

Coulter 计数器输出结果再处理的一种方法

黄建东 彭荔红 洪丽玉 袁东星

(厦门大学环境科学研究中心, 厦门 361005)

摘要 本文报道了一种采用改进的插值函数进行 Coulter 计数器输出结果再处理的有效方法, 用此方法获得了较仪器直接输出更合乎客观实际的结果, 也使仪器输出结果所包含的信息得到了更清晰的揭示。

关键词: Coulter 计数器, 插值函数, 结果再处理

Coulter 计数器是测定颗粒大小和数目的一种分析仪器^[1]。测定时悬浮在电解质中的颗粒通过一个两边各有一个电极的小孔, 颗粒通过小孔时两极间因电阻变化而产生电压脉冲, 其振幅与颗粒的体积大小成正比。这些脉冲经过放大、甄别和计数, 经仪器处理即可获得悬浮颗粒大小分布的信号输出。这种方法最早应用于血球计数; 后来 Kubitschek 把它改用于细胞计数及细胞体积分布的测定; 其后很快又发展了各种改良型仪器, 用于其它物质的颗粒计数和大小测定。由于这种分析由半熟练的操作者即可进行, 并具有很好的复演性, 因而得到了广泛的应用。目前国内使用较多的有英国 Coulter 公司的 TA I 型、ZM 型、ZB 型 Coulter 计数器及若干美国公司产品, 国内厂家亦产有类似仪器^[2]。这种计数器不仅适用于各种溶液中微粒的含量及粒度大小的确定, 如分析河口、港湾、海洋中的悬浮物质, 浮泥及底质等, 也适用于直径大于 $0.6\mu\text{m}$ 的空气悬浮颗粒, 如大气中的飘尘, 总悬浮颗粒及降尘等的测定。

有些型号的 Coulter 计数器只能按逐个通道输出相应的粒子计数, 有的则可同时输出多个通道的粒子数及其体积的分布数据*。但这些输出结果均为离散的数据点, 当仪器与 X-Y 记录仪连接时, 输出如直方图形式的分布曲线和累积频率曲线, 直方图一般绘制在对数坐标纸上, 其横坐标为颗粒直径, 单位为 μm , 纵坐标为相对体积频率, 单位为%, 图 1 就是其中两例, 其对应数据见表 1。表 1 和图 1 由实验部分描述的方法获得。由此图形只能粗略了解粒子的分布状况, 若需进行较精确的计算, 如插值和求百分位点等, 则须作进一步的处理。本工作研究了一种采用改进的插值函数, 对 Coulter 计数器输出结果进行重新处理。经过这种处理, 得到了满足累加性质的光滑插值曲线。无论是进行精确的插值计算, 还是直观地了解颗粒分布状况, 均可获得较仪器的直接输出更优的效果。

1. 实验部分

1.1 仪器和电解液

仪器: 英国 Coulter 公司生产的 TA I 型 Coulter 计数器。

电解液: 4% 的磷酸钠 ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; AR, W/V) 通过孔径为 1μ 的砂芯漏斗, 再经 0.8μ 的微孔滤膜过滤 2 次。

* 姚胜初. TA I 型库尔特计数器原理及技术. 1980.

表 1 两个沉积物样品的粒度分析结果

Tab 1. Digital output of the two grain samples.

通道序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
通道限 (μm)	2.52	3.17	4.00	5.84	6.35	8.00	10.1	12.7	16.0	20.2	25.4	32.0	40.3	50.8	64.0	80.6	101.6
样品 1 (小孔管孔径 200 μm)																	
颗粒体积 分布 (%) (小孔管孔径 140 μm)	0.0	5.7	6.7	7.5	9.7	11.7	12.8	13.1	12.0	8.1	4.0	1.2	8.9	0.0	0.0	0.0	
通道限 (μm)	1.59	2.00	2.52	3.17	4.00	5.04	6.35	8.00	10.1	12.7	16.0	20.2	25.4	32.0	40.3	50.8	64.0
样品 2 (小孔管孔径 200 μm)																	
颗粒体积 分布 (%) (小孔管孔径 140 μm)	0.0	1.2	1.2	1.4	2.0	2.5	3.3	4.8	7.6	12.7	20.5	21.1	15.4	3.5	0.4	0.0	

