



---

# 《水文预报》 课程设计报告

---

(2014 级)



学生姓名： 韦昭华

学 号： 2014301580040

指导老师： 陈杰

专 业： 水文与水资源工程

武汉大学水利水电学院

水文水资源系

二〇一六年十一月•武汉

## 目录

一. 概述.....	2
1.1 流域概况.....	2
1.2 流域水文资料.....	2
1.2.1 老灌河流域水文资料的整理.....	2
1.3 任务要求.....	3
二. 流域产流方案.....	4
2.1 流程方案.....	4
2.2 流域蒸散发.....	4
模型参数:.....	5
2.3 蓄满产流.....	6
2.3.1 基本原理.....	6
2.3.2 蓄水容量曲线.....	6
2.3.2 降水产流量计算.....	7
模型参数: .....	8
2.4 三水源划分.....	9
2.4.1 自由水的蓄水流量曲线.....	9
2.4.2 流量计算.....	10
模型参数: .....	11
三. 流域汇流方案.....	12
3.1 概述.....	12
3.2 汇流划分.....	12
3.2.1 地面径流汇流.....	12
3.2.2 壤中流流汇流.....	13
3.2.3 地下径流汇流.....	13
模型参数: .....	14
四. 预报方案检验.....	15
4.1 概述.....	15
4.2 精度评定.....	15
4.2.1 误差指标.....	15
4.2.2 许可误差.....	16
4.2.3 预报项目精度评定.....	16
4.3 模型精度评定结果分析.....	17
4.3.1 率定期评定.....	17
4.3.2 检验期评定.....	19
五. 存在的问题与改进方案.....	22
参考文献.....	23
结语 .....	23
附件: .....	24
1) 程序.....	24
2) DC 计算 excel 表格截图.....	31

# 一. 概述

## 1.1 流域概况

老灌河流域位于河南省境内西南部，地处湖北、陕西、河南三省交界处，为南水北调中线水源地丹江口水库上游一大主要入库支流，主要干流长 255km，年径流量 6.6 亿  $\text{m}^3$ ，流域面积 3418 $\text{km}^2$ 。老灌河流域雨量充沛、洪水频繁，峰高量大，符合蓄满产流模型的应用条件。

老灌河部分流域图



## 1.2 流域水文资料

### 1.2.1 老灌河流域水文资料的整理

西峡站水文站控制集水面积 3418 $\text{km}^2$ ，流域内有香山、黄坪等 17 个雨量站，各站均有较长期的实测雨量资料（1980~1990）。在洪水预报方案的研制中，已经将 1980~1986 年资料作为模型率定期，选出了 25 场暴雨与老灌河同期实测流量资料作为优选产流参数和汇流过程的依据。现需要将预留的 1987~1990 年资料进行整理，为模型产汇流方案检验提供场次洪水资料。资料的整理和数据文件的组织都已通过编制的软件由计算机完成。

#### 1. 暴雨洪水场次的划分

1987~1990 年洪水与暴雨场次的大致划分如表 2 所示：

表 2 西峡站次洪水统计表

NO	洪号	流量起止时间	实测洪峰(m <sup>3</sup> /s)	实测峰现时间	模拟洪峰(m <sup>3</sup> /s)	模拟峰现时间	实测洪水总量(mm)	模拟洪水总量(mm)
1	870606	06.04-06.10						
2	870806	08.04-08.10						
3	870720	07.17-07.26						
4	870904	09.02-09.09						
5	880815	08.12-08.19						
6	880914	09.12-09.17						
7	890711	07.10-07.20						
8	890726	07.23-08.01						
9	890816	08.15-08.25						
10	890911	09.07-09.18						
11	900502	04.30-05.08						
12	900626	06.23-06.30						
13	900721	07.19-07.26						

## 2. 场次洪水径流深的推求

老灌河流域退水曲线中蓄泄系数  $K=48$  小时

### 1.3 任务要求

本课程设计的主要任务是：根据建立的流域洪水预报方案，应用预留的水文资料，对此方案进行检验。具体工作内容如下：

- （一）、流域暴雨洪水场次资料的整理。
- （二）、流域产流方案的检验。
- （三）、流域汇流方案的检验。
- （四）、流域洪水预报方案的评定。

## 二. 流域产流方案

### 2.1 流程方案

本方案采用蓄满产流模型，应用新安江模型。主要过程分为流域蒸散发的三层蒸发计算、蓄满产流计算、三水源划分等三个部分。

### 2.2 流域蒸散发

对于长期的产流量估计，蒸发常是决定性因素。（流域蒸散发量很难由直接观测资料确定，一般通过模型计算得到。）

影响流域蒸散发的主要因素是土壤蒸发，而影响土壤蒸发的因素主要是土壤蒸发能力和土壤含水量。即：

$$E_s = E_s(E_p, W)$$

式中， $E_s$  —— 土壤实际蒸发，mm；

$E_p$  —— 为土壤蒸发能力，mm；

$W$  —— 为土壤蓄水量，mm。

土壤蒸散发过程大体上可以划分为三个基本阶段：

- 土壤含水量供水充分，只受气候因素影响，稳定蒸散发阶段。
- 土壤含水量和气候同时影响，蒸散发与土壤含水量比例变化蒸散发阶段
- 取决于地下水埋深与气候因素，常倍数深层蒸散发扩散阶段。

