

文章编号: 1007-6301 (2003) 05-0463-09

基于 SWAT 模型的基流估算及评价 ——以洛河流域为例

杨桂莲, 郝芳华, 刘昌明, 张雪松

(北京师范大学环境科学研究所, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875)

摘 要: SWAT 是一个具有很强物理机制的长时段的流域分布式水文模型, 它能够利用 GIS 和 RS 提供的空间数据信息, 模拟复杂大流域中的径流成分。本文应用 SWAT 模型对基流进行模拟, 分别采用 1992~1996 年和 1997~1998 年洛河流域卢氏水文站逐年、月实测径流资料进行模型校准和验证, 确定模型的敏感性参数: 径流曲线数、地下水再蒸发系数、土壤蒸发补偿系数和植物蒸发补偿系数; 并借助滤波技术对实测径流进行基流分割。将滤波分割的基流与 SWAT 模拟值进行对比, 采用线性回归系数 (R^2) 和 Nash-Sutcliffe 模拟系数 (E_{ns}) 对 SWAT 模型进行评价, 其结果月基流 R^2 为 0.76, E_{ns} 为 0.75, 模拟精度较高。

关 键 词: SWAT 模型; 基流估算; 滤波技术; 洛河流域

中图分类号: P343; P333.1

1 引言

地下水的补给和排泄 (即形成基流) 特征对地下水资源的高效管理与可持续发展, 以及地表水与土壤水转换时的污染最小化方面都至关重要。在大西洋海岸平原地区, 地下径流占总径流的 90% 以上^[1], 而在美国德克萨斯州可达 50%^[2]。Reay 等人发现若忽略浅层地下水这一水源, 将直接影响水质管理决策的可靠性^[3]。地下水补给过程一般较复杂, 取决于两类因子, 一类是气象因子, 如雨强、降水历时, 气温, 湿度, 风速; 另一类是下垫面因子, 如地下水位以上的土壤和岩层特性、地形、植被和土地利用等。这些因子的变化会导致地下水补给在时空分布上变化显著^[4]。计算地下水的补排通常有两种方法: 水量平衡法或基于监测水分运动的张力计法, 示踪剂法, 重力测渗仪法^[5]。后者一般费用较高, 实际中采用不多。在干旱和半干旱地区, 大流域的地下水补给和基流计算广泛采用基于水量平衡的基流估算法^[6-8]和消退曲线平移法^[9-12], 后者只需根据流量观测资料就可确定地下水特征值。

SWAT 模型是一个具有很强物理机制的长时段的流域分布式水文模型, 它能够利用

收稿日期: 2003-06; 修订日期: 2003-08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999043601), 教育部博士点基金资助项目 (20010027013)

作者简介: 杨桂莲 (1979-), 女, 湖北广水人, 硕士研究生, 主要从事水文、水资源及水环境方面的研究。Email: yg1781220@sina.com

GIS 和 RS 提供的空间数据信息, 模拟地表水和地下水水量与水质, 长期预测土地管理措施对于具有多种土壤、土地利用和管理条件的大面积复杂流域的水文、泥沙和农业化学物质产量的影响^[13]。SWAT 通过水文响应单元 (HRU) 单独计算径流量, 然后演算得到流域总径流量。水文响应单元的水循环包括四个部分的水量: 融雪、土壤剖面 (0~2m)、浅层含水层 (2~20m) 和深层含水层 (>20m)。土壤剖面可分为多层, 土壤水运动包括下渗、蒸发、植被截留、侧向流和土壤剖面下边界向潜水层的渗流 (即地下水补给)。SWAT 模型中计算的地下水补给量是以下三项的总和: 土壤剖面下边界渗出量、河道输移损失、池塘和水库的蓄量^[14]。

本文试图借助滤波技术估算基流, 并将该结果与 SWAT 模拟值进行对比, 对 SWAT 模型在研究区的应用结果进行评价。

2 研究方法

2.1 估算方法——SWAT 模型

基于水量平衡的 SWAT 模型模拟每个水文响应单元的地表径流量和洪峰流量。模型中采用的水量平衡方程式为:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

式中, SW_t 为土壤最终含水量 (mm), SW_0 为土壤前期含水量 (mm), t 为时间步长 (d), R_{day} 为第 i 日降水量 (mm), Q_{surf} 为第 i 日的地表径流 (mm), E_a 为第 i 日的蒸发量 (mm), W_{seep} 为第 i 日土壤剖面地层的渗透量和侧流量 (mm), Q_{gw} 为第 i 日的基流量 (mm)。

