

# 燃煤机组脱硫废水处理技术及经济性分析

周 俊 (大唐湘潭发电有限责任公司, 湖南 湘潭 411100)

**摘 要:** 燃煤电厂产生的脱硫废水, 其成分复杂、污染物种类多、处理难度大, 是电厂废水“零排放”的关键与难点。文章以某燃煤电厂为例, 分析了纳米净水剂、多效智能脱一体化硫废水处理技术的应用, 并对其经济效果进行分析, 以此降低运行成本、提高处理效率, 为燃煤电厂脱硫废水处理提供了可靠的技术方案。

**关键词:** 脱硫废水; 纳米净水剂; 多效智能脱一体化; 经济性分析

**中图分类号:** X773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 032-0070-03

## Analysis of Desulfurization Wastewater Treatment Technology and Economy for Coal-fired Units

Zhoujun (Datang Xiangtan Power Generation Co., Ltd., Xiangtan Hunan 411100, China)

**Abstract:** The desulfurization wastewater produced by coal-fired power plants is complex in composition, rich in pollutant types and difficult to treat, which is the key and difficulty for achieving “zero discharge” of power plant wastewater. Taking a certain coal-fired power plant as an example, this article analyzes the application of nano-water purifying agents and multi-effect intelligent integrated sulfur removal wastewater treatment technology, and examines their economic effects. This is done to reduce operating costs and improve treatment efficiency, providing a reliable technical solution for the treatment of desulfurization wastewater in coal-fired power plants.

**Key words:** Desulfurization wastewater Nano water purifier Multi-effect intelligent de-integration Economic analysis

由于环保标准日益严格, 燃煤电厂脱硫废水处理面临更高要求。石灰石-石膏湿法脱硫产生的废水含有高浓度悬浮物、重金属离子和氯离子等污染物, 处理难度大。传统处理工艺存在流程复杂、占地面积大、运行成本高等问题, 难以满足当前环保要求, 因此, 开发高效、经济的脱硫废水处理技术成为燃煤电厂解决的技术难题。

### 1 燃煤机组脱硫废水处理概述

#### 1.1 废水来源与特性

燃煤电厂脱硫废水主要来源于石灰石-石膏湿法脱硫系统的石膏脱水和废水旋流器排放。废水中含有大量悬浮物, 浓度可达 10000-100000mg/L, pH 值呈酸性, 一般在 4.0-6.0 之间。废水中还含有汞、镉、铅、镍、锌、砷等重金属离子, 氯离子浓度高达 19000mg/L, 对设备腐蚀性强。这些特性使得脱硫废水成为电厂最难处理的废水之一。

#### 1.2 处理目标与标准

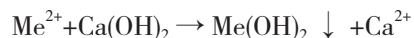
根据《火电厂石灰石-石膏湿法脱硫废水水质控制指标》(DL/T 997-2020) 要求, 处理后废水中总汞不超过 0.05mg/L, 总镉不超过 0.1mg/L, 总铬不超过 1.5mg/L, 悬浮物不超过 70mg/L, pH 值控制在 6-9 之间<sup>[1]</sup>。处理系统不仅要确保出水达标, 还要实现废水的资源化利用, 减少新鲜水消耗, 达到电厂水平衡的目标。

### 2 燃煤机组脱硫废水处理技术

#### 2.1 传统处理工艺分析

传统三联箱工艺是目前应用最广泛的脱硫废水处

理技术, 主要包括中和箱、反应箱和絮凝箱三个处理单元。废水首先进入中和箱, 投加石灰乳调节 pH 值至 9.0-9.5, 使大部分重金属离子生成氢氧化物沉淀; 然后进入反应箱, 投加有机硫化物使残余重金属离子生成硫化物沉淀; 最后在絮凝箱中投加铁盐和聚合物, 形成大颗粒絮体后进入澄清池沉淀分离。该工艺反应机理可用以下公式表示:



