

ICS XX.XXX

CCS X XX

团体标准

T/CIECCPA □□□—202□

燃煤电厂 SCR 烟气脱硝催化剂检测评价 技术规范

Technical specification for detection and evaluation of SCR catalyst in
coal-fired power plants

(征求意见稿)

(在提交反馈意见时, 请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。)

20□□—□□—□□发布

20□□—□□—□□实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

СЛЕДСТВИЕ

目次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语与定义.....	1
4 检测评价内容.....	3
4.1 外观.....	3
4.2 几何特性.....	3
4.3 理化特性.....	3
4.4 工艺特性.....	4
5 检测评价方法.....	4
5.1 外观.....	4
5.2 几何特性.....	5
5.3 理化特性.....	7
5.4 工艺特性.....	13
6 评价方法.....	17
6.1 理化特性评分.....	17
6.2 工艺特性评分.....	18
6.3 特殊情况评分.....	19
6.4 综合质量等级.....	19
7 检测评价报告.....	19
图 1 蜂窝式催化剂单元体宽度方向变形测量示意图.....	4
图 2 蜂窝式催化剂单元体长度方向变形测量示意图.....	5
图 3 蜂窝式催化剂单元体及截面示意图.....	6
图 4 平板式催化剂单板示意图.....	7
图 5 样品仓串联布置的蜂窝式催化剂磨损强度测试装置流程示意图.....	9
图 6 样品仓并联布置的蜂窝式催化剂磨损强度测试装置流程示意图.....	9
图 7 催化剂工艺特性测试装置示意图.....	13
表 1 测试装置烟气条件.....	14
表 2 推荐的烟气成分检测方法及相关标准.....	14
表 3 蜂窝式催化剂主要化学成分评分方法.....	17
表 4 平板式催化剂主要化学成分评分方法.....	18
表 5 催化剂综合质量等级.....	19

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：浙江大维高新技术股份有限公司、浙江菲达环保科技股份有限公司、中国计量大学、浙江大学、西安热工研究院有限公司、浙江大学嘉兴研究院。

本文件主要起草人：祝建军、刘云、邴建国、朱文滔、孙公钢、郑成航、刘源、张涌新、冯超、周灿、朱琪亮、赵飞。

本文件为首次发布。

燃煤电厂 SCR 烟气脱硝催化剂检测评价技术规范

1 范围

本文件界定了燃煤电厂 SCR 烟气脱硝催化剂检测评价内容、检测评价方法和检测评价报告。

本文件适用于燃煤电厂 SCR 烟气脱硝催化剂检测评价，其他火电技术领域 SCR 烟气脱硝催化剂检测评价可参照执行。

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 6285 气体中微量氧的测定 电化学法

GB/T 14642 工业循环冷却水及锅炉水中氟、氯、磷酸根、亚硝酸根、硝酸根和硫酸根的测定 离子色谱法

GB/T 15454 工业循环冷却水中钠、铵、钾、镁和钙离子的测定 离子色谱法

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB/T 19587 气体吸附 BET 法测定固态物质比表面积

GB/T 21650.1 压汞法和气体吸附法测定固体材料孔径分布和孔隙度 第 1 部分：压汞法

GB/T 23942 化学试剂 电感耦合等离子体原子发射光谱法通则

GB/T 31590 烟气脱硝催化剂化学成分分析方法

DL/T 260 燃煤电厂烟气脱硝装置性能验收试验规范

HJ 534 环境空气 氨的测定 次氯酸钠-水杨酸分光光度法

HJ 629 固定污染源废气 二氧化硫的测定 非分散红外吸收法

HJ 692 固定污染源废气 氮氧化物的测定 非分散红外吸收法

JJG 662 顺磁式氧分析器检定规程

ISO 7996 环境空气 氮氧化物质量浓度的测定 化学发光法

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

蜂窝式催化剂 **honeycomb catalysts**

整体挤压成型，端面为蜂窝状，经焙烧而成的脱硝催化剂。

3.2

平板式催化剂 **parallel-plate catalysts**

以金属板网为基材，经压制、焙烧而成的脱硝催化剂。

3.3

催化剂单板 catalyst plate

金属网表面均匀涂覆活性组分，按照一定的规格褶皱并剪切而成的催化剂板，是平板式催化剂的基本组成部分。

3.4

催化剂单元体 catalyst element

截面尺寸为150 mm×150 mm的催化剂单体，是蜂窝式催化剂的基本组成部分。

3.5

节距 pitch

蜂窝式催化剂的蜂窝孔径与内壁厚度之和，平板式催化剂相邻两壁中心层之间的距离或层间宽度与内壁厚度之和，以mm表示。

3.6

几何比表面积 geometrical specific surface area

烟气流通过蜂窝式催化剂通道的总表面积与催化剂体积的比值，以 m^2/m^3 表示。

3.7

开孔率 opening ratio

烟气流通过通道的总截面积与蜂窝式催化剂截面积的比值，以%表示。

3.8

平整度 flatness

待测平面4个不同位置的测点与基准平面之间的高度差，以mm表示。

3.9

轴向抗压强度 axial compressive strength

常温下，当施加的压力方向与烟气流通过通道的方向平行时，按规定条件加压，蜂窝式催化剂试样发生破坏前单位面积上所能承受的最大压力，以MPa表示。

3.10

径向抗压强度 transverse compressive strength

常温下，当施加的压力方向与烟气流通过通道的方向垂直时，按规定条件加压，蜂窝式催化剂试样发生破坏前单位面积上所能承受的最大压力，以MPa表示。

3.11

磨损强度 abrasion resistance

蜂窝式催化剂经加速试验磨损前后质量损失的百分比与所消耗的磨损剂质量的比值，以%/kg表示。平板式催化剂在旋转式磨损测试仪上按照特定条件研磨前后的质量差，以mg/100U (mg/100r)表示。