模型采用下列方程式计算流域基流:

$$Q_{gw,i} = Q_{gw,i-1} \cdot \exp(-\alpha_{gw} \cdot \Delta t) + W_{rchrg} \cdot [1 - \exp(-\alpha_{gw} \cdot \Delta t)] \quad (2)$$

式中, $Q_{gw,i}$ 为第 i 日进入河道的基流补给量 (mm), $Q_{gw,i-1}$ 为第 $(i-1)$ 日进入河道的基流补给量 (mm), t 为时间步长 (d), W_{rchrg} 为第 i 日蓄水层的补给量 (mm), α_{gw} 为基流的消退系数。

其中补给流量由下式计算:

$$W_{rchrg,i} = [1 - \exp(-1/\delta_{gw})] \cdot W_{seep} + \exp(-1/\delta_{gw}) \cdot W_{rchrg,i-1} \quad (3)$$

式中, $W_{rchrg,i}$ 为第 i 日蓄水区补给量 (mm), δ_{gw} 为补给滞后时间 (d), W_{seep} 为第 i 日通过土壤剖面底部进入地下含水层的水分通量 (mm/d)。

地表径流采用美国农业部水土保持局 (Soil Conservation Service) 研制的小流域设计洪水模型—SCS 模型进行模拟, 目前该模型在美国及其他一些国家得到了广泛的应用, 在我国也有一些介绍和应用^[15~20]。CN (Curve number) 值是 SCS 模型的主要参数, 可将前期土壤湿润程度、坡度、土壤类型和土地利用现状等因素综合在一起, 用量的指标来反映下垫面条件对产汇流过程的影响, 是反映降雨前流域特征的一个综合参数。SCS 模型有特定的土壤分类系统, 需对土壤分类进行对应归并, 得到符合 SCS 模型的土壤分类结果^[14]。因土壤属性较稳定, 将土壤分类结果作为不变值, 用于模型计算中。CN 值同样受降雨前的流域内土壤湿润程度的影响。SCS 模型将土壤湿润程度根据前 5d 的总雨量划分为 3 类, 分别代表干、平均、湿 3 种状态 (AMCI, AMCII, AMCIII), 不同湿润状况的 CN 值有相互的转

换关系。最终根据 SCS 模型提供的 CN 值查算表^[15], 充分考虑当地的自然条件, 并参考有关研究者在 SCS 模型应用中所确定的 CN 值^[18, 19, 21], 确定出当地的 CN 值。

壤中流用动态存储模型预测计算, 该模型考虑到水力传导度、坡度和土壤含水量的时空变化。计算下渗考虑两个主要参数: 初始下渗率 (依赖于土壤湿度、供水条件) 和最终下渗率 (等于土壤饱和水力传导度)。

蒸散发包括水面蒸发、裸地蒸发和植被蒸腾。土壤水蒸发和植物蒸腾被分开模拟。潜在土壤水蒸发由潜在蒸散发和叶面指数估算。实际土壤水蒸发用土壤厚度和含水量的指数关系式计算。植物蒸腾由潜在蒸散发和叶面指数的线性关系式计算。潜在蒸散发有以下三种算法: Hargreaves (Hargreaves and Samani, 1985), Priestley-Taylor (Priestley and Taylor, 1972), Penman-Monteith (Monteith, 1965), 本文采用 Penman-Monteith 法。

2.2 评价方法——数字滤波法

传统的基流分割法包括图解法^[22]和分析法^[23]。图解法主观性较强, 在计算两次连续降雨或多次连续降雨时效果较差; 分析法依赖迭代曲线拟合算法, 且参数较多, 难以确定其误差来源^[24]。近年来人们将数字滤波应用于基流的分割。数字滤波能通过滤波器把输入系列通过一定的运算变换成输出系列。数字滤波器的实现方式之一是利用通用计算机的存储器、运算器和控制器把滤波器所要完成的运算编成程序通过计算机来执行, 也就是采用计算机软件来实现^[25]。

