

中华人民共和国国家标准  
可浸透烧结金属材料—  
流体渗透性的测定

UDC 669—492.8 :  
539.217  
GB 5250—85  
~ISO 4022—1977

本标准适用于孔贯通连续的或互相连结的可渗透烧结金属材料的流体渗透性的测定。在流体渗透性能用粘性渗透系数和惯性渗透系数表示的条件下进行试验(见附录A)。

本标准不能用于具有较大长度直径比的管状试样,因为在这种情况下,沿管长度的流体压降与通过管壁的压降相比不能忽略。

本标准等效采用 ISO4022—1977 (E) 《Peameable-sintered metal materials—Determination of fluid permeability》。

## 1 原理

让已知粘度和密度的试验流体通过试样,并测量压降、体积流动速率来确定粘性和惯性渗透系数。

粘性和惯性渗透系数是试验流体的压降、体积流动速率、粘度和密度与被这种试验流体渗透的多孔金属试样的几何尺寸之间的相互关系的系数。

## 2 定义和符号

本标准所用定义、符号列于表1。

表1

定义和符号

术语	符号	定义	单位
渗透性		在压力梯度作用下,流体通过多孔金属的能力	
粘性渗透系数	$\psi_v$	在流体阻力仅是由于粘性损失所造成的条件下,在单位压力梯度的作用下,通过单位面积多孔金属的单位粘性流体的体积流动速率	$\text{m}^2$
惯性渗透系数	$\psi_i$	在流体阻力仅是由于惯性损失所造成的条件下,在单位压力梯度作用下,通过单位面积多孔金属的单位密度流体的流动速率	$\text{m}$
体积流动速率	$Q$	流体的质量流动速率除以其密度	$\text{m}^3/\text{s}$
前流压力	$P_1$	试样前面的流体压力	$\text{Pa}$ ( $\text{N}/\text{m}^2$ )
后流压力	$P_2$	试样后面的流体压力	
平均压力	$P$	前后流体压力的算术平均值	$\text{Pa}$ ( $\text{N}/\text{m}^2$ )
压降	$\Delta P$	多孔试样前后流体的压力差	
压力梯度	$\Delta P/e$	多孔试样的单位厚度产生的压降	$\text{Pa}/\text{m}$ ( $\text{N}/\text{m}^3$ )

• 以国家标准局发布为准

(接表1)

速 率	Q/A	体积流动速率与试验面积之比	m/s
试验面积	A	垂直于流体流动方向的有效多孔金属面积	$m^2$
厚 度	e	在流体流动方向的试样尺寸	m
长 度	L	圆筒长度	m
密 度	$\rho$	在平均温度和压力下,流体的密度	$kg/m^3$
动力学粘度	$\eta$	牛顿定律所确定的动力学粘度系数	$N\cdot S/m^2$
平均绝对温度	T	流体入口和出口端温度的平均值	K
空白压降	$\Delta P_c$	当试验仪器的试验位置上不放试样时,试样位置前后流体入口处之间观察到的压降	$Pa$ $(N/m^2)$

### 3 装置

#### 3.1 夹具

主要根据试样的形状和尺寸选择夹具。根据试样的物理特性选择仪器。本标准涉及到适用于测定多孔试样流体渗透性的两种不同类型的夹具。

##### 3.1.1 平板试样试验夹具

这种类型的夹具适用于进行平板多孔试样局部面积无损试验。

平板试样被夹在与试验面积相对应的特征直径 $D_1$ 的两个柔韧的密封环之间。为了减少侧漏,设计保护环试验夹具,即围绕试验区域的周围有加压的环带。保护环试验区的宽度不小于试样厚度。

保护环试验区靠内外室压力相等确保减小侧漏,在试样的前流体部分尽可能加大前室门区。在试样的后流体部分,内室通向流量计,外室经过调节压力相等的阀门通向大气。调节阀门使内外室压力相等。

推荐用“O”型密封环密封。

为了克服多孔金属表面缺陷及不平整性,要求密封环应是柔韧的。为了确保无漏密封,应加载密封。

要求两对前后密封环分别互相配合(见图1)。

##### 3.1.2 管(筒)状试样试验夹具

用夹具夹着试样轴向的两个端面,使试验流体由管内向管外通过管壁渗透。流量计安放在试样的前流体入口位置。为了克服多孔金属试样端面不规则性,以便确保无漏密封,应该使用柔韧的密封环,同时要夹紧试样(见图2)。

