

# 火电厂脱硫废水处理工艺的设计

马久力

(山西鲁能河曲发电有限公司, 山西 忻州 036500)

[摘 要] 文章首先介绍了脱硫废水处理技术原理, 在此基础上提出了一种使得脱硫废水达到排放标准的处理流程和药品添加方案, 在实际应用中取得良好的效果。

[关键词] 火电厂; 脱硫; 废水处理; 系统

[DOI] 10.13939/j.cnki.zgsc.2015.33.067

山西鲁能河曲发电有限公司脱硫废水系统自二期机组投产以来, 一直未能正常投入使用, 主要原因是脱硫系统排出的废水固含量太高, 同时存在阀门通流量过小、埋于地下的玻璃钢管道经常堵塞、三联箱容量小、脱泥机不能适应脱硫废水中的硅性晶状体固体物等多种因素。随着环境保护和可持续发展意识的日益加强, 脱硫废水需要经过处理, 使得废水达到《综合污水排放》的一级标准, 本文提出了一种脱硫废水处理工艺流程完满地解决了这一问题。

## 1 脱硫废水处理技术原理

### 1.1 废水中和

脱硫废水处理系统中的反应池是由 3 个隔槽组成的, 每个隔槽充满后自流进入下一个隔槽, 在脱硫废水进入第 1 隔槽的同时加入一定量的石灰浆液, 通过不断搅拌, 其 pH 值可从 5.5 左右升至 9.0 以上。

### 1.2 重金属沉淀

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  的加入不但升高了废水的 pH 值, 而且使  $\text{Fe}_3^+$ 、 $\text{Zn}_2^+$ 、 $\text{Cu}_2^+$ 、 $\text{Ni}_2^+$ 、 $\text{Cr}_3^+$  等重金属离子生成氢氧化物沉淀。一般情况下 3 价重金属离子比 2 价离子更容易沉淀, 当 pH 值达到 9.0~9.5 时, 大多数重金属离子均形成了难溶氢氧化物。同时石灰浆液中的  $\text{Ca}_2^+$  还能与废水中的部分  $\text{F}^-$  反应, 生成难溶的  $\text{CaF}_2$ ; 与  $\text{As}_3^+$  络合生成  $\text{Ca}(\text{AsO}_3)_2$  等难溶物质。此时  $\text{Pb}_2^+$ 、 $\text{Hg}_2^+$  仍以离子形态留在废水中, 所以在第 2 隔槽中加入有机硫化物 (TMT15), 使其与  $\text{Pb}_2^+$ 、 $\text{Hg}_2^+$  反应形成难溶的硫化物沉积下来。

### 1.3 絮凝反应

经前两步化学沉淀反应后, 废水中还含有许多细小而分散的颗粒和胶体物质, 所以在第 3 隔槽中加入一定比例的絮凝剂  $\text{FeClSO}_4$ , 使它们凝聚成大颗粒而沉积下来, 在废水反应池的出口加入阳离子高分子聚合电解质作为助凝剂, 来降低颗粒的表面张力, 强化颗粒的长大过程, 进一步促进氢氧化物和硫化物的沉淀, 使细小的絮凝物慢慢变成更大、更容易沉积的絮状物, 同时脱硫废水中的悬浮物也沉降下来。

### 1.4 浓缩/澄清

絮凝后的废水从反应池溢流进入装有搅拌器的澄清/

浓缩池中, 絮凝物沉积在底部并通过污泥输送泵输送至污泥调节池中, 污泥调节池的作用是作为板框压滤机的前端调节池, 可以调节污泥的性质等影响压滤机运行的因素, 从而起到保障压滤机系统正常运行的作用。另外, 污泥调节池的另一作用是为污泥系统提供缓冲空间, 保障澄清池内污泥的及时输出, 从而改善澄清池的内部运行环境, 达到对澄清池内部设备的保护。絮凝物在污泥调节池中再次通过污泥输送泵输送至箱式压滤机浓缩成污泥, 滤液水回流至三联箱。大部分污泥经污泥泵排到压滤机, 小部分污泥作为接触污泥返回废水反应池, 提供沉淀所需的晶核。上部净水通过澄清/浓缩池周边的溢流口自流到出水箱, 出水箱设置了监测净水 pH 值和悬浮物的在线监测仪表, 如果 pH 值和悬浮物达到排水设计标准则通过出水泵外排, 否则将其送回废水反应池继续处理, 直到合格为止。

