

ICS XX.XXX.XX
CCS G XX

团 体 标 准

T/CNFAGS XX—20XX

氮肥和甲醇行业工业加热炉新材料节能技术规范

Technical specification for energy-saving new materials for industrial heating furnaces
in the nitrogen fertilizer and methanol industry

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国氮肥工业协会 发布

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。

本文件由中国氮肥工业协会提出。

本文件由中国氮肥工业协会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：xxx、xxx、xxx。

本文件主要起草人：xxx、xxx、xxx。

引 言

工业加热炉是氮肥和甲醇生产的核心耗能设备，其能效水平直接影响系统综合能耗与碳排放强度。在“双碳”战略背景下，提升加热炉热效率成为行业绿色低碳转型的关键路径之一。

针对合成氨一段转化炉、甲醇加热炉、熔盐加热炉、锅炉、气化炉、蒸汽发生炉等以辐射传热为主要传热方式的高温设备，采用高辐射率或高吸收率节能新材料进行表面功能化改造，可在不改变原有设备结构、运行参数的前提下，显著提高热传递效率，降低燃料消耗与二氧化碳排放。

本文件聚焦于节能新材料的技术性能要求、施工工艺控制、节能量计量验证及长期运行效果评估，旨在为材料供应商、节能服务公司、生产企业和第三方检验检测机构提供统一、科学、可执行的技术依据，推动节能新材料在行业内的规范化、规模化应用。

氮肥和甲醇行业工业加热炉新材料节能技术规范

1 范围

本文件规定了氮肥和甲醇行业工业加热炉节能新材料的术语和定义、性能要求、试验方法、施工与验收、节能量计量与验证等技术内容。

本文件适用于氮肥和甲醇行业以辐射传热为主的工业加热炉（包括合成氨一段转化炉、甲醇加热炉、熔盐加热炉、锅炉、气化炉、蒸汽发生炉等）节能新材料的应用、生产、性能检验、施工、验收与节能效果评估。其他行业的同类型炉窑可参照执行。

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；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 1724 研磨细度的测定
- GB/T 6461 金属基体上金属和其他无机覆盖层 经腐蚀试验后的试样和试件的评级
- GB/T 7322 耐火材料 耐火度试验方法
- GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
- GB 7691 涂装作业安全规程 安全管理通则
- GB/T 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分
- GB 16297 大气污染物综合排放标准
- GB/T 13234 用能单位节能量计算方法
- GB/T 13338 工业燃料炉热平衡测定与计算基本规则
- GB/T 16839.1 热电偶 第1部分：电动势规范和允差
- GB/T 32045 节能量测量和验证实施指南
- GB/T 32201 气体流量计
- GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则
- ASTM D903 粘贴物剥离强度标准试验方法
- ASTM G54 周期性暴露高温硫腐蚀试验方法
- ASTM G65 使用干砂/橡胶轮装置测量磨损的标准测试方法
- ASTM E408-13 使用检测仪技术测定表面总法向发射率的标准试验方法
- ASTM C1371-15 采用便携式辐射率仪测定材料近室温发射率的标准试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

节能新材料 energy-saving new materials

具有高热辐射率或高热吸收率，能显著提升高温炉热效率、降低能耗，且其技术性能符合本文件第4章要求的新型功能材料，分为以下两类：

3.1.1 热辐射型材料：涂覆于炉膛内壁，以增强其热辐射能力的材料；

3.1.2 热吸收型材料：涂覆于受热管道表面，以增强其热吸收能力的材料。

3.2

工业加热炉 high-temperature furnace

在氮肥、甲醇生产过程中，以燃料燃烧为热源，以辐射传热为主要方式将工艺介质（如天然气、水、熔盐、煤、油等）加热至工艺要求温度的专用设备，包括合成氨一段转化炉、甲醇加热炉、熔盐加热炉、蒸汽发生炉、锅炉、气化炉等。

3.3

节能率 energy saving rate

工业加热炉节能改造前、后，在炉况、负荷、转化率、产品产量、燃料低位发热量、工艺介质的成份等条件可比的工况下，单位产品所消耗的燃料总热量（包含主燃料和搭烧燃料）的下降比率，以百分比表示。（计算公式见 8.4.3）

3.4

节气率 gas saving rate

工业加热炉节能改造前、后，在炉况、负荷、转化率、产品产量、燃料低位发热量、工艺介质的成分、搭烧气等条件可比的工况下，单位产品所消耗燃料天然气量的下降比率，以百分比表示。（计算公式见 8.4.4）

