

# SCS 模型在黑林地区的应用研究

栾承梅<sup>1</sup>, 王 军<sup>2</sup>, 仇少鹏<sup>2</sup>

(1. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029; 2. 河海大学, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 以广泛应用于小流域水文模拟的 SCS 模型为基础, 利用黑林流域下垫面资料、土地利用资料等对模型参数作适当修正, 并用基于地形地貌的 Nash 单位线进行汇流计算。研究结果表明, 采用 SCS 水文模型对黑林小流域进行产汇流计算是可行的。

**关键词:** 防汛; 信息系统; 开发建设

中图分类号: TV131.65 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839 (2018) 11-0041-05

## Application research of SCS model in Heilin area

LUAN Chengmei<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>2</sup>, QIU Shaopeng<sup>2</sup>

( 1. *Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Nanjing 210029, Jiangsu;*  
2. *Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu* )

**Abstract:** Based on SCS model, which was widely used in hydrological simulation of small watershed, the model parameters were appropriately modified by using the underlying surface data and land use data of Heilin Basin, and the Nash unit line based on topography and geomorphology was used for the concentration calculation. The results showed that it's feasible to use the SCS hydrological model to calculate the runoff and concentration in the Heilin small watershed.

**Key words:** flood control; information system; development and construction

## 0 引言

气候变化和人类活动对水文水资源的影响是当前水文学研究的热点问题。在人类活动与气候变化的共同影响下, 产汇流下垫面发生很大变化, 洪水归槽速度加快, 区域的产汇流关系发生变化, 因此急需重新分析现状条件下的产汇流关系。目前, 国内外对于无资料地区产汇流的研究主要偏重于地貌水文学方法和水文模型方法。

本文主要针对黑林流域, 建立参数识别不依赖于水文资料的降雨产流模型和地貌参数与瞬时单位线参数之间的定量关系, 从而建立无资料地

区的水文模型, 并对黑林流域历史洪水进行模拟研究。

## 1 区域概况

黑林流域位于江苏省连云港市赣榆县西北部青口河上游, 流域面积为 183.2 km<sup>2</sup>, 干流长度为 17 km, 干流平均比降为 2.90‰, 流域平均宽度为 11 km, 流域平均比降为 36.9‰, 属于山丘型小流域。流域内黑林水文站修建于 1976 年 7 月, 是小塔山水库入库控制站。小塔山水库集水面积为 386 km<sup>2</sup>, 总库容 2.81 亿 m<sup>3</sup>, 属于大(Ⅱ)型水库。

收稿日期: 2018-04-18

**基金项目:** 江苏省水利科技项目: 基于地形地貌参数的典型小流域水文模拟研究(2017037), 国家自然科学基金重点项目: 山丘区产汇流机理、模型尺度效应及突发洪水预报研究(41730750)

**作者简介:** 栾承梅(1976—), 女, 博士在读, 高级工程师, 主要从事水文水资源工作。

黑林流域主河道上有多个滚水坝,对天然来水具有一定的调节作用。

本文采用网络共享平台提供的 30m×30mDEM 资料和中国科学院土地资源调查的 1:10 万土地利用数据,土壤数据采用第二次全国土地调查的 1:100 万土壤数据,水文资料采用洙边、黑林、清水涧三站 1976 ~ 2012 年共 37 年降雨资料,以及黑林水文站 1976 ~ 2012 年共 37 年流量资料。

黑林流域水文站点信息及资料年限见表 1,黑林流域及站点分布见图 1。

表 1 黑林流域水文站点信息及资料年限表

编号	站名	站别	建站年份	经度	纬度	本文采用资料年限
1	洙边	降水	1961	118° 52'	35° 05'	1976 ~ 2011
2	清水涧	降水	1976	118° 56'	35° 03'	1976 ~ 2011
3	黑林	降水	1961	118° 53'	35° 02'	1976 ~ 2011
4	黑林	水文	1976	118° 53'	35° 02'	1976 ~ 2011

