# 新疆玛纳斯河年径流预报研究

任 政, 郑旭荣, 刘 坤, 雷 雨, 李玉芳
(石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832003)

摘 要: 在进行灰色拓扑理论探讨的基础上, 选取新疆玛纳斯河年径流作为预报对象。建立 GM (1, 1) 灰色拓扑模型群, 通过结论分析, 表明该模型在年径流预报中为一种较为理想的方法。

关键词: 年径流; 灰色模型; 拓扑
中图分类号: S 157.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)05-0190-02

# Study of Annual Surface Flow Prediction in Manas River of Xinjiang

REN Zheng, ZHENG Xu-tong, LIU Kun, LEI Yu, LI Yu-fang
(*College of Water Conservancy and Construction Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang* 832003, *China*)

**Abstract**: The annual surface flow in the Manas River of Xinjiang was chosen as object on the basis of discussion on the grey topological theory. Setting up GM (1, 1) grey topological model groups and through analyzing conclusion, it indicates that such model is a kind of comparatively ideal method in predicting annual surface flow.

**Key words**: annual surface flow; grey model; topology

## 1 引 言

水文现象与大气环流、气候变迁以及流域下垫面等因素密切相关, 从而使得水文现象表现出复杂、多变的不确定性和系统信息的不对称性, 使得年径流预报一直成为难度较大的研究课题。传统的年径流预报主要采用统计方法, 实质是研究一定概率下水文预报值, 它在现行水利工程的规划和设计阶段仍为一种重要的方法。但近年来, 尤其在干旱半干旱地区, 随着水资源的日益匮乏, 人们更多是需要知道在水利工程运行管理阶段年水资源量。因此, 在水文年径流预报实践中, 不少人正在积极探索其它新途径。如模糊数学方法[1]、灰色马尔可夫模型[2]、关联分析法[3]、遗传算法和神经网络[4]等。

影响年径流预报的不确定因素很多, 并且各因子之间关系又无法具体的区分, 因此, 建立年径流预报的概念性模型, 在实践过程中是相当困难的。灰色系统[5]就是将系统视为具有灰色特性, 通过逐步挖掘系统信息, 将其灰色特性淡化、白化、量化、模型化, 通过认识其变化规律, 进而预测系统变化趋势。本文根据玛纳斯河近 30 年的年径流观测资料对未来年径流进行预测。由于玛纳斯河年径流资料变化幅值大(见图 1), 又不具有明显的周期性, 从而使得作为灰色预测模型 GM (1, 1) 模型群的预测方法—拓扑预测方法成为一种比较理想和值得实践的年径流预测方法。

## 2 模型建立及预测[5~6]

### 2.1 灰色模型 GM (1, 1)

灰色理论的模型选择是基于关联度、光滑离散函数等概念以及有限范围内近似的关联度收敛原理、生成数、灰微分方程等观念和方法, 进而建立了微分方程动态模型。

设一时间序列初始离散值为: $X^{(0)} = \{x_1^{(0)}、x_2^{(0)}、\cdots、x_n^{(0)}\}$, 其中一阶累加生成系列为: $X^{(1)} = \{x_1^{(1)}、x_2^{(1)}、\cdots、x_n^{(1)}\}$, 其定义为:

$$X_i^{(1)} = \sum_{j=1}^{i} x_j^{(0)} \quad (i = 1, 2 \cdots n) \tag{1}$$

$X^{(1)}$ 的一阶微分形式定义为:

$$\frac{dx_i^{(1)}}{d_i} + ax_i^{(1)} = b \tag{2}$$

其中 $a, b$ 为待定参数, 将(2) 式进行离散化, 即得:

$$\Delta x_{i+1}^{(1)} + ax_{i+1}^{(1)} = b \tag{3}$$

其中, $\Delta x_{i+1}^{(1)} = x_{i+1}^{(1)} - x_i^{(1)} = x_i^{(1)} + x_{i+1}^{(0)} - x_i^{(1)} = x_{i+1}^{(0)}$; 近似有: $x_{i+1}^{(1)} = \frac{1}{2}(x_{i+1}^{(1)} + x_{i+1}^{(1)})$

