

# 基于GIS和RS的喀斯特流域 SCS产流模型应用

郑长统<sup>1,2</sup>, 梁虹<sup>1</sup>, 舒栋才<sup>3</sup>, 焦树林<sup>1</sup>, 谢晓云<sup>1</sup>, 王茂强<sup>1</sup>

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001; 2. 山东省寿光市国土资源局, 山东寿光 262700;

3. 贵州省水文水资源局, 贵阳 550002)

**摘要:** 参数 $\lambda$ 是SCS产流模型的一个重要参数, 模型研究者将标准值 $\lambda=0.2$ 作为模型的参数值。但模型参数没有考虑地貌类型对产流的影响, 喀斯特地区不同地貌类型下地表坡度、土层厚度、地层岩性、基岩裂隙的发育程度等方面均存在很大差别, 而这些因素都直接影响着流域的产流机制。在考虑地貌类型对喀斯特流域产流影响的基础上, 通过率定不同地貌类型下的 $\lambda$ 值对SCS模型进行改进。以GIS和RS技术作为获取流域地貌类型、土壤类型和土地利用方式等空间信息的主要手段, 运用实测降雨径流资料对参数 $\lambda$ 进行率定。由于喀斯特地区很少存在具有单一地貌的流域, 仅靠实测数据很难确定各地貌类型的 $\lambda$ 值, 本文尝试通过对地貌结构与 $\lambda$ 值关系的分析确定适合喀斯特流域的参数 $\lambda$ , 从而建立起喀斯特流域SCS产流模型。模型在贵州平湖流域的应用结果表明, 建立的喀斯特流域SCS产流模型的模拟精度较SCS产流模型有了很大提高, 说明建立的喀斯特流域SCS产流模型比较合理, 可以应用于喀斯特典型流域。

**关键词:** 喀斯特流域; 地貌类型; SCS产流模型; GIS; RS

**文章编号:** 1000-0585(2011)01-0185-10

## 1 引言

分布式水文模型的建立需要获得大量的流域空间分布数据信息和相关技术的支持。喀斯特流域是一个由双重含水介质组成的二元三维空间地域结构的物质、能量流开放系统, 具有特殊的地貌—水系结构和水文动态过程, 在流域空间结构、水系发育规律、水文动态等方面与常态流域存在巨大差异<sup>[1]</sup>, 这增加了喀斯特地区水文监测和预报的难度。传统的方式很难获取详尽的资料来建立喀斯特流域水文模型, 因此喀斯特地区的水文模拟一直以统计学方法为主。当今GIS和RS技术的迅速发展, 分布式水文模型的优势将日益明显, 建立基于GIS和RS的水文模型是未来模拟研究的一个重要方向<sup>[2]</sup>。

SCS产流模型是美国农业部水土保持局 (Soil Conservations Service, SCS) 研制的流域水文模型, 被广泛应用于美国和欧洲一些国家。SCS模型具有结构简单, 使用方便, 并且易于应用到无资料地区等优点, 该模型目前在我国的应用研究也取得了很大进展<sup>[3~6]</sup>。模型有两个重要参数CN和 $\lambda$ , 模型研究者通过大量试验制定了SCS模型的CN值参数表, 并将标准值 $\lambda=0.2$ 作为模型的参数值<sup>[7, 8]</sup>。但模型参数没有考虑地貌类型对

收稿日期: 2009-12-12; 修订日期: 2010-04-12

基金项目: 贵州师范大学学生重点科研项目 (2009~2010)

作者简介: 郑长统 (1983-), 男, 山东章丘人, 硕士, 主要从事水文水资源与GIS研究。

E-mail: zctczyzy@163.com

产流的影响,喀斯特流域不同地貌类型下地表坡度和土层的厚度存在很大差别,地层的岩性及基岩裂隙的发育程度和规模也不相同<sup>[9]</sup>。这些都直接影响着流域的产流机制,因此不考虑地貌类型对喀斯特流域产流的影响是不合理的。本文利用 GIS 和 RS 技术提取流域地貌类型、土壤类型及土地利用方式,应用喀斯特流域降雨径流资料,在考虑地貌类型对产流影响的基础上对原 SCS 产流模型进行改进,建立了喀斯特流域 SCS 产流模型。

## 2 喀斯特流域 SCS 产流模型

### 2.1 基本原理

SCS 产流模型的计算公式为<sup>[10]</sup>:

$$R = \begin{cases} 0 & P < I_a \\ \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} & P \geq I_a \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $R$  为地面径流量 (mm);  $P$  为降雨量 (mm);  $S$  为流域潜在入渗量 (mm);  $I_a$  为初损 (mm)。

