

深圳西部电厂 4 号机组海水脱硫系统监测分析

吴来贵

(深圳西部电力有限公司, 广东 深圳 518052)

摘要:系统地介绍了深圳西部电厂 4 号机组海水脱硫系统的工艺设计,在不同的工况下对脱硫前后的烟气参数(温度、 SO_2)与水质参数(SO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、pH、DO、COD 等)进行了监测研究,分析了其变化机理。对脱硫前、后海水重金属等有害物质含量的变化进行了监测分析。

关键词:海水脱硫; 吸收; 脱硫效率; 水质恢复; 重金属

中图分类号: X773

文献标识码: B

1 引言

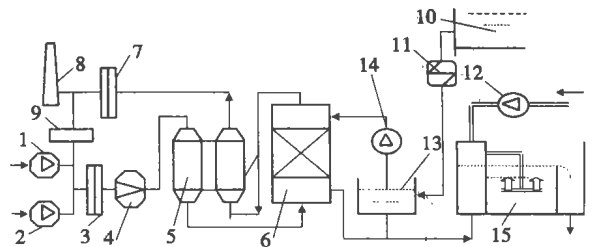
目前国内火电厂烟气脱硫装置(下称 FGD)绝大多数是采用国外技术与设备,国内负责土建安装的方式,其投资费用一直居高不下,严重影响烟气脱硫工程的发展。国家示范工程深圳西部电厂 4 号机组(300 MW)海水脱硫系统由挪威 ABB 设计及设备配套,于 1999 年 3 月竣工并投入运行,运行状况表明该系统安全可靠,脱硫效率可达 95% 以上,厂用电也只有 1% 左右^[1],对该系统进行监测研究具有非常现实的意义。

2 深圳西部电厂 4 号机组海水脱硫系统

2.1 系统简介

深圳西部电厂 4 号机组海水脱硫系统工艺流程如图 1 所示。系统主要由增压风机、烟气—烟气换热器(GGH)、吸收塔、海水增压泵和曝气池等组成。当脱硫系统投入运行时,进、出口挡板打开,锅炉烟气由增压风机引入脱硫系统。在增压风机运行稳定后,旁路挡板自动关上,烟气 100% 地进入脱硫系统。烟气先经 GGH 冷却,再进入吸收塔。在吸收塔内同海水逆向流动,在相互接触的过程中,烟气中的二氧化硫被海水吸收,脱硫后的烟气离开吸收塔,经过 GGH 加热后流向烟囱。脱硫用的海水取自机组凝汽器的冷却用水,由海水增压泵送至吸收塔。脱

硫后的海水自吸收塔底部靠自身的液位差流入曝气池,经过曝气处理,水质得到恢复后排入大海。



1—引风机 A; 2—引风机 B; 3—进口挡板; 4—增压风机;
5—气—气热交换器; 6—吸收塔; 7—出口挡板; 8—烟囱;
9—旁路挡板; 10—取水口; 11—凝汽器; 12—曝气风机;
13—虹吸井; 14—海水增压泵; 15—曝气池

图 1 深圳西部电厂 4 号机组
海水脱硫系统工艺流程图

2.2 系统的主要设计参数

该系统的主要设计参数见表 1。

表 1 深圳西部电厂 4 号机组海水脱硫系统的主要设计参数

煤质含硫量/%	烟气流量 ($\times 10^4$)/ $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	入口烟气 SO_2 浓度/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	海水 pH 值	脱硫 效率 /%	曝气池 排水 pH 值	曝气池排水 COD _{Mn} / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	曝气池排水 DO/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
0.63	110	420	7.5	>95	>6.5	<5	>3

2.3 系统投资

由图 1 可知,海水脱硫系统所采用的吸收剂为海水,取自机组凝汽器的冷却排水,同其它方法如常用的石灰石—石膏法相比,无需吸收剂的运输与制备,也没有石膏等固体废弃物的处理,系统工艺简单可靠,投资费用较低,同等条件下至少比石灰石—石膏法少 1 倍^[2]。

3 监测项目及监测点的设置

(1) 烟气参数的监测项目有二氧化硫含量和温

度, 监测点布置在脱硫系统烟气入口、吸收塔烟气进口、吸收塔烟气出口和脱硫系统出口。

(2) 海水水质的监测项目有 pH、COD_{Mn}、DO、碱度、SO₃²⁻、SO₄²⁻ 和重金属等, 测点布置在海洋取水口(原水, 编号为 1)、吸收塔海水入口(凝汽器温排水, 编号为 2)、吸收塔海水出口(脱硫后的海水, 编号为 3)、曝气池内均布 4 个测点(间距 10 m, 编号分别为 4、5、6、7)及曝气池出口(脱硫系统的排水, 编号为 8)。

