

循环流化床烟气脱硫技术及其实验研究

黄 震 吴颖海 王文梁 李大骥

(东南大学热能工程研究所)

[摘要] 介绍了几种烟气脱硫工艺的特点,并用干消化石灰粉末作脱硫剂在变速循环流化床上进行了脱硫试验研究,在 Ca/S比为 1.1并喷入适量水的情况下,脱硫效率可达 83% 以上。

关键词 循环流化床 脱硫 烟气脱硫 脱硫效率

中图法分类号 TK224.11

0 引言

从各类锅炉、焚烧炉中排放的 SO_2 气体已经成为大气污染的主要因素,目前的烟气脱硫技术主要有四种:湿式石灰石/石膏法,炉内喷钙炉后增湿活化工艺(LIFAC),喷雾干燥脱硫工艺和循环流化床烟气脱硫工艺(Circulating Fluidized Bed Flue Gas Desulphurization,以下简称 CFB-FGD)。表 1 为这四种脱硫工艺的情况比较

表 1 四种脱硫工艺的情况比较

	石灰石 / 石膏法	喷雾干燥工艺	LIFAC	CFB-FGD
适用煤的含硫量	> 1.5%	1% ~ 3%	< 2%	低、中、高硫煤
Ca/S	1.1 ~ 1.2	1.5 ~ 2	< 2.5	1.2左右
脱硫率	> 95%	80% ~ 90%	60% ~ 80%	> 85%
投资占电厂总投资的比例	15% ~ 20%	10% ~ 15%	4% ~ 7%	4% ~ 5%
钙利用率	> 90%	40% ~ 45%	35% ~ 40%	> 85%
运行费用	高	较高	较低	较低
设备占地	大	较大	小	小
灰渣状态	湿	干	干	干
脱硫渣量	少	较多	多	少

由表中可以看出循环流化床烟气干法

脱硫技术投资省,占地小,且脱硫效率高,较为适合我国国情,它不仅适合于大型锅炉,而且经适当改造还可用于中小锅炉的 SO_2 污染治理。为此,我们在综合了一些资料的基础上^[3,4,5],提出了 n 型循环流化床烟气脱硫技术,把原来的直立床体变成“n”型,床高降低了一半,其中一边为变速流化床,另一边下降管起两个作用:一为增加反应时间,二是降低了除尘器的安装高度。这样就使原来高达 30 米的床体大为降低,更适合中小锅炉的应用。用铸铁制造可以增加床体的耐磨性和耐腐蚀性。实验室初步研究结果表明:变速循环流化床脱硫技术在 Ca/S 比为 1.1 的情况下,脱硫效率可达 83% 以上。实验室成果已获国家实用新型专利(专利号为 ZL95240758.2),目前正在准备利用这项技术对一台 35 t/h 锅炉进行改造,确定工业应用的前景。

1 试验装置及试验方法

如图 1 所示,燃烧室产生的高温烟气经混入空气调节至 $150^\circ\text{C} \sim 160^\circ\text{C}$,按 $15\text{g}/\text{m}^3$ 的浓度混入粉煤灰,由 SO_2 钢瓶按实验所需

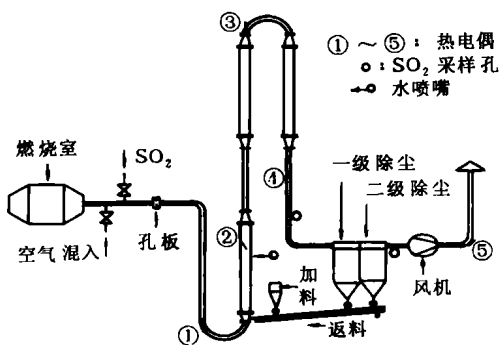


图 1 试验装置系统示意图

的浓度向烟气中混入纯 SO_2 气体。带尘烟气经过变速循环流化床后进入旋风除尘器,再经布袋除尘器过滤后,由引风机排出。除尘器除下的脱硫粉尘经空气斜槽回到床中,消石灰粉用螺旋加料器按 Ca/S 比为 1.1 的比例连续加入,水经雾化喷嘴喷入床中。

脱硫系统中,变速流化床除尘器的压力损失由三个压力计读出;系统中分布有五个热电偶以测得各点温度;除尘效率由预测流速法测得; SO_2 浓度用德国生产的 BINO S^R 1000 多组分气体分析仪测定。

变速流化床由两段 $\text{H}106\text{mm}$ 的细管和两段 $\text{H}186\text{mm}$ 的粗管用变径连接管间隔连接而成;试验风量可调;当风量为 $500\text{m}^3/\text{h}$ 时,烟气在流化床及下降管中的理论停留时间为 3.2 秒。

试验采用的石灰是南京雨花石灰厂土窑生产的建筑用石灰,其中石灰含量从 53% 到 85% 变化不等。用 100g 石灰加入到盛有 500g 水的保温容器内,测量温度升高,三分钟内温度升高 45°C ,可见该石灰的活性较弱。为了使实验更具代表性,我们选用了上海宝山钢铁厂生产的石灰进行了对比试验,用同样方法对宝钢石灰进行温升试验,温度升高为 67°C ,说明宝钢石灰具有很强的活性。

