

# 石头河流域产流预报模型研究

王双银<sup>1</sup>, 冯国章<sup>1</sup>, 宋松柏<sup>1</sup>, 张玉香<sup>2</sup>, 周峰<sup>3</sup>, 王效文<sup>3</sup>, 李毅<sup>3</sup>

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100; 2 杨陵职业技术学院 水利系, 陕西 杨陵 712100;  
3 陕西省石头河水库管理局, 陕西 眉县 722300)

**[摘要]** 通过对石头河流域降雨径流关系的分析, 选取斜峪关水文站 1954~1978 年的 61 场典型洪水, 建立了该流域蓄满产流模型, 模型评定的合格率为 91%, 确定性系数为 0.890; 并用 1979~1980 年斜峪关水文站的 10 场典型洪水对模型进行了检验, 合格率为 70%, 确定性系数为 0.921, 均达到乙等预报方案。

**[关键词]** 石头河流域; 产流预报; 预报模型

**[中图分类号]** TV 121.7

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1000-2782(2001)06-115-04

洪水灾害是当今世界的主要自然灾害之一。据报道<sup>[1]</sup>, 全世界每年自然灾害损失中水灾损失约占 40%, 其经济损失和人员伤亡均居首位。我国自古以来就是遭受洪灾程度最严重的国家之一, 且发生频率高, 历时长, 范围广, 如 1991 年我国大洪水直接经济损失达 725 亿元<sup>[2]</sup>, 1998 年大洪水直接经济损失 2 551 亿元, 成灾面积 1 378 万  $\text{hm}^2$ <sup>[3]</sup>。防御洪水是我国一项长期而艰巨的任务。但是, 由于洪水是一种自然现象, 按目前的技术和经济水平, 要完全控制是不现实的。防洪的意义在于采取一切可能措施, 尽可能减少洪水损失。目前, 世界各国采用的防洪措施可分为两大类, 一是工程措施, 以水利工程手段改变洪水的天然特性; 另一类是非工程措施, 通过洪水预报、警报、防洪调度、分洪、滞洪和立法、洪水保险、洪泛区管理以及植树造林等非工程措施减缓灾害或改变损失的分摊办法。有效的防洪措施应是工程和非工程相结合的综合措施, 如通过提高洪水预报的精度, 合理地进行水库汛期的防洪调度, 以使洪水所造成的损失降到最低。本研究的目的是建立陕西省石头河水库入库洪水预报模型。

## 1 石头河流域概况

### 1.1 流域自然地理及工程概况

石头河是渭河南岸较大的一级支流, 发源于秦岭北麓太白山区, 流域面积 778.7  $\text{km}^2$ 。河流自南向北流经太白, 于眉县斜峪关出峪口, 再向北流 15 km

入渭河。干流全长 51.5 km, 河道比降 1/60~1/70。石头河流域斜峪关以上为山区, 上游位于太白山自然保护区, 林木茂盛, 植被良好, 水流清澈, 水质优良。斜峪关以上 1.5 km 的温家山干流上建有石头河水库, 坝址控制流域面积 673  $\text{km}^2$ 。该水库是一座综合利用的大型水库, 总库容 1.47 亿  $\text{m}^3$ , 专用防洪库容 0.36 亿  $\text{m}^3$ <sup>[4]</sup>, 是渭河防洪系统的主要工程之一。

### 1.2 流域气象条件

石头河流域的水汽主要来自孟加拉湾和南海两处海洋。在太平洋副热带高压的影响下, 随西南季风和东南季风带来大量孟加拉湾和南海的水汽, 在冷暖锋相遇时, 锋面抬升, 大气中的水汽迅速凝结, 往往形成较强降水(暴雨)<sup>[5]</sup>。一般而言, 5~6 月份, 由于冷暖气团活动比较剧烈, 加上秦岭山脉的地形影响, 石头河流域内往往出现局部暴雨或大面积降雨, 河水陡涨陡落, 但洪峰和洪量相对较小。7~9 月份, 寒潮和冷湿气流常沿青藏高原东北边缘南下, 后受秦岭山脉阻挡, 行进速度减慢并侵入渭河流域, 此时, 西南暖湿气流经四川盆地北上, 越过秦岭到达关中, 与南下冷空气遭遇, 往往形成连续的大面积降雨, 多降雨强度大, 历时长, 造成洪水峰高量大。10 月份以后, 冷暖气团活动相对减弱, 加之秦岭南湿润空气受气候因素制约而越过秦岭的可能性减小, 出

