

文章编号: 1006-4710(2013)04-0386-06

基于 SCS 模型实时洪水预报系统的研究

赵晶^{1,2}, 黄强¹, 郝鹏³, 田文君²

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 黄河水利委员会水文局, 河南 郑州 450004; 3. 黄河水利出版社, 河南 郑州 450004)

摘要: 实时洪水预报系统能够及时地进行洪水预报, 从而使决策者提前做出防汛措施, 以便及时的对水库进行放水或蓄水, 减少损失, 达到防洪减灾的目的。应用 SCS 模型的产汇流理论及水文预报方法, 使用 Excel VBA 语言对所需计算进行程序设计。模型和实时技术相结合, 研究实时洪水预报问题, 并以雍混水河小流域 2011 年的 1 次实测降雨为例进行计算。研究结果表明, SCS 模型能够描述不同土壤类型和前期土壤含水量条件下的地表径流过程, 对于小流域洪水预报具有较强的能力。实时预报结果与实测值十分接近, SCS 模型能够及时、高效进行洪水预报。

关键词: 洪水; 实时; SCS 模型; 预报

中图分类号: TV121.1 文献标志码: A

Research on Flood Real-Time Forecasting Based on SCS Model

ZHAO Jing^{1,2}, HUANG Qiang¹, HAO Peng³, TIAN Wenjun²

(1. Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE, Xi'an University of Technology,

Xi'an 710048, China; 2. Hydrology Bureau of The Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450004, China;

3. Yellow River Conservancy Press, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: Accurate flood forecast can make the flood forecast in time, whereby the decision-maker can work out the prevention measures in advance so as to release or store water in reservoirs in time to reduce losses in such a way that the objective of flood control and disaster reduction can be achieved. This paper uses SCS model of run off production and collection theory and hydrological predicting method and Excel VBA language to carry out programming design for the computers needed. The combination of model with real-time technology is used to study the real-time flood forecast problem, with one real measured rainfall in small watershed of Yong Hunshui in 2011 as an example to carry out calculation. The research results indicate that SCS model is able to describe the different types of soil and the process of land surface runoff under the soil moisture content conditions in the previous period, which is of strong capacity to forecast flood in small watershed. The Real-time forecast results are found to be close to the real measured values. Accordingly, SCS model is able to carry out flood forecast in time and with high efficiency.

Key words: flood; real-time; SCS model; forecast

实时洪水预报和调度工作是防汛工作的重要组成部分。洪水预报是否及时与精度直接影响到防洪调度的决策, 关系到防灾减灾等问题^[1]。因此, 及时有效的洪水预报方案在防洪工作中非常重要。目前国内仍大量采用传统的洪水预报方法, 并且仍以实际降雨为输入进行预报作业; 如新安江模型, 其物

理机制清晰、模型结构合理, 在我国南方及部分国外地区仍在大量应用, 类似的还有陕北模型、大伙房模型等。而 SCS 模型是以降雨为输入条件的, 不得不做大量假设, 进而引进少量参数。但是针对无资料或少资料的中小流域非常适用^[2-4]。本研究利用 SCS 模型, 根据实时的降雨资料推求出形成的洪水

收稿日期: 2013-07-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50709027)。

作者简介: 赵晶, 女, 博士生, 研究方向为水文水资源。E-mai: zhaojing51806@126.com。黄强, 男, 教授, 博导, 研究方向为水资源系统工程研究。E-mai: wresh@mail.xaut.edu.cn。

规模,以便决策者及时的对水库进行放水或蓄水,达到防洪减灾的目的。SCS 模型应用研究成果分为以下 4 个阶段:1) 探讨模型适用性;2) 解决相关学科遇到的问题;3) 改进了参数的获取途径;4) 确定参数的选定标准^[5]。本文应用 SCS 模型的产汇流理论及水文预报方法,使用 Excel VBA 语言对所需计算进行程序设计。

1 SCS 模型概述

Soil Conservation Service (简称 SCS) 模型是由美国农业部水土保持局提出的。在美国得到广泛应用,并取得较好的效果。SCS 模型进入中国,是在上世纪 90 年代由穆宏强应用于湖北省石桥铺小流域,为小流域的产汇流计算提供了一定依据^[6]。SCS 模型有如下特点:1) 模型结构简单,参数少;2) 综合考虑了人类活动对径流产生的影响;3) 可应用于无资料或少资料的小流域;4) SCS 模型考虑了流域下垫面的特点^[7]。下垫面条件是影响降雨径流关系的重要因素,却少有人把它如此显著且有效的地列入水文模型的定量计算之中,导致有些不合理的数据存在。

