

# 基于 PLC 不稳定烟气脱硫控制系统的设计

纪正飏, 周 锋

(盐城工学院 信息工程学院, 江苏 盐城 224051)

**摘要:** 针对脱硫的工况特点, 设计了一种基于 PLC 的智能化高效烟气脱硫控制系统; 该系统通过监控烟气管道中的温度、流量、颗粒浓度等动态拟合出实时二氧化硫的流量, 经分析及及时输出控制指令, 进而有效的控制脱硫装置的运行状况, 提高脱硫效率, 降低了成本; 系统以西门子 PLC 作为脱硫装置控制核心, 以紫金桥监控软件为上位机组态软件, 通过实际的生产运行, 系统的脱硫效率达到了 96.2%; 且该系统具有良好的稳定性和实用性。

**关键词:** 二氧化硫; 流量; 烟气脱硫; 自动控制系统

## Design and Implementation of Efficiency Gas Desulfurization Control system Based on PLC

Ji Zhengbiao, Zhou Feng

(School of Information Technology, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China)

**Abstract:** According to the condition of desulfurization, an intelligent control system of efficiency flue gas desulfurization based on PLC has been designed. By monitoring the temperature, flow rate, particle concentration of flue gas pipeline, and the system can obtain the dynamic real-time flow of sulfur dioxide. After analysis the timely output, the control instructions would be issued, the operation of device can be effectively controlled, and the desulfurization can be efficiency improved, the cost of the system can be also reduced. The system takes Siemens S7-226PLC as automation control station, and the computer with monitoring software WinCC is used as the upper computer. Through the actual operation, the desulfurization efficiency of the system is about 96.2%, and the system has good stability and practicality.

**Keywords:** SO<sub>2</sub>; flow rate; flue gas desulfurization; automatic control system

### 0 引言

目前, 我国燃煤锅炉等行业大气污染物的排放量很大, 在排放物中二氧化硫 (SO<sub>2</sub>) 成为最主要的气态污染物, 且这些污染物是造成雾霾等天气现象的主要原因。由于排放物的种类、颗粒大小等不均匀性, 造成烟气流量变化大, 导致 SO<sub>2</sub> 浓度产生明显的变化, 且温度也会出现较大的波动, 因此, 这些不稳定的工作状况, 引起脱硫效率的大大降低。为了有效地降低 SO<sub>2</sub> 等有害气体的排放量, 研究人员做了大量的理论和实验研究, 并且取得了一定的效果<sup>[1-5]</sup>。目前, 常用的湿法烟气脱硫工艺控制方法主要集中在通过脱硫液 PH 值控制脱硫剂和 PID 控制脱硫剂等方法。其中, 通过脱硫液 PH 值控制脱硫剂的方法只适用于稳定烟气脱硫装置, 当这种单一控制方式使用在工况极不稳定的烟气上时, 将会引起脱硫效率的降低和资源的浪费, 造成脱硫成本的增加; 通过 PID 控制脱硫剂的方法在控制理论上可以适用于烧结烟气脱硫脱装置上, 但是, 实际上 SO<sub>2</sub> 浓度测量一般具有滞后性, 即使适用 PID 控制技术也很难实时测量 SO<sub>2</sub> 的浓度, 同样烟气脱硫效率的降低, 造成烟气的不达标排放。

为了实时有效的控制排放烟气中 SO<sub>2</sub> 的含量, 提出了一种智能化、快速响应的烧结烟气 SO<sub>2</sub> 浓度测算控制系统, 将

研制的脱硫系统运用到实际的系统中, 并分析系统的脱硫效率。

### 1 脱硫原理及算法研究

不稳定烟气中含有大量的 SO<sub>2</sub>, 且烟气流量变化大, 幅度达到 40% 左右, SO<sub>2</sub> 浓度变化约为 400~3 000 mg/Nm<sup>3</sup> 之间, 同时温度的变化范围在 85~150 °C, 因此, 复杂工况烟气工作状况极不稳定, 所以, 必须获得稳定的 SO<sub>2</sub> 的浓度等才能达到高效的脱硫效果和脱硫剂的使用效率。

