

# 烟气海水脱硫工程中的防腐蚀技术

陈进生<sup>1,2</sup>, 袁东星<sup>1</sup>

(1. 厦门大学环境科学研究中心, 厦门 361005; 2. 厦门华夏国际电力发展有限公司, 厦门 361026)

**摘要:** 以厦门嵩屿电厂 4×300MW 燃煤机组烟气海水脱硫系统的防腐蚀工程为例, 探讨脱硫系统中防止海水与酸性烟气腐蚀的设备选材与防腐蚀工艺技术。

**关键词:** 烟气; 海水; 脱硫; 防腐蚀工艺

中图分类号: TG174 文献标识码: B 文章编号: 1005-748X(2006)10-0518-04

## ANTI-CORROSION TECHNOLOGY FOR FLUE GAS SEA-WATER DE-SULFURIZATION SYSTEM

CHEN Jin-sheng<sup>1,2</sup>, YUAN Dong-xing<sup>1</sup>

(1. Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Xiamen Huaxia Electric Power Company, Xiamen 361026, China)

**Abstract:** Taking the flue gas sea water de-sulfurization (FGD) project of Songyu Power Plant with 4×300MW coal fired units as an example, the anti-corrosion technology for flue gas sea-water de-sulfurization system and the characters of the technology were introduced.

**Key words:** Flue gas; Seawater; De-sulfurization; Anti-corrosion technology

海水脱硫与其他烟气脱硫技术相比, 具有脱硫效率高、运行成本低、投资少、系统简单等特点, 利用天然弱碱性海水作为脱硫剂, 具有无添加物、无副产品、无固态废弃物等二次污染的优点。但烟气海水脱硫工程的腐蚀防护要求很高, 施工难度较大。防腐的质量被喻为烟气海水脱硫工程的“生命线”, 可见防腐的重要性。本文以厦门嵩屿电厂 4×300MW 燃煤机组烟气海水脱硫系统的防腐工程为例, 探讨防止海水与酸性烟气腐蚀的设备选材与防腐蚀工艺技术, 为日益增多的沿海电厂海水脱硫法净化烟气的防腐蚀工作提供技术借鉴。

### 1 工艺过程

嵩屿电厂 4×300MW 燃煤机组烟气海水脱硫的工艺流程主要由吸收塔、烟气系统和海水系统组成。其简要流程如图 1 所示。

吸收塔的作用是利用弱碱性海水来吸收、中和燃煤烟气中的酸性 SO<sub>2</sub>, 吸收塔的底部设有一个预曝气池, 用于对吸收了 SO<sub>2</sub> 的海水进行初步的氧化。吸收塔顶部的出口段设置了除雾器, 以减少净

烟气携带水雾并影响排放扩散效果。

烟气系统的作用是将原烟气经气-气换热器 (GGH) 降温后引入吸收塔脱硫, 净烟气再经 GGH 吸热后排至烟囱。烟气温度越低, SO<sub>2</sub> 吸收率越高, 所以烟气进入吸收塔前必须降温, 一般降至 80℃左右。但 80℃的烟气经吸收塔净化后, 温度进一步降至 40℃左右, 低于酸性烟气的露点温度时, 容易出现酸性物质结露并造成烟道及烟囱的腐蚀。另外, 低温不利于烟气的排放扩散, 还会造成烟囱大量冒“白烟”, 所以在烟气排出吸收塔后一般需要经过 GGH 加热。

海水系统的作用是将海水吸收了 SO<sub>2</sub> 形成的 SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 经过深度曝气氧化成稳定的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 并驱出海水中生成的 CO<sub>2</sub>, 从而提高排水的 pH 值和溶解氧。

### 2 腐蚀原因分析

烟气海水脱硫系统的设备或构造物长期处在海水与酸性烟气的环境中, 受到冷热温差、干湿介质的交替影响, 个别部位酸性烟气的环境温度低于其露点温度, 同时还受到水流冲刷、深度氧化曝气等因素的作用。表 1 是对海水脱硫系统主要设备和部位的环境条件所作的分析。从表 1 中可以看出, 海水脱

