

# 湿法烟气脱硫对锅炉稳定运行的影响与对策分析

李大中<sup>1</sup>, 帅国强<sup>2</sup>, 张瑞祥<sup>1</sup>

(1. 华北电力大学自动化系, 河北保定 071000; 2. 国华定州发电有限责任公司, 河北定州 073000)

**摘 要:** 火电厂采用烟气脱硫(Flue Gas Desulfurization, FGD)是减少 SO<sub>2</sub> 排放的一个有效措施, 其中以石灰石石膏湿法脱硫技术最为成熟。但 FGD 系统中增压风机控制系统的不可靠和GGH 堵塞的问题, 对锅炉稳定运行带来很多不良影响。实际应用中, 可以通过打开脱硫系统旁路挡板、改变控制模式来提高锅炉烟风系统的稳定性, 通过改善GGH 在线冲洗方式等措施有效控制堵塞。针对这些问题以定州电厂为例做了较为深入的分析 and 研究。

**关 键 词:** 湿法烟气脱硫; 锅炉稳定运行; 对策分析

中图分类号: X701.3 文献标识码: A

## 引 言

自 20 世纪 70 年代初, 日本、美国率先实施控制 SO<sub>2</sub> 排放战略以来, 许多国家相继制定了严格的 SO<sub>2</sub> 排放标准和中长期控制策略, 加速了控制 SO<sub>2</sub> 排放的步伐, 大大促进了 FGD 技术的发展<sup>[1]</sup>。

在众多的 FGD 工艺中, 石灰石石膏湿法脱硫工艺成为烟气脱硫技术的主流, 因其具有发展历史长、技术成熟、运行经验丰富、石灰石来源丰富、石膏可综合利用、商业化程度高、脱硫效率高、单塔处理烟量量大等优点。据伦敦国际能源机构煤炭研究中心 1998 年对美国和世界其它一些国家的调查表明, 湿法石灰石石膏烟气脱硫技术分别占了 67%和 82%, 可见该技术是一种普遍受欢迎的 FGD 技术<sup>[1]</sup>。

到目前为止, 我国已经投运和在建的火电厂烟气脱硫装置, 尤其是 300 MW 以上的火电机组配套安装的脱硫装置大多采用石灰石湿法烟气脱硫<sup>[2]</sup>。

## 1 FGD 系统的运行现状和对锅炉的影响

虽然石灰石石膏湿法 FGD 系统是目前比较成熟、采用的最多的脱硫方式, 但是我国目前投产运行的 FGD 系统的投运率却很低。在 FGD 系统基建和投运初期, 人们对 FGD 系统关心较多的是脱硫效

率、初期投资及运行费用等<sup>[3]</sup>, 而对 FGD 系统对锅炉正常运行会产生怎样的影响、FGD 系统本身的安全性如何关心较少。在 FGD 系统正式投产运行以后, 人们才发现, FGD 系统的磨损、腐蚀、堵塞、结垢等其实不是大问题, 真正的大问题是 FGD 系统对电厂安全性的潜在威胁。

这种威胁主要是 FGD 系统对锅炉稳定性带来的负面影响, 表现在两方面:

(1) 增压风机自动控制系统不可靠。定州电厂曾经因为这个原因造成锅炉 MFT 跳闸, 给电厂带来很大的经济损失和负面影响。所以定州电厂自脱硫系统投运以来, 为了保证锅炉的稳定运行, 脱硫系统旁路挡板一直打开运行, 使脱硫系统成为电厂为应付环保检查的一个工具, 而没有真正发挥环保的作用。这种现象在目前有脱硫系统的电厂中普遍存在, 由于脱硫增压风机的问题造成锅炉跳闸的例子也很多。为此, 如何能够保证脱硫系统增压风机自动控制系统安全稳定的运行, 最大限度地降低对锅炉的影响, 是脱硫系统中亟待解决的问题。

(2) 烟气—烟气再热器(GGH)的堵塞问题。几乎所有的带有GGH的湿法FGD系统都遇到了堵塞问题。GGH堵塞以后, 造成FGD系统烟气阻力上升, 导致增压风机运行工况恶化, 引起增压风机的电流升高, 差压增大, 严重时会造成增压风机失速跳闸, 不能满足锅炉满负荷运行的要求。这两个问题是影响FGD系统投运率的主要问题, 随着环保要求的提高, 就成了必须要解决的问题。