4 监测结果及分析

4.1 二氧化硫浓度和温度的监测结果及分析

分别在脱硫系统烟气进、出口处进行烟气取样, 应用化学分析方法测量烟气中的二氧化硫浓度, 并监测系统中重要部位的温度, 结果见表 2。

表 2 深圳西部电厂 4 号机组海水脱硫系统烟气参数的监测结果

机组负荷 MW	FGD 进口烟气		吸收塔入	吸收塔出	FGD 出口烟气	
	温度 / °C	二氧化硫 / ml·m ⁻³	口烟气温 / °C	口烟气温 / °C	温度 / °C	二氧化硫 / ml·m ⁻³
248	134	418.3	88.0	34.5	82	14.5
260	137	355.6	91.8	34.2	84	12.0
283	136	404.3	89.6	35.0	84	10.2

表 2 显示, 烟气经过脱硫系统后, 二氧化硫浓度明显降低, 脱硫效率达 95% 以上。烟气温度在进入吸收塔前, 先被 GGH 降至 90 °C 左右, 原因在于温度降低一方面对吸收过程有利, 另一方面是为了保护吸收塔内的填料与内衬; 烟气被海水洗涤的过程中

同海水进行了充分的热交换, 在吸收塔出口其温度约为 34.5 °C, 略高于海水温度; 离开吸收塔的烟气经 GGH 加热至 80 °C 以上, 高于烟气露点温度, 这样可以避免烟囱产生“白烟”。

4.2 海水水质参数的监测结果和分析

在机组接近满负荷(300 MW)的工况下, 对工艺水质进行了 8 次监测, 监测期间煤的平均含硫量为 0.55%。8 次监测结果的平均值见图 2。图中 0 值表示在检出限以内。检测中未发现 CaSO₄ 等沉淀物质。

由图 2 还可知, 在吸收塔出口处, 海水中的 SO₃²⁻ 含量明显增多, COD 等相应升高, 海水呈酸性, 表明海水对烟气中的二氧化硫具有较强的吸收能力, 在洗涤烟气过程中发生了吸收反应, SO₂ 转变为 SO₃²⁻ (SO₂ + H₂O → H⁺ + HSO₃⁻ → 2H⁺ + SO₃²⁻); 海水中的碳酸氢根离子, 在吸收过程中同氢离子发生反应(HCO₃⁻ + H⁺ → H₂CO₃ → CO₂ + H₂O), 从而减缓洗涤液 pH 值在吸收过程中继续下降, 有利于海水对二氧化硫的继续吸收。

海水中溶解氧含量降低, SO₄²⁻ 含量有一定的增加, 表明部分 SO₃²⁻ 在吸收塔内被氧化为 SO₄²⁻ (2SO₃²⁻ + O₂ → 2SO₄²⁻)。

在曝气过程中, 海水中剩余的 SO₃²⁻ 同氧发生反应变成 SO₄²⁻, 其含量迅速降低, 溶解氧和 pH 值逐步升高。在曝气池出口 SO₃²⁻ 在检测范围内, SO₄²⁻ 的增量在 40 mg/L 左右, pH 值恢复到 6.8 以上, COD 在 2 mg/L 以内, DO 不低于 6.0 mg/L, 达到了饱和状