3.12

粘附强度 adhesion strength

当平板式催化剂受到弯曲压力或含尘气流冲刷时，由活性物质等组成的涂层附着于金属基材的能力，以%表示。

3.13

微观比表面积 BET surface area

单位质量催化剂的表面和内孔的总表面积，以 m^2/g 表示。

3.14

孔容 pore volume

单位质量催化剂的内孔的总容积，本标准中特指用压汞仪测得的孔体积，以 mL/g 表示。

3.15

孔径 pore size

催化剂的微观孔隙的宽度（如圆柱形孔的半径或狭缝孔相对壁间的距离的一半），以 Å （ 0.1nm ）表示。

3.16

脱硝效率 denitrification efficiency

烟气中脱除的 NO_x 量与原烟气中所含 NO_x 量的百分比，以%表示。

3.17

面速度 area velocity

烟气流量与催化剂单元体的总几何表面积（催化剂单元体体积与几何比表面积的乘积）之比，以 m/h 表示。

3.18

氨氮摩尔比 NH_3/NO_x molar ratio

烟气中氨的物质的量与氮氧化物物质的量之比，无量纲。

3.19

活性 activity

催化剂在氨基还原剂与氮氧化物发生化学反应过程中所起到的催化作用的能力，指在特定条件下，单位面积的催化剂所能处理的烟气量，以 m/h 表示。

3.20

 SO_2/SO_3 转化率 SO_2/SO_3 conversion rate

烟气中的二氧化硫（ SO_2 ）在催化反应过程中被氧化成三氧化硫（ SO_3 ）的体积浓度百分比，以%表示。

3.21

氨逃逸 ammonia slip

反应器出口烟气中氨的体积与烟气体积（标态、干基、过量空气系数1.4）之比，以 $\mu\text{L/L}$ 表示。

4 检测评价内容**4.1 外观**

外观检测评价内容应包括催化剂结构、催化剂表面和催化剂截面单元体形状等。

4.2 几何特性

几何特性检测评价内容应包括催化剂的几何尺寸、几何比表面积和开孔率等。

4.3 理化特性

理化特性检测评价内容应包括催化剂的抗压强度（蜂窝式催化剂）、粘附强度（平板式催化剂）、

磨损强度、微观比表面积、孔容、孔径及孔径分布、主要化学成分和微量元素等。

4.4 工艺特性

工艺特性检测评价内容应包括催化剂的脱硝效率、氨逃逸、活性和 SO_2/SO_3 转化率等。

5 检测评价方法

5.1 外观

检查催化剂表面是否有锋棱、凸起、尖角、毛刺、剥离和鼓泡等缺陷。

5.1.1 蜂窝式催化剂

5.1.1.1 单元体

单元体外观质量应采用目视法测定，检查是否有孔道变形。裂缝宽度应采用塞尺测量，精确至 0.1 mm；裂纹长度和缺口深度应采用刻度尺测量，精确至 1 mm。

5.1.1.2 单元体变形（变形度）

5.1.1.2.1 设备和材料

- a) 水平平台：平面度精度大于或等于 0 级。
- b) 游标卡尺：精确至 0.01 mm。
- c) 钢直尺或钢条：量程不低于 200 mm，精确至 1 mm。
- d) 卷尺：量程不低于 2000 mm，精确至 1 mm。
- e) 塞规或塞尺：量程不低于 10 mm、精度不低于 0.1 mm。
- f) 催化剂单元体试样：原始状态、单元体表面整洁。

5.1.1.2.2 宽度方向变形（变形度）

将催化剂单元体放在平台上，用游标卡尺测量单元体宽度方向，即横截面的尺寸 (a, b) ，精确至 0.01 mm。观察宽度方向变形最大的表面。将钢直尺或钢条放在单元体宽度方向变形最大的部位。用塞尺或塞规测量单元体表面与钢直尺或钢条之间的最大距离 h 。宽度方向变形测量示意图见图 1。

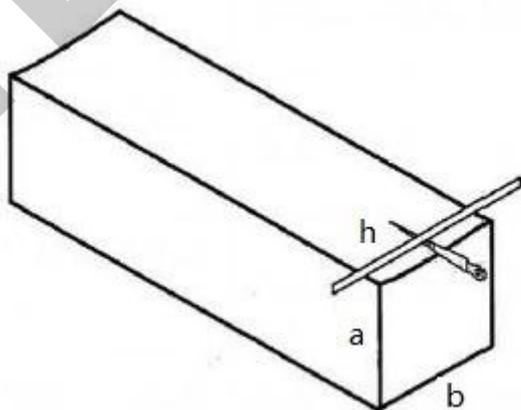


图 1 蜂窝式催化剂单元体宽度方向变形测量示意图

5.1.1.2.3 长度方向变形（变形度）

将催化剂单元体放在平台上，用卷尺测量单元体的长度 (l)，精确至 1 mm。将催化剂单元体的 1、2 点 (3、4 点) 按在平台上并固定，用塞规读取第 3、4 点 (1、2 点) 和工作平台的间隙 (h)，如图 2 所示，测量 4 个点与工作平台的最大间隙 h 。

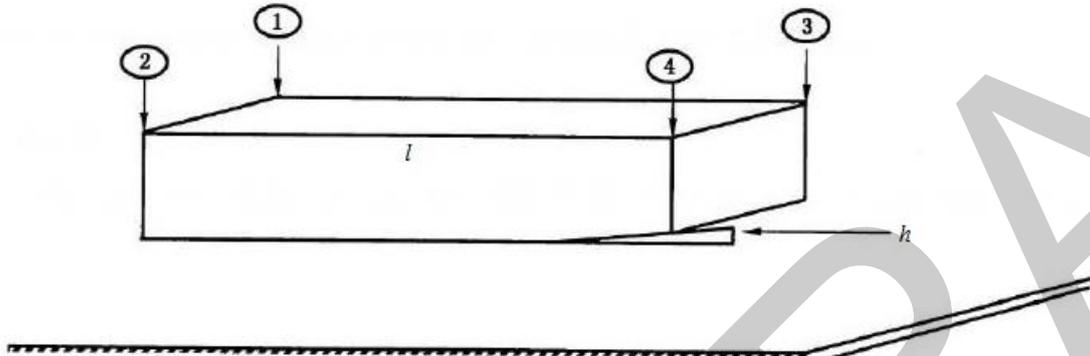


图 2 蜂窝式催化剂单元体长度方向变形测量示意图

5.1.1.2.4 结果计算

催化剂单元体变形度 X ，数值以百分数 (%) 表示，按公式 (1) 计算：

$$X = \frac{h}{Y} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

h ——测定的最大间隙，单位为毫米 (mm)；

Y ——长度方向的变形取单元体长度 l ，宽度方向的变形取横截面尺寸 (a 或 b)，单位为毫米 (mm)。

5.1.2 平板式催化剂

外观采用目视法测定，检查内容主要为有无裂纹、裂缝、变形、色差、透光以及催化剂活性物质从基板上脱落。

5.2 几何特性

5.2.1 蜂窝式催化剂

5.2.1.1 单元体结构尺寸

- a) 用游标卡尺测量单元体的内壁厚 (b_w)、外壁厚 (b_{ow})、孔径 (d_a , d_b)，精确至 0.01 mm，孔径 d 为 a 、 b 方向的孔径 d_a 、 d_b 的算术平均值，节距 P 为 a 、 b 方向的节距 P_a 、 P_b 的算术平均值，也即内壁厚 (b_w) 和孔径 d 之和。
- b) 测量点的位置取决于试样的形状，应均匀分散，孔径测量点的数量应不少于 10 个，取其算术平均值作为最终测定结果。
- c) 单元体示意图见图 3。