## 2 增压风机对锅炉的影响和对策分析

图 1 是典型的 FGD 系统处理烟量系统结构图, 其中主要包括旁路挡板、入口挡板、出口挡板、增压风机、烟气换热器、吸收塔、除雾器等设备。FGD 系统停运期间, 进出口挡板关闭, 旁路挡板打开, 烟

气通过旁路烟风道直接进入烟囱排放。FGD 系统运行期间, 进出口挡板打开, 旁路挡板关闭, 烟气通过引风机从锅炉送入静电除尘器, 经增压风机(简称 BUF)升压后进入烟气换热器, 再进入吸收塔。在吸收塔内, 由吸收工艺除去二氧化硫, 脱硫后的烟气经除雾器除雾返回烟气换热器再热, 最后进入烟囱排放。

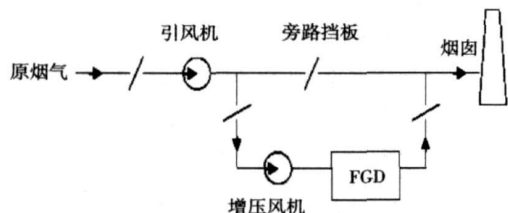


图 1 FGD 系统的组成

一般对增压风机要求采用动叶可调轴流风机, 在控制系统中通过调节增压风机动叶角度控制通过 FGD 的烟气流量。对烟气流量控制的要求是: 能将要求脱硫的烟气量引入 FGD 系统, 而且能迅速跟踪锅炉负荷变化, BUF 的启、停和运行不能影响锅炉炉膛工作压力<sup>[1]</sup>。

在增压风机动叶控制系统中, 为了快速跟踪锅炉负荷的变化, 采用锅炉风量指令作为系统的前馈信号, 采用增压风机入口烟道压力测量值作为反馈信号, 将该压力测量值与设定值进行比较, 得到的偏差信号经 PID 计算后与锅炉风量指令信号相叠加, 即前馈与反馈控制共同作用于增压风机的动叶片调节机构, 使增压风机入口烟道压力值维持在设定值, 如图 2 所示<sup>[2]</sup>。

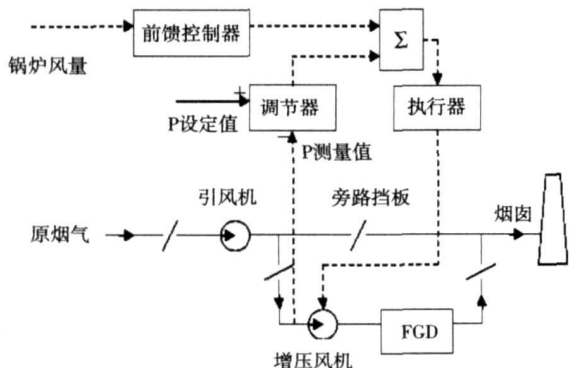


图 2 增压风机入口压力控制系统

### 2.1 传统增压风机控制系统的不足

图 2 所示增压风机控制系统是脱硫系统比较常

用的, 但是这种控制方式存在一些不足: 增压风机和锅炉引风机之间协调配合不好, 入口负压很容易波动。因为引风机和 BUF 之间烟道很短, 这段烟道的压力缓冲性很差, 引风机叶片微小的开关都会引起 BUF 入口负压变化很大, 这就给增压风机的自动调节系统带来了难度。一旦锅炉有大的扰动, BUF 入口负压超过保护值时, 不得不依靠旁路挡板快开来保护锅炉的安全。另外, 当引风机叶片迅速大幅度的开或关时, 容易造成 BUF 入口负压发散振荡, 对锅炉负压带来很大的影响, 甚至导致锅炉因负压超过保护值跳闸。

### 2.2 降低 BUF 对锅炉影响的对策

依靠旁路挡板快开来维护锅炉负压的稳定, 以保护锅炉安全是目前行之有效的办法。但是依靠牺牲脱硫效率来保护锅炉安全的做法, 随着环保要求的提高, 越来越不可取。在环保的前提下, 降低 BUF 对锅炉安全性影响的方法大概有以下几种:

