

响应函数模型在含沙量预报中的应用

石宝¹, 秦毅¹, 凌燕¹, 李楠¹, 钱云平²

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 黄委会水文局, 河南 郑州 450004)

摘要: 黄河的泥沙问题一直是黄河治理的重点。依据黄河下游“多来多排”的输沙特性, 建立了多输入单输出的含沙量过程预报响应函数模型。经对黄河下游花园口至夹河滩河段洪水含沙量过程预报的检验, 并与常见的神经网络方法相比, 其预报精度优于后者, 且稳定性好。研究表明, 响应函数模型适用于黄河下游河段的含沙量过程预报。

关键词: 含沙量过程; 多来多排; 响应函数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0103-03

中图分类号: TV142

Application of Response Function Model to Sediment Concentration Prediction

SHI Bao¹, QIN Yi¹, LING Yan¹, LI Nan¹, QIAN Yur ping²

(1. Key Laboratory of Northwest Water Resources and Ecenvironment of the Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Hydrology Bureau of YRCC, Zhengzhou, Henan 450004, China)

Abstract: Sediment control is the major work for the management of Yellow River. A response function is established based on the sediment transport characteristic of “more in, more out”. The test for sediment concentration prediction in the lower reaches of Yellow River shows that the response function is better than neural network model. This indicates that response function model is applicable to sediment prediction.

Keywords: sediment concentration; “more in, more out”; response function

黄河的治理主要是围绕泥沙开展的。最近黄委会又提出了新的治理黄河的理念——“维持黄河健康生命”为黄河治理的终极目标^[1]。黄河健康的 4 个主要标志是“堤防不决口, 河道不断流, 河床不抬高, 污染不超标”。其中前 3 个标志都与黄河泥沙有关, 所以解决好黄河泥沙问题, 是维持黄河健康生命的核心问题之一。

我国为解决黄河泥沙问题, 采取了一系列的治理措施, 包括小浪底水库采取“蓄清排浑, 拦粗排细”并进行“调水调沙”的调度运用, 中游河段有计划地放淤, 下游河道有计划地进行“淤滩刷槽”等方式, 所有这些举措都离不开合适的水沙条件和对水流含沙量及泥沙颗粒级配的事先预知。进行黄河含沙量预报, 将为这些措施的实施提供技术支持; 并且能够根据洪水泥沙总量情况, 在资源性缺水的黄河流域, 为“洪水资源化”的调度应用服务; 还能计算河道输沙需水量提供依据。

1 基于“多来多排”的输沙特性的系统响应模型

对于复杂的事物, 水文学的处理方法一般都是寻求影响该事物的主要因素, 回避过多的细节, 从宏观的角度解决问题。系统响应法具有原理简单, 方法灵活, 计算简便, 适用范围广等特点, 是水文学上常使用的一种方法。由于系统响应方法不是物理过程的表达, 而是基于统计规律表达的事物变化的综合结果, 所以其预报效果的好坏直接与所求响应函数的资料有关, 与模型结构对信息利用的能力有关。基于多来多排的响应函数能够反应黄河下游河道输沙特性的信息。

黄河下游河道输沙具有多来多排的特性^[2], 其经验公式为

$$Q_s = K Q_T^a S_T^b \quad (1)$$

式中: Q_s ——床沙质输沙率; Q_T ——下断面流量;

收稿日期: 2007-10-27

修回日期: 2007-11-24

资助项目: “十一五”国家科技支撑项目(2006BA B06B05-2)

作者简介: 石宝(1981—), 男(汉族), 甘肃省白银市人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区水文水资源。E-mail: shifubao@yahoo.com.cn。

通讯作者: 秦毅(1959—), 女(汉族), 江苏省常州市人, 教授, 研究方向为干旱区水文水资源、河流泥沙。E-mail: qinyi2@xaut.edu.cn。

Q_{\pm} ——上断面来水含沙量; K, a, b ——经验参数。

如把河道泥沙汇流过程看成一个线性时不变系统, 就可用线性常系数常微分方程来描述^[3]。考虑到输沙率与含沙量之间存在着确定的关系, 借助多来多排的经验公式这一结构形式, 考虑预报的需要, 将(1)式变成有明确时间意义的形式如下

$$S_{2t} = kQ_{2t}^{\alpha} S_{1t-1}^{\beta} \quad (2)$$

式中: Q_{2t} ——下断面 t 时刻流量, 通过卷积函数模型求出; S_{1t-1} ——上断面 $t-1$ 时刻的含沙量; S_{2t} 是下断面 t 时刻含沙量, k, α 和 β 为经验参数。为了便于分析, 将式(2)这个非线性系统线性化, 即将式(2)两

$$\begin{pmatrix} \ln S_{2_2} \\ \ln S_{2_{2+1}} \\ \dots \\ \ln S_{2_{2+n}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ln Q_{2_1} & 0 & \dots & 0 \\ \ln Q_{2_{2+1}} & \ln Q_{2_t} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \ln Q_{2_{2+n}} & \ln Q_{2_{2+n-1}} & \dots & \ln Q_{2_{2+n-m}} \end{pmatrix}$$

