

滨海火电厂海水烟气脱硫对海洋环境影响的初步探讨

张学超, 宋喜红, 聂新华

(威海市海洋环境监测中心, 山东 威海 264209)

摘要: 以华能威海电厂 $2 \times 125\text{MW}$ 工程海水脱硫项目为例对滨海火电厂海水烟气脱硫方法的条件、原理、工艺流程以及脱硫废水排海后对水质环境的影响进行分析。结果表明, 滨海火电厂利用海水对烟气脱硫取用条件十分方便, 而且达到烟气脱硫、节能减排保护海洋环境的目的。

关键词: 海水; 烟气脱硫; 水质环境

中图分类号: X701.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)06-0094-03

烟气脱硫是目前国际上广泛采用的控制二氧化硫的成熟技术, 近年来, 世界各经济发达国家在烟气脱硫方面均取得了很大的进展, 美国、德国、日本等国家在 2000 年前已完成 2 亿 kW 的烟气脱硫容量。当前国内、外火电厂根据各自的地域、经济、脱硫剂的来源等条件, 已采用的烟气脱硫方法有石灰石-石膏法、简易湿法、旋转喷雾法、循环流化床法、海水脱硫法等^[1-3]。

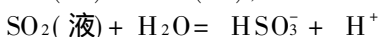
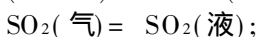
海水烟气脱硫工艺起源于欧洲, 挪威是最早使用该工艺的国家^[4], 该国烟气脱硫全部采用海水脱硫工艺已达 30 年。目前国外已有 600MW 机组采用海水脱硫工艺。国内深圳西部电厂 4[#] 机组 (300MW) 被作为国内第 1 个海水脱硫示范工程^[5] 于 1999 年 3 月投产, 目前已运行约 6 年, 5[#]、6[#] 机组也采用海水脱硫工艺, 1[#]、2[#]、3[#] 机组正在安装海水脱硫装置。福建漳州后石电厂 6 台 660MW 燃煤机组烟气脱硫全部采用海水脱硫工艺, 1[#] 机组海水脱硫系统已于 2000 年 3 月投入运行^[6]。青岛电厂一、二期 $3 \times 300\text{MW}$ 海水脱硫系统已经运行。

1 海水烟气脱硫工艺基本原理

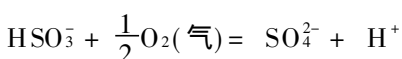
海水脱硫基于海水自身碱度, 具有一定的吸收中和 SO_2 的能力。

海水脱硫的基本原理如下:

烟气中 SO_2 在吸收塔中被海水吸收生成亚硫酸氢根 (HSO_3^-) 和氢离子 (H^+):

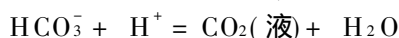
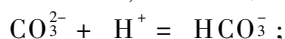


在吸收 SO_2 的海水中通入大量空气 (曝气), 使 HSO_3^- 与空气中的氧反应生成硫酸根离子 (SO_4^{2-}):



同时, 利用海水中的碳酸根和重碳酸根离子

(CO_3^{2-} 、 HCO_3^-) 中和 H^+ , 使海水 pH 值得以恢复:



曝气过程中可加速 CO_2 的释出作用, 有利于中和 H^+ 及溶解氧的增加。

2 海水烟气脱硫的条件

(1) 适用 300MW 等级的大容量机组的烟气脱硫; (2) 燃煤含硫量 $S_{\text{ar}} < 1\%$; (3) 脱硫吸收剂为纯海水; (4) 海水脱硫技术成熟。

3 海水烟气脱硫工艺系统

海水烟气脱硫工艺系统主要由烟气系统、 SO_2 吸收系统、海水供应系统、海水恢复系统等组成, 脱硫效率高达 90% 以上, 图 1 为海水脱硫工艺流程。

3.1 烟气系统

经静电除尘器除尘的烟气进入烟气脱硫 (FGD) 系统, 烟气经进口双级调节式百叶档板门进入脱硫增压风机, 升压送入回转再生式烟气-烟气换热器 (GGH), 降温后自下而上流经吸收塔。脱硫后的净化烟气在吸收塔顶部由除雾器除去雾滴, 再次进入 GGH 加热升温至 75°C 以上, 经出口双级百叶档板门进入烟囱排空。

3.2 SO_2 吸收系统

海水吸收烟气中 SO_2 的反应主要是在吸收塔内完成的, 每台机组采用一座逆流式填料吸收塔。新

收稿日期: 2007-11-10; 修回日期: 2008-02-23

基金项目: 国家 863 计划项目 (2006A A092421)

作者简介: 张学超 (1970), 山东威海人, 工程师, 主要从事海洋环境科学调查研究, 电话: 0631-5663128, E-mail: whxz_c@126.com

鲜海水自吸收塔上部喷落, 烟气自塔底向上流经吸收塔, 烟气与海水在塔内填料处逆流接触, 其间 SO_2 迅速被海水吸收, 洗涤烟气后的酸性海水在吸收塔底收集并排出塔外。