(1) 旁路挡板全开, 依靠增压风机控制全部待处理烟气流量。如图 3 所示, BUF 需要吸入锅炉全部排烟量的 105%, 其中 5% 的烟量是经过旁路挡板返回至系统入口的清洁烟气。如果没有一定量的清洁烟气返回系统入口, 很难避免部分原烟气经旁路挡板排入大气, 但是由于旁路挡板全开, 对锅炉来说是安全的。然而, 增压风机的容量和 FGD 系统的电耗也会因这 5% 的循环烟气而较正常增加 5%。另外, 当返回至系统入口的烟气量比较大时, 会对 BUF 造成腐蚀<sup>[1]</sup>, 这种方法也存在一定的弊端。依靠引风机控制全部待处理烟气量, 就是保证引风机对 FGD 系统有足够的压头, 省去 BUF, 使脱硫系统对锅炉负压的影响降至最低。但这种方法需要在电厂设计初期就得将脱硫系统考虑进去, 对于 FGD 系统已投产的电厂不适用。

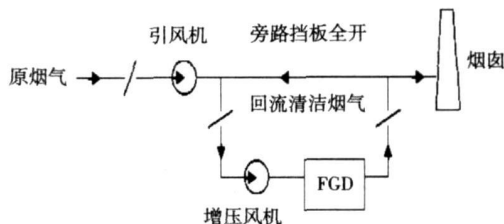


图 3 BUF 处理烟气流量的流程

(2) 改善 BUF 的控制方式, 利用引风机的叶片开关信号直接控制增压风机的动叶开度。当然这需要

增压风机的动叶开度设定一个比值, 以维持增压风机入口压力, 这个比值可以根据以往的实验数据确定。然后把增压风机入口压力作为反馈信号来调节该比值。控制结构如图 4 所示。

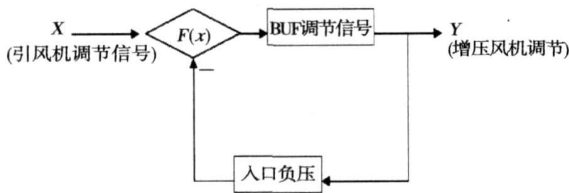


图 4 BUF 控制系统构成

这样将增压风机看成锅炉引风机的一部分, 锅炉负压的调节完全由送、引风机来完成, 大大简化了增压风机控制系统, 而且不会再产生振荡。

### 3 GGH 堵塞原因和解决方案

为了防止换热元件被烟气中的灰尘、浆液堵塞, GGH 都安装了吹灰和在线清洗装置。当 GGH 差压增加速度比较快或者差压变得比规定值大时, 就需要进行在线清洗。以定州电厂为例, 在线清洗装置的工作介质为 9.8 MPa 的高压工业水和 0.98 MPa 的压缩空气, 工作周期为 15 h, 其中包括 13.3 h 的正向清洗时间和 1.7 h 的退回时间。

一般来说, 在脱硫系统投运初期, GGH 堵塞问题人们不是很重视, 因为通过高压在线冲洗可以很容易的解决。

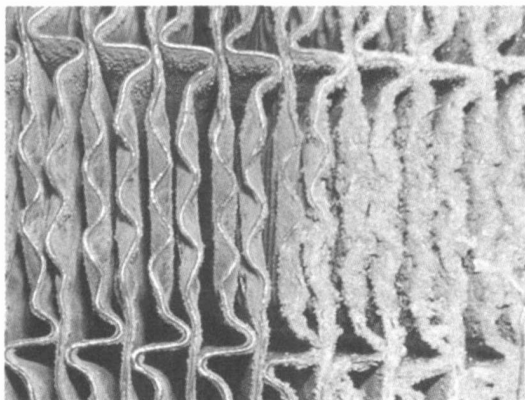


图 5 2005 年 5 月份高压水冲洗前后对比照片

由图 5 可以很清楚地看到, 在 FGD 投运初期, 高压水对清除 GGH 换热元件上的积灰是有效的,

可以很明显地降低差压, 改善增压风机运行工况。

但是随着运行时间的延长, 高压水的冲洗效果开始越来越差, 冲洗前后差压变化越来越不明显, 增压风机的工况随着 GGH 差压的增大越来越恶化。图 6 为定州电厂 GGH 严重积灰后的照片。

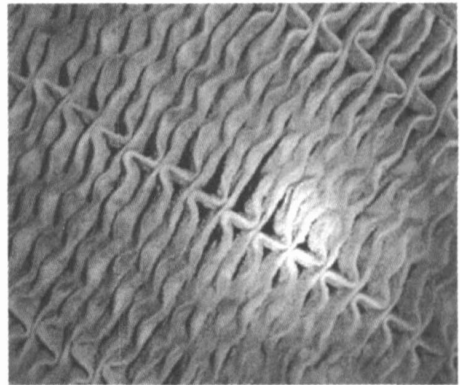


图 6 2006 年 3 月 9 日 GGH 积灰照片

对比以上两张照片可以发现, 虽然两者都存在积灰多的现象, 但积灰的形态却有着根本差异: 2005 年 5 月份检查时, 积灰非常松软, 进行一次高压在线清洗就基本能清理掉; 而 2006 年 3 月 9 日检查发现积灰非常坚硬, 对 GGH 连续进行了下部两次高压清洗、上部一次高压清洗, 但效果很差。对积灰进行化学成分分析, 化验结果如表 1 所示。

