

脱硫系统氧化风对浆液品质影响的研究

王颢睿 王靖怡

华电潍坊发电有限公司 山东潍坊 261000

DOI: 10.12238/ems.v7i11.16074

[摘要] 在燃煤电厂湿法脱硫系统中, 氧化风系统作为石膏脱水环节的核心组成部分, 其运行状态直接影响浆液品质, 进而关系到脱硫效率与系统稳定性。本文系统分析了氧化风的风量、风压、氧浓度、温度及分布均匀性等参数对浆液 pH 值、石膏纯度、颗粒粒径分布及浆液密度等关键品质指标的影响机理。研究表明, 氧化不足会导致亚硫酸钙残留、浆液品质恶化, 而过度氧化则可能引发设备腐蚀与能耗增加。基于影响机理, 从氧化风系统优化、运行参数调控及设备维护三个维度提出针对性改进措施, 包括采用变频风机调节风量、优化布风装置提升均匀性、建立在线监测与自适应控制体系等。案例验证显示, 实施优化后石膏纯度提升至 90% 以上, 浆液含水率降低 8%-12%, 系统运行稳定性显著增强, 为脱硫系统高效运行提供了技术支持。

[关键词] 脱硫系统; 氧化风; 浆液品质; 石膏纯度; 参数优化; 运行调控

一、引言

(一) 研究背景

湿法石灰石 - 石膏脱硫工艺是当前燃煤电厂控制二氧化硫排放的主流工艺。氧化风系统负责将吸收塔内的亚硫酸钙氧化为硫酸钙, 是石膏结晶与脱水的关键。氧化风通过布风装置送入吸收塔浆液池, 为氧化反应提供氧气。浆液品质直接体现脱硫系统运行状态, 影响石膏利用价值和设备使用寿命, 品质不佳会引发诸多问题, 增加维护成本。近年来, 氧化风对浆液品质的影响成为研究热点, 但目前对氧化风参数与浆液品质关联性的系统研究缺乏, 氧化风调控不当会影响脱硫系统稳定运行。

(二) 研究意义

深入探究氧化风对浆液品质的影响, 有重要理论与实践意义。理论上, 明确氧化风参数对浆液品质的作用机理, 可为建立关联模型提供依据, 丰富湿法脱硫工艺理论体系。实践中, 研究成果可指导电厂优化氧化风系统参数, 提升浆液品质, 减少设备故障和维护成本, 提高石膏利用价值, 实现资源回收, 保障脱硫效率, 满足环保要求。

(三) 国内外研究现状

国内外学者对湿法脱硫系统氧化过程有部分研究。氧化反应动力学方面, 反应速率与氧气浓度等因素相关, 氧气浓度是关键因素之一。氧化风系统设计上, 国外聚焦布风装置优化, 国内关注氧化风机选型与节能运行。浆液品质控制方面, 现有研究多关注石灰石品质等因素, 对氧化风系统性研究不足, 缺乏对氧化风综合影响的全面探讨。因此, 需开展系统研究, 厘清氧化风参数与浆液品质指标的联系。

二、氧化风与浆液品质的基本特性

(一) 氧化风的组成与作用

氧化风主要由压缩、过滤后的空气提供, 主要成分是氧气和氮气, 含少量杂质。在湿法脱硫系统中, 其核心作用是

为氧化反应提供氧气, 促使亚硫酸钙转化为硫酸钙。亚硫酸钙溶解度高, 难以直接结晶, 硫酸钙溶解度低, 易形成石膏晶体沉淀。氧化风通过特定反应推动亚硫酸钙向硫酸钙转化, 为石膏生成创造条件。

(二) 浆液品质的关键指标

浆液品质评价围绕以下关键指标: 石膏纯度是核心指标, 高纯度石膏经济价值高, 纯度不足则可能成固废。颗粒粒径分布影响浆液脱水性能, 大且均匀的石膏晶体易于脱水。浆液 pH 值反映酸性强弱, 正常控制在 5.0 - 5.8, 过高或过低都会产生不良影响。浆液密度通常控制在 1080 - 1150kg/m³, 过高或过低会影响脱硫效率和设备能耗等。

