



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 11107—2018  
代替 GB/T 11107—1989

---

## 金属及其化合物粉末 比表面积和粒度测定 空气透过法

**Metallic and its compound powder—Determination of specific surface and  
particle size—Air permeating method**

2018-09-17 发布

2019-06-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 11107—1989《金属及其化合物粉末 比表面积和粒度测定 空气透过法》。

本标准与 GB/T 11107—1989 相比,除编辑性修改外主要技术内容变化如下:

- 增加了“规范性引用文件”(见第 2 章);
- 将“术语和符号”拆分成“术语及定义”和“符号及名称”(见第 3 章和第 4 章,1989 年版的第 3 章);
- 将“多孔床”改为“粉末床”(见 3.3,1989 年版的 3.1.3);
- 将符号中“Kozeny-carman 系数,商定为 5”改为“本国家标准中  $K=5.0$ ”(见第 4 章,1989 年版的 3.2);
- 删除“试样取量按粉末的粗细而定,粒度小于  $1\ \mu\text{m}$  的粉末,粉末称量可小于  $0.3\rho_s$  的克数;粒度大于  $2\ \mu\text{m}$  的粉末,称取的质量应大于  $1.2\rho_s$  的克数”内容,增加 6.1.2(见 6.1.2,1989 年版的 5.1);
- 将“试样的质量称准到  $0.001\ \text{g}$ ”改为“精确到  $0.001\ \text{g}$ ”,并入到 6.1.2 中(见 6.1.2,1989 年版的 5.2);
- 将“试样直径不小于  $8\ \text{mm}$ ,试样厚度不小于  $4\ \text{mm}$ ”改为“试样层的厚度(高度)应不小于平均颗粒直径的 50 倍,试样层的直径应不小于平均颗粒直径的 100 倍”(见 6.2,1989 年版的 5.2);
- 分析天平“用于称量粉末,其感量为  $0.001\ \text{g}$  或  $0.0001\ \text{g}$ ”改为“测量精度应不低于  $0.001\ \text{g}$ ”(见 7.1,1989 年版的 6.1);
- 增加“8.1.1 气源压力的校准与调节”和“8.1.2 精密阀的校准”(见 8.1,1989 年版的 7.1);
- 将“精确测出粉末床的厚度  $L$  和试样管直径  $d$ ,依式(10)计算出粉末床的有效孔隙度  $\epsilon_p$ 。试样厚度引起的有效孔隙度的误差应不大于  $0.2\%$ 。”调整到 8.2.1(见 8.2.1,1989 年版的 7.1);
- 将“粉末及多孔材料测定仪”改为“空气透过法粒度测定仪”(见附录 A,1989 年版的附录 A)。

本标准由中国有色金属工业协会提出。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243)归口。

本标准负责起草单位:株洲硬质合金集团有限公司、深圳市注成科技股份有限公司、崇义章源钨业股份有限公司、南昌硬质合金有限责任公司、自贡硬质合金有限责任公司、有色金属技术经济研究院。

本标准主要起草人:张卫东、李惠芳、彭宇、张越、梁鸿、张志伟、阳立庚、邓涛、李思远、杨军、吴艳华。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 11107—1989。

# 金属及其化合物粉末 比表面积和粒度测定 空气透过法

## 1 范围

本标准规定了金属粉末及其化合物粉末比表面积和粒度测定方法——空气透过法。  
本标准适用于金属粉末及其化合物粉末比表面积和粒度的测定。  
本标准不适用于纤维状、片状粉末的测定,但供需双方协商同意时,也可采用本标准。  
本标准不适用于不同材质的混合粉末及含有粘合剂或润滑粉的粉末比表面积和粒度的测定。

## 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 5161 金属粉末 有效密度的测定 液体浸透法

ISO 10070 金属粉末 稳态流动条件粉末层透气性试验 外比表面积的测定(Determination of envelope—Specific surface area from measurements of the permeability to air of a powder bed under steady—State flow conditions)

