

湿法脱硫除雾器减缓结垢的方法研究

董丽彦¹, 杨 贝², 马 帅¹, 宋宝华^{1*}, 牛建青¹, 张文婷¹

(1. 中节能六合天融环保科技有限公司, 北京 100082;

2. 河北旭阳工程设计有限公司, 河北 石家庄 050000)

摘要:从分析除雾器结垢原因入手, 提出减缓结垢方法: 控制浆液运行 pH 在 6 以下, 保证足够的氧化风量, 宜控制浆液密度处于 1 080 ~ 1 180 kg/m³; 冲洗水压力宜在 0.15 ~ 0.30 MPa, 下层除雾器冲洗水量及频次宜较大, 冲洗水覆盖率 300%, 冲洗水不溶物含量及硬度应控制在低值; 适当向浆液中添加阻垢剂; 严格控制除尘效率和石灰石品质不低于设计值; 优化烟气流场, 使流场均匀, 保障除雾器通流风速在 4 ~ 7 m/s。为除雾器稳定运行提供参考。

关键词: 脱硫; 除雾器; 减缓; 结垢

中图分类号: X701

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2017)01-0168-03

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2017.01.040

Study on methods of reducing fouling in wet flue gas desulfurization (FGD) demister

DONG Li-yan¹, YANG Bei², MA Shuai¹, SONG Bao-hua^{1*}, NIU Jian-qing¹, ZHANG Wen-ting¹

(1. CECEP L&T Environmental Technology Co., Ltd., Beijing 100082, China;

2. Hebei Xuyang Engineering Design Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: The scaling causes of demister are analysed and the controlling methods are proposed. pH of the slurry is controlled below 6 to ensure adequate oxidation air and the slurry density should be controlled in 1 080 ~ 1 180 kg/m³. Flushing water pressure should be 0.15 ~ 0.30 MPa. The lower demister needs more water and higher frequency. The flushing water coverage should be 300%. The insolubles content and hardness of flushing water should be in low value. An appropriate scale inhibitor can be added to the slurry. The dust removal efficiency and quality of limestone should be strictly controlled. The flow field is optimized to make it well-distributed and keep the flue gas velocity passing by the demister in 4 ~ 7 m/s.

Key words: desulfurization; demister; slowing; scaling

我国 85% 以上烟气脱硫采用湿法脱硫技术。在湿法脱硫装置长期运行中, 除雾器结垢问题普遍存在。除雾器结垢会使除雾器叶片间通道变窄, 叶片表面不光滑, 造成流场不均匀, 除雾器效率降低, 引起“石膏雨”。结垢严重时, 会局部堵塞除雾器通道, 一定程度时造成整体塌陷, 有的甚至将除雾器底部冲洗水管和支撑梁压断。除雾器掉落若发现不及时, 还可能堵住循环浆液泵入口滤网, 造成循环泵振动过大。除雾器结垢给脱硫系统的安全运行带来隐患。因此研究解决除雾器结垢问题可提高脱硫系统运行稳定性。

1 除雾器结垢原因分析

除雾器结垢根据垢沉淀质地及其清理程度可分为软垢和硬垢。

1.1 软垢

软垢呈叶状, 柔软, 相对来说较易处理。究其成分, 为 CCS 垢和碳酸钙垢。CCS 垢即 CaSO₃ · 1/2H₂O 和 CaSO₄ · 2H₂O 2 种物质的混合结晶物。

CaSO₃ · 1/2H₂O 在水中溶解度小, 脱硫系统在较高 pH 下运行时, 浆液中的硫多以 SO₃²⁻ 形式存在, 易使亚硫酸钙达到饱和并超过临界饱和值, 当烟气夹带浆液通过除雾器时, 在其表面结晶沉积, 形成软垢。此外, 碳酸钙是一种难溶物质, 但碳酸钙垢易清理, 属于软垢。由石灰石-石膏法脱硫中未参与反应的碳酸钙或石灰-石膏法脱硫中 Ca(OH)₂ 在较高 pH 下与烟气中 CO₂ 反应生成的碳酸钙在除雾器表面沉积生成。美国 EPA 和 TVA 中试结果表明, 当浆液 pH 大于 6.2 时, 易发生软垢堵塞^[1]。

