

嵩屿电厂烟气海水脱硫系统的防腐

Anti- Corrosion for Flue Gas Sea- Water De- Sulfurization System of Songyu Power Plant

陈进生^{1,2}

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

摘要: 介绍了嵩屿电厂 4×300 MW 燃煤机组烟气海水脱硫的工艺流程; 分析了脱硫设备(或构造物)的腐蚀机理; 论述了嵩屿电厂采用的防腐措施。

关键词: 烟气; 海水脱硫; 防腐技术

Abstract: The technological process of gas sea- water de- sulfurization for 4×300 MW fossil units is introduced. The mechanism of corrosion of de- sulfurization facility (or structure) is analysed. The measures for anti- corrosion for Songyu power plant are addressed.

Keywords: Flue gas; Sea- water FGD; Anti- corrosion technique

中图分类号: TM621.8

文献标识码: B

文章编号: 1006- 0170(2006)03- 0032- 04

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防腐要求很高, 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 4×300 MW 燃煤机组烟气海水脱硫系统的防腐为例, 探讨防腐设备的选材与防腐工艺技术。

1 烟气海水脱硫的工艺流程

嵩屿电厂 4×300 MW 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汽轮机凝汽器冷却后排出的弱碱性海水吸收、中和烟气中的酸性 SO_2 , 吸收塔的底部设有一个预曝气池, 用于对吸收了 SO_2 的海水进行初步氧化。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。

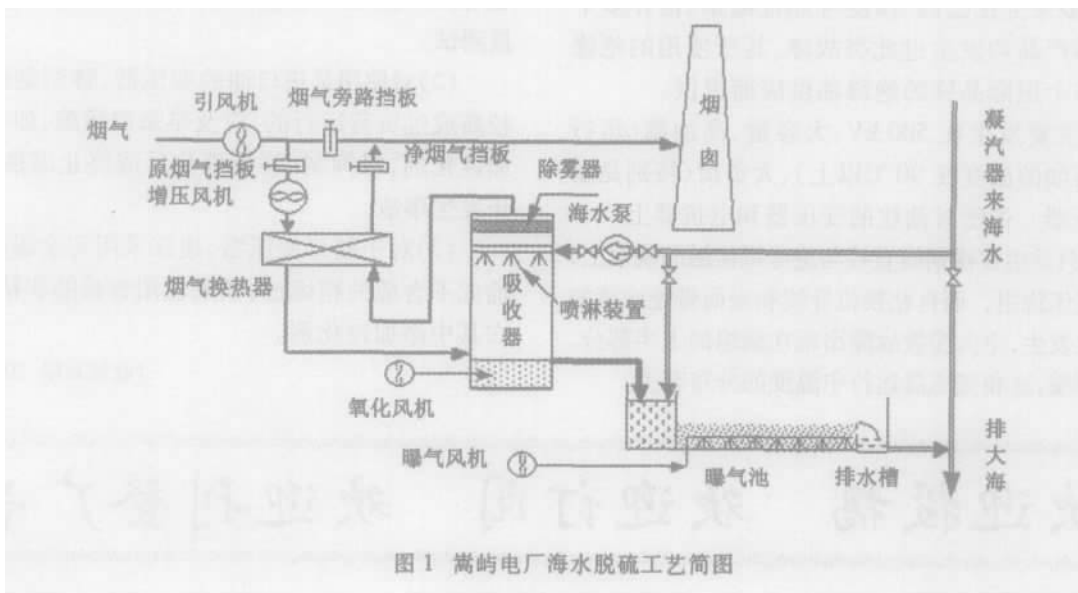


图 1 嵩屿电厂海水脱硫工艺简图

吸收塔的作用是利用汽轮机凝汽器排出的弱碱性海水吸收、中和烟气中的酸性 SO_2 ，吸收塔的底部设有一个预曝气池，用于对吸收了 SO_2 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。

