

# 巢湖泥沙淤积预测与防治

朱湖根 王大齐

(合肥工业大学·安徽合肥市)

## 提 要

本文建立了巢湖泥沙淤积序列灰色预测模型GM(1, 1), 率先提出GM(1, 1)模型的时段长度选取原则。该模型考虑了流域多年水土流失量增加的趋势, 使得模拟的精度比非线性回归模型更高, 同时预测变量不依赖于其它随机变量, 比非线性回归模型更适合于序列预测。最后本文提出了巢湖泥沙防治途径。

关键词: 水土流失 灰色系统 泥沙淤积

## The Prediction and Control of Sedimentation in Chaohu Lake

Zhu Hugen Wang Daqi

(Hefei University of Technology, Hefei Municipaly, Anhui province)

### Abstract

A serial Grey Modle GM (1.1) for predicting sedimentation in Chaohu lake was established, and also, the principles of selction of the length periods of GM (1.1) were suggested in this paper. In considering the increasing tendency of soil erosion in the watershed for years, the model must be made to have a high accuracy than that of the nonlinear regression modeling in sedimentation prediction. Meanwhile, the variables to be predicted can not depend on any other stochastic ones, being more stuitable for serial prediction than the non-linear regression modeling. Finally, this paper suggests some ways of controlling sedimentation in Chaohu lake.

**Key words:** water and soil erosion grey system sedimentation or siltation

## 一、概 述

巢湖是我国五大淡水湖之一。其面积为784km<sup>2</sup>, 湖底高程一般为5~6m, 多年平均水位为8.31m, 相应库容19.0亿m<sup>3</sup>, 相当于一个巨型水库。其集水面积为9 130km<sup>2</sup>, 主要支流有杭埠河、派河、南淝河、柘泉河。巢湖流域多年平均降雨量为1 100mm。丰沛的巢湖水灌溉着600多万亩土地, 又主要承担着流域内防洪和合肥市及周围城镇工业、生活用水。

巢湖历经苍桑, 尤其是1958年至80年代初, 由于政策的失误, 人们对自然资源的开发、利用采取了掠夺式的手段, 上游山林屡遭浩劫。据调查<sup>(1)</sup>, 仅上游山区岳西县1956~1976年间森林蓄积量年递减率为5%, 成林减少120万m<sup>3</sup>, 占蓄积量的80%。近年来木材的消耗量为生长量的2~3倍。由于加上人口剧增, 以及人类不合理的社会经济活动日益频繁, 导致了该地区水土流失愈来愈严重。据推算, 其上游大别山区多年平均土壤流失量约为3 671.35万t, 水土流失量平

均每年递增率为2.9%，使得生态平衡遭到破坏。如岳西县平均每年有3 mm 土层流失掉。舒城县龙潭河长32km，50年代以来河床淤高3 m以上，使沿河农田涝渍严重。流域内自然灾害也越来越频繁，其频率比正常生态环境大3~4倍。更为严重的是大量泥沙淤积巢湖，给巢湖的防洪、灌溉、航运、给水等造成了极大威胁。因此，巢湖泥沙淤积预测及防治具有重大的社会、生态和经济效益，是亟待研究的重要课题之一。

## 二、巢湖泥沙淤积预测

巢湖淤积主要是流域表面侵蚀而产生的泥沙由水流挟带入湖所产生。来沙量的大小是降水、地貌、土壤、植被、岩性等因素的函数。限于资料短缺，目前尚不能用河流动力学方法研究巢湖泥沙淤积。笔者<sup>(2)</sup>认为，在相当一段时间内，对巢湖这一特定流域，后四个因素可视为常量。所以笔者用水文学方法测算了巢湖1950~1983年逐年淤积量，并设法建立了描述流域年径流深与巢湖年淤积量之间关系的单因素非线性回归方程：

$$S = 0.0103Y^{1.56} \quad (1)$$

式中：S——巢湖年淤积量（万t）；Y——流域年径流深（mm）

由于巢湖汇入支流较多，流域地貌各异，因而流域产沙量受降雨年内时、空分布的影响，而式（1）并不能反映这种影响，同时它还忽略了由于生态环境的破坏、人为因素的干扰，流域多年平均水土流失量增加的趋势。另外，式（1）的S值依赖于同时刻的径流值Y，而年径流序列是随机序列，这样也就增加了预测的难度。