$S$  值的变化幅度很大,模型通过一个无因次的参数  $CN$  来推求  $S$ <sup>[10]</sup>:

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

$CN$  是反映土地利用、土壤类型、前期土壤含水量的一个综合指标,美国国家工程手册给出了详细的  $CN$  值查算表<sup>[11]</sup>。大量研究结果表明,  $I_a$  和  $S$  之间存在着良好的线性关系<sup>[12]</sup>:

$$I_a = \lambda S \quad (3)$$

$\lambda$  表示初损与流域潜在入渗量的比率,SCS 模型在实际应用中取  $\lambda = 0.2$  进行计算。但是其他的实验资料表明  $\lambda$  因地区不同变化范围为  $0.00 \sim 0.30$  之间<sup>[12~14]</sup>。

地貌是地表系统中最重要组成因素,影响并制约着水文、气候、植被等因子的空间分布与变化<sup>[15]</sup>。SCS 模型通常被应用于小流域的水文预报,由于小流域在地貌类型上具有相对一致性,因此 SCS 模型没有考虑地貌因素的影响。然而对于较大的流域,特别是地貌类型复杂多样的喀斯特流域,地貌就成为影响产流的非常重要的因素。喀斯特地区不同地貌类型下地表坡度、土层厚度、地层岩性、基岩裂隙的发育程度等方面均存在很大差别,这必然导致流域不同地貌类型下的初损和入渗量的不同,因此  $\lambda$  值必然与地貌类型有着密切的关系。这样本文在考虑喀斯特地貌类型的影响下对 SCS 产流模型加以改进从而建立起喀斯特流域 SCS 产流模型,模型计算公式就为:

$$R = \begin{cases} 0 & P < \lambda_j S \\ \frac{(P - \lambda_j S)^2}{P + (1 - \lambda_j) S} & P \geq \lambda_j S \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $\lambda_j$  表示第  $j$  种地貌类型所对应的  $\lambda$  值。

### 2.2 参数 $\lambda_j$ 的计算

根据流域前期雨量确定流域土壤湿润等级,参考模型研究者通过大量试验制定的 SCS 模型的  $CN$  值参数表,结合喀斯特流域自身特点得到流域各地类的  $CN$  值。根据各地貌类型下各地类所占面积,通过面积加权计算出各地貌类型的  $CN$  值,再由公式 (2) 求得该地貌类型的  $S$  值。由流域水量平衡及公式 (4) 可知:

$$Q = \sum_{j=1}^m R_j A_j = \sum_{j=1}^m \frac{(P - \lambda_j S_j)^2}{P + (1 - \lambda_j) S_j} A_j \quad (5)$$

式中,  $Q$  表示流域总径流量,  $S_j$  表示第  $j$  种地貌类型的  $S$  值,  $A_j$  表示第  $j$  种地貌类型的面积。由公式 (5) 可以看出, 在确定了各地貌类型的  $S$  值的条件下,  $\lambda_j$  的计算结果可能会因各地貌类型所占面积的不同而得到多个计算结果。而实际上对同一地貌类型而言, 其  $\lambda$  值应该是确定的。为了确定各地貌类型的  $\lambda$  值, 本文首先通过应用实测资料计算  $\lambda$  值的取值范围, 在取值范围内选取适当的  $\lambda$  值进行组合, 对流域流量进行模拟计算。然后筛选模拟效果较好地组合, 并尝试通过地貌结构与  $\lambda$  值关系的分析来最终确定  $\lambda_j$  的值。

### 3 基于 GIS 和 RS 的流域特征获取

#### 3.1 流域概况

平湖流域位于贵州省南部, 地理坐标为  $25^{\circ}51' \sim 26^{\circ}06' \text{N}$ ,  $107^{\circ}03' \sim 107^{\circ}37' \text{E}$ , 属于珠江流域西江水系。总面积  $1441 \text{ km}^2$ 。地势北高南低, 为中山、低山地形, 喀斯特地貌。出露地层有石炭、二迭、三迭, 碳酸盐类岩石广为分布, 岩溶洼地、漏斗、落水洞、地下河发育。植被为马尾松, 薪炭林和碎屑岩灌丛, 森林覆盖率  $30\%$ 。流域气候类型为亚热带湿润季风气候, 年平均气温  $17^{\circ}\text{C}$ , 年平均降雨为  $1220 \text{ mm}$ , 多集中在  $5 \sim 8$  月, 占全年  $61.5\%$ 。土地利用类型以林地、农田、灌木为主。流域内干流六硐河发源于独山县拉林乡八坝, 海拔  $1360 \text{ m}$ , 沿途归纳众多大小河流, 流经都匀市沙寨乡注入平塘县境。

