

# 嵩屿电厂烟气海水脱硫工艺及特点分析

Analysis of the seawater FGD process and characteristics in Songyu Thermal Power Plant

陈进生<sup>1,2</sup>

(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:** 介绍了厦门嵩屿电厂 4×300MW 燃煤机组烟气海水脱硫系统所选用的工艺, 分析了海水 FGD 系统的主要技术特点, 为日益增多的同类型脱硫装置的工艺设计与设备选型提供一定的借鉴。

**关键词:** 烟气; 海水脱硫; 工艺技术

**Abstract** The technical process applied on the flue gas seawater desulfurization project in 4×300MW units in Songyu Power Plant was introduced. Its main technical characteristics were analyzed. It provided reference for the process design and equipment choice of other similar FGD systems

**Key words** flue gas seawater desulfurization process

中图分类号: X701.3

文献标识码: B

文章编号: 1009-4032(2007)02-031-04

与其他烟气脱硫技术相比, 海水脱硫具有脱硫效率高、运行成本低、投资少、系统简单、无添加剂、无副产品、无固态废弃物等优点。国内第一家应用海水 FGD 的是深圳西部电厂 (1999 年投入运行, 技术来源于挪威 ABB 公司), 漳州后石电厂于 2000 年投入运行, 技术来源于日本富士化水株式会社。

2005 年 4 月, 厦门华夏电力公司与东方锅炉集团签订了 4×300MW 海水脱硫工程总承包合同, 其中 1、2 号机组海水 FGD 系统属旧机组新增的技改项目, 3、4 号机组则属新机组扩建的“三同时”项目。工程采用设计、制造、施工、调试总承包的方式进行管理, 4 台海水 FGD 系统在 2006 年 5 月至 10 月陆续投运。这标志着海水脱硫关键技术和主要设备国产化取得了“零”的突破, 打破了国外公司在我国大型燃煤机组海水脱硫技术上的垄断。

## 1 工艺过程

海水 FGD 的工艺系统主要由吸收塔、烟气系统和海水系统组成。吸收塔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  $\text{SO}_2$ 。烟气系统将原烟气经 GGH 降温后引入吸收塔, 净烟气再经 GGH 吸热后排至烟囱。海水系统将吸收  $\text{SO}_2$  形成的  $\text{SO}_3^{2-}$  深度曝气氧化成稳定的  $\text{SO}_4^{2-}$ , 并驱出海水中生成的  $\text{CO}_2$ , 从而提高排水的 pH 值和溶解氧。其简要流程如图 1 所示。

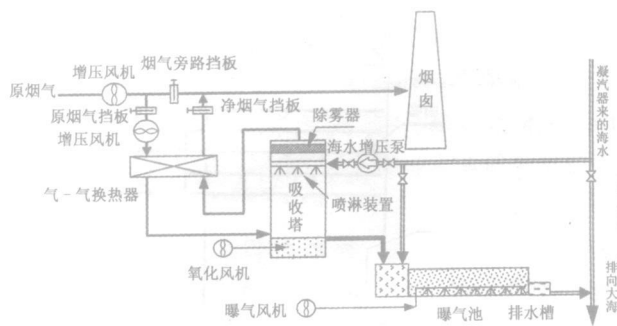


图 1 嵩屿电厂海水脱硫工艺流程

## 2 工艺参数

嵩屿电厂海水 FGD 系统主要工艺参数见表 1。

表 1 主要的工艺参数

项目	设计值	项目	设计值
烟气流 (干标)	1051658	循环海水量 (单台机组) $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	43200
$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		循环水最高排水温度 / $^{\circ}\text{C}$	$\leq 43$
入口 $\text{SO}_2$ (干标)	1517	排水 pH 值	$\geq 6.8$
$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$		排水 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 增量	$\leq 0.5$
出口 $\text{SO}_2$ (干标)	75	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	
$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$		净烟气液滴 (湿基、标态) $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\leq 50$
脱硫效率 /%	$\geq 95$		
烟囱入品烟温 / $^{\circ}\text{C}$	$\geq 70$		

注: 设计煤种硫分  $S_{\text{ar}} = 0.63\%$

### 3 工艺系统

#### 3.1 吸收塔

(1)塔体: 吸收塔是烟气与海水进行气—液质量传递与交换, 并进行初步化学反应的场所。嵩屿电厂使用的脱硫吸收塔为无填料的钢结构喷淋空塔。塔高 30 500mm, 直径 12000mm, 塔体采用碳钢制作, 内壁防腐层为玻璃鳞片树脂。吸收塔内部有海水喷淋层、除雾器、氧化装置等, 见图 2。在吸收塔内, 以大量海水喷淋洗涤进入塔内的烟气, 溶解吸收烟气中的  $\text{SO}_2$  等酸性物质。 $\text{SO}_2$  以溶解态  $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_3^{2-}$  的形态存在于洗涤后的海水中。净化后的烟气经除雾器除去雾滴、GGH 加热后排放。海水在吸收塔内的水力停留时间约为 2.5 min。

