

# The Influence and Countermeasure of Flue Gas Desulphurization to Boiler Operation

Kai Shen, Keqin Sun, Changcheng Zhou, Haitao Xu

School of Energy & Environment, SouthEast University, Nanjing, China  
shenkai@seu.edu.cn

**Abstract:** According to the analysis of the influence of the flue gas desulphurization (FGD) system to boiler safety, the coupling relations of FGD system and boiler in the situations of stable operating, load following and unplanned outage were obtained. And the solution was generated. Finally, by the engineering case, the conclusion is that using logical control and operating simulation method, the influence of FGD can be prevented and the safety running of boiler can be ensured.

**Keywords:** flue gas desulphurization; FGD; boiler; logical control

## 加装烟气脱硫系统对燃煤锅炉运行的影响及对策

沈 凯, 孙克勤, 周长城, 徐海涛

东南大学能源与环境学院, 南京, 中国, 210096  
shenkai@seu.edu.cn

**摘 要:** 本文通过对烟气脱硫系统投运对机组安全运行影响的分析, 得出了烟气脱硫 (FGD) 系统与锅炉之间在正常运行、负荷跟踪、故障停运等工况下运行的相互耦合关系。并提出相应措施方案, 结合工程调试实例说明了通过控制系统的有效措施和运行调整完全能够将 FGD 系统对锅炉运行的影响保持在较小范围内, 保证锅炉的安全稳定运行。

**关键词:** 烟气脱硫; FGD; 燃煤锅炉; 控制逻辑

### 1 引言

国家第十一个五年规划中将 SO<sub>2</sub> 的减排总量列为一项重要的约束性指标, 明确提出了到 2010 年全国 SO<sub>2</sub> 排放总量要比“十五”期末降低 10% 的目标, 考虑到因经济发展引发的增量, “十一五”期间共需减排 SO<sub>2</sub> 约 1200 万吨, 主要措施是实施烟气脱硫, 任务艰巨、需求巨大。

湿式烟气脱硫 (Wet Flue Gas Desulfurization, WFGD) 是当前主流的烟气脱硫工艺, 锅炉产生的烟气依次经过烟气脱硝系统、空气预热器、静电除尘器、烟气脱硫系统后通过烟囱排入大气, SO<sub>2</sub> 的脱除效率一般分别为 95% 以上<sup>[1]</sup>。WFGD 工艺采用石灰石浆液作为吸收剂, 在脱硫吸收塔内浆液与烟气接触并充分混合, 烟气中的 SO<sub>2</sub> 与浆液中的碳酸钙以及鼓入的氧化空气进行化学反应生成石膏<sup>[2]</sup>。主要由吸收剂制备系统、吸收和氧化系统及石膏处理系统组成如图 1 所示。

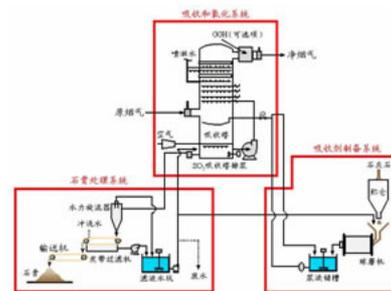


Figure 1. Flowchart of Wet Flue Gas Desulfurization  
图 1. 湿法烟气脱硫工艺流程图

FGD 系统由于位于锅炉下游, 通过烟道与主机系统相连接, 因此不可避免的对锅炉烟风系统会产生一定程度的影响, 在某些特定的情况下或者由于运行操作问题甚至会严重影响锅炉的安全稳定运行<sup>[3,4]</sup>。因此有必要对 FGD 系统对锅炉运行的影响进行研究, 确保主机的安全运行。

### 2 加装 FGD 系统对燃煤锅炉运行的影响

当 FGD 正常启、停时,烟气进行由旁路和主路的切换,由于两路烟道的阻力不一样,此时会对锅炉的炉膛负压产生比较明显的影响。特别需要指出的是当 FGD 系统保护动作时,FGD 旁路挡板门在数秒至数十秒内快速打开,此时造成的锅炉炉膛负压波动更大,如果燃烧的煤质差,操作不当,在这么短的时间内运行人员无法将负压调整过来,就有可能造成锅炉灭火。因此,对旁路挡板门正常关闭时间以及快开时间的调整,是减少炉膛负压波动幅度的重要环节。

对锅炉运行而言,FGD 系统出现异常导致 FGD 系统停机保护动作对锅炉的影响要大于 FGD 系统正常启停对锅炉的影响,导致 FGD 系统保护动作的原因主要有 3 种:

- 1、FGD 系统失电,所有循环泵停运。
- 2、FGD 升压风机、烟气再热器故障。
- 3、进/出口挡板门误关。

对第一种,若旁路不快开,高温烟气会直接进入 FGD 系统,势必对系统中各段以及设备的防腐会产生破坏。对 2、3 种故障,唯一应对的方法,也就是设置旁路挡板门快开装置。对这三种 FGD 运行的主要故障点,均纳入 FGD 保护逻辑,通过旁路挡板门快开装置,按照保护逻辑,停止 FGD 的运行,使烟气通过旁路进入烟囱。

引起 FGD 保护动作的原因除了 FGD 系统本身的故障以外,还包括机组主机部分的故障和异常情况,如锅炉 MFT、送、引风机跳闸等也会导致 FGD 保护动作。这部分保护条件也纳入了 FGD 保护逻辑,通过旁路挡板门快开装置,按照保护逻辑,停止 FGD 的运行,使烟气通过旁路进入烟囱。

因此,旁路挡板门快开时间的设定是一个关键,既要保证 FGD 系统的安全,同时也要防止炉膛负压急剧波动,一般而言,当旁路挡板门开启到 50%以上时,烟气就可大部分通过,因此旁路快开时间的设定可以按照 50%快开而不是全部来进行设定,同时整个快开时间也可通过以往工程的经验和试验来加以确定。

此外,在正常情况下,FGD 系统顺序启动或停机时,旁路挡板门应该按照一定速率正常关闭或开启,应该一边关闭或开启旁路挡板,一边密切注意升压风机入口风压以及导叶自动调节的情况。这样可基本保持炉膛负压的稳定,避免正常启动与停机过程对锅炉运行的影响。

总之,脱硫系统在正常运行时不会对锅炉产生影

响。只有在脱硫系统故障解列和脱硫系统启停时,会对锅炉产生影响。

### 3 减少 FGD 系统对燃煤锅炉运行影响的对策

#### 3.1 旁路挡板门的设计

旁路挡板门是烟气进行由旁路和主路的切换的关键部件,在动作时实现快开慢关的要求。烟道旁路挡板采用双挡板以至多挡板的型式,而且具有 100%的气密性。烟气挡板能够在最大的压差下操作,并且关闭严密,不会有变形或卡涩现象,而且挡板在全开和全闭位置与锁紧装置要能匹配,烟道挡板的结构设计和布置要使挡板内的积灰减至最小。

旁路挡板具有快速开启的功能,全关到全开的开启时间应 $\leq 15$ 秒,并保证其开启时间不会引起锅炉炉膛压力的波动。

另外,为了保证烟气旁路挡板门在任何事故状态下能正常工作,首先,我们采用比保安电源更为可靠的 UPS 电源给旁路挡板气动执行器供电;其次,我们在 FGD 控制室操作台上设置旁路挡板硬手操设备,使之可以独立于集散控制系统外运行。

#### 3.2 控制逻辑的设计

根据以往工程经验。我们在逻辑设计中主要设有“FGD 投入允许”,“烟气系统故障”,“FGD 保护动作”三步措施来保证 FGD 系统的运行安全和对锅炉影响为最小。

“FGD 投入允许”是指 FGD 投入前系统所需具备的条件,主要包括:

1. 锅炉不存在主燃料跳闸信号;
  2. 锅炉煤层工作正常;
  3. 脱硫进口原烟气烟尘浓度小于  $300\text{mg}/\text{Nm}^3$ ;
  4. 脱硫进口原烟气温度须在  $90^\circ\text{C}\sim 155^\circ\text{C}$  之间。
- 只有上述条件同时满足才允许启动 FGD 系统。

“烟气系统故障”是指 FGD 在运行过程中出现某种情况对机组安全构成威胁时紧急打开旁路挡板门使烟气通过旁路挡板门直接进入烟囱,并联停 FGD 系统。导致“烟气系统故障”的主要情况有:

1. 脱硫在运行过程中原烟气挡板门突然关闭;
2. 脱硫在运行过程中净烟气挡板门突然关闭;
3. 循环浆泵投入运行的数量少于两台。

上述情况只要有其中一种情况存在就发出“烟气系统故障”信号。

“FGD 保护动作”是指 FGD 在运行过程中系统出现某种情况对主体和 FGD 运行安全构成影响,需紧急打开旁路挡板门,并停运 FGD 系统。其条件主要包括:

1. 脱硫入口原烟气粉尘浓度高;
2. 锅炉煤层工作不正常;
3. 锅炉油枪动作;
4. 锅炉出现主燃料跳闸信号;
5. 脱硫进口的原烟气温度高;
6. 脱硫入口原烟气压力值超限。

