

团 体 标 准

T/GDFDTAEC 14-2025

雾化器具中多孔陶瓷孔隙率、孔径分布、抗压强度测试方法

Test methods for porosity, pore size distribution and compressive strength of
porous ceramics in atomizers

2025-12-12 发布

2025-12-12 实施

广东省食品药品审评认证技术协会 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 孔隙率测试.....2

5 孔径分布测试.....3

6 抗压强度测试.....6

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这些专利的责任。

本文件由思维瑞科技（深圳）有限公司、深圳麦克韦尔科技有限公司提出。

本文件由广东省食品药品审评认证技术协会归口。

本文件起草单位：思维瑞科技（深圳）有限公司、深圳麦克韦尔科技有限公司、广州质量检验研究院、华测检测认证集团股份有限公司。

本文件主要起草人：孙红梅、朱庆平、李敏、冯佩然、陈晓强、吴明媚、刘海燕、王廷纯、张竞雯、梁玉芳、杨波、朱文信、胡涓、赵月梅、孙清杰、钟婉玲、徐红蕾、刘雅丽、杨超慧、艾湘贵、梁友。

本文件为首次发布。

雾化器具中多孔陶瓷孔隙率、孔径分布、抗压强度测试方法

1 范围

本文件规定了雾化器具中多孔陶瓷孔隙率、孔径分布、抗压强度测试方法。
本文件适用于雾化器具中多孔陶瓷物性的测定。

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 3810.3-2016 陶瓷砖试验方法 第3部分：吸水率、显气孔率、表观相对密度和容重的测定

GB/T 4740-2024 陶瓷材料强度试验方法

GB/T 32361-2015 分离膜孔径测试方法—泡点和平均流量法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 孔隙率 porosity

试样中开孔体积与试样总表观体积的百分比率，以%表示。

3.2 饱和样品空重 mass of water-saturated sample

真空下吸水饱和的样品，擦拭表面多余水滴后的质量。

3.3 饱和样品水重 mass of water-saturated sample in water

真空下吸水饱和的样品，在水中所称取的质量。

3.4 孔径 pore size

本方法所测孔径指与试样孔喉大小等效的圆形毛细管直径。等效的定义是具有相同渗流能力。

[来源：GB/T 32361-2015，定义3.2，有修改]

3.5 湿曲线 wet-curve

氮气以缓慢增加的压力持续吹扫完全浸润的样品，根据气体压力与对应的气体流量数据绘制的气体流量-压力关系曲线。

3.6 干曲线 dry-curve

氮气以缓慢递减的压力持续吹扫完全干燥的样品，根据气体压力与对应的气体流量数据绘制的气体流量-压力关系曲线。

3.7 半干曲线 half-dry-curve

基于干曲线，将其在各压力点下的气体流量值乘以50%后，绘制得到的气体流量-压力关系曲线。

3.8 平均孔径 average pore size

由湿曲线与半干曲线交点所确定的孔径值，表示在试样所有贯通的孔道中，大于或等于该孔径的孔道所贡献的气体渗透流量，占总气体渗透流量的50%。

注：亦称通量中分孔径。

3.9 孔径分布 pore size distribution

通过指定孔径范围的气体流量占通过全部孔的气体流量的百分比。

[来源：GB/T 32361-2015，定义3.2，有修改]

3.10 抗压强度 compressive strength

材料在单位面积上所能承受的最大载荷。

[来源：GB/T 4740-2024，定义3.1]

4 孔隙率测试

4.1 测试原理

本方法采用 GB/T 3810.3-2016 测试原理，基于阿基米德排水法，将干燥样品置于水中吸水至饱和，用样品的干燥质量、吸水饱和后质量及在水中质量计算孔隙率。

4.2 试剂和材料

4.2.1 去离子水或蒸馏水，电导率（25 °C） ≤ 20 us/cm。

4.2.2 海绵块。

4.3 仪器设备

4.3.1 孔隙率分析仪，符合电子天平 1 级要求。

4.3.2 干燥箱，工作温度 ≥ 120 °C，精度 ± 2 °C。

4.3.3 真空装置，要求真空度达到 90 kPa，允差 ± 1 kPa。

4.4 试验环境要求

除特别说明之外，测试在（20 $\pm$ 5）°C，<80 %RH 的环境下进行。

4.5 测试步骤

4.5.1 样品要求及前处理：

- a) 检查样品外观质量，样品应不存在局部脱落或破碎的风险；
- b) 带引线的样品，沿根部剪去引线；
- c) 样品必需干燥、干净、无油污，测试前，放置烘箱中（120 $\pm$ 5）°C干燥 10 min；
- d) 干燥后的样品，放置在干燥器中，自然冷却至室温，备用。

