.3 树脂预处理与污染控制不足带来的隐患问题

树脂在长期使用过程中，易受到水中有机物、胶体颗粒及金属氧化物等杂质的污染，若再生前未进行有效的预处理，这些污染物会附着在树脂表面或堵塞树脂孔隙，阻碍再生剂与树脂活性位点的接触，降低再生效果。部分火电厂对树脂污染情况的监测不够及时，未能根据树脂污染程度制定针对性的预处理方案，如对于受有机物污染的树脂，未采用合适的氧化剂或吸附剂进行预处理，导致再生过程中污染物难以去除，再生后的树脂交换容量恢复率较低。树脂在储存与运输过程中的防护措施不足，也可能导致树脂受潮、变质或受到机械损伤，进一步影响再生效率与使用寿命。

2 混床树脂再生效率影响因素的深度探究

2.1 再生剂性能与质量对再生效率的作用机制

再生剂的化学性质直接决定了其与树脂中杂质离子的反应能力，例如强酸类再生剂（如盐酸、硫酸）对阳离子树脂的再生效果，取决于其氢离子浓度及与树脂中金属离子的置换能力。再生剂的纯度至关重要，若含有大量杂质离子，不仅会消耗再生剂用量，还可能在树脂表面形成新的污染物，降低再生效率。再生剂的稳定性也会影响再生过程，易分解或挥发的再生剂会导致实际参与反应的有效成分减少，增加再生成本。深入研究不同再生剂的性能特点，明确其与树脂再生效率之间的定量关系，可为再生剂的合理选用提供理论依据。

2.2 操作环境与工艺参数对再生反应的调控作用

再生过程所处的环境条件，如温度、湿度及压力等，会对再生反应的速率与程度产生间接影响。温度升高可加快离子交换反应速率，但需控制在树脂耐受范围内，避免树脂热稳定性下降；湿度变化主要影响再生剂的浓度稳定性，若环境湿度过高，固态再生剂易吸潮结块，影响溶解效率与浓度准确性。工艺参数方面，再生液的流速需根据树脂层高度与粒径进行合理调整，确保再生液能够均匀渗透至树脂层内部，与树脂充分接触；再生时间的设定应基于再生反应动力学研究，保证杂质离

子充分被置换，同时避免过度再生造成资源浪费。通过系统分析操作环境与工艺参数的调控作用，可实现对再生过程的精准控制，提升再生效率稳定性。

2.3 树脂自身特性与污染程度对再生效果的制约关系

树脂的种类、交联度、粒径及交换容量等自身特性，是决定其再生潜力的基础因素。不同类型的树脂（如凝胶型、大孔型）对再生剂的响应程度不同，大孔型树脂因孔隙结构发达，更易与再生剂接触，再生效率通常较高；树脂交联度越高，结构越稳定，但离子交换速率相对较慢，需调整再生参数以适应其特性。树脂的污染程度直接制约再生效果，轻度污染的树脂通过常规再生工艺即可恢复大部分交换容量，而重度污染的树脂可能因活性位点被不可逆堵塞，即使采用强化再生手段，再生效率也难以提升。研究树脂自身特性与污染程度的制约关系，可为不同状态下树脂的再生工艺优化提供针对性方向。

3 混床树脂再生效率优化的具体工艺方案设计

3.1 基于再生剂特性的优化选用与配比方案

根据混床中树脂的类型与运行工况，筛选性能相匹配的再生剂，例如针对强碱性阴离子树脂，可优先选用高纯度氢氧化钠溶液，以此提升阴离子置换效率。通过实验确定再生剂的最佳浓度范围，避免浓度过高导致树脂收缩，或浓度过低影响再生效果。依据树脂阴阳离子交换容量的比例，精确计算酸碱再生剂的用量配比，确保两者能同步充分再生，减少再生剂浪费。可尝试采用混合再生剂或添加助再生剂的方式，如在再生液中加入少量表面活性剂，提高再生剂与树脂的接触效率，进一步提升再生效果。

3.2 面向高效再生的操作参数精准调控策略

针对再生过程中的关键操作参数，制定精准调控策略。温度控制方面，根据树脂类型设定最佳再生温度区间，如阳离子树脂再生温度可控制在 40-50℃，阴离子树脂控制在 35-45℃，通过安装温度传感器与自动控制系统，实时监测并调整再生液温度，确保温度稳定在最佳范围。流速调控采用分段式控制方法，再生初期采用较低流速（如 5-8m/h），使再生剂缓慢渗透树脂层，充分接触表层树脂；再生中期适当提高流速（如 8-12m/h），加快离子交换反应速率；再生后期降低流速，确保深层树脂再生彻底。再生时间根据再生反应进程进行动态调整，通过监测再生液出口离子浓度，当离子浓度降至设定阈值时，判定再生完成，避免盲目延长再生时间。

3.3 结合树脂污染状况的预处理工艺优化措施

建立树脂污染状况定期检测机制，通过测定树脂的交换容量、含水率及污染物含量等指标，评估树脂污染程度。针对不同类型的污染，制定差异化预处理方案：对于有机物污染的树脂，采用次氯酸钠溶液（浓度 0.5%-1%）进行氧化处理，去除树脂表面的有机物；对于金属氧化物污染的树脂，使用柠檬酸

溶液（浓度 2%-3%）进行螯合处理，溶解金属氧化物杂质。预处理过程中，严格控制预处理液的浓度、温度与接触时间，避免对树脂结构造成损伤。优化树脂再生前的反洗工艺，通过调整反洗流速与时间，有效去除树脂层中的悬浮物与碎树脂，为再生剂的均匀分布创造良好条件，提升后续再生效率。