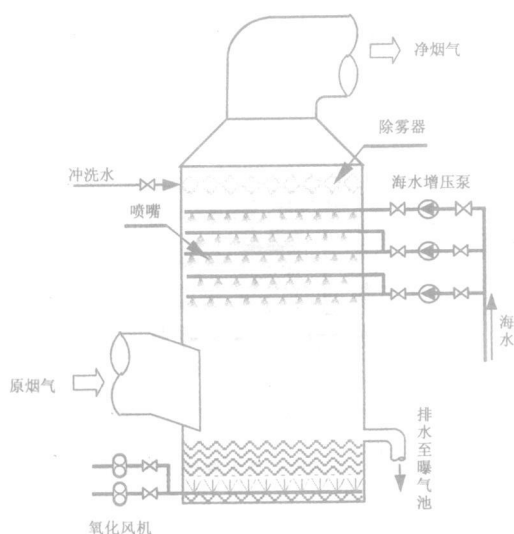


图 2 嵩屿电厂海水脱硫吸收塔

(2)除雾器: 经海水洗涤后的烟气湿度较大, 水汽凝结会造成烟羽呈白色, 即所谓“白烟”问题。白烟的长度随环境温度、相对湿度以及烟气温度等参数而变, 可从数十米到数百米, 从而影响景观。德国在燃煤装置的法规中规定, 烟囱出口处的烟气温度不得低于  $72^\circ\text{C}$ , 否则采用冷却塔排放。日本为防止烟囱冒白烟, 要求把烟气加热到  $80^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 。嵩屿电厂在吸收塔顶部的出口段设置了除雾器。除雾器由两级组成: 第一级为粗除雾器, 第二级为细除雾器。除雾器及其清洗水装置材质采用聚丙烯 (PP), 材料的操作温度为  $80^\circ\text{C}$ 。

除雾器的结构形式多种多样, 工作原理则都是利用烟气折向通过曲折的挡板, 流向多次发生偏转,

烟气携带的液滴由于惯性作用撞击在挡板上被捕集下来, 见图 3。

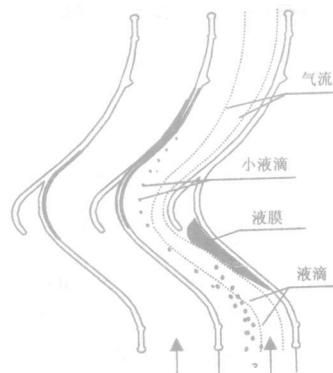


图 3 除雾器的工作原理

嵩屿电厂选用的除雾器结构形式为“人”字形 (又称为屋脊形), 属折流板式结构。上部装有清洗装置, 其作用是当烟气中的飞灰沾在除雾器上、水雾汇集的能力减弱时清洗除雾器。

(3)预曝气池: 吸收塔塔体的中下部设有预曝气池, 其高为 5m, 直径 12m。预曝气池的作用是把吸收塔中洗涤烟气生成的部分  $\text{SO}_3^{2-}$  氧化成  $\text{SO}_4^{2-}$ , 以减轻后续曝气处理的负担。氧化风机为罗茨风机, 为预曝气池提供压力空气。每座吸收塔设 2 台氧化风机, 1 台运行, 1 台备用。

(4)海水喷淋层: 吸收塔设 5 层喷淋层, 每层喷淋层布置 44 个空心锥形碳化硅喷嘴, 5 层喷淋层的喷嘴错开布置。喷嘴的作用是将海水增压泵提供的海水在吸收塔中雾化成颗粒细小、均匀分布的液滴, 从而增强烟气与海水的传质效果。

#### 3.2 烟气系统

(1)烟气挡板: 与脱硫系统相关的挡板共有 3 个, 即烟气旁路挡板和脱硫岛进、出口挡板。在每台锅炉的 2 台引风机出口汇合烟道设一个烟气旁路挡板, 在旁路挡板之前引接一路烟道进入脱硫岛, 之前装设一个原烟气挡板。出脱硫岛的烟道与旁路挡板之后的烟道连接, 并在其间设一个净烟气挡板。