在本模型中，按土壤垂向分布的不均匀性将土层分为三层，用三层蒸散发模型计算蒸散发量。三层蒸发计算公式如下：

$$\text{上层蒸发量: } E_U = E_p$$

$$\text{下层蒸发量: } E_L = E_p * WL / WLM$$

$$\text{深层蒸发量: } E_D = C * E_p$$

$$\text{总蒸发量: } E = E_U + E_L + E_D$$

式中： $E_p$  为流域蒸发能力，mm；  $WL$  为下层土壤含水量，mm；  $WLM$  为下层

土壤含水容量，mm；C 为深层蒸散发扩散系数。

其中流域蒸发能力与水面蒸发能力之间可粗略概化为如下线性关系：

$$E_p = K_C * E_0$$

式中：Kc 为蒸发折算系数。

三层蒸发模式按照先上层后下层的次序，具体分如下四种情况计算：

(1) 当  $WU + P \geq E_p$  时

$$E_U = E_p \quad E_L = 0 \quad E_D = 0$$

(2) 当， $WU + P < E_p$ ， $WL \geq C * WLM$  时

$$E_U = WU + P \quad E_L = (E_p - E_U) * WL / WLM \quad E_D = 0$$

(3) 当  $WU + P < E_p$ ， $C(E_p - E_U) \leq WL \leq C * WLM$  时

$$E_U = WU + P \quad E_L = C * (E_p - E_U) \quad E_D = 0$$

(4) 当  $WU + P < E_p$ ， $WL < C(E_p - E_U)$  时

$$E_U = WU + P \quad E_L = WL \quad E_D = C * (E_p - E_U) - E_L$$

其中初始土壤湿度：

$$WU = FE * WUM$$

$$WL = FE * WLM$$

$$WD = FE * WDM$$

式中：WU 为上土层含水量，mm；WL 为下土层含水量，mm；WD 为深土层含水量，mm；FE 为初始土壤含水容量折算系数；P 为降雨量，mm。

## 模型参数：

**KC**：为蒸散发能力折算系数，是指流域蒸散发能力与实测水面蒸发值之比。此参数控制着总水量平衡，因此，对水量计算是十分重要的。

**WUM**：为上层蓄水容量，它包括植物截留量。在植被与土壤比较发育的流域，约为 20mm；在植被与土壤颇差的流域，约为 5~6mm。

**WLM:** 为下层蓄水容量。可取 60~90mm。

**WDM:** 为深层蓄水容量。由  $WM = WUM + WLM + WDM$  关系可以省去此参数的率定。

**C:** 为深层蒸散发系数。它决定于深根植物占流域面积的比数，同时也与  $WUM + WLM$  值有关，此值越大，深层蒸散发越困难。一般经验，在江南湿润地区  $C$  值约为 0.15~0.20 左右，而在华北半湿润地区则在 0.09~0.12 左右。

**FE:** 为初始土壤含水容量折算系数，即各层土壤水均为容量的  $FE$  倍：如  $WUM_0 = FE * WUM$ ， $S_0 = SM * FE$ 。

## 2.3 蓄满产流

### 2.3.1 基本原理

蓄满产流模型的基本原理可表达为：

$$R = PE + W - WM$$

式中： $R$  —— 流域产流量，mm；

$PE$  —— 流域扣除雨期蒸发后的降雨量，mm；

$W$  —— 流域土壤蓄水量，mm；

$WM$  —— 流域平均蓄水容量，mm。

### 2.3.2 蓄水容量曲线

流域蓄水容量曲线时将流域内各地点包气带的蓄水水容量，按从小到达顺序排列得到的一条蓄水容量与相应面积关系的统计曲线。如图 2-3-1 所示图中纵坐标  $WM'$  为各地点包气带蓄水容量值， $WMM$  为其中最大值，一般都以 mm 表示，横坐标为面积的相对值  $f/F$ ， $F$  是全流域面积， $f$  为流域内包气带蓄水容量小于或等于  $WM'$  的面积，曲线所围的面积  $WM$  为全流域平均蓄水容量。流域蓄水容量曲线反映了流域包气带缺水容量分布特征，如图 2-3-1 所示。

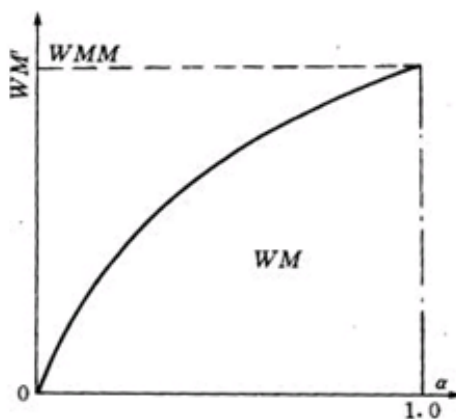


图 2-3-1 包气带蓄水容量曲线

据经验分析，蓄水容量曲线可由如下指数方程近似描述

$$\alpha = 1 - \left(1 - \frac{WM'}{WMM}\right)^B$$

式中：B 是常数，反映了流域包气带蓄水容量分布的不均匀性。B 值越小表示越均匀。当 B=0 时表示流域内包气带蓄水容量均匀不变，而 B 值越大表示越不均匀。

据上式积分可得

$$WM = \frac{WMM}{1+B}$$

式中：WMM 为流域最大蓄水容量，mm。

### 2.3.2 降水产流量计算

一般情况下，降雨前的初始土壤含水量不为零，这时，初始土壤含水量在流域的分布直接影响降雨产流量值。降雨前的初始土壤含水量分布式不相同的，但从多次平均的统计角度，认为分布规律也符合图 2-3-2 的变化。

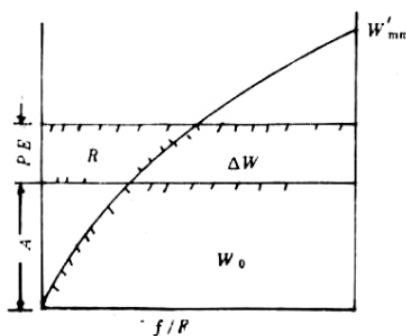




图 2-3-2 流域初始土湿分布与降雨产流量示意图

根据图 2-3-2,  $W$  计算式为

$$W = \int_0^a (1 - \alpha) dWM'$$

积分得

$$W = WM * [1 - (1 - \frac{a}{WMM})^{B+1}]$$

与  $W$  相应的纵坐标  $a$  为

$$a = WMM[1 - (1 - \frac{W}{WM})^{\frac{1}{B+1}}]$$

设扣除雨期蒸发后的降雨量为  $PE$ ，则总径流量  $R$  的计算公式为

$$R = \int_a^{a+PE} \alpha dWM'$$

若  $PE + a < WMM$ ，即局部产流时

$$R = PE + W - WM + WM(1 - \frac{PE + a}{WMM})^{B+1}$$

若  $PE + a \geq WMM$ ，即全流域产流时

$$R = PE - (WM - W)$$

**模型参数：**

**WM：**为流域蓄水容量，是流域干湿程度的指标。一般分为上层  $WUM$ 、下层  $WLM$  和深层  $WDM$ ，约为 120~180mm。

**B：**为蓄水容量曲线的指数。它反映流域上蓄水容量分布的不均匀性。一般经验，流域越大，各种地质地形配置越多样， $B$  值也越大。在山丘区域，很小面积（几平方公里）的  $B$  值为 0.1 左右，中等面积（300 平方公里以内）的  $B$  值为 0.2~0.3 左右，较大面积（数千平方公里）的  $B$  值为 0.3~0.4 左右。