1.1 SCS 模型的产流计算^[8-13]

水土保持局通过大量资料分析,按水量平衡原

表 1 不同 AMC 等级的 CN 值换算表

Tab. 1 Different levels of CN AMC value conversion table

AMC II 时的 CN 值	相应 AMC I 时的 CN 值	相应的 AMC III 时的 CN 值	AMC II 时的 CN 值	相应的 AMC I 时的 CN 值	相应的 AMC III 时的 CN 值
100	100	100	45	27	65
95	87	99	40	23	60
90	78	98	35	19	55
85	70	97	30	15	50
80	63	94	25	12	45
75	57	91	20	9	39
70	51	87	15	7	33
65	45	83	10	4	26
60	40	79	5	2	17
55	35	75	0	0	0
50	31	70			

表 2 SCS 模型中土壤的分类
Tab. 2 Soil classification in SCS model

土壤分类	类型描述	最小下渗率/(mm/h)
A	厚层沙、黄土、团粒化粉沙土	7.26 ~ 11.43
B	薄层黄土、沙壤土	3.81 ~ 7.26
C	粘壤土、薄层沙壤土、粘质含量高的土壤	1.27 ~ 3.81
D	吸水后显著膨胀的、塑性大的土壤、某些盐渍土	0 ~ 1.27

理,且考虑到初损未满足时不产流,得出 SCS 模型的降雨——径流基本关系为:

$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}, P \geq 0.2S \\ R &= 0, P < 0.2S \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: P 为降雨量(mm); R 为径流量(mm); S 为流域最大可能滞留量(mm), S 值是后损的上限。当时 S 值的变化很大,从实际出发,引入一个参数 CN (Curve number), CN 与 S 经验关系如下:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

其中 CN 作为一个综合参数,能够准确地反映降雨前流域的特征,它与流域前期的土壤湿润程度、流域中植被、坡度、土壤类型状况密切相关。SCS 模型把一次降雨的前 5 天总雨量作为依据,把前期土壤湿润程度分成 3 个等级,根据不同的 AMC 等级给出 CN 值,如果 CN 值在 AMC II 下,则不用转换。在 AMC II 下即前五天降雨量:休眠季节 12.7 ~ 27.94, 生长季节 35.56 ~ 53.34, 则不用转换。如果在别的范围里,则需要 CN(II) 与 CN(I) 或 CN(III) 之间进行转换。见表 1。SCS 土壤分类的定义可查表确定,还可按照土壤的最小下渗率来做 SCS 土壤分类,见表 2。

1.2 SCS 模型的汇流计算^[14-20]

模型用下述经验公式求单位线洪峰流量:

$$q_p = \frac{0.208FR'}{t_p} \quad (3)$$

式中: q_p 为净雨(mm); R' 为单位净雨量(mm); F 为流域面积(km^2); t_p 为峰现时间(h)。 t_p 与汇流时间 t_c 建立如下关系:

$$t_p = \frac{2}{3} t_c \quad (4)$$

$$t_c = \frac{5}{3}L \quad (5)$$

$$L = \frac{l^{0.8}(S + 25.4)^{0.7}}{7069y^{0.5}} \quad (6)$$

式中: L 为滞时(h); t_c 为汇流时间(h); l 为水流长度(m); y 为流域平均坡度(%)。

无因次单位线时段 D 用下式计算:

$$D = 0.133t_c \quad (7)$$

由上述各式可以分别求得 q_p 、 t_p 和 D ,将无因次的单位线转化为时段单位线,再利用产流计算公式求出每一时段 D 内的径流量,与单位线相乘,按叠加定理可得出流过程。在汇流计算中,SCS模型是用一条纵坐标为 q/q_p ,横坐标为 t/t_p 的无因次单位线来计算流出过程线的。

2 应用SCS模型的实时洪水预报

所谓实时洪水预报,即当实际降雨开始之后,根据已知的降雨过程进行实时滚动预报,能够较为准确地预报洪水形成的动态过程。为实时水库调度决策提供依据^[21-22]。SCS模型适用于中小流域地区,洪水具有汇流速度快,预见期短等特点,对于中小水库的实时洪水预报具有显著作用^[23]。本文选用简化单位线法,对洪水要素(洪峰流量、峰现时间、洪水总历时)重点预报,从而达到适用性强,计算速度较快,而且预报精度高的目的^[24]。

2.1 窗体的建立

在Visual Basic编辑环境下,利用“插入”——“用户窗体”为指定的项目插入一个自定义窗体。在窗体或工作表中加入一个标签控件时,可以使用鼠标单击“控件”工具箱中的“标签”图标,并在鼠标程十字型时,拖拽您的鼠标,即可新增一个标签控件,在控件中,直接选择命令按钮。利用工具箱可以加入想要的标签,文本内容,命令按钮等等。

