

ICS
CCS

团 体 标 准

T/CBWA XXXX—2025

超高浓度 NO_x 尾气 SCR 脱硝 技术导则

Technical guidelines for SCR denitrification of ultra-high concentration NO_x flue gas

(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国锅炉与锅炉水处理协会发布

目 次

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 前 言..... | II |
| 引 言..... | III |
| 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..... | 3 |
| 5 工艺设计..... | 5 |
| 5.1 一般规定..... | 5 |
| 5.2 SCR 脱硝工艺..... | 6 |
| 5.3 尾气换热系统..... | 6 |
| 5.4 SCR 反应器系统..... | 7 |
| 5.5 氨喷射系统..... | 8 |
| 6 检测和过程控制..... | 8 |
| 7 运行维护..... | 9 |
| 附录 A (资料型附录) 脱硝工艺流程..... | 10 |
| 附录 B (资料型附录) 脱硝反应原理及放热量设计计算..... | 13 |
| 附录 C (规范性附录) 烟气脱硝系统维护和检修周期建议..... | 16 |

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。

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。

本文件由中国矿业大学提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：中国矿业大学、江苏天之洁环境工程有限公司、中国核电工程有限公司、浙江海亮环境材料有限公司、中国特种设备检测研究院、中冶华天工程技术有限公司、国网冀北电力有限公司电力科学研究院。

本文件主要起草人：余波、李启超、李磊、王冬、纪雷鸣、陆涵军、刘方、陈勇、赵培涛、王中伟、杜向前、杜磊、李瑞、徐开、张晓、刘佳鑫、张超、雷本喜、周舒冉、高伟洋、俞奇开、王耀光、郭汝成、王建明、张海萍

本文件为首次发布。

引 言

在某些特殊行业，如硝酸铀酰处理所产生的尾气中 NO_x 浓度高，且以 NO_2 为主，脱硝工况与常规烟气存在显著区别。选择性催化还原法（SCR）是目前技术最为成熟、市场占有率最高的脱硝方法。相比于传统行业的 SCR 系统，高浓度 NO_x 尾气 SCR 处理工艺存在两个特点：一是硝酸、硝酸铀酰行业排放烟气温 度较低且含有大量水分，要求催化剂具有优异的低温活性和抗水性能；二是高浓度 NO_x 脱除反应会产生大量热量，因此在工艺设计方面和催化剂选择方面都需要特殊考虑。为保证高浓度 NO_x 尾气 SCR 脱硝工艺稳定高效运行，特制定本标准。

超高浓度 NO_x 尾气 SCR 脱硝技术导则

1 范围

本文件规定了 NO_x 浓度大于 5000mg/Nm³ 的工艺尾气 SCR 脱硝工程的设计、施工、验收、运行和维护等应遵循的技术要求，可作为环境影响评价、工程设计与施工、项目竣工环境保护验收及建成后运行与管理的技术依据。

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；不注日期的引用版本，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 31587 蜂窝式烟气脱硝催化剂