**IMP：**不透水层占全流域面积。

老灌河流域三水源蓄满产流模型产流参数

参数名	WM	WUM	WLM	WDM	KC	C	B	IMP	FE
参数值	120	33	40	47	0.93	0.15	1.6	0.006	0.8

## 2.4 三水源划分

地面以下的径流由多种产流机制形成，在流域出口断面流量的退水过程线上常呈现水源三段退水的退水特征。这三段退水的径流主要成分分别为地面、壤中和地下三种水源。

在新安江模型中常用水箱模型以解决水源划分问题。

### 2.4.1 自由水的蓄水流量曲线

自由水的蓄水容量曲线可以表示为图 2-4-1 所示。

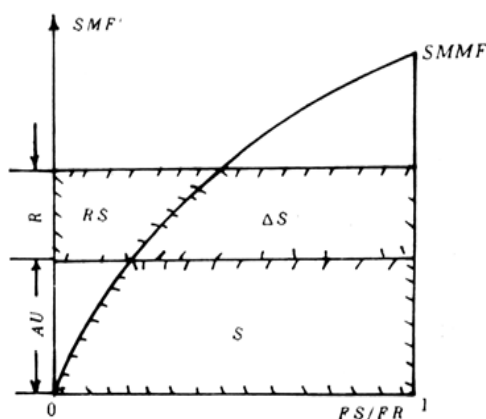


图 2-4-1 自由水蓄水容量曲线

据图 2-4-1 可得自由水的蓄水容量曲线为：

$$\alpha = 1 - \left( 1 - \frac{S}{MS} \right)^{EX}$$

由此得：

$$MS = (1 + EX) * SM$$

$$AU = MS \left[ 1 - \left( 1 - \frac{S}{SM} \right)^{\frac{1}{1+EX}} \right]$$

式中： $\alpha$ ——流域地面径流产流面积

$MS$ ——流域上自由水蓄水量最大的某点的蓄量值

$EX$ ——自由水蓄量分布曲线指数

$S$ ——流域自由水蓄水量

$SM$ ——流域平均自由水蓄水容量

$AU$ ——与自由水蓄水量  $S$  相对应的蓄水容量曲线纵坐标值

## 2.4.2 流量计算

(1)  $PE \leq 0$  的产流计算

因为  $PE \leq 0$ ，所以地面径流  $RS=0$ ，但因自由水蓄水库中有蓄水，故壤中流  $RI$  和地下径流  $RG$  不为 0，此时

$$FR_1 = 1 - \left( 1 - \frac{W_1}{WM} \right)^{\frac{B}{1+B}}$$

$$RS = 0$$

$$RI = S_1 * KSS * FR_1$$

$$RG = S_1 * KG * FR_1$$

$$S_2 = (1 - KSS - KG) * S_1$$

(2)  $PE > 0$  的产流计算

如果  $PE + AU < SM$  则

$$RS = \left\{ PE - SM + S_1 + SM \left( 1 - \frac{PE + AU}{MS} \right)^{1+EX} \right\} \times FR$$

$$RI = \left\{ SM - SM \left( 1 - \frac{PE + AU}{MS} \right)^{1+EX} \right\} \times FR \times KSS$$

$$RG = \left\{ SM - SM \left( 1 - \frac{PE + AU}{MS} \right)^{1+EX} \right\} \times FR \times KG$$

$$S_2 = (1 - KSS - KG) \times [SM - SM(\frac{PE + AU}{MS})^{1+EX}]$$

如果  $PE+AU \leq SM$ ，则

$$RS = (PE - SM + S_1) * FR$$

$$RI = SM * KSS * FR$$

$$RG = SM * KG * FR$$

$$S_2 = (1 - KSS - KG) * SM$$

式中， $S_0 = SM * FE$ ；

FR1——上一时段产流面积比例；

FR——本时段产流面积比例；

KG——自由水对地下水的日出流系数；

KKG——地下水消退系数；

KSS——自由水对壤中流的日出流系数；

KKSS——壤中流消退系数；

其余变量意义和前面式子相同。

## 模型参数：

**SM:**为流域平均自由水蓄水容量，本参数受降雨资料时段均化的影响，当以日为计算时段长时，一般流域的 **SM** 值约为 10~50mm，当所选取的计算时段长较小时，**SM** 要增大，这个参数对地面径流的多少起着决定性作用，因此十分重要。

**EX :**为自由水蓄水容量曲线指数，它表示自由水容量分布不均匀性。通常 **EX** 取值在 1~1.5 之间。

**KI:**为自由水蓄水库对壤中流的出流系数，**KG** 为自由水蓄水库对地下径流出流系数，这两个出流系数是并联的，其和代表着自由水出流的快慢。一般来说，**KI+KG=0.7**，相当于从雨止到壤中流止的时间为 3 天。本流域中选择对 **KI** 进行率定，**KG** 有以上关系式得出。

## 三. 流域汇流方案

### 3.1 概述

流域汇流计算包括坡地和河网两个汇流阶段。

新安江模型中流域汇流分：地面汇流、壤中流汇流和地下汇流。汇流参数的优选以流域出口模拟流量过程与实测流量过程拟合最优为目标函数。壤中流和地下汇流采用线性水库的方法。地面汇流采用时段地面经验单位线法，用老灌河实测雨洪资料分析的单位线方法。

### 3.2 汇流划分

根据三水源的划分，汇流过程也可以由三部分组成：地面径流的汇流、壤中流的汇流和地下水的汇流。

#### 3.2.1 地面径流汇流

地面径流汇流采用 Nash 单位线法，利用单位线的倍比和叠加假定逐日进行计算。因所给单位线 $\Delta t=24h$ ，与计算时段长相等，故不许转换，可直接带入计算。净雨量、出流量与 UH 纵坐标  $q$  之间的关系如下：

$$Q_{d,t} = \sum_{j=k_1}^{k_2} q_{t-j+1}$$

式中： $Q_d$ 为流域出口断面时段末直接径流流量， $m^3/s$ ； $r_d$ 为时段净雨量（用单位净雨量的倍数表示）； $q$ 为单位线时段末流量， $m^3/s$ ； $t$ 为直接径流流量时序， $t=1、2、3\dots、m+n-1$ ，其中  $m$  为净雨时段数， $n$  为时段单位线时段数； $k_1、k_2$ 为累计界限，其取值分别取决于  $t$  与  $n$  和  $m$  的相对大小，其取值分别为

$$k_1 = \begin{cases} 1 & t < n \\ t-n+1 & t \geq n \end{cases}$$

$$k_2 = \begin{cases} t & t < m \\ m & t \geq m \end{cases}$$

### 3.2.2 壤中流汇流

表层自由水侧向流动，出流后成为表层壤中流进入河网，若土层较厚，表层自由水还可以渗入到深层土，经过深层土的调蓄作为才进入河网。壤中流汇流可采用线性水库或之后演算法计算。

$$QI_t = RI * (1 - KKSS) * U + QI_{t-1} * KKSS$$

式中： $QI_t$ 、 $QI_{t-1}$ ——时段始、末壤中流出流量， $m^3/s$ ；

$RI$ ——壤中流径流量， $mm$ ；

$F$ ——流域面积， $km^2$ ；

$U$ ——折算系数； $U = \frac{F(km^2)}{2.6\Delta t(h)}$

$KKSS$ ——为壤中流消退系数

### 3.2.3 地下径流汇流

地下径流汇流采用线性水库，计算公式为：

$$QG_t = RG * (1 - KKG) * U + QG_{t-1} * KKG$$

式中： $QG_t$ 、 $QG_{t-1}$ ——时段始、末地下径流出流量， $m^3/s$ ；

$RG$ ——地下径流量， $mm$ ；

$KKG$ ——地下水消退系数。

$F$ ——流域面积，；

$U$ ——折算系数。

流域出口断面总流量为

$$QG_t = RG * (1 - KKG) * U + QG_{t-1} * KKG$$

式中： $QC$ ——流域出口断面总流量， $m^3/s$ ；

$QI$ ——流域出口断面壤中流流量， $m^3/s$ ；

$QS$ ——流域出口断面地面径流流量， $m^3/s$ ；

$QG$ ——流域出口断面地下径流流量， $m^3/s$ ；

注： $KG$  为自由水对地下水的日出流系数； $KKG$  为地下水消退系数； $KSS$  为自由水对壤中流的日出流系数； $KKSS$  为壤中流消退系数

