

# 脱硫智能浆液调节阀的研究与应用

李仁洋 孙帅军 张凤忠 杨 乐 韦 光

国家电投辽宁清河发电有限责任公司 辽宁 铁岭 112000

**摘 要：**随着环保要求的日益严格，火电厂脱硫工作对其可持续发展至关重要。当前众多火电厂为保证脱硫出口净烟气SO<sub>2</sub>浓度的环保指标，常采取增加石灰石供浆量和脱硫浆液循环泵运行数量的手段，但这导致能耗及物料损耗较高，且易出现超标情况。本文聚焦脱硫出口SO<sub>2</sub>浓度排放的环保指标，通过智能浆液调节阀的研究与应用，实现对浆液流量的精准调节。该方法可有效降低脱硫系统能耗，减少石灰石等物料损耗，同时显著提高SO<sub>2</sub>浓度控制精度，为火电厂脱硫工作的节能减排与高效运行提供了有力支持。

**关键词：**火电厂；脱硫；SO<sub>2</sub>浓度；智能浆液调节阀；节能降耗

**引言：**由于火电机组参与深调，机组负荷频繁调整，且锅炉入炉煤种多变，经常掺烧高硫煤等多种因素，造成FGD入口烟气流量和SO<sub>2</sub>浓度多变且随机性很强，这给运行人员的调整带来了较大难度，同时导致脱硫系统整体运行成本居高不下。鉴于此类问题普遍存在，而常规改造手段难以有效解决，本文通过脱硫智能浆液调节阀的创新研究与应用应对上述挑战。智能浆液调节阀集成人工智能算法，可以实时根据脱硫系统运行工况，快速精准调整阀门开度，实现精准供浆和降低脱硫系统电耗、物料损耗的最终目标。

## 1 项目背景

### 1.1 项目概况

清河发电公司两台600MW机组，每台机组配备有4台浆液循环泵。由于机组深调、煤种变化多样，尤其是经常掺烧高硫煤，导致PH值滞后，从而增加了运行人员对SO<sub>2</sub>的精准调整难度。因此，迫切需要引入脱硫系统的创新技术，以确保净烟气中SO<sub>2</sub>的排放稳定在一定范围内，促进FGD的稳定运行，并降低脱硫的运行成本。

国内大部分火电机组采用湿法脱硫，脱硫系统普遍存在以下问题，急需解决：

（1）脱硫系统烟气出口SO<sub>2</sub>浓度调节品质差，自动化水平低：火电厂出口SO<sub>2</sub>浓度调节精度差、响应速度慢，经常需要运行人员通过手动调节，而且即使在人工操作量很大的情况下，出口SO<sub>2</sub>浓度仍容易超标。

（2）脱硫系统整体运行成本高：为了防止烟气SO<sub>2</sub>浓度超标，出口SO<sub>2</sub>浓度往往控制在比较低的水平。这样导致脱硫系统电耗和物料损耗较高。

本项目通过对脱硫浆液智能调节的深入研究，开发出脱硫智能浆液调节阀对浆液实时精准调整，通过脱硫系统优化来解决上述两个问题。

## 1.2 火电厂脱硫工作背景

火电厂作为能源供应体系中的核心组成部分，承担着全球电力需求的重要任务。然而，燃煤机组在发电过程中会排放大量的SO<sub>2</sub>，这对环境造成了严重污染。随着全球范围内环保要求的日益严格，各国政府相继出台了更加严苛的排放标准，以限制火电厂SO<sub>2</sub>的排放量。在国内《煤电节能减排升级与改造行动计划（2016-2020年）》明确要求燃煤机组实现超低排放目标，其中SO<sub>2</sub>浓度需控制在35mg/m<sup>3</sup>以下。在此背景下，脱硫工作已成为火电厂可持续发展的重要保障措施。通过有效的脱硫技术，提升其能效水平和工业绿色转型能力，从而满足“双碳”目标下的发展需求。

