

炉内喷钙脱硫技术的工业应用研究

吴 新¹, 赵长遂¹, 吴树志², 陈晓平¹

(1. 东南大学 国家教育部洁净煤发电及燃烧技术重点实验室, 江苏 南京 210096;

2. 国家电力公司 电力自动化研究院工控所, 江苏 南京 210003)

摘 要:介绍了两台 10 t/h 链条炉配套的脱硫工程和测试结果。脱硫系统包括结合四角旋涡燃烧技术的炉内喷钙和尾部利用文丘里喷嘴和麻石水膜除尘器对脱硫剂加湿活化两部分。测试结果表明, 引入四角旋涡二次风技术可以在不影响锅炉运行的情况下明显改善脱硫剂在炉膛内的混合煅烧, 有利于提高炉内脱硫效率; 利用文丘里水喷嘴和除尘器, 对未反应的氧化钙颗粒进行活化, 提高脱硫反应速度, 可以在较低钙与硫比下实现较高脱硫效率。对原配有文丘里水喷嘴和麻石水膜除尘器的工业锅炉进行脱硫环保改造时, 炉膛喷钙尾部增湿活化脱硫技术具有明显的技术经济优势。

关 键 词: 脱硫; 改造; 炉内喷钙; 文丘里除尘器

中图分类号: X701.3 文献标识码: A

1 引言

在我国的煤炭消费结构中, 绝大多数直接用于燃烧, 其中, 约 30% 左右由各种类型和容量的工业锅炉燃用。全国大约有 50 万台工业锅炉, 主要分布在城市的工业区、生活区内或附近, 由于容量小, 烟囱高度不够, 烟气低空排放, 对城市环境和居民生活环境影响很大, 引起了各有关方面的重视, 对现有锅炉进行脱硫环保改造, 是解决环境污染, 缓解环境与能源需求矛盾的根本措施^[1]。“七五”、“八五”期间, 国家环保总局组织国内有关科研单位对炉内喷钙脱硫技术在中小锅炉上的应用进行研究, “九五”选择南京炼油厂 10 t/h 锅炉进行试点工程。

南京炼油厂 樱驼村锅炉房位于市区钟山风景区内, 环保要求相对较高, 要求锅炉房内的两台 10 t/h 热水供暖锅炉配备脱硫装置。由于炉膛喷钙尾部增湿活化脱硫技术具有流程简单、装置紧凑灵活、投资省、脱硫剂价格低廉、运行成本低、脱硫效率中等的优点^[2], 比较适合中小锅炉的环保改造和我国国情, 因此采用这一技术对其进行改造。

2 技术方案与脱硫原理

2.1 技术方案

该锅炉为 10 t/h 正转炉排锅炉, 尾部除尘系统采用文丘里水喷嘴和麻石水膜除尘器, 烟气经引风机和烟囱排到大气中, 冲灰水和分离下来的粉尘由排水口排入灰水池内, 冲灰水可以循环利用。

根据现有设备情况, 为了节省资金, 减少对原有设备的影响, 制定如下技术方案:

(1) 由于满负荷时炉膛温度可以达到 1 100 °C, 能够使石灰石迅速热解, 因此将石灰石粉通过气力输送送入炉膛, 并通过控制喷口风速, 保证射流深度; 为使喷入炉膛内的石灰石粉与烟气充分混合热解, 在炉膛四角喷入二次旋涡风, 在炉膛上部形成的强旋流场, 使脱硫剂颗粒与烟气充分混合接触, 延长颗粒和烟气在炉内的停留时间, 可以有更长的脱硫反应时间, 不仅可以提高石灰石的钙利用率和碳的燃尽度, 还可以抑制 NO_x 的形成, 降低炉膛出口的原始排尘, 对锅炉的消烟除尘大有裨益。各管路的风量可以通过蝶阀调节, 布置见图 1。

(2) 在尾部利用原有的麻石水膜除尘器, 通过除尘器的文丘里喷嘴喷射的水雾, 使炉膛内尚未完全反应的热解生石灰水合为熟石灰浆滴来提高其脱硫性能, 以期提高脱硫效率, 降低石灰石的消耗量^[3]。

