

# 火电厂脱硝系统 CEMS 环保参数可靠性提升优化

王丽 雍鹏

宁夏枣泉电发有限责任公司, 宁夏 银川 750000

[摘要]文中通过对宁夏枣泉发电有限责任公司 660MW 机组脱硝 CEMS 系统运行中存在的问题进行分析研究,从就地设备、环保设备、控制策略、定期维护四个方面进行了改造和优化,并取得了较好的安全效益和经济效益。可为同类型机组的脱硝 CEMS 系统可靠性提升优化提供相应的思路。

[关键词]脱硝 CEMS 系统; 多点取样; 可靠性定期维护; 前馈控制; 串级控制

DOI: 10.33142/hst.v7i9.13493

中图分类号: X701.7

文献标识码: A

## Reliability Improvement and Optimization of CEMS Environmental Parameters for Denitrification System in Thermal Power Plants

WANG Li, YONG Peng

Ningxia Zaoquan Electric Power Generation Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750000, China

**Abstract:** This article analyzes and studies the problems in the operation of the 660MW unit denitrification CEMS system of Ningxia Zaoquan Electric Power Generation Co., Ltd. It has been transformed and optimized from four aspects: on-site equipment, environmental protection equipment, control strategy, and regular maintenance, and has achieved good safety and economic benefits, which can provide corresponding ideas for improving and optimizing the reliability of denitrification CEMS systems for similar units.

**Keywords:** denitrification CEMS system; multi point sampling; regular reliability maintenance; feedforward control; cascade control

### 1 概述

宁夏枣泉发电有限责任公司 660MW 机组锅炉采用北京 B&W 公司设计制造的平衡通风、超超临界参数、一次再热、螺旋炉膛的 SWUP 型直流锅炉,脱硝、脱硫环保设备同期建设、同期投入使用。脱硝系统采用选择性催化还原法(SCR)脱硝装置,分 A、B 两侧布置于省煤器和空预器之间。脱硝催化剂采用蜂窝式催化剂,还原剂采用液氨加热蒸发稀释后的物质,通过 A、B 两侧各 12 个喷氨口喷入烟道,在催化剂的作用下,选择性地去除烟气中多余的氮氧化物。在脱硝系统的进出口处各设一采样旁路,烟气通过采样旁路引向空预器,在采样旁路管道上设置有 CEMS 采样探头,烟气样气通过取样管道及探头进入气体分析仪。

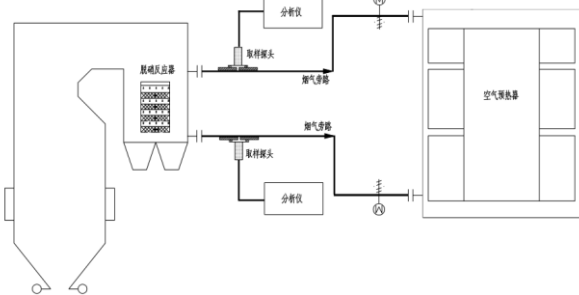


图 1 锅炉及脱硝系统的布置图

在脱硝系统 A、B 两侧的进口和出口烟气旁路处各配置有一套 CEMS 气体分析仪,用于监测烟气中的一氧化氮、氮氧化物、氧量等环保参数,并将监测到的参数送入 DCS

控制系统,DCS 控制策略根据进出口氮氧化物浓度,控制 AB 侧氨/空气混合气自动调阀的开度,从而达到控制脱硝出口氮氧化物浓度的目的。

脱硝系统所用 CEMS 分析仪为西克麦哈克的 S710 型在线烟气连续监测系统。该系统由烟气取样系统、烟气预处理单位、反吹单元、校准单元、烟气分析仪表和系统控制 PLC 等 6 部分组成,脱硝 CEMS 分析系统组成如下图所示:

