

T/CIET

团 体 标 准

T/CIET XXXX—XXXX

甲烷干重整（DRM）催化剂

Dry reforming of methane (DRM) catalyst

（征求意见稿）

2026 – XX – XX 发布

2026 – XX – XX 实施

中国国际经济技术合作促进会 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 技术要求 2

 4.1 外观 2

 4.2 理化性能 2

 4.3 催化性能 2

 4.4 热稳定性 2

 4.5 安全性 2

5 试验方法 2

 5.1 外观检查 2

 5.2 理化性能测试 3

 5.3 催化性能测定 3

 5.4 热稳定性试验 4

 5.5 安全性试验 4

6 检验规则 4

 6.1 检验分类 4

 6.2 出厂检验 4

 6.3 型式检验 4

 6.4 判定规则 5

7 标志、包装、运输和贮存 5

 7.1 标志 5

 7.2 包装 5

 7.3 运输 5

 7.4 贮存 5

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。

本文件由中国国际经济技术合作促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件首次发布。

甲烷干重整（DRM）催化剂

1 范围

本文件规定了甲烷干重整（DRM）催化剂的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于甲烷干重整（DRM）催化剂的生产、检验与应用，催化剂类型包含镍系催化剂和镍基复合金属催化剂。

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 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
- GB/T 19587 气体吸附BET法测定固态物质比表面积
- GB/T 23413 纳米材料晶粒尺寸及微观应变的测定 X射线衍射线宽化法
- HG/T 2273.4 天然气一、二段转化催化剂试验方法
- HG/T 2511 甲烷化催化剂化学成分分析方法
- HG/T 2782 化工催化剂颗粒抗压碎力的测定
- HG/T 2976 化肥催化剂磨损率的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

甲烷干重整 dry reforming of methane; DRM

在催化剂作用下，甲烷（CH₄）与二氧化碳（CO₂）在高温下反应，生成合成气一氧化碳（CO）和氢气（H₂）的强吸热过程。其主反应为：CH₄+CO₂→2CO+2H₂。

3.2

甲烷干重整催化剂 dry reforming of methane catalyst

用于加速甲烷干重整反应的催化材料。

3.3

镍系催化剂 nickel-based catalyst

以金属镍（Ni）为核心活性组分，负载于载体上，辅以助剂制成的甲烷干重整催化剂。

3.4

镍基复合金属催化剂 nickel-based composite metal catalyst

以镍（Ni）为核心活性组分，引入一种或多种其他金属形成复合活性体系，负载于载体上并添加助剂制成的甲烷干重整催化剂。

3.5

甲烷（CH₄）转化率 methane conversion

甲烷干重整反应中，转化的甲烷量与进料甲烷量的百分比。

3.6

二氧化碳转化率 carbon dioxide conversion

甲烷干重整反应中，转化的二氧化碳量与进料二氧化碳量的百分比。

4 技术要求

4.1 外观

甲烷干重整催化剂应为颗粒、条状或球状，形态均匀。产品无明显杂质、结块、破损及粉化现象，颜色均一（通常呈黑色、深灰色或棕褐色）；颗粒尺寸应符合供需双方约定。

4.2 理化性能

甲烷干重整催化剂理化性能应符合表1规定，特殊要求可由供需双方协商确定。

表 1 理化性能指标表

序号	项目	单位	综合指标
1	镍活性组分含量（质量分数）	%	镍系催化剂：5~15； 镍基复合金属催化剂：3~12
2	堆积密度	g/ml	0.9~1.2
3	径向抗压碎力	N/颗粒	固定床≥80，流化床≥30
4	磨损率（质量分数）	%	≤3.0
5	平均孔径	nm	4~25
6	孔容	mL/g	≥0.20
7	比表面积（BET）	m ² /g	≥40

4.3 催化性能

甲烷干重整催化剂在标准评价条件（反应温度750℃、反应压力0.1 MPa、CH₄/CO₂摩尔比1:1、空速60000 mL·g⁻¹·h⁻¹）下，催化性能应符合表2规定。特殊反应条件的性能要求，可由供需双方协商确定。

表 2 催化性能指标表

序号	项目	单位	镍系催化剂指标	镍基复合金属催化剂指标
1	初始CH ₄ 转化率	%	≥70	≥75（含贵金属助剂时≥80）
2	初始CO ₂ 转化率	%	≥75	≥80（含贵金属助剂时≥85）
3	产物H ₂ /CO摩尔比	—	0.85~1.05	0.85~1.05
4	连续运行90 h后CH ₄ 转化率衰减率	%	≤6.0	≤4.0（含贵金属助剂时≤3.0）
5	90 h后积碳量	%	≤6.0	≤4.0（含贵金属助剂时≤3.0）
6	90 h后镍晶粒尺寸变化率	%	≤25	≤20（含贵金属助剂时≤15）