4.5.2 称取干燥样品空重 M_1 : 将样品轻放于天平的空气中称量盘中央, 等待天平示值稳定 5 s 后读数。

4.5.3 样品放置于去离子水中, 抽真空至真空度 ≥ 90 kPa, 保持 20 min。

4.5.4 称取饱和样品水重 M_2 : 将样品轻放于天平的水中称量盘中央, 等待天平示值稳定 5 s 后读数。

4.5.5 称取饱和样品空重 M_3 : 将样品放置于饱和水的海绵上后, 不做停留, 立刻轻快翻动样品, 擦拭掉样品表面多余水分, 持续时间约 2~4 s, 推荐四周翻动 4~6 面, 而后立刻将样品夹起称量, 等待天平示值稳定 5 s 后读数。

4.6 结果计算

通过式 (1) 计算样品的孔隙率。至少测试 5 个平行样品, 结果保留小数点后 2 位, 计算平均值。

$$\varphi = \frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} \dots\dots\dots (1)$$

式中,

φ ——孔隙率, %;

M_1 ——陶瓷的干燥样品空重, 即样品的干燥质量, g;

M_2 ——饱和样品水重, g;

M_3 ——饱和样品空重, g。

4.7 报告要求

如适用, 试验报告中应给出以下详细信息:

- a) 测试设备信息 (制造商、型号、校准信息等);
- b) 样品信息: 名称、图片或状态等;
- c) 试样预处理过程;
- d) 试验条件: 环境温湿度、真空浸润条件等;
- e) 各个试样孔隙率的测定结果及平均值;
- f) 测试日期、测试者。

5 孔径分布测试

5.1 测试原理

本方法采用 GB/T 32361-2015 测试原理, 使用泡点和平均流量法测定多孔陶瓷的平均孔径与孔分布, 将多孔陶瓷用去离子水完全浸润, 使用氮气吹扫样品。当气体压力超过水在孔道中的吸附力时, 水被推出, 孔道打开, 气体透过多孔陶瓷。通过测定浸湿气体流量-压力的对应关系 (湿曲线), 并与干燥样品测得的基准 (干曲线) 进行比较, 从而计算得到平均孔径及孔分布。

5.2 试剂和材料

5.2.1 去离子水或蒸馏水, 电导率 (25 °C) ≤ 20 us/cm。

5.2.2 氮气, 纯度 $\geq 99.9\%$ 。

5.2.3 砂纸, 400~600 目。

5.2.4 固定治具, 治具设有进气口、出气口、密封硅胶, 可固定并密封陶瓷, 暴露测试面。

5.3 仪器设备

5.3.1 孔径分析仪，允差： $\pm 10\%$ 。

5.3.2 真空装置，要求真空度 ≥ 68 kPa，允差： ± 1 kPa。

5.3.3 超声清洗机。

5.4 试验环境要求

除特别说明之外，测试在 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ， $< 80\% \text{RH}$ 的环境下进行。

5.5 测试步骤

5.5.1 样品要求及前处理：

- a) 样品形状为规整的长方形、方槽形或圆柱形，两端平行、平整，无破损、裂纹，保证测试过程密封良好；
- b) 其它异形件，通过砂纸粗磨获得平整陶瓷片，水超声清洗 5 min 后测试；
- c) 样品必需可被去离子水充分浸润。

5.5.2 将样品浸没在去离子水中，置于真空装置中，真空压力 ≥ 68 kPa，保压 ≥ 2 min。

5.5.3 将完全浸润后的样品与密封硅胶放置在固定治具中，旋紧固定治具，注意密封，不得漏气，也不可旋得过紧使密封硅胶变形。

5.5.4 固定治具进气端连接氮气气源。

5.5.5 设置测试参数。其中，最大压力或最大流量均可控制湿曲线的测试终点。

- a) 采集模式：先测试湿曲线，后测试干曲线；
- b) 最大压力：最大测试压力根据样品孔径大小调整，最大压力应确保样品中所有孔道均被打开，判定依据为：湿曲线与干曲线在终点区至少有 3 个数据点重合；
- c) 最大流量：最大测试流量根据样品气通量大小调整，最大流量应确保样品中所有孔道均被氮气打开。可将最大流量设置为设备允许的最大流量，通过最大压力控制测试终点；
- d) 浸润液体与表面张力：去离子水， $72.8 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ ；
- e) 取点频率：取点频率确保记录的“气流流量-压力”曲线平滑连续，无关键特征点丢失，同时平衡采集速度，建议设置 $\text{MFC}(1\text{L})=20\%$ ， $\text{MFC}(20\text{L})=5\%$ 。

5.5.6 开始测试，仪器持续加大气体压力，同时记录并绘制湿曲线。

5.5.7 达到设置最大测试压力或最大流量后，此时去离子水已被完全吹出样品孔道，仪器逐渐减少气体压力，同时记录并绘制干曲线。

5.6 结果计算

5.6.1 平均孔径

对“干曲线”气体流量的一半值做出一条直线（或曲线），如图1所示，获得“半干曲线”与“湿曲线”的交点对应的压力值 P ，即可按式（2）计算出平均流量时的孔径，即平均孔径 D_{50} 。

至少测试5个平行样品，结果保留小数点后2位，计算平均值。

$$D_{50}=\frac{4\sigma}{P}$$

..... (2)