其中 Me 代表重金属离子, 通过碱性条件下的沉淀反应实现重金属去除。然而三联箱工艺在实际运行中暴露出诸多问题: 工艺流程冗长导致占地面积大, 单个处理单元容积通常达 10-20m<sup>3</sup>; 多种药剂投加系统增加了设备投资和维护工作量; 各反应箱之间的串联运行模式使得任一环节故障都会影响整体处理效果<sup>[2]</sup>; pH 值、加药量等参数控制依赖人工经验, 难以实现精准控制; 处理后出水水质波动大, 特别是悬浮物和重金属指标经常超标。这些问题严重制约了传统工艺的应用效果, 亟需技术革新突破。

#### 2.2 一体化处理装置技术

##### 2.2.1 集成化设计理念

一体化脱硫废水处理装置创新性地将投药反应、混凝絮凝、多效智能脱一体化等功能集成在一个紧凑的设备内, 实现了工艺流程的高度集约化。装置内部通过优化的流场设计, 使废水依次经过加药反应区、混凝反应区和多效智能脱一体区, 各区域之间无需泵送和管道连接, 大幅减少了设备占地面积和能耗。集

成化设计不仅简化了工艺流程, 还通过缩短反应时间和优化反应条件提高了处理效率, 并且装置采用模块化制造, 便于运输安装和后期扩容改造。

### 2.2.2 纳米净水剂的应用优势

区别于传统工艺的多种药剂投加方式, 一体化装置采用单一的 SDL 纳米净水剂, 实现了药剂系统的革命性简化。纳米净水剂利用纳米材料的高比表面积和特殊表面性质, 能够快速吸附捕捉重金属离子, 同时协同去除氟化物、硫化物、悬浮物及部分 COD 等多种污染物。药剂在水中迅速分散形成纳米级活性位点, 与污染物发生物理吸附和化学络合反应, 形成稳定的絮体结构。最终投加量仅需  $200\text{g}/\text{m}^3$  即可达到理想处理效果, 相比传统工艺药剂消耗量降低 60% 以上, 显著降低了运行成本。

### 2.3 关键技术突破

#### 2.3.1 多效智能脱一体化硫废水处理技术

多效智能脱一体化技术突破了传统分级处理模式, 在单一反应器内同步实现重金属去除、悬浮物沉降和 pH 调节等多重功能。该技术核心在于优化的水力停留时间设计和多相流反应控制, 通过精确控制反应器内的流场分布, 形成微涡流强化传质效果, 使纳米净水剂与污染物充分接触反应。反应器内部设置导流板和折流板, 创造螺旋上升流态, 延长反应路径的同时避免短流现象, 该技术将传统工艺 60–90 min 的处理时间缩短至 20 min 以内, 处理效率提升 3 倍以上, 重金属去除率稳定在 99% 以上, 出水悬浮物浓度低于  $30\text{mg}/\text{L}$ 。

#### 2.3.2 智能加药控制系统

智能控制系统基于 DCS 和触摸屏技术, 实现了加药过程的精准控制和全自动运行。系统通过在线 pH 计、浊度仪、流量计等仪表实时监测进出水水质和流量变化, 根据预设的控制逻辑自动调节加药泵频率, 实现药剂投加量的动态优化<sup>[3]</sup>。控制算法采用前馈–反馈复合控制策略, 前馈控制根据进水流量和浊度预估加药量, 反馈控制根据出水水质微调加药量, 确保出水稳定达标同时避免药剂浪费。

#### 2.3.3 污泥浓缩脱水技术

配套的带式脱水机采用重力脱水、楔形脱水和压榨脱水三段式脱水工艺, 能够适应脱硫废水污泥含固率 2%–10% 的大范围波动。该设备通过连续运行的滤带实现污泥的连续脱水, 相比传统板框压滤机具有处理量大、自动化程度高、运行成本低等优势。设备配置自动纠偏装置防止滤带跑偏, 变频调速控制滤带速度适应不同污泥性质, 高压冲洗系统确保滤带再生效果。滤带采用耐腐蚀的聚酯纤维材质, 使用寿命可达 8000h 以上。脱水过程中通过调节滤带张力和辊压力,

