

# SCS 模型及其研究进展

刘家福<sup>1,2</sup>, 蒋卫国<sup>2</sup>, 占文凤<sup>2</sup>, 周 纪<sup>2</sup>

(1. 吉林师范大学 旅游与地理科学学院, 吉林 四平, 136000; 2. 北京师范大学 减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

**摘 要:**流域水文模型主要用于模拟流域上发生的水文过程,美国水土保持局提出的 SCS 模型是目前广泛应用的地表径流模型之一。SCS 模型具有结构简单、所需参数少、对观测数据的要求不严格等特点,能够客观描述不同土地利用方式、土壤类型、前期土壤含水量及降水条件下的地表径流过程,对于小面积集水区径流预报具有较强的能力。介绍了 SCS 模型的基本原理,从模型应用、发展与改进等角度对 SCS 模型的研究进行了回顾与总结。指出了 SCS 模型在时空尺度、预报精度等方面尚存的问题。最后,对 SCS 模型的发展趋势进行了展望,以期为我国的地表径流研究提供借鉴。

**关键词:**SCS 模型;流域水文模型;降雨径流

**中图分类号:**P333

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2010)02-0120-05

## Processes of SCS Model for Hydrological Simulation : a Review

LIU Jia-fu<sup>1,2</sup>, JIANG Wei-guo<sup>2</sup>, ZHAN Wen-feng<sup>2</sup>, ZHOU Ji<sup>2</sup>

(1. College of Tourism and Geographical Sciences, Jilin Normal University; Siping, Jilin136000, China; 2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management; Beijing Normal University; Beijing 100875, China)

**Abstract :**Hydrological models are used to simulate the hydrological process. SCS model proposed by U. S. Soil and Water Conservation Bureau is one of the extensively applied models. SCS model is characterized by its simplicity, loose requirements on parameters and observation datasets. It yields excellent abilities for simulating the surface runoff under environments with different land-use patterns, soil types, water contents and pre-precipitation conditions. SCS model has been proved as a feasible technique for forecasting the runoff of catchment area with micro-size. In this paper, basic principles of SCS model are introduced and its recent developments are examined. In addition, some remained issues about the spatial and temporal scales and accuracy are analyzed. The research trends about SCS model are further summarized for its applications in China.

**Key words :**SCS model; hydrological model of watershed; rainfall runoff

流域水文模型是针对流域上发生的水文过程进行模拟所建立的数学模型。美国农业部水土保持局 (Soil Conservation Service, SCS) 于 1954 年开发的 SCS 模型<sup>[1]</sup>,是目前应用最为广泛的流域水文模型之一。SCS 模型能够客观反映土壤类型、土地利用方式及前期土壤含水量对降雨径流的影响,其显著特点是模型结构简单、所需输入参数少,是一种较好的小型集水区径流计算方法。近年来,SCS 模型在水土保持与防洪、城市水文及无资料流域的多种水文问题等诸多方面得到应用,并取得了较好的效果<sup>[2-10]</sup>。

SCS 模型最初是针对小流域水文过程设计的模型,对大、中尺度流域水文过程的模拟计算没有涉及。国外学者对 SCS 模型进行改进,以适应大、中尺度流域的径流计算,获得了较好的研究成果<sup>[8-10]</sup>。与国外相比,我国对 SCS 模型的应用研究起步较晚,目前大多是移用或修正国外的模型,并取得了初步成果<sup>[4,11-16]</sup>。介绍 SCS 模型的基本原理,对近年国内外关于该模型的研究进展进行了回顾与总结,指出了 SCS 模型尚存在的问题。在此基础上,对 SCS 模型研究的发展趋势进行了展望,以期为我国

\* 收稿日期:2009-10-22

基金项目:国际科技合作计划专项项目(2007DFA20640);国家科技支撑计划课题(2008BAC44B03);国家自然科学基金(40771155)

作者简介:刘家福(1975-),男,吉林省敦化市人,博士,讲师,主要从事遥感与 GIS 在资源环境、自然灾害等领域的应用研究。E-mail:

liujiafu@ires.cn

的地表径流研究提供借鉴。

1 SCS 模型的基本原理

SCS 模型的建立基于水平衡方程以及两个基本假设,即比例相等假设和初损值 - 当时可能最大潜在滞留量关系假设。水平衡方程是对水循环现象定量研究的基础,用于描述各水文要素间的定量关系。

$$P = I_a + F + Q \tag{1}$$

式中:  $P$ ——总降雨量 (mm);  $I_a$ ——初损值 (mm), 主要指截流、表层蓄水等;  $F$ ——累积下渗量 (不包括  $I_a$ ) (mm);  $Q$ ——直接径流量 (mm)。

