

雅鲁藏布江尼洋河流域洪水预报方法研究

张显扬¹,董增川¹,王建群¹,赵军祥²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098; 2. 西藏自治区水文局,西藏 拉萨 850000)

摘要 针对尼洋河流域的水文特性和资料情况,利用基于混合线性回归模型的黑箱子模型方法建立了包括尼洋河流域工布江达、巴河桥、更张、八一等站的流域洪水预报模型,并采用1997~2002年汛期的人文观测资料分别率定各站相应的洪水预报模型,采用2003年汛期的人文观测资料分别验证率定的水预报模型.率定和验证结果表明,所提出的模型方法具有一定的精度,可以用于作业预报.

关键词 洪水预报 水文模模型 黑箱模型 混合线性回归 雅鲁藏布江

中图分类号 P338

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2005)05-0530-04

尼洋河是雅鲁藏布江的支流,发源于拉闸拉、俄拉等山峰上的高原湖泊和冰川,自西向东流经工布江达县、八一镇,在林芝县的鲁定村附近汇入雅鲁藏布江,长286 km,流域面积17 900 km².尼洋河流域属亚热带山地季风湿润气候区,地势高,空气稀薄,尘埃量少,太阳辐射作用强烈,地面对流旺盛,多积雨云,常形成雷暴.多年平均降水量为654.5 mm,每年5~10月为雨季,其降水量占全年降水量的85%左右,持续时间长,易形成流域内洪涝灾害,如1972,1991,1998年.为了做好尼洋河流域洪水预报和防洪减灾工作,有必要研究尼洋河流域重点防洪控制断面的洪水预报方法,开发相应的洪水预报模型和软件.本文在分析尼洋河流域洪水成因的基础上,研究运用混合线性回归模型方法建立尼洋河流域重点防洪控制断面工布江达、巴河桥、更张、八一等洪水过程联合预报模型,即流域洪水过程预报模型.

1 预报方法选择

数十年来,各种水文模型在许多流域广泛应用,如基于系统观点的黑箱子模型(black-box model),对真实物理背景进行假设和概化的概念性模型(conceptual model),基于对水文过程的物理机制充分理解,可以充分考虑参数和变量的空间变异性以及不同单元间水平联系的分布式水文模型(distributed hydrological model).代表性的黑箱子模型有线性扰动模型(LPM)、约束线性系统模型(CLS)、Volterra函数模型、连续的API流域模型及神经网络模型(ANN)等^[1~3];代表性的概念性水文模型有斯坦福(Stanford)模型、萨克拉门托(Sacramento)模型、坦克(Tank)模型、新安江模型^[4,5]等;代表性的分布式水文模型有欧洲水文系统模型SHE^[6]、SWAT模型^[7]、TOPMODEL模型^[8].黑箱子模型简单实用,建模所需要的实测水文资料相对较少,当缺少完整的水文资料难以建立基于水量平衡原理的概念性水文模型时,黑箱子模型是唯一可行的方法.概念性水文模型的参数大多都需要利用实测资料率定,率定的准则是模型的输出和相应的实测值之间误差最小,因而概念性水文模型常常具有较高的精度和实用价值.分布式水文模型的参数大部分都有物理意义,可以根据流域自然地理特征或下垫面信息确定,模型的率定对历史资料的依赖性较小,可以指定有代表性的参数值.因此,分布式水文模型在模拟土地利用、土地覆盖、水土流失变化的水文响应及面源污染、陆面过程、气候变化影响评价等方面显出优势.但是,分布式水文模型结构复杂,计算量大,过多依赖流域地理信息或下垫面信息,因此目前还达不到概念性水文模型的精度,无法用于实时洪水预报.笔者认为,流域洪水预报模型或方法的选择主要依赖于:(a)模型研制者对流域水文特性的数学物理理解;(b)建模所需要的实测水文资料及地理信息等;(c)模型实际运行环境所能得到的报讯资料、天气预测资料及其他资料;(d)模型使用的方便程度及模型的使用者对模型的理解程度.尼洋河流域洪水预报断面工布江达站和巴河桥站洪水过程的主要影响因素是流域降水过

程,但冰雪融水也影响着洪水过程的形成,使得洪水过程呈现出以日为周期的振荡,流域内缺乏雨量站和温度观测点,建立具有融雪径流模块的概念性水文模型十分困难.针对尼洋河流域的水文特性和资料情况,本文采用基于混合线性回归模型的黑箱子模型方法来建立洪水预报断面工布江达站和巴河桥站洪水过程预报模型及流域洪水过程预报模型.

