

深圳西部电厂 4 号机海水脱硫系统的调试及其分析

(深圳市能源集团环保工程有限公司, 深圳 518052) 吴来贵 牟志才 董学德 姚挺生

摘要: 论述了我国第一套海水脱硫的工作原理及其工艺流程, 阐述了该系统的调试过程, 并对其参数作了分析。

关键词: 海水脱硫; 调试; 脱硫效率; 水力特性

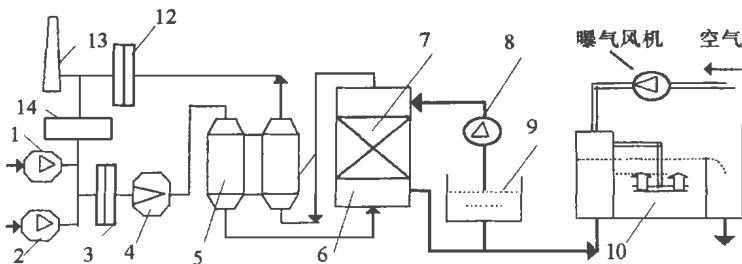
中图分类号: X701.3

文献标识码: B

1 前言

我国是以燃煤发电为主的发展中国家, 经济的快速发展日益加速了对煤的旺盛需求, 然而由煤燃烧而引起的环境污染问题已越来越严重。虽然我国的能源消费只占世界的 8%~9%, 但 SO₂ 排放量却占世界的 15.1%, 1997 年排放总量已达 2 346 万吨, 居世界的第一位。大量的 SO₂ 排放在我国已形成了极大的危害: pH 值小于 5.6 的区域迅速扩大, 形成的酸雨和 SO₂ 污染区已超过国土面积的 40%, 而且均处在我国的经济发达地区, 造成了难于估量的经济损失和社会危害^[1]。

而烟气脱硫(简称 FGD)系统是一项耗资多的环



1—引风机 A; 2—引风机 B; 3—进口挡板; 4—FGF; 5—GGH; 6—吸收塔;
7—填料层; 8—海水吸收泵; 9—虹吸井; 10—曝气池; 11—烟囱;
12—出口挡板; 13—烟囱; 14—旁路挡板

图 1 深圳西总电厂 4 号机组海水脱硫系统工艺流程图

境工程项目, 国人非常关心技术上可行、经济上合理、适合我国国情的脱硫方案。国外经验和实践证明烟气海水脱硫系统技术成熟、工艺简单、投资少且运行可靠。我国海岸线较长, 该技术可望在我国有

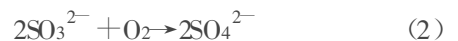
较大的应用空间。

目前深圳市能源集团西部电厂 4 号机(300 MW)已成功地从挪威 ABB 引进了一套纯海水脱硫系统, 并于 1998 年底竣工, 1999 年 3 月完成调试并移交生产。该工程深受各级政府的高度重视及大力支持。本文着重从该系统的性能方面介绍和分析该工程的调试过程及相关的参数。

2 脱硫系统简介

海水一般含盐份 3.5%, 其中碳酸盐占海水盐份的 0.34%, 硫酸盐占 10.8%, 氯化物占 88.5%, 其它盐份占 0.36%。通常显碱性, pH 值为 7.8~8.3, 每克海水碱度约 2.2~2.7 毫克当量。

纯海水脱硫的机理如下:



海水在洗涤烟气的过程中, 烟气中的二氧化硫气体被海水吸收, 生成亚硫酸根离子与氢离子, 见反应(1), 洗涤液的 pH 值随之降低; 同时海水中的碳酸氢根离子能与氢离子发生反应, 生成水和二氧化碳, 见反应式(3), 从而阻止或缓和洗涤液 pH 值的继续下降, 有利于海水对二氧化硫的继续吸收; 洗涤后的海水变为酸性水, 经曝气池处理达标后再排放到大海, 见反应式(2)。

深圳西部电厂 4 号机海水脱硫系统的工艺流程如图 1 所示。在脱硫系统投入运行时, 打开进、出挡板后, 关闭旁路挡板, 烟气由增压风机(下称 FGF)引至脱硫系统, 经气/气加热器(下称 GGH)冷却后, 进入吸收塔。烟气从吸收塔出来后, 再次经过 GGH 加热, 然后流向烟囱。