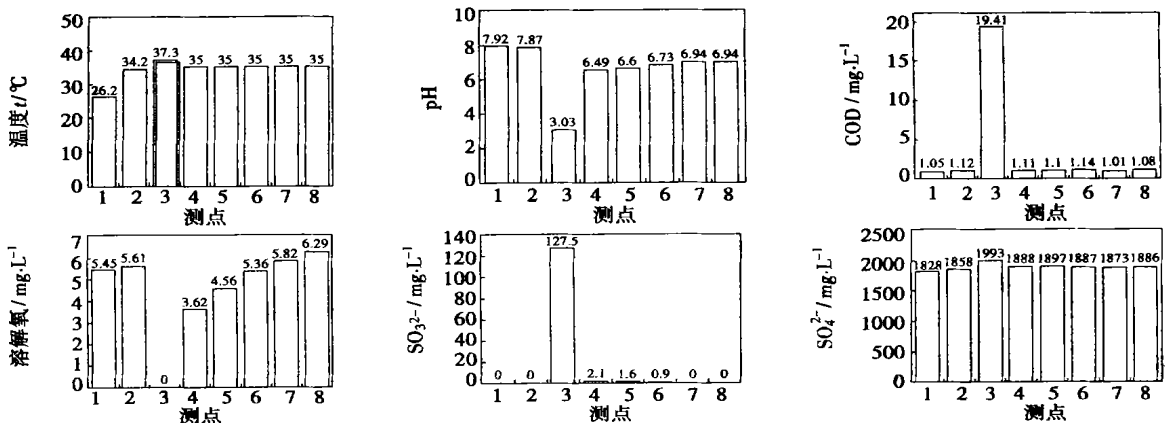


图 2 海水水质参数沿工艺流程的变化

态,水质指标达到国家四类海水水质标准要求(GB3097—1997)。表明脱硫后的海水在曝气池中,剩余的 SO_3^{2-} 被继续氧化,溶解氧被补充, CO_2 被驱出,水质得到恢复。

4.3 脱硫前后海水重金属等有害物质的变化监测结果

在海水脱硫过程中,海水同时吸收烟气中的部分重金属,如Hg、As、Cr、Cu、Fe等。为跟踪脱硫前后海水重金属等有害物质含量的变化,选取了两种监测工况:工况I的锅炉负荷290 MW,燃煤量114 t/h,晋北煤,含硫量0.65%,监测时间1999年12月9日上午;工况II的锅炉负荷206 MW,燃煤量81 t/h,晋北煤,含硫量0.65%,监测时间1999年12月9日下午。监测结果从表3中知,海洋中海水重金属As、

Cu和Ni等含量在同一天上的、下午不一样,本身随时间发生变化,一般地这里的上、下午分别为涨潮、落潮;各监测点处海水中的Cr、Pb与Cd均在检出限以内;Cu、Ni与Zn在各监测点的含量基本未发生变化;在吸收塔海水出口和曝气池出口海水中的Hg、As含量有定的增加,但符合国家二类海水水质标准(GB3097—1997);同海洋取水口处的海水相比,吸收塔入口的海水悬浮物含量较高,原因在于吸收塔入口海水为凝汽器冷却用海水,凝汽器冷却用海水取自海洋深层8 m,而取水口的采样水为表面水;吸收塔出口和曝气池出口处海水悬浮物含量较吸收塔入口稍有增加。

不同时期,各监测点处海水中的无机氮、无机磷基本上未有变化。

表3 脱硫前后海水重金属物质含量的变化

监测点	工况	Cr/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Hg/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	As/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Cu/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Ni/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Pb/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Zn/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Cd/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NH}_3\text{-N}/$ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NO}_2\text{-N}/$ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NO}_3\text{-N}/$ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	SS/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	无机磷/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
取水口	I	<0.3	0	0	3.8	1.8	0	5.0	0	0.138	0.042	0.304	417	0.031
	II	<0.3	0	1.4	1.7	0	0	6.5	0	0.107	0.041	0.224	557	0.021
吸收塔入口	I	<0.3	0	0	2.3	1.5	0	7.3	0	0.128	0.044	0.253	452	0.035
	II	<0.3	0	1.4	1.4	0	0	3.7	0	0.109	0.043	0.237	610	0.030
吸收塔出口	I	<0.3	0.34	2.8	4.1	1.5	0	7.0	0	0.131	0.027	0.334	469	0.103
	II	<0.3	0.16	2.2	1.4	0	0	3.5	0	0.296	0	0.296	634	0.048
曝气池出口	I	<0.3	0.1	0	1.8	1.2	0	7.25	0	0.150	0.034	0.273	484	0.030
	II	<0.3	0.04	1.4	1.1	0	0	4.9	0	0.094	0.077	0.291	634	0.030

5 结束语

深圳西部电厂4号机组海水脱硫系统的监测研究表明,海水对二氧化硫具有较强的吸收能力,其变化规律为:海水吸收二氧化硫后,海水中 SO_3^{2-} 含量明显增多,pH值和溶解氧含量降低, SO_4^{2-} 与COD等升高;在吸收过程中 SO_3^{2-} 部分地被氧化为 SO_4^{2-} 。脱硫后的海水在曝气处理的过程中, SO_3^{2-} 被氧化, CO_2 被驱出,水质得到恢复。脱硫前后海水中Cr、Pb、Cd、Cu、Ni与Zn等重金属含量变化不大,但Hg、As、SS和F等有一定的增幅,海水中的无机氮、无机磷含量基本上未有变化。脱硫系统排水水质指标都满足国家四类海水水质标准(GB3097—1997)。