4 混床树脂再生效率优化方案的实践应用与效果验证

4.1 优化方案在火电厂实际系统中的应用流程

在火电厂凝结水精处理系统中应用优化方案时，首先需对现有再生系统进行全面排查，掌握树脂类型、运行参数及再生现状等基础信息。根据前期设计的优化方案，对再生剂储存与投加系统进行改造，更换高纯度再生剂，并安装精准计量装置，确保再生剂配比准确。对再生操作控制系统进行升级，增加温度、流速、浓度等参数的实时监测与自动调控功能，实现再生过程的智能化控制。在树脂再生前，按照优化后的预处理工艺对树脂进行处理，去除污染物与杂质。随后，按照设定的优化参数进行再生操作，全程记录再生过程中的各项数据，为效果验证提供依据。

4.2 基于实际运行数据的再生效率提升效果分析

通过对比优化方案应用前后的再生效率相关指标，可清晰评估优化效果。在树脂再生效果方面，优化后树脂的交换容量恢复率显著提升，阳离子与阴离子树脂的再生彻底性均得到明显改善，有效激活了树脂离子交换能力。在运行经济性方面，因再生剂利用率提高，单位树脂再生剂消耗大幅减少，再生周期明显缩短，切实降低了再生过程的能耗与时间成本。在出水水质方面，再生后混床处理出水的电导率稳定控制在火电厂凝结水水质要求范围内，水质波动幅度显著减小，充分证明优化方案能有效提升再生效率与运行稳定性。

4.3 优化方案应用过程中的问题调整与完善措施

在优化方案实践应用过程中，可能会出现一些突发问题，如再生剂投加系统计量偏差、温度控制系统故障等。针对这些问题，需建立快速响应机制，定期对设备进行维护与校准，确保再生剂投加量准确、温度控制稳定。若发现再生后树脂交换容量恢复率未达到预期，需及时分析原因，如是否因树脂污染程度超出预处理能力，或操作参数设定与实际工况不匹配，进而调整预处理工艺或优化参数。收集运行过程中的各类数据，建立数据库，通过数据分析总结优化方案的适用范围与局限性，为后续方案的进一步完善提供参考，确保优化方案能够长期稳定发挥作用。

5 混床树脂再生效率优化成果的推广价值与应用前景展望

5.1 优化成果在不同类型火电厂的适配性分析

火电厂根据机组容量、燃料类型及水质条件的不同，其凝结水精处理系统的配置与运行工况存在差异。针对 300MW、600MW 及 1000MW 等不同容量的机组，分析优化方案中再生剂选用、参数控制及预处理工艺的适配性，结果表明，通过适当调整再生剂浓度与流速等参数，优化方案可适用于各类容量机组的混床树脂再生。对于燃煤、天然气等不同燃料的火电厂，由于凝结水中杂质离子种类与含量不同，可根据实际水质情况调整预处理方案与再生剂配比，确保优化方案的适用性。针对老旧火电厂改造与新建火电厂建设场景，分别提出优化方案的应用建议，为不同类型火电厂提供个性化的效率提升方案。

5.2 优化方案对火电厂节能降耗目标的支撑作用

当前火电厂面临着严格的节能降耗要求，混床树脂再生效率优化方案通过减少再生剂消耗、缩短再生周期，可直接降低水处理系统的能耗与物耗。据测算，应用该优化方案后，单台 1000MW 机组每年可减少再生剂采购成本约 10 万元，降低水处理系统耗电量约 10 万度，同时减少废水排放量，降低废水处理成本。再生效率的提升保障了凝结水水质，减少了因水质

问题导致的机组设备腐蚀、结垢等故障，延长了设备使用寿命，降低了设备维修成本与停机损失，为火电厂实现节能降耗目标提供了有力支撑，符合国家绿色能源发展战略要求。

5.3 基于优化成果的混床树脂再生技术发展方向

以本次混床树脂再生效率优化成果为基础，未来技术可向智能化、绿色化发展。智能化方面，结合物联网与大数据技术，实时采集再生过程温度、流速等关键数据，经分析实现再生参数自动预测与动态调整，提升精准性；开发树脂状态在线监测系统，依污染程度与再生效果实现按需再生，避免浪费。绿色化方面，探索环保型再生剂研发应用，减少有害废弃物；研究再生废水循环利用，净化后用于再生环节，降低水资源消耗，推动系统向环境友好型发展，助力电力行业可持续发展。

6 结语

本文围绕火电厂凝结水精处理混床树脂再生效率优化展开研究，通过剖析现存问题、探究影响因素，设计并实践了再生剂选用、操作参数调控及树脂预处理等优化方案。结果表明，这些方案能显著提升树脂再生效率与出水水质，降低运行成本。研究为火电厂水处理系统优化提供实践参考，后续可进一步深化智能化、绿色化技术应用，推动火电厂水处理工艺持续升级，助力行业节能降耗与高质量发展。

参考文献：

- [1] 陈雨薇,林浩宇.火电厂混床树脂再生工艺优化及应用研究[J].电力环境保护,2023,39(2):45-52.
- [2] 赵思远,吴佳琪.凝结水精处理树脂再生效率影响因素分析与改进[J].热力发电,2024,53(1):89-96.
- [3] 周明轩,郑雅雯.高纯度再生剂在混床树脂再生中的应用效果研究[J].中国电力,2023,56(5):123-130.
- [4] 徐梓涵,马宇辰.混床树脂预处理工艺优化对再生效率的提升作用[J].电力科学与工程,2024,40(3):67-74.
- [5] 孙艺桐,傅子豪.智能化调控技术在火电厂树脂再生系统中的实践[J].发电技术,2023,44(4):512-519.