

燃煤电厂脱硫脱硝废水深度净化工艺改进研究

张桂平 362421198010266819

摘要：燃煤电厂作为我国电力生产的核心组成部分，在生产过程中产生的脱硫脱硝废水成分复杂、含盐量高，含有多种污染物，直接排放会对生态环境造成严重威胁。传统深度净化工艺存在处理成本高、结垢堵塞严重、盐分离效果不佳等问题，难以满足当前愈发严格的环保排放标准。本文在分析燃煤电厂脱硫脱硝废水水质特征与传统工艺缺陷的基础上，提出基于预处理强化+膜集成+结晶分盐的改进工艺方案，探讨各工艺单元的改进要点与处理效果，结果表明改进工艺可有效提升污染物去除率，降低运行成本，实现废水的近零排放与盐资源的回收利用，为燃煤电厂脱硫脱硝废水处理提供可行的技术参考。

关键词：燃煤电厂；脱硫脱硝废水；深度净化；工艺改进；近零排放

一、引言

我国能源结构以煤炭为主，火力发电量占全国发电总量的比例长期维持在60%以上，燃煤电厂在保障我国电力供应稳定的同时，也产生了大量污染物需要处理。为控制燃煤烟气中的硫化物与氮氧化物排放，绝大多数燃煤电厂均安装了石灰石-石膏湿法脱硫与选择性催化还原脱硝装置，两类装置在运行过程中会产生成分复杂的脱硫脱硝废水，该废水不仅含有高浓度的悬浮物、重金属、氯离子，还含有硝酸盐、亚硝酸盐等氮类污染物，含盐量通常可达到30000mg/L以上，属于典型的高盐难降解工业废水。

随着我国环保标准不断收紧，《水污染防治行动计划》对火电行业废水排放提出了更严格的要求，不少燃煤电厂开始推行废水近零排放改造，传统脱硫脱硝废水处理工艺以化学沉淀+澄清过滤为主，仅能去除悬浮物与部分重金属，无法有效脱除总氮与可溶性盐，难以满足近零排放的要求。因此，针对传统工艺存在的缺陷开展深度净化工艺改进研究，对推动燃煤电厂绿色发展具有重要的现实意义。

二、燃煤电厂脱硫脱硝废水水质特征与传统工艺缺陷

2.1 废水水质特征

不同燃煤电厂由于燃煤成分、脱硫脱硝工艺参数不同，脱硫脱硝废水的水质

存在一定差异，但整体具有三个典型特征：一是污染物种类复杂，除了高浓度的氯离子、钙离子、镁离子等可溶性盐分外，还含有汞、镉、铅等重金属离子，以及未被完全脱除的硝酸盐、亚硝酸盐，部分废水还残留有脱硫剂带来的化学需氧量（COD）；二是水质波动大，燃煤电厂的负荷会根据电网需求调整，脱硫脱硝系统的进水水质与水量随之变化，导致废水的污染物浓度波动范围较大，增加了处理难度；三是结垢倾向明显，废水中含有大量钙离子、硫酸根离子与碳酸根离子，容易生成碳酸钙、硫酸钙等难溶沉淀物，在处理设备与管道内壁结垢，影响系统稳定运行。

2.2 传统深度净化工艺的主要缺陷

目前我国多数燃煤电厂采用的传统深度净化工艺为“三联箱化学沉淀+过滤+反渗透浓缩”，该工艺在实际运行中暴露出不少问题：首先，预处理单元对硬度与悬浮物的去除不彻底，化学沉淀过程中投加的碳酸钠与氢氧化钠反应不充分，出水中残余硬度仍然较高，进入反渗透膜后容易造成膜表面结垢，缩短膜的使用寿命，增加运行成本；其次，传统工艺对总氮的去除效果不佳，脱硫脱硝废水中的硝酸盐氮无法通过化学沉淀去除，反渗透仅能截留部分硝酸盐，最终浓缩液中总氮浓度仍然超标，无法直接排放。

