

# 火电厂脱硫废水蒸发工艺及对烟气除尘脱硫的影响研究

王经经 王颖洁 李志颖 朱长治

内蒙古上都发电有限责任公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17544

**[摘要]** 在我国能源结构中,火电仍占据主导地位,但燃煤发电产生的脱硫废水处理难题日益凸显。本文聚焦火电厂脱硫废水处理,深入探讨其蒸发工艺及对烟气除尘脱硫的影响。首先概述脱硫废水的来源、成分特性与处理必要性;接着详细介绍直接烟道喷雾蒸发、旁路烟道喷雾蒸发、低温多效蒸发浓缩等主流蒸发工艺;然后分析脱硫废水蒸发对烟气除尘效率、除尘器运行、烟气温度湿度、粉煤灰物性及脱硫系统等多方面的影响;最后提出雾化粒径控制、烟气温度调控、水质调质处理、设备防腐优化、智能控制系统等优化措施,为火电厂脱硫废水处理与烟气净化提供参考。

**[关键词]** 火电厂; 脱硫废水; 蒸发工艺; 烟气除尘; 脱硫效率

**中图分类号:** X773 **文献标识码:** A

## Research on Desulfurization Wastewater Evaporation Process and Its Impact on Flue Gas Dust Removal and Desulfurization in Thermal Power Plants

Jingjing Wang Yingjie Wang Zhiying Li Changzhi Zhu

Inner Mongolia Shangdu Power Generation Co., Ltd.

**[Abstract]** In China's energy structure, thermal power still plays a dominant role, but the challenge of treating desulfurization wastewater generated from coal-fired power generation is becoming increasingly prominent. This paper focuses on the treatment of desulfurization wastewater in thermal power plants, delving into its evaporation processes and their impacts on flue gas dust removal and desulfurization. First, it provides an overview of the sources, composition characteristics, and necessity for treatment of desulfurization wastewater. Then, it details mainstream evaporation processes such as direct flue gas spray evaporation, bypass flue gas spray evaporation, and low-temperature multi-effect evaporation concentration. Subsequently, the paper analyzes the multi-faceted impacts of desulfurization wastewater evaporation on flue gas dust removal efficiency, dust collector operation, flue gas temperature and humidity, fly ash properties, and the desulfurization system. Finally, optimization measures are proposed, including atomized droplet size control, flue gas temperature regulation, water quality conditioning, equipment corrosion protection optimization, and intelligent control systems, providing references for desulfurization wastewater treatment and flue gas purification in thermal power plants.

**[Key words]** Thermal Power Plant; Desulfurization Wastewater; Evaporation Process; Flue Gas Dust Removal; Desulfurization Efficiency

## 引言

随着我国电力行业的持续发展,火电厂作为电力供应的主力军,其污染物排放问题备受关注。脱硫废水作为火电厂运行过程中产生的特殊废水,含有大量重金属、悬浮物及高浓度盐分等有害物质,若未经有效处理直接排放,将对环境造成严重污染。同时,脱硫废水处理方式与烟气除尘脱硫效果紧密相连。目前,蒸发工艺在脱硫废水处理中应用广泛,但该工艺对烟气除尘脱硫系统的影响尚不明确。因此,深入研究火电厂脱硫废水蒸发工艺及其对烟气除尘脱硫的影响,对于实现火电厂节能减排、绿色发

展具有重要意义。

## 1 火电厂脱硫废水概述

### 1.1 脱硫废水的来源

火电厂脱硫废水主要源自湿法脱硫系统,具体包括吸收塔排放废水、石膏脱水系统废水及设备冲洗废水等。吸收塔在吸收烟气中二氧化硫的过程中,会不断积累杂质与盐分,需定期排放部分废水以维持系统稳定运行。石膏脱水系统在脱水过程中,部分水分与杂质会随滤液排出形成废水。此外,设备冲洗过程中产生的冲洗水也含有一定量的污染物,需一并处理。

### 1.2 脱硫废水的成分特性

火电厂脱硫废水成分复杂, 含有大量悬浮物、重金属离子(如汞、铅、镉等)、高浓度盐分(如氯化物、硫酸盐等)及有机物等。这些成分使得脱硫废水具有高浊度、高盐度、高腐蚀性及生物毒性等特点, 直接排放将对环境造成严重污染。同时, 废水中的高浓度盐分与重金属离子还可能对处理设备造成腐蚀与结垢, 影响处理效果与设备寿命。