[收稿日期] 2001-03-14

[基金项目] 教育部高等学校全国优秀博士学位论文作者专项资金(200052); 陕西省水利厅课题“石头河水库信息管理系统”

[作者简介] 王双银(1969-), 男, 甘肃镇原人, 讲师, 主要从事水文水资源的研究。

现较强降雨和面积连续降雨的机会和可能性也相对减少。

## 2 典型洪水选择与净雨深计算

### 2.1 洪水选择

进行入库洪水预报时,首先需对各种历史洪水的有关特征及特征量进行分析计算。根据对掌握的降雨与径流同期资料等的分析,选取斜峪关水文站 1954~1980 年的 71 场实测洪水,作为入库洪水预报的洪水分析对象。洪水选择中,尽量考虑选取全流域降水且暴雨中心位置不同时所形成的洪水过程,并适当选取不同峰形(单、复峰)的洪水过程。

### 2.2 次洪水径流量(净雨深)分析与计算

首先绘制出斜峪关水文站的退水曲线,并以此分割洪水过程,计算出每次洪水的次洪水径流量。由于地下径流出流较缓慢,往往使得退水段的尾巴拖得很长,计算比较困难,本研究采用比较简便的几何图形法计算径流量。

## 3 石头河流域产流模型

### 3.1 产流模型选择

流域产流模型一般可分为蓄满产流、超渗产流和综合产流 3 种<sup>[6,7]</sup>。蓄满产流一般较适合于地下水位较高、包气带较薄的地区,它是以满足包气带缺水作为产流的控制条件;超渗产流一般适合于地下水位较低、包气带较厚的地区,它是以降雨强度是否大于入渗强度作为产流的控制条件;综合产流结合了蓄满产流和超渗产流的特点,在理论上适合所有地区,但是要求有很详实的降雨径流资料。根据石头河流域的下垫面情况、降雨特性以及现有的实测资料,选取蓄满产流作为其产流模型。

### 3.2 蓄满产流模型的建立

蓄满产流以满足包气带缺水为产流的控制条件,降雨强度不是这些地区产流的主要影响因素。在流域全面蓄满的情况下,产流量可用简单的水量平衡方程式表示:

$$R = P - (W_m - W_0) - E \quad (1)$$

式中, $R$  表示次降雨形成的总径流深(mm); $P$  表示次降雨总量(mm); $W_m$  表示流域平均最大蓄水量(mm),本文采用  $W_m = 70 \text{ mm}^*$ ;  $W_0$  表示降雨开始时流域平均实际蓄水量(mm),选用前期影响雨量  $P_a$  代替; $E$  表示雨期蒸发量(mm)。

3.2.1 流域平均降雨量( $P$ )的计算 石头河流域设有 5 个雨量观测站(桃川雨量站、高码头雨量站、杜家庄雨量站、鸚鵡水文站及斜峪关水文站)。由于流域地处秦岭北麓,地形地貌比较复杂,理应用等雨量线法推求面雨量,但限于雨量站的数量,本研究采用加权平均法(泰森多边形法)计算流域平均降雨量。

3.2.2 前期影响雨量( $P_a$ )的计算 前期影响雨量  $P_a$  的计算公式为

$$P_{a,t} = K P_{a,t-1} \quad (2)$$

式中, $P_{a,t}$  和  $P_{a,t-1}$  分别为第  $t$  天和第  $(t-1)$  天开始时的前期影响雨量(mm); $K$  为流域蓄水量的日消退系数,每个月取 1 个平均值。

若前一天有降雨量  $P_{t-1}$  且不产生径流,则式(2)可改写为

$$P_{a,t} = K (P_{a,t-1} + P_{t-1}) \quad (3)$$

要推求出第  $t$  天的前期影响雨量,必须计算出流域蓄水量日消退系数  $K$ ,其计算式为

$$K = 1 - \frac{E_m}{W_m} \quad (4)$$

式中, $E_m$  为流域蒸散发能力(mm),可用 E-601 蒸发皿的实测值代替。由于石头河流域只有斜峪关和鸚鵡水文站两处有蒸发量观测资料,显然不能够用来代替整个流域的情况。本研究用宝鸡市多年平均年水面蒸发量等值线图(E-601)来间接推求,从该图可查得,斜峪关断面以上流域中心处的多年平均水面蒸发量为 709.5 mm,并用它作为流域多年平均蒸散发能力。其逐月值用水面蒸发量的逐月观测值占年水面蒸发量的百分比求得。