注：1. 通道限为通道序号栏中相邻两通道间的间隔限。 2. 分别用不同的小孔管分析，结果经外推。

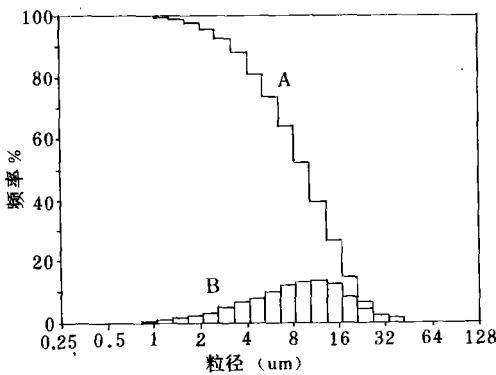


图 1-1 样品 1 的分析结果

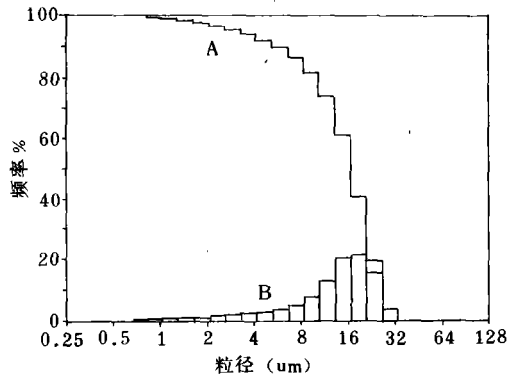


图 1-2 样品 2 的分析结果

图 1 X-Y 记录仪输出的两个样品的 Coulter 计数器分析结果。

1.2 样品制备

本研究采用的沉积物样品采自浙江北仑港潮滩。取两份同一样品，一份用于测定干湿比，另一份约 0.5~1 克的湿样用于分析。先将沉积物在 0.063mm 铜网筛上湿过筛，筛上部分烘干称重以备与干湿比数据一同计算总的重量分布；过筛后的样品加 50ml 蒸馏水制成悬浊液，用超声波分散处理 15 分钟后待用。

1.3 Coulter 计数器分析

分别用 140 μ 和 200 μ 的小孔管分析样品 1 和样品 2。将配制好的电解液倒入圆底烧杯中，滴入数滴经分散的颗粒悬浮样品，打开 TA II 面板操作开关，进行分析，结果打印输出。分析完毕后将烧杯中电解液倒去，用蒸馏水清洗烧杯及小孔管等。样品分析结果列于表 1，其对应的图形输出见图 1。

2. 输出结果的再处理

如前所述,由 Coulter 计数器的原输出数据不能直接对分布状况有详细的了解。为使原输出数据所含的颗粒粒径分布信息得到充分的展示,有必要绘出更接近实际的累积频率曲线和频率分布曲线,通过绘线函数实现更精确的插值和百分位值计算,并通过插值曲线本身,对颗粒粒径分布状况作详细而直观的考察。

若采用线性插值或不经数据点的拟合再处理数据时,在距数据点较远或较近的自变量值处,可出现较大的误差。若采用在插值领域应用较多的二次曲线插值或三次样条插值^[3],则前者在频率分布曲线的光滑性上,后者在单调性上,均不符合累积频率曲线和频率分布曲线本身的性质。有人报道了单调的样条插值,但其光滑性亦不够理想。本文利用有关文献中的研究结果*,采用一种改进的插值函数 $F(x)$,在计算机上获得了良好的插值效果和光滑的累积频率曲线及频率分布曲线,使 Coulter 计数器输出数据再处理的质量明显提高。