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**透过率 permeability**

多孔材料输送流体的能力。

注:本标准中流体是指干燥空气。

### 3.2

**间隙孔 interstices**

空气能被输送通过的颗粒之间的孔隙。

### 3.3

**有效孔隙度 effective porosity**

**透过孔隙度 permeable porosity**

间隙孔体积与粉末床的体积之比。

### 3.4

**包络体积 envelope volume**

**粉末有效体积 effective volume of powders**

在粉末床中排除间隙孔之外,被粉末颗粒所占据的体积。

### 3.5

**体积比表面 volume specific surface**

粉末颗粒的表面积与它的有效体积之比。

注：本标准中，体积比表面分为三种，参见 3.5.1、3.5.2、3.5.3。

3.5.1

**粘性流体积比表面** **viscous flow volume specific surface**

涉及有粘性流效应的体积比表面，即仅考虑粘性流动所确定的表面积与粉末的有效体积之比。

3.5.2

**分子滑动流体积比表面** **molecular slip flow volume specific surface**

涉及有分子滑动碰撞效应的体积比表面，即在分子滑动流下所测出的表面积与粉末有效体积之比。

3.5.3

**体积全比表面** **volume whole specific surface**

在空气透过法测定中，具有分子滑动流效应的情况下，所测得的粉末表面积与粉末的有效体积之比。

注：本标准中的体积全比表面与吸附法所测定的体积全比表面是相当的，两者可以相互校对。

3.6

**质量比表面** **mass specific surface**

粉末的全表面积与粉末的质量之比；或者粉末体积全比表面与粉末的有效密度之比。

3.7

**粘性流粒度或粘性流等效球形直径** **viscous flow particle size or viscous equivalent spherical diameter**

非多孔均匀球形粉末，与被测粉末有相同的有效密度，在同一粘性流测定条件下，有相同的粘性流比表面的球形直径。

3.8

**全比表面粒度或全比表面等效球形直径** **whole specific surface particle size or whole specific surface equivalent spherical diameter**

被测粉末的全比表面积与理想光滑均匀球形颗粒有相同的有效密度、相同的全比表面的颗粒直径。

3.9

**分子滑动流处理系数** **molecular slip flow treatment factor**

分子滑动流体积比表面与粘性流体积比表面的比值半倍系数。

3.10

**全表面系数** **whole surface factor**

粉末的体积全比表面与其粘性流体积比表面之比。

3.11

**分子碰撞表面相关系数** **related coefficient with knocking of the molecules in the surface**

分子滑动流的表面效应与孔体积效应的乘积除以粘性流附面层的体积效应。

4 符号及名称

列于表 1 中的符号及名称适用于本文件。

表 1 符号及名称

符号	名称	单位
A	试样横截面积	cm <sup>2</sup>
K	Kozeny-carman 系数, 本国家标准中 K=5.0	—

表 1 (续)

符号	名称	单位
$L$	试样压缩床厚度	cm
$d$	试样管直径	cm
$h$	测定时流量计的标定值	mm
$m$	试样压缩床粉末质量	g
$\rho$	粉末理论密度	g/cm <sup>3</sup>
$\rho_e$	粉末有效密度	g/cm <sup>3</sup>
$\epsilon$	粉末床总孔隙度	—
$\epsilon_p$	粉末床有效孔隙度	—
$\eta$	空气的粘度	P(泊)
$q$	流体体积流速率	cm <sup>3</sup> /s
$\Delta p$	粉末床的压强降	Pa(帕斯卡)或 mmH <sub>2</sub> O*
$\lambda$	空气分子平均自由程	$\mu\text{m}$
$\phi$	总透过率	$\mu\text{m}^2$
$\phi_k$	纯粘性透过率	$\mu\text{m}^2$
$\phi_m$	分子滑动流透过率	$\mu\text{m}^2$
$S_k$	粘性流体积比表面	$\mu\text{m}^{-1}$
$S_m$	分子滑动流体积比表面	$\mu\text{m}^{-1}$
$S_v$	体积全比表面	$\mu\text{m}^{-1}$
$S_w$	质量全比表面	m <sup>2</sup> /g
$D_k$	粘性流粒度	$\mu\text{m}$
$D_v$	全比表面粒度	$\mu\text{m}$
$\beta$	分子滑动流处理系数	—
$\delta$	全表面系数 $S_v/S_k = \delta$	—
$Z$	分子碰撞表面相关系数: $Z = \frac{\delta^2 - 1}{\delta} \times \frac{\epsilon_p}{(1 - \epsilon_p)\lambda \times S_k}$	—
$a$	被测粉末下料系数,它等于粉末称量的克数除以有效密度的克数	—
$a$	仪器常数,无量纲的常数	—

\* 1 mmH<sub>2</sub>O=9.806 65 Pa

## 5 方法原理

基于稳定空气流动下,气体透过粉末压缩床,气体的透过率受粉末的粒度、形状和床的有效孔隙度的影响。当已知粉末形状、孔隙度并测出其透过率时,按不同的方法就能计算出粉末的粒度和各种比表面积。空气透过粉末床时,一般情况,对粘性流粒度( $D_k$ )大于 10  $\mu\text{m}$  的粉末,空气透过是粘性流流动;

