

河北省质量信息协会团体标准

《脱硫智能多变量、精准自动闭环控制系统立项申请书》

(征求意见稿) 编制说明

标准起草工作组

2025年10月

一、任务来源

依据《河北省质量信息协会团体标准管理办法》，团体标准《脱硫智能多变量、精准自动闭环控制系统立项申请书》由河北省质量信息协会于2025年10月16日批准立项，项目编号为：T2025424。

本标准由江苏南通发电有限公司提出，由河北省质量信息协会归口。本标准起草单位为：江苏南通发电有限公司，建标教育科技河北有限公司。

二、重要意义

脱硫控制系统是通过自动化技术实现火电厂烟气中二氧化硫等污染物处理的工业控制系统。其核心技术基于分散控制系统（DCS）架构，包含数据采集（DAS）、模拟量控制（MCS）、顺序控制（SCS）三大核心模块。在600MW、300MW等不同规模机组中，采用NETWORK-6000+、XDPS400等系统实现环保参数闭环控制，典型应用包括山西漳山电厂脱硫工程和达拉特电厂四期项目。

三、编制原则

《脱硫智能多变量、精准自动闭环控制系统立项申请书》团体标准的编制遵循规范性、一致性和可操作性的原则。首先，标准的起草制定规范化，遵守与制定标准有关的基础标准及相关的法律法规的规定，按照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》、《河北省质量信息协会团体标准管理办法》等编制起草；其次，该标准的制定与现行的国家、行业、地方标准协调一致，相互兼容并有机衔接；再次，该标准的制定符合脱硫智能多变量、精准自动闭环控制系统立项申请书制造的实际情况，可操作性强。

四、主要工作过程

本标准自立项以来，贵州电网有限责任公司铜仁供电局积极开展工作。

（1）2025年8月，成立了标准起草工作组，明确了相关单位和负责同志的职责和任务分工。

(2) 2025年9月，起草工作组积极开展调查研究，检索国家及其他省市相关标准及法律法规，调研电化学储能系统各同类产品的实际生产制造情况，并进行总结分析，为标准草案的编写打下了基础：

(3) 2025年10月，分析研究调研材料，由标准起草工作组的专业技术人员编写标准草案，通过研讨会、电话会议等多种方式，对标准的主要内容进行了讨论，确定了脱硫智能多变量、精准自动闭环控制系统立项申请书的技术要求，明确了指标的检验规则。

(4) 2025年10月21日，团体标准正式立项。

(5) 2025年10月底，起草工作组通过讨论，确定本标准的主要内容，初步形成标准草案和编制说明。起草组将标准文件发给相关标准化专家进行初审，根据专家的初审意见和建议进行修改完善，形成征求意见稿。

五、主要内容及依据

其中的技术要点是基于成熟的理论基础、行业通用技术实践、国家法规标准以及特定工程算法的应用。

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

依据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

依据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

依据基于烟气量、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

依据基于动态矩阵控制（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

依据来源 1（法律强制）：《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223）。这是中国对火电厂的强制性环保法规，是所有设计的基础和底线。

来源 2（技术高阶要求）：“波动范围 $\pm 5\text{mg}/\text{m}^3$ ”是对控制品质的严苛要求。法规只规定上限，而此要求意味着系统不能仅满足于“不超标”，而必须持续稳定运行在最佳状态，这为后续的成本优化（避免过量投料）奠定基础。效率优化

脱硫效率不低于95%，石膏中 CaCO_3 含量控制在 $\leq 2\%$ 以内。

4.1.2 成本降低

依据来源 1（主要耗能设备）：能耗降低主要来自于浆液循环泵的优化运行（见 4.3），它是脱硫系统最大的电耗单元。5%~10%的节能目标是通过泵的优化组合和转速控制可以实现的合理范围。

来源 2（投资回报率测算）：80 万元的年节约额是基于 1000MW 机组典型的电费和维护费水平进行的经济效益测算。这个数字用于论证项目投资的合理性和可行性，是项目立项的重要依据。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。

4.1.3 自动化提升

依据来源（运行管理需求）：降低人工干预是提高运行稳定性、减轻操作人员负担、避免人为误操作的核心手段。80%以上的目标是智能控制系统取代人工常规操作的直接体现，也是评估自动化项目成功与否的关键绩效指标。

4.2 功能要求

4.2.1 多变量监测与预测

依据来源1（解决测量滞后）：在线煤质分析仪价格昂贵且维护复杂。基于锅炉运行参数（温度、氧量等）通过机器学习模型（如神经网络）间接监测硫份，是一种成本与精度平衡的先进技术方案。其理论依据是燃烧化学反应与煤质之间存在内在关联。