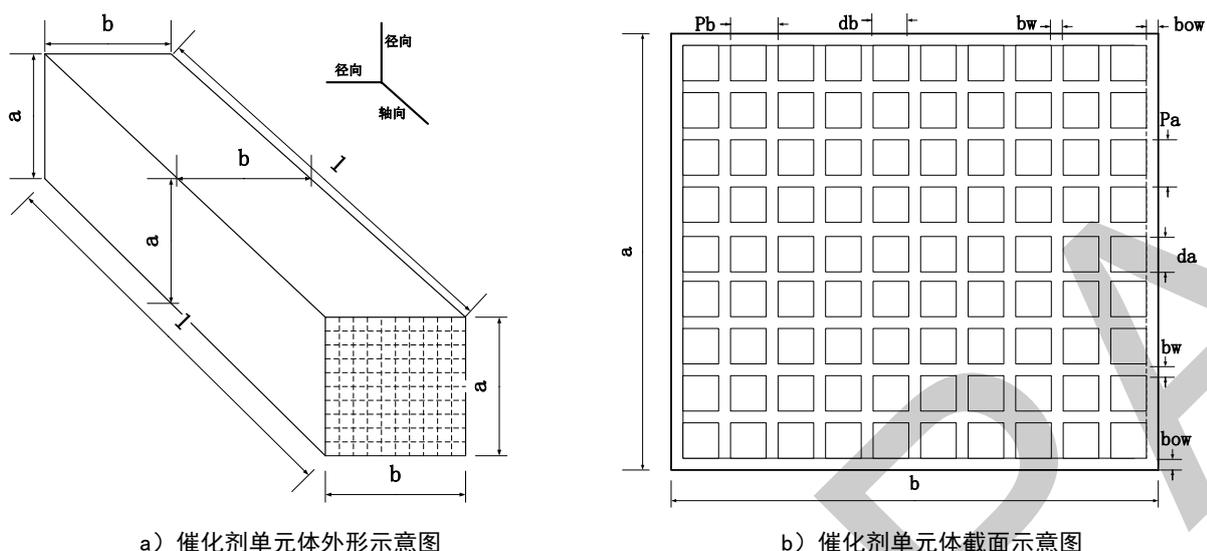


图 3 蜂窝式催化剂单元体及截面示意图

5.2.1.2 单元体几何比表面积

蜂窝式催化剂单元体几何比表面积 A_p ，数值以平方米每立方米 (m^2/m^3) 表示，按公式 (2) 计算：

$$A_p = \frac{4 \times d \times n^2 \times 1000}{a \times b} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

- d ——蜂窝式催化剂的孔径，单位为毫米 (mm)；
- n ——蜂窝式催化剂单元体端面上一排孔的数量；
- a 、 b ——蜂窝式催化剂单元体实测横截面尺寸。

5.2.1.3 单元体开孔率

蜂窝式催化剂单元体的开孔率 ε ，数值以百分数 (%) 表示，按公式 (3) 计算：

$$\varepsilon = \frac{d^2 \times n^2}{a \times b} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

式中：

- d ——蜂窝式催化剂的孔径，单位为毫米 (mm)；
- n ——蜂窝式催化剂单元体端面上一排孔的数量；
- a 、 b ——蜂窝式催化剂单元体实测横截面尺寸。

5.2.2 平板式催化剂单板尺寸

- a) 用卷尺测量单板的长度 (l) 和宽度 a ，精确至 1 mm；用游标卡尺测量单元体的壁厚 (d_p)、节距 (P)、波高 (h_s) 和波宽 (b_s)，精确至 0.01 mm。
- b) 测量点的位置取决于试样的形状，应均匀分散，取同一单板不同位置的三次测量结果的算术平均值作为测量结果，三次测量结果的相对偏差应不大于 4%，取其算术平均值作为最终测定结果。
- c) 催化剂单板示意图见图 4。

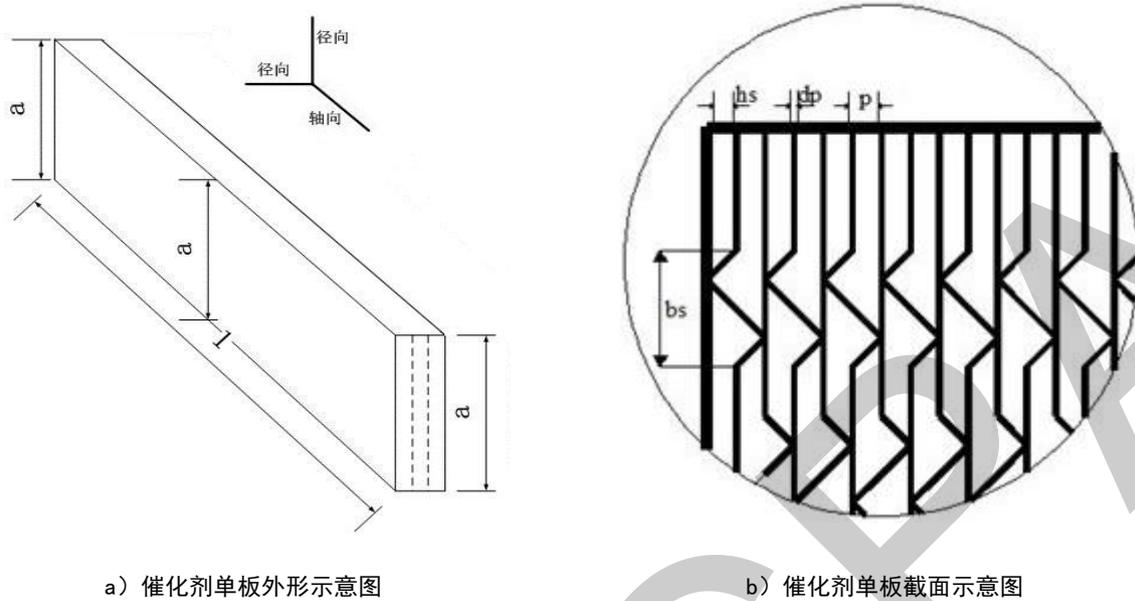


图 4 平板式催化剂单板示意图

5.3 理化特性

5.3.1 蜂窝式催化剂抗压强度

5.3.1.1 设备和材料

- a) 压力试验机：量程不应大于 1125 kN，施加于试样上的最小破坏应力应大于量程的 10%，示值误差应在 $\pm 2\%$ 以内。
- b) 游标卡尺：量程应为 0 mm~200 mm，精确至 0.01 mm。
- c) 衬垫片：厚度应为 3 mm~6 mm 的高岭棉或陶瓷纤维纸。