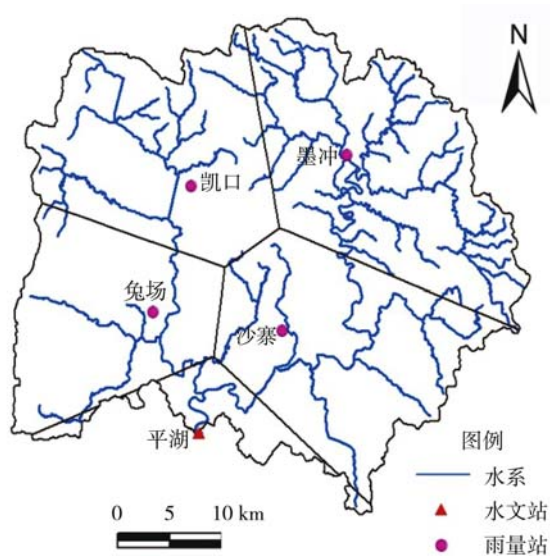


图 1 平湖流域水文站雨量站分布图

Fig. 1 Hydrometrical station and precipitation station of Pinghu basin

#### 3.2 流域特征提取

##### 3.2.1 实测水文数据提取

选取具有代表性的兔场、凯口、墨冲、沙寨四个雨量站和平湖水文站五个站点的监测数据, 采用泰森多边形法计算流域平均日雨量 (图 1)。从流域日平均流量过程线上划分各次降雨径流过程, 对流量进行分割, 推求流域退水曲线, 计算得出各次降雨产生的径流量。

**3.2.2 地貌类型提取** 以平湖流域 DEM 和 1996 年贵州 TM 影像为基础数据, 利用 Arc Hydro Tools 自动提取平湖流域边界, 并利用提取的流域的边界在 ArcMap 下自动切割 DEM 和 TM 影像, 从而得到平湖流域 DEM (图 2) 和 TM 影像图 (图 3)。

应用 RS 技术提取地貌类型国内已有大量研究<sup>[16~18]</sup>, 在喀斯特地区利用遥感影像提取地貌类型通常通过纹型图案和间接的判读标志来识别。如峰丛洼地影像由黑白两种强烈

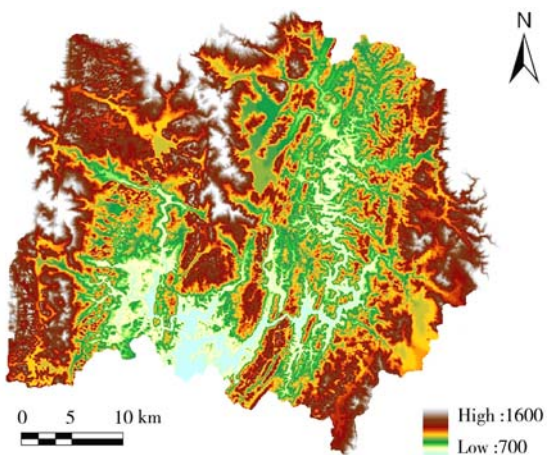


图 2 平湖流域 DEM

Fig. 2 DEM of Pinghu basin

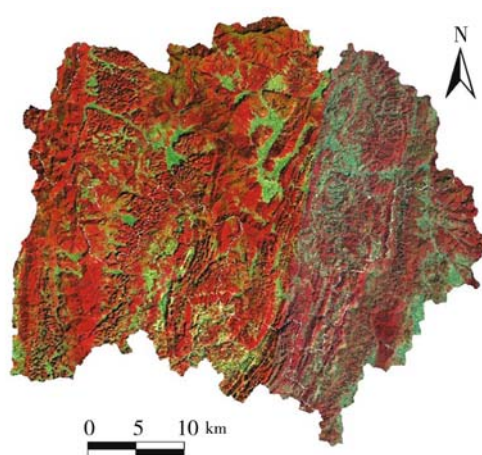


图 3 平湖流域 TM

Fig. 3 TM of Pinghu basin

对比色调所反映出来,呈点状、链状、栅状的群集图案,植被稀疏、灰岩裸露的地区色调较浅;峰丛谷地色调深暗,呈蠕虫状、蚂蚁状,有展布方向;溶沟色调较浅<sup>[19]</sup>。由于喀斯特地貌类型复杂多样,地貌类型的判断需要综合考虑地形、土壤、岩性等多种因素,因此对 TM 影像采取监督分类自动提取的地貌类型误差较大。为了提高精度,本研究以 TM 影像为基础,结合 DEM 和流域水文地质图对流域地貌类型进行人工解译,从而得到流域地貌类型图(图 4)。

