



中华人民共和国国家标准

GB/T 31057.2—2018

颗粒材料 物理性能测试 第2部分：振实密度的测量

Granular materials—Physical properties—Part 2: Determination of tap density

2018-12-28 发布

2019-07-01 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

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 原理 1

5 测量装置 1

6 样品准备 3

7 测量步骤 3

8 振实密度的计算 4

9 不确定度 4

10 测试报告..... 4

附录 A（资料性附录） 部分粉体样品的振动次数的选择 5

附录 B（资料性附录） 振实密度测试报告 6

附录 C（资料性附录） 不确定度的评估 7

前 言

GB/T 31057《颗粒材料 物理性能测试》分为 3 个部分：

- 第 1 部分：松装密度的测量；
- 第 2 部分：振实密度的测量；
- 第 3 部分：流动性指数的测量。

本部分为 GB/T 31057 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由全国颗粒表征与分检及筛网标准化技术委员会(SAC/TC 168)提出并归口。

本部分起草单位：北京市理化分析测试中心、北京硕瑞伟业控制技术有限公司、池州市富华粉体科技有限公司、北京海岸鸿蒙标准物质技术有限责任公司、丹东市百特仪器有限公司、国家非金属矿深加工产品质量监督检验中心、北京粉体技术协会、中国科学院过程工程研究所、国家纳米科学中心、中国计量科学研究院、中机生产力促进中心。

本部分主要起草人：高原、方勤、叶志美、李群、宋正启、李宏毅、李力、董青云、李兆军、张涛、马姜、范文浩、方荣、周素红、余方、张文阁、高洁、侯长革。

颗粒材料 物理性能测试

第2部分：振实密度的测量

1 范围

GB/T 31057 的本部分规定了颗粒材料振实密度测试的术语、定义及测试方法。

本部分适用于平均粒径为 $5\ \mu\text{m}\sim 5\ \text{mm}$ 的粉体材料的振实密度测量。

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 5314 粉末冶金用粉末 取样方法

GB/T 31057.1 颗粒材料 物理性能测试 第1部分：松装密度的测量

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

振实密度 tap density

在规定条件下粉体经振实后所测得的单位体积的质量。

3.2

固定质量法 fixed mass method

称量一定质量的粉体,振实后测量其体积值,计算得到其振实密度的方法。

3.3

固定体积法 fixed volume method

粉体经振实后取一定体积,称量其质量,通过计算得到振实密度的方法。

4 原理

将定量的粉体装入容器中,在规定条件下进行振动后,测得粉体质量和体积,计算粉体的振实密度。

5 测量装置

5.1 量筒

采用经校准的容积分别为 25 mL 和 100 mL 的两种具有三面刻度的透明量筒。25 mL 量筒最小分度为 0.5 mL,其容量允差为 $\pm 0.25\ \text{mL}$;100 mL 量筒最小分度为 1.0 mL,其容量允差为 $\pm 0.50\ \text{mL}$ 。

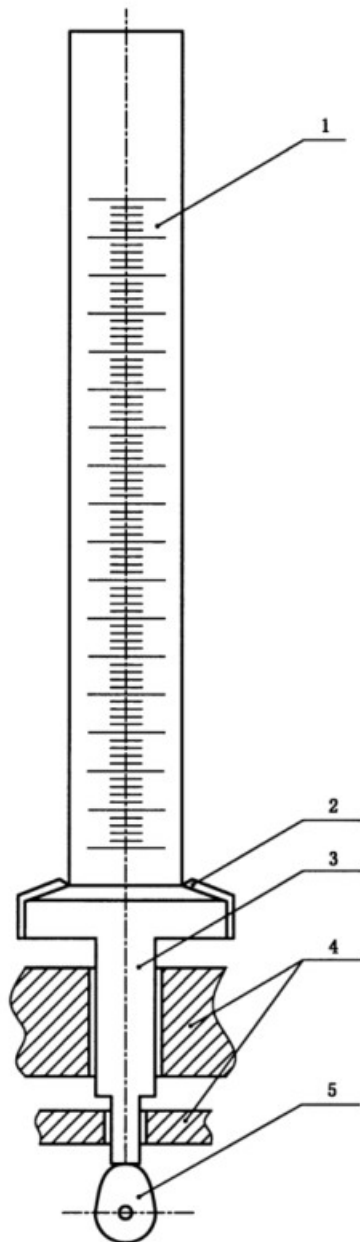
注：对于特殊稀缺样品,可选用容积为 10 mL(最小分度为 0.2 mL,其容量允差为 0.10 mL)的经校准的量筒。

