

一体化脱硫废水处理技术的应用

郑文静

阜新发电有限责任公司, 辽宁 阜新 123003

摘要: 阜新发电有限责任公司2×350MW 机组2×200MW 机组脱硫系统均采用石灰石-石膏湿式烟气脱硫工艺, 脱硫废水处理系统一直实现稳定运行、废水处理效果良好, 本文旨在通过对阜新发电有限责任公司原脱硫废水系统“废水缓冲箱+三联箱(中和箱+沉淀箱+絮凝箱)+澄清器+清水箱”工艺所发现的问题、脱硫废水处理的必要性进行探讨, 对脱硫废水改造的方案“一体化脱硫废水处理技术”进行论述、对一体化脱硫废水处理技术的有效、运行稳定的效果进行总结。

关键词: 脱硫废水; 一体化处理; 稳定运行; 水质

Application of Integrated Desulfurization Wastewater Treatment Technology

Zheng Wenjing

Fuxin Power Generation Co., Ltd. Fuxin, Liaoning 123003

Abstract: The desulphurization system of 2*350MW units and 2*200MW units of Fux Power Generation Co., Ltd. both adopt the limestone-gypsum wet flue gas desulphurization process. The wastewater treatment system of desulphur has been stable and the treatment effect of wastewater is good. This paper aims to discuss the problems found in the original desulphurization wastewater system of Fin Power Generation Co., Ltd., which is "wastewater buffer tank three-in-one box (neutralization box sedimentation box flocculation) clarifier clear water box", the necessity of treating desulphurization wastewater, and the scheme of desulphurization wastewater transformation "egrated desulphurization wastewater treatment technology", as well as to summarize the effectiveness and stable operation of the integrated desulphurization wastewater treatment technology.

Keywords: desulfurization wastewater; integrated treatment; stable operation; water quality

一、背景分析

燃煤火电厂在全球能源供应体系中占据举足轻重的地位。作为传统的能源转换方式, 燃煤火电以其稳定的供电能力和相对低廉的成本, 长期以来一直是许多国家电力供应的主力军。^[1]但燃煤火电厂的污染物排放问题不容忽视, 煤炭在燃烧过程中, 会释放出大量的二氧化硫等污染物, 对大气环境造成污染, 对人类健康和生态系统构成严重威胁。^[2]

脱硫技术是燃煤火电厂减少烟气中有害物质排放的关键技术, 可以有效地去除烟气中的二氧化硫等有害物质, 从而降低其对环境的污染。^[3]

阜新发电有限责任公司作为辽宁省阜新市传统燃煤火电厂, 目前在运机组为2台200MW 机组(01号、02号), 2台350MW 机组(03号、04号), 装机总容量1100MW。4台机组都采用石灰石-石膏湿法脱硫设施, 01、02号机组为脱硫两炉一塔设置, 配置脱硫公用系统; 03号、04号机组脱硫为一炉一塔设置, 配置脱硫公用系统。目前4台机组排放的二氧化硫都可以实现超低排放。

03、04号机组脱硫废水处理工艺为“废水缓冲箱+三联箱(中和箱+沉淀箱+絮凝箱)+澄清器+清水箱”工艺。01、02号机组脱硫装置产生的脱硫废水排入除尘器下水力冲灰系统的灰沟并可以去03、04号机组脱硫废水处理系统。脱硫废水系统投运后, 开开停停, 没有实现连续正常运行, 系统一直处于半投入状态, 运行稳定性差, 出水水质不稳定, 抗负荷能力强差, 受水质变化影响

大, 脱硫废水澄清池出水浑浊, 经常有“翻池”现象, 造成脱硫废水无法正常投运。脱硫废水出水污染物也无法实现稳定达标。

2019年, 结合01、02号机组烟气脱硫超低排放的改造工程, 对脱硫废水系统进行改造, 改造工艺采用“一体化”改造技术路线。改造后实现脱硫废水水质指标稳定达到排放标准。本文旨在通过对原脱硫废水系统存在的问题进行探讨, 对实现脱硫废水处理有效、运行稳定的效果进行总结。

