

ICS XXXXXX

CCS X XXX

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—20XX

石化行业催化裂化再生烟气氮氧化物深度 净化技术规范

Specification for Advanced Purification of NO_x from Catalytic Cracking
Regeneration Flue Gas in the Petrochemical Industry

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 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

4 总体要求 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 排放性能要求 2

 4.3 协同处理要求 3

5 工艺设计 3

 5.1 工艺选择 3

 5.2 主要设备材料要求 6

 5.3 仪表与控制系统 6

 5.4 辅助系统要求 6

6 检测与监测 6

 6.1 监测点位与频次 6

 6.2 监测方法 7

 6.3 数据记录与管理 7

7 运行维护管理 7

 7.1 人员要求 7

 7.2 操作规程 7

 7.3 维护保养 7

 7.4 应急管理 7

前 言

本文件按照 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》的规定起草。

本文件依据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国大气污染防治法》等法律法规，为防治环境污染、推动石化行业绿色低碳发展而制定。

本文件规定了石化行业催化裂化装置再生烟气氮氧化物深度净化工程的设计、施工、验收、运行和维护的技术要求。

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：中国石油石油化工研究院、×××××、×××××。

本文件主要起草人：唐中华、巫树锋、冯小童、蒲欣、王玉斌

石化行业催化裂化再生烟气氮氧化物深度净化技术规范

1 范围

本文件规定了石化行业催化裂化装置再生烟气氮氧化物深度净化的总体要求、工艺设计、检测与监测、运行维护管理等内容。

本文件适用于石化企业催化裂化装置（含常规 FCC、重油 RFCC）再生烟气氮氧化物深度净化工程的设计、施工、验收、运行及维护；现有催化裂化装置再生烟气氮氧化物净化系统的升级改造与运行管理，参照本规范执行。

本文件不适用于催化裂化装置其他工艺环节（如分馏、稳定系统）的氮氧化物治理，也不适用于采用臭氧氧化法的净化工程。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期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 150	压力容器
GB 3095	环境空气质量标准
GB 16297	大气污染物综合排放标准
GB 18597	危险废物贮存污染控制标准
GB 18598	危险废物填埋污染控制标准
GB 31570	石油炼制工业污染物排放标准
GB 50160	石油化工企业设计防火标准
HJ 75	固定污染源烟气（SO ₂ 、NO _x 、颗粒物）排放连续监测技术规范
HJ 76	固定污染源烟气（SO ₂ 、NO _x 、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法
HJ 1131	固定污染源废气 氮氧化物的测定 便携式紫外吸收法
TSG 21	固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

催化裂化再生烟气 FCC Regeneration Flue Gas

石油烃类原料在催化剂作用下进行裂化反应后，失活催化剂在再生器中通过烧焦恢复活性过程中产生的烟气。主要含氮氧化物（NO 为主，占比≥90%）、二氧化硫、颗粒物、二氧化碳等，具有高温（600-800℃）、高尘、成分波动大、烟尘硬度大的特点。

3.2

氮氧化物深度净化 Deep Purification of Nitrogen Oxides

采用选择性催化还原（SCR）、选择性非催化还原（SNCR）或其组合工艺等先进技术，将再生烟气中氮氧化物浓度降至 100mg/m³ 以下（标准状态干基，基准含氧量按GB 31570规定换算），高效实现催化裂化烟气的长期稳定达标，且脱硝效率、氨逃逸等关键指标持续满足本规范要求，且管控治理风险的治理过程。

3.3

脱硝效率 Denitrification Efficiency

将还原剂制备区输送的氨气与空气混合稀释后并输送至SCR反应器进口喷入烟道与烟气均匀混合的系统，一般包括稀释风机、氨/空气混合稀释装置、稀释氨输送管道、调节阀组、氨/烟混合装置等。

指脱硝装置入口与出口氮氧化物质量流量之差与入口氮氧化物质量流量之比，以百分比表示。按公式（1）计算：

$$\eta = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100 \quad (1)$$

式中：

η ——脱硝效率，单位为百分之一（1%）；

C_{in} ——脱硝装置入口烟气中氮氧化物折算到3%O₂浓度下的质量体积比浓度，单位为毫克每立方米（mg/m³，标准状态，干基）；

C_{out} ——脱硝装置出口烟气中氮氧化物折算到3%O₂浓度下的质量体积比浓度，单位为毫克每立方米（mg/m³，标准状态，干基）。

3.4**氨逃逸 Ammonia Slip**

指脱硝装置出口烟气中未参与反应的氨（NH₃）折算到3%O₂浓度下的体积比浓度，单位为微升每升（μL/L，标准状态，干基）或质量体积比浓度，单位为毫克每立方米（mg/m³，标准状态，干基）。