5.3.1.2 试样的制备

在催化剂单元体的未经硬化部位，截取长度应为 $150 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ 的试样，分别用于测定轴向抗压强度和径向抗压强度。试样应保持结构完整且无裂纹，切割面应平整光滑并与催化剂孔壁垂直。测量试样受压面 4 个不同位置的高度以检验受压面的平整度，任何两个测量点的高度之差不应大于 2 mm。

5.3.1.3 测定步骤

应按照 5.2.1.1 的要求测量试样受力面的截面尺寸。将两片高岭棉或陶瓷纤维纸分别放在试样受力面的顶部和底部，再将试样置于压力试验机两块压板的中心位置（试样应被试验机压板全部覆盖）。开启压力试验机并以 1125 N/s 的加压速率连续均匀施加压力，直至试样完全破碎或压力试验机完全停止，记录此时的最大压力示值。

5.3.1.4 结果计算

蜂窝式催化剂的轴向和径向抗压强度应按公式（4）计算：

$$P = \frac{F}{L \times W} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

P ——蜂窝式催化剂抗压强度，单位为兆帕（MPa）；

F ——最大压力示值的数值，单位为牛顿（N）；

L ——试样底部（或顶部）长度的数值，单位为毫米（mm）；

W ——试验底部（或顶部）宽度的数值，单位为毫米（mm）。

5.3.2 平板式催化剂粘附强度

5.3.2.1 设备和材料

- a) 柱轴弯曲试验仪：应适用于厚度为 0.7 mm~1.5 mm 的板材。
- b) 芯轴：轴径为 8 mm，应由硬质抗腐蚀材料（如不锈钢）制成。
- c) 游标卡尺：量程应为 0 mm~200 mm，精确至 0.01 mm。
- d) 电子天平：应精确至 0.0001 g。
- e) 剪板机：能保证催化剂剪切时端面平整、光滑即可。

5.3.2.2 试样的制备

从平板式催化剂上剪切尺寸约为 90 mm×50 mm 的试样，试样不应包含催化剂的波形部分。

5.3.2.3 测定步骤

- a) 按照 5.2.2 的要求分别测量试样长、宽方向的尺寸，将试样放入 60 °C 干燥箱中干燥 30 min，然后放入干燥器中冷却 30 min，用电子天平称量并记录试样质量（从干燥器中取出后的称重过程应在 60 s 之内完成）。
- b) 将试样垂直固定在柱轴弯曲试验仪上，按照仪器操作手册进行测试，弯曲过程应平稳迅速。测试完成后取下试样，采用压力为 0.1 MPa 的压缩空气在试样折弯处来回均匀吹扫 20 s，然后将试样放入 60 °C 干燥箱中干燥 30 min，然后放入干燥器中冷却 30 min，用电子天平称量并记录试样质量（从干燥器中取出后的称重过程应在 60 s 之内完成），称量完成后将试样上的活性物质去除后称量金属基材的质量。

5.3.2.4 结果计算

平板式催化剂的粘附强度应按公式（5）计算：

$$\lambda = \left(1 - \frac{W_2 - W_0}{W_1 - W_0} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

式中：

λ ——平板式催化剂粘附强度，单位为百分数（%）；

W_0 ——试样的基材质量，根据试样截面积和单位面积基材的质量计算，单位为克（g）；

W_1 ——试样测试前质量，单位为克（g）；

W_2 ——试样测试后质量，单位为克（g）。

5.3.3 蜂窝式催化剂磨损强度

5.3.3.1 测试装置

蜂窝式催化剂的磨损强度应采用加速试验方法测试。测试装置由风机、风量调节阀、自动给料机、

对比样品仓、磨损剂收集装置和除尘装置等主要部分组成，测试样品和对比样品可以采用串联或并联方式。样品仓并联布置的蜂窝式催化剂磨损强度测试装置流程示意图见图 5、图 6。

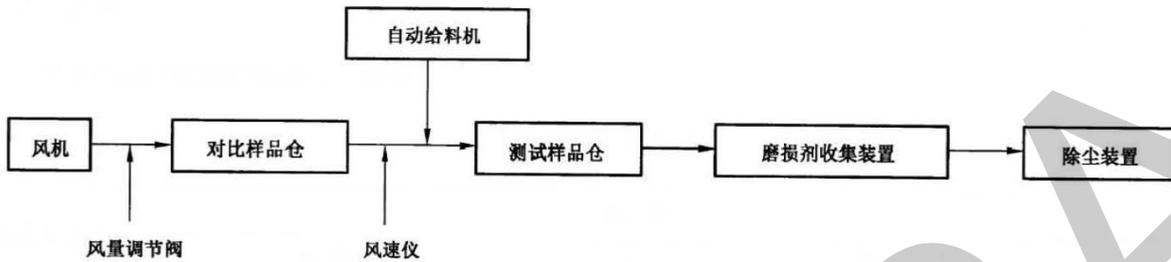


图 5 样品仓串联布置的蜂窝式催化剂磨损强度测试装置流程示意图

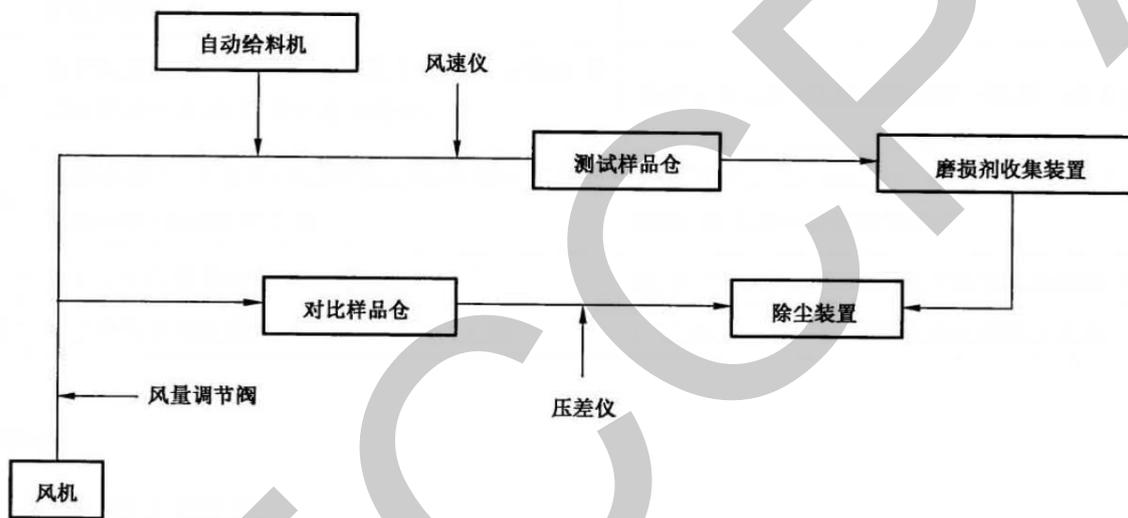


图 6 样品仓并联布置的蜂窝式催化剂磨损强度测试装置流程示意图

5.3.3.2 辅助设备和材料

- a) 电子秤：精确至 10 g。
- b) 电子天平：精确至 0.0001 g。
- c) 磨损剂：干燥的高硬度石英矿砂，粒径范围应为 0.300 mm~0.425 mm。