### 3.2.3 土壤类型及土地利用类型提取

将收集的土壤类型图结合遥感影像解译,根据 SCS 产流模型的土壤分类标准<sup>[20]</sup>(表 1)在 ArcMap 下进行重分类,从而得到流域土壤类型图(图 5)。土地利用类型图(图 6)是按照土地利用情况分类标准实际调查所得。

### 3.2.4 特征合并 将提取的流域地貌类型、土壤类型和土地利用类型三个专题,

应用 Arcgis 下 ArcToolbox 中的 Intersect 工具进行交叉操作,生成流域组合特征数据层,数据层同时包含了流域地貌类型、土壤类型和土地利用类型三重信息。

表 1 SCS 模型土壤分类

Tab. 1 The soil classification of SCS model

土壤分类	最小下渗率 (mm · h <sup>-1</sup> )	土壤质地
A	> 7.26	砂土、壤质砂土、砂质壤土
B	3.81~7.26	壤土、粉砂壤土
C	1.27~3.81	砂黏壤土
D	0.00~1.27	黏壤土、粉砂黏壤土、砂黏土、粉砂黏土、黏土

## 4 模型应用

### 4.1 流域各地貌类型 CN 值的确定

SCS 模型根据前 5d 的降雨总量并考虑植被状况将土壤湿润程度划分为 3 级: AMC I (干旱)、AMC II (正常)、AMC III (湿润)(表 2),不同湿润状况下 CN 值的转换用以下公式计算<sup>[12]</sup>:

$$CN_1 = \frac{4.2CN_2}{10 - 0.058CN_2} \quad CN_3 = \frac{23CN_2}{10 + 0.13CN_2} \quad (6)$$