小于 10 μm 的粉末,是分子滑动流和粘性流的混合流动。

Carman 的粘性流动计算式见式(1):

$$\phi = \frac{\epsilon_p^3}{K(1-\epsilon_p)^2 S_k^2} = \frac{\epsilon_p^3}{180(1-\epsilon_p)^2} \times D_k^2 = \frac{q \times \eta \times L}{A \times \Delta p} \dots\dots\dots(1)$$

粘性流和分子滑动流的混合流,Carman-malherbe 计算式见式(2)、式(3):

$$\phi = \phi_k + \phi_m = \frac{\epsilon_p^3}{K(1-\epsilon_p)^2 S_v^2} + \frac{\epsilon_p^2 \times Z \times \lambda}{K(1-\epsilon_p) S_v} = \frac{q \times \eta \times L}{A \times \Delta p} \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{\phi_k}{\phi} + \frac{\phi_m}{\phi} = \frac{S_k^2}{S_v^2} + \frac{S_m}{S_v} = 1 \dots\dots\dots(3)$$

从式(1)~式(3)得到式(4)~式(7):

$$S_m = \frac{\epsilon_p^2 \times Z \times \lambda}{K(1-\epsilon_p)\phi} = \left(\frac{1-\epsilon_p}{\epsilon_p}\right) Z \times \lambda \times S_k^2 \dots\dots\dots(4)$$

$$\beta = \frac{S_m}{2S_k} = \frac{1}{2} \left(\frac{1-\epsilon_p}{\epsilon_p}\right) \lambda \times S_k \times Z = \frac{1-\epsilon_p}{\epsilon_p} \times \frac{3\lambda}{D_k} \times Z \dots\dots\dots(5)$$

$$S_v = (\beta + \sqrt{\beta^2 + 1}) \times S_k = \delta(S_k) \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{\delta^2 - 1}{2\delta} = \beta \dots\dots\dots(7)$$

上式中 β、δ、Z 可以用吸附法测定的体积全比表面 S<sub>B</sub> 来校准,其关系见式(8)、式(9):

$$\begin{cases} \frac{S_B}{S_k} = \frac{S_v}{S_k} = \delta = \beta + \sqrt{\beta^2 + 1} \\ \beta = \frac{\delta^2 - 1}{2\delta} \end{cases} \dots\dots\dots(8)$$

$$Z = \frac{\delta^2 - 1}{\delta} \times \frac{\epsilon_p}{1-\epsilon_p} \times \frac{1}{\lambda \times S_k} \dots\dots\dots(9)$$

粉末床的总孔隙率和有效孔隙度见式(10):

$$\begin{cases} \epsilon_p = 1 - \frac{m}{\rho_s \times A \times L} \\ \epsilon = 1 - \frac{m}{\rho \times A \times L} \end{cases} \dots\dots\dots(10)$$

粉末床的粒度和比表面的关系见式(11):

$$\begin{cases} D_k = \frac{6}{S_k} \\ D_v = \frac{6}{S_v} = \frac{6}{S_v \times \rho_s} = \frac{6}{\delta \times S_k} = \frac{D_k}{\delta} \end{cases} \dots\dots\dots(11)$$

粉末常用测量计算式见式(12):

$$D_k = a \left[ \frac{h}{\alpha \times \Delta p} \left( \frac{1-\epsilon_p}{\epsilon_p} \right)^3 \right]^{\frac{1}{2}} \times L \dots\dots\dots(12)$$

## 6 试样制备与要求

### 6.1 试样制备

6.1.1 待测粉末可在接收状态下测试也可在适当气氛中干燥后测试,但要确保试样干燥而不氧化。

6.1.2 试样压缩床粉末质量 m 按 α×ρ<sub>s</sub> 的倍数称取粉末质量,以克为单位,精确到 0.001 g;α 取值的原

则是：使测量时 U 形压力计的水柱高度落在满量程的  $1/3 \sim 2/3$  内。粉末越细， $\alpha$  值应越小；粉末越粗， $\alpha$  值应越大。当  $D_k < 0.5 \mu\text{m}$  时， $\alpha$  取值范围为  $0.03 \sim 0.5$ ；当  $0.5 \mu\text{m} \leq D_k < 1 \mu\text{m}$  时， $\alpha$  取值范围为  $0.5 \sim 1$ ；当  $1 \mu\text{m} \leq D_k < 20 \mu\text{m}$  时， $\alpha$  取值范围为  $1 \sim 2$ ；当  $20 \mu\text{m} \leq D_k < 120 \mu\text{m}$  时， $\alpha$  取值范围为  $2 \sim 5$ ，此时滤纸应用针钻孔  $5 \sim 6$  个消除滤纸阻力。其中  $\rho_s$  按照 GB/T 5161 中的方法测定。