1.2 硬垢

硬垢为坚硬的结晶垢, 无法通过降低 pH 或高压冲洗的方法清除, 必须使用机械方法。究其成分, 为石膏垢和灰垢。当吸收塔浆液石膏过饱和度大于 1.4 时, 溶液中石膏会析出结晶, 沉积形成硬垢。亚硫酸钙软垢在除雾器表面若不及时清理会逐渐氧化, 在较高温度烟气作用下, 干湿交界面处易形成硬垢。烟气中携带的飞灰、浆液中含有硅、铝、铁等物质, 在除雾器表面沉积形成的硅酸盐垢极其坚硬, 且

飞灰中金属氧化物黏性较强,所形成的垢难以清理。

2 除雾器减缓垢方法

2.1 控制脱硫运行参数

脱硫运行条件不仅影响脱硫效率,还会影响脱硫系统稳定性。不良的运行条件会造成系统内结垢。为防止结垢,宜控制主要参数:浆液 pH 不高于 6,氧化风量充足,浆液密度宜运行在 $1\ 080 \sim 1\ 180\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。

苏大雄等^[2]对石灰湿法脱硫过程中 pH 变化对结垢的影响做了研究,通过饱和指数法判断结垢趋势。研究表明,pH 7~8 时,结垢严重;pH 4~6 时,不易结垢。强制氧化可促使 CaSO_3 溶液向 CaSO_4 溶液转化,消除 CaSO_3 的过饱和度,有效降低其结垢风险,而 CaSO_4 的过饱和度可通过控制停留时间和浆液固体含量得到有效控制。在一定浆液停留时间条件下,适当增加浆液中固体石膏含量可增大 CaSO_4 结晶表面,提高结晶速率,从而将石膏过饱和度降低在不易发生结垢的程度^[3]。监控浆液密度,合理运行石膏脱水系统,将浆液密度控制在合理范围内,可保障浆液良性运行。

2.2 除雾器冲洗控制

为防止除雾器结垢,需在除雾器上下布置冲洗喷嘴对除雾器进行冲洗。适当的冲洗水压力、水量、冲洗频次、覆盖率及冲洗水品质对减缓结垢有很大作用。冲洗水压力宜 $0.15 \sim 0.30\ \text{MPa}$,下层除雾器冲洗水量及频次宜较大,冲洗水覆盖率 300%,冲洗水不溶物含量及硬度应控制在低值。

冲洗水压力、水量过小则不足以将软垢冲洗完全,若冲洗水压力、水量过大则会造成二次夹带。陈益飞^[4]对除雾器结垢冲洗进行了深入研究,认为冲洗水压力为 $140 \sim 280\ \text{kPa}$ 较为合适。冲洗水量方面,垂直流除雾器第一级下冲洗水流量为 $1.00\ \text{L}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$,第一级下及二级上的冲洗水流量为 $0.34\ \text{L}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$,水平流除雾器第一级下冲洗水流量为 $1.00\ \text{L}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$,第一级下及二级上的冲洗水流量为 $0.70\ \text{L}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 。冲洗频率方面,第一级下多为 30 min 冲洗 1 次,每次持续 45~60 s,一级上 30~60 min 冲洗 1 次,持续时间 45~60 s,二级下每小时冲洗 1 次,每次持续冲洗时间为 45~60 s。冲洗水覆盖率 300%,保障除雾器叶片表面湿润,如果冲洗覆盖率不足,会使除雾器板片出现干区,导致结垢和堵塞。此外冲洗水不溶固体物含量及硬度需控制在较低值。若不溶物含量高会在除雾器上形成新的晶核, Ca^{2+} 硬度高促使亚硫酸钙、硫

