火力发电厂超净排放脱硝优化控制

技术导则

Directives for optimal control of ultra-low emission denitration in fossil fuel power plant

|  |
| --- |
| （征求意见稿） |
|  |

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-  实施

中国电机工程学会   发布

T/CSEE xxx-2022

**CSEE**

**ICS   
CCS**

中 国 电 机 工 程 学 会 标 准

目  次

[前  言 2](#_Toc110326224)

[1 范围 3](#_Toc110326225)

[2 规范性引用文件 3](#_Toc110326226)

[3 术语和定义 4](#_Toc110326227)

[4 系统配置 5](#_Toc110326228)

[4.1 脱硝系统改造选型 5](#_Toc110326229)

[4.2 控制系统配置 7](#_Toc110326230)

[5 优化控制技术 7](#_Toc110326231)

[5.1 优化目标 8](#_Toc110326232)

[5.2 控制技术 8](#_Toc110326233)

[6 验收测试 9](#_Toc110326234)

[6.1 验收条件 9](#_Toc110326235)

[6.2 测试内容及要求 9](#_Toc110326236)

[6.3 验收测试资料 11](#_Toc110326237)

[附　录　A （资料性） 脱硝优化控制系统的软硬件性能测试 11](#_Toc110326238)

[附　录　B （资料性） 脱硝优化控制系统的控制性能测试 13](#_Toc110326239)

[附　录　C （资料性） 脱硝优化控制系统的验收表 14](#_Toc110326240)

前  言

本文件按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会热工自动化专业委员会技术归口。

本文件起草单位：西安热工研究院有限公司、华北电力大学、西安交通大学、华北电力科学研究院有限公司、中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司、电力规划设计总院、华电莱州发电有限公司、广东粤电大埔发电有限公司。

本文件主要起草人：XXX，XXX，XXX。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1 号，100761，网址：http：//www.csee.org.cn，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

火力发电厂超净排放脱硝优化控制技术导则

1. 范围

本文件提供了火力发电厂超净排放脱硝优化控制系统配置、优化控制技术、验收与测试的技术性指导。

本文件适用于火力发电厂超净排放脱硝优化控制升级的技术改造，可作为脱硝优化控制系统选型、技术方案设计、测试与验收的指南。

1. 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。凡是注日期的引用文件，仅日期对应的版本适用于本文件；凡是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 21509 燃煤烟气脱硝技术装备

GB/T 22239 信息安全技术网络安全等级保护基本要求

GB/T 26863 火电站监控系统术语

GB/T 32156 燃煤烟气脱硝技术装备调试规范

GB/T 34340 燃煤烟气脱硝装备运行效果评价技术要求

DL/T 657 火力发电厂模拟量控制系统验收测试规程

DL/T 658 火力发电厂开关量控制系统验收测试规程

DL/T 659 火力发电厂分散控制系统验收测试规程

DL/T 701 火力发电厂热工自动化术语

DL/T 774 火力发电厂热工自动化系统检修运行维护规程

DL/T 1083火力发电厂分散控制系统技术条件

DL/T 1286 火电厂烟气脱硝催化剂检测技术规范

DL/T 1492.1-2016 火力发电厂优化控制系统技术导则 第1部分：基本要求

DL/T 1492.2-2016 火力发电厂优化控制系统技术导则 第2部分：协调及汽温优化控制系统验收测试

DL/T 1695火力发电厂烟气脱硝调试导则

DL/T 5175 火力发电厂热工控制系统设计技术规定

DL/T 5190.4 电力建设施工技术规范 第4部分：热工仪表及控制装置

DL/T 5190.5 电力建设施工技术规范 第5部分：管道及系统

DL/T 5480火力发电厂烟气脱硝设计技术规程

T/CEEMA 005-2022 煤电机组自动控制系统节能、供热和灵活性改造技术导则

1. 术语和定义

GB/T 21509、GB/T26863和DL/T701界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