5.3.3.3 试样的制备

在催化剂硬化端和非硬化端分别截取长度和宽度应为 60 mm~80 mm，高度为 (100 ± 2) mm 的试样两块（应保持孔型完整），作为测试样品和对比样品，用 0.1 MPa 压缩空气对样品表面进行吹扫后将样品置于 (105 ± 2) °C 的恒温烘箱中干燥 2 h，取出置于干燥器中冷却至室温后称重（从干燥器中取出后的称重过程应在 60 s 之内完成），精确至 0.0001 g。

5.3.3.4 测定步骤

将试样用海绵或高岭棉包裹后，置于样品仓中（若样品经过硬化处理，应将硬化端作为迎风面）。保持样品外壁与仓壁之间完全密封，使空气和磨损剂完全从试样的通道中流过。控制并调节催化剂通道内风速为 (14.5 ± 0.5) m/s，磨损剂（干燥的粒径为 0.300 mm~0.425 mm 的高硬度石英砂）浓度为 (50 ± 5) g/m³，2 h 后停止。取出试样，置于烘箱中， (105 ± 2) °C 干燥 2 h 后取出，自然冷却至室

温，称重，精确至 0.1 mg。

5.3.3.5 结果计算

蜂窝式催化剂的磨损强度应按公式（6）计算：

$$\xi = \frac{\left(1 - \frac{W_3}{W_4} \times \frac{W_2}{W_1}\right)}{W} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中：

ξ ——蜂窝式催化剂磨损强度，单位为百分数每千克（%/kg）；

W_1 ——测试样品测试前质量，单位为克（g）；

W_2 ——测试样品测试后质量，单位为克（g）；

W_3 ——对比样品测试前质量，单位为克（g）；

W_4 ——对比样品测试后质量，单位为克（g）；

W ——磨损剂质量，单位为千克（kg）。

5.3.4 平板式催化剂磨损强度

5.3.4.1 测试装置

平板式催化剂的磨损强度应采用研磨法测试，测试装置应为旋转式磨耗测试仪。

5.3.4.2 辅助设备和材料

- a) 钢直尺：精确至 1 mm；
- b) 电子天平：精确至 0.0001 g；
- c) 干燥箱：温度波动范围为 ± 1 °C；
- d) 干燥器：干燥剂为无水硫酸铜；
- e) 剪板机：可剪板厚不小于 2 mm，可剪板宽不小于 1000 mm；
- f) 锥钻：钻头直径 8 mm。

5.3.4.3 试样的制备

用剪板机截取长度和宽度应为（80 mm~90 mm） ± 2 mm（不包含褶皱部分）的试样，用锥钻在试样中心钻孔。将钻孔后的试样放入烘箱中，60 °C干燥 30 min，取出放入干燥器中冷却 30 min，用电子天平测量并记录试样质量（从干燥器中取出后的称重过程应在 60 s 内完成）。

5.3.4.4 测定步骤

在温度为 10 °C~30 °C、相对湿度为 15%~75%的环境条件下，将试样固定在磨耗测试仪中，测试时应采用双橡胶磨轮，单个磨轮的附加砝码质量为 250 g（两个磨轮的附加砝码及砝码臂总质量为 1.0 kg），磨轮转速为 60 r/min、转数为 300 r。

研磨结束后，将试样再次放入 60 °C干燥箱中干燥 30 min，然后放入干燥器中冷却 30 min，测量并记录试样质量（从干燥器中取出后的称重过程应在 60 s 内完成）。

5.3.4.5 结果计算

平板式催化剂的磨损强度应按公式（7）计算：

$$\xi_p = \frac{2 \times (W_1 - W_2)}{3} \times 1000 \dots\dots\dots (7)$$

式中：

ξ_p ——平板式催化剂磨损强度，单位为毫克每 100 转（mg/100U 或 mg/100r）；

W_1 ——测试样品测试前质量，单位为克（g）；

W_2 ——测试样品测试后质量，单位为克（g）。

5.3.5 微观比表面积

5.3.5.1 测量原理

气体体系中的样品，其物质表面（颗粒外部和内部微孔的表面积）在低温下将发生物理吸附。当吸附达到平衡时，测量吸附平衡压力和吸附的气体量，根据 BET 方程式求出试样单分子层吸附量，可计算出试样的微观比表面积。

5.3.5.2 设备和材料

- a) 比表面积仪：应根据 BET 原理制作。
- b) 电子天平：精确至 0.0001 g。

5.3.5.3 试样的制备

从催化剂有效反应壁面截取一定质量（不低于 0.2000 g）的试样，应放入样品管内进行 300 °C 真空脱气处理至少 2 h，以去除试样表面物理吸附的物质。蜂窝式催化剂不应取硬化部分。平板式催化剂不应取基材部位。

5.3.5.4 测定步骤

试样经真空脱气处理后，冷却至室温，应按 GB/T 19587 的规定，利用比表面积仪按照多点 BET 法进行测试。

5.3.6 孔容、孔径及孔径分布

5.3.6.1 测量原理

非浸润液体仅在受到外压作用时方可进入多孔体，在外压作用下进入样品中的汞体积与所施外力成函数关系，从而测得样品的孔径分布。

5.3.6.2 设备和材料

- a) 压汞仪：最大压强不应低于 200 MPa，孔径测量范围为 5 nm~1000 μm。
- b) 电子天平：精确至 0.0001 g。

5.3.6.3 试样的制备

在催化剂有效反应壁面截取试样，放入坩埚并置于马弗炉内，在 300 °C 条件下煅烧 1 h，取出后置于干燥器中冷却至室温。从冷却后的样品中称取质量不应低于 0.60 g 的试样放入样品管，密封后装入压汞仪，开始抽真空，直至残压不应高于 7 Pa，以排除试样中的气体并确保汞从储存罐转移至样品管内。

蜂窝式催化剂不应取硬化端部位，平板式催化剂不应取基材部位。

5.3.6.4 测定步骤

测试应分为低压和高压两个步骤，应按 GB/T 21650.1 的规定。

5.3.7 主要化学成分

5.3.7.1 测试内容

催化剂中的主要化学成分视其配方不同一般包括二氧化钛 (TiO_2)、三氧化钨 (WO_3)、三氧化钼 (MoO_3)、五氧化二钒 (V_2O_5)、氧化钡 (BaO)、三氧化铝 (Al_2O_3) 和二氧化硅 (SiO_2) 等。