2.2 脱硫原理

喷入炉膛的石灰石在炉膛内的高温气氛下煅烧热解, 与烟气中的 SO₂ 发生脱硫反应, 脱硫剂在炉膛内的停留时间毕竟有限, 没有完全反应的脱硫剂随烟气进入尾部除尘器, 在除尘器入口, 文丘里喷嘴喷射的水滴与脱硫剂颗粒碰撞, 随烟气进入水膜除尘器内, 在强烈旋转的气流内, 水滴与脱硫剂颗粒进一

收稿日期: 2000-07-13; 修订日期: 2000-11-03

基金项目: 国家重点基础研究专项经费基金资助项目(G199902201-04); 国家重点科技项目(攻关)计划子课题基金资助项目

(96-910-01-04)

作者简介: 吴 新(1969-), 男, 江苏宜兴人, 东南大学讲师, 博士研究生。

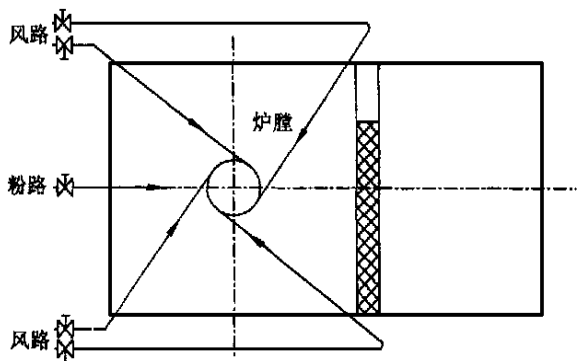
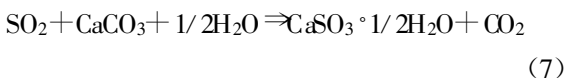
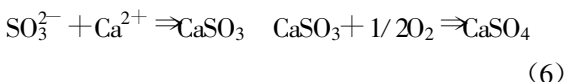
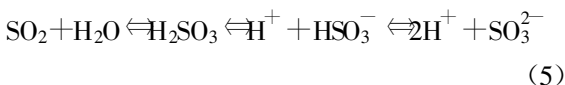


图 1 四角旋涡风布置

步发生碰撞水合, 形成浆滴, 脱硫活性大大增强, 硫化反应由气固反应转变为离子反应。由于 SO₂ 气体在水中的溶解度较大, 酸性较强, 硫化反应速度较快, 提高了脱硫效率和钙利用率。反应后的脱硫剂由除尘器分离, 随除灰水排出除尘器。具体的脱硫反应过程如下:



在改造完成后, 利用 1999 年冬季取暖期, 对脱硫系统的脱硫性能进行了综合测试, 测试脱硫效果和对锅炉燃烧的影响。取样点分别布置在经济器出口和水膜除尘器出口, 测量烟气中的 SO₂、O₂ 和 CO₂ 等组份浓度, 由投入脱硫系统前后的 SO₂ 浓度经含氧量修正后计算脱硫效率。烟气成分由德国 MRU 公司生产的 SAE19 型便携式气体分析仪在线测量, 炉膛温度通过插入 K 型热电偶测量。试验调节参数为钙与硫比, 四角二次风量。燃煤元素分析见表 1, 脱硫剂为南京下关电厂脱硫系统自备制粉厂生产的汤山石灰石粉, 粒径分布和化学成分见表 2 和表 3。

表 1 燃煤元素分析

| 元素 | C | H | O | N | S | 灰分 | 水分 |
|------|-------|------|------|------|------|-------|------|
| 含量/% | 59.84 | 4.20 | 5.14 | 0.71 | 0.53 | 28.02 | 1.56 |

表 2 石灰石粒径分布分析结果

| 范围 / μm | 250-75 | 75-45 | 45-30 | 30-20 | 20-10 | 10-4 | 4-2 | <2 | 质量平均粒径 |
|--------------------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|--------|
| 含量/% | 4.2 | 4.5 | 11.2 | 14.3 | 27.5 | 24.6 | 6.4 | 7.3 | 23.22 |

