

灰色系统在电敏感区法粒度分析曲线外推技术中的应用

姚胜初

(杭州大学河口与港湾研究室, 310028)

收稿日期 1991年10月20日

关键词 灰色系统, 电敏感区法, 粒度分析, 外推技术

提要 根据 TA I 型库尔特计数器单管粒度分析结果, 利用灰色系统建立 GM(1, 1) 预测模型, 对样品频率曲线进行外推处理, 可获得小于仪器基线通道阈值颗粒的体积百分比含量, 并将结果与入重-出重法测定结果进行对比, 精度较高。为电敏感区法粒度分析资料的外推处理提供了新的方法。

采用电敏感区法测定溶液中悬移颗粒直径方法最早由英国 Coulter, W. H. 提出,故又名库尔特原理。目前国内使用较多的分析仪器有英国库特公司的 TA I 型, ZM 型库尔特计数器及若干美国公司产品,国内厂家亦有类似仪器生产。此类仪器特点是精度高,取样量少,自动化程度高,能快速获得各种有关粒度的数据^①。但其分析范围较窄,一般仅为小孔直径的 2~40%,最大亦只能达到小孔直径的 1.26~50% 左右,这对一部份泥沙样品,特别是那些小于其线通道的颗粒,仪器并不会产生响应,由此带来系统分析误差。解决的方法通常有:双管或多管分析技术。但扩展范围有限,且操作复杂,速度慢;入重-出重法,需对分析样品进行精密称重,及电解质溶液严格定量,且仅适用于干样分析,对操作要求很高;曲线外推技术,常用的有频率曲线外推法,即在库尔特 X-Y 记录纸上用手工对频率曲线进行外推处理,或利用累计曲线,采用原说明书^②,或有关文献^[4]所介绍的若干公式进行简单外推。前者随意性大,后者据笔者实际使用,发现精度不理想,与实验结果(如入重—出重法)出入较大。

灰色系统是介于信息完全确知的白色系统和信息一无所知的黑色系统之间的中介系统。对于任意颗粒样品其分布规律在局部范围内可用灰色系统模型来近似地进行描述,并以此进行外推处理。

1 理论与方法

1.1 理论

在灰色系统中,适合用来进行数列预测的模型是 GM(1,1)模型,所谓数列预测指的是对系统特征值大小的发展变化进行预测^[1]。

对于某一数据系列:

$$\bar{x}_i^{(0)} = \{x_i^{(0)}(1), x_i^{(0)}(2), \dots, x_i^{(0)}(i) \dots x_i^{(0)}(n)\} \quad (1)$$

有白化微分方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (2)$$

$$\text{其中 } x_i^{(1)} = \{x_i^{(1)}(1), x_i^{(1)}(2), \dots, x_i^{(1)}(i) \dots x_i^{(1)}(n)\} \quad (3)$$

为 $x_i^{(0)}$ 的一次累加生成数列(1-AGO)

当取 t 为序数 k 时,则可得 $x^{(1)}$ 序列的白化解即离散时间响应:

$$\bar{x}^{(1)}(u+1) = (\bar{x}_0^{(1)} - \frac{u}{a})e^{-au} + \frac{u}{a} \quad (4)$$

$$\text{其中参数列 } \bar{a} = \left[\frac{u}{a} \right] = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (5)$$

B 及 Y_N 为数据矩阵

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$Y_N = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad (7)$$

上述 GM(1,1)模型是以时间为序数,序数 k 必须等间距变化。如将颗粒粒径变化对应于时间变化条件的,并将粒径变化离散化,即可以不以具体粒径值代之,而用代表粒径的通道号径适当变换后代之,则上述数学模型同样适用于颗粒分布频率曲线的外推。

1.2 方法

以 TA I 型库尔特计数器单管分析所得各

① 姚胜初,1980. TA I 型库尔特计数器原理及技术。

② Coulter Electronic Limited, 1976. Instruction manual for Coulter Counter model TA I, 73~75.

通道相对增量体积百分比含量 $\Delta n \cdot \bar{v}$ 作为原始数据。以此建立 GM(1,1)模型的拟合精度。一般以最小的 4 个通道的读数作为原始数据为宜,过多的数据有时反而会降低模型的拟合精度。根据上述 GM(1,1)模型建模过程,编制相应的 BASIC 程序,以表 1 实例可得相应的外推模型:

$$\bar{x}^{(1)}(k+1) = (9.6-51.437)e^{-0.254k} + 51.437 \quad (8)$$

当 $k=0$ 时, $\bar{x}^{(1)}(1)=9.6$ 即实测数据, $k=1$ 时, 可得 $\bar{x}^{(1)}(2)$, $k=2$ 时, 求得 $\bar{x}^{(1)}(3)$, 依此类推。根据上述求得的数列, 再作一次累减生成, 便可得还原数据。

表 1 原始数据

Tab. 1 Raw data

粒径值 (μm)	3.17	2.52	2.00	1.59
k	1	2	3	4
通道号	4	3	2	1
$\Delta n \cdot \bar{v}$	9.6	9.4	7.5	5.6

