



中华人民共和国国家标准

GB/T 39716—2020

光催化材料及制品空气净化性能测试方法 氮氧化物的去除

Test method for air-purification performance of photocatalytic materials and products—Removal of nitric oxide

2020-12-14 发布

2021-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国工业陶瓷标准化技术委员会(SAC/TC 194)归口。

本标准起草单位：江苏朗逸环保科技有限公司、中国科学院理化技术研究所、北京泊菲莱科技有限公司、福州大学、北京市理化分析测试中心、广东省微生物分析检测中心、北京为康环保科技有限公司、北京科技大学、中国感光学会、北京室内及车内环境净化协会、山东工业陶瓷研究设计院有限公司。

本标准主要起草人：戴文新、朱黎、朱永法、只金芳、谢小保、刘欢、王欣欣、曹文斌、李庆生、刘文秀、董帆、高月红、陈常祝、曹文卫。



光催化材料及制品空气净化性能测试方法

氮氧化物的去除

1 范围

本标准规定了光催化材料及制品去除空气中氮氧化物测试方法的原理、测试装置、分析方法和试验报告等内容。

本标准适用于光催化材料及制品去除空气中氮氧化物性能的测试。

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/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 6920 水质 pH 值的测定 玻璃电极法

GB/T 8170—2008 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 11605 湿度测量方法

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 30706 可见光照射下光催化抗菌材料及制品抗菌性能测试方法及评价

GB/T 30809 光催化材料性能测试用紫外光光源

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光催化材料和制品 photocatalytic materials and products

包含或使用了光催化剂并具有光催化性能的材料和用光催化材料制成的各种应用制品。

3.2

零级空气 zero-calibration gas

污染物含量低于 0.01 mL/m^3 的高纯空气。

4 方法原理

将光催化材料制成的样品置于流动式光催化反应器中,通入含有一氧化氮(NO)污染物的空气,通过光辐照发生反应,将表面吸附的 NO 部分氧化成硝酸根,部分转化为二氧化氮(NO_2),以 NO 的净去除量表征样品的空气净化能力。其中,NO 和 NO_2 用化学发光法测试,硝酸根离子用纯水洗脱后、用离子色谱法测定。