可根据污泥性质优化脱水效果。脱水后泥饼含水率稳定控制在 70% 以下, 便于后续运输处置。该技术在脱硫废水处理领域属于创新应用, 有效解决了传统脱水设备易堵塞、维护频繁的问题。滤液收集后, 用于带式脱水机自清洗, 当滤液水浓度升高一定时, 返回一体化处理系统处理。

### 3 新建脱硫废水处理装置

#### 3.1 装置组成与选型

新建脱硫废水处理系统主要由废水缓冲箱、一体化处理装置、干粉加药机、污泥箱、清水箱、各类输送泵及带式脱水机等设备组成, 形成了完整的处理工艺链。核心设备选型充分考虑了废水水质特性和处理要求: 一体化处理装置采用双台  $25\text{m}^3/\text{h}$  并联配置, 总处理能力达  $50\text{m}^3/\text{h}$ , 满足全厂脱硫废水处理需求; 设备本体采用 Q235-B 钢板制作, 壁厚不小于 12mm, 内壁衬 4mm 厚阻燃型玻璃鳞片防腐或双层 5mm 橡胶防腐, 确保在高氯离子腐蚀环境下的长期稳定运行; 各类泵的过流部件采用 2205 双相不锈钢材质, 兼具良好的耐腐蚀性和耐磨性; 带式脱水机液接部位同样采用 2205 材质, 确保设备使用寿命。

#### 3.2 工艺流程详解

新建脱硫废水处理装置需对原有灰浆泵房进行改造。拆除灰浆泵房内 4 套废旧灰浆泵组及配套阀门管道, 为新设备腾出安装空间, 改造工程从废水泵出口管新增管阀系统, 将废水引入两台处理能力各为  $25\text{m}^3/\text{h}$  的一体化处理装置, 两台装置采用并列运行方式, 一用一备或同时运行, 提高了系统运行的灵活性和可靠性, 并且废水缓冲箱接收来自脱硫系统的废水, 通过提升泵将废水输送至一体化装置的投药反应箱。一体化处理装置内部分为三个功能区域, 废水依次通过投药反应箱、混凝反应箱和高效澄清箱。SDL 纳米净水剂通过干粉加药机精确投加, 投加量根据进水量和水质自动调节, 确保药剂利用率最大化<sup>[4]</sup>。混凝反应箱内设置高效搅拌器, 转速 96 转 /min, 保证药剂与废水充分接触反应。反应生成的絮体进入高效澄清池, 利用重力沉降和斜管填料的协同作用实现快速固液分离。

污泥处理系统是整個工艺的重要环节。新增的污泥箱尺寸为  $\Phi 3.5 \times 3\text{m}$ , 采用 4mm 衬胶防腐, 配备顶进式搅拌机防止污泥沉积板结。两台全自动带式压滤机能够处理含固量 2%–10% 的污泥, 通过重力脱水、楔形脱水和压榨脱水三个阶段, 将泥饼含水率降至 70% 以下。压滤机配套的滤液水箱收集脱水滤液, 通过管道返回至新建脱硫废水系统的缓冲箱, 实现水的内部循环。板框式压滤机根据现场布置需要进行移位, 优化了设备布局。



整个工艺流程实现了废水处理的连续化、自动化运行,工艺流程如图1所示。系统设计充分考虑了废水水质波动的适应性,能够在进水悬浮物浓度100~100000mg/L的宽范围内稳定运行,处理后出水各项指标均满足DL/T 997-2020标准要求,实现了脱硫废水的达标处理和资源化利用。