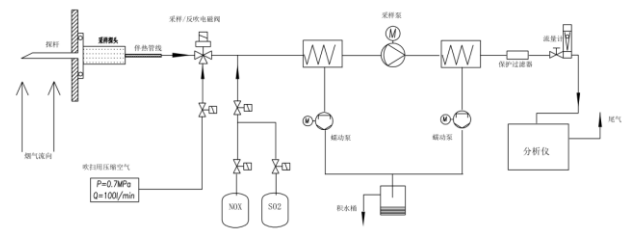


图 2 S710 内部结构及采样探头处布置图

### 2 目前存在问题

脱硝 CEMS 系统自 2017 年底投入使用后,由于在系统整体设计、设备安装施工、设备可靠性规划、日常运维等方面存在一些问题,导致脱硝 CEMS 系统在实际运行过程中缺陷率较高、设备可靠性较差,很难长周期安全稳定运行。经过对投产以来的缺陷和设备故障原因分类分析,主要有以下四个方面的问题。

#### 2.1 烟气测量取样问题

(1) 采样探头处探杆较短、倾斜角度较小,无法有效地阻止烟气中的微小粉尘进入探头滤芯内,易造成采样探头

处堵塞积粉尘,影响采样流量,从而导致参数测量不准。

(2) 采样管线锅炉从 24 米层引至 0 米,管线路径较长,参数反映较为缓慢,不能及时反映参数的变化,使环保参数控制存在大延迟和大惯性,不利于环保参数的控制。

(3) 锅炉内的多点取样管存在堵塞和磨损的现象,取样无法满足均匀性的要求;多点取样口位于烟道斜坡处,锅炉此处积灰较为严重。

## 2.2 环保分析仪故障

(1) 分析仪零点及满量程点漂移,造成测量不准;

(2) 分析仪气室污染造成的测量不准(粉尘和冷凝水),参数波动较大;

(3) 冷凝器、采样泵、蠕动泵、氧电池、吹扫电磁阀等重要设备寿命较短,易损坏造成参数测量不准。

(4) 探头至分析仪处管路堵塞造成进入分析仪气流量较低,影响环保参数测量。

(5) 分析仪电源采用单回路供电,并且控制柜风扇电源与分析仪共用一路电源,当控制柜风扇发生短路时,会造成分析仪电源回路故障。

## 2.3 环保指标控制策略及控制器参数设置不当

(1) 脱硝出口环保参数控制采用前馈加反馈的控制策略,其中前馈采用烟气流量对应的曲线,反馈控制根据脱硝出口  $\text{NO}_x$  含量进行闭环控制。由于烟气流量波动较大,导致供氨量波动较大,增加了系统的调节时间。

(2) 前馈控制和反馈控制输出对整个供氨量的占比分配不合理,前馈控制回路占比很大,导致反馈控制回路中供氨量的输出较低,使得整个控制回路失去了控制裕度,从而导致控制效果不佳。

(3) CEMS 分析仪反吹保持作为整个控制系统的扰动量之一,其持续时间长达 8 分钟,在这期间供氨调阀的开度保持反吹前开度不变,喷氨量在反吹保持期间可能会存在超调或欠调。当反吹结束后,出现调阀大幅开关的现象,环保参数随之波动。

## 2.4 环保设备定期维护不利

脱硝系统烟气中含有大量燃烧后的细微灰尘颗粒,易在取样的各个设备节点处聚集,从而造成测量不准、数据失真的现象;同时由于 CEMS 分析仪属于精密设备,对样气品质和工艺参数都有较高的要求,当样气品质和工艺参数不达标时,也会造成设备故障或测量结果失真。在日常设备运维过程中,对于规程中要求的定期工作,均可按周期进行;然而对于一些规程中未提及的工作,如耗材及易损件更换、旁路反吹、设备寿命跟踪及更换等,未明确相应的工作周期,未能做到防患于未然,而只是出现问题后的亡羊补牢而已。

## 3 改造及优化措施

### 3.1 烟气测量取样管道改造

针对脱硝 CEMS 系统烟气测量取样中存在的问题进行

分析和研究,为了保证脱硝 CEMS 系统取得稳定均匀且具有代表性的烟气样气,同时又能减少因采样系统原因造成的脱硝环保参数测控失准,对脱硝 CEMS 系统的整个烟气取样管道进行了改造和优化。

