

工艺与设备

75 t/h 沸腾锅炉文丘里水膜除尘器的改造

李立清¹ 曾光明¹ 魏先勋¹ 郭爱林²

(1. 湖南大学环境科学与工程系, 湖南 长沙 410082; 2. 太原市环保局, 山西 太原 030001)

摘要:应用旋流板除尘脱硫一体化技术对 75 t/h 沸腾锅炉的文丘里水膜除尘器进行了改造, 并对改造后的装置进行了性能试验, 提出了最佳运行条件, 实现烟/气达标排放。除尘率达到了 95%, 脱硫率达到 65.5%。

关键词:旋流板; 除尘; 脱硫; 一体化装置

中图分类号: TQ054.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2003)07-0041-04

Reconstruction of rotating-steam trays for gas-cleaning in a 75 t/h boiler

LI Li-qing¹, ZENG Guang-ming¹, WEI Xian-xun¹, GUO Ai-lin²

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. Taiyuan Environmental Bureau, Taiyuan 030001, China)

Abstract: The reconstruction of rotating-steam trays for gas-cleaning in a 75 t/h boiler was made with the integrated technology of desulfurization and dust removal. The performance after the reconstruction was tested. The optimal running conditions were found. The exhaust can reach the national standard. The dust removal ratio can be 95%, and the desulfurization ratio can be 65.5%.

Key words: rotating-steam tray; desulfurization; dust removal; integrated technology

由于我国制定了严格的二氧化硫和烟尘的排放标准, 因此, 目前大多数除尘装置很难满足要求。现有的除尘器多为水膜除尘器、旋风除尘器和文丘里/水膜除尘器, 少数大型锅炉采用静电除尘器。干式除尘器如旋风除尘器、静电除尘器没有脱硫功能, 同时旋风除尘器除尘性能也不能满足目前的环保标准, 而水膜除尘器和文丘里水膜除尘器, 其排尘不能达标, 脱硫效率仅在 30% ~ 40%。因此, 迫切需要对现有除尘器进行改造, 以满足对大气污染治理的要求。近年来笔者研究开发了旋流板烟气除尘脱硫一体化净化装置技术, 在太原市东山热电厂锅炉改造中应用后获得好评。

1 原装置存在的问题

该厂有 3 套 75 t/h 沸腾炉, 原采用文丘里/水膜除尘器工艺处理烟气。由于种种原因, 处理效果不

佳, 存在许多问题。

(1) 除尘效率、脱硫效率同步提高

原装置文丘里水膜除尘器利用惯性, 布朗运动、表面张力、重力作用使烟气与水膜接触, 在此过程中尘粒、SO₂ 被液滴、液膜截留、粘附、反应。同时尘粒增湿相互凝聚, 蒸汽以尘粒为凝结核凝结, 增强了尘粒的凝聚性, 强化了除尘作用。从脱硫除尘机理可以看出, 利用湿法同时脱除烟尘和二氧化硫时, 在烟气除尘和二氧化硫吸收方面, 气液接触面积是相同的, 而惯性、重力等对脱硫不起作用, 同时烟气中的二氧化硫浓度很低, 且由于主流烟气距离液膜、液滴较远, 烟气中的二氧化硫靠扩散作用到达液面, 气液接触面积有限, 故此除尘器难以做到脱硫、除尘同步高效。提高脱硫效率, 使二氧化硫达标排放是该厂急需解决的首要问题。

(2) 结垢问题

利用湿法同时脱除烟尘和二氧化硫,不可避免地存在结垢问题。其主要原因是由于洗涤液中的钙基物质促进了二氧化硫和二氧化碳的吸收,生成了过多的碳酸钙、硫酸钙等沉淀物质。文丘里的液体喷嘴孔隙及水膜除尘器溢流堰的入水口较小,结垢后造成了通道阻塞,破坏气液的正常流动工况,恶化净化效果,使阻力增加,风机带水。

(3) 风机带水问题

烟气带水会引起引风机振动,清灰频繁,这是困扰该厂的另一个问题。湿法脱硫和除尘同时进行,使得这一问题更加突出。它既有设计制造方面的原因,也有运行方面的原因。设计制造的原因主要是脱水器设计不合理,临界烟气速度选择不当,特别是实际设备的烟气量变小时,偏离了脱水器设计工况,脱水器性能恶化;运行方面的原因突出表现在用户不按操作规程运行,少水运行,使水大量雾化;另外还有环境因素,如设备冬季运行时室外温度低,而脱硫除尘器以后的烟气处于饱和状态,造成了烟道内壁结露,烟气速度过高,把露滴带走,又造成了风机带水。

