

# 三峡库区水质数据时间序列分析预测研究

吴涛<sup>1,2</sup> 颜辉武<sup>1,2</sup> 唐桂刚<sup>3</sup>

(1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)  
(2 武汉大学教育部地理信息系统重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)  
(3 中国环境监测总站, 北京市育慧南路 1 号, 100029)

**摘要:** 阐述了时间序列分析的概念、种类及分析方法, 以三峡库区水质各指标的水期时间序列数据为研究对象, 采用 Holt-Winters 时间序列预测模型进行了水质预测的试验研究。

**关键词:** 三峡库区; 时间序列分析; Holt-Winters 预测模型

中图法分类号: P207

对三峡库区的水质进行监测, 是三峡工程生态与环境监测系统工作的重要组成部分。自 1990 年以来, 国家环境监测总站对三峡库区长江干流监测断面的水质依水期进行了连续监测, 获得了大量的实测历史数据。如何从这些数据中挖掘出隐含的规律性信息, 并据此来预测水质状况变化的趋势, 已成为库区水质管理的现实需要。

## 1 试验数据状况

从 1990 年开始, 寸滩监测断面按照国家地表水监测规范进行了城市江段总体水质的监测, 为反映地表水质质量, 监测指标分别是 DO、COD<sub>mn</sub>、BOD<sub>5</sub>、ArOH、As、Pb、Hg、Cr<sup>6+</sup> 和 Oil 等 9 项标准基本项目。总体水质监测时间按水期统一在 2 月(枯水期)、5 月(平水期) 和 8 月(丰水期) 的上、中旬进行, 其频率是每个水期连续 2 d 采样监测, 对各指标取其采样平均值作为当前水期的监测值。石油类指标因样品前期与后期处理方法存在不一致问题, 数据的代表性、准确性和可比性较差, 未参与评价。笔者以余下 8 项指标 1990 年~ 2000 年连续 10 a 的监测值作为试验数据, 以构成时间序列来进行模型的识别、建立和预测, 同时以 2001 年实测指标数据对模型进行检验, 分析其适用情况并推断出库区城市江段总体

水质监测的预测结论。

## 2 时间序列模型识别

任意一个时间序列模型的建立首先都需对时间序列数据作走势图, 在对其走势进行分析的基础之上, 结合数据信息的先验知识来进行时间序列模型识别<sup>[1]</sup>。笔者从寸滩断面的 8 项时序监测指标中抽取 4 项对历史数据进行了走势图的绘制, 得到其时间序列的数据概貌, 图 1~ 图 4 分别为 4 项监测指标时间序列走势图。

