

Legendre汇流模型的应用

——以湖北王英水库洪水预报为例

倪煜博 田家俊 孙征安

长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局 重庆 400025

摘要: 以湖北省王英水库为例,分析汇流模型在洪水预报中的应用,采用不同的方案得到的不同精度的洪水预报,采用Legendre汇流模型反演历史洪水过程,评估该汇流模型在洪水预测中的效果。结果表明勒让德汇流模型适合缺乏水文资料的水库流域,其平均确定性系数为95.21%,洪峰相对误差为10.61%,峰现时差为1h大体相同。其中在水文预报中3个常用的指标参数均在合理范围内。

关键词: 汇流模型;王英水库;洪水预报

Application of the Legendre confluence model

— takes the flood forecast of Wangying Reservoir in Hubei province as an exampleProvince

Yubo Ni, Jiajun Tian, Zheng'an Sun

Upper Changjiang River Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Chongqing,400025

Abstract: Taking Wangying Reservoir in Hubei Province as an example, analyze the application of the confluence model in flood prediction, using different schemes, using the Legendre confluence model to reverse the historical flood process, and evaluate the effect of the confluence model in flood prediction. The results show that the Legendre confluence model is suitable for reservoir basins without hydrological data, with an average certainty coefficient of 95.21%, the relative error of flood peak of 10.61%, and roughly the same peak-present difference of 1h. Among them, the three commonly used index parameters in the hydrological forecast are all within the reasonable range.

Keywords: confluence model; Wangying reservoir; flood forecast

一、绪论

(一) 研究背景

洪水灾害是我国极其严重的自然灾害,从受灾人口数量或是经济损失都比较严重。我国地域宽广,地形地貌比较复杂,是属于太平洋季风以及印度洋季风混合影响的季风性气候,在季风气候和自然地理的双重影响下,导致了我国降雨的空间分布极不均匀(南多北少、东多西少),降雨主要集中在汛期,导致水涝灾害频发不断,同时也会引发滑坡泥石流等地质灾害,给当地的居民在生产生活和交通运输等方面的埋藏了很大隐患,所以防洪减灾的任务艰巨而又迫切。

(二) 研究意义

Legendre汇流模型是系统性模型,在对水库防洪预报中,根据提供的降雨和流量资料,就能拟合建立一个预报模式最终的预报结果。以湖北省王英水库为例,采用

Legendre汇流模型,建立了王英水库的洪水预报模型。利用Legendre汇流模型进行王英水库洪水预测的运用是具有可研究性的,一方面拓展了Legendre汇流模型在王英水库的实际应用,同时还更加科学的认识了王英水库的洪水预报,另一方面,结合王英水库的实际,为其在今后的洪水调度以及水库的科学管理提供重要的参考,其可靠性和精确度能够满足洪水预报要求,提高的水利工程的效益,提升对水库的管理和应对灾害的决策水平,更重要的是对水库防洪预报具更好的有效辅助的作用,以及积累更多经验。

(三) 国内外研究现状

1、关于洪水预报理论

水库预报技术最早是源于三十年代初期,许多著名的学者水库预报产生了很多经典的理论。如:1932年谢尔曼提出单位过程线;1933年,霍顿建立下渗公式;1935年麦卡锡等人提出马斯京根法原理。其中单位过程

线和下渗公式为降雨过程计算流量过程打下基础，马斯京根法为河道洪水的演进提供了简便的方法。这些著名的经典成果时至今日仍然广泛的应用在洪水预报中。50年代以来，洪水预报技术随着计算机技术的发展提高很快。在加上其他学科的互相渗透以及学科之间的短板互补研究，更加完善了洪水预报技术，最后形成了经验性预报方法的经典理论基础。60年代以后计算机模拟的各种水文模型，如：新安江水文模型、萨克拉门托模型、水箱模型等等，这些模型在各流域运用至今。

2、关于汇流模型研究

汇流模型是模拟由降水到产汇流，最后形成流域出口断面径流过程的演算模型。方法有黑箱子分析法和概念性模型；斯坦福德的IV型和坦克模型等主要是模拟流域的径流过程。在汇流方面，流域汇流的计算主要有成因分析法和系统分析法两种方法；从谢尔曼单位线提出之后，流域汇流计算的主要方法就是单位过程线；在1934年左贺于提出了线性水库以及瞬时单位线；随后1945年克拉克将等流时线和线性水库两者结合并建立了瞬时单位线，1960年杜格提出一般性流域瞬时汇流单位线、时变水文系统概念和各种流域非线性汇流理论。

3、研究 Legendre 汇流模型在洪水预报的应用

在研究中，Legendre 汇流模型在洪水预报中具有重要意义，通过对地区洪水预报资料，创建最优化的 Legendre 模型，通过相应的演算，找出符合流域的最佳参数。将用遗传算法的方法用于来优选勒让德汇流模型的相关参数，勒让德函数汇流模型是属于系统模型，但只需根据提供的降雨和流量资料，就能拟合建立一个预报模式最终的预报结果可能与实际洪水拟合有所差异。