酸钙过饱和度增加,引起结垢。

2.3 使用添加剂

向以石灰/石灰石为脱硫剂的浆液中加入阻垢添加剂,可有效防止结垢,从而提高系统运行可靠性和稳定性。

肖辰畅等^[5]研究表明,腐植酸钠可促进石灰石溶解的共轭酸碱体系,阻止石灰石沉淀结垢,同时腐植酸钠与溶液中金属离子发生吸附、络合、离子交换作用,起到阻止硬垢的作用。杨震等^[6]复配的除垢剂:EDTA-4 Na 为 18.00%,LAS 为 0.75%,EDTMPs 为 5.00%, NaH_2PO_4 为 0.75%,对 CaSO_4 垢的阻垢率可达 80% 以上,同时亦可降低 CaCO_3 垢生成。目前脱硫系统阻垢剂品种较多,但专门在运行过程中消除除雾器结垢的添加剂有待开发。

2.4 降低杂质含量

飞灰、石灰石中杂质均会对除雾器结垢带来影响,并使结垢硬化,难以清理。因此,需通过控制除尘效率使进入脱硫塔的灰尘含量低于设计值,保障石灰石纯度不低于设计值,达到减缓结垢的目的。

正常情况进入吸收塔前飞灰含量已被除尘器降至 $30\ \text{mg}/\text{m}^3$ 以下,吸收塔浆液可以洗涤 50% 左右的飞灰,到达除雾器处的烟气飞灰含量一般较低,正常冲洗可以保证除雾器洁净。但实际中很多电厂煤种与设计值偏差较大,灰分高出设计值,或者除尘器运行达不到设计要求,致使脱硫系统进口烟气飞灰含量远高于设计值,大量飞灰在除雾器表面沉积,由于飞灰中的金属氧化物黏性较强,而且飞灰颗粒细小,一旦结垢很难去除^[7]。苏伟^[8]研究表明,飞灰可导致硫酸钙晶体发生晶格畸变。经 EDS 分析表明,飞灰与硫酸钙晶粒结合过程中,含有 Fe 元素的物质起到了比较大的作用。飞灰中活性物质及其反应生成物存在于飞灰颗粒、硫酸钙晶粒间,增强了结合程度,使垢淀致密性增加。石灰石中的杂质对脱硫系统的性能将产生重要的影响,常见的杂质包括 MgCO_3 、 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 。其中 MgCO_3 中的镁离子在结晶过程中会显著地降低副产物的结晶性能。与 MgCO_3 类似, Al_2O_3 和 Fe_2O_3 可能导致高含量可溶性盐在塔内浆液中的浓度富集,会影响石灰石的溶解速率。如果石灰石中杂质含量过多,而脱硫塔在运行过程中冲洗水量不够,也会引起脱硫系统结垢。

2.5 提高烟气分布均匀性

烟气流速及分布均匀性在很大程度上影响除雾器效率,同时对除雾器结垢产生影响。进行流场模

拟并通过前端导流、整流等作用确保烟气分布均匀性,对防止除雾器结垢有重要意义。通过除雾器的烟气流速宜控制在 4 ~ 7 m/s。采用可调节型除雾器适应负荷及烟气量变化,保障除雾器通流气速,可减除雾器结垢及二次夹带现象。

通过除雾器的烟气流速在特定范围内有较高除雾效率,若烟气分布不均匀,使得部分除雾器叶片间烟气流速过高,会撕裂板片上形成的液膜,造成二次夹带,且板片变干,板片上附着的稀浆液会因失水使过饱和度大于 1.4 的临界结晶值,引起结垢。另一部分除雾器叶片间烟气流速过低,气流弯曲流动时产生的离心力不足以使细小的液滴从烟气中分离出来,除雾效果差,易造成浆液在除雾器表面沉积,引起结垢,且携带走的浆液会引起下游设备结垢^[9]。此外,除雾器叶片结构形式及表面光滑性影响到局部流场均匀性,且表面不平整处会成为局部结垢诱发点。

3 结论

除雾器结垢给脱硫系统稳定运行带来隐患,可采用如下方法减除雾器结垢现象发生。

(1) 控制脱硫运行参数,将浆液 pH 控制在 6 以下,保证足够的氧化风量及石膏晶种,防止亚硫酸钙、硫酸钙过饱和度超过临界值,宜控制浆液密度为 1 080 ~ 1 180 kg/m³。