3.5

搭烧气 fuel gas

与主燃料共同燃烧，以提供所需热量的辅助燃料气，包括但不限于：回收气、膜尾气、弛放气、乏气等。

3.6

搭烧气与天然气换算 conversion of supplementary fuel gas and natural gas

将搭烧气的实际消耗量，依据其低位发热量与天然气低位发热量的比值，折算为等效的天然气消耗

量。计算公式如下：

$$Q_{\text{ng}} = Q_s \times \frac{H_s}{H_{\text{ng}}}$$

其中：

Q_{ng} —— 换算天然气消耗量，单位为立方米（ m^3 ）；

Q_s —— 搭烧气消耗量，单位为立方米（ m^3 ）；

H_{ng} —— 天然气低位发热量，单位为兆焦每立方米（ MJ/m^3 ）；

H_s —— 搭烧气的低位发热量单位为兆焦每立方米（ MJ/m^3 ）。

3.7

碳减排量 carbon emission reduction

实施节能改造后，相对于改造前基准期减少的二氧化碳排放量。

3.8

基层 substrate

节能新材料所附着的基底材料，如耐火砖、陶瓷纤维模块、耐火浇注料以及受热管道金属表面等的统称。

3.9

涂层 coating

节能新材料经施工、干燥、烘干与高温烧结后形成的稳定功能性覆盖层，具备高辐射或高吸收特性。

3.10

热辐射率 thermal emissivity

材料表面在高温下向外发射热辐射的能力，以发射率（ ε ）表示，其值介于 0~1 之间。

3.11

热吸收率 heat absorption rate

材料表面对入射热辐射能的吸收能力，以吸收率（ α ）表示，其值介于 0~1 之间。

3.12

有效工作日 effective working days

工业加热炉在额定或常用工况下连续运行的工作日，不含计划停机、检修及低负荷运行时间。

4 理化性能要求

节能新材料的基本理化性能应符合表 1 的规定。若材料为热吸收型，可豁免热辐射率指标；若为热辐射型，可豁免热吸收率指标。

表 1 节能新材料理化性能要求

| 序号 | 理化指标 | 技术要求 | 备注 |
|----|----------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 耐火度 | $\geq 2130^{\circ}\text{C}$ | |
| 2 | 热辐射率 | ≥ 0.9 | |
| 3 | 热吸收率 | ≥ 0.95 | |
| 4 | 硬度 | $\geq 68\text{HRC}$ | 测试温度：800 $^{\circ}\text{C}$ |
| 5 | 与基层的结合强度 | $\geq 67\text{MPa}$ | |
| 6 | 耐磨性 | 不低于 Q235 钢材的 30 倍 | 测试温度：800 $^{\circ}\text{C}$ |
| 7 | 耐酸腐蚀性 | 浸泡 168 h 无起泡、剥落、变色 | 34 mol/L 氢氟酸溶液 |
| 8 | 抗酸腐防护等级 | ≥ 8 级 | 按 GB/T 6461 评级 |

注：表中的技术要求为最低限值。

5 技术原理

5.1 热辐射型节能原理

在炉膛内壁涂覆高辐射率（ $\varepsilon \geq 0.90$ ）的节能新材料，可显著提升炉膛内壁的热辐射能力，减少炉壁散热损失，提高炉内热能利用率，从而实现节能。

5.2 热吸收型节能原理

在转化管、水冷壁管等受热面的向火侧涂覆高吸收率（ $\alpha \geq 0.95$ ）的节能新材料，可大幅增强其对炉膛内热辐射的吸收能力，改善管壁温度分布的均匀性，提升热量由外壁向管内工艺介质的传递效率。

5.3 工艺兼容性

节能新材料的应用在不改变原有设备主体结构、设计参数和核心运行控制逻辑的前提下进行，确保改造过程安全、可控，并与现有工艺流程兼容。

6 应用性能与效果

6.1 适用条件

6.1.1 节能新材料应在 500 $^{\circ}\text{C}$ 至 1500 $^{\circ}\text{C}$ 的工作温度范围内，保持其关键性能稳定（如辐射率、吸收率、

硬度、结合强度、耐磨性等) 稳定。

6.1.2 节能新材料应直接暴露于炉膛内的热辐射环境中, 以实现其功能。

6.2 节能效果

6.2.1 最低节能率要求

在运行条件 and 环境可比的前提下, 基于单位产品燃料热值消耗计算, 节能率应满足:

- 合成氨一段转化炉、甲醇加热炉: 节能率 $\geq 5\%$ 。
- 气化炉、熔盐加热炉、蒸汽发生炉、锅炉、裂解炉: 节能率 $\geq 4\%$ 。

6.2.2 节能持续时间

涂层在不少于 1100 个有效工作日内应保持其节能效果。

6.3 减排效果

按 GB/T 32150 计算 CO₂ 减排率, 按 GB 16297 检测氮氧化物排放浓度。相较于改造前, 应满足:

- CO₂ 减排率 $\geq 7\%$;
- 氮氧化物排放浓度降低 $\geq 7\%$;
- 效果持续时间 ≥ 1100 个有效工作日。

6.4 涂层寿命

在 1100 个有效工作日内, 涂层应保持完整, 其有效覆盖 (无明显剥落、粉化) 区域的面积比率 $\geq 90\%$ 。

6.5 基层保护性能

6.5.1 涂层与基层结合强度高, 能有效渗入基层微孔结构中, 经高温烧结后形成牢固的结合层, 长期使用不剥落。

6.5.2 涂层应具有良好的抗热震性, 能承受基层因温度变化而产生的热胀冷缩, 不开裂、不脱落, 对基层形成有效保护。

6.5.3 涂层在高温下形成致密的类陶瓷化表面层, 具备优异的耐酸性气体腐蚀、抗氧化、抗高温气流冲刷和防结垢性能, 可使基材的使用寿命延长 50 % 以上。

7 试验方法与检测

7.1 容器中的状态

采用目视法检测, 材料经搅拌后应呈均匀状态, 无分层、结皮、增稠、胶凝、沉底结块等现象。

7.2 分散细度

按 GB/T 1724 的规定进行检测。

7.3 洛氏硬度

T/CNFAGS x—20xx

按 GB/T 230.1 的规定进行检测。测试样品应为按 7.10 制备并经过 7.9 所述干燥、烧结处理的带涂层试样。

7.4 涂层与基材的结合强度

按 ASTM D903 标准的规定进行检测。测试样品应为按 7.10 制备并经过 7.9 所述干燥、烧结处理的带涂层试样。

7.5 涂层耐磨性

按 ASTM G65 标准的规定进行检测。测试样品应为按 7.10 制备并经过 7.9 所述干燥、烧结处理的带涂层试样。试验结果以体积损失或质量损失表示。

7.6 抗氢氟酸实验

将带有涂层的样品置于 34 mol/L 的氢氟酸溶液浸泡 168 小时。要求涂层无起泡、无剥落、无明显变色。

7.7 酸性盐雾试验

按 ASTM G54 标准的规定进行检测。试验后试样的评级按 GB/T 6461 的规定执行。

7.8 光谱发射率测试

按 ASTM E408-13 方法 C (FTIR 光谱反射法) 测定, 测试温度覆盖 500℃、800℃、1000℃。也可采用其他等效国际或国内标准。

7.9 涂层干燥、烘干和烧结

7.9.1 在通风良好且炉内呈负压的条件下, 对涂层进行 12 小时的干燥处理。

7.9.2 启动加热炉, 缓慢升温至约 300℃, 在此温度下对涂层进行 8 小时的热烘干操作。

7.9.3 继续将加热炉升温至约 800℃, 并保持该温度 8 小时以完成热烧结过程。

7.10 样品制备

检测样品应采用与实际应用相同的基层材料(如陶瓷纤维棉、耐火砖、浇注料试块、同材质金属试片/管段等), 并按标准的施工工艺条件制备。

7.10.1 准备 2 件相同材质的试样, 清洁、干燥备用; 节能新材料搅拌均匀备用。

7.10.2 在其中 1 件试样上, 按工艺要求的方法(喷涂、刷涂)涂覆节能新材料, 确保均匀、无漏涂。

7.10.3 将涂覆好的试样与另 1 件未涂覆的对比试样, 同时按 7.9 的规定进行干燥、烘干和烧结处理。

7.10.4 记录样品编号、涂覆量、干燥及烧结过程的升温曲线、恒温时间等关键参数。

7.11 节能效果模拟试验

为初步评估和筛选材料的节能潜力, 可在实验室条件下按附录 A 进行节能效果模拟试验。试验结果可作为材料性能验证的参考。

8 节能量计量与验证

8.1 计量主体

节能量应由具备国家CMA（检验检测机构资质认定）资质的第三方检验检测机构独立完成计量与验证，并出具正式的《节能量计量报告》。

8.2 执行标准

GB/T13234-2018《用能单位节能量计算方法》

GB/T13338-2018《工业燃料炉热平衡测定与计算基本规则》

GB/T 32045 节能量测量和验证实施指南

8.3 数据采集

应采集并核验包括但不限于以下数据：改造前后日耗燃料消耗量；日耗原料消耗量；日耗搭烧燃料消耗量；日运行时间；日负荷率；日产品（合成氨、甲醇、合成气、水蒸气等）产量；燃料、原料、搭烧燃料的组分及低位发热量；高温炉运行最高温度；转化管的进出口温度；排烟温度；辐射段出口烟气温度及成分；原料天然气转化率；碳转化率；合成气组分；生产报表；上报统计局的数据；购买燃料的发票；购买搭烧燃料的发票（数量、单价）；委托第三方检测机构出具的燃料、原料、搭烧燃料的低位发热量及组分的检测报告等。

8.4 节能率与节气率计算

8.4.1 改造前基准期（基期）

单位产品燃料消耗热量的计算公式：

$$X_0 = P_0 / F_0 \quad (\text{单位: MJ/t 或 MJ/m}^3)$$

其中 F_0 ——改造前1个周期（基期）生产产品产量 F_0 ，单位：t 或 m^3 。

P_0 ——改造前1个周期（基期）燃料热量 P_0 ，单位：MJ。 $P_0 = [\text{基期燃料消耗量}(Q_0) \times \text{基期燃料平均低位发热量}(M_0) + \text{基期搭烧燃料消耗量}(Q_{d0}) \times \text{基期搭烧燃料平均低位发热量}(M_{d0})]$

X_0 ——改造前单位产品燃料消耗热量

8.4.2 改造后报告期

单位产品燃料消耗热量的计算公式：

$$X_1 = P_1 / F_1 \quad (\text{单位: MJ/t 或 MJ/m}^3)$$

其中 F_1 ——改造后运行1个周期（报告期）生产产品产量，单位：t 或 m^3

P_1 ——改造后运行1个周期（报告期）燃料热量，单位：MJ。 $P_1 = [\text{报告期燃料消耗量}(Q_1) \times \text{报告期燃料平均低位发热量}(M_1) + \text{报告期搭烧燃料消耗量}(Q_{d1}) \times \text{报告期搭烧燃料平均低位发热量}(M_{d1})]$

X_1 ——改造后单位产品燃料消耗热量

8.4.3 节能率计算公式：

$$R = (X_0 - X_1) \times F_1 / (Q_0 \times M_0 + Q_{d0} \times M_{d0}) \times 100\%$$