优化多点采样位置和结构,减少取样管道堵塞。改造前多点采样管道布置在烟道的斜切角的位置,此处坡度较小,烟道内飞灰易积存,致使进入多点采样管道的烟气含灰量较大,从而易发生多点取样管道堵塞,造成烟气样气中断的现象;并且根据现场检查发现,每根多点取样的分支管朝向不统一,有顺着烟气流向的,也有逆烟气流向的,对于逆烟气流向的分支管更容易积灰堵塞。根据以上的检查和分析,现已将原多点取样管道从烟道斜切角处移至烟道垂直段,A、B 侧各有 7 根取样管垂直插入烟道内,每根取样管上开若干个取样口,取样口背着烟气流向布置,每根取样管道需牢固地固定在烟道两端,取样口处使用不锈钢材加装耐磨设施,A、B 两侧的 7 根取样管分别汇聚两侧的烟气旁路上。为了解决 7 根取样管道堵塞的现象,在每根取样管与母管汇聚处增加一路压缩空气,并配有相应的隔离阀和吹扫阀,可以在 CEMS 系统反吹的时,同时也对烟气旁路进行反吹,从而减少了烟气旁路堵塞断气的情况。

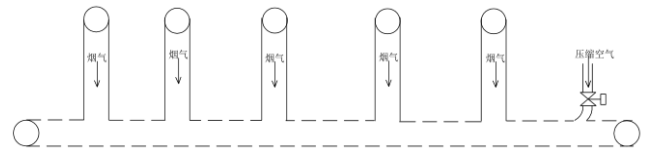


图 3 改造前多点取样管

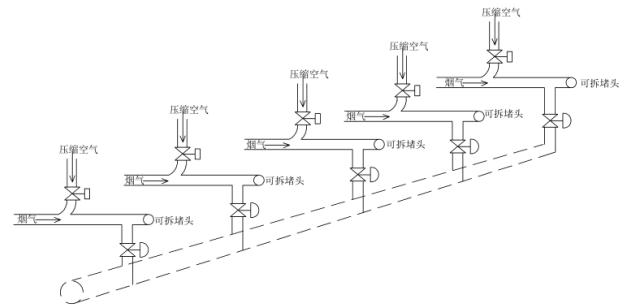


图 4 改造后多点取样管

缩短采样管线,提升系统测量反映时间。改造前脱硝 CEMS 分析仪放置在锅炉 0 米的小室内,烟气样气需从锅炉 24 米旁路处抽取后,由采样泵输送至分析仪。由于管线较长,分析仪测量结果无法保证测量结果的快速性和实时性,同时采样泵也长期运行在高负荷工况下,增加了采样泵的故障率,降低了整个系统的可靠性。将脱硝 CEMS 分析仪由 0 米移至锅炉 24 米层,将采样管线由原来的 20 多米减少至 5 米以内,有效提升了分析仪测量结果的快速性和实时性,也大幅度减少了采样泵的故障率,从而提升了整个系统的可靠性和准确性。

加长探头探杆,增加探头倾斜角,提升探头积灰自清

理能力，减少探头处堵塞。如图所示，改造前探头探杆长度为 50cm，并且与烟气旁路管道垂直安装，当探杆内积灰时，无法自动及时清理积灰。现将探头处探杆长度增加到 80cm，并且与旁路烟道成 30 度角安装，这样既增加附着积灰的探杆长度，积灰又可以在自身重力的作用下，沿倾斜角返回到旁路烟道中，起到自清理积灰的作用，从而减小了探头处堵塞的现象。