表 3 石灰石化学成分分析结果

| | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaCO ₃ | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | SO ₃ |
|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------|------|------------------|-------------------|-----------------|
| 含量/% | 0.75 | 0.12 | 0.41 | 0.014 | 98.24 | 0.28 | 0.03 | 0.014 | 0.14 |

3 测量结果与分析

3.1 钙与硫比对脱硫效率的影响

钙与硫比对脱硫效率影响曲线见图 2。从图中可以看出, 随着钙与硫比的增加, 炉内脱硫效率和总脱硫效率都增大。但是, 炉内脱硫效率随钙与硫比增加而增大的趋势比总脱硫效率明显得多。在钙与硫比为 5.05 时, 炉内脱硫效率达到 40.8%, 炉内脱硫效率达到 78.7%。钙与硫越大, 炉膛内烟气中的脱硫剂颗粒浓度增加, 脱硫反应表面积成比例增大, 脱硫效率随之提高^[4]; 而在除尘器中, 脱硫反应机理与湿法相似, 反应控制因素为 SO₂ 溶解和电离过程, 受脱硫剂数量影响不明显, 因而除尘器内的脱硫效率变化不大。这说明, 由于湿法除尘器的存在使得脱硫系统在钙与硫较低的情况下保持较高的脱硫效率, 其脱硫过程与湿法洗涤塔接近。

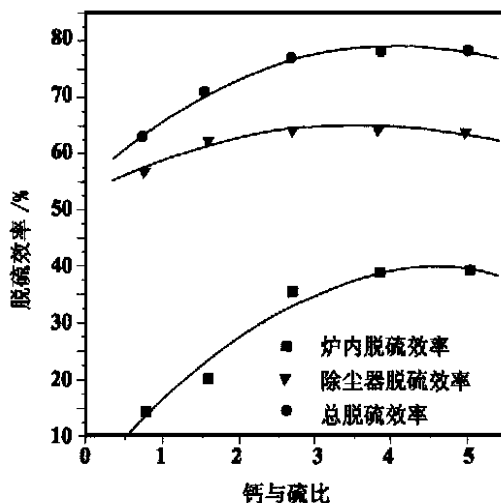


图 2 脱硫效率—钙与硫比关系曲线

3.2 切向风量对脱硫效率的影响

切向风量对脱硫效率的影响曲线见图 3。由图可以看出, 炉内脱硫效率随切向风量增大明显提高, 而除尘器内的脱硫效率则无明显变化。脱硫剂喷入

炉膛后,由于输送风为冷风,能否快速热解是提高脱硫效率的关键环节。提高切向风量,炉膛内的旋涡流场更为强烈,有利于脱硫剂颗粒在炉膛内均匀分散,使石灰石粉在炉膛内与热烟气迅速充分混合并升温热解,与烟气中的 SO_2 充分接触,同时延长了脱硫剂的炉内停留时间,有利于脱除 SO_2 。而除尘器内,没有煨烧的石灰石脱硫反应按方程(7)进行,控制机理并没有发生变化,因而切向风量对除尘器的脱硫效率影响甚微。因此,切向风量增加,炉膛内形成的类似煤粉锅炉四角切圆燃烧方式的强旋流场,改善了脱硫剂在炉膛内的混合煨烧,实现脱硫剂的炉内循环,延长脱硫剂的停留时间,提高炉内脱硫效率。