1.3 精度检验

用残差检验法检验上述例子, 结果列于表 2。

表 2 计算结果残差检验

Tab. 2 Error check of the calculated results

通道号	粒径值 (μm)	实测数据 (%)	还原数据 (%)	相对误差 (%)
4	3.17	9.6	9.60	0
3	2.52	9.4	9.392	-0.09
2	2.00	7.4	7.283	-1.58
1	1.59	5.6	5.648	0.86

通过对 10 个样品(每个样品 3 次)分析, 其 GM(1,1)模型的拟合精度, 残差大多在 $\pm 1\%$ 以内, 少数为 $\pm 2\%$ 左右, 可见精度相当高。

2 与入重-出重法对比试验

2.1 外推终点的确定

从上述 GM(1,1)模型可知, 只要已知 k

值, 便可推求 $\bar{x}^{(1)}(k+1)$ 的值, 故必须合理地确定 k 值, 或外推终点值。对于典型的对数——正态分布曲线在正态概率纸上为一直线, 与横坐标(φ 值)的交点即为最小粒径值。对以往众多资料分析, 长江口悬沙的外推终点值多数约在 13φ 左右, 小于 $11\varphi(0.5\mu\text{m})$ 部份仅占 1% 左右。故一般取 $12\sim 13\varphi$ 作为外推终点值, 此时 k 值取 $12\sim 15$, 亦即需外推 $9\sim 12$ 个通道。

2.2 对比试验

笔者采用仪器本身入重-出重法与之对比, 试验用长江口典型悬移质样品 10 个, 作入重-出重法分析, 每个样品分析 3 次, 取平均值, 得到小于仪器基线通道颗粒的体积百分比含量, 然后根据每次打印后的增量的相对体积百分比含量($\Delta n \cdot \bar{v}$ 中最小的 4 个通道数据进行灰色系统外推处理, 求得小于仪器基线通道的相对体积百分比含量, 并进而换算成绝对百分比含量。表 3 给出全部分析的计算结果。

从表可知, 小于基线通道($1.59\mu\text{m}$)含量二者对比平均偏差(取绝对值)为 1.42% , 最大偏差为 -3.80% , 可见较为满足一般对泥沙颗粒分析精度的要求^[2]。

表 3 入重-出重法分析结果与灰色系统外推结果对比

Tab. 3 Results comparison between weight in-weight out method and grey system extrapolation

样品号	小于基线通道($1.59\mu\text{m}$)百分比含量(%)		
	入重-出重法	灰色系统外推法	对比偏差 (%)
1	21.7	17.9	-3.80
2	11.1	9.97	-1.13
3	19.6	20.3	0.70
4	21.6	18.0	-1.60
5	11.0	13.9	2.90
6	4.75	4.86	-0.11
7	8.40	9.40	1.00
8	10.0	11.7	1.70
9	11.5	11.0	-0.50
10	11.2	10.4	-0.80

实验条件: 所用小孔管: $140\mu\text{m}$; 取样方式: 体积法; 样品来

源:长江口悬移质

3 结语

应用灰色系统进行外推,本质上是数据序列的外推处理,其条件为:首先必须保证样品的频率曲线峰值应落在仪器分析范围之内,且最小的4个通道的增量体积百分比含量($\Delta n.v$)有明显的下降趋势。其次是频率曲线在小于基线部份必须是光滑地下降至零。若条件一不满足,通常可更换更小的小孔管进行分析。如不满足上述两个条件,则一般不宜进行外推处理。

满足上述两个要求的样品,利用一次库尔

特单管分析成果,结合灰色系统外推技术,可以方便地确定各粒级的绝对百分比含量,其基本上可以代替入重-出重法,快速、简便、有适宜的精度,故有较大的实用意义。

参考文献

- [1] 邓九龙,1986.灰色预测与决策。华中理工大学出版社,98~124。
- [2] 卢永生等,1987.河海大学学报 15(增刊1):18~25。
- [3] T. Allen, 1981. Particle Size Measurement, London New York, Chapman and Hall. 407-408.

APPLICATION OF GREY SYSTEM IN CURVE EXTRAPOLATION TECHNIQUE OF THE ELECTRICAL SENSING ZONE METHOD OF PARTICLE SIZE MEASUREMENT

Yao Shengchu

(Estuary and Harbour Research Division of Hangzhou University, Hangzhou 310028)

Received: 20, Oct, 1991

Key Words: Grey system, Electrical sensing zone method, Particle size measurement, Extrapolation technique

Abstract

According to the results obtained from the particle size measurement of single orifice tube, using Coulter Counter Model TA I, the GM(1,1) model of grey system has been established. It has been used to extrapolate the frequency curve of particle size of sediment samples. The accumulated volume percentage contains under the threshold value of the lowest channel of the instrument can be obtained. Through compared the result with that obtained from weight in-weight out method, we found that this is a new method of extrapolation technique of particle size measurement using electrical sensing zone method.