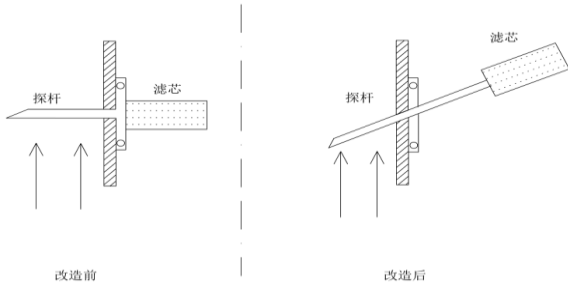


图 5 改造前后的探头探杆对比

### 3.2 CEMS 分析仪可靠性优化

脱硝 CEMS 分析仪控制柜在设计时，对于控制柜的电源系统和 PLC 控制系统的参数设置等方面存在一些未考虑到的因素，对于分析仪控制柜的安全稳定运行来说，这些都是隐患，所以对于控制柜的电源和 PLC 控制系统中的参数进行了改造和优化。

(1) 增加探头至气室之间的反吹频次。对分析仪反吹时间和反吹频次进行修改：反吹时间修改由原来的每次 8 分钟修改为 4 分钟，反吹频次由原来的每 8 小时改为 4 小时，即减少了时间，增加了反吹频率，在反吹总时间不变的情况下，既可满足清理预算理管管线积灰的要求，又可减少反吹功能对 DCS 控制系统带来的扰动。

(2) 重新配置控制柜电源，采用两路冗余的 UPS 电源配置，并设置双电源切换装置。将分析仪电源、仪表电源和柜内风扇电源相互独立，最大程度地保证环保设备的电源与就地仪表电源区分开。

### 3.3 环保参数控制策略及 PID 参数优化

如图所示，原控制系统采用前馈加反馈的控制策略，前馈回路由烟气流量和原烟气 NO<sub>x</sub> 含量进行计算，得出一个喷氨流量前馈信号，该信号可以快速作用到喷氨调阀的输出 PID 控制器，使喷氨调阀在烟气流量变化时开始动作，可以削弱延时和惯性对系统带来的不利结果；反馈回路则是通过净烟气测量得到的 NO<sub>x</sub> 与设定值的偏差进行调节，前馈回路和反馈回路同时作用。前馈回路起到粗调作用，主要适应机组工况大幅变化时，环保参数也相应大幅变化的情况，此回路对喷氨流量的影响幅度占比较大；反馈回路主要是起到细调和修正作用，主要消除稳态时的系统误差，当机组运行工况变化不大时，实测环保参数偏离设定值时，主要是靠反馈回路的 PID 控制器改变喷氨流量来进行调节和修正的，此回路对喷氨流量的影响幅度占比较小。

在机组燃烧不稳定、燃煤煤种变化频繁时，原控制系统表现出的稳定性和鲁棒性不高。当机组工况大幅变化时，烟气流量确实会跟随工况相应的变化，但是由于此时锅炉炉膛压力、送风量和燃料量等基础控制系统也处于动态过程，使得烟气流量波动较大，从而造成原控制系统前馈回路输出波动较大，不利于控制系统的动态过程稳定，并且前馈回路输出的波动增加了系统的调节时间，影响控制系统调节的快速性指标；同时由于机组燃煤种类不固定，并且燃煤掺烧后，燃煤成份变化较大，反馈回路和前馈回路在调节裕量和喷氨量输出配比方面都不能实时与入炉煤的成分匹配，造成系统的调节裕量不足。针对原控制系统存在的以上问题，对控制策略进行了以下优化：

在原前馈信号中增加了总燃料量对应函数关系的模拟烟气流量，在机组实际运行中，特别是动态过程中，机组的总燃料量波动不大，使用机组总燃料量对应函数关系的模拟烟气流量，可以减少前馈信号波动引起的调节控制系统波动，削弱了前馈信号波动增加的调节时间和超调量。

调整前馈控制回路和反馈控回路的输出在喷氨总量中的占比。增加反馈回路在喷氨总量中的占比，同时适当减小前馈回路在喷氨总量中的占比，增加反馈控制回路的控制裕量，从而适应煤种变化对控制体系稳定性带来的不利因素。