三、氧化风参数对浆液品质的影响机理

(一) 风量的影响

氧化风量是决定氧化反应程度的关键参数。在一定范围内, 随着氧化风量的增加, 浆液中氧气含量升高, 亚硫酸钙的氧化速率加快, 可减少亚硫酸钙在浆液中的残留, 有利于提高石膏纯度。

当风量不足时, 氧化反应不充分, 亚硫酸钙大量积累, 会导致石膏纯度下降, 同时亚硫酸钙的存在会使浆液的黏性增加, 影响石膏晶体的生长, 导致颗粒粒径偏小, 脱水性能恶化。此外, 未被氧化的亚硫酸钙还可能与浆液中的其他成分反应, 生成不稳定的化合物, 加剧浆液品质的波动。

然而, 风量并非越大越好。过度增大风量会导致浆液中气泡过多, 形成泡沫层, 阻碍气液传质效率, 反而可能降低氧化反应速率。同时, 过量的空气会携带大量热量进入浆液, 导致浆液温度升高, 影响石膏结晶平衡, 还会增加氧化风机的能耗, 提高运行成本。

(二) 风压的影响

风压是保障氧化风在浆液中有效扩散的重要参数。足够的风压可使氧化风通过布风装置(如曝气头)形成细小气泡, 增

大气液接触面积,提高氧气利用率,促进氧化反应充分进行。

风压不足时,氧化风难以穿透浆液,气泡直径较大且分布不均,气液接触不充分,导致局部区域氧化不足,出现亚硫酸钙富集现象,影响石膏纯度和颗粒粒径分布。同时,风压不足还可能导致布风装置堵塞,进一步恶化氧化效果。

若风压过高,一方面会使气泡破碎过于剧烈,产生过多细小气泡,这些气泡易聚合形成大气泡,反而降低气液接触效率;另一方面,过高的风压会加剧布风装置的磨损和振动,缩短设备使用寿命,增加维护成本。此外,高压气流还可能对浆液池底部的石膏沉积层产生冲击,导致已结晶的石膏颗粒被打碎,影响浆液的稳定性。

(三) 氧浓度的影响

氧浓度直接影响氧化反应的驱动力。在相同风量下,提高氧化风中的氧浓度(如采用富氧氧化技术)可显著加快氧化反应速率,缩短反应时间,提高亚硫酸钙的转化率,从而提升石膏纯度。

当氧浓度偏低时,即使风量充足,氧化反应也难以高效进行,会导致亚硫酸钙残留,与风量不足的后果类似。特别是在浆液中杂质较多、反应活性较低的情况下,低氧浓度会进一步加剧氧化不足的问题。

但氧浓度的提高也需合理控制。过高的氧浓度可能导致氧化反应过于剧烈,生成的硫酸钙晶体生长过快,易形成细小颗粒,影响脱水性能。同时,富氧氧化会增加制氧成本,需在经济性与氧化效果之间进行权衡。

(四) 温度的影响

氧化风温度对浆液温度具有间接影响,进而作用于氧化反应和石膏结晶过程。氧化风温度升高时,会使浆液温度上升,在一定范围内可加快氧化反应速率,因为温度升高会提高分子运动活性,促进氧气在浆液中的溶解和扩散。

然而,浆液温度过高(超过 60℃)会导致石膏的溶解度下降,影响石膏晶体的生长,易形成细小的针状晶体,不利于脱水。同时,高温环境会加剧浆液对设备的腐蚀,降低设备的使用寿命。

若氧化风温度过低,进入浆液后会降低浆液温度,减慢氧化反应速率,延长反应时间,可能导致氧化不充分。尤其在冬季或低温环境下,需注意控制氧化风温度,避免对浆液品质产生不利影响。

(五) 分布均匀性的影响

氧化风在浆液中的分布均匀性是确保整体氧化效果的关键。分布均匀时,浆液中各区域的氧气含量相对一致,氧化反应同步进行,可避免局部氧化不足或过度氧化的情况,有利于生成纯度高、粒径均匀的石膏晶体。