表 2 前期土壤湿度等级

Tab. 2 Classes of antecedent soil moisture

土壤水分状况	前 5 天降雨量 (mm)	
	生长期	休止期
AMC I	<30	<15
AMC II	30~50	15~30
AMC III	>50	>30

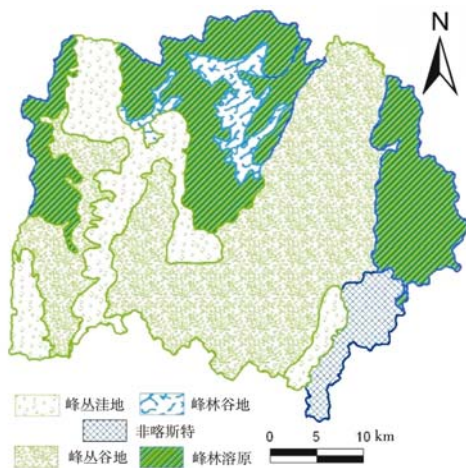


图 4 平湖流域地貌类型  
Fig. 4 Landform types of Pinghu basin

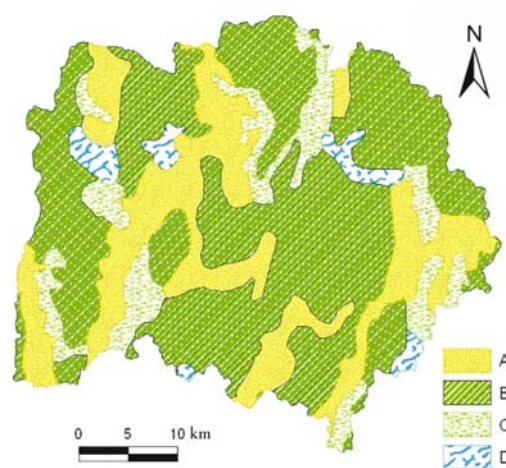


图 5 平湖流域土壤类型  
Fig. 5 Soil types of Pinghu basin

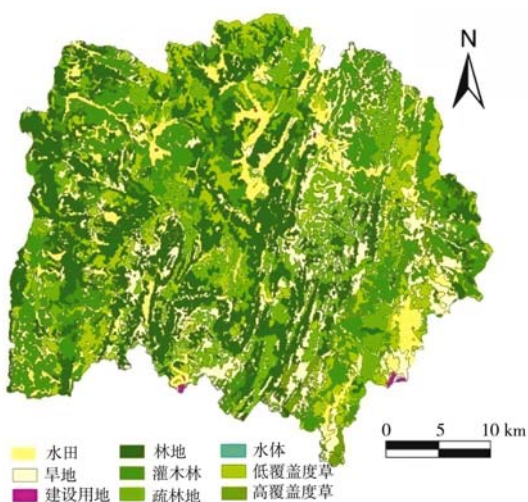


图 6 平湖流域土地利用类型  
Fig. 6 Land-use types of Pinghu basin

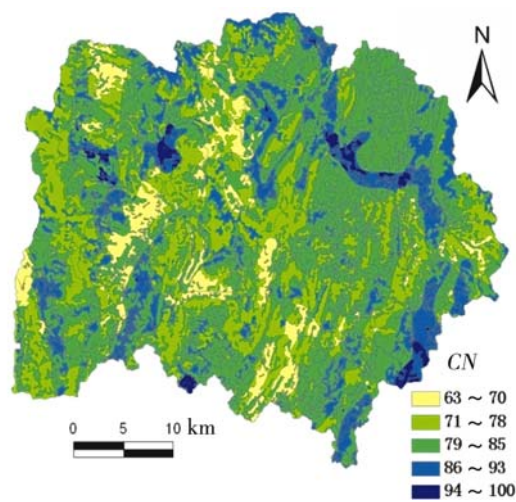


图 7 平湖流域 AMC II 状态下的 CN 值  
Fig. 7 CN value of Pinghu basin  
at AMC II state

式中,  $CN_1$ 、 $CN_2$ 、 $CN_3$ 分别是 AMC I、AMC II 和 AMC III 条件下的 CN 值。

根据上文提取的流域特征,结合降雨前流域内的土壤湿润程度,参照美国水土保持局提供的 CN 值及我国有关研究者将 SCS 模型应用于喀斯特地区所提供的 CN 值<sup>[6]</sup>,确定流域在 AMC II 状态下各地类的 CN 值,并将其 CN 值输入到流域组合特征数据层的属性表中,得到流域 CN 值图(图 7)。应用 Arcgis 自动统计各地貌类型下各土壤类型及土地利用方式所占面积,通过面积加权及公式(6)计算得出流域各地貌类型不同 AMC 状态下的 CN 值(表 3)。

表 3 平湖流域各地貌类型 CN 值  
Tab. 3 CN value of each landform type of Pinghu basin

地貌类型	土壤湿度等级		
	AMC I	AMC II	AMC III
峰丛洼地	58	77	89
峰丛谷地	63	80	90
峰林谷地	66	82	91
峰林溶原	63	80	90
非喀斯特地貌	69	84	92

#### 4.2 参数率定

将 2003~2008 年的 21 场实测降雨资料分为两部分,16 场用于参数率定,5 场用于模型验证。采用 Nash 模型效率系数  $R^2$  和径流总量相对误差系数 RE 对模型进行分析。 $R^2$  越大说明模型越稳定,RE 越小说明模拟精度越高。 $R^2$  和 RE 的表达式分别为<sup>[21]</sup>:

$$R^2 = \left\{ 1 - \frac{\sum_i (R_i(i) - R(E_i))^2}{\sum_i (R_i(i) - \bar{R})^2} \right\} \times 100 \% \quad (7)$$

$$RE = \left\{ \frac{\sum_i (R_i(E_i))}{\sum_i (R_i(i))} - 1 \right\} \times 100 \% \quad (8)$$

式中,  $R(i)$  为实测值;  $R(E_i)$  为模拟值;  $\bar{R}$  为实测值的平均值。

运用实测资料计算得出  $\lambda$  的变化范围在 0.02~0.5 之间,各地貌均选取  $\lambda=0.02$ 、0.05、0.1、0.2、0.3、0.5,进行组合,计算  $R^2$  和 RE。经计算,在所有 7776 种可能的组合中有 790 种组合的  $R^2$  达到 97.85% 以上,有机会筛选较好的组合。现从  $R^2$  达到 97.85% 的组合中选取 RE 最小的 20 种组合进行分析,计算结果见表 4。

对比表 4 中各组合的模拟结果可以看出:20 种组合的模拟精度均较高,  $R^2$  达到 97.85%, RE 都在 0.25% 以下。但是各组合下不同地貌类型  $\lambda$  值的取值变化却存在很大差别。峰丛谷地的  $\lambda$  值只有 0.02 和 0.05 两种情况,是各地貌类型中取值最稳定的,主要是因为峰丛谷地在整个流域所占面积比重最大,其  $\lambda$  值的变化对整个流域的计算径流影响也最大;而峰林谷地和非喀斯特地貌由于在整个流域中的面积比重均比较小,  $\lambda$  值的变化对流域计算径流影响相对较小,因此这两种地貌的  $\lambda$  值也最不稳定;峰丛洼地和峰林溶原则介于两种情况之间。