## 模型参数:

**KKI:** 为壤中流水库的消退系数。如无深层壤中流时, KKI 趋于零。当深层壤中流很丰富时, KKI 趋于 0.9。相当于汇流时间为 10 天。

**KKG:** 为地下水库的消退系数。如以日为计算时段长, 此值一般为 0.98~0.998, 相当于汇流时间为 50~500 天。

老灌河流域分水源汇流参数

参数名	SM	EX	KG	KKG	KSS	KKSS
参数值	33	0.5	0.04	0.99	0.05	0.8

老灌河 24h10mm 单位线

时段 ( $\Delta t=24h$ )	0	1	2	3	4	5	6	7	8
单位线 $q(m^3/s)$	0	237.3	90.5	38.3	16.6	7.2	3.2	1.4	0.6
时段 ( $\Delta t=24h$ )	9	10	11						
单位线 $q(m^3/s)$	0.3	0.1	0						

## 四. 预报方案检验

### 4.1 概述

预报方案效果评定和有效性检验，一般是将具有良好代表性的资料系列分为率定期和检验期。

评定是采用率定期可利用的资料编制方案、估计参数、确定预报方案再进行模拟，通过模拟与实测水文要素之间的比较，分析预报方案在率定期的效果与有效性。

检验则是采用检验期预报环境可利用资料，用预报方案进行模拟，通过模拟结果与实测水文要素之间的比较，分析预报方案在检验期的效果与有效性。

由于预报误差出现是随机的，率定期和检验期的评定精度指标不会完全一致。

### 4.2 精度评定

洪水预报精度评定包括预报方案精度评定、作业预报的精度等级评定和预报时效等级评定等。评定项目主要有洪峰流量(水位)、洪峰出现时间、洪量(径流量)等。

#### 4.2.1 误差指标

洪水预报的误差指标采用以下三种：

绝对误差：绝对误差=|预报值-实测值|

相对误差：相对误差=(预报误差 / 实测值) × 100%

确定性系数：

$$DC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [y_{ci} - y_{oi}]^2}{\sum_{i=1}^n [y_{oi} - \bar{y}_0]^2}$$

式中：DC ——确定性系数；

$y_c$ 为预报值， $m^3/s$ ；



$y_0$ ——实测值,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\overline{y_0}$ ——实测值的均值,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$n$ ——资料系列的长度。

### 4.2.2 许可误差

许可误差是依据预报精度的使用要求和实际预报技术水平等综合确定的误差允许范围,不同的预报方法和预报要素对许可误差的规定不同,对许可误差规定亦不同。

#### (1) 洪峰预报许可误差

降雨径流预报以实测洪峰流量的 20% 作为许可误差;河道流量(水位)预报以预见期内实测变幅的 20% 作为许可误差。

#### (2) 峰现时间预报许可误差

峰现时间以预报根据时间至实测洪峰出现时间之间时距的 30% 作为许可误差,当许可误差小于  $3\Delta t$  或一个计算时段长,则以  $3\Delta t$  或一个计算时段长作为许可误差。

#### (3) 径流深预报许可误差

径流深预报以实测值的 20% 作为许可误差,当该值大于 20mm 时,取 20mm;小于 3mm 时,取 3mm。

### 4.2.3 预报项目精度评定

#### (1) 合格预报

一次预报的误差小于许可误差时,为合格预报。合格预报次数与预报总次数之比的百分数为合格率,表示多次预报总体的精度水平。合格率:

$$QR = \frac{n}{m} \times 100\%$$

式中:  $QR$  为合格率(取一位小数),  $n$  为合格预报次数,  $m$  为预报总次数。

#### (2) 预报项目精度等级

预报项目的精度按合格率或确定性系数分为三个等级如表 4-1 所示:

表 4-1 预报项目精度等级表

精度等级	甲	乙	丙
合格率(%)	$QR \geq 85.0$	$85.0 > QR \geq 70.0$	$70.0 > QR \geq 60.0$
确定性系数	$DC > 0.90$	$0.90 \geq DC \geq 0.70$	$0.70 > DC \geq 0.50$

### 4.3 模型精度评定结果分析

根据 4.2 所述精度评定方法,对于本模型预报的径流深,洪峰流量,峰现时间,洪水预报过程进行评定。

#### 4.3.1 率定期评定

通过计算,模型率定期预报总次数为 25,合格预报次数为 21,预报合格率为 84.00%,预报精度达到乙等。如表 4-2。

表 4-2 老灌河流域径流深精度评定计算表

	序号	洪号	降雨 P	实测 RO	计算 RC	绝对误差	相对误差	是否合格	合格率
率定期	1	800616	62.8	19.8	17.2	-2.6	-13.1	1	84.00%
	2	800703	135.2	68.1	72.5	4.4	6.5	1	
	3	800824	120.7	70.2	56.8	-13.4	-19.1	1	
	4	801010	95.0	35.2	42.8	7.6	21.6	0	
	5	810625	76.2	18.0	19.4	1.4	7.8	1	
	6	810715	78.3	43.1	40.4	-2.7	-6.3	1	
	7	810824	44.4	28.0	23.3	-4.7	-16.8	1	
	8	820803	115.1	61.3	66.2	4.9	8	1	
	9	820814	52.9	25.7	28.4	2.7	10.5	1	
	10	820825	40.1	20.3	27.4	7.1	35	0	
	11	821002	38.0	25.4	22.9	-2.5	-9.8	1	
	12	830801	120.5	45.0	33.3	-11.7	-26	0	

	13	830811	135.4	103.2	92.3	-10.9	-10.6	1	53.85%
	14	830908	103.9	46.0	49.4	3.4	7.4	1	
	15	831005	161.1	104.7	103.1	-1.6	-1.5	1	
	16	840512	88.7	20.0	18.2	-1.8	-9	1	
	17	840707	77.6	18.2	20.6	2.4	13.2	1	
	18	840726	53.7	16.7	19.8	3.1	18.6	1	
	19	840924	131.6	98.8	90.6	-8.2	-8.3	1	
	20	850504	80.3	26.7	22.2	-4.5	-16.9	1	
	21	850526	60.3	23.4	22.9	-0.5	-2.1	1	
	22	850811	95.2	19.3	19.5	0.2	1	1	
	23	850916	60.0	38.8	38.0	-0.8	-2.1	1	
	24	860815	68.4	12.4	10.1	-2.3	-18.5	1	
	25	860910	84.8	15.9	20.7	4.8	30.2	0	
检验期	26	870606	46.2	18.6	17.1	-1.5	-7.9	1	
	27	870806	65.2	58.6	51.0	-7.6	-12.9	1	
	28	870720	58.1	20.4	18.2	-2.2	-10.8	1	
	29	870904	57.4	16.6	15.7	-0.9	-5.4	1	
	30	880815	111.4	96.1	24.0	-72.1	-75.0	0	
	31	880914	32.2	13.1	11.1	-2	-15.2	1	
	32	890711	58.1	29.8	25.7	-4.1	-13.8	1	
	33	890726	60.8	30.2	27.3	-2.9	-9.6	1	
	34	890816	76.6	69.3	53.4	-15.9	-22.9	0	
	35	890911	43.2	21.1	6.9	-14.2	-67.3	0	
	36	900502	20.3	16.1	2.5	-13.6	-84.5	0	
	37	900626	72.8	28.7	11.0	-17.7	-61.7	0	
	38	900721	98.1	66.3	22.1	-44.2	-66.7	0	