脱硫后的产物为无害的、溶解于海水的硫酸盐,

没有固体废弃物的处理;吸收过程中无结垢、无堵塞等问题;系统工艺简单,设备少。因此海水脱硫装置相对其它湿法脱硫系统,投资少,运行费用低,并安全可靠,值得在沿海推广应用。

尽管脱硫系统的排水水质满足国家四类海水水质标准,但脱硫后Hg和As等物质的含量还是有一定的增加,它们对脱硫系统排水口附近海洋的累积效应值得关注,建议对该海域的水质、沉积物与生态进行长期的跟踪检测研究。

参考文献:

- [1] 吴来贵. 深圳西部电厂4号机组海水脱硫的调试及其分析[J]. 热能动力工程, 2000, 15(4): 393—395.
- [2] 徐旭常. 低费用烟气净化新技术[J]. 洁净煤技术, 1996, 2(1): 12—14.

(辉 编辑)

Electron-emission type of high-temperature and high-pressure electrostatic precipitation represents an innovative technology for purifying flue gases. Through dynamic tests the performance of thermal electron emission at a cathode and its poisoning characteristics under various conditions are explored. The dust removal performance of and practical benefits attainable from an electron emission-based high-temperature and high-pressure electrostatic precipitator are analyzed and discussed. Furthermore, the usage prospects of the above technology in various industrial sectors are also discussed. **Key words:** electron emission, electrostatic precipitation, flue gas, high-temperature and high-pressure

深圳西部电厂 4 号机组海水脱硫系统监测分析 = **Monitoring and Analysis of a Seawater Desulfurization System for Plant No. 4 of Shenzhen West Power Station** [刊, 汉] / WU Lai-gui (Shenzhen West Electric Power Co. Ltd., Shenzhen, China, Post Code: 518052) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 200—202

The technological design of a seawater desulfurization system for plant No. 4 of Shenzhen West Power Station is described in detail. The flue gas parameters (SO_2 content, temperature) and water quality parameters (SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , pH, DO and COD, etc.) under various operating conditions as well as before and after desulfurization were monitored and investigated along with an analysis of their variation mechanism. Furthermore, the variation of the contents of deleterious substances, such as heavy metals in seawater, were also monitored and analyzed both prior to and after desulfurization. **Key words:** seawater desulfurization, absorption, desulfurization efficiency, water quality restoration, heavy metal

湿式烟气脱硫除尘系统工艺的研究 = **A Study of the Wet-process Flue-gas Desulfurization and Dust Removal Technology** [刊, 汉] / WANG Zhu-liang, CHEN Jin-yu, WEN Jing-ping, et al (College of Energy and Power Engineering under the Jiangsu University, Zhenjiang, China, Post Code: 212013) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 203—204, 205

An exploratory study was conducted of the problems existing in a flue-gas desulfurization system. On the basis of the current usage situation overseas proposed is a flue-gas desulfurization and dust removal system suited for coal-fired boilers operating in China. Some specific cases of usage are cited to illustrate the technological merits of the recommended desulfurization system. **Key words:** desulfurization, flue gas, system technology, boiler

燃气轮机小管径自然循环余热锅炉 = **Gas-turbine Natural-circulation Heat Recovery Boiler with Tubes of Small Diameter** [刊, 汉] / CHEN Ming, Ma Yun-xiang, WANG Yan-bin, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 205—207

国外船用大中型齿轮传动形式的发展现状 = **Recent Advances in the Development of Marine large and Medium-sized Gear Transmission Modes Worldwide** [刊, 汉] / FAN Wei, BI Xiao-xu, JI Gui-ming (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 208—211

The status quo of technical development of marine large and medium-sized gear transmission modes worldwide is described. Listed are the construction features of a variety of power transmission schemes employed for GT (gas turbine), CODOG (combined diesel or gas), COGAG (combined gas and gas), COGAS (combined gas and steam) units as well as triple power distribution transmission systems of air-cushion landing craft. It is noted that techniques involving power superimposition, power distribution, transverse crisscross connections, automatic synchronizing clutches, and astern running through the use of a hydraulic coupling, etc all represent the development and application trends of the power transmission systems of geared drive units. **Key words:** marine power transmission device, gear transmission, power transmission mode