

火电厂脱硫废水零排放处理技术的工程应用 与经济环境效益评估

杨朴淘

贵州黔西中水发电有限公司, 贵州 毕节 551700

DOI:10.61369/ETQM.2025110005

摘 要 : 本文聚焦火电厂脱硫废水零排放处理技术, 阐述了该技术产生的背景与重要性。详细介绍了预处理、浓缩减量、末端固化等常见处理技术原理。分析了技术在火电厂的工程应用要点, 涵盖系统设计、设备选型与运行管理。从经济成本和环境效益两方面进行评估, 指出技术虽面临初期投资高、运行维护复杂等挑战, 但能降低用水成本、减少污染物排放, 实现水资源循环利用。最后对技术未来发展进行展望, 旨在为火电厂脱硫废水处理提供参考。

关 键 词 : 火电厂; 脱硫废水零排放; 工程应用; 经济成本; 环境效益

Engineering Application and Economic and Environmental Benefit Assessment of Zero Discharge Treatment Technology for Desulfurization Wastewater in Thermal Power Plant

Yang Putao

Guizhou Qianxi Zhongshui Power Generation Co., Ltd., Bijie, Guizhou 551700

Abstract : This paper focuses on zero-discharge treatment technology for desulfurization wastewater in thermal power plants, elaborating on its historical context and significance. It provides a detailed explanation of common treatment principles including pretreatment, concentration reduction, and end-stage solidification. The paper analyzes key engineering application aspects for thermal power plants, covering system design, equipment selection, and operational management. Through economic cost-benefit analysis and environmental impact assessment, it highlights that while the technology faces challenges such as high initial investment and complex maintenance, it effectively reduces water consumption, minimizes pollutant emissions, and enables water resource recycling. Finally, the paper outlines future development prospects to provide practical references for desulfurization wastewater treatment in thermal power plants.

Keywords : thermal power plant; zero discharge of desulfurization wastewater; engineering application; economic cost; environmental benefit

引言

火电厂作为我国电力供应的主力军, 在生产过程中采用湿法脱硫工艺时会产生大量脱硫废水。这些废水含有高浓度悬浮物、重金属、盐类及化学需氧量 (COD) 等污染物, 成分复杂且污染性强。若未经有效处理直接排放, 会对周边水体、土壤等生态环境造成严重破坏, 影响水生生物生存和人类健康。随着环保法规日益严格和社会对环境保护关注度不断提高, 实现脱硫废水零排放已成为火电厂可持续发展的必然要求。研究脱硫废水零排放技术在火电厂的实际应用情况, 并评估其带来的经济成本与环境效益, 具有重要的现实意义。

一、火电厂脱硫废水零排放处理技术概述

(一) 技术背景与重要性

湿法脱硫工艺中, 石灰石-石膏湿法脱硫技术应用最为广泛。在该工艺里, 为维持脱硫系统的化学平衡和保证脱硫效率,

需不断补充新鲜水并排出一定量废水。脱硫废水主要来源于石膏脱水系统、设备冲洗水以及吸收塔排放水等^[9]。在环保标准不断攀升的大背景下, 火电厂废水排放面临的要求正朝着愈发严格的方向发展。实现脱硫废水零排放, 有助于火电厂满足环保法规要求, 避免因废水排放不达标而面临罚款和停产整顿风险。同时,

该技术能减少对新鲜水资源的依赖，降低用水成本，提高企业经济效益和市场竞争能力，对保护水资源和生态环境、促进可持续发展具有重要意义^[9]。

（二）常见处理技术及原理

1. 预处理技术

预处理作为脱硫废水实现零排放处理流程中的关键环节，其主要作用在于去除废水中含有的悬浮物、硬度成分以及重金属等各类杂质，进而为后续的处理工序提供适宜的条件。常见的预处理方法包括化学沉淀法、电絮凝集法等。化学沉淀法是借助向废水中添加石灰乳、碳酸钠以及液碱等化学药剂的方式，促使废水里的钙、镁离子发生化学反应生成沉淀物质。电絮凝集法则利用电混凝原理和电解原理处理废水，通过电极反应产生絮凝剂，使废水中的悬浮物和胶体物质凝聚沉淀。