注:氮氧化物(NO_x)的净去除量由 NO 去除量扣除 NO_2 生成量计算得到。

5 试剂或材料

5.1 NO 标准气体:由 NO 和氮气混合而成,NO 浓度为 $30 \text{ mL/m}^3 \sim 100 \text{ mL/m}^3$ 。

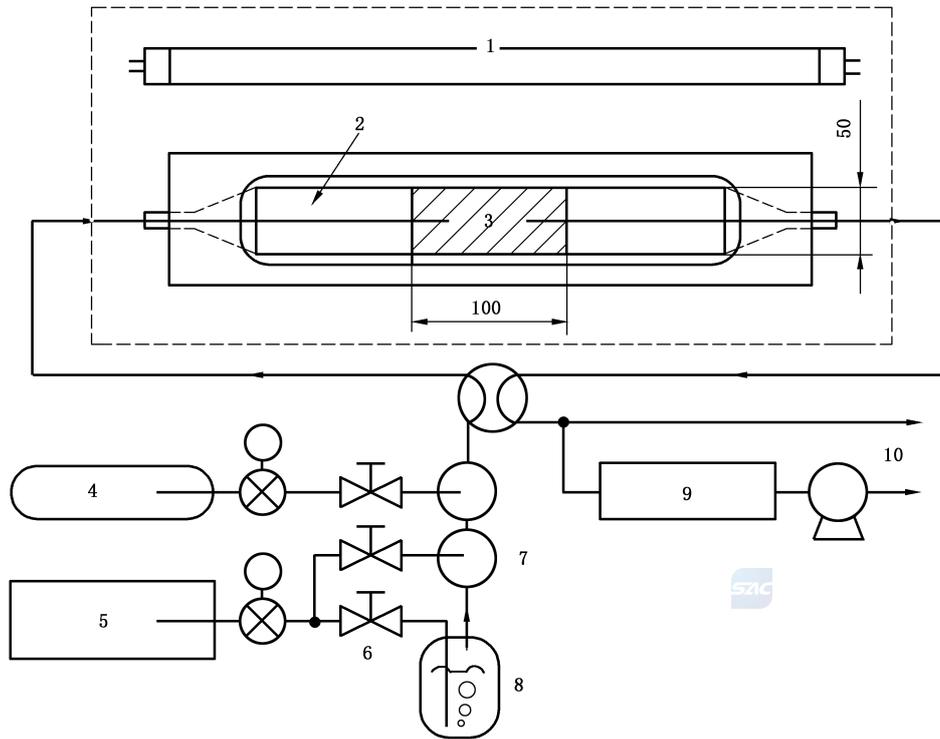
5.2 零级空气。

6 测试装置

6.1 测试装置示意图及材料要求

测试装置示意图见图 1 所示,其中虚框部分为光催化反应器,由于污染物浓度很低,构成反应器的材料应满足低吸附性和抗紫外线辐射的要求。

单位为毫米



说明:

- 1——光源;
- 2——光路窗口;
- 3——测试样品;
- 4——标准气体(污染物);
- 5——零级空气;

- 6——流量控制器;
- 7——气体混合器;
- 8——加湿器;
- 9——分析仪;
- 10——出口。

图 1 测试装置示意图

6.2 反应气供应

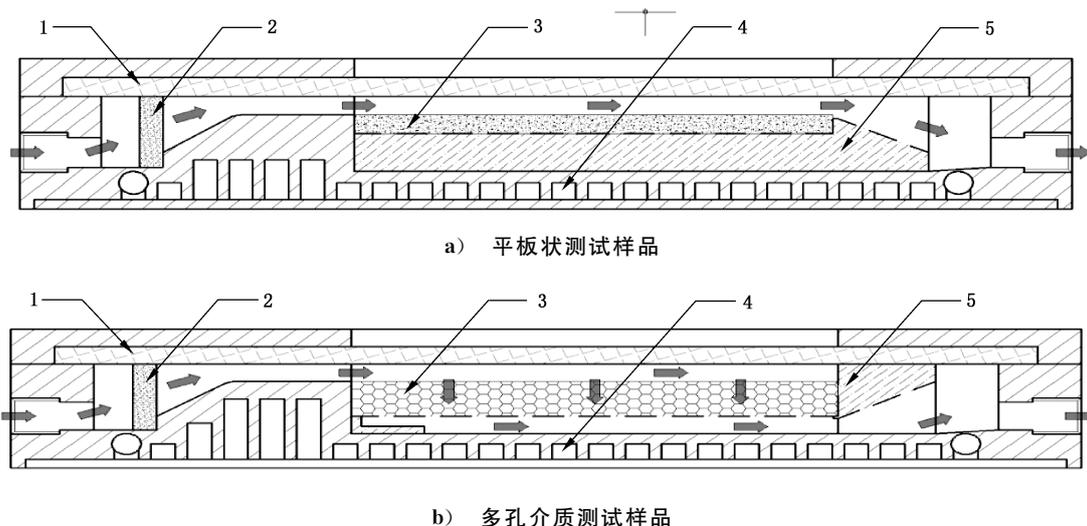
反应气由 NO 标准气体和零级空气(干、湿)混合制得,一定温湿度下,已知浓度的 NO 反应气以恒定流量连续通入光催化反应器中。反应气的流量和 NO 浓度由流量控制器分别控制干的零级空气、湿

的零级空气和 NO 标准气体来实现,三种气体经混合器混合后进入光催化反应器,每种气体的流速应控制在设定值的 $\pm 5\%$ 范围内,NO 标准气体的浓度为 $30 \text{ mL/m}^3 \sim 100 \text{ mL/m}^3$ 。

进入光催化反应器的反应气中,NO 含量稳定在 $1.0 \text{ mL/m}^3 \pm 0.05 \text{ mL/m}^3$,水蒸气浓度为 $(1.56 \pm 0.08)\%$ (相当于在 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 下 50% 的相对湿度)。