表 1 GGH 积灰化学成分分析

	SO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub> (Ca(OH) <sub>2</sub> )	CaSO <sub>4</sub>
含量/ %	18.2	12.7	20	10	35

由表 1 可以看出积灰不溶于水, 这就造成了清除的困难。

#### 3.1 GGH 堵塞原因分析

普遍认为, GGH 积灰的原因主要有以下 4 个方面:

(1) 电除尘器除尘效率低, 烟气中的粉煤灰含量高。在正常的运行工况下, 电除尘器除尘效率应该不小于 99.5%;

(2) 除雾器除雾效果差, 烟气中含有石膏、石灰石浆液过多。定州电厂除雾器出口烟气带水量设计值为不大于 75 mg/m<sup>3</sup>(湿态);

(3) 吹灰能力不足或者吹灰器安装位置不正确;

(4) GGH 入口温度过高, 造成附着物固化加快。定州电厂 GGH 入口烟气温度设计值为不大于 129.7

℃(100%负荷),而实际运行中能达到 140 ℃以上。

这 4 方面的原因都有一定的道理。虽然除雾器出口处烟气带水量很难进行测量,但是根据实际运行经验,除雾器效果差是导致 GGH 差压大的直接原因。定州电厂 1 号脱硫系统 GGH 差压上升和除雾器堵塞是同时发生的,然而 2 号脱硫系统 GGH 运行到目前为止,差压一直很正常。

还有一个原因很容易被忽视,就是盲目的在线高压水冲洗,也是 GGH 积灰变硬的重要原因。因为在线冲洗时,松软的积灰变成泥水往下流,沾满泥水的换热元件转到原烟气侧后,被热烟气烘干,水分被蒸发后,泥水里混合的积灰加上烟气中的粉尘、石膏便板结在换热元件上,冲洗时间越长,次数越多,板结也越来越厉害,最终使得高压在线冲洗失去作用。

### 3.2 GGH 堵塞的解决方案

对 GGH 积灰原因进行分析后可以找到 4 种解决方案:

(1) 提高除雾器的除雾效率,降低烟气中水分的含量;

(2) 在线高压水冲洗的时候,烟风系统要停止进烟气,使 GGH 换热元件温度降低,从源头消除冲洗过程中产生泥水板结的条件;

(3) 高压水冲洗的过程中,启动 GGH 离线冲洗

水泵对板结进行润湿,尽可能的将积垢软化;

(4) 高压水冲洗要不间断地反复冲洗,尽可能的将积垢清理干净后,烟风系统再进烟气,恢复正常运行。

## 4 结束语

本文所述处理方法,在定州电厂已经得到了验证,效果明显。定州电厂 1 号 GGH 积垢最严重的时候,风烟系统最大允许通过烟量为 1 260 km<sup>3</sup>/h,增压风机差压已经在临界报警状态,根本无法正常运行;采用本文方法处理后,最大处理烟量提升到 1 820 km<sup>3</sup>/h,增压风机运行恢复正常,在关闭旁路挡板的情况下,能够满足锅炉满负荷运行。

### 参考文献:

- [1] 周至祥,段建中,薛建明. 火电厂湿法烟气脱硫技术手册[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [2] 阎维平,刘忠,王春波,等. 电站燃煤锅炉石灰石湿法烟气脱硫装置运行与控制[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [3] 曾庭华,杨华,马斌,等. 湿法烟气脱硫系统的安全性及优化[M]. 北京:中国电力出版社,2004.