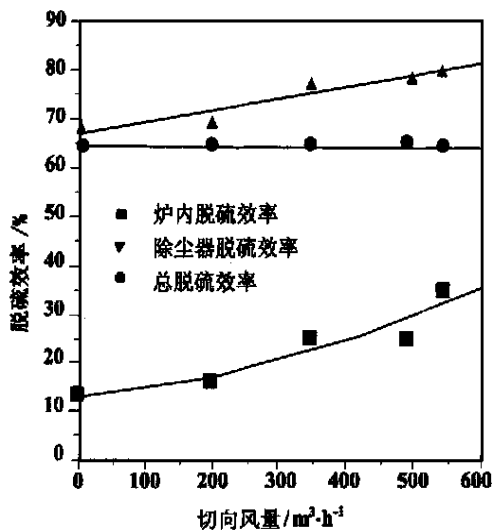


图3 脱硫效率—切向风量关系曲线

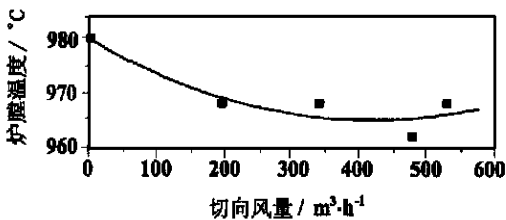


图4 炉膛温度—切向风量关系

3.3 切向风量对炉膛温度的影响

由于石灰石的热解温度约为 700°C 以上,要保证石灰石可以充分热解并脱硫,要求炉膛温度稳定在热解温度以上。为了进一步研究四角风对炉内脱硫和锅炉运行的影响,测量了不同风量下的炉膛温度,测量结果见图4。由图可以看出,炉膛温度受切向风量影响很小,在不同的风量下,炉膛温度基本不变,都在 980°C 左右。实际上,与锅炉一次风相比,

四角风量很小,不致明显影响炉膛温度,另外测量时锅炉并不是在满负荷下运行,炉膛温度还可以随负荷提高而升高,因而四角旋涡风的吹入并不会降低炉膛温度,不会影响炉膛内挥发份的燃烧,也能保证石灰石粉的充分煨烧热解。

3.4 改造后脱硫系统对锅炉运行的影响

脱硫系统投入后,连续运行十几个小时的运行情况表明,脱硫剂的加入和四角旋涡风的吹入对锅炉运行无明显影响,在引风机负荷不变的情况下,炉膛压力没有变化,没有造成原先厂方所担心的正压情况。另外,脱硫系统投入后,除灰水的pH值也由原来的酸性变为接近中性,原来除灰水冒出的刺鼻的 SO_2 味道也闻不见了,改善了周围的环境,这也从另一方面表明脱硫系统的效果。

另外,从水膜除尘器出来的烟气含湿量较高,加装脱硫系统后,由于排放烟气中的 SO_2 浓度大幅度降低,与原来相比,引风机和烟道的腐蚀情况可以明显得到缓解,延长设备运行寿命。但另一个方面,由于脱硫剂的加入,除尘灰中含有 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等成分,长期运行有可能引起除尘器内壁面结垢和出灰口堵塞,这一点,还需要经过长期运行的考验并在运行中加以注意。

4 结论

针对现有的大量中小容量链条炉,应用炉内喷钙尾部增湿脱硫技术是现实可行的经济有效改造方案,特别是对原配有文丘里水喷嘴和麻石水膜除尘器的工业锅炉,由于结合了湿法和干法脱硫技术的特点,可以在低钙与硫比情况下实现较高的脱硫效率。脱硫改造后,对锅炉的运行没有明显不利影响,反而由于降低了排烟中的 SO_2 浓度而改善了引风机和烟道的腐蚀情况,延长运行寿命。

引入四角旋涡技术,可以明显改善脱硫剂在炉膛内的混合,提高炉内脱硫效率和系统脱硫效率,而且四角切向风的引入对炉膛温度没有影响,脱硫效率随风量的增加而升高。

参考文献:

- [1] 顾念祖. 燃煤电厂脱硫的现状分析和防治对策[J]. 热能动力工程, 2000, 15(2): 91-92.
- [2] LIFAC North America Inc. Sorbent Injection Desulfurization Demonstration Project Final Report Volume II: Project Performance and E-

烟煤与石油焦掺混燃烧特性研究

杨亚平, 蔡 崧

(东南大学 热能工程研究所, 江苏 南京 210018)

摘 要:以小型试验台上煤焦混粉燃烧试验为基础,对烟煤与石油焦的燃料特性,混合粉的着火性能、燃烧特性、以及煤粉细度,配风条件和热负荷强度对燃烧过程的影响进行了分析研究。