3.5**选择性催化还原（SCR） Selective Catalytic Reduction**

在催化剂作用下，利用还原剂（如氨或尿素）有选择性地与烟气中的氮氧化物（NO_x）发生化学反应，生成氮气和水的一种脱硝工艺。

3.6**选择性非催化还原（SNCR） Selective Non-Catalytic Reduction**

无需催化剂，在高温（850-1100℃）条件下，利用还原剂（如氨水或尿素溶液）有选择性地与烟气中的氮氧化物（NO_x）发生化学反应，生成氮气和水的一种脱硝工艺。

4 总体要求**4.1 一般规定**

催化裂化装置再生烟气氮氧化物净化系统应与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。系统设计应遵循技术先进、经济合理、安全可靠、维护简便的原则，并具备抗负荷波动能力。

4.2 排放性能要求**4.2.1 一般工况氮氧化物排放限值**

净化系统出口烟气中氮氧化物排放浓度（以NO₂计）限值应符合表1规定。

表1 氮氧化物排放浓度限值

项目	限制 mg/m ³ ,标准状态，干基，3%O ₂	备注
氮氧化物	≤ 100	普通排放
氮氧化物	≤ 50	超净排放

注：地方有更严格排放标准时，应执行地方标准

4.2.2 一般工况氨逃逸排放限值

净化系统出口氨逃逸浓度限值应符合表 2 规定。

表 2 氨逃逸浓度限值

工艺类型	限制	限制
	$\mu\text{L/L}$,标准状态,干基,3%O ₂	mg/m^3 ,标准状态,干基,3%O ₂
SCR	≤ 2.5	≤ 1.9
SNCR	≤ 8	≤ 6.1
SNCR+SCR 组合	≤ 3	≤ 2.3
注:地方有更严格排放标准时,应执行地方标准		

4.2.3 特殊工况排放要求

装置开停工、催化剂再生、原料重大切换等特殊工况下,氮氧化物排放浓度允许短时超标,应符合下列要求:

- 单次超标持续时间不应超过 24 h;
- 单全年累计超标时间不应超过 72 h;
- 单任何时段排放浓度最高不得超过 200 mg/m^3 。

企业应记录超标原因、时段、浓度及应对措施,并向当地生态环境主管部门备案。浓度超过 150 mg/m^3 或累计时间接近限值时,应立即采取措施削减负荷或停止相关操作。

4.3 协同处理要求

鼓励氮氧化物深度净化设施兼顾对二氧化硫、颗粒物、重金属等多污染物的协同净化功能。

5 工艺设计

5.1 工艺选择

5.1.1 通用原则

工艺选择应综合考虑装置规模、烟气条件、场地约束、投资运行成本及环保要求:

- 大型装置(处理量 >300 万吨/年)或入口 NO_x 浓度高于 800 mg/m^3 的装置宜优先选用 SCR 或 SNCR+SCR 组合工艺;
 - 中小型装置(处理量 ≤ 150 万吨/年)或场地受限、或改造项目可选用 SNCR 工艺或独立的模块化 SCR 工艺。
- 工艺选择应充分考虑烟气温度的匹配性:
- SCR 工艺需匹配催化剂最佳工作温度窗口;
 - SNCR 工艺需确保反应区温度在 850-1100℃;
 - 必要时需设置烟气换热或加热装置使烟气温度的匹配。

5.1.2 SCR 工艺设计要求

5.1.2.1 催化剂

宜优先选用机械强度高、比表面积大、模块化安装便捷的蜂窝式催化剂。其孔数、长度、壁厚等物理参数应根据烟气特性(如粉尘浓度、SO₂ 含量、有毒元素含量等)进行综合选型设计。

催化剂催化活性应确保在 FCC 装置最低负荷（如主风机最低转速限制或最低进料量）至最大连续烟气量（或设计最大烟气量）的全程工况下，均能满足脱硝系统出口 NO_x 排放限值及氨逃逸浓度的要求。

催化剂轴向抗压强度宜 $\geq 2.5\text{MPa}$ ，径向抗压强度宜 $\geq 0.8\text{MPa}$ ，以保证催化剂在安装、运行及清灰过程中结构完整。

