

复合添加剂在两种烟气脱硫工艺中的应用

王晋刚, 胡金榜, 段振亚, 陈志强

(天津大学 化工学院, 天津 300072)

摘 要: 将 3 种复合添加剂应用于 2 种典型的 FGD 工艺。试验结果表明: 复合添加剂效果好于单一添加剂, 其中由己二酸和 NaCl 组成的复合添加剂效果最佳。复合添加剂价格低廉、容易获得、使用方便, 合理应用可以进一步提高 FGD 装置脱硫效率, 具有广阔的应用空间。

关 键 词: 烟气脱硫; 复合添加剂; 己二酸; 金属氯化物

中图分类号: X701.3 文献标识码: B

1 前 言

我国能源结构以煤炭为主, 电源结构以火电为主, 80% 的发电设施是燃煤的火力发电, 造成 SO₂ 过量排放及严重酸雨污染。然而我国火电厂脱硫工作总体进展缓慢, 目前正常运行的火电脱硫机组装机容量只占火电厂总装机容量的 2%。

烟气脱硫(FGD)是目前唯一大规模商业化应用的脱硫方法, 是 SO₂ 减排及控制酸雨污染最主要的技术手段。但 FGD 装置投资和运行费用相当高, 导致火电厂经济效益明显下降, 因而提高 FGD 装置脱硫效率及其经济性是目前火电厂脱硫工作面临的首要问题。

2 研究背景

使用添加剂提高脱硫效率具有不需附加装置, 操作简单、投资小; 价格低廉、容易获得、成本低; 用量少、使用方便、对 FGD 装置操作影响小等优点, 是提高 FGD 装置脱硫效率简单、有效的方法, 已成为 FGD 应用研究的热点。

不同添加剂可以不同程度地提高脱硫效率, 机理也各不相同。按机理可分为两类: 一是无机添加剂, 通常为可溶性金属盐。它可以改变脱硫剂浆液的离子平衡, 强化脱硫过程, 同时金属离子对脱硫反应有催化作用; 二是有机添加剂, 通常为弱酸性。它

可以缓冲脱硫剂浆液的 pH 值, 强化 SO₂ 溶解过程, 同时低 pH 值能加速脱硫剂溶解^[1~4]。两类添加剂均已应用于 FGD 过程, 取得良好效果。

随着研究的深入, 有研究者将两类添加剂按一定配比制成复合添加剂, 应用于 FGD 过程。文献 [5] 将两种相同成份的复合添加剂应用于石灰湿式 FGD 工艺, 结果表明, 先加入有机添加剂, 再加入金属离子, 脱硫效率提高较大, 反之效果不明显。文献 [6] 将由硫酸镁和腐植酸钠组成的复合添加剂应用于旋流板塔脱硫装置, 得到相反的结论。他认为复合添加剂没有强化脱硫作用的叠加, 也没有协同效应。可见, 针对复合添加剂的研究较少, 进一步研究十分必要。

3 试 验

试验用己二酸及 3 种金属氯化物按一定比例制成 3 种复合添加剂(先加入己二酸, 再分别加入 3 种金属氯化物)。添加剂成份见表 1。

表 1 添加剂编号、成份及效果

	成份	E 值	
		湿式	半干式
1 号	己二酸	15.1	5.3
2 号	NaCl	4.7	7.2
3 号	MgCl ₂	4.3	4.4
4 号	CaCl ₂	5.8	2.3
5 号	己二酸、NaCl	17.2	9.1
6 号	己二酸、MgCl ₂	14.1	6.9
7 号	己二酸、CaCl ₂	15.7	6.1

注: E—脱硫效率提高的平均值(%), 下同。

将 3 种复合添加剂分别应用于湿式石灰石及半干式喷雾干燥脱硫工艺, 考察它们对脱硫效率的提高作用, 并与使用单一添加剂的效果作对比, 以期复合添加剂深入研究及其在 FGD 中的应用提供参考。

3.1 复合添加剂在湿式石灰石脱硫工艺中的应用

收稿日期: 2005-04-26; 修订日期: 2005-08-19

基金项目: 天津市自然科学基金资助项目(963606411); 天津市科委“九五”攻关基金资助项目(963107911)

作者简介: 王晋刚(1976-), 男, 天津人, 天津大学博士研究生。

将复合添加剂应用于湿式文丘里脱硫器,测定了CaCO₃质量浓度1.0%,喉管气速40 m/s,液气比1.0,添加剂浓度1.0 g/L时,不同SO₂入口浓度下的脱硫效率,并与相同试验条件下使用单一添加剂的脱硫效率作了比较^[7]。试验结果如图1~图3所示,计算E值并记入表1。图1~图7中虚线为不加入任何添加剂时的脱硫效率,添加剂编号见表1。