超净排放ultra-low emission

火力发电厂排放水平达到超清洁状态的污染物排放标准。

优化控制系统 optimized control system,OCS

除PID等控制算法外，还采用自适应控制、预测控制、智能控制等先进控制算法，以及模型在线辨识和建模等实用化的技术方法，达到被控目标的单个参数最佳，或多个参数综合优化的控制系统。

[来源：DL/T 1492.1-2016，3.1]

分散控制系统distributedcontrolsystem；DCS

采用计算机、通信和屏幕显示技术，实现对生产过程的数据采集、控制和保护等功能，利用通信技术实现数据共享的多计算机监控系统，其主要特点是功能分散，操作显示集中、数据共享。根据具体情况也可以是硬件布置上的分散。

[来源：DL/T 701-2012，7.2]

智能控制器intelligent controller

具备多模式、变结构、变参数等特点，应用模糊逻辑、神经网络、专家系统、遗传算法等智能算法以及自适应控制、自组织控制和学习控制等技术，实现发电过程的智能信息处理、智能信息反馈和智能控制决策的自动控制器。

可编程逻辑控制器 programmable logic controller，PLC

用于顺序控制的专用计算机，通过编程系统，利用布尔逻辑或继电器梯形图等编程语言来改变顺序控制逻辑。目前，可编程逻辑控制器可根据需要扩展模拟量控制功能（国外也称PAC），配置有多个输入和输出装置，可承受更宽的温度变化范围，更苛刻的电气噪声、振动和冲击等。

[来源：DL/T 701-2012，4.69]

脱硝效率denitration efficiency

经脱硝反应装置脱除的NOx量与原烟气中所含NOx量的百分比。

[来源：DL/T 5480-2013，2.0.3]

NOx排放浓度 NOx emission concentration

每立方米烟气中所携带的NOx的含量（以NO2计）（标准状态，3%O2-燃油机组；6%O2-燃煤机组；15%O2-燃机）（mg/m3）。

[来源：DL/T 5480-2013，2.0.4]

氨逃逸 ammonia-slip

脱硝反应装置出口烟气中氨的质量与烟气体积（101.325 Pa、0℃，干基，过量空气系数1.4）之比。

[来源：DL/T 1286-2013，3.21]

可用率 available rate

在外部条件满足要求、系统功能正常且性能达到考核指标的前提下，在规定的时间区间内，优化控制系统的正常运行时间与总考核时间的比值。

[来源：DL/T 1492.1-2016，3.5]

1. 系统配置
   1. 脱硝系统改造选型

在超净排放脱硝优化控制技术实施前，宜对脱硝系统部分装置及设备进行必要性的改造。

在任意工况下，当燃用设计煤种（包括校核煤种）时，改造后的脱硝系统脱硝效率不低于设计效率，并宜留有一定裕度，NOx排放浓度、氨逃逸率、压降及烟气流经过反应器的温度变化都应小于设计值。

在超净排放脱硝优化控制技术实施前，宜对制氨系统相应装置及设备进行改造，改造选型宜包括下列内容：

1. 制氨系统若为尿素水解系统，在任意工况下，改造后水解反应器内的尿素溶液浓度达到40%～50%，气液两相平衡体系的压力约为0.48MPa～0.6 MPa,温度约150℃～170 ℃。
2. 制氨系统若为尿素热解系统，尿素溶液绝热分解室中的喷枪布置均匀，宜采用浮子流量计，在任意工况下，浮子流量计的误差不超过1.5%FS（FS：Full Scale，量程范围），使用量程范围保持在量程的1/4～3/4段内。
3. 每台水解反应器出口或热解炉出口至SCR反应器管道应配有1套测量装置及相应的调节阀门，宜采用一拖一控制方式，实现两侧反应器用氨量及每个喷射器的尿素溶液的独立控制。
4. 制氨系统若为液氨系统，在任意工况下，液氨系统应采用纯度为99.8%的氨，存储压力容器应保证具有严格的安全和防火措施。
5. 在液氨蒸发器配置的气氨缓冲槽，在任意工况下，均应提供压力稳定的气氨，供氨压力范围应约0.3MPa～0.35MPa。
6. 气氨输送管道应进行伴热保护，防止空气冷凝结晶，保证氨喷射系统前的温度不低于300℃。

