中华人民共和国国家标准

颗粒粒度分析结果的图形表征

GB/T 15445—1995

Graphical representation of results of particle size analysis

本标准参照采用国际标准 ISO 9276-1:1990《颗粒粒度分析结果的表征——第 1 部分:图形表征》。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了颗粒粒度分析结果的图形表征方法。

本标准适用于任何粒度范围的固体颗粒、液滴或气泡的累积分布与密度分布的图形表征。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 颗粒粒度 particle size

颗粒物料的大小与粗细程度,一般用当量直径表示。

2.1.2 当量直径 equivalent diameter

在某方面与颗粒具有相同几何或物理性质的球体直径。

2.1.3 当量投影面积直径 equivalent projected area diameter

与颗粒投影面积相等的圆直径。

2.1.4 当量表面积直径 equivalent surface diameter

与颗粒表面积相等的球体直径。

2.1.5 当量体积直径 equivalent volume diameter

与颗粒体积相等的球体直径。

2.1.6 当量斯托克斯直径 equivalent stokes' diameter

层流时在相同流体里与颗粒自由沉降速度相等的同质球体直径。

2.1.7 筛分直径 sieve diameter

颗粒通过的最小筛孔尺寸。

2.1.8 费里特直径 Feret's diameter

与颗粒投影轮廓二边相切的平行线之间的距离。

2.1.9 马丁直径 Martin's diameter

将颗粒投影轮廓分为二个面积相等部分的弦长。

2.1.10 粒度分布 particle size distribution

不同粒度级的颗粒在物料中所占的百分比。

2.1.11 累积分布(累积百分数) cumulative distribution

小于某一粒度的颗粒在物料中的百分比。

2.1.12 密度分布 density distribution

一个级分的相对累积百分数与该级分粒度区间之比。

国家技术监督局 1995-01-10 批准　　1995-10-01 实施

2.1.13 数量分布 number distribution

以颗粒个数为基准的粒度分布。

2.1.14 长度分布 length distribution

以颗粒长度为基准的粒度分布。

2.1.15 面积分布 surface or projected area distribution

以颗粒表面积或投影面积为基准的粒度分布。

2.1.16 体积分布 volume distribution

以颗粒体积为基准的粒度分布。

2.1.17 质量分布 mass distribution

以颗粒质量为基准的粒度分布。

2.2 符号

本标准所用符号列于表1。

表1

符 号	说 明	单 位
i	下标	—
k	几何级数比	—
n	级分数	—
$q_0(X)$	数量密度分布	m^{-1}
$q_1(X)$	长度密度分布	m^{-1}
$q_2(X)$	表面积或投影面积密度分布	m^{-1}
$q_3(X)$	体积或质量密度分布	m^{-1}
$q_r(X)$	密度分布的一般表示符号	m^{-1}
$\overline{q}_r$	一个级分的平均密度	m^{-1}
$\overline{q}_r^*$	用半对数坐标表示平均密度分布	—
$Q_0(X)$	数量累积分布	—
$Q_1(X)$	长度累积分布	—
$Q_2(X)$	面积累积分布	—
$Q_3(X)$	体积或质量累积分布	—
$Q_r(X)$	累积分布的一般表示符号	—
ΔQ_r	二个累积百分数之差，相对累积百分数	—
X	颗粒粒度	m
$\overline{X}$	平均粒度	m
ΔX	一个级分的粒度区间	m
X_A	筛分直径	m
X_F	费里特直径	m
X_M	马丁直径	m
X_p	当量投影面积直径	m
X_S	当量表面积直径	m
X_V	当量体积直径	m
X_{st}	当量斯托克斯直径	m
v	整数	—