(4) 阻力问题

除尘系统的文丘里设计不合理,喉管中气速太大。系统阻力偏高,风机负荷过大。

(5) 污水处理问题

为做到湿法脱硫除尘没有二次污染,节约用水,洗涤水必须循环使用,应在合适的位置加入适量的脱硫、固硫剂。如果不及时加入脱硫剂,必然造成循环水的酸度逐渐上升,使脱硫效率大大下降,造成设备腐蚀加剧。

2 改进措施

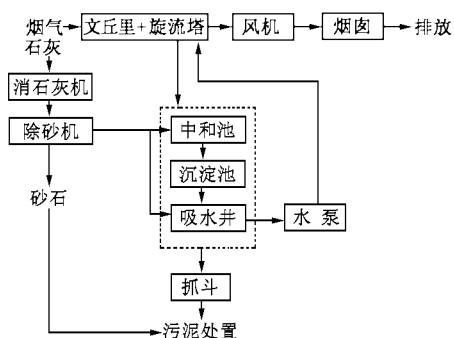


图 1 太原东山热电厂锅炉烟气处理系统改造后工艺流程

日益严格的二氧化硫排放标准迫使许多企业改造陈旧的处理设施。2000 年该厂委托笔者对原烟

气处理系统进行改造设计。笔者本着既达标,又节省的原则,采用了文丘里/旋流板塔的工艺,成功解决了该系统的诸多问题。工艺流程见图 1。

(1) 采用中低速文丘里管代替中高速文丘里管

原文丘里喉管气速为 60 m/s,现改为 40 m/s,可大大降低文丘里管的阻力,由于旋流板塔采用了强化传质的措施,使新系统阻力稍有下降,因而没有更换风机,为企业节省了投资。

(2) 旋流板塔代替水膜除尘器

旋流板烟气除尘脱硫一体化净化装置采用气-液旋流雾化技术^[4-5],同时脱除烟气中的烟尘和二氧化硫。锅炉烟气切向进入脱硫除尘器主体,旋流向上,窜过旋流板,与旋流喷嘴喷洒在旋流叶片上的薄液层相冲激,高速的气流将薄液层激化成水雾。水雾和烟气成交融状,旋流向上穿过下一层板。气相和液相在接触过程中,气相中的烟尘和二氧化硫在扩散、碰撞的作用下被捕获截留和吸收。液滴和颗粒物又在离心力的作用下,甩向四周的薄液流边界层而被除去。根据需要可设置 3 层塔板,在该装置内同时存在烟尘捕获的物理过程和二氧化硫吸收的化学过程,采用碱液吸收是为了强化二氧化硫的吸收。二氧化硫与碱液反应时为不可逆反应(反应时间 < 0.1 s)^[3-4,6],要提高反应效率只需强化传质过程,而旋流板的作用就在于此。污水经沉淀和添加碱性物质后循环使用。该装置具有气液接触面积大、液滴小、二氧化硫扩散距离短、阻力小等优点^[1]。

(3) 结垢堵塞问题

利用大口径反射喷淋装置替代微孔溢流,并定时清洗,可以解决结垢堵塞问题。

(4) 风机带水问题

①选择丝网型脱水器和合理的设计参数,采取相应的低负荷辅助措施,设置高压冲洗装置,避免风机叶片粘灰而引起振动。

②适当加大脱水器至引风机之间烟道的直径,并进行保温,防止烟气对凝结水的携带。

(5) 污液的处理问题

①合理选择脱硫剂的加入量和加入地点,采用自动消石灰机,实现石灰连续加入。石灰浆最好在循环水泵的吸水井加入。

②根据洗涤液各处的 pH 值,最好选择耐酸、耐磨污水泵作为循环水泵,管路也应该选择耐腐、耐磨管路。

③合理设计沉淀池的大小,洗涤水沉降时间约为 40~60 min。合理设计循环水的工艺流程,运行

时及时清除沉淀污泥。

3 性能试验

3.1 pH 值对脱硫效率的影响

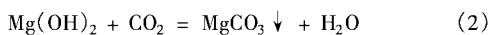
洗涤液的 pH 值影响 SO₂ 的吸收,这是洗涤过程结构控制的主要因素之一。在 pH > 10 以后,反应逐步由液膜内部移向表面,强化了传质过程,从而增加反应速度,净化率接近 80%;当 pH 值降到 8 以下,反应逐步由液膜表面移向内部,反应速度减慢,脱硫率迅速降低。由于洗涤过程易结硫酸钙硬垢^[6],单从脱硫率角度来看,pH 值越高越好,但 pH 值越高,结垢也越厉害,且因石灰溶解度很低,石灰利用率也会下降。