### 1.3 脱硫废水处理的必要性

火电厂脱硫废水若未经有效处理直接排放, 将对水体、土壤及大气环境造成严重污染, 破坏生态平衡, 危害人类健康。同时, 随着环保法规的日益严格, 火电厂对废水排放的要求也越来越高。因此, 对脱硫废水进行科学合理的处理与处置, 不仅有助于减少环境污染, 保护生态环境, 还能满足火电厂的环保合规要求, 提升企业形象与竞争力。此外, 通过废水处理与回用, 还能实现水资源的循环利用, 降低生产成本, 促进火电厂的可持续发展<sup>[1]</sup>。

## 2 火电厂脱硫废水蒸发工艺

### 2.1 直接烟道喷雾蒸发技术

直接烟道喷雾蒸发技术是将脱硫废水通过高压泵输送至雾化装置, 经雾化喷嘴将其雾化成极细小的液滴, 直接喷入火电厂烟道内。烟道内高温烟气(一般在120~180℃)提供热量, 使液滴迅速汽化蒸发, 废水中的水分转化为水蒸气随烟气排出, 而盐分等杂质则结晶析出, 随粉煤灰一同被后续的除尘器捕集。该技术优势显著, 无需额外热源, 充分利用了烟道余热, 降低了能源消耗与运行成本; 工艺流程简单, 设备占地面积小, 易于布置。然而, 它也存在一些不足。由于烟道内环境复杂, 烟气温度、流速波动较大, 会影响废水雾化效果与蒸发效率, 可能出现液滴未完全蒸发就到达除尘器的情况, 导致设备腐蚀与结垢。此外, 对废水水质要求较高, 若悬浮物含量过高, 易堵塞雾化喷嘴, 影响系统稳定运行。

### 2.2 旁路烟道喷雾蒸发技术

旁路烟道喷雾蒸发技术是火电厂脱硫废水处理的一种有效方式。该技术从主烟道引出一股高温烟气至专门设置的旁路烟道, 脱硫废水经处理后, 通过雾化装置被雾化成微小液滴, 喷入旁路烟道内。在旁路烟道中, 高温烟气与雾化后的废水液滴充分接触, 利用烟气的热量使液滴迅速蒸发。水分以水蒸气的形式随烟气排出, 而废水中的盐分等杂质则结晶析出, 附着在旁路烟道内壁或随气流进入后续的除尘设备被捕集。此技术的优势在于能独立调控旁路烟道的烟气参数, 如温度、流速等, 可根据废水水量和水质灵活调整, 保证良好的雾化与蒸发效果, 减少对主烟道运行的干扰。不过, 它也存在一些缺点。建设旁路烟道及相关设备增加了投资成本和占地面积; 而且旁路烟道的密封性和保温要求严格, 若密封不佳会导致烟气泄漏, 保温不好会造成热量损失, 影响蒸发效率, 增加运行能耗。

### 2.3 低温多效蒸发浓缩技术

低温多效蒸发浓缩技术是火电厂脱硫废水处理中一项高效

且应用前景广阔的工艺。该技术基于多效蒸发原理, 将多个蒸发器串联起来, 利用低温蒸汽(一般低于70℃)作为加热热源, 对脱硫废水进行逐级蒸发浓缩。在运行过程中, 脱硫废水依次流经各个蒸发器, 在每一效中, 废水吸收蒸汽的热量, 部分水分蒸发变为水蒸气, 而盐分等杂质则不断浓缩。前一效产生的二次蒸汽作为下一效的加热蒸汽, 如此循环利用, 提高了能源的利用效率。低温多效蒸发浓缩技术的优势明显, 低温运行条件减轻了对设备的热腐蚀, 延长了设备的使用寿命; 能实现废水的高倍浓缩, 大幅减少后续处理的水量, 降低处理成本。然而, 该技术也存在一些不足。其设备投资较大, 包括多个蒸发器、换热器等, 建设成本较高; 同时, 蒸发过程中易产生结垢现象, 需要定期进行化学清洗或机械除垢, 增加了运行维护的难度和成本, 对操作人员的技术水平要求也相对较高<sup>[2]</sup>。

