

多点实时测量技术脱硝精准喷氨方案在火电厂的应用

赵磊

苏晋塔山发电有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i10.17163

[摘要] 本文聚焦火电厂脱硝精准喷氨,针对传统喷氨控制存在的问题,阐述多点实时测量技术原理与系统构建,设计基于该技术的精准喷氨方案,包括控制策略、算法、执行系统优化及安全可靠性设计。以塔山发电有限公司为例,介绍方案实施过程,量化分析应用效果,结果显示脱硝效率提升,氨气逃逸降低,氨耗量减少,实现环保与经济效益双赢。

[关键词] 火电厂; 脱硝系统; 精准喷氨; 多点实时测量

中图分类号: TM621.7 **文献标识码:** A

Application of Multi-point Real-time Measurement Technology in Precise Ammonia Injection for Denitration Systems in Thermal Power Plants

Lei Zhao

Sujin Tashan Power Generation Co., Ltd.

[Abstract] This study focuses on precise ammonia injection for denitration in thermal power plants. Addressing the limitations of traditional ammonia injection control methods, the principles and system construction of multi-point real-time measurement technology are elaborated. A precise ammonia injection scheme based on this technology is designed, including control strategies, algorithms, execution system optimization, and safety reliability design. Taking Tashan Power Generation Co., Ltd. as an example, the implementation process of the scheme is introduced, and the application effects are quantitatively analyzed. Results show improved denitration efficiency, reduced ammonia slip, and decreased ammonia consumption, achieving a win-win situation for both environmental and economic benefits.

[Key words] Thermal Power Plant; Denitration System; Precise Ammonia Injection; Multi-point Real-time Measurement

引言

火电厂脱硝系统对环保意义重大,喷氨控制是关键环节,但当前存在测量精度低、控制策略不佳、设备性能与维护不足等问题,影响脱硝效果与运行成本。多点实时测量技术凭借全域覆盖、实时响应等优势,为解决这些问题提供新途径。本文将深入探讨该技术原理,设计精准喷氨方案,并通过实例验证其有效性与可行性。

1 火电厂脱硝系统与喷氨控制核心问题分析

火电厂脱硝系统对于减少氮氧化物排放、保护环境意义重大,而喷氨控制作为其关键环节,存在诸多核心问题。首先,测量精度问题突出,烟气中氮氧化物浓度测量易受粉尘、温度等因素干扰,导致测量数据不准确。不精准的浓度数据会使喷氨量计算出现偏差,喷氨过多不仅浪费氨资源,增加运行成本,还可能造成氨逃逸,污染大气环境;喷氨过少则无法有效降低氮氧化物排放,影响脱硝效率。其次,控制策略有待优化,现有的喷氨控制策

略多基于固定比例或简单反馈,难以适应机组负荷快速变化和烟气成分波动的情况。在负荷变动时,不能及时、准确地调整喷氨量,导致脱硝效果不稳定^[1]。另外,设备性能与维护也不容忽视,喷氨格栅堵塞、氨流量计故障等问题,会影响氨的均匀分布和准确计量,进而干扰喷氨控制。同时,缺乏有效的设备维护管理机制,无法及时发现和解决设备隐患,降低了系统的可靠性和稳定性。

2 多点实时测量技术的核心原理与系统构建

2.1 多点实时测量技术的技术特征

多点实时测量技术针对传统单点测量的局限性,具备全域覆盖、实时响应、高精度同步等核心技术特征。该技术通过在反应器入口、出口及喷氨格栅区域布设多组测量探头,实现对烟气中氮氧化物浓度、氨气浓度、烟气温度及流速的全域分布式测量,测量点间距根据烟气流速截面尺寸优化设置,确保覆盖整个烟气流通区域,消除测量盲区。采用激光吸收光谱技术作为核

