

火力发电厂烟气脱硫废水处理工艺

禾志强, 祁利明

(内蒙古电力科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘 要 石灰石—石膏湿法脱硫所产废水, 由于水质较为特殊, 不能直接排入电厂工业废水处理系统, 需设置单独的处理装置。采用物化法对脱硫废水进行处理, 经过中和、沉淀、混凝以及污泥脱水等步骤, 脱硫废水主要水质指标均显著降低, 出水水质达到污水综合排放标准 GB 8978—1996 的二级新建排放标准的要求。实际运行表明, 该处理工艺处理脱硫废水有效, 运行稳定, 运行费用较低, 效益显著。但该工艺 Cl^- 脱除能力有效, 有待进一步研究。

关键词 火电厂 脱硫废水 处理工艺

中图分类号 X773

文献标识码 B

文章编号 1000-3770(2010)03-0133-003

内蒙古包头第三热电厂 2×300 MW 供热机组工程燃煤机组, 位于包头市黄草洼, 与机组同期建设 100% 烟气处理量的脱硫装置, 烟气脱硫采用石灰石—石膏湿法烟气脱硫工艺 (FGD)。

燃煤烟气中含有少量从原煤中带来的 F^- 和 Cl^- 及各种杂质, 进入脱硫吸收塔后被洗涤下来并进入浆液, F^- 与浆液中的铝联合作用对脱硫吸收剂石灰石的溶解产生屏蔽影响, 致使石灰石溶解性减弱, 脱硫效率降低。同时, Cl^- 浓度过高对吸收塔系统和结构有腐蚀作用。因此, 石灰石—石膏湿法烟气脱硫过程通常需要排出一部分滤液水 (吸收塔浆液经脱水后产生) 作为脱硫废水, 以达到控制 Cl^- 、 F^- 离子浓度并维持吸收塔物质平衡的目的^[1-2]。而脱硫废水许多指标均高于排放标准, 因此需要根据废水水质特点及本厂具体情况设置废水处理装置处理脱硫废水。

1 废水水量和水质

包头第三热电厂设计脱硫废水水量为 $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 。脱硫废水中的杂质主要来源于烟气和石灰石。煤中的多种元素, 如 F 、 Cl 、 Cd 等, 在燃烧过程中产生多种化合物, 随烟气进入脱硫装置吸收塔, 溶解于吸收浆液中。脱硫废水一般呈弱酸性, pH 为 4~6, 悬浮物含量高 (脱硫废水中的悬浮物主要是石膏颗粒、二氧化硅, 以及铁、铝的氢氧化物), 阳离子为钙、镁等离子, 含量极高, 铁、铝含量较高, 其它重金属离子

含量不高, 阴离子主要有 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 SO_3^{2-} 、 F^- 等, 化学耗氧量与通常的废水不同, 在脱硫废水中, 形成化学耗氧量的主要因素不是有机物, 而是还原态的无机物连二硫酸盐^[3]。虽然脱硫废水量一般不大, 但由于水质特殊, 不能排入火电厂工业废水处理系统处理, 需要设置单独处理系统^[4-5]。脱硫废水的处理方法有: 水与经浓缩脱水的石膏混合后排至干灰场, 废水中的重金属及酸性物质与飞灰中 CaO 结合固化石膏; 利用电除尘器与空气加热器之间的烟道间隙, 加热蒸发脱硫废水, 专用脱硫废水化学中和处理; 用于水力冲灰。一般设计处理后的废水水质要求达到污水综合排放标准 (GB 8978—1996) 的二级排放标准^[6-8]。包头第三热电厂脱硫废水设计进水水质见表 1。