在超净排放脱硝优化控制技术实施前，宜对氨/空气喷雾系统相应装置及设备进行改造，氨/空气喷雾系统的每一供应箱应安装一个节流阀及节流孔板，使氨/空气混合物在喷雾管格子均匀分布。

在超净排放脱硝优化控制技术实施前，宜对反应器相应装置及设备进行改造，宜在SCR反应器进口配置NOx、O2、温度监视分析仪，在SCR反应器出口配置NOx、O2、NH3监视分析仪，监视氨逃逸浓度小于设定值，超限则报警并自动调节氨注入量，确保氨逃逸体积分数不高于3×10-6（标准状态，干基，过量空气系数1.4）。

在超净排放脱硝优化控制技术实施前，宜对催化剂相关装置及设备进行改造，反应器第一层催化剂入口烟气参数均匀性的要求为相对偏差不大于下述值：速度最大偏差为平均值的±15%；温度最大偏差为平均值的±10℃；氨氮摩尔比的最大偏差为平均值的±5%；烟气入射催化剂角度（与垂直方向的夹角）为±10°。

在超净排放脱硝优化控制技术实施前，宜对相应的仪控设备进行改造升级，升级后的仪控设备应具有先进性、高成熟度、高可靠性、耐用性、可操作性、可维护性和易扩展性，与整个电厂的自动化水平相适应。

电动执行机构选择带有限位开关和力矩开关的智能一体化产品；气动执行机构选择配气动三联件，具有限位功能，采用智能定位器；可采用三合一功能（电气转换功能、定位器功能、位置反馈功能）的一体化产品，并根据工艺要求配电磁阀和手轮，执行机构线性误差不超过0.5%，基本误差不超过±1%。

* 1. 控制系统配置

超净排放脱硝优化控制系统宜单独配置控制站执行脱硝优化实时快速控制功能，也可采用上位分析站和下位控制站的系统结构，分别实现复杂数据分析运算功能与实时快速控制功能。

对于单独配置控制站的超净排放脱硝优化控制系统宜由控制站、操作员站、网络交换系统、I/O模件和电源等组合构成。

控制站宜从常规控制系统控制器中直接获取过程参数，通过通信方式从常规系统中获取实时与历史数据，并通过常规控制系统输出指令至现场。

控制站能实现数据分析运算，运行参数优化，具体运行方式和参数定值的控制执行。

超净排放脱硝优化控制系统应以投切的方式接入常规脱硝控制系统，投入和退出不应对常规控制系统产生任何扰动。

单独配置的优化控制系统，是完整的软硬件系统，并保证一定的裕量。

超净排放脱硝优化控制系统宜采用智能DCS最小系统实现，并具备与常规DCS系统类似的组态、算法调用、算法开发、模型测试功能，借助组态调试环境和冗余机制，提升优化控制系统组态的透明度和运行的安全可靠性，且便于运行人员维护。

超净排放脱硝优化控制系统也可选择与现有机组DCS高度兼容的外挂控制系统、可编程逻辑控制器（PLC）、工控机等来实现，并配置标准化的通信接口和软件接口，方便与常规控制系统连接、加载高级算法，并提供必要的参数调整手段。

对于具有智能控制器或智能控制模块的控制系统，宜建立独立的脱硝优化控制站，充分应用易维护、易使用的智能算法模块进行脱硝优化控制。

超净排放脱硝优化控制系统的信息安全等级应与常规控制系统的信息安全等级一致。

1. 优化控制技术
   1. 优化目标

利用先进控制技术优化脱硝系统过程控制，实现脱硝优化闭环控制，可用率达99%以上。

超净排放脱硝优化控制改造后，火力发电厂超净排放NOx浓度小于50 mg/Nm3。兼顾机组环保排放性能和经济性能，机组NOx排放浓度设定目标范围宜为30mg/Nm3～50 mg/Nm3。

