

# 镁离子法测定除雾器出口烟气携带液滴量方法

李 森, 周屈兰, 徐通模, 惠世恩

(西安交通大学能源与动力工程学院, 陕西 西安 710049)

**摘 要:** 根据湿式石灰石—石膏法脱硫的工艺特点, 研究得出浆液中  $Mg^{2+}$  浓度与除雾器出口烟气所携带的液滴中  $Mg^{2+}$  浓度相等, 据此结论, 在除雾器出口进行等速取样, 抽取烟气  $5 m^3$ , 根据测定取样系统中微纤维过滤器洗液、采样管洗液及空白微纤维过滤器洗液中的  $Mg^{2+}$  浓度、吸收塔浆液密度、吸收浆液滤液中  $Mg^{2+}$  的浓度, 来计算除雾器出口的烟气携带液滴量。

**关 键 词:** 镁离子; 除雾器; 液滴; 等速取样

中图分类号: X701.3 文献标识码: A

## 1 前 言

在现有的烟气脱硫工艺中, 湿式石灰石—石膏法脱硫工艺最为成熟, 运行可靠性高, 应用也最为广泛, 其典型的工艺流程如图 1 所示。从除尘器出来的烟气一般要经过热交换器降温后进入吸收塔, 在吸收塔内烟气中的  $SO_2$  直接和石灰石悬浮液接触并被吸收除去。新鲜的石灰石浆液不断加入到吸收塔底部的浆池中, 被洗涤后的烟气通过除雾器和热交换器, 然后通过烟囱被排放到大气中。反应产物从浆池中取出, 然后被送去脱水或进一步处理。由于脱硫后的净烟气流过脱硫吸收塔时, 携带大量小液滴, 必须在吸收塔出口处安装除雾设备除去烟气携带的液滴。除雾器除雾效果的好坏直接影响烟气再加热器的正常运行(除雾效果差时, 烟气再加热器就会很快结垢和腐蚀, 同时造成烟气再加热器冲洗水量消耗增大), 对后面烟道和风机也有影响。所以, 测量除雾器出口烟气携带液滴量, 可以判断除雾器除雾效果是否满足脱硫系统要求(一般要求除雾器出口烟气携带液滴量不能超过  $100 mg/m^3$ )。目前我国还没有对湿法脱硫系统中除雾器出口液滴量测量的标准, 本次试验采用镁离子测定法, 对最大处理烟量为  $3\ 000 m^3/h$  湿式石灰石—石膏法脱硫系统中

波形板除雾器出口液滴量进行测定。

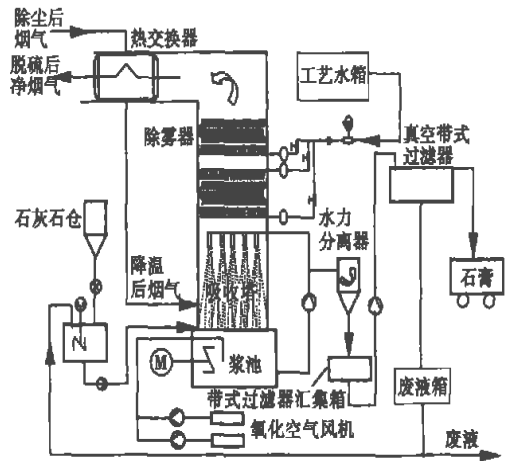


图 1 石灰石—石膏法烟气脱硫系统示意图

## 2 镁离子测量法的原理

石灰石的主要成份是碳酸钙, 同时也含有一定量的碳酸镁及少量氧化铝、氧化铁、硅、锰等杂质。石灰石磨成粉末作为脱硫剂加入浆液中, 浆液  $pH=5.0\sim 5.5$ 。其中  $MgCO_3$  是酸易溶物, 它进入吸收塔浆液体系后能生成易溶的镁盐。随着浆液的封闭循环, 镁盐将会富集起来,  $Mg^{2+}$  浓度较高。可以认为浆液在浆池中镁离子  $Mg^{2+}$  的浓度和烟气在除雾器出口所携带的液滴中  $Mg^{2+}$  的浓度相等, 这样可以采用等速取样法(见图 2)及镁离子测定法测得除雾器出口烟气中液滴所含有的镁离子的量, 根据吸收浆液滤液中镁离子的  $Mg^{2+}$  浓度计算出除雾器出口烟气中液滴的量。

收稿日期: 2004-09-27; 修订日期: 2004-11-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50276051)