灰色系统理论往往在一些具有复杂成因、信息不完全的系统中发挥作用。它解决了一向认为不能解决的连续微分方程建模问题，并被成功地运用到各个领域<sup>(3)</sup>。按照灰色建模理论：任何随机过程都是由在一定时区、幅值内变化的一系列灰色量构成，巢湖逐年泥沙淤积序列就是这样的灰色过程，尽管其数据离乱，但它总是有序的，有整体功能的。它必然隐藏着某种内在规律，关键在于用合适的处理方法去挖掘、处置，灰色系统对灰色量的处置不是寻求统计规律，而是考虑其变化趋势，用数据生成的方法寻求数据间的规律。本文拟采用灰色系统理论，建立巢湖泥沙淤积序列的灰色预测GM（1，1）模型。

GM（1，1）模型的微分方程形式为：

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

式中：a、u为辨识参数，它们确定了，也就意味着模型建立了。 $x^{(1)}$ 是代表累加生成的变量。

GM(1, 1)模型的时间函数形式为：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(0)}(1) - u/a]e^{-ak} + u/a \quad (3)$$

式中：k表示k时刻。模型在k+1时刻的预测值并不是 $\hat{x}^{(1)}$ ，而是生成值的还原值 $\hat{x}^{(0)}$ （k+1）。 $\hat{x}^{(1)}$ 由 $\hat{x}^{(0)}$ 累加生成：

$$\hat{x}^{(1)}(k) = \sum_{n=1}^k \hat{x}^{(0)}(n) \quad (4)$$

则 $\hat{x}^{(0)}$ 由 $\hat{x}^{(1)}$ 累减得到：

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (5)$$

灰色建模<sup>(4)</sup>的步骤如下:

(1) 已知实测数据 $x^{(0)}$ , 由式(4)累加生成 $x^{(1)}$

(2) 用 $x^{(1)}$ 及 $x^{(0)}$ 分别建立数据矩阵 $B$ 与数据列 $Y_m$ ,  $m$ 为数据长度。

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(m-1) + x^{(1)}(m)] & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$Y_m = \begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(m) \end{pmatrix} \quad (7)$$

(3) 按最小二乘原理, 辨识参数 $a, u$

$$\hat{a} = [a, u]^T = (B^T \cdot B)^{-1} \cdot B^T \cdot Y_m \quad (8)$$

$B^T$ 是 $B$ 的转量矩阵

(4) 建模

$a, u$ 求出后, 可得到式(3), 系统的GM(1, 1)模型即建立

(5) 检验

检验模型计算的还原值 $\hat{x}^{(0)}$ 与实测数据 $x^{(0)}$ 是否符合。本文采用了后验差检验方法检验模型精度。

求残差 $q(k)$ 和相对误差百分数 $e(k)$

$$q(k) = \hat{x}^{(0)}(k) - x^{(0)}(k) \quad (k=2, \dots, m) \quad (9)$$

$$e(k) = 100 \times q(k) / x^{(0)}(k) \quad (k=2, \dots, m) \quad (10)$$

求残差均值 $\bar{q}$ 和离差 $s_2$

$$\bar{q} = \frac{1}{m-1} \sum_{k=2}^m q(k) \quad (11)$$

$$s_2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=2}^m [q(k) - \bar{q}]^2 \quad (12)$$

求 $x^{(0)}$ 均值 $\bar{x}$ 和离差值 $s_1$

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x^{(0)}(k) \quad (13)$$

$$s_1 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m [x^{(0)}(k) - \bar{x}]^2 \quad (14)$$