### 4.3.2 检验期评定

通过 excel 计算, 检验期模型确定性系数为 0.65, 达到丙等精度。径流深合格率为 53.85%, 老灌河流域径流深精度评定的结果如上表 4-2 所示:

峰现时间合格率为 100.00%, 老灌河流域峰现时间精度评定结果表 4-3 所示:

表 4-3 老灌河流域峰现时间精度评定计算表

NO	洪号	流量起止时间	实测峰现时间	模拟峰现时间	绝对误差	是否合格	合格率
1	870606	06.04-06.10	06.06	06.06	0	1	100.00%
2	870806	08.04-08.10	08.06	08.06	0	1	
3	870720	07.17-07.26	07.20	07.19	-1	1	
4	870904	09.02-09.09	09.04	09.04	0	1	
5	880815	08.12-08.19	08.15	08.16	1	1	
6	880914	09.12-09.17	09.14	09.14	0	1	
7	890711	07.10-07.20	07.11	07.11	0	1	
8	890726	07.23-08.01	07.26	07.26	0	1	
9	890816	08.15-08.25	08.16	08.17	1	1	
10	890911	09.07-09.18	09.11	09.10	-1	1	
11	900502	04.30-05.08	05.02	05.01	-1	1	
12	900626	06.23-06.30	06.26	06.25	-1	1	
13	900721	07.19-07.26	07.21	07.21	0	1	

洪峰流量合格率为 46.70%, 老灌河流域洪峰流量精度评定结果如表 4-4 所示:

表 4-4 老灌河流域洪峰流量精度评定计算表

NO	洪号	流量起止时间	实测洪峰 (m <sup>3</sup> /s)	模拟洪峰 (m <sup>3</sup> /s)	相对误差	是否合格	合格率
					(%)		
1	870606	06.04-06.10	390	205	-47.4	0	46.70%
2	870806	08.04-08.10	585	308	-47.3	0	
3	870720	07.17-07.26	125	196	56.8	0	

4	870904	09.02-09.09	141	166	17.7	1	
5	880815	08.12-08.19	586	229	-60.9	0	
6	880914	09.12-09.17	81	49	-39.5	0	
7	890711	07.10-07.20	233	207	-11.2	1	
8	890726	07.23-08.01	263	146	-44.4	0	
9	890816	08.15-08.25	432	112	-74.1	0	
10	890911	09.07-09.18	122	53	-56.6	0	
11	900502	04.30-05.08	69.9	18.1	-74.1	0	
12	900626	06.23-06.30	128	113	-11.7	1	
13	900721	07.19-07.26	793	353	-55.5	0	

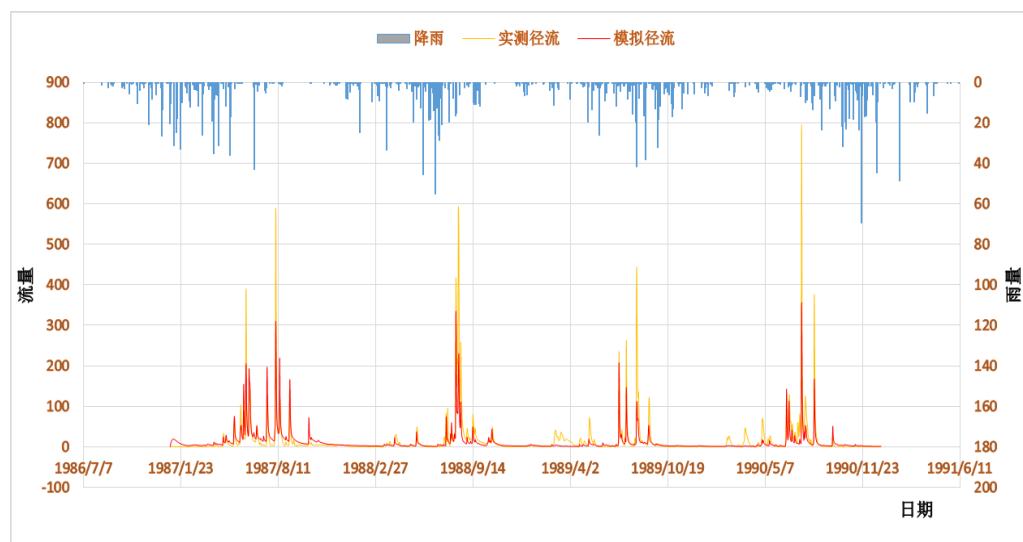
洪水过程预报，1 场为甲等精度，0 场为乙等精度，5 场为丙等精度，洪水预报确定性系数计算结果如表 4-5 所示：

表 4-5 老灌河流域洪水预报确定性系数表

NO	洪号	流量起止时间	确定性系数	等级
1	870606	06.04-06.10	0.64	丙
2	870806	08.04-08.10	0.62	丙
3	870720	07.17-07.26	0.31	
4	870904	09.02-09.09	0.66	丙
5	880815	08.12-08.19	-0.25	
6	880914	09.12-09.17	-0.36	
7	890711	07.10-07.20	0.93	甲
8	890726	07.23-08.01	0.68	丙
9	890816	08.15-08.25	0.14	
10	890911	09.07-09.18	0.31	
11	900502	04.30-05.08	-0.96	
12	900626	06.23-06.30	-0.47	

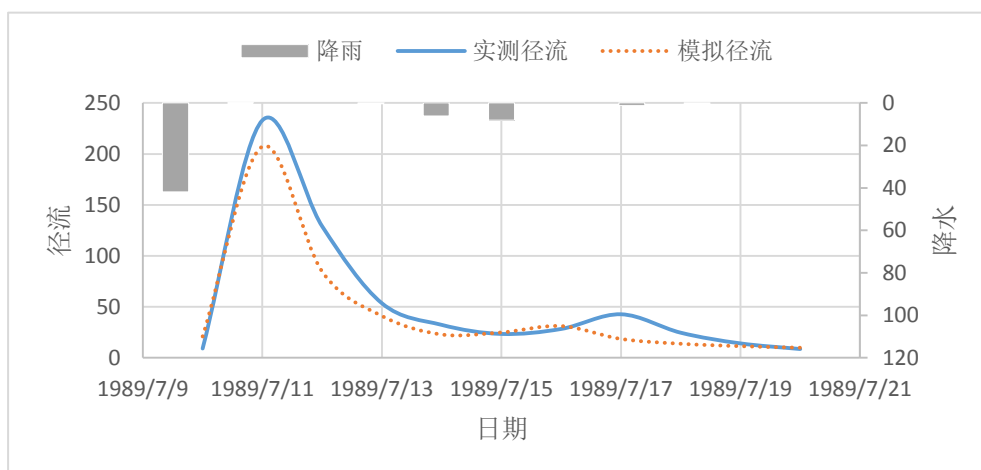
13	900721	07.19-07.26	0.58	丙
----	--------	-------------	------	---