作者简介: 李 森(1973-)男, 陕西凤翔人, 西安交通大学博士研究生

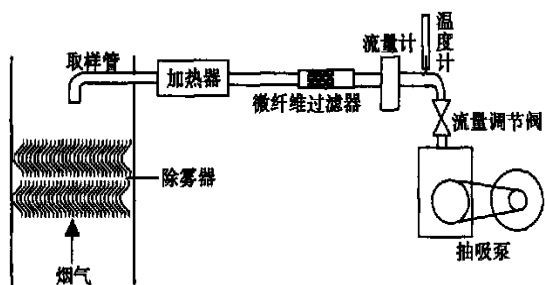


图 2 除雾器出口烟气等速取样系统示意图

### 3 镁离子测量法

在除雾器出口处,采用烟气等速取样法取  $5\text{ m}^3$  烟气,然后根据测定的微纤维过滤器洗液、采样管洗液及空白微纤维过滤器洗液中的  $\text{Mg}^{2+}$  浓度、吸收塔浆液密度、吸收浆液滤液中  $\text{Mg}^{2+}$  的浓度,来计算除雾器出口的液滴含量。

#### 3.1 仪器与试剂

仪器:酸式滴定管,锥形瓶(250 mL),液移管(25 mL),容量瓶(250 mL),烧杯(250 mL)。

试剂:0.001 mol/L EDTA 标准溶液,1:1HCl 溶液,10%NaOH 溶液,1%钙指示剂,1%铬黑 T 指示剂,  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}-\text{NH}_4\text{Cl}$  缓冲溶液(pH=10),1:2 三乙醇胺水溶液。

#### 3.2 实验步骤

(1) 试液的制备:烟气等速取样之后,用超纯水对采样管反复冲洗,然后用稀释的高氯酸和超纯水对采样后的微纤维过滤器进行反复冲洗,最后洗液经慢速厚型定型层析滤过滤到 250 mL 容量瓶中,总的滤液体积为  $V_0$ 。

(2) 滤液中镁离子含量的测定:一是从盛放滤液的容量瓶中准确吸收 25.00 mL 滤液置于另一 250 mL 锥形瓶中,加入 20 mL 水和 5 mL 三乙醇胺水溶液,摇匀;再加 NaOH 溶液 10 mL,钙指示剂少许(米粒大小),摇均后,用 EDTA 标准溶液滴定至溶液由红色恰变为蓝色,即为终点,此时耗用 EDTA 标准溶液的毫升数为  $V_1$ ,这是  $\text{Ca}^{2+}$  滴定所消耗的标准溶液量;二是从盛放滤液的容量瓶中准确吸收滤液 25.00 mL 锥形瓶中,加入 20 mL 水和 5 mL 三乙醇胺水溶液摇匀,再加入  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}-\text{NH}_4\text{Cl}$  缓冲溶液 10 mL,摇匀,加入铬黑 T 指示剂少许,最后用 EDTA 标准溶液滴定至溶液由红紫色恰变为纯蓝色,即为终

点,此时耗用 EDTA 标准溶液滴的毫升数为  $V_2$ ,这是滴定  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  总消耗的标准溶液量;三是利用式(1)计算出采样管冲洗试样液及采样后的微纤维过滤器冲洗滤液中  $\text{Mg}^{2+}$  含量:

$$M_1 = \frac{V_0}{25} \times (V_2 - V_1) \times c_1 \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中:  $M_1$ —冲洗滤液中  $\text{Mg}^{2+}$  的含量, mol;

$V_0$ —取样管和微纤维过滤器冲洗后的总滤液体积, mL;

$V_1$ —滴定  $\text{Ca}^{2+}$  消耗 EDTA 标注溶液的体积, mL;

$V_2$ —滴定  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  消耗 EDTA 标注溶液的体积, mL;

$c_1$ —EDTA 标注溶液的准确浓度, mol。

(3) 另取一个新的微纤维过滤器,按照步骤(2)作空白样,测得  $\text{Mg}^{2+}$  的含量为  $M_0$ , mol。

(4) 按步骤(2)测定的吸收塔浆液滤液中  $\text{Mg}^{2+}$  含量浓度。

(5) 根据式(2)计算除雾器出口烟气携带液滴量:

$$m = \frac{M_1 - M_0}{5 \times c_2} \times \rho_1 \times 10^3 \quad (\text{mg}/\text{m}^3) \quad (2)$$

式中:  $M_0$ —微纤维过滤器空白样中测得  $\text{Mg}^{2+}$  的含量, mol;

$M_1$ —冲洗滤液中的  $\text{Mg}^{2+}$  含量, mol;

$c_2$ —吸收塔浆液滤液中  $\text{Mg}^{2+}$  含量浓度, mol/L;