为了获得准确的 SO<sub>2</sub> 的浓度, 本文提出了采用循环控制的方法去监测计算 SO<sub>2</sub> 浓度, 首先利用传感器测量所述烟气脱硫塔入口处的温度  $T$ 、压力  $P$ 、流量  $F$ 、颗粒浓度  $PC$ , 再结合方程 (1) 求解输出 SO<sub>2</sub> 的浓度。

$$S(t) = C_{11}T(t) + C_{12}P(t) + C_{13}F(t) + C_{14}PC(t) + C_{21}T^2(t) + C_{22}P^2(t) + C_{23}F^2(t) + C_{24}PC^2(t) \quad (1)$$

$$T(t) = \frac{T_{t+1}}{T_t}, P(t) = \frac{P_{t+1}}{P_t},$$

$$F(t) = \frac{F_{t+1}}{F_t}, PC(t) = \frac{PC_{t+1}}{PC_t},$$

$$S(t) = \frac{S_{t+1}}{S_t} \quad (2)$$

其中:  $C_{11}$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{13}$ 、 $C_{14}$ 、 $C_{21}$ 、 $C_{22}$ 、 $C_{23}$  和  $C_{24}$  为比例系数, 公式 (1) 中的温度、压力、流量、颗粒浓度及 SO<sub>2</sub> 浓度的变化率可以用公式 (2) 表示, 在循环控制过程中求解获得。其中各个比例系数  $C_{ji}$  的选取要保证  $S(t)$  与近似函数之间的误差最小, 也即均方误差可以表示为:

$$\bar{\epsilon}^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [S(t) - \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n C_{ji} \varphi_{ji}(t)]^2 dt \quad (3)$$

收稿日期: 2014-05-28; 修回日期: 2014-06-30。

基金项目: 盐城工学院自然基金资助(KJC2012028)。

作者简介: 纪正飏(1981-), 男, 讲师, 硕士, 主要从事过程自动化技术方向的研究。

其中:  $t_1$  和  $t_2$  为动态拟合的时间区间,  $\varphi_{ji}(t)$  为温度 ( $T(t)$ )、压力 ( $P(t)$ )、流量 ( $F(t)$ ) 及颗粒浓度 ( $PC(t)$ ), 为使公式 (3) 的值最小, 可以得出:

$$\frac{\partial \overline{\varepsilon^2}}{\partial C_{ji}} = \frac{\partial}{\partial C_{ji}} \int_{t_1}^{t_2} [f(t) - \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n C_{ji} \varphi_{ji}(t)]^2 dt = 0 \quad (4)$$

通过求解方程 (4), 可以得到所需的比例系数, 如公式 (5) 所示。

$$C_{j_i} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} f(t) \varphi_{ji}(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} \varphi_{ji}^2(t) dt} \quad (5)$$

计算系数  $C_{ji}$  即可以把  $SO_2$  的浓度动态拟合出来, 其中进行 PID 运算后把运算结果作为副调节器的定值, 与  $SO_2$  测量值送入副调节器进行 PID 运算, 获得准确的  $SO_2$  浓度, 以控制脱硫剂的用量, 从而达到控制烟气排放  $SO_2$  的目的。由于脱硫剂进入炉膛至烟气中  $SO_2$  能够反映需要一段时间, 因而结合公式 (1) 动态计算出入口的  $SO_2$  实时浓度, 依据获得的  $SO_2$  实时浓度确定脱硫剂的投放量, 从而可以有效的控制烟囱出口处  $SO_2$  的排放。控制系统中  $SO_2$  实时浓度测量过程如图 1 所示。