超净排放脱硝优化控制改造后，提高氨逃逸率控制水平，确保氨逃逸体积分数不高于3×10-6（标准状态，干基，过量空气系数1.4）。

* 1. 控制技术

在超净排放脱硝优化控制改造前宜进行流场优化调整，对NOx测量设备进行改造，可通过汽、水、风、烟参数的监测，对锅炉入炉煤质甚至成分进行实时估计分析，指导锅炉整体风量及配风分布，降低NOx生成质量浓度及其动态波动幅度，宜采用分区喷氨，实现精细化氨量调节，严格控制氨逃逸体积分数在3×10-6以下。

在超净排放脱硝优化控制改造前，宜对SCR进、出口NOx浓度采样测量设备进行改造，使其测量具备多点取样、快速取样、定期反吹等功能，提升脱硝控制系统的可靠性。

在传统氨氮摩尔比前馈控制、氨流量串级控制的基础上，宜采用神经网络软测量技术在线评估测量参数，可应用变结构预测控制、模糊控制、内模控制、史密斯预估、状态观测、相位补偿、跟踪微分器等先进控制算法，设计变结构、变参数的脱硝优化控制方案，实现脱硝过程闭环自动优化控制，控制目标应兼顾机组排放环保性、能耗物耗等方面的要求。

在超净排放脱硝优化控制组态过程中，宜充分采用变结构预测控制、补偿控制等智能控制算法模块进行脱硝优化控制组态，解决脱硝系统喷氨的大迟延、大惯性的难控问题，并充分利用跟踪微分器快速提取脱硝反应器出口NOx浓度变化趋势，克服脱硝系统内外部扰动。

在超净排放脱硝优化控制组态过程中，针对启停磨组、二次风门、SOFA风门、吹灰优化的影响，充分应用智能控制算法模块进行联动优化组态，克服负荷工况变动，磨煤机启停、吹灰过程等对脱硝优化控制系统带来的扰动，提高其运行稳定性。

超净排放脱硝优化控制改造完成后，机组NOx排放浓度控制水平有明显提升，在机组负荷变动率小于1%*P*e/min，且无明显内外扰动的负荷稳态工况下，机组NOx排放浓度控制偏差宜在±2 mg/Nm3～±4mg/Nm3范围内。

超净排放脱硝优化控制改造完成后，在机组变负荷动态工况下，机组NOx排放浓度控制偏差一般不高于±12 mg/Nm3。

1. 验收测试
   1. 验收条件

接入脱硝优化控制系统的全部现场设备（包括变送器、执行器、接线箱以及电缆等）的安装、调试质量符合DL/T 5190.5的要求。

烟气脱硝系统改造设备及装置的设计、制造、安装、调试、试验及检查、试运行、考核、最终交付符合GB/T 34340-2017、GB/T 32156-2015、GB/T 21509-2008以及DL/T 1695-2017的规定。

脱硝优化控制系统的硬件和软件应按照制造厂的说明书和有关标准完成安装和调试，并投入连续运行。

脱硝优化控制系统的供电电源品质及运行环境应符合制造厂的技术条件。

火电机组及辅机在试生产阶段中已经确定运行，脱硝优化控制系统随机组连续运行时间超过7天。

与脱硝优化控制系统有关的主、辅设备在机组运行范围内可控。

* 1. 测试内容及要求

超净排放脱硝优化控制测试的功能对象包括脱硝系统改造设备、网络系统、通信系统、控制设备，如涉及智能设备的还包括智能组件及平台。

脱硝优化控制系统与常规控制系统采用相同软硬件系统的，可进行本文件6.2.5-6.2.6规定的验收与测试，否则宜完成6.2所规定的全部测试内容。检测的项目、内容与要求、实际测试结果参附录A中表A.1进行记录。