心检测手段,具备抗粉尘干扰能力强、响应速度快(响应时间 ≤ 1 秒)的优势,可实时捕捉浓度场动态变化。通过时间同步技术实现多测点数据的同步采集,避免因数据延迟导致的浓度分布分析偏差。同时,技术具备自校准功能,通过定期自动校准确保长期运行测量精度,测量误差控制在 $\pm 2\%$ 以内。另外,系统具备故障自诊断能力,可实时监测各测量探头运行状态,及时反馈故障信息,保障测量数据的可靠性。

2. 2 测量系统的硬件架构设计

测量系统硬件架构采用“分布式采集+集中式管控”的设计方案,主要由测量探头单元、数据传输单元、电源供给单元及现场控制单元构成。测量探头单元采用模块化设计,根据测量参数不同分为氮氧化物探头、氨气探头及工况参数探头,探头内置防尘吹扫装置,通过压缩空气定期吹扫避免粉尘堆积影响测量精度,探头安装采用法兰式连接,便于安装维护^[2]。数据传输单元采用工业以太网与无线传输双重备份设计,工业以太网实现高速有线传输,无线传输采用5G工业模组,确保数据传输的稳定性和可靠性,传输延迟控制在50毫秒以内。电源供给单元采用双回路冗余供电,配备UPS不间断电源,避免突发停电导致系统停机。现场控制单元采用嵌入式PLC控制器,具备数据采集、预处理及初步分析功能,支持与电厂DCS系统无缝对接,可实时上传测量数据并接收控制指令,硬件整体具备抗高温、抗电磁干扰能力,适应火电厂复杂的工业环境。

2. 3 数据处理与分析系统

数据处理与分析系统采用“边缘计算+云端协同”的架构设计,实现对多测点数据的高效处理与深度分析。边缘计算层部署在现场控制单元内,对采集的原始数据进行降噪、滤波及同步处理,采用卡尔曼滤波算法消除测量噪声,通过时间戳对齐实现多测点数据同步,确保数据时效性。数据预处理后传输至云端分析层,云端系统采用分布式数据库存储海量历史数据,支持数据快速查询与调用。分析系统核心采用浓度场重构算法,基于多测点数据构建烟气氮氧化物浓度场三维模型,实时展示浓度分布状况,通过梯度分析识别高浓度区域和低浓度区域。同时,系统具备趋势预测功能,采用BP神经网络算法根据历史数据和实时工况参数,预测未来5-10分钟内氮氧化物浓度变化趋势。此外,系统配备数据可视化界面,可直观展示浓度分布、设备运行状态及预测曲线,支持数据导出和报表生成,为喷氨控制策略制定提供数据支撑。

3 基于多点实时测量的精准喷氨方案设计

3. 1 喷氨控制策略的核心逻辑

基于多点实时测量的精准喷氨控制策略核心逻辑为“全域感知-分区调控-动态优化”。全域感知通过多点测量系统获取反应器进出口及喷氨区域的氮氧化物浓度分布、烟气流量及温度等参数,构建实时工况数据库,为控制决策提供基础数据。分区调控将喷氨格栅划分为多个独立控制区域,每个区域对应一组测量测点,根据对应区域的氮氧化物浓度数据计算该区域所需的喷氨量,实现“一区一控”的精细化调节,避免传统整体调节

导致的局部偏差。动态优化环节通过实时监测各区域出口氮氧化物浓度和氨气逃逸浓度,结合锅炉负荷、燃烧工况等关联参数,动态调整各区域喷氨量。当负荷升高或氮氧化物浓度增加时,按照氨氮摩尔比精准提升对应区域喷氨量;当负荷降低或出现局部过量时,及时降低对应区域喷氨量,确保各区域氨氮摩尔比维持在最优区间,同时将氨气逃逸浓度控制在3ppm以下,实现脱硝效率与运行成本的平衡。