催化剂的化学寿命（脱硝效率与氨逃逸保证值内）宜 ≥ 25200 小时，物理寿命宜 ≥ 9 年。催化剂供应商应提供寿命末期的性能保证。

催化剂应具备优良的抗中毒能力，其抗钒沉积性及抗碱金属（Na、K 等）性能均应符合设计规定，以应对再生烟气的复杂成分。

催化剂的设计装填量宜留有适当的裕度，通常为设计值的 110%~120%，以应对工况波动及催化剂活性自然衰减。

催化剂模块应含吊装和防踩踏结构，模块之间及模块与反应器之间应采用适宜的高性能密封材料，确保密封严密，防止烟气短路。

催化剂层数配置宜不少于 2 层，并预留一层备用空间，以便在催化剂活性下降时进行加层或更换，保障系统长期稳定运行。

除寿命时限要求外，催化剂出现以下任一情况应判定报废并及时更换：一是系统脱硝效率低于设计值 85%且无法通过工况调整恢复；二是同等工况下氨逃逸持续超标且无法优化；三是催化剂大面积粉化、堵塞、中毒失效。

5.1.2.2 反应器设计

反应器应采用自立式钢结构箱体，设计压力应充分考虑系统最大运行阻力及瞬间压力波动（如吹灰时），并留有至少 15%的裕量。

反应器内应设置导流板、整流格栅等装置，通过计算流体动力学（CFD）模拟优化，保证进入催化剂层的烟气气流分布均匀，其在脱硝催化剂正上方 50cm-100cm 处，烟道截面流速相对标准偏差应 $\leq \pm 15\%$ 。

反应器内部应光滑平整，避免出现烟气流动死区和涡流，在易积灰部位应设置防积灰装置。

反应器材质选择应适应操作温度及烟气腐蚀环境。当操作温度 $\leq 400^\circ\text{C}$ 时，主体可选用 Q345R；当操作温度 $> 400^\circ\text{C}$ 时，主体及内部支撑件宜选用 Q345RND、15CrMoG 等耐热钢。所有与烟气接触的焊缝应进行连续焊，保证密封性。

反应器外壳应设置完整的保温与防护层，保温层外壁温度不应超过 50°C （环境温度 25°C 时），同时应考虑防水、防腐。

反应器应设置必要的人孔门、检修门、观察窗、测温测压点以及起吊设施，便于喷氨格栅检修和清理，也便于脱硝催化剂的安装、检修、性能测试和日常维护。

5.1.2.3 还原剂选择

还原剂可选用液氨、氨水或尿素。选择时应进行全面的技术、经济及安全评估。

如采用液氨为还原剂，应满足以下要求：

——液氨储罐容量宜满足 3-7 天的设计用量；

——储罐及所有压力管道、阀门与附件的设计压力，应严格符合 GB 150 及 TSG 21 的有关规定；

——氨区设计应符合 GB 50160 相关安全规范的要求；

——氨区设计区域内应设置完整的安全设施，包括水喷淋吸收系统、氨泄漏检测报警仪（其一级报警值不应高于 10ppm，二级报警值不应高于 15ppm）、强制通风系统、以及防火防爆、防雷防静电设施，并在易于接触的位置设置安全淋浴和洗眼器；

——氨区与周边设施的防火间距应满足 GB 50160 的要求。

如采用氨水为还原剂，应满足以下要求：

——氨水储罐宜选用常压立式拱顶罐，容量宜满足 5-10 天的设计用量；

- 氨水储罐材质宜选用带防腐层的碳钢，并应设置氮封系统，以减少氨气的挥发和逸散；
- 氨水储罐区域应设置围堰，其容积不应小于储罐的最大容积；
- 氨水输送泵宜选用耐腐蚀的离心泵或计量泵；
- 氨区应配备氨泄漏检测报警、喷淋吸收及安全防护设施。

如采用尿素为还原剂，应满足以下要求：

- 宜采用浓度 50%-55% 的尿素溶液；
- 尿素溶液储罐应配备蒸汽或电加热盘管及搅拌装置，防止溶液结晶和浓度不均；
- 尿素溶液输送管道及设备在环境温度低于 0℃ 时，应进行伴热保温，维持介质温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ，并做好外保温，伴热方式可采用电伴热或蒸汽伴热；
- 尿素水解/热解系统应能稳定产生满足 SCR 系统要求的稀释氨气，其关键设备（如水解反应器、热解炉）应配置备用设备，应保证脱硝喷氨系统氨气的浓度与温度稳定。