8.4.4 节气率（以天然气为基准燃料）计算公式：

$$R_g = (X_0 - X_1) \times F_1 / (Q_0 \times M_0) \times 100\%$$

注：单位产品燃料消耗热量是指：生产单位产品所消耗的燃料的数量与燃料低位发热量的乘积。单位产品综合能耗的计算应包含主燃料和搭烧燃料，统一折算为热量输入。基期是指改造前 1 个周期；报告期是指改造后 1 个周期。

8.5 计量仪器

8.5.1 流量计：采用符合 GB/T 32201 的流量计，精度等级不低于 1.0 级，并在检定/校准有效期内。

8.5.2 温度检测仪器：红外测温仪允差不大于 ± 2 °C 或被测温度的 $\pm 1\%$ （取大值）。接触式热电偶应符合 GB/T 16839.1 的规定。

8.6 计量条件

8.6.1 所使用的计量仪器需经有资质的计量机构检定或校准合格，并在有效期内。

8.6.2 计量工作应在加热炉处于稳定运行的额定工况或常用工况下进行，且基期与报告期的工况应具有可比性。

8.6.3 测点布置应具有代表性，避免高温辐射和局部烟气干扰。

8.6.4 排烟温度测点应布置在烟道温度分布均匀的位置（如辐射段烟气出口 1m 内的直管段上）。

8.6.5 系统边界：燃料进入加热炉到烟气出加热炉为止（不含对流段余热回收系统）。

8.7 计量时间和记录

8.7.1 改造施工前，进行一次基准能耗周期的详细数据计量与记录。

8.7.2 改造完成并投入运行稳定后一个月，进行第一次节能效果检测计量。

8.7.3 在涂层有效期内，每年应进行一次复查计量，以评估长效性能。

8.8 计量结果评价

最终计量结果应由具备国家 CMA 资质的第三方检验检测机构出具的《节能改造节能量计量报告书》为准，报告须加盖 CMA 章，并由授权签字人签署。

9 施工与验收

9.1 施工前准备

9.1.1 基层处理

- 基层表面应清洁、干燥，无油污、灰尘、锈蚀物、松散颗粒及旧涂层剥落物。
- 金属基材可采用喷砂、打磨等方式清理。
- 耐火材料基材应清除表面浮灰和松散层，确保坚实、干净。

9.1.2 材料准备

- 材料使用前应充分呢搅拌均匀，无沉淀、分层；
- 应按施工面积和设计涂层厚度计算材料用量，并适当考虑施工损耗。

9.1.3 环境条件

- 施工环境温度宜在 5℃~40℃之间，相对湿度 ≤85%；
- 炉膛内应保持微负压，并确保良好的通风。

9.2 施工工艺

9.2.1 涂覆方式

- 可采用喷涂、刷涂或辊涂方式，宜优先采用喷涂以保证涂层均匀性；
- 涂层应均匀、无漏涂、无流挂。

9.2.2 涂层厚度

- 热辐射型涂层厚度（炉墙）：0.8 mm~1.0 mm；
- 热吸收型涂层厚度（管壁）：0.3 mm~0.5 mm；
- 厚度偏差应控制在±0.1 mm 以内。

9.2.3 干燥与烧结：施工完成后，应严格按第 7.9 条规定执行，控制升温速率，避免涂层开裂。

9.3 施工质量验收

9.3.1 外观检查：涂层应均匀、无漏底、无开裂、无剥落、无明显色差。

9.3.2 厚度检测：厚度应符合 9.2.2 要求。

9.3.3 验收记录：应形成书面验收记录，包括施工时间、部位、人员、检测数据、验收结论等。记录需由施工方、业主方及相关方共同签字确认。

9.4 安全环保要求

9.4.1 施工人员必须正确佩戴防尘口罩、防护眼镜、防护手套等个人防护用品。

9.4.2 施工区域应保持通风良好，设置可燃气体检测报警装置。

9.4.3 废弃材料应分类收集，按相关规定处理，不得随意丢弃。

9.4.4 施工安全及环保管理应符合 GB 7691 等相关标准的规定。

10 新材料入厂验收

10.1 包装与标识

10.1.1 包装应完好，无破损、变形、污染。

10.1.2 包装标识清晰，包括产品名称、规格型号、生产批号、生产日期、净重、执行标准等。

10.1.3 实际到货数量应与送货单一致。

10.2 质量证明文件

提供产品合格证等文件。

10.3 验收规则

10.3.1 所有验收项目合格后方可办理入库。

T/CNFAGS x—20xx

10.3.2 如有不合格项，应按协议处理或退回。

11 储存与运输

11.1 储存

材料应储存在通风、干燥、防潮的库房中，避免与酸、碱等腐蚀性物品接触。

11.2 堆放

包装桶底部应垫高 100 mm 以上，防止受潮。

11.3 使用前检查

材料出库使用前，应开桶检查材料状态，确认无结块、无变质、无沉淀硬底，搅拌均匀后方可使用。

11.4 运输

运输过程中应防潮、防晒、防倒置，寒冷天气需应采取必要的保温措施，防止材料受冻失效。

附录 A

(资料性)