## 2 脱硫 SO<sub>2</sub> 浓度控制现状及研究成果

### 2.1 传统控制SO<sub>2</sub>浓度手段及问题

当前火电厂脱硫系统普遍采用石灰石—石膏湿法脱硫技术，通常以增加石灰石供浆量和脱硫浆液循环泵运行数量的方式来控制脱硫出口净烟气中的SO<sub>2</sub>浓度。这种方法虽然能够在短期内确保环保指标达标，但存在诸多问题。首先，由于锅炉负荷波动、煤质变化等因素的影响，脱硫系统入口SO<sub>2</sub>浓度和烟气流量频繁变化，导致运行人员需要根据经验频繁调整浆液循环泵的运行台数和供浆流量。然而，这种人工操作方式往往过于保守，容易造成过度脱硫现象，从而导致电力资源的巨大浪费。其次，供浆流量的惯性特性使得其响应时间较长，难以快速适应外部扰动，进而引发吸收塔浆液中pH值的大幅波动。这种波动不仅影响脱硫副产物石膏的品质，还可能导致石膏雨等次生环境问题。此外，即使在人工操作量很大的情况下，仍然难以完全避免SO<sub>2</sub>浓度超标的情况，尤其是在机组快速变负荷运行时，这一问题尤为突出。

### 2.2 脱硫出口SO<sub>2</sub>浓度控制研究成果

近年来,针对脱硫出口SO<sub>2</sub>浓度的控制策略研究取得了显著进展。传统的控制方法主要依赖于吸收塔浆液pH值的调节以及浆液循环泵的组合运行优化,然而这些方法在面对多变工况时表现出抗扰动能力弱、控制精度低等问题。为此,研究人员提出了基于模型预测控制(MPC)和模糊控制等先进控制理论的新型策略。例如,詹卓轩等人提出了一种更新高斯过程模型预测控制方法—基于不确定性补偿的湿法脱硫系统二氧化硫超低排放控制,通过补偿不确定性实现了对时延对象的有效控制,从而提高了脱硫系统的响应速度和控制精度<sup>[1]</sup>。此外,王伟等人开发了一种以净烟气SO<sub>2</sub>浓度为被控对象的石灰石供浆泵自动控制方案—燃煤机组烟气脱硫系统供浆控制策略研究与应用,通过引入在线计算的补偿修正系数和前馈信号,显著改善了系统的稳定性和经济性。与此同时,数据驱动技术也被广泛应用于脱硫系统的优化控制中,例如基于遗传算法的支持向量机(LS-SVM)模型被用于预测浆液pH值与液气比的关系,从而指导浆液循环泵的优化运行—湿法烟气脱硫系统节能优化研究进展。这些研究成果为脱硫出口SO<sub>2</sub>浓度的精准控制提供了理论支持和技术保障。

2.3 智能浆液调节阀研究的意义

针对传统控制手段存在的问题,智能浆液调节阀的研究与应用具有重要的现实意义。智能浆液调节阀通过传感器、控制器等部件实现对浆液流量的精准调节,能够显著提高脱硫系统的运行效率和环保性能<sup>[2]</sup>。一方面,该技术可以有效克服传统方法中因人工操作不当而导致的能耗高和物料损耗大的问题;另一方面,其快速响应能力和自适应控制特性使其能够在复杂工况下保持稳定的SO<sub>2</sub>浓度控制效果,从而减少超标风险。此外,智能浆液调节阀的引入还有助于推动火电厂脱硫系统的智能化改造,为实现灵活智能燃煤发电目标提供技术支持。因此,开展智能浆液调节阀的研究不仅是解决当前脱硫工作瓶颈的关键途径,也是促进火电厂节能减排和可持续发展的重要举措<sup>[3]</sup>。