烟气挡板为双百叶密封分步可调挡板, 采用电动执行机构, 并带位置发送器, 同时设有快开功能, 全关到全开的开启时间不大于 25s。烟气挡板门都配有独立的密封空气系统, 以防止烟气泄漏, 具有 100% 的气密性。

(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。烟道的防腐设计为碳钢加内衬为 2mm 的鳞片树脂。

(3) 增压风机: 在脱硫岛的烟气系统中, 总烟气阻力约为 3200Pa, 所以设有增压风机。每台锅炉设 1 台增压风机。增压风机配 2 台冷却风机, 一用一备。增压风机在脱硫系统中是一个重要设备, 一旦其退出运行, 整个脱硫系统也必须退出运行。

(4) GGH: 理论和实践证明, 吸收塔的烟气温度越低,  $\text{SO}_2$  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加热。嵩屿电厂海水 FGD 装设了回转蓄热式 GGH。

GGH 转子由带有 36 个 10° 的扇形仓格、中心筒及短轴等部件组成。蓄热元件先装在篮筐内, 若干篮筐再安装在转子仓格内, 以确保获得足够量的换热面积, 所有蓄热元件均为搪瓷材质。

GGH 配有 2 台伸缩式吹灰器以及压力为 10.5MPa 高压水清洗装置, 用于运行中 GGH 换热元件的清污。GGH 还配有低泄漏风机及密封风机, 以降低烟气泄漏及原烟气与净烟气的互窜。

### 3.3 海水系统

海水系统主要有海水增压泵、海水泵吸池、混合池、曝气池及曝气风机等设备, 见图 4。

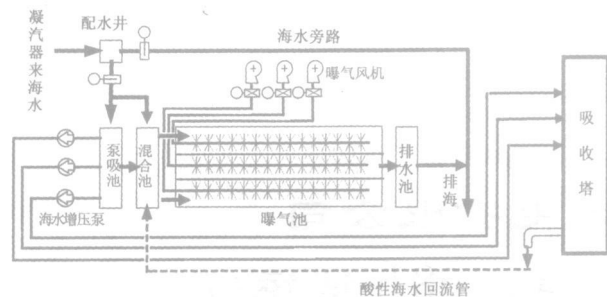


图 4 海水系统配置

(1) 海水增压泵: 海水增压泵布置在曝气池附近, 每座吸收塔设 3 台泵, 它们将约 1/3 的凝汽器排放海水提升输送到吸收塔内, 供 5 层喷淋层洗涤烟气。

3 台海水增压泵均为单级双吸离心式水泵, 叶

轮和轴的材质是以钼元素为基础的奥氏体不锈钢, 泵壳内壁涂有美国 Belzona 公司的陶瓷—不锈钢金属表面防腐层。

(2) 泵吸池: 泵吸池的作用是为海水增压泵提供稳定压力的海水, 海水泵池的水源为凝汽器排放的海水, 泵吸池中扣除被海水增压泵抽送至吸收塔的水量后, 其余约 2/3 水量通过溢流方式进入下游的混合池。

(3) 混合池: 混合池的作用是接纳吸收塔中洗涤烟气后经初步氧化的酸性海水, 并与泵吸池溢流过来的新鲜海水进行混合。有效容积为 862m<sup>3</sup>, 水力停留时间为 1.19min。

(4) 海水旁路: 海水旁路的作用是在海水泵吸池、混合池或曝气池需要退出运行时, 将所有循环水直接引入大海。海水旁路设有 2 台电动闸门, 以控制海水泵吸池、混合池和曝气池的投退。

(5) 曝气池: 曝气池是海水水质恢复系统中的核心构筑物 and 关键工艺环节。通过鼓风机的鼓气和吹脱作用, 曝气工艺全面氧化了海水中亚硫酸盐等还原性物质, 驱除海水中的  $\text{CO}_2$ , 提高海水的 pH 值, 并增加了水中的溶解氧, 达到海水水质恢复的目的。

曝气池设 3 条曝气水管, 曝气水道的尺寸为 88.7m × 5.3m × 2.6m (L × W × H), 海水在曝气池中停留约 5.1min。曝气管采用母管—支管制型式, 布置在曝气池的底部, 材质均为 GRP。

(6) 曝气风机: 曝气风机是为海水曝气提供压力空气。曝气风机为单级离心式风机, 流量为 40000m<sup>3</sup>/h, 压力 36kPa, 电机功率 630kW。每个曝气池设有 3 台曝气风机, 根据海水恢复的具体情况投入 2 台或 3 台, 曝气风机布置在储风室的正上方。