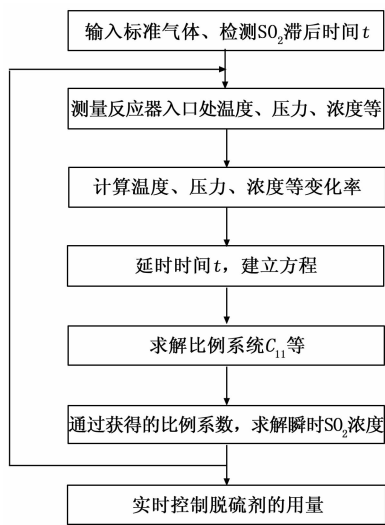


图 1  $SO_2$  实时浓度测量示意图

## 2 控制系统设计

### 2.1 控制系统整体设计

本文系统采用了 PLC 控制方案。整个脱硫控制系统以西门子 PLC 为核心, 通过现场总线将现场传感器、上位机、现场电气单元组合成一体, 通过人机界面 (human machine interface, HMI) 操作自动化系统中的设备确保本系统的先进性<sup>[7]</sup>。基础自动化系统的控制软件及 HMI 采用标准化的软件结构, 可以确保系统的协调性、维护的方便。通过 PLC 控制器按设定的周期反复采集温度、压力、流量、颗粒浓度及  $SO_2$  浓度传感器的值, 并计算获得  $SO_2$  的实时浓度, 实时地根据计算值控制所述脱硫剂的使用量。

### 2.2 控制系统硬件设计

由于不稳定烟气脱硫环境比较复杂, 烟气对系统控制的精度要求, 所以, 本系统设计了六大模块, 具体包括处理器

模块、温度传感器模块、压力传感器模块、流量传感器模块、颗粒浓度监测模块、 $SO_2$  浓度测量模块, 如控制系统结构示意图 2 (A) 所示。其中  $SO_2$  浓度测量模块根据需要把数据传送给处理器模块, 处理器模块进行计算得出实时二氧化硫浓度。利用皮托管监测烧结烟气流量的变化, 同时采用压差送测量烟气压力的变化, 铂热电阻随温度产生变化的特性来测量气体温度, 光闪烁法测量烟气的颗粒物浓度。处理器模块是使用西门子 226 系类 PLC 的控制系统, 该系统具有远程以太网及英特网通讯接口, 通过该接口与以太网中的服务器相连, 实现下位机 PLC 数据的远程存储、分析、维护等功能、并通过 3G 网络实现短信报警, 控制系统中的上位机与 3G 网络相对接, 用户可以随时随地监控烧结烟气脱硫状况。控制系统采用 2 台工控机, 一台为主机, 一台备用。下位机由 PLC 构成, 即现场单元。它们之间通过工业以太网通信, 共同完成监控任务, 现场 PLC 负责数据的采集, 并将相关数据传送到上位机进行数据的处理。系统可实时监控系统的工作情况, 并针对烧结烟气工况适时做出相应的控制。控制系统结构如图 2 所示。

从图 2 可以看出, 数据采集系统包括烟气流量、 $SO_2$  溶度、烟气温度、脱硫浆液 PH 值和管道压力等, 数据采集系统按所设置的采样速率, 周期性地采集现场设备开关量和模拟量。通过网络传输到 PLC 柜的输入输出接口, 并在触摸屏中加以显示, 为现场人员监视和操作现场设备提供依据。烧结烟气工况适时响应控制系统具有模拟量闭环调节功能, 其主要闭环调节回路包括脱硫浆液池的液位调节、脱硫浆液 PH 值调节、脱硫剂浓度调节等。