(编辑 柴舒)

技术改造

## 汽轮机高压缸通流部分的优化设计

据《Теплоэнергетика》2007 年 4 月号报道,应用最佳设计方法完成了对 T-100-12.8 型汽轮机高压缸的现代化改造,分析了改造的方案。该最佳设计方法揭示并实现提高汽轮机组经济性的潜力。表明了使用能保证达到高压缸高效率值的现代结构解决办法的效果。

高压缸现代化改造的两个方案:

应用原始结构铸造壳体铸件的反动式高压缸;

具有新的焊接壳体的反动式高压缸。

利用制定的全套程序 OPT.PT.WD 和 PRO.PT.WD 得到的结果表明,寻找并实现提高高压缸通流部分经济性潜力的可能性。

T-100-12.8 型汽轮机高压缸通流部分的最佳设计与在高压缸结构中使用反动式叶片装置和马刀形(弯扭联合)导向叶片配合,允许制定具有高的经济指标的现代化改造方案。使用反动式叶片装置并对设计时外形尺寸要求最不严格的现代化方案达到最大的经济性(高压缸效率等于 92%)。

(吉桂明 供稿)

outlet is 4.25 mm, the spray angle of the nozzle will decrease with an increase of the liquid flow rate and when the clearance height at the nozzle outlet is greater than 4.25 mm, the spray angle under a same nozzle clearance height will increase with an increase of the liquid flow rate. **Key words:** spray type desulfuration tower nozzle, liquid film model, rupture, spray angle, average particle diameter

湿法烟气脱硫对锅炉稳定运行的影响与对策分析= **Effect of Wet-method Flue Gas Desulfurization on Boiler Stable Operation and Analysis of Related Countermeasures** [刊, 汉] / LI Da-zhong, ZHANG Rui-xiang (Automation Department, North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071000), SHUAI Guo-qiang (Guohua Dingzhou Power Generation Co. Ltd, Dingzhou, China, Post Code: 073000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(6). — 677 ~ 680

The use of flue gas desulfurization (FGD) in power plants is one of the effective measures to reduce SO<sub>2</sub> emissions, among which limestone/plaster wet method desulfurization technology is the most proven one. However, in the FGD system, such problems as unreliability of the supercharged fan control system and a blockage in a gas-gas heater (GGH) have brought about many adverse effects to boiler stable operation. In practical applications, it is possible to open a bypass baffle in the desulfurization system and change the control mode to enhance the stability of boiler flue gas and air system. Measures, such as improving the GGH on-line wash mode etc. may be taken to effectively control the blockage. With Dingzhou Power Plant serving as an example, an in-depth analysis and study was conducted to seek solutions to the above problems. **Key words:** wet-method flue gas desulfuration, boiler stable operation, analysis of countermeasures

液相生化法烟气脱硫实验研究= **Experimental Study of Flue Gas Desulfuration by Using a Liquid-Phase Biochemical Method** [刊, 汉] / LIU Qi-wang, LIU Zhi-an, ZHANG Zhi-jian (College of Energy Source and Power Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Huhhot, China, Post Code: 010051), ZHANG Chun-feng (Chemical Engineering College, Inner Mongolia University of Technology, Huhhot, China, Post Code: 010051) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(6). — 681 ~ 683

By combining the transition metal (Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> galvanic couple) catalytic oxidation with microbic metabolism function and making use of the strong oxidation of iron ion Fe<sup>3+</sup>, S(IV) can be oxidized to S(VI) with the iron ion Fe<sup>3+</sup> being reduced to Fe<sup>2+</sup> while the microbe (hereinafter referred to as DYB1 for short) metabolism function can be used to quickly convert Fe<sup>2+</sup> to Fe<sup>3+</sup>. By a synergism of the latter two a desulfuration cycle can be completed. An indoor experiment was performed under the following parameter conditions: liquid/gas ratio, 2.70 ~ 8.40 L/m<sup>3</sup>, amount of ash conveyed, 16 ~ 30 g/min, wind speed inside the turbulence ball tower, 4 ~ 15 m/s, concentration of iron ion, 1.60 ~ 3.00 g/L (calculated on the basis of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), pH value, 2.7 ~ 5.0, concentration of SO<sub>2</sub>, 2574 ~ 5434 mg/m<sup>3</sup>. The test results show that the concentration of Fe<sup>3+</sup> plays an obvious role of controlling the reaction and the products generated Fe<sup>2+</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> exercise an inhibitive role to the reaction, especially Fe<sup>2+</sup>, because the latter can react with HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> to produce an internal complex and affect the generation of SO<sub>3</sub><sup>-</sup> free radical, putting an end to the reduction reaction of oxidization. After DYB1 has been added, Fe<sup>2+</sup> can be effectively converted to Fe<sup>3+</sup>, enabling the above-cited reduction reaction of oxidization to sustain and continue. The desulfuration rate can be 19 ~ 49 percentage points higher than that under same conditions and when no DYB1 has been added. **Key words:** liquid-phase biochemical method, flue gas desulfuration, experimental study