#### 3.2 试验流体

在大多数情况下,气体比液体更适合作试验流体。推荐用空气作试验流体。在需要使用液体的特殊情况下,要求液体干净并不含有溶解性气体(见附录B)。

### 4 试样

板状试样特征直径应大于粉末颗粒直径的100倍,厚度应大于粉末直径的10倍,试验区域厚

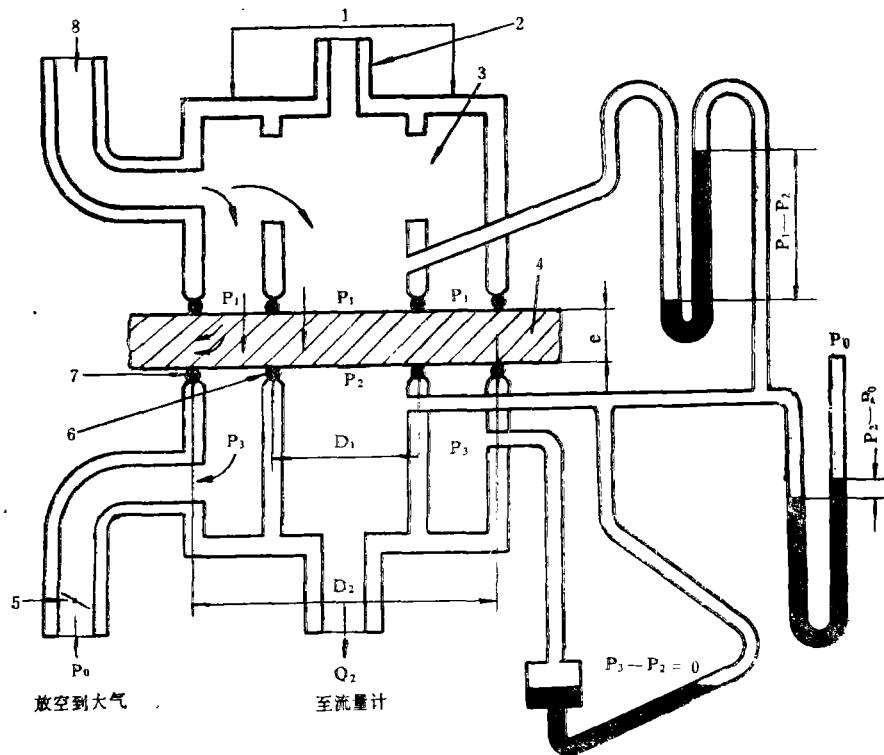


图1 保护环试验夹具结构示意图

- |            |                     |
|------------|---------------------|
| 1—夹紧力;     | 5—调节压力阀门;           |
| 2—试验流体入口;  | 6—内密封“O”环;          |
| 3—尽可能大的门区; | 7—外密封“O”环;          |
| 4—试样;      | 8—从可调压力控制阀门来的试验流体入口 |