表 1 脱硫废水设计进水水质

Tab.1 Design wastewater quality of the FGD wastewater treatment			
项目	数值	项目	数值
pH	5.0~7.0	$\rho(\text{氨氮})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	150
$\rho(\text{SS})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1 000~2 000	$\rho(\text{SO}_4^{2-})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	21 192
$\text{COD}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	≤ 228	$\rho(\text{F}^-)/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	52
$\text{BOD}_5/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	≤ 50	$\rho(\text{Mn}^{2+})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	96
$\rho(\text{石油类})$	≤ 10	$\rho(\text{Ca}^{2+})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	502
$\rho(\text{H}_2\text{S})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	≤ 1.0	$\rho(\text{Mg}^{2+})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	6 532
$\rho(\text{Al}^{3+})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.86	$\rho(\text{Cl}^-)/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1 3120

2 废水处理工艺及特点

2.1 工艺流程

包头第三热电厂脱硫废水处理工艺采用物化

收稿日期 2009-07-10

作者简介 禾志强 (1979—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事电力环保

联系电话: 15335577338 E-mail: hezhq0335@126.com

法。针对脱硫废水中主要污染物重金属和悬浮物通过添加化学药剂使其沉淀，再通过澄清器将沉淀物分离，出水排放，沉淀污泥通过板框机脱水后外运处理，从而达到去除废水中污染物的目的。脱硫废水处理系统工艺流程如图 1 所示。

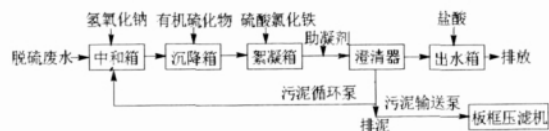


图 1 脱硫废水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of the FGD wastewater treatment process

脱硫废水包括废水处理、加药、污泥处理 3 个分系统。废水通过管路流入中和箱，同时按比例加入制备合格的石灰浆液，将中和箱 pH 调整到 9.2 ± 0.3 ，此 pH 范围适合大多数重金属离子的沉淀。并非所有重金属可通过与石灰浆作用形成很好的沉淀，其中主要是镉和汞。因此，需要在沉降箱中按比例加入重金属沉淀剂有机硫化物（TMT15）。

为了提高沉降效果，需向絮凝箱中按比例加入絮凝剂硫酸氯化铁（ FeClSO_4 ），使氢氧化物、化合物及其它固形物从废水中沉淀出来。为了让絮凝后的废水中产生的细小矾花积聚成大颗粒，以便于废水进入澄清池后更快的沉降，在絮凝箱出口管路上添加助凝剂聚丙烯酰胺（PAM）。加药混合反应后的废水在重力作用下流入澄清池，进行固液分离。澄清池出水在出水箱中通过添加 HCl 将 pH 调整为标准要求的范围（6~9）内排放。

为了促进反应和后续反应箱中絮凝粒子的形成，在中和箱中加入澄清池中回流的少量恒定量的接触泥浆。剩余污泥周期性地利用高压偏心螺杆给料泵输送至板框压滤机进行脱水处理，泥饼外运。

所有加药装置均包括药箱和可调节计量泵，可以保证方便准确地投配所需要的化学药剂剂量。

2.2 工艺特点

2.2.1 中和箱

在中和箱中加入石灰乳（ 1 m^3 废水加入固体粉末 3.5 g ），脱硫废水的 pH 升至 $8.5\sim9.2$ ，废水中的酸性物质得到中和，同时大多数金属离子，如 Fe^{3+} 、

Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 等形成微溶的氢氧化物从废水中沉淀出来得以去除，同时石灰浆液中的 Ca 还能与废水中的部分 F^- 反应，生成难溶的 CaF_2 。

2.2.2 沉降箱

在沉降箱中，通过加入有机硫化物，不能以氢氧化物形式沉淀出来的重金属，如 Hg^{2+} 进一步沉降。有机硫（TMT15）按 1 m^3 废水加入 15% 的有机硫溶液 20~50 mL 投加。沉降箱装有 pH 在线监测仪，实时检测混合液的 pH，控制氢氧化钙浆液的投加量，维持反应池中 pH 的稳定。