(2) 冲洗水压力宜 0.15 ~ 0.30 MPa,下层除雾器冲洗水量及频次宜较大,冲洗水覆盖率 300%,冲

洗水不溶物含量及硬度应控制在低值,及时除去除雾器表面软垢,防止软垢恶化成难清理的硬垢。

(3) 适当向浆液中添加阻垢剂,降低石膏垢、石灰石垢生成可能性。

(4) 严格控制除尘效率和石灰石品质不低于设计值,降低杂质含量,减少飞灰杂质垢的生成。

(5) 优化烟气流场,使流场均匀,保障除雾器通流气速在 4 ~ 7 m/s,提高除雾器效率,阻止除雾器局部结垢。

参考文献

[1] 刘娟. 湿法脱硫喷淋塔流场模拟与结垢研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.

[2] 苏大雄, 钱枫. 石灰湿法脱硫过程中 pH 条件对结垢的影响研究[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(3): 198 - 200.

[3] 刘绍银. 湿法脱硫系统结垢的化学机理及运行控制分析[J]. 热力发电, 2011, 40(1): 70 - 75.

[4] 陈益飞. FGD 系统除雾器结垢冲洗及影响因素分析[J]. 江苏电机工程, 2010, 29(4): 77 - 79.

[5] 肖辰畅, 李彩亭, 李珊红, 等. 腐殖酸钠在湿法石灰石烟气脱硫系统中阻垢性能的研究[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(11): 814 - 817.

[6] 杨震, 魏冬雪. 某电厂湿法烟气脱硫系统的除垢阻垢研究[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(6): 1705 - 1809.

[7] 禾志强, 祁利明, 马青树. 石灰石-石膏法脱硫系统除雾器堵塞研究[J]. 锅炉技术, 2010, 41(1): 77 - 80.

[8] 苏伟. 基于湿法脱硫工艺的硫酸钙结垢特性实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.

[9] 纪小春. 折流板式除雾器的结垢与控制措施[J]. 黑龙江电力, 2012, 34(2): 131 - 134. ■

凤凰网携手赢创工业集团环保白皮书发布会在京举办

2016 年 12 月 15 日,“与地球相处,我们有更好的办法”凤凰网携手赢创工业集团环保白皮书发布会在北京成功举办。本次发布会主要由“白皮书调查结果分享”和“环境与人类的可持续发展沙龙”两个环节组成。

该环保白皮书是凤凰网和赢创工业集团在 2016 年 9 月基于 201447 份问卷反馈撰写而成的研究报告,旨在更清楚地了解民众对环境问题的看法,为平衡经济发展与环保之间的关系提出切实可行的意见。据环保白皮书调研结果显示,中国当下正面临着较为严峻的环境形势。改革开放以来,中国虽取得了卓越的经济成就,却付出了高昂的环境代价,如空气污染问题、水污染问题、土壤污染问题等正严重影响着人们的日常生活。但值得庆幸的是,调研结果显示,已有越来越多的民众开始意识到环境保护的重要性,生

态环保可持续观念开始逐渐渗透到人们的观念中。更多企业也敏锐地捕捉到这一信号,开始加大对环境友好型、绿色低碳型产品的研究投入。环保白皮书预测,在未来,科学技术层面的突破将成为打开环保大门的“金钥匙”。科技创新将会向我们证明,工业发展与环境保护并非对立矛盾,“金山银山”和“绿水青山”终可兼得。

本次发布会,凤凰国际智库携手赢创工业集团共同探讨科技环保的发展趋势,为寻求人类与地球相处更好的方法集思广益。赢创工业集团作为一家来自德国的特种化工企业,专注营养健康、资源效率、功能材料等全球发展大趋势,重视可持续发展和企业责任,希望用科技创新推进环保转型,为环保白皮书的落地注入了前沿的科技力量和新鲜的时代内容。(本刊记者郑雨)