

南京市六合区金牛山水库洪水预报方法及应用

余海艳¹, 宋星原¹, 毛声录², 戴自述³, 黄程鹏¹, 李丹颖¹

(1. 武汉大学水利水电学院, 湖北武汉 430072; 2. 南京市六合区防汛抗旱指挥部办公室, 江苏南京 211500;

3. 武汉大学计算机学院, 湖北武汉 430072)

摘 要:南京市六合区金牛山水库在该地区防洪防汛中具有重要的地位。对此, 介绍了流域新安江三水源产流模型、流域分散入流非线性汇流模型, 将研制的模型应用于金牛山流域实际洪水预报, 取得了较为满意的效果, 为防洪调度提供了可靠的依据。

关键词:防洪预报; 新安江模型; 非线性汇流模型; 南京金牛山水库

中图分类号:TV124 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2005)02-0078-03

0 引言

暴雨洪水预报是水库汛期安全运行的可靠保证, 在城市防洪中有非常重要的作用。它不仅可以减少和避免洪灾造成的巨大损失, 而且对于指导水库防洪预报调度提供了可靠的科学依据, 是防御洪水灾害中不可缺少的重要手段。

金牛山水库位于南京市六合区东北部低山丘陵区, 滁河支流八百河上游, 库区北与安徽省天长市接壤, 东与江苏省仪征市相邻。集水面积 124.14 km², 总库容 9315 万 m³, 流域内植物根系发达, 植

被良好。水库承担着下游防洪减灾等重大任务, 具有十分重要的地位。

鉴于六合区金牛山水库在该地区的重要性, 本文采用三水源新安江模型、非线性汇流模型进行流域产、汇流模拟, 这为防洪防汛提供了可靠的依据。

1 流域水文模型简介

1.1 产流模型

根据金牛山流域的自然地理状况, 以及洪水预报的实际经验, 流域产流模型可采用三水源新安江产流模型^{[1][2]}。模型基本结构见图 1 所示。

1.2 汇流模型

流域汇流模型, 根据净雨在流域上汇流的途径不一样, 将汇流过程分成地面汇流、壤中流汇流和地

收稿日期: 2004-10-15

作者简介: 余海艳(1982-), 女, 四川康定人, 硕士研究生, 研究方向为现代水文学。

关山水库遵循本流域溢洪道原则又进行了上、下方方案的比较: 下溢洪道方案开挖量少, 并代替了此处的挡水建筑物, 但是地质条件较差, 全风化岩层厚度达 7~11 m, 堰体部位的强风化岩埋深为 10.2 m (堰体成了溢流坝), 衬砌工程量较大。如果采用上溢洪道方案, 则堰体基岩面较高, 混凝土衬砌量较少, 开挖量较多, 造价低, 但需在山脊鞍部建造副坝, 副坝坝型选择土工布斜墙土坝, 其造价超过了下溢洪道方案。因此初步设计选择了较经济的下溢洪道方案。堰顶高程定为 168 m, 不同堰宽比较如表 2:

表 2 不同堰宽情况下工程造价表

堰宽 (m)	最高洪水位 (m)	大坝造价 (万元)	溢洪道造价 (万元)	总造价 (万元)
30	176.75	2081.66	619.70	2701.43
24	177.38	2158.60	526.33	2684.93
21	177.76	2209.77	503.08	2712.85

由表 2 可知, 不同堰宽, 工程总造价相差不是很大, 但堰宽为 24 m 时是最优方案, 故选择溢洪道堰

宽为 24 m 方案。

不同堰顶高程比较如表 3:

表 3 不同堰高情况下工程造价表

堰顶高程 (m)	最高洪水位 (m)	大坝造价 (万元)	溢洪道造价 (万元)	总造价 (万元)
167	176.88	2127.01	568.38	2695.38
168	177.38	2158.60	526.33	2684.93