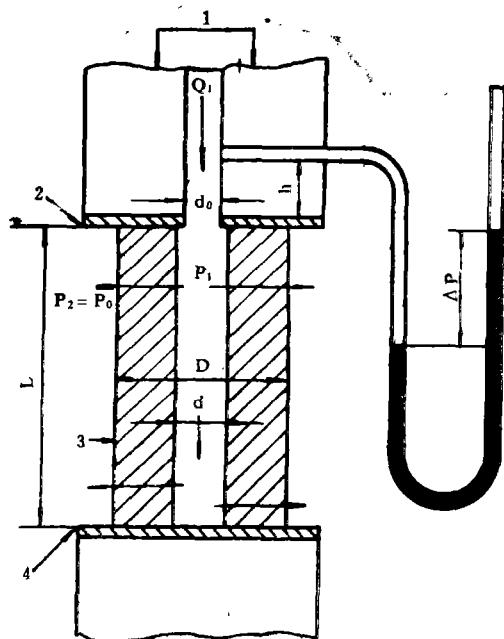


图2 适用于管(筒)状  
试样的试验夹具示意图

- 1—夹紧力;
- 2—密封圈;
- 3—试样;
- 4—密封圈

度偏差应小于5%；管状试样的长度直径比应不大于3。

## 5 试验步骤

### 5.1 试样预处理

如果需要时，应清洗试样，去除油脂和其它外来异物，且进行干燥。推荐用四氯化碳作清洗液，用超声波清洗器清洗。

### 5.2 试样几何尺寸测量和面积计算

#### 5.2.1 平板试样

测量试样厚度和试验区域特征直径。测量偏差小于0.5%。

#### 5.2.2 管(筒)状试样

测量轴长、端头内外直径。测量偏差小于0.5%。

厚度

$$e = \frac{D(\ln r)^2}{2(r-1)} \quad (1)$$

面积

$$A = \frac{\pi D L (\ln r)}{r-1} \quad (2)$$

式中：

$$r = \frac{D}{d} \quad (3)$$

当

$$\frac{D-d}{2} < 0.1d \text{ 时}$$

$$e = \frac{D-d}{2} \quad (4)$$

$$A = \frac{\pi L (D+d)}{2} \quad (5)$$

### 5.3 压降测量

可分别测定试样前后流体的压力，然后取其差值；也可以用一示差压力计显示数字。

空白压降应在不放试样的情况下测量，并在流动速率所要求的范围内观察压降，即可确定。空白压降最好不超过压降的10%。

### 5.4 流速测量

使用标准流量计。所测得的流速应校正到平均压力和温度下的值。

### 5.5 压力和温度测量

测量流量计和试样位置的温度，及试样位置的压力。目的在于校正流量计读数；计算平均流速；确定试验流体的密度和粘度。

## 6 结果的计算及表示

对测量试验流体流速的主要要求为：流速测量点至少取5个，等距分布在流速读数区间内，最高读数应该比最低读数至少大10倍。

### 6.1 平均流速

流量计读数可用平均压力和温度校正。

$$C_1 = \frac{P_0 T_a}{P_a T_0} \quad (6)$$

式中:  $P_0$ —标准大气压,  $P_a$

$P_a$ —流量计制造厂所在地大气压,  $P_a$

$T_0$ —标准状态下温度, K

$T_a$ —标定流量计时的温度, K

也可用仪器制造厂家提供的校正系数 $C_1$ 校正。校正后的流量计读数 $Q_a$ 为

$$Q_a = C_1 Q_1 \quad (7)$$

可用系数 $C_s$ 校正 $Q_a$ 即得多孔试样的平均流速 $Q$ ,  $C_s$ 可用气态方程计算

$$C_s = \frac{Q}{Q_a} = \frac{P_a T}{P T_a} \quad (8)$$

$$Q = C_s Q_a \quad (9)$$

总校正系数 $C_0$ 为

$$C_0 = C_1 C_s \quad (10)$$

因此, 平均流速

$$Q = C_0 Q_1 \quad (11)$$

式中:  $Q_1$ —流量计上的刻度,  $m^3/s$

## 6·2 结果计算

粘性渗透系数和惯性渗透系数用取一系列同一时间的流速和压降读数确定。

表征结果的方程式为

$$\frac{\Delta P A}{\epsilon \rho \eta Q} = \frac{1}{\psi_i} - \frac{Q P}{A \eta} + \frac{1}{\psi_v} \quad (12)$$

令

$$X = \frac{Q P}{A \eta} \quad (13)$$

$$y = \frac{\Delta P A}{\epsilon \rho \eta Q} \quad (14)$$

则  $y = \frac{1}{\psi_i} x + \frac{1}{\psi_v}$  (15)

把x和y的相应值描绘在线性图纸上, 作出直线。

此直线在y轴上的截距为粘性渗透系数的倒数 $(\frac{1}{\psi_v})$ , 直线的斜率为惯性渗透系数的倒数 $(\frac{1}{\psi_i})$ 。

在有疑虑情况下, 直线用最小二乘法确定。

## 6·3 最终结果

报出粘性渗透系数为若干 $10^{-12} m^2$  ( $1 \mu m^2$ ), 惯性渗透系数为若干 $10^{-6} m$  ( $1 \mu m$ ), 相对准

确度为±5%。

## 7 试验报告

试验报告包括下列各项：

- a. 注明本标准号；
- b. 说明鉴别试样的细节；
- c. 所用仪器类型；
- d. 所用试验液体；
- e. 得到结果；
- f. 本标准未规定的操作；
- g. 影响结果的因素。