5.2 组合量筒

组合量筒由上套筒和经校准的固定体积量筒组成。

5.3 振实装置

采用一种凸轮转动的方法,使得定向滑杆上下滑动,敲击砧座,使量筒内的粉体逐渐被振实。其振幅为 3 mm,每分钟振动 250 次 $\pm$ 15 次。装置示意图 1 所示。



说明:

- 1——量筒(或组合量筒);
- 2——夹紧装置;
- 3——定向滑杆;
- 4——定向轴套;
- 5——凸轮机构。

量筒(或组合量筒)的设计应保证:振实实验过程中,粉体不向外飞溅。

图 1 振实装置示意图

5.4 天平

精度优于 0.01 g。

注：对于特殊稀缺样品，天平精度优于 0.001 g。

6 样品准备

6.1 选择量筒

试验时依据 GB/T 31057.1 所测量的松装密度和样品量来选择量筒(见表 1)。样品量极少的样品可选用容积为 10 mL 的量筒。

表 1 振实密度试验所用量筒和样品量

量筒(或组合量筒)容积/mL	试验样品质量/g	样品松装密度/(g/cm ³)
25	100.0±0.5	>4
	50.0±0.2	2~4
	20.0±0.1	1~2
100	100.0±0.5	1~2
	50.0±0.2	<1

6.2 取样规则和方法

按 GB/T 5314 规定的取样规则及制样方法进行。

6.3 样品状态

按样品接受状态进行实验。

7 测量步骤

7.1 方法的选择

对于不易粘在量筒上的粉体样品，应选用固定质量法。对于易粘在量筒上的超细粉体样品，应选用固定体积法。

7.2 固定质量法

7.2.1 用试管刷擦净量筒内壁，也可用溶剂(如乙醇或丙酮等)清洗，但在使用前进行彻底干燥。

7.2.2 样品称量应精确到 0.01 g。

7.2.3 将称量好的样品装入清理干净的量筒内，应注意尽量使粉体表面基本处于水平状态，然后将量筒固定在支座上开始振动至体积无明显变化。

注：部分样品振动次数参见附录 A。

7.2.4 完成振动后，如果粉体上表面是水平的，可直接读出体积值；如果振实的粉体上表面不是水平的，则用振实后粉体上表面的三条刻度读数的平均值来确定振实体积。

7.3 固定体积法

- 7.3.1 称量已标定过的空量筒质量(m_1),应精确到 0.01 g。
- 7.3.2 将足够量样品倒入组合量筒内,然后将组合量筒固定在支座上开始振动至体积无明显变化。
- 7.3.3 卸下组合量筒的上套筒。
- 7.3.4 用刮板刮平量筒口上多余的样品,刮板应无粘连。
- 7.3.5 称量量筒质量(m_2)。

7.4 记录结果

- 7.4.1 记录结果中宜包括附录 B 中所有信息。
- 7.4.2 记录所有未在本标准中说明的操作细节,特别是对结果可能有影响的辅助操作细节。

8 振实密度的计算

振实密度由式(1)计算:

$$\rho_t = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- ρ_t ——振实密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);
 - m ——粉体的质量,单位为克(g);
 - V ——粉体振实后的体积,单位为立方厘米(cm³)。
- 取三次称样测量结果的算术平均值。

9 不确定度

振实密度的测量需要至少取 8 次测量结果进行不确定度的计算。
其不确定度主要来源包括:
——测量重复性引入的不确定度;
——称重用分析天平的最大允差引入的不确定度;
——密度杯校准引入的不确定度。
不确定度的评估方法,参见附录 C。
对存放环境有要求的样品,不确定度还应包括温度、湿度等因素。