2.2.3 絮凝箱

经过废水旋流器和石膏旋流器两级浓缩分离，进入废水系统的悬浮物都是颗粒比较小，沉降性能很差的，很难从通过重力分离出来。为了改善固体物沉降能力，向废水中加入聚合 FeClSO_4 （ 1 m^3 废水加入质量分数 15% 聚铁溶液 $0.2\sim0.5\text{ kg}$ ）。为了加强絮凝效果，向脱硫废水中加入助凝剂聚丙烯酰胺（ 1 m^3 废水加入质量分数 0.1% 聚丙烯酰胺溶液 10 g ）。在去除悬浮物和胶体等杂质的同时，混凝生成的活性絮体共同沉淀可以吸附水中析出的细小金属氢氧化物，增加金属氢氧化物除去的速度和效率。

2.2.4 澄清池

澄清池采用中间进水，周边出水的形式，底部为锥形。在澄清池中，悬浮固体与水分离，沉积在澄清池底部，清水通过顶部出水管自流入后续的出水箱。在沉淀分离完成后，由于废水中 pH 大于 9，超过了排放标准，因此在出水箱加入盐酸中和。澄清池底部的大部分污泥经污泥泵排到板框式压滤机，小部分污泥作为接触污泥返回中和反应箱。澄清底部污泥质量分数在 5%~15% 之间。

2.2.5 污泥处理系统

澄清池底部的污泥，自流到污泥缓冲箱，经污泥给料泵加压，送至板框压滤机脱水，泥饼由卡车外用。

3 主要构筑物及设备

废水处理系统主要构筑物及设备分别如表 2、表 3 所示。

表 2 主要构筑物及其设计参数

Tab.2 Main structures and their design parameters

构筑物	设计参数	材质
中和箱	$L\times B\times H=2.5\text{ m}\times2.5\text{ m}\times2.8\text{ m}$ ，有效容积 15 m^3 ，HRT=45 min	碳钢衬胶
沉降箱	$L\times B\times H=2.5\text{ m}\times2.5\text{ m}\times2.8\text{ m}$ ，有效容积 15 m^3 ，HRT=45 min	碳钢衬胶
絮凝箱	$L\times B\times H=2.5\text{ m}\times2.5\text{ m}\times2.8\text{ m}$ ，有效容积 15 m^3 ，HRT=45 min	碳钢衬胶
澄清池	直径 6 m，高 5.2 m，有效容积 136 m^3	钢衬玻璃钢防腐
出水箱	$\Phi3\times2.6\text{ m}$ ，有效容积 18 m^3	碳钢衬胶
板框压滤机	过滤面积 70 m^2 ，滤室总容量 0.96 m^3	满足脱硫废水防腐要求

表3 脱硫废水处理系统主要设备

Tab.3 Main equipment of FGD wastewater treatment system

设备	出力	数量
污泥循环泵	$Q=2.75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ $p=0.6 \text{ MPa}$	2台
污泥进料泵	$Q=11 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ $p=0.6 \text{ MPa}$	2台
出水泵	$Q=32 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ $p=0.3 \text{ MPa}$	2台
石灰乳加药泵	$Q=1.3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ $p=0.6 \text{ MPa}$	2台
HCl计量泵	$Q=90 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ $p=0.6 \text{ MPa}$	1台
有机硫化物计量泵	$Q=15 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ $p=0.6 \text{ MPa}$	2台
FeClSO ₄ 计量泵	$Q=50 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ $p=0.6 \text{ MPa}$	2台
助凝剂计量泵	$Q=300 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ $p=0.6 \text{ MPa}$	2台

4 运行效果

处理前后废水主要水质如表4所示。可以看出,脱硫废水经处理后,各水质指标均符合污水综合排放标准 GB 8978—1996 二级新建排放标准的要求。

表4 脱硫废水处理前后水质

Tab.4 Influent and effluent quality of FGD wastewater treatment system

项目	处理前废水	处理后出水
pH	6.50	7.85
$\rho(\text{SS})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1 800	84
$\text{COD}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	193	20
$\rho(\text{Cl}^-)/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	915	836
$\rho(\text{硫酸盐})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	2 736	2 174
$\rho(\text{砷})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.25	0.20
$\rho(\text{镉})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.22	0.008
$\rho(\text{铬})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.09	0.013
$\rho(\text{镁})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	5 538	783
$\rho(\text{汞})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.08	0.038
$\rho(\text{铝})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.77	0.016
$\rho(\text{钙})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	462	93.04
$\rho(\text{锌})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.81	0.16
$\rho(\text{钒})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1.75	1.35
$\rho(\text{锰})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	35.4	0.52
$\rho(\text{氟})/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	22.6	0.019