二、原脱硫废水系统概况及存在问题

(一) 脱硫废水处理的必要性

当烟气逆向经过脱硫塔进行气液接触时, 大量的二氧化硫被吸附并最终去除, 烟气中的少量氯离子和氟离子也同时被吸附。当脱硫系统循环运行的时候, 氯离子和氟离子将会在浆液中富集。氟离子会和浆液中的铝联合作用致使石灰石的溶解性降低, 从而影响脱硫效率。氯离子含量的增高不仅使设备材料腐蚀加剧, 石膏品质降低, 而且直接导致脱硫率的下降和硫酸钙结垢倾向增强。

湿法脱硫废水的主要特征是呈现弱酸性; 悬浮物高, 但颗粒细小, 主要成分为粉尘和脱硫产物, 含有可溶性的氯化物和氟化物、硝酸盐等, 还有Hg、Pb、Cu、Cd、Zn等重金属离子。^[4]

脱硫废水的处理技术基于废水的排放性质, 采用物化法针对不同类型的污染物, 分别创造合宜的理化反应条件, 使之予以彻底去除。^[5]

作者简介: 郑文静(1991.02-), 汉族, 大学本科, 研究方向: 火电企业环保方面, 现就职于阜新发电有限责任公司, 工程师。

(二) “三联箱” 脱硫废水的处理过程

脱硫废水预处理：废水处理系统分为中和、沉降、絮凝、浓缩澄清几个步骤，以减少废水中的悬浮物，提高废水 pH 值。^[6]从脱硫工艺楼来的废水进入脱硫废水前池，通过输送泵将脱硫废水输送至脱硫废水预处理区域的脱硫废水缓冲池。通过池内一级废水输送泵送至一级反应器。脱硫废水缓冲池设曝气搅拌装置，防止悬浮物沉降。

(三) “三联箱” 脱硫废水系统主要设备

表1 原有的脱硫废水处理系统参数

| 序号 | 设备名称 | 参数 | 数量 |
|----|--------------|--|----|
| 1 | 中和箱 (搅拌器) | 容积: 6.36m ³ ; Φ1800×2500mm; 材质: 碳钢+树脂鳞片 (材料: 碳钢衬胶; 尺寸: Φ300; 搅拌速率: 80转/分, 电机功率: 1.5kW) | 1 |
| 2 | 沉降箱 (搅拌器) | 容积: 6.36m ³ ; Φ1800×2500mm; 材质: 碳钢+树脂鳞片 (材料: 碳钢衬胶; 尺寸: Φ680; 搅拌速率: 80转/分; 电机功率: 2.2kW) | 1 |
| 3 | 絮凝箱 (搅拌器) | 容积: 6.36m ³ ; Φ1800×2500mm; 材质: 碳钢+树脂鳞片 (材料: 碳钢衬胶; 尺寸: Φ680; 搅拌速率: 80转/分; 电机功率: 2.2kW) | 1 |
| 4 | 澄清器 | 95m ³ ; 外径: φ10米 内径: φ9米, h6米; 材质: 钢筋砼 | |
| 5 | 有机硫加药装置 | | |
| | 有机硫加药溶液箱 | V=1.08m ³ ; Φ=1100mm; L=1500mm; 材料: 钢衬胶 | 1 |
| | 有机硫计量泵 | 隔膜计量泵, ; 输送量: Q=18 l/h; P=0.3 MPa; 过流部分材料: PVC; 电机功率: 0.25KW; 带变频器 | 2 |
| 6 | 石灰加药装置 | | |
| | 石灰浆液计量箱 | V=7.0m ³ Φ2.0×2.5m | 1 |
| | 石灰乳制备箱 | V=5.0m ³ Φ1.8×2.0m | 1 |
| | 石灰浆投加泵1# | 计量泵; 输送量: Q=120L/h; P=0.30 MPa; 过流部分材料: 碳钢; 电机功率: 0.55KW; 带变频器 | 2 |
| | 石灰浆投加泵2# | 螺杆泵; Q=5m ³ /h; H=15M; N=3KW; 带变频器 | 2 |
| | 石灰浆投加泵3# | 螺杆泵; Q=3.6m ³ /h; H=18M; N=2.2KW; 带变频器 | 2 |
| 7 | 絮凝剂加药装置 | | |
| | 絮凝剂加药箱 | 净容量1.06m ³ , φ950mm×1500mm, 材质: 钢衬玻璃布 | 1 |
| | 絮凝剂计量泵 | 隔膜计量泵, 流量50L/h, P=0.3Mpa, N=0.25kW, 泵头材质: PVC | 2 |
| 8 | 盐酸加药装置 | | |
| | 计量箱 | 净容量3m ³ , φ1600mm×2000mm, 材质: 玻璃钢 | 1 |
| | 计量泵 | 隔膜式, 流量200L/h, P=0.30Mpa, 材料: PVC, N=0.25kW | 2 |
| 9 | 出水箱 (搅拌器) | φ2.0*3.5 M 容积: 10.0M ³ ; 材料: 碳钢+树脂鳞片 材料: 碳钢衬胶; 尺寸: Φ400; 搅拌速率: 80转/分; 电机功率: 1.5KW | 1 |
| 10 | 出水输送泵 | 流量: Q=26m ³ /h; 扬程: 30mH; 碳钢衬胶; 电机功率: 45KW | 2 |