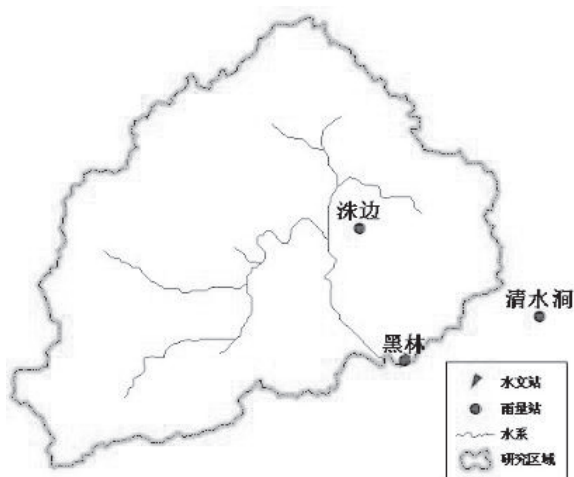


图 1 黑林流域及站点分布图

## 2 研究方法

### 2.1 SCS 产流模型

SCS 模型是美国农业水土保持局 (Soil Conservation Service) 于 1954 年根据美国自然地理状况和水文气象条件所研发的小流域设计洪水模型,因模型参数简单,需要资料易获取而得到较为广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。

SCS 曲线法的计算公式为:

$$Q_{suf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \quad (1)$$

式中:  $Q_{suf}$  为累计径流量或净雨 (mm);  $R_{day}$

为第  $i$  天的降雨量 (mm);  $I_a$  为初损,包括地表蓄水、截留和产流前的下渗 (mm);  $S$  为持蓄参数 (mm),持蓄参数由于土地利用、土壤类型、管理措施和坡度的不同空间变化,由于土壤含水量的不同时间变化。

$$\text{持蓄系数定义为: } S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2)$$

式中:  $CN$  为模拟日的曲线数。

初损  $I_a$  通常估计为  $0.2S$ , 则式 (2) 变为:

$$Q_{suf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)} \quad (3)$$

### 2.2 Nash 单位线

纳希 (J.E. Nash) 1957 年提出了一个假设,即流域对地面净雨的调蓄作用,可用  $n$  个串联的线性水库的调节作用来模拟<sup>[3-4]</sup>,由此推导出 Nash 瞬时单位线的数学表达式:

$$u(t) = \frac{1}{K(n-1)!} \left( \frac{t}{K} \right)^{n-1} e^{-t/K} \quad (4)$$

式中:  $u(t)$  为瞬时单位线;  $n$  为线性水库的个数,无因次;  $K$  为线性水库的蓄量常数,具有时间因次。

Nash 模型中的参数  $n$  是一个取决于霍顿地貌参数的汇流参数,它主要反映流域面积、形状和水系分布特点对流域汇流的影响,其计算公式如下:

$$\frac{(n-1)^n e^{(1-n)}}{(n-1)!} = 0.58 \left( \frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{0.05} \quad (5)$$

式中:  $R_B$ 、 $R_L$ 、 $R_A$  分别为流域水系的分叉比、河长比和面积比,一般统称为霍顿地貌参数,可进行如下计算:

$$R_B = \frac{N_w}{N_{w+1}}, w=1, 2, \dots, \Omega-1, \text{ 式中 } N_w \text{ 表示水系}$$

中  $W$  级河流数目;

$$R_L = \frac{\bar{L}_w}{\bar{L}_{w-1}}, w=2, 3, 4, \dots, \Omega-1, \text{ 式中 } \bar{L}_w \text{ 表示水}$$

系中  $W$  级河流的平均长度;

$$R_A = \frac{\bar{A}_w}{\bar{A}_{w-1}}, w=2, 3, 4, \dots, \Omega-1, \text{ 式中 } \bar{A}_w \text{ 表示水}$$

系中  $W$  级河流的平均流域面积。

Nash 模型中的参数  $K$  反映了水动力扩散作用对流域汇流的影响, 其计算公式如下:

$$\frac{(n-1)^n e^{(1-n)}}{(n-1)!} = 0.58 \left( \frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{0.05} \quad (6)$$

$$\lambda_i = \left( \sum_{j=1}^i R_L^{j-\Omega} \right) / \left( \sum_{j=1}^{\Omega} R_L^{j-\Omega} \right) \quad (i=1, 2, \dots, \Omega-1, \Omega) \quad (7)$$

式中:  $\Omega$  为流域的斯特拉勒 (Strahler) 级别, 即河系中最高级别的河流的级别;  $L_{\Omega}$  为河系中最高级别的河流的长度 (km);  $\lambda_{\Omega-1}$  为河源至  $\Omega-1$  级河流末端处的  $\lambda$  值;  $V_{\Omega}$  为流域出口断面的流速 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $\alpha$  为流域形心至流域出口断面的距离与流域长度的比值;  $m$  为反映河道纵剖面特性的综合参数, 根据实际资料分析, 其值一般在 1 ~ 1.2 之间。

