

文章编号:1005-0523(2011)04-0084-05

应用SCS模型模拟清丰水流域产汇流量

徐刘凯,王全金,向速林

(华东交通大学环境工程系,江西南昌 330013)

摘要:基于鄱阳湖区域农业非点源污染负荷估算的需要,简要介绍了径流曲线模型(SCS)及其应用现状,同时根据清丰水岗前水文站的实测数据进行模型参数率定,并将该模型应用于清丰水流域产、汇流量的模拟。结果表明,模拟数据与实测值具有较好的一致性,产汇流过程的模拟精度均达到70%以上。因此,应用SCS模型模拟清丰水流域降雨产、汇流量是可行的,具有较高的精度。

关键词:清丰水流域;SCS模型;产流计算;汇流计算

中图分类号:P334.92

文献表示码:A

径流曲线模型(soil conservation service, SCS)是美国农业部水土保持局在上世纪50年代提出的流域水文模型^[1],具有所需资料简单易取、对观测数据要求不是很严格等特点,能够客观描述不同土地利用方式、土壤类型、前期土壤含水量及流域水文、气象资料条件下的地表径流过程,对于小流域径流预报具有较强的能力^[2]。SCS模型在美国及其他一些国家的流域工程规划、水土保持及防洪、城市水文、土地房屋的洪水保险及无资料流域的多种水文问题等诸多方面得到广泛的应用,取得了较好的效果^[3]。Karl Auerswald等利用回归方法得出研究区域的CN值再计算径流量。Hrimali等采用RS和GIS技术并结合SCS-CN法计算模拟地表径流^[2]。中国在20世纪80年代开始研究并应用SCS模型^[4],不同的学者将SCS模型直接或稍加改进后应用于所研究区域,均获得了理想的结果。沈健聪(1987)将SCS模型应用于四川峨眉径流实验站万善桥小流域,并对产流计算作了改进。晋华等^[3](2003)将SCS模型应用于岚河流域的产汇流计算,取得了较高的精度。周翠宁(2008)将SCS模型应用于北京温榆河流域的降雨-径流关系中,得到了较好的效果。本文根据清丰水流域下游岗前水文站的水文资料对SCS模型进行参数率定和模拟验证,从而分析探讨SCS模型应用于该流域产、汇流量模拟的可行性及其精度。

1 SCS模型简介

1.1 SCS模型的产流部分^[5-8]

美国SCS模型通过分析大量实测资料,得出降雨-径流基本关系为

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - Ia} \quad (1)$$

式中: F 为实际后损,mm; S 为流域当时的最大可能滞留量,mm; Q 为径流量,mm; P 为降雨总量,mm; Ia 为初损,mm。

又有次降雨后,流域的水量平衡方程:

$$P = Ia + F + Q \quad (2)$$

根据(1)式和(2)式可以得出SCS模型的产流计算公式:

收稿日期:2011-01-21

基金项目:江西省科技支撑重点项目(2010BNA09600);江西省自然科学基金项目(2010GZC0021);

作者简介:徐刘凯(1985-),男,硕士研究生,主要研究方向为污水处理。

$$\begin{cases} Q = \frac{(P-Ia)^2}{P+S-Ia} & P \geq Ia \\ Q = 0 & P < Ia \end{cases}$$

其中: $S = \frac{25400}{CN} - 254$, $Ia = 0.2S$

CN是反映降雨前流域特征的一个综合参数,它和流域前期湿润状况、坡度、植被、土壤类型和土地利用现状等有关。其中,前期湿润状况分为三级,AMC I 为干旱情况,AMC II 为正常情况,AMC III 为湿润情况,具体划分如表1所示。而SCS模型中的土壤类型分为4类,见表2。