式中，
 D_{50} ——平均孔径，um；
 P ——“半干曲线”与“湿曲线”的交点对应的压力值，kPa；
 σ ——测试液体（去离子水）的表面张力， 10^{-3} N/m。

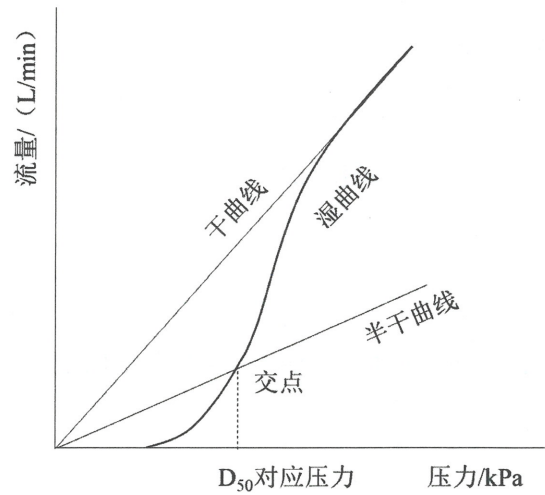


图 1 多孔陶瓷平均孔径 D_{50} 测试示意图

5.6.2 孔径分布

在浸润条件下，气体流量与已被打开孔道的总横截面积成正比。因此，在同一压力点下，湿曲线流量与干曲线流量之比，等于该压力点下已被打开孔道的累计面积占总孔面积的比率。将此累计孔面积比率对孔径求导（式 3），即可得到对应的孔径分布微分曲线。

$$f(D)=\frac{d(\frac{F_w(D)}{F_D(D)})}{d(D)}$$

..... (3)

式中：
 D ——孔径，um；
 $F_w(D)$ ——浸湿样品在某一孔径 D （即压力 P ）下对应的气体流量，L/min；
 $F_D(D)$ ——干燥样品在某一孔径 D （即压力 P ）下对应的气体流量，L/min。

5.7 报告要求

- 如适用，试验报告中应给出以下详细信息：
- a) 测试设备信息（制造商、型号、校准信息等）；
 - b) 样品信息：名称、图片或状态等；
 - c) 试样预处理过程；
 - d) 试验条件：环境温湿度、真空浸润条件等；
 - e) 各个试样的平均孔径的测定结果及平均值；
 - f) 孔径分布曲线；
 - g) 测试日期、测试者。

6 抗压强度测试

6.1 测试原理

本方法采用 GB/T 4740-2024 测试原理，通过施加连续增加的压缩载荷，使试样在压缩状态下破裂，通过记录载荷-位移曲线计算力学性能参数。

6.2 仪器设备

6.2.1 材料试验机，载荷精度±1%。

6.2.2 数码显微镜，允差±10 μm。

6.2.3 干燥箱，工作温度达到 120 °C，精度±2 °C。

6.2.4 游标卡尺，允差±0.02 mm。

6.3 试验环境要求

除特别说明之外，测试在（20±5）°C，<80 %RH 的环境下进行。

6.4 测试步骤

6.4.1 样品要求及前处理：

- a) 样品必需干燥、干净、无油污，测试前，放置烘箱中（120±5）°C干燥 10 min；
- b) 样品形状需要为的规整方形或圆柱形，方便计算截面积，其它异形件不进行此项测试；
- c) 检查样品两端是否平整及相互平行，若存在缺陷或两端不平行，需要磨平行。

6.4.2 测量样品尺寸：

- a) 对于带中腔的圆柱形样品，使用数码显微镜，测量并记录被测方向两端的截面积 S ，精确到 0.01 mm²；
- b) 对于方形样品，用游标卡尺测量样品的厚度和宽度，记录并计算截面积 S ，精确到 0.01 mm²。

6.4.3 使用材料试验机测量抗压强度：

- a) 选择合适量程的传感器，安装并标定传感器，试样压碎时的压力在试验机量程的 10%~90%之间；
- b) 安装抗压强度测试治具。将样品垂直立在测试治具中央，降低横梁使得测试治具接近样品；
- c) 选择抗压强度测试模块，设置测试速率 0.2 mm/min。根据样品实际形状，选择试样几何形状，输入对应的试样尺寸；
- d) 归零位移载荷，开始测试，当陶瓷出现破碎时停止测试，记录最大载荷 F 。

6.5 结果计算

通过式（4）计算样品的抗压强度。至少测试5个平行样品，结果保留小数点后2位，计算平均值。

$$\sigma_{bc} = \frac{F}{S} \dots\dots\dots (4)$$

式中，

F ——试样受压破碎的最大载荷，N；

S ——试样的横截面积，mm²；

σ_{bc} ——抗压强度，MPa。

6.6 报告要求

如适用，试验报告中应给出以下详细信息：

- a) 测试设备信息（制造商、型号、校准信息等）；
 - b) 样品信息：名称、图片、状态、尺寸等；
 - c) 试样预处理过程；
 - d) 试验条件：力值传感器范围、压缩速度等；
 - e) 各个试样抗压强度的测定结果及平均值；
 - f) 测试日期、测试者。
-