## 2 试剂添加方案设计

### 2.1 盐酸添加系统

盐酸由槽车通过盐酸液体抽吸泵输送到盐酸储液箱, 由盐酸隔膜计量泵投加到出水箱, 盐酸计量泵的运行由出于出水箱中的 pH 在线监测仪控制, 当 pH 值高于设定值时, 盐酸计量泵自动启动, 将盐酸贮存箱内的盐酸投加到澄清器出水口, 调节出水 pH 值在 6.0~9.0, 达到排放标准的要求。

盐酸添加系统操作流程如下:

槽车→盐酸液体抽吸泵→盐酸储液箱→盐酸隔膜计量泵→出水箱

### 2.2 石灰乳添加系统

石灰乳为粉状,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  含量 >95%。人工加入料斗后通过斗式提升机加入石灰储仓, 自动加水稀释到大约 10% 的浓度, 10% 的石灰浆通过石灰加药泵加到中和箱中, 用作中和剂/沉淀剂, 以达到设定的 pH 值。石灰乳投加量根据通过沉淀箱上的 pH 计自动调节试剂量。

石灰添加系统流程如下:

石灰→制备箱→储液箱→计量泵→中和箱

### 2.3 助凝剂添加系统

助凝剂为粉状袋装聚合电解质, 贮存在加药装置旁的

药品堆放区域, 人工加入干粉定量进料机的料斗中, 由干粉定量进料机自动定量加入溶液箱中, 配置为浓度大约 0.1% 的溶液, 通过精密计量泵投加到絮凝箱, 助凝剂投加量根据废水量按比例自动加入。

聚合电解质添加系统流程如下:

聚合电解质→干粉定量进料机→溶液箱→助凝剂隔膜计量泵→絮凝箱

#### 2.4 有机硫化物添加系统

有机硫药液为桶装药液, 储存在投药装置附近的化学药品堆放区域, 设液体抽吸泵 1 台, 可将桶装药液加注到有机硫贮存箱中, 有机硫化物浓度大约 15%, 通过精密计量泵投加到沉降箱, 有机硫化物投加量根据废水量按比例自动加入。

有机硫化物添加系统流程如下:

桶装药液→有机硫化物液体抽吸泵→有机硫化物储液箱→有机硫化物隔膜计量泵→沉降箱

#### 2.5 絮凝剂 $\text{FeClSO}_4$ 添加系统

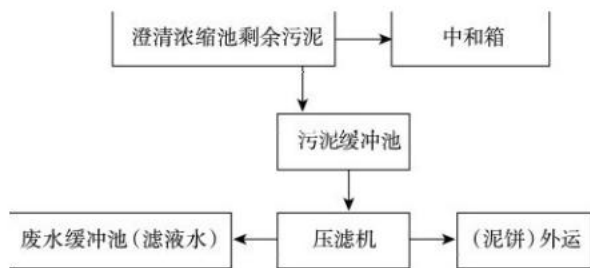
$\text{FeClSO}_4$  药液为桶装药液, 储存在投药装置附近的药品堆放区域, 设液体抽吸泵 1 台, 可将桶装药液加注到  $\text{FeClSO}_4$  储液箱中,  $\text{FeClSO}_4$  浓度大约 40%, 通过精密计量泵投加到絮凝箱, 药品投加量根据废水量按比例自动加入。