后验差比值 $c$ 为:

$$c = \sqrt{\frac{s_2}{s_1}} \quad (15)$$

小误差频率p为: 
$$p = p\{|q(k)| < 0.674 5s_1\} \tag{16}$$

如  $p > 0.95$ ;  $c < 0.35$ ; 则模型预测精度为一级 (GOOD)。

由于GM (1, 1) 模型认为: 数据的累加生成是时间的指数律, 因而式 (3) 中k+1时刻与k时刻的间隔长度即时段长度选取对可用数据的个数及模型的模拟精度有影响。灰色建模的数据多少, 没有硬性的规定, 但至少要有四个数据。数据并非越多越好, 要视研究的对象、目的而定。考虑巢湖泥沙淤积是一个长期、缓慢、渐增的过程, 且巢湖容量较大, 这意味着数据序列长度足够条件下, 允许选取相对较长的时段长度。时段长度的选定要使得GM (1, 1) 模型的时间指数律最能适应泥沙淤积随时间的增长率。本文分别选择时段长度为1、5、6、7、8年, 对应数据个数为33、6、5、4、4。结果发现当时段长度取为7年时, 后验差比值  $c = 0.016 336 4$  最小。因而本文选时段长度为7年。据式 (3) — (8), 可求得相应的GM (1, 1) 模型为:

$$\hat{x}^{(1)}(k) = 7 545.771 0 e^{0.309 582 (k-1)} - 5 950.671 0 \tag{17}$$

数据还原: 
$$\hat{x}^{(0)}(1) = x^{(1)}(1) \tag{18}$$

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(0)}(k+1) &= \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \\ &= 7 545.771 0 (e^{0.309 582 k} - e^{0.309 582 (k-1)}) \\ &\quad (k=1, 2, \dots) \end{aligned} \tag{19}$$

式 (17) — (19) 中  $\hat{x}^{(1)}(k)$ ,  $\hat{x}^{(0)}(k)$  分别表示第k时刻巢湖泥沙淤积累积生成量和还原量。

有关巢湖泥沙淤积原始数据、非线性回归模型式 (1) 和GM (1, 1) 模型灰色预测结果及精度详见附表。

附表 非线性回归模型 (1) 和GM (1, 1) 模型灰色预测结果

年份	累积泥沙淤积量 (万t)			绝对误差		相对误差 (%)	
	原始数据	回归模型	GM (1,1)	回归模型	GM (1,1)	回归模型	GM (1,1)
1957	1 595.1	1 348.77	1 595.10	-246.33	0.00	-15.44	0.00
1964	2 775.6	2 480.04	2 740.94	-295.56	-34.69	-10.65	-1.249
1971	3 768.2	3 635.41	3 735.51	-132.79	-32.69	-3.52	-0.868
1978	5 170.1	5 181.53	5 090.96	11.34	-79.14	0.22	-1.531

$q = -48.834$   $s_1 = 1 723 799$   $s_2 = 460.046$   $c = 0.016 336 4$   $p = 1.0$  (GOOD)

由附表GM知, (1, 1) 模型与非线性回归模型相比用于泥沙淤积预测有如下优点: 1. 考虑了流域多年平均水土流失量递增的趋势, 模拟精度更高, 回归模型最大绝对差和相对误差分别为-295.56、-15.44%, 而GM (1, 1) 模型最大绝对误差和相对误差仅为-15.44和-1.531%。2. 非线性回归模型用于预测需依赖于另一个随机变量年径流量的预测, 而GM (1, 1) 模型仅是时段序号k的函数, 它更适合用于系统预测。

原始数据序列离差  $s_1$  和GM (1, 1) 模型的残差均值q、离差  $s_2$  后验差比值 c, 小误差频率 p 均见附表。经检验  $p > 0.95$ 、 $c < 0.35$ 、故式 (18) 所描述的模型置信度高, 精度等级为GOOD。

