

# 基于DCS系统火电机组SO<sub>2</sub>自动控制研究

徐海民 常永亮

京能秦皇岛热电有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i2.7602

**[摘要]** 目前火电机组自动化程度越来越高,并且节能减排是火电厂运行的重要任务之一。脱硫系统核心子系统是吸收塔浆液pH值控制,pH值过高造成吸收塔结垢堵塞,同时降低脱硫副产物品质,加大石灰石消耗量;随着pH值大幅波动会造成SO<sub>2</sub>排放浓度的大幅波动,不利于SO<sub>2</sub>排放浓度的精准控制,当机组负荷大范围波动时,单纯pH控制不能够满足烟气中SO<sub>2</sub>排放浓度精准控制,须配合浆液循环泵的组合启停,保证SO<sub>2</sub>排放浓度不超标。

**[关键词]** DCS控制系统; SO<sub>2</sub>自动控制; IMC控制

**中图分类号:** TB486+.3 **文献标识码:** A

## Research on SO<sub>2</sub> automatic control of thermal power unit based on DCS system

Haimin Xu Yongliang Chang

Jingneng Qinhuangdao Thermal Power Co., LTD

**[Abstract]** With the increasing degree of automation of thermal power units, energy saving and emission reduction is one of the important tasks of thermal power plant operation. The core subsystem of desulphurization system is the control of pH value of the slurry of absorber. Too high pH value causes fouling and blockage of absorber, reduces the quality of desulphurization byproducts and increases the consumption of limestone. With the large fluctuation of pH value, the SO<sub>2</sub> emission concentration will fluctuate greatly, which is not conducive to the accurate control of SO<sub>2</sub> emission concentration. When the unit load fluctuates in a wide range, the simple pH control cannot meet the accurate control of SO<sub>2</sub> emission concentration in the flue gas, and the combination of the slurry circulating pump must be started and stopped to ensure that the SO<sub>2</sub> emission concentration does not exceed the standard.

**[Key words]** DCS control system; SO<sub>2</sub> automatic control; IMC control

### 引言

传统pH值控制方法主要包括两种方式<sup>[1]</sup>: 一是最为常见的串级控制系统,主回路为pH值控制,辅回路为石灰石浆液流量控制;二是最为基本的单闭环PID控制。由于吸收塔pH值变化具有大延时、大惯性特性导致上述两种常规控制策略在实际投运过程中存在自动控制效果差、抗扰动力弱的问题,造成pH值自动控制滞后,SO<sub>2</sub>排放浓度波动幅度大。

为解决传统pH值控制系统控制效果不理想的问题,基于模型预测控制策略(MPC)设计了一种脱硫pH值先进控制系统<sup>[2]</sup>,该控制系统可解决脱硫系统存在的大惯性、大滞后以及抗扰动力差的问题,该控制策略中主要包含了模型算法控制(MAC)、动态矩阵控制(DMC)、广义预测控制(GPC)、内模控制(IMC)等相关控制策略。随着大数据技术的不断成熟,利用DCS系统历史数据,采用聚类中心方式进行浆液循环泵的组合分类。调研某热电公司采用基于GPC模型预测控制,取得了一定的控制效果。

基于模型预测控制中的MAC、DMC、GPC控制方法涉及到多维矩阵运算,需要占用控制器较大RAM内存,不能直接写入DCS系统。根据上述情况,控制方法采用IMC控制方法直接写入DCS控制系统,进行闭环控制。同时根据钙硫比方式进行前馈控制,两者同时补偿该控制对象的大延时、大惯性特性。由于最终控制目标是出口SO<sub>2</sub>浓度,基于此同时增加出口SO<sub>2</sub>浓度超标前馈控制。

除pH控制外,当机组负荷大范围波动的时候,单纯的pH控制不能够满足烟气中SO<sub>2</sub>排放浓度,须配合浆液循环泵的组合启停,增加吸收塔对SO<sub>2</sub>的吸收效率,才能更好的保证排放SO<sub>2</sub>浓度不超标。根据运行提供的主要调整参数,采用聚类中心距离最小方法确定出浆液循环泵的组合运行方式<sup>[3]</sup>。

### 1 pH前馈控制回路

影响吸收塔pH值的主要因素为烟气中的SO<sub>2</sub>量,所以利用烟气流量和原烟气折算后SO<sub>2</sub>浓度就可以估算出吸收塔石灰石浆液流量。某时刻进入吸收塔中的SO<sub>2</sub>的摩尔量为:

$$n_{SO_2} = \frac{Q_a \times C_{SO_2}}{64}$$

式中:  $Q_a$ 为烟气流量,  $C_{SO_2}$ 为烟气中折算后的 $SO_2$ 浓度,  $n_{SO_2}$ 为进入吸收塔中的 $SO_2$ 摩尔数。某时刻进入池中的 $CaCO_3$ 的摩尔量为:

$$n_{CaCO_3} = \eta \frac{Q_1 \times \rho_{CaCO_3}}{100}$$

式中:  $Q_1$ 为浆液流量,  $\rho_{CaCO_3}$ 为浆液的密度,  $\eta$ 为浆液中 $CaCO_3$ 的比例系数, 通常 $\eta$ 取0.3左右,  $n_{CaCO_3}$ 为进入池中的 $CaCO_3$ 摩尔量。(根据现场实际石灰石品质以及运行人员反馈, 需要加入钙硫比的修正系数, 约为1.1-1.2之间)采取固定摩尔比的控制方式时, 只需保证 $n_{CaCO_3}$ 与 $n_{SO_2}$ 保持一定比例, 通过分析化学反应方程式可知, 比例在1附近时较为合理, 而浆液的密度、烟气中折算后的 $SO_2$ 浓度、烟气流量现场都配置测点, 这样就可以依据烟气流量、烟气折算后 $SO_2$ 浓度、浆液密度按照固定摩尔比的方式估算出浆液流量。

## 2 IMC控制回路

内模控制(Internal Model Control, 简称IMC)思路的实质是把内部模型和实际被控对象实现并联并组合起来的结构, 控制器选取模型的动态逆, 在模型准确的情况下, 整个控制系统相当于开环跟随系统, 同时加入了合适的微分作用, 等价于DMC、GPC、MAC的参考轨迹, 使得闭环系统的性能尽可能地得到满足, 再使用低通滤波器提升系统的鲁棒性, 从而减少外界扰动所造成的不利影响, 提升一定的适应性。

基于上述原理首先进行了离线仿真, 其中在2500秒左右加入了0.5的外扰。根据某热电吸收塔配置情况, 模型对象采用的是一阶, 纯延时时间根据现场实际情况辨识为130秒, 惯性时间16分钟, 对象增益为1.6, 滤波时间参数为450秒, 仿真后控制器输出量基本符合现场实际需求。

## 3 $SO_2$ 闭环校正

由于最终控制目标是出口 $SO_2$ 浓度, 基于此同时增加出口 $SO_2$ 浓度超标前馈控制, 本文中采用出口 $SO_2$ 实际浓度和设定值进行比较, 将差值按照一定的比例反馈至IMC闭环调节的pH实际值上, 进行闭环调节。

## 4 浆液循环泵组合分类

某热电循环泵按单元制设置, 每套循环系统设5台浆液循环泵, 对应5层喷淋层, 每台浆液循环泵对应1层喷淋层, 循环泵的循环浆液量为 $5900m^3/h$ 。扬程分别为: 20.4m/22.4m/24.4m/26.9m/28.4m。第一层喷淋为循环泵A, 第二层喷淋为循环泵B, 第三层喷淋层为循环泵C, 第四层喷淋层为循环泵D, 第五层喷淋层为循环泵E。

燃煤涉及的收到基全硫数值来自实验室化验值, 其弊端是没有实时性, 不能参与控制。基于此, 需要将该化验值折算为相同负荷下、不同煤种下可以实时测量的脱硫吸收塔入口 $SO_2$ 浓度, 依据此浓度值来区分当前煤种的收到基全硫, 同时结合当前负荷大小来匹配出厂设计浆液循环泵组合运行状态。

根据运行提供的主要依据调整参数, 进行降维处理, 分析发现由于煤质的变化, 其中负荷、燃煤量等参数并不能真实反映烟气中实际含有的 $SO_2$ 含量, 同时根据钙硫比原理分析得出烟气流量、进口 $SO_2$ 浓度、出口 $SO_2$ 浓度三者的参数基本上能反映实际系统中存在的 $SO_2$ 含量, 同时结合不同浆液循环泵组合方式下不同的pH值, 基本上反映了吸收塔的脱硫能力。综上所述, 不同工况下, 浆液循环泵的不同组合方式的聚类中心特征参数为烟气流量、进口 $SO_2$ 浓度、出口 $SO_2$ 浓度、吸收塔pH值, 其中前三种参数之前存在定性定量关系, 即烟气流量\*(进口 $SO_2$ 浓度-出口 $SO_2$ 浓度)= $SO_2$ 流量。综上, 聚类特征参数为两个参数即 $SO_2$ 流量、吸收塔pH值。

具体实施如下, 导出三个月DCS历史运行数据, 将数据依据不同浆液循环泵运行组合进行分类, 同时注意剔除数据中进出口 $SO_2$ 仪表标定数据、pH仪表标定、冲洗等数据。通过上述数据筛选后, 确定了八种浆液循环泵运行组合, 该八种组合涵盖了机组所有运行负荷段。为了防止分类数据存在极端分布, 针对每种组合数据, 分别绘制数据正态分布图, 其中的均值即为数据的聚类中心, 其中正态分布公式如下表1所示。

表1 正态分布图公式

样本	置信区间	区间大小
$n$	$(\bar{x} - 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{x} + 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}})$	$3.92 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
$2n$	$(\bar{x} - 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}, \bar{x} + 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{2n}})$	$3.92 \times \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$

