

# 脱硫吸收塔 pH 值测量与控制

沈东生

(华能南通电厂, 江苏 南通 226003)

**摘 要:** 华能南通电厂烟气脱硫 (flue gas desulfurization, FGD) 系统吸收塔的 pH 值测量与控制自投产以来, 一直存在测量不准、测量元件维护量大且无法投用自动调节的问题, 我厂 2010 年分别对每台机组脱硫吸收塔 pH 值的测量与控制系统进行了改造与优化。改进后的测量控制回路自动投运效果显著, 保证了 pH 值自动控制过程的稳定性, 完全能满足生产过程的要求。本文就本厂烟气脱硫吸收塔的 pH 值的测量方式及自动调节方案加以阐述和分析, 并对改进优化方法给与介绍,供检修同行运行维护中参考。

**关键词:** 脱硫; 测量; DCS; pH 值自动控制

## 0 前言

华能南通电厂 1-4 号机组烟气脱硫系统采用的是石灰石-石膏湿法脱硫工艺, 该工艺目前国内因技术上最成熟而被广泛应用于各大、中型火电机组, 该系统采用一炉一塔形式, 吸收塔型式为喷淋式。电厂脱硫吸收区控制部分共设置四套 DCS 系统, 均采用 ABB 公司的 Symphony 系统; 脱硫公用系统设置一套 PLC, 采用 AB 公司的 1756 系列控制系统。其中 MCS (模拟量调节) 系统主要有增压风机入口压力自动控制系统、石灰浆液 pH 值自动控制系统、旋流器入口压力调节控制系统、制浆自动控制系统、石膏厚度自动控制系统等。

## 1 pH 值对脱硫效率的影响

从石灰石—石膏湿法脱硫工艺反应方程来看, 较高 pH 值意味着浆液中石灰石的浓度很高, 有利于 SO<sub>2</sub> 的吸收。为了保证较高的 SO<sub>2</sub> 吸收速率, 必须保证较高的 pH 值, 浆液 pH 值通过手动或自动调节进入吸收塔内的新鲜石灰石浆液量来维持, 但也并非 pH 值越高越好。高 pH 值的浆液有利于 SO<sub>2</sub> 的吸收, 而低的 pH 值则有助于 Ca 的析出, 二者相互对立。在一定范围内, 随着吸收塔浆液 pH 值的升高, 脱硫效率呈上升趋势, 因为高的 pH 值意味着浆液中有较多的 CaCO<sub>3</sub> 存在, 对脱硫当然有益。但 pH>5.8 后脱硫效率不会继续升高, 反而降低, 原因是随着 H<sup>+</sup>浓度的降低, Ca 的析出越来越困难。当 pH=5.9 时, 浆液中的 CaCO 含量达到 2.98% ,

而 CaSO<sub>4</sub>•2H<sub>2</sub>O 的含量也低于 90%, 显然此时 SO<sub>2</sub> 与脱硫剂的反应不彻底, 既浪费了石灰石, 又降低了石膏的品质。pH 值再下降时, CaSO<sub>4</sub>•2H<sub>2</sub>O 的含量又回升, CaCO<sub>3</sub> 则降低。因此浆液 pH 值既不能太高又不能太低, 一般情况下, 控制吸收塔浆液的 pH 值在 5.4 ~5.7, 能使脱硫反应的 Ca/S( 物质的量) 保持在 1.02 左右, 获得较为理想的脱硫效率。

## 2 原吸收塔 pH 值的测量

现以本厂#4 脱硫吸收塔为例说明 pH 测量方式, 设计为一塔两套 pH 测量装置, 包括 pH 电极, pH 二次表及测量导管及相应工艺水冲洗装置。pH 二次表采用 Honeywell 公司 UDA2182 电极为 0777-0-16-0000-000。原设计安装如图 1。