2 结果与分析

2.1 风量为 $380\text{m}^3/\text{h}$ 时,变速流化床的压力损失为 930 Pa,旋风除尘器的压力损失为 580 Pa,该系统如配合电除尘器使用,系统压

力损失将大大降低,且可以省去后面的布袋除尘器,使粉尘排放达到环保要求的情况下,降低系统投资。变速流化床的压力损失随试验烟气量变化的曲线见图 2。在实际应用中,如何选取适当的阻力损失相当重要。

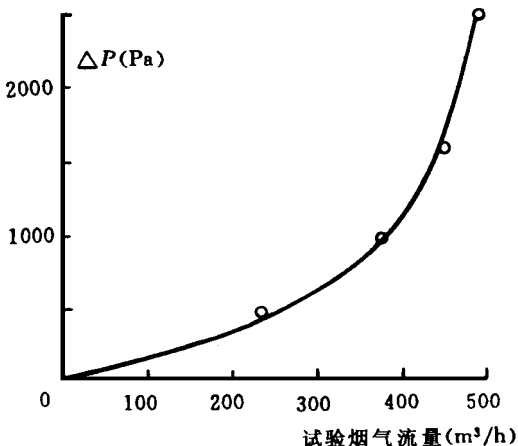


图 2 流化床阻力损失随风量变化的曲线

2.2 实验发现,在 Ca/S 比确定的情况下,脱硫效率随烟气中 SO_2 浓度的改变变化不明显,这说明该流化床脱硫工艺对烟气中 SO_2 浓度并不敏感,由于使用的脱硫剂是干粉状的,可以根据不同的 SO_2 浓度按既定的钙硫比增加或减少脱硫剂的加入量,而喷水量与 SO_2 浓度无关。所以本工艺能用于各种煤种的烟气脱硫。

2.3 综观有关文献可知,影响脱硫效率的一个很重要的因素是烟气温度与水露点温度之差,即所谓的 ΔT 。本文中 ΔT 是床内平均反应温度与烟气水露点温度之差。图 3 示出了 ΔT 与脱硫效率的关系曲线。由图 3 可以看出,脱硫效率的增加与 ΔT 的减少呈指数关系,即便使用活性较弱的土窑石灰作脱硫剂,系统依然可以达到较高的脱硫效率,且脱硫产物呈干态,便于处理。脱硫剂的制备也比较简单,无需庞大的储罐及复杂的输送系统,大大简化了脱硫工艺流程。石灰活性对脱硫效率有较大影响,土窑石灰的脱硫能力存在一

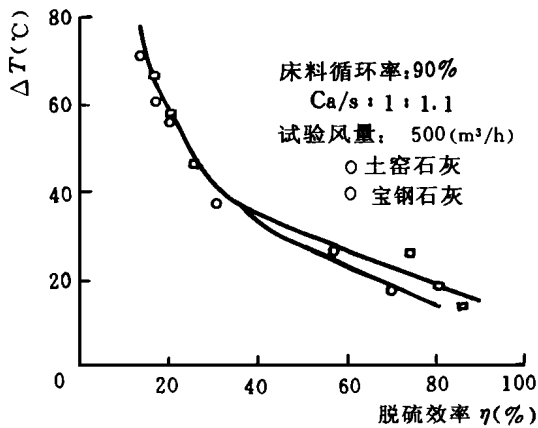
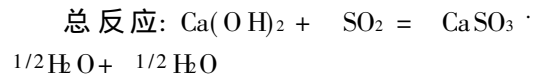


图 3 脱硫效率与 ΔT 的关系

定的限度,当脱硫效率达到一定值后, ΔT 进一步降低,脱硫效率不再升高。用宝钢石灰作脱硫剂,可较大幅度地提高系统的脱硫效率。当烟气流量为 $500 \text{ m}^3/\text{h}$, Ca/S 比为 1.1, ΔT 降至 12°C 时,系统脱硫效率可达 85.3%。

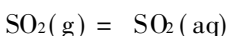
试验中还发现,当不向床内喷水或喷水量很小时,同样加入 Ca/S 比为 1.1 的消石灰,无论是土窑石灰还是宝钢石灰,系统的脱硫效率均很低,只有 15% ~ 20%。这说明床内 SO_2 与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的反应,主要是依靠水在 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 粒子表面形成液膜,使反应在液相中进行,这与 James K Neathery 的研究结果相符^[6]。

由实验结果,我们认为流化床烟气脱硫的化学反应过程由下列五步反应完成:

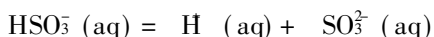
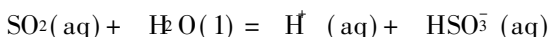


第一步: 烟气中的 SO_2 向液膜扩散;

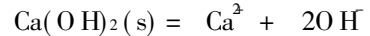
第二步: SO_2 被液膜吸收:



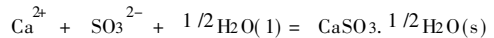
第三步: SO_2 在液膜中离解形成 HSO_3^- 和 SO_3^{2-} ;



第四步: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在液膜中离解:



第五步: 亚硫酸钙的生成与沉降:



这五步反应中起决定作用的是第一步和第四步,即气固两相在液膜中的传质过程。其它反应都可以认为是瞬时完成的。

3 结论

(1) 用干消化石灰粉作脱硫剂,变速循环流化床的脱硫效率可达 85% 以上,系统耗水量极低。

(2) 无须管路复杂、设备庞大的脱硫剂制备系统,节省投资。

(3) 床体可用铸铁制造,提高脱硫系统的耐磨性及耐腐蚀性。

(4) 可以在变速循环流化床试验台上作进一步研究,优化床体结构和系统组合,减少系统阻力损失,使其更接近应用。

(5) 本脱硫工艺流程简单,投资省,占地少,而且系统对烟气中 SO_2 浓度不敏感,可用于燃烧不同煤种的中小型锅炉的烟气脱硫,适合我国国情,有很大的应用前景。

参考文献

- 1 汤龙华. 石灰石颗粒在高温气流中热解脱硫过程的模型与实验研究. 南京: 东南大学 [硕士学位论文], 1996, 3
- 2 Ben-Said L, Prvdich M E, Sampson K J. Fundamental studies of low temperature SO_2 removal by dry calcium-based sorbents. 10th Annual International Pittsburgh Coal Conference, 1993
- 3 Mrstovf, Ferwarosen, Hoover Withum J A. Development of the advanced coolside desulfurization process. 9th Annual International Pittsburgh Coal Conference, Oct 12-16, 1992
- 4 化学工程委员会. 化学工程手册 16 干燥, 化学工业出版社, 1982
- 5 能源部科学技术司, 能源部西安热工所. 常规火电站燃烧技术分项技术报告之十一. 电厂燃烧与污染控制技术考察报告. 1991
- 6 Neathery James K. Model for flue-gas desulfurization in a circulating dry scrubber. AIChEJ, 1996, 42 (1): 5

(渠源 编辑)

运用彩色 CCD 测量火焰温度场的试验研究及误差分析 = **An Experimental Study of Flame Temperature Field Measurement By the Use of a Colored CCD Camera and Its Error Analysis** [刊, 中] / Wang Fei, Xue Fei, Ma Zengyi, et al (Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 81~ 84

The flame temperature field distribution in a power plant boiler plays a very significant role in ensuring the safe operation of the power station and achieving a correct diagnosis of the boiler combustion conditions. The use of computer-based image processing techniques has in recent years been accorded great attention in the study both at home and abroad of combustion flame temperature field measurements. The present paper deals with the calculation of a furnace flame temperature field by using a colored CCD camera with a detailed analysis of the calculation error under this method being given. The test results show that the proposed method features ease of application with good prospects for its use on work-sites. Key words image processing, temperature field, CCD

改进型 UP 锅炉水冷壁管热敏感性的研究 = **A Study of the Thermal Sensitivity of a Modified UP Boiler Water Wall Tubes** [刊, 中] / Tian Pu, Chen Tingkuan (Xi'an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 85~ 87

In the light of the commonly encountered water wall tube explosion leakage of home-made modified UP boilers an analysis is made of the thermal sensitivity of $\Phi 22 \times 5.5$ mm four-head internally ribbed tubes commonly used in UP boilers. Various factors affecting the degree of sensitivity are calculated from a multitude of variables, including dryness, thermal load, tube section height, inlet and outlet local resistance, etc. Also discussed is the influence of thermal sensitivity on the operation of boilers with some proposals for the boiler design and operation being given. Key words UP boiler, water wall, internally ribbed tubes of water wall, thermal sensitivity

循环流化床烟气脱硫技术及其实验研究 = **Circulating Fluidized Bed Flue Gas Desulfurization Technology and Its Experimental Study** [刊, 中] / Huang Zhen, Wu Yinghai, Wang Wenliang (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 88~ 90

Presented in this paper are the specific features of several kinds of flue gas desulfurization technology. A desulfurization test study is conducted on a variable-speed circulating fluidized bed through the use of dry slaked lime powder as a desulfurizing agent. Under the condition of Ca/S ratio being 1.1 and the injection of a proper quantity of water a desulfurization rate of above 85% can be attained. Key words circulating fluidized bed, desulfurization, flue gas desulfurization, desulfurization efficiency

角管式蒸汽锅炉再循环管的实验研究 = **An Experimental Study of Corner-Tube Steam Boilers** [刊, 中] / Meng Zhaopeng, Lu Wei, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(2). - 91~ 95

Through an analysis of the circulation principle of a corner-tube steam boiler side wall water wall tubes the authors have identified the major factors affecting the hydrodynamic characteristics of circulating tubes and set up a test rig for the study of their hydrodynamic characteristics. An experimental study is also performed of the mechanism of influence of thermal load