脱硫用的海水取自该机组汽机凝汽器的部分排水,吸收泵把海水从虹吸井送至吸收塔,从吸收塔出来的海水同凝汽器的其余海水汇合于曝气池,经曝气处理并且海水质量恢复到一定值后再排放大海。

3 脱硫系统的调试过程及其数据分析

整个调试过程可分为三部分:分部调试、冷态调试及热态调试。

3.1 分部调试

在分部调试中,主要是对各设备、电气及仪表进行检查与校定,并对机电设备进行空转试验。在设备具备运转条件后,再对主要设备,如增压风机、吸收泵、曝气风机及GGH等,进行8小时运转试验,检查其运行工况。

检查过程中,各运行参数符合设计或设备要求,运行状况也正常。

3.2 冷态调试

在冷态试验中,主要检查FGD系统的控制逻辑、水力特性及其与锅炉本体的匹配情况等。

3.2.1 FGD系统控制逻辑的检查

检查并核对控制逻辑。在程启控制逻辑检查核

对完好后,接着进行FGD系统的紧急跳闸(ESD)试验。该试验的目的是检验FGD系统在事故状态时是否按预定的方式动作。在ESD试验中,各挡板、增压风机及吸收泵等的动作见表1。从表1中的各动作来看,ESD试验中的各项内容符合设计要求。

表1 挡板等在ESD试验中的动作

ESD项目	旁路挡板	入口挡板	出口挡板	增压风机	吸收泵 A/B
电除尘器故障	开	关	关	停	停
锅炉跳闸	开	关	关	停	停
空预热器温度HH	开	关	关	停	停
FGD入口温度HH	开	关	关	停	停
FGF故障	开	关	关	停	停
GGH故障	开	关	关	停	停
吸收塔烟温HH	开	关	关	停	停
吸收塔水位IL	开	关	关	停	停

3.2.2 FGD烟气系统的水力特性及其与锅炉匹配情况的检查

锅炉不带负荷而送、引风机在运行的情况下,启动脱硫系统进行冷态试验。检查FGD烟气系统的水力特性及其与锅炉匹配情况的检查,如表2。

表2 FGD系统冷态调试记录

项目	炉膛负压/Pa	送风机A		送风机B		引风机A		引风机B		FGD入口前压力/Pa	FGF		FGF后部压力/Pa	FGD出口压力/Pa
		电流/A	动叶开度/%	电流/A	动叶开度/%	电流/A	动叶开度/%	电流/A	动叶开度/%		电流/A	动叶开度/%		
110%空气流量	Ok	38.5	43.4	38.0	51	73.5	56	78	68	-324	124	18.0	1443	-55
100%空气流量	Ok	36.0	39.1	36.0	44	73.2	41	76	40	-97	107	14.5	1184	-66
90%空气流量	Ok	35	37.2	35.0	42	71.8	40	75	42	-38	101	10.4	966	-52
80%空气流量	Ok	33	36.5	33	39	69.1	38	72	38	-422	100	9.5	815	-48

从表2中的有关数据可以得出,在100%的空气流量时,增压风机的出口压力为1184 Pa,由电流可计算出实际功率969 kW。由此看来,增压风机(额定功率设计值为2600 kW)有足够的力量克服烟道设备阻力及温降所带来的压力降。

另外,从送、引风机的运行参数来看,它们均在正常范围内工作,同时炉膛负压也处在正常状况,因此在动力方面脱硫系统与锅炉本体相匹配。

3.2.3 海水系统水力特性的检查

启动吸收泵,排尽管道中的气体,待吸收塔内的水位稳定后,核对吸收塔内水位是否在设计范围内,并检查吸收塔布水箱的布水情况。对于曝气池,检查各道内的水流量是否均匀,其水位是否符合设计值。

第一次检查时发现吸收塔水位偏高,且吸收塔布水箱局部需改进,其它参数符合设计值。经在排

水管末端增加适当的开孔数量及在布水管上扩孔后,上述两问题均得到了解决。

3.3 热态调试

试验分别约在 60%、75% 及 100% 的锅炉负荷下进行,主要目的是进一步检测 FGD 系统的水力特性、温度分布、系统的脱硫效率及设备的运行性能等。试验中的运行参数记录见表 7。此时海水 pH 值为 7.95,煤的含硫量为 0.75%~0.8%。