由于不同流域各地貌类型所占面积不同，因此如果只是将表 4 的 20 种参数组合应用到平湖流域，均可获得满意的结果，但要应用到其他喀斯特流域则需要具体的确定每种地貌类型的  $\lambda$  值。然而喀斯特地区很少存在具有单一地貌的流域，因此仅靠实测数据很难确定各地貌类型的  $\lambda$  值。

在此本文通过对地貌结构与  $\lambda$  值关系的分析来确定各地貌的  $\lambda$  值。文献 [12] 对坡度与  $\lambda$  值关系的研究发现随着坡度的增加  $\lambda$  值必将减小。同时喀斯特地区由于岩溶裂隙的发育，而随着土层厚度的减小，流域的潜在入渗量  $S$  值就越大，雨量初损  $I_0$  减小，因此参数  $\lambda$  也将减小。通过对各地貌地表结构特性的分析，本文认为喀斯特地区各地貌平均坡度的关系是：峰丛地貌 > 峰林地貌 > 非喀斯特地貌；土层厚度的关系为：峰丛地貌 < 峰林地貌 < 非喀斯特地貌。由此可以断定各地貌  $\lambda$  值的关系为：峰丛地貌 < 峰林地貌 < 非喀斯特地貌。表 4 中只有第 12 种组合符合上述关系，因此结合地貌结构特性，本文最终确定了喀斯特地区的参数  $\lambda$ 。

表 4  $\lambda$  值模拟结果

Tab. 4 The simulation results of  $\lambda$

编号	峰丛洼地	峰丛谷地	峰林谷地	峰林溶原	非喀斯特	R <sup>2</sup> (%)	RE (%)
1	0.1	0.05	0.02	0.02	0.02	97.85	0.06
2	0.05	0.02	0.2	0.02	0.5	97.85	0.12
3	0.1	0.05	0.02	0.02	0.05	97.85	0.13
4	0.1	0.05	0.05	0.02	0.02	97.85	0.14
5	0.02	0.02	0.5	0.05	0.1	97.85	0.16
6	0.05	0.02	0.05	0.1	0.02	97.85	0.16
7	0.05	0.05	0.05	0.02	0.3	97.85	0.17
8	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	97.85	0.17
9	0.02	0.05	0.2	0.02	0.3	97.85	0.19
10	0.02	0.05	0.2	0.05	0.05	97.85	0.19
11	0.05	0.02	0.5	0.02	0.2	97.85	0.2
12	0.02	0.02	0.05	0.1	0.2	97.85	0.21
13	0.05	0.05	0.02	0.05	0.1	97.85	0.21
14	0.02	0.05	0.3	0.02	0.2	97.85	0.22
15	0.05	0.02	0.02	0.05	0.5	97.85	0.22
16	0.1	0.05	0.05	0.02	0.05	97.85	0.22
17	0.1	0.02	0.2	0.05	0.02	97.85	0.23
18	0.05	0.02	0.05	0.1	0.05	97.85	0.24
19	0.05	0.05	0.1	0.05	0.02	97.85	0.24
20	0.1	0.02	0.05	0.05	0.2	97.85	0.25

表 5 参数  $\lambda$  的取值

Tab. 5 The value of parameter  $\lambda$

地貌类型	峰丛洼地	峰丛谷地	峰林谷地	峰林溶原	非喀斯特
$\lambda$	0.02	0.02	0.05	0.1	0.2

### 4.3 模型应用

为了验证建立的喀斯特流域 SCS 产流模型是否可行,模型的精度如何,本文应用该模型对 5 场典型降雨径流过程进行了模拟并与原 SCS 产流模型的模拟结果进行比较(表 6)。从表 6 可以看出,采用原 SCS 产流模型进行模拟的相对误差较大,有三次相对误差在 20%以上,最大的达到 79.25%,不能满足产流模拟的要求。而采用喀斯特流域 SCS 产流模型进行模拟的相对误差在 2.29%~12.33%之间,模拟精度比原 SCS 模型高很多,模拟结果基本符合实际情况。这表明应用新建的喀斯特流域 SCS 产流模型在喀斯特流域进行径流模拟是可行。