3.3 海水供应系统

脱硫工艺所需海水取自机组凝汽器出口虹吸井处的部分循环冷却水(海水), 经增压泵送至脱硫吸收塔顶部, 其余海水经管沟自流至混合池与脱硫洗涤排水充分混合。

3.4 海水恢复系统

海水恢复系统又称海水处理厂, 包括进水道、混合池、曝气池、排水道和鼓风曝气系统。吸收塔排出的 pH 值为 3 左右的酸性海水, 与来自海水增压泵水池的大量原海水在混合池混合后进入曝气池, 向曝气池内鼓入大量的空气, 使海水中溶解氧逐渐增加, 将易分解的亚硫酸盐氧化成稳定的硫酸盐, 同时使海水中的 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 与吸收塔排出的 H^+ 加速中和反应, 释放出 CO_2 , 使排水的 pH 值恢复到 6.8 以上, 恢复后的海水排海。

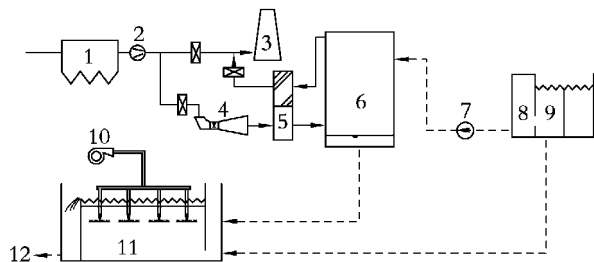


图1 海水脱硫工艺流程

Fig. 1 Process flow diagram of seawater desulfurization

1. 静电除尘器; 2. 锅炉引风机; 3. 烟囱; 4. 脱硫增压风机; 5. 烟气换热器; 6. 吸收塔; 7. 海水增压泵; 8. 泵前取水池; 9. 虹吸井; 10. 曝气风机; 11. 曝气池; 12. 处理后海水排入大海

1. Electrostatic precipitator; 2. Boiler induced draft fan; 3. Chimney; 4. Desulfurization booster fan; 5. Flue gas heat exchanger; 6. Absorption tower; 7. Seawater booster pump; 8. Pool; 9. Siphon well; 10. Aeration fan; 11. Aeration tank; 12. Effluent discharged into the sea

4 海水烟气脱硫工艺的副产物

海水脱硫工艺并无其他副产物产生, 但吸收塔内海水在洗涤烟气的过程中, 除吸收大量的 SO_2 外, 还拦截烟气中的飞灰, 并溶解飞灰中的重金属等污染物, 引起脱硫海水中的重金属物质有所增加。烟气中的 SO_2 被海水洗涤吸收, 转化为大量的 SO_3^{2-} , 这是一种不稳定的耗氧物质。脱硫海水进入海水处理系统, 经充分曝气氧化后以 SO_4^{2-} 的形式与重金属物质排放到海域。

5 对海域水质环境的影响分析

5.1 脱硫海水排海污染物的源强

以华能威海电厂一期 $2 \times 125\text{MW}$ 工程海水脱硫项目为例, 海水脱硫工艺系统简单, 脱硫过程不需加入任何化学物质。脱硫海水经恢复系统后排海的污染物主要有两部分。

5.1.1 硫酸根(SO_4^{2-})与 COD

5.1.1.1 SO_4^{2-} 增量

循环冷却水中一部分用于烟气脱硫, SO_2 在海水的碱性条件下溶于水, 脱硫后的海水进入循环水池中, SO_3^{2-} 经充分曝气氧化成 SO_4^{2-} , 随冷却水排海的速率为 $466.87 \times 10^3 \text{ mg/s}$ 。

5.1.1.2 COD 增量

脱硫过程中生成亚硫酸根的同时产生有机物, SO_3^{2-} 的 COD 理论值换算系数为 16, 排海的 COD 源强平均 $8.1 \times 10^3 \text{ mg/s}$ 。

5.1.2 重金属元素增量

电厂的烟气首先经高效电除尘后进入脱硫塔, 其中的飞灰再经喷淋的海水进一步除尘, 这部分进入海水的飞灰含有污染物(包括重金属), 因脱硫塔内的海水 pH 值为 3 左右会使重金属全部溶出。为简化计算, 假设煤中的重金属在锅炉内燃烧过程中没有损失, 重金属随灰渣按比例排放, 表 1 为污染源强估算结果。

表 1 重金属污染源强

Table 1 Source strength of heavy metals		mg/s							
污染物		Pb	Ni	As	Cd	Cr	Zn	Cu	Hg
源强		11.17	4.25	0.49	0.36	0.73	18.25	1.30	1.24

5.2 脱硫海水排海后污染物浓度增量的分布

5.2.1 SO_4^{2-} 增量

SO_4^{2-} 是天然海水的主要组分之一, 是海洋环境中不可缺少的物质。排放口排放的脱硫海水中 SO_4^{2-} 的质量浓度增量为 42.5 mg/L , 较之取水口天然海水中 SO_4^{2-} 的质量浓度 2250 mg/L 增加了不足 1.9%, 对海水水质不会带来明显的影响。