由表 3 中的数据来看,送、引风机及增压风机均在正常工况下运转,炉膛负压、烟囱入口压力及其温度也在正常范围内波动,防腐设备及防腐烟道段的烟温都在设计值以内,不会对防腐内衬产生不利影响;脱硫系统的脱硫效率在 95% 以上,GGH 泄漏率正常;脱硫后的海水水质在排放大海前达到国家三类水质要求。

表 3 FGD 系统热态调试记录

项目	185 MW	245 MW	285 MW
烟气流量/ $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ *	100.0	127.7	129.7
煤流量/%	56.1	78.7	84
炉膛负压/Pa	Ok	Ok	Ok
送风 电流/A	36.6	63.2	62.8
机 A 开度/%	40.8	65.4	65.4
送风 电流/A	36.5	58.5	58.5
机 B 开度/%	47.7	71.3	71.3
引风 电流/A	80.3	121	128
机 A 开度/%	48.0	75.4	79.2
引风 电流/A	84.8	126	133
机 B 开度/%	43.9	70.6	74.3
FGD 进口压力/Pa	-33	-84	-85
FGD 进口温度/ $^{\circ}\text{C}$	135	144	145
增压 电流/A	118	218	232
风机 开度/%	24.5	65.2	67.8
FGF 出口压力/Pa	1 215.8	2 226.1	2 319.9
FGD 出口压力/Pa	-172	-263	-235
GGH 出口温度/ $^{\circ}\text{C}$	83.9	88.1	89.6
FGD 出口温度/ $^{\circ}\text{C}$	76.3	81.7	82.2
FGD 进口 SO 浓度/ $\text{mL} \cdot \text{m}^{-3}$	326	364	406
FGD 进口 SO 浓度/ $\text{mL} \cdot \text{m}^{-3}$	5.2	5.3	6.4
海水排放大海前溶解氧	5.0	5.0	4.9
海水排放大海前 pH 值	6.8	6.7	6.7

* 为标准立方米每小时

另外,在热态调试中,还进行了锅炉在升、减负荷时 FGD 系统的适应能力试验。试验过程中增压风机动叶随烟气流量的变化而不断地进行自我调整,此时送、引风机运行状况基本不变,炉膛负压平稳,未有大的波动。因而整个脱硫系统是非常成功的。

3.4 运行 FGD 的耗电量

运行时,FGD 系统中的各设备耗电量见表 4。由表 4 中的数据可知 FGD 系统的耗电量一般超过发电量的 1.1%。

表 4 FGD 设备的耗电量

设备名称	锅炉负荷	锅炉负荷	锅炉负荷	锅炉负荷	锅炉负荷
	188 MW \cdot h	215 MW \cdot h	232 MW \cdot h	267 MW \cdot h	285 MW \cdot h
FGF	1 021	1 026.6	1 157	1 987	2 049
FGF 冷却风机	5.5 \times 2	5.5 \times 2	5.5 \times 2	5.5 \times 2	5.5 \times 2
FGF 油泵	11	11	11	11	11
GGH 驱动器	7.2 \times 2	7.2 \times 2	7.2 \times 2	7.2 \times 2	7.2 \times 2
GGH 密封风机	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
吸收泵	207+213	217 \times 2	206+212	205+210	206+212
曝气风机	232 \times 2	238 \times 2	233 \times 2	233 \times 2	233 \times 2
占总发电量的比例	1.04%	0.98%	0.9%	1.09%	1.04%

4 结论

- (1) 海水脱硫原理及工艺简单可靠;
- (2) 从整个调试过程的参数来看,深圳西部电厂的海水脱硫系统是非常成功的。
- (3) 该系统的脱硫效率在 95% 以上,而且其耗电量一般不超过 1.1%,没有别的原料的制备与消耗,无结垢,因而可望在我国沿海电厂、炼油厂及冶炼厂大面积推广。

参考文献:

[1] 徐旭常. 燃煤 SO₂、NO 防治与生态优化的策略及研究计划[J]. 科技导报, 1998(9): 3-5.