6.1.3 试样装入试样管，试样两端面分别加一片快速滤纸，用多孔塞压紧滤纸和粉末。

## 6.2 试样要求

试样应符合 ISO 10070 的规定：试样层的厚度（高度）应不小于平均颗粒直径的 50 倍，试样层的直径应不小于平均颗粒直径的 100 倍。试样压缩床孔隙度要求分布均匀。

## 7 试验仪器

### 7.1 分析天平

分析天平的测量精度应不低于  $0.001 \text{ g}$ 。

### 7.2 空气透过法粒度测定仪

空气透过法粒度测定仪原理示意图参见附录 A。主要部件包括：

- 空气泵和稳压装置；
- 测高计，用于测量粉末试样厚度  $L$  和流量计的水柱高  $h$ ，读数精确到  $0.02 \text{ mm}$ ；
- 精密流量计，其等径等臂性精度为  $0.003$ ，其指示值最高为  $300 \text{ mmH}_2\text{O}$ ，读数精确到  $0.06 \text{ mmH}_2\text{O}$ 。

## 8 测定步骤

### 8.1 仪器的校准

#### 8.1.1 气源压力的校准与调节

将空试样管接入气流系统并夹紧。进行空管气路接通试验，大于或等于  $1 \mu\text{m}$  的粉末控制压力源为  $500 \text{ mmH}_2\text{O}$ ，调整稳压控制旋转阀，确保压力波动不大于  $0.5 \text{ mmH}_2\text{O}$ ；小于  $1 \mu\text{m}$  的粉末，允许用高于  $500 \text{ mmH}_2\text{O}$  的压力源，压力波动应不大于  $1.0 \text{ mmH}_2\text{O}$ 。

#### 8.1.2 精密阀的校准

试样管接通气路，当垂直压力计指示压力源为  $500 \text{ mmH}_2\text{O}$  时，压力波动不大于  $0.5 \text{ mmH}_2\text{O}$ ，换下试样空管。在接口处接上校准管，调整第一挡控制阀，使流量计指示值达到校准管所标定的  $h_1$  值，完成第一挡的仪器校准。挡次控制旋钮对准第二挡位置，调节第二挡控制阀，使指示值达到校准管所标定的  $h_2$  值，完成第二挡的仪器校准。

### 8.2 试样的测定

8.2.1 按 6.1 制备试样，精确测出粉末床的厚度  $L$  和试样管直径  $d$ ，依式(10)计算出粉末床的有效孔隙度  $\epsilon_p$ 。试样厚度引起的有效孔隙度的误差应不大于  $0.2\%$ 。

8.2.2 将制备好的试样，接在测定气路中，控制压力源为  $500 \text{ mmH}_2\text{O}$ ，压力波动不大于  $0.5 \text{ mmH}_2\text{O}$ ，用第一挡完成小于  $35 \mu\text{m}$  的粉末测定。当空气通过试样  $5 \text{ min}$  后，有稳定的流量，用测高计测出流量计指示的该值  $h$ ，以  $\text{mmH}_2\text{O}$  为单位，记录到小数点后两位数，读准小数点后第一位。若流量计指示值超

过 240 mmH<sub>2</sub>O,则应该使用第二挡进行测定。若粉末小于 0.5 μm,则允许用高于 500 mmH<sub>2</sub>O 以上的压力源,流量计指示值不应小于 5 mm。

8.2.3 用第二挡测定粉末时,先将空管接通气路,挡次旋钮置于第二挡位置,开通气泵,求出每 1 mmH<sub>2</sub>O 流量计指示值的管道压力损耗  $\Delta p'$ 。摘下空管,将被测试样接入气路中,空气通过试样 5 min 后,有稳定的流量,记录第二挡流量值  $h$ 。

8.2.4 测定的累计读数总误差为 0.01 mm。在 1 μm~8 μm 范围内重复测定,读数的相对误差应小于 1.5%。

## 9 结果的计算与表达

### 9.1 测定结果的计算

测定结果按式(12)首先计算出  $D_k$ ,依式(5)或式(8)计算出  $\beta$ ,然后按式(11)计算出  $S_k$ 、 $S_v$  和  $D_v$ 。第二挡测量结果的计算中,试样上的压力降  $\Delta p$ ,还应减去管道的压力损耗  $\Delta p' \cdot h$ 。