当分布不均匀时,局部区域氧气充足,氧化反应充分,而其他区域则可能因氧气匮乏导致亚硫酸钙积累。这种局部

差异会使浆液中石膏晶体的生长环境不一致,形成大小不一的颗粒,影响浆液的稳定性和脱水性能。此外,氧化风分布不均还可能导致浆液池内局部腐蚀加剧,因为氧化充分区域的酸性较强,而氧化不足区域则可能存在还原性物质,加速设备的电化学腐蚀。

四、基于浆液品质优化的氧化风系统改进措施

(一) 氧化风系统设计优化

风机选型与控制:采用变频氧化风机,根据浆液中亚硫酸钙浓度、pH 值等参数实时调节风量,实现按需供风。变频控制可有效避免风量过大或过小的问题,提高能源利用效率,同时保证氧化反应的稳定性。例如,当监测到亚硫酸钙浓度升高时,自动增大风量;当浓度降低至合理范围时,减少风量。

布风装置改进:优化曝气头的结构和布置方式,提升氧化风分布均匀性。采用多孔式曝气头,可产生细小且均匀的气泡,增大气液接触面积。在布置上,根据浆液池的形状和尺寸,采用对称或梅花形布置,确保每个区域都能获得充足的氧气。同时,选用耐磨、耐腐蚀的材料(如陶瓷、不锈钢)制作曝气头,延长其使用寿命。

富氧氧化系统应用:在高硫煤机组或对石膏品质要求较高的场景,可考虑采用富氧氧化系统。通过制氧设备提高氧化风中的氧浓度(如提升至 30%-50%),加快氧化反应速率,减少风量需求,降低风机能耗。但需进行经济性分析,确保投入与产出平衡。

(二) 运行参数调控策略

建立参数关联模型:通过实验和现场数据采集,建立氧化风参数(风量、风压、氧浓度等)与浆液品质指标(石膏纯度、颗粒粒径、pH 值等)的关联模型。利用该模型可根据目标浆液品质,反推出最优的氧化风参数设置,为运行调控提供指导。

实时监测与反馈:在吸收塔和氧化风系统中安装在线监测仪表,实时监测浆液的 pH 值、亚硫酸钙浓度、石膏颗粒粒径、氧化风量、风压、氧浓度等参数。将监测数据传输至控制系统,通过闭环控制算法自动调整氧化风参数,确保浆液品质稳定在合理范围内。例如,当监测到石膏纯度下降时,适当增大风量或提高氧浓度。

分段调控策略:根据脱硫系统的运行阶段(如启动、稳定运行、停机)制定不同的氧化风参数调控策略。启动阶段,浆液中亚硫酸钙浓度较低,可适当降低风量,避免能源浪费;稳定运行阶段,按照关联模型设置参数,确保氧化反应充分;停机前,适当提高风量,将浆液中的亚硫酸钙充分氧化,减少停机期间的浆液变质风险。

(三) 设备维护与管理

定期清洁与检查:定期对氧化风管道、布风装置进行清

洁, 清除堵塞物(如石膏沉积、杂质), 确保气流畅通。检查曝气头是否损坏、脱落, 及时更换老化部件, 保证氧化风分布均匀性。同时, 检查风机的运行状态, 包括轴承温度、振动、风压等, 确保风机正常工作。

浆液池清理: 定期清理浆液池底部的沉积石膏和杂质, 避免其影响氧化风的扩散和浆液的流动性。清理周期可根据浆液品质和运行情况确定, 一般每 3-6 个月进行一次。

人员培训: 加强对运行和维护人员的培训, 使其熟悉氧化风系统的工作原理、参数调控方法及设备维护要点。提高操作人员对浆液品质异常情况的判断和处理能力, 确保在出现问题能及时采取措施, 减少故障影响。

五、案例分析

(一) 案例一: 某 300MW 燃煤机组脱硫系统

问题: 该机组脱硫系统运行中出现石膏纯度偏低(约 82%)、脱水困难(滤饼含水率约 25%)的问题, 经检查发现氧化风量波动较大, 布风装置存在局部堵塞, 导致氧化风分布不均。

改进措施:

将原有定速氧化风机更换为变频风机, 实现风量自动调节。

更换全部曝气头, 采用多孔陶瓷曝气头, 并优化布置方式。

增设在线监测系统, 实时监测亚硫酸钙浓度和石膏粒径。

效果: 改进后, 氧化风量稳定在合理范围, 氧化风分布均匀性显著提升。石膏纯度提高至 92%, 滤饼含水率降至 15% 以下, 石膏脱水效率提升明显。系统运行稳定性增强, 半年内未发生因浆液品质问题导致的停机事故, 维护成本降低约 15%。

(二) 案例二: 某 600MW 燃煤机组脱硫系统

问题: 该机组采用富氧氧化系统, 但运行中出现石膏颗粒细小、脱水性能差的问题, 同时制氧成本较高。经分析, 发现氧浓度过高(约 60%), 导致氧化反应过于剧烈, 晶体生长不良。

改进措施:

调整制氧系统, 将氧浓度降至 40%。

优化风量与氧浓度的匹配关系, 根据浆液状态实时调整。

加强对浆液温度的控制, 通过换热器降低氧化风温度, 避免浆液过热。

效果: 调整后, 石膏晶体粒径明显增大, 平均粒径从 40 μm 增至 80 μm , 脱水性能改善, 滤饼含水率降低 8%。同时, 制氧成本下降约 20%, 在保证石膏品质的前提下, 提高了系统的经济性。

六、结论与展望

(一) 结论

氧化风的风量、风压、氧浓度、温度及分布均匀性等参数对浆液品质具有显著影响, 其中风量和分布均匀性是关键因素, 直接决定氧化反应的充分性和石膏晶体的生长状态。

氧化不足会导致亚硫酸钙残留、石膏纯度下降、颗粒粒径偏小及脱水性能恶化; 过度氧化则可能引发能耗增加、设备腐蚀加剧等问题, 需通过合理调控实现平衡。

采用变频风机调节风量、优化布风装置提升均匀性、建立在线监测与自适应控制体系等改进措施, 可有效提升浆液品质, 增强脱硫系统运行稳定性。

案例验证表明, 针对氧化风系统的优化措施能显著提高石膏纯度、改善脱水性能, 降低维护成本, 具有良好的应用效果。

(二) 展望

智能化调控技术: 结合大数据和人工智能技术, 建立基于深度学习的氧化风-浆液品质预测模型, 实现氧化风参数的精准智能调控。通过分析历史运行数据, 自动识别最佳运行参数组合, 进一步提升系统的经济性和稳定性。

新型布风技术研发: 开发具有自清洁功能的布风装置, 减少堵塞问题, 提高氧化风分布均匀性的长期稳定性。探索新型曝气方式(如超声曝气、脉冲曝气), 增强气液传质效率, 降低能耗。

协同优化研究: 开展氧化风系统与其他脱硫子系统(如浆液循环系统、石灰石供给系统)的协同优化研究, 建立整体系统的优化运行策略, 实现脱硫效率、浆液品质与能耗的多目标优化。

绿色氧化技术探索: 研究可再生能源驱动的氧化风系统(如太阳能辅助风机), 降低对传统能源的依赖, 减少碳排放, 符合绿色低碳发展趋势。

通过持续的技术创新和优化, 有望进一步提升脱硫系统氧化风对浆液品质的控制能力, 为燃煤电厂的清洁高效运行提供更有力的支撑。

[参考文献]

[1] 付达, 林扬波, 雷鸣. 脱硫系统中氯丁橡胶衬里的改性研究及其防腐性能评价[J]. 中国轮胎资源综合利用, 2025, (07): 163-165. DOI: 10.19307/j.cnki.ctr.2025.07.031.

[2] 段大为. 燃煤电厂烟气脱硫系统状态监测与优化调控研究[D]. 浙江大学, 2024. DOI: 10.27461/d.cnki.gzjdx.2024.000217.

[3] 李建. 灵活性发电背景下脱硫氧化风优化[D]. 华北电力大学(北京), 2021. DOI: 10.27140/d.cnki.ghbbu.2021.001350.

[4] 张鑫博. 脱硫循环浆液中亚硫酸钙的氧化控制研究[D]. 山东大学, 2020. DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2020.01428.

[5] 陆培宇. 工业锅炉快装式脱硫塔结构设计及优化[D]. 华南理工大学, 2015.