3.2.3 降雨径流量的计算 流域蓄水容量在流域内的分布是很复杂的,要想用直接测定土壤含水量的办法来建立蓄水容量曲线是很困难的。一般是由实测的降雨径流资料选配线型,间接确定蓄水容量曲线。目前在国内使用的有两种线型<sup>[6]</sup>:一种是南方湿润地区和北方部分地区普遍使用的华东水利学院提出的抛物线方程;另一种是辽宁东部河流使用的指数方程。由于石头河流域地处北方,但属半湿润地区,所以本研究采用抛物线方程:

$$\frac{E_0}{F} = 1 - \left[ 1 - \frac{W}{W_m} \right]^b \quad (5)$$

式中, $b$  表示抛物线指数,其值一般为 0.2~0.4; $W$  和  $W_m$  分别表示点的包气带蓄水量和蓄水容量

\* 宝鸡市水利水土保持局 宝鸡市实用水文手册 1990

(mm);  $F$  表示全流域面积 ( $\text{km}^2$ );  $F_0$  表示流域内小于等于  $W_m$  的各小块面积之和 ( $\text{km}^2$ )。

径流深的计算, 可分两种情况推导:

(1) 当  $P + P_0 < W_m$  时

$$R = \frac{P + P_0}{F} \int_{F_0}^F dW = P - (W_m - W) + W_m \left( 1 - \frac{P + P_0}{W_m} \right)^{b+1} \quad (6)$$

(2) 当  $P + P_0 > W_m$  时

$$R = P - (W_m - W) \quad (7)$$

式中,  $P_0$  表示流域蓄水容量曲线上与  $W_0$  相应的纵坐标值, 其他符号意义同前。

通过计算发现, 采用流域全面蓄满的计算公式(式(1))和采用抛物线型蓄水容量曲线(式(6)和式(7))计算结果差异很小。这说明石头河流域基本属全面蓄满产流情况。

### 3.3 蓄满产流模型的评定与检验

根据前面介绍的蓄满产流模型分析计算的成果, 建立斜峪关水文站的产流(降雨径流)预报模型——降雨-径流相关图进行产流预报。对预报方案的有效性, 采用确定性系数和合格率进行评定和检验<sup>[8]</sup>。

确定性系数的计算公式如下:

$$d_y = 1 - \frac{S_e^2}{\sigma_y^2} \quad (8)$$

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2}{n}} \quad (9)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n}} \quad (10)$$

式中,  $d_y$  表示确定性系数;  $S_e$  为预报值误差的均方差;  $\sigma_y$  为实测系列的均方差;  $Y_i$  为实测值;  $\hat{Y}$  为预报值;  $\bar{Y}$  为实测值的均值;  $n$  为系列点次的个数。

3.3.1 模型评定 选取斜峪关水文站 1954~1978 年的 61 场典型洪水建立模型, 其中合格 52 场(单峰 22 场, 复峰 30 场), 不合格的 9 场(单峰 6 场, 复峰 3 场), 合格率为 85.2% (其中单峰 78.6%, 复峰 90.9%), 确定性系数为 0.890, 达到乙等(图 1 和表 1)。

3.3.2 模型检验 用 1979~1980 年斜峪关水文站的 10 场典型洪水(单峰 7 场, 复峰 3 场)对模型进行检验, 合格 7 场(单峰 5 场, 复峰 2 场), 合格率为 70% (单峰 71%, 复峰 67%), 其中优 10%, 良 20%, 合格 40%; 确定性系数为 0.921(图 1, 表 1)。