关山水库堰顶高程, 定在防洪限制水位(172.0 m)以下的目的, 主要是为了降低坝高, 减少工程造价, 同时下游有防洪要求, 水库必须安装闸门以错峰用。更有条件将堰顶降一些。故选择堰顶高程 167 m 与 168 m 进行比较, 选择 167 m 时, 由于溢洪道和金属结构工程量增加, 总投资超过 168 m 的总投资, 故堰顶高程选择 168 m 是合适的, 通过关山水库泄洪方案的分析, 不仅为该工程确定了较合理的设计方案, 也从理论和实践上为日后的设计工程积累了经验。

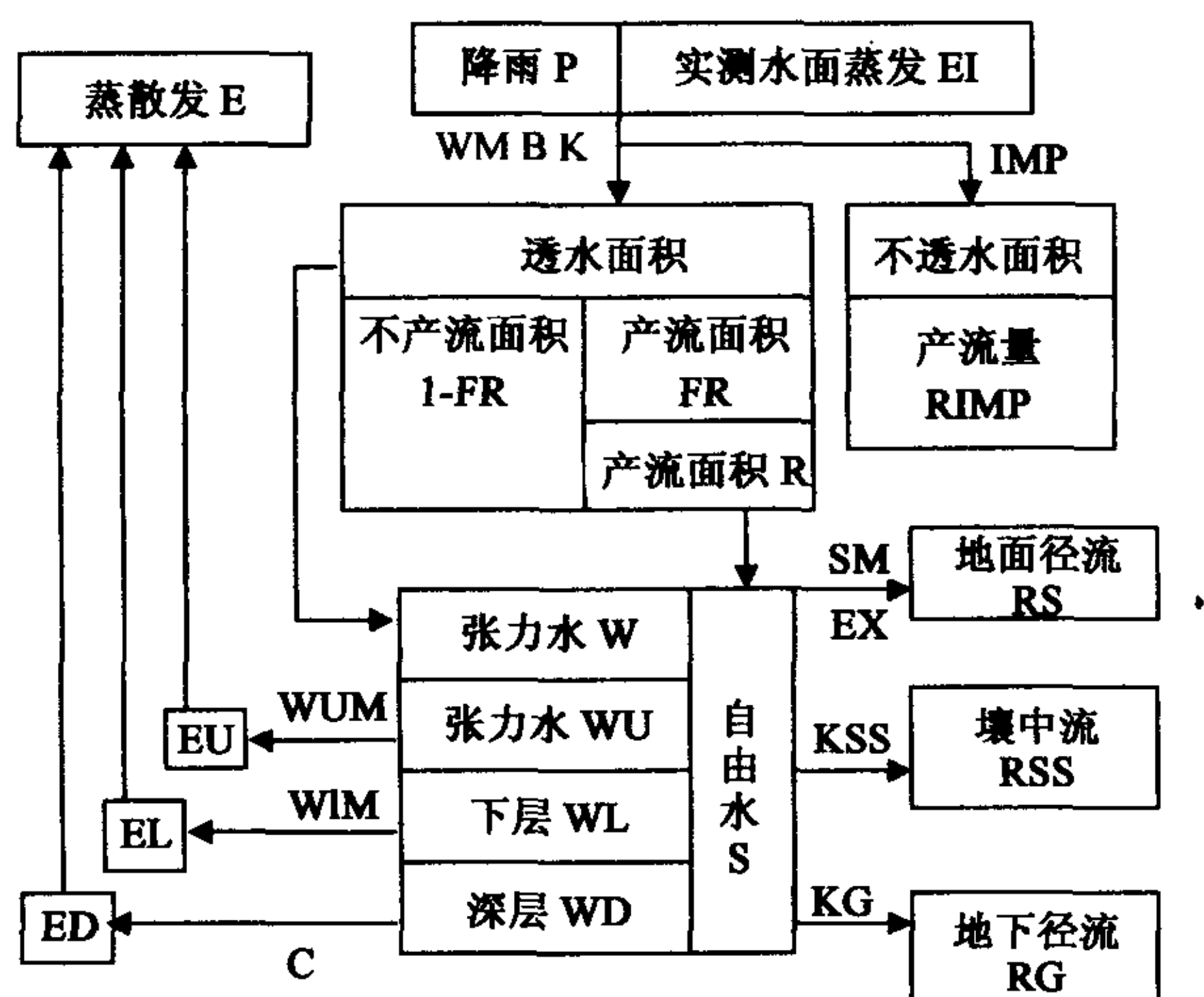


图1 产流模型基本结构流程图

下汇流过程三部分。

流域地面雨洪汇流过程一般是非线性的,这种现象对中小流域更为明显,因为中小流域的暴雨对洪水的影响比流域特性的影响起着更重要的作用。由于地面汇流是影响流域洪水过程的主要部分,因此,在流域地面汇流计算中要考虑流域非线性汇流的影响作用。由于流域净雨空间分布和流域不同河道地形对流域汇流具有一定影响,故采用流域非线性汇流模型^[3],即非线性水库描述的变动雨强瞬时单位线模型对地面径流过程进行模拟计算。

变动单位线汇流计算的离散型表达式:

$$Q_s(j) = \sum_{k=1}^j n c R_s^{2-1/n}(j-k+1) V^{n-1} (1-V^n) \Delta t \quad (1)$$

式中,参数 V 表示 $F(V, n) = \int_0^t \frac{1}{1-V^n} dV$ 的函数,称为变动函数; n, c 为汇流参数; $Q_s(t)$ 为地面出流过程; $R_s(t-w)$ 为流域地面净雨强度。

流域壤中流采用线性水库调蓄计算模型模拟其汇流过程,其基本方程为:

$$Q_{ss}(j) = k k_{ss} Q_{ss}(j-1) + \frac{(1 - k k_{ss}) R_{ss}(j) f}{3.6 \Delta t} \quad (2)$$

式中, $R_{ss}(j)$ 为流域平均壤中流净雨深; f 为流域面积; $k k_{ss}$ 为流域壤中径流流量消退系数。

流域地下径流采用线性水库蓄泄模型计算其汇流过程,基本计算方程式为:

$$Q_g(j) = k k_g Q_g(j-1) + \frac{(1 - k k_g) R_g(j) f}{3.6 \Delta t} \quad (3)$$

式中, $R_g(j)$ 为流域平均地下净雨深; $k k_g$ 为地下径流流量消退系数。

流域非线性汇流计算模型由描述地面汇流过程的变动雨强瞬时单位线模型和描述壤中流和地下汇

流过程的线性水库调蓄计算模型组成,将其表达为综合计算模型结构为:

$$Q(j) = Q_{ss}(j) + Q_g(j) + Q_{s,i}(j) = k k_{ss} Q_{ss}(j-1) + \frac{(1 - k k_{ss}) R_{ss}(j) f}{3.6 \Delta t} + k k_g Q_g(j-1) + \frac{(1 - k k_g) R_g(j) f}{3.6 \Delta t} + \sum_{k=1}^j n c R_s^{2-1/n}(j-k+1) V^{n-1} (1-V^n) \Delta t \quad (4)$$

1.3 模型参数优选

1.3.1 产流计算参数

W_m 为流域平均蓄水容量; WU_m, WL_m, WD_m 为上、下、深层土壤蓄水容量; FE 为折减系数; B 为蓄水容量曲线的方次,它代表蓄水容量在流域上的不均匀程度。

1.3.2 蒸散发计算参数

K 为流域蒸散发修正系数,即流域蒸散发能力与实测水面蒸发值的比值; C 为深层蒸散发系数。

1.3.3 水源划分参数

S_m 为流域平均自由水蓄水容量; KSS 为自由蓄水库对壤中流出流系数; KG 为自由蓄水库对地下径流的出流系数; EX 为自由水蓄水容量曲线抛物线指数,它表示自由水容量分布的不均匀性。

1.3.4 汇流模型参数

$k k_{ss}$ 为流域壤中径流流量消退系数 $k k_g$ 为地下径流流量消退系数; n, c 为变动单位线的形状参数; pg 为起点流量中地下径流和壤中流所占比例。

金牛山流域模型优选模型参数,采用 Rosenbrock 方法(旋转坐标轴法)。

产流优选率定模型参数的目标函数为:

$$\min F(W_m, WU_m, WL_m, B, C, FE, K_i (i=3, \dots, 10)) = \sum_{j=1}^n (R_{j, \text{实}} - R_{j, \text{计}})^2 \quad (5)$$