三次样条插值函数 $S(x)$ 是一种分段的多项式插值函数,可表示为^[4]

$$S(x) = S_i(x) \quad x \in [x_i, x_{i+1}] \quad (i=0, 1, \dots, n-1)$$

$$S_i(x) = a_{i0} + a_{i1}x + a_{i2}x^2 + a_{i3}x^3 \quad (1)$$

$$a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$$

文献 [4] 指出,对于服从正态分布的型值, $S(x)$ 可以在其所在区间的大部分范围内满足概率分布函数的性质。沉积物颗粒以对数值表示粒径时即服从正态分布,因而在粒度分布区间 $[a, b]$ 的大部分中可以用 $S(x)$ 作为插值函数,即取 $F_i(x) = S_i(x)$ 且 $F_i(x)$ 满足累积频率曲线的性质。对于不满足正态分布的数据,当 $S_i'(x) > 0$ 时亦可用 $S(x)$ 作为插值函数;当 $S_i'(x) < 0$ 时,可在相应子区间上采用以下两种形式的函数作为插值函数:

$$Y(x) = \lambda(x - \xi)^n + \eta \quad (2)$$

$$Y(x) = \eta + [\lambda - (x - \xi)^2 \cdot \lambda/\mu]^{1/2} \quad (3)$$

并在节点上保证一定的光滑性^②。从而在全区间上保证达到插值函数的整体一阶光滑;特别在数据区间的主要部分中使频率分布曲线达一阶光滑。这对获取更精确的插值结果和绘制高质量的曲线无疑是重要的保障。

将以上的式 (1) - (3) 应用于 Coulter 计数器输出结果的处理时,自变量为颗粒粒径 (mm) 的负对数值,因变量为对应的累积频率 (体积累积百分率,颗粒比重相同时亦可作为重量累积百分率)。将仪器原输出数据 (X_i, Y_i) 代入式 (1) - (3) 中的某一式,求出其系数值^②,则得到函数 $S_i(x)$ 或 $Y_i(x)$,取定 $F_i(x) = S_i(x)$ 或 $F_i(x) = Y_i(x)$,则得到 $[a, b]$ 上的分段插值函数 $F(x)$ 。

由插值函数 $F(x)$ 在计算机上绘制数百例全部或部分由 Coulter 计数器输出数据连成的粒度分布累积曲线和频率分布曲线,并插值求算了百分位值和由百分位值推算的各种粒度参数,均获得了良好的处理效果。将图 1 中的两例 Coulter 原输出数据在计算机上做再处理,绘出的曲线示于图 2。由图 2 可见,曲线的一阶以上光滑性和单调性均得到满足,且更清晰地揭示了样品粒度分布的状况。图中的横坐标为粒径 (mm) 的负对数值,即 \varnothing 值;纵坐标为小于某一 \varnothing 值 (x 值) 的累积频率百分数 (对应于曲线 A),和相应的频率分布百分数 (对应于曲线

* 黄建东. 单调光滑插值函数的一种构造及其在统计类数据处理中的应用. 1995.