5.1.2.4 喷氨系统

喷氨系统应配备独立的稀释风机，其风量应能满足将氨稀释至爆炸下限（LEL）以下的安全要求，通常保证混合后气体中氨气体积浓度低于 5%。

氨的喷入应采用喷氨格栅（AIG）或多喷嘴系统。AIG 应设计成分管式，各支管设有调节阀，宜配备自动分路控制系统，通过调节各分区流量，实现脱硝反应器横截面上氨/烟气的精确、均匀混合。

喷氨系统与烟气混合装置（如静态混合器）协同设计，确保在 SCR 反应器第一层催化剂上方 300~1000mm 处，氨浓度分布的相对标准偏差 $\leq \pm 5\%$ 。

还原剂供给系统宜配备变频控制的计量模块（如计量泵或流量控制阀），实现还原剂流量的精确、连续调控，快速响应入口 NO_x 浓度和烟气量的变化。稀释风量宜根据还原剂流量进行比例调节，以维持恒定的氨气浓度，确保喷射与混合的稳定性。还原剂利用率应不低于 90%。

喷氨系统应与烟气监测系统（CEMS）建立可靠联锁，在 SCR 系统启停或烟气条件不满足时，能自动切断还原剂供应，保障系统安全。

稀释风机应与还原剂供应系统联锁，遵循“先启风机，后供氨；先停氨，后停风机”的安全程序。

5.1.3 SNCR 工艺设计要求

5.1.3.1 反应区设计

SNCR 一般无独立反应器，而是通过温度、停留时间和湍流条件选择现有工艺装置中满足特定条件的某个反应区。

反应区应位于稳定的高温烟气区域（如三旋出口后的高温烟道），其温度范围宜为 $850^{\circ}\text{C} \sim 1150^{\circ}\text{C}$ 。尿素溶液还原剂的最佳温度窗口宜为 $900^{\circ}\text{C} \sim 1150^{\circ}\text{C}$ ，氨水还原剂宜为 $850^{\circ}\text{C} \sim 950^{\circ}\text{C}$ 。

还原剂在最佳温度窗口内的有效停留时间应不小于 0.5 秒，以确保还原剂充分分解并与氮氧化物完成选择性非催化还原反应。

反应区应具备良好的湍流条件以利于混合，同时应避免存在强烈的还原性气氛，以防止副反应发生（如生成 N_2O ）。

5.1.3.2 还原剂选择

还原剂可选用质量分数为 20%~25% 的氨水溶液或质量分数为 50%~55% 的尿素溶液。

氨水储罐应设置氮封系统和呼吸阀，储罐区域应设置围堰及应急吸收设施。

尿素溶液储罐宜配备蒸汽或电加热保温装置及搅拌系统，防止溶液结晶。尿素溶液输送管道在环境温度低于 0℃ 时，应采取伴热保温措施。

5.1.3.3 还原剂喷射系统

还原剂喷射系统应配备自动控制器，可根据入口 NO_x 浓度、烟气流量和反应区温度的实时变化，动态调节还原剂喷射量。

系统运行时的 NH_3/NO_x 摩尔比宜控制在 1.2~1.8 范围内。

喷射区域下游烟道宜设置静态混合器或导流装置，混合均匀度应不低于 80%。

宜采用双流体（压缩空气或蒸汽）雾化喷枪。喷枪的雾化性能应保证还原剂索特平均直径（SMD）不大于 200 μm 。

喷枪布置位置应通过数值模拟计算确定，并满足以下要求：

- 喷射覆盖范围应完整，无死角；
- 喷枪插入深度宜为烟道当量直径的 1/3 至 2/3；
- 各喷枪宜配备独立的流量调节与切断装置。

5.2 主要设备材料要求

关键设备（如反应器、泵、风机、喷枪）的选材、设计和制造应满足工艺要求，保证耐腐蚀、耐磨损、长寿命。

5.3 仪表与控制系统

应配备完整的仪表监测和自动控制系统（DCS 或 PLC）。

必测参数：脱硝系统进出口烟气温度、压力、流量、NO_x 浓度（在线）、O₂ 含量（在线）；SCR 系统还需监测催化剂层压差、反应温度；氨逃逸（在线或便携式定期检测）。