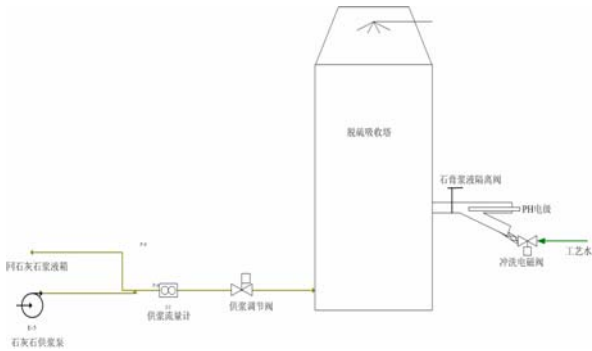


图 1 原 pH 值测量装置

从图 1 中可以看出 pH 电极通过测量导管直接插入吸收塔内与浆液接触, 工艺水经冲洗电磁阀控制对 pH 电极进行定期冲洗, 并且通过石膏浆液隔离阀可以进行电极的更换。吸收塔供浆是通过供浆调节阀调节控制, 多余浆液通过再循环管路回到石灰

石膏液箱。原设计如此,但在实际运行中发现 pH 值一直测量不准,经多次维护检查原因分析不是 pH 电极和测量二次表问题而是测量导管内石膏浆液流动性差易造成堵塞板结,特别是测量导管与吸收塔连接部位。虽然吸收塔侧壁装有搅拌器,但对于 pH 取样测点处实际效果不大。堵塞严重还将造成冲洗水管路堵塞,如此将恶性循环最后造成整个测量导管内浆液堵塞, pH 测量失准且电极污染。而且维护时疏通特别麻烦,费时费力且电极使用寿命短(约 3 个月),由于 pH 值测量不准,无法实现自动供浆调节,一直处于运行手动供浆状态,使脱硫效率及石膏品质得不到保证对脱硫系统的正常运行造成了影响。

### 3 改进后的吸收塔 pH 值的测量

针对上述 pH 测量中存在的问题,我们主要在测点取样方式和冲洗装置加以改造,现 pH 测量装置安装如图 2。

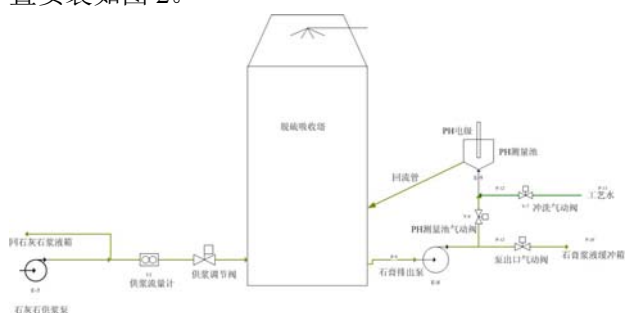


图 2 改进后的 pH 值测量装置

从图 2 可以看出,首先将原 pH 测量导管改成了测量池, pH 电极直接插入测量池内,石膏浆液取样口从原吸收塔侧壁改到石膏排出泵出口管路,然后将原 pH 浆液隔离阀和冲洗水阀改为气动两位阀。这样石膏浆液由石膏排出泵经隔离阀从 pH 测量池底部进入进行 pH 测量,再通过与测量池上部连接的回流管回到吸收塔内,如此循环。如需进行 pH 电极冲洗则关闭气动隔离阀,打开气动冲洗阀进行冲洗即可,冲洗水也经回流管回到吸收塔内,冲洗方式可选择手动或程控控制。经过改造, pH 测量池中石膏浆液始终是循环流动的,从而使 pH 测量值的准确性、实时性大大提高,同时由于电极安装方式的改变也使电极的拆装更加方便、安全。工艺水冲洗装置对电极冲洗较从前更加方便、彻底,减少了电极污染,延长了电极的使用寿命(约半年更换)同时也大大减少了维护工作量。

## 4 吸收塔 pH 值的调节与运行

### 4.1 测量回路改进

由于改造前的 pH 值测量值不准,使 pH 值自动调节控制失去意义,所以在对现场 pH 值测量系统改造的同时也对 DCS 中 pH 自动调节回路进行了优化,对调节参数进行了重新整定。原设计每塔两套 pH 测量装置产生的两个测量值经均值计算后作为 PID 调节器的调节对象,现改为两个 pH 测量值(pH A 点和 pH B 点)进入 DCS 后,运行人员可通过操作台选择 A 点、B 点或平均值做为自动调节的调节对象,且具备测量值故障判断功能:如当 A 点测量值故障时自动切到 B 点做为调节对象,或选在平均值时 B 点故障自动切到 A 点做为调节对象。确保了 pH 电极在冲洗、校验、故障时调节对象的连续性,稳定性。