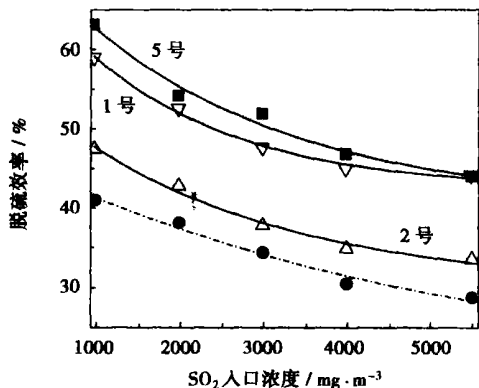


图1 5号在湿式石灰石脱硫工艺中的应用

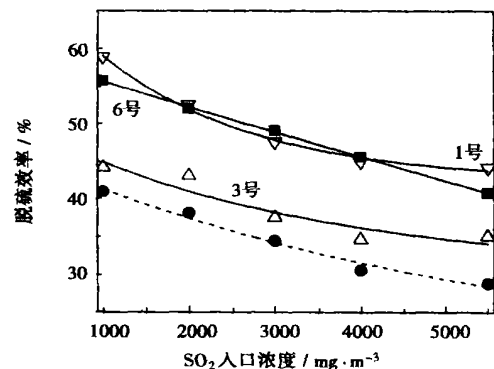


图2 6号在湿式石灰石脱硫工艺中的应用

由图1~图3及表1可知:单一添加剂1号最好,复合添加剂5号最好。5号、7号的E值高于其成份单独作用,说明复合添加剂成份间存在协同作用,可以在单一添加剂的基础上进一步提高FGD装置脱硫效率。而6号的E值略低于1号,但明显高于3号,说明复合添加剂的效果受其成份影响,成份选择不好,协同作用小,无法达到预期效果。

SO₂入口浓度大于4 000 mg/m³后使用复合添加剂脱硫效率提高较小,甚至降低,说明操作条件对于复合添加剂效果也有一定影响。

3.2 复合添加剂在半干式喷雾干燥脱硫工艺中的应用

将复合添加剂应用于半干式喷雾干燥脱硫器,测定了SO₂入口浓度800 mg/m³、钙硫比1.3,添加剂浓度1.0 g/L时,不同绝热饱和温差下的脱硫效率,并与相同试验条件下使用单一添加剂的脱硫效率作了比较^[8]。试验结果如图4~图6。计算E值并记入表1。

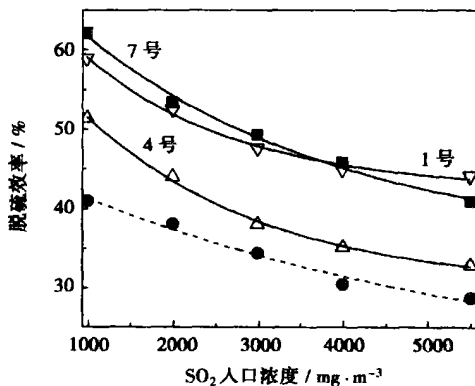


图3 7号在湿式石灰石脱硫工艺中的应用

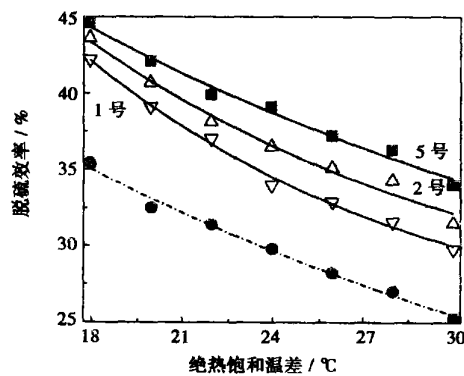


图4 5号在半干式喷雾干燥脱硫工艺中的应用

由图4~图6及表1可知:单一添加剂2号最好,复合添加剂5号最好。5号、6号、7号的E值均高于其成份单独作用,说明复合添加剂成份间存在协同作用,可以在单一添加剂的基础上进一步提高FGD装置的脱硫效率,同时复合添加剂成份不同,效果也不同。

