粒径的准确含义是：“被测颗粒就沉降速度而言，相当于某一球体的大小”。通常把这种粒径称为斯托克斯直径，也可称为等效沉降速度粒径。类似地，激光粒度仪给出的粒径可称为等效散射光粒径；库尔特计数器给出的粒径可称为等效电阻粒径等等。总之，现有的所有的粒度测量手段给出的粒径都是等效粒径。因此除了球形颗粒以外，测试结果同仪器原理有关，或者说同“等效”所参照的物理参数或物理行为有关。仪器原理不同，一般来说测试结果是不同的。只有当颗粒是球形时，不同原理仪器的结果才可能相同。

根据现实的各种粒度测量仪器的工作原理，不妨将“粒径”定义如下：

当被测颗粒的某种物理特性或物理行为与某一直径的同质球体(或其组合)最相近时，就把该球体的直径(或其组合)作为被测颗粒的等效粒径(或粒度分布)。 •

该定义包含如下几层含意：

(1) 粒度测量实质上是通过把被测颗粒和同一种材料构成的圆球相比较而得出的；

(2) 不同原理的仪器选不同的物理特性或物理行为作为比较的参考量，例如：沉降仪选用沉降速度，激光粒度仪选用散射光能分布，筛分法选用颗粒能否通过筛孔等等；

(3) 将待测颗粒的某种物理特性或物理行为与同质球体作比较时，有时能找到一个（或一组)在该特性上完全相同的球体(如库尔特计数器，详见§6.2)，有时则只能找到最相近的球体（如激光粒度仪，详见§5)。由于理论上可以把“相同”作为“相近”的特例，所以在定义中用“相近”一词，使定义更有一般性；

(4) 将待测颗粒的某种物理特性或物理行为与同质球体作比较时，有时能找到某一个确定的直径的球与之对应，有时则需一组大小不同的球的组合于之对应，才能最相近（例如激光粒度仪，参考文献3)。

§3 粒度分布及其表述

上一节介绍了粒径的概念。它是一个颗粒大小的量度。而粉体样品是由成万上亿个颗粒组成的，颗粒之间大小互不相同。此时，其大小需要用粒度分布来描述。所谓粒度分布，就是粉体样品中各种大小的颗粒占颗粒总数的比例。

§3.1 粒度分布的表达

为了表达粒度分布，通常从小到大（也可以从大到小)按一定的规则选多个代表粒径 x_0, $x_1, x_2, \cdots\cdots, x_m$,组成相应的粒径区间：

$$[x_0, x_1], [x_1, x_2], [x_2, x_3], \cdots\cdots, [x_{m-1}, x_m],$$

各区间内的颗粒的相对重量：

$$w_1, w_2, w_3, \cdots\cdots, w_m,$$

就组成了粒度的重量分布。在此，

$$\sum_{i=1}^{m} w_i = 1$$

上述用各粒径区间上的颗粒重量表示的粒度分布称为粒度的微分分布或频度分布。在实际应用中，也有用累积值表示粒度分布的，称为累积分布。它表示粒度从无限小到某代表粒径之间的所有颗粒重量占总重量的百分比，用

$$W_1, W_2, W_3, \cdots\cdots, W_m$$

表示，式中，

$$W_i = \sum_{j=1}^{i} w_j ,$$

i=1，2，....m；表示粒径小于x_i的所有颗粒的重量占总重量的百分比。这种累积方式称作从小到大累积。

累积方式也有从大到小进行的，表示所有大于x_i的颗粒的重量占总重量的百分比，用W_i'表示：

$$W_i' = \sum_{j=i+1}^{m} w_j ,$$

显然

$$W_i + W_i' = 1 ,$$

上述以重量为单位表示的粒度分布称为重量分布。通常，样品中的所有颗粒有着相同的真密度，所以重量分布与体积分布一致，故又称体积分布。在没有特别说明时，仪器给出的粒度分布一般指重量或体积分布。