5.3.7.2 设备和材料

- a) X 射线荧光光谱仪 (简称 XRF)：各化学成分检出限不应大于 $50 \mu\text{g/g}$ 。
- b) 压片机：压强范围为 $0 \text{ MPa} \sim 100 \text{ MPa}$ ，制样时压强不应低于 30 MPa 。
- c) 铂金坩埚：95% 铂+5% 金。
- d) 混合气体：90% 氩气+10% 甲烷。
- e) 标准样品：基体材质应与脱硝催化剂样品一致。

5.3.7.3 试样的制备

采用固体粉末压片法或熔样法制备试样。蜂窝式催化剂不应取硬化端部位，平板式催化剂不应取基材部位。

5.3.7.4 测定步骤

按照 GB/T 31590 的规定，用 XRF 测试催化剂的化学成分。

5.3.8 微量元素

5.3.8.1 测试内容

脱硝催化剂中除 5.3.7.1 以外的其他元素，如钾 (K)、钠 (Na)、钙 (Ca)、铁 (Fe)、磷 (P) 和砷 (As) 等。

5.3.8.2 设备和材料

- a) 电感耦合等离子发射光谱仪：波长应为 $160 \text{ nm} \sim 820 \text{ nm}$ ，反射功率不应大于 10 W ，功率波动不应大于 0.1% ，频率稳定性不应大于 0.1% 。
- b) 电子天平：精确至 0.0001 g 。
- c) 电加热板：温度为 $0 \text{ }^\circ\text{C} \sim 500 \text{ }^\circ\text{C}$ ，控温精度为 $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ，功率不应小于 2 kW 。
- d) 微波消解器 (如需要)：压力不应低于 3 MPa ，耐温不应低于 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 。
- e) 氩气：纯度不应低于 99.99% 。
- f) 优级纯化学试剂：包括盐酸 (HCl)、硝酸 (HNO_3) 和氢氟酸 (HF) 等。
- g) 去离子水：一级水。
- h) 标准储备液：选用国家标准物质的混合溶液或单标溶液。

5.3.8.3 试样的制备

从待测催化剂需测量部位取样（蜂窝式催化剂不应取硬化端部位，平板式催化剂不应取基材部位），按 GB/T 23942 的规定采用适宜的方法进行消解。

按 GB/T 23942 的规定制备待测液、程序空白试液和标准溶液。

5.3.8.4 测定步骤

按 GB/T 23942 的规定，标准曲线的线性相关系数不应低于 0.999。

5.4 工艺特性

5.4.1 测试装置

5.4.1.1 测试装置流程图

脱硝催化剂工艺特性指标的检测应采用专门的测试装置，针对完整/等长切割的蜂窝式催化剂单元体和平板式催化剂进行，其测试装置见图 7。

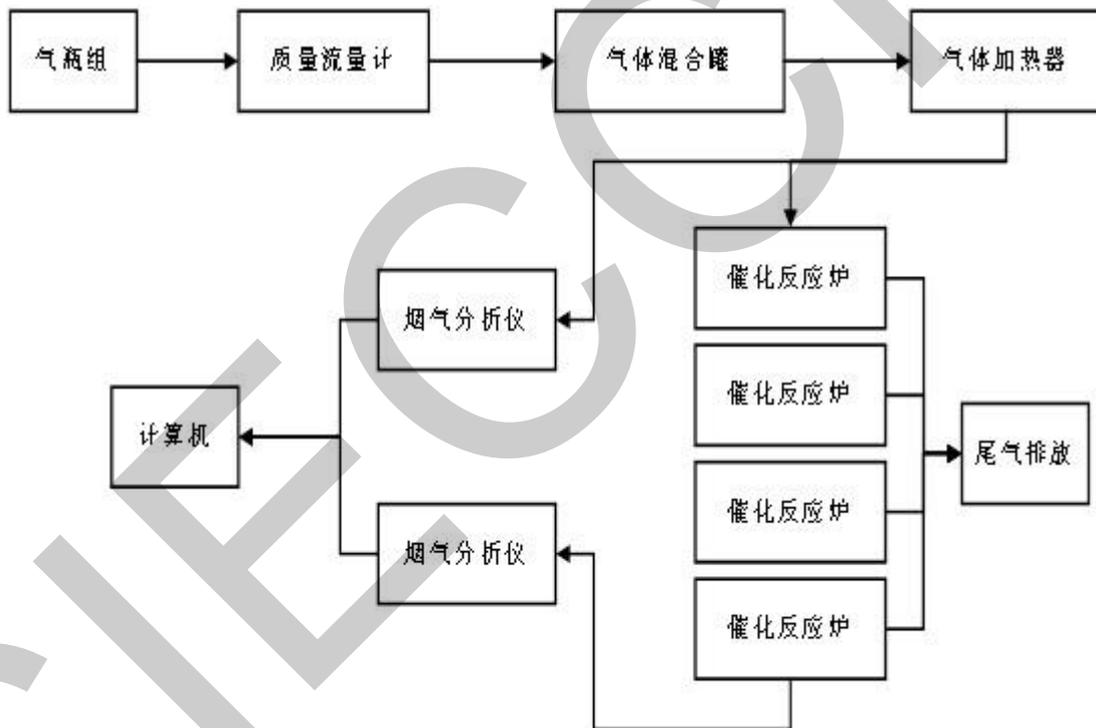


图 7 催化剂工艺特性测试装置示意图

5.4.1.2 测试装置条件

- 催化转化炉：恒温段长 1500 mm，采用电加热方式，加热温度可在 300 °C~450 °C 范围内调节，温度控制精度 ± 1 °C，数量 4 台，可满足 1+0、1+0.5、2+0、2+0.5、2+1、3+1 等试验布置方式，可自由实现串联、并联的组合方式；
- 混合气体：由 NO、SO₂、O₂、CO₂、NH₃ 标准气体和液氮混合，配制比例根据各项目烟气条件决定；
- 质量流量计：每一个气体钢瓶配备一个质量流量计，用于控制该气体的配入量；

- d) 混气罐：容积 20 L，材料 SS316L，鳍片式，保证各种气体的充分混合；
- e) 气体预热器：电加热，保证进入每一级催化转化炉入口的烟气温度达到试验设计值；
- f) 烟气分析仪系统：包括预处理、采样泵和分析仪表等；
- g) 漏气报警系统；
- h) 废气处理装置：采用两级酸碱吸收。

5.4.2 测试装置烟气条件

- a) 测试装置的烟气条件应采用配气法产生；
- b) 采用设计烟气条件或实际烟气条件作为测试条件，烟气参数偏差范围应满足表 1 的要求。
- c) 烟气成分分析方法见表 2。