控制要求：实现还原剂流量与烟气负荷、NO_x 浓度的自动连锁控制。所有在线监测数据应与地方生态环境部门监控平台联网，数据传输有效率应 $\geq 95\%$ 。

5.4 辅助系统要求

吹灰系统：SCR 反应器应配备有效（声波、蒸汽或耙式）吹灰器。

旁路系统：对于新建、改建、扩建项目，原则上不得设置烟气旁路。对于现有项目的旁路，应逐步取消或进行规范化整治。确因安全生产应设置的，应进行专项论证，并报当地生态环境主管部门备案。若经论证确需保留旁路，应采取严格的监管措施。

旁路烟道应安装流量、温度、压力等自动监测设施，并与主烟道污染物在线监测系统、DCS 系统、环保部门监控平台联网。

旁路阀门应安装电动执行机构，具备远程控制和阀位状态远传功能，并实施铅封管理。

设置严格的启停条件连锁。例如，只有在线监测系统数据（如 NO_x、SO₂、颗粒物浓度）全部有效，且主烟道烟气参数（如温度）符合脱硝系统要求时，才允许旁路阀门关闭、主路阀门开启；一旦脱硝系统故障或烟气参数异常，触发连锁切换时，应同时触发报警并记录事件，且向环保部门平台发送异常信号。

启停记录追溯：所有旁路阀门的开启、关闭操作的时间、原因、操作人、持续时长、期间烟气流量及估算排放量等信息应自动记录并长期保存（至少 5 年），并可供环保部门随时调阅。

废水与固废：系统产生的废水需处理达标后排放（符合 GB 31570）。废催化剂为危险废物，其贮存、转移和处置应符合 GB 18597、GB 18598 及相关法规要求。

6 检测与监测

6.1 监测点位与频次

入口氮氧化物的监测点应设置在喷氨前，出口氮氧化物的监测点应设置在脱硝出口烟道上。

针对 SCR 和 SNCR+SCR 系统，氨逃逸的监测点应设置在烟气穿过脱硝床层后和换热器前；针对 SNCR 系统，氨逃逸的监测点应设置在 SNCR 反应区下游和换热器前。所有氨逃逸监测断面应满足流场均匀性要求，避开弯头、变径、积灰涡流区域。

氮氧化物、氧量应连续自动监测。

氨逃逸应安装在线监测仪，宜每月离线监测 1 次（每次采样测量 3 次取平均值）。

特殊工况期间，超标时段内，监测频次应提高至每 30 分钟 1 次。

6.2 监测方法

氮氧化物的在线监测应按 HJ 75 和 HJ 76 规定的方法进行。离线监测宜采用 HJ 1132 规定的方法。

氨逃逸的在线监测仪选择应符合 HJ 1013-2018 中对Ⅲ型仪器的技术要求，安装可参照 HJ 75 中的相关规定执行。手工监测宜采用 HJ 534 或 HJ 1006 规定的方法。

所有监测仪表需定期校准（每月至少进行一次零点/量程漂移校准，每季度至少进行一次全系统校准），确保数据准确可靠。

6.3 数据记录与管理

所有监测数据应真实、完整记录，记录内容至少包括日期、时间、点位、监测值、仪器状态、操作人员等。历史数据应至少保存 5 年，并按要求向生态环境主管部门上传。

7 运行维护管理

7.1 人员要求

操作与维护人员应经过专业技术培训和考核，持证上岗。每年应接受不少于 1 次的再培训。

7.2 操作规程

企业应制定详细的运行操作规程，内容至少包括：启动、停机、正常调整、异常情况处理、紧急停机等程序。

7.3 维护保养

日常维护：每日进行巡检，检查设备泄漏、仪表指示、运行参数是否正常。

定期维护：每月对喷枪、喷嘴进行清理，对关键仪表进行校准。

定期检修：每年至少进行一次全面停机检修，检查反应器内部、催化剂状态，更换老化损坏部件。所有检修记录应妥善保存，保存时间不少于 5 年。

停工检修期间维护：喷氨嘴彻底清洗疏通，反应器前烟道及反应器内清灰，各级换热器清灰清垢。

7.4 应急管理

应制定针对氨泄漏、火灾、爆炸、催化剂失活、停电等突发事件的应急预案。应急物资（如防毒面具、防护服、吸收材料）应配备齐全有效。每年至少组织 1 次专项应急预案演练，2 次整体应急预案演练。演练记录保存不少于 3 年。