### 3 研究实例

本文采用黑林流域 1976 ~ 2011 年降雨径流资料, 采用网络共享平台免费提供的 DEM 资料、土地利用成果数据和土壤数据, 运用 ArcGIS 软件的水文分析模块提取研究区域的基础信息、产流参数  $CN$  以及地貌瞬时单位线参数, 进而模拟黑林流域的产汇流过程。

#### 3.1 数字流域构建

运用 ArcGIS 软件的水文分析模块, 提取黑林研究区域基础信息, 结果如图 2(a) ~ 图 2(d) 所示。

Legend  
rawden  
Value  
High : 224  
Low : 27

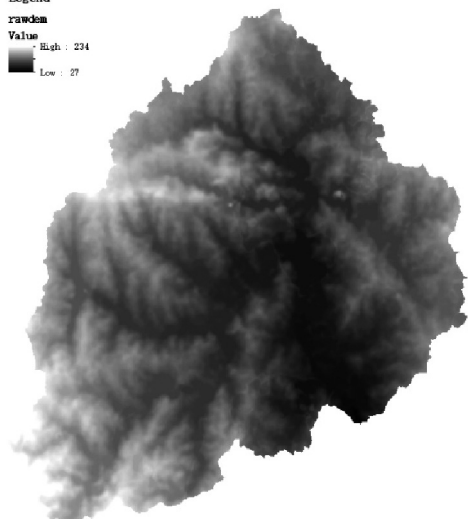


图 2(a) 黑林流域 DEM 图

Legend  
1  
2  
4  
8  
16  
32  
64  
128

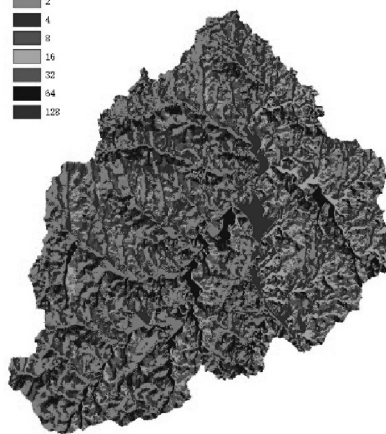


图 2(b) 黑林流域流向图

Legend  
fac  
Value  
High : 202522  
Low : 0

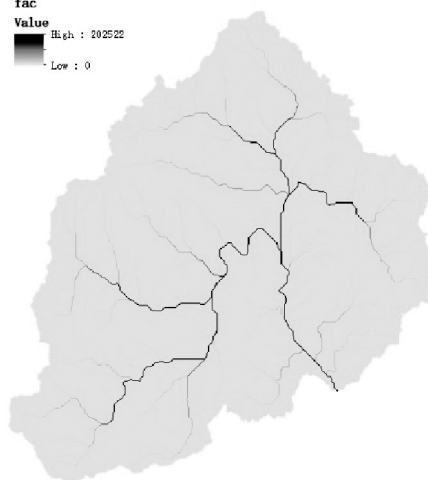


图 2(c) 黑林流域流向累积图



图 2(d) 黑林流域水系提取图

### 3.2 土地利用及土壤数据处理

利用黑林流域边界,裁切对应的土地利用和土壤类型,从而可得研究区土地利用和土壤类型分布图,如图 3~图 4 所示。

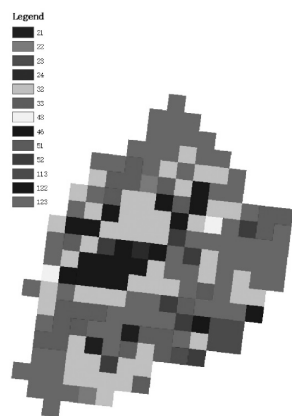


图 3 黑林流域土地利用分布图

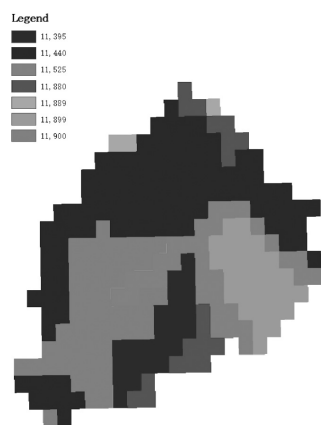


图 4 黑林流域土壤类型分布图

### 3.3 产流参数 $CN$ 的提取

根据黑林流域土壤和土地利用空间分布资料,采用 ArcGIS 中的重分类功能,计算不同土壤类型和不同土地覆盖类型的权重,参考表 2 的各类土壤覆盖类型及土壤类型对应的  $CN$  取值,计算研究流域的综合  $CN$  值。

