

# 燃煤电厂脱硫废水零排放与资源化协同处理技术的实践与应用

朱磊

新疆天富环保科技有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i1.19028

**[摘要]** 石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术作为当下常用的烟气脱硫方法,具有脱硫效果好、适用性强的优势,但运行过程中会持续产生脱硫废水。该废水水质水量受煤种特性、石灰石品质、脱硫工艺参数等影响较大,成分复杂且盐分浓度高,处理难度较高。为提升脱硫废水处理效率,实现废水零排放和资源化利用目标,本文结合某燃煤电厂2×660MW机组改造项目,系统分析脱硫废水零排放和资源化协同利用的技术改造要点,经验证,该技术方案可有效提升废水利用率,降低危废处理成本。

**[关键词]** 脱硫废水; 零排放; 资源化利用; 浓缩闪蒸蒸发; 盐碱地改良

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** A

## Practice and Application of Synergistic Treatment Technology for Zero Discharge and Resource Utilization of Desulfurization Wastewater in Coal-Fired Power Plants

Lei Zhu

Xinjiang Tianfu Environmental Protection Technology Co., Ltd.

**[Abstract]** As a commonly used flue gas desulfurization method at present, the limestone-gypsum wet flue gas desulfurization technology has the advantages of good desulfurization effect and strong applicability, but it continuously generates desulfurization wastewater during operation. The quality and quantity of the wastewater are greatly affected by coal characteristics, limestone quality, desulfurization process parameters, etc., with complex composition and high salt concentration, posing significant treatment challenges. To improve the treatment efficiency of desulfurization wastewater and achieve the goals of zero discharge and resource utilization, this paper systematically analyzes the key technical transformation points of synergistic zero discharge and resource utilization of desulfurization wastewater, combined with the renovation project of 2×660MW units in a coal-fired power plant. Verified, the technical scheme can effectively improve wastewater utilization rate and reduce hazardous waste treatment costs.

**[Key words]** desulfurization wastewater; zero discharge; resource utilization; concentration flash evaporation; saline-alkali land improvement

### 引言

随着环保法规的日益严格及“双碳”战略的推进,对燃煤电厂污染治理和节能降碳提出了更高的要求 and 标准。石灰石-石膏湿法脱硫技术作为燃煤电厂常用的烟气脱硫方案,该方案具有脱硫效率高、适用性强等特点,但该工艺在脱硫过程中产生的废水具有盐分浓度高、重金属与悬浮物超标、水质波动大等特性,处理难度非常大。在传统脱硫废水处理中,一般多是简单去除其中的污染物,会遗留较多的危废产物,同时水资源利用率也相对较低。因此,研发一套符合环保达标要求,又具有良好经济性的脱硫废水零排放与资源化协同处理技术,对于燃煤电厂的绿色转型发展具有积极促进作用。本文结合电厂机组改造项目,系统分析脱硫废水零排放和资源化协同处理的改造思路,以供参考。

### 1 煤电厂脱硫废水现阶段的处理工艺现状

某燃煤电厂2×660MW机组配套石灰石-石膏湿法脱硫装置,脱硫废水主要来源于吸收塔排水,日均产生量达400-500m<sup>3</sup>,废水中氯离子、重金属及悬浮物浓度远超标准要求,且盐量(TDS > 20000mg/L)。该电厂此前采用传统“三联箱+压滤”工艺处理脱硫废水,流程为:废水先进入中和箱,投加石灰乳调节pH值至9-10,去除部分氟离子与重金属;再进入絮凝箱,投加聚合氯化铝(PAC)与聚丙烯酰胺(PAM)形成絮体;最后进入沉淀箱,絮体沉降形成污泥,上清液经压滤机进一步脱水处理。

但该工艺处理后的废水仍存在高含盐量问题,且产生混盐危废,既无法满足零排放政策要求,又存在较高经济成本与环境风险,具体体现在:(1)废水处理成本过高、占地大。原工艺药

剂消耗量较大, 依赖MVR技术蒸发废水, 蒸汽消耗量大, 还需要第三方处置危废, 运行成本高昂。(2)混盐危废存在环境风险。压滤产生的污泥含高浓度盐分与微量重金属, 归类为HW48类危险废物且产量较大, 储存和转运过程中风险与成本较高。(3)未实现真正零排放。仅对废水进行预处理, 未形成完整水循环和污染消纳闭环。(4)系统适应性与稳定性不足。原有系统未考虑电厂负荷波动对废水量的影响, 负荷从60%升至100%时, 废水处理能力难以满足要求; 加药装置为固定流量设计, 无法根据水质变化动态调整投药量。为解决上述问题, 需对现有废水处理系统进行改造升级。