GB/T 34339 燃煤烟气脱硝喷氨混合系统

GB/T 38219 烟气脱硝催化剂检测技术规范

GB/T 35209 烟气脱硝催化剂再生技术规范

DL/T 5480 火力发电厂烟气脱硝系统设计规程

DL/T 1286 火电厂烟气脱硝催化剂检测技术规范

HJ 562 火电厂烟气脱硝工程技术规范选择性催化还原法

GB18218 《危险化学品重大危险源辨识》

GB50351 《储罐区防火堤设计规范》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

脱硝系统 denitrification system

采用物理或化学的方法脱除氮氧化物（NO_x）的系统，本标准中指选择性催化还原法脱硝系统。

3.2

选择性催化还原 selective catalytic reduction （SCR）

利用还原剂在催化剂作用下选择性地与烟气中的 NO_x 发生化学反应，生成氮气和水的方法。

3.3

还原剂 reductant

脱硝系统中用于与 NO_x 发生还原反应的物质与原料。

3.4

喷氨格栅 ammonia injection grid

将还原剂喷入预处理尾气中的装置。

3.5

氨逃逸 ammonia slip

脱硝反应器后残留在净化尾气中的氨气。

3.6

相对标准偏差 relative standard deviation （CV）

$$CV = \frac{\sigma V}{V_0} \times 100\% \quad (1)$$

其中：
$$\sigma V = \sqrt{\frac{\sum(V_i - V_0)^2}{n-1}}$$

σV : 标准偏差

V_0 : 平均速度/浓度

V_i : 单点速度/浓度

n : 测点数量

3.7

级数 grade

反应器中催化剂层数，每一层为一级。

3.8

待处理尾气 untreated tail gas

从前端工艺排出的高浓度 NO_x 尾气，待送入 SCR 反应器进行处理。

3.9

预处理部分 preprocessing section

SCR 反应器中处理高浓度 NO_x 烟气部分。

注：通常是指 SCR 反应器中前两层催化剂之前部分。

3.10

细调部分 fine tuning section

在 SCR 系统运行过程中，对关键参数进行精细调节，以优化脱硝效率、降低氨逃逸、减少催化剂磨损并延长使用寿命。

4 总体要求

4.1 烟气 SCR 脱硝技术主体工艺应根据烟气性质进行设计，应选用技术指标先进的脱硝工艺，并且符合国家及地方法律、法规、环保政策的要求。

4.2 喷氨格栅宜采用多级布置，建议布置 2-3 级，且与催化剂层间隔布置；催化剂布置 3 层以上，并留有备用层。

4.3 催化剂宜选择中低温催化剂，催化剂起活温度不高于 240℃，且催化剂要具有较好的抗水性。

4.4 SCR 反应器宜分为预处理部分和细调部分，预处理部分应根据反应放热大小布置换热器，尾气经过每一级催化剂反应后温升小于 150℃。

4.5 处理后净化尾气中 NO_x 含量应小于 240mg/Nm³（干基，基准氧），氨逃逸小于 10 mg/Nm³（干基，基准氧）。

4.6 净化尾气中的余热应优先考虑回收利用，现场可根据具体工艺和预处理尾气温升进行合理处置。

4.7 还原剂宜采用高纯氨气(氨气纯度应不低于 99.9%)，采用尿素、氨水作为还原剂应注意：

a) 氨水需要在较低的温度下储存以防挥发；

b) 尿素应制备成质量比为 50%的溶液储存，并设计储存容量以满足连续运行需求；

c) 应设计专用的输送系统，以确保还原剂均匀分布到反应器中，输送系统的设计需充分考虑流体动力学特性并避免堵塞；

d) 尿素溶解罐应采用不锈钢制造，并配备必要的接口和仪表；

e) 氨水作为还原剂时，宜采用质量分数为 20%~25%的氨水溶液；

f) 与溶液接触的设备、管道和其他部件宜采用不锈钢制造；

g) 氨和空气的混合气体的温度应避免水蒸气冷凝；

H) 考虑稀释风的引入对系统的影响；

5 工艺设计

5.1 一般规定

5.1.1 反应器空塔气体流速一般不大于 4m/s, 催化剂孔道内气体流速一般不大于 6 m/s。

5.1.2 空速、催化剂级数、喷氨级数推荐采用表 1 建议值。

表 1 脱硝催化剂用量，反应器级数建议值

| 序号 | NO _x 浓度 (mg/Nm ³) | 空速 (m ³ /(m ³ ·h)) | 反应器级数 | | 喷氨级数 |
|----|---|---|---------|--------|------|
| | | | 预处理部分级数 | 细调部分级数 | |
| 1 | 5000~20000 | 2000 | | ≥4 | 1 |
| 2 | 20000~30000 | 1200 | ≥2 | ≥2 | 2 |
| 3 | 30000~40000 | 800 | ≥3 | ≥2 | 3 |
| 4 | 40000~50000 | 600 | ≥3 | ≥2 | 4 |
| 5 | >50000 | ≤500 | ≥3 | ≥2 | ≥4 |

5.1.3 对于需连续生产的工艺尾气，应设置备用脱硝反应器，正常运行时，两个反应器均能保证工作，单个脱硝反应器应能满足净化气体要求。

5.1.4 进入反应器前高浓度 NO_x 尾气各组分应均匀分布，若尾气中 NO_x 浓度分布均匀性较差，应通过延长进气管道或在反应器前加装扰流装置进行优化，保证待处理尾气中 NO_x 浓度偏差小于 10%。