有时也用颗粒个数表示粒度分布，即

$$n_1,\ n_2,\ n_3, \cdots\cdots n_m ,$$

在不考虑归一化问题时，

$$w_i = n_i \bar{x}_i^3 ,$$

i= 1,2,…………,m；其中，

$$\bar{x}_i = \sqrt{x_{i-1}\ x_i} 。$$

通常，代表粒径x_i是按对数等间隔即相邻代表粒径等比例原则选取的，即：

$$x_1 / x_0 = x_2 / x_1 = \cdots\cdots = x_m / x_{m-1}$$

对粒度分布范围较小的情况，例如$x_m / x_0 \le 20$，也可以是简单等间隔的，即：

$$x_1 - x_0 = x_2 - x_1 = \cdots\cdots = x_m - x_{m-1}$$

§3.2 列表法与图示法

粒度分布最常见的表达方式是表格和曲线，分别称为粒度分布表和粒度分布曲线。表3是粒度分布表的例子。在该表中，第1、4、列表示粒径；2、5列表示微分分布；3、6列表示累积分布。阴影线覆盖部分，表示5.81mm(上一行)至6.88mm之间的颗粒重量占总重量的13.25%，小于6.88mm的颗粒占总数的21.09%。粒度分布曲线(图3)与分布表相对应。分布表给出了详尽的定量数据，分布曲线则以形象、直观的方式给出了粒度分布。

表3 “粒度分布表”示例

粒 径 (mm)	微分分布 (%)	累积分布 (%)	粒 径 (mm)	微分分布 (%)	累积分布 (%)
0.20			6.88	13.25	21.09
0.24	0.00	0.00	8.14	14.63	35.72
0.28	0.00	0.00	9.64	11.75	47.47
0.33	0.00	0.00	11.41	8.28	55.75
0.39	0.00	0.00	13.50	9.54	65.29
0.46	0.00	0.00	15.98	12.77	78.06
0.55	0.00	0.00	18.91	9.87	87.94
0.65	0.00	0.00	22.4	7.23	95.17
0.77	0.00	0.00	26.5	4.07	99.24
0.91	0.00	0.00	31.3	0.76	100.00
1.08	0.00	0.00	37.1	0.00	100.00
1.28	0.00	0.00	43.9	0.00	100.00
1.51	0.00	0.00	52.0	0.00	100.00
1.79	0.00	0.00	61.5	0.00	100.00
2.21	0.00	0.00	72.8	0.00	100.00
2.50	0.00	0.00	86.1	0.00	100.00
2.96	0.00	0.00	101.9	0.00	100.00
3.51	0.00	0.00	120.6	0.00	100.00
4.15	0.00	0.00	142.8	0.00	100.00
4.91	1.76	1.76	169.0	0.00	100.00
5.81	6.08	7.84	200.0	0.00	100.00