## 2 脱硫废水处理系统的零排放与资源化协同改造思路

电厂脱硫废水处理系统改造以“分质处理、梯级利用、产物资源化”为核心原则, 构建“预处理+双路径处理+资源化闭环”的完整系统。改造方向包括三方面: 一是通过预处理去除重金属、污泥及杂质, 为后续分质处理奠定基础; 二是构建“直接回用”与“浓缩闪蒸蒸发”双路径, 分别处理低浓与高浓废水, 最大化减少污染物产生; 三是实现处理产物资源化, 形成“废水—干灰—资源”, 将脱硫废水脱除的脱硫石膏进行综合利用改良盐碱地。

改造后的脱硫废水零排放与资源化协同处理工艺流程逻辑为: 脱硫废水→预处理系统去除重金属、污泥及杂质→过滤器和脱硫吸收塔浆液进行石膏脱除, 形成的高含盐(盐量20000mg/L)脱硫废水; 水根据氯离子浓度分为两路, 氯离子 $\leq 1500$ mg/L(工业中水或化学浓水)的进入路径一(吸收塔直接回用)经处理后用于消化利用, 而脱硫吸收塔浆液经石膏脱除后, 通过板框压滤机脱除固体物, 形成脱硫石膏(含水率 $\leq 5\%$ ); 氯离子 $> 20000$ mg/L的脱硫废水进入路径二(浓缩闪蒸蒸发), 脱硫滤液废水(已脱除石膏)经浓缩塔提效(浓缩2-5倍)后进入闪蒸干燥塔, 形成干灰; 石膏用于盐碱地改良或者水泥制作; 干灰通过正压浓相气力疏通系统, 输送至灰库进行合理处置, 通过此工艺, 利用浓缩塔预处理烟气余热进行浓缩蒸发5倍, 降低废水处理量, 降低运行成本, 减少固体废物产生量。

## 3 脱硫废水处理系统的零排放与资源化协同改造实施

### 3.1 预处理系统改造

预处理系统是双路径处理的基础, 核心功能为去除重金属、污泥及杂质, 改造内容包括优化过滤单元与完善辅助设施。原有预处理仅包含中和与絮凝沉淀, 本次将过滤单元的单层石英砂过滤器升级为双层滤料(石英砂+无烟煤)过滤器, 共2台, 单台处理能力 $50\text{m}^3/\text{h}$ , 过滤精度提升至 $5\ \mu\text{m}$ , 可将SS含量从200—300mg/L降至 $\leq 5$ mg/L, 避免后续回用管道与浓缩塔结垢; 需说明的是, 预处理装置仅能处理重金属、脱泥及杂质等, 无法有效降低氯离子。同时, 在预处理系统出口设置在线监测设备, 包括氯离子检测仪(测量范围0—5000mg/L)与SS检测仪(测量范围0—100mg/L), 实时传输数据至PLC控制系统, 为双路径切换提供依据。

### 3.2 工业中水直接回用至吸收塔系统

路径一的设计核心是利用吸收塔高温环境消耗废水, 减少后续处理量。中水(氯离子 $\leq 1500$ mg/L)作为吸收塔补水、冲洗除雾器使用(由吸收塔内70—80℃的烟气进行蒸发浓缩), 对工业园区工业中水处理厂处理的中水进行资源化消耗利用, 厂区化学产水产生的浓水一并进入吸收塔进行回用。化学浓(中)水处理单元包含软化澄清系统、过滤系统、超滤系统、反渗透系统等子系统。化学浓(中)水从电厂化学浓(中)水废水池输送至本工程化学浓(中)水调节池暂存, 然后加入氢氧化钠和碳酸钠, 输送到高密度沉淀池、变孔隙滤池、多介质过滤器和超滤装置去除SS。澄清后的出水通过过滤系统进入超滤单元, 超滤产水进入反渗透系统, 通过反渗透膜浓缩后的最终浓水回660MW脱硫使用, 产水回用至化水车间蓄水池、生水箱及水箱。

改造内容包括回用管道铺设、石膏脱除设施增设与控制逻辑优化: 在预处理系统与吸收塔之间铺设DN150回用管道, 配备变频泵与流量调节阀, 可根据吸收塔液位动态调整回用量; 新增污泥脱除相关设施, 确保脱硫吸收塔浆液经石膏脱除后, 通过板框压滤机有效脱除固体物。

### 3.3 路径二: 高浓废水浓缩闪蒸蒸发处理系统

路径二针对无法回用的高浓废水(氯离子 $> 20000$ mg/L、TDS $> 15000$ mg/L), 改造内容包括新增强制循环浓缩塔与旋风闪蒸干燥塔。浓缩塔采用玻璃钢材质, 耐高盐腐蚀, 通过相关工艺加热废水, 控制浓缩倍率为5倍, 将氯离子由20000mg/L浓缩至100000mg/L, 大幅减少后续干燥处理量。