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，净烟气再经 GGH 吸热后排至烟囱。烟气温度越低， SO_2 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，容易出现酸性物质结露并造成烟道及烟囱的腐蚀。另外，低温不利于烟气的扩散，并且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 SO_3^{2-} (由海水吸收 SO_2 后形成) 深度曝气，使其氧化，形成稳定的 SO_4^{2-} ；并驱出海水中生成的 CO_2 ，从而提高排水的 pH 值和溶解氧。

2 腐蚀机理分析

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，并受到冷热温差、干湿介质的交替影响，同时还受到水流冲刷、强烈曝气等因素的作用，表 2 是海水脱硫系统中主要设备和部位的环境条件分析表，从中可以看出，海水脱硫设备 (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。下面就其主要原因作一简要分析。

2.1 硫腐蚀

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 ℃	SO_2 mg/m ³	pH 值	介质环境描述
烟 气 系 统	原烟气烟道	≤130	≥1 500		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	≥1 500		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	150~1 500		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	75	1 500		酸性烟气与海水飞沫的交汇区
	收塔除雾区	30~40	≤150		携带少量液滴及 SO_2 的净烟气
	吸收塔喷淋区	40~130	150~1 500	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_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 H^+ 、 O_2 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_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 H^+ 、 O_2 介质交混区
	曝气池本体	30~40		4~6.8	海水、 SO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 H^+ 、 O_2 介质交混区

原烟气中 SO_2 的含量一般为 1 500 mg/m³。 SO_2 在水膜中的溶解度比 O_2 大 2 000 倍左右，因此可使金属表面吸附的水膜 pH 值大幅度降低，有时可达 3~3.5。加之 SO_2 本身又是强极化剂，在阴极上可以进行还原反应，从而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_2 的露点腐蚀。经吸收塔后，烟气中绝大部分 SO_2 转入海水变成 SO_3^{2-} 和 SO_4^{2-} ，这些离子具有很强的化学活性，对钢铁的腐蚀主要表现为氧去极化腐蚀。可见，在烟气海水脱硫整个系统中，硫的化合物都会对设备产生较强的腐蚀作用。

2.2 氯腐蚀

在海水脱硫工艺中，由于吸收系统和曝气池均使用大量的海水，因此对吸收塔、管道、泵以及曝气

池系统的腐蚀，主要表现为氯离子的腐蚀。

海水腐蚀属氧去极化腐蚀，海水中含氧量越高，腐蚀速度越快。海水脱硫工艺中所取海水均为含氧量接近饱和(约 8 mg/l)的表层海水，这就使得海水对钢铁的腐蚀速度加快。另外，氯离子比氧更容易吸附在金属表面上，并从金属表面把氧排挤掉，甚至可以取代已被吸附的 O^2 或 OH^- ，从而使金属的钝态遭到局部破坏而发生孔蚀。这种行为尤其在金属的不均匀表面更为明显，甚至不锈钢也难以幸免。因此对海水脱硫来讲，设备腐蚀是非常严重的问题。

2.3 其他腐蚀

高速流动的海水及烟气，均会在不同程度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 防腐技术

海水 FGD 的防腐方法有两大类,一是选用耐腐的合金钢复合材料,合金钢的抗腐蚀性能好、耐磨。另一类是防腐涂料,尤其是鳞片树脂,它衬在钢板内壁,主要用于吸收塔和净烟气管道。

3.1 防腐材质的选用

(1) 烟气挡板

原烟气挡板布置在脱硫岛的烟气最上游,作用是隔绝进入脱硫岛的烟气。叶片材质为 Q235-A,门轴材质为 #35 钢,密封件材质为 DIN 2.4605 合金钢,成分为: 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,作用是隔绝离开脱硫岛的烟气。叶片材质为 DIN 1.4529 (奥氏体不锈钢),门轴材质 #35 钢包 DIN 1.4529 合金钢,密封件材质为 DIN 2.4605 奥氏体不锈钢。

烟气旁路挡板属双叶片型式,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 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。