5.1.5 脱硝反应器设计完成后应进行流场数值模拟计算，确保数值模拟结果满足流场设计要求。

5.2 SCR 脱硝工艺

5.2.1 根据待处理尾气温度和催化剂反应温度区间，应将尾气温度调整至催化剂反应温度区间范围，且保证经 SCR 反应后温升不超过催化剂的反应温度区间。

5.2.2 当待处理尾气温度低于催化剂反应窗口时，应先采用换热方式回收净化烟气的热量或者预处理部分放出的热量对待处理尾气进行预热，再充分考虑外部加热升温。

5.2.3 当待处理尾气温度高于催化剂反应窗口时，尾气的余热宜与预处理部分释放的热量协同处理，提高余热回收品质。

5.2.4 预处理部分每一层催化剂上游建议设置一层喷氨格栅，喷氨量根据尾气反应温度进行合理调整；细调部分最前一级催化剂上游建议设置一层喷氨格栅。

5.2.5 反应器流场应进行数值模拟优化，优化后的流场应满足第一层催化剂进口速度分布相对标准偏差小于 15%，第一层催化剂进口温度分布绝对偏差小于 10℃，第一层催化剂进口氨氮比分布相对标准偏差小于 5%。

5.2.6 本文件未做要求的脱硝工艺系统部分参照 GB/T 21509 执行。

5.2.7 脱硝工艺流程详见附录 A，脱硝反应原理及放热量计算详见附录 B。

5.3 尾气换热系统

5.3.1 根据预处理部分温升，在催化剂下游布置对应的换热器，即在每层预处理部分催化剂层下游布置一组换热器，换热器换热能力应能满足将尾气温度降至催化剂进口前温度要求。

5.3.2 当需要利用预处理部分烟气余热，换热介质宜采用热空气、导热油；当仅需要对预处理部分烟气进行降温，可根据系统余热利用要求，选择合适的冷却介质。

5.3.3 所有烟道在适当位置配有足够数量和大小的人孔门和清灰孔。

5.4 SCR 反应器系统

5.4.1 反应器

5.4.1.1 根据现场场地和检修要求，反应器采用卧式布置或者立式布置。

5.4.1.2 反应器和烟道的设计压力应不小于 10kPa。

5.4.1.3 反应器平面尺寸应根据烟气流速及催化剂模块大小、布置方式进行优化设计。

反应器有效高度应根据模块高度、模块层数、层间净高、吹灰装置、烟气整流格栅、催化剂备用层高度等情况综合考虑确定。

5.4.1.4 反应器根据现场用地可设计为卧式或者立式，反应器入口段应设置导流板、均流装置和可远传的烟气温度、压力监测装置，对于反应器内部易于磨损的部位应采取必要的防磨措施。

5.4.1.5 不设 SCR 反应器烟气旁路，反应器应设置足够大小和数量的人孔门。

5.4.1.6 反应器内部各类加强板、支架应设计成不易积灰的结构，同时充分考虑热膨胀的补偿措施。

5.4.1.7 反应器设计还应充分考虑内部催化剂维修及更换所必需的吊装方式和起吊装置。

5.4.1.8 反应器的喷氨格栅前、反应器入口、各层催化剂出口、反应器出口等位置设置足够数量的烟气取样孔。

5.4.2 催化剂

5.4.2.1 催化剂型式、催化剂中活性成分含量以及催化剂用量应根据具体烟气工况、灰质特性和脱硝效率确定，催化剂在烟气含水量 $H_2O_{vol}\% > 5$ 时，脱硝效率下降不大于 10%，催化剂活性温度区间大于 150°C ，在该区间内，催化剂活性相对变化率在 $\pm 5\%$ 之间。