收稿日期: 2006-05-09; 修订日期: 2006-06-21

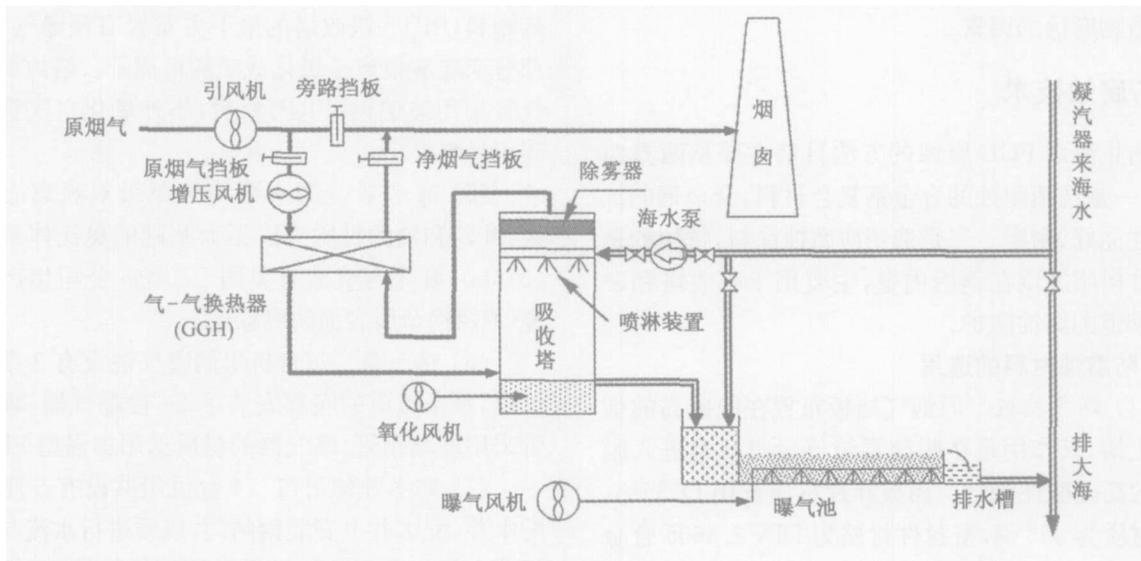


图1 高屿电厂海水脱硫工艺简图

表1 设计工况下烟气海水脱硫系统各设备(部位)所处的介质环境

系统	设备(部位)	温度, °C	SO <sub>2</sub> , mg/Nm <sup>3</sup>	pH 值	介质环境描述
烟气系统	原烟气烟道	≤130	≥1500	-	未结露的酸性烟气
	净烟气烟道(GGH 前)	≥40	≤150	-	可结露的微酸性环境
	净烟气烟道(GGH 后)	≥70	≤150	-	微酸性环境
	旁路烟道(挡板前)	≤130	≥1500	-	未结露的酸性烟气
	旁路烟道(挡板后)	≥70	≤150	-	微酸性环境
	GGH 装置	70~ 130	150~ 1500	-	处于冷烟气(微酸)热烟气(酸性)交替的环境
吸收塔	吸收塔烟气入口处	≥80	1500	-	酸性烟气与海水飞沫的交汇区
	吸收塔除雾区	30~ 40	≤150	-	携带少量液滴及 SO <sub>2</sub> 的净烟气
	吸收塔喷淋区	40~ 80	150~ 1500	3~ 8	酸性烟气与雾化海水交混区
	吸收塔氧化区	30~ 40	-	3~ 4	海水、SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、H <sup>+</sup> 介质交混区
曝气池	凝汽器至曝气池海水管	10~ 32	-	7.8~ 8.2	海水
	曝气池至吸收塔海水管	10~ 32	-	7.8~ 8.2	海水
	吸收塔至曝气池海水管	30~ 40	-	3~ 4	海水、SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、H <sup>+</sup> 、O <sub>2</sub> 介质交混区
	曝气池本体	30~ 40	-	4~ 6.8	海水、SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、H <sup>+</sup> 、O <sub>2</sub> 介质交混区