代入(3) 式, 得:

$$x_{i+1}^{(0)} + \frac{1}{2}a(x_i^{(1)} + x_{i+1}^{(1)}) = b, \text{即:}$$

$$x_{i+1}^{(0)} = \frac{1}{2}a[-(x_{(i)}^{(1)} + x_{(i+1)}^{(1)})] + b \quad (i = 1, 2, \cdots, n-1) \tag{4}$$

用矩阵表示为:

$$\text{令: } Y = \begin{bmatrix} x_2^{(0)} \\ x_3^{(0)} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n^{(0)} \end{bmatrix}, I = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 1 \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x_1^{(1)} + x_2^{(1)}) \\ -\frac{1}{2}(x_2^{(1)} + x_3^{(1)}) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ -\frac{1}{2}(x_{i-1}^{(1)} + x_i^{(1)}) \end{bmatrix}$$

则(4) 式可改写为: $Y = aX + bI$

将上式可进一步改写为:

① 收稿日期: 2004-10-07
基金项目: 国家科技攻关计划课题(2002BA901A37)
作者简介: 任政(1975- ), 男, 研究生, 从事水文水资源研究。

$$Y=[X \quad I]\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \tag{5}$$

从(5) 式中分析, $X$、$I$ 为观测系列资料值, 要求得(2) 式的微分方程, 必须求解参数 $a$、$b$ 的值, 由最小二乘规则对参数估计, 设 $B=[X \quad I]$, $\theta=[a \quad b]^T$ 得:

$$\hat{\theta}=[a \quad b]^T=[B^T \quad B]^{-1}B^TY$$

将 $\theta$ 代入(2) 式, 其解的离散化形式为:

$$x_{i+1}^{(0)}=[x_1^{(0)}-\frac{\hat{b}}{\hat{a}}]e^{-\hat{a}i}+\frac{\hat{b}}{\hat{a}} \tag{6}$$

将上式(6) 称为 $GM(1,1)$ 的时间响应函数模型。由(6) 通过一次累减运算, 得时间序列的预报模型:

$$\hat{x}_{i+1}^{(0)}=\hat{x}_{i+1}^{(1)}-\hat{x}_i^{1}=(1-e^{\hat{a}})[x_1^{(0)}-\frac{\hat{b}}{\hat{a}}]e^{-\hat{a}i}$$

令: $A=(1-e^{\hat{a}})(x_1^{(0)}-\frac{\hat{b}}{\hat{a}})$, 则:

$$\hat{x}_{i+1}^{(0)}=\hat{A}e^{-\hat{a}i} \tag{7}$$

式中: $x_i^{(0)}$, $i=2,3,\cdots,n$ 为原始序列的模拟值; $\hat{A}$ 为估计常数。

2.2　拓扑预测原理

拓扑预测又称波形预测(据现有波形预测未来的波形变化), 即数据列 $X^{(0)}$ 以点$(i, x_i^{(0)})$, 绘制 $X^0$的二维平面。根据序列数据值域和预报要求的精度取一组阀值 $\zeta_j(k=1,2,\cdots,m)$ 要求: $x_{\min}^{(0)}\le\zeta_k\le x_{\max}^{0}$, $x_{\min}^{(0)}=\overset{\min}{i}\{x_i^{(0)}\}$; $x_{\max}^{0}=\overset{\max}{i}\{x_i^{(0)}\}$。对每一个阀值 $\zeta_k$ 有下述映射:

$$\zeta_k:\{x^{(0)}\}\rightarrow\{mt_i^{(0)}\} \tag{8}$$

$mt_{ik}^{(0)}$是水平线 $\zeta_k$ 与 $X^{(0)}$曲线相切(交) 的第 $i$ 点横坐标值, $\zeta_k$ 与 $X^{(0)}$的交点采用线性内插法获得, 并有下列映射:

$P:\{mt_{ik}^{(0)},\zeta_k\}\rightarrow\{mt_{ik}^{(0)}\}$, $k=1,2,\cdots,m$; $P$ 为横坐标投影算子:

其中: $mt_i^{(0)}=\{mt_i^{(0)}(1), mt_{ik}^{0},\cdots,mt_{in}^{0}\}$令: $\{mt_{ik}^{(0)}=\omega_k$, 则有映射:

$P(mt_{ik}^{(0)},\zeta_k)=\omega_k \quad \omega_k=(\omega_k,\omega_k,\cdots,\omega_k) \qquad i=1,2,\cdots,n$

此外, 在历史资料处理上运用遗忘因子建模思路。即在我们固定资料长度以后, 随新信息的加入, 而去掉老信息。如对 $X^{(0)}$,

$X^{(0)}=\{x_1^{(0)},x_2^{(0)},\cdots,x_n^{(0)}\}$　作等维处理:

$$X^{(0)}=\{\underset{\text{去掉}}{\frac{x_1^{(0)}}{}},x_2^{(0)},\cdots,x_n^{(0)},\underset{\text{增加}}{\frac{x_{n+1}^{(0)}}{}}\}$$

$$X^{(0)}=\{x_2^{(0)},\cdots,x_n^{(0)},x_{n+1}^{(0)}\}$$

采用遗忘因子建模解决了随时间推移, $X^{(0)}$ 数据越来越多的情况, 更重要的是能反映出系统最新信息。从而建立 $GM(1,1)$ 模型群, 对模型群作 1, 2 步预测值, 将其数值描在曲线 $X^{(0)}$ 上作为预测出的曲线未来变化趋势, 得出玛纳斯河年径流未来的状态趋势。

## 3　应　用

玛纳斯河属于内陆河, 位于新疆天山北麓, 年降水量 110～200 mm, 年蒸发量 1 500～2 000 mm, 年径流量为 $12.65\times10^8$ $m^3$, 河道来水为冰川、积雪、降雨混合补给, 流域总面积约 15 000 $km^2$, 红山嘴水文站位于河流的出山口, 以下为石河子市、兵团农八师、昌吉自治州的玛纳斯县、塔城地区的沙湾县和克拉玛依地区的小拐乡等 35 个团场、乡, 河流的水量多少, 直接关系下游地区经济的发展。鉴于此, 本文拟采用灰色拓扑预测方法对河流上游红山嘴水文站的年径流量作预报, 资料序列取水文站 1969～1998 年近 30 年的实测年径流量(如图 1)。

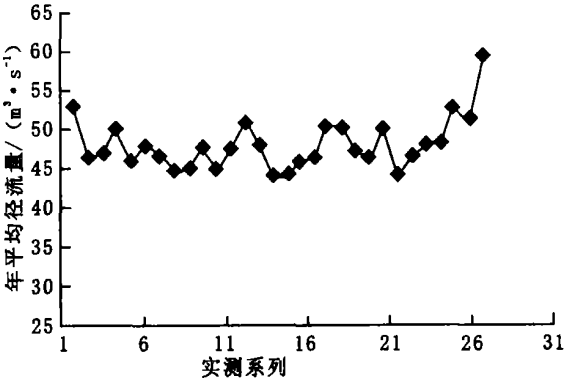


图 1　1969～1998 年红山嘴水文站实测的年平均径流量($m^3/s$)

运用灰色拓扑理论对玛纳斯河流年径流进行预报, 在 1969～1998 年 30 年的数据资料, 将整个系列平均划分 30 等份: 即记每一份为:

$$f=\frac{\max-\min}{30} \tag{9}$$

式中: max —— 系列中最大值; min —— 系列中最小值; f —— 等份量。

分别选取 $k_i=\min+if(i=1,2,\cdots,29)$ 作为划分图 1 中的纵坐标, 寻找 $k_{ij}$ 与图 1 中的图形相交或相切的点, 得出各点的横坐标值, 将获取的横坐标值作为灰色预测的数据(注意: 此处当且仅当数据超过 3 个才能建立 GM(1,1) 模型), 通过 GM(1,1) 模型群, 得出以下预测－实测的比较图(如图 2):

预报精度分析:

绝对误差:　$G_i=[x_i-\hat{x}_i]$　(10)

相对误差:　$g_i=\frac{G_i}{x_i}$　(11)

式中: $G_i$、$g_i$ 分别表示第 $i$ 年预报值与实测值之间的绝对误差和相对误差; $x_i$、$\hat{x}_i$ 分别表示第 $i$ 年的实测值与预测值。