### 9.2 测定结果的表达

9.2.1 大于 10 μm 的粉末只作  $D_k$  的测定。

9.2.2 小于 10 μm 的粉末,应测定出  $D_k$ 、 $D_v$ 、 $S_k$ 、 $S_v$ 、 $S_m$  和  $S_w$ 。

9.2.3 校准性的测定应先有  $S_B$ ,得到  $\delta$  和  $\beta$ ,然后适当地改变  $\epsilon_p$  得到对应的  $Z$  值。

9.2.4 所有空气透过法测定的比表面积和粒度应标注孔隙度,记入原始测定数据中。

## 10 测定报告

测定报告包括下列内容:

- a) 本标准编号;
- b) 委托单位;
- c) 被测样品名称、规格和所测项目;
- d) 试样处理情况;
- e) 记录粉末有效密度和有效孔隙度;
- f) 测出的  $D_k$ 、 $D_v$ 、 $S_k$ 、 $S_v$ 、 $S_m$  和  $S_w$  值;
- g) 任何对试验有影响的细节;
- h) 测定时间、检测人员和责任人员签名。





附录 A  
(资料性附录)

空气透过法粒度测定仪原理示意图

空气透过法粒度测定仪原理示意图见图 A.1。

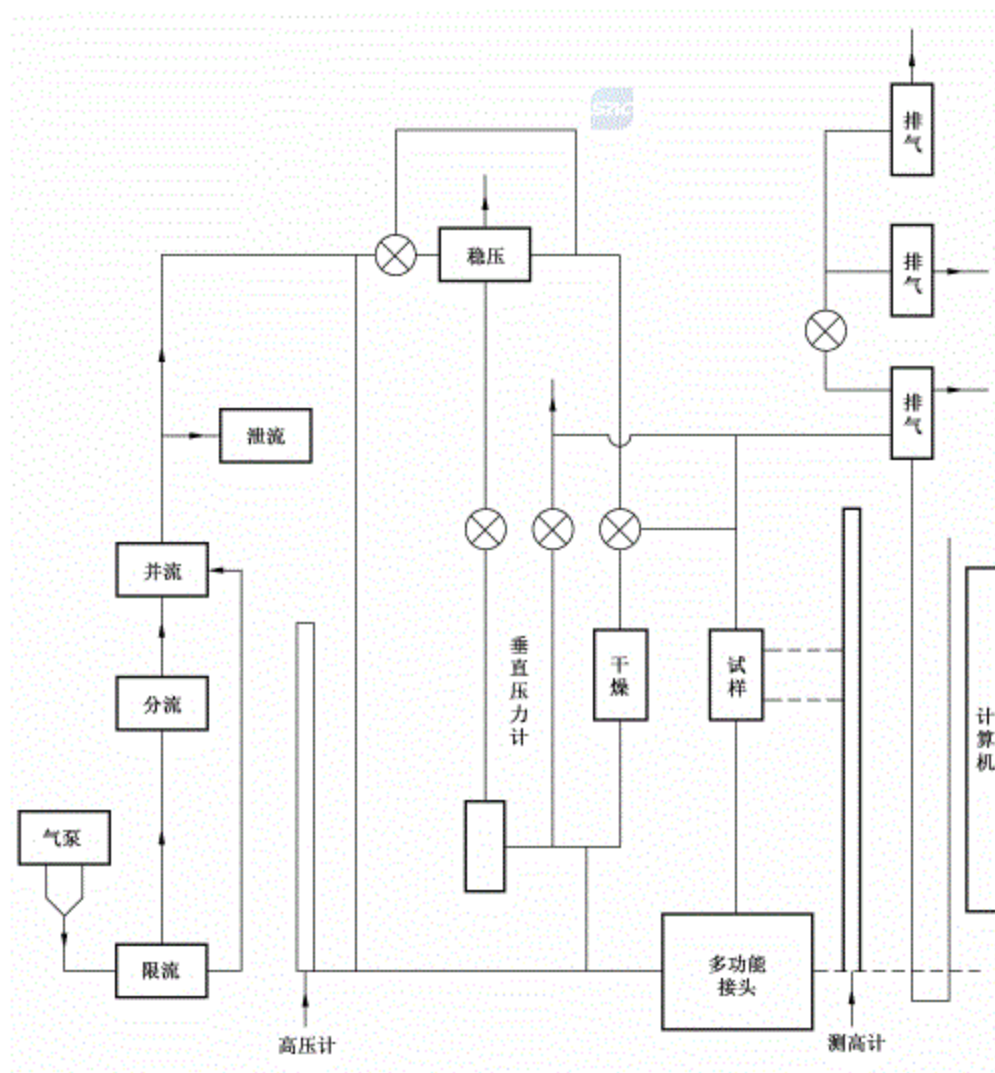


图 A.1 空气透过法粒度测定仪原理示意图