## 附录A

### 流体渗透的机理

经验证明，在大多数情况下，流体通过多孔金属的流动，通常涉及到三种主要机理，它们是粘性流动、惯性流动和滑移流动。

#### A1 粘性流动

假设多孔金属材料的孔贯通连续，孔尺寸比试验流动的平均分子自由程大很多。达西(Darcy)首先提出了流体通过多孔材料流动的经验公式。用水作试验，假定损失全部是由于粘性切变引起的，则试样的单位厚度上的压降和单位面积上的流速及粘度之间的关系可以表达为

$$\frac{\Delta P}{e} = \frac{Q \eta}{A \psi_v} \quad (A1)$$

#### A2 惯性流动

惯性流动与下述原因相关：与流体通过曲折孔流动时的方向变化而引起的能量损失有关；与由于孔中局部紊流进击而引起的能量损失有关。结合达西的粘性损失方程，佛切迈尔(Forcheimar)提出如下方程（一般没有滑移流动）：

$$\frac{\Delta P}{e} = \frac{Q \eta}{A \psi_v} + \frac{Q^2 P}{A^2 \psi_i} \quad (A2)$$

在粘性流体低速率( $Q/A$ )流动的情况下，惯性项与粘性项相比，通常是不重要的，可以忽略。

#### A3 滑移流动

在孔尺寸极小，气体在低压或高温情况下，孔尺寸比试验流体的平均分子自由程大很多的假设失效。当气体分子平均自由程与多孔金属的孔尺寸同数量级时，发生滑移流动。当滑移流动存在时，多孔金属呈现出比滑移流动不存在时更大的可渗透性。同时，当滑移流动存在时，通常没有惯性损失。方程(A2)可以写为下列形式：

$$\frac{\Delta P}{e} = \frac{Q \eta}{A \psi_s} \quad (A3)$$

式中： $\psi_s$ 是滑移流动存在时的渗透系数。

滑移流动的校正取下式：

$$\psi_s = \psi_v \left( 1 + \frac{2B}{P_1 + P_2} \right) \quad (A4)$$

即

$$\psi_s = B\psi_v \left( \frac{2}{P_1 + P_2} \right) + \psi_v \quad (A5)$$

式中: B—克林柏格因子。

对于给定的气体和多孔材料, B为常数, 且具有压力的量纲。克林柏格因子B的值随孔尺寸和气体分子相对质量减小而增加, 随气体温度和粘度的增加而增加。因此在不同的压力(即 $P_1$ 和 $P_2$ )范围内测量 $\psi_s$ , 把 $\psi_s$ 对 $\frac{2}{P_1 + P_2}$ 作图得一直线。此直线的斜率等于 $B\psi_v$ 。此直线在 $\psi_s$ 轴上的截距等于粘性渗透系数 $\psi_v$ 。

#### A4 壁效应和终端效应

关于流体流动的方程(A2)中, 假设孔是贯通的, 连续的, 而在试样的表面上发生不连续现象时, 有两种情况要考虑:

- a. 边缘密封入容器内的试样的壁效应;
- b. 在所有试样的前流体和后流体接触面上的终端效应。

一般说来, 对于粉末冶金材料, 如果试样的直径不小于组成多孔金属的颗粒直径的大约100倍时, 壁效应可以忽略。当试样直径为颗粒直径的40倍时, 误差小于5%。

一般说来, 当试样厚度不小于组成多孔金属的颗粒直径的10倍时, 终端效应可以忽略不计。当有壁效应的情况下, 终端效应也依赖于表面孔和内部孔之间的差值。

## 附录B

### 试验流体

在多数情况下, 气体比液体更适合作试验流体。

用液体作试验流体有如下难题:

- a. 很难除去被多孔金属捕获的所有固体微粒, 因此使渗透性发生变化;
- b. 溶解气体可能脱溶在孔内, 导致“气体固锁”现象出现;
- c. 液体的静端头可能对测量压降增加困难;
- d. 用液体工作耗费更大, 而且又脏;
- e. 某些金属可能对某些液体有吸附作用, 由此使孔尺寸趋于减小;
- f. 由于拥有毛细效应和表面效应, 由液体引起孔表面湿度可能影响观测渗透性, 尤其是对小孔径的多孔金属更是如此。

然而, 在少数特殊情况下, 需要使用特殊液体的渗透性, 规定使用牛顿液体, 并遵守下列注意事项:

- a. 液体必须没有固体粒子和溶解气体;
- b. 全部金属孔必须充满液体, 且在多孔金属表面, 或在孔中不允许形成气囊。

一般说来, 只有当孔尺寸很大时, 用液体作试验才能得到与用气体相符的渗透性结果。基于上述原因, 宁可选用气体作试验流体。

但是, 在以气体作渗透流体的情况下, 惯性损失出现的可能性较大, 所以附录A中的方程(A2)是必须的。