絮凝剂添加系统流程如下:

桶装药液→ $\text{FeClSO}_4$  液体抽吸泵→ $\text{FeClSO}_4$  储液箱→ $\text{FeClSO}_4$  隔膜计量泵→絮凝箱

### 3 污泥处理系统

污泥处理系统的工艺流程如下图所示。



污泥处理系统工艺流程

由污泥处理系统的工艺流程图可以看出污泥处理步骤为: 澄清器底部的剩余污泥, 一部分污泥作为接触污泥通过污泥循环泵返回到中和箱, 以提供沉淀所需的晶核, 获得更好地沉降。一部分通过污泥输送泵输送至污泥缓冲池, 污泥缓冲池内的污泥通过污泥输送泵加压, 进入板框式压滤机脱水, 生成的泥饼外运。滤液自流入滤液箱, 经滤液泵回流到中和池。

### 4 系统运行

#### 4.1 启动前的检查与准备

1) 检修工作结束, 工作票终结, 安全措施已拆除, 设备及周围环境清洁、无积油、积水和其他杂物, 照明

充足:

2) 减速器、轴承油室油位正常、油镜清晰、油质良好、高低油位标志清晰。

3) 联轴器连接牢固、盘车灵活无卡涩、地脚螺栓紧固、保护罩安装完整牢固。

4) 电动机绝缘合格、电源线接地线连接良好、方向正确、电流表、启动、停止开关指示灯完好、电流表应标有额定电流的红线。

5) 轴承及电动机线圈温度测量装置完好、可靠。

6) 各传动皮带轮连接牢固、手盘灵活、皮带无打滑、跑偏现象。

7) 检查系统电气、控制、机械设备的调试和实验已完成。

8) 检查废水系统各阀门状态正确。

9) 检查流量计、液位计及各表计已送电且显示正常; pH 计等化学监督仪表显示正常并且准确。

10) 各加药泵, 水泵处于良好备用状态。

11) 各箱、池、井及其管道阀门完好无泄漏, 管道畅通无堵塞, 搅拌器运行正常。

12) 箱式压滤机完好, 监控设备完整且正常工作, 污泥输送泵做好运行准备。

13) 处理废水所需药品熟氢氧化钠、有机硫、聚铁、助凝剂及盐酸准备充足。

14) 盐酸酸雾吸收器已经投运, 盐酸计量箱附近无酸雾, 无明显刺激性气味。

15) 检查管道法兰安装及连接正确、无裂纹, 并已冲洗干净。

16) 检查各水箱无杂物, 入孔门封闭牢固、本体无裂缝、泄漏点, 溢流、排水管道完好, 排空管道畅通, 确认水箱中液位符合要求 (2/3 以上)。

17) 检查必要的堵板已装。

18) 就地控制盘就地/远方控制选定。

#### 4.2 脱硫废水处理设备试运转

脱硫废水处理设备初次投运、检修结束后须进行试运转。

##### 1) 离心泵的试运转

① 废水提升泵、出水输送泵等均为离心式渣浆泵, 试运转方法相同。

② 启动: 按下启动按钮, 连续运行一定时间, 检查电机温度、轴承温度、振动状态, 如有异常, 立即停机检查; 试运过程中, 继续调整轴封泄漏量, 保持水滴渗; 如果一切正常, 满足试运转时间后, 按下停机按钮, 试运完成。

##### 2) 污泥输送泵的试运转

① 污泥输送泵是英国 MONO 泵业有限公司的产品, 是推进式容积泵, 即“螺杆泵”。

② 澄清器液位大于 2 米。

③ 启动: 按下启动按钮, 连续运行一定时间, 检查电机温度、轴承温度、振动状态, 如有异常, 立即停机检查; 如果一切正常, 满足试运转时间后, 按下停机按钮, 试运完成。