滤波法较图解法更加客观, 操作容易, 执行速度快, 且参数较少^[24]。Nathan 和 McMahon 首次采用 Lyne-Hollick 算法^[26]对流量过程进行分析和处理, 从流量过程中分割出基流^[27]。Arnold 在美国西部和东部选取 6 个代表流域对该方法进行验证, 结果表明该方法不仅精度较高, 而且具有较好的客观性和可重复性^[28]。本文采用该方法将实测径流划分为直接径流和基流两部分。基于 Lyne-Hollick 算法的滤波方程为:

$$q_t = \beta q_{t-1} + (1 + \beta)(Q_t - Q_{t-1})/2 \quad (4)$$

式中: q_t 为 t 时刻过滤出的快速响应 (即直接径流信号, 以日为时间步长); Q 为实测河川总径流; β 为滤波参数。从总径流中过滤出快速响应, 即可得出基流 b_t :

$$b_t = Q_t - q_t \quad (5)$$

Nathan 和 McMahon 及 Arnold 等人采用三通道滤波器, 将模拟结果与手工分割的结果进行对比研究, 率定出 β 值, 分别定为 0.90~0.95, 0.925^[27, 29]。

3 实例研究

3.1 流域概况

洛河是黄河小浪底水库以下的最大支流, 洛河干流在陕西省有两条, 西干流发源于蓝田县灞源乡, 北干流发源于洛南县洛源乡, 汇合后经陕西省的洛南县和河南省的卢氏、洛宁、宜阳、洛阳市区、郊区、偃师、巩县, 在神堤村注入黄河。干流长 446.9 km, 流域面积 1 8881 km², 多年平均径流量 34.22 亿 m³。其中洛河上游卢氏水文站以上流域, 流域面积 4 623 km², 河道长 192 km, 跨陕西和河南两省, 该区为典型的石山林区^[23]。地势高峻, 河沟密集, 坡陡石多, 地形复杂, 切割严重, 土地贫瘠。大部分地区海拔在 1 200~2 000 m 之间, 沿河有许多面积较小的河谷平原, 海拔高度 600~1 000 m。土壤类型以棕壤、褐土为

主,天然植被较好,除岩石裸露外,大部分是天然次生杂木林,森林和草地覆盖率达 70% 以上^[31, 32]。根据 1971~ 2000 年资料统计,流域内多年平均降水量为 720mm,多年平均水面蒸发量为 966mm。

3.2 SWAT 模型估算

3.2.1 模型输入

本文应用与 Arc view GIS 藕合的 SWAT 模型——AVSWAT 来处理卢氏流域的输入文件(见表 1)。根据前文所述的亚流域划分原则,并考虑实际的县区边界,将卢氏流域划分为 39 个亚流域^[33]。

表 1 模型输入数据
Tab. 1 The input data for SWAT model

数据类型	尺 度	数据描述	来 源
气 象	24 个雨量站	日降水 and 气温	黄委水文局
地 形	1 250 000	高程, 坡面与河道坡度、长度	国家基础地理信息中心
土 壤	1 1 000 000	土壤属性, 如密度、剖面 and 质地等	南京土壤所
土地利用	1 100 000	土地利用类型分类	中科院地理所

模型所要求的地形,土地利用/覆盖和土壤数据是使用 AVSWAT2000 在 Arc View 中生成的,地形数据是从 1 250 000 万 DEM 中生成的。SWAT 模型所要求的亚流域地图是在 AVSWAT 中从地形数据中生成的。流域中的土地利用分类数据是从 1 100 000 的土地利用图中得到的,并重新进行了分类,得到 7 种土地利用类型:耕地 (AGRL)、林地 (FRST)、草地 (PAST)、农村居民点 (RURL)、城镇用地 (URAN)、水域 (WATR) 和裸地 (BARE)。输入气象数据:包括日降水量、最高最低气温、风速和相对湿度等,这些数据可以是统计数据,也可根据 SWAT 的天气模拟程序生成。

3.2.2 模型校准和验证

当模型的结构和输入参数初步确定后,就需要对模型进行校准 (calibration) 和验证 (validation)。通常将使用的资料系列分为两部分,其中一部分用于校准模型,而另一部分则用于模型的验证^[34]。校准是调整模型参数 (经分析得出 SCS 曲线数 CN、土壤中植物可利用水量、土壤蒸发补偿系数为最敏感因子)、初始和边界条件以及限制条件的过程,以使模型接近于测量值。选用线性回归系数 (R^2) 和 Nash-Suttcliffe 模拟系数 (E_{ns}) 来评估模型在校准和验证过程中的模拟效果。

使用 Nash-Suttcliffe 系数 E_{ns} 来衡量模型模拟值与观测值之间的拟合度,其表达式为^[34]:

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_m - Q_p)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_m - Q_{avg})^2}$$

(6)

式中: Q_m 为观测值, Q_p 为模拟值, Q_{avg} 为观测值平均值, n 为观测的次数。当 $Q_m = Q_p$ 时, $E_{ns} = 1$; 如果 E_{ns} 为负值,说明模型模拟值比直接使用测量值的算术平均值更不具代表性。