硫设备(构造物)所处的环境是相当恶劣的, 诱发腐蚀的因素很多, 腐蚀的原因也较复杂。

### 2.1 硫腐蚀

额定工况下每套脱硫系统处理的烟气量在  $1 \times 10^6 \text{ Nm}^3/\text{h}$  左右, 原烟气中 SO<sub>2</sub> 的含量约为  $1500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 。SO<sub>2</sub> 在水膜中的溶解度比 O<sub>2</sub> 大 2000 倍左右, 因此在金属表面易形成酸性物质。SO<sub>2</sub> 本身又是强极化剂, 使金属构成腐蚀电池的阳极而加快腐蚀。另外, 烟气中的水分和剩余氧, 也会产生 SO<sub>2</sub> 的露点腐蚀。经吸收塔后, 烟气中绝大部分 SO<sub>2</sub> 转入海水变成 SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 这些离子具有很强的化学活性, 对钢铁的腐蚀表现为氧去极化腐蚀。可见, 硫份在烟气脱硫系统中会对设备产生较

强的腐蚀作用。

### 2.2 氯腐蚀

额定工况下每套脱硫系统消耗的海水量约为  $43000 \text{ t}/\text{h}$ , 海水中的氯离子比氧更容易吸附在金属表面上, 并可把氧从金属表面排挤掉, 甚至取代已被吸附的 O<sup>2-</sup> 或 OH<sup>-</sup>, 从而使金属的钝态遭到局部破坏而发生点蚀穿孔。在吸收塔的底部及曝气池中所进行的曝气, 又使海水中含氧量增高, 腐蚀速度加快。

### 2.3 其他腐蚀

高速流动的海水及烟气, 均会不同程度地造成设备的冲刷磨损, 施工时的残余应力、热应力、施工质量以及设备的形式结构, 也是可能造成脱硫设备

及构造物腐蚀的因素。

### 3 防腐蚀技术

防止海水 FGD 腐蚀的方法目前主要从两方面考虑, 一是选用耐蚀的合金钢复合材料, 合金钢的抗腐蚀性能好、耐磨。二是选用防腐蚀涂料, 常用的是将鳞片树脂涂刷在钢板内壁, 主要用于吸收塔和净烟气烟道的腐蚀防护。

#### 3.1 防腐蚀材料的选用

(1) 烟气挡板 原烟气挡板布置在脱硫岛的烟气最上游, 其作用是在脱硫系统停运时隔绝进入脱硫岛的高温酸性烟气。挡板叶片材质选用 Q235-A, 门轴材质为 35<sup>#</sup> 钢, 密封件材质为 DIN 2.4605 合金钢, 各成分含量为: C ≤ 0.02、Cr15、Ni60、Mo16、Co2.5、W4、Fe3、V < 0.35。

净烟气挡板布置在脱硫岛的烟气最下游, 其作用是隔绝离开脱硫岛的微酸性低温烟气, 该部位酸性烟气的环境温度低于其结露温度, 腐蚀性强。挡板叶片材质选用 DIN 1.4529(奥氏体不锈钢), 门轴材质 35<sup>#</sup> 钢包 DIN 1.4529 合金钢, 密封件材质为 DIN 2.4605。

烟气旁路挡板受原烟气与净烟气冷热温差及酸性介质的影响, 因此该挡板选用双叶片型式, 靠原烟气侧叶片材质为 Q235-A、靠净烟气侧叶片为 DIN 1.4529, 门轴材质 35<sup>#</sup> 钢包 DIN 1.4529, 密封件材质为 DIN 2.4605。

(2) 烟道 脱硫岛烟道全部采用内支撑钢板制作, 烟道的膨胀补偿器全部采用非金属补偿节, 以补偿烟道的热膨胀和吸收转动机械传递的震动波, 非金属补偿节的优点是耐腐蚀性能好。

吸收塔进口段烟道的烟气温度低, 同时又受到吸收塔内部喷淋雾化后海水和涡流的烟气影响, 防腐要求更高, 所以采用碳钢板内衬镍基合金复合材料。

(3) GGH GGH 是原烟气与净烟气之间实现热量传递的设备, 热量交换是通过安装在转子仓格内的传热元件来实现的。GGH 的本体及配件采用镍合金钢 C276 防腐材质, 传热元件采用 CORTEN 钢搪瓷表面, 具有良好的抗水分渗透、耐磨损、易清理干净等优点。