2. 浓缩减量技术

浓缩减量技术的目的是通过物理或化学方法，将废水中的水分大量分离出来，减少废水体积，降低后续末端固化处理的负荷。常用的浓缩减量技术有膜分离技术和热法浓缩技术。膜分离技术主要包括反渗透（RO）、纳滤（NF）等。反渗透技术利用半透膜的选择透过性，在压力作用下，使水分子通过膜，而盐类和其他溶质被截留，实现废水浓缩。纳滤技术则对不同价态的离子具有不同的截留性能，可用于进一步分离和浓缩废水中的特定成分。在热法浓缩领域，较为常见的技术包含多效蒸发（MED）与机械蒸汽再压缩蒸发（MVR）这两种。其中，多效蒸发是采用多个蒸发器依次串联的方式，让前一效蒸发过程中所产生的二次蒸汽，充当后一效蒸发操作的加热热源，以此达成水分蒸发以及溶液浓缩的目的。机械蒸汽再压缩蒸发则是将蒸发产生的二次蒸汽通过压缩机压缩提高其温度和压力，然后作为加热蒸汽循环使用，具有能耗低、效率高的优点^[6]。

3. 末端固化技术

末端固化的目的是将浓缩后的高浓度废水中的水分进一步去除，将污染物转化为固体废物，便于安全处置。常用的末端固化技术有蒸发结晶和喷雾干燥。蒸发结晶通过加热使浓缩废水中的水分蒸发，当溶液达到过饱和状态时，盐类等溶质结晶析出，形成固体盐渣。喷雾干燥将浓缩废水通过雾化器雾化成细小液滴，与热空气充分接触，使液滴中的水分迅速蒸发，污染物盐分结晶成固体颗粒，被除尘器捕捉进入干灰中一起外排。

二、火电厂脱硫废水零排放处理技术的工程应用

（一）系统设计要点

在火电厂脱硫废水零排放处理系统的设计中，需综合考虑多方面因素。要根据火电厂的脱硫废水产生量、水质特点以及零排放要求，确定系统的处理规模和处理工艺。对于水质呈弱酸性、悬浮物含量高、氟化物、COD、重金属超标且盐分含量高的脱硫废水，预处理系统要能够有效去除这些污染物，确保后续处理设备的稳定运行^[1]。同时，要考虑系统的可靠性和稳定性，采用冗余设计，设置备用设备和应急处理措施，以应对突发情况。此

外，还需考虑系统的占地面积和空间布局，尽量做到紧凑合理，便于操作和维护。

（二）设备选型与配置

设备的选型与配置直接影响系统的处理效果和运行成本。在预处理阶段，要根据废水水质和处理要求选择合适的化学药剂投加设备、沉淀设备和过滤设备^[4]。例如，对于钙、镁离子含量较高的废水，可选用高效的石灰乳投加装置和碳酸钠投加系统，确保软化效果。在浓缩减量阶段，膜分离设备要选择性能稳定、膜通量高、抗污染能力强的产品。热法浓缩设备则要根据能源供应情况和处理规模选择合适的多效蒸发器或机械蒸汽再压缩蒸发器。在末端固化阶段，蒸发结晶设备要具备高效的传热和结晶能力，喷雾干燥设备要能够保证雾滴的均匀分散和充分干燥^[7]。

（三）运行管理要点

运行管理是确保脱硫废水零排放处理系统长期稳定运行的关键。要建立完善的运行管理制度和操作规程，对运行人员进行专业培训，使其熟悉系统的工艺流程和设备操作方法。同时，要严格控制系统的运行参数，如pH值、温度、压力、流量等，根据废水水质的变化及时调整处理工艺和药剂投加量。此外，还要做好系统的监测和数据分析工作，通过在线监测设备实时掌握废水处理效果和设备运行情况，为系统的优化运行提供依据^[3]。