表 1 测试装置烟气条件

	项目	单位	允许偏差
试验烟气条件	烟气流量（标准状态，湿基）	L/min	±5（相对值，%）
	面速度（标准状态，湿基）	m/h	——
	烟气温度	°C	±3（绝对值）
	SO ₂ （标准状态，干基）	mg/m ³	±1（相对值，%）
	NO（标准状态，干基）	mg/m ³	±1（相对值，%）
	O ₂ （标准状态，干基）	%	±0.2（绝对值）
	氨氮摩尔比	——	0/+0.1（绝对值）
	H ₂ O	%	±10（相对值，%）

表 2 推荐的烟气成分检测方法及参考标准

序号	烟气成分	推荐的检测方法	参考标准
1	NO	化学发光法	ISO 7996
		非分散红外吸收法	HJ 692
2	NO ₂	紫外法	DL/T 260
3	O ₂	磁力机械式氧分析仪法	JJG 662
		电化学法	GB/T 6285
4	SO ₂	非分散红外吸收法	HJ 629
		离子色谱法	GB/T 14642
5	SO ₃	溴酚蓝-氢氧化钠试剂法	DL/T 260
		离子色谱法	GB/T 14642
6	NH ₃	次氯酸钠-水杨酸分光光度法	HJ 534
		离子色谱法	GB/T 15454
7	H ₂ O	重量法	GB/T 16157

5.4.3 试样的制备与装填

5.4.3.1 蜂窝式催化剂

应选取外观无明显物理损伤的完整单元体制备待测样，将催化剂样品两端缠绕耐高温陶瓷纤维棉后，装入反应器，并将催化剂两端空隙处用陶瓷纤维棉密封严实，样品布置型式与技术协议中保持一致。

5.4.3.2 平板式催化剂

将裁切好的试样在样品管内应按照不少于 6 片（根据技术协议中的节距选择样品管型号，并保证节距尺寸）进行叠加装载，样品管数量及布置形式按照技术协议执行。

5.4.4 系统试漏

向系统内缓慢通入氮气，在压力应不低于 0.1 MPa 条件下，保持 10 min 后，用涂刷中性发泡剂等方法检查所有密封点，如有泄露应进行处理。试漏合格后，打开排气及时缓慢泄压，使系统降至常压。

5.4.5 老化

在不通入 NH_3 和 NO 的情况下，调节其他烟气条件满足表 1 要求，并保持 30 h。然后，每隔 1 h，测定反应器进出口烟气中 SO_2 和 SO_3 的浓度。当连续 4 次测试数据不存在同一种趋势且相对偏差小于 10% 时，老化结束。

5.4.6 测试

5.4.6.1 测试条件

进入正式测试阶段后，当 30 min 内反应器（如多个反应器串联，则指第一个反应器）入口的烟气参数波动幅度满足表 1 中的允许偏差要求（ SO_3 的浓度相对偏差为 $\pm 10\%$ ）时，可开始进行各参数的测量。

测试期间，当烟气条件发生变化时，应稳定 1 h 后方可进行数据采集。

5.4.6.2 脱硝效率、氨逃逸、活性

老化完成后，按 5.4.2 中的试验要求通入全部气体，稳定并保持 1 h。然后，每隔 1 h 测定一次反应器进出口 NO_x 的浓度和出口氨逃逸浓度，当连续 4 次测定结果不存在同一趋势且测定结果相对偏差不大于 5% 时，测定完毕，取连续 4 次测定结果的算术平均值作为测定结果。

5.4.6.3 SO_2/SO_3 转化率

脱硝效率、氨逃逸和活性测定完成后，切断 NH_3 供应，其他烟气条件保持不变，稳定并保持 1 h。然后，每隔 1.0 h~1.5 h 测定一次进出口 SO_3 浓度和入口 SO_2 浓度。当连续 4 次测定结果不存在同一种趋势且相邻两次测定结果相对偏差不大于 10% 时， SO_2/SO_3 转化率测试完毕。取连续 4 次测定结果的算术平均值作为测定结果。

5.4.7 结果计算

5.4.7.1 脱硝效率

催化剂单元体的脱硝效率应按公式（8）计算：

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

式中：

η ——催化剂单元体的脱硝效率，单位为百分数（%）；

C_1 ——反应器入口 NO_x 浓度（标准状态，干燥基，过量空气系数 1.4），单位为毫克每立方米（mg/m³）；

C_2 ——反应器出口 NO_x 浓度（标准状态，干燥基，过量空气系数 1.4），单位为毫克每立方米（mg/m³）。

5.4.7.2 氨氮摩尔比

氨氮摩尔比应按公式（9）计算：

$$M_R = \eta + \frac{C_{NH_3}}{C_{NO}} \dots\dots\dots(9)$$

式中：

M_R ——氨氮摩尔比；

η ——催化剂单元体的脱硝效率，单位为百分数（%）；

C_{NH_3} ——反应器出口实测的氨逃逸浓度，单位为微升每升（ μ L/L）；

C_{NO} ——反应器入口实测的 NO_x 浓度，单位为微升每升（ μ L/L）。

5.4.7.3 活性

催化剂单元体的活性应按公式（10）计算：

$$K = 0.5 \times v_A \times \ln \frac{M_R}{(M_R - \eta) \times (1 - \eta)} \dots\dots\dots(10)$$

式中：

K ——催化剂单元体的活性，单位为米每小时（m/h）；

v_A ——面速度，单位为米每小时（m/h）；

M_R ——氨氮摩尔比；

η ——催化剂单元体的脱硝效率，单位为百分数（%）。

5.4.7.4 SO₂/SO₃转化率

催化剂单元体的 SO₂/SO₃ 转化率应按公式（11）计算：

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_3} \times 100\% \dots\dots\dots(11)$$

式中：

E ——催化剂单元体的 SO₂/SO₃ 转化率，单位为百分数（%）；

φ_1 ——反应器出口 SO₃ 体积分数（标准状态，干燥基，过量空气系数 1.4），单位为微升每升（ μ L/L）；

φ_2 ——反应器入口 SO₃ 体积分数（标准状态，干燥基，过量空气系数 1.4），单位为微升每升（ μ L/L）；

φ_3 ——反应器入口 SO₂ 体积分数（标准状态，干燥基，过量空气系数 1.4），单位为微升每升（ μ L/L）。

5.4.7.5 氨逃逸

氨逃逸应按公式（12）折算到基准氧含量（6%）下计算：

$$C'_{NH_3} = C_{NH_3} \times \frac{15}{21 - C_{O_2} \times 100} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

