

# 锅炉化学清洗废水处理及回收利用

陈 萌 (江苏省特种设备安全监督检验研究院徐州分院, 江苏 徐州 221000)

**摘 要:** 锅炉化学清洗是重要的工作之一, 在具体的化学清洗操作环节, 要充分了解各个阶段的废水特点, 从而收集和使用废水, 达到分类利用的效果。根据目前的电厂废水处理系统的实际运行能力, 结合各个阶段的废水特点, 选择合适的处理方案是目前工作的重点。以厂内用户对于水质的要求为出发点, 结合实际应用需要, 将处理完成的不同类型废水实现分别的回收和利用, 从而达到废水零排放, 为环境治理和改善提供基础。

**关键词:** 化学清洗; 废水处理; 废水回用; 零排放

发电厂的锅炉化学清洗操作的过程中, 工作人员会应用种类繁多的化学药品完成清洗作业, 一般来说, 目前主要应用的清洗介质就是有机酸, 再辅助应用缓蚀、漂洗、钝化等药剂, 所以造成清洗完成之后的废水内  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度相对较高, 远远超出我国对于废水排放的标准要求。而在这些不合格的废水排出之前, 在厂内通过渗井、渗坑等处理, 采取多种处理措施, 达到排放的标准, 可以实现回收再利用, 防止发生生态污染, 资源利用率也得到了很大的提升, 综合效益较为明显。因此, 电厂必须有效的解决化学清洗废水处理工作。本文以实际案例展开分析, 了解清洗废水的处理以及回用方面, 希望为电厂废水的回收再利用提供基础。

## 1 工程概况

某电厂 3 号锅炉为 600MW 亚临界强制循环汽包炉, 该厂于 2020 年 9 月进行了化学清洗处理, 同时产生了约  $4000\text{m}^3$  的废水。对于电厂的生产设备调查发现, 其存在有一套普通工业废水处理系统, 主要设备有废水池、调整箱、混凝箱等设施, 具备曝气、酸碱调节、澄清等作用, 但是没有专业的化学清洗废水处理工艺设备。从正常工艺路线来说, 处理完成且合格的废水需要直接回收到回用水池内, 并且将其用来制作烟气脱硫系统的工艺水、地面冲洗水等。对于本次电厂案例来说, 其清洗作业之前就要开展废水处理和回用方面的研究, 结合具体的清洗工艺以及化学药品的特性, 本文结合实际情况制定出完善的清洗废水分类、收集、处理以及回收的方案。

## 2 清洗介质的选择

在清洗材料选择的环节, 应该综合分析锅炉运行中所形成的物体以及污垢组分, 还要分析掌握锅炉运行技术参数, 了解锅炉材料等要素。清洗环节, 杜宇腐蚀物进行必要的清理, 还要及时清理掉污垢, 以免给锅炉自身结构产生损坏影响, 确保清洗符合技术标准和原则的要求, 不会因为清洗材料选择不当而影响锅炉性能和环境。因此, 在锅炉清洗时, 选择合适的清洗介质尤为重要。

### 2.1 盐酸

盐酸是目前锅炉化学清洗的重要介质形式, 其应用效果极为明显。首先, 盐酸可以有效的去除锅炉内碳酸

物质的污垢, 还能够将二氧化硅等少量杂质清洗掉, 且产生的废液处理比较简单; 其次, 盐酸的性价比较高, 污染不严重, 且清洗效果比较好, 常温条件下即可完成清洗作业; 最后, 盐酸的腐蚀性、挥发性较高, 所以应用到铜腐蚀物的清洗种类比较差。通常来说, 盐酸会联合其他清洗介质进行联合清洗, 比如盐酸加缓蚀剂方式清洗处理, 该方式在  $45^\circ\text{C}$  条件下降锅炉内杂质清洗掉, 基本上可以达到 100% 的清洗处理, 所以综合价值较高。

### 2.2 EDTA

EDTA 是目前锅炉清洗重要介质之一, 其污染性比较小, 操作简单, 安全性比较好, 还能够作为锅炉清洗之后的钝化介质应用。在应用 EDTA 介质进行锅炉清洗的过程中, 高温或者低温清洗方式都能够满足要求, 低温条件下, 清洗溶液浓度为 4%~6%, 并且联合缓蚀剂、联胺等应用, 可以提高清洗效果; 如果是高温环境, 则浓度调整为 5%~7%, 且联合缓蚀剂、还原剂等其他类型的清洗介质, 满足清洗的要求, 提高锅炉清洗种类。

