



中华人民共和国国家标准

GB/T 16742—2008
代替 GB/T 16742.1—1997

颗粒粒度分布的函数表征 幂函数

Function representation of particle size distribution—
Power-function

2008-07-18 发布

2009-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

本标准代替 GB/T 16742.1—1997《颗粒粒度分布的函数表征 幂函数》。

本标准与 GB/T 16742.1—1997 相比,主要技术内容改变如下:

- 增加了“2 规范性引用文件”;
- 对“3 术语和定义”进行了修改,并增加了两条;
- 按照汉语习惯对部分文字做了编辑性修改。

本标准的附录 A、附录 B 和附录 C 均为资料性附录。

本标准由全国筛网筛分和颗粒分检方法标准化技术委员会(SAC/TC 168)提出并归口。

本标准起草单位:北京市理化分析测试中心。

本标准主要起草人:邹涛、周素红、高原、王啟锋、陈紫。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 16742.1—1997。

颗粒粒度分布的函数表征 幂函数

1 范围

本标准规定了颗粒粒度分布的幂函数表征方法。

本标准适用于表示颗粒系统粒度的累积分布。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 16418 颗粒系统术语

3 术语和定义

GB/T 16418 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

颗粒体积比表面积 **particle volume specific surface area**

颗粒表面积与其体积之比。

3.2

颗粒质量比表面积 **particle mass specific surface area**

颗粒表面积与其质量之比。

3.3

颗粒表面积形状因子 **particle surface area shape factor**

颗粒的表面积与相同体积的等效球体表面积之比。

4 符号

本标准中引用的符号见表 1 规定。

表 1

符 号	说 明	单 位
C	双对数坐标中幂函数直线截距	—
i	下标	—
m	双对数坐标中幂函数直线斜率	—
$Q(x)$	筛下累积分布	—
$R(x)$	筛上累积分布	—
S_m	颗粒质量比表面积	cm^2/g
S_v	颗粒体积比表面积	cm^{-1}
x	颗粒粒度	cm

表 1 (续)

符 号	说 明	单 位
$x_{A,i}$	i 级分下限颗粒直径	cm
$x_{B,i}$	i 级分上限颗粒直径	cm
x_{max}	最大颗粒等效直径	cm
ϕ	颗粒表面积形状因子	—
ρ_s	颗粒密度	g/cm^3

5 颗粒粒度分布的函数表征

各种颗粒系统具有不同的粒度分布,因此用于表征粒度分布的函数种类很多。幂函数是最常见的粒度分布函数之一。用幂函数表征颗粒粒度分布对多数颗粒系统的中间粒度区间较适用,而在粒度分布的两端存在一定的误差。

5.1 幂函数

幂函数定义为:

在粒度范围为: $0 \leq x \leq x_{max}$

筛下累积分布:

$$Q(x) = 1 - R(x) = \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^m \dots\dots\dots(1)$$

式(1)方程两边取对数,可得:

$$\lg Q(x) = m \lg x + C \dots\dots\dots(2)$$

式中: $C = -m \lg x_{max}$

因此在 $Q(x)$ 为纵坐标, x 为横坐标的双对数图上二者呈线性,其直线斜率为 m ,截距为 $-m \lg x_{max}$ 。

所以 m 和 x_{max} 可以作为颗粒粒度分布幂函数的两个特征参数。在某些情况下,颗粒系统在各个粒度分布区间具有不同的 m 值,在双对数图上为若干条斜率不同的直线组成的折线。

当 $\frac{x}{x_{max}} \ll 1$ 时,颗粒粒度分布也可用 R-R 分布表示,即可同时采用幂函数或 R-R 分布进行函数表征。

5.2 颗粒系统比表面积

颗粒表面积也是颗粒的重要基本特征,它可用于表征颗粒系统的反应活性。

颗粒体积比表面积与颗粒质量比表面积之间的关系为:

$$S_m = S_v / \rho_s \dots\dots\dots(3)$$

式中:

S_m ——颗粒质量比表面积;

S_v ——颗粒体积比表面积;

ρ_s ——颗粒密度。

单颗粒比表面积与颗粒粒度和颗粒形状有关,颗粒粒度小则比表面积大,无孔颗粒的体积比表面积为:

$$S_v = \frac{6\phi}{x} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

x ——颗粒粒度;

ϕ ——颗粒表面积形状因子;颗粒为球体时 $\phi=1$,颗粒为非球体时 $\phi>1$ 。

颗粒系统大多由许多大小不等的颗粒组成,其比表面积还与粒度分布有关。

颗粒系统比表面积可通过实验测得,常用的有 BET 法。也可由其粒度分布计算求得,当其粒度分

布可用函数表征时可得到解析解,参见附录 A。

式(4)为单粒度颗粒的比表面积,而存在粒度分布的颗粒系统比表面积可积分求得:

$$S_v(x_A, x_B) = \frac{6\phi}{Q(x_B) - Q(x_A)} \int_{Q(x_A)}^{Q(x_B)} \frac{dQ(x)}{x} \dots\dots\dots(5)$$