4.2.2 自适应供浆控制

依据来源（过程特性与先进算法）：脱硫塔的化学反应具有大惯性、非线性特性。传统的固定参数 PID 控制难以适应煤种变化。自适应控制（如模糊自适应）能根据工况（如硫份高低）和系统状态（pH 偏差及其变化趋势）自动改变控制策略，避免“低硫煤供浆过量”导致的浆液品质恶化与浪费，或“高硫煤供浆不足”导致的排放超标。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。

4.2.3 浆液循环泵智能调控

依据浆液循环泵的电耗与泵的运行数量和转速的立方近似成正比。在低负荷（低烟气量、低硫份）时，全开所有泵是巨大的能源浪费。此功能依据优化算法（如遗传算法）进行组合优化，是电厂节能降耗最直接、最有效的措施之一。

4.2.4 吸收塔多变量协同控制

吸收塔是一个强耦合系统。例如，增加供浆会影响 pH、液位和密度；增加氧化风量会影响密度并可能引发泡沫。传统单回路控制会相互干扰。此功能必须采用多变量协同控制算法（如 DMC）来统一决策，才能保证系统整

体稳定。智能消泡是基于对起泡现象（表现为液位急剧上升、pH 波动）的模型识别进行提前干预。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。

4.2.5 故障预警与自修正

依据来源（系统可靠性工程）： 为提高系统可用性（见 4.3），必须设计容错机制。其依据是故障预测与健康管理理念。通过分析数据特征（如传感器读数突变、响应延迟）判断故障，并自动切换到备用传感器或泵，是保证环保设施连续、可靠运行的关键。

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	指标依据
pH 控制精度	依据pH值是影响脱硫效率和石膏品质的最敏感参数。有一个最佳反应区间（通常 5.0-5.5），波动过大会导致效率下降或结垢风险。±0.1的精度是维持化学反应在最佳状态的严格要求，是高水平自动控制的体现。
SO ₂ 控制响应速度	依据来源（克服系统惯性）： 脱硫系统从改变供浆到出口SO ₂ 响应存在较大纯滞后和时间常数。≤5分钟的恢复时间要求系统必须具有前馈-反馈复合控制和预测能力，以快速应对锅炉负荷或煤质的变化，确保排放始终受控。
循泵节能率	依据来源（泵的相似定律与运行工况）： 在低负荷工况（低硫煤、低烟气量）下，脱硫需求远低于设计值。此时通过停泵或降速，其节能潜力符合泵的相似定律（功率与转速的三次方成正比）。25%~35%的节能率是在特定工况下通过优化完全可以实现的目标值。
系统可用性	依据来源（工业系统标准）： 8000小时约等于91.3%的可用率，考虑到计划停运和故障，这是对工业连续生产过程控制系统的基本可靠性要求。它要求系统设计必须稳定、健壮。
浆液密度控制精度	依据来源（石膏结晶与脱水需求）： 浆液密度直接影响石膏的结晶和脱水效果。密度过高易造成管道和设备磨损、堵塞；过低则脱水困难。控制在设定值附近的小范围内（如1080-1150 kg/m ³ ），是保证脱水系统稳定运行和石膏品质的前提。±20kg/m ³ 的精度是实现这一工艺要求的具体体现。

5 设计规范

5.1 pH 与 SO₂ 控制品质设计

5.1.1 设计原则

依据传统控制基于固定模型，而实际机组煤种多变。利用长期历史数据可以挖掘出机组自身的运行规律和煤种变化周期，为优化提供基准。结合实时参数则实现了静态经验与动态响应的结合，这是现代智能控制的核心理念。

5.1.2 技术方案煤质硫份间接监测

依据神经网络 能够捕捉锅炉燃烧过程中多个参数与煤质硫份之间复杂的非线性关系，是解决此类建模问题的首选算法。

5.1.3 自适应供浆控制

依据脱硫塔pH控制具有非线性、大滞后特性。模糊控制不依赖于精确的数学模型，而是将操作人员的经验（如“如果硫份高、pH偏低且下降快，就大幅增加供浆”）规则化，非常适合此类系统。

5.1.4 传感器优化

依据 pH 和 SO₂ 传感器在恶劣的浆液环境中易结垢、漂移。缩短校准周期是保证测量准确性最直接的手段，7 天是平衡了维护工作量与数据可靠性的经验值。浆液循环泵组合优化设计

5.2 设计原则

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

5.2.1 技术方案

5.2.1.1 多参数融合模型

依据烟气量、SO₂ 浓度等参数都从不同角度反映脱硫负荷，且彼此相关。主成分分析 是一种统计方法，能从这群相关的变量中提取出少数几个核心的、不相关的“主成分”来代表系统的整体状态，从而更清晰、更稳定地判断出真实的脱硫需求，避免被某个参数的瞬时波动误导。