| 序号 | 设备名称 | 参数 | 数量 |
|----|--------|--|----|
| 11 | 离心式脱水机 | 处理能力: 6m ³ /h 功率: 11KW | 1 |
| 12 | 泥斗 | 容积: 10m ³ 功率: 3KW 材质: 钢涂防腐漆 | 1 |

(四) “三联箱” 脱硫废水系统存在的问题

废水系统排出水质问题：悬浮物超标、COD 超标、个别重金属超标。^[7]

当大流量脱硫废水进入到处理系统后，设计的加药量、排泥量均不能满足大流量废水的要求，导致出水水质变差；其次，排放流量偏大缩短了废水在系统停留反应的时间，使重金属和悬浮物不能较好地沉淀、絮凝。

脱硫废水原水含固率超标，造成脱硫废水中固体物质的实际浓度过高，这将导致脱硫废水处理系统出力不足，严重的会导致脱硫废水处理系统瘫痪。

脱硫废水原处理系统复杂，大小主体设备20余种，人工调整难度大。

加药系统管道堵塞。絮凝剂、助凝剂计量箱出口管道经常堵塞现象，导致系统不能正常调节，出水水质变差影响达标排放。

药剂种类多（超过5种），加药稳定性差，加药系统故障多，对系统波动适应能力差。

污泥难处理，离心机，压滤机故障率高，卸泥困难。

越来越多的现场存在吸收塔结晶粒度细化的问题，细化后原废水处理系统几乎无法工作。

总之，“三联箱”工艺加药系统设备多，运行维护工作量大，加药工作繁琐，国内各电厂脱硫废水处理设施普遍的投入不好，有必要对现有脱硫废水处理系统进行改造。^[9]