### 2.3 柠檬酸

柠檬酸与上述两种清洗介质对比, 锅炉清洗时操作非常的简单, 并且具备较高安全性, 所产生的废弃物、废液等处理效果明显。浓度较低的柠檬酸可以直接用于锅炉清洗工作, 高温条件下长期清洗可以获得非常好的效果。但是锅炉内污垢杂质类型较多, 柠檬酸对于某些物质清洗效果并不明显, 比如钙、镁等杂质。如果清洗环节, 锅炉内污垢的含铁量较高, 且 pH 较低的情况下, 会产生较多的沉积物, 比如柠檬酸铁等, 对于清洗效果产生不利影响。

### 2.4 有机复合酸

有机复合酸也是清洗效果非常好, 特别是针对锅炉强力清洗时, 清洗种类和效果比较好, 比如将羟基乙酸与柠檬酸复合应用, 清洗率超过 97%。但是复合酸的刺激性比较强, 容易损坏锅炉本体结构, 所以需要慎重选择使用。

## 3 清洗废水特点

### 3.1 清洗工艺与使用药剂

在本次锅炉清洗操作环节, 主要应用羟基乙酸、甲酸实施酸洗处理, 并且通过二甲基酮肟实施钝化处理。在具体的清洗环节, 要经过水冲洗、过热器充保护液、

酸洗、酸洗后水冲洗、漂洗钝化等工序处理,总计会形成冲洗水约 400m<sup>3</sup>。各个环节清洗药剂入表 1 所示。

表 1 清洗工艺及使用化学药剂

| 序号 | 清洗工艺过程  | 使用介质、药剂及用量                                         |
|----|---------|----------------------------------------------------|
| 1  | 水冲洗     | 除盐水                                                |
| 2  | 过热器充保护液 | 除盐水,氨水, pH 值为 9~10                                 |
| 3  | 酸洗      | 羟基乙酸 2%~4%,<br>甲酸 1%~2%, 缓蚀剂(有机类)0.3%~0.5%, 少量其他助剂 |
| 4  | 酸洗后水冲洗  | 除盐水                                                |
| 5  | 漂洗钝化    | 二甲基酮肟 0.15%~0.25%,<br>氨水, pH 值 9~10                |

### 3.2 清洗废水种类及主要污染因子

每个清洗的阶段所使用的药品都是不同的,所形成的废水也有很大的差异,所以要结合清洗工艺使用的药品类型,对于清洗环节产生的废水实施分类,并且了解到废水内的污染因子组成部分,以便于发布相关的收集与处理实施方案。水冲洗环节,应用除盐水把清洗范围内的设备全部清洗处理,直到排液达到澄清的效果为止,此时不会使用任何的化学药剂;过热器充保护液的环节,利用省煤器给过热器内注入含有氨的保护液,此时内部会产生保护液约 150m<sup>3</sup>;酸洗环节主要的污染物就是有机酸与铁化合物,色度、COD<sub>Cr</sub> 含量很高,是处理难度最高的部分;酸洗结束之后,使用除盐水冲洗,达到澄清的标准,初期阶段所产生的废水 pH 值较低,铁离子含量会比较高,而后期会达到澄清的状态;钝化时,会形成较多的有机钝化剂与氨, COD<sub>Cr</sub> 含量、pH 值较高。各个清洗环节所形成的废水量以及污染物类型详见表 2。

表 2 清洗废液分类及主要污染因子

| 废液种类     | 废水量 /m <sup>3</sup> | 主要污染因子及浓度                                                        |
|----------|---------------------|------------------------------------------------------------------|
| 水冲洗排水    | 约 1500              | 浊度                                                               |
| 过热器保护液   | 150                 | pH 值: 9.7                                                        |
| 酸洗废液     | 450                 | pH 值: 2.9;<br>COD <sub>Cr</sub> : 3400mg/L;<br>总铁: 4480mg/L; 深红色 |
| 酸洗后水冲洗排水 | 约 1500              | pH 值: 2.9~4.5                                                    |
| 钝化废液     | 450                 | pH 值: 9.65;<br>COD <sub>Cr</sub> : 550mg/L                       |

## 4 清洗废水的分类收集及处理

### 4.1 清洗废水的分类收集

清洗环节所产生的各个废水类型,结合处理的难易性、污染因子等分类收集,容易处理的废水要单独收集,污染物相同的废水可以合并收集,以避免形成过多的废水。根据该原则,将水冲洗排水、过热器保护液、酸洗

后水冲洗排水等统一收集到 OA 废水池内,将 COD<sub>Cr</sub> 含量高的酸洗废液、钝化废液和酸洗后水冲洗初期排水合并收集到 OB 废水池。将上述收集之后的废水分为 2 类,一种是保养与冲洗废水,大约 2550m<sup>3</sup>,另一种是处理难度高的酸洗、钝化混合液,大约 1500m<sup>3</sup>。要想有效的处理,确保不会发生严重的污染问题,在排放时做好控制,防止酸洗和钝化废液进入 OA 废水池。