[2] Baly R. Technical and environmental implications of desulphurisation by seawater washing[A]. IChemE Symposiums Series, No. 123.

(复 编辑)

(上接 392 页)

的地方,只要能够保证安全,在征得锅炉压力容器安全监察机构同意之后,可以不进行修改。

我们相信,随着燃油锅炉日益广泛的应用和有关规程、标准的不断完善,国内外标准之间一定会达到良好的融合与统一。

参考文献:

[1] 日本劳动省. 锅炉及压力容器安全规则[S]. 1972.

[2] 原劳动部. 蒸汽锅炉安全技术监察规程[S]. 1996.

[3] GB9222-88. 水管锅炉受压元件强度计算[S]. 1988.

[4] 日本劳动省. 小型锅炉及小型压力容器构造规格[S]. 1975.

(何静芳 编辑)

210096), Lu Chunmai (Power Engineering Department, Shandong Polytechnical University, Jinan, Shandong, China, Post Code: 250061) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 387~389

This paper focuses on the results of an experimental study on the coal briquette desulfurization characteristics under the high temperatures specific to an industrial boiler as well as on the efforts aimed at improving the desulfurization efficiency. The study results indicate that the coal briquette desulfurization effectiveness varies to a large extent with temperature. The desulfurization products formed by a desulfurization reaction under a relatively low temperature may undergo a decomposition at an elevated temperature. Based on the principle of "countering waste with waste" it is possible to effectively enhance desulfurization efficiency by way of adding a calcium-based desulfurization agent into a suitable additive.

Key words: coal briquette desulfurization, calcination, desulfurization characteristics, additive

日本小型贯流式燃油蒸汽锅炉国产化设计中的若干问题= **Several Issues Encountered During the Implementation of a Domestic Production-oriented Modification Design of Japanese-made Small-sized Once-through Oil-fired Steam Boilers** [刊, 汉] / PENG Tao (Qingdao Caiyuan Environmental Protection Equipment Co. Ltd., Qingdao, Shandong, China, Post Code: 266042) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). 390~392, 395

In view of the differences existing between the Chinese and Japanese standards and specifications with regard to small-sized once-through oil-fired steam boilers some problems will arise during the implementation of the domestic production-oriented modification design of such Japanese-made boilers following their entry into the Chinese market. After an analysis of the design issues in connection with this implementation some pertinent approaches have been proposed to cope with the above-cited issues. **Key words:** once-through boiler, oil-fired boiler, domestic production-oriented modification design

深圳西部电厂4号机海水脱硫系统的调试及其分析= **Commissioning Tests and Data Analysis of a Sea-water Desulfurization System of Machine Unit No. 4 at Shenzhen West Power Plant** [刊, 汉] / WU Lai-gui, MOU Zhi-cai, DONG Xue-de, Yao Ting-sheng (Environmental Protection Engineering Co. Ltd. under the Shenzhen Energy Group, Shenzhen, China, Post Code: 518052) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 393~395

The working principle and technological process of China's first set of sea-water desulfurization system has been described along with a discussion of the system's commissioning tests and an analysis of the relevant parameters. **Key words:** sea-water desulfurization, commissioning test, desulfurization efficiency, hydraulic characteristics

轴表面误差对转子动平衡精度的影响= **The Influence of Shaft Surface Error on the Precision of Rotor Dynamic Balancing** [刊, 汉] / LIU Zhan-sheng, HUANG Sen-lin (College of Energy Science and Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), TANG Bing-zhao (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power . — 2000, 15(4). — 396~398

During the measurement of shaft vibration displacements of a turbogenerator unit by the use of electric eddy-current sensors of non-contact displacement there exists a surface error component in the measured signals, which results from shaft fabrication errors and shaft surface defects. The direct use of these signals for rotor dynamic balancing will lead to a reduction in the balancing precision, and in extreme cases a failure to effect a balance of the rotor. Based on the specific features of rotor vibration the authors have proposed a vector subtractive method to eliminate the shaft surface error. Through experimental tests it has been verified that the use of the proposed method can dramatically increase the precision of the dynamic balancing. **Key words:** turbogenerator, bearing, vibration, surface defect, error, signal, dynamic balancing