

根据细小矿物颗粒在三溴甲烷中的降落速度测定比重的方法

测定细小矿物颗粒比重的许多方法,都是以它们在粘性溶液中的沉降速度为依据的。但这些方法的准确程度都很低,只有 $0.5\text{g}/\text{cm}^3$ 左右。作者建议改用三溴甲烷测矿物比重,因为它比重较大,无色透明,粘性不大,毒性较小,应用广泛。

从固体在液态介质中的降落理论得知:固体的降落最初是加速的,以后就转为等速即最后速度。均匀降落之前物体所走过的路程可用下式确定

$$S = \frac{1.8V_0^2 \delta}{(\delta - \Delta)g} \quad (1)$$

V_0 —最后降落速度, δ —固体的比重, Δ —液体的比重, g —重力加速度。物体的最后降落速度决定于它在液体介质中的运动状况,运动状况可用下式表示

$$Re = \frac{Vd\Delta}{\mu} \quad (2)$$

V —降落速度, d —球状颗粒直径, μ —液体粘度。

Re 值小于1时,颗粒为层流运动,其最后降落速度可用斯托克斯公式计算。 Re 大于1000时为湍流运动。 $Re = 1 \sim 1000$ 时,则相当于层流到湍流的过渡运动。不同运动状况下颗粒的最后降落速度,应用不同的公式计算。不同于球形的颗粒,在液体中的降落速度要比球形的慢。若以降落速度减慢的次序排列则为:不规则状、细长的、片状的。

为了全面考虑影响矿物颗粒在三溴甲烷中的降落速度的各种因素,曾进行了一系列试验。

颗粒的降落速度在长95cm、直径3.5cm的玻璃管中测定,后者严格垂直地固定于支架上,其中装有比重 $2.89\text{g}/\text{cm}^3$ 的三溴甲烷。玻璃管狭窄的下端与带夹子的胶管连通,用以排出重液和取出矿物。用秒表记录矿物在

高程为50cm的三溴甲烷柱中的降落时间(精确到0.1秒)。用两条划线在玻璃管上标出这段距离。上面的划线标在三溴甲烷平面以下10cm的地方,以去除颗粒加速降落的一段。

确定颗粒在三溴甲烷中的运动状况 采用不同密度($2.95 \sim 11.3\text{g}/\text{cm}^3$)和不同直径($0.18 \sim 0.8\text{mm}$)的球状颗粒试验。直径用目镜测微尺于镜下测定,比重用比重计并在重液中测定。

在三溴甲烷中实际上测得的颗粒最后降落速度为 $0.25 \sim 20\text{cm}/\text{sec}$ 。所得结果代入(2)式,取三溴甲烷的 $\mu = 0.022\text{g}/\text{cm} \cdot \text{sec}$,得 Re 为 $0.6 \sim 210$ 。因此,在自由降落时,细小颗粒在三溴甲烷中的运动状况相当于层流到湍流的过渡运动。

确定颗粒最后降落速度与其大小和比重的关系 测定过渡运动状况下物体在液体中的最后降落速度,有一个最方便的公式

$$V_0 = 25.8d^3 \sqrt{\frac{(\delta - \Delta)^2}{\Delta\mu}} \quad (3)$$

为检验(3)式的可信程度,利用大小为 $0.18 \sim 0.8\text{mm}$ 的共约200个球状颗粒试验,其中有铅(比重 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$)、铅与锡合金(9.5)、铜(8.5)、锡(7.3)、铁铝榴石(3.8~4.2)、十字石(3.5~3.7)、绿帘石(3.3~3.45)、电气石(2.95~3.12)。每粒都测了比重和直径。

为消除偶然误差,每粒的降落速度都测三次。用最小平方法对所得结果进行处理,结果表明最后降落速度与比重相同的颗粒的直径成正比。速度与直径间的密切的线性相关系数(一般大于0.95)也证明了这一点。试验结果接近相当于下式

$$V_0 = (51.8d + 0.26)^3 \sqrt{(\delta - 2.89)^2} \quad (4)$$

具体到三溴甲烷($\Delta = 2.89\text{g}/\text{cm}^3$, $\mu = 0.022\text{g}/\text{cm} \cdot \text{sec}$), (4)式与(3)式并无原

