

湿法脱硫系统运行优化与能耗控制研究

王勇

贵州西电电力股份有限公司黔北发电厂，贵州 毕节 551800

DOI:10.61369/EPTSM.2025100005

摘 要： 随着环保要求的日益严峻，在工业生产过程中，加强对工业二氧化硫等气体环境污染的管控时，将湿法脱硫技术应用在电力、钢铁、化工等行业，不仅能降低企业运营成本，还能有效提高环境质量。但在应用湿法脱硫技术时，通常存在脱硫效率不稳定、能耗较高等问题，基于此，本文就湿法脱硫系统运行优化展开探究分析。同时，深入结合湿法脱硫系统运行问题，提出相应的运行优化和能耗控制策略，如吸收塔参数优化、浆液循环优化、设备选型优化、智能控制引入等方式。以此降低系统能耗，从而为湿法脱硫系统的经济高效运行提供可靠的技术支撑和理论依据，促使湿法脱硫技术向着更加高效、节能、环保的方向发展，为实现我国工业的绿色可持续发展贡献出应有的力量。

关 键 词： 湿法脱硫；系统运行；能耗优化

Research on Operation Optimization and Energy Consumption Control of Wet Desulfurization System

Wang Yong

Guizhou Xidian Electric Power Co., LTD. Qianbei Power Plant, Bijie, Guizhou 551800

Abstract： With increasingly stringent environmental protection requirements, strengthening the control of industrial sulfur dioxide and other gas emissions in production processes has become crucial. The application of wet flue gas desulfurization (WFGD) technology in power, steel, and chemical industries not only reduces operational costs but also significantly improves environmental quality. However, challenges such as unstable desulfurization efficiency and high energy consumption persist in current implementations. This study investigates operational optimization strategies for WFGD systems, proposing targeted solutions including absorption tower parameter optimization, slurry circulation optimization, equipment selection optimization, and intelligent control integration. These measures aim to reduce energy consumption while providing reliable technical support and theoretical foundations for economically efficient WFGD system operations. The research ultimately drives the development of more efficient, energy-saving, and environmentally friendly WFGD technologies, contributing to China's green and sustainable industrial development.

Keywords： wet desulfurization; system operation; energy consumption optimization

引言

在工业生产中，湿法脱硫系统是十分重要的生产工艺环节，不仅关系到生产安全和质量，还与能耗及运营成本息息相关。而近年来，国家和社会对环保问题的重视力度越来越强，相关政策也对工业生产提出了更高的标准和要求。在这种形势下，深入探究湿法脱硫系统运行优化与能耗控制，成为各行业重点探究的内容之一，为此，本文主要围绕湿法脱硫系统优化与能耗控制进行分析，旨在为相关行业提供必要的参考借鉴。

一、湿法脱硫系统运行存在的问题

（一）脱硫效率不稳定

在湿法脱硫系统的实际运行过程中，系统稳定性、经济性及环保效能面临多重制约因素，其中脱硫效率波动性问题尤为突

出^[1]。烟气组分的动态变化，包括SO₂浓度、粉尘负载及杂质比例的工况依赖性波动，与烟气流量的非稳态特性，导致吸收塔内气液相际传质条件持续扰动，脱硫反应难以维持在最优热力学区间，致使脱硫效率呈现显著波动性，难以稳定满足设计减排标准，进而削弱了系统SO₂去除的可靠性。

作者简介：王勇（1978.11-），男，贵州毕节人，本科，中级工程师，研究方向：火力发电厂运行调整及节能，脱硫脱硝运行。

（二）设备故障频繁

设备故障率升高构成系统运行的核心挑战。湿法脱硫系统涵盖吸收塔、循环泵、氧化风机及除雾器等关键设备，其长期运行环境具有高腐蚀性、高磨损性及高温烟气冲击等特征，易引发部件失效与密封性能退化。如循环泵叶轮因浆液中固体颗粒的持续磨损导致水力效率下降，氧化风机轴承因高温工况与润滑系统失配引发机械故障，进而导致系统非计划停机频次增加。此类故障不仅显著提升维护成本，还破坏系统连续运行能力，造成生产中断与能源浪费。

（三）能耗过高

在工业生产系统中，循环泵与氧化风机等动力设备的持续高负荷运行，叠加系统设计参数失配、设备选型与工况不匹配及运行调控策略欠妥等因素，致使部分设备长期处于低效运行区间，进一步放大能源消耗。由于循环泵作为能耗占比达30%~50%的关键设备，其运行效率受喷淋量、扬程等参数影响显著，过量喷淋或扬程冗余将导致流量超设计值并引发节流浪费。系统设计参数失配不仅导致设备在非最优工况下运行，还引发能量浪费和设备过早老化。这种能效失配现象直接推高系统运行成本，对企业经济效益形成显著制约。因此，亟需构建“三维溯源法”的系统性优化策略，从设备选型、运行参数匹配到智能调控，才能实现从设备运行到管理的全链条能效提升。