表1 流域前期土壤湿润程度等级

Tab.1 Soil moist degree of early stage in the river basin

前期湿润程度等级	前5天总雨量/mm	
	休眠季节	生长季节
AMC I	<13	<36
AMC II	13~28	36~53
AMC III	>28	>53

表2 SCS模型中土壤的分类

Tab.2 Soil classification in SCS model

土壤类型	不同土壤类型描述
A	厚层沙,厚层黄土,团粒化粉沙土
B	薄层黄土,沙壤土
C	粘壤土,薄层沙壤土,有机质含量低的土壤,粘质含量高的土壤
D	吸水后显著膨胀的土壤,塑性大的粘土,某些盐渍土

1.2 SCS模型的汇流部分^[9-13]

SCS模型采用一条统一的无因次单位线来计算径流过程。模型的单位线洪峰流量用下述经验公式计算:

$$q_p = \frac{0.311AQ}{t_c}$$

式中: q_p 为单位线洪峰流量, $m^3 \cdot s^{-1}$; A 为流域面积, km^2 ; Q 为净雨量, mm ; t_c 为汇流时间, h 。

t_c 通过滞时法求得:

$$\begin{cases} t_c = 5/3L \\ L = \frac{l^{0.8}(S+25.4)^{0.7}}{7069.7y^{0.5}} \end{cases}$$

其中: L 是滞时, h ; l 是水流流程, m 。

2 SCS模型在清丰水流域的应用

2.1 清丰水流域概况

清丰水,又称清丰山溪,发源于江西省清江县和丰城市交界的山区,属于赣江流域和鄱阳湖水系,其流域范围在赣东大堤与抚西大堤之间,主河长115.4 km,岗前站以上集水面积2313 km^2 。清丰山溪为芎、丰、秀、槎、白土、楮山水六条河流的总称,抚河干流改道后,通过南昌县上洲李至岗前新开7 km的排洪道,经由棠墅港抚河故道八字脑入鄱阳湖。流域属于亚热带湿润季风型气候,气候温和,年平均气温在17 $^{\circ}C$ 左右,雨量充沛,多年平均降水量为1 688.7 mm,降水多集中在4~6月。流域大致呈南北走向,域内形似扇形,河床比降为3.39%。流域内地带性土壤是红壤(63.9%),耕作土主要是水稻土(17.8%),另外还有红壤性土(9.7%)、黄壤(4.9%)、紫色土(2.2%)以及其他类型的土壤(1.5%)^[14]。土地利用类型以林地(61.1%)为主,其次为耕地(27.7%)、水体(4.7%)、草地(4.3%)、建筑用地和未用地(2.2%)^[14]。

岗前水文站是鄱阳湖区清丰水流域的区域代表站,位于江西省南昌县广福镇吴石村,东经115 $^{\circ}$ 58',北纬28 $^{\circ}$ 21'。观测项目有水位、流量、降水量。参考陈华、郭生练等^[15]的清丰山流域防洪调度决策系统,制作水系概化图如图1所示。

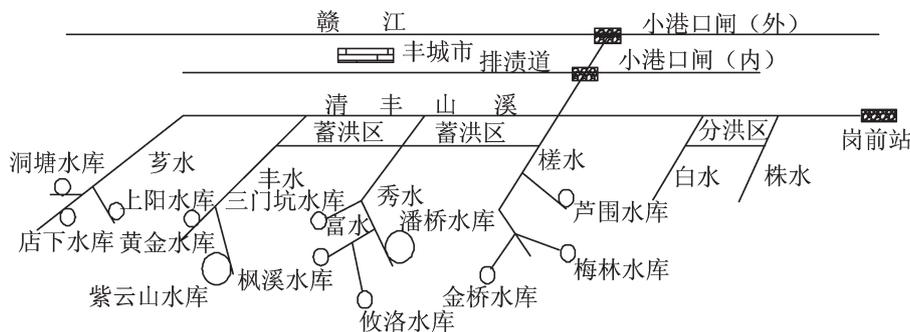


图1 清丰山溪流域水系概化图

Fig.1 The generalized water system graph of Qingfeng water basins

2.2 产流计算

鄱阳湖平原的土壤主要红壤和水稻土,属于粘壤土,CN参数可选C类土壤。根据SCS模型CN值表,结合其他学者在鄱阳湖地区和赣江流域的研究成果以及清丰山溪流域实际的降雨径流资料,确定水文条件中等时,不同土地利用方式的CN值,再根据以下公式确定AMC II和AMC III,结果见表3。

