

用灰色系统预测模型预测三峡工程对洞庭湖区洲滩面积的影响*

王祥三 李大美

(武汉水利电力大学河流工程系, 武汉 430072)

提要 以灰数的白色函数生成为基础, 建立白化形式的微分方程, 来预测坝址每年丰水期、枯水期平均流量, 结合三峡工程建库前后不同时空边界条件的分析计算, 从而预测出三峡工程对洞庭湖区洲滩面积变化趋势的影响。灰色系统的预测简称灰色预测, 它的特点是基于灰色系统的模型进行未来系统变化的预估。本文对洞庭湖洲滩面积的预测, 采用灰色拓扑预测, 其基本思路是将样本信息作成曲线, 在曲线上按某个定值找出许多发生时刻数据, 然后用时刻数据分别建立 GM(1,1) 模型群以预测这些定值未来出现的时刻, 将各个未来发生的定值联成曲线, 以了解整个数据曲线未来的发展变化。

关键词 灰色预测 流量过程 洞庭湖 洲滩面积

分类号 TV92

1 三峡坝址丰水期、枯水期的平均流量

考虑到资料的可靠性、代表性、一致性问题, 选用水文年鉴 1971—1985 年间共 15 年的丰、枯水期平均流量系列作为白化信息, 分别作出其过程曲线(图 1)。

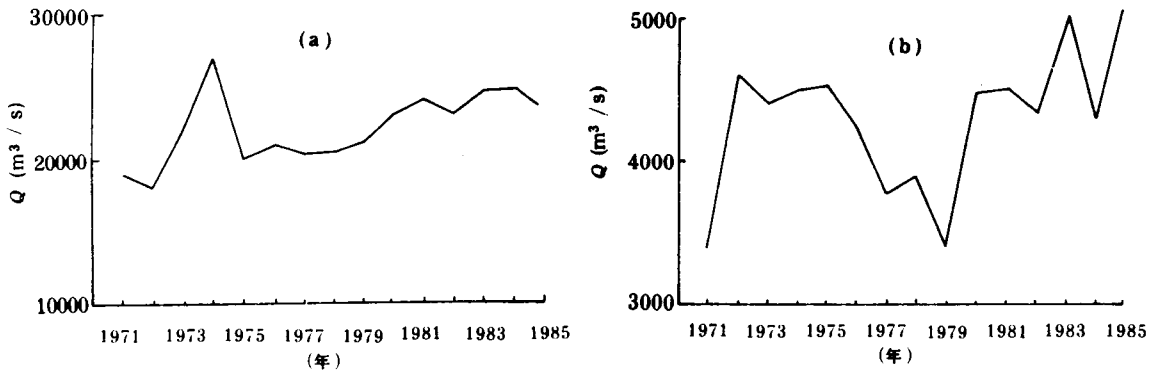


图 1 坝址丰水期(a)、枯水期(b)平均流量过程线(1971—1985 年)

Fig. 1 Yearly-mean discharge hydrograph during flood(a) and dry(b) seasons (1971—1985) at the Three-Gorge Project Dam site

2 坝址流量灰色预测模型的建立

2.1 GM(1,1)模型

GM(1,1)模型为 $\sum_{i=1}^{n-1} b_i x_i^{(1)} = u$, 相应的微分方程为: $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u$. 记系数向量 $a = [a, u]^T$, 用最小二乘法对 a 求解, 得: $a = [X(A, B)^T X(A, B)]^{-1} \cdot X(A, B)^T \cdot \bar{y}_m$. 式中, $X(A, B) = [A : B]$ 为分块矩阵, A 为累

* 国家自然科学基金资助项目(59479022).
收稿日期: 1997-08-01. 收到修改稿日期: 1998-04-16. 王祥三, 男, 1945年生, 教授.

差生成矩阵; B 为累加生成矩阵.