通过对以上 4 项水质指标的时间序列走势图的判读可以看出, 各项指标走势随“季节”变化而变化, 虽然受“季节”影响而产生变化的程度不一

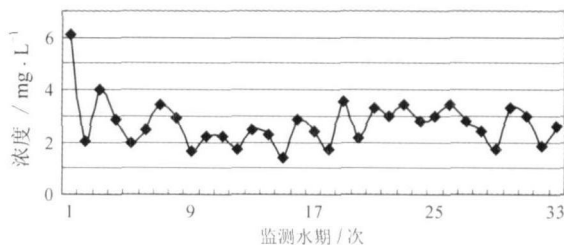


图 1 1990~ 2000 年高锰酸盐指数浓度时间序列走势图

Fig. 1 Time Series Diagram of COD<sub>mn</sub> Index Density from 1990 to 2000

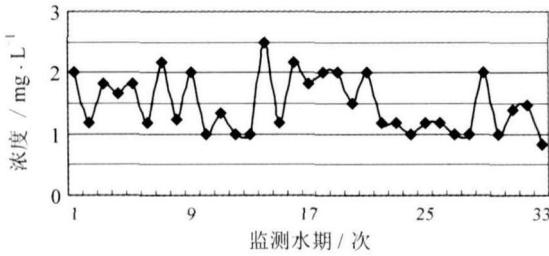


图 2 1990~ 2000 年五日生化需氧量  
指标指数浓度时间序列走势图

Fig. 2 Time Series Diagram of BOD5 Index Density  
from 1990 to 2000

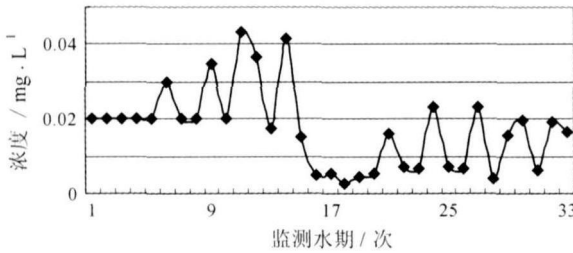


图 3 1990~ 2000 年铅指数浓度时间序列走势图

Fig. 3 Time Series Diagram of Pb Index  
Density from 1990 to 2000

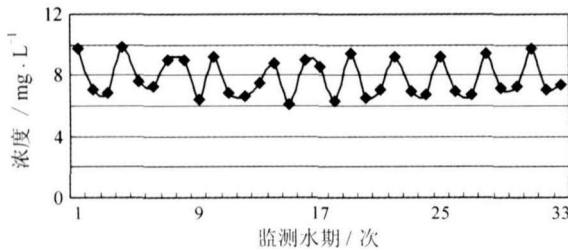


图 4 1990~ 2000 年溶解氧指标指数  
浓度时间序列走势图

Fig. 4 Time Series Diagram of DO Index  
Density from 1990 to 2000

样,有强有弱,但总体来说,都具有趋势和季节变化的特征,故可采用具有趋势性的季节时间序列模型对其进行预测。

### 3 时间序列建模

#### 3.1 时序模型类型的确立

指数平滑法<sup>[2,3]</sup>中的一次指数平滑预测模型适用于资料数据中不包括某种持续的增长或下降趋势的情况,由此所产生的模型通常称为 Holt-Winters 模型,它是一个体现指数加权平均的分解模型,通过对历史数据的加权平均来跟踪数据的变化,用于任何一种没有明显函数规律但确实

存在某种前后关联的带有趋势项和季节变化项的时间序列的短期预测<sup>[4]</sup>。Holt-Winters 模型可分为季节加性和季节乘性两类基本模型。如时序中的季节效应不具有成倍增长的表现,采用 Holt-Winters 加法模型进行预测;而当时序中的季节效应具有成倍增长的表现时,则应采用 Holt-Winters 乘法模型进行预测<sup>[5]</sup>。

由于试验数据没有明显递增或递减趋势,笔者采用季节性变动分析方法中的移动平均数比率法对上述 8 项时间序列样本监测指标数据进行 Holt-Winters 季节加性和季节乘性的推算,由此进一步确定采用 Holt-Winters 加法模型还是乘法模型。令

$$Sm(x_t) = \frac{\frac{1}{2}x_{t-3} + x_t + \frac{1}{2}x_{t+3}}{2}, (4 \leq t \leq n-3)$$

分别计算 8 项监测指标第 4 个监测水期至第 30 个监测水期的  $Sm(x_t)$  值与同期均值水平的比例。计算结果表明,该值在允许误差值的范围内保持恒定,两者间呈比例而非数值增加或减少的相互关系,从而推断出 8 项监测指标时间序列中的季节效应应具有成倍增长的表现,故采用 Holt-Winters 乘法预测模型对监测指标进行预测。