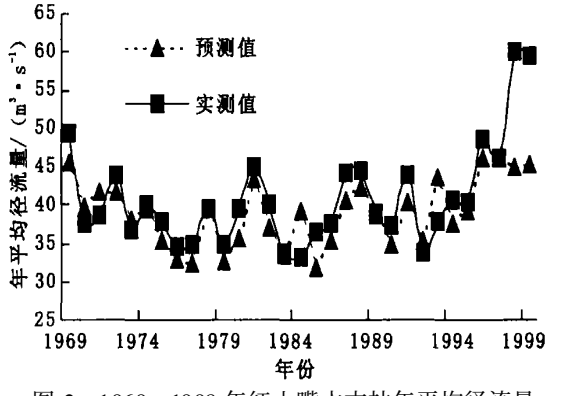


图 2　1969～1998 年红山嘴水文站年平均径流量预报值与实测值比较图($m^3/s$)

系列 1 为预测流量系列; 系列 2 为实测流量系列。

在年径流预报中, 一般要求预报的相对误差不超过 25%。结论分析: 由于 1998 年为丰水年, 玛纳斯河流来水超过一般来水。在进行拓扑影射时, 不能有效的建立 GM(1,1) 模型, 故使得预报的误差偏高。从总体上讲, 灰色拓扑理论运用于玛纳斯河流的年径流预报, 精度很理想。

## 4　结　语

(1) 灰色拓扑预测理论实质上将原系列拓扑后, 进行的

是多步预测, 探求年径流出现的不稳定 "周期", GM (1, 1) 模型为指数函数, 有可能导致误差逐步增加。

表 1 误差分析表

| | 灰色拓扑预测 |
|---|---|
| 最大绝对误差 | 15.1664 |
| 最大相对误差/ % | 25.1934 |
| 合格率/ % | 93.33 |

(2) 灰色拓扑预测理论是高度非线性模型, 能较有效地模拟本质为非线性的实际水文系统。

(3) 作为年径流预报, 灰色拓扑预测理论要求所选用的系列必须具有一定的代表性, 且系列的资料不宜过长, 因为指数函数有导致误差进一步增大。因此, 这就要求在预报未来年份不宜过长, 最好是预报未来 1～2 年的年径流量。

(4) 作为灰色拓扑预测, 实际上为数理统计分析, 它不考虑系列数据的来源。因此, 为了更好的探求未来年径流发生发展趋势, 最理想的方法是建立年径流预测的概念性模型。

参考文献:

[1] 李希灿, 等. 水文中长期预报成因模糊综合分析预测模式[J]. 黑龙江水专学报, 1998, 25(3): 67- 71.
[2] 钱家忠, 等. 矿井涌水量的灰色马尔可夫预报模型[J]. 煤炭学报, 2000, 25(1): 71- 75.
[3] 杨培勇. 中、长期预报中的关联分析方法[J]. 四川气象, 1998, (3): 36- 39.
[4] 阎俊爱, 等. 基于遗传算法的神经网络优化预测模型及其在年径流预报中的应用[J]. 水利水电技术, 2003, 34(6): 64- 67.
[5] 邓聚龙. 灰色控制系统[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1985. 309- 318.
[6] 冯强, 等. 灰色拓扑预测理论在暴雨洪涝灾害预测中的应用[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 98- 103.

(上接第 127 页)

年日温差均很大, 冻融作用破坏了土层结构, 使土层疏松; 另一方面, 春末夏初植物刚刚发芽, 植被度低, 根系固结作用弱, 所以一旦产流, 土壤遭受严重侵蚀。

在相同的雨强和坡度条件下, 黄土坡面产流快, 易形成细沟、浅沟, 使坡地变得破碎, 起伏不平; 在沙黄土坡面则产流慢, 一般在 16～20 min 之后才出现, 形成沟谷的时间较迟, 但演化快。

(2) 在水蚀风蚀交错带的沙坡地, 主要是沙盖的黄土坡地, 由于表层物质的多孔性及可渗透性, 地表径流量很小, 若降雨强度小, 则无径流发生。但是一旦产生径流则含沙量很大。沙坡地的下伏地形是黄土丘陵沟壑, 具有辐散脊和辐合槽。黄土的渗透能力相对于其上部的沙层是弱透水的, 所以从上部渗下来的水, 沿着原始地形的辐合槽以潜流形式流出; 又由于片沙的结构性差, 黏聚力弱, 故一旦下部发生潜流, 上部沙层便发生崩塌, 从而形成了深度远远大于宽度的 U 字型沟谷雏形, 它明显不同于黄土丘陵区的 V 字型沟谷。沟谷的形成过程是垂直渗流一坡面潜流一崩塌。