二、湿法脱硫系统运行优化策略

（一）吸收塔操作参数优化

在湿法烟气脱硫系统运行优化中，吸收塔操作参数的精确调控对系统整体性能具有决定性作用。其中，液气比作为核心工艺参数，直接影响脱硫效率与系统能耗的平衡关系^[2]。研究发现，液气比过低将导致气液相间传质界面不足，降低SO₂吸收效率，而液气比过高则会显著增加浆液循环系统的能耗，造成不必要的资源消耗。基于CFD仿真与工程实践数据的综合分析表明，适宜的液气比范围应控制在8.5~12.5 L/m³之间，此区间可在保证脱硫效率的同时，使系统能耗维持在最优水平。同时，在石灰石-石膏湿法脱硫工艺中，浆液pH值应维持在5.8~6.2的适宜区间。当pH值超过6.2时，碳酸钙溶解速率降低，导致吸收剂利用率下降，同时加剧设备腐蚀风险。而pH值低于5.8则会使亚硫酸钙氧化不完全，影响脱硫产物的稳定性，所以，需建立基于在线pH监测与自动加药系统的闭环控制机制，结合烟气SO₂浓度变化动态调整石灰石浆液投加量，实现pH值的精准调控。

（二）浆液循环系统优化

在湿法烟气脱硫系统运行优化中，循环泵的运行模式对脱硫效率与系统能耗具有显著影响。鉴于烟气负荷随机组运行工况呈现动态变化，且脱硫效率需满足GB 13223-2011《火电厂大气污染物排放标准》要求，固定运行模式的循环泵系统将导致能源利用效率降低。因此，需构建基于实时烟气负荷监测的动态调控体系，通过高精度烟气流量计与SO₂浓度在线监测系统，结合脱硫效率目标函数，实现循环泵运行数量的智能优化。研究发现，当

机组负荷率低于60%时，^[7]可减少1台循环泵运行而不影响脱硫效率在循环泵运行参数优化方面，应采用变频调速技术实现循环泵转速的精确控制^[3]。而泵转速在1450~1600r/min范围内时，系统运行效率达到最优，过高的转速将导致电能消耗增加15%以上，而过低的转速则会降低浆液循环强度，影响气液传质效率。为此，需建立基于负荷率与脱硫效率的转速优化模型，实现能耗与效率的动态平衡。

（三）氧化系统优化

氧化空气量作为亚硫酸盐氧化反应的核心参数，其调控精度直接决定石膏结晶质量与系统运行效率。当氧化空气量不足，亚硫酸钙氧化不完全，导致石膏中半水亚硫酸钙含量超过12%，显著降低石膏纯度，使其无法满足GB/T 21555-2008《烟气脱硫石膏》标准要求的工业利用条件。而空气量过量则导致系统能耗增加，同时破坏气液相间流场分布，引发浆液返混现象。基于气液两相流CFD模拟与长期运行数据的综合分析，可将氧化空气量控制在0.9~1.1 Nm³/m³的优化区间，此区间可使石膏中CaSO₃·0.5H₂O含量稳定低于8%，同时维持系统能耗在最优水平。在氧化风机运行优化方面，需建立基于负荷工况的动态调控机制，通过引入烟气SO₂浓度在线监测系统与氧化效率预测模型，实现风机运行参数的智能调控。通常情况下，当机组负荷率在65%~85%区间时，将风机转速控制在1400~1550 r/min范围内，能使氧化效率大幅度提升。^[8]同时，采用变频调速技术，配合优化的导叶开度控制策略，避免风机在低效区运行，此外，还需建立氧化风机与浆液循环系统的协同控制模型，通过动态调整氧化空气流量与浆液停留时间，以确保氧化反应在最佳热力学条件下进行。

三、湿法脱硫系统能耗控制策略

（一）设备选型与配置优化

在设备选型与配置优化时，从核心设备层面而言，吸收塔作为脱硫工艺的核心装置，其结构与材质选择直接影响气液相间传质效率。^[9]采用优化流场设计的高效吸收塔结构，可显著提升气液接触界面的均匀性与稳定性，从而在保证脱硫效率的同时，有效降低内部构件对流体动力的额外消耗。循环泵系统作为脱硫液循环的关键动力源，其能效优化需重点关注流体动力学特性^[4]。通过采用具有先进水力模型的高效叶轮结构及优化的流道设计，可大幅降低泵送过程中的水力损失，在维持相同循环流量的条件下，能显著减少电能消耗。此外，氧化风机的能效提升亦需系统考量，通过优化电机驱动系统与风机叶型结构，可提高单位电能的风量输出效率，降低无用功损耗，从而实现系统整体能耗的优化。^[10]

在设备匹配方面，应基于系统处理烟量、SO₂浓度、脱硫效率要求等关键参数，采用科学的计算方法确定设备的合理容量与配置数量。设备容量的不合理配置将导致系统运行效率的显著下降，当设备容量显著超出实际需求时，易产生“大马拉小车”现象，使设备长期处于低负荷运行状态，不仅降低运行效率，还会