3. 2 自适应喷氨算法设计

自适应喷氨算法采用“模糊控制+PID调节”的复合控制结构,具备强适应性和高控制精度。算法首先通过模糊控制模块处理多源输入参数,将氮氧化物浓度偏差、浓度变化率、烟气流量及催化剂运行时间等参数转化为模糊量,基于预设的模糊规则库生成初步喷氨量调节指令。模糊规则库通过大量现场运行数据训练优化,涵盖不同负荷、不同燃烧工况下的控制策略^[3]。PID调节模块作为闭环控制核心,以模糊控制输出作为初始值,根据实时监测的氮氧化物浓度与设定值的偏差,通过比例、积分、微分运算对喷氨量进行精细校正,消除静态误差。算法具备自适应学习能力,通过梯度下降算法实时优化模糊规则库和PID参数,当催化剂活性衰减导致反应效率下降时,算法可自动调整氨氮摩尔比设定值,维持脱硝效率稳定。算法内置抗干扰模块,可识别并过滤燃烧波动、测量噪声等干扰信号,确保调节指令的稳定性。

3. 3 喷氨执行系统的优化改造

喷氨执行系统优化改造围绕“分区控制、精准调节、稳定运行”目标展开,主要包括喷氨格栅改造、执行机构升级及管路优化三部分。喷氨格栅改造将原有整体式格栅拆分为多个独立分区格栅,每个分区配备独立的喷氨支管和流量调节阀,分区数量根据反应器截面尺寸和烟气分布特性确定,确保每个分区覆盖对应的测量区域。执行机构升级采用智能电动调节阀替代传统气动调节阀,电动调节阀具备调节精度高(调节精度 $\leq 0.5\%$)、响应速度快(全行程响应时间 ≤ 2 秒)的优势,支持4-20mA模拟信号和数字信号双重控制,可精准接收算法输出的调节指令。管路系统优化采用变径设计,根据各分区喷氨量需求匹配不同管径的支管,减少管路阻力损失;在支管入口设置过滤器和压力传感器,实时监测管路压力和过滤状态,避免杂质堵塞喷嘴。同时,对喷嘴进行优化选型,采用螺旋雾化喷嘴,确保氨气雾化效果好,与烟气混合均匀,提升反应效率。

3. 4 方案实施的安全与可靠性设计

方案实施的安全与可靠性设计贯穿系统全生命周期,从硬件选型、软件设计到运行保障形成完整体系。硬件安全方面,所有电气设备均采用防爆设计,符合火电厂防爆等级要求,喷氨管路采用316L不锈钢材质,具备耐腐蚀性能,避免氨气泄漏引发安全事故;系统设置多重监测报警装置,包括氨气泄漏检测仪、温度超限报警器及压力异常报警器,当监测参数超出阈值时,立即触发声光报警并上传至DCS系统。软件可靠性设计采用容错机制,当单个测量探头故障时,系统自动采用相邻测点数据插值计

算, 确保控制策略正常执行; 具备数据备份功能, 定期将运行数据备份至云端, 避免数据丢失。运行保障方面, 制定完善的运维规程, 包括定期校准测量探头、检查执行机构运行状态、清理喷氨喷嘴等; 设置手动控制模式作为备用, 当自动控制系统故障时, 操作人员可通过手动模式调节喷氨量, 确保脱硝系统连续运行, 避免环保排放超标。

4 方案在火电厂的应用实例

4.1 应用场景概况

本次应用实例选取塔山发电有限公司装机容量为660MW的燃煤火电厂, 该电厂采用单炉膛、四角切圆燃烧方式, 配套SCR脱硝系统为高含尘布置形式, 反应器尺寸为 $10\text{m}\times 8\text{m}\times 12\text{m}$, 配备两层蜂窝式催化剂, 设计脱硝效率 $\geq 85\%$, 出口氮氧化物浓度 $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。应用前该电厂脱硝系统存在明显问题, 锅炉负荷在300–660MW区间波动时, 出口氮氧化物浓度波动范围为 $40\text{--}70\text{mg}/\text{Nm}^3$, 频繁出现超标情况; 氨气逃逸浓度最高达到8ppm, 导致空预器压差持续升高, 每年需进行两次空预器清洗, 维护成本较高。该电厂燃煤为烟煤, 硫分含量为1.2%, 氮含量为0.8%, 燃烧工况受煤质波动影响较大, 对喷氨控制的适应性要求较高, 具备精准喷氨方案应用的典型场景特征, 可充分验证方案在复杂工况下的适用性。

