

湿法烟气脱硫系统脱硫效率影响因素分析

张兴法¹, 阮翔^{1,2}

(1. 浙能台州发电厂, 浙江台州 318016;

2. 浙江工业大学机械工程学院, 浙江杭州 310014)

摘要:针对石灰石-石膏湿法脱硫系统在台州发电厂的应用过程中存在的影响脱硫效率的因素进行了分析,并结合近两年来的运行经验和相关试验进行原因分析和探索归纳得出石灰石-石膏湿法烟气脱硫系统运行过程中需要控制的主要运行参数和方法,使之达到最佳的脱硫效率。这些控制方法和参数对脱硫系统的正常运行,保证SO₂浓度的达标排放将起到积极的作用。

关键词:湿法烟气脱硫;脱硫效率影响因素;液气比;钙硫比;

中图分类号: X701.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8759(2010)03-0041-04

KEY PARAMETERS INFLUENCING THE EFFICIENCY OF DESULFURIZATION IN WET FLUE GAS DESULFURIZATION SYSTEMS

ZHANG Xing-fa, RUAN Xiang

(1. Taizhou Power Plant, Taizhou 318016, China; 2. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: The article analyzes the factors of limestone - gypsum wet FGD system in Taizhou Power Plant exist in the process of desulfurization efficiency. It is summarized that the process of limestone - gypsum wet flue gas desulfurization system needs to control the main operating parameters and methods combining with the last two years of experience and the analysis of relevant tests, so as to achieve the best desulfurization efficiency. These control methods and parameters of the normal operation of the desulfurization system will play a positive role to ensure that the concentration of SO₂ discharge standards.

Keywords: wet flue gas desulphurization; desulphurization efficiency factors; liquid-gas ratio; Ca-S ratio

0 引言

石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术 (FGD) 是当前国内外最重要、应用范围最广的烟气脱硫技术,它利用石灰石浆液在吸收塔内吸收烟气中的SO₂,通过复杂的物理化学过程,生成以石膏为主的副产物。台州电厂2台300MW燃煤机组,及2

台330MW燃煤机组各配一套湿法烟气石灰石-石膏脱硫系统。烟气脱硫工艺采用以美国巴威公司为技术支撑,脱硫装置采用一炉一塔,每套脱硫装置的烟气处理能力为一台锅炉100%BMCR工况时的烟气量,由浙江省电力设计院和浙江省天地环保工程有限公司负责设计,浙江省火电建设公司负责设备安装。吸收塔为喷淋塔(包括1个托盘、3层喷淋装置和1套两级式除雾器,每层喷淋装置对应1台浆液循环泵),吸收剂为石灰石浆液,脱硫副产品为石膏(CaSO₄·2H₂O)。湿法烟气脱

硫工艺涉及到一系列的化学和物理过程, 脱硫效率取决于多种因素。

1 系统工艺流程

石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺主要是采用廉价易得的石灰石作为脱硫吸收剂, 石灰石经破碎磨细成粉状与水混合搅拌制成一定浓度的浆液送到吸收塔的底部浆液池中。锅炉引风机排出的原烟气经过脱硫系统进口挡板后经增压风机加大压力, 然后导入脱硫系统(FGD), 通过GGH(气-气加热器)进行热交换将温度传递给脱硫后的净烟气, 降低了温度的原烟气进入吸收塔下部由下往上升, 同时在吸收塔的底部浆液池中添加了新鲜石灰石的石灰石、副产品和水的混合物从吸收塔浆液池通过浆液循环泵送至吸收塔顶部喷淋层。浆液由喷嘴雾化成一定直径的雾滴。在雾滴下落的过程中与上升的烟气逆流接触, 雾滴吸收烟

气中的 SO_2 、 SO_3 、HF和HCl等物质, 发生化学反应。烟气中的 SO_2 和浆液中的 CaCO_3 反应生成亚硫酸钙落入浆液池中, 浆液池中由外置的氧化风机供给空气, 再由几个搅拌器不停地搅拌使得浆液池中的亚硫酸钙氧化成石膏。脱硫后烟气经过两级除雾器以去除烟气中夹带的液滴, 然后经GGH加热后送往烟囱排放。