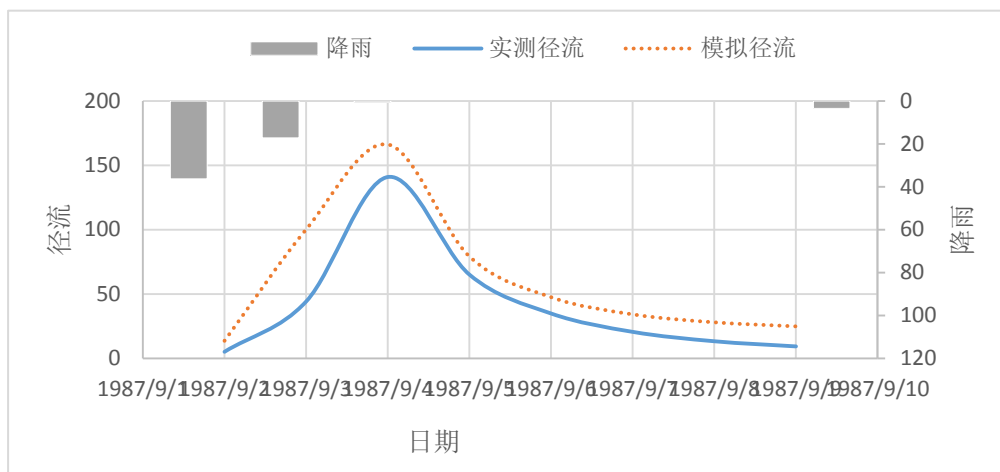
检验期模型中降雨、模拟径流与实测径流关系如下图：



检验期降雨、模拟径流与实测径流关系图

选取其中拟合效果较好的两场洪水（洪号分别为 890711、870904）说明拟合效果

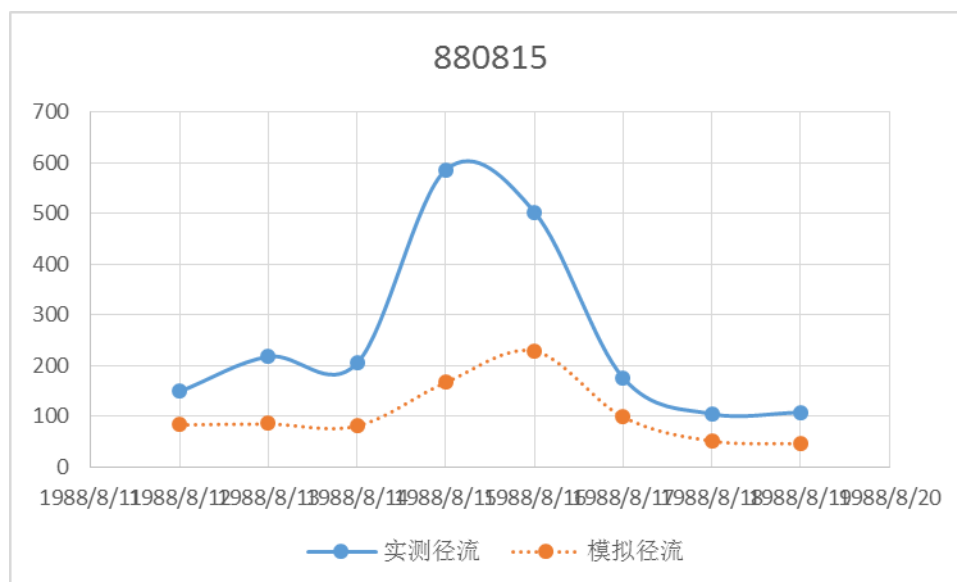




## 五. 存在的问题与改进方案

对 1987~1990 年的场次洪水预报模拟情况分析发现, 有场洪水的模拟效果不是很好, 通过对这七场洪水实测流量与模拟流量的比较发现, 这 7 场洪模拟洪峰的峰现时间与实测洪峰相比, 相差在可接受的范围内, 且无明显的提前或拖后。但洪峰大小比实测洪峰偏小。

以洪号为 880815 的洪水为例说明, 如下图所示:



场次洪水模拟径流与实测径流关系图 (880815)

通过上图可以明显的看出模拟径流比与实测径流的洪峰相比偏小。同时我又对模拟径流与实测径流在 excel 中进行了相关性检验的相关性系数 0.86。同时又对每次的洪水过程进行了相关性分析结果有 8 场在 0.95 以上, 3 场 0.85 以上以

及 2 场 0.75 以上。

综合来看模拟的径流过程趋势上与实际径流过程基本一致,但是径流量相差偏多。可能有两个方面的原因:

- 1) 对于新安江模型本身来讲,可能会把突变的地方通过均摊的方式,使其平滑化。而实际情况中,这种突变的流量情况是会存在的,而洪水过程中这种情况会更加明显。所以模拟洪峰会比实测洪峰偏小。
- 2) 上述问题的存在可能与率定期的单位线有关,同时也可能与水文测站的数量有关。水文站的数量越多,单位线的单位时段越短,模拟径流与实测径流应该越接近。

可以考虑适当将单位线进行调整,来使其精度增加。

## 参考文献

- [1] 赵人俊.流域水文模型的比较分析研究.水文, 1989, (6)
- [2] 赵人俊.新安江模型参数的分析.水文, 1988, (6): 2-9.
- [3] 谭炳卿.水文模型参数自动优选方法的比较分析.水文.1996 (5): 8-13.

## 结语

本次课设是我做的第一个课设。通过这次课设,我对以往的水文预报的课程内容有了更加深刻的理解,许多不明白的地方也得到了解决。同时通过做课设,我对水文预报这门课在宏观上也有了一定的认识,能够将三水源新安江模型理解的更加透彻,从而在使用上变得更加灵活。

课程设计这段时间以来,中间的过程还是比较曲折,中间也有许多不清楚的知识,通过与同学的讨论和自己的琢磨,逐渐掌握了更多的知识。课设的进行使我更加认识到水文预报在实际生成中的重要地位。而随着对其的更加深入的理解,将平时老师上课讲的一个个模块串联在一起,从而构成一个通畅的模型,便不再是难事。同时,也可以锻炼我们的编程能力。

总之,这次的课设让我学习到了很多,收获很多!