式中, $K_i (i=3, \dots, 10)$ 为 3 至 10 月份蒸散发修正系数。

在应用汇流模型拟合实测入库洪水流量过程的计算中,分水源参数对流量过程拟合计算有较大的影响。因此在率定汇流模型参数时,应该将汇流参数与分水源参数一起进行优选。

汇流优选率定模型参数的目标函数:

(1) 实测入库洪水流量与计算流量离差平方和最小:

$$\min F(S_m, EX, KSS, KG, k k_{ss}, k k_g, c, n, pg) = \min \left(\sum_{j=1}^m (Q(j)_{\text{实}} - Q(j)_{\text{计}})^2 \right) \quad (6)$$

(2)洪峰流量合格率最大:

$$\max FQ_m(S_m, EX, KSS, KG, kk_{ss}, kk_g, c, n, pg) = \max(N_{合格}/N \times 100\%) \tag{7}$$

(3)洪峰流量峰现时间误差最小:

$$\min FT(S_m, EX, KSS, KG, kk_{ss}, kk_g, c, n, pg) = \min(\sum_j^n |DT_j|) \tag{8}$$

式中, FQ_m 为场次洪水洪峰流量合格率; $N_{合格}$ 为模拟洪峰流量与实测洪峰流量相对误差小于等于 20% 的合格洪水场次数; N 为洪水场次总数; FT 为场次洪水峰现时差和。

2 模型模拟结果

2.1 参数优选结果

利用金牛山水库流域 1990~2000 年降雨径流资料进行模型参数率定,经调试,得产汇流模型参数优选率定结果。见表 1~表 3 所示。

表 1 金牛山水库流域产流模型参数优选结果

W_m	WU_m	WL_m	B	FE	C
110	20	70	0.4168	0.25	0.025

表 2 金牛山水库流域蒸散发修正系数优选结果

K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}
1.02	1.1	1.09	0.92	1.34	1.28	1.1	1.1

表 3 金牛山水库流域分水源汇流参数优选结果

S_m	EX	KSS	KG	kk_{ss}	kk_g	c	n	pg
8.592	1.794	0.1970	0.1441	0.9631	0.9893	0.0565	1.064	0.1

2.2 模型预报结果

将 1990-2000 年作为模型参数率定期,并采用 2001~2002 年资料进行模型检验。

经计算,在模型预报方案的模型参数率定期(1990~2000 年):模型效率系数为 87.94%,洪峰合格率为 80.56%,峰现时差 ≤ 3 h 的百分比为 72.20%。取其中 1998 年的 19980331 场次洪水实测流量与模拟流量进行对比,见图 2。