(4) 吸收塔 吸收塔高度 30.80m, 直径 13m, 壳体为碳钢制作, 内壁采用玻璃鳞片涂料防腐。吸收塔的最上方布置有除雾器, 材质为耐腐蚀的聚丙

烯塑料(PP)。吸收塔的最下方布置有预曝气池, 将部分亚硫酸根离子氧化成硫酸根离子。塔内氧化空气管采用玻璃钢(FRP)材料, 塔外氧化空气管采用碳钢材料。

(5) 海水泵 海水泵均为单级双吸离心式水泵, 叶轮和轴的材质为以钼为基础的奥氏体不锈钢(316L), 泵壳内壁涂有美国 Belzona 公司生产的陶瓷-不锈钢金属表面防腐涂层。

(6) 曝气器 每台机组的曝气池设有 3 条曝气流道, 每条流道的底部安装了 26 台曝气器, 曝气风管采用玻璃钢管, 曝气器的材质选用加强型 FRP。

(7) 配水井钢闸门 4 台机组共设有 5 座海水配水井, 配水井上安装钢闸门, 以便进行水流与水量调节。闸门及门槽的材质采用镍铬铸铁, 门杆采用 2Cr13 不锈钢。

#### 3.2 防腐蚀涂料的选用

与海水及酸性烟气接触的管沟、水池、烟道和吸收塔的内表面层中, 混凝土基体表面主要采用环氧煤沥青涂料防腐, 金属基体表面则选用玻璃鳞片树脂涂料。

##### 3.2.1 混凝土基体表面

环氧煤沥青涂料耐水性和防腐性好, 漆膜坚韧、附着力强、机械强度高、抗海水中微生物侵蚀性能好, 是海水工程中主要的防腐材料。在该工程中主要用于海水管沟、渠道、配水井及曝气池混凝土基体表面的腐蚀防护, 防腐体系见表 2。

表 2 混凝土基体表面的防腐蚀结构

涂层	涂料名称	层数	颜色	涂料厚度, μm
底漆	环氧煤沥青	1	红棕色	80
面漆	环氧煤沥青	1	黑色	80
玻璃布	无碱平纹玻璃布	1	-	200
面漆	环氧煤沥青	2	黑色	160

##### 3.2.2 烟道、吸收塔内表面

玻璃鳞片树脂是指将一定片径(0.4~2.4mm)和一定厚度(6~40μm)的玻璃鳞片与树脂混合制成的胶泥或涂料, 将其用涂抹或喷涂的方法涂敷于金属表面, 即成为防腐涂层。鳞片树脂具有极低的水蒸气渗透性、良好的耐磨性和耐腐蚀性。多层鳞片树脂附着在金属表面形成多层迷宫效应, 阻止酸及水接触金属表面而达到防腐效果, 从而延长设备的使用寿命。在该工程中, 玻璃鳞片树脂主要用于烟道和吸收塔的钢基体内表面防腐(参见表 3)。

表3 烟道、吸收塔内壁腐蚀防护

	位置	衬里材料	厚度, mm	技术分析
烟道	增压风机至GGH烟道	耐温喷涂型乙烯基酯玻璃鳞片	1.2	耐酸、耐热, 耐烟气中灰尘磨损及振动
	GGH至吸收塔烟道	耐温喷涂型乙烯基酯玻璃鳞片	1.2	耐酸、耐热, 耐烟气中灰尘磨损及振动
	吸收塔至GGH烟道	喷涂型乙烯基酯玻璃鳞片	1.2	耐酸、耐热
	GGH至净烟气挡板烟道	标准喷涂型乙烯基酯玻璃鳞片	1.2	耐酸、耐热
	旁路及净烟气挡板门后烟道	耐温喷涂型乙烯基酯玻璃鳞片	1.2	耐酸、耐热, 耐烟气中灰尘磨损及振动
吸收塔	吸收塔底板、壁板(0~2.0m)	标准型树脂鳞片 2mm+ 耐磨型树脂鳞片 1.5mm	≥3.5	在氧气作用下, Cl <sup>-</sup> 的腐蚀作用加剧, 海水呈酸性, 因此提高耐腐蚀标准。
	原烟气进吸收塔入口处	耐温钎涂型乙烯基酯玻璃鳞片	2.0	耐酸、耐热, 温度变化及振动
	吸收塔净烟气出口处	标准钎涂型乙烯基酯玻璃鳞片	2.0	耐低温烟气湿腐蚀等
	喷淋层以下壁板	标准钎涂型乙烯基酯玻璃鳞片	≥1.8	耐酸性海水腐蚀等
	喷淋层壁板	标准型树脂鳞片 2mm+ 耐磨型树脂鳞片 1.5mm	≥3.5	喷淋水的冲刷磨损较为严重, 采取耐磨措施
	喷淋层以上壁板	标准钎涂型乙烯基酯玻璃鳞片	≥1.8	耐海水腐蚀、低温烟气湿腐蚀
	喷淋层支撑	标准型树脂鳞片 2mm+ 耐磨型树脂鳞片 1.5mm	≥3.5	耐烟气与海水的共同腐蚀作用
	人孔、接管等	标准型树脂鳞片 2mm+ FRP 增强 1.5mm	≥3.5	防腐蚀、防磨损