根据数据获取的完整性,选用 1992~ 1997 年卢氏水文站的河道流量对径流进行参数率

定。对以下的四个敏感性参数进行调整: 径流曲线数 (CN_2)、地下水再蒸发系数 (RWVAPC)、土壤蒸发补偿系数 (ESCO) 和植物蒸发补偿系数 (EPCO)。通过调整这些参数使径流模拟值与实测值吻合, 其模拟值与实测值年均误差应小于实测值的 15%, 月均值的线性回归系数 $R^2 > 0.6$ 且 $E_{ns} > 0.5$ 。流量校准年径流平均误差为 14.3%, 且月径流 E_{ns} 为 0.86, R^2 为 0.87, 精度满足模型要求。

采用模型参数率定过程中所得到的参数, 应用 1998~1999 年的实测流量数据进行模型验证, 并采用 R^2 及 E_{ns} 对模型的验证结果进行评价。流域出口模拟径流量与实测流量拟合较好, 月径流 R^2 为 0.81, E_{ns} 为 0.84。模型对 1998 年 6、9 和 10 月, 1999 年 4、5 月和 12 月的模拟值较高; 对 1998 年 8 月和 12 月的模拟值较低, 其原因可能是由于降雨的空间不均匀性。但总体来说模型预测的评价系数满足评价标准。

通过对径流的校准和验证, 最后确定出模拟径流过程的模型参数, 如表 2 所示。

表 2 模型校准参数值
Tab. 2 The calibrated parameters for SWAT model

变 量	模拟过程	参数描述	值域/变化范围	参数最终值
CN_2	径 流	径流曲线数	+ /-8	+ 2
RWVAPC	径 流	地下水再蒸发系数	0.00~1.00	0.10
ESCO	径 流	土壤蒸发补偿系数	0.00~1.00	0.2
EPCO	径 流	植物吸收补偿系数	0.00~1.00	0.10

4 结果与分析

4.1 估算结果

SWAT 模型输出的是 39 个亚流域逐日基流量。图版 II, 图 1 是 39 个亚流域年均基流分布图, 而图版 II, 图 2 是 8~10 月基流总和分布图, 其分布规律与年均基流分布相似, 主要是由于这三个月占年均基流的 46%。由于该研究区为典型的石山林区, 地处黄河中游地区, 汛期多发生在 8~9 月份, 由于地下径流的滞后效应, 10 月份的基流量所占的比例也较大。

4.2 滤波结果

输入 1992~1999 年日流量资料, 在 MS-DOS 环境下运行下载的 bflow.exe 模块^[33], 即可得到逐日基流量以及基流参数 Fr 、退水个数、 a_{gw} 系数和退水天数, 基流参数如表 3 所示。

表 3 滤波分割基流参数值
Tab. 3 The parameters of filtered baseflow

基流系数 $Fr1$	基流系数 $Fr2$	基流系数 $Fr3$	退水个数	a_{gw} 系数	基流天数
0.49	0.30	0.23	9	0.0038	264

注: $Fr1$ 、 $Fr2$ 、 $Fr3$ 为各自采用第一、二、三通道滤波时, 所分割的基流占总径流的比例。

其中

$$Fr = b_i/Q \tag{7}$$

$$a_{gw} = \ln(Q_{gw,0}/Q_{gw,N})/N \tag{8}$$

式中: $Q_{gw,0}$ 和 $Q_{gw,N}$ 分别为退水计算时的始、末流量。为了精确计算出 a_{gw} , 退水时间 (N) 不得少于 10 天。

根据对研究区的初步分析,发现该区基流占总径流的 20% 左右,因此选用基流系数 $Fr3$ 以及相应的逐日基流分割值。

4.3 评价与分析

将基于滤波技术分割出的基流值与 SWAT 模拟值作对照,月基流 R^2 为 0.76, Ens 为 0.75, (如图 3、图 4 所示), 模拟精度较高。由图 3 可以看出, SWAT 在模拟高水流时的月份时,基流模拟结果往往偏大,而在模拟低水流时,结果往往偏小。这涉及多方面的原因,一方面,由于土壤含水层的分布本身就很复杂,另一方面,模型在校准时参数不止一个,多个参数之间的相互影响并不明确。在实际校准时,往往只对总径流进行校准,基流的校准由于一般无实测资料,难以进行。