表3 清丰水流域不同土地利用方式的CN值

Tab.3 CN values of different land-using in Qingfeng water basins

AMC等级	总取值	林地	耕地	水体	草地	建筑用地和未用地
AMC I	46	41	51	67	49	67
AMC II	66	62	71	83	70	83
AMC III	82	79	85	92	84	92

$$CN_1 = \frac{4.2CN_2}{10 - 0.058CN_2}$$

$$CN_3 = \frac{23CN_2}{10 + 0.13CN_2}$$

表4 岗前站降雨径流监测分析资料

Tab.4 Analysis material of rainfall runoff monitoring in Gangqian Station

序号	峰号	洪水开始时间	洪水结束时间	洪峰时间	洪峰水位/m	洪峰流量/m³·s⁻¹	峰型	降雨开始时间	降雨结束时间	降雨量/mm	Pa值/mm	净峰流量/m³·s⁻¹	径流深/mm
1	1989 0625	06-26 20:00	07-13 20:00	07-03 12:00	25.09	875	单	06-25 14:00	07-04 08:00	335.2	78.5	750	215.9
2	1990 0611	06-11 20:00	06-24 20:00	06-13 16:00	23.13	415	复	06-11 08:00	06-19 08:00	157.2	84.9	242	85.7
3	1992 0506	05-26 21:30	05-15 08:00	05-08 12:00	22.24	267	单	05-06 08:00	05-10 08:00	61.6	97.7	216	38.5
4	1992 0624	06-25 04:30	06-30 22:30	06-27 01:00	23.81	596	单	06-24 08:00	06-27 08:00	118.8	106.9	419	74.3
5	1992 0630	07-01 00:00	07-17 22:00	07-06 02:00	24.00	560	单	06-30 02:00	07-07 08:00	172.1	99.7	383	119.4
6	1993 0630	06-30 13:00	07-19 08:00	07-05 20:00	23.63	471	单	06-30 08:00	07-08 20:00	217.3	86.8	399	131.7
7	1993 0806	08-07 00:00	08-14 18:00	08-08 21:30	21.60	159	复	08-06 08:00	08-10 08:00	68.2	65.7	133	26.4
8	1994 0423	04-24 14:00	05-01 08:00	04-26 14:00	22.10	257	单	04-23 08:00	04-27 08:00	76.5	90.2	222	39.0
9	1994 0501	05-01 09:00	05-08 23:00	05-04 00:00	22.90	404	单	05-01 08:00	05-04 08:00	115.6	98.6	322	68.0
10	1994 0606	06-09 12:00	07-06 00:00	06-17 20:00	25.24	895	复	06-06 08:00	06-23 08:00	491.0	78.2	769	297.3
11	1996 0529	05-31 06:00	06-10 18:00	06-02 17:00	23.84	560	单	05-29 08:00	06-04 02:00	182.5	100.0	500	95.9
12	1997 0702	07-03 12:00	07-21 14:00	07-09 18:00	24.37	728	单	07-02 08:00	07-13 20:00	245.4	87.3	654	152.3
13	2000 0619	06-19 15:00	07-02 00:00	06-24 02:00	23.34	467	复	06-19 08:00	06-24 08:00	152.0	86.2	238	75.8
14	2002 0624	06-25 07:30	07-07 07:00	07-01 08:00	23.14	466	单	06-24 08:00	07-02 08:00	183.6	90.4	480	95.1
15	2002 0806	08-06 14:00	08-15 08:00	08-10 00:00	22.21	268	单	08-06 08:00	08-11 08:00	120.3	72.6	216	54.4