3 智能浆液调节阀系统改造

3.1 智能浆液调节阀的安装

智能浆液调节阀安装在浆液循环泵入口的供浆管道上。如果现有脱硫系统的供浆管路没有到浆液循环泵入口这一管路,为了增加智能浆液调节阀的响应速度和使用效果,进行供浆系统工艺管道改造,增加一路供浆管道至

浆液循环泵入口管。且智能浆液调节阀的应用要与原有脱硫系统进行有机的融合,在控制层要与脱硫DCS进行硬点数据交换,设备层要与浆液系统进行合理接入。

3.2 智能浆液调节阀工作原理

常规脱硫浆液调节阀的内部植入智能控制器,智能控制器与脱硫DCS操作系统采用硬点通讯,采集脱硫DCS操作系统如机组负荷、脱硫入口原烟气SO<sub>2</sub>浓度和流量、脱硫出口净烟气SO<sub>2</sub>浓度、吸收塔浆液PH值等重要运行参数,或者直接接入各类传感器的模拟信号或数字信号,通过智能控制器的人工智能算法向执行机构发送指令以调整阀门的开度,利用智能算法控制技术对脱硫石灰石浆液的流量、压力等参数进行精确调节,从而确保浆液供应量与脱硫需求相匹配。相比传统调节阀仅依赖单一参数(如pH值)进行反馈调节的方式,智能浆液调节阀的多变量协同控制显著提升了系统的响应速度与控制效果。

3.3 技术功能

脱硫智能浆液调节阀集成多种人工智能算法,并具备强大的自学习能力,可以实时根据脱硫系统运行工况,快速精准调整阀门开度,实现精准供浆和降低脱硫系统能耗、物料损耗的目标,有效地提高脱硫系统自动化水平,减少大量人为操作量,避免脱硫出口净烟气SO<sub>2</sub>浓度超标。不仅提高了脱硫系统的控制精度与稳定性,还为未来脱硫技术的智能化发展奠定了基础<sup>[4]</sup>。

3.4 智能浆液调节阀系统改造优点

通过工艺系统改造,把石灰石浆液直接供到脱硫浆液循环泵入口,能够及时调节脱硫出口净烟气SO<sub>2</sub>浓度,避免造成排放超标;

实现脱硫出口净烟气SO<sub>2</sub>浓度值投自动功能,智能浆液调节阀自动调节石灰石浆液的供给流量,及时调节脱硫出口净烟气SO<sub>2</sub>浓度,提高自动化水平,减少运行人员操作量;

降低脱硫系统电耗和物料损耗,以此来控制脱硫系统整体运行成本。

4 智能浆液调节阀应用成效分析

4.1 技术指标

智能浆液调节阀系统的引入显著提高了脱硫出口SO<sub>2</sub>浓度的控制精度,实现净烟气SO<sub>2</sub>浓度值投自动,并能实现净烟气SO<sub>2</sub>浓度小时均值提高到24mg/Nm<sup>3</sup>。清河电厂#1机组智能浆液调节阀项目调试结束后调取脱硫环保数据,脱硫净烟气SO<sub>2</sub>浓度日均值如下表所示。

时间	6月15日	6月16日	6月17日	6月18日	平均值
SO <sub>2</sub> 浓度mg/Nm <sup>3</sup>	24.40	23.97	24.05	23.73	24.04

数据表明智能浆液调节阀在提升SO<sub>2</sub>浓度控制精度方

面具有显著优势,为火电厂实现环保指标稳定达标提供

了可靠保障。

4.2 节能指标

智能浆液调节阀的应用显著改善了脱硫系统的能耗表现，尤其是浆液循环泵厂用电率方面。对清河电厂#1机组智能浆液调节阀项目改造前后同期浆液循环泵厂用

电率进行对比分析，由于改造后精准的SO<sub>2</sub>浓度控制手段，有效减少了浆液循环泵运行投运时长，降低了浆液循环泵的厂用电率。改造前后同期浆液循环泵厂用电率对比数据如下：

