

烟气脱硫脱硝副产废水资源化处置路径探究

张桂平 362421198010266819

摘要

煤炭燃烧产生的烟气中含有大量硫氧化物与氮氧化物，湿法脱硫脱硝工艺是当前工业领域应用最广泛的污染物控制技术，该工艺运行过程中会产生大量含盐、含重金属的副产废水，若直接排放会造成严重的水体与土壤污染。本文梳理了当前烟气脱硫脱硝副产废水的水质特征与处置现状，分析了现有达标排放方案的局限性，从资源化利用角度探究了分质提盐、回用补水、副产物提纯等典型处置路径，对比了不同路径的技术经济性与适用场景，提出了协同处置、源头减排的优化方向，为工业企业实现脱硫脱硝废水的近零排放与资源回收提供参考。

关键词：烟气脱硫脱硝；副产废水；资源化；零排放；分质提盐

一、引言

我国能源结构以煤炭为主，电力、钢铁、煤化工等重点燃煤行业年煤炭消费量占全国能源消费总量的 50% 以上，为控制燃煤烟气污染物排放，绝大多数企业采用湿法石灰石-石膏脱硫结合选择性催化还原（SCR）脱硝的组合工艺，该工艺脱硫脱硝效率稳定，运行成本较低，是当前行业主流技术路线。但在工艺运行过程中，为避免吸收塔内部结垢、氯离子累积腐蚀设备，需要定期外排部分吸收液，形成脱硫脱硝副产废水。这类废水具有含盐量高、污染物成分复杂、可生化性差的特点，常规生化处理工艺难以实现达标处理，早期多数企业采用简单稀释后排放的方式，导致周边水体盐度升高，重金属累积，对生态环境造成长期威胁。

近年来，随着我国水污染排放标准不断收紧，火电、煤化工等行业要求脱硫脱硝废水实现近零排放，传统达标排放技术路线的环境与经济压力逐步凸显，资源化处置成为行业发展的新方向。不同于传统“处理达标排放”思路，资源化处置以回收废水中的水资源与盐资源为核心，既解决了废水排放的环境问题，又实现了废物的资源转化，符合我国循环经济发展要求。因此，探究技术可行、经济合理的烟气脱硫脱硝副产废水资源化处置路径，对推动重点污染行业绿色转型具有重要意义。

二、烟气脱硫脱硝副产废水水质特征

湿法烟气脱硫脱硝工艺产生的副产废水，水质特征与原煤成分、脱硫脱硝工艺参数直接相关，整体呈现三个典型特征：第一，含盐量极高，废水中溶解性总固体（TDS）浓度通常在 15000~60000mg/L 之间，主要成分为氯离子、钙离子、镁离子、硫酸根、亚硫酸根等，其中氯离子浓度可达 5000~20000mg/L，是导致设备腐蚀与排放超标的核心污染物；第二，污染物成分复杂，除盐分外，还含有少量未脱除的汞、铅、镉等重金属，以及脱硝工艺逃逸的氨氮，部分脱硫工艺添加的氧化剂也会残留 COD，整体可生化性极差，BOD/COD 比值通常低于 0.1，无法采用常规生化工艺处理；第三，水质波动大，原煤含硫量变化、装置负荷调整、吸收塔运行参数变化都会导致排水水质波动，对处理工艺的适应性要求较高。

三、当前处置路径存在的局限性

当前多数燃煤企业的脱硫脱硝副产废水采用“预处理+生化处理+深度处理”的达标排放路线，预处理通过化学沉淀去除悬浮物与重金属，再经混凝澄清去除大部分有机物，后续通过反渗透脱盐后达标排放，浓水则通过蒸发结晶处理。该路线虽然能够满足达标排放要求，但存在明显局限性：一是运行成本较高，蒸发结晶单元能耗高，设备投资大，每吨废水处理成本可达 30~80 元，对企业造成较重的成本压力；二是蒸发结晶产生的杂盐被归类为危险废物，处置成本高达 2000~3000 元/吨，且当前国内合规危险废物填埋库容紧张，杂盐出路问题已经成为制约企业稳定运行的瓶颈；三是该路线仅实现了废水达标排放，没有实现资源回收，水资源与盐资源全部被作为废物处理，资源浪费问题突出。