坡沟系统的演化过程是流沙堆积, 风蚀及水蚀交互作用的结果, 沟谷侵蚀速率慢于黄土丘陵区, 但侵蚀量很大。作者在神木县一些典型坡沟调查测量中发现, 在冬春季节坡沟上、中游被流沙堆积, 厚度达 0.5～0.7 m, 下游被风蚀。由于有松散的流沙堆积物, 到了夏秋季节, 暴雨侵蚀, 径流含沙量骤增。

(3) 在本研究区, 易风化的中生代砂岩和页岩分布很广, 形成了许多石块的粗骨性风化壳。本类物质组成的坡地, 侵蚀量随降雨强度的增加而增加, 但产沙过程却以产流初期最大, 之后趋于稳定(图 1)。

(4) 弃矿渣坡地的侵蚀容易出现滑塌和滑坡, 产沙过程波动明显, 有短暂的高含沙量的泥石流过程。作者曾在坡度为 40 的弃煤渣堆积坡地和 36 的弃石渣堆积坡地进行过人工模拟降雨实验, 虽然径流桶的产沙不多, 但出现煤渣堆积坡的整体下滑, 最大滑距达 25 cm, 滑坡坡长 7 m, 宽度 10 m 的滑坡过程; 煤渣取样容积 1 000 ml, 含煤渣 791.43 g; 弃石渣泥石流过程中的泥浆取样容积 1 000 ml, 含石渣 1 513.4 g。

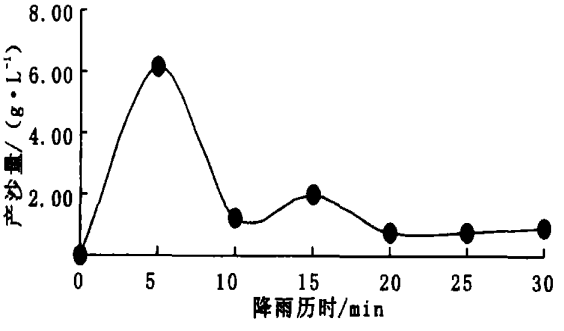


图 1 风化壳斜坡雨强为 2.14 mm/ min 时的产沙曲线

(5) 由于神府东胜矿区开发导致地表剧烈扰动, 地表物质经搬离而重新堆积, 新弃土壤结构疏松, 植被根系稀少, 不能进行很好的固沙保土, 在高强度降雨发生时, 土壤侵蚀严重, 较原状土有近十倍的增加。随着堆积年限的增加, 由于堆积土壤颗粒间重力压实, 以及植被的逐渐增加, 土壤抗侵蚀能力有显著提高。经过实地调查矿区内弃土的生态恢复情况, 发现在一些人为扰动明显的地区植被生长很差, 地表的土壤流失严重。通过分析, 我们认为, 为了保证堆积土的自然生态恢复, 应严格限制人为干扰, 特别是对地表的扰动和对植被的破坏。虽然通过不同地表组成物质、不同雨强、同一物质不同固结程度的人工模拟降雨实验, 初步揭示出水蚀风蚀交错带不同下垫面土壤水蚀过程的一些特性, 但由于野外人工模拟降雨环境的多变性、实验工作时间限制, 实验数据系列较短, 有关详细的不同下垫面土壤水蚀力学机理还需进一步研究; 人为扰动土体自我恢复过程的生态机理是未来加强研究的主体。

参考文献:

[1] Robinson K M, Hanson G J. Large-scale headcut erosion testing[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(2): 429- 434.
[2] 张丽萍, 唐克丽. 矿山泥石流[M]. 北京: 地质出版社, 2001. 77- 87.
[3] Christiansen J E. The uniformity of application of water by sprinkler systems[J]. Agricultural Engineering, 1941, 22: 89 - 92.
[4] 三味工作室. 世界优秀统计软件 SPSS v10.0 for Windows 实用基础教程[M]. 北京: 希望电子出版社, 2001.
[5] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.