6.3 光催化反应器

光催化反应器是全密闭的方形反应器,其内部装有 50 mm 宽的可调节高度的调整块,测试样品放置在调整块上,调整块上方有一与其平行的光路窗口,反应器外部的光源通过此窗口照射到样品表面。通过调节调整块的高度使得测试样品表面与窗口之间的距离为 $5.0 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ 。反应气只能从测试样品与光路窗口之间通过,如图 2a)所示。当检测一个过滤型的光催化测试样品时,应该使用另一种类型的调整块,它在支撑测试样品的同时允许测试气体在光照射下通过测试样品的孔,如图 2b)所示。光路窗口材料可选用石英玻璃或硼玻璃,光催化反应器可附加控温水槽。



说明:

- 1——光窗;
- 2——气体分布板;
- 3——测试样品;
- 4——控温水槽;
- 5——支撑块。

图 2 光催化反应器的横截面

6.4 光源

对于测试样品为紫外光响应型光催化材料,紫外光源为波长范围在 $300 \text{ nm} \sim 400 \text{ nm}$ 的 UV-A。选用 GB/T 30809 中合适的光源包括主波长为 365 nm 的黑灯管或蓝黑光灯管、氙灯(需用滤光片过滤掉 300 nm 以下和 400 nm 以上的可见光),光源应均匀地照射在光路窗口上。测试多孔光催化样品时,光源应照射测试样品的一面。需要预热的光源应配备遮光器。调整光源与反应器之间的距离,使得样品表面的紫外光照度为 $10 \text{ W/m}^2 \pm 0.5 \text{ W/m}^2$ 。沿着测试样品长度的辐照强度偏差应控制在 $\pm 5\%$ 。

对于测试样品为可见光响应型光催化材料,可见光源推荐采用符合 GB/T 30706,色温为 $5\,000 \text{ K}$ 的荧光灯。

6.5 分析系统

采用测量范围为 0.004 mg/L~100 mg/L、精度为 0.000 1 mg/L 的化学发光 NO_x 分析仪,准确测量 NO_x 的浓度。在测试前应用具有零 NO_x 浓度和涵盖反应气体浓度范围的校准气体来校准分析仪。采用 GB/T 14642 所述的离子色谱法,或者等同方法,来分析水样中的硝酸根和亚硝酸根。

7 测试样品

7.1 片状样品:长 99.5 mm±0.5 mm,宽 49.5 mm±0.5 mm,厚度不大于 5 mm。

7.2 多孔状样品:长 99.5 mm±0.5 mm,宽 49.5 mm±0.5 mm,厚度不大于 10 mm。

7.3 如待测样品为光催化制品,需将制品中具有光催化性能的部件取出,并裁制成测试样品规定的尺寸(长 99.5 mm±0.5 mm,宽 49.5 mm±0.5 mm)的片状材料,厚度不大于 5 mm 进行测试。

8 分析方法

警示——本试验方法中使用的紫外光源对于人眼及皮肤具有伤害,操作者须小心谨慎!注意反应器工作时应保持密闭,当光源打开时不要用眼睛直接观察。

8.1 样品预处理

样品表面有机污染物的去除:当样品表面存在有机物污染物的时候,样品需置于紫外灯下光下进行预处理。选择 254 nm 紫外光源,光辐照强度 10 W/m²,辐照时间 8 h。

8.2 氮氧化物去除测试

8.2.1 实验室温度控制在 25.0 °C±2.5 °C,调节反应气流量(控制在 1.0 L/min±0.02 L/min),使得其中 NO 含量在 1.0 mL/m³±0.05 mL/m³,水蒸气浓度为(1.56±0.08)%(相当于在 25 °C 下 50% 的相对湿度)。应用 GB/T 11605 中的方法测量湿度,调节光照的强度,开启并校准化学发光 NO_x 分析仪。