3 粒度分布的形式与种类

3.1 粒度分布的形式

粒度分布的形式有两种：

累积分布　　Q

密度分布　　q

3.2 粒度分布的种类

粒度分布的主要种类有四种，用下标 r 的不同取值表示：

数量分布　　$r=0$

长度分布　　$r=1$

面积分布　　$r=2$

体积分布或质量分布　　$r=3$

各种密度分布与累积分布列于表 2。

表 2

分布的种类 \ 分布的形式	密度分布 $q_r(X)$	累积分布 $Q_r(X)$
数量分布	$q_0(X)$	$Q_0(X)$
长度分布	$q_1(X)$	$Q_1(X)$
面积分布	$q_2(X)$	$Q_2(X)$
体积或质量分布	$q_3(X)$	$Q_3(X)$

4 粒度分布的图形表征

在粒度分布的图形表征中，横坐标表示颗粒粒度 X，纵坐标表示粒度分布 $Q_r(X)$或 $q_r(X)$。

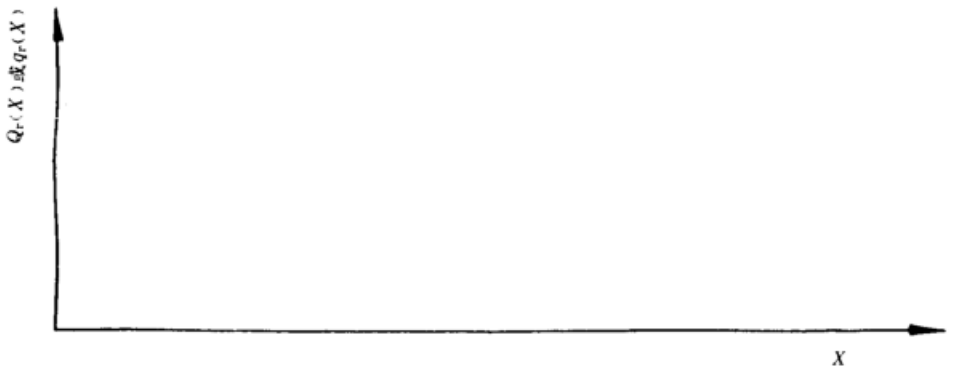


图 1　用于表征粒度分布数据的坐标系

粒度分布的图形表征有三种基本形式：直方图、累积分布曲线和密度分布曲线(图 2～图 4)。

4.1 直方图 $\bar{q}_r(X_i,X_{i+1})$

图 2 为密度分布 $q_r(X)$的标准直方图。它是一系列矩形柱组成，其中每个矩形的面积表示相对累积百分数 $\Delta Q_r(X_i,X_{i+1})$。

$$\Delta Q_r(X_i,X_{i+1})=\bar{q}_r(X_i,X_{i+1})\Delta X \qquad \cdots\cdots(1)$$

或

$$\bar{q}_r(X_i,X_{i+1})=\Delta Q_r(X_i,X_{i+1})/\Delta X \qquad \cdots\cdots(2)$$

对所有的 ΔQ_r 求和，便得到在直方图下的面积，归一化至 100%或 1(归一化条件)。

$$\sum_{i=0}^{n}\Delta Q_r(X_i,X_{i+1})=\sum_{i=0}^{n}\bar{q}_r(X_i,X_{i+1})\Delta X=100\%=1 \qquad \cdots\cdots(3)$$