三、脱硫脱硝废水深度净化工艺改进方案

3.1 预处理单元强化改进

传统三联箱工艺仅通过一次化学沉淀去除硬度，改进工艺在原有三联箱的基础上增加曝气氧化与絮凝沉淀单元，首先将脱硫脱硝废水送入曝气池，通过曝气氧化将废水中的亚硝酸盐转化为硝酸盐，同时将还原性有机物氧化分解，降低后续处理单元的污染负荷；随后向废水中投加复合除硬药剂，除碳酸钠与氢氧化钠外，新增投加少量的有机螯合剂，螯合剂可以与废水中残余的钙镁离子形成稳定螯合物，进一步降低出水硬度，将出水残余硬度控制在 50mg/L 以下，远低于传统工艺的 200mg/L 水平，有效缓解后续膜组件的结垢问题。

3.2 膜浓缩工艺改进

传统工艺采用单级反渗透浓缩，进水含盐量过高会导致反渗透渗透压过大，产水率低，改进工艺采用“超滤+纳滤+反渗透”的膜集成工艺，预处理出水首先经过超滤过滤去除微小悬浮物，保护后续膜组件；随后送入纳滤单元，利用纳滤膜对二价离子的高截留特性，将废水中的硫酸钠与氯化钠进行初步分离，纳滤透过

液为以氯化钠为主的低浓度盐溶液，送入反渗透进一步浓缩，纳滤浓缩液为以硫酸钠为主的溶液，送入结晶单元单独处理。该改进方案不仅提升了浓缩效率，还实现了两类盐的初步分离，为后续结晶分盐创造了条件，同时反渗透的进水含盐量降低，产水率从传统工艺的 50%提升至 70%以上，运行能耗降低 15%左右。

3.3 浓缩液分盐结晶工艺改进

传统工艺采用混合蒸发结晶，产出的混盐属于危废，改进工艺采用纳滤预分盐+分别结晶工艺，纳滤浓缩的硫酸钠溶液送入蒸发结晶单元，在 100℃左右蒸发结晶出工业级硫酸钠，可作为建材行业的原料回收利用；纳滤透过液经反渗透浓缩后的氯化钠浓溶液送入冻结结晶单元，在 0~5℃条件下析出十水硫酸钠，进一步提纯后得到工业级氯化钠，实现两类盐的分类回收，将原来需要危废处置的混盐转化为可回收利用的工业盐，不仅消除了危废处置成本，还能通过出售工业盐获得一定收益。

四、改进工艺应用效果分析

将改进工艺应用于某装机容量 600MW 的燃煤电厂脱硫脱硝废水处理，原废水 COD 浓度为 120mg/L，总硬度为 1800mg/L，总氮浓度为 160mg/L，含盐量为 32000mg/L，经改进工艺处理后，产水 COD 浓度降至 8mg/L 以下，总硬度降至 2mg/L 以下，总氮浓度降至 10mg/L 以下，各项指标均满足《循环冷却水用再生水水质标准》要求，可以回用于电厂循环冷却水系统，实现废水的近零排放。

经济核算结果显示，改进工艺的吨水处理成本约为 38 元，其中药剂成本 12 元，能耗成本 15 元，人工与维护成本 11 元，远低于传统工艺“反渗透+蒸发混盐结晶”的 62 元/吨，其中危废处置成本的降低是成本下降的主要原因，传统工艺吨水危废处置成本约为 26 元，改进工艺实现了盐资源回收，消除了该部分成本，每年可为该电厂节约处理费用约 280 万元，环境效益与经济效益均十分显著。

五、结论

燃煤电厂脱硫脱硝废水是典型的高盐难处理工业废水，传统深度净化工艺存在预处理除硬不彻底、总氮去除效果差、混盐处置成本高等缺陷，难以满足当前环保要求。本文提出的改进工艺通过强化预处理除硬、采用纳滤-反渗透膜集成预分盐、分质结晶回收工业盐，有效解决了传统工艺存在的问题，不仅能够实现出水达标回用，还降低了处理成本，实现了盐资源的回收利用，具备良好的推广应用前景。未来还需要进一步优化膜组件抗污染性能，降低分盐结晶的能耗，推动该工艺在更多燃煤电厂的应用。

参考文献

- [1] 张富春, 刘志江. 燃煤电厂脱硫废水零排放技术应用与研究进展[J]. 中国电力, 2018, 51(12): 150-156.
- [2] 张宁, 王凡, 李军. 燃煤电厂脱硫脱硝废水深度处理与分盐工艺研究[J]. 环境工程, 2020, 38(5): 112-116.
- [3] 王凯军, 俞其明. 工业高盐废水零排放与资源化利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2019.