上述情况只要有其中一种情况存在就发出“FGD 保护动作”信号。

另外作为 FGD 系统中旁路设备的旁路挡板门的开关也是需要着重考量,在本系统中,除了上面提到的“烟气系统故障”、“FGD 保护动作”会联开旁路门外,升压风机的停转也会联开旁路门,从而最大限度的保护机组安全。

旁路挡板门关的允许条件主要包括:

1. 原烟气挡板门和净烟气挡板门均打开;
2. 升压风机运行正常;
3. 循环浆泵的运行台数大于两台;
4. 脱硫允许投入。

上述条件必须同时满足才允许关闭旁路挡板门。

升压风机导叶的控制是 FGD 系统的重要调节回路,也是影响主体和 FGD 系统安全运行的重要环节。通过系统调试,我们得出不同锅炉负荷下,FGD 入口压力与升压风机导叶之间的函数对应关系。从而根据这个函数关系,我们可以使升压风机导叶跟踪锅炉负荷的变化。另外,可以通过改变该 PID 模块中的“比例带”和“积分时间”来改变跟踪速度和控制精度,系统负荷一旦出现偏差,比例调节立即产生调节作用用以减小偏差,使系统能够实时跟踪负荷变化,保证控制系统跟踪负荷快速及时。同时积分调节则根据误差,持续进行调节,消除系统达到稳定时的稳态误差,提高系统的无差度,确保系统跟踪负荷的准确有效。

同时,可再增加如下辅助措施:将 FGD 入口增加必要的压力开关,并将其信号送入锅炉保护系统将 FGD 的进出口挡板、旁路挡板状态信号及升压风机的故障信号送入到锅炉保护系统。

#### 4 对锅炉运行影响试验实例

为了更好的说明 FGD 与机组之间的相互扰动情况,更好的对 FGD 进行控制,以某电厂 600MW 超临

界机组的烟气脱硫系统为例进行说明。

其脱硫装置基本配置为一炉一塔,配置升压风机、无烟气再热器。该 600MW 机组旁路挡板门试验于 2008 年 10 月 10 日~2008 年 10 月 17 日脱硫工程试运行期间在机组基本满负荷条件下进行。

##### 1、风量前馈控制投入

根据试运行期间负荷波动情况,观察升压风机风量前馈的输出值与升压风机实际开度的对应情况,适当的修正前馈系数,待前馈输出值与实际开度偏差不大时,进行无扰动切换,投入风量前馈环节。

##### 2、旁路挡板门打开试验

在锅炉满负荷的条件下,启动挡板门开启程序,观察炉膛负压的变化,以及升压风机动叶调节情况。随着旁路挡板门开度增大,升压风机动叶调节开度稍稍减小,旁路挡板门差压与 FGD 入口压力变化趋势一致,有所降低,旁路挡板门从全关到全开整个行程过程中,炉膛负压基本没有大的波动,炉膛负压曲线如图 2 所示,说明旁路挡板在机组满负荷时开启对炉膛负压几乎没有明显地影响,旁路挡板门的开启时间设计合理。

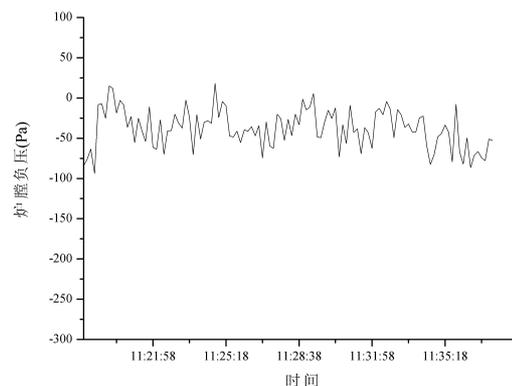


Figure 2. Curve: Furnace pressure fluctuation in the situation of by-pass damper opening and full load  
图 2. 满负荷旁路挡板快开炉膛负压变化曲线

##### 3、旁路挡板门关闭试验

主机稳定运行的条件下,通过对旁路挡板门开、关情况的分析,旁路挡板门全关时,仍存在一定的烟气泄露,为了保持旁路挡板差压的稳定,旁路挡板门的关闭过程应慢慢进行,尤其是在即将关闭的时候,一边关闭挡板,一边观察升压风机入口风压及动叶调节情况。

##### 4、脱硫系统跟踪负荷试验

在主机与 FGD 系统均正常运行的条件下,机组负

荷发生波动, 在负荷变化过程中, 升压风机动叶位置变化趋势与负荷变化趋势保持一致, 升压风机整体跟踪情况良好, 炉膛负压变化不大, 脱硫系统跟踪负荷能力能够满足系统安全运行的要求。