C'_{NH_3} ——折算到基准氧含量下的氨逃逸浓度，单位为微升每升（ $\mu\text{L/L}$ ）；

C_{NH_3} ——反应器出口实测的氨逃逸浓度，单位为微升每升（ $\mu\text{L/L}$ ）；

C_{O_2} ——反应器出口实测的氧含量，单位为百分数（%）。

6 评价方法

6.1 理化特性评分

6.1.1 蜂窝式催化剂抗压强度

蜂窝式催化剂抗压强度的基础总分为20分，其中轴向抗压强度为10分，径向抗压强度为10分。

蜂窝式催化剂的轴向抗压强度参考值为 2.5 MPa，每低 0.05 MPa 扣 2 分；径向抗压强度为 0.8 MPa，每低 0.05 MPa 扣 2 分。

6.1.2 平板式催化剂粘附强度

平板式催化剂粘附强度的基础总分为20分，粘附强度的参考值为2.5%，在0.5%~2.5%范围内，每增加0.1%扣1分，粘附强度超过2.5%得0分。

6.1.3 磨损强度

a) 蜂窝式催化剂磨损强度的基础总分为 20 分，其中硬化端磨损强度为 10 分，非硬化端磨损强度为 10 分。硬化端磨损强度参考值为 0.08 %/kg，每超过 0.005 %/kg 扣 2 分；非硬化端磨损强度参考值为 0.15%/kg，每超过 0.005 %/kg 扣 1 分。

b) 平板式催化剂磨损强度的基础总分为 20 分，其参考值为 130 mg/100r，每超过 1 mg/100r 扣 1 分。

6.1.4 微观比表面积

催化剂比表面积的基础总分为 5 分，评分方法如下：

a) 蜂窝式催化剂比表面积参考值为 55 m^2/g ，每低于参考值 1 m^2/g 扣 1 分；

b) 平板式催化剂比表面积参考值为 70 m^2/g ，每低于参考值 2 m^2/g 扣 1 分。

6.1.5 主要化学成分

催化剂主要化学成分的基础总分为30分。

6.1.5.1 蜂窝式催化剂

蜂窝式催化剂主要化学成分的评分方法见表 3。

表 3 蜂窝式催化剂主要化学成分评分方法

质量指标	参考值	基础分值	评分方法	
三氧化钨 (WO_3) +	4%	10	$\geq 4\%$	不加分、不减分
三氧化钼 (MoO_3)			$< 4\%$	-1 分/0.1%

五氧化二钒 (V ₂ O ₅)	1%	10	≤1%	不加分、不减分
			> 1%	-2 分/0.1%
三氧化铝 (Al ₂ O ₃)	1%	5	≤1%	不加分、不减分
			> 1%	-1 分/0.1%
二氧化硅 (SiO ₂)	4%	5	≤4%	不加分、不减分
			> 4%	-1 分/0.1%

6.1.5.2 平板式催化剂

平板式催化剂主要化学成分的评分方法见表 4。

表 4 平板式催化剂主要化学成分评分方法

质量指标	参考值	基础分值	评分方法	
三氧化钼 (MoO ₃) + 三氧化钨 (WO ₃)	4%	10	≥4%	不加分、不减分
			< 4%	-1 分/0.1%
五氧化二钒 (V ₂ O ₅)	2%	10	≤2%	不加分、不减分
			> 2%	-2 分/0.5%
三氧化铝 (Al ₂ O ₃)	2%	5	≤2%	不加分、不减分
			> 2%	-1 分/0.1%
二氧化硅 (SiO ₂)	6%	5	≤6%	不加分、不减分
			> 6%	-1 分/0.1%

6.2 工艺特性评分

6.2.1 脱硝效率或氨逃逸率

脱硝效率或氨逃逸率的基础总分为15分。

- a) 在氨逃逸率满足不大于2.0μL/L的要求时对脱硝效率进行评价：当设计脱硝效率η₀小于80%时，检测脱硝效率η₁为η₀+5%；当设计脱硝效率η₀为80%~90%时，检测脱硝效率η₁为η₀+5%-(η₀-80%)×0.45；当设计脱硝效率η₀大于90%时，检测脱硝效率η₁为η₀+0.5%。；每低0.5%扣3分。
- b) 在脱硝效率满足检测脱硝效率的要求时对氨逃逸率进行评价：氨逃逸率参考值为不大于2.0μL/L，每高0.05μL/L扣1分。

6.2.2 SO₂/SO₃转化率

SO₂/SO₃转化率基础总分为10分，初装催化剂SO₂/SO₃转化率参考值E按公式（13）计算：

$$E = E_0 \times \frac{m}{n} \dots\dots\dots(13)$$

式中：

E₀ ——新建脱硝装置 SO₂/SO₃ 转化率设计值，单位为百分数（%）：设计煤种硫分（Sar）小于2.5%时，SO₂/SO₃ 转化率不应大于 1%；设计煤种硫分（Sar）大于等于 2.5%，SO₂/SO₃ 转化率不应大于 0.75%。

m ——脱硝装置实际安装催化剂层数；

n ——脱硝装置设计催化剂层数（包含备用层催化剂）。

上述指标值每超过 0.05%扣 1 分。

新增或更换一层催化剂时，其 SO_2/SO_3 转化率应不大于 0.35%，每超过 0.05%扣 2 分。

6.3 特殊情况评分

当指标出现如下情况之一的，综合得分按 <60 分考虑。

- 二氧化钛含量低于 60%、三氧化二铝含量超过 10%、蜂窝式催化剂五氧化二钒含量超过 3%、平板式催化剂五氧化二钒含量超过 6%、脱硝效低于设计脱硝效率 η_0 、当硫分小于 2.5% 时 SO_2/SO_3 转化率大于 1.25%、当硫分大于 2.5% 时 SO_2/SO_3 转化率大于 1.0%。新增或更换一层催化剂时 SO_2/SO_3 转换率大于 0.6%。
- 蜂窝式催化剂：轴向抗压强度低于 1.00 Mpa、径向抗压强度低于 0.30 Mpa、非硬化端磨损强度大于 0.25 %/kg 或硬化端磨损强度大于 0.16 %/kg。
- 平板式催化剂：粘附强度超过 3.0% 或磨损强度超过 165 mg/100r。

6.4 综合质量等级

根据综合质量评分结果应分为“一”、“二”、“三”、“四”，共计四个等级。

表5 催化剂综合质量等级

得分	等级	处理意见
得分 ≥ 90	一	安装
$80 \leq \text{得分} < 90$	二	可安装，但需针对扣分指标加强运维
$60 \leq \text{得分} < 80$	三	可安装，但须针对扣分指标签订性能保证协议
$45 \leq \text{得分} < 60$	四	不推荐安装，建议更换

7 检测评价报告

SCR 催化剂检测检测评价报告应至少包括：

- 样品信息；
- 检测信息；
- 样品尺寸与外观；
- 理化特性和工艺特性检测结果；
- 结合分析与结论建议；
- 附录（含催化剂照片等）。