表 6 平湖流域实际产流与模拟产流比较

Tab. 6 Comparison of measured and simulated values of runoff of Pinghu basin

降雨时间	降雨量 (mm)	实际产 流量 (mm)	I 方法模拟 产流量 (mm)	I 方法相对 误差 (%)	II 方法模拟 产流量 (mm)	II 方法相对 误差 (%)
2003.4.18~4.23	46.07	19.54	11.34	41.97	17.13	12.33
2003.5.21~5.27	51.68	34.83	28.5	18.17	32.14	7.72
2004.5.09~5.18	192.24	107.86	83.5	22.58	101.25	6.13
2006.6.22~6.30	155.88	109.87	98.59	10.27	107.35	2.29
2007.3.22~3.24	45.71	7.18	1.49	79.25	7.72	7.52

注: I 方法—原 SCS 产流模型, II 方法—喀斯特流域 SCS 产流模型。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

(1) SCS 模型被广泛应用小流域水文预报,由于小流域在地貌类型上具有相对一致性,因此 SCS 模型没有考虑地貌结构对产流的影响。但是要将模型应用到面积较大,地貌类型复杂的喀斯特流域,就必然要考虑流域的地貌空间结构特性。

(2) 应用 GIS 和 RS 技术,既丰富了获取流域空间信息的手段,又提高了模型计算的效率。特别是对于资料缺乏的喀斯特地区而言,水文模型与 GIS 和 RS 技术相结合是喀斯特地区水文模拟的发展趋势。

(3) 由于喀斯特地区地貌类型多样,而且很少有单一地貌的流域,因此仅靠实测的水文数据很难直接率定各地貌的参数  $\lambda$ , 结合地貌结构特性与  $\lambda$  值的关系有助于参数  $\lambda$  的确定。

(4) 从模型在平湖流域的模拟结果看,建立的喀斯特流域 SCS 产流模型模拟精度均在 80%以上,较原模型有了很大的提高,说明模型参数的确定比较合理,可以应用于喀斯特典型流域。

### 5.2 讨论

模型仍然存在很多不足之处,其研究需要在以下几个方面做进一步探讨:

(1) SCS 模型将土壤湿润程度划分为 3 级太过粗糙。当土壤水分处于同一等级,流域前期降雨的多少对产流量的计算结果就没有影响,这必然影响模型的计算精度;另外仅从植物生长季节和非植物生长季节及流域前 5 天的降雨量作为土壤湿润程度划分的标准过于绝对。

(2) CN 值的确定方法有待探讨。CN 值是 SCS 模型的一个重要参数。本文对平湖



流域 CN 值的确定是根据模型制作者及我国有关研究者在使用 SCS 模型时确定的 CN 值矩阵。这种方法确定的 CN 值有很大的经验成分, 其合理性有待进一步验证。

(3) 在喀斯特流域尝试性研究表明, 在资料缺乏的条件下, 可以用本方法进行完成模型的参数化、率定和验证, 用于流域水文研究, 但在参数率定中还可以参考其他影响入渗和产流的因素, 进一步提高模型的实用性。