## 附件：

### 1) 程序

```
#include<stdio. h>

#include<math. h>

#include <stdlib. h>

#define N 1461


void main()
{
    int i,j;

    double E[N], P[N], Q[N], Q0[N];

        double EL[N], EU[N], ED[N], EP[N];

    double PE[N], P0[N];

    double WU[N+1], WL[N+1], WD[N+1], W[N+1];

    double R[N], R0[N]; //R0 不透水径流

    double RS[N], RSS[N], RG[N];

    double S[N];

    double

q[12]={0. 0, 237. 3, 90. 5, 38. 3, 16. 6, 7. 2, 3. 2, 1. 4, 0. 6, 0. 3, 0. 1, 0. 0};

    double QRS[N+12], QRSS[N+1], QRG[N+1];


    double WUM=33;

        double WLM=40;

        double WDM=47;

        double WM=120;
```

```

double KC=0.93;//KC 为流域蒸发折算系数
double C=0.15;
double B=1.6;
double IMP=0.006;
double FE=0.8;//FE 为初始土壤含水容量折算系数
double SM=33;
double EX=0.5;
double KG=0.04;//KG 为自由水对地下水的日出流系数
double KKG=0.99;//KKG 为地下水消退系数
double KSS=0.05;//KSS 为自由水对壤中流的日出流系数
double KKSS=0.8;//KKSS 为壤中流消退系数
double A=3418.0;

double a, x;
double WU1, WL1, WD1;//计算含水量时的中间临时变量
double WMM;
double AU, FR;
double SSM;

FILE *fData1;
FILE *fData2;
if((fData1=fopen("Data.txt", "r"))==NULL)
{
    printf("Can not open Data file!\n");
    exit(0);
}
for(i=0;i<N;i++)
    fscanf(fData1, "%lf\t%lf\t%lf\n", &E[i], &P[i], &Q0[i]);

```

```
fclose(fData1);  
//三层蒸发计算  
  
WU[0]=FE*WUM;  
WL[0]=FE*WLM;  
WD[0]=FE*WDM;  
  
for(i=0;i<1461;i++)  
{  
    EP[i]=KC*E[i];  
    R0[i]=P[i]*IMP;  
    P0[i]=P[i]-R0[i]; //透水面积上的降水量  
    if(WU[i]+P0[i]>=EP[i])  
    {  
        EU[i]=EP[i];  
        EL[i]=0;  
        ED[i]=0;  
    }  
    else  
    {  
        EU[i]=WU[i]+P0[i];  
        if(WL[i]>=C*WLM)  
        {  
            EL[i]=(EP[i]-EU[i])*WL[i]/WLM;  
            ED[i]=0;  
        }  
        else  
        if(WL[i]>=C*(EP[i]-EU[i]))  
        {
```

```

        EL[i]=C*(EP[i]-EU[i]);
        ED[i]=0;
    }

    else
    {
        EL[i]=WL[i];
        ED[i]=C*(EP[i]-EU[i])-EL[i];
        if(ED[i]>WD[i])
            ED[i]=WD[i];      //全蒸干
    }
}

E[i]=EU[i]+EL[i]+ED[i];
PE[i]=P0[i]-E[i];
W[i]=WU[i]+WL[i]+WD[i];

//蓄满产流量的计算

WMM=WM*(1+B)/(1-IMP);
if(PE[i]<=0)
    R[i]=0.0;
else
{
    a=WMM*(1-pow(1-W[i]/WM, 1/(B+1)));
    if(a+PE[i]<=WMM)

R[i]=PE[i]+W[i]-WM+WM*pow(1-(PE[i]+a)/WMM, B+1);
    else
        R[i]=PE[i]-WM+W[i];
}

//三个含水层的含水量

```

```

WU1=P[i]+WU[i]-EU[i]-R[i];
if(WU1>WUM)
{
    WU[i+1]=WUM;
    WL1=WL[i]-EL[i]+WU1-WUM;
    if(WL1>WLM)
    {
        WL[i+1]=WLM;
        WD1=WD[i]-ED[i]+WL1-WLM;
        if(WD1>WDM)
            WD[i+1]=WDM;
        else
            WD[i+1]=WD1;
    }
    else
    {
        WL[i+1]=WL[i]-EL[i];
        WD[i+1]=WD[i]-ED[i];
    }
}
else
{
    WU[i+1]=WU1;
    WL[i+1]=WL[i]-EL[i];
    WD[i+1]=WD[i]-ED[i];
}
}

```

//三水源划分

```

SSM=SM*(1+EX);
S[0]=FE*SM;
for(i=0;i<1461;i++)
{
    if(PE[i]<=0)
    {
        FR=1-pow((1-W[i]/WM), B/(1+B));
        RS[i]=0;
        RSS[i]=S[i]*KSS*FR;
        RG[i]=S[i]*KG*FR;
        S[i+1]=(1-KSS-KG)*S[i];
    }
    else
    {
        FR=R[i]/PE[i];
        AU=SSM*(1-pow(1-S[i]/SM, 1/(1+EX)));
        if(PE[i]+AU<SSM)
        {
            x=SM*pow((1-(PE[i]+AU)/SSM), (1+EX));
            RS[i]=(PE[i]-SM+S[i]+x)*FR;
            RSS[i]=(SM-x)*KSS*FR;
            RG[i]=(SM-x)*KG*FR;
            S[i+1]=(1-KSS-KG)*(SM-x);
        }
        else
        {
            RS[i]=(PE[i]-SM+S[i])*FR;
            RSS[i]=SM*KSS*FR;
            RG[i]=SM*KG*FR;
        }
    }
}

```

```

        S[i+1]=(1-KSS-KG)*SM;
    }
}
}

//汇流计算（单位线法）
QRSS[0]=0.5;
QRG[0]=0.0;
for(i=0;i<N;i++)
    QRS[i]=0.0;
for(i=0;i<N;i++)
{
    for(j=0;j<12;j++)
    {
        QRS[i+j]+=(RS[i]+R0[i])*q[j]/10.0;
    }
    Q[i]=QRS[i]+QRSS[i]+QRG[i];
    QRSS[i+1]=QRSS[i]*KKSS+RSS[i]*(1-KKSS)*A/(3.6*24);
    QRG[i+1]=QRG[i]*KKG+RG[i]*(1-KKG)*A/(3.6*24);
}
fData2=fopen("result.txt","w");
for(i=0;i<1461;i++)
{
    printf("%f\n",R[i]);
    fprintf(fData2,"%f\n",R[i]);
}
fclose (fData2);
}

```

## 2) DC 计算 excel 表格截图

洪号	870606				
实测	模拟	均值	a	b	
19.5	31.2875	106.4571	138.9451	7561.545	37003.99
79.1	128.9613	106.4571	2486.151	748.4133	101525.6
390	205.4273	106.4571	34067.1	80396.55	DC
124	108.5825	106.4571	237.6982	307.7518	0.63552
67	61.33517	106.4571	32.09034	1556.866	
40	41.3929	106.4571	1.940179	4416.552	
25.6	31.92969	106.4571	40.06496	6537.878	
洪号	870806				
实测	模拟	均值	a	b	
36.2	39.20095	170.8429	9.005707	18128.7	94150.56
78.4	65.45442	170.8429	167.5881	8545.682	250833.6
585	308.492	170.8429	76456.67	171526.1	DC
301	169.799	170.8429	17213.69	16940.88	0.624649
102	85.38701	170.8429	275.9915	4739.339	
53.9	51.3258	170.8429	6.626521	13675.63	
39.4	43.98122	170.8429	20.98756	17277.22	