关键词:燃烧装置;混合粉;热解特性;燃烧特性

中图分类号:TK229.91 文献标识码:A

1 前言

目前国内石化企业中把石油焦作为锅炉燃料加以利用的做法很普及,且多数是利用自身带有热电站的优势,将石油焦与原锅炉设计煤种混磨,并以混合粉燃料的形式投入煤粉锅炉中燃烧利用。由于这两种燃料的特性差别较大,它们掺混之后的燃烧特性如何呢?值得加以探索研究。

本文介绍了我们在小型燃烧试验装置上的一些研究成果。

2 试验使用的燃烧装置

图 1 所示的燃烧装置设计负荷每小时可烧 220 公斤石油焦,容积热负荷 $q_v = 2.52 \times 10^6 \text{ kJ/m}^3$, 喷燃器中心断面热负荷 $q_F = 2.85 \times 10^7 \text{ kJ/m}^2$ 。图中燃烧室顶部由点火油喷嘴和煤粉燃烧器组成。燃烧室本体呈 L 形布置;由 5.49 m 垂直段和 5.8 m 水平段共同组成。一次风和二次风由罗茨风机经喷流式空气预

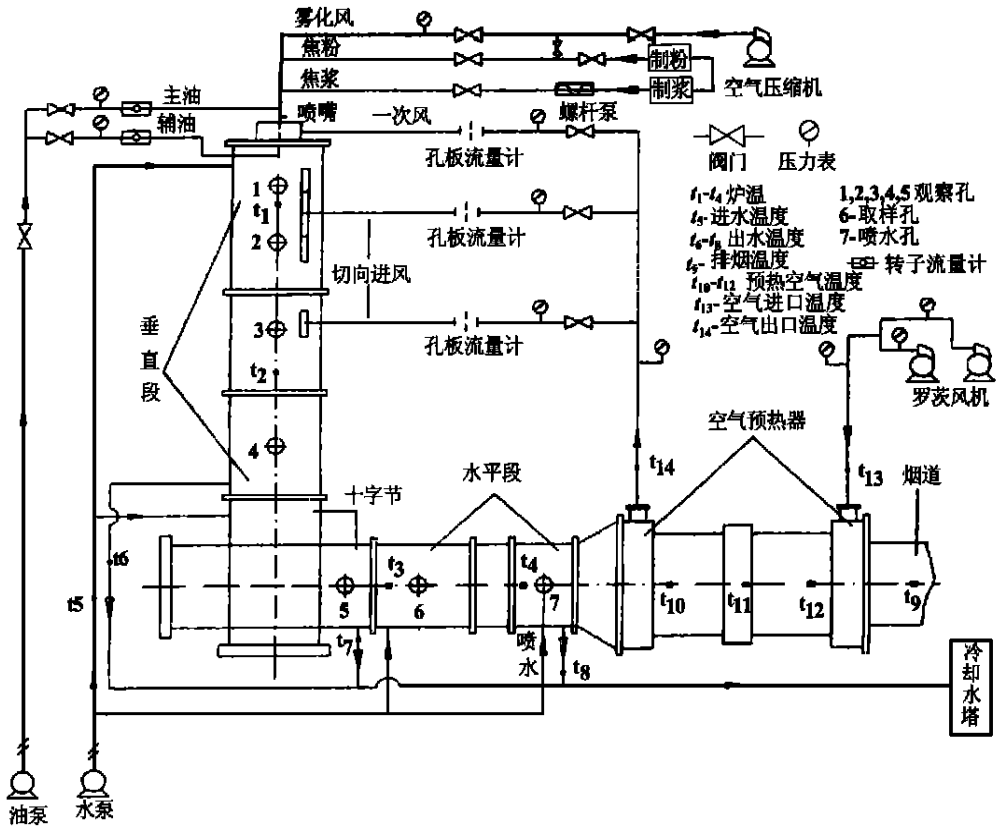


图 1 燃烧试验装置及测试系统

收稿日期: 2001-06-14; 修订日期: 2001-08-07

作者简介: 杨亚平(1952-),男,江苏南京人,东南大学副教授。

[3] 纪宏舜. 简易脱硫除尘一体化技术方案的研究及其应用[J]. 中国电力, 1999, 32(6): 55-60.