增加单位处理量的能耗。反之，若设备容量配置不足，则会导致设备长期超负荷运转，增加机械磨损与故障率，同时造成能源的无效消耗。因此，通过精确的系统分析与匹配计算，确保设备在最佳工况区间运行，可有效避免能源浪费，实现湿法脱硫系统的能效优化与经济性提升。

（二）节能技术应用

在节能技术的系统化集成应用中，余热资源的梯级利用策略具有显著的节能效益，其中烟气余热作为系统中可利用的热能载体，其热能回收具有较高价值。通过配置高效热交换装置，可将脱硫烟气中的显热有效传递至进入吸收塔前的低温脱硫浆液，以实现浆液预热功能^[5]。该过程不仅降低了为维持浆液适宜温度所需的外部热能输入，还能改善脱硫反应的热力学条件，从而提升脱硫效率。此外，在动力设备控制层面，变频调速技术在循环泵、氧化风机等关键设备中的应用已获得充分验证。传统固定转速运行模式下，设备无法根据实际烟气流量、SO₂负荷及脱硫效率要求动态调整运行参数，导致系统在非满负荷工况下仍维持较高能耗。而采用变频调速技术后，系统可依据实时工况参数动态调节设备转速，使设备运行于最优效率区间。这种动态调节机制显著降低了设备在低负荷工况下的电能消耗，尤其在系统负荷波动较大的运行条件下，节能效果更为显著。通过该技术应用，湿法脱硫系统实现了动力设备运行效率的优化与整体能耗的系统性降低。

（三）智能控制系统引入

在湿法脱硫系统能效优化体系中，自动化控制策略的构建依托于多源数据驱动的智能控制平台，通过构建高精度参数采集体系，系统化获取烟气流量、温度场分布、浆液化学特性及pH动态等关键运行指标。基于模型预测控制与自适应算法的动态优化

机制，系统可依据预设的能效目标与运行约束条件，对循环泵转速、氧化风量等关键参数实施实时自适应调节。例如，当烟气负荷发生动态变化时，系统通过负荷预测模型自动优化循环泵与氧化风机的运行频率，能确保设备始终运行于最佳效率区间，从而有效规避设备过载或低效运行工况下的能量浪费。而智能监测与诊断体系则依托于分布式传感网络与工业物联网平台，可实现对系统运行状态的全时域、全维度监测^[6]。该体系通过多模态数据融合分析技术，对设备运行参数的异常波动进行实时识别与精准定位。当检测到浆液浓度异常、pH值偏离或设备振动特征突变等潜在故障征兆时，系统即时触发预警机制，并基于故障树分析与机器学习模型进行故障根源诊断，精确定位故障位置与成因。该机制显著缩短了故障响应时间，减少了非计划停机时长，并有效避免了因故障扩展导致的系统能效损失与额外能耗，为湿法脱硫系统构建了闭环能效优化与运行安全保障机制，实现了系统运行效率与可靠性的协同提升。

四、结束语

在工业生产中应用湿法脱硫系统时，对其进行运行优化和能耗控制通常是一项较为复杂且漫长的工作，并且整个过程中涉及到诸多学科领域和影响因素。但随着技术的不断进步和环保标准的持续提高，湿法脱硫系统的优化应用在未来的发展中，必然会不断向着技术创新、系统优化等方向发展，才能更进一步推动湿法脱硫技术的有效发展，最终能更好地符合我国可持续发展的理念要求。

参考文献

[1] 胡荣华. 电厂湿法脱硫系统能耗特性与节能优化探讨 [J]. 科学技术创新, 2021, (33): 37-39.
[2] 张健伟, 王朋飞. 锅炉烟气脱硫技术的节能降耗效果研究 [J]. 科技与创新, 2025, (18): 142-145.
[3] 郑晓波. 燃煤电厂湿法脱硫系统优化与运行效率提升研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2025, 15(07): 176-179.
[4] 唐丽, 颜士杰, 田超, 等. 基于设备视角的燃煤电厂湿法脱硫节能降耗实践研究 [J]. 节能, 2025, 44(02): 41-44.
[5] 吉付现. 湿法脱硫在火力发电厂中的应用与优化 [J]. 新疆钢铁, 2024, (04): 92-94.
[6] 晏儒先, 胡蓉蓉, 肖承明, 等. 火电厂湿法脱硫系统浆液循环泵组合运行优化方法研究 [J]. 热能动力工程, 2024, 39(07): 140-147+156.
[7] 马丽娜, 王卓, 童晓锋, 等. 燃煤电厂湿法脱硫系统氯离子气-液-固三相迁移研究 [J]. 电力与能源, 2025, 46(04): 439-441+462.
[8] 郑晓波. 燃煤电厂湿法脱硫系统优化与运行效率提升研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2025, 15(07): 176-179.DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2025.07.060.
[9] 徐璐璐. 火电厂脱硫系统化验指标及数据分析 [J]. 化学工程与装备, 2025, (05): 59-62.DOI: 10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2025.05.017.
[10] 张宁智. 高效脱硫脱硝设备在能源降本中的关键技术应用 [J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(03): 82-84.DOI: 10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2025.03.082.03.