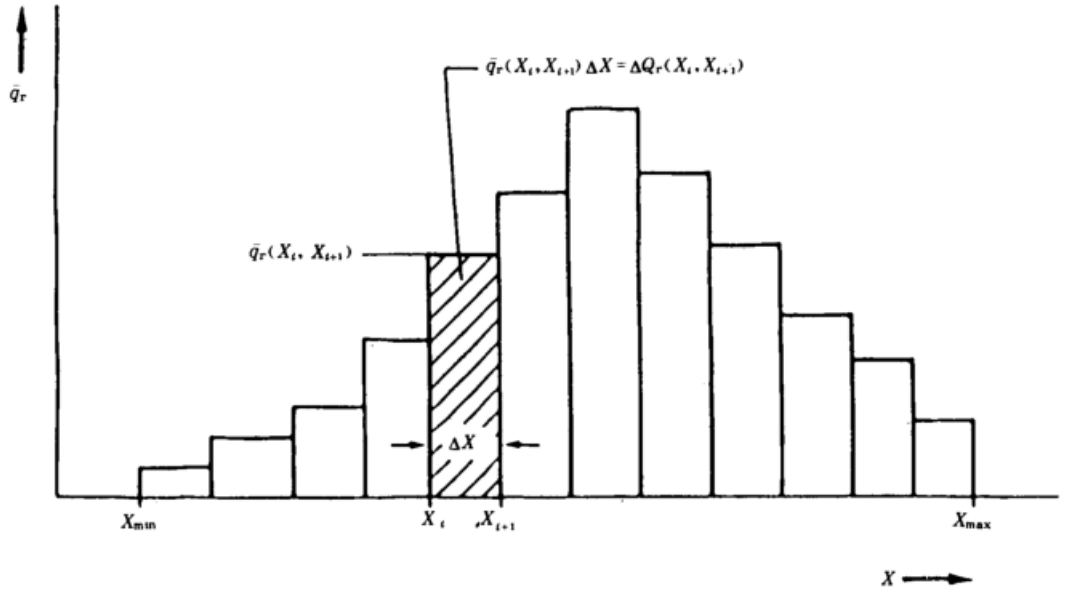


图 2　密度分布的直方图 $q_r(X_i,X_{i+1})$

4.2　累积分布曲线 $Q_r(X)$

图 3 为典型的归一化累积分布曲线。每个分隔点 $Q_r(X)$对应于小于某一当量直径的颗粒的累积百分数。归一化的累积分布在 0～1 之间取值。

$$Q_{rv}=\sum_{i=0}^{v}\Delta Q_{ri}=\sum_{i=0}^{v}\bar{q}_r(X_i,X_{i+1})\Delta X_i \qquad \cdots\cdots(4)$$