2.2 程序的编辑

建立SCS窗体,其中“开始录入”和“结束”为命令按钮,“水流长度”,“流域平均坡度”,“面积”,“CN”等分别为标签,右边对应的是文本框,这些都可以工具箱中实现。

然后输入前五天降雨量,对输入参数值进行合理性判断,如CN值在0~100才执行下面的程序。这也是由SCS模型本身所决定的。对输入时间和降雨量值进行合理性判断,判断标准为时间是否在0~24点,是否为空,降雨量是否为负值等。

2.3 产流计算

部分程序:

```

If xzfw.Text = "请选择范围" Then
MsgBox "请选择前五天雨量!", vbInformation,
"提示!"
Exit Sub
End If
If cd = "" Or pd = "" Or mj = "" Or teben
= "" Then
MsgBox "输入的参数不全!", vbInformation,
"提示!"
Exit Sub
End If
'计算CN值
cn = teben.Text
If xzfw.Text = "<12.7" Or _
xzfw.Text = "<35.56" Then
CN1 = 0.0073 * CN2 ^ 2 + 0.2111 * CN2 +
1.5172
cn = CN1
' MsgBox "CN1 = " & CN1
Else
If xzfw.Text = ">27.94" Or _
xzfw.Text = ">53.34" Then
CN3 = -0.0071 * CN2 ^ 2 + 1.6411 * CN2
+ 6.9548
cn = CN3
' MsgBox "CN3 = " & CN3
End If
End If

```

2.4 汇流计算

首先是汇流参数计算,然后是单位线的转换,最后形成汇流过程。以下为计算汇流参数的部分程序:

```

L = ((11 * 1000) ^ 0.8 * (S + 25.4) ^ 0.7)
/ 7069 * Y ^ 0.5 '计算滞时
MsgBox "L = " & L
Tc = 5 / 3 * L '计算汇流时间
MsgBox "Tc = " & Tc
Tp = 2 / 3 * Tc '计算峰现时间
' MsgBox "Tp = " & Tp
D = 0.133 * Tc '计算无因次单位线时段 D
MsgBox "D = " & D
ActiveWorkbook.Sheets(1).Cells(3, 4) = "时段(Δh = " & Format(D, "##0.####") & "h)"
Qp = 0.208 * mj.Text / Tp '计算净雨为1mm
的单位线洪峰流量[Qp = 0.208 * F * R / Tp]

```

'MsgBox "Qp = " & Qp

将时间~降雨量,用D作插值后,利用插值好的时段单位线进行汇流,得出流量过程。以下为汇流过程部分程序:

'累积净雨量插值程序

If x = 2 Then

T2 = CSng(ActiveWorkbook.Sheets(1).

Cells(x + 3, 1) * 24)

T1 = CSng(ActiveWorkbook.Sheets(1).Cells(x + 2, 1) * 24)

R2 = ActiveWorkbook.Sheets(1).Cells(x + 3, 3)

R1 = ActiveWorkbook.Sheets(1).Cells(x + 2, 3)

If T2 < T1 Then

T2 = T2 + 24

End If

m = Int((T2 - T1) / D)

'MsgBox "T2 = " & T2 & " T1 = " & T1 & " / R2 = " & R2 & " R1 = " & R1 & " / m = " & m

For i = 1 To m

If T1 <= (T1 + D * i) And T2 >= (T1 + D * i) Then

a = a + 1

ActiveWorkbook.Sheets(1).Cells(a + 3, 4) = a

ActiveWorkbook.Sheets(1).Cells(a + 3, 5) = R1 + (R2 - R1) / (T2 - T1)

3 应用举例

雍混水河小流域位于广西柳江县,位于北纬24°11',东经109°35',年平均气温为20.4℃(极端高温为38.9℃,极端低温为-1.3℃),年平均降雨量为1423.4mm,年平均蒸发量为1594.2mm,年平均相对湿度为77%。该区面积为3.42km²,水流长度l=3.1km,平均坡度γ=63.4%,根据雍混水河小流域多年降水特性,确定研究区域前期土壤湿润程度为平均情况(AMC II);土壤水文组分类为B类。用加权平均法求的全流域的CN=94(CAM II),随机选取雍混水河小流域2011年1次降雨的实测降雨-径流数据,利用SCS模型计算径流量,得出结果,与实际径流量进行对比。前五天天总雨量为88.4mm。已知某次累计降雨过程如表3所示,试用所研究的系统进行洪水预报。

