

T/HEBQIA

团 体 标 准

T/HEBQIA ××××—2025

脱硫智能多变量、精准自动闭环控制系统

(征求意见稿)

2025 - ×× - ××发布

2025 - ×× - ××实施

河北省质量信息协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

 3.1 1

 脱硫智能多变量控制系统 1

 3.2 1

 精准自动闭环控制 1

 3.3 1

 浆液循环泵优化组合 1

 3.4 2

 DMC 多变量协同控制 2

4 系统要求 2

 4.1 控制目标 2

 4.2 功能要求 2

 4.3 性能指标 2

5 设计规范 3

 5.1 pH 与 SO₂控制品质设计 3

 5.2 浆液循环泵组合优化设计 3

 5.3 吸收塔自动控制设计 3

6 实施要求 4

 6.1 实施阶段划分 4

7 运行维护 4

 7.1 日常维护（每日） 4

 7.2 定期维护（每月/每季度） 4

 7.3 故障处理 5

8 验收评价 5

 8.1 验收指标 5

 8.2 评价方法 5

 8.3 合格判定 5

前 言

本文件依据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏南通发电有限公司提出。

本文件由河北省质量信息协会归口。

本文件起草单位：江苏南通发电有限公司、XXX。

本文件主要起草人：XXX。

内部讨论资料 严禁非授权使用

脱硫智能多变量、精准自动闭环控制系统

1 范围

本文件规定了脱硫智能多变量、精准自动闭环控制系统（以下简称“系统”）的术语和定义、系统要求、设计规范、实施要求、运行维护及验收评价。

本文件适用于采用单塔双区湿法脱硫工艺的 1000MW 级燃煤机组脱硫系统，其他容量或类似脱硫工艺的机组可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2887 计算机场地通用规范
GB 13223 火电厂大气污染物排放标准
GB 50057 建筑物防雷设计规范
HJ 2040 火电厂烟气治理设施运行管理技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

脱硫智能多变量控制系统

以脱硫系统运行效率、环保达标、成本优化为目标，整合 pH 值、SO₂浓度、煤质硫份、浆液循环泵参数等多变量，采用机器学习、模糊控制等智能算法实现协同控制的系统。

3.2

精准自动闭环控制

通过传感器实时采集脱硫系统关键参数（如出口 SO₂浓度、吸收塔 pH 值），经智能算法分析后自动调整执行机构（如供浆调阀、浆液循环泵），使控制目标始终稳定在设定范围的闭环控制方式。

3.3

浆液循环泵优化组合

基于烟气量、SO₂浓度、煤质硫份等工况参数，通过智能算法计算最优浆液循环泵运行数量及转速，实现节能与脱硫效率平衡的控制策略。

3.4

DMC 多变量协同控制

基于动态矩阵控制（DMC）算法，建立吸收塔内操作变量（供浆量、氧化空气量）与状态变量（液位、pH 值、浆液密度）的关联模型，实现多变量协同调控的控制方式。

4 系统要求

4.1 控制目标

4.1.1 环保达标

出口SO₂浓度稳定满足GB 13223要求（即基准氧含量6%时≤35mg/m³），波动范围控制在±5mg/m³以内。

4.1.2 效率优化

脱硫效率不低于95%，石膏中CaCO₃含量控制在≤2%以内。

4.1.3 成本降低

系统能耗较优化前降低5%~10%，年节约电费及设备维护成本不低于80万元（基于1000MW机组单台测算）。

4.1.4 自动化提升

实现供浆、浆液循环泵、吸收塔的全自动控制，手动操作频次降低80%以上。

4.2 功能要求

4.2.1 多变量监测与预测

具备煤质硫份间接监测（基于锅炉炉膛温度：1100~1250℃、氧量：3%~6%、排烟温度：120~150℃）、SO₂浓度趋势预测功能。

4.2.2 自适应供浆控制

可根据煤质硫份、pH 值偏差动态调整供浆量，避免低硫煤工况下供浆过量。

4.2.3 浆液循环泵智能调控

能依据实时工况自动切换循环泵组合及转速，支持节能运行模式。

4.2.4 吸收塔多变量协同控制

实现液位、pH 值、浆液密度的协同调控，具备智能消泡功能。

4.2.5 故障预警与自修正

建立传感器故障、设备异常的预警机制，可自动启动备用方案。

4.3 性能指标

性能指标见表1要求。

表 1 性能指标

指标类别	具体要求（推荐值）
pH 控制精度	控制误差≤±0.1pH
SO ₂ 控制响应速度	负荷变化时，SO ₂ 浓度恢复至设定范围的时间≤5min。

循环泵节能率	低硫煤（≤1.2%）、低烟气量（≤60% 额定烟气量）工况下，循环泵能耗较全启模式降低 25~35%。
系统可用性	年运行时间≥8000h，故障修复时间≤4h。
浆液密度控制精度	控制误差≤±20kg/m³

5 设计规范

5.1 pH 与 SO₂控制品质设计

5.1.1 设计原则

以“精准供浆、动态适配煤质”为核心，结合近1年历史运行数据（如煤质硫份变化趋势、SO₂排放波动规律）与实时参数优化控制逻辑。

5.1.2 技术方案

煤质硫份间接监测

不新增在线分析设备，基于锅炉运行参数，采用神经网络算法建立煤质硫份预测模型，结合燃料采购数据每周修正1次模型参数。

5.1.3 自适应供浆控制

引入模糊自适应控制算法，根据煤质硫份预测值、pH 偏差及偏差变化率，将供浆量划分为5个调节等级，自动调整供浆调阀开度。

5.1.4 传感器优化

pH传感器、SO₂传感器校准周期缩短至7天/次，采用滑动平均滤波算法处理异常数据，建立传感器故障预警模型（基于数据波动幅度>10%/min、响应延迟>30s 判定故障）。

