

# 火电厂脱硫工艺能效提升与成本优化路径研究

王华阳

国家电投集团贵州金元股份有限公司纳雍发电总厂，贵州 毕节 553300

DOI:10.61369/WCEST.2025120015

**摘 要：** 火电厂作为能源供给核心结构主体，在环保政策朝向严格方向发展的环境状况下，脱硫系统的稳固高效操作运转成为融合环保达到标准与经济收益效果的紧要关键。目前多数火电厂脱硫工艺存在能源效率数值偏低、运行成本金额偏高的共同普遍问题，对企业绿色转变转型与可持续性发展形成制约限制。本文将主流脱硫工艺作为研究对象目标，结合火电厂实际真实生产工作状况，深入深刻分析脱硫系统能源效率损耗与成本构成结构的核心关键症结，从工艺优化改进、设备升级更新、运行管控管理三个维度角度，探寻探索兼具实际操作可行性与经济收益性的能源效率提升及成本优化路径道路，为火电厂达成实现脱硫系统高效效能、低成本运行提供参考借鉴。

**关 键 词：** 火电厂；脱硫工艺；能效提升；成本优化；运行管控

## Research on Energy Efficiency Improvement and Cost Optimization Path of Desulfurization Process in Thermal Power Plant

Wang Huayang

Nayong Power Plant, Guizhou Jinyuan Co., Ltd., State Power Investment Corporation, Bijie, Guizhou 553300

**Abstract：** As the core component of energy supply infrastructure, thermal power plants face growing environmental challenges with increasingly stringent policies. The stable and efficient operation of desulfurization systems has become crucial for balancing environmental compliance with economic benefits. However, most existing desulfurization processes suffer from low energy efficiency and high operational costs, hindering corporate green transformation and sustainable development. This study focuses on mainstream desulfurization technologies, analyzing the root causes of energy loss and cost structures through real-world operational data. By examining process optimization, equipment upgrades, and operational management, we propose practical and cost-effective solutions to enhance system efficiency. These findings provide actionable insights for thermal power plants to achieve high-performance desulfurization systems with cost-effective operations.

**Keywords：** thermal power plant; desulfurization process; energy efficiency improvement; cost optimization; operation control

## 引言

随着“双碳”目标推进发展与环保法规的不断持续收紧，火电厂污染物排放控制标准则持续不断提高，脱硫系统已然成为火电厂不可缺少缺失的环保设施装置。当前我国火电厂主流脱硫工艺以石灰石-石膏湿法为主要，同时干法、半干法脱硫工艺在中小规模机组及特殊特定工况中广泛普遍应用。然而在实际真实运行操作过程当中，多数火电厂脱硫系统存在设计规划与工况条件不相匹配、设备装置老化、运行参数数据不合理等问题事项，致使导致脱硫能源效率偏低，同时药剂消耗使用、能源消耗、运维维护等成本费用居高不下，既增添增加了企业经营负担压力，也对环保设施的运行操作稳定性产生影响作用。基于此，深入深刻剖析脱硫工艺运行操作中的核心关键痛点，探寻探索科学合理可行的能源效率提升与成本优化路径道路，达成实现环保达到标准与经济收益效益的协同共同发展，对火电厂高质量品质发展具备拥有关键现实实际意义<sup>[1]</sup>。

# 一、火电厂主流脱硫工艺运行现状及核心问题

## （一）主流脱硫工艺运行操作特点特征

石灰石-石膏湿法脱硫工艺因为脱硫效率效能高、适应能力强，占据我国火电厂脱硫市场的主导引领地位，其核心关键原理是借助通过石灰石浆液吸收烟气中的二氧化硫，生成产生亚硫酸钙之后氧化成为石膏，实现完成污染物去除与资源回收利用。该工艺适合应用于大容量规模机组与高硫煤工况条件，但存在设备装置体积庞大、耗水量数目大、能源消耗偏高的问题弊端。干法脱硫工艺以循环流化床干法脱硫作为代表，通过喷入投入石灰粉与烟气充分足够反应实现完成脱硫，具备拥有耗水量数目少、设备装置简单、占地面积空间小的优势长处，适合适宜中小规模机组与缺水地区区域，但脱硫效率效能相对对比偏低，药剂消耗使用量数目大<sup>[2]</sup>。半干法脱硫工艺融合结合了干湿法的优点长处，兼顾考虑脱硫效率效能与节水需求需要，在中等容量规模机组中应用使用广泛普遍，但其运行操作稳定性受工况波动变动影响作用较大。

## （二）运行核心问题剖析

从能效层面审视，首要为工艺与工况存在不匹配情形，部分火电厂脱硫系统于设计环节未充分纳入机组负荷波动、煤质改变等要素加以考量，致使在低负荷工况状况下，脱硫系统运行效率呈现大幅下滑态势，生出如“大马拉小车”这般的能效损耗现象。其次是设备运行效率处于偏低水准，吸收塔、循环泵、氧化风机等核心设备经长期运行之后，出现老化、泄漏、积灰等状况，造成浆液循环效率走低、氧化进程不够充分，不仅使脱硫成效有所降低，更增添了额外的能耗量。最后是运行参数管控存在不合理之处，操作人员针对浆液浓度、pH值、液气比等关键参数的调节欠缺精准特性，大多凭借经验展开操作，致使脱硫系统处于非最优的工况条件下运行，能效损耗问题较为严重<sup>[3]</sup>。