3.2 pH 值对 CO₂ 消耗石灰的影响

石灰乳碳酸化的主要反应是 Ca(OH)₂ 的碳酸化反应,该反应的化学方程式为:



石灰乳碳酸化的次要反应是 Mg(OH)₂ 的碳酸化反应,该反应的化学方程式为:



在 Ca(OH)₂、SO₂、CO₂、CaSO₃、CaHSO₃、CaHCO₃、CaCO₃、水和蒸汽共存的体系中存在着复杂的化学平衡^[6-7]。

在烟气中,二氧化碳的浓度是二氧化硫浓度的 50~100 倍,湿法脱硫过程中涉及再碳酸化反应,再碳酸化反应对于脱硫是负影响,再碳酸化反应浪费脱硫剂,增加运行费用。在相同的 pH 值下,碱法脱硫的再碳酸化反应比石灰法脱硫的再碳酸化反应严重得多^[8]。图 2 是再碳酸化反应和石灰过量与洗涤液 pH 值的试验曲线。从曲线中可以看出循环水 pH 值不宜大于 11。

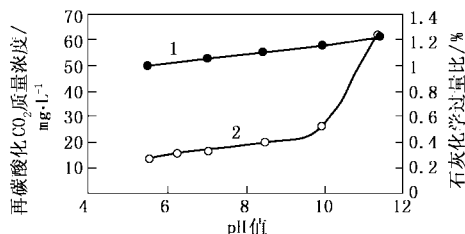


图 2 再碳酸化反应和石灰过量与洗涤液 pH 值的试验曲线

3.3 石灰浆浓度和粒径对脱硫反应过程的影响

石灰浆液的浓度对脱硫系统的正常操作有比较大的影响。由于熟石灰大部分不溶于水,易于沉淀。若石灰浆浓度过高,当用管道输送特别是在水平转

弯处和间歇输送时易堵塞管道。另外,如果加入反应器中的石灰浆浓度过高,在加入口附近会形成一个高 pH 值区域,会生成 CaSO₃·12H₂O 软垢,引起内部构件堵塞。因此,石灰浆浓度不能高,试验时质量分数应控制在 5% 以下,以 2%~3% 最佳^[9]。

3.4 液气比对效率的影响

液气比(体积比, L/m³,下同)的大小直接影响装置脱硫与除尘效率,是一个重要的操作参数。图 3、图 4 研究了液气比对脱硫率和除尘率的影响。由图 3 可知,在维持系统进口洗涤液 pH 值为 10 时,脱硫率随液气比升高而呈上升趋势。但当液气比大于 2.5 时,脱硫率上升趋势变缓。这是因为在一定的吸收质 SO₂ 条件下,反应速度不再由液相决定,而由气相控制,增加液体体积已收效不大,最终应趋向于极值。这是因为整个脱硫过程由液膜控制逐渐转变为气膜控制的结果。

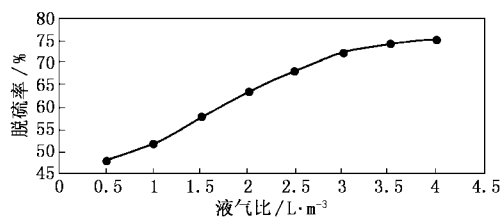


图 3 液气比对脱硫率的影响

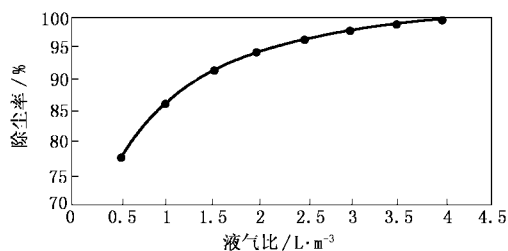


图 4 液气比对除尘率的影响

由图 4 可知,液气比在大于 1.5 时,除尘率就在 90% 以上。随液气比下降,除尘效率迅速下降。在该湿式除尘器中,气体中的尘粒是在气液两相接触过程中被捕集的,水滴、气泡、气体射流是尘粒的捕集体。故液气比大于 1.5 就基本满足除尘要求,而就脱硫效率而言,液气比应大于 2.0。