对于吸收塔进口烟道,由于此处烟气温度低又受吸收塔内喷淋海水和烟气涡流的影响,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交换的设备,热量交换是通过蓄热元件来传递的,若干蓄热元件篮筐安装在转子仓格内,可以确保获得足够的换热面积。所有蓄热元件的表面均为搪瓷材质。

(4) 吸收塔

吸收塔高度 30.80 m,直径 13 m,壳体为碳钢制作,内壁采用玻璃鳞片防腐。吸收塔的最上方布置有除雾器,材质为聚丙烯。吸收塔的最下方布置有预曝气池,将部分亚硫酸氢根离子氧化成硫酸根离子。塔内氧化空气管采用 FRP 材料,塔外氧化空气管采用 CS 材料。

(5) 海水增压泵

3 台海水增压泵均为单级双吸离心式水泵,叶轮和轴的材质为 316 L (UNS S31603)以钼为基础的奥氏体不锈钢,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。

3.2 防腐涂料的选用

与酸性烟气及海水接触的烟道、管池和吸收塔的内表面层,主要采用涂料防腐。选用的涂料有环氧煤沥青和玻璃鳞片树脂涂料。

3.3 混凝土基体表面防腐

环氧煤沥青耐水性和防腐性好,漆膜坚韧、附着力强、机械强度高、抗微生物侵蚀性能好,是海水工程的主要防腐材料,在该工程中主要用于海水管沟、配水井、各类水池及曝气池混凝土基体表面的防腐。防腐采用的涂料名称、涂层数见表 2。

表 2 混凝土基体表面的防腐

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

3.4 烟道、吸收塔内壁防腐

玻璃鳞片树脂是指将一定片径 (0.4~2.4 mm)和一定厚度(6~40 μm)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。这种衬里具有优良的抗渗透性、良好的机械强度和耐高温性能,可安全使用 100 000 h 以上。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(见表 3)。

4 涂料的施工技术

4.1 对基体的要求

(1) 所有焊缝必须是连续无间断的,且打磨成 R>3 mm 的圆滑过渡。钢板母材表面的凹坑、孔洞要补焊和打磨平整。

(2) 需内衬的钢基体表面的棱边、角(包括人孔、接管的内外沿、型钢的边沿)打磨成 R>3.0 mm 的圆滑过渡。

(3) 喷砂表面粗糙度要求 $R_z \leq 60 \mu\text{m}$,喷砂除锈等级 Sa 2.5 级。钢基体表面如果存在可见的锈斑或除锈等级不足时,须进行二次喷砂后方可进行涂装施工。