注: 烟道的内部件(支撑管、导流板)、人孔、接口法兰、角落、拐角部位采用FRP加强。

### 3.2.3 涂料的施工技术

(1) 对基体的要求 钢材基体表面应光洁平整, 存在的凹坑、孔洞要补焊和打磨, 表面的棱边要圆滑过渡。喷砂除锈后表面粗糙度要求  $R_z \geq 60\mu\text{m}$ 。

混凝土至少养护28天方可进行表面处理施工, 砼基体表面必须洁净、无浮灰、油污及水泥渣, 含水率应不大于4%, 不应有起砂、裂缝、蜂窝、麻面等现象。

(2) 施工要求 刷涂蘸漆不能太多, 以免挂流和滴漏, 漆刷走向应纵横交错, 呈“十”字交叉, 使涂漆均匀。

钎涂时刮刀用力要均匀, 顺着一个方向刮涂, 不宜回刮, 回刮易使树脂胶泥表面拉毛。

喷涂要求喷距在500~1000mm范围内, 一次性施工湿膜厚度不能超过700 $\mu\text{m}$ , 否则易流坠。

(3) 检查与验收 施工期间进行湿膜厚度测试, 每10m<sup>2</sup> 随机抽查测量5个点, 厚度不足或超厚

应及时调整。干膜厚度测试时每5m<sup>2</sup> 测3个点, 每个点的数值由3个6mm<sup>2</sup> 点的平均值构成。

电火花仪检测涂层针孔时, 测试电压根据涂层厚度变化而变化, 可按4000V/mm厚计算, 测试区域为100%的涂层。苯乙烯敏感性检测区域为16~64cm<sup>2</sup>, 约30s后, 可用手指擦一下湿润部位的软粘程度, 从而判断是否进入下一道施工工序。

## 4 结 语

烟气海水脱硫系统的防腐蚀工作非常重要。针对不同部位的不同防腐蚀要求, 优选不同的材料和施工技术是值得认真研究的。防腐方案的选择必须满足烟气脱硫系统对防腐蚀的要求, 即高的机械性能、良好的化学稳定性和热稳定性, 优良的抗渗性能等; 同时还必须考虑成本低、施工难度小、易修补、安全运行时间长等因素。

## • 书讯 • 腐蚀科学技术的应用和失效案例 (现代腐蚀科学和防蚀技术全书)

柯伟, 杨武主编 出版日期: 2006年2月 定价: 78.00元

腐蚀普遍发生在各种环境中, 各领域具体的腐蚀环境和腐蚀现象、防腐对策和方法并不完全一样。本书反映了包括工业生产、海洋、建筑、交通、能源等各重要领域的腐蚀特点、防腐蚀技术及其应用、防腐蚀工艺技术的发展趋势。本书还就腐蚀失效分析的一般原则、方法进行了概述, 列举了几十个类型的腐蚀失效分析的案例, 这些案例对实际的腐蚀失效分析有很好的示范作用, 可供工业生产设备维护技术人员, 腐蚀工程设计、施工人员, 防腐蚀技术开发人员, 腐蚀研究人员参考。

本书由化学工业出版社出版, 联系电话: 010-64982530