2 混合线性回归模型

设有 mv 个变量 $x_1, x_2, \dots, x_{mv}$, 其中 x_1 是因变量. $x_1, x_2, \dots, x_{mv}$ 的观察值序列为 $x_{ij}, i = 1, \dots, mv, j = 1, \dots, nt$. 定义混合线性回归模型^[9]为

$$x_{1t} = b_0 + b_{11}x_{1,t-1} + \dots + b_{1p_1}x_{1,t-p_1} + \dots + b_{mv,1}x_{mv,t-1} + \dots + b_{mv,p_{mv}}x_{mv,t-p_{mv}} \tag{1}$$

式中, p_i 为各变量的时滞参数, $i = 1, \dots, mv$.

式(1)中,因变量 x_{1t} 不仅依赖于其自身历史值 $x_{1j}, j = t - 1, \dots, t - p_1$, 而且还依赖于自变元的某些历史值 $x_{ij} (j = t - 1, \dots, t - p_i, i = 2, \dots, mv)$. 可以用最小二乘估计法进行模型的参数估计. 混合线性回归模型与经典的线性回归模型不同,经典的线性回归模型没有体现出因变量自身前后及因变量与各自变量“过去”的依赖关系. 混合线性回归模型又与自回归模型不同,自回归模型没有考虑其他变量对因变量的影响.

实际应用中需要从 $p = p_1 + \dots + p_{mv}$ 个备选变量中挑选出对因变量影响最大的一些因子建立回归模型. 在经典回归分析中,要求变量之间是不相关的,而变量 $x_{ij} (j = t - 1, \dots, t - p_i, i = 1, \dots, mv)$ 之间密切相关,不宜使用基于 F -检验的逐步回归方法挑选回归因子. 通常采用近似最小信息准则即 AIC 或 BIC 准则来挑选回归因子,即从高阶模型到底阶模型逐步剔除不重要变元,使准则函数为最小的模型便是近似最佳模型. 设 p 阶模型的拟合残差方差为 $(\sigma_\epsilon^{(n)})^2$, 则相应的 AIC 值和 BIC 值为

$$AIC_n = \ln(\sigma_\epsilon^{(n)})^2 + 2n/p \tag{2}$$

$$BIC_n = \ln(\sigma_\epsilon^{(n)})^2 + n(\ln p)/p \tag{3}$$

按最小信息准则确定最优模型检验全部模型,需要拟合模型的个数为 $2^p - 1$ 个,而从高阶模型到底阶模型逐步按最小信息准则剔除不重要变元的方法,需要检验模型的个数是 $p(p - 1)/2 + 1$, 只是全部模型的一部分,大大减少了计算量,当然这部分模型综合了自变量中最重要的信息,得到的模型是近似最优的.

3 预报模型的建立

尼洋河流域水文观测站仅有 4 个,即工布江达、巴河桥、更张、八一(见图 1). 工布江达站为尼洋河上游基本控制站,控制流域面积 6417 km^2 ; 巴河桥站为尼洋河最大的支流帕桑曲汇入尼洋河前的基本控制站,控制流域面积 4229 km^2 ; 更张站为尼洋河中游基本控制站,控制流域面积 15581 km^2 ; 八一站为尼洋河下游基本控制站,于 1980 年建立,1985 年改为水位站,控制流域面积 16540 km^2 . 根据水文资料统计分析,巴河桥站的水量大小直接影响八一站的水位.

为了做好八一站的水位过程预报,尽可能地提高预见期和预报精度,本文采用流域洪水过程预报模型,即建立工布江达断面和巴河桥断面降雨径流预报模型,由工布江达站和巴河桥站的前期降雨和流量过程分别预报工布江达断面和巴河桥断面的流量过程. 建立更张断面的洪水过程预报模型,由工布江达断面和巴河桥断面的流量过程、更张断面的前期流量过程、工布江达断面和巴河桥断面至更张断面的前期区间降雨过程预报

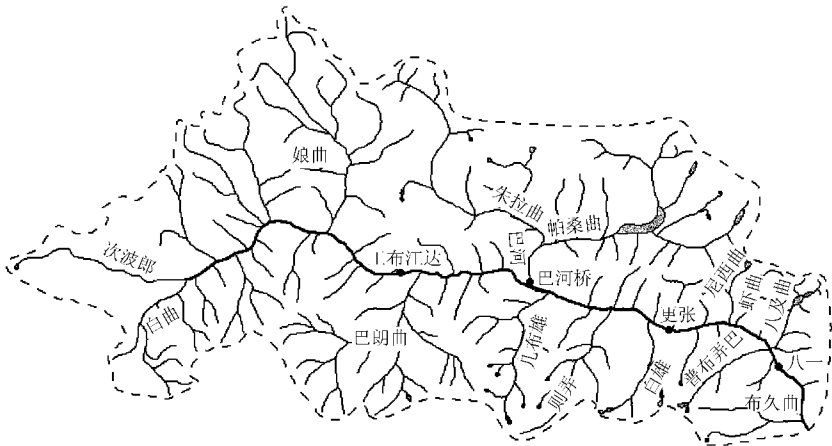


图 1 尼洋河流域水系

Fig.1 Water system of the Niyang River Basin

更张断面的流量过程 建立八一断面的洪水过程预报模型,由更张断面的前期流量过程和八一断面的前期水位过程预报八一断面的水位过程,这样,就建立了工布江达、巴河桥、更张、八一等断面洪水过程联合预报模型,即流域洪水过程预报模型,由工布江达、巴河桥、更张站的前期降雨和流量过程及八一站的前期水位过程预报出八一站的水位过程.根据分析,采用基于混合线性回归模型的方法建立工布江达站、巴河桥站、更张站、八一站洪水过程联合预报模型.