反馈回路 PID 控制器优化为了变参数 PID 控制器，PID 的比例、积分、微分参数是由负荷指令对应的函数给出的，不同负荷下，PID 控制器的参数有所不同，可以更好的适应机组在不同工况下的调节性能，让控制更精准。

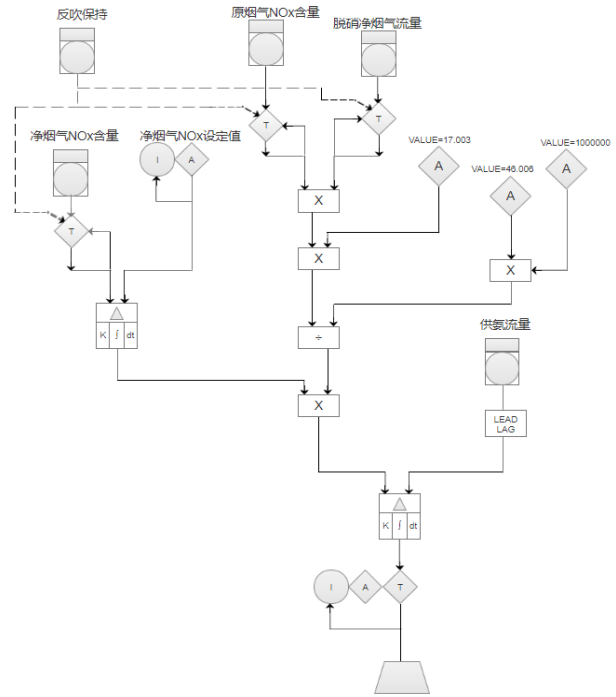


图 6 改造前自动控制逻辑



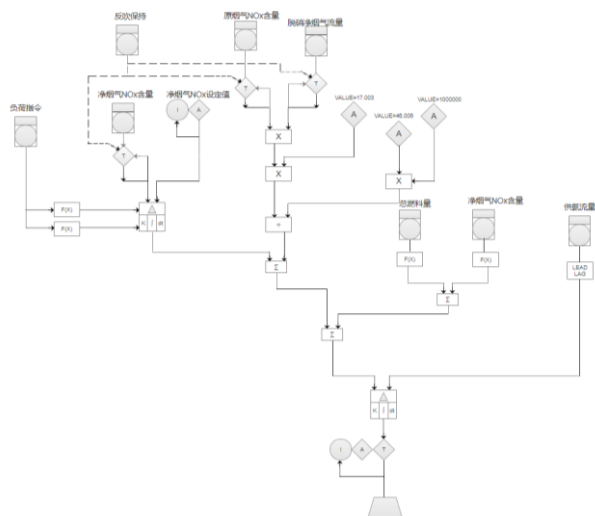


图7 改造后自动控制逻辑

### 3.4 定期工作有效合理开展

由于 CEMS 设备属于精密的仪器仪表,环境、工况、样气品质、样气流量、设备性能等因素都会影响仪表的正常运行,因此需要定期对此类精密仪表开展预防性维护工作,确保仪表性能处于最佳状态。

每天对分析仪状态、冷凝器制冷效果、加热器状态、冷凝水回收装置进行现场巡回检查,并且对 CEMS 小室内的温湿度、通风情况进行检查记录。每周对分析仪通标气进行测试,对于零点和满量程漂移的设备进行标定,确保分析仪全程测量误差满足要求。每 15 天对烟气取样旁路执行一次吹扫工作。对于每根取样管单独吹扫至少 5 分钟,通过检测吹扫隔离阀后的温度,判定取样管是否吹通,如吹扫后仍无法疏通的,可以使用长杆从每根取样管的末端插入进行疏通。取样管吹扫及疏通后,再使用压缩空气对汇总管进行吹扫,确保汇总管内不积存大量的灰渣,使得取样旁路可以正常运行。每 15 天测量一次氧电池的电压,记录衰减值,当衰减到正常电压 60%时,更换新的氧电池,更换后需通入 1%、6%、13%和 21%的氧标气进行验证。