### 4.2 酸洗及钝化混合废液的处理

酸洗及钝化废液内的主要组成部分就是羟基乙酸、甲酸以及其他类型的铁化合物形式,还有一定比例的缓蚀剂、还原剂、二甲基酮肟等,主要特性就是 COD<sub>Cr</sub> 浓度高, pH 值低,该废液的主要特点是呈现出深红色。在这种类型的废液处理环节,首先进行中和处理,加入氧化剂直接分解有机物,减小 COD<sub>Cr</sub> 浓度,然后将 pH 值调整到合适范围,使铁离子以 Fe(OH)<sub>3</sub> 沉淀的方式实现分类,减轻废液色度,把表面清液取出,再做澄清处理。

处理措施如下:应用风机直接给 OB 废水池曝气,并且按照废液测量的浓度加入氢氧化钠,将 pH 值调至 6~8,再加入次氯酸钠,经过一天的沉淀再次曝气处理,然后将 pH 值增加到 10 左右使,此时会实现 Fe(OH)<sub>3</sub> 沉淀。静置 5d 后,在池内就会呈现出表面澄清、下部浑浊的情况,达到分离的效果。通过潜水泵直接把澄清也传输到 OC 废水池,在该环节中,作业人员根据液位下降的情况随时进行潜水泵位置调节,避免造成废液的扰动,逐步将清液转移掉。经过数据计算,转移的清液量为 1000m<sup>3</sup>,池内还有 500m<sup>3</sup>。经过分离处理的澄清液需要再次处理,加入一定量的絮凝剂调整 pH 值、加絮凝剂和助凝剂进行混凝,经过这些步骤处理之后, COD<sub>Cr</sub>、浊度、色度下降比较明显,其前后数据对比可见表 3。

表 3 酸洗及钝化混合废液处理前、后水质对比

| 水质指标  | pH 值 | $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 浊度 /NTU | 颜色  |
|-------|------|----------------------------------------------------------------|---------|-----|
| 处理前   | 3.5  | 约 1800                                                         |         | 深红色 |
| 处理后清液 | 6.8  | 380                                                            | 4.0     | 无色  |

### 4.3 冲洗及保养废水的处理

冲洗及保养废水的特性就是内部含有悬浮物,并且氨的浓度相对较高, pH 值高,浊度高,其他的污染物含量则比较少。在处理环节,只要利用目前的设备基本可以满足要求,首先使用风气进行曝气处理,将液态氨清理掉,然后根据处理工艺要求进行 pH 值调节、混凝、澄清处理,出水满足标准要求。处理前后数据对比见表 4。

表 4 冲洗及保养废水处理前、后水质对比

| 水质指标 | pH 值 | $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 浊度 /NTU | $\rho(\text{氨氮})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ |
|------|------|----------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------|
|------|------|----------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------|

|       |     |    |     |    |
|-------|-----|----|-----|----|
| 处理前   | 9.2 | 60 |     | 34 |
| 处理后清液 | 7.8 | 54 | 4.1 | 25 |

#### 4.4 清洗完成后的检查

酸洗结束后,立即对废水内的金属腐蚀总量、残留物等进行检测,以了解酸洗是否可以达到应有的标准。处理时,需要确保表面没有任何沉淀物或者污染物,残留层不足  $20\text{g}/\text{cm}^2$ 。化学清洗时,总腐蚀量的大小受到化学物质的影响,必须满足表 4 内的最大值要求。从表 4 分析发现,虽然 DL 导则中规定的腐蚀速率为  $< 80\text{g}/\text{m}^2$ ,但是从实际情况分析发现,我国的锅炉化学清洗的腐蚀量基本处于  $5\sim 20\text{g}/\text{m}^2$  之间,与 VGB 导则相接近。

#### 5 废水的回收利用

从电厂废水回收利用的标准出发分析,经过处理完成后的水质 pH 值为 6~9、浊度  $\leq 10\text{NTU}$ 、 $\rho(\text{COD}_\text{Cr}) \leq 100\text{mg}/\text{L}$  标准,达到要求之后再将废水池作为脱硫工艺水使用。经过上述各个环节处理完成后,得到的最终废水主要有冲洗与保养废水、酸洗钝化废水清液与浑浊液三种。冲洗与保养废水经过处理完成之后,检测发现各种指标都符合要求,处理后直接将其回收到水池内;酸洗钝化处理结束后,清液 pH 值、浊度符合回用的要求,但  $\text{COD}_\text{Cr}$  含量还无法达到规定的要求,而浑浊液中包含较多的有机物,所以这两部分水并不能应用到脱硫工艺内。