$\rho_1$ —浆液的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

### 4 试验结果与讨论

本次试验采用镁离子测定法对除雾器出口烟气携带液滴量进行测定,研究脱硫塔处理烟气流变化对除雾器出口烟气携带液滴量的影响,工况 1 处理烟气流量为  $2\,000\text{ m}^3/\text{h}$ ,工况 2 处理烟气流量为  $2\,500\text{ m}^3/\text{h}$ ,工况 3 处理烟气流量为  $3\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 。试验数据及结果分别见表 1 和图 3。

表 1 试验数据

工况	$c_1/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	$c_2/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	$\rho_1/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$V_0/\text{mL}$	$V_1/\text{mL}$	$V_2/\text{mL}$	$M_0/\text{mol}$
1	0.001	0.126	1 084.7	163.4	8.2	14.3	$0.42 \times 10^{-5}$
2	0.001	0.137	1 092.3	166.5	7.8	13.1	$0.42 \times 10^{-5}$
3	0.001	0.141	1 106.8	157.7	6.4	10.6	$0.42 \times 10^{-5}$

注:表中符号与式(1)和式(2)中一致。

处理烟气流分别为  $2\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $2\,500\text{ m}^3/\text{h}$  和

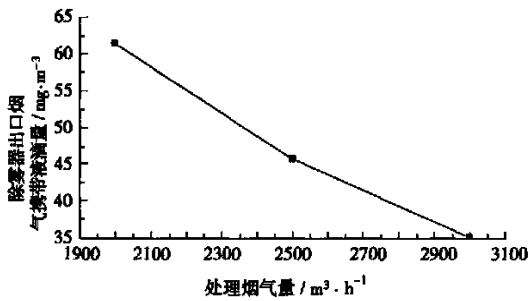


图3 处理烟气体量与除雾器出口烟气携带液滴量的关系

3 000  $m^3/h$  时, 所对应的除雾器出口液滴量为  $61.4 mg/m^3$ 、 $45.2 mg/m^3$  和  $35.0 mg/m^3$ , 它们都小于  $100 mg/m^3$ , 说明除雾器在这3种工况下满足脱硫系统的要求。从图3中也可以看到, 随着处理烟气体量增大, 除雾器出口液滴量随之减少, 这是由于本试验系统采用波形板除雾器, 该除雾器主要利用惯心力对液滴分离, 随着处理烟气体量增加, 除雾器中气流速度增大, 烟气中液滴的惯心力随之增大, 从而液滴容易被分离, 所以除雾器出口液滴量随之减少。从试验结果来看, 可以认为采用镁离子测定法对除雾器

出口烟气携带液滴量进行测定是可行的。

## 5 结 论

在石灰石—石膏湿法脱硫系统中, 除雾器除雾性能的高低对后面的设备和烟道腐蚀和沾污有很大影响, 本文提出采用镁离子法测定除雾器出口烟气携带液滴量方法, 在除雾器出口进行等速取样, 根据测定取样系统中微纤维过滤器洗液、采样管洗液及空白微纤维过滤器洗液中的  $Mg^{2+}$  浓度、吸收塔浆液密度、吸收浆液滤液中  $Mg^{2+}$  的浓度, 来计算除雾器出口的烟气携带液滴量, 通过本次试验结果可以认为该方法是可行的, 所以为检测除雾器除雾性能提供了一种很有实际应用价值的方法。

## 参考文献:

- [1] 钟 秦. 燃煤烟气脱硫脱硝技术及工程实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [2] 盘思伟, 程诺伟, 姚唯建. 湿法脱硫装置的脱硫效率与除雾器性能测试方法[J]. 电力环境保护, 2002, 18(4): 13-14.
- [3] 天津大学化学系分析化学教研室. 分析化学试验[M]. 天津: 天津大学出版社, 1995.

## 可配置的涡轮机控制器

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2004年7—8月号报道, 美国加利福尼亚州欧文市的 Triconex 公司最近推出了用于汽轮机的 310SV 和 320 可配置的控制器。

310SV 被设计成用来驱动机械负荷的汽轮机提供自动的起动定序、速度控制和过程控制。它可以选择控制方案, 以便匹配特定的要求。310SV 具有自动的涡轮起动功能和 8 个可配置的速度带, 每个具有单独的斜升率和空载时间; 也提供临界速度带回避性能。

310SV 包括一个加强面板的运行人员接口、灵活可配置的 I/O(输入/输出)、Modbus 串行数据通信和强有力的 PC 配置器软件包。

面板的显示和按钮以及选择开关都是用于户外安装的额定的 NEMA4。经由面板, 运行人员可以启停涡轮机、进行超速跳闸测试、允许或禁止过程控制、改变速度和过程的设定值、监测模拟量 I/O 值并浏览和确认报警。控制器的特点是灵活可配置的 I/O。310SV 包括 6 个灵活的数字 I/O 点, 通过选择合适的插入程序片, 每个 I/O 点都可配置为一个数字的输入或输出。