B)。这样的处理使函数图形符合一般概率分布函数的表述和性质，而与图 1 的图形在轮廓上成镜象关系。

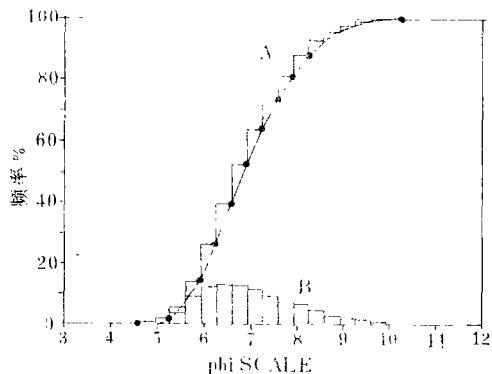


图 2-1a 样品 1 的数据再处理前后的曲线比较

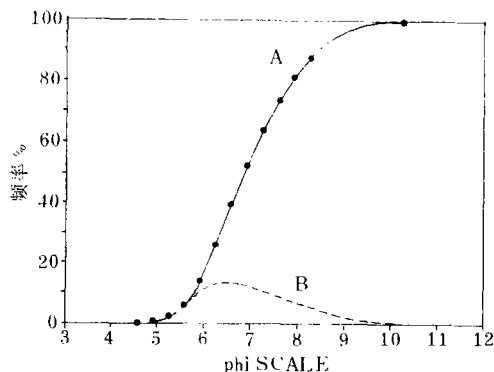


图 2-1b 样品 1 的数据再处理后的曲线

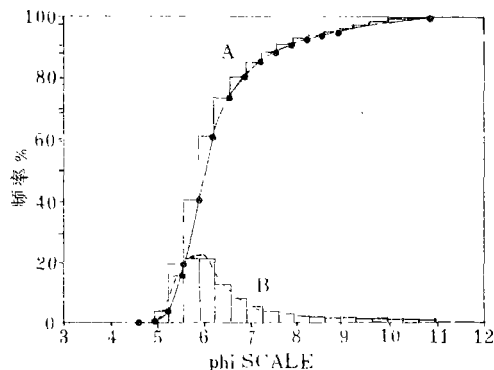


图 2-2a 样品 2 的数据在处理前后的曲线比较

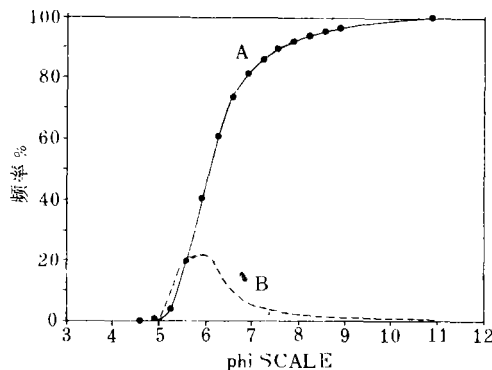


图 2-2b 样品 2 的数据再处理后的曲线

图 2 由插值函数 $F(X)$ 的构造得到的累积频率曲线 (曲线 A) 和频率分布曲线 (曲线 B) 及其与直方图的对比。

3: 结语

Coulter 计数器在各种颗粒物的分布测定中有广泛的应用。而经过插值函数 $F(X)$ 的处理，结果既满足累积频率曲线的基本性质，又保证一定光滑性。由此克服了常用插值函数不便于描述累积型数据的缺陷，获得了更合乎客观实际的结果，从而使该仪器输出数据所包含的信息得到了更清晰的揭示。

参考文献

1. T. Allen. Particle Size Measurement. 3rd ed, London & New York, Chapman and Hall, 1981.
2. 姚胜初. 海洋科学, 1993; (5) : 63.
3. 黄建东. 台湾海峡, 1989; 8 (1) : 8.
4. 黄建东. 厦门大学学报 (自然科学版), 1988, 27 (2) : 234.

A Reprocessing Method for Data Output from Coulter Counter

Huang Jiandong Peng Lihong Hong Liyu Yuan Dongxing

(Environment Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract An improved interpolation function has been used to reprocess the data output from coulter counter. More Objective results were obtained by using the reported method than that by other interpolation functions. The reported method showed its potential in reprocessing the direct data output from the Counter for clearly revealing data information.

Key words: Coulter Counter, interpolation function, data processing.

(上接 283 页)

果径等信息,按桃的等级标准,桃在自动选果机上进行自动分拣,可将桃分成低糖度、中糖度和高糖度三个等级出售。糖度低于 9 度为低糖度,这种桃适用于加工;9—12 度为中糖度,这种桃作为一般水果,再按外观好坏分成特等、优等销售;高于 12 度为高糖度,这种桃的包装箱外贴上“光传感器保证甜度”的标志销售。高糖度的桃在市面上深受水果商和消费者欢迎,而用传统的外观分成特等、优等、良等三级桃当中,分不出高、中、低糖度,即使特等果中也有低糖度的桃,良等果中也有高糖度的桃。

光传感器 Brix-11S 线型选果机已在日本山梨县投产使用,光传感器 Brix-11R 转动型选果机已在日本冈山县投产使用。

用光传感器测定桃糖度的方法不仅有助于优质桃的销售,而且可结合桃产地的品种选择、园地建设、种植密度、施肥水平、灌水时间等生产数据进行分析,查找原因,比较低糖度桃果园和高糖度桃果园之间的差别,帮助果农提高桃的产品质量,提高经济效益。