(4) 混凝土至少养护 28 d 方可进行表面处理施工,水泥砂浆或混凝土基体必须坚固、密实、平整。

(5) 钢筋砼基体的坡度和强度应符合设计要求,

表 3 烟道、吸收塔内壁防腐的表面防腐

防腐位置	选用衬里材料	厚度 mm	考虑的因素
增压风机至 GGH 烟道	耐温喷涂型乙烯基酯玻璃鳞片	1.2	考虑耐酸、耐热,耐烟气中灰尘磨损及振动因素。
GGH 至吸收塔烟道	耐温喷涂型乙烯基酯玻璃鳞片	1.2	考虑耐酸、耐热,耐烟气中灰尘磨损及振动因素。
吸收塔至 GGH 烟道	喷涂型乙烯基酯玻璃鳞片	1.2	考虑耐酸、耐热因素
GGH 至净烟气挡板烟道	标准喷涂型乙烯基酯玻璃鳞片	1.2	考虑耐酸、耐热因素
旁路挡板、净烟气挡板门 后烟道	耐温喷涂型乙烯基酯玻璃鳞片	1.2	考虑耐酸、耐热,耐烟气中灰尘磨损及振动因素。
吸收塔底板、 壁板(0~2.0 m)	标准型树脂鳞片 2 mm+耐磨型树脂鳞片 1.5 mm	≥3.5	在氧气作用下,Cl ⁻ 的腐蚀作用加剧,海水此时呈酸性,因此必须提高防腐标准。
原烟气进吸收塔入口处	耐温浸涂型乙烯基酯玻璃鳞片	2.0	考虑耐酸、耐热,温度变化及振动因素。
净烟气出吸收塔出口处	标准浸涂型乙烯基酯玻璃鳞片	2.0	主要考虑低温烟气湿腐蚀等因素
喷淋层以下壁板	标准浸涂型乙烯基酯玻璃鳞片	≥1.8	主要考虑海水腐蚀因素
吸收塔 喷淋层壁板	标准型树脂鳞片 2 mm+耐磨型树脂鳞片 1.5 mm	≥3.5	喷淋水的冲刷磨损较为严重,该部位的衬里必须采取耐磨措施
喷淋层以上壁板	标准浸涂型乙烯基酯玻璃鳞片	≥1.8	主要考虑海水腐蚀因素
喷淋层支撑	标准型树脂鳞片 2 mm+耐磨型树脂鳞片 1.5 mm	≥3.5	考虑烟气与海水的共同腐蚀作用
人孔、接管等	标准型树脂鳞片 2 mm + FRP 增强 1.5 mm	≥3.5	防腐、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。

不应有起砂、裂缝、蜂窝、麻面等现象。

(6) 钢筋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%。

(7) 钢筋砼表面采用砂轮或钢丝轮打磨表面或喷砂处理,以除去水泥砂浆及其松动物、易碎的砼块,以及结构上的缺陷和其他有分离作用的物质(如油脂等),然后用干净的软毛刷、压缩空气或吸尘器清理,直至达到施工要求为止。

4.2 喷砂要求

(1) 所用磨料必须干燥,有棱角,有足够的硬度,粒度为 0.5~2.5 mm,本工程选用石英砂、铜熔渣等矿石作磨料,磨料的含盐量 30 mg/kg。

(2) 压缩空气须是无油、无水的洁净空气,压力为 0.6~0.8 MPa。

4.3 施工要求

4.3.1 刷涂要求

(1) 漆刷蘸漆不能太多,以免流挂和滴漏污染环境。

(2) 漆刷走向应纵横交错,呈“十”字交叉,使涂漆均匀。

(3) 刷涂时先难后易、先边缘后中间、先支撑拐

角后大平面、先上后下。

4.3.2 浸涂要求

(1) 泥盘一次性不能盛太多的胶泥。

(2) 刮刀用力均匀,顺着方向刮涂,不要回刮,回刮易拉毛树脂胶泥表面。

4.3.3 喷涂要求

(3) 喷涂设备、高压软管、喷枪、喷嘴选型要适宜,否则不能雾化鳞片材料。

(4) 喷距要适宜,通常 500~1 000 mm。

(5) 一次性施工湿膜厚度不能超过 700 μm,否则易流坠。

(6) 确保喷枪运行方向与工件表面平行。

5 检查与验收

5.1 钢基体喷砂检查

(1) 喷砂清洁度不低于 Sa2.5 级,粗糙度 R_z 值不低于 60 μm。去除所有锈蚀、氧化皮及其它附着物,有争议时可借助 5 倍放大镜观察。

(2) 粗糙度进行实测,每 5 m² 取 3 处测试,不满足要求须重新喷砂。

(下转第 45 页)