320 可配置控制器的 PC 配置器也是一个 Windows 基软件, 它允许用户根据 PC 来配置控制器。

(吉桂明 供稿)

循环流化床烟气脱硫装置对电除尘器影响研究 = A Study of the Influence of the Flue Gas Desulfurizer of a Circulating Fluidized Bed on an Electrostatic Precipitator [刊, 汉] / ZHAO Xu-dong, XIANG Guang-ming (Thermal Energy Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084), WU Shao-hua (Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(4). — 377 ~ 380

The flue gas suspension desulfurization system of a double circulating fluidized bed was designed and constructed for a 75 t/h coal-fired boiler. Prior to and after the operation of the desulfurization system a comparison analysis of the related characteristics at the inlet of an electrostatic precipitator was conducted. Such characteristics include flue gas temperature, humidity, chemical composition, dust particle diameter, outward appearance and specific resistance, etc. It has been found that after the operation of the desulfurization system the humidity of the flue gas at the inlet of the electrostatic precipitator has increased while its temperature and dust particle specific resistivity decreased, thus enhancing the system desulfurization efficiency and the dust removal efficiency of the electrostatic precipitator. Also investigated was the impact of the flue gas desulfurizer of the circulating fluidized bed on the operation stability and dust removal efficiency of the electrostatic precipitator. Meanwhile, several countermeasures for operation improvement are also proposed. **Key words:** flue gas desulfurization of a circulating fluidized bed, electrostatic precipitator, dry method of desulfurization

镁离子法测定除雾器出口烟气携带液滴量方法 = The Use of Magnesium Ion Method for the Determination of Droplet Quantity Entrained by Flue Gas at the Outlet of a Demister [刊, 汉] / LI Sen, ZHAO Qu-lan, XU Tong-mo, et al (Energy & Power Engineering Institute under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(4). — 381 ~ 383

Based on the technological features of the desulfurization by wet limestone-gypsum method the authors have revealed through a study that  $Mg^{2+}$  concentration in slurry is equal to the concentration of  $Mg^{2+}$  in the droplet entrained by the flue gas at a demister outlet. On the basis of this conclusion a constant speed sampling was performed at the demister outlet with 5m<sup>3</sup> of flue gas being extracted. On the basis of a determination of the  $Mg^{2+}$  concentration in a micro-fiber filter wash liquid in the sampling system, in a sampling-tube wash solution and in a blank micro-fiber filter wash liquid, as well as the slurry density in an absorption tower and the concentration of  $Mg^{2+}$  in an absorption-slurry filtering liquid, calculated was the liquid droplet quantity entrained by the flue gas at the demister outlet. **Key words:** magnesium ion, demister, liquid droplet, constant speed sampling

亚硫酸钠循环法烟气脱硫工艺实验研究 = Experimental Study of Wet Flue Gas Desulfurization by Using a Sodium Sulfite Circulation Method [刊, 汉] / JIANG Li-qiao (Thermal Science and Energy Engineering Department, China National University of Science & Technology, Hefei, China, Post Code: 230026), ZHAO Dai-qing, CHEN En-jian (Guangzhou Institute of Energy Conversion under the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, China, Post Code: 510070) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(4). — 384 ~ 386, 401

With the wet flue gas desulfurizer based on a sodium sulfite circulation method (processing capacity 1800 m<sup>3</sup>/h) serving as an object of experimentation a detailed study was conducted of the impact of several factors on the desulfurization efficiency. Such factors include: pH value of absorption liquid, liquid/gas ratio, the initial composition of the absorption liquid and the initial concentration of a desulfurizing agent, etc. Furthermore, the regeneration process of the desulfurizing agent and the desulfurizing characteristics of the regenerated clean liquid were also studied. The results of the study indicate that the pH value of the absorption liquid can decide the state of sulfur element in a solution, thereby influencing the desulfurization efficiency. When pH is greater than 6, the desulfurization efficiency will be high and only change mildly with an increase in pH value. When pH is less than 6, the desulfurization efficiency will drastically decrease with a decrease in pH value. Under the present technological process it is possible to maintain a relatively high desulfurization efficiency ( $\eta$  greater than 90%) at a relatively low liquid-gas ratio ( $L/G = 0.25 \sim 1.25 \text{ L/m}^3$ ). Under equivalent conditions, as compared with NaOH and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, the desulfurization capacity of Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> is slightly lower. When the concentration of the absorption liquid Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> is within the range of 5% - 10% the desulfurization efficiency will be greater than 90%. The regeneration reaction process of the desulfurizer can be completed very rapidly. The desulfurization effi-