2 吸收塔系统基本工作原理

吸收塔基本工作原理(图1): 在吸收塔中, 石灰石浆液($\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$)与二氧化硫(SO_2)反应生成石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)的物理和化学吸收、反应过程; 当脱硫剂(CaCO_3)通过喷嘴雾化喷入后, 脱硫剂(CaCO_3)分散成细小的液滴并覆盖吸收塔的整个断面, 这些液滴在与烟气逆流接触时 SO_2 被吸收, 落入吸收塔底部的浆液池中, 在浆液池中完成氧化和中和反应, 并最终结晶为石膏晶体。

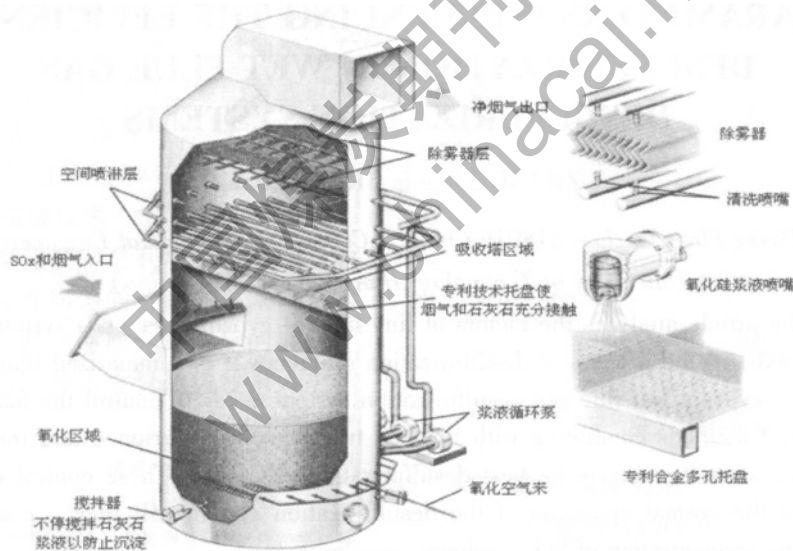


图1 脱硫吸收塔剖视图

3 影响脱硫效率的因素

湿法烟气脱硫效率与原烟气参数和设备运行方式等有直接关系, 而且许多因素是共同作用的(见表1)。实际运行中, 由于煤种的变换, 脱硫率也不十分稳定, 当原烟气中 SO_2 突然升高时, 脱硫率会有所下降, 但若能有效控制设备运行方式, 就能保证FGD有较高而稳定的脱硫率。脱硫率与烟气与脱硫剂接触时间、吸收塔浆液pH变化、循环泵运行方

表1 湿法脱硫的主要运行参数与脱硫性能的关系

运行参数	脱硫效率	石灰石粉耗	电耗
液气比↑	↑	↓	↑↑
浆液pH值↑	↑	↑↑	-
钙硫比↑	↑	↑↑	-
浆液密度↑	-	↓	↑
浆液停留时间↑	-	↓	↑
浆液 Cl^- 浓度↑	↓	↑	-

注: “↑”表示增加, “↓”表示降低, “↑↑”表示显著增加, “-”表示影响不显著。

式、氧化风机投运台数等有关。

3.1 液气比

是指与流经吸收塔单位体积烟气体积相对应的浆液喷淋量,它直接影响设备尺寸和操作费用。液气比决定酸性气体吸收所需要的吸收表面,在其它参数值一定的情况下,提高液气比相当于增大了吸收塔内的喷淋密度,使液气间的接触面积增大,脱硫效率也将增大,要提高吸收塔的脱硫效率,提高液气比是一个重要的技术手段。目前广泛使用的喷淋塔内持液量很小,要保证较高的脱硫率,就必需有足够大的液气比,液气比的最佳范围是 13~16。

3.2 钙硫比

钙硫比是指注入吸收剂量与吸收 SO_2 量的摩尔比,它反应单位时间内吸收剂原料的供给量,通常以浆液中吸收剂浓度作为衡量度量。在保持浆液量不变的情况下,钙硫比增大,注入吸收塔内吸收剂的量相应增大,引起浆液 pH 值上升,可增大中和反应的速率,增加反应的表面积,使 SO_2 吸收量增加,提高脱硫效率。但由于吸收剂的溶解度较低,其供给量的增加将导致浆液浓度的提高,会引起吸收剂的过饱和凝聚,最终使反应的表面积减少,影响脱硫效率。实践也证明了这点,一般认为吸收塔的浆液浓度选择在 20%~30%为宜,钙硫比在 1.02~1.05 之间。