4.4 热稳定性

4.4.1 焙烧稳定性：催化剂在 800℃空气氛围中焙烧 4 h 后，质量损失≤5.0%，且无明显烧结、结块现象，且镍金属颗粒粒径、比表面积无明显变化。

4.4.2 升降温稳定性：在 DRM 反应温度范围内（600℃~900℃），连续升降温 3 次后，催化剂 CH₄ 转化率大于 65%。

4.5 安全性

4.5.1 应不含有毒、有害、易燃易爆物质，其浸出毒性应符合 GB/T 5085.3 的规定。

4.5.2 在正常储存、运输过程中，应无自燃、泄漏等安全隐患，遇水不产生有毒有害气体。

5 试验方法

5.1 外观检查

5.1.1 在自然光下，观察催化剂的外观、颜色及颗粒形态，检查是否存在杂质、结块、破损及粉化现象；颗粒尺寸应符合供需双方约定要求。

5.1.2 检验颗粒尺寸，应采用精度为 0.01 mm 的游标卡尺，随机选取 30 个催化剂颗粒，测量其粒径

（条状催化剂测直径和长度，球状催化剂测直径），计算粒径平均值及偏差。

5.2 理化性能测试

5.2.1 镍活性组分含量：采用原子吸收光谱法，或参照 HG/T 2511 执行，以原子吸收光谱法为仲裁法。样品经消解处理后测定。

5.2.2 堆积密度：采用容量法，将干燥催化剂在自然落料状态下装入 100 mL 量筒，称量质量计算堆积密度，平行测定 3 次取平均值。

5.2.3 径向抗压碎力：采用经检定合格的催化剂径向抗压强度测试仪，按 HG/T 2782 相关要求执行，随机选取 15 个颗粒测定，取平均值。

5.2.4 磨损率：采用催化剂磨损率测定仪，参照 HG/T 2976 相关要求执行。

5.2.5 比表面积（BET）：采用气体吸附法，按照 GB/T 19587 相关要求执行，测试条件为液氮温度（-196 ℃），相对压力范围 0.05 MPa~0.3 MPa。

5.2.6 平均孔径、孔容：采用气体吸附法，吸附-脱附等温线结合 BJH 模型计算，参照 GB/T 19587 配套测试流程执行，测试条件与比表面积测定一致。

5.3 催化性能测定

5.3.1 评价装置

采用固定床反应器，内径 10 mm~15 mm，长度 300 mm~500 mm。催化剂装填量 0.5 g~1.0 g，破碎至 10 目以上的颗粒，用等粒度石英砂稀释至床层体积不小于 2 mL，以保证床层高径比适宜，避免沟流。

5.3.2 评价条件

反应温度 750 ℃、反应压力 0.1 MPa、CH₄/CO₂ 摩尔比 1:1、空速 60000 mL·g⁻¹·h⁻¹。反应前 H₂ 氛围中（500 ℃、空速 30000 mL·g⁻¹·h⁻¹）还原 2 h。

5.3.3 初始转化率及 H₂/CO 摩尔比测定

5.3.3.1 测试时机：反应稳定 30 min 后进行测定。

5.3.3.2 检测方法：采用气相色谱仪（热导检测器 TCD）测定进料和产物中 CH₄、CO₂、H₂、CO 的体积分数，检测方法参照 HG/T 2273.4 相关要求执行。

5.3.3.3 初始 CH₄ 转化率计算，按照公式（1）执行。

$$X_{CH_4} = \left(1 - \frac{F_{out} \cdot y_{CH_4, out}}{F_{in} \cdot y_{CH_4, in}}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中：

X_{CH_4} ——初始 CH₄ 转化率，单位为百分比（%）；
 F_{in} 、 F_{out} ——进料、尾气总摩尔流量，单位为摩尔每小时（mol/h）；
 $y_{CH_4, in}$ 、 $y_{CH_4, out}$ ——进料、尾气中 CH₄ 的摩尔分数。

5.3.3.4 初始 CO₂ 转化率计算，按照公式（2）执行。

$$X_{CO_2} = \left(1 - \frac{F_{out} \cdot y_{CO_2, out}}{F_{in} \cdot y_{CO_2, in}}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中：

X_{CO_2} ——初始 CO₂ 转化率，单位为百分比（%）；
 F_{in} 、 F_{out} ——进料、尾气总摩尔流量，单位为摩尔每小时（mol/h）；
 $y_{CO_2, in}$ 、 $y_{CO_2, out}$ ——进料、尾气中 CO₂ 的摩尔分数。

5.3.3.5 产物 H₂/CO 摩尔比计算，按照公式（3）执行。

$$R_{H_2/CO} = y_{H_2, out} / y_{CO, out} \quad (3)$$

式中：

$R_{H_2/CO}$ ——产物 H₂/CO 摩尔比；
 $y_{H_2, out}$ ——尾气中 H₂ 的摩尔分数；
 $y_{CO, out}$ ——尾气中 CO 的摩尔分数。

5.3.4 连续运行 90 h 后 CH₄ 转化率衰减率测定

在标准评价条件下连续运行 90 h，每 10 h 测定 CH₄ 转化率，按公式（4）计算衰减率。

$$D = \frac{X_{CH_4,0} - X_{CH_4,90}}{X_{CH_4,0}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