### 5、FGD 系统停机试验

在机组满负荷情况下, 正常运行时, 旁路挡板门关闭, 升压风机自动控制投入。此时, 集散控制系统给定升压风机强制停机信号触发 FGD 保护动作。按照 FGD 保护动作, 停止 FGD 系统运行, 升压风机关闭, 旁路挡板门快速开启, 此时炉膛负压首先转为正压, 达到 100Pa 左右, 然后迅速下降到-150Pa 左右, 之后慢慢恢复正常。过程如图 3 所示。

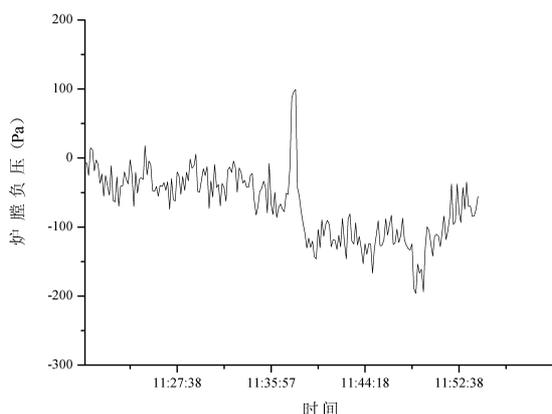


Figure 3. Curve: Furnace pressure fluctuation in the situation of FGD protection action

图 3. FGD 保护动作炉膛负压变化曲线

观察升压风机动叶关闭时间与旁路挡板门快速打开时间, 两者相差不多, 旁路挡板门快开时间 15s, 炉膛负压在整个过程中有所波动, 但处于正常范围内, 旁路挡板门的快开时间完全可以满足系统要求, 有效避免了快开装置开启过快对锅炉运行的负面影响。同时, 主路切断时间与旁路打开时间比较接近, 有利于系统压力的平衡, 减少当主路切断过快时, 切换过程中锅炉正压运行时间过长的问题, 也可以避免主路切断不及时, 导致高温酸性气体对 FGD 系统的腐蚀的问题。

## 5 总结

1) FGD 正常启停时, 旁路挡板门的开启与关闭的行程时间可以保证炉膛负压处于稳定, 没有产生剧烈波动。

2) 当 FGD 保护动作时, 旁路挡板门快开时间不宜过短, 打开过快将引起炉膛负压剧烈波动, 应根据工程经验进行设计选择合适的快开时间。

3) 正常运行时, 只要旁路挡板打开, 升压风机闭环控制切除, 仅保留负荷跟踪环节, FGD 系统就与机组实现了分离, FGD 系统基本不会对主机产生影响。

4) 根据需要, 可增加如下措施: 在 FGD 入口增加压力开关并将信号送入锅炉保护系统; 将 FGD 的进出口挡板、旁路挡板状态信号及升压风机的故障信号送入到锅炉保护系统, 但建议日常作为锅炉侧炉膛安全监控系统的辅助监测信号, 暂不作为保护逻辑的条件信号。

5) 根据本文反映的以往工程经验来看, 在本文中 FGD 系统集散控制保护逻辑的合理设计以及合理的运行操作下, FGD 系统的保护动作不会对锅炉的安全运行产生重大的影响。

## References (参考文献)

- [1] Sun Keqin, Zhang Dongping. Introduction on OI2-WFGD Flue Gas Desulfurization[J], *Electric Power Environmental Protection*, 2004, 20(3), P12-14 (Ch).  
孙克勤, 张东平, OI2-WFGD 烟气脱硫技术介绍[J], *电力环境保护*, 2004, 20(3), P12-14.
- [2] Zhou Qulan, Xu Tongmo, Hui Shien. Development and Application of China's Own Wet Flue Gas Desulfurization Technology[J], *Power Engineering*, 2006, 26(2), P262-266.  
周屈兰, 徐通模, 惠世恩, 我国自主开发的湿法脱硫技术及其应用[J], *动力工程*, 2006, 26(2), P262-266.
- [3] Sun Keqin. The Characteristic and Design Majorization of Flue Gas Desulphurisation System in Yangzhou Power Plant[J], *Electric Power Survey & Design*, 2003, (1), P43-47.  
孙克勤, 扬州电厂烟气脱硫系统特点及设计优化探讨[J], *电力勘测设计*, 2003, (1), P43-47.
- [4] Sun Keqin, Zhou Shanming, Zhong Zhaoping, Jin Baosheng. Hydrodynamic Simulation and Optimized Design of a Large sized Flue Gas Desulfurizer[J], *Journal of Engineering for Thermal Energy and Power*, 2005, 20(3), P270-274.  
孙克勤, 周山明, 仲兆平, 金保升, 大型烟气脱硫塔的流体动力学模拟及优化设计[J], *热能动力工程*, 2005, 20(3), P270-274.