表3 累计降雨过程

时间/h	1:00	2:00	3:00	4:00
降雨/mm	5	12	25	30

首先,打开建立好的Excel文件,单击开始预报,则出现请输入密码对话框,输入密码后即可进入scs窗口。其次,根据以上资料,在scs窗口中,键入如下参数,见图1。分别输入时间1:00,降雨量5,然后单击“开始录入”按钮;输入时间2:00,降雨量12,然后单击“开始录入”按钮;输入时间3:00降雨量25,然后单击“开始录入”按钮,则洪水预报表中自动进行预报。如表4所示。

表4 洪水预报表

Tab. 4 Flood forecasting

产流过程			汇流过程					
时间/h	累积降雨量/mm	累积净雨量/mm	时段	时段末累积净雨量/mm	时段净雨量/mm	预报流量/(m ³ /s)	实测流量/(m ³ /s)	预报流量出现时间/h
1:00	5	0.172	1	0.818	0.818	0.024	0.021	2:53
2:00	12	3.071	2	1.464	0.646	0.146	0.135	3:07
3:00	25	12.467	3	2.11	0.646	0.478	0.462	3:20
4:00	30	16.662	4	2.756	0.646	0.938	0.874	3:33
-	-	-	5	4.707	1.951	1.458	1.347	3:47
-	-	-	6	6.659	1.951	2.096	1.967	4:00
-	-	-	7	8.61	1.951	2.982	2.874	4:14
-	-	-	8	10.562	1.951	4.71	4.045	4:27
-	-	-	9	11.678	1.116	5.183	5.1	4:40
-	-	-	10	12.794	1.116	6.099	6.07	4:54
-	-	-	11	13.911	1.116	6.532	6.47	5:07
-	-	-	12	15.027	1.116	6.591	6.57	5:20
-	-	-	13	16.143	1.116	6.462	6.41	5:34



图1 窗口界面

Fig.1 Window interface

双击 scs 窗体中的“结束”按钮,一次完整的洪水预报过程结束。利用 SCS 模型计算径流量,得出结果,与实际径流量进行对比。基本接近实际值,所以该方法可以应用到小流域河流中进行相应的洪水预报。

4 存在问题

1)在使用“Excel VBA 语言”进行汇流计算时,Excel 中的下拉条被锁定,当输入时间较长时需关闭 SCS 窗口后,才能看到预报后的流量过程。而关闭 SCS 窗口,就意味着本次预报已经结束;

2)在使用“Excel VBA 语言”编程时,当降雨过程结束,按下“结束”按钮,需预报本次降雨产生流量的全过程,而本次设计只能预报到最后一个净雨所产生的流量过程;

3)时间~降雨量的输入来自于人工。从原始水文数据开始,经过信息的处理、整编,到资料的贮存,检索以及提供社会服务等这一系列过程,发达国家已经实现了计算机自动处理。未来的发展方向是利用计算机进行全程的水信息自动处理;

4)参数 CN 值与流域前期土壤湿润程度、坡度、植被、土壤类型等因素关系密切,确定起来存在主观性;

5)利用倍比叠加原理进行汇流时,由于没有实际的资料信息,无法验证预报结果的正确性。

5 结论

实例研究表明,SCS 模型结构简单,使用方便,尤其适用于南方小流域地区。因为南方地区的降雨突发性强,速度快。应用 SCS 模型进行洪水预报具有实用、可靠、扩展性好等特点,能够方便、快捷地为决策者提供服务,减轻了系统使用人员的工作

负担。应用实时洪水预报系统的优势是传统水文预报所不及的,也是未来洪水预报的发展趋势。由于 SCS 模型只适用于小流域以及大流域的单一支流,所以改进 SCS 模型是以后的长期发展方向。

参考文献:

- [1] 宋刚福,沈冰. 基于水功能区划的河流生态环境需水量计算研究[J]. 西安理工大学学报,2012,28(1):49-55.
Song Gangfu, Shen Bing. Calculation research on river eco-environmental water requirements based on water function regionalization[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2012, 28(1):49-55.
- [2] 赵新宇. 流域洪水实时预报模型研究[J]. 中国农学通报,2010,26(13):385-387.
Zhao Xinyu. Research of flood real-time forecasting model [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(13): 385-387.
- [3] 王清华. 植被变化的生态水文效应分析[D]. 西安: 西安理工大学,2004.
Wang Qinghua. The eco-hydrological effects of vegetation change analysis[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2004.
- [4] 张瑞云. 减少汛情预报误差应注意的几个问题[J]. 南水北调与水利科技,2002,(5):31-32.
Zhang Ruiyun. The several problems of reducing flood situation forecasting errors[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2002, (5):31-32.
- [5] 张永永,黄强,赵晶,等. 陕西省引汉济渭工程受水区水资源优化配置研究[J]. 西安理工大学学报,2011,27(2):165-170.
Zhang Yongyong, Huang Qiang, Zhao Jing, et al. Research on the optimal allocation of water resources in benefited areas in water diversion from Han River to Wei River project [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2011, 27(2):165-170.
- [6] 徐刘凯,王全金,向速林. 应用 SCS 模型模拟清丰水流域产汇流量[J]. 华东交通大学学报,2011,28(4):84-88.
Xu Liukai, Wang Qianjin, Xiang Sulin. A simulation of runoff calculation and confluence calculation in Qingfeng water basin by applying SCS model [J]. Journal of East China Jiaotong University, 2011, 28(4):84-88.
- [7] 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(02):71-75.
Liu Jiafu, Jiang Weiguo, Zhan Wenfeng, et al. SCS model and its research progress [J]. Soil and Water Conservation, 2010 (02):71-75.
- [8] 王亦宁. 桐庐县分水江健康河流评价及饮水安全保障研究[D]. 杭州:浙江大学,2007年.
Wang Yining. Water and drinking water security research in

- tonglu county[D]. Hangzhou: zhejiang university, 2007.
- [9] 王猛. 大伙房模型在石佛寺流域洪水预报方案中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(2): 93-97.
Wang Meng. Application of DHF model in flood forecasting for Shinfashi Basin[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(2): 93-97.
- [10] 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.
Wang Aijuan, Zhang Pingcang, Ding Wenfeng. Application of SCS model to calculate the Qinba mountainous small watershed rainfall runoff[J]. Yangtze River, 2008, 39(15): 49-50.
- [11] Walter C F, Reinaldo H P, Ivanilto A W, et al. Forecasting river Uruguay flow using rainfall forecasts from a regional weather prediction model[J]. Journal of Hydrology, 2005, 305: 87-98.
- [12] 王爱娟. 小流域综合治理对山区洪水灾害作用过程分析——以秦巴山地区为例[D]. 宜昌: 长江科学院, 2007.
Wang Aijuan. Integrated watershed management role of mountain floods process analysis—a case study in Qin Basin [D]. Yichang: Yangtze River Scientific Research, 2007.
- [13] 孙莉宁. 基于 WARFM 模型的流域非点源污染分析——以杭埠-丰乐河流域为例[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.
Sun Lining. Based WARFM model watershed non-point source pollution analysis-to Hangbu-Fengle River Basin [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2005.
- [14] 郑长统, 梁虹, 舒栋才, 等. 基于 GIS 和 RS 的喀斯特流域 SCS 产流模型应用[J]. 地理研究, 2011, 30(1): 185-194.
Zheng Changtong, Liang Hong, Shu Dongcai, et al. Study of karst basin SCS runoff model based on GIS and RS[J]. Geographical Research, 2011, 30(1): 185-194.
- [15] 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.
- [16] 王志璋. 汾河上游流域分布式水文模型研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2003.
Wang Zhizhang. Fen River upper basin Distributed Hydrological Model[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2003.
- [17] 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.
- [18] 程根伟, 舒栋材. 水文预报的理论与数学模型[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [19] Mario O, Martin R. Adaptive projection operators in multiresolution scientific visualization[J]. IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 1999, 22(7): 74-79.
- [20] Walter Cedeno V, Werninger J, et al. Analysis of speciation and niching in the multi-niche crowding GA [J]. Theoretical Computer Science, 2009, (229): 177-197.
- [21] 李哲, 杨大文, 田富强. 基于地面雨情信息的长江三峡区间洪水预报研究[J]. 水力发电学报, 2013, 32(1): 44-49.
Li Zhe, Yang Dawen, Tian Fuqiang. Flood forecast for Three Gorges region of the Yangtze based on ground-observed rainfall[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013, 32(1): 44-49.
- [22] 郭磊, 赵英林. 基于误差自回归的洪水实时预报校正算法的研究[J]. 水电能源科学, 2002, 20(3): 25-27.
Guo Lei, Zhao Yinlin. The error autoregressive-based real-time flood forecasting correction algorithm[J]. Hydroelectric energy science, 2002, 20(3): 25-27.
- [23] 李荣峰. 水文非线性时间序列分析的自记忆模型研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2005.
Li Rongfeng. Hydrology nonlinear time series analysis of self-memory model study[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2005.
- [24] 占玉林. 滨江流域水文模型研究[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2005.
Zhan Yulin. Research on hydrologic model in Benjiang Basin[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, 2005.

(责任编辑 杨小丽)