### 4.2 自动调节器参数整定

吸收塔的 pH 值调节,主要依靠调节石灰石浆液流量阀开度来实现,整个吸收塔系统决定了 pH 值控制系统的调节对象纯滞后时间较长,调节迟缓很大。经过长时间的分析、研究实时和历史数据,不断地摸索调节性能,认为虽然单回路调节系统调节性能不如串级回路,但只要参数整定得当,同样能取得满意的效果。DCS 调节器组态如下图:

#### 4.2.1 PID 功能块

自动调节系统采用 ABB 公司 DCS 中的 PID 功能码 156-新型 PID 控制器,该功能码与传统 PID 控制器相比具有如下特点,规格参数如表 1。

- 1) 前馈信号直接包括在 PID 控制器内。
- 2) 对微分作用的算法作了改进。
- 3) 由于引进外部积分或手动积分信号而改进了算法。
- 4) 在串级组态方式时,当遇到限制值时,禁止增加和禁止减少信号能够约束控制器的输出。这样当付回路输出达饱和状态时能够防止主回路出现积分饱和。
- 5) 既可执行无互相影响的 PID 控制算法,也可以执行有互相影响的经典的 PID 控制算法。
- 6) 具有快速饱和和恢复选择。

除上述新增特点外,功能码 156 还具有常规 PID 控制器的下述特点:

- 1) 手动到自动无扰切换。
- 2) 比例增益调整时无扰。

- 3) 具有抗积分饱和功能。
- 4) 有正向作用或反向作用选择开关。
- 5) 设定值调整器选择使得改变设定值时无扰。

表1 规格参数

规格	可调性	缺省值	数据类型	范围	说明
S1	N	5	I	注 1	过程变量的块地址
S2	N	5	I	注 1	设定值的块地址
S3	N	5	I	注 1	跟踪参比信号的块地址
S4	N	0	I	注 1	跟踪开关信号的块地址
S5	N	5	I	注 1	外部积分或手动积分的块地址
S6	N	5	I	注 1	前馈信号的块地址
S7	N	5	I	注 1	备用输入（实数）
S8	N	0	I	注 1	备用输入（布尔）
S9	N	0	I	注 1	禁止增加块地址： 0 = 正常 1 = 阻止增加
S10	N	0	I	注 1	禁止减少块地址： 0 = 正常 1 = 阻止减少
S11	Y	1.000	R	FULL	增益放大倍数 K
S12	Y	1.000	R	FULL	比例增益 $K_p$
S13	Y	0.000	R	FULL	积分常数（1 / 分）或手动 积分时间常数 $K_I \times \text{min}$
S14	Y	0.000	R	FULL	微分常数 $K_D \times \text{min}$
S15	Y	10.000	R	FULL	微分滞后常数 $K_a$ （典型值 =10）
S16	Y	105.00 0	R	FULL	输出高限
S17	Y	— 5.000	R	FULL	输出低限
S18	N	0	I	00—03 或 10—13 (注 2)	算法 版本 0X=原版本 1X=新版 <sup>3</sup> 类型 0 = 经典 X1 = 无互相影响 X2 = 经典带外部积分 X3 = 手动积分无互相影响
S19	Y	0	I	0 或 1	积分限制类型：0 = 快速 饱和和恢复 1=常规饱和和恢复
S20	Y	0	I	0 或 1	设定值调整器：0 = 正常 1 = 设定值改变时仅有积分作用
S21	Y	0	I	0 或 1	方向开关 0 = 反向作用 偏差 = SP —PV 1 = 正向作用 偏差 = PV —SP
S22	Y	0.000	R	FULL	未用
S23	Y	0	I	FULL	未用

其中 S19 的抗饱和和积分功能独具特色：

S19 为 0 = 快速饱和和恢复限制；积分限制 =（规定的限制—前馈信号—比例信号—比例部分）。

比例部分 =  $K \times K_p \times (SP - PV)$  （反向作用）

比例部分 =  $K \times K_p \times (PV - SP)$  （正向作用）

快速饱和和恢复限制使用 S18 规定的所有算法类型的比例部分计算值。当控制输出达到饱和时，这种限制类型可防止积分作用进一步加深前馈信号和比例作用部分引起的饱和。当过程变量和设定值之间的偏差减小时，控制输出立即离开饱和值，减小了系统超调的可能性。