综合考虑以下工艺条件较为适宜:pH 值 ≈ 10,液气比为 2.0。

4 监测结果

监测结果见表 1。

表 1 除尘脱硫前后监测数据对比

项目	除尘脱硫系统前	除尘脱硫系统后
烟气量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	223400	162000
烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$	180	55
含湿量/%	2.0	8.0
烟气含尘浓度/ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	13535.80	178.40
烟尘排放量/ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	1543.80	23.73
烟气含 SO_2 浓度/ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	2277.00	786.00
烟气中 SO_2 排放量/ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	259.58	88.25
系统脱硫率/%		65.5
系统除尘率/%		99.8

国家锅炉烟尘排放标准(GWPB3—1999)二级标准规定烟尘及 SO_2 排放量为标准值的 65.5% 和 71.4%。

5 结论

(1) 太原东山热电厂除尘脱硫装置运行 2 年多

来的实践表明,该除尘脱硫一体化系统技术是成熟的,可推广应用。

(2) 系统最佳运行条件是:Ca 与 S 质量比为 1.1 ~ 1.2;液气比为 2;pH = 10。

(3) 石灰浆质量分数控制在 5% 左右。

(4) 该系统在环保局验收时,除尘率达到了 95.0%,脱硫率达 65.5%,外排烟气达到国家标准。

参考文献

- [1] 晏乃强,吴祖成,谭天恩,等.[J].环境科学,1998,19(5):72.
- [2] Smock R. [J]. Power Engineer, 1990, 94(7): 34 - 41.
- [3] 吴忠标,谭天恩.[J].环境科学,1996,17(2):42 - 46.
- [4] 李立清.[J].环境工程,1998,3(16):31 - 33.
- [5] 李立清,曾光明,李彩亭,等.[J].现代化工,2002,22(6):49 - 52.
- [6] Laohavichitra C, Muroyama K, Wang S H, et al. [J]. Chem Eng Sci, 1982, 37: 1572 - 1575.
- [7] 王善成,毛炳启.[J].中国环境监测,1997,13(1):12 - 15.
- [8] 邱建明,崔英德.[J].广州化工,2001,29(4):18 - 20.
- [9] 钟秦,黄俊,王婷茹,等.[J].南京理工大学学报,1997,21(5):419 - 412. ■

第三届环境模拟与污染控制学术研讨会会议通知

为交流国内外环境科学与工程领域污染防治的新理论、新技术,探索人与自然和谐相处的可持续发展道路,环境模拟与污染控制国家重点联合实验室与中国环境科学学会将于 2003 年 11 月 6 ~ 7 日在北京联合组织召开第三届环境模拟与污染控制学术研讨会。会议将邀请我国环境科学和工程技术领域的著名科学家和两院院士作前瞻性学术报告,同时举行分会研讨,以充分展示和交流环境科学研究和新技术开发工作的进展和经验。

会议组委会从现在开始接受会议论文,欢迎全国有关研究人员报名参加。

主办单位:环境模拟与污染控制国家重点联合实验室 中国环境科学学会

征文范围

环境工程:工业废水净化与资源化的新技术新理论;受污染的水的净化技术及机理;地下水污染防治及水质恢复技术及机理;难降解有机污染物的处理技术及机理;区域水环境污染控制与管理;高效水处理组合技术原理;烟气脱硫除尘新工艺和汽车尾气防治技术;温

室气体效应及控制对策;废弃物处理及资源化新技术。

环境科学:我国城市化进程中复合型大气污染特征和形成机制;平流层及对流层臭氧层分布与耗损规律及控制对策;区域空气污染与全球气候变化;大气物质沉降与水环境污染及富营养化;污染物在环境中的迁移转化规模及其环境影响;持久性有机物的生态毒理效应和环境影响;污染水体水质恢复的理论与应用技术原理;水资源可持续利用策略及技术;水资源净化理论及水质资源的合理利用与科学管理;化学品、工业废弃物和生活垃圾的管理;城市环境规划与管理。

重要时间表

2003 年 10 月 1 日:组委会停止接受会议论文简写本

2003 年 10 月 30 日:确认参加会议(通过电话、传真、电子信箱、信件等)

联系人:李瑞瑞 王志强 田少虹

通讯地址:清华大学环境系 100084

电话:010 - 62785684、13910754674

传真:010 - 62771472

Email:lrr@tsinghua.edu.cn