节能效果模拟试验方法

本附录提供了一种用于节能新材料初步筛选与相对性能比较的实验室模拟试验方法。

A.1 试验内容

实验应包括：

1. 试验名称：应明确记录试验名称。
2. 试验时间：应记录试验开始与结束时间。
3. 试验人员：应注明试验主操作人员及辅助人员。
4. 试验工具、材料：应记录所使用的加热设备（如试验箱、喷火枪）、测温设备（测温枪）、试验样品及材质、新材料型号。
5. 试验目的：应阐述试验需要达到的目的效果。
6. 试验流程：应依据实际工况设计试验流程，确保模拟条件的代表性与一致性。

A.2 试验步骤

A.2.1 热辐射型材料：

A.2.1.1 使用测温枪分别测量有涂层与无涂层试样的初始温度并记录；

A.2.1.2 应在相同热源条件、相同距离、相同热源、相同加热时间及相同基层材质（如陶瓷纤维、高铝砖、耐火浇注料、耐火砖等）下，同时对有涂层与无涂层试样进行加热，观察并记录温度变化。

A.2.1.3 试验箱热源采用 100 W 白炽灯，试样距热源的距离均为 90mm，同时加热 2 件试样 2min，分别用测温枪测量试样正面（受热面）与背面温度并记录。

典型试验结果：

| 序号 | 基材 | 有涂层表面温度（℃） | | 有涂层表面温度（℃） | |
|----|---------|------------|------|------------|------|
| | | 正面 | 背面 | 正面 | 背面 |
| 1 | 含锆陶瓷纤维棉 | 141.9 | 40.5 | 75 | 46 |
| 2 | 高铝砖 | 79.5 | 40.1 | 53.6 | 39.9 |
| 3 | 耐火砖 | 54.9 | 36.1 | 50.6 | 36.4 |
| 4 | 耐火浇注料 | 53.4 | 44.1 | 50.3 | 43.9 |

A.2.2 热吸收型材料

A.2.2.1 准备 2 根材质、规格完全相同的金属短管，一端封闭，内装等量（如 200 ml）室温水，并插入温度计。按 7.10 要求在 1 根管外壁制备涂层，另 1 根保持原样作为对比。

A.2.2.2 使用相同功率的喷火枪或管式炉，同时对 2 根管子进行加热。

A.2.2.3 记录 2 根管子内水温均升至 100 ℃所需的时间。

A. 2. 2. 4 典型试验数据示例：

基材为碳钢管。有涂层管内水加热至 100 ℃用时 20 秒；无涂层管内水加热至 100 ℃用时 30 秒。

A. 2. 2. 5 试验结束后，及时关闭热源，清理现场。

A. 2. 3 试验记录与数据处理

所有观测数据应及时、准确、清晰地记录在预先设计的表格中。必要时可辅以照片或图表进行说明，确保试验过程的可追溯性。

A. 2. 4 试验分析

评估试验结果是否达到预期。符合预期的，记录分析并总结经验；未达到预期的，分析原因并提出改进措施，重新试验以确保新材料节能效果。

A. 2. 5 实验结论

基于试验数据和对比分析，得出关于材料节能潜力的初步结论。

A. 3. 1 对于热辐射型材料，有涂层试样正面温度显著高于无涂层试样，而背面温度差异不大，表明涂层有效提升了表面热辐射能力，且具有一定的隔热效果。

A. 3. 2 对于热吸收型材料，有涂层管内介质升温速度明显快于无涂层管，证明涂层有效增强了管壁对热辐射的吸收和向管内介质的传热效率。

A. 3 试验报告

试验完成后，应整理形成完整的试验报告。报告应包含 A. 1 至 A. 3 的全部内容，并由试验负责人签字后归档保存。

《氮肥和甲醇行业工业加热炉新材料节能技术规范》

(征求意见稿 送审稿 报批稿)

编制说明

主编单位：天津日中环保科技股份有限公司

2026年2月

目 录

| | |
|-------------------------------|----|
| 一、 工作简况 | 1 |
| 二、 标准编制原则和主要内容 | 3 |
| 三、 相关法律、法规、标准的关系及配套 | 8 |
| 四、 重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据 | 10 |
| 五、 标准实施过渡期建议及理由 | 10 |
| 六、 与标准实施有关的政策措施 | 11 |
| 八、 涉及专利的有关说明 | 13 |
| 九、 其他应当予以说明的事项 | 13 |

一、工作简况

1.1 任务来源

在“双碳”政策背景下，为响应中国氮肥工业协会关于推动去产能、调结构、促进产业升级及团体标准制定的号召，天津日中环保科技股份有限公司联合相关企业专家，在中国氮肥工业协会的指导下，依据相关技术文件、试验报告及第三方能源计量机构出具的《节能计量报告》等详实数据，共同编制本团体标准，旨在为节能新材料的实际应用提供依据。本标准技术要求将随行业技术进步和产品优化进行修订。

1.2 目的和意义

工业加热炉是氮肥和甲醇生产装置的核心耗能设备，其能效水平直接关系到全系统能耗与碳排放。对于合成氨一段转化炉、甲醇加热炉、熔盐加热炉、锅炉、气化炉、蒸汽发生炉等以辐射传热为主的炉型，炉膛内壁的热辐射效率或管道的热吸收率是影响整体热效率的关键因素。在不改变炉体结构、不改动工艺参数的前提下，通过高发射率/高吸收率节能新材料提升辐射传热效率，为行业“双碳”目标提供量化技术路径。