3.3 烟气与脱硫剂接触时间

烟气自气-气加热器进入吸收塔后,自下而上流动,与喷淋而下的石灰石浆液雾滴接触反应,接触时间越长,反应进行得越完全。每层喷淋盘对应一台循环泵,排列顺序为 A、B、C 号,B 号循环泵对应的喷淋盘位置最高,与烟气接触洗涤的时间最长。

3.4 浆液停留时间

浆液在浆液池内停留的时间长将有助于浆液中石灰石颗粒与 SO_2 的完全反应,并能使反应生成物 CaSO_3 有足够的时间完全氧化成 CaSO_4 ,形成粒度均匀、纯度高的优质脱硫石膏。

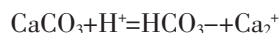
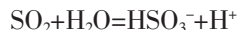
3.5 浆液循环量

新鲜的石灰石浆液喷淋下来后与烟气接触后, SO_2 等气体与石灰石的反应并不完全,需要不断地循环反应,运行 3 台循环泵的脱硫率明显高于只运行 2 台的工况。原因是增加了浆液的循环量,也就加大了 CaCO_3 与 SO_2 的接触反应机会,从

而提高了 SO_2 的去除率。

3.6 吸收塔浆液 pH 值

烟气中 SO_2 与吸收塔浆液接触后发生如下一些化学反应:



浆液池 pH 值是石灰石/石膏法脱硫的重要运行参数,一方面 pH 值影响 SO_2 的吸收过程,pH 值越高,传质系数增加, SO_2 的吸收速度就快,但系统设备结垢严重。pH 值低,吸收速度就下降,当 pH 值下降到 4 时,几乎不能吸收 SO_2 了。因此,选择合适的 PH 值是保证系统良好运行的关键因素之一。一般认为吸收塔的浆液 PH 值选择在 5.2~5.6 为宜。

3.7 氧量

O_2 参与烟气脱硫的化学过程,使 4HSO_3^- 氧化为 SO_4^{2-} ,在烟气体量、 SO_2 浓度、烟温等参数基本恒定的情况下氧量对脱硫率的影响曲线,随着烟气中 O_2 含量的增加, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的形成加快,脱硫率也呈上升趋势。当原烟气中氧量一定时,可人为往吸收塔浆液中增加氧气,所以多投运氧化风机可提高脱硫率。

可以看出,在烟气体量、 SO_2 浓度、烟温等参数基本恒定的情况下,随着烟气中 O_2 含量的增加, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的形成加快,脱硫效率也呈上升趋势。当原烟气中氧量一定时,可以在吸收塔浆液中增加氧气,所以多投运氧化风机可提高脱硫率。

3.8 石膏浆液密度

随着烟气与脱硫剂反应的进行,吸收塔的浆液密度不断升高,当密度 $> 1.085 \text{ kg/m}^3$ 时,混合浆液中 CaCO_3 和 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的浓度已趋于饱和, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 对 SO_2 的吸收有抑制作用,脱硫率会有所下降;而石膏浆液密度过低,此时如果排出吸收塔,将导致石膏中 CaCO_3 含量增高,品质降低,而且浪费了脱硫剂石灰石。因此运行中控制石膏浆液密度在一合适的范围内 ($1.075 \sim 1.085 \text{ kg/m}^3$),将有利于 FGD 的有效、经济运行。

3.9 吸收剂原料

作为脱硫吸收剂的石灰石,工艺要求其 CaCO_3 含量越高越好,以求获得更高的吸收剂利用率和更少杂质的脱硫石膏。石灰石是最终被磨制

成浆液而提供给吸收塔的,一般来说,石灰石浆液颗粒粒度越小,在浆液体系中与液相接触的比表面积越大,它在液相中的溶解及反应将更快、更充分,吸收剂利用率和脱硫效率将更高。通常要求的吸收剂纯度在 90%以上,粒度控制在 300~400 目。