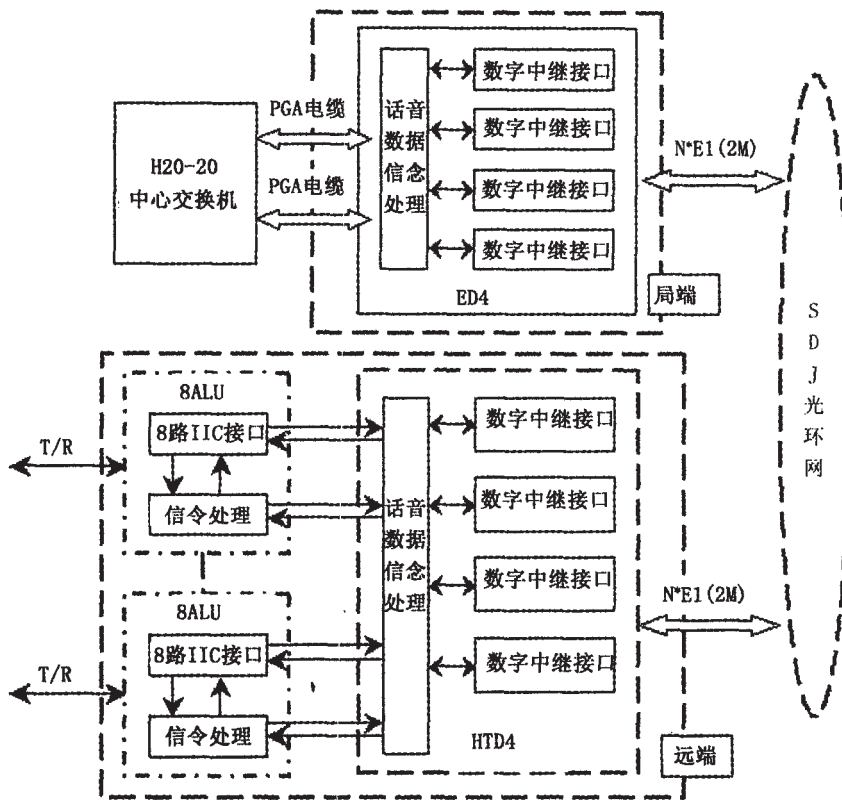


图4 配网部门的电力通信组网框图

够承担起配网运行部门在配网调度和指挥中心的较为繁重的通信业务，较好地满足了该部门的通信需求，取得了良好的效果。

4 结束语

本文详细比较了电力通信接入网的几种远端接入方案，最后选定了交换机远端模块系统的方案作

为福州电业局的远端接入。在电力通信专用接入网中，通过远端使用 H20-20 远端模块系统，可以减少大量的线路购置、铺设、维护费用，为各办公点提供语音、调度、数据等通信业务，完全与近端的业务等同，而且所有的维护管理均由局端完成，方便运行维护。是一种较好的运用方式。

(收稿日期: 2006-04-14)

(上接第 35 页)

5.2 厚度检测

(1) 湿膜厚度测试应在衬里施工期间进行，每 10m² 随机抽查测量 5 个点，厚度不足或超厚应及时调整。

(2) 干膜厚度用磁性测厚仪进行检测，测试时涂层必需硬干。每 5m² 测 3 个点，每个点的数值由 3 个 6mm² 点的平均数构成。

5.3 电火花检测

(1) 用直流电火花仪检测涂层针孔，测试电压根据涂层厚度变化而变化，可按 4000 v/mm 厚计算，但最高不得超过 16000 V，测试区域为 100% 的涂层。

(2) 被电火花击穿的点应用记号笔做好标记，及时修复，并重新测试，直至合格；

5.4 苯乙烯敏感性测试

用蘸有苯乙烯的洁净棉布擦拭涂层一个小的区域(约 16~64 cm²)，约 30 s 后，用手指擦一下湿润的部位，如果涂层表面变软或变粘，则证明涂层对苯乙烯敏感，可直接进行下一道涂层的施工；如涂层表面没有变化，说明涂层对苯乙烯不敏感，需全面打毛清洗后才能施工下一道涂层。

6 结语

烟气海水脱硫设备(或构造物)所处环境及其恶劣，设备的防腐十分重要，也是目前一个重要的研究课题。文章通过详细论述材质选用、涂料选择、涂料施工工艺以及检测验收内容，表明防腐是一项严格细致的工作，在各个环节均需严格把关。

(收稿日期: 2006-08-09)