5.4.2.2 催化剂的各项性能指标应按照 GB/T 31587-2015 描述的要求。

5.4.2.3 催化剂应制成模块，各层模块应规格统一、具备互换件，且应采用钢结构框架，并便于运输、安装和起吊。

5.4.2.4 催化剂模块应设计有效防止烟气短路的密封，密封的寿命不低于催化剂的寿命。

5.5 氨喷射系统

5.5.1 氨气采用喷氨格栅分级喷入系统，系统应能确保氨喷入系统后，在较短的距离内使烟气中的氨与 NO_x 能充分混合。

5.5.2 喷氨系统应通过数值模拟优化设计导流板和偏角、整流格栅，喷氨位置等。

5.5.3 喷氨系统的容量及配置满足脱除烟气中 NO_x 最大值的要求，并留有适当的余量。

6 检测和过程控制

6.1 催化剂检测

6.1.1 催化剂各项指标检测应符合 GB/T 38219（所有部分）中的规定。

6.1.2 选用催化剂前，应对催化剂进行连续测试实验，且不低于 168 h，以验证催化剂反应温度区间要求和抗烧结性能。反应气体成分、空速、反应温度区间应与现场一致。

6.2 过程控制

6.2.1 脱硝控制系统应实现脱硝装置自动投入，且对负荷、工况变化具备良好的适应性。

6.2.2 SCR 脱硝系统宜设置压力测点，保证 SCR 脱硝反应器反应室、CEMS 反吹气稳压罐、氨气主管路、LPG 供气管路等压力始终维持在稳定范围。

6.2.3 在 SCR 脱硝反应器内部每一层催化剂前后设置温度测定和调节，实现进出口设置温度测定和调节。

6.2.4 SCR 脱硝反应器入口烟气流量宜采用多点矩阵法测量，出口烟气成分宜采用多点采集分析，测量装置宜做好防腐及防堵措施。

6.2.5 对于配置分区喷氨系统的装置，宜单独设置在线测量、分析和控制仪表，实时监测烟气中的 NO_x 浓度和氨气浓度。

6.2.6 SCR 脱硝出口应配置氨逃逸浓度在线分析仪表。

7 运行维护

7.1 脱硝系统的运行维护应对烟气 SCR 脱硝系统综合分析，充分提高脱硝系统的运行安全性和经济性。

7.2 机组运行及停机期间，应对烟气脱硝系统进行维护和检修，运行维护周期及内容参见附录 C。

7.3 运行期间，定期进行 SCR 脱硝喷氨优化调整，确保净化烟气满足排放要求。

7.4 按 DL/T1286 的规定检测评估催化剂性能状态，检测催化剂表面金属元素沉积水平，结合脱硝装置运行状况，提前制定催化剂再生及换装方案。

附录 A

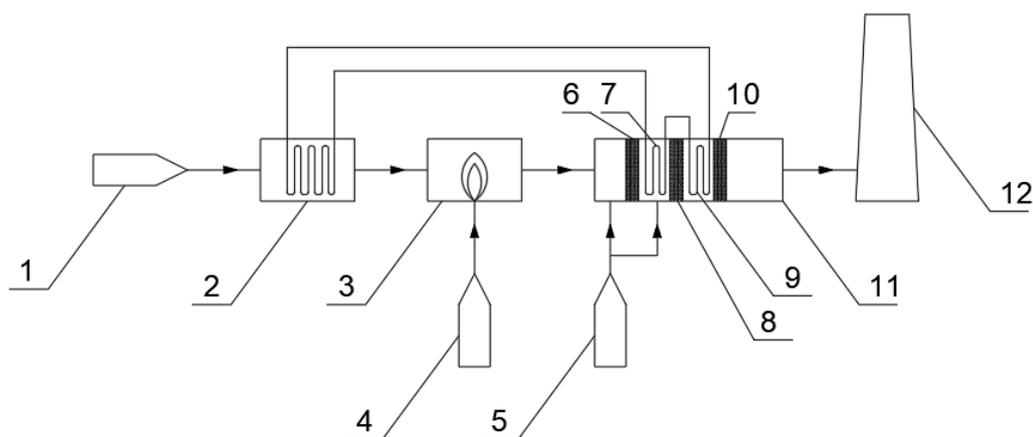
(资料型附录)