解出向量为 $\hat{a}=[a, u]^T$ 后, 代入微分方程, 得:

$$X^{(1)}(t) = (X^{(1)}(0) - u/a)e^{-at} + u/a$$

令 $X^{(1)}(0) = X^{(0)}(1)$, 则 GM(1,1) 模型的时间函数为

$$\hat{X}^{(1)}(t+1) = (X^{(0)}(1) - u/a)e^{-at} + u/a$$

2.2 拓扑预测

GM(1,1) 模型的特点是能反映事物发展趋势, 然而它形状简单, 是特定的指数曲线, 它不能反映变化幅度大、波形起伏大, 不规则的波形. 为了建立能反映复杂波形的模型, 本文采用差分微分方程, 即

$$\hat{X}^{(1)}(K+1) = C_1 e^{a_1 K} - C_2 \delta(K-t_1) e^{a_2 K} + C_3 \delta(K-t_2) e^{a_3 K}$$

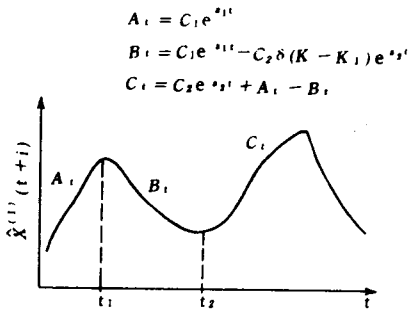


图 2 波形起伏的曲线示意图

Fig. 2 Sketch of wave-form curve

其中

$$\delta(K-t_1) = \begin{cases} 0, & K < t_1 \\ 1, & K \geq t_1 \end{cases}$$

$$\delta(K-t_2) = \begin{cases} 0, & K < t_2 \\ 1, & K \geq t_2 \end{cases}$$

如图 2 所示, 这可以表示中间有下凹的曲线, 与丰、枯水期平均流量过程线(图 1)类似.

这些曲线虽然是非单调的, 但还不是任意形状, 对于这种形状的波形变化, 一般要采用拓扑预测. 所谓拓扑预测便是在 $X^{(0)}$ 曲线上, 取一组定值 $\xi_i, i=1, 2, \dots, n$, 称为阈值, 然后来预测每一阈值 ξ_i 所对应的未来时刻, 将未来时刻所有 ξ_i 按时间顺序联成曲线, 便可以得到某种预测值 $t(n_i+k_i)$, n_i 是对应 ξ_i 的数据中

最后一个数的序号, K_i 是未来发生 ξ_i 的时刻. 当 $i=1, 2, \dots, n$ 时, 便有一组预测值 $\{t(n_i+k_i)\}$. 在二维平面上, 有点序列 $\{t(n_i+k_i), \xi_i\}$. 作为拓扑预测, 要求 $\{t(n_i+k_i) \neq t(n_j+k_j)\} (i \neq j)$; 否则称为失效点.

2.3 坝址平均流量预测

根据丰水期、枯水期坝址平均流量过程线(图 1), 取下述阈值:

(1) 丰水期: $\xi_1=1.6 \times 10^4, \xi_2=1.8 \times 10^4, \xi_3=2.0 \times 10^4, \xi_4=2.2 \times 10^4, \xi_5=2.4 \times 10^4, \xi_6=2.6 \times 10^4, \xi_7=2.8 \times 10^4, \xi_8=3.0 \times 10^4, \xi_9=3.2 \times 10^4, \xi_{10}=3.4 \times 10^4, \xi_{11}=3.6 \times 10^4, \xi_{12}=3.8 \times 10^4, \xi_{13}=4.0 \times 10^4$.

(2) 枯水期: $\xi_1=3.5 \times 10^3, \xi_2=4.0 \times 10^3, \xi_3=4.2 \times 10^3, \xi_4=4.6 \times 10^3, \xi_5=4.8 \times 10^3, \xi_6=5.0 \times 10^3, \xi_7=5.2 \times 10^3, \xi_8=5.6 \times 10^3$.

根据阈值, 可以得到时间序列, 再分别建立 GM(1,1) 群, 求出不同阈值的对应的未来时刻, 还原后, 得到预测年份的预测流量值.