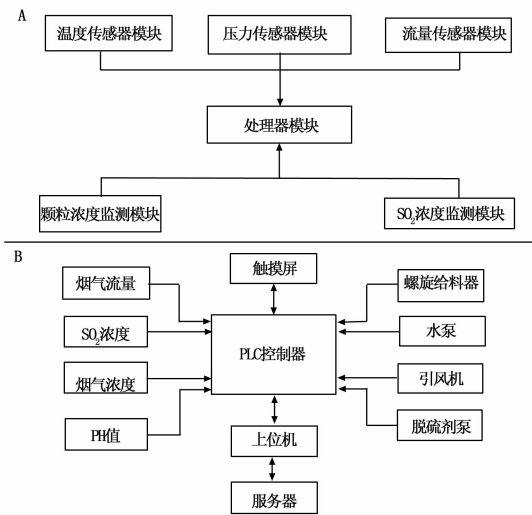


图 2 控制系统结构示意图

### 2.3 控制系统软件设计

该脱硫控制系统设计包括 PLC 控制器和紫金桥组态编程, 在脱硫装置的控制系统中主要被测对象包括温度、压力、流量、颗粒浓度、 $SO_2$  浓度等。另外, 为使系统正常运行, 上位机软件中设置相应的趋势程序, 故障诊断程序、状态程序、报警程序、急停操作程序和系统复位子程序等。上位机选用的是紫金桥组态工业监控软件, 开发出监控程序对整个系统的监控。该人机界面可以根据需要直观的监

视系统的工作状态，显示系统每个部件的运行情况，在实际的运行过程中，根据从 PLC 发出的实际数据自动完成动态显示。上位机界面显示内容主要包括：常规辅机的工作状态、故障报警信息、电动风门开关反馈信号、电机执行机构开度反馈信号和故障信号、变频器工作状态和故障报警信息等。测试的参数主要有烟气温度、压力、流量、SO<sub>2</sub> 含量和烟尘含量等。

### 3 结果分析

研制的烟气脱硫系统安装在盐城某公司的烟气脱硫系统中，为了验证设计系统的实用性，首先分别测量了的系统入口烟气的 SO<sub>2</sub> 浓度、温度、压力随时间的关系，测量的结果如图 3~4 所示。