相同添加剂在两种工艺中E值存在一定差异(见表1),说明复合添加剂效果与具体脱硫工艺有关。不同脱硫工艺,效果不同。

4 结论

(1) 复合添加剂可以在单一添加剂的基础上进一步提高FGD装置脱硫效率,应用复合添加剂提高

FGD 装置经济性是可行的。

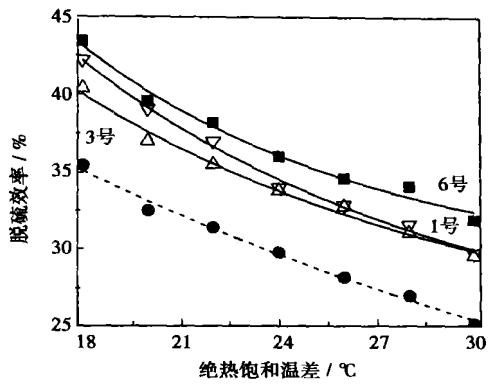


图 5 6 号在半干式喷雾干燥脱硫工艺中的应用

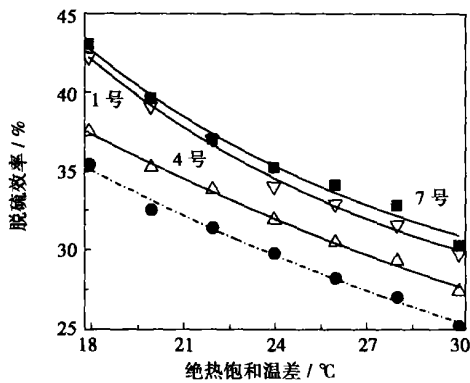


图 6 7 号在半干式喷雾干燥脱硫工艺中的应用

(2) 复合添加剂进一步提高脱硫效率的机理与

成份间的协同作用有关, 其效果很大程度上取决于其成份。本文中由己二酸和 NaCl 组成的复合添加剂效果最好 (见表 1)。同时它们价格便宜、易于获得、使用方便, 可以广泛应用于 FGD 装置, 取得可观的经济效益。

(3) 复合添加剂效果与采用的脱硫工艺及操作条件也有关, 应结合实际情况使用。

注: 由于保密原因, 本文不公开复合添加剂成份的配比。

参考文献:

- [1] 王乃华, 高翔, 王庆东, 等. 浆液组分添加剂对喷雾干燥烟气脱硫性能影响的研究[J]. 动力工程, 2001, 21(3): 1280-1284.
- [2] 吴忠标, 余世清, 莫建松. 己二酸强化石灰石浆液脱硫工艺过程研究[J]. 高校化学工程学报, 2003, 17(5): 540-544.
- [3] ROCHELLE G T, KING C J. The effect of additives on mass transfer in CaCO_3 or CaO slurry scrubbing of SO_2 from waste gases[J]. *Ind Eng Chem Fundam* 1977, 16(1): 67-75.
- [4] FREY D D, KING C J. Effects of surfactants on mass transfer during spray drying[J]. *AIChE Journal* 1986, 32(3): 437-443.
- [5] 石发恩, 李振坦. 石灰湿式烟气脱硫中复合添加剂的研究[J]. 四川有色金属, 2003(3): 27-29.
- [6] 孙文寿. 添加剂强化石灰石/石灰湿式烟气脱硫研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2001.
- [7] 陈志强. 文丘里洗涤器内石灰石法烟气脱硫技术及其添加剂的理论及实验研究[D]. 天津: 天津大学, 2001.
- [8] 王凤东. 喷雾干燥法烟气脱硫技术理论与实验研究[D]. 天津: 天津大学, 2001.

(辉 编辑)

(上接第 79 页)

参考文献:

- [1] ROBERT J BRAUN, SANFORD A KLEIN, DOUGLAS T REINDL. Review of state-of-the-art fuel cell technologies for distributed generation—a technical and marketing analysis[R]. Madison: Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2000.
- [2] 卫东, 曹广益, 朱新坚. 基于一种改进自适应模糊神经技术的 PEMFC 系统建模和控制[J]. 上海交通大学学报, 2004, 38(9): 1581-1586.
- [3] 李果, 毋茂盛, 余达太. 燃料电池输出功率的预测控制[J]. 电源技术, 2004, 28(6): 348-350.
- [4] JAY T PUKRUSHPAN, HUEI PENG, AANNA G STEFANOPOULOU. Modeling and control of fuel cell systems and fuel processors[D]. USA: University of Michigan, 2003.
- [5] DUTTA S, SHIMPALEE S, VAN ZEE J W. Numerical prediction of mass-exchange between cathode and anode channels in a PEM fuel cell [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2001, 44(1): 2029-2042.
- [6] 葛善海, 衣宝廉, 徐宏峰. 质子交换膜燃料电池水传递模型[J]. 化工学报, 1999, 50(1): 39-48.
- [7] AMHLETT J C, BAUMERT R M, HARRIS T J, et al. Performance modeling of the ballard mark IV solid polymer electrolyte fuel cell[J]. *J Electrochem Soc* 1995 142(1): 1-8.
- [8] AMHLETT J C, BAUMERT R M, HARRIS T J, et al. Performance modeling of the ballard mark IV solid polymer electrolyte fuel cell[J]. *J Electrochem Soc* 1995 142(1): 9-15.
- [9] JAMES LARMINIE, ANDREW DICKS. Fuel cell systems explained [M]. England: John Wiley, 2002.
- [10] 马捷, 张忠利, 苏秋利, 等. 质子交换膜燃料电池膜内水迁移和水管理[J]. 华北电力大学学报, 2004, 31(1): 61-65.
- [11] 张世杰, 曹喜滨. 基于单神经元自适应 PID 控制的航天器大角度姿态机动[J]. 上海航天, 2003(6): 9-14.

(辉 编辑)

body Furnace System Based on a Fuzzy Theory [刊, 汉] / ZHAO Ping, LIU Zhi-qiang, SHI Zhang-ming, et al (Institute of Energy and Power Engineering under the Central South China University, Changsha, China, Post Code: 410083) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 88 ~ 92

To realize a rapid and high-efficiency diagnosis of existing faults or potential ones in a black-body furnace system a knowledge base assuming the form of multiple bases and levels has been set up on the basis of the operating characteristics of the said system. By employing a hybrid reasoning mechanism an inference machine was designed, based on the combination of an overall target reasoning and a grade or level target reasoning. The hybrid reasoning combines the inverse reasoning of black-body fault type diagnosis on the one hand and the positive-direction inference featuring fault-cause analysis and measures for fault elimination on the other. The effectiveness of the hybrid reasoning mechanism being put to use indicates that the expert system of black-body furnace fault diagnosis can ensure a relatively high prediction accuracy and has a rather high practical value in relevant applications. **Key words:** black-body furnace, fault diagnosis system, knowledge base, fuzzy theory

复合添加剂在两种烟气脱硫工艺中的应用 = **The application of Compound Additives in two Kinds of Flue-gas Desulfurization Process** [刊, 汉] / WANG Jin-gang, HU Jin-bang, DUAN Zhen-ya, et al (Institute of Chemical Engineering under the Tianjin University, Tianjin, China, Post Code: 300072) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 93 ~ 95

Three kinds of compound additive have been used in two kinds of typical flue-gas desulfurization process. Test results have shown that the compound additives are more effective than simplex additives and the compound additive composed of adipic acid and NaCl has the highest effectiveness. The compound additives feature low cost, ease of use and are available anywhere on the market. Their rational use can further enhance the operating efficiency of flue-gas desulfurization units and has potential for widespread applications. **Key words:** flue gas desulfurization, compound additive, adipic acid, metallic chloride

风机振动故障诊断及处理 = **Diagnosis of Fan Vibration-caused Failures and Measures taken to Cope with Them** [刊, 汉] / CHEN Lian-fang, XU Xi-ren (Institute of Energy and Power Engineering under the Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 96 ~ 98

A model CS12120 dual-channel vibration frequency acquisition device was used to collect the vibration frequency spectrums and phase data of blower fans and electromotors at a power plant in Linyi City of Shandong Province. On this basis a diagnosis and analysis was performed of the vibration-caused failures. The cause of fan vibrations can be attributed to tooth breakage, cracks and tooth face cave-in in a toothed coupling located between an electromotor and a blower fan. Moreover, the fractures in the coupling have been a root cause leading to a significant variation in vibration amplitudes concurrent with load changes. Corrective measures were taken based on the above diagnostic conclusion and remarkably good results have been achieved. The vibration characteristics and the method adopted to cope with them are quite representative. The analysis, diagnostic approach and method used to deal with failures can serve as a helpful reference for diagnosing and resolving similar fan vibration problems. **Key words:** fan vibration, vibration frequency spectrum, failure diagnosis, methods adopted to cope with failures

俄罗斯全自动化船用辅锅炉装置 = **Fully Automatic Marine Auxiliary Boiler Units Manufactured in Russia** [刊, 汉] / XU Yan, ZHANG Hai-yan, LIANG Hai-dong, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 99 ~ 101