比例相等假设是指地表径流  $Q$  与总的降雨量  $P$  及入渗量和当时可能最大滞留量比值相等。

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{F}{S} \tag{2}$$

式中:  $S$ ——当时可能最大滞留量 (mm)。

初损值——当时可能最大滞留量关系假设可表示如式 (3)。

$$I_a = S \tag{3}$$

式中: ——区域参数,主要取决于地理和气候因子<sup>[17]</sup>。可表达为  $= at_p$ , 其中  $a$  为 Horton 常数;  $t_p$ ——降水时刻到地表径流形成的时段, 的取值范围为 0.1 ~ 0.3。

比例相等假设可用图 1<sup>[18]</sup>表示。当  $= 0.2$  时, 根据式 (1) 和式 (2) 可推导出 SCS - CN 模型。

$$\begin{cases} Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} & P \geq 0.2S \\ Q = 0 & P < 0.2S \end{cases} \tag{4}$$

为计算  $S$ , 引入一个参数  $CN$  土壤最大蓄水能力<sup>[3-5, 11, 13, 19-20, 25]</sup>。

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{5}$$

式中:  $S$ ——土壤最大蓄水能力;  $CN$ ——曲线数值, 是一个无量纲参数, 理论取值范围是 0 ~ 100, 实际应用中取值范围是 40 ~ 98<sup>[11]</sup>, 主要根据美国国家工程手册第 4 章列出  $CN$  值查算表进行计算<sup>[19]</sup>。上述公式表明, 集水区的径流量取决于降雨量与降雨前集水区的土壤最大蓄水量, 而土壤最大蓄水量又与集水区的土壤质地、土地利用方式和降雨前的土壤湿润状况有关 (AMC); 曲线数值法通过一个经验性的综合反映上述因素, 只要求出  $CN$  值, 即可求得  $Q$ 。

2 国内外研究进展

2.1 研究现状

自开发成功以来, SCS 模型被广泛应用于美国及其他国家<sup>[20-23]</sup>, 且在近年来发展迅速。对 SCS 模

型的研究报道总结后发现, 近年来国外关于 SCS 模型应用研究可划分为以下 3 个方面。

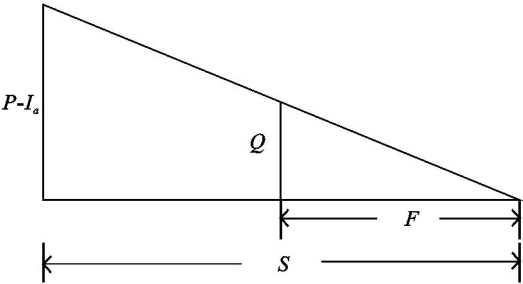


图 1 各参数比例假设示意图

(1) 地表径流估算。Karl Auerswald 等利用回归方法得出研究区域的  $CN$  值再计算径流量<sup>[24]</sup>。Hrimali 等采用 RS 和 GIS 技术并结合 SCS - CN 法计算模拟地表径流<sup>[25]</sup>。Bhuyan 等根据前 5 天的降雨量判断土壤湿润状况, 在此基础上对  $CN$  值进行修订, 进而预测模拟地表径流量<sup>[26]</sup>。Geetha 等综合考虑  $CN$  的季节性变化和日存储的蒸散估计变量, 利用 SCS - CN 方法研究模拟径流量的产生<sup>[27]</sup>。上述针对地表径流的计算方法, 都是对  $CN$  值进行修定并计算径流量。虽然这些方法的精度有所提高, 但并不具有较强的推广性, 即针对特定流域所建立的  $CN$  值方法很难推广应用到更小或者更大的流域尺度上。

(2) 模型参数改进。在这方面较成功的研究包括 Mishra 和 Singh 及 Sahu 等的报道。Mishra 和 Singh 综合考虑了蒸散量, 改进了初损估计值方法, 对大尺度降雨径流进行估算<sup>[21, 28-29]</sup>。Sahu 等综合考虑了降水强度和前 5 d 的降雨量, 对 SCS - CN 中的初损值进行了改进<sup>[30]</sup>。这些针对模型参数改进的研究, 并没有对  $CN$  值参数进行修定, 而仅仅是通过判断研究区属于哪种土壤湿润状况, 然后根据查找表来确定  $CN$  值; 通过引入蒸散量的参数及对初损值进行改进, 是对大尺度径流计算的一种有益尝试, 模型参数修改实质上并未解决大尺度地表径流计算精度的问题。