超净排放脱硝优化控制测试范围包括软硬件及网络通信一致性测试，控制系统基本功能性测试，控制系统控制性能测试。

软硬件及网络通信一致性测试包括：

1. 电源性能测试。电源、接地系统满足DL/T 5175与DL 5190.4中规定的技术要求。
2. 控制计算单元性能测试。控制器处理周期不大于500ms，控制器最大负荷率不大于20%，每组冗余的控制计算单元均有一个处于主控状态、一个处于跟踪状态，冗余控制计算单元状态切换时，系统输出无跳变。
3. 通信及I/O系统性能测试。I/O系统开关量输入信号查询电压不低于24V，模拟量输入信号精度不低于0.2%，模拟量输出信号精度不低于0.2%，并满足DL/T 659中相关要求。
4. 数据运算与记录能力测试。最大逻辑页面的组态运算能力；最大模拟量计算模块的运算能力；模拟量信号快速变化时的数据记录能力。
5. 通信能力测试。控制站与常规控制系统的信号通信采集周期不大于1s，通讯带宽留有余量，且余量不宜小于数据传输峰值的20%。
6. 通信响应测试。在常规控制系统侧建立一路正弦信号输出，通过通信方式输入脱硝优化控制系统侧，脱硝优化控制系统将信号原样通过通信方式返回常规控制系统侧，应在常规控制系统侧建立发出和收到的信号趋势，并建立逻辑，统计两者差别过大的次数。
7. 信息安全管理遵循GB/T22239信息系统安全等级保护基本要求。
8. 系统抗干扰能力满足DL/T 659中规定的抗干扰要求。

控制系统基本功能性测试包括：

1. 系统设备涉及DCS系统的应符合DL/T 659、DL/T 774、DL/T 1083的验收要求。
2. 功能组开关量控制部分应符合DL/T 658验收要求。
3. 模拟量调节回路应符合DL/T 657验收要求。
4. 使用智能设备的应能达到智能控制的设计要求，实现对脱硝系统进行优化分析并完成参数自适应优化调整，保证控制参数准确。

超净排放脱硝优化控制性能测试包括：

1. 对控制回路进行投退试验、扰动试验以及变负荷运行试验，获得优化控制系统在稳定工况、大幅扰动工况以及变负荷工况下的运行控制性能。在测试规程中可不断调整机理模型、控制策略及控制参数，使脱硝系统各参数和性能指标达到设计保证指标，宜包括：脱硝效率不低于原有机组优化前脱硝效率、NOx排放浓度不高于50mg/Nm3且NOx排放控制水平较原有机组有明显提升、氨逃逸体积分数在3×10-6以下等。试验结果按附录B中表B.1进行记录,试验后出具试验报告并附上试验曲线。
2. 优化控制系统投退试验。在相同的NOx排放浓度设定值下，机组采用常规脱硝控制系统与超净排放脱硝优化控制系统运行相同的时间，定时详细记录脱硝系统的运行情况，包括NOx排放浓度、氨逃逸率、实际脱硝效率。
3. 扰动试验。在机组负荷较稳定情况下进行扰动试验，定时详细记录优化控制回路投入后脱硝系统的运行情况，包括NOx排放浓度、氨逃逸率、实际脱硝效率、NOx排放调节峰值时间、NOx排放控制调节时间、NOx排放超调量。
4. 变负荷运行试验。在设定NOx排放浓度和设计脱硝效率下，机组宜按照一定的速率在50%～60%*Pe*、75%～85%*Pe*和90%～100%*Pe*等负荷段变负荷运行（具体负荷段根据机组运行情况决定），定时详细记录优化控制回路投入后脱硝系统的运行情况，包括NOx排放浓度、氨逃逸率、实际脱硝效率、NOx排放调节峰值时间、NOx排放控制调节时间、NOx排放超调量。
5. 在系统性能满足要求的前提下，记录脱硝优化控制系统投入与退出的历史数据，可在常规控制系统中设置开关量信号自动记录，以168h为周期统计脱硝优化控制系统的可用率，可用率应达到99%。
   1. 验收测试资料
      1. 验收资料包括脱硝系统设备改造说明和脱硝优化控制系统选型说明、控制系统功能设计说明，如脱硝系统优化控制软硬件及网络设备配置及清册、控制系统设计方案及逻辑说明等。
      2. 超净排放脱硝优化控制过程中涉及设计变更及逻辑修改应有文档记录并保存。
      3. 验收试验单包括设备启动/停止允许条件、优化控制回路投退允许条件等内容，试验完成后，有调试单位、监理单位（如有）、运行单位人员签名。
      4. 技术升级改造后，测试单位出具测试及投运报告。测试及投运报告包括设备概况、控制说明、控制系统测试投运过程概述、投运过程中主要参数记录曲线、结论和存在问题。
      5. 验收参照附录C中表C.1进行记录。
6. （资料性）  
   脱硝优化控制系统的软硬件性能测试