每个月定期检查纤维滤芯的污染程度,对发灰的纤维滤芯进行更换,如纤维滤芯使用累计超过三个月,应更换新的滤芯;每个月对吹扫电磁阀阀芯的腐蚀情况、蠕动泵和采样泵电机发热及轴承润滑情况进行检查,对于损耗严重的吹扫电磁阀、采样泵、蠕动泵及时更换。每三个月对探头和探杆处进行一次清理和检查工作,紧固探头与管线之间的接头,更换新的陶瓷滤芯,清理探头支架的进气小孔,检查探杆的磨损和腐蚀情况,确保探头处各设备正常使用。每年需根据冷凝器的累计运行时间、制冷效果,对冷凝器补充冷媒,保证冷凝器温控正常运行。每年需结合分析仪的标定情况、缺陷数量、累计使用时间等因素,对分析仪气室的污染程度进行评估,利用机组停机时机,清理或更换分析仪的气室。

### 4 可靠性提升效果

宁夏枣泉电厂脱硝 CEMS 系统从就地设备、环保在线监测分析仪、环保指标控制策略等方面着手进行改造,从运行、维护和设备管理三个层面上提升脱硝系统的可靠性问题。改造后系统运行情况平稳,环保指标可控可靠,取得了良好的效果。日常的缺陷数量下降较为明显,除老化问题以外,设备很少发生缺陷和故障;由于定期工作开展较为扎实,设备运行状态明显好转,设备寿命也有了大幅度的提升;多点取样管道的改造,可以确保取得的样气均匀、混合充分,表征性较强,有效保证了脱硝出口 NOX 浓度与总排口 NOX 浓度一致;对控制策略的优化,使得整个控制回路处于一个较为合理和高性能的水平,对于各工况下的环保指标都能够实现较为节能、环保的控制,超调、欠调及控制回路无法投用的情况基本不存在。通过系列性的改造工作,多管齐下,使得设备的缺陷率下降、投用率提升,整个系统的可靠性和稳定性有了质的提升。

### 5 结语

脱硝环保指标的控制是一个系统性的工作,涉及环节较多,从就地设备、环保仪表和控制系统等都会对其影响,整个系统的可靠性提升,是需要设备管理、系统运行、设备维护三个方面共同作用的结果。通过对机组脱硝系统进行系列性的改造优化,使得机组的脱硝系统可以长周期安全可靠地运行。目前当机组在变负荷过程中,烟气流场会发生变化,氮氧化物浓度分布也会发生相应的变化,喷氨主路流量会根据控制策略进行调整,以应对氮氧化物浓度的变化,但是每个格栅处的喷氨量无法调整,所以在烟道内局部区域还是存在过喷和欠喷的情况,长此以往会造成催化剂的失效、空预器堵塞等问题。为了系统有更好的可靠性,后期可考虑对每个格栅的喷氨量进行精准控制,这样既可保证系统整体出口氮氧化物指标,也能兼顾每个格栅的喷氨量,减少局部喷氨量偏差,提升整体喷氨量精度,有效改善催化剂运行环境,防止空预器因喷氨过量的原因造成堵塞。

#### [参考文献]

- [1]张兰华,闫超. 1000MW 机组脱硝 CEMS 系统应用实践[J]. 湖南电力, 2015(6): 23.
- [2]李滨,杨阳. 电厂脱硝 CEMS 系统优化与改造[J]. 电工技术, 2020(2): 56.
- [3]孟坦,李峰. 火电脱硝 CEMS 预处理和控制系统优化及应用研究[J]. 节能论坛, 2016(11): 4.
- [4]马平,王小龙. 基于网格取样的 1000MW 火电机组脱硝 CEMS 系统优化改造[J]. 锅炉制造, 2020(3): 45.

作者简介:王丽(1991.3—),女,学历:本科,毕业院校:东北电力大学自动化系,目前职称:助理工程师,宁夏枣泉发电有限责任公司热控专业,主要从事火电厂热工控制工作。