当 $Q(x)$ 与 x 关系可用式(1)表征时,式(5)可表示为:

$$S_v(x_A, x_B) = \frac{6\phi m}{[Q(x_B) - Q(x_A)] x_{\max}^m} \int_{x_A}^{x_B} x^{m-2} dx \dots\dots\dots(6)$$

5.2.1 全粒度分布区间 m 为定值

当 $m \neq 1$ 时,可由式(6)积分求得任意粒度区间的体积比表面积:

$$S_v(x_A, x_B) = \frac{6\phi m}{(m-1)x_B [Q(x_B) - Q(x_A)]} \left[1 - \left(\frac{x_A}{x_B} \right)^{m-1} \right] \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- x_A ——粒度区间粒径下限;
- x_B ——粒度区间粒径上限;

$S_v(x_A, x_B)$ —— x_A 至 x_B 粒度区间内体积比表面积。

若要求得整个颗粒系统的体积比表面积,只需取 $Q(x_A)=0, Q(x_B)=1$ 。

由式(1)可得: $x_A=0, x_B=x_{\max}$

将上述数据代入式(7)可得:

$$S_v = \frac{6\phi m}{(m-1)x_{\max}} \dots\dots\dots(8)$$

S_v 为整个颗粒系统体积比表面积,参见附录 B。

当 $m=1$ 时,式(6)积分可得 x_A 至 x_B 粒度区间颗粒的体积比表面积:

$$S_v(x_A, x_B) = \frac{6\phi Q(x_B)}{[Q(x_B) - Q(x_A)] x_B} \ln \frac{x_B}{x_A} \dots\dots\dots(9)$$

5.2.2 在各个粒度区间具有不同 m 值

某些颗粒系统在不同粒度区间 m 值不同,可由式(7)先求得每个区间的比表面积,再经加权求得全粒度分布区间的颗粒系统体积比表面积,参见附录 C,当 $m \neq 1$ 时

$$S_v(x_{A,i}, x_{B,i}) = \frac{6\phi}{Q(x_{B,n}) - Q(x_{A,l})} \sum_i \frac{m_i}{m_i - 1} \times \frac{Q(x_{B,i})}{x_{B,i}} \times \left[1 - \left(\frac{x_{A,i}}{x_{B,i}} \right)^{m_i-1} \right] \dots\dots\dots(10)$$

5.2.3 平方根分布

在式(1)所示的幂函数分布中,当 $m = \frac{1}{2}$ 时为:

$$Q(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(11)$$

式(11)称为平方根分布。

同样将式(11)方程两边取对数,可得:

$$\lg Q(x) = \frac{1}{2} \lg x + \lg \frac{1}{\sqrt{x_{\max}}} \dots\dots\dots(12)$$

在 $Q(x)$ 为纵坐标, x 为横坐标的双对数图上为一直线,直线斜率为 $\frac{1}{2}$,截距为 $\lg \frac{1}{\sqrt{x_{\max}}}$ 。

将 $m = \frac{1}{2}$ 代入式(7),可求得 x_A 至 x_B 粒度分布区间体积比表面积为:

$$S_v(x_A, x_B) = \frac{6\phi Q(x_B)}{x_B [Q(x_B) - Q(x_A)]} \left[\sqrt{\frac{x_B}{x_A}} - 1 \right] \dots\dots\dots(13)$$

附录 A
(资料性附录)

由颗粒粒度分析结果求比表面积

表 A.1 为颗粒系统的筛分数据,并测得该系统颗粒表面积形状因子为 1.4,密度为 2.6 g/cm³,求该颗粒系统体积比表面积和质量比表面积。

表 A.1

i	x_i/mm	$\Delta Q_i/\%$	$Q(x_i)/\%$
0	0.063		0.00
1	0.090	0.10	0.10
2	0.125	0.09	0.19
3	0.180	0.16	0.35
4	0.250	0.25	0.60
5	0.355	0.50	1.10
6	0.500	1.10	2.20
7	0.710	1.80	4.00
8	1.000	3.70	7.70
9	1.400	6.10	13.80
10	2.000	10.20	24.00
11	2.800	16.00	40.00
12	4.000	21.00	61.00
13	5.600	24.00	85.00
14	8.000	15.00	100.00