脱硝工艺流程

脱硝工艺流程根据待处理尾气温度是否满足催化剂温度窗口区间，可分为升温、降温和直接处理。脱硝预处理段设置相应的冷却系统，具体流程如下：

A.1 升温脱硝工艺流程

当烟气（尾气）1 温度较低不满足催化剂反应温度区间要求时，先通过换热器 2 将烟气加热，具体升温根据反应器 11 中脱硝放热量确定，升温后的烟气进入加热炉 3，通过外部燃料 4 燃烧升温至催化剂活化温度区间，升温后的烟气送入反应器 11，与还原剂 5 发生脱硝还原反应，还原剂 5 可以分成多级喷入反应器 11，具体根据烟气（尾气）1 中 NO_x 浓度确定。烟气（尾气）经过催化剂层 6、8 和 10 进行反应，具体催化剂层数根据实际情况确定。反应放热通过换热器 7 和 9 进行热交换后送入换热器 2，净化后的烟气（尾气）送入烟囱 12 排放。



标引序号说明：

1——烟气（尾气）；

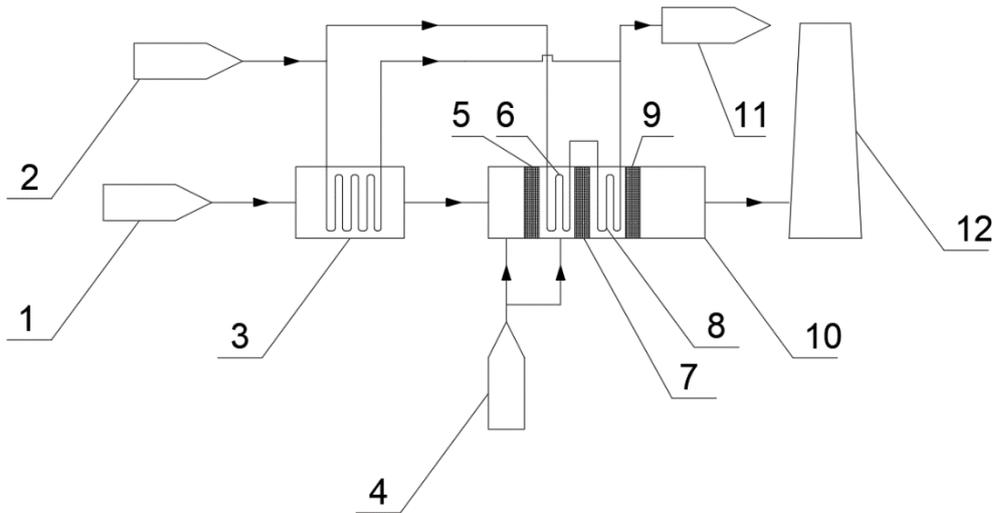
2——换热器；

- 3——加热炉；
- 4——燃料；
- 5——还原剂；
- 6——催化剂；
- 7——换热器；
- 8——催化剂；
- 9——换热器；
- 10——催化剂；
- 11——脱硝反应器；
- 12——烟囱。

图 A.1 升温脱硝工艺流程

A.2 降温脱硝工艺流程

当烟气（尾气）1 温度较高，超过催化剂反应温度区间要求时，先通过换热器 3 将烟气降温，冷却介质 2 可选用冷却水、空气或者导热油，具体根据现场情况进行确定。烟气（尾气）进入反应器 10 的后续流程参考 A.1。



标引序号说明：

- 1——烟气（尾气）；
- 2——冷却介质；
- 3——换热器；
- 4——还原剂；
- 5——催化剂；
- 6——换热器；
- 7——催化剂；
- 8——换热器；
- 9——催化剂；