(3) SCS 与其他模型集成。Pandey 等利用 Arc-ViewSWAT 2000 (AVSWAT 2000) 工具对 SCS - CN 进行改进, 能满足日、月、季节性地表径流的估算<sup>[31]</sup>。Mishra 等利用 SCS - CN 与 USLE (通用土壤流失方程) 结合, 扩展了 SCS - CN 模型对流域产沙模型的估算, 研究了中尺度 (大范围) 的降雨 - 产沙量, 对产沙量的计算精度得到提高<sup>[32]</sup>。总的说来, 目前关于 SCS 模型与其他模型集成方面的研究还很少。

我国关于 SCS 模型的研究主要集中于对不同研究区域的案例分析<sup>[3-5, 13, 15, 33-36]</sup>。如史培军<sup>[5]</sup>等采

用 SCS 模型对深圳市降雨径流过程进行模拟,分析不同土地利用方式对城市径流的影响。罗利芳等<sup>[36]</sup>以陕西安塞降雨径流资料为基础,计算不同下垫面条件下的曲线数(CN)值大小。张秀英等<sup>[2]</sup>利用降雨径流观测数据反算 CN,模拟 CN 与降雨量、前 5 d 降雨量和坡度的关系,并对径流模拟结果进行检验。张美华等<sup>[15]</sup>利用 SCS 模型对密云石匣试验小区进行降雨径流量估算。周翠宁<sup>[13]</sup>等利用曲线数值法在北京温榆河流域降雨-径流关系中的应用研究。上述研究都是针对小流域进行的,计算径流精度较高,并建立了针对研究区的 CN 值,对我国建立 CN 值数据库有一定的促进作用,但对于中尺度地表径流估算效果不显著,不能很好的进行估算。

在中尺度径流模拟计算方面,彭定志结合 MODIS 遥感数据对改进的 SCS 日模型进行参数确定,对汉江牧马河等 8 个流域进行长时间系列水文过程模拟,研究和探讨 SCS 模型的适用性,为开展无资料地区的水文预报进行了一定的尝试<sup>[37]</sup>。魏文秋<sup>[11]</sup>、王白陆<sup>[16]</sup>分别对 SCS 模型进行改进,模型计算精度得到明显提高,但仅限于小流域的范围,在中尺度径流方面的研究还未深入开展。

2.2 模型发展与改进

SCS 模型最初是针对小流域区域设计的。随着研究的深入,SCS 模型被逐渐应用到大中区域,国外学者针对 SCS 模型的特点进行改进<sup>[8-10,17,21,38-41]</sup>。