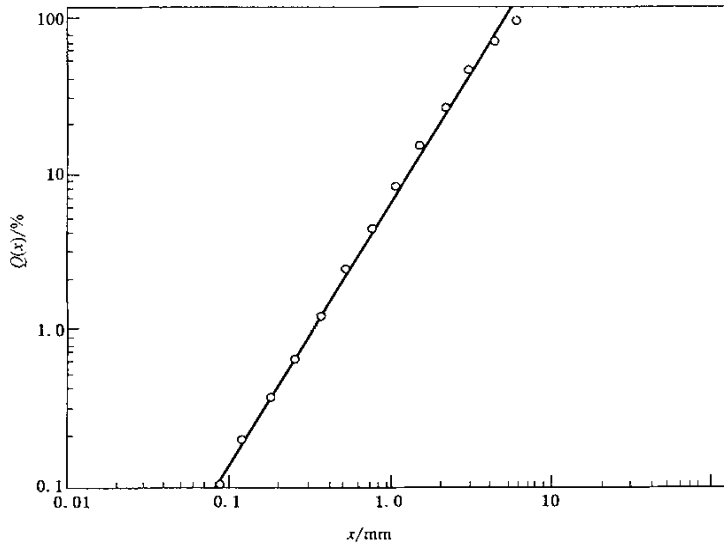


图 A.1 筛下累积分布

将表 A.1 的数据点在 $Q(x)$ 为纵坐标, x 为横坐标的双对数图上作图,得到图 A.1。从图上可以看到,该颗粒系统在双对数坐标图上 $Q(x)$ 和 x 接近线性关系,可由幂函数分布表征。将表 A.1 的数据通过最小二乘法进行对数线性回归,可以得到直线方程为:

$$\lg Q(x) = 1.619 \lg x - 1.214 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

相关系数: $r=0.995$

由式(A.1)可求得: $m=1.619, x_{\max}=4.930$

因此该颗粒系统粒度分布函数为:

$$Q(x) = \left(\frac{x}{4.930} \right)^{1.619} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

从图中还可以看出,实验结果与拟合直线除了在颗粒粒度较大端存在较大偏差外,其他粒度区间均较接近。

将 $x_A=0, x_B=4.930$ 代入式(8)求得颗粒系统在全粒度分布区间的体积比表面积为:

$$S_v = \frac{6 \times 1.4 \times 1.619}{(1.619 - 1) \times 4.930} = 4.456 \text{ mm}^{-1} = 44.56 \text{ cm}^{-1}$$

质量比表面积为:

$$S_m = \frac{S_v}{\rho_s} = 17.14 \text{ cm}^2/\text{g}$$

附录 B
(资料性附录)

m 为定值的颗粒系统的比表面积计算

某颗粒系统粒度分布可用幂函数 $Q(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}}\right)^m$ 表征, 特征参数 $x_{\max} = 8 \text{ mm}$, $m = 3.34$ 。颗粒密度 $\rho_s = 2.60 \text{ g/cm}^3$, 颗粒表面积形状因子 $\phi = 1.4$, 求粒度为 $1.00 \text{ mm} \sim 3.00 \text{ mm}$, $5.00 \text{ mm} \sim 7.00 \text{ mm}$ 和全粒度区间的体积比表面积和质量比表面积。

表 B.1 中第 4 列 $Q(x_{A,i})$ 和第 5 列 $Q(x_{B,i})$ 由式(1)求得。第 6 列 $S_{v,i}$ 由式(7)求得。第 7 列 $S_{m,i}$ 由式(3)求得。

表 B.1

i	$x_{A,i}/\text{mm}$	$x_{B,i}/\text{mm}$	$Q(x_{A,i})$	$Q(x_{B,i})$	$S_{v,i}/\text{cm}^{-1}$	$S_{m,i}/(\text{cm}^2/\text{g})$
1	1.00	3.00	0.000 963	0.037 8	37.9	14.6
2	5.00	7.00	0.208	10.640	13.8	5.31
3	0.00	8.00	0.00	1.00	15.0	5.77

附 录 C
(资料性附录)

各粒度区间 m 值不同的颗粒系统的比表面积计算

某颗粒系统在三个粒度区间的 m 值如表 C.1 所示。

表 C.1

i	$x_{A,i}/\mu\text{m}$	$x_{B,i}/\mu\text{m}$	$Q(x_{A,i})$	$Q(x_{B,i})$	m_i
1	0	49.5	0	0.022 5	3.7
2	49.5	430	0.022 5	0.66	1.56
3	430	1 100	0.66	1.00	0.442

该颗粒系统颗粒表面积形状因子 $\phi=1.4$, 颗粒密度 $\rho_s=2.6 \text{ g/cm}^3$, 求每个粒度区间内和整个系统的体积比表面积和质量比表面积。

将上述已知数据代入式(7)可以求得各粒度区间的体积比表面积。全粒度比表面积可由式(10)求得,再由式(3)求得质量比表面积。结果列于表 C.2。

表 C.2

i	粒度区间/ μm	$S_{v,i}/\text{cm}^{-1}$	$S_{m,i}/(\text{cm}^2/\text{g})$
1	0~49.5	2 330	896
2	49.5~430	396	152
3	430~1 100	123	47.3
4	0~1 100	346	133