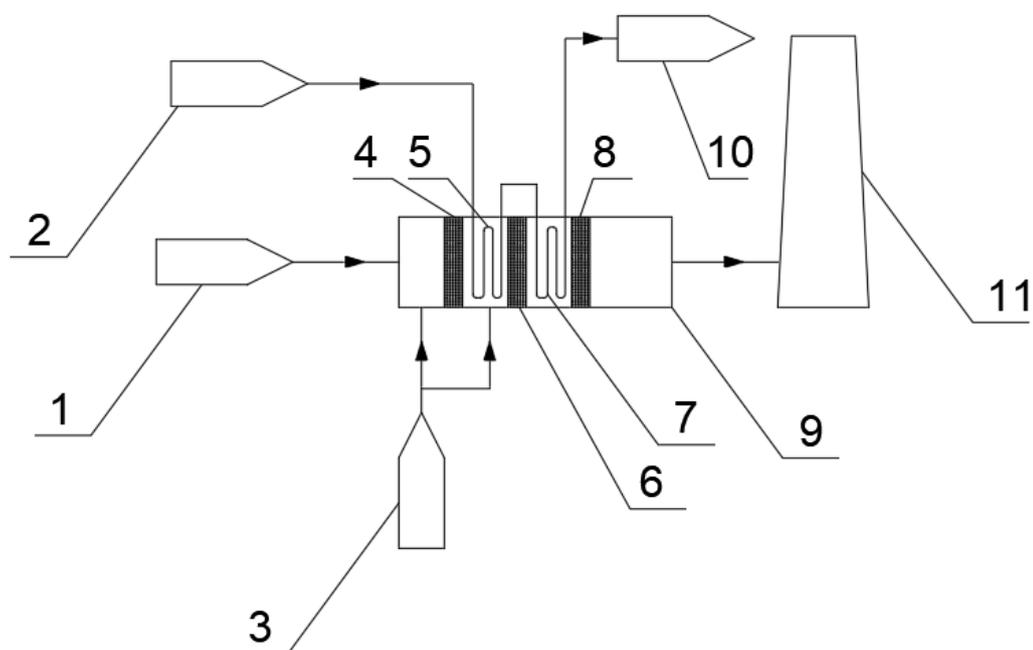
T/CBWA XXX—2025

- 10——脱硝反应器；
- 11——冷却介质出口；
- 12——烟囱。

图 A.2 降温脱硝工艺流程

A.3 直接处理脱硝工艺流程

反应流程参考图 A.2。



标引序号说明：

- 1——烟气（尾气）；
- 2——冷却介质；
- 3——还原剂；
- 4——催化剂；
- 5——换热器；
- 6——催化剂；
- 7——换热器；
- 8——催化剂；
- 9——脱硝反应器；
- 10——冷却介质出口；
- 11——烟囱。

图 A.3 直接处理脱硝工艺流程

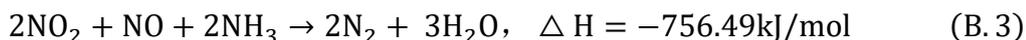
附录 B

(资料型附录)

脱硝反应原理及放热量设计计算

B.1 选择性催化还原 (Selective Catalytic Reduction, 以下简称为 SCR) 技术是指在一定温度 (220~400°C)、催化剂的作用下, 利用还原剂 (如 NH_3), 有选择性的与烟气中的 NO_x 反应, 将烟气中的 NO_x 还原成氮气和水。

B.2 反应的基本原理是:



脱硝反应后的产物为 N_2 和 H_2O , 可以自然排放。

根据初始烟气中 NO_x 浓度, 采用 (B.1) - (B.4) 计算烟气总温升

$$\Delta T = \frac{\Delta H \cdot (C_0 - C_1)}{1000 \cdot M \cdot \rho \cdot c_p \cdot v_b} \quad (\text{B.4})$$

其中:

ΔT ——反应温升, 单位 $^{\circ}\text{C}$;

ΔH ——反应热, 单位 kJ/mol , 负号表示放热;

C_0 ——原始烟气质量浓度, 单位 mg/m^3 ;

C_1 ——设定烟气质量浓度, 单位 mg/m^3 ;

M ——摩尔质量, 单位 g/mol ;

c_p ——烟气比热容, 单位 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 取 1.02;

ρ ——气体密度, 单位 $\text{kg}/\text{立方米}$;