10 测试报告

测试报告(参见附录 B)应包括且不仅限于以下内容:
——标准信息;
——测试信息,测量条件;
——如果样品被烘干,应注明烘干工艺;
——至少 3 次测量结果的算术平均值作为最终结果;
——所有未在标准中说明的操作细节,或对结果可能有影响辅助操作细节。

附 录 A
(资料性附录)

部分粉体样品的振动次数的选择

部分粉体样品的振动次数的选择参见表 A.1。

表 A.1 部分粉体样品的振动次数

样品类型	振动次数/次
咖啡类粉体	300
药品类粉体	500
奶粉类粉体	625
工业颗粒(水泥、氧化铝粉等)	1 000
金属类粉体	3 000
注：有特殊要求时，由供需双方协商。	

附 录 B
(资料性附录)
振实密度测试报告

振实密度测试报告如下：

振实密度测试报告

样品信息：

样品名称 _____ 颜色/状态 _____
其他 _____

测试信息：

温 度 _____ 相对湿度 _____
松装密度 _____ 所用量筒体积 _____
依据标准 _____
前处理条件 _____
样品质量 _____
振实体积 _____
振实密度 _____
检验员 _____ 检验日期 _____

附录 C
(资料性附录)
不确定度的评估

C.1 目的

对振实密度测量结果进行不确定度评定。

C.2 数学模型

振实密度不确定度评估的数学模型由式(C.1)得到：

$$\rho_t = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- m —— 颗粒材料的质量,单位为克(g)；
- V —— 颗粒材料振实后的体积,单位为立方厘米(cm³)。

C.3 不确定度来源

- 测量不确定度主要包括以下几个分量：
- 质量测量重复性引入的不确定度；
 - 体积测量重复性引入的不确定度；
 - 材料振实程度引入的不确定度；
 - 称重用分析天平的最大允差引入的不确定度；
 - 量筒(或量杯)校准引入的不确定度。

C.4 各分量引入不确定度的评定

C.4.1 固定质量法的测量不确定度评定

C.4.1.1 概述

对于固定质量法,颗粒材料的振实程度不同导致其体积产生变化,因此体积测量重复性引入的不确定度与材料振实程度引入的不确定度均包含在同一样品重复振实测量的体积测量结果不确定度之内。

C.4.1.2 质量测量重复性引入的不确定度 $u_{rel}(m)$ 的评定

质量测量重复性引入的不确定度可通过连续测量得到,采用 A 类评定。

对样品进行 n 次称重测量,得到 n 个质量测量结果($n \geq 8$),采用贝塞尔式(C.2)计算单次测量标准差 $S(m)$ ：

$$s(m) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

n ——测量次数;

m_i ——粉体振实后的质量,单位为克(g);

$\bar{m}$ ——多次测量粉体振实后的质量的平均值,单位为克(g)。

相对标准不确定度 $u_{1\text{rel}}(m)$ 由式(C.3)计算:

$$u_{1\text{rel}}(m) = \frac{s(m)}{\bar{m}} \quad \text{.....(C.3)}$$

式中:

$s(m)$ ——样品质量单次测量标准差,单位为克(g)。

C.4.1.3 体积测量结果的不确定度 $u_{1\text{rel}}(V)$ 的评定

体积测量重复性引入的不确定度可通过连续测量得到,采用 A 类评定。

对样品进行 n 次振实测量,得到 n 个体积测量结果($n \geq 8$),采用贝塞尔式(C.4)计算单次测量标准差 $s(V)$:

$$s(V) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \quad \text{.....(C.4)}$$

式中:

n ——测量次数;

V_i ——粉体振实后的体积,单位为立方厘米(cm^3);

$\bar{V}$ ——多次测量粉体振实后的质量的平均值,单位为克(g)。

相对标准不确定度 $u_{1\text{rel}}(V)$ 由式(C.5)计算:

$$u_{1\text{rel}}(V) = \frac{s(V)}{\bar{V}} \quad \text{.....(C.5)}$$

式中:

$s(V)$ ——样品体积单次测量标准差,单位为立方厘米(cm^3)。

C.4.1.4 称重用分析天平的最大允差引入的不确定度 $u_{2\text{rel}}(m)$ 的评定

由分析天平的检定证书得到其最大允许误差 Δm ,以矩形分布估计其所引入的相对不确定度 $u_{2\text{rel}}(m)$ 由式(C.6)计算:

$$u_{2\text{rel}}(m) = \frac{\Delta m}{\sqrt{3} \bar{m}} \quad \text{.....(C.6)}$$

式中:

Δm ——分析天平的最大允许误差,单位为克(g)。

C.4.1.5 量筒校准引入的不确定度 $u_{2\text{rel}}(V)$ 的评定

由量筒的检定证书得到其最大允许误差 ΔV ,以矩形分布估计其所引入的相对不确定度 $u_{2\text{rel}}(V)$ 由式(C.7)计算:

$$u_{2\text{rel}}(V) = \frac{\Delta V}{\sqrt{3} \bar{V}} \quad \text{.....(C.7)}$$

式中:

ΔV ——量筒的最大允许误差,单位为立方厘米(cm^3)。

C.4.1.6 合成不确定度

合成不确定度 $u_{c\text{ rel}}(\rho_a)$ 由式(C.8)计算:

$$u_{c\text{ rel}}(\rho_a) = \sqrt{u_{1\text{ rel}}^2(m) + u_{2\text{ rel}}^2(m) + u_{1\text{ rel}}^2(V) + u_{2\text{ rel}}^2(V)} \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

- $u_{1\text{ rel}}(m)$ ——质量测量重复性引入的相对标准不确定度, %;
- $u_{2\text{ rel}}(m)$ ——分析天平引入的相对标准不确定度, %;
- $u_{1\text{ rel}}(V)$ ——体积测量重复性引入的相对标准不确定度, %;
- $u_{2\text{ rel}}(V)$ ——量筒引入的相对标准不确定度, %。

C.4.1.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度 U_{rel} 由式(C.9)计算:

$$U_{\text{rel}} = 2u_{c\text{ rel}}(\rho_a) \dots\dots\dots (C.9)$$

式中:

- $u_{c\text{ rel}}(\rho_a)$ ——合成不确定度, %。

C.4.2 固定体积法的测量不确定度评定

C.4.2.1 概述

对于固定体积法, 颗粒材料的振实程度不同导致其质量发生变化; 此外, 除去量杯中多余粉体的定容过程所引入的体积测量重复性不确定度也通过样品质量的测量得到反映。因此固定体积法质量测量结果的不确定度包含了质量测量重复性、体积测量重复性以及材料振实程度所引入的不确定度分量。

C.4.2.2 质量测量结果的不确定度 $u_{1\text{ rel}}(m)$ 的评定

对样品进行 n 次振实测量, 得到 n 个质量测量结果 ($n \geq 8$), 按式(C.2)和式(C.3)计算不确定度。

C.4.2.3 称重用分析天平的最大允差引入的不确定度 $u_{2\text{ rel}}(m)$ 的评定

参见 C.4.1.4。

C.4.2.4 量杯校准引入的不确定度 $u_{2\text{ rel}}(V)$ 的评定

参见 C.4.1.5。

C.4.2.5 合成不确定度

合成不确定度 $u_{c\text{ rel}}(\rho_a)$ 由式(C.10)计算:

$$u_{c\text{ rel}}(\rho_a) = \sqrt{u_{1\text{ rel}}^2(m) + u_{2\text{ rel}}^2(m) + u_{2\text{ rel}}^2(V)} \dots\dots\dots (C.10)$$

式中:

- $u_{1\text{ rel}}(m)$ ——质量测量重复性引入的相对标准不确定度, %;
- $u_{2\text{ rel}}(m)$ ——分析天平引入的相对标准不确定度, %;
- $u_{2\text{ rel}}(V)$ ——量杯引入的相对标准不确定度, %。

C.4.2.6 扩展不确定度

参见 C.4.1.7。