表 1 不同时期发展和改进的 SCS 模型

类型	表达式	参数	备注
模型 1	$Q = \frac{(p - I_a)^2}{p - I_a + s}$ $S_t = (\frac{1000}{CN_1} - 10) 25.4$	$I_{af} = 0$ $S_{t=0} = S_1 = (\frac{1000}{CN_1} - 10) 25.4$	AMCI, II 和 III, 考虑至少 5 d 降雨量 <sup>[38]</sup>
模型 2	$Q = \frac{(p - I_a)^2}{p - I_a + s}$ $S_t = S_1 (1 - \frac{FFC}{FFC + \exp(w_1 - FFC \cdot w_2)})$	$I_{af} = 0$ $S_{t=0} = S_1 = (\frac{1000}{CN_1} - 10) 25.4$	S 是田间持水量和土壤含水能力的功能函数 <sup>[39]</sup>
模型 3	$Q = \frac{(p - I_a - E_c)(p - I_a - E_c + M)}{p - I_a - F_c + S + M}$ $S_t = S_{(t-1)} - (M_t - M_{t-1})$	$I_{af} = 0$ $S_{t=0} = S_1 = (\frac{1000}{CN_1} - 10) 25.4 - (\frac{E_c}{CN_1})$	考虑静态下渗 <sup>[22]</sup>
模型 4	$Q = \frac{(p - I_a)^2}{p - I_a + s}$ $S_t = S_1 (1 - \frac{FFC}{FFC + \exp(w_1 - FFC \cdot w_2)})$	$I_{af} = I_a$ $S_{t=0} = S_1 = (\frac{1000}{CN_1} - 10) 25.4$	$I_a$ 看作达到土壤表面的量 <sup>[40]</sup>
模型 5	$Q = \frac{(p - I_a - E_c)(p - I_a - E_c + M)}{p - I_a - F_c + S + M}$ $S_t = S_{(t-1)} - (M_t - M_{t-1})$	$I_{af} = I_a$ $S_{t=0} = S_1 = (\frac{1000}{CN_1} - 10) 25.4 - (\frac{E_c}{CN_1})$	$I_a$ 看作达到土壤表面的量 <sup>[40]</sup>
模型 6	$Q = \frac{(p - I_a - E_c)^2}{p - I_a - F_c + S}$ $S_t = S_1 (1 - \frac{FFC}{FFC + \exp(w_1 - FFC \cdot w_2)})$	$I_{af} = \begin{cases} 0.9 I_a & K_c < 1 \\ (4.1 - 3.2 K_c) I_a & K_c = 1.25 \\ 0.1 I_a & K_c > 1.25 \end{cases}$ $S_{t=0} = S_1 = (\frac{1000}{CN_1} - 10) 25.4 - (\frac{E_c}{CN_1})$	修改 $I_a$ 参数比例 <sup>[32]</sup>

注: CN<sub>1</sub>——干燥状态下的径流曲线数值; F<sub>c</sub>——静态下渗率; FFC——当前土壤水分; K<sub>c</sub>——农作物参数; S——当时可能最大滞留量; S<sub>1</sub>——干燥状态下的当时可能最大滞留量; t——时间; w<sub>1</sub>, w<sub>2</sub>——形状指标; ——区域参数(>0)。

表 1 列出了近年来对 SCS 模型主要发展与改进。模型 1-3 进行径流计算,并没有考虑 I<sub>af</sub> 的影响, I<sub>af</sub> 表示降水在到达土壤表面时 I<sub>a</sub> 的部分损失量, I<sub>af</sub> 均为 0。模型 1<sup>[38]</sup>是最初始径流量模型,模型 2<sup>[39]</sup>用初始 SCS 模型基础上,综合考虑了干燥状态下的当时可能最大滞留量,当前土壤水分及农作物参数。模型 3<sup>[8-10]</sup>是 Mishra 和 Singh 对模型 1 进行改进,对当时可能最大滞留量、静态下渗率、田间持水量参数引入到模型中,前 3 个模型从不同的参数指标进行了修定,

精度得到提高。Michel 等在模型 2 和模型 3 的基础上,假设 I<sub>a</sub> 等于 I<sub>af</sub>,建立模型 4 与模型 5<sup>[40]</sup>。在模型 3 和模型 5 中, S 被用来表示最大持水能力,可以得到,在饱和状态下,相较于 S 低值区, S 值大, M 值相对也大。针对在不同地区地理时空变量,这种结论是不适合的。比如在沙地地区,产生较少的径流量, S 值大,在饱和状态下,显示高的土壤湿润状况;相较于黏土地区 S 值小,这与实际情况不符。为了解决这个问题, Mishra 和 Singh 对模型进行了进一步的改进,

SCS - CN - SMS 模型,如表1中模型6<sup>[17-18,41]</sup>。模型6是SCS - CN模型与土壤水分平衡方程结合(SCS - CN - SMS),用来解释在干旱和饱和状态下土壤水分变化的影响;基于土壤水分平衡方程的SCS模型,在径流量估算和土壤水分估算有所提高。总的来说,研究区域限于小流域,大中尺度的流域径流计算也有类似研究,但效果并不显著,与其他模型的集成研究研究也不够深入。

### 3 存在的问题

(1)时空尺度是水文过程模型中必须考虑的因素。研究表明:滞留量、CN值等均存在显著的时间变化特征。SCS模型并未没有考虑时间变量,必然会影响到模型的精度。此外,虽然SCS模型进行了改进并在一定的中尺度区域进行研究,但CN值受地区性影响较大,因此某一地区的CN值未必能在另一地区使用;影响CN值的前期土壤含水量仅分3级(AMCI, AMCII,AMCIII),太粗略,致使CN值发生变率<sup>[11]</sup>。土壤分类具有一定的任意性,在一个流域上建立的模型很难推广应用到更小或者更大的流域尺度上。因此,如何对SCS模型及其参数进行尺度转换,是需要深入探讨解决的问题。