则性差别,而仅仅是系数的数值不同。

由(4)式球状颗粒的比重可用下式表示

$$\delta = \sqrt{\left(\frac{V_0}{51.8d + 0.26}\right)^3 + 2.89} \quad (5)$$

确定均匀降落开始之前颗粒经过的距离在以加速降落的情况下颗粒经过的最大距离,可由(1)式计算,式中 V_0 的最大值约20cm/sec(在此情况下颗粒降落50cm的时间为2.5秒), δ 最大值为23g/cm³。即是在这样的极端试验条件下,加速运动的颗粒所走过的路程也多半小于1cm,所以是很小的。

颗粒的形状对其降落速度的影响式(5)只适用于测定球状颗粒的比重。因此,对任何其他形状的颗粒必须首先求出与其等量的球的大小。这个大小称为当量直径,用 $d_{\text{当}}$ 表示,它相当于球状颗粒的直径,其体积等于不规则颗粒的体积。颗粒很小、不等轴程度不高时

$$d_{\text{当}} \approx d_{\text{平}} = \frac{A+B+C}{3} \quad (6)$$

A、B、C分别为颗粒的最大、平均和最小直径。

另外,式(5)中还必须引进一个专用系数,其作用是把不规则形状的降落速度转化为与其当量的球的降落速度。这时,式(5)可写成下列最普通的形式

$$\delta = \sqrt{\left(\frac{KV_0}{51.8d_{\text{当}} + 0.26}\right)^3 + 2.89} \quad (7)$$

K—考虑到颗粒形状的系数(球状颗粒 $K=1$)。K值的变化可通过试验确定。作者选择六颗铅与锡合金的球状颗粒测定降落速度。其中一颗人工稍微压扁,并测其降落速度。然后进一步压扁,以此类推。用此法所得到的颗粒的形状,可用扁平系数表征

$$K'_a = \frac{A+B}{2C} - 1 \quad (8)$$

球状与扁平颗粒降落速度之比即为K值。扁平颗粒的K值变化区间为0到3.4。

第二颗合金颗粒采用与上述相同的方法处置,但得到的不是滚圆的而是锐角的薄片。

有一对球状颗粒逐次做成长条状,其形状可用伸长系数表示

$$K'_g = \frac{2A}{B+C} - 1 \quad (9)$$

测定了 K'_g 为0~3.2的长条状颗粒的降落速度。

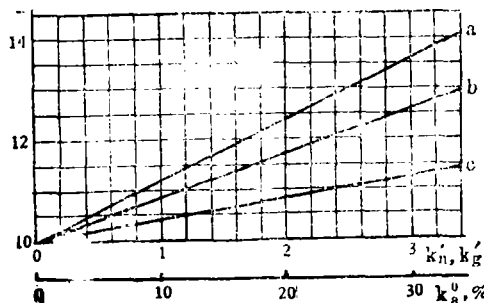
另一对合金粒做成了滚圆形和长方形等各和不规则形状,这些形状可用不对称系数表征

$$K'_s = \frac{A-C}{A+B+C} \cdot 100\% \quad (10)$$

所得 K'_s 值变化在3~35%。

对浑圆(滚圆)颗粒试验结果进行了处理,并编制了图表(见图)。锐角(未滚磨)颗粒的降落速度比浑圆状的平均小15%,因此,计算其比重时必须在(7)式中引进一个系数

$$K' = 1.15K \quad (11)$$



系数K值依赖于浑圆(滚圆)颗粒的扁平度(a)、伸长度(b)和不等轴性(c)等系数值的变化关系

当量直径的计算式(6)适用于 K'_s 为0~13%的不规则浑圆(滚圆)颗粒,以及 K'_a 和 K'_g 为1~0.5的扁平状及长条状颗粒。当颗粒的不对称性程度高时,其当量直径比平均值要小。