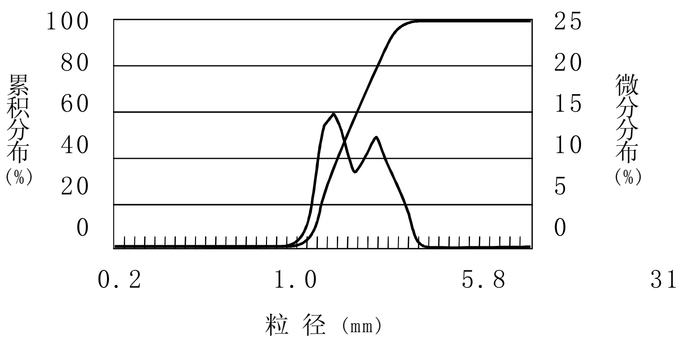

图3 粒度分布曲线示例

§3.3 公式法

从理论上说，粒度分布也可以用解析的数学函数来表示，假定w(x)和W(x)分别表示粒度的微分分布和累积分布，那么，就有

$$W(x)=\int_0^x w(u)\,du \ ,$$

式中　$0 \leqslant w(x) \leqslant 1$,

$W(0) = 0$,

$W(\infty) = 1$,

在大多数情况下，用公式法表示粒度分布只在作理论研究时才用。

在理论分布中，有一个著名的 Rosin-Rammler公式，

$$W(x) = 1 - \exp\left[-(\frac{x}{D_e})^N\right],$$

式中，D_e是与x_{50}(中位径)成正比的常数，N则决定粒度分布的范围 ，N越大 ，粒度分布范围越窄，表示样品中颗粒分布的均匀性越好。Rosin-Rammler公式给出的粒度分布，是单峰的分布。图4是 D_e=30mm，N=3.5时的粒度分布曲线。研究认为，大部分单一材料构成的固体，经机械方法粉碎后，其粒度分布满足该公式。

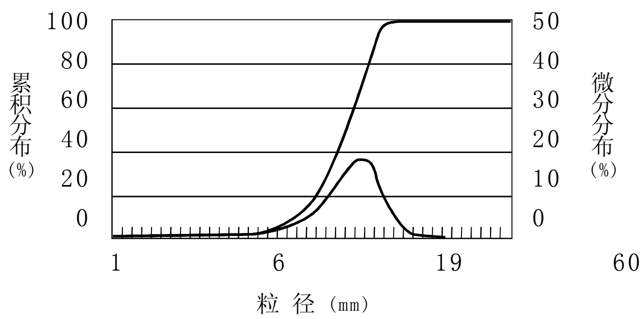

图4　Rosin-Rammler 粒度分布曲线示例

§4　粉体粒度的简约表征 ——特征粒径

粒度分布可以比较完整、详尽地描述一个粉体样品的粒度大小，但是由于它太详尽，数据量较大，因而不能一目了然。在大多数实际应用场合，只要确定了样品的平均粒度和粒度分布范围，样品的粒度情况也就大体确定了。我们把用来描述平均粒度和粒度分布范围的参数叫做特征粒径。

§4.1　平均粒径

平均粒径 x(p，q)的一般定义如下：

$$X(p,q) = (\sum_{i=1}^{m} n_i \bar{x}_i^{\,p}) / (\sum_{i=1}^{m} n_i \bar{x}_i^{\,q})$$

式中，n_1，n_2，……，n_m表示粒度的颗粒个数分布，$\bar{x}_i = \sqrt{x_{i-1}\,x_i}$ ，代表第i粒径区间上颗粒的平均粒径。

(a)体积(重量)平均直径 x(4,3)

当p=4,q=3时，

$$x(p,q) = x(4,3) = (\sum_{i=1}^{m} n_i \bar{x}_i^{\,3} \cdot \bar{x}_i) / (\sum_{i=1}^{m} n_i \bar{x}_i^{\,3})$$

由于$n_i x_i^3$正比于 i 粒径区间上颗粒的总体积 (重量)，所以 x(4,3)表示粒径对体积(重量)的加权平均，称为体积平均粒径或重量平均粒径。

(b)颗粒数平均粒径 x(1,0)

当p=1，q=0时，

200

$$x(p,q) = x(1,0) = (\sum_{i=1}^{m} n_i \bar{x}_i) / (\sum_{i=1}^{m} n_i)$$

表示粒径对颗粒个数的加权平均，称为颗粒数平均粒径。

(c)表面积平均粒径 x(3,2)

当p=3，q=2时，

$$x(p,q) = x(3,2) = (\sum_{i=1}^{m} n_i \bar{x}_i^{\,2} \cdot \bar{x}_i) / (\sum_{i=1}^{m} n_i \bar{x}_i^{\,2})$$

$$= 1/(\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{\bar{x}_i} w_i)$$

由于$n_i \bar{x}_i^2$正比于第i粒径区间上颗粒的表面积，故x(3,2)表示粒径对表面积的平均粒径，称为