上式简写为

$$Y = X \times H \quad (6)$$

相应各输入的响应函数的最小二乘解为

$$H = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (7)$$

则出口含沙量为

$$S_{2t} = e^{hS_{2t}} \quad (8)$$

2 响应函数模型的应用

花园口至夹河滩系典型的游荡型河段, 以强烈的堆积性“地上悬河”著称于世。这段河道长 106 km, 河道纵比降 20.3‰, 槽宽 3.2~ 4.5 km。一般滩槽高差 1~ 2 m, 有的小于 1 m。河流曲折系数约 1.15,

边取对数得

$$\ln S_{2t} = \ln k + \alpha \ln Q_{2t} + \beta \ln S_{1t-1} \quad (3)$$

根据系统响应函数概念及径流成因公式, 可导出系统响应函数的离散表达形式, 为了计算简单省去其中的常数项 $\ln(k)$, 令 $x(t) = \ln Q_{2t}(t) + \ln S_{1t-1}$, 为系统的输入, 公式如下

$$\ln S_t = \sum_{j=1}^{2m} h_j x - t - j + 1 \quad (4)$$

式中: S_t ——河道出口断面的含沙量; h_j ——河道泥沙演进的响应函数值。其矩阵形式为

$$\begin{pmatrix} \ln S_{1t-1} & 0 & \dots & 0 \\ \ln S_{1t} & \ln S_{1t-1} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \ln S_{1t+n-1} & \ln S_{1t+n-2} & \dots & \ln S_{1t+n-m-1} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} h_1 \\ \dots \\ h_m \\ h_{m+1} \\ \dots \\ h_{2m} \end{pmatrix} \quad (5)$$

比降 17.2‰~ 26.5‰, 花园口至夹河滩系典型的游荡型河段特性为河身宽浅, 水流湍急, 汊流交织, 沙洲众多, 主流摆动不定, 河床由粉和细沙组成, 变形迅速。具有高、中、低 3 级滩地, 由于大量漫流淤积, 使槽、滩经常易位, 主流摆动频繁, 险情丛生^[4-5]。

输入为夹河滩站的流量及花园口的含沙量, 输出为夹河滩的含沙量。选用的资料情况如表 1 所示。

为便于比较, 用同样的资料, 采用反馈网络进行夹河滩站含沙量过程预报^[6-8]。模型采用 3 层网络结构, 输入层为花园口 $t-1$ 时刻的含沙量, 夹河滩 t 时刻的流量, 输出层为夹河滩 t 时刻的含沙量。对检验期洪水含沙量预报结果见图 1。

表 1 含沙量预报建模与检验资料统计

洪号	花园口				夹河滩			
	$Q_{max}/$ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	$Q_{min}/$ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	$S_{max}/$ ($kg \cdot m^{-3}$)	$S_{min}/$ ($kg \cdot m^{-3}$)	$Q_{max}/$ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	$Q_{min}/$ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	$S_{max}/$ ($kg \cdot m^{-3}$)	$S_{min}/$ ($kg \cdot m^{-3}$)
19970804	3 860	484	378.0	31.1	3 090	399	279.0	25.0
19940712	5 170	736	150.0	9.7	4 490	969	95.2	10.9
19900901	3 590	1 150	101.0	19.6	3 310	1 140	58.1	12.2
19880711	3 590	950	78.8	26.6	3 350	58.9	890.0	25.2
19850918	8 260	1 570	53.3	21.4	8 320	1 700	51.6	18.4
19770809	10 800	1 400	809.0	34.8	8 000	1 360	338.0	29.5
19640728	9 430	4 430	78.9	13.1	9 360	4 410	88.6	14.8
19990725	3 340	1 100	174.0	84.7	3 320	1 250	171.0	77.6
19830803	8 180	3 220	42.1	13.9	7 430	3 220	33.0	13.2
19770710	8 100	1 490	546.0	22.0	8 040	1 550	405.0	22.3
19760805	5 120	1 820	63.3	25.4	4 700	1 510	54.3	25.9
19660801	8 480	2 680	247.0	48.1	8 490	2 760	160.0	45.6