#### 参考文献:

- [1] 杨明德, 谭明, 梁虹. 喀斯特流域水文地貌系统. 北京: 地质出版社, 1998. 2~23.
- [2] 郑红星, 刘昌明, 等. 黄河典型流域分布式水文过程模拟. 地理研究, 2004, 23(4): 447~454.
- [3] 穆宏强. SCS 模型在石桥铺流域的应用研究. 水利学报, 1992, (10): 79~83.
- [4] 魏文秋, 淑琴. 遥感资料在 SCS 模型产流计算中的应用. 环境遥感, 1992, 7(4): 243~250.
- [5] 周翠宁, 任树梅, 闰美俊. 曲线数值法(SCS 模型)在北京温榆河流域降雨—径流关系中的应用研究. 农业工程学报, 2008, 24(3): 87~90.
- [6] 贾晓青, 杜欣, 赵旭峰, 等. 改进 SCS 产流模型在岩溶地区径流模拟中的应用. 人民长江, 2008, 39(11): 25~30.
- [7] Victor M Ponce, Richard H Hawkins. Runoff curve number: Has it reached maturity. Journal of Hydrologic Engineering, 1996, 1(1): 11~18.
- [8] Bhuyan S J, Mankin K R, Koelliker J K, Watershed. Scat AMC selection for hydrologic modeling. Transactions of ASAE, 2003, 46: 237~244.
- [9] 梁虹, 王剑. 喀斯特地区流域岩性差异与洪、枯水特征值相关分析——以贵州河流为例. 中国岩溶, 1998, 17(1): 67~73.
- [10] 李常斌, 秦将为, 李金标. 计算 CN 值及其在黄土高原典型流域降雨——径流模拟中的应用. 干旱区资源与环境, 2008, 22(8): 67~70.
- [11] Soil Conservation Service. National Engineering Handbook Section 4: Hydrology. USDA: spring filed, VA, 1993.
- [12] 张钰炯, 穆兴民, 王飞. 径流曲线数模型(SCS-CN)参数  $\lambda$  在黄土丘陵区的率定. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 124~128.
- [13] Cazier D J, Hawkins R H. Regional application of the curve number method. Water today and tomorrow, Proc., ASCE Irrig. And drain. Div. spec. conf., ASCE: New York, 1984.
- [14] Bosznay M. Generalization of SCS curve number method. Irrig. and Drain. Engineer, ASCE, 1989, 115(1): 139~144.
- [15] 柴惠霞, 周成虎, 等. 基于 DEM 的地貌实体单元自动提取方法. 地理研究, 2008, 27(3): 481~494.
- [16] 赵尚民, 程维明, 等. 基于遥感与 SRTM 的青藏高原冰缘地貌信息提取方法——以 1:100 万标准分幅拉萨幅(H46)为例. 地理研究, 2007, 26(6): 1175~1185.
- [17] 刘海江, 柴慧霞, 等. 基于遥感的中国北方风沙地貌类型分析. 地理研究, 2008, 27(1): 109~118.
- [18] 程维明, 柴慧霞, 等. 新疆地貌空间分布格局分析. 地理研究, 2009, 28(5): 1157~1169.
- [19] 贺中华, 杨胜天, 梁虹, 等. 基于 GIS 和 RS 的喀斯特流域枯水资源影响因素识别——以贵州省为例. 中国岩溶, 2004, 23(1): 48~55.
- [20] 罗利芳, 张科利, 符素华. 径流曲线数法在黄土高原地表径流量计算中的应用. 水土保持通报, 2002, 22(3): 58~61.
- [21] 王渺林, 郭生练. 基于月水量平衡模型的黄河中游径流变化分析. 西北水资源与水工程, 1999, 10(2): 1~6.

## Study of karst basin SCS runoff model based on GIS and RS

ZHENG Chang-tong<sup>1,2</sup>, LIANG Hong<sup>1</sup>, SHU Dong-cai<sup>3</sup>,  
JIAO Shu-ling<sup>1</sup>, XIE Xiao-yun<sup>1</sup>, WANG Mao-qiang<sup>1</sup>

(1. School of Geography and Environment Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

2. Bureau of Land and Resources of Shouguang in Shandong, Shouguang 262700, Shandong, China;

3. Guizhou Bureau of Hydrology and Water Resource, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** Parameter  $\lambda$  is an important index of the SCS runoff model. Model researchers take the standard value  $\lambda = 0.2$  as the model parameter. However, the model has not considered the impact of landform types on runoff. There are a lot of differences between soil thickness, surface slope, lithology and the degree of development of rock fracture of different landform types in karst basin. All these factors have a direct impact on runoff mechanism of watershed.

The landform types have a great influence on the runoff of karst basin. The SCS model is modified by calibrating the values of  $\lambda$  of different landform types. GIS and RS are important means to obtain the spatial information of a watershed. By using GIS and RS, we extract the information data of landform types, soil classification, land use, and obtain the CN values of different landform types. There are no karst basins with a single landform type. So it is difficult for measured data alone to calibrate the value of the various landform types of  $\lambda$ . This paper attempts to calibrate the parameter  $\lambda$  of different landform types by analyzing the relationship between landscape structure and the parameter  $\lambda$ . The parameter  $\lambda$  values of the karst basin are calculated in combination with measured data and landform characteristics, and the karst basin SCS runoff model is established at last. The model is applied to the Pinghu basin, compared with the SCS runoff model. The results demonstrate that the precision of the karst basin SCS runoff model is much higher than that of the SCS runoff model. It has been shown that the karst basin SCS runoff model can be used to simulate the runoff of a typical basin of karst.

The result of this study showed that this method can be used to complete the model parameterization, calibration and verification, which is feasible under the conditions of lack of information. It can refer to other factors which affect runoff also. At the same time, hydrological models are supported by GIS and RS technology, which not only enriches the means of access to spatial information, but also improves the efficiency of the model calculation.

**Key words:** karst basin; landform types; SCS runoff model; GIS; RS