5.2 浆液循环泵组合优化设计

5.2.1 设计原则

兼顾脱硫效率与能耗，实现“工况匹配、动态调优”，避免循环泵长期满负荷运行导致的设备老化加速。

5.2.2 技术方案

5.2.2.1 多参数融合模型

整合烟气量、SO₂浓度、煤质硫份、吸收塔液位变化速率（≤5mm/min为稳定）、浆液密度，采用主成分分析判断系统脱硫需求。

5.2.2.2 节能运行优化

采用遗传算法（种群规模：50，迭代次数：100）计算最优循环泵组合，低负荷工况下优先停运运行时长较长的循环泵；设置循环泵切换优先级，延长设备寿命。

5.3 吸收塔自动控制设计

5.3.1 设计原则

多变量协同调控，避免单一参数波动影响系统稳定性，同时减少消泡剂浪费。

5.3.2 技术方案

5.3.2.1 DMC 多变量协同控制

建立吸收塔阶跃响应模型（采样周期：1min，模型阶数：20 阶），描述供浆量、氧化空气量与液位、pH 值、浆液密度的动态关系；预测时域设为10~15min，控制时域设为5~8min，提前调整操作变量。

5.3.2.2 智能消泡控制

基于pH值波动幅度 $>0.3\text{pH/min}$ 、液位上升速率 $>10\text{mm/min}$ 、氧化空气量稳定性建立起泡关联模型；采用模糊控制算法，轻微起泡时降低消泡剂添加泵频率、延长添加时间10~15min，严重起泡时短时间提升频率至30~40Hz。

6 实施要求

6.1 实施阶段划分

6.1.1 准备阶段

- 完成项目需求分析，明确机组历史运行数据；
- 制定详细设计方案，编制设备选型清单及人员培训方案；
- 成立项目实施小组，明确分工。

6.1.2 设备采购与安装阶段

- 采购传感器、执行机构等设备，按 HJ 2040 要求验收；
- 安装传感器并接入电厂 DCS 系统，确保数据传输延迟 $\leq 1\text{s}$ ；
- 开展人员培训，覆盖控制算法原理、设备操作、故障处理。

6.1.3 软件编程与调试阶段

- 开发煤质硫份预测、自适应供浆、DMC 控制等算法模块，嵌入现有控制系统；
- 先通过仿真模型进行模拟调试，再进行现场调试，优化控制参数；
- 测试故障预警功能，模拟传感器失效、供浆泵故障等场景，验证自修正能力。

6.1.4 试运行与优化阶段

- 系统投入试运行，建立监测机制；
- 每周分析试运行数据，若 SO_2 波动超 $\pm 5\text{mg/m}^3$ 或能耗降低未达 5%，调整控制算法参数。

6.1.5 验收阶段

- 成立验收小组，按本标准 4.3 条性能指标开展测试；
- 整理实施文档，交付电厂；
- 建立售后服务体系，承诺 48 小时内响应故障报修。

7 运行维护

7.1 日常维护（每日）

- 检查传感器状态，确认数据无异常波动。
- 记录浆液循环泵运行参数，判断设备是否正常。
- 查看消泡剂储罐液位，确保储备量满足 24h 运行需求。

7.2 定期维护（每月/每季度）

- 每月校准 pH 传感器、 SO_2 传感器，更换老化探头。

7.2.2 每季度检查浆液循环泵密封件、轴承，清理泵体杂质。

7.2.3 每季度优化控制算法。

7.3 故障处理

7.3.1 传感器故障

自动切换备用传感器，发出预警信号，维护人员4h内更换。

7.3.2 供浆泵故障

系统自动启动备用泵，调整供浆量至安全范围，避免SO₂超标。

7.3.3 算法异常

触发手动控制模式，技术组24h内排查算法参数，恢复自动控制。

8 验收评价

8.1 验收指标

8.1.1 环保指标

出口SO₂浓度波动 $\leq \pm 5\text{mg/m}^3$ ，脱硫效率 $\geq 95\%$ 。

8.1.2 能耗指标

系统能耗较优化前降低5%~10%，循泵节能率 $\geq 25\%$ 。

8.1.3 自动化指标

自动控制覆盖率 $\geq 90\%$ ，手动干预次数 ≤ 1 次/周。

8.1.4 产品质量

石膏中CaCO₃含量 $\leq 2\%$ ，含水率 $\leq 15\%$ 。

8.2 评价方法

8.2.1 数据监测

连续采集1个月运行数据，计算指标平均值及波动范围。

8.2.2 现场测试

模拟3种典型工况（高硫煤高负荷：煤硫份 3.0%、负荷 100%；低硫煤低负荷：煤硫份 1.0%、负荷 50%；负荷骤变：1h 内从 50% 升至 80%），测试系统响应速度。

8.2.3 文档核查

检查设计方案、调试报告、维护记录的完整性。

8.3 合格判定

所有验收指标满足本标准8.1条要求，且文档齐全率 $\geq 95\%$ ，判定为合格；若单一项指标不达标，允许1个月内整改后重新验收，重新验收次数 ≤ 2 次。