## 3 脱硫废水蒸发对烟气除尘脱硫的影响

### 3.1 对烟气除尘效率的影响

脱硫废水蒸发过程会对烟气除尘效率产生多方面影响。当采用烟道喷雾蒸发技术时, 雾化后的废水液滴与烟气中的粉尘颗粒相互碰撞、吸附, 在一定程度上增加了粉尘颗粒的粒径和质量, 有利于除尘器对粉尘的捕集, 可能提高除尘效率。然而, 若废水雾化效果不佳, 出现较大液滴, 未完全蒸发就到达除尘器, 会使烟气湿度增大, 导致粉尘黏性增强, 容易在除尘器极板或滤袋上黏附, 形成粉尘层, 阻碍后续粉尘的捕集, 反而降低除尘效率。

### 3.2 对除尘器运行的影响

脱硫废水蒸发对除尘器运行影响显著。一方面, 废水蒸发增加的烟气湿度可能使电除尘器的极板、极线表面形成一层水膜, 降低电晕放电效果, 影响除尘器的电场特性, 导致除尘效率下降, 同时增加电除尘器的能耗。对于布袋除尘器, 高湿度烟气会使滤袋表面糊袋, 增加阻力, 缩短滤袋使用寿命。另一方面, 废水蒸发后析出的盐分等杂质, 可能随烟气进入除尘器, 在设备内部沉积, 造成设备腐蚀和磨损, 影响除尘器的正常运行, 增加设备的维护成本和停机检修时间。

### 3.3 对烟气温度和湿度的影响

脱硫废水蒸发会改变烟气的温度和湿度。在烟道喷雾蒸发过程中, 废水吸收烟气热量而蒸发, 会使烟气温度有所降低, 降低幅度取决于废水水量、蒸发效率等因素。同时, 废水蒸发向烟气中引入了大量水蒸气, 显著增加了烟气的湿度。烟气温度降低和湿度增加会对后续的烟气处理设备和工艺产生连锁反应。例如, 低温高湿烟气可能使脱硫塔内的脱硫剂活性降低, 影响脱硫效果; 还可能在烟道和设备内壁产生冷凝水, 加剧设备腐蚀, 影响整个烟气处理系统的稳定运行。

### 3.4 对粉煤灰物性的影响

脱硫废水蒸发对粉煤灰的物性产生一定改变。废水蒸发后析出的盐分等杂质会附着在粉煤灰颗粒表面或填充在颗粒间隙中, 改变粉煤灰的化学成分和微观结构。这可能导致粉煤灰的粒度分布发生变化, 细颗粒含量增加, 影响其流动性和堆积密度。在化学性质方面, 粉煤灰的活性可能受到影响, 降低其在水泥、混凝

土等建筑材料中的利用价值。此外,杂质的存在还可能使粉煤灰的颜色变深,影响其外观品质,对粉煤灰的综合利用和商品化产生不利影响。

### 3.5对脱硫系统的影响

脱硫废水蒸发对脱硫系统的影响不容忽视。废水蒸发引入的盐分等杂质进入脱硫系统后,会在脱硫塔、循环泵、喷嘴等设备内沉积结垢,导致设备阻力增加、流量减小,影响脱硫系统的正常运行。同时,杂质还可能影响脱硫剂的溶解和反应活性,降低脱硫效率,增加脱硫剂的消耗量。此外,废水蒸发增加的烟气湿度可能使脱硫塔内的液气比发生变化,影响传质效果,进一步影响脱硫效果。若脱硫效率下降,可能导致烟气中二氧化硫排放超标,面临环保处罚风险,给火电厂的正常生产带来不利影响<sup>[3]</sup>。

## 4 脱硫废水蒸发对烟气除尘脱硫的优化措施

### 4.1雾化粒径控制

雾化粒径是影响脱硫废水蒸发效果与后续烟气处理的关键因素。若雾化粒径过大,废水液滴在烟道内难以充分蒸发,未蒸发的液滴携带杂质进入除尘器,会造成糊袋、结垢等问题,降低除尘效率,增加设备维护成本。而雾化粒径过小,虽蒸发速度快,但易被烟气携带至脱硫塔,影响脱硫剂活性。因此,需精准控制雾化粒径。可通过优化雾化喷嘴结构,选用先进的多级雾化喷嘴,利用其独特的内部流道设计,使废水在高压作用下形成均匀细小的液滴。同时,根据废水流量、压力及烟气参数,合理调整喷嘴的安装角度和间距,确保液滴在烟道内分布均匀,与高温烟气充分接触,提高蒸发效率,减少对除尘脱硫系统的不利影响。