5.2.2 COD 与重金属增量

脱硫海水排海后污染物浓度增量的分布, 通常采用数值模拟计算的方法, 首先在工程海域潮流场计算的基础上, 应用物质浓度场数学模型预测。

图 2 是 COD 浓度增量为顺岸分布趋势, 最大浓度增量 $\leq 0.09 \text{ mg/L}$ 的等浓度线, 离岸约 15 m, 顺岸约 40 m, 增量不到本底值 0.86 mg/L 的 1/9, 增量与本底值迭加后的浓度符合《海水水质标准》二类 (3 mg/L) 标准, 对水质环境影响很小。

重金属以总铬(Cr)为例。图3是总铬浓度增量为顺岸分布趋势,最大浓度增量 $\leq 0.0025 \mu\text{g/L}$ 等浓度线,离岸约30 m,顺岸约130 m,在港池范围内

其浓度增量比本底值 $1.7 \mu\text{g/L}$ 低3个数量级,与本底值迭加后仍然符合二类海水水质 $100 \mu\text{g/L}$ 的标准,对水质环境影响很小。

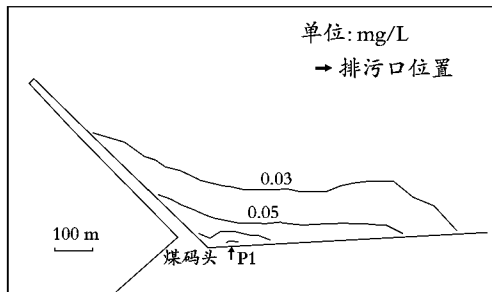


图2 排放口附近海域COD浓度增量分布
Fig. 2 Increment distribution of COD near the discharge outlet

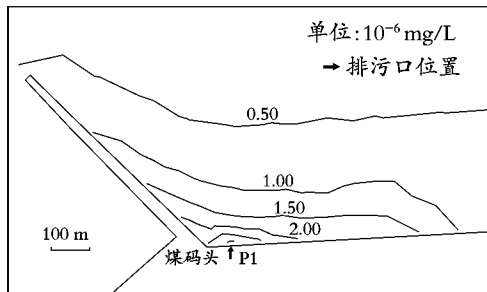


图3 排放口附近海域Cr浓度增量分布
Fig. 3 Increment distribution of Cr near the discharge outlet

6 小结

华能威海电厂一期排水口布置在煤码头的东侧,排放的COD、砷和重金属浓度增量的分布形态是顺煤码头向北向东扩散,基本平行于护岸;这与煤码头东侧近岸流向相关,电厂工程海区的涨潮流向顺岸由东向西,由于煤码头的阻挡作用,煤码头东侧排放口附近的近岸流向反而由西向东,有利于污染物向威海湾外扩散。

其浓度增量比海水本底(取水口水质)浓度小1~3个数量级,对排放海域水质的浓度增量甚微,海水脱硫工程前、后的砷和重金属浓度变化微小,仍能够达到《海水水质标准》二类标准限值的要求,不会对港池外海域的水质环境产生影响。

参考文献:

- [1] 薛建明,胡为柏,滕腾,等. 控制燃煤电厂 SO_2 排放的措施[J]. 电力环境保护, 2002, 2: 3-10.
- [2] 杨义波,阮涛,侯俊凤. 循环流化床燃烧技术的环境效益初探[J]. 电力环境保护, 2002, 1: 29-30.
- [3] 屈卫东,杨建华,杜雅琴. 火电厂 SO_2 污染排放控制方法探讨[J]. 电力环境保护, 2004, 4: 5-7.
- [4] 姚彤. 海水烟气脱硫工艺在我国的应用状况及发展前景[J]. 工程建设与设计, 2004, 8: 4-6.
- [5] 吴来贵,牟志才,董学德,等. 深圳西部电厂4号机海水脱硫系统的调试及其分析[J]. 热能动力工程, 2000, 4: 65-67.
- [6] 李勇. 后石电厂600MW机组海水脱硫工艺特点及调试介绍[J]. 山东电力技术, 2001, 2: 59-61.

The study on marine environmental impact of seawater flue gas desulfurization in the coastal fire power plant

ZHANG Xue-chao, SONG Xi-hong, NIE Xin-hua

(Marine Environmental Monitoring Center of Weihai, Weihai 264209, China)

Received: Nov. , 10, 2007

Key words: sea water; flue gas desulfurization; water quality environment

Abstract: The flue gas desulfurization of fire power plant was the main means to control pollution of SO_2 in the world. Taking the sea water desulphurization project of Huaneng power plant of Weihai with $2 \times 125\text{MW}$ as example, the paper discussed the conditions, principles, technological process of flue gas desulfurization and the effects of sea water desulfurization on the surrounding sea environment. The results indicated that the seawater flue gas desulfurization could utilize the natural coastal conditions fully, and achieved the purpose of protecting the marine environment.

(本文编辑: 张培新)