4 结束语

通过对石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺主要影响因素的分析得出:SO₂吸收反应过程受参与反应的各个因素影响,既有物理因素也有化学因素。整个过程反应主要由气体和液体的扩散以及伴随的化学反应来决定。液气比、浆液 pH 值、钙硫比、浆液密度、浆液停留时间等是脱硫系统运行的关键工艺控制参数,不但影响脱硫性能,与经

(上接第 40 页)

3.4 研究工艺成果

该工艺实施后植物生长一段时间,绿化面积上植被覆盖率 87%,病虫害发生率 22%,颜色(绿) 77%,降雨基本能满足植被生长,根系发育,互相缠绕,少量根系扎入岩层裂隙,因此,此工艺达到了预期效果,取得了良好成效。

4 生态恢复综合效益分析 (以平煤四矿矸石山为例)

本工艺在平煤四矿得到了很好的应用,自 2006 年 10 月治理完成以来,从根本上解决了矿区因矸石山自然堆放而造成的危害,创造了不可估算的环境效益;并且矸石山环境综合整治后进行绿化,每年可为企业创造可观的经济效益。

4.1 经济效益

- ①节约生产矿缴纳排污费支出 130 万元/a;
- ②消除矸石山污染源,减少环境污染损失费(二氧化硫、硫化氢和一氧化碳)4.4 万元/a;
- ③绿化后可获得树木的经济价值 21 万元/a;
- ④矸石山绿化后,可节约能源费 10 万元/a;
- ⑤污染物排放量减少可以增加农作物增产及农业养殖增加效益,并且矸石山景观美化可以促使周围地价(土地利用价值)的上升,因此可以带来约 50 万元/a 的经济效益;

归纳起来,1 座矸石山环境综合整治后进行绿化,每年可以减损和增 215.4 万元/a。

4.2 环境效益

济性的关系也非常密切。通过脱硫调试和运行实践,总结出主要运行参数与脱硫性能、经济性的关系见前表 1。在目前国内脱硫项目迅速发展的情况下,努力做好系统的优化设计及运行经验的总结,对今后脱硫装置的安全稳定运行具有重要意义。

参考文献

- [1] 周祖飞. 燃煤电厂烟气脱硫系统的运行优化 [J]. 浙江电力, 2008, (8):39~42.
- [2] 郭金狮,林朝扶. 石灰石-石膏湿法烟气脱硫系统的运行与控制 [J]. 广西电力, 2009, (2) :61~66.
- [3] 卢 飏. 浅析电厂烟气湿法脱硫技术问题及脱硫效率 [J]. 中国电力教育, 2008 年研究综述与技术论坛专刊:96~98.

通过对矸石山进行综合有效治理,在环境方面也取得了有效成绩。①解决了矸石山自燃、山体滑坡坍塌等安全问题;②经过绿化的矸石山,可以防止扬尘、有害气体的产生,减少甚至彻底杜绝矸石山对空气的污染;③经过治理的矸石山,减少了煤矸石淋溶水对土壤和地下水的污染。

5 结论

通过对矸石山环境整治后进行绿化,不仅能够保证周边居民、厂区的安全,实现安全生产目标,给企业带来了巨大的经济效益,同时又有效地解决了矸石山由于自然堆放而产生的生态问题,具有良好的环境效益。因此,对煤矿区废弃矸石山进行生态恢复研究,具有广阔的应用前景和推广价值。

参考文献

- [1] 史永红,等. 安徽淮南矿区煤矸石中环境意义微量元素研究 [J]. 矿业科学技术, 2004(1):34~39.
- [2] 谢安全,张光灿. 煤矸石山对生态环境的影响及治理对策. 北京工业职业技术学院学报, 2002.1(3):27~30,62.
- [3] 刘薇. 对矸石山自燃污染绿色生态环境的研究. 东北煤炭技术, 1999(1):62~64.
- [4] 姜振泉,李雷. 煤矸石的环境问题及其资源化利用. 环境科学研究, 1998.11(3):57~59.
- [5] 江洪清. 煤矸石对环境的危害及其综合治理与利用. 煤炭加工与综合利用, 2003(3):43~46.
- [6] 何青林,吕武昌. 绿化矸石山改善矿区生态. 煤矿环境保护, 2001(6):59~60.