2.4 灰色残差周期校正

利用上述丰水期、枯水期平均流量分析建立的 GM(1,1) 群, 预测值与实测值有时偏离较大, 为此, 利用预测值与实测值之残差, 生成残差系列(图 3)^[1]. 可以看出, 残差系列的变化呈不太规律的周期变化, 通过选择不同周期与变幅函数(sin 或 cos 函数) 曲线拟合, 求得各预测时间的残差修正值. 进而预测, 可得到三峡坝址处丰水期、枯水期平均流量.

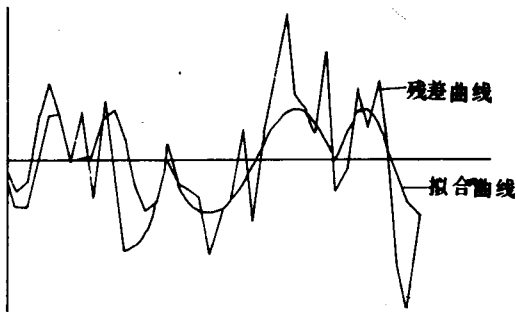


图 3 残差拟合曲线图

Fig. 3 Residual improper curve

表 1 预测流量与实测流量的比较
Tab. 1 Comparison between forecasted and observed discharges

项 目	1974 年		1987 年		2000 年	
	丰水期	枯水期	丰水期	枯水期	丰水期	枯水期
预测流量(m^3/s)	2.31×10^4	4.8×10^3	2.42×10^4	4.5×10^3	2.67×10^4	5.5×10^3
实测流量(m^3/s)	27080	4562	22464	3892	—	—
相对误差(%)	-14.6	5.2	-10.1	15.4	—	—

从表 1 可看出,除 1974 年枯水期平均流量的预测值相对误差较小以外,其它均大于 10% 以上,其主要原因是 GM(1,1) 模型主要是进行趋势预测,它由累加生成后消除原时间序列的随机波动趋势,总的趋势是使来水时间系列均化,但由于本项研究主要是作三峡工程对洞庭湖区洲滩面积变化趋势预测,预测流量大小,并不影响总趋势的变化,因为作比较时,是用同时空来水条件去比较,即对同一种来水,按两种不同的边界条件,一种是建库,一种是不建库,鉴于此,该预测成果仍可应用。

3 三峡工程对洞庭湖区洲滩面积的影响预测

3.1 长江城陵矶流量的预测

根据以上灰色预测,预测出坝址的丰水期、枯水期平均流量,然后建立坝址与城陵矶流量回归方程,预测出建库前城陵矶相应流量。另外,根据三峡水库的调度原则,丰水期减泄,以利防洪,其减泄流量平均 5000—6000 m^3/s ,按汛期平均泄流量 30000 m^3/s ,而相应城陵矶站的泄流流量达 31000—32000 m^3/s ;枯水期增泄,以利发电和航运,枯水期平均增泄流量 2000—3000 m^3/s ,一般枯水期出库调节流量为 5800 m^3/s ,而城陵矶相应流量达 6500—7000 m^3/s ,城陵矶站预测流量见表 2。

3.2 城陵矶站水位预测

建立城陵矶水位—流量关系,可根据两种不同的边界条件(建库前后)由城陵矶的预测流量推求城陵矶站的相应水位,从而求出丰水期、枯水期两种边界条件下的平均水位变幅。

3.3 洞庭湖各代表站相应水位的预测

建立城陵矶站水位与洞庭湖区各水位代表站的回归方程,其相关系数均在 0.83—0.91 之间,经假设检验,相关密切,并预测出两种边界条件下各代表站的丰、枯水期平均水位,从而求出两种边界条件下的平均水位变幅(平均水位差)。

3.4 洞庭湖洲滩面积的变化率(以 1974 年型、2000 年为例)预测

根据预测的洞庭湖区相应水位,分别计算三峡工程对洞庭湖区洲滩面积的影响变化率,为了定量分析,以 1974 年型、2000 年为例,计算结果如表 3 所示。

表 3 三峡工程对洞庭湖区洲滩面积减少率的影响

Tab. 3 Percentages of marshland decrease in Dongting Lake area after building Three-Gorge Project