工布江达站、巴河桥站洪水过程预报模型为

$$Q_t = a_0 + b_1 Q_{t-1} + b_2 Q_{t-2} + \cdots + b_r Q_{t-r} + c_0 P_{t-m} + c_1 P_{t-m-1} + \cdots + c_{s-1} P_{t-m-s+1} \tag{4}$$

式中: Q_t —— t 时段末工布江达站或巴河桥站流量; P_t —— t 时段工布江达站或巴河桥站降雨量,时段长6h; $a_0, b_1, \cdots, b_r, c_0, \cdots, c_{s-1}$ ——回归系数; r, m, s ——时滞参数.

更张站洪水过程预报模型为

$$Q_{1t} = a_0 + b_{11} Q_{1t-1} + b_{12} Q_{1t-2} + \cdots + b_{1r_1} Q_{1t-r_1} + b_{21} Q_{2t-1} + b_{22} Q_{2t-2} + \cdots + b_{2r_2} Q_{2t-r_2} + b_{31} Q_{3t-1} + b_{32} Q_{3t-2} + \cdots + b_{3r_3} Q_{3t-r_3} + c_0 P_{t-m} + c_1 P_{t-m-1} + \cdots + c_{s-1} P_{t-m-s+1} \tag{5}$$

式中: Q_{1t} —— t 时段末更张站流量; Q_{2t} —— t 时段末工布江达站流量; Q_{3t} —— t 时段末巴河桥站流量; P_t —— t 时段工布江达站、巴河桥站、更张站3站算术平均雨量,时段长6h; $a_0, b_{11}, \cdots, b_{1r_1}, b_{21}, \cdots, b_{2r_2}, b_{31}, \cdots, b_{3r_3}, c_0, c_1, \cdots, c_{s-1}$ ——回归系数.

八一站洪水过程预报模型为

$$X_t = a_0 + a_1 Q_{2t-1} + \cdots + a_r Q_{2t-r} \quad X_t = Z_{1t} - Z_{1t-1} \tag{6}$$

式中: Q_{2t} —— t 时段末更张站流量; Z_{1t} —— t 时段末八一站水位; X_t —— t 时段末八一站水位涨差; $a_0, a_1, \cdots, a_r$ ——回归系数.

将工布江达站、巴河桥站、更张站、八一站洪水过程预报模型联合运用,即为尼洋河流域洪水过程预报模型.

采用1997~2002年汛期(5~9月)的水文观测资料分别率定相应的洪水过程预报模型,采用2003年汛期的水文观测资料验证各站的洪水过程预报模型,所有率定和验证工作,通过编制计算机软件,在计算机上进行.对于工布江达站, $r=16, m=0, s=12$;对于巴河桥站, $r=12, m=0, s=12$;对于更张站, $r_1=4, r_2=4, r_3=4, m=0, s=4$;对于八一站, $r=4$.率定和验证结果见表1和图2.根据水文情报预报规范^[10],从表1可以看出,巴河桥站的预报精度要高于工布江达站的预报精度,所建立的预报模型有效预见期均为6h,且均可用于作业预报.更张站的有效预见期为12h,预报精度为乙等,可用于作业预报;八一站的有效预见期为24h,预报精度为甲等,可用于作业预报.

4 结 语

本文针对雅鲁藏布江支流尼洋河流域洪水的特点和防洪减灾决策的需求,采用基于混合线性回归模型的方法,建立了尼洋河流域洪水预报模型,率定和验证结果表明,所提出的模型方法具有一定的精度,可以用于作业预报.

流域洪水预报模型的选择依赖于对流域水文特性的数学物理理解和流域实测水文资料及建模所需要的其他资料.随着3S技术和雷达测雨技术、数字天气预报技术的不断发展,将DEM、实时降雨预报以及与表达土壤、植被、地质、水文地质等特性的参数进行时空耦合,在此基础上构建流域水文模型、提高洪水预报的精度,将是流域水文模型未来的发展趋势.