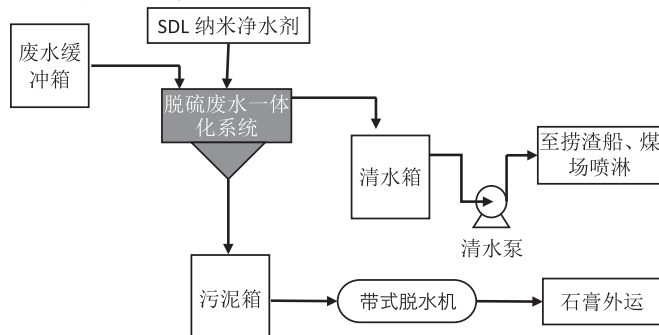


图1 新建脱硫废水系统处理工艺流程图

### 3.3 装置运行与维护

#### 3.3.1 自动化运行管理体系

装置采用DCS集中控制,实现了“一键启动、无人值守”的全自动运行模式。控制系统设置了完善的连锁保护逻辑:废水缓冲箱低液位连锁停废水提升泵,防止泵空转损坏;清水箱高液位连锁停一体化装置进水,避免清水溢流;污泥箱高泥位连锁启动污泥输送泵和脱水机,确保污泥及时处理。运行参数如水位、流量、压力、pH值、浊度等通过硬接线方式接入DCS系统,实现远程监控和历史数据存储分析,系统还设置了故障诊断和报警功能,及时提醒运行人员处理异常情况。

#### 3.3.2 预防性维护保养策略

建立了以预防性维护为主的设备管理体系,根据设备特性制定差异化维护周期:搅拌器轴承每月加注润滑脂一次,每季度检查轴封密封性;泵类设备每周巡检振动和温升情况,每月校验压力表,每半年更换机械密封;带式脱水机每班检查滤带张紧度和跑偏情况,每天冲洗滤带,每季度更换刮板;加药系统每周检查料位和下料情况,定期清理料仓防止药剂结块;仪表每月进行零点和量程校验,确保测量准确性<sup>[5]</sup>。通过规范化的维护保养,设备完好率保持在98%以上。

表1 脱硫废水处理工艺技术经济指标对比

项目	传统三联箱工艺	一体化处理工艺	对比优势
占地面积 (m <sup>2</sup> )	800	320	减少 60%
装机功率 (kW)	220	147	降低 33%
药剂种类	4-5 种	1 种	简化管理
药剂消耗 (g/m <sup>3</sup> )	500	200	降低 60%
出水达标率 (%)	85	98	提高 13%
自动化程度	半自动	全自动	减少人工
年运行费用 (万元)	260	87	节约 66%

## 4 燃煤机组脱硫废水处理经济性分析

新建一体化脱硫废水处理系统的经济性优势主要体现在投资成本节约和运行费用降低两个方面。投资成本方面,一体化装置相比传统三联箱系统节省了大量土建投资,设备占地面积减少约60%,土建费用降低40%以上;集成化设计减少了管道阀门等辅助设备数量,设备购置费用降低约30%;模块化制造和装配式安装缩短了建设周期,减少了施工费用和财务成本。某2×660MW机组电厂新建50m<sup>3</sup>/h处理能力的一体化系统总投资约800万元,而同等规模传统系统投资需1200万元以上,表1对比传统工艺与一体化工艺的主要技术经济指标。

从表1数据可知,一体化处理工艺在各项指标上均优于传统工艺,年可用率达到98%以上,减少了因设备故障造成的环保风险和经济损失。处理后水质稳定达到DL/T 997-2020标准要求,为实现脱硫废水零排放奠定了基础。

## 5 结束语

脱硫废水处理是燃煤电厂环保运行的重要环节,直接关系到电厂的可持续发展。工程实践表明,新建的一体化脱硫废水处理装置不仅简化了工艺流程,提高了处理效率,还显著降低了投资和运行成本。随着环保要求的不断提高和技术的持续进步,脱硫废水处理技术将向着更高效、更经济、更智能的方向发展,最终实现废水的资源化利用和零排放目标。

### 参考文献:

- [1] 章小园. 燃煤电厂脱硫废水零排放工艺路线分析[J]. 中国资源综合利用, 2024,42(01):159-161.
- [2] 凌海波, 齐娜娜, 张锴. 燃煤机组脱硫废水液滴蒸发的盐壳效应数值模拟[J]. 洁净煤技术, 2024,30(S02): 447-455.
- [3] 谈正强. 燃煤电厂脱硫废水深度处理技术研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(4):4.
- [4] 王彤, 邱文瀛. 燃煤电厂脱硫废水零排放处理及资源化利用技术研究[J]. 电力设备管理, 2025(13).
- [5] 丁韶南. 火电厂脱硫废水的处理及其效果[J]. 山西化工, 2024,44(05):254-257.