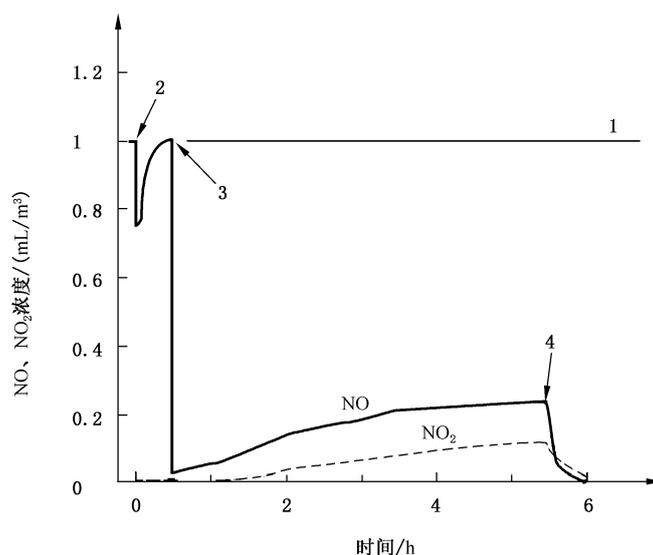
8.2.2 将测试样品置于反应器中,调整测试样品与窗口的距离为 5.0 mm±0.5 mm 后合上玻璃窗口,反应器应保证密封。

8.2.3 在黑暗条件下,将反应气通入光催化反应器中,流量控制在 1.0 L/min±0.02 L/min,保持该流速通气 30 min,定期记录在黑暗条件下 NO 和 NO₂ 的浓度变化。若 30 min 后 NO_x(NO 与 NO₂)的浓度小于进气浓度的 90%,则继续通气直到 NO_x(NO 与 NO₂)的浓度超过进气浓度的 90%。

8.2.4 继续通气并打开光源,记录在光照条件下 NO 和 NO₂ 的浓度,反应持续 5 h。

8.2.5 停止光照,转换至以 1.0 L/min±0.02 L/min 的流速通入零级空气 30 min,记录 NO_x 的浓度。

8.2.6 停止通气,将测试样品从反应器中取出。在上述过程中,NO_x 浓度变化见图 3。



说明：

- 1——NO 进气浓度；
 2——反应气与样品开始接触；
 3——打开光源；
 4——关闭光源和通入零级空气。

图 3 测试过程中 NO_x 浓度的变化

8.3 洗脱测试

8.3.1 把测试样品浸没在已知体积的电导率低于 $1.0 \mu\text{S}$ 的纯水中(按 GB/T 6682 测试,约 100 mL,也可根据样品体积大小适当调整)1 h,取出测试样品并记录水的体积(洗脱液 W_1 的体积 V_{W_1})。再次将测试样品浸没在第二个已知体积的纯水中 1 h,取出测试样品并记录水的体积(洗脱液 W_2 的体积 V_{W_2})。记录下观察到的现象,例如洗脱液的颜色变化或出现沉淀物。

注：如果测试样品吸水,水量可以适当增加。

8.3.2 按照 GB/T 6920 测定洗脱液 W_1 和洗脱液 W_2 的 pH 值,同时根据 GB/T 14642 测定硝酸根和亚硝酸根的浓度。

9 结果计算

9.1 NO 去除量的计算

NO 去除量按公式(1)计算。

$$n_{\text{NO}} = (f/22.4) \int (\phi_{\text{NO}_i} - \phi_{\text{NO}}) dt \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- n_{NO} ——测试样品对 NO 的去除量,单位为微摩尔(μmol)；
 f ——标准状态下反应气流量的数值,单位为升每分(L/min)；
 22.4 ——标准状态下气体的摩尔体积,单位为升每摩尔(L/mol)；
 ϕ_{NO_i} ——光照条件下反应气中 NO 进气浓度的数值,单位为毫升每立方米(mL/m^3)；
 ϕ_{NO} ——光照条件下反应器出口的 NO 浓度的数值,单位为毫升每立方米(mL/m^3)。