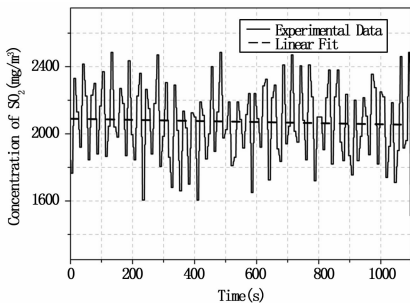


图 3 入口处 SO<sub>2</sub> 浓度的测量曲线

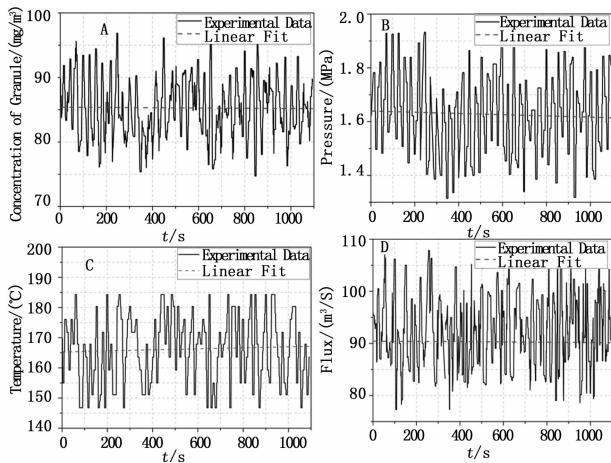


图 4 入口处烟气颗粒浓度、压力、温度、流量的测量曲线

从图 3 中可以看出，系统入口的烟气含有大量的 SO<sub>2</sub>，若直接排入到大气中将会造成空气的严重污染，甚至出现雾霾和酸雨等天气，必须对烟气进行脱硫。如前面理论分析一样，烟气中 SO<sub>2</sub> 的浓度不是处于稳定状态，而是具有一定的波动，在 1 100 s 的时间内波动幅度约为 80 mg/m<sup>3</sup>，烟气中 SO<sub>2</sub> 的浓度的均值约为 2 100 mg/m<sup>3</sup>。从图 4 可以看出，系统入口的烟气的温度不是处于稳定状态，也是出现波动的现象，在 1 100 s 的时间内波动幅度约为 40 °C，烟气的平均温度约为 165 °C。系统入口烟气的压力是随时间而发生变化，出现较大的波动现象，在 1 100 s 的时间内波动幅度约为 0.4 MPa，烟气的平均压力约为 1.75 MPa。从烟气 SO<sub>2</sub> 浓度、温度、压力随时间的关系图可以看出，烟气工作状况极不稳定，造成常规脱硫方法的脱硫效率极不稳定。利用公式 (1)

计算出 1 100 s 内烟气 SO<sub>2</sub> 的浓度数值，其中前 20 组 SO<sub>2</sub> 的浓度数值如表 1 所示，利用动态计算出的 SO<sub>2</sub> 的浓度数值进行脱硫实验，并测量的系统输出烟气 SO<sub>2</sub> 的浓度，如图 5 所示。

表 1 前 20 组 SO<sub>2</sub> 浓度的数据

时间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
浓度	1842	1765	1765	1765	1765	1765	1765	2045	2075	2050
时间	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
浓度	2330	2330	2230	2310	2330	2430	2232.5	2230	2227.5	2130

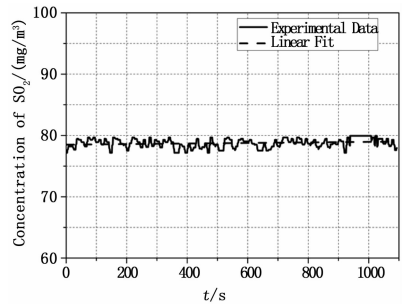


图 5 SO<sub>2</sub> 浓度的测量曲线

从图 5 可以看出，脱硫后的 SO<sub>2</sub> 浓度约为 78 mg/m<sup>3</sup>，波动的幅度约为 2 mg/m<sup>3</sup>，系统的脱硫效率约达到 96.2%，该系统能够高效完成脱硫工作。

### 4 结论

本文通过监控烟气管道中的温度、流量、颗粒浓度等，动态拟合出实时二氧化硫的流量，设计了一种基于西门子 PLC 的不稳定烟气脱硫控制系统。通过给该控制系统进行适当的硬件配置、软件设计并调试后证明：该系统具有很好的安全性、稳定性和可维护性，计算出的 SO<sub>2</sub> 浓度完全达到设计要求。该系统具有有效的控制脱硫装置的运行状况，提高脱硫效率，降低了成本。通过实际的生产运行证明，该系统具有良好的稳定性和实用性。

#### 参考文献：

- [1] 陆雅静, 熊源泉, 高 鸣, 等. 尿素/三乙醇胺湿法烟气脱硫脱硝的试验研究 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (5): 44-50.
- [2] 史涛涛, 赵占斌, 孙德辉, 等. 石灰石-石膏湿法烟气脱硫控制系统设计 [J]. 微计算机信息, 2012, 28 (9): 23-24.
- [3] 刘 岩, 王卫兵, 李 鹏. 基于 DCS 的循环流化床炉内喷钙脱硫控制系统的设计与实现 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2009, 14 (5): 56-59.
- [4] 刘 伟, 张 弛. 基于 PLC 的烟气循环流化床脱硫控制系统 [J]. 电力环境保护, 2004, 20 (3): 8-11.
- [5] 张春燕. 湿法烟气脱硫控制系统方案研究 [J]. 电子设计工程, 2012, 20 (6): 118-123.
- [6] 万 力, 宛 晟. 基于 Profibus 总线技术的智能配电柜系统的设计与实现 [J]. 微计算机与应用, 2013, 32 (13): 60-62.
- [7] 蒋 强, 杨 军, 唐毅锋. 基于的航空管机矫直机控制系统设计与实现 [J]. 测控技术, 2014, 33 (2): 70-72.