(2)SCS模型计算模拟径流量,尽管参数少,使用方便,但模型的精度有待进一步提高。模型中CN值通过一个经验性的综合反映确定,受土地利用类型、土壤质地和降雨前的土壤湿润状况的影响,因此任何参数的改变的都会影响CN取值。公式中规定的 $I_a$ 与 $S$ 、 $S$ 与CN的关系是经验性的,并有地区性影响;经验模型都会存在不同程度的不足;就降雨因素来说,它只考虑了降雨量,而没有考虑进其它降雨特征的影响,而实际上,径流量不仅受降雨量的影响,还受降雨强度、雨型等因素的影响,这就不可避免地造成计算值和实测值间的差异<sup>[5,36]</sup>。

### 4 发展趋势

SCS模型是近年来发展较为迅速的模型,随着现代空间技术的快速发展,SCS模型得到广泛应用。纵观其研究现状及应用前景,SCS模型研究发展趋势可以归纳为:

(1)遥感(RS)与地理信息系统(GIS)技术与SCS模型的结合。作为一种信息源,RS技术可以提供土壤、植被、地形、土地利用和水体等许多有关下垫面条件的信息。GIS可以存储、处理、分析和显示地理数据。如何有效地将RS、GIS与SCS模型紧密结合,增加模型的信息源,提高模型的模拟预报精度和预见

期,是今后发展的一个趋势。

(2)SCS模型的最初设计主要是针对小流域的流域水文过程模拟,仅考虑了下垫面中土地利用等因素在数量上的变化,如何表征土地利用空间结构变化对降雨 - 径流关系的影响是今后研究的一个方向;由于大、中区域多源数据获取成为可能,大、中尺度流域的径流模拟研究也是今后深入研究的课题。

(3)在利用SCS模型估算流域径流量,CN值是计算的关键;不同的研究区域,CN值也有所不同。而在进行降雨 - 径流计算式,对CN值的选取存在一定的困难;如何将各地区的CN值建立起来,建立CN值数据库,将是今后工作研究的一个重点。

(4)随着技术及多学科的快速发展,SCS模型与其他模型的集成应用是今后发展的主要方向。

#### 参考文献:

- [1] SCS. National Engineering Handbook [S]. Hydrology, section 4, Soil Conservation Service, US Department of Agriculture, Washington, DC, 1956.
- [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,2003,10(4):172-174.
- [3] 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.
- [4] 史培军,袁艺,陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响[J]. 生态学报,2001,21(7):1041-1049.
- [5] 刘贤赵,康绍忠,刘德林,等. 基于地理信息的SCS模型及其在黄土高原小流域降雨-径流关系中的应用[J]. 农业工程学报,2005,21(5):93-97.
- [6] Mmesle A M, Shih S F. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 37: 173-183.
- [7] Bosznaym M. Generalization of SCS Curve number methods[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1989,155(1):139-144.
- [8] Mishra S K, Singh V P. SCS-CN method part - 1: derivation of SCS-CN based models[J]. Acta Geophys Polonica 2002,50(3):457-477.
- [9] MISHRA S K, Singh V P. SCS - CN method part - II: analytical treatment[J]. Acta Geophys. Polonica, 2003, 51(1), 107-123.
- [10] Singh P K, Bhunya P K, Mishra S K, et al. A sediment graph model based on SCS - CN method[J]. Journal of Hydrology,2008,349(2):244-255.
- [11] 魏文秋,谢淑秦. 遥感资料在SCS模型产流计算中的应用[J]. 环境遥感,1992,7(4):243-250.
- [12] 张建业,何惠. 应用地理信息进行无资料地区流域水文