此过程积分时间(dt)是指在光照条件下降解反应气的时间,以分钟来计算,即:光照开始到光照结

束的时间,如图 3 所示。

9.2 NO₂ 生成量的计算

NO₂ 生成量按公式(2)计算。

$$n_{\text{NO}_2} = (f/22.4) \int \phi_{\text{NO}_2} dt \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- n_{NO_2} ——NO₂ 的生成量,单位为微摩尔(μmol);
- f ——标准状态下反应气流量的数值,单位为升每分(L/min);
- 22.4 ——标准状态下气体的摩尔体积,单位为升每摩尔(L/mol);
- ϕ_{NO_2} ——光照条件下反应器出口的 NO₂ 浓度的数值,单位为毫升每立方米(mL/m^3)。

此过程积分时间(dt)是指在光照条件下降解反应气的时间,以分钟来计算,即:光照开始到光照结束的时间,如图 3 所示。

9.3 NO_x 净去除量的计算

NO_x 净去除量按公式(3)计算。

$$n_{\text{NO}_x} = n_{\text{NO}} - n_{\text{NO}_2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- n_{NO_x} ——NO_x 的净去除量,单位为微摩尔(μmol);
- n_{NO} ——NO 的降解量的数值,单位为微摩尔(μmol);
- n_{NO_2} ——NO₂ 的生成量的数值,单位为微摩尔(μmol)。

9.4 氮洗脱量的计算

从测试样品中洗脱出来的氮含量按公式(4)计算。

$$n = n_{w_1} + n_{w_2} = V_{w_1} (\rho_{\text{NO}_3^-,w_1} / 62 + \rho_{\text{NO}_2^-,w_1} / 46) + V_{w_2} (\rho_{\text{NO}_3^-,w_2} / 62 + \rho_{\text{NO}_2^-,w_2} / 46) \quad \dots\dots (4)$$

式中:

- n ——从洗脱液中得到的氮的总含量,单位为微摩尔(μmol);
- n_{w_1} ——洗脱液 1 中氮的洗脱量,单位为微摩尔(μmol);
- n_{w_2} ——洗脱液 2 中氮的洗脱量,单位为微摩尔(μmol);
- V_{w_1} ——洗脱液 1 的体积,单位为毫升(mL);
- V_{w_2} ——洗脱液 2 的体积,单位为毫升(mL);
- $\rho_{\text{NO}_3^-,w_1}$ ——洗脱液 1 中硝酸根离子的浓度,单位为毫克每升(mg/L);
- $\rho_{\text{NO}_3^-,w_2}$ ——洗脱液 2 中硝酸根离子的浓度,单位为毫克每升(mg/L);
- $\rho_{\text{NO}_2^-,w_1}$ ——洗脱液 1 中亚硝酸根离子的浓度,单位为毫克每升(mg/L);
- $\rho_{\text{NO}_2^-,w_2}$ ——洗脱液 2 中亚硝酸根离子的浓度,单位为毫克每升(mg/L)。

9.5 洗脱测试中氮的回收率的计算

氮的回收率按公式(5)计算。

$$\eta_w = n/n_{\text{NO}_x} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- η_w ——洗脱氮的回收率,%;
- n ——从洗脱液中得到的氮的总含量,单位为微摩尔(μmol),按公式(4)计算得出;

n_{NO_x} —— NO_x 的净去除量,单位为微摩尔(μmol)。

按照 GB/T 8170—2008,数值计算保留一位有效数字,氮的回收率保留两位有效数字。

10 试验报告

试验报告包括以下内容:

- a) 测试机构的名称和地址;
- b) 每份报告和报告的每一页均有特定的唯一标识、客户名称和地址、报告的签字人;
- c) 本标准编号;
- d) 测试日期、温度、相对湿度等;
- e) 对测试样品的描述(材料、尺寸、形状等);
- f) 对测试设备的描述(规格等);
- g) 测试条件(氮氧化物气体的种类、反应气浓度、进气湿度、流速、光源的种类、光照强度等);
- h) NO 的去除量, NO_x 的去除量, NO_2 的生成量,氮的回收率;
- i) 测试过程中的特殊现象和变化等。