## 3) 搅拌机类的试运转

① 三联箱搅拌机和澄清器刮泥机以及出水箱搅拌机的试运方法基本相同。

② 启动：连续运行一定时间，检查电机温度、轴承温度、振动状态，如有异常，立即停机检查；如果一切正常，满足试运转时间后，按下停机按钮，试运完成。

## 4) 计量泵类的试运转

① 包括：助凝剂计量泵、 $\text{FeClSO}_4$  计量泵、有机硫计量泵、盐酸加药计量泵。

② 各溶液箱液位充足，溶液箱出口门、计量泵出入口门已打开。

③ 启动：启动计量泵，调节计量泵行程，直至将泵体内的空气排净。打开计量泵出口门，连续运转一定时间，核定计量泵出力正常，检查加药系统各连接件无渗漏，压力表指示正常，计量泵无震动及异常声响。

④ 停运：停泵后，方可允许关闭各溶液箱出口门、计量泵出入口门。

## 5) 三联箱组合式废水处理装置试运转

① 箱内液位  $> 1/2$ 。

② 启动：依次运行三台搅拌机后，启动石灰乳、 $\text{FeClSO}_4$ 、有机硫加药系统，开始出水，启动助凝剂加药系统。

## 6) 澄清池的试运转

① 三联箱组合式废水处理装置已投入，澄清池水位大于 3.0m 时，启动刮泥机。

② 启动：开启污泥回流阀，并启动 1 台污泥循环泵，污泥回流至中和箱；当污泥界面仪显示高度大于 1.0m 时，开启污泥外排气动阀，并启动污泥输送泵，外排污泥；运行一段时间，停污泥输送泵，关闭污泥外排气动阀，停止外排污泥。

③ 停运：依次停止进水、污泥输送泵、污泥循环泵、刮泥机，并打开冲水系统，以冲洗污泥管路。必要时，排空澄清器存水，用工业水冲洗。

## 7) 出水箱的试运转

① 液位高于 5 米时启动搅拌器。

② 启动：废水处理装置开始出水时，开启出水阀，并启动 1 台出水输送泵，检查运行状况。

## 4.3 系统的启动与停止

## 1) 废水处理投运

① 向废水缓冲池液位达  $2/3$  时，启动废水提升泵，向三联箱处理装置送水，调整提升泵出口阀门开度，使废水流量达到要求值。

② 启动石灰乳加药泵，开始加药；加药量根据中和箱 pH 计指示的 pH 值进行控制，使 pH 值维持在 9.5 左右。

③ 启动  $\text{FeClSO}_4$  加药泵，调整计量泵量程开度。

④ 启动有机硫加药泵，调整计量泵量程开度。

⑤ 当三联箱处理装置的液位  $> 2/3$  时，依次启动中和箱搅拌机、沉降箱搅拌机、絮凝箱搅拌机。

⑥ 当三联箱处理装置出水后，启动助凝剂加药泵，按最佳加药量开始加药。

⑦ 当澄清器内液位达到一半高度时，启动澄清器刮泥机。

⑧ 当出水箱液位超过  $1/2$  液位时，启动搅拌机，同时启动盐酸计量泵，开始加酸。加酸量根据清水的 pH 值进行调整，应将 pH 值控制在 6~9 的范围内。

⑨ 当出水箱水位达到  $2/3$  满液位时，启动一台出水输送泵，并打开出水管上的气动出口门。取样进行检测，是否达标，若不合格则关闭气动排放门，手动打开返回阀门，将水返回至中和箱进行循环处理。