其中 $0\leqslant i\leqslant v\leqslant n$

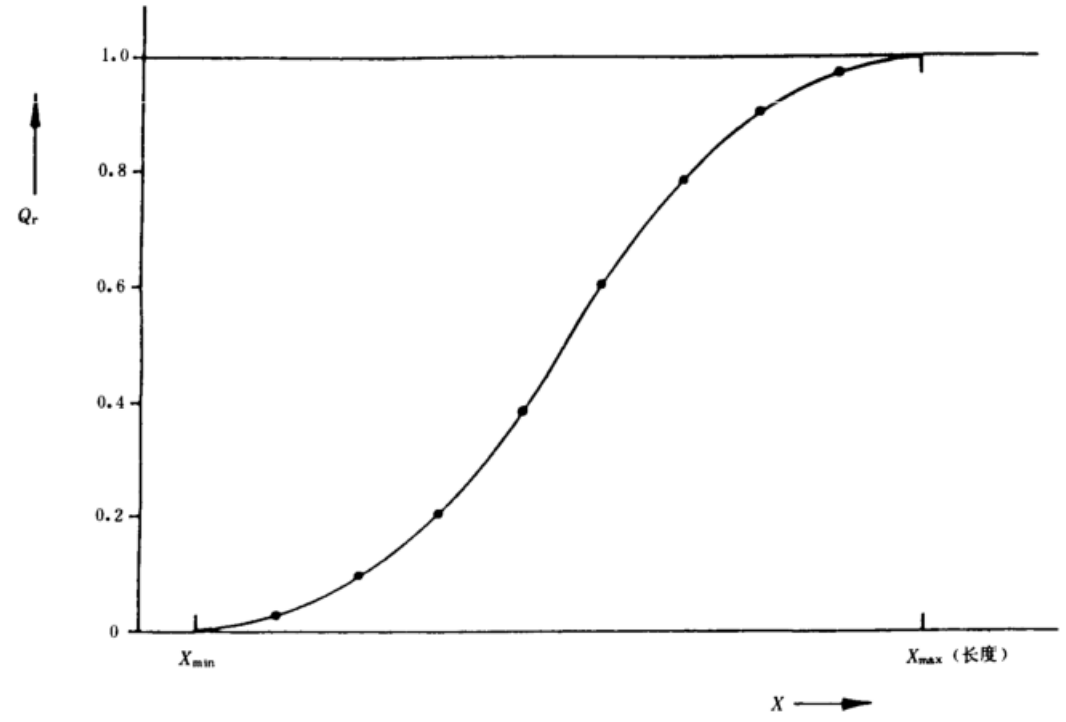


图 3　累积分布曲线

4.3 密度分布曲线 $q_r(X)$

根据假设，累积分布 $Q_r(X)$可微，因此可以获得连续密度分布 $q_r(X)$：

$$q_r(X) = \mathrm{d}Q_r(X)/\mathrm{d}X \qquad \cdots\cdots(5)$$

$q_r(X)$对粒度作图的曲线如图 4 所示。

由密度分布积分也可求得累积分布：

$$Q_r(X) = \int_{X_{min}}^{X} q_r(X)\mathrm{d}X \qquad \cdots\cdots(6)$$

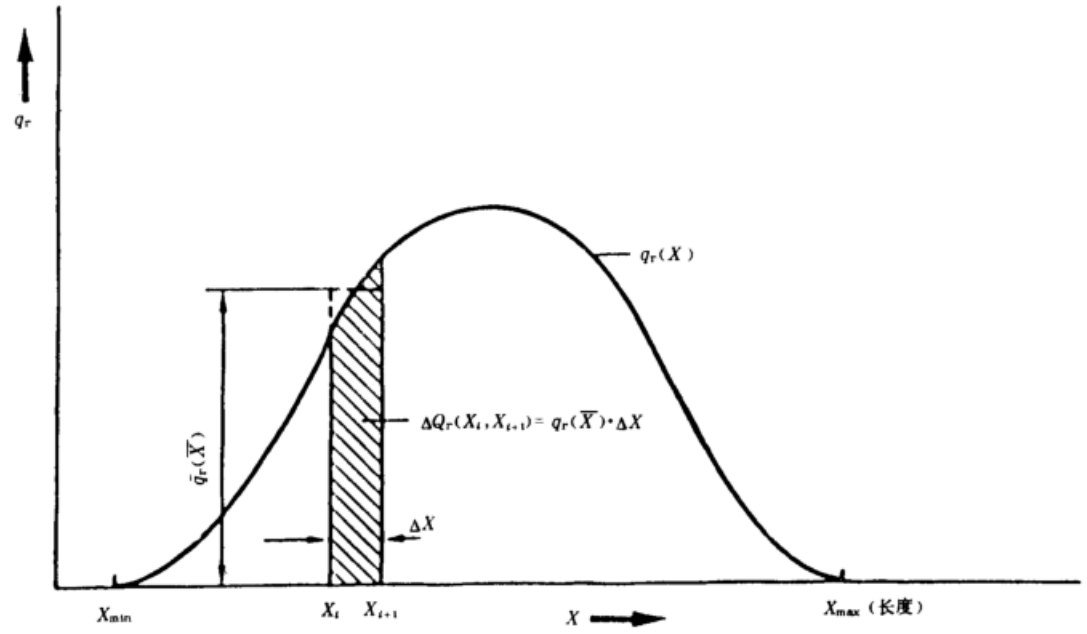


图 4 密度分布曲线

5 坐标纸

5.1 线性坐标纸

线性坐标只适用于窄分布的颗粒体系。应用线性坐标纸表征粒度分布的方法见附录 A(参考件)。

5.2 半对数坐标纸

半对数坐标适用于宽分布颗粒体系(一般粒度区间大于 2 个数量级)。在半对数坐标纸上表征粒度分布的方法见附录 A(参考件)。

5.2.1 半对数坐标纸上的累积分布曲线

由于累积分布 $Q_r(X)$是纵坐标，在具有对数横坐标的坐标纸上作图，$Q_r(X)$的值保持不变。

$$Q_r(X) = Q_r(\ln X) \qquad \cdots\cdots(7)$$

5.2.2 半对数坐标纸上的密度分布曲线

以直方图为例，密度分布 $\bar{q}_r^*(\ln X_i, \ln X_{i+1})$的值按方程(8)计算：

$$\bar{q}_r^*(\ln X_i, \ln X_{i+1}) = \bar{q}_r(X_i, X_{i+1}) \cdot \frac{(X_{i+1} - X_i)}{\ln(X_{i+1}/X_i)} \qquad \cdots\cdots(8)$$

如果 $X_{i+1}=k\cdot X_i$，将得到：

$$\bar{q}_r^*(\ln X_i,\ln X_{i+1})=X_i\bar{q}_r(X_i,X_{i+1})\cdot\frac{(k-1)}{\ln k} \qquad \cdots\cdots(9)$$

根据筛分等粒度分析方法中采用的优先数系，取 $k=\sqrt{2}$，$(k-1)/\ln k=1.19$

$$q_r^*\{\ln X_i,\ln(kX_i)\}=1.19X_i\bar{q}_r(X_i,kX_i) \qquad \cdots\cdots(10)$$

附 录 A
颗粒粒度分析结果图形表征的应用实例
（参考件）

A1 筛分实验数据和分析

颗粒粒度筛分实验数据和分析结果用图形表示见表 A1 和图 A1、图 A2。

A2 说明

A2.1 表 A1 中第 2 列表示筛分选用筛孔基本尺寸，符合 GB 6005《试验筛 金属丝编织网、穿孔板和电成型薄板筛孔的基本尺寸》。