D ——转化率衰减率，单位为百分比（%）；

$X_{CH_4,0}$ ——初始 CH₄ 转化率，单位为百分比（%）；

$X_{CH_4,90}$ ——运行 90 h 后的 CH₄ 转化率，单位为百分比（%）。

5.3.5 积碳量测定

取连续反应 90 h 后的催化剂样品，采用热重分析仪（TG）在空气气氛下进行测定，升温速率 10 °C/min，记录热失重曲线，积碳量以质量分数计。

5.3.6 镍晶粒尺寸变化率测定

采用 X 射线衍射法（XRD）测定反应前后催化剂中镍晶粒尺寸，测定方法参照 GB/T 23413 相关规定执行。采用谢乐公式计算。变化率按公式（5）计算。

$$S = \frac{d_{90} - d_0}{d_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

S ——镍晶粒尺寸变化率，单位为百分比（%）；

d_0 ——反应前镍晶粒尺寸，单位为纳米（nm）；

d_{90} ——反应 90 h 后镍晶粒尺寸，单位为纳米（nm）。

5.4 热稳定性试验

5.4.1 焙烧稳定性：称取约 5.0 g（精度：±0.1 mg）催化剂样品，置于已恒重的坩埚中，在静态空气气氛的马弗炉内，于 800 °C 下焙烧 4 h。随炉冷却至室温后，称量，计算其质量变化率；同时观察样品是否出现颜色显著改变、结构坍塌、破碎或粉化等现象。

5.4.2 升降温稳定性：在 DRM 反应装置中，以 5 °C/min 速率升温至 900 °C 恒温 30 min，再降温至 600 °C 恒温 30 min，此为一个循环，重复进行 3 次循环；每次循环结束后，均将反应温度调回 750 °C，并在标准反应条件下稳定 1 h，第 3 次循环结束后测定该点的 CH₄ 转化率。

5.5 安全性试验

5.5.1 浸出毒性：按照 GB/T 5085.3 执行。

5.5.2 自燃与遇水安全性：取样品置于空气中观察 24 h，不应自燃；另取样品加入去离子水，不应产生有毒有害气体。

6 检验规则

6.1 检验分类

分为出厂检验和型式检验。

6.2 出厂检验

每批催化剂出厂前应进行出厂检验，合格后方可出厂，具体按以下要求执行：

- 生产厂家应保证所生产的甲烷重整催化剂符合本文件及合同约定，每批产品均附有质量检验合格证书，建立产品质量追溯体系；
- 检验项目：外观、镍含量、堆积密度、径向抗压碎力、磨损率、初始 CH₄ 及初始 CO₂ 转化率、产物 H₂/CO 摩尔比；
- 批量划分：以同一配方、同一生产工艺、同一批次生产的产品为一批，每批重量不超过 500 kg。

6.3 型式检验

6.3.1 下列情况之一，应进行型式检验：

- a) 新产品投产或老产品停产 6 个月以上恢复生产时；
- b) 生产工艺、原材料发生重大变化时；
- c) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时；
- d) 国家有关部门要求时；
- e) 正常生产时，每半年至少进行一次。

6.3.2 检验项目：本文件第 4 章全部要求。

6.3.3 抽样方法：从每批中随机抽取 5 个样品，每个不少于 100 g。

6.4 判定规则

6.4.1 各项检验均符合本文件时，判定该批合格。

6.4.2 若有一项不符合，应加倍抽样复检；复检后仍有不符合项，则判定该批不合格。

6.4.3 催化性能、热稳定性等关键指标不合格时，不得复检，直接判定该批不合格。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

每个包装容器上应至少标明以下内容：

- a) 产品名称；
- b) 型号、生产厂家（名称、地址、联系方式）、生产日期、批号、保质期、净含量、执行标准编号；
- c) “防潮”、“防晒”、“防碰撞”等警示标志。

7.2 包装

7.2.1 采用双层包装；内层为防水、防透气塑料薄膜袋，外层为铁桶或硬质塑料桶；包装应密封、牢固。

7.2.2 每桶净含量由供需双方协商。

7.2.3 包装容器上应附有产品质量检验合格证书。

7.3 运输

7.3.1 运输过程中应避免雨淋、暴晒、碰撞、挤压，防止包装破损、受潮或粉化。

7.3.2 运输工具应清洁、干燥，无有毒、有害、腐蚀性物质，严禁与易燃易爆、有毒有害物质混运。

7.4 贮存

7.4.1 贮存于干燥、通风、阴凉、清洁的库房内，远离火源、热源、潮湿环境及腐蚀性物质。库房温度控制在 0℃～40℃，相对湿度≤60%。

7.4.2 不同批号分开存放。

7.4.3 保质期自生产日期起不少于 12 个月。超过保质期应重新检验，合格后方可使用。若用户在规定的贮存条件下、保质期内发现催化剂不符合本文件要求，生产厂家应在收到反馈后 7 个工作日内核实，确认不合格的，负责退换货并承担相应损失。