#### 3.2 时序模型方程的建立

基于以上研究,对库区水质数据时间序列构建 Holt-Winters 乘法模型进行预测,预期间隔  $h$  个水期段的水质数据预测方程为:

$$\hat{x}(t, h) = (m_t + hr_t)S_{t-3+h}$$

式中,  $m_t$  表示在水期  $t$  的估计平均值;  $S_t$  表示适合于水期  $t$  的季节因子;  $r_t$  表示在水期  $t$  的估计趋势项,即各水期关于现行平均值的期望增加或减少量。这 3 个系数确立所依据的方程组为:

$$m_t = ax_t/S_{t-3} + (1-a)(m_{t-1} + r_{t-1})$$

$$S_t = bx_t/m_t + (1-b)S_{t-3}$$

$$r_t = c(m_t - m_{t-1}) + (1-c)r_{t-1}$$

式中,  $a, b, c$  为 Holt-Winters 乘法预测模型的平滑常数,  $0 < a, b, c < 1$ , 季节循环数为 3。

#### 3.3 预测值计算

EV views 软件是一个预测分析计量软件,在科学数据分析与评价、金融分析、宏观经济预测、销售预测和成本分析等领域有着十分广泛的应用,能够处理以时间序列为主的多种类型的数据,进行包括描述统计、回归分析和传统时间序列分析等基本数据分析以及建立条件异方差、向量自回归等复杂的计量经济模型。笔者采用 EV views 软件进行 Holt-Winters 乘法预测模型的运算,其

计算的预测结果值与真实值如表1所示。

表1 2001年寸滩监测断面8项指标监测指数浓度

Tab.1 8 Indicators for Forecasting Values of Monitoring Index Density in Cuntan of 2001

水期	COD <sub>mn</sub>	DO	A <sub>r</sub> -OH	BOD <sub>5</sub>	Pb	Hg	As	Cr
	预测值/真实值							
2001年枯水期	2.020 8/	9.479 5/	0.001 167/	1.210 9/	0.012 04/	0.000 091 8/	0.003 31/	0.011 20/
	2.602 5	9.446 1	0.000 999	1.171 6	0.013 32	0.000 1	0.003 86	0.010 16
2001年平水期	2.142 5/	7.709 6/	0.000 946/	1.288 2/	0.013 09/	0.000 086 7/	0.002 92/	0.006 68/
	2.591 4	7.716 8	0.000 937	1.149 2	0.012 40	0.000 1	0.003 75	0.003 09
2001年丰水期	2.784 4/	6.989 7/	0.000 950/	1.072 3/	0.012 14/	0.000 095 7/	0.002 93/	0.011 18/
	2.580 4	7.017 3	0.000 874	1.126 7	0.011 47	0.000 1	0.003 64	0.006 20

### 3.4 模型检验与结果分析

作者采用预测值和真实值之间的相对误差指标来对模型进行8项指标的预测精度的检验,计算公式为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n}}$$

$$\theta = \frac{\sigma}{\bar{Y}} \times 100\%$$

式中,  $Y$  为指标真实值;  $\hat{Y}$  为指标预测值;  $n$  为单项指标预测数目, 本预测情形中其值为3;  $\bar{Y}$  为真实值的平均值;  $\theta$  即为相对误差值, 8项指标的相对误差如表2所示。

表2 2001年寸滩监测断面8项指标监测指数浓度相对误差与自相关系数

Tab.2 The 8 Indicators of Relative Error of Monitoring Index Density in Cuntan of 2001 Year

指标	DO	Pb	BOD <sub>5</sub>	Hg	A <sub>r</sub> -OH	COD <sub>mn</sub>	As	Cr
相对误差/%	0.32	1.28	7.75	9.36	11.38	16.99	18.83	55.45
水期自相关系数	0.653 59	0.567 01	0.174 85	0.122 23	0.121 80	0.076 96	0.074 36	-0.019 84

由表2可知, DO和Pb指标的指数浓度预测值和真实值间的相对误差指标较小, 其预测精度较高, 而As和Cr指标的指数浓度预测精度较低。

依据数理统计学和时间序列分析的基本原理, 笔者采用水期自相关系数的参数表征对产生以上结果的原因进行分析。水期自相关系数衍生于自相关系数, 是指从一组指标的水期监测观测值中取水期循环数间隔进行季节相关性检验的一种方法, 它表明了指标在同水期不同年份间的相关关系, 其值越大表明监测值受季节性影响越大, 反之则越小。水期自相关系数的计算公式为:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-3} (x_t - \bar{x})(x_{t+3} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^{n-3} (x_t - \bar{x})^2}$$