从成本层面分析，成本构成主要涵盖药剂成本、能耗成本、运维成本与固废处置成本，其中药剂与能耗成本所占比例超过60%。药剂成本处于偏高状态，主要是由药剂纯度未达标准、投加量缺乏合理性所致，部分火电厂为求取脱硫效率，过度投加石灰石浆液，造成药剂产生浪费现象，同时使得石膏纯度出现下降情况。能耗成本偏高，则与设备选型存在不当之处、运行负荷缺乏合理性相关联，循环泵、氧化风机等设备长期处于满负荷运行状态，即便在机组低负荷工况条件下，也未及时进行调整，造成电能出现浪费情形。在运维成本方面，由于设备老化、工况产生波动，导致故障发生频率较高，增加了设备维修与更换所需的费用，与此同时，专业运维人员数量不足，也对故障处置效率产生影响，进一步推高了运维成本。

# 二、火电厂脱硫工艺能效提升路径

## （一）优化工艺设计与工况适配程度

针对工艺与工况不匹配这一问题，需要结合火电厂机组负荷所具备的特性、煤质变化所呈现的规律，对脱硫系统设计进行优

化。对于负荷波动幅度较大的机组，可对脱硫系统实施模块化改造举措，增设浆液循环泵变频调节装置，以达成在低负荷工况条件下，循环泵台数与转速能够实现灵活调节的目标，规避无效能耗的产生。同时，对吸收塔内部结构进行优化，更换高效喷淋层与除雾器，提升浆液与烟气的接触面积以及反应效率，减少液气比，在确保脱硫效率的前提下，降低循环泵所消耗的能量。对于煤质硫分波动幅度较大的电厂，可增设煤质在线监测装置，通过联动方式调节石灰石浆液投加量与浆液浓度，实现工艺参数与煤质工况的动态适配效果，提升脱硫系统的抗干扰能力以及能效水平<sup>[4]</sup>。

## （二）推进核心设备升级改造工作

设备老化属于能效损耗的重要成因，需要有针对性地开展核心设备升级事宜。在吸收塔方面，对内壁防腐层实施修复或者更换操作，解决浆液泄漏问题，同时对塔内积灰与结垢进行清理，保障气液接触通道保持畅通状态。循环泵部件实施高效节能型循环泵更替流程，达成老旧高能耗装置的替代目标，同步开展变频控制系统加装工程，依照机组负荷数值与脱硫需求状况对泵体转速指标实施调节操作，促成按需供能模式的构建成果。氧化风机范畴选用高效罗茨风机搭配离心风机的配置形式，开展风机进出口管道设计的优化作业，实现阻力损耗现象的减少成效，同时针对风机本体实施隔音降噪处理联合密封改造工艺，获取设备运行稳定性水平与效率层级的提升效益。除此之外，针对脱硫系统所属附属设备例如浆液搅拌机单元、石膏脱水机模块等执行定期检修程序与升级改造事项，保障全系统设备达成协同高效运行的预期状态。

## （三）实施运行参数精准管控强化工程

运行参数的精准化调节进程作为能效提升工作的核心要点，必须构建科学化的参数管控体系架构。其中一侧面推进自动化监测系统与控制系统的完善工作，对于吸收塔结构体、浆液箱容器、烟道通道等关键位置实施在线监测仪表的增设举措，对浆液pH数值指标、浓度参数、液气比数据、烟气二氧化硫浓度值等参数内容开展实时采集作业，借助PLC控制系统平台完成参数数值的自动调节功能，取代传统经验导向的操作模式，实现调节精准度水平的提升效果。另一方面强化操作人员专业能力的培训工作，增进其对脱硫工艺原理体系、设备运行特性规律以及参数调节逻辑架构的掌握程度，保障在工况波动情形下能够落实快速响应机制与精准处置流程，规避因参数偏差问题引发的能效损耗后果与脱硫效率下降状况。同时搭建参数优化台账体系，结合不同工况条件下的运行数据信息，归纳总结最优参数区间范围，为日常运行作业提供指导依据内容。

# 三、火电厂脱硫工艺成本优化实施路径

## （一）推进药剂管理优化降低药剂成本支出

药剂成本优化工作的核心内容在于实现药剂精准投加模式与质量管控体系的构建和落实。在药剂采购环节流程中，严格执行供应商筛选程序，保障石灰石粉纯度指标、细度参数等符合工艺

技术要求标准，避免出现因药剂质量不达标问题导致的投加量增加现象与脱硫效果不良后果。在投加作业环节，依托在线监测数据信息与煤质硫分情况资料，通过自动控制系统平台实施石灰石浆液投加量的精准调节操作，搭建“按需投加”运行机制，根绝过度投加行为造成的资源浪费问题。同时开展浆液制备工艺的优化工程，控制浆液浓度参数与粒径指标，提升药剂反应活性水平，减少药剂消耗数量规模。另外针对石膏副产品实施提质改造项目，提升石膏纯度等级指标，达成资源回收利用目标，间接实现药剂成本分摊压力的降低成效。