4.2 方案实施过程

方案在塔山发电有限公司660MW机组的实施过程分为前期准备、系统安装、调试优化三个阶段, 总工期为45天。前期准备阶段耗时10天, 完成现场勘查、参数采集及方案细化, 通过三维扫描获取反应器内部结构尺寸, 确定8个测量分区和对应的测点位置, 根据原有喷氨系统参数完成格栅改造方案设计。系统安装阶段耗时20天, 在停机窗口期内完成测量探头安装, 每个分区布置2个入口测点和1个出口测点, 共计24个测量探头; 对原有喷氨格栅进行改造, 拆分为8个独立分区, 更换16台智能电动调节阀, 优化喷氨管路并安装压力传感器和过滤器; 完成数据传输线路铺设和现场控制单元安装, 实现与电厂DCS系统对接。调试优化阶段耗时15天, 进行系统联调, 校准测量探头精度, 通过改变锅炉负荷和煤质参数, 测试自适应喷氨算法的调节性能, 优化模糊

规则库和PID参数, 确保在不同工况下均能稳定控制; 开展72小时连续试运行, 监测各项指标达标后正式投入运行。

4.3 应用效果量化分析

方案在塔山发电有限公司660MW机组投入运行后, 通过连续3个月的运行数据监测, 实现显著的环保效益和经济效益, 各项指标量化分析如下。脱硝效率方面, 在锅炉负荷300–660MW区间内, 脱硝效率稳定维持在88%–92%, 较应用前提升3–5个百分点; 出口氮氧化物浓度波动范围缩小至 $42\text{--}48\text{mg}/\text{Nm}^3$, 未出现一次超标情况, 达标率由应用前的82%提升至100%。氨气控制方面, 氨气逃逸浓度稳定控制在2–3ppm, 较应用前降低62.5%–75%, 空预器压差上升速率由每月0.8kPa降至每月0.2kPa, 预计空预器清洗周期可延长至每年一次, 单次清洗成本约80万元, 每年可减少维护成本80万元^[4]。氨耗量方面, 单位发电量氨耗量由应用前的0.85kg/MWh降至0.72kg/MWh, 该电厂年发电量约 $3.3\times 10^9\text{kWh}$, 每年可减少氨耗量429吨, 按氨气单价3000元/吨计算, 每年可节约氨耗成本128.7万元, 整体效益显著。

5 结束语

多点实时测量技术脱硝精准喷氨方案在火电厂的应用成效显著, 有效解决了传统喷氨控制难题, 提升了脱硝效率, 降低了氨气逃逸与氨耗量, 带来可观的经济与环保效益。该方案为火电厂脱硝系统优化提供了成功范例, 未来可进一步推广应用, 助力火电厂实现绿色、高效发展, 推动电力行业环保水平迈向新台阶。

[参考文献]

- [1]唐坚, 尹二新, 路光杰, 等. 大数据技术在火电厂SCR脱硝系统中的应用[J]. 电力大数据, 2020, 23(2): 32–37.
- [2]覃洋, 林远征. 网格取样法在火电厂脱硝系统中的应用[J]. 电气技术与经济, 2023(4): 105–109.
- [3]刘光华. 火电厂烟气脱硝工艺方案技术经济比较研究[J]. 矿业装备, 2021, (02): 50–51.
- [4]张志军. 火电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘技术研究[J]. 河南科技, 2021, 40(09): 125–127.