二、Legendre 汇流模型原理概述

(一) Legendre 汇流模型结构

1、勒让德正交函数族

采用 Legendre 汇流模型进行研究，其勒让德正交函



(二) 模型参数物理意义及率定

对于水文预报模型模拟检验，采用水文预报中3个常用的指标参数，分别为：

1、确定性系数 (DC)

$$DC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^M [y_{ci} - y_{0i}]^2}{\sum_{i=1}^M [y_{ci} - \bar{y}]^2}$$

上式中， y_0 为流量实测值， m^3/s ； y_c 为流量预报值， m^3/s ； \bar{y} 为流量实测值的均值， m^3/s ； M 为模拟资料系列

数族^[1]作为响应函数，其表达式为

$$\begin{cases} P_0(s) = 1 \\ P_1(s) = s \\ P_{k+1}(s) = \frac{2k+1}{k+1} s P_k(s) - \frac{k}{k+1} P_{k-1}(s) \end{cases}$$

公式中， s 取值 $(0, 1, \dots, N-1)$ ； k 取值 $(1, 2, \dots, m-1)$ ，勒让德多项式的区间在 $[-1, 1]$ 范围内，通过计算区间 $t \in [0, N-1]$ 的时候，要把 t 投影到 $s \in [0, 1]$ ，得到关系式 $s = \frac{t}{N-1}$ 。

2、遗传算法

参数率定方面主要选取遗传算法对模型参数进行优选。遗传算法由 Holland 教授提出^[4]。其中，将 n 维决策向量 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 用几个记号 $X_i (i=1, 2, \dots, n)$ 所组成的符号 X 来表示： $X = X_1 X_2 \dots X_n \Rightarrow X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 。

X_i 看作为其中的一个遗传因子， X 就可看作为由遗传因子所组成的染色体，通过交叉遗传、变异等方式不断对“种群个体”筛选选取，直到满足全部的要求。此次研究主要将遗传算法用于优选 Legendre 汇流模型的一些相关的参数。其目标函数为

$$\begin{aligned} \min F(S_m, EX, KSS, KG, KKSS, KKG, \dots) \\ = \min \sum_{j=1}^m (Q(j)_1 - Q(j)_2)^2 \end{aligned}$$

上式中， $Q(j)_1$ 表示实测流量，和 $Q(j)_2$ 计算流量； \dots 表示不同汇流模型相应的模型参数； KKG 代表地下径流流量消退系数； $KKSS$ 代表流域壤中流径流量消退系数，参数取值^[2]如下表1：

表1 模型参数取值表

S_m	EX	KSS	KG	KKSS	KKG
0.9816	0.9284	0.113	0.16	0.943	0.978

3、汇流模型试验流程^[3]如下所示

长度。

2、洪峰相对误差 (DQ_m)

$$DQ_m = |Q_{实} - Q_{模}| / Q_{实} * 100\%$$

上式中， $Q_{模}$ 为模型模拟计算流量； $Q_{实}$ 为实测洪峰流量。当 DQ_m 小于等于 20%，由此可以得出预报洪峰流量是合理的。

3、峰现时差 (DT)

$$DT = |T_{Q_{预}} - T_{Q_{实}}|$$

公式中， $T_{Q_{实}}$ 是实测洪峰时间； $T_{Q_{预}}$ 是预报洪峰时间，

当DT小于等于3h时，由此推出预报的洪峰时间是正确的。

三、王英水库概况

(一) 王英水库流域概况

王英水库是一座以防洪、灌溉为主的综合利用的大(2)型水利工程，其坐落于湖北省黄石市三溪河上游主干王英河上，王英水库坝址距离阳新县城大约30公里，距离三溪镇大约5公里。王英水库流域的多年平均径流总量为2.49亿立方米，多年平均径流深866毫米，多年平均降雨量1423.9毫米。

四、Legendre 汇流模型在王英水库洪水预报的应用

从王英水库中选取030419、040514、040623、0509024场洪水过程进行模拟预报试验。根据收集到的历史水文资料对王英水库的率定期内洪水过程进行试验模拟试验结果如下表2所示：

表2 勒让德汇流模型试验结果

洪水编号	$Q_{实}$ (m^3/s)	$Q_{模}$ (m^3/s)	洪峰相对 误差 (%)	峰现时 差 (h)	确定性系 数 (%)
030419	64.2	75.9	18.19	1	95.62
040514	86.1	92.7	7.74	1	96.84
040623	51.3	59.4	15.88	1	94.63
050902	462.6	465.6	0.65	1	93.76
均值	166.05	173.4	10.615	1	95.2125