注：如果 PID 控制器被用来作为限制控制器，使得一个阀门或其它装置保持在限制值上（例如保持阀门全关），这时如设定值变化导致偏差减小，但偏差的方向仍未改变，这种情况下应用本功能就不太合适。另外，如积分常数（S13）设置为零，即成为 P 或 PD 控制器时，应用本功能也不合适。举例如下：

系统原来处于稳定平衡状态，偏差为零。这时过程变量和设定值间产生偏差，导致控制器输出进入饱和状态。由于应用了本功能将积分值变动到限制值，则当偏差重新回到零时系统不能回复到原来的初始稳定状态。

4.2.2 调节改进措施

主要从 3 个方面对调节系统进行了改进：

1) pH 测量值的数据处理改进。

2) 采用了上一节 ABB DCS 中的新型 PID 控制器的抗饱和和积分功能,使得 pH 设定值与过程变量之间的偏差减小时，控制输出立即离开饱和值，减小了调阀超调的可能性。

3) 根据调节阀与供浆流量的对应关系，以及运行中原烟 SO<sub>2</sub> 含量与供浆流量的经验对应关系，在 PID 控制器中对调节阀的上下限做了自动适配,主要是输出下限。这样将有利于减少调节过渡时间，且有助于防止调节阀管路堵塞。

4) 利用调节阀智能定位器对调节阀进行在线供浆状态下的校验，确保智能定位器与阀门本体较好的配合而呈现满意的调节特性。

4.2.3 吸收塔 pH 的运行与维护

通过以上一系列的现场设备和 DCS 组态的改进与优化，现吸收塔 pH 控制效果如图 3。

图 1 中高起部分为 pH 电极冲洗时数值，经过一段时间的运行证明 pH 值控制回路原存在的测量不准，无法自动调节等问题均得以克服，调节系统整体运行平稳，调节过程及时、正确，满足了脱硫率与浆液循环泵合理运行要求，得到运行人员认可和一致好评，同时也大大降低了脱硫系统维护运行

成本。目前脱硫正常运行中，运行人员每班对各塔 pH 电极冲洗两次，每周对各吸收塔进行一次石膏浆液在线取样（石膏排出泵出口），用便携式 pH 计进行测量，记录数据后与在线测量 pH 值进行比较，以便及时发现 pH 电极测量误差为 pH 电极的校验和更换提供参考数据。检修人员每月对各 pH 电极校验比对一次，电极更换根据校验结果是否判定失效而定。

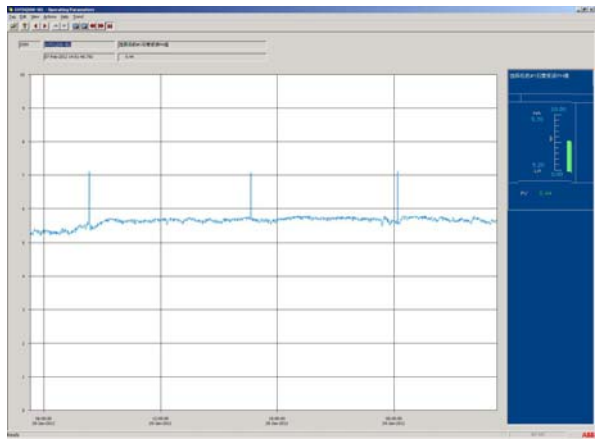


图 3 吸收塔 pH 值控制效果

5 结束语

随着国家对电力企业环保要求不断提高，脱硫效率是被各级监测机构重点考核的指标，而火电企业保证脱硫率的是浆液 pH 值和浆液循环泵。既要保证脱硫率，又最大限度地节约厂用电以及原石灰石，是电厂控制部门追求的控制目标。本文所述的 pH 值测量与控制系统是脱硫控制系统对经济性影响最大、同时也最难以控制的调节系统，被控对象延迟大，惯性作用强，该系统改进优化成功的经验我们将其应用到 4 台机组，对机组的经济性和降低运行人员劳动强度都具有积极意义。

参考文献：

[1] 卢啸风,饶思泽.石灰石湿法烟气脱硫系统设备运行与事故处理[M].北京: 中国电力出版社,2009.  
[2] 北京 ABB 贝利控制有限公司.Symphony 功能码应用手册[Z].

作者简介：

沈东生：华能南通电厂检修部热控，助理工程师，主要从事脱硫热控检修维护工作。