### 3.4 地貌瞬时单位线参数提取

采用 ArcGIS 中的水文分析模块,分别提取黑林流域的流域面积、河流分级、不同级别对应的河数、平均河长、平均面积等基本信息,在此基础上,利用地貌定律,计算  $R_B$ 、 $R_L$  和  $R_A$ 。所提取的基本信息见表 3。

结合推求不同雨强条件下对应的瞬时单位线参数  $n$  和  $K$ ,推求瞬时单位线。在此基础上,利用  $S$  曲线进行时段转换,从而得到任意时段长的时段单位线。以 2007 年为例,瞬时单位线如图 5 所示。

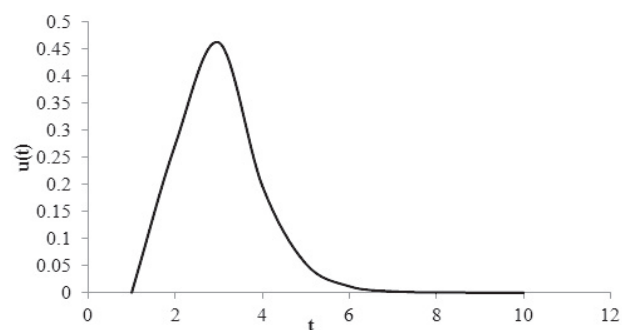


图 5 瞬时单位线图

表 2 不同土壤类型和土壤覆盖类型对应表

土 壤 类 型	土 地 覆 盖 类 型 $CN$ 值					土壤类型 的权重 (%)
	耕地	林地	草地	水体	住宅区	
A	62	25	36	100	60	30.27
B	71	55	60	100	74	69.73
C	78	70	73	100	83	0.00
D	81	77	78	100	87	0.00
土地利用类型权重 (%)	48.09	3.83	38.80	2.19	7.10	100.00

表 3 黑林流域信息提取成果表

级别	河数	平均河长 (km)	平均面积 ( $\text{km}^2$ )	$R_B$	$R_L$	$R_A$
1	7	3.07	17.48			
2	5	6.33	58.95	3.2	1.58	3.24
3	1	7.00	183.21			

### 3.5 模拟结果

通过产汇流计算, 以 1977 年~2008 年逐日平均洪水过程为例, 进行洪水模拟, 得到的结果如图 6(a)~图 6(h), 纵坐标单位均为  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

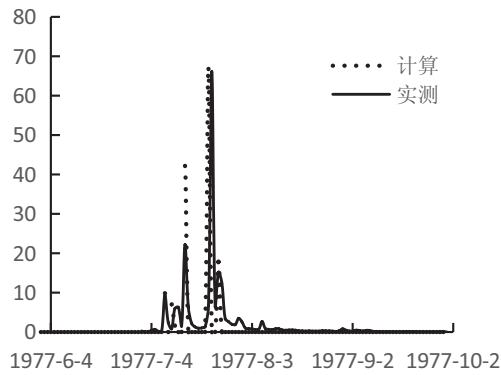


图 6(a)

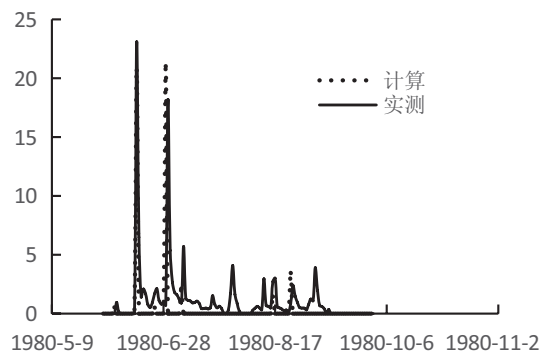


图 6(b)

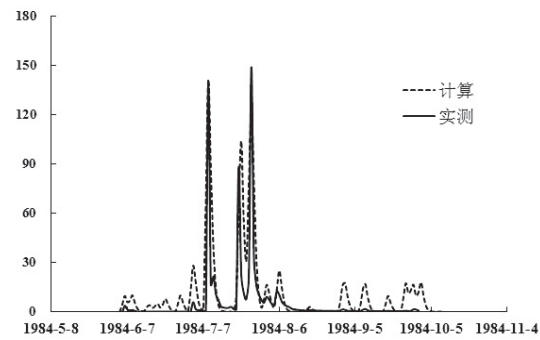


图 6(c)