4.2.1 浆液循环泵节电率

时间	#1机组发电量Kwh	浆液循环泵耗电量Kwh	厂用电率%	节电率%
2024年6月（改造前）	160180000	1445106	0.90%	5.35%
2025年6月（改造后）	138125000	1179429	0.85%	

数据表明，相较于传统手动调节方式，智能浆液调节阀系统的应用使脱硫浆液循环泵厂用电率下降0.05%（0.90%-0.85% = 0.05），节电率为5.35%，提高了脱硫系

统的经济性。

4.2.2 浆液循环泵节电费用

2024年循环泵耗电量(kWh)	节电率%	节电量（kWh）	电价（元/kWh）	金额（万元）
16051986	5.35%	859219	0.375	32.22

据统计清河电厂#1机组4台脱硫浆液循环泵2024年共消耗电量为16051986kWh，按节电率5.35%计算，每年可节约电量859219kWh，按平均上网电价为0.375元/kWh计算，节电费用为32.22万元/年。

4.3 降耗指标

智能浆液调节阀在降低物料损耗方面也表现出色，特别是在石灰石等关键材料的消耗控制上。传统脱硫系

统中常因过度供浆导致石灰石浆液浪费，尤其是在净烟气SO<sub>2</sub>浓度较高时，运行人员倾向于手动加大供浆量以快速达标，进而影响脱硫效率并增加物料消耗。清河电厂#1机组智能浆液调节阀项目改造后，进行原供浆系统与智能供浆系统进行对比试验，数据如下：

4.3.1 节省石灰石粉量

供浆系统	平均供浆流量m <sup>3</sup> /h	石灰石浆液密度t/m <sup>3</sup>	石灰石浆液浓度%	石灰石粉量t/h	节省率%
原供浆系统	12.17	1.28	0.35	5.45	6.66%
智能供浆系统	11.36	1.28	0.35	5.09	

对比试验数据表明，智能浆液调节阀系统改造，提高了脱硫SO<sub>2</sub>浓度精准控制能力，有效的节省了脱硫系统

物料消耗，石灰石粉量节省率为6.66%。

4.3.2 节省石灰石粉经济收益

2024年石灰石粉用量（t）	节省率%	节省量（t）	单价（元/t）	金额（万元）
30482.45	6.66%	2028.82	159.5	32.36

据统计清河电厂#1机组脱硫系统2024年共消耗石灰石粉为30482.45吨，按节省率6.66%计算，每年可节约石灰石粉量2028.82吨，按平均采购价为159.5元/吨计算，节约费用为32.36万元/年。

结束语：智能浆液调节阀作为火电厂脱硫系统的关键设备，可以实时根据脱硫系统运行工况，快速精准调整阀门开度，实现精准供浆和降低脱硫系统能耗、物料损耗的目标，有效地提高脱硫系统自动化水平，减少大量人为操作量，避免脱硫出口净烟气SO<sub>2</sub>浓度超标。不仅提高了脱硫系统的控制精度与稳定性，还为未来脱硫技术的智能化发展奠定了基础。智能浆液调节阀在火电厂脱硫领域的大规模推广具有较高的可行性，并对其行业

发展产生深远影响。

参考文献

[1]詹卓轩,赵刚,苏志刚.基于不确定性补偿的湿法脱硫系统二氧化硫超低排放控制[J].热力发电,2023,52(12):164-172.

[2]朱宇翔.锅炉脱硫智慧节能系统开发及应用[J].节能,2024,43(4):111-114.

[3]王伟,郑茗友,赵文杰,王建峰,郗英杰.燃煤机组烟气脱硫系统供浆控制策略研究与应用[J].华北电力大学学报（自然科学版）,2021,48(6):113-118.

[4]石荣桂,刘强,崔清洁,岳建雄.湿法烟气脱硫系统节能优化研究进展[J].资源节约与环保,2024,(5):9-13.