### （二）采用多元举措降低能耗成本规模

能耗成本优化任务需要从设备运行管理、能源回收利用等多个维度展开工作。在设备运行管理层面，依据机组负荷变化情况合理规划脱硫系统运行负荷调整方案，在低负荷工况条件下执行部分冗余设备的停运操作，避免产生无效能耗损耗问题。运用变频调节技术手段，实现循环泵设备、氧化风机装置等的无级调速功能，降低电能消耗总量水平。在能源回收利用领域，针对脱硫系统产生的废水资源、余热能源实施回收利用作业，将石膏脱水废水进行处理后用于浆液制备工序或设备冲洗流程，减少新鲜水取用消耗数量；借助吸收塔出口烟气余热资源实施浆液加热操作，提升反应温度条件，加快脱硫反应速率进程，降低能耗消耗规模。同时强化厂区能源管理工作力度，搭建脱硫系统能耗统计台账体系，定期开展能耗数据的分析研究工作，排查能耗漏洞问题，制定针对性节能措施方案。

### （三）运维管理强化与运维成本把控

运维成本优化要点在于设备可靠性提升和运维效率增进。全生命周期设备管理体系构建，针对脱硫系统设备开展定期巡检、维护及保养，设备潜在故障及时发现并处理，故障扩大引发的维修费用增多和停机损失得以避免。维修策略优化，预防性维修将事后维修替代，依据设备运行周期和损耗规律维修计划制定，非计划停机次数减少。与此同时，运维资源整合，同专业运维机构合作加强，故障处置专业性和效率提升，维修成本降低。另外，备品备件管理加强，常用备件合理储备，备件短缺造成的停机等待避免，备件库存成本控制，资金占用减少。

### （四）技术创新应用与综合成本优化

技术创新为脱硫系统成本延续优化提供核心动力支撑。需积极开展先进脱硫技术及智能化控制系统的探索与引入工作，借助工艺参数的动态模拟和实时优化操作，达成系统运行效率的全面提升进程。譬如，可施行高效脱硫添加剂或复合药剂的试验应用，于保证排放符合标准的前提之下，实现石灰石消耗量的显著降低效果；同时推进智能传感器与大数据分析平台的融合应用事宜，搭建“预测-调控”一体化模型架构，完成药剂投加、设备运行以及能耗控制的协同优化目标。另外，需重视系统运行方式的灵活调整及集成优化事项。在满足环保指标要求的基础之上，依照入炉煤质状况、负荷曲线形态以及电价峰谷时段特征，动态制定最为经济的脱硫运行策略内容。积极探寻副产物的高值化利用路径方向，像石膏深加工产品的开发工作、废水中有价元素的回收作业等，进一步拓展成本分摊的渠道范围。通过技术创新活动与系统集成举措，不但能够降低直接物料和能源的消耗数量，更可提升整个脱硫系统的适应能力与经济性能，达成环境效益和经济效益的统一局面。

## 四、结论

火电厂脱硫工艺能效提升和成本优化属系统性工程，需把工艺特点、设备状况及运行工况结合，从工艺优化、设备升级、运行管控、成本管控等多个维度协同推进。工艺设计优化和工况适配，核心设备升级，运行参数精准管控，脱硫系统能效有效提升，能耗损耗降低；药剂管理优化，能耗成本控制，运维管理强化，脱硫成本合理管控实现，环保达标和经济效益协同发展最终达成。未来，伴随新能源技术和智能化技术不断发展，火电厂脱硫系统朝智能化、高效化、低碳化方向转型。智能化监测和调控技术深度应用可进一步探索，大数据、人工智能等技术结合实现脱硫系统自主优化运行；新型高效脱硫药剂和工艺研发，脱硫效率和资源回收利用率提升，为火电厂绿色低碳转型提供更有有力支撑。火电厂需持续环保设施运行管理强化，自身工况适配的优化路径不断探索，在环保要求满足前提下，运行成本最大限度降低，企业核心竞争力提升。

## 参考文献

- [1] 马彩云, 张芊, 庞可, 祝禄祺, 潘峰, 王鹏波. 兰州市主城区火电厂脱硫工艺对环境空气质量的影响[J]. 环境保护科学, 2021, 47 (04): 91-96.
- [2] 张凯峰. 燃煤火电厂湿法脱硫工艺系统及其检修维护[J]. 节能, 2019, 38 (09): 18-20.
- [3] 朱玉蝶, 杨科玉, 张浩, 王东亭. 乙醇胺乳酸盐离子液体火电厂尾气深度脱硫工艺优化[J]. 石化技术与应用, 2019, 37 (02): 125-129.
- [4] 王政允. 火电厂烟气脱硫工艺现状及展望[J]. 工程建设与设计, 2017, (17): 102-104.