ν_b ——NO、NO₂反应的化学计量数，(B.1) NO 取 4，(B.2) NO₂ 取 1/2。

反应热应合理分配至每层催化层，鉴于反应器前端 NO₂ 浓度较高，所以单层催化效率要求 < 75%，单层催化剂温升要求 < 180℃。

B.3 根据现有催化剂的空速和浓度处理值，以及高浓度烟气 NO_x 浓度及烟气量，采用 (B.5) 计算催化剂最小用量。

$$V_c = \frac{Q \cdot C_h}{G \cdot C_d} \quad (\text{B.5})$$

其中：

V_c ——催化剂用量，单位 m³；

Q ——烟气体积流量，单位 m³/h；

C_h ——原始高浓度烟气质量浓度，单位 mg/m³；

G ——催化剂设计空速，单位 h⁻¹；

C_d ——催化剂设计处理最高烟气浓度，单位 mg/m³。

B.4 计算常规脱硝段催化剂用量。

$$V_n = \frac{Q}{G} \quad (\text{B.6})$$

其中：

V_n ——常规脱硝段催化剂用量，单位 m³；

Q ——烟气体积流量，单位 m³/h；

G ——催化剂设计空速，单位 h⁻¹。

B.5 脱硝模块级数

限定高浓度脱硝模块每级温升在不超过 80℃，采用 (B.7) 计算高浓度脱硝模块的级数，当计算得到级数不为整数时，向上取整。

$$n = \frac{\Delta T}{80} \quad (\text{B.7})$$

其中：

N——高浓度脱硝模块级数；

ΔT ——反应温升，单位℃；

附录 C

(规范性附录)

烟气脱硝系统维护和检修周期建议

烟气脱硝系统维护和检修周期及内容见表 C.1

表 C.1 烟气脱硝系统维护和检修周期及内容

| | 维护项目 | 维护内容及方法 | 注意事项 | 周期 |
|---|------------|---|------------------|-------|
| 1 | 催化剂检查 | 检查催化剂活性，确认无物理损伤或化学中毒 | 需专业技术人员操作 | 每三个月 |
| 2 | 反应器内部检查 | 清理反应器内部积灰，检查内部结构完整性 | 确保反应器内部清洁，避免影响效率 | 每六个月 |
| 3 | 还原剂喷射系统检查 | 检查喷射器是否堵塞，调整喷射量 | 保持喷射系统畅通 | 每个月 |
| 4 | 烟气监测系统校准 | 校准 NO _x 、O ₂ 等烟气成分的在线监测仪器 | 确保监测数据准确 | 每六个月 |
| 5 | 脱硝效率评估 | 通过实际排放数据评估脱硝效率 | 根据评估结果调整操作参数 | 每六个月 |
| 6 | 安全阀和压力表检查 | 检查安全阀和压力表是否正常工作 | 确保系统安全运行。 | 每十二个月 |
| 7 | 操作人员培训 | 对操作人员进行脱硝系统操作和应急处理培训 | 提高操作人员专业技能和应急能力 | 每六个月 |
| 8 | 法规和标准符合性检查 | 检查系统是否符合最新的环保法规和标准 | 确保系统合法合规运行 | 每十二个月 |

附录 D

中锅协标准（锅炉）项目任务单

任务编号:2024002

| 项目名称：超高浓度 NOX 尾气 SCR 脱硝技术导则 | | | |
|-----------------------------|-----|---------------|------|
| 起草组： | | | |
| 组长： 余波 副组长： 陆涵军、李启超 | | | |
| 组员： | | | |
| 序号 | 姓名 | 单位名称 | 联系电话 |
| 1 | 刘方 | 中国矿业大学 | |
| 2 | 李磊 | 中国核电工程有限公司 | |
| 3 | 陈勇 | 浙江海亮环境材料有限公司 | |
| 4 | 雷本喜 | 江苏天之洁环境工程有限公司 | |
| 5 | 赵培涛 | 中国矿业大学 | |
| 6 | 张超 | 江苏天之洁环境工程有限公司 | |
| 7 | 周舒冉 | 中国矿业大学 | |
| 8 | 高伟洋 | 江苏天之洁环境工程有限公司 | |
| 9 | 俞奇开 | 浙江海亮环境材料有限公司 | |
| 10 | 王耀光 | 浙江海亮环境材料有限公司 | |
| 11 | 纪雷鸣 | 中国核电工程有限公司 | |
| 12 | 郭汝成 | 江苏天之洁环境工程有限公司 | |
| 13 | 王东 | 中国核电工程有限公司 | |
| 14 | 李瑞 | 中国核电工程有限公司 | |
| 15 | 徐开 | 中国核电工程有限公司 | |
| 16 | 王建明 | 江苏天之洁环境工程有限公司 | |
| 17 | 张海萍 | 江苏天之洁环境工程有限公司 | |

| | |
|--|------------|
| 计划完成时间： 2024年8月至2024年12月（计划完成时间为标准完成征求意见后形成送审稿） | |
| 编制： 日期： | 初审： 日期： |
| 审核： 日期 | 审批： 日期 |