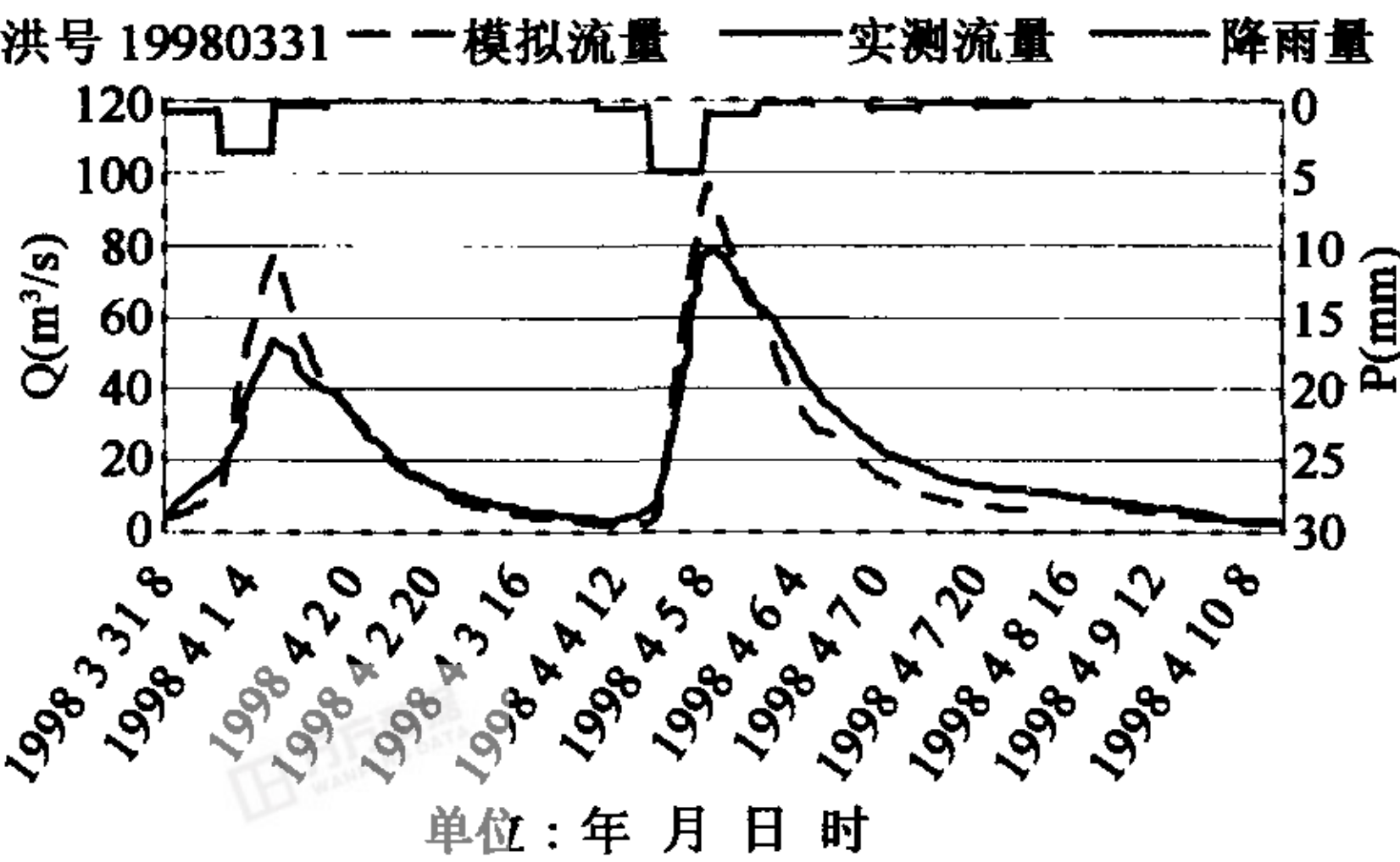


图 2 19980331 场次洪水实测流量与模拟流量对比图

在模型预报方案的模型检验期(2001~2002 年):模型效率系数为 96.00%,洪峰合格率为 75%,峰现时差 ≤ 3h 的百分比为 75.00%。

3 模型实际应用

现以 2003 年的 20030626 场次洪水为例,进行洪水预报实际应用。经计算,模型效率系数为 85.00%,预报模型洪峰误差为 5%,峰现时差 1h。洪水实测流量与模拟流量对比见图 3。