从表中可以看出：确定性系数依次为：95.62%、96.84%、94.63%、93.76%，平均95.21%；洪峰相对误差误差不大于20%洪水量级合理；峰现时差都为1h，不大于3h，预报的峰现时间合理。以其中确定性系数高的3场洪水为例，以08时为起报时刻，将0-60hAREM数值预报模型的预报降水数据分别录入水文预报模型^[5]，实验结果如下图1-3所示。

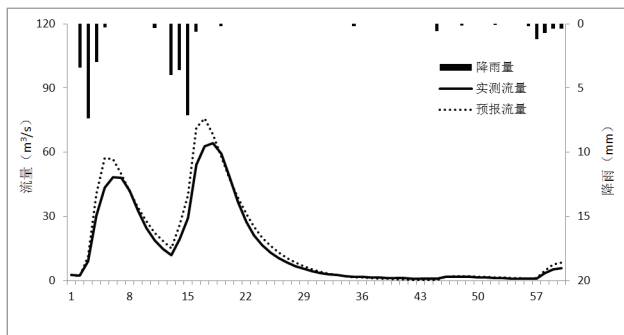


图1 Legendre 汇流模型试验结果与 (030419) 实测值

从图1中可以看出该次洪水的最大降雨量为7.35mm在达到洪峰之前，实测流量和预测流量之间拟合效果最好，拟合线基本吻合。

从图2中可以看出该次洪水的最大降雨量为10.79mm，在到达洪水洪峰前，拟合程度精确度高，拟合线基本吻合。但是，预报洪峰于17点到达，流量为92.72 m^3/s ，实测洪峰于18点到达，流量为83.65 m^3/s 。

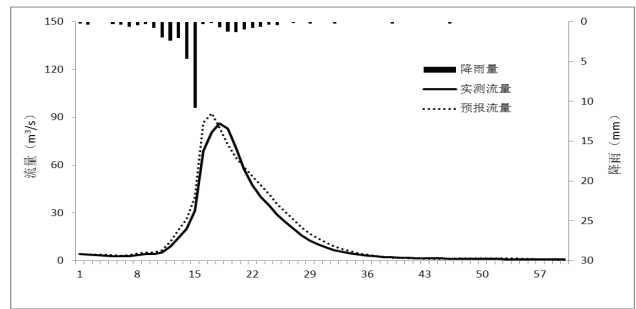


图2 Legendre 汇流模型试验结果与 (040514) 实测值

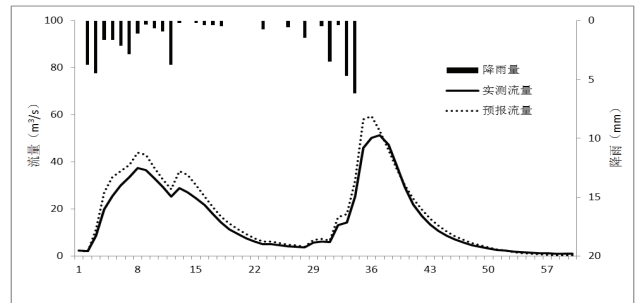


图3 Legendre 汇流模型试验结果与 (040623) 实测值

从图3中可以看出降雨量普遍较多，最大降雨量为6.175mm。图中第一次实测洪峰流量为36.46，预报流量为42.98；第二次实测洪峰流量为26.95预报流量为34.50；第三次实测洪峰流量为51.27，预报流量为59.42，只有第三次预报洪峰比实测的要早到达。

五、结论

通过勒让德汇流模型对王英水库进行的洪水预报情况，得出以下3点结论：

- 1、勒让德汇流模型的平均确定性系数为95.21%，洪峰相对误差为10.61%，峰现时差为1h大体相同。
- 2、对于一些缺乏水文资料的水库流域来说，勒让德汇流模型是给出一定时间的实况降雨量和流量资料就可以建立起的一个水文预报的模型，并且在一定程度是为水库的科学调度提供依据。
- 3、本次试验采用的资料系列较短，要在中长期的水文规律进行较好的模拟，还需进行大量的试验模拟，进行不断的尝试。

参考文献：

- [1]颜庆津.数值分析[M].北京：国防工业出版社，1999.
- [2]熊立华.水文模型参数优选中率定与校核目标函数的关系研究[J].石河子大学学报（自然科学版），2006，01：1-4.
- [3]芮孝芳.建立汇流模型的途径和确定模型参数的方法综述[J].河海科技进展，1993，02：59-63.
- [4]曹慧卿，高峰.一种新的优化方法——遗传算法及其应用[J].机械设计与制造，1997，02：15-16.
- [5]殷志远，彭涛，王俊超，等.基于AREM模式的贝叶斯洪水概率预报试验[J].暴雨灾害，2012.31（1）：1-6.