软硬件性能测试记录见表A.1

* 1. 软硬件性能测试记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 测试项目 | 测试内容与要求 | 实际测试结果 |
| 1 | 供电电源的冗余能力测试 | 在两路电源供电的情况下，停用其中任意一路电源，应不影响整个装置的运行。 |  |
| 2 | 控制计算单元的冗余能力测试 | 每一组冗余的控制计算单元均有一个处于主控状态、一个处于跟踪状态（可以包括优化控制器和常规控制系统的冗余）。主控状态的控制计算单元停用后，跟踪状态的控制计算单元应立即切换至主控状态，且系统输出无跳变。 |  |
| 3 | 通信网络数据传输能力测试 | 控制站与常规控制系统之间的通信满足不大于1s的实时通信能力。 |  |
| 4 | I/O系统设备性能测试 | 开关量输入信号查询电压应不小于24V，模拟量输入信号精度大于0.2%,模拟量输出信号精度大于0.2%。 |  |
| 5 | 抗射频干扰能力试验 | 关闭机柜门，用射频干扰源（对讲机通话）对优化控制系统进行干扰测试，满足DL/T 659中规定的相关要求。 |  |
| 6 | 可用率测试 | 以168h为周期统计优化控制系统的可用率，应达到99%。 |  |

1. （资料性）  
   脱硝优化控制系统的控制性能测试

控制性能测试记录见表B.1

表B.1 控制性能测试记录表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 投退试验 | | | | 扰动试验 | | | 变负荷运行试验 | | |
| 指标参数 | 参考指标 | 实际值 | 签名/日期 | | 参考指标 | 实际值 | 签名/日期 | 参考指标 | 实际值 | 签名/日期 |
| NOx排放浓度mg/Nm3 | ＜50 |  |  | | ＜50 |  |  | ＜50 |  |  |
| 氨逃逸率 | ＜3×10-6 |  |  | | ＜3×10-6 |  |  | ＜3×10-6 |  |  |
| 脱硝效率 | 设计值 |  |  | | 设计值 |  |  | 设计值 |  |  |
| NOx排放调节峰值时间s |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| NOx排放控制调节时间s |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| NOx排放超调量mg/Nm3 |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| 试验曲线记录 |  | | |  | | | |  | | |
| 测试方签字： | | | | | | | | | | |
| 业主方签字： | | | | | | | | | | |

1. （资料性）  
   脱硝优化控制系统的验收表

脱硝优化控制系统验收表见表C.1

表C.1 脱硝优化控制系统验收表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 发电公司： 机组： | | | | |
| 序号 | 项目名称 | 验收项目与内容 | 结论 | 备注（对不合格项目的描述） |
| 1 | 软、硬件配备情况 | 硬件配备情况 | □合格 □不合格 |  |
| 软件配备情况 | □合格 □不合格 |  |
| 2 | 控制性能测试 | 投退试验 | □合格 □不合格 |  |
| 扰动试验 | □合格 □不合格 |  |
| 变负荷运行试验 | □合格 □不合格 |  |
| 3 | 人员培训与资料交接 | 人员的培训 | □合格 □不合格 |  |
| 资料的交接 | □合格 □不合格 |  |
| 业主签字： 日期： | | | | |
| 脱硝优化控制系统供应方签字： 日期： | | | | |