三、经济成本评估

（一）初期投资成本

脱硫废水零排放处理系统的初期投资成本主要包括设备购置费、安装调试费、土建工程费等。设备购置费是初期投资的主要部分，不同类型的处理技术和设备价格差异较大。例如，膜分离设备的价格相对较高，尤其是高性能的反渗透膜和纳滤膜。热法浓缩设备中的机械蒸汽再压缩蒸发器由于技术含量高，价格也较为昂贵。安装调试费包括设备的安装、调试和试运行费用，这部分费用与设备的复杂程度和安装难度有关。土建工程费则根据系统的占地面积和建设要求而定，包括设备基础、厂房建设、管道铺设等费用。

（二）运行维护成本

运行维护成本主要包括药剂费、能源费、设备维修费、人员工资等。药剂费是运行维护成本的重要组成部分，在预处理阶段，需要投加石灰乳、碳酸钠、液碱、有机硫、絮凝剂等药剂，这些药剂的消耗量与废水水质和处理规模有关。能源费主要包括电力费和蒸汽费，膜分离设备和热法浓缩设备在运行过程中需要消耗大量的电能，热法浓缩设备如果采用蒸汽加热，还需要消耗蒸汽。设备维修费用用于设备的日常维护和故障修理，随着设备使用时间的增长，维修费用会逐渐增加。人员工资则是支付运行管理人员的薪酬。

（三）经济效益分析

虽然脱硫废水零排放处理系统的初期投资和运行维护成本较高，但从长远来看，该技术能带来显著的经济效益。一方面，实现脱硫废水零排放可以减少火电厂的新鲜水取水量，降低用水成本。随着水资源的日益紧张，水价不断上涨，节约用水可以为企业节省大量的费用^[2]。另一方面，避免因废水排放不达标而缴纳的罚款，减少企业的环境风险和经济损失。此外，经过处理后的

废水可以回用于锅炉补水、循环水系统等。

四、环境效益评估

（一）水资源保护

火电厂作为工业领域中举足轻重的用水大户，其生产运营各个环节对水资源的依赖程度极高，从锅炉的冷却补水到烟气脱硫等工艺，都需要大量新鲜水资源的持续供应。在传统模式下，火电厂对水资源的消耗量大且利用率有待提升，进一步加剧了水资源短缺的紧张局面。

而实现脱硫废水零排放，无疑是解决这一问题的关键举措。它能够从源头上大幅削减火电厂对新鲜水资源的取用量，有效缓解水资源短缺带来的压力。不仅如此，经过先进技术处理后的脱硫废水，水质达到生产回用标准，可重新投入到火电厂的生产流程中。这一举措极大地提高了水资源的利用效率，构建起水资源循环利用的闭环体系，对保护珍贵的水资源、保障水资源的可持续利用以及推动火电厂行业的绿色发展都具有极为重要的现实意义。

（二）污染物减排

脱硫废水中含有大量的悬浮物、重金属、盐类及 COD 等污染物，若直接排放会对水体和土壤造成严重污染。实现脱硫废水零排放可以避免这些污染物进入环境，减少对生态环境的破坏。通过预处理、浓缩减量和末端固化等处理工艺，可以将废水中的污染物转化为固体废物进行安全处置，降低了污染物的排放总量。据统计，实施脱硫废水零排放技术后，火电厂每年可减少悬浮物排放数十吨、重金属排放数吨，对改善环境质量起到了积极作用。

（三）生态平衡维护

脱硫废水中的污染物会对水生生物和土壤微生物产生毒害作用，破坏生态平衡。实现脱硫废水零排放可以减少对水生生物和土壤微生物的危害，保护生态系统的稳定。例如，废水中的重金属会在生物体内积累，通过食物链传递，最终影响人类健康。通过零排放处理，可以切断重金属的传播途径，维护生态平衡，保障人类和生物的生存环境。