率
定
期
洪
水

检
验
期
洪
水

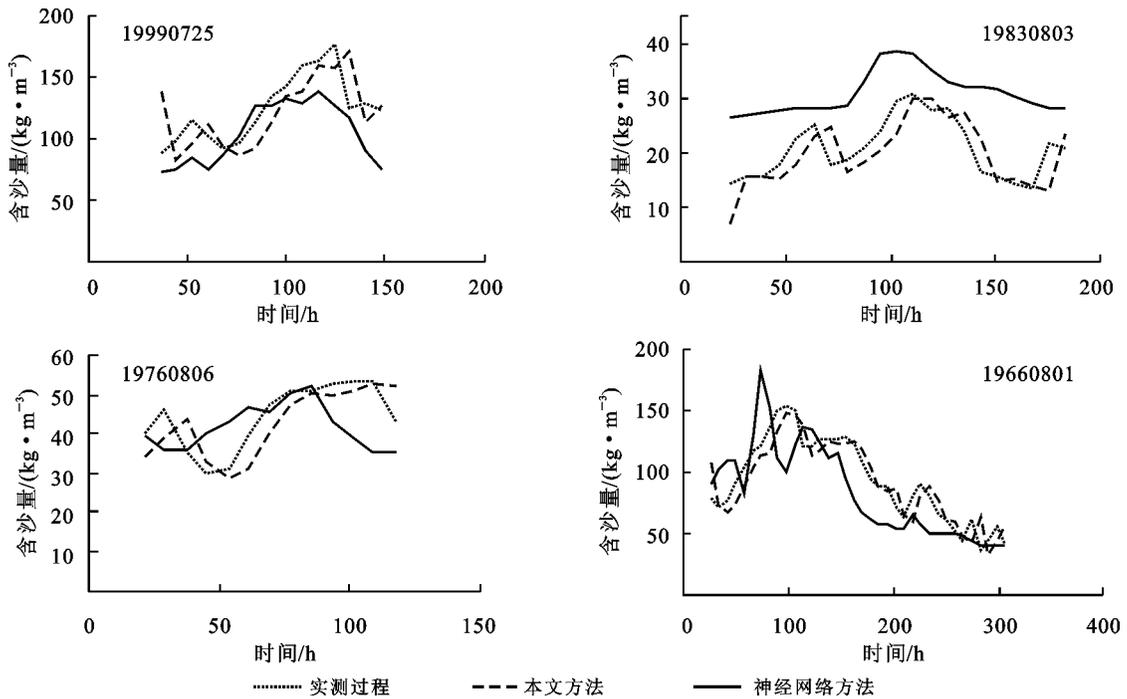


图1 含沙量过程预报效果比较

3 结果与讨论

目前还没有关于含沙量预报效果的评定标准。本文选用洪水的评定标准,按确定性系数评定与检验方案精度的标准进行评定^[9]。目的在于用它们来比较本文所述的方法和神经网络方法的优劣。其中甲等表示确定性系数大于0.9,乙等表示确定性系数在0.7~0.9之间,丙等表示确定性系数在0.5~0.7之间。率定期洪水含沙量过程预报的确定性系数,神经网络甲等、乙等无,丙等占43%,本文方法甲等占14%,乙等占57%,丙等占14%。检验期的确定性系数,神经网络甲等、乙等无,丙等占20%,本文方法甲、乙、丙等各占20%。检验期洪水含沙量的确定性系数,神经网络方法均低于本文方法。

神经网络用于含沙量预报有其不可避免的缺陷,其一是隐层神经元节点个数的选取,隐层神经元节点选得过多,网络的训练速度快,但网络不稳定,隐层神经元节点个数选得少,网络的训练速度慢,还有可能出现过拟合的情况。其二网络训练次数确定不了。从上面可以看出,在相同的输入情况下,响应函数法比神经网络的预报效果好。

只要输入的要素物理概念清楚,所求响应函数的

资料有代表性,模型结构能够反应更多的信息,通过上面要求建立的响应函数一般情况下所求出的结果会较好。

[参 考 文 献]

- [1] 李国英. 黄河治理的终极目标是“维持黄河健康生命”[J]. 人民黄河, 2004(1): 1-3.
- [2] 赵文林. 黄河泥沙[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996: 99-113.
- [3] 文康, 金管生, 等. 地表径流过程的数学模拟[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991: 174-224.
- [4] 宾光楣. 黄河下游游荡性河道治理浅见[J]. 人民黄河, 1987(2): 32-36.
- [5] 山东黄河河务局. 河道整治对黄河下游河道冲淤变化的影响[J]. 人民黄河, 1991(5): 57-60.
- [6] 李鸿雁, 刘晓伟, 李世明. 小浪底至花园口区间含沙量人工神经网络预报方法研究[J]. 泥沙研究, 2004(4): 20-24.
- [7] 翟宜峰, 李鸿雁, 刘寒冰. 人工神经网络与遗传算法在多泥沙洪水预报中的应用[J]. 泥沙研究, 2003(2): 7-13.
- [8] 苑希民, 李鸿雁. 神经网络和遗传算法在水科学领域的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [9] 林三益. 水文预报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001: 229-234.