应用SCS模型模拟岗前站1989—2002年15场典型降雨洪水过程,如表4所示,其中洪水、降雨的开始结束时间以及洪峰时间,都以月日时的格式提供,其监测年份为对应峰号的前四位数字。一般认为,应用SCS模型进行径流模拟时,计算径流量与实测径流量的相对误差在15%以内为合格,反之为不合格。但直接模拟后发现误差较大,这主要是由于清丰山流域面积相对较大且中上游的水库改变了流域的自然水文特性。所以借鉴洪林在《SCS模型在流域尺度水文模拟中的应用》所采用的检验方法,以相对误差小于30%为评定标准。考虑到所选的径流过程主要集中在雨季,流域的植被覆盖度较高,下渗水量较多,即初损较大,故将 I_a 提高到 $0.25S$,产流模拟结果见表5。结果显示,模型模拟的产流量有4场不合格,11场合格,合格率为73%,基本满足参数率定的要求^[16]。

表5 清丰水流域径流模拟计算与实测值比较

Tab.5 Comparison of runoff simulation and measured value in Qingfeng water basin

峰号	降水量/mm	实测值/mm	模拟值/mm	相对误差/%	是否合格
19890625	335.2	215.9	273.5	26.7	合格
19900611	157.2	85.7	102.9	20.1	合格
19920506	61.6	38.5	21.9	75.8	不合格
19920624	118.8	74.3	68.3	8.1	合格
19920630	172.1	119.4	116.7	2.3	合格
19930630	217.3	131.7	159.4	21.0	合格
19930806	68.2	26.4	26.7	1.0	合格
19940423	76.5	39.0	33.0	18.2	合格
19940501	115.6	68.0	65.5	3.8	合格
19940606	491.0	297.3	426.9	43.6	不合格
19960529	182.5	95.9	126.5	31.9	不合格
19970702	245.4	152.3	186.3	22.3	合格
20010419	138.8	75.9	86.1	13.5	合格
20020624	183.6	95.1	127.5	34.1	不合格
20020806	120.3	54.4	69.6	28.0	合格

2.3 汇流计算

为进一步验证其正确性,选择上述资料中11场单峰型降雨径流过程进行模拟,汇流模拟结果见表6。同样以相对误差30%为合格标准,结果显示,模型模拟的峰值流量有3场不合格,8场合格,合格率为73%。在所选的11场降雨-洪峰实测资料中,模拟发现计算峰值流量全部超过实测峰值流量,分析认为这主要是由于紫云山和潘桥两个大型水库以及金桥、店下和攸璐等中型水库对径流的拦截调蓄作用,削减了洪峰流量。同样,可能由于水库的调蓄作用人为地改变了洪峰的峰现时间,使得模拟值和实测值相差较大。虽然清丰山溪的峰现时间不适合用SCS模型验证,但得到的降雨-径流规律足以用来估算鄱阳湖地区的降雨径流量,从而为该区域的农业非点源污染负荷估算提供有效数据。

表6 汇流计算表

Tab.6 Confluence calculation

峰号	实测峰流量/ $m^3 \cdot s^{-1}$	计算峰流量/ $m^3 \cdot s^{-1}$	相对误差/%	是否合格
19890625	750	927.8	23.7	合格
19920506	216	241.7	11.9	合格
19920624	419	469.0	11.9	合格
19920630	383	490.9	28.2	合格
19930630	399	640.6	60.6	不合格
19940423	222	248.5	11.9	合格
19940501	322	360.0	11.8	合格
19960529	500	583.0	16.6	合格
19970702	654	1196.5	83.0	不合格
20020624	408	575.0	41.0	不合格
20020806	216	247.8	14.7	合格