1.3 技术内容

本标准规定了范围、规范性引用文件、术语和定义、理化性能要求、技术原理、应用性能和效果、试验方法及节能量计量与验证方法等。

1.4 适用范围

本文件适用于合成氨一段转化炉、甲醇加热炉、熔盐加热炉、锅炉、气化炉、蒸汽发生炉等炉型，其他行业同类型炉窑可参照执行。本文件可作为节能服务公司、材料供应商、第三

方检测机构及用能单位开展节能技术应用、评估和验证的共同技术依据。

1.5 主要工作过程

本标准编制工作自 2025 年 3 月启动，2025 年 10 月经协会批准立项，拟于 2026 年 3 月完成征求意见稿，主要过程如下：

(1) 立项与筹备阶段（2025 年 3 月-5 月）：联合多家起草单位，明确标准编制目标、技术内容和任务分工，完成立项申报。

(2) 资料收集与试验研究阶段（2025 年 6 月-2025 年 7 月）：系统收集整理国内外节能新材料的理化参数与技术资料，编制参数对比表；组织实验室开展多轮次模拟试验，针对不同炉衬耐火材料基材，测试喷涂效果、隔热性能、烘干烧结等性能，通过实验数据确定最优产品类型、材料配合比、烘干烧结温度及持续时间等关键工艺参数。

(3) 工程验证与数据统计分析阶段（2025 年 8 月-9 月）：在多家起草单位的生产装置上实施项目后评价，通过已完工程的长期运行数据跟踪，获取并横向对比分析能耗节约量、碳减排量、节能率等指标，统计形成稳定可靠的技术参数，验证技术的长效性和稳定性。

(4) 标准立项。（2025 年 10 月）经中国氮肥工业协会批准立项。

(5) 标准草案编制与研讨阶段（2025 年 11 月-2026 年 2 月）：在前期工作基础上，起草标准文本和编制说明草案，组织多次起草单位内部评审，对标准文本进行修改完善，最终形成征求意见稿。

1.6 起草单位

天津日中环保科技股份有限公司、重庆建峰化工股份有限公司、四川金象赛瑞化工股份有限公司、四川美丰化工科技有限责任公司.....等。

二、标准编制原则和主要内容

2.1 编制原则

(1) 需求导向原则：紧密对接国家日益严格的碳减排政策要求（如碳排放总量控制、碳市场配额管理、碳信息披露），本标准旨在助力应用企业提升核心指标：降低能源成本（经济性）、减少碳排放（环保性）、满足政策与标准合规性（合规性），增强企业竞争力和可持续发展能力。

(2) 先进性原则

① 技术对标国际：所规范的节能新材料技术是当前工业加热炉节能领域重点发展的应用技术之一，其核心性能指标与国际先进水平接轨。

② 性能国内领先：在技术指标上，特别强调材料的“抗剥落性”、“节能效果长效性”、“节能效果稳定性”以及对“炉内耐火基材的保护性”，这些性能的综合提升代表了国内该领域技术的领先水平，可为未来技术发展奠定基础。

(3) 科学合理原则：标准制定基于科学研究、实验验证和实践经验，各项技术指标、参数经充分论证分析，确保能客观反映产品质量与性能要求。

(4) 实用可行原则：标准内容注重实用性和可操作性，明确规定了从材料性能、施工工艺到效果验证的全过程要求，可有效指导实际生产应用。各项要求均基于可复现的科学实验和有据可查的节能计量数据，对节能新材技术在氮肥行业工业加

热炉的应用具有明确的实施指导性。

2.2 技术原理

(1) 热辐射增强原理：在 500° C 以上环境，热辐射是主要传热方式（占比>95%）。材料表面热辐射率（发射率）直接影响热能利用率。HRC 热辐射型材料在 500-1500° C 时，发射率可达 0.90-0.95，显著高于一般工业加热炉耐火材料的 0.5-0.6。高温下材料自身发射率提升，使更多热量留存于炉膛内被有效利用，从而实现节能。

(2) 热吸收增强原理：物体吸收热辐射的能力由其吸收率（ α ）表征。HRC 热吸收型材料通过提高炉内被加热管道（如转化管、水冷壁管）表面的吸收率（高温烧结后在高温区 α 可达 0.98），使炉膛热量被充分吸收利用，实现节能（相比未喷涂管道吸收率 0.6-0.7，提升约 30%）。