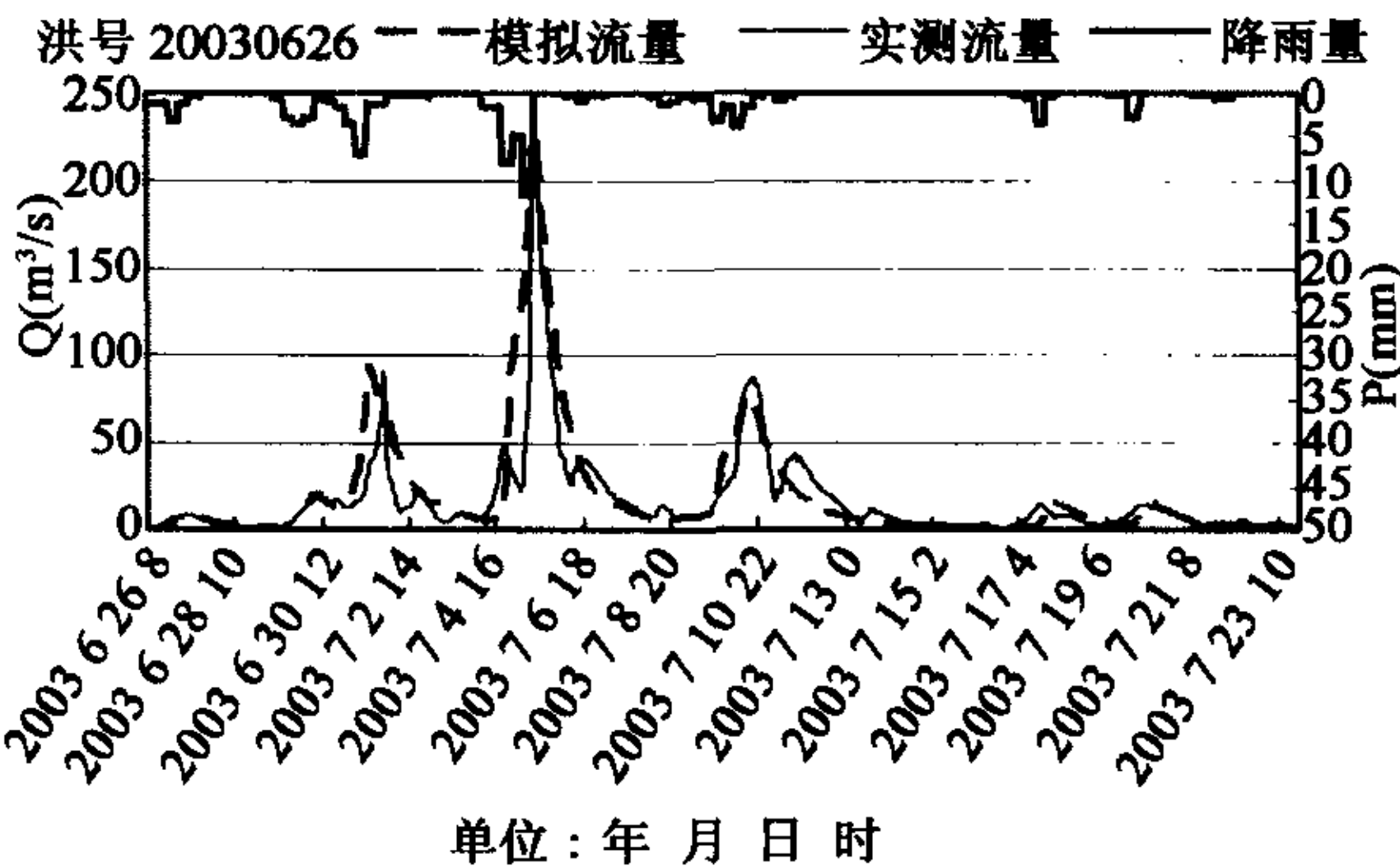


图 3 20030626 场次洪水实测流量与模拟流量对比图

4 结语

本文考虑到金牛山水库在该地区防洪中的重要性,采用三水源新安江产流模型、流域分散入流非线性汇流模型对流域洪水进行模拟。产流计算中,考虑到流域降雨的不均匀性以及土壤含水量的差异性,先采用单站进行计算,再计算流域产流;汇流计算中,考虑到流域降雨时空变化和地形、河道特征等的非线性影响,采用了变动雨强瞬时单位线模型描述地面汇流过程。

由于收集的雨洪资料多为长时段资料,因而对模型参数的优选和预报精度有一定影响。从 20030626(2003 年 6 月 26 号)场次洪水的实际应用来看,其预报效果是比较令人满意的。这为水库洪水预报和水库防汛调度提供了可靠的科学依据,对该地区的国民经济建设起到了比较重要的作用!

参考文献

[1]袁作新主编. 流域水文模型[M]. 北京:水利电力出版社, 1988.
[2]赵人俊. 流域水文模拟—新安江模型和陕北模型[M]. 北京:水利电力出版社,1984.
[3]宋星原等. 流域分散入流非线性汇流模型及其应用[J]. 水电能源科学研究, Vol. 15, No. 3, 1997, 9.