按照废水不外排的标准,综合了解当前的电厂内用水系统对于水质的承受能力要求,在酸洗钝化废水中应用锅炉渣水与煤场喷淋,以提高利用率。锅炉渣水的作用就是对锅炉底渣进行冷却处理,渣水循环应用利用,由于蒸发、灰渣携带等会产生一定量的损耗,  $\text{COD}_\text{Cr}$  高并不会直接影响渣水系统。煤场喷淋的目的是抑尘,水质要求比较低,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀和有机物也不会给煤的使用带来任何影响,且通过应用煤层对于有机物的吸附,将有机物直接带入到炉膛内,实现无害化处理。为了保证清洗废水可以回用,对目前的废水回用系统实施改造,系统内设置管道进行连接,保证功能得以实现。废水处理及回用系统见图 1。

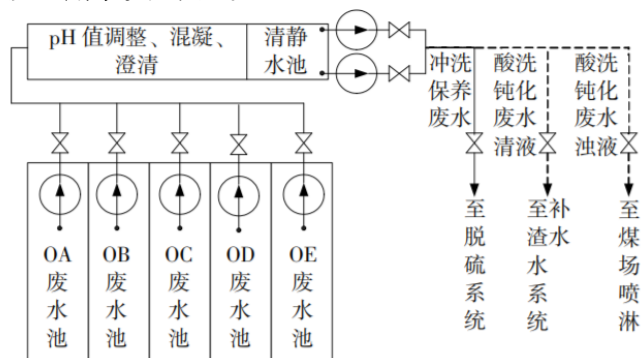


图 1 废水分类回用系统示意

#### 6 废水处理系统的设计

废水贮存池设计环节,必须保证容量满足使用的需

要,由于废水处理设备的运行不会根据废水形成的高峰时段设计容量,所以在高峰时期内会通过贮存池完成贮存、调节;同时,贮存池容量足够的情况下,对于水池处理有着明显的优势,让酸、碱实现中和,不同水质会相互作用,达到均匀性的要求,避免处理环节造成过多的化学药品消耗,也不会有较高的控制要求。此外,将不同温度的废水混合冷却,温度可以快速达到规定的范围,在水达到澄清状态后,不会因为温度变化而导致浑浊的情况发生。而设计阶段,必须综合分析锅炉清洗的需要,如果容量过大,会导致成本升高,利用率降低,资源浪费严重;如果容量较小,高峰时段废水外溢,导致环境污染。在正常工作中,每日废水量要及时处理完成,在非经常性废水出现的情况下,除了要设计足够的贮存池外,还要发挥出处理系统的作用,并且全天候运行。

废水处理系统需要设置在临近废水产生的区域,比如化学处理车间、锅炉房周边等,这样可以减小管道长度,运行管理也更加方便,促进处理效果的全面提升。

#### 7 结论

分类、处理的环节之后,实现电厂内系统容纳水能力的提升,某电厂已经将 3 号锅炉清洗废水全部回收利用,真正的实现零排放,处理成本相对较低。要想达到这一要求,重点从下述几个方面出发:

①了解酸洗工艺,明确各个工艺步骤,确定化学清洗药品使用种类和使用量,尽量选择容易处理的清洗介质,且确保清洗种类的基础之下尽量减少药品用量和清洗水量;

②根据废水处理难易程度分类收集,同类型污染因子实现合并收集,减轻工作量;

③深入分析废水特性,选择合适处理方式,提高废水处理效率和质量,同时还要避免增加新的污染因子;

④废水回用要在保证用水承载能力条件下进行,回收水质不会给系统运行产生任何影响,要防止发生腐蚀、结垢的问题;

⑤以回收利用的目标环节为出发点,处理后达到回用工艺要求即可,无需达到排放标准,以降低成本,提高经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 李广辉,冯礼奎.电厂锅炉化学清洗废水处理及回收利用[J].工业用水与废水,2015,46(4):3.
- [2] 赵亮.电厂锅炉化学清洗废水处理及回收利用探讨[J].电子乐园,2020(12):1.
- [3] 付亚杰,窦春勇,秦晓艳.分析电厂锅炉化学清洗废水处理及回收利用[J].工程技术(文摘版):191-191.
- [4] 任飞,王延军.发电厂锅炉化学清洗废水处理及回收利用[J].清洗世界,2019,35(5):2.
- [5] 林绍忠.电厂锅炉化学清洗废水处理及回收利用探讨[J].化学工程与装备,2017(6):2.