(3) 基层保护原理：HRC 材料超细化（60%以上颗粒达纳米级），赋予其优异性能：

- 强附着力与抗剥落：高温烧结后渗透至基层，形成牢固结合，涂层结合强度高（ ≥ 67 MPa），从根本上杜绝了剥落风险。

- 耐热震：涂层与基材的热膨胀系数匹配良好，且具备一定的韧性，能够承受炉温剧烈变化而不开裂、不脱落，有效延长基材寿命。

- 陶瓷化表面：高温下形成陶瓷状表面，具备防酸腐、抗氧化、耐磨、防结垢特性，有效保护基层，防止粉尘挂壁导致的能源损失。

2.3 理化指标及确定依据

本标准中各项理化指标的确定，是基于大量实验室试验数

据、工程应用效果跟踪数据，并参考了国内外相关材料标准和检测方法，经起草单位多次论证后确定的。具体指标及依据如下表所示：

| 序号 | 理化指标 | 技术要求 | 确定依据及说明 |
|----|------|-----------------------------|--|
| 1 | 耐火度 | $\geq 2130^{\circ}\text{C}$ | 依据 GB/T 7322 进行测试。为确保材料在工业加热炉局部超温或异常工况下仍能保持结构稳定，不发生熔融流淌，参考高纯氧化物耐火材料的性能，设定该指标，确保材料使用的安全裕度。 |
| 2 | 热辐射率 | ≥ 0.9 | 依据 ASTM E408-13 或 ASTM C1371-15 进行测试。该指标是针对炉膛内壁用辐射型材料的关键性能。实验室对比测试表明，在 800-1200 $^{\circ}\text{C}$ 典型炉温下，普通耐火材料辐射率约 0.5-0.6，而本技术材料可达 0.90 以上。设定 ≥ 0.90 ，是确保显著节能效果的基础。 |
| 3 | 热吸收率 | ≥ 0.95 | 参考 ASTM E408-13 等相关标准进行测试。该指标是针对被加热管道用吸收型材料的关键性能。工程实测数据表明，喷涂本技术材料后，管 |

| | | | |
|---|------------|--|---|
| | | | 壁对热辐射的吸收率可从约 0.65 提升至 0.95 以上。设定 ≥ 0.95 ，代表了材料在该应用领域中的优异性能。 |
| 4 | 硬度 (800℃) | ≥ 68.1 HRC | 依据 GB/T 230.1 进行测试 (测试温度: 800℃)。高温硬度是衡量材料在服役条件下耐磨、抗冲刷能力的重要指标。对比试验数据显示, 在 800℃ 时本技术材料涂层保持较高硬度 (经多次试验统计平均值 ≥ 68.1 HRC), 约为 Q235 的 30 倍。此指标是材料保护基材、延长炉管寿命的量化体现。 |
| 5 | 与基层结合强度 | ≥ 67 MPa | 参考 ASTM D903 测试方法进行测试。该指标是保证涂层“不剥落”的核心参数。通过对不同配方、不同烧结工艺的试样进行拉开法测试, 筛选出结合强度 ≥ 67 MPa 的配方作为本标准的要求, 确保涂层在热冲击、气流冲刷下长期稳定不脱落。 |
| 6 | 耐磨性 (800℃) | 0.21kg/m ² (Q235 钢材的 30 倍) | 依据 ASTM G65 进行测试 (测试温度: 800℃)。该指标量化了涂层在高温下抵抗烟气 |

| | | | |
|---|---------|------------------------------------|---|
| | | | 粉尘冲刷磨损的能力。测试结果证实，本技术材料的高温耐磨性远优于普通金属基材。规定此指标，旨在保证节能效果的长期稳定性，避免因涂层磨损过快而导致性能衰减。 |
| 7 | 耐酸腐蚀性 | 在 34 mol/L 氢氟酸溶液浸泡 168 h 无起泡、剥落、变色 | 参考 GB/T 6461 进行测试。工业加热炉烟气中常含有酸性腐蚀性介质。此加速腐蚀试验用于模拟材料在酸性环境下的耐久性。该要求确保了材料在实际工况中能有效保护基材，抵御酸腐蚀。 |
| 8 | 抗酸腐防护等级 | ≥ 8 级 | 依据 GB/T 6461 对耐酸腐蚀性试验后的试样进行评级。≥ 8 级（保护等级很高）意味着试验后涂层完整，仅有极微小缺陷，进一步量化了材料对基材的保护能力。 |

2.4 节能效果模拟试验

针对不同的基层材质和实际工况，需进行模拟试验以确定最优材料类型、配比和施工参数。试验应包括以下内容：

- 1) 试验名称：清晰标识，可关联目标客户或项目。
- 2) 试验时间：起止日期及周期。
- 3) 试验人员：主操作人员及辅助人员。
- 4) 试验工具、材料：详细记录加热设备、喷涂设备、测量

仪器、试验样品（材质、型号）。

5) 试验目的：明确试验原因、简述过程及预期目标。

6) 试验方法：阐述试验的流程、操作工艺、主要试验步骤。

7) 试验步骤：样品制备与标识、炉膛位置标识、烧结升温工艺曲线、升温时间记录表。

8) 试验记录：各阶段样品照片、异常情况记录、设备故障记录、过程记录。

9) 试验结果：最终样品照片、测试数据记录。

10) 试验分析：评估是否达标，成功则总结分析；未达标则分析原因并提出改进措施。

11) 试验报告：签字确认并归档。

三、相关法律、法规、标准的关系及配套

3.1 现有政策法规与新制定标准的关系分析：

本标准紧密契合国家“双碳”战略及相关环保节能政策法规，符合标准化、合规性、适用性要求。

●基础与细化：政策法规是制定本标准的依据，本标准细化了政策法规在工业加热炉节能新材料领域的具体技术要求。

●引导与规范：政策法规引导本标准方向，本标准规范行业在应用该节能技术时的具体行为。

●互动与促进：政策法规变化将推动本标准修订，本标准的实施也将促进相关配套政策法规的完善。

3.2 与现有标准与新制定标准的关系分析：

目前国内尚无专门针对基于“高辐射/高吸收、强结合、抗剥落”技术的工业加热炉长效节能新材料应用的国家标准或行业标准。本标准的制定，填补了该领域团体标准的空白，与现有工业加热炉热平衡测定、节能量计算等相关基础标准（如GB/T 13338、GB/T 13234）相互支撑，共同构成完整的标准体