⑩ 启动污泥循环泵，打开相应的阀门，将澄清器底部的污泥送回至中和箱。污泥输送泵定时启动。

## 2) 运行中的检查

① 系统内各转动机械油站或减速箱油位在正常油位线以上，无渗漏油现象，油质良好；

② 系统内各转动机械轴承温度、振动无异常；机械密封无泄漏；

③ 系统内各转动机械电机电流在正常范围内，冷却风扇运行正常无破损，线圈温度在正常范围内；

④ 检查系统内所有管道、阀门及设备无漏油、漏水、漏浆现象；

⑤ 检查系统内各浆液管道无堵塞，废水反应箱、酸液箱、碱液箱、絮凝剂药箱无泄漏、无溢流；

⑥ 检查助凝剂配制设备运行正常；

⑦ 检查各药剂计量泵工作正常，无泄漏、无堵塞；

⑧ 检查系统内各热工、化学测量装置工作正常，必要时进行手工测量；

⑨ 检查污泥循环泵、污泥排出口流量无异常，发现堵塞及时处理；

⑩ 检查箱式压滤机滤布无破损，无漏水现象，若出现漏水时及时调整废水处理流量；定期对箱式压滤机轴承加油润滑。

## 3) 运行中的调整

① 废水澄清池液位调整。运行中，应根据废水排放量、污泥排放泵流量及箱式压滤机的废水处理量等情况将废水澄清池液位调整至稳定。

② 澄清池废水 pH 值的调整。要求外排废水 pH 值应在 6.0~9.0，过高或过低则须加入酸碱进行中和。

## 4) 脱硫废水处理系统停运步骤

① 全开真空罐去回收水箱阀门，逐渐关闭真空罐去废水缓冲池阀门。

② 将废水提升泵，石灰乳、有机硫、聚铁、絮凝剂、盐酸计量泵连锁解除并停运。

③ 冲洗石灰乳计量泵。

④ 打开石灰乳计量泵入口冲洗水门，关闭石灰乳计量泵入口母管手动门，对计量泵出口管路及泵体进行冲洗 3 分钟。

⑤ 关闭石灰乳计量泵入口门，打开石灰乳计量泵入口母管手动门，对石灰乳计量泵入口管道反冲洗一分钟。

⑥ 冲洗完毕后关闭石灰乳计量泵入口门、关闭石灰乳计量泵入口母管手动门，关闭石灰乳计量泵入口冲洗水

门,石灰乳计量泵备用,下次启动前打开相关手动门。

⑦ 根据具体情况停运污泥循环泵,关闭出口门,打开入口电动门用冲洗水反冲入口 3 分钟,冲洗入口管路。冲洗完毕入口管路后,关闭入口电动门,关闭冲洗水手动门,打出口门、排放门将出口管道存水放净后关闭排放门,打开冲洗水门冲洗出口管道 5 分钟,冲洗完毕关闭冲洗水门,打开排放门将出口管道内水排空。

⑧ 待箱式压滤机内泥饼卸载后将滤布冲洗干净停运备用。

4.4 废水处理药品加入量

废水加药标准为:石灰乳: 3000 mg/L; 有机硫: 45mg/L; 聚合铁: 300mg/L; 絮凝剂 (PAM): 50mg/L; 盐酸: 根据出水 pH 值控制在 6~9。

1) 石灰乳的配置方法 (标准 3000 mg/L)

石灰乳设备的启动: 设备启动前先开进水总门,再开冷却水。

自动: 启动石灰乳制备系统即可,整套系统连续运行,当液位降至 0.6m 时,自动补水下料。当液位升至 1.2m 时下料停止,补水关闭。

启动石灰乳加药系统,设备正常运行,当需要停运时,选择停止步序,按启动,此时设备继续运行至液位 0.3m 时,进入自动冲洗,然后设备处于备用状态。

手动:

① 往石灰乳溶解箱中注水至 1/2 时启动溶解箱搅拌机。

② 启动石灰粉给料机,确定其正常工作,有石灰粉加入。

③ 配置浓度为 5%~10% 的石灰乳,在 PLC 中控制给料量和时间 (从 0.6~1.2 的高度,频率 15~20 赫兹,

补水时间 3 分钟左右)。

④ 当废水进入中和箱时,同时启动石灰乳加药泵(先开冷却水)加石灰乳。按每 10 吨废水加入 0.25 m<sup>3</sup> 8% 计算)石灰乳 (泵: 10t/h)。