闪蒸干燥塔采用碳钢材质, 直径4.0m、高度40m, 利用电厂锅炉空预器入口烟气余热(烟温320—390℃)作为热源, 脱硫滤液废水(已脱除石膏)通过离心泵加压送入旋风除尘器(12000r/min)雾化后送入塔内, 与高温烟气接触后10s内完成水分气化蒸发, 形成粉末状干灰因重力落入下部灰斗内; 干燥塔出口设置在锅炉空预器出口烟道, 无需除尘设备, 收集的干灰经正压浓相气力输送系统至干灰灰库内。该路径的核心运行参数控制为: 浓缩塔温度180℃—200℃、旋风除尘器转速12000r/min; 闪蒸干燥塔进口烟温120—130℃、出口烟温70—75℃, 确保水充分蒸发且避免干灰过热变质。

### 3.4 构建双路径协同与资源闭环管理体系

资源化闭环的核心是产物利用渠道建设, 一方面干灰减量合规处置与脱硫石膏的盐碱地改良综合利用, 其中钙离子可置换土壤中的钠离子, 降低土壤盐碱度; 另一方面与周边水泥厂合作, 将脱硫石膏作为建材辅料供应。此外, 预处理与浓缩塔产生的低氯滤液(氯离子 $\leq 1000$ mg/L)回流至脱硫塔作为补水或作为脱硫剂制浆用水, 进一步减少新鲜水用量。

## 4 改造后的脱硫废水处理系统运行效益

### 4.1 运行情况

系统经过半年以上连续运行, 截至2024年9月已稳定运行12个月, 核心参数达标率98%以上: 预处理后悬浮物(SS)含量稳定 $\leq 5$ mg/L; 路径一回用水氯离子浓度始终 $\leq 1500$ mg/L, 回用量稳

定在对应比例范围; 路径二浓缩塔浓缩倍率稳定在5倍, 闪蒸干燥塔产出干灰品质达标; 关键设备(浓缩塔、闪蒸干燥塔)故障率仅0.8%, 仅发生2次循环泵密封件更换, 未出现非计划停机; 系统自动化程度达90%以上, 仅需2名操作人员进行日常巡检与参数监控, 较原有工艺减少50%人工需求, 完全满足电厂长期稳定运行要求。

#### 4.2 运行效益

##### 4.2.1 经济效益

原有“三联箱+压滤”工艺综合处理成本约85-95元/吨废水, 其中药剂(石灰、PAC、PAM)、MVR技术蒸汽消耗与HW48类危废委外处置费用占比超80%。新系统投运后, 综合处理成本降至35-45元/吨废水, 降幅超50%。同时, 闪蒸干燥塔日均产生1吨高品质干灰, 由电厂灰厂进行统一填埋处理, 每月一车, 脱硫石膏产量满足对应需求, 均完全符合盐碱地改良与水泥缓凝剂的品质要求; 系统预处理与浓缩塔产生的低氯滤液(氯离子 $\leq 1000\text{mg/L}$ )回流至脱硫塔作为补水或作为脱硫剂制浆用水, 进一步降低电厂水资源取用成本。

##### 4.2.2 环境与社会效益凸显

全厂脱硫废水经新系统处理后, 实现厂内闭环销号, 完全满足国家脱硫废水零排放政策要求。改造后系统不再产生需委外处置的HW48类混盐危废, 废水中高盐分、重金属等污染物通过浓缩闪蒸固化进入干灰与石膏, 高含盐干灰产量不断降低, 每日约

产生13~14吨干灰。

## 5 结语

脱硫废水零排放与资源化协同处理是燃煤电厂绿色低碳发展和响应国家“双碳”目标的必然要求和关键举措。在具体改造过程中, 应以资源闭环为核心, 结合机组实际情况合理优化工艺技术, 在做好废水处理的同时, 提升附加产品价值。随着环保要求的不断提升和资源化利用技术的进步, 今后可围绕提升蒸发结晶能效、开发更高纯度分盐技术等方面进行创新改造, 推动电力工业绿色可持续发展。

## [参考文献]

[1]舒国铭. 燃煤电厂脱硫废水零排放处理工艺的应用研究进展[J]. 石化技术, 2024, 31(10): 257-259+268.

[2]陈育豪. 燃煤电厂脱硫废水零排放预处理工艺的优化改造[J]. 资源节约与环保, 2024, (09): 37-40.

[3]刘静颖, 贾阳杰, 杨凤玲, 等. 燃煤电厂脱硫废水零排放预处理工艺研究进展[J]. 无机盐工业, 2023, 55(12): 12-25.

[4]梁大新. 燃煤电厂脱硫废水零排放工艺路线研究解析[J]. 电气技术与经济, 2023, (01): 131-132+141.

## 作者简介:

朱磊(1988—), 男, 汉族, 江苏省睢宁县人, 大学本科, 工程师(中级), 研究方向: 电力、环保脱硫、电除尘器、电厂废水处理、电厂节能暖风器余热利用。