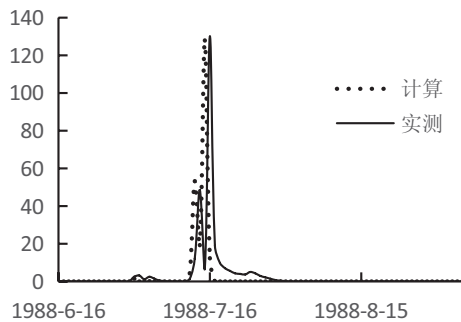


图 6(d)

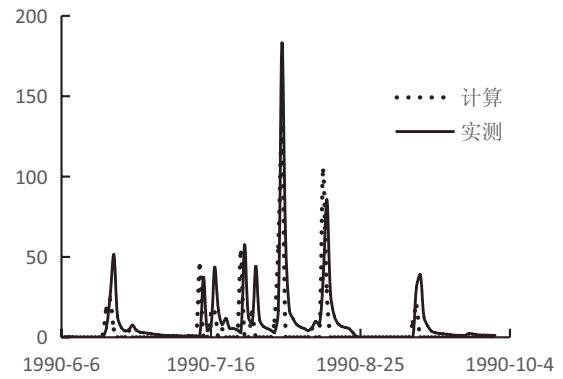


图 6(e)

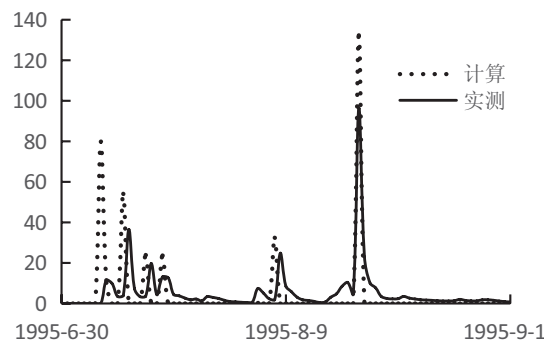


图 6(f)

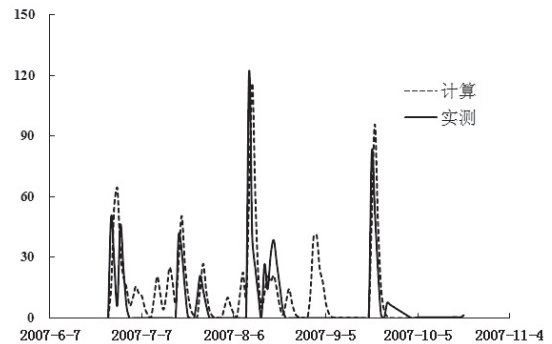


图 6(g)

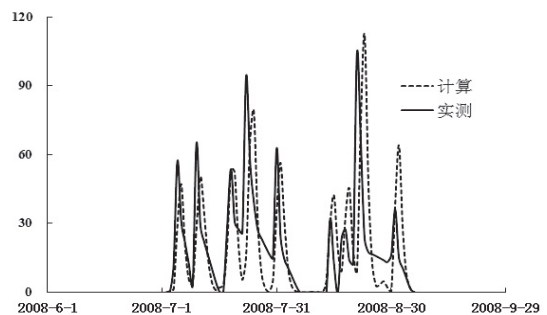


图 6(h)

图 6 1977 ~ 2008 年汛期洪水模拟过程

(下转第 52 页)



(上接第45页)

## 4 结论

(1) 通过 1977 ~ 2008 年历史洪水模拟, 结果显示本次研究提出的模型模拟的洪水过程线与实测过程线拟合较好, 且洪峰、洪量误差较小, 表明本次建立的模型模拟洪水过程符合实际情况。

(2) 本次研究模拟洪水过程线与实测过程中有些地方水量差距较大, 一般为 30% 左右, 调查表明黑林以上有多个拦河坝, 致使该区降雨与洪水之间对应关系受到干扰。

(3) 本次研究模拟的历史洪水过程线, 部分场次在前汛期和后汛期的模拟结果较差, 主要表现为实测过程有降雨不产流, 故在日常预报作业和

水量分析计算过程中要甄别雨水情情况。

## 参考文献:

- [1] 芮孝芳. 径流形成原理[M]. 南京: 河海大学出版社, 1997.
- [2] 张秀英, 孟飞, 丁宁. SCS 模型在干旱半干旱区小流域径流估算中的应用[J]. 水土保持研究, 2003(04): 172-174+249.
- [3] 姚蕾. 缺资料地区产汇流模型研究[D]. 南京: 河海大学, 2014.
- [4] 高蕴珏, 许有鹏. SCS 遥感水文模型在曹娥江流域应用研究[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1992(01): 150-159.