洪号	870720				
实测	模拟	均值	a	b	
3.1	13.57466	54.18571	109.7185	2609.75	13437.28
7.7	56.44626	54.18571	2376.197	2160.922	19516.09
96.4	195.6507	54.18571	9850.699	1782.046	DC
125	126.2817	54.18571	1.642781	5014.663	0.311477
80.4	66.55393	54.18571	191.7136	687.1888	
43.5	43.06598	54.18571	0.188372	114.1845	
23.2	32.8872	54.18571	93.84177	960.1145	
14.8	27.93096	54.18571	172.4221	1551.234	
8.5	25.0048	54.18571	272.4084	2087.184	
3.7	22.89506	54.18571	368.4502	2548.807	

洪号	870904				
实测	模拟	均值	a	b	
5.1	13.63164	46.31429	72.7888	1698.617	4861.563
44.2	100.2462	46.31429	3141.177	4.470204	14272.89
141	166.3494	46.31429	642.5915	8965.384	DC
65.1	79.25866	46.31429	200.4677	352.9031	0.659385
34.9	47.56779	46.31429	160.4729	130.2859	
20.6	34.20231	46.31429	185.0228	661.2245	
13.3	28.0204	46.31429	216.6902	1089.943	
9.3	24.86765	46.31429	242.3517	1370.057	

洪号	880815				
实测	模拟	均值	a	b	
149	84.23135	277.4286	4194.978	16493.9	299128.7
218	85.95257	277.4286	17436.52	3531.755	240095.8
205	82.09813	277.4286	15104.87	5245.898	DC
586	167.5555	277.4286	175095.8	95216.33	-0.24587
503	229.011	277.4286	75069.96	50882.47	
176	99.77449	277.4286	5810.328	10287.76	
105	52.60054	277.4286	2745.703	29731.61	
108	47.41522	277.4286	3670.515	28706.04	

洪号	880914				
实测	模拟	均值	a	b	
15.9	7.97658	46	62.78058	906.01	3492.818
46.4	26.48416	46	396.6407	0.16	2562.42
81	49.40996	46	997.9305	1225	DC
60	25.97927	46	1157.41	196	-0.36309
41.3	17.46726	46	567.9996	22.09	
31.4	13.79158	46	310.0566	213.16	

洪号	890711				
实测	模拟	均值	a	b	
9.1	20.91093	72.65714	139.4982	4039.51	3736.158
233	207.2806	72.65714	661.4876	25709.83	50052.55
129	84.63069	72.65714	1968.635	3174.518	DC
53.5	41.00869	72.65714	156.0328	366.9961	0.925355
32.3	22.85573	72.65714	89.19433	1628.699	
23.4	24.90252	72.65714	2.257569	2426.266	
28.3	31.14672	72.65714	8.103792	1967.556	
42.7	18.51958	72.65714	584.6927	897.4304	
24.6	13.77186	72.65714	117.2487	2309.489	
14.1	11.37783	72.65714	7.410226	3428.939	
8.6	9.863783	72.65714	1.597147	4103.318	
洪号	890726				
实测	模拟	均值	a	b	
9.3	8.826724	79.07143	0.22399	4868.052	17458.8
35.4	22.03066	79.07143	178.7393	1907.194	54991.09
59.1	13.59074	79.07143	2071.092	398.858	DC
263	146.0605	79.07143	13674.84	33829.72	0.682516
94.9	67.49853	79.07143	750.8406	250.5437	
56.1	34.87081	79.07143	450.6787	527.6865	
35.7	21.22253	79.07143	209.5971	1881.081	
24.7	15.07173	79.07143	92.70362	2956.252	
17.6	12.17664	79.07143	29.41287	3778.737	
11.3	10.48118	79.07143	0.670471	4592.967	

洪号	890816				
实测	模拟	均值	a	b	
8.3	9.705255	180.5286	1.974742	29662.68	189382.3
432	85.23576	180.5286	120245.4	63237.88	219886.4
318	112.482	180.5286	42237.66	18898.39	DC
166	65.43403	180.5286	10113.51	211.0794	0.138727
122	70.74923	180.5286	2626.641	3425.594	
135	38.89843	180.5286	9235.512	2072.851	
82.4	23.44593	180.5286	3475.582	9629.217	
49	16.70564	180.5286	1042.926	17299.77	
30.2	13.32302	180.5286	284.8325	22598.68	
21.1	11.38735	180.5286	94.33567	25417.47	
14.9	10.01436	180.5286	23.86952	27432.82	
洪号	890911				
实测	模拟	均值	a	b	
4.1	6.928437	49.8	8.000056	2088.49	13345.31
4.4	12.20783	49.8	60.96227	2061.16	19277.59
15.3	34.39643	49.8	364.6738	1190.25	DC
91	53.47762	49.8	1407.929	1697.44	0.307729
122	32.70981	49.8	7972.739	5212.84	
71.5	20.19767	49.8	2631.93	470.89	
40.3	14.9713	49.8	641.543	90.25	
26.3	12.39659	49.8	193.3048	552.25	
18.2	10.86378	49.8	53.8202	998.56	
12.7	9.740394	49.8	8.759268	1376.41	
8.9	8.735283	49.8	0.027132	1672.81	
6.6	7.87438	49.8	1.624044	1866.24	

洪号	900502				
实测	模拟	均值	a	b	
12.9	5.636034	43.81429	52.7652	955.6931	9992.901
69.1	18.13894	43.81429	2597.029	639.3673	5081.479
69.9	9.975047	43.81429	3591	680.4645	DC
58.2	16.10928	43.81429	1771.629	206.9488	-0.96653
43.7	10.19042	43.81429	1122.892	0.013061	
31.2	7.97641	43.81429	539.3351	159.1202	
21.7	6.873368	43.81429	219.829	489.0416	
14.7	6.175185	43.81429	72.67247	847.6416	
10.6	5.525687	43.81429	25.74865	1103.189	
洪号	900626				
实测	模拟	均值	a	b	
18.1	17.57682	77.65714	0.273715	3547.053	13338.59
81.7	38.15166	77.65714	1896.458	16.34469	9087.74
111	112.7004	77.65714	2.891493	1111.746	DC
128	61.85336	77.65714	4375.378	2534.403	-0.46776
82	32.37875	77.65714	2462.269	18.86041	
60.5	20.43554	77.65714	1605.161	294.3676	
62.3	15.25747	77.65714	2212.999	235.8418	
41.2	13.21496	77.65714	783.1622	1329.123	

洪号	900721				
实测	模拟	均值	a	b	
39	9.292941	190.1571	882.5094	22848.48	205204.2
28.2	7.915391	190.1571	411.4654	26230.12	483631.5
793	353.5017	190.1571	193158.8	363419.5	DC
250	161.0153	190.1571	7918.275	3581.168	0.575701
110	74.02356	190.1571	1294.304	6425.168	
66.9	38.50761	190.1571	806.128	15192.32	
44	22.85313	190.1571	447.1902	21361.91	
33.4	16.50219	190.1571	285.5361	24572.8	