- 模拟研究[J]. 水科学进展, 1998, 9(12): 345-350.
- [13] 周翠宁, 任树梅, 闫美俊. 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[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 87-90.
- [14] 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.
- [15] 张美华, 王晓燕, 秦福来. SCS 模型在密云石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: 155-158.
- [16] 王白陆. SCS 产流模型的改进[J]. 人民黄河, 2005, 27(5): 24-26.
- [17] Patil J P, Sarangi A, Singh A K, et al. Evaluation of modified CN methods for watershed runoff estimation using a GIS - based interface[J]. Biosystems Engineering, 2008, 137-146.
- [18] Mishra S K, Tyagi J V, Singh V P, et al. SCS - CN based modeling of sediment yield[J]. Journal of Hydrology, 2006, 324: 301-322.
- [19] Soil Conservation Service. National Engineering Handbook[M]. Section 4: Hydrology. USDA, Springfield, VA. 1993.
- [20] Ponce V M, Hawkins R H. Runoff curve number: Has It reached maturity? [J]. Journal of Hydrologic Engineering ASCE, 1996, 1(1), 11-19.
- [21] Mishra S K, Singh V P. SCS - CN - Based hydrological simulation Package. In: Mathematical Models of small watershed hydrology applications [M]. Water Resources Publications, LLC, Colorado, USA, 2002: 391-464.
- [22] Mishra S K, Singh V P. Soil Conservation Service Curve - Number(SCS - CN) Methodology [M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [23] Tyagi J V, Mishra S K, Singh R, et al. SCS - CN based time - distributed sediment yield model [J]. Journal of Hydrology, 2008, 352(4): 388-403.
- [24] Auerswald K, Haider J. Runoff Curve Numbers for Small Grain Under German Cropping Conditions [J]. Journal of Environmental Management, 1996, 47: 223-228.
- [25] Shirmali S S, Aggarwal S P, Samra J S. Prioritizing erosion - prone areas in hills using remote sensing and GIS - a case study of the Sukhna Lake catchment, Northern India [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2001, 3(1): 54-60.
- [26] Bhuyan S J, Mankin K R, Koelliker J K. Watershed - scale AMC selection for hydrologic model [J]. Transactions of the ASAE, 2003, 46(2): 303-310.
- [27] Geetha K, Mishra S K, Rastogi A K, et al. Identification of dominant runoff generation process using the modified SCS - CN concept [J]. Recent Advances in Water resources Development and Management, 2005, 477-491.
- [28] Mishra S K, Jain M K, Bhunya P K, et al. Field applicability of the SCS - CN based Mishra - Singh general model and its variants [J]. Water Resources Management, 2005(19): 37-62.
- [29] Mishra S K, Pandey R P, Jain M K, et al. A Rain Duration and Modified AMC - dependent SCS - CN Procedure for Long Duration Rainfall - runoff Events [J]. Water Resources Management, 2008, 22: 861-876.
- [30] Sahu R K, Mishra S K, Elodho T I, et al. A modification to the initial abstraction in the existing SCS - CN methodology incorporating storm duration and antecedent rainfall [J]. Recent Advances in Water Resources Development and Management, 2005, 697-704.
- [31] Pandey V K, Panda S N, Sudhakar S. Modelling of an agricultural watershed using remote sensing and a geographic information system [J]. Biosystems Engineering, 2005, 90(3), 331-347.
- [32] Mishra S K, Tyagi J V, Singh V P, et al. SCS - CN - based modeling of sediment yield [J]. Journal of Hydrology, 2006, 301-322.
- [33] 张荔, 孙艳群, 林金辉, 等. 利用地理信息系统进行流域径流量计算的方法研究[J]. 水资源与水工程学报, 2006, 17(5): 21-24.
- [34] 徐秋宁, 马孝义, 姜宗科, 等. 小型集水区降雨径流计算模型研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 139-142.
- [35] 张银辉. SWAT 模型及其应用研究进展[J]. 地理科学进展, 2005, 24(5): 121-130.
- [36] 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[J]. 水土保持通报, 2002, 22(3): 58-61.
- [37] 彭定志. 基于 RS 和 GIS 的水文模型以及洪灾监测评估系统的研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [38] SCS. National Engineering Handbook [M]. USDA Soil Conservation Services. Washington, DC, 1971.
- [39] Arnold J G, Williams J R, Srinivasan R, et al. 2000. Soil and Water Assessment Tool Manual [M]. USDA Agricultural Research Service, Texas, 2000.
- [40] Michel C, Andre V, Perrin C. Soil Conservation Service Curve Number method: how to mend a wrong soil moisture accounting procedure [J]. Water Resour. Res., 2005, 41(2), W02011, DOI 10. 1029/2004WR003191.
- [41] Reshmidevi T V, Jana R, Eldho T I. Geospatial estimation of soil moisture in rainfed paddy fields using SCS - CN - based model [J]. Agric Water Manage, 2008: 447-457.