3 结语

通过对清丰水流域实测的降雨径流资料的分析研究,提出了适合清丰水流域不同AMC等级、不同土地利用方式的CN值,并对 Ia 值进行了率定,同时利用SCS模型模拟了清丰水流域的产、汇流量。模拟结果表明,参数率定后的SCS模型基本满足应用精度要求,对小流域产、汇流量的模拟具有一定的可行性。本研究的开展为探索鄱阳湖地区降雨径流规律提供了重要参考依据。

参考文献:

- [1] 王爱娟,张平仓,丁文峰.应用SCS模型计算秦巴山区小流域降雨径流[J].人民长江,2008,39(15):49-50,77.
- [2] 刘家福,蒋卫国,占文凤,等.SCS模型及其研究进展[J].水土保持研究,2010,17(2):120-124.
- [3] 晋华,孙西欢,李仰斌.SCS模型在岚河流域的应用研究[J].太原理工大学学报,2003,34(6):735-736,752.
- [4] 穆宏强.SCS模型在石桥铺流域的应用研究[J].水利学报,1992(10):79-83,89.
- [5] MISHRA S K, SINGH V P. Long-term hydrological simulation based on the soil conservation service curve number[J]. Hydrol Processes, 2004, 18: 1291-1313.
- [6] 孙立堂,曹升乐,陈继光,等.改进的SCS模型产流参数在小清河流域的率定[J].人民黄河,2008,30(5):33-34.
- [7] 张美华,王晓燕,秦福来.SCS模型在密云匣试验小区降雨径流量估算中的应用[J].首都师范大学学报:自然科学版,2004,25(专辑):155-158.
- [8] 彭定志,游进军.改进的SCS模型在流域径流模拟中的应用[J].水资源与水工程学报,2006,17(1):20-24.
- [9] 杨荣清,胡立平,史良云.赣江流域水文特性分析[J].水资源研究,2003,24(1):35-37,40.
- [10] 张钰娴,穆兴民,王飞.径流曲线数模型(SCS-CN)参数 λ 在黄土丘陵区率定的率定[J].干旱地区农业研究,2008,26(5):124-128.
- [11] PENG D Z, XIONG L H, GUO S L, et al. Study of Dongting Lake area variation and its influence on water level using MODIS data[J]. Hydrol Sci, 2005, 50(1):31-44.
- [12] MARIO O, MARTIN R. Adaptive projection operators in multiresolution scientific visualization[J]. IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 1999, 22(7):74-79.
- [13] 徐秋宁,马孝义,安梦雄,等.SCS模型在小型集水区降雨径流计算中的应用[J].西南农业大学学报,2002,24(2):97-100,107.
- [14] 刘健,张奇.一个新的分布式水文模型在鄱阳湖赣江流域的验证[J].长江流域资源与环境,2009,18(1):19-26.
- [15] 陈华,郭生练,陈森林,等.清丰山流域防洪调度决策系统[J].水电能源科学,2004,22(1):29-32.
- [16] 洪林,罗琳,江海涛.SCS模型在流域尺度水文模拟中的应用[J].武汉大学学报:工学版,2009,42(5):582-586.

A Simulation of Runoff Calculation and Confluence Calculation in Qingfeng Water Basin by Applying SCS Model

Xu Liukai, Wang Quanjing, Xiang Sulin

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Based on demands of estimating non-point source pollution load in region of Poyang Lake, the paper briefly introduces SCS and its application status, and simulates runoff calculation and confluence calculation in Qingfeng water basin by applying SCS Model whose measurement data are used to set model parameters rate in ex-Qingfeng hydrometric station. Results show that the simulated data is consistent with measured data. Simulation accuracy of runoff and confluence process reaches more than 70%. Therefore, it is feasible and accurate to simulate runoff calculation and confluence calculation in Qingfeng water basin by applying SCS Model.

Key words: Qingfen watersheds; SCS model; runoff calculation; confluence calculation