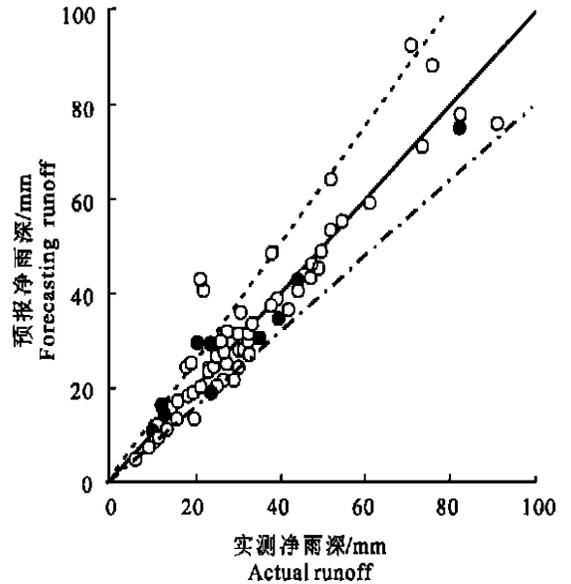


图1 蓄满产流模型预报评定检验

○. 评定; ●. 检验; ——. 1:1 线;  
- - - . +20% 线; - · - · . -20% 线;

Fig.1 Assessment and test of runoff yield at natural storage

○. Assessment; ●. Test; ——. 1:1 line;  
- - - . +20% line; - · - · . -20% line;

表 1 石头河流域蓄满产流模型检验

Table 1 Runoff yield model test at natural storage of Shitouhe watershed

项目 Name	确定性系数 Deterministic coefficient	合格率/% Qualified ratio	相对误差/% Relative error		
			平均 Average	最大 Max	最小 Min
评定 Assessment	0.890	85	13.4	101.9	0
检验 Test	0.921	70	17.4	43.2	3.2
总体 Total	0.894	83	14.0	101.9	0

## 4 结论与建议

从前面分析可以看出, 本研究对石头河流域所提出的全面蓄满产流预报模型, 不管是模型的评定、检验或是模型总体, 都达到了乙等预报方案, 根据水文情报预报规范<sup>[8]</sup>, 完全可以用于作业预报。

石头河现有雨量站在流域内分布很不均匀, 全部都位于中游区域, 且缺乏短时段记录资料, 这是造成模型精度较低的主要原因之一。要提高石头河流域产流预报精度, 必须对雨量监测站点进行加密, 建立雨情自动测报系统, 并在此基础上进一步对流域产流特性进行研究。

## [参考文献]

- [1] 潘理中, 邢迎光, 曹 愉. 国外防洪非工程措施综述[J]. 水文科技情报, 1989, (3): 1- 10.
- [2] 陈永柏, 方子云. 洪水影响的综述[J]. 水科学进展, 1994, (1): 78- 84.
- [3] 中华人民共和国水利部. 中国'98大洪水[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999. 16- 17.
- [4] 陕西省地方志编纂委员会编. 陕西省志(第13卷)·水利志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1999. 216- 220.
- [5] 余汉章编著. 陕西水文[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1987. 13- 27.
- [6] 长江水利委员会主编. 水文预报方法[M]. 第2版. 北京: 水利电力出版社, 1993. 98- 120.
- [7] 许大同, 安德顺, 何长春. 流域综合产流模型的探讨[A]. 长江流域规划办公室汇编. 水文预报论文选集(1981年全国水文预报学术讨论会)[C]. 北京: 水利电力出版社, 1985. 18- 24.
- [8] 水利电力部水文水利调度中心主编. 水情报预报规范(SD138-85)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.

## Runoff forecasting model in the Shitouhe Watershed

WANG Shuang-yin<sup>1</sup>, FENG Guo-zhang<sup>1</sup>, SONG Song-bai<sup>1</sup>,  
ZHANG Yu-xiang<sup>2</sup>, ZHOU Feng<sup>3</sup>, WANG Xiao-wen<sup>3</sup>, LI Yi<sup>3</sup>

(1 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Department of Hydraulic Engineering, Yangling Vocation and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 Management Bureau of Shitouhe Reservoir, Meixian, Shaanxi 722300, China)

**Abstract:** Based on 61 typical flood data from 1954 to 1978 at Xieyuguan Hydrologic Station, the paper analyzes the relationship between precipitation and runoff, and develops a runoff forecasting model. The qualified ratio of evaluating the model is 91% and deterministic coefficient of evaluating the model is 0.890. The paper tests the model using 10 typical flood data at the station from 1979 to 1980, the qualified ratio is 70% and deterministic coefficient is 0.921. The forecasting results of the model are the second standard level.

**Key words:** Shitouhe watershed; runoff forecasting; forecasting model