A2.2 表 A1 中第 3 列表示二相邻试验筛中颗粒残留量，其数量由实验实际称量决定。

A2.3 表 A1 中第 4 列为粒度区间 ΔX_i，由下式计算：

$$\Delta X_i = X_{i+1} - X_i \qquad \cdots\cdots(A1)$$

A2.4 直方图表示

表 A1 中第 5 列直方图纵坐标 $\bar{q}_3$ 由下式计算：

$$\bar{q}_3(X_i, X_{i+1}) = \Delta Q_3(X_i, X_{i+1})/\Delta X_i \qquad \cdots\cdots(A2)$$

其粒度分布图如图 A1 所示。

A2.5 质量累积分布

表 A1 中第 6 列 Q_3 按方程(4)计算。其粒度分布图如图 A1 所示。

A2.6 半对数坐标系中粒度分布。

表 A1 中第 7 列 $\bar{q}_3^*$ 按方程(8)计算，其粒度直方图和累积质量分布图如图 A2 所示。

表 A1 由筛分数据计算直方图和累积分布

1	2	3	4	5	6	7
i	X_i mm	ΔQ_{3i} %	ΔX_i mm	$\bar{q}_{3i}=\Delta Q_{3i}/\Delta X_i$ %/mm	$Q_{3i}(X_i)$ %	$\bar{q}_{3i}^*$
0	0.063				0.00	
		0.10	0.028	3.64		0.252
1	0.090				0.10	
		0.09	0.035	2.57		0.254
2	0.125				0.19	
		0.16	0.055	2.91		0.400
3	0.180				0.35	
		0.25	0.070	3.57		0.707
4	0.250				0.60	
		0.50	0.105	4.76		1.309
5	0.355				1.10	
		1.10	0.145	7.59		2.960
6	0.500				2.20	
		1.80	0.210	8.57		4.710
7	0.710				4.00	
		3.70	0.290	12.76		9.810
8	1.000				7.70	
		6.10	0.400	15.25		16.780
9	1.400				13.80	
		10.20	0.600	17.00		26.180
10	2.000				24.00	
		16.00	0.800	20.00		44.000
11	2.800				40.00	
		21.00	1.200	17.50		53.900
12	4.000				61.00	
		24.00	1.600	15.00		66.000
13	5.600				85.00	
		12.50	2.400	5.21		32.100
14	8.000				97.50	
		2.40	3.200	0.75		6.600
15	11.200				99.90	
		0.10	4.800	0.02		0.246
16	16.000				100.00	