表1 各站预报精度统计

Table 1 Precision of flood forecasting of each station						
站点	预见期/h	年 份	流量均方差/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	确定性 系数	合格 率/%	精度 等级
工布江 达站	6	1997~2002	73.7	0.99	73.7	乙
		2003	74.5	0.98	73.7	乙
巴河桥	6	1997~2002	14.9	0.99	90.7	甲
		2003	19.1	0.99	92.6	甲
更张站	12	1997~2002	42.1	0.99	86.4	甲
		2003	51.7	0.99	81.2	乙
八一站	12	1997~2002	0.05	0.98	99.0	甲
		2003	0.04	0.99	100.0	甲
	24	1997~2002	0.08	0.98	99.0	甲
		2003	0.05	0.99	100.0	甲

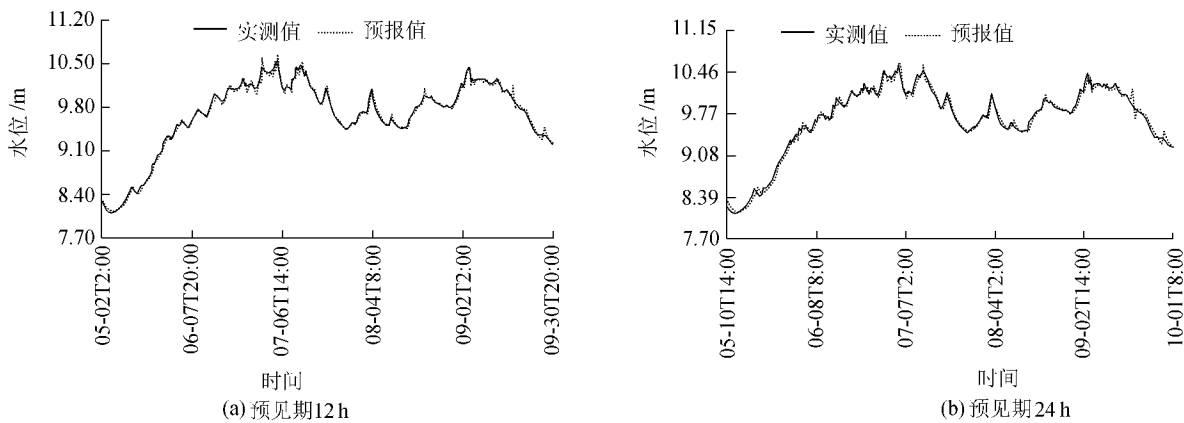


图 2 八一站洪水过程预报检验(2003 年汛期)
Fig.2 Verifying the validity of flood forecasting of the Bayi station for flood season of 2003

参考文献：

[1] 刘金清,陆建华. 国内外水文模型概论[J]. 水文,1996,(4) 4—8.
[2] 葛守西. 现代洪水预报技术[M]. 北京 中国水利水电出版社,1999. 1—23.
[3] HSU K L, GUPTA H V, SOROOSHIAN S. Artifical neural network modeling of the rainfall-runoff process[J]. Water Resources Research, 1995, 31 2517—2530.
[4] 袁作新. 流域水文模型[M]. 北京 水利电力出版社,1990. 1—5.
[5] 赵人俊. 流域水文模拟——新安江模型与陕北模型[M]. 北京 水利电力出版社,1984. 106—146.
[6] ABBOTT M B, BATHURST J, CETAL. An introduction to the European Hydrological System-System Hydrologique European, “SHE” 1: History and philosophy of a physically based Distributed Modeling System[J]. Journal of Hydrology, 1986, 87(a) : 45—49.
[7] 王中根, 刘昌明, 黄友波. SWA T 模型的原理结构及应用研究[J]. 地理科学进展, 2003, 22(1) 79—86.
[8] BEVEN K J, KIRKBY M J. A physically based variable contributing area model of basin hydrology[J]. Hydrological Science Bulletin, 1979, 24(1) 43—69.
[9] 杨位钦, 顾岚. 时间序列分析与动态数据建模[M]. 北京 北京工业学院出版社, 1986. 339—428.
[10] SL250—2000 水文情报预报规范[S].

Method of flood forecasting for Niyang River Basin of Yarlungzangbo River

ZHANG Xian-yang¹, DONG Zeng-chuan¹, WANG Jian-qun¹, ZHAO Jun-xiang²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and

Hydranlic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2 Hydrology Bureau of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000, China)

Abstract According to the hydrologic characteristics and hydrologic data of the Niyang River Basin, flood forecasting models for some hydrological observation stations in the river basin, including the Gongbujiangda station, the Baheqiao station, the Gengzhang station, and the Bayi station, were developed with the black-box model based on the mixed linear regression model. The models were calibrated with the hydrologic data of 1997—2002 in the flood season, and verified with the hydrologic data of 2003 in the flood season. The results show that the models are accurate within acceptable range, and can be used for flood forecasting.

Key words flood forecasting ; hydrological model ; black-box model ; mixed linear regression ; Yarlungzangbo River