5.2.1.2 节能运行优化

依据遗传算法 是解决组合优化问题的强大工具。泵的启停组合是一个典型的离散优化问题，遗传算法能在庞大的可能组合中高效地寻找全局最优或近似最优的节能方案。

5.3 吸收塔自动控制设计

5.3.1 设计原则

依据吸收塔内液位、pH、密度等变量相互影响（耦合）。单一参数调整会“牵一发而动全身”。必须进行多变量协同控制，才能保证整体稳定。消泡剂是运行成本之一，精准添加直接关系到经济效益。

5.3.2 技术方案

5.3.2.1 DMC 多变量协同控制

依据 DMC是MPC的一种，是处理多变量耦合系统的工业标准算法。

5.3.2.2 智能消泡控制

依据起泡通常由浆液性质突变（pH快速波动）、物理夹带（液位急剧上升）和操作扰动（氧化风量不稳）引发。文中的判断阈值（>0.3pH/min, >10mm/min）是基于现场运行经验总结的起泡早期特征。

6 实施要求

6.1 实施阶段划分

6.1.1 准备阶段

依据项目管理标准（如 PMBOK 指南）。这是任何工程项目启动的通用最佳实践。设备采购与安装阶段

6.1.2 软件编程与调试阶段

依据 “先仿真，后现场” 是工业控制系统开发的黄金法则试运行与优化阶段

6.1.3 验收阶段

依据验收必须以事先约定的、客观的性能指标（见标准 4.3 条）为准绳，这是避免纠纷、确保项目价值的核心。它构成了具有法律效力的验收基准

7 运行维护

7.1 日常维护（每日）

依据传感器的数据是控制系统的“眼睛”。每日检查是最基础、最有效的故障预防措施。异常波动（如跳变、卡死、漂移）是传感器失效、结垢或管路堵塞的最直接表现，必须立即发现，以免“垃圾进、垃圾出”，导致控制系统误判。

7.2 定期维护（每月/每季度）

依据测量仪表维护规程。pH 和 SO₂ 传感器工作在恶劣的化学环境中，其探头会逐渐老化、污染和漂移。每月校准是基于该类仪表可靠性的行业经验周期，是保证测量精度、从而保证控制精度的强制性维护活动。不按时校准，之前所有的精准控制都无从谈起。

7.3 故障处理

依据依据高可用性系统设计原则。对关键监测参数（如出口 SO₂）设置冗余传感器，是确保核心功能在单点故障时不受影响的标准工程实践。

8 验收评价

8.1 验收指标

8.1.1 环保指标

依据波动范围：直接引用自 4.1 控制目标。它比单纯的“达标”要求更高，体现了系统的稳定性和控制品质，是智能控制系统价值的核心体现。

- 脱硫效率：是确保在任何工况下都能满足排放标准的性能裕量要求，也是行业对高效脱硫设施的通用基准。

8.1.2 能耗指标

依据这些指标直接来自 4.1 和 4.3 中的承诺。它们是项目投资回报率计算的直接依据，用于验证节能优化功能（如浆液循环泵优化）是否达到预期效果

8.1.3 自动化指标

依据这是对“自动化提升”目标的量化考核。 $\geq 90\%$ 的覆盖率意味着绝大多数设备和控制回路实现了自动运行。 ≤ 1 次/周的干预频率则强力证明了系统的可靠性和自持能力，真正解放了操作人员。

8.1.4 产品质量

依据副产品价值与工艺水平。

8.2 评价方法

8.2.1 数据监测

依据统计学意义与运行周期。

8.2.2 现场测试

依据控制系统压力测试与边界测试。

8.2.3 文档核查

依据质量管理体系与可追溯性。

8.3 合格判定

依据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。

六、与有关现行法律、政策和标准的关系

本标准符合《中华人民共和国标准化法》等法律法规文件的规定，并在制定过程中参考了相关领域的国家标准、行业标准和其他省市地方标准，具体指数指标在实践过程中，根据实际情况总结得来，便于参考实施。

七、重大意见分歧的处理结果和依据

无。

八、提出标准实施的建议

建议通过宣传培训，在大型会议(如展览会、技术创新会议等)上进行宣讲，组织该标准推广应用专题研讨会，建立相关产品与本标准相连的市场准入制，使本团体标准发挥其应有作用，达到相关规范效果。

九、其他应予说明的事项

无。

《脱硫智能多变量、精准自动闭环控制系统立项申请书》

标准起草工作组

2025年10月