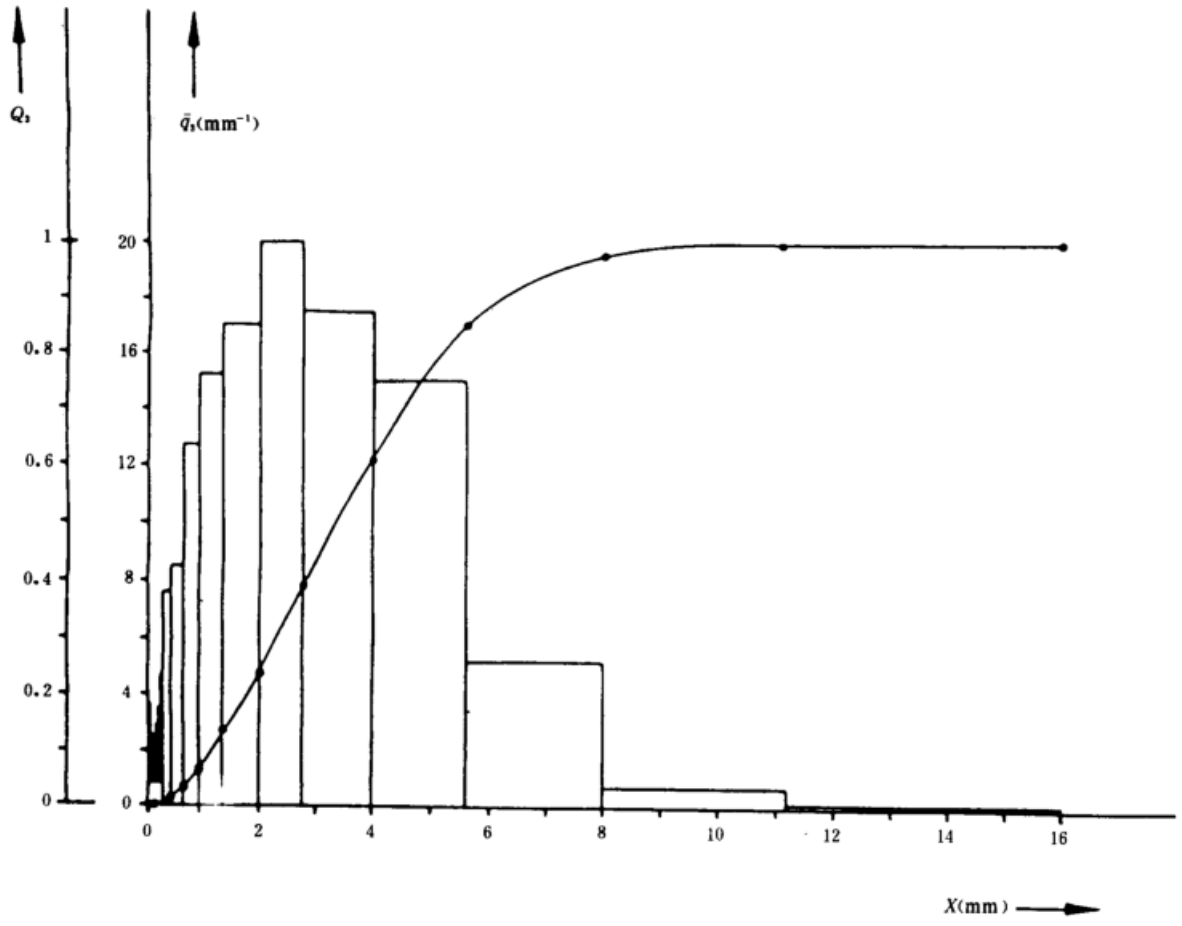


图 A1　线性坐标纸上的直方图 $\bar{q}_{3i}(X_i, X_{i+1})$和累积质量分布 $Q_{3i}(X_i)$

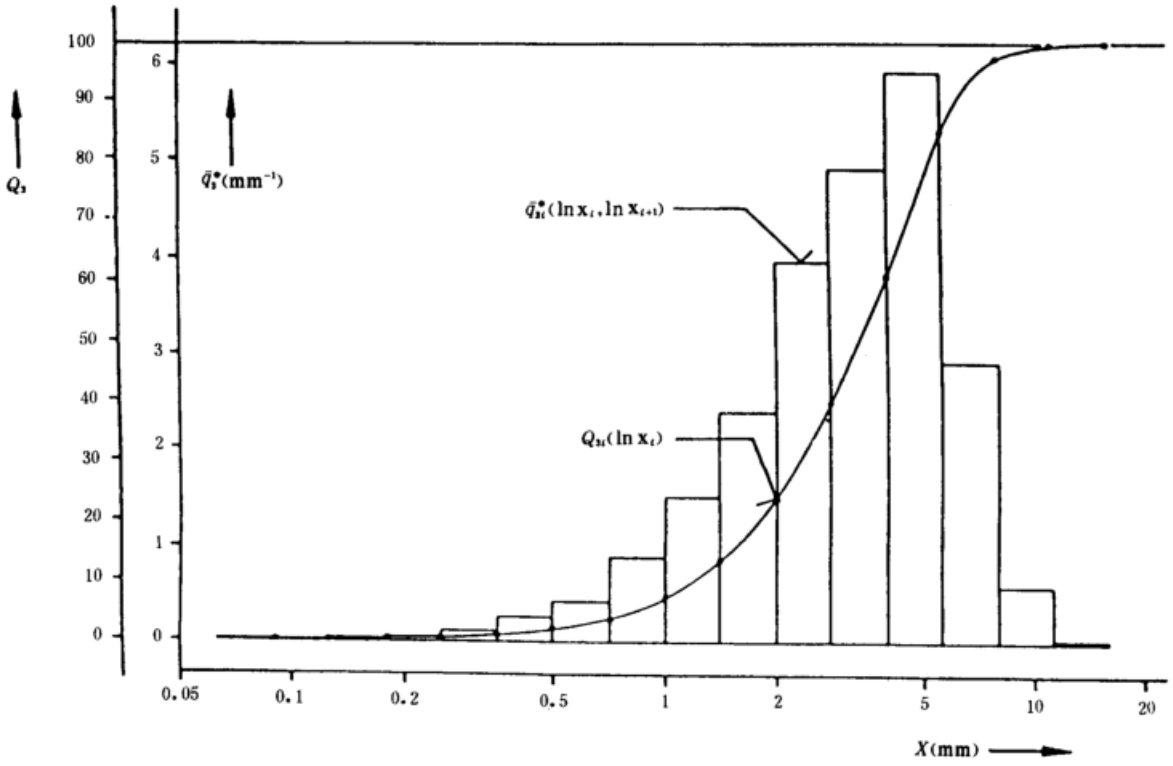


图 A2　在对数横坐标的半对数坐标纸上的直方图 $\bar{q}_3^*(\ln X_i, X_{i+1})$和累积质量分布 $Q_{3i}(\ln X_i)$

附加说明：

本标准由中国科学院提出。

本标准由全国筛网筛分标准化技术委员会归口。

本标准由中国科学院化工冶金研究所、机械电子工业部机械标准化研究所负责起草。

本标准主要起草人王松、沈天临、黄长雄、齐平。