当 $k=6$ 时,通过式(18)所描述的预测模型,可计算得1951年至本世纪末1999年巢湖泥沙淤积量 $\hat{x}^{(0)}(6)=2\ 886.92$ (万吨)。平均每年淤积262万吨(折合201.74万 $m^3$ ),巢湖多年平均水位相对应的库容为19.0亿 $m^3$ ,如按此速度淤积下去,如以1951年为基点,将在942年以后把巢湖淤满。比文〔2〕预测的1039年要提前近100年,这是由于GM(1,1)模型考虑了流域多年平均水土流失量逐年递增率。

上述预测是在水土流失现状条件下作出的,如果今后大别山区水土保持工作取得实效,巢湖寿命可望增长。

### 三、巢湖泥沙淤积防治途径

减少巢湖泥沙淤积、延缓巢湖寿命,其途径是生产与生态相结合,生物措施、工程措施、耕作措施相结合,近期与长远相结合。三大措施中生物措施最重要,但三者又是相辅相成,不可替代。其主要措施为:

(一) 尽快治理上中游大别山区的水土流失 (1) 加强土地资源管理和保护。巢湖流域地势起伏,山地占总面积的37.8%,丘陵占45.7%,其上中游大别山区广泛分布花岗岩、结晶生麻岩,表面风化层厚,质地粗糙松散。在海拔1 200m以上的山区,山高、土薄、石多、雨多、雾多、日照短,不适宜作物生长,应多植树育草。据测定:在花岗岩地区,坡度由 $17^\circ$ 增至 $21^\circ$ ,土壤平均侵蚀量将增加14.8%,在 $32^\circ$ 的坡面上,坡长由5 m增加到10m,土壤年剥蚀厚度由0.7cm增到1 cm。因而,该地区 $25^\circ$ 以上陡坡应退耕还林。出于耕作便利,该地顺坡耕作现象普遍,据测算,顺坡耕作水土流失程度一般为横坡耕作的1~3倍。因而对 $25^\circ$ 以下缓坡应有计划地首先由横坡耕作改建梯田。

(2) 加快造林种草,提高地表覆盖率。一是要合理配置林种林相结构,在发展用材林同时,在山地陡坡上种植水保林(如马尾松、枫香等),同时大力营造薪炭林、经济林等。杜绝挖草根补薪炭的现象。在林相结构上,应改变片面发展纯林的倾向,尽可能多地发展针阔混交、乔灌草混交、松粉混交等。二是封山育林,尽快绿化山岗。希望在2000年时把森林覆盖率由目前7%提高到20%。

(3) 推行“田间套种”,即高秆作物与簇生作物,禾木科作物与豆科作物套种。该流域暴雨集中在6~8月,正是植物生长旺季,此时,在田间多推行作物套种(如小麦、油菜行间套种大豆等),作物与新营造林地套种,即可增加地面覆盖度。同时作物套种又可延长地面覆盖时间。

巢湖流域水土保持工作的重点是杭埠河、丰乐河流域。

(二) 巢湖水资源的调度、运用应兼顾“蓄清排浑”措施 要恰当地利用洪水,特别是每年头一、二场洪水的初期,开闸放水,滞洪排沙。浑水在湖内停留时间不宜超过2天。洪水尾期,沙少水清,可多蓄水兴利。

#### 参 考 文 献

- 〔1〕长江流域规划办公室。安徽省岳西县水土流失调查报告。1982年
- 〔2〕王大齐等。巢湖泥沙淤积研究。1986年
- 〔3〕邓聚龙。灰色系统论文集。武汉:华中理工大学出版社,1988年
- 〔4〕邓聚龙。灰色预测与决策。武汉:华中理工大学出版社,1988年
- 〔5〕中科院南方山区综合考察队。《综合开发资源,振兴皖西经济》。1986年