以其中的 $SO_2$ 流量为例进行计算: 14泵组合方式其中数据中心为 $1.47 \times 10^9$ , 通过数据中心值和正态分布进行对比可知, 该数据中心符合实际情况, 没有出现极端分布情况, 其他组合依次类推。

根据计算好的特征数据中心值, 实时不同工况采用聚类中心距离最小方法确定最优的浆液循环泵组合方式, 推荐给盘前运行人员。中心计算公式采用欧式距离公式进行计算, 如下公式所示:

$$\otimes(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

为了确保系统的安全性, 目前逻辑中只进行浆液循环泵不同组合的推荐, 不进行联锁启停, 浆液循环泵的实际启停由盘前人员手动启停, 其中八种组合中避免了某种组合下浆液循环泵电机来自同一6kV母线段。如下表2所示。

## 5 存在的问题及解决方案

由于烟气流量为体积流量测量方式, 冬季和夏季测量值受环境温度影响较大, 导致测量数据出现偏差, 进而导致组合方式不符合实际情况。仿真中发现: 夏季烟气流量测量数据偏大, 但实际数据偏小; 同样, 冬季烟气流量测量数据偏小, 但实际数据偏大, 从而导致采用夏季历史数据推导出的浆液循环泵组合不符合冬季实际运行工况。

表2 八种组合聚类中心参数表

序号	组合方式	pH 中心	SO <sub>2</sub> 流量中心 (mg/h)
1	11/12	5.35	1154676028.12
2	11/14	5.30	1465335442.56
3	12/13	5.49	1442111076.48
4	11/12/13	5.19	1680252212.54
5	11/12/14	5.30	1887181494.29
6	11/13/14	5.13	2149831246.31
7	11/12/13/14	5.22	2635834727.10
8	11/12/13/14/15	5.19	2900553916.82

基于上述问题:采用环境温度补偿系数修正测量值,详细如下:通过对相关变量进行相关性分析,找出不受环境温度影响且能体现环境温度影响的相关变量进行软测量修正。通过曲线分析得出:引风机电流、烟气流量等变化趋势一致,具有较强的相关性。同时引风机电流一定程度上反映了煤种变化对烟气流量的影响。同时通过冬季和夏季在相同工况下,夏季引风机电流大于冬季引风机电流约20A左右,通过该结果也验证了上面分析的结果:夏季烟气流量测量数据偏大,但实际数据偏小(密度小);冬季烟气流量测量数据偏小,但实际数据偏大(密度大)。

基于此,分别找出在同一负荷下,冬季和夏季引风机电流的大小,进行系数修正,修正后的数据不仅可以改善浆液循环泵组的组合,也可以提高脱硫吸收塔的pH控制精度,使得SO<sub>2</sub>排放控制更加精细化。

实际现场运行状态需要根据当地环保要求进行调整,当出口SO<sub>2</sub>排放限值提高后,脱硫工艺控制可以降低吸收塔pH值或者减少浆液循环泵运行台数,从而既满足环保要求又达到了节能

降耗。出于节能降耗的考虑,根据实际运行情况,需要减少浆液循环泵运行台数时,即可参考根据历史运行数据得出的浆液循环泵组合方式。

## 6 结语

根据历史数据计算出的浆液循环泵组合,不仅满足排放要求,同时极大程度上进行了节能降耗。此时运行人员可以根据浆液循环泵的厂家设计组合和历史人工经验组合择优选择停运其中一台泵,从而达到节能降耗的目的。

当出口SO<sub>2</sub>排放限值降低后,脱硫工艺控制按照原厂家设计值运行。由于浆液循环泵电机为单鼠笼结构,不适合频繁启停,结合相关故障案例,可以得知同一台电机启动间隔不小于两小时。结合该限制条件,同时结合机组当前工况,择优启动其中一台泵,从而满足SO<sub>2</sub>排放要求。某热电公司基于上述控制方法组态到现场DCS控制系统,浆液循环泵组合预测和现场实际运行情况一致,出口SO<sub>2</sub>排放浓度在规定的限值之内,自动控制算法品质满足现场实际要求。通过对浆液循环泵大、小泵的合理组合,以避免泵的频繁启停,实现SO<sub>2</sub>自动优化控制。

## [参考文献]

- [1]潘维加,谢又成,周玲.吸收塔浆液pH值控制系统的分析与改进[J].电站系统工程,2006,22(6):45-47.
- [2]邱韬,刘祎,徐胜朝.基于预测控制的脱硫系统pH值控制方法研究[J].工业控制计算机,2021,34(10):36-39.
- [3]徐遵义,刘文慧,张旭冉,等.基于数据驱动的浆液循环泵运行优化研究[J].河南科技,2020,54(3):197-199.

## 作者简介:

徐海民(1980--),男,汉族,河北省秦皇岛市人,本科,京能秦皇岛热电有限公司,助理工程师,研究方向:火电厂热控自动化。