⑤ 若沉降箱 pH 值达不到 9 以上时则需调整石灰乳的加药量,使 pH 值在 9.5~10 范围内。

2) 有机硫的配置方法 (标准 45mg/L)

1 吨废水加入 0.045 千克有机硫。具体配置方法为: 有机硫浓度为 15%, 如果处理 1 吨废水需要用 0.045 千克有机硫,则处理 1 吨废水需要 15% 的有机硫溶液约 0.3 千克。要配置一吨 5% 浓度的有机硫溶液需要 333 千克 15% 有机硫溶液。

3) 聚合铁的配置 (标准 300mg/L)

1 吨废水加入 0.3 千克硫酸氯化铁。具体配置方法为: 聚合铁浓度为 40%, 如果处理 1 吨废水需要用 0.3 千克聚合铁,则处理 1 吨废水需要 40% 的聚合铁溶液约 0.75 千克。

4) 助凝剂的配置方法 (标准 50mg/L)

1 吨废水加 0.05 千克。具体配置方法为: 按 0.2% 的助凝剂溶液溶解,液位降到一定高度时,电磁阀自动开启,往助凝剂箱中注入工业水,开启搅拌机,给料机缓慢加入助凝剂。控制好絮凝剂和工业水进料比例,加工业水直至水位达到一定高度后,自动停电磁阀,停给料机。

5) 盐酸的配置方法

出水箱的排放标准是 pH 值在 6~9。所以加入盐酸的量要根据出水箱的 pH 值来调节。

4.5 水质异常的原因及处理

在脱硫废水处理系统运行过程中产生故障、故障产生原因以及对应的处理方法如下表所示。

故障现象、产生原因以及处理方法

| 故障现象               | 原 因              | 处 理                                                                        |
|--------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 中和箱、沉降箱、絮凝箱出水悬浮物较多 | 加药量偏大            | 调小加药量,以降低污泥产生量                                                             |
|                    | 总水量小,处理量大,水泵启闭频繁 | 应调小进水阀门                                                                    |
|                    | 加药量不足            | 调大加药量                                                                      |
|                    | 废水浓度偏高           | 调大加药量                                                                      |
| 澄清池液面有漂泥           | 排泥不及时            | 及时排泥                                                                       |
| 澄清池出水悬浮物较多         | 排泥不及时,泥面过高影响沉淀   | 排泥                                                                         |
|                    | 流量超过设计标准         | 减少进水流量                                                                     |
|                    | 污泥沉降性能差          | 根据废水处理水质、流量调整加药量                                                           |
| 废水出水箱 pH 值不合格      | 废水处理阶段石灰乳加药量不足   | 如果出水 pH 值大于 9, 应该增加盐酸加药量,使废水水质合格                                           |
|                    | 废水处理阶段盐酸加药量不足或过量 | 如果出水 pH 值小于 6, 应该减少或停止盐酸加药量,使废水水质合格,同时应该检查复用水池的 pH 值, 如果 pH 值低于 6 应该采取措施中和 |

参考文献:

[1] 蔡向东. 脱硫废水处理系统的改造与优化 [J]. 华北电力技术, 2012, 20 (5): 33-36.  
[2] 张富峰. 脱硫废水处理及问题分析 [J]. 广东化工, 2013, 36 (7): 149-154.  
[3] 海雅玲, 高海瑞. 新型脱硫废水处理工艺性能分析 [J].

环境科学, 2014, 23 (4): 89-93.

[4] 葛新杰. 燃煤电厂废水零排放研究 [D]. 石家庄: 河北科技大学, 2011: 3-24.

~~~~~  
[作者简介] 马久力 (1982—), 男, 汉族, 山东烟台人, 中级工程师, 研究方向: 发电企业生产管理。