三、一体化脱硫废水处理技术

(一) 处理工艺

(1) 工艺原理

推荐采用一体化脱硫废水处理工艺。

一体化脱硫废水处理系统所投加药剂为一体吸附絮凝剂，设计的投加量范围为300ppm ± 20%。

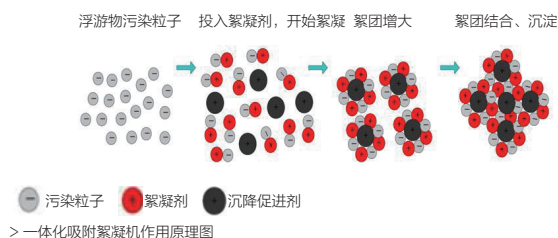
该药剂为中性无机绿色环保吸附絮凝剂，以极具吸附能力的天然矿物质材料为原料，具备显著的去除 COD、磷、SS、亚硝态氮、重金属等污水中有害物质的能力。以单一药剂替代传统加药方式中复杂的药剂制度，降低药剂成本，简化工艺，提升絮凝沉降效果，并易于实现流程波动时的水质控制。同时，重金属一经沉降，永远不再析出，污泥实现无害化。

其基本作用原理以及性能如下：

固体悬浮物去除原理

污水中的大粒子随着时间的推移而会沉淀，但是10微米以下的带有负电荷的[污染粒子]会相互排斥，难以沉淀，始终漂浮在水中，使水浑浊。

一体化吸附絮凝剂利用混合了带有（产生）正电荷的物质、吸附污染物的物质、促进沉淀的物质等多种天然矿物质的粉体，进入漂浮在污水中的[污染粒子]之间，使它们迅速絮凝、沉淀从而分离成清水和污泥。



(2) 工艺特点

工艺流程短、操作强度小，设备构成简单，可完全替代传统“三联箱”系统，且出水指标及抗波动能力远优于传统废水处理系统，有效解决脱硫废水达标排放问题。

只投加单一药剂，即可解决脱硫废水排放的问题，运行操作简便，抗水质波动能力强，药剂用量小，常规废水投加量为 300g/m³，按废水最大处理量 15m³/h，每天处理量 360 m³，每天加药量为 108kg。

药剂对污泥起到一定调理作用，增加了其疏水性，可直接进入真空皮带脱水机进行脱水单元操作。

(二) 高效复合絮凝剂

高效复合絮凝剂的合理采用是本处理工艺的技术关键。

化学成分主要包含：聚丙烯酰胺，聚二甲基二烯丙基氯化铵。其化学特征无毒、对人体健康无影响，不具有易燃性，具有化学稳定性。

一体化脱硫废水处理系统所投加药剂为一体化吸附絮凝剂，其成分可根据现场水质情况进行专门配制。预计投加量范围为 300ppm ± 20%。

四、一体化脱硫废水处理技术的改造方案

在原有的“三联箱”系统上改造，尽可能利用原有设备。在现有沉降箱顶部增设药剂投加机，更换现有沉降箱搅拌器为高剪切强度搅拌机；增设“清水泵出水回流至沉降箱”管道以及阀门；更换现有澄清器为“高效旋流澄清器”；污泥泵出口管道接入真空皮带脱水机。

脱硫废水进入现有沉降箱的同时，通过药剂投加机向沉降箱中投加“无机高效吸附剂”，并利用更换的“高剪切强度搅拌机”对药剂和脱硫废水进行充分混合分散，并在其中进行完全反应。

反应后，废水进入絮凝箱，通过现有搅拌机实现二级慢速搅拌，使得絮团更好的长大，之后进入新更换“高效旋流澄清器”中，完成泥水分离。通过增设的污泥排放管道，底流污泥可直接接入真空皮带脱水机进行脱水，并与石膏掺混外运。最终达到处理净化脱硫废水的目的。

五、一体化脱硫废水处理技术的效果分析

(一) 改造后的出水指标

脱硫废水出水满足国家标准《污水综合排放标准》(GB8978-1996)的要求。^[8]

表2 改造后的脱硫废水处理出水参数

| 项目 | 单位 | 脱硫废水处理出水 | GB8978 |
|-------------------------|------|----------|--------|
| pH | -- | 7.2 | 6~9 |
| 悬浮物 | mg/L | 18.78 | 70 |
| 化学需氧量 COD _{Cr} | mg/L | 46.15 | 100 |

| 项目 | 单位 | 脱硫废水处理出水 | GB8978 |
|-------|------|----------|--------|
| 总汞 Hg | mg/L | 0.02 | 0.05 |
| 总镉 Cd | mg/L | 未检出 | 0.1 |
| 总铅 Pb | mg/L | 0.06 | 1.0 |
| 总锌 Zn | mg/L | 0.33 | 2.0 |
| 总镍 Ni | mg/L | 0.10 | 2.0 |
| 总砷 As | mg/L | 0.10 | 0.5 |