对于浑圆(滚圆)颗粒,得出以下计算当量直径的经验公式

扁平状($K'_a > 0.5$)

$$d_{\text{当·扁}} = \frac{d_{\text{平}}}{\sqrt{0.15K'_a + 0.97}} \quad (12)$$

长条状 ($K'_g > 0.5$)

$$d_{\text{当,长}} = \frac{d_{\text{平}}}{\sqrt{0.21K'_g + 0.92}} \quad (13)$$

不规则状 ($K'_g > 13\%$)

$$d_{\text{当,不}} = \frac{d_{\text{平}}}{0.0055K'_g + 0.93} \quad (14)$$

对于任一形状的锐角碎片,其当量直径由于存在凹面、坑穴和突起等而比平均值小得多。笔者采用10个标准矿物碎片所做的试验就证明了此点;已知矿物的比重为 $3.02 \sim 4.16 \text{ g/cm}^3$,大小为 $0.3 \sim 0.8 \text{ mm}$ 。 $d_{\text{当}}$ 值借助于系数 K' (11)用(7)式计算。碎片的当量直径($d_{\text{当,锐}}$)平均为按(12)~(14)式计算的数值的79%,即

根据在三溴甲烷中的降落速度测定颗粒比重的精度

标 准	$\delta (\text{g/cm}^3)$	$d_{\text{平}} (\text{mm})$	误 差 (σ)		试 验 次 数
			总 的	技术与偶然的	
电 气 石	2.96~3.05	0.18~0.6	0.01	0.007	19
十 字 石	3.6~3.65	0.25~0.5	0.02	0.01	36
菱 铁 石	3.8	0.5	0.03	0.014	8
铁铝榴石	3.95~4.1	0.25~0.5	0.04	0.025	19
铬 铁 矿	4.58	0.33	0.05	0.03	10
锡	7.3	0.4~0.76	0.15	0.08	10
合 金	9.5	0.3~0.7	0.18	0.10	11
铅	11.3	0.25~0.8	0.20	0.13	15

综上所述,在三溴甲烷中测定细小颗粒($0.18 \sim 0.8 \text{ mm}$)比重的方法是:

1.用目镜测微尺于双筒镜下测定颗粒的三个直径(A、B、C)。

2.将颗粒放入装有三溴甲烷的玻璃管中,用秒表记录其降落50cm距离的时间。标出该段距离的上部划线,其位置在三溴甲烷水平面以下5~10cm。为更清楚地观察颗粒的降落,最好能加上有色屏和旁测照明。建议多测几次并取平均值。

3.颗粒的比重按(7)式计算。事先据(8)、(9)或(10)式选定表征颗粒形状的一个系数(K'_g 、 K'_g 或 K'_g)并根据所

$$d_{\text{当,锐}} = 0.79d_{\text{当,扁,长,不}} \quad (15)$$

方法的精度 按式(7)得出的不同形状的标准矿物颗粒比重值,曾与其真实值作了对比。对比重相同或接近的颗粒,曾计算了均方差 σ ,作为该方法的总误差。总误差是由下列几种误差构成的:由于颗粒的大小、比重、形状不同因而与式(7)的不同精度有关的误差;试验的技术误差;偶然误差。

技术误差和偶然误差通过多次(8~10次)测定同一颗粒的比重来确定,同时计算出均方差(见表)。如果多测几次颗粒的降落速度并去掉那些与最佳条件有偏差的试验,上述误差是可以消除的。

测定颗粒比重的误差是随其绝对值的增大和不等轴性程度的增高而减少,特别是锐角颗粒最为明显。

绘的图表(见图)确定系数 K 。系数 K' (11)适用于锐角(未滚磨的)颗粒。根据形状和滚磨程度按式(6)、(12)~(15)测定颗粒的当量直径。

上述方法可用于矿物鉴定、矿物比重的统计研究,以及比重较大的工业矿物(自然金属、铌钽矿物、独居石、锡石、白钨矿、黑钨矿等)的研究等方面。

鲁宁译自:《Записки Всесоюзного Минералогического общества》, Вып.3, 1976, С.392~396

作者: Б.М.Осоветцкий