### 4.2烟气温度调控

烟气温度对脱硫废水蒸发和烟气除尘脱硫效果影响显著。合适的烟气温度能保证废水迅速蒸发,同时避免设备因温度异常而受损。若烟气温度过高,会加速设备腐蚀和磨损,缩短设备使用寿命;温度过低,则废水蒸发不充分,易产生结露现象,导致粉尘黏附、脱硫效率下降。可通过调节锅炉燃烧工况、引风机频率等方式,精准控制进入蒸发区域的烟气温度。还可设置烟气余热回收装置,将高温烟气的热量回收利用,在满足废水蒸发需求的同时,降低能源消耗,提高系统经济性。

### 4.3水质调质处理

脱硫废水成分复杂,含有大量重金属、盐分和悬浮物等杂质,直接蒸发会对除尘脱硫系统造成严重危害。因此,需对废水进行水质调质处理。可采用化学沉淀法,向废水中添加石灰乳、絮凝剂等药剂,使重金属离子形成沉淀,悬浮物凝聚成较大颗粒,然后通过沉淀、过滤等工艺去除。还可利用离子交换、膜分离等技术进一步去除废水中的盐分和有害物质,降低废水硬度,提高

水质。经过调质处理后的废水,在蒸发过程中可减少结垢、腐蚀等问题,降低对除尘器、脱硫塔等设备的损害,保障系统的稳定运行。

### 4.4设备防腐优化

脱硫废水蒸发过程中产生的酸性、腐蚀性物质会对设备造成严重腐蚀,影响设备性能和使用寿命。为优化设备防腐,可从材料选型和表面处理两方面入手。在材料选型上,优先选用耐腐蚀性能好的材料,如不锈钢、玻璃钢、镍基合金等,用于制造与废水直接接触的设备部件,如蒸发器、喷嘴、管道等。在表面处理方面,可采用涂刷防腐涂料、电镀、热喷涂等工艺,在设备表面形成一层致密的保护膜,隔绝腐蚀性介质与设备的接触。同时,优化设备结构设计,避免出现积液、缝隙等容易产生腐蚀的部位,减少腐蚀的发生。

### 4.5智能控制系统

引入智能控制系统可实现对脱硫废水蒸发和烟气除尘脱硫过程的自动化、精准化控制。通过安装各类传感器,实时监测废水流量、雾化粒径、烟气温度、湿度、除尘器阻力等关键参数,并将数据传输至控制中心。控制中心根据预设的工艺参数和模型,对系统进行自动调节和优化。根据除尘器阻力自动调整清灰周期和强度,保证除尘效果。智能控制系统还可实现远程监控和故障诊断,及时发现和处理异常情况,提高系统的自动化水平和运行稳定性,降低人工操作强度和运行成本<sup>[4]</sup>。

## 5 结束语

火电厂脱硫废水蒸发工艺作为应对废水处理难题、实现资源高效利用的关键技术,在环保要求日益严苛的当下意义重大。并研究深入剖析了多种蒸发工艺特点,明确了其优势与局限。同时,全面探讨了该工艺对烟气除尘脱硫的多维度影响,涵盖除尘效率、设备运行、烟气特性等方面。通过研究可知,合理应用蒸发工艺并采取针对性优化措施,可有效降低其对除尘脱硫的负面影响。未来,需持续创新工艺、完善控制策略,推动火电厂在环保达标的同时,实现经济与生态效益的双赢,为行业可持续发展筑牢根基。

### [参考文献]

- [1] 骆飞,路鹏程.燃煤电厂脱硫废水处理及资源化利用技术研究[J].清洗世界,2024,40(07):217-219.
- [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):172-174.
- [3] 李刚.燃煤电厂脱硫废水烟道蒸发“零排放”工艺分析[J].山西化工,2024,44(06):285-287.
- [4] 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.