(二) 运行成本与原有系统的比较

表3 一体化脱硫废水处理工艺与“三联箱”处理工艺加药成本比较

| 工艺 | 药品 | 水量 (m ³ /h) | 浓度 (mg/L) | 加药量 (kg/h) | 单价 (万元/t) | 小时成本 (元/h) | 吨水成本 (元/t) |
|-----|--------|------------------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|
| 一体化 | 一体化药剂 | 15 | 300 | 4.5 | 3 | 135 | 9.0 |
| | 石灰 | 15 | 1500 | 22.5 | 0.07 | 15.75 | |
| 三联箱 | 次氯酸钠溶液 | 15 | 50 | 0.75 | 0.2 | 1.5 | |
| | 絮凝剂 | 15 | 1000 | 15 | 0.2 | 30 | |
| | 助凝剂 | 15 | 200 | 3 | 2 | 60 | |
| | 有机硫 | 15 | 100 | 2 | 3 | 60 | |
| 合计 | | | | | | 167 | 11.2 |

一体化脱硫废水处理工艺与“三联箱”处理工艺加药成本比较，一体化脱硫废水处理工艺成本明显降低。

六、结论

脱硫废水的处理主要针对的就是重金属离子、酸根等等。原“三联箱”工艺流程中采用了中和、沉淀、絮凝的工艺化学流程，是传统的加药絮凝沉淀方法，此方法运行成本高，设备故障率高，投运率较低。^[9]

一体化脱硫废水处理系统改造达到了简化的目的。混合反应器只投放一种药剂，替代原有五种药剂制备及投放装置；循环过程少，减少大量泵及管道投入。底流污泥成稳定絮团，直接给入石膏真空皮带机，省去污泥脱水设备投入；重金属不再析出，污泥实现无害化处理。^[10]

阜新发电有限责任公司脱硫废水处理系统改造是成功的，经处理后的脱硫废水，其出水指标满足排放标准。脱硫废水处理工程的工程经验具有推广价值。

参考文献

- [1] 刘攀, 李静. 燃煤发电厂烟气在线监测系统与节能减排研究 [J]. 中国资源综合利用, 2021(7): 154-156.
- [2] 操斌, 张增利, 朱敬宏. 脱硫废水零排放处理技术 [J]. 中国氯碱, 2017(02)
- [3] 王金袖. 燃煤电厂三氧化硫排放在线监测技术研究 [D]. 华北电力大学, 2019.
- [4] 周至祥, 段建中, 薛建明. 火电厂湿法烟气脱硫技术手册 (M). 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [5] 孙少鹏, 朱文中, 蒋文, 胡清, 颜喜. 燃煤火力发电厂脱硫废水处理技术的研究 [J]. 节能与环保, 2015(09).
- [6] 苏颖, 马芳, 肖子博. 电厂废水处理及回用技术的研究进展 [J]. 资源节约与环保, 2016(05).
- [7] 王冬梅, 夏春雷, 崔伟强, 韩琳, 孙立娇, 郭鹏飞. 脱硫废水处理系统设计问题和运行难点对策分析 [J]. 水处理技术, 2015(12).
- [8] 污水综合排放标准 GB 8978-1996. (S).
- [9] 宋志强, 祁利明. 火力发电厂烟气脱硫废水处理工艺. 水处理技术. 2010(03).
- [10] 马双忱, 于伟静, 贾绍广, 柴峰, 张润盘. 燃煤电厂脱硫废水处理技术研究与运用进展 [J]. 化工进展, 2016(01).