五、面临的挑战与对策

（一）技术挑战与对策

目前，脱硫废水零排放处理技术还存在一些技术挑战。例

如，膜分离技术在处理高浓度、高硬度废水时，容易出现膜污染和结垢问题，导致膜通量下降和处理效率降低。热法浓缩技术在运行过程中能耗较高，增加了运行成本。针对这些问题，可以采取以下对策：加强膜材料的研发，开发具有更高抗污染能力和耐腐蚀性的膜材料；优化膜分离工艺，采用合理的预处理方法和清洗策略，减少膜污染和结垢；改进热法浓缩技术，提高能源利用效率，降低能耗^[9]。

（二）经济挑战与对策

脱硫废水零排放处理系统虽在环保层面意义重大，但初期投资规模庞大，且后续运行维护成本也居高不下，这无疑给火电厂带来了颇为沉重的经济负担。为有效应对这一经济挑战，多管齐下是关键。政府应充分发挥政策引导作用，出台一系列针对性政策，如给予火电厂适当的财政补贴，缓解其资金压力；提供税收优惠政策，降低企业运营成本，以此激励企业积极投身脱硫废水零排放项目。火电厂自身也需主动作为，通过持续技术创新和精细化管理优化，挖掘降本增效潜力，提升系统运行效率。此外，还应加强与科研机构、相关企业的深度合作，整合各方资源，共同开展技术研发与推广应用，加速技术迭代，从而降低整体技术成本。

六、结论与展望

火电厂脱硫废水零排放处理技术是实现火电厂可持续发展的关键技术之一。该技术通过预处理、浓缩减量和末端固化等处理工艺，可以有效去除脱硫废水中的污染物，实现废水的零排放。虽然该技术在工程应用中面临一些挑战，如初期投资高、运行维护复杂等，但从经济成本和环境效益的综合评估来看，该技术具有显著的优势。它可以降低火电厂的用水成本，减少污染物排放，实现水资源的循环利用，对保护水资源和生态环境具有重要意义^[10]。

未来，随着环保要求的不断提高和技术的不断进步。在脱硫废水零排放领域，后续将持续投入研发力量，致力于探索并开发新型的处理技术与工艺，以此提升脱硫废水的处理效率，同时有效降低系统的运行成本。另一方面，将加强技术的集成应用和优化，实现多种处理技术的有机结合，提高系统的整体性能。同时，政府和社会将加大对脱硫废水零排放处理技术的支持和推广力度，促进该技术在火电厂的广泛应用，为实现我国电力行业的可持续发展做出贡献。

参考文献

- [1] 张哈, 刘显丽. 火电厂脱硫废水零排放技术的应用 [J]. 科技视界, 2025, 15(10): 53-55.
- [2] 黄春庭. 脱硫废水零排放的环境效益与经济效益分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(13): 72-74.
- [3] 王胜虎. 火电厂脱硫废水零排放研究和实施分析 [J]. 仪器仪表用户, 2023, 30(11): 82-86.
- [4] 李鹏. 脱硫废水的零排放处理技术应用 [J]. 电子技术, 2022, 51(06): 224-225.
- [5] 刘思远. 火电厂废水零排放技术及应用研究 [J]. 节能技术, 2022, 40(03): 284-289.
- [6] 陶正兴. 脱硫废水零排放工艺技术的工程应用研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(22): 131-133.
- [7] 盖克勤, 陈优东. 关于火电厂脱硫废水零排放技术应用 [J]. 科技创新与应用, 2021, (03): 104-106.
- [8] 李旭东, 洪毅. 火电脱硫废水零排放技术的探讨 [J]. 新疆环境保护, 2020, 42(03): 24-27.
- [9] 曹建锋. 火电厂脱硫废水零排放处理工艺介绍 [J]. 电力设备管理, 2019, (10): 132-133+173.
- [10] 王正阳, 程阳, 赵德远, 等. 火力发电厂脱硫废水零排放技术的研究与应用进展 [J]. 电站系统工程, 2019, 35(03): 46-48+52.