年 份	东洞庭湖	南洞庭湖			西洞庭湖	
		横岭湖	万子湖	东南湖	大连湖	目平湖
1974 年型	12.1%	15.9%	17.1%	21.4%	23.5%	24.9
2000 年	18.6%	17.7%	19.2%	25.9%	24.8%	26.0%

表 2 城陵矶站 1974 年型和 2000 年建库前后平均流量(m^3/s)预测
Tab. 2 Discharge of 1974-type and 2000 at Chenglinji St. before/after building Three-Gorge Project

	1974 年 ¹⁾		2000 年	
	丰水期	枯水期	丰水期	枯水期
建库前	25100	4900	28400	5700
建库后	17000—18000	6500—7000	20000—21000	6500—7000

1) 1974 年虽未建库,但考虑到由预测的流量来预测洲滩面积的变化,假定按建库后的调度原则预测流量及洲滩面积的变化,以示比较。

3.5 泥沙淤积对洲滩的影响

三峡建库后,可有效地控制上游来水,减少分流入湖的水沙,延缓洞庭湖的淤积,由于建库前后流态发生变化,建库后洞庭湖区的冲淤达到新的平衡状态,与建库前相比总的变化趋势是洲滩面积有减少的趋势。

4 结语

(1)用灰色拓扑预测方法预测坝址天然来水流量,然后根据建库前后两种时空边界条件分别分析计算,可看出,三峡工程的修建有使洞庭湖区洲滩面积明显减小的趋势.具体减少量与天然来水及水库的调度原则有直接关系。

(2)通过表 3 可看出,各湖区洲滩面积的减少率不同年份有差别,同一年份各湖区又有差别,当来水较大时,各湖区洲滩面积减少率基本一致,而来水偏枯时,各湖区洲滩面积减少率差别较大,其主要原因是偏枯年份有部分湖区与长江之间出现断流所致。

(3)灰色拓扑预测模型作为一种趋性预测,具有一定的精度和实际应用价值。

参 考 文 献

- 1 邓聚龙. 灰色系统——社会、经济. 北京:北京国际工业出版社,1985
- 2 李大美,王祥三. The application of stochastic hydrodynamic model to medium-and long-term forecasting for underground water table. 见:郭振泰主编. IAHR 国际随机水力学会议论文集(B卷). 台北:台北出版社,1992. 1-5
- 3 王祥三. 从湖北的地理位置分析洪水对环境的影响. 水利水电科技,1989,(1):53-58
- 4 王祥三,李大美. The application of stochastic hydrodynamic model in river flood forecasting. 见:郭振泰主编. IAHR 国际随机水力学会议论文集(A卷). 台北:台北出版社. 1992. 387-392

Influence of the Three Gorge Project on Marshland in Dongting-Lake Area by Grey System Theory

Wang Xiangsan Li Damei

(Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering, Wuhan 430072)

Abstract

Based on the grey white function generation of Grey System Theory, a whitened differential equation has been established. It can be applied to forecast the discharge regime at the Three-Gorge Project (TGP) Dam site under flood and dry seasons. According to the variations of discharge with/without building TGP, the corresponding influence upon the marshland around Dongting Lake has been forecasted. In the Grey System Theory, a sample information curve is plotted first. After finding a series of time parameters at the curve on the basis of definite values, the GM(1,1) model group of the time parameters is set up. Different regimes such as 1974-type and 2000 year are considered. Based on the forecasted discharges before/after building TGP in Chenglinji Hydrological Station, the marshland decreases in East, West, South Dongting Lake areas are predicted respectively. Preliminary results show that there will be a 12.1%—24.9% decrease for the 1974-type, a 17.7.1%—26.0% decrease for the 2000 year. Further analysis reveals that the decreases of marshland turns out to be greater in West Dongting Lake area than those in East Dongting Lake area.

Key words Grey Forecasting, Three-Gorge Project, Dongting Lake, marshland