(7) 储风室: 储风室布置在曝气风机的正下方, 混合池的正上方, 也就是两者的垂直高度之间, 由一个封闭的矩形钢筋混凝土结构体构成, 作为 3 台曝气风机的储气室, 起到稳定曝气气源的作用。

## 4 技术特点分析

(1) 国产化程度高。整套海水 FGD 的设备均由国内自主设计、自主施工。除了旁路烟气挡板、除雾器及喷淋层喷嘴外, 其余设备均实现国产化。特别是关键的吸收塔、曝气池的设计与建造, 烟道、海水系统的防腐施工, 均拥有自主知识产权。

(2)增加了吸收塔的曝气功能。通常情况下,吸收塔的功用只作为烟气与海水气-液传质的场所。嵩屿电厂海水 FGD 吸收塔结合了湿法石灰石脱硫吸收塔的做法,在吸收塔底部增设了预曝气池,起到了部分氧化  $\text{SO}_3^{2-}$  的作用,减少了后续曝气处理负担,最大限度地发挥了吸收塔的功能。

(3)吸收塔采用了空喷淋塔结构。深圳西部电厂海水 FGD 吸收塔采用一炉一塔的立式方形混凝土结构填料塔,漳州后石电厂采用一炉双塔的立式圆柱形钢结构喷淋式空塔,而嵩屿电厂采用的是一炉一塔的立式圆柱形钢结构喷淋式空塔。

填料塔的优点是烟气与海水的混合均匀充分,吸收效率比较有保障;缺点是烟气阻力大,运行电耗高。空塔内部没有填充构件,海水与烟气的混合效果不如填料塔,但烟气阻力较小,维护较简便。嵩屿电厂 FGD 吸收塔虽为空塔,但为保证脱硫效率达到 95% 以上,设计时优化了吸收塔烟气的气流方向与扩散能力,同时选用耐腐蚀性强、分布均匀的 5 层喷嘴,以利海水与烟气的充分混合和有效传质。

(4)增压风机布置在 GGH 之前。后石电厂海水 FGD 没有设置增压风机,其优点是系统简单,投资较小;缺点是脱硫系统退出运行时,引风机在非高效区运行,电耗高,不经济。有的 FGD 将增压风机布置在低温烟气侧,即布置在烟囱进口处,其优点是 GGH 处的原烟气与净烟气压差小,漏风量少,脱硫效率较高;缺点是风机的腐蚀问题较突出。

嵩屿电厂的海水 FGD 设置了 1 台增压风机,位于 GGH 之前。运行中,增压风机与 2 台引风机共同

承担调节炉膛压力和克服脱硫岛阻力的任务,调节较复杂。考虑到增压风机对风量、风压的调节性能要求较高,因此选用静叶可调加速轴流风机。

(5)设置 GGH。有的海水 FGD 没有设置 GGH (如漳州后石电厂),其优点是减少系统阻力和一次性投资及运行成本。缺点是  $\text{SO}_2$  的吸收反应效率较低,净烟气管道和烟囱的防腐要求更高,烟囱冒白烟,感观不佳。嵩屿电厂的海水 FGD 设置了 GGH,可以减轻净烟道和烟囱的腐蚀,也可以避免烟囱冒白烟。

(6)海水恢复系统曝气充分。嵩屿电厂凝汽器排放的海水虹吸井至大海平均高程只有 7.6m,而且排放长度超过 1 km,所以要求整个海水系统沿程水阻力尽量小。为了减少海水排放的阻力,曝气池溢流堰设计的海拔高度为 5.96m,曝气池出口排水管沟尺寸扩大为 3.5m × 3.5m。

由于工艺尾水排放海域为白海豚保护区,对海水排放水质要求高,因此在海水恢复系统的设计中采用 2.6m 的深度曝气、40 000  $\text{m}^3/\text{h}$  的大气量曝气及 5.1m 的长时间曝气,使得海水水质的恢复较为彻底。

收稿日期:2006-04-21;修回日期:2007-01-04

作者简介:陈进生(1970-),男,福建南安人,高级工程师,硕士,厦门大学博士研究生,主要从事火电厂环境污染治理与环境化学分析。E-mail: xmucj@126.com

## · 信息 ·

# 国电石嘴山第一发电有限公司 2号炉烟气脱硫工程通过 168h 试运行

2007年2月15日,由国电环境保护研究院总承包建设的国电石嘴山第一发电有限公司 2号炉烟气脱硫工程顺利通过 168h 试运行。试运行结果表明:2号炉脱硫装置运行稳定,各项技术指标均达到或超过设计要求,为此,石嘴山第一发电厂工程建设部向环保院发来捷报并表示衷心的感谢。

(摘自院工作动态)