式中,  $x_t$  与  $x_{t+3}$  为各水期监测值;  $\bar{x}$  为指标监测平均值;  $r_k$  为水期自相关系数。

由表2可见, DO和Pb指标的监测指数浓度的水期自相关系数较高, 两项指标值的变化受季节性因素影响较大, 可发现这两项指标的监测指数浓度的季节性时间序列预测结果也是较为准确的。因此, 当库区水质监测指标受季节性因素影

响明显, 更确切地说, 水质监测指标的监测指数浓度的水期自相关系数大于0.5时, 可采用 Holt-Winters 乘法预测模型对其指标值的变化趋势进行预测。

### 参 考 文 献

- [1] 黄廷林. 地表水源水质预测方法研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2004, 36(2): 134-137
- [2] 黄磊. 青岛市大气污染时间序列分析预报方法研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(1): 14-20
- [3] Vaziri M, Borghei M. Time Series Analysis of the Caspian Sea Surface Water Level[J]. Oceanographic Literature Review, 1995, 19(4): 399-405
- [4] Harro B, Nusch E. Advanced River Quality Monitoring in the Ruhr Basin[J]. Water Science and Technology, 1999, 409(10): 145-152
- [5] 李序颖, 岳丹, 顾岚. 我国交通运输量的时间序列分析[J]. 系统工程理论与实践, 2005(1): 49-55

第一作者简介: 吴涛, 博士生。研究方向为空间信息网络服务。

E-mail: wt1118wcl118@263.net

(下转第507页)

## Influence of Tide Model on Mean Sea Level Variation Using Altimetry Data

XU Jun<sup>1</sup> BAO Jingyang<sup>1,2</sup> LIU Yanchun<sup>1</sup>

(1 Department of Hydrography and Cartography, Dalian Naval Academy, 667 Jiefang Road, Dalian 116018, China)

(2 First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 6 Xianxialing Road, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** Variations of sea surface height in the Yellow Sea, East China Sea, South China Sea and Northwest Pacific have been obtained from TOPEX/Poseidon altimetry data corrected by CSR3.0, FES95.2 and the tide model established by authors respectively. It is shown by spectral analyses that sea level variations corrected by CSR3.0 and FES95.2 contain major components which are dominated by the annual and alias periods of principal tides constituent under T/P sampling. Nevertheless, sea level variations corrected by the tide model established by authors represent characteristic of non-tidal effects which means that tidal and non-tidal variations have been segregated correctly. And Fourier analysis shows that power spectral density is in proportion to deviation of CSR3.0 and FES95.2 compared with the tide model established by authors, which verifies the tidal aliasing is the mechanism of major components. In shallow area where the precision of the global tide models is lower, such as the seas adjacent to China, error of the tide models is higher than the real rule of variations of sea surface height in magnitude. Thus particular attention should be paid to the precision of the tide model in calculating variations of sea surface height.

**Key words:** satellite altimetry; variation of sea surface height; tide model; tidal aliasing

---

**About the first author:** XU Jun, postgraduate. His major research is on the applications of satellite altimetry.

E mail: xujun\_1999@yahoo.com.cn

---

(上接第 502 页)

## Prediction on Time Series Analysis of Water Quality in Yangtze Gorges Reservoir Area

WU Tao<sup>1,2</sup> YAN Huiwu<sup>1,2</sup> TANG Guigang<sup>3</sup>

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University,  
129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 China National Environmental Monitor Center, 1 Huiyu Road, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The conception, category and analysis method of time series analysis are stated. On the basis of the time series data about indexes of water quality during different periods of Yangtze Gorges reservoir, it announces the anticipant results by combination of the study of water quality experiment which was done with Holt-Winters time series anticipation model.

**Key words:** Yangtze Gorges reservoir; time series analysis; Holt-Winters time series anticipation model

---

**About the first author:** WU Tao, Ph. D candidate, majors in GIS Web services.

E mail: wt1118wc1118@263.net