四、典型资源化处置路径分析

（一）分质提盐生产工业盐

分质提盐是当前技术最成熟的资源化处置路径，核心思路是通过预处理去除废水中的重金属与有机物后，再通过纳滤膜分离将废水中的氯化钠与硫酸钠分离，分别进行蒸发结晶，得到符合工业标准的氯化钠与硫酸钠产品，作为基础化工原料对外销售，实现盐资源的资源化利用。该路线相较于传统蒸发结晶产杂盐的模式，将废物转化为可销售的工业产品，不仅解决了杂盐危废处置问题，还能通过产品销售获得收益，抵消部分处理成本。根据国内煤化工行业的运行数据，分质提盐路线生产的氯化钠与硫酸钠产品纯度可达 98%以上，满足《工业盐》（GB/T 5462-2015）与《工业硫酸钠》（GB/T 6009-2014）的质量要求，可直接销售给氯

碱、造纸等行业使用。

（二）脱硫废水回用作为工艺补水

对于水资源短缺地区的燃煤企业，可将脱硫脱硝副产废水经过预处理脱除重金属、悬浮物与有机物后，回用作为干灰调湿、灰场喷洒、水力除渣等工艺环节的补水，实现水资源的回收利用，减少新鲜水消耗量。该路线技术简单，投资与运行成本极低，不需要设置高能耗的蒸发结晶单元，仅需要通过简单的化学沉淀过滤处理，满足工艺环节的水质要求即可回用，每吨水处理成本仅为传统蒸发路线的 1/5~1/3。根据国内燃煤电厂的运行实践，一台 600MW 燃煤机组，每天产生约 15~30 吨脱硫废水，全部回用作为除渣补水与灰场喷洒，每年可减少新鲜水用量约 1 万吨，环境与经济效益显著。

（三）耦合电石渣脱硫生产石膏副产物

我国氯碱行业年产电石渣超过 2000 万吨，电石渣主要成分为氢氧化钙，是优良的脱硫剂，许多氯碱企业配套燃煤锅炉采用电石渣替代石灰石进行烟气脱硫，可实现电石渣废物利用。脱硫脱硝副产废水中含有大量硫酸根与钙离子，将脱硫废水引入电石渣脱硫系统，可利用废水中的硫酸根与钙离子反应生成二水硫酸钙，提纯后生产脱硫石膏，用于水泥缓凝剂与建筑材料生产，实现废水与电石渣两种废物的协同资源化。该路线将脱硫废水中的钙离子与硫酸根转化为石膏产品，水资源蒸发进入烟气后回收，不需要额外建设蒸发结晶单元，投资成本大幅降低，同时解决了电石渣处置与脱硫废水处置两个问题，适合氯碱行业配套燃煤锅炉的企业，具有良好的协同效益。

五、结论与展望

烟气脱硫脱硝副产废水的处置是当前燃煤行业污染控制的难点问题，传统达标排放路线存在成本高、杂盐出路难、资源浪费等问题，资源化处置是未来行业发展的必然趋势。分质提盐产工业盐、回用工艺补水、耦合协同生产副产物是三种典型的资源化路径，不同企业需要根据自身的水质特点、行业属性、周边市场需求选择适合的技术路线，同时要加强源头管控，通过优化脱硫脱硝工艺参数，减少废水产生量，降低末端处置压力。未来随着膜分离技术与结晶技术的不断进步，资源化处置的成本会逐步降低，进一步推动我国燃煤行业实现绿色发展。

参考文献

- [1] 王晓涛, 李立清, 王琪. 燃煤电厂脱硫废水处理技术现状与发展趋势[J]. 环境工程学报, 2020, 14(5): 1167-1182.
- [2] 张进, 刘桂芳. 煤化工行业脱硫脱硝废水零排放与分质资源化技术应用[J]. 中国给水排水, 2021, 37(12): 52-57.
- [3] 王凯军, 岳秀萍. 工业含盐废水资源化利用技术研究进展[J]. 化工进展, 2019, 38(10): 4652-4662.