系。

3.3 与国外同类标准水平的对比情况:

在标准制定过程中,起草单位深入研究了国际高温节能领域的最新进展,特别是基于非化学计量比氧化物(如 $TiO_2 \rightarrow Ti_n O_{2n-1}$ 系列材料)与纳米技术相结合的新型节能材料的应用经验。本标准所设定的理化指标,如热辐射率、结合强度、高温耐磨性等,经对比已达到或接近国际先进水平,确保了技术指标的先进性。

3.4 规范性引用文件:

[1]GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分:试验方法

[2]GB/T 1724 研磨细度的测定

[3]GB/T 6461 金属基体上金属和其他无机覆盖层 经腐蚀试验后的试样和试件的评级

[4]GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

[5]GB/T 8923.1-2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分

[6]GB/T 13234 用能单位节能量计算方法

[7]GB/T 13338 工业燃料炉热平衡测定与计算基本规则

[8]GB/T 16839.1 热电偶 第1部分:电动势规范和允差

[9]GB/T 32045 节能量测量和验证实施指南

[10]GB/T 32201 气体流量计

[11]ASTM D903 粘贴物剥离强度标准试验方法

[12]ASTM G65 使用干砂/橡胶轮装置测量磨损的标准测试方法

[13]ASTM G54 周期性暴露高温硫腐蚀试验方法

[14]ASTM E408-13 使用检测仪技术测定表面总法向发射

率的标准试验方法

[15] ASTM C1371-15 采用便携式辐射率仪测定材料近室温发射率的标准试验方法

[16] GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

[17] GB 16297 大气污染物综合排放标准

[18] GB/T 7322 耐火材料 耐火度试验方法

四、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

无

五、标准实施过渡期建议及理由

5.1 建议

(1) 差异化过渡期:考虑氮肥和甲醇行业生产装置的连续性和工业加热炉窑的大修周期根据情况决定是否设置过渡期。

(2) 分阶段实施:建议由中国氮肥工业协会牵头,组织多场标准宣贯和技术培训活动,确保相关企业和机构准确理解标准要求,掌握应用技术。

(3) 灵活调整机制:建立标准实施信息反馈渠道,收集企业在准备和执行过程中遇到的问题,为后续标准的修订和完善提供依据。

(4) 加强培训指导:相关部门/协会组织宣贯培训,提供技术指导与咨询。

5.2 理由

(1) 保障企业调整:为企业预留工艺调整、设备采购、人员培训时间,避免停产或产品不合规。

(2) 降低社会成本:避免企业仓促行动造成资源浪费(如过早淘汰可用设备)及潜在行业波动、就业问题。

(3) 维护市场稳定:防止标准骤然实施导致供应短缺或

价格剧烈波动，保障消费者权益。

（4）提升执行效果：分阶段实施与培训指导有助于企业更好地理解执行标准，提高合规率。灵活机制增强标准适应性、科学性。

六、与标准实施有关的政策措施

6.1 组织措施

（1）明确职责：生态环境部门监管排放标准；发展改革部门引导产业结构调整与资源倾斜（限制“两高”，鼓励清洁节能）；工业和信息化部门推动工业节能降耗、技改升级。

（2）跨部门协调：建立生态环境、发展改革、工信、住建等部门协调机制（如联席会议），协同解决问题（如建筑节能项目支持、工业节能减排联合监管）。

（3）发挥协会作用：鼓励行业协会（如中国氮肥工业协会）组织标准宣贯、制定自律规范、交流技术经验，推动行业绿色转型。

6.2 技术措施

（1）技术指导与培训：由专业机构/专家提供标准解读、技术要求和操作培训。

（2）技术支撑平台：建立标准信息服务平台（查询、解读）、检测检验平台（产品检测、认证）。

（3）鼓励技术创新：通过政策资金支持，激励企业研发应用先进环保节能技术（如对达标先进企业给予奖励）。

6.3 实施日期考虑

（1）合理过渡期：根据行业特点（如工业加热炉检修周期），设定1—3年过渡期。

（2）分阶段实施：对难度大或影响大的标准，分阶段设

定目标逐步达标（如工业超低排放改造）。

（3）国际标准接轨：适时引入并实施成熟的国际标准（如 ISO 14001），提升企业国际竞争力。

七、废止现行有关标准的建议

7.1 全面评估

建立定期审查机制（如 3—5 年），从环境、经济、社会效益等多维度评估现行相关标准（如减排效果、技术推动力、环境影响、成本效益）。

7.2 遵循原则

（1）范围限定：废止或转化超出保障安全、健康、生态及基本管理要求范围的标准。

（2）整合优化：废止整合后重复、交叉、矛盾的标准。

7.3 关注变化

（1）技术进步：废止阻碍新技术应用的过时标准。

（2）市场需求：废止针对已淘汰或需求锐减的高污染、高能耗产品的标准。

7.4 结合政策

（1）上位政策调整：及时修订或废止与“双碳”等国家重大政策不符或力度不足的标准。

（2）区域差异：地方可建议废止或调整不适用的上级标准，制定更符合本地实际的地方标准。

（3）公众参与：废止前广泛征求企业、协会、环保组织、公众意见（听证会、公开征询），建立沟通反馈机制说明原因及后续安排。

八、涉及专利的有关说明

本标准的制定和实施不涉及已知的知识产权(专利)问题。

九、其他应当予以说明的事项

无。