5 经济效益分析

包头三电厂脱硫废水处理系统包括在脱硫系统中合同内建设,一次投资费用约500万元。主要的运行费用为电费、药剂费。 1 m^3 废水所需药剂费:石灰石

3.5 kg,计2.1元;消耗15% TMT15约30 mL,计0.9元;消耗聚铁0.3 kg,计0.24元;消耗聚丙烯酰胺10 g,计0.1元;消耗盐酸0.8 L,计0.16元;药剂费合计为3.5元· m^3 。以综合用电情况核算系统电耗,电价按0.4元· kWh^{-1} 计算,则电费为0.45元· m^3 。由于运行操作为整套脱硫系统运行人员,因此费用不计入废水处理系统,脱硫废水处理费用合计为3.95元· m^3 。

6 结论

脱硫废水处理系统通过沉淀、絮凝、沉降、澄清等程序,能够有效去除各种重金属离子,经过脱硫废水处理装置处理后,脱硫废水中主要水质指标均明显降低,达到污水综合排放标准 GB 8978—1996 二级新建排放标准的要求。

物化法脱硫废水处理工艺,添加药剂剂量较小,系统运行稳定可靠,运行费用较低。

物化法脱硫废水处理工艺,对 Cl^- 、 SO_4^{2-} 去除十分有限,影响处理后脱硫废水的回收利用价值,需要进一步研究改进。

参考文献:

- [1] 管一明. 燃煤电厂烟气脱硫废水处理[J]. 电力环境保护, 1998, 14(1): 38-44.
- [2] 高原, 陈智胜. 新型脱硫废水零排放处理方案[J]. 华电技术, 2008, 30(4): 73-75.
- [3] 罗渊涛, 姜威. 火力发电厂烟气脱硫废水处理[J]. 黑龙江电力, 2007, 29(3): 161-163.
- [4] 崔丽, 陈颖敏. 石灰石—石膏湿法脱硫废水的处理[J]. 吉林电力, 2008, 36(2): 16-19.
- [5] 韦国平. 对火电厂脱硫废水进行单独处理的必要性[J]. 热力发电, 2006, (9): 53-54.
- [6] 周卫青, 李进. 火电厂石灰石湿法烟气脱硫废水处理技术[J]. 电力环境保护, 2006, 22(1): 29-31.
- [7] 贾明进. 火电厂脱硫废水处理技术[J]. 中国资源综合利用, 2007, 25(6): 22-23.
- [8] 吴怡卫. 石灰石—石膏湿法烟气脱硫废水处理的研究[J]. 中国电力, 2009, 39(4): 75-78.

WASTEWATER TREATMENT PROCESS OF FLUE GAS DESULFURIZATION IN THE POWER PLANT

He Zhiqiang, Qi Liming

(Inner Mongolia Electric Power Science Research Institute, Huhhot 010020, China)

Abstract: Since the comparatively peculiar water quality, the wastewater of the Limestone/ Gypsum flue gas dsulfurization (FGD) system can not drain directly into the industrial wastewater treatment plant system in the power plant. It needs to set up the separate plant to treat the waste water of FGD. The physico-chemical wastewater treatment of the FGD system includes neutralization, precipitation, flocculation and sludge dewatering, etc. After treatment, the concentration of main water quality target reduces obviously; the water quality conforms to the emissions requirement. The practical operation shows that the process is efficient, stable and lower costs in operation, it has significant economic benefits. However, this process has a limited ability of Cl⁻ removal, need to be studied further.

Keywords: the power plant; the waste water of FGD; treatment processing