[4] MARK R SPOUFFER. An investigation of the mechanisms of flue gas desulfurization by in-duct dry sorbent injection[J]. Ind Eng Chem Res, 1989, 28(1): 20-27.

(何静芳 编辑)

Sb, Co, Ni) have their quantity increased consecutively, depending on the content of bottom ash—fly ash—slag—fouling. Meanwhile, rare earth elements and radioactive element (U, Th) on the contrary assume an opposite tendency. In the fly ash of burned coal the content of many trace elements in iron particles happens to be higher than that of calcium and silicon-aluminum particles. The distribution characteristics of in-coal accompanying elements in the combustion products is related to the chemical properties and assigned state of the element itself. **Key words:** accompanying element in coal, fly ash, bottom ash, slag and fouling, iron micro-ball

油水乳化液中长气泡漂移速度的研究 = **A Study on the Drift Velocity of Long Bubbles in Oil-water Emulsion**

[刊, 汉] / WANG Yue-she, LIU Lei, ZHOU Fang-de (National Key Lab of Power Engineering Multi-phase Flow under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(6)—604~608

Set up was a momentum analysis model of the drift velocity in stagnant liquid of long bubbles in an annular tube. Taylor bubbles drift velocity at various rates of water content in stagnant oil-water emulsion and under a slug flow regime was measured with the use of a high-speed dynamic analyzer. In conjunction with available experimental data and on the basis of Wallis' flow classification criteria put forward is a semi-empirical formula for Taylor bubble drift in oil-water emulsion, which reveals the law of motion of long bubbles in liquids with different hydrodynamic characteristics. **Key words:** oil-water emulsion, Taylor bubble, drift velocity, study

炉内喷钙脱硫技术的工业应用研究 = **Industrial Applied Research of In-furnace Sorbent Injection-based Desulfurization Technology**

[刊, 汉] / WU Shu-zhi, ZHAO Chang-sui, DUAN Yu-feng, et al (Education Ministry Key Lab of Clean Coal-based Power Generation and Combustion Technology under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(6)—609~611

Presented is a desulfurization project undertaken on two 10 t/h chain grate stokers along with some relevant test results. The desulfurization system comprises two parts: 1. The injection of sorbent into a furnace in conjunction with four-corner vortex firing technology; and 2. The humidification and activation of desulfurization agents for a tail portion through the use of a Venturi nozzle and water-film dust collector. The test results indicate that the introduction of a four-corner vortex and secondary air techniques can markedly improve the mixed calcination of desulfurization agents in the furnace without affecting the boiler operation and is conducive to enhancing the desulfurization efficiency in the furnace. The use of Venturi water nozzle and a dust collector can lead to the activation of those calcium oxide particles, which have not undergone reaction, thus increasing the reaction speed of desulfurization. This makes it possible to realize a higher desulfurization efficiency at a relatively low Ca/S ratio. During the upgrading for environmental protection purposes of industrial boilers originally fitted with Venturi water nozzles and water-film dust collectors the technology of in-furnace sorbent injection with tail portion humidification and calcium oxide activation enjoys a significant techno-economic edge. **Key words:** desulfurization, upgrading, sorbent injection into a furnace, Venturi wet dust collector

烟煤与石油焦掺混燃烧特性研究 = **Research on the Combustion Characteristics of Burning Bituminous Coal Mixed with Petroleum Coke**

[刊, 汉] / YANG Ya-ping, CAI Song (Thermal Energy Engineering Research Institute under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210018) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(6)—612~614, 631

Based on a combustion test of burning a mixture of petroleum coke and coal dust on a small-sized test rig an analytical study was conducted of the effect of various factors on the combustion process. These factors include: fuel characteristics of bituminous coal and petroleum coke, ignition performance of mixed fuel dust, combustion characteristics, pulverized coal fineness, air distribution conditions and thermal load intensity. **Key words:** combustion unit, mixed pulverized coal, pyrolytic characteristics, combustion characteristics