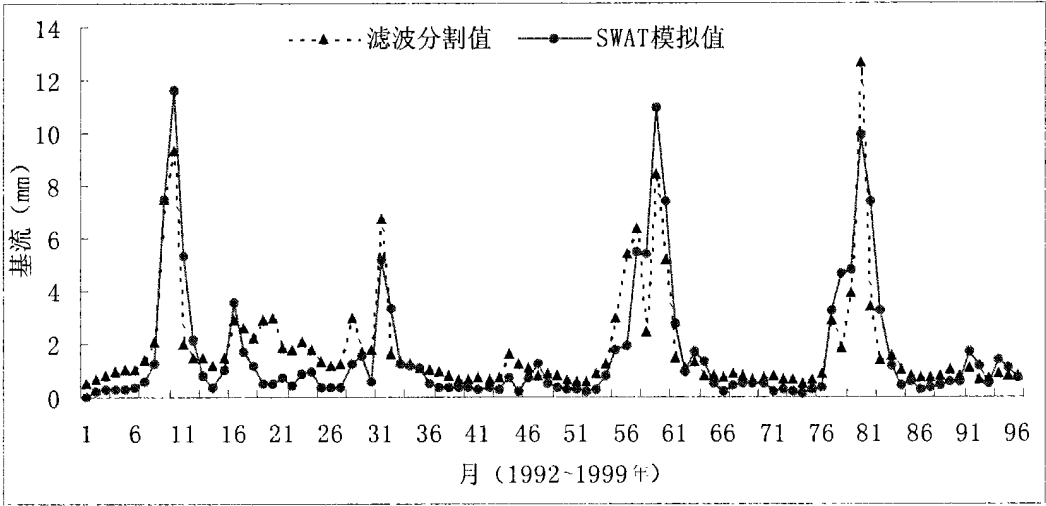


图 3 基于滤波技术分割的月基流与 SWAT 模拟值对照图

Fig.3 Monthly time series (1992~ 1999) of SWAT simulated and filtered baseflow

5 结论

滤波技术使得基流分割地下水补给得以自动完成。该法为 SWAT 模型的基流模拟评价提供了依据和途径:

- (1) 自动化滤波技术能快速、高效地分割出基流,结合计算机使退水曲线得以自动平移,可计算出基流量;
- (2) 在无地下水观测地区,借助滤波技术分割基流,可应用于 SWAT 模型的基流校准,为 SWAT 模型的径流模拟和非点源污染模拟提供了有利途径,同时也为研究地下水资源量

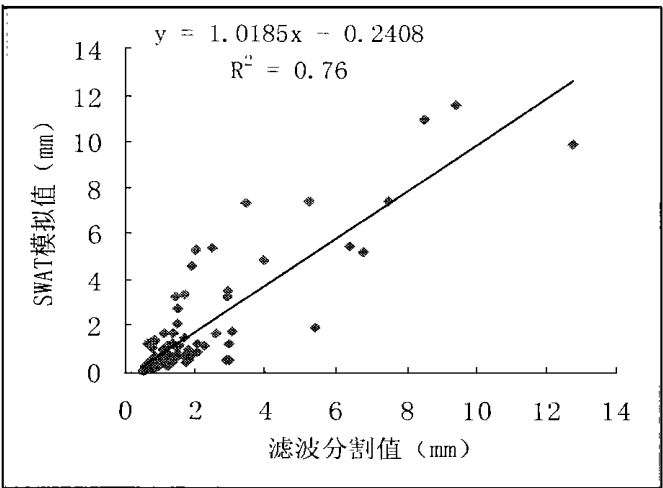


图 4 基于滤波技术分割的月基流与 SWAT 模拟值散点图

Fig. 4 The regression of SWAT simulated and filtered baseflow

提供了一种新的方法;

(3) SWAT 是一个具有很强物理机制的长时段的流域分布式水文模型, 在充分利用 GIS 和 RS 提供的空间数据信息的前提下, 能够模拟复杂大流域中的径流成分。

参考文献

[1] Williams, J.R., and J.E. Pinder III. Groundwater flow and runoff a coastal plain stream. Water Resources Bulletin, 1990, 726(2): 343~ 352.

[2] Arnold, J.G., P.M. Allen, G. Bernhardt. A comprehensive surface~ groundwater flow model. Journal of Hydrology, 1993, (142): 47~ 69.

[3] Reay, W.G., D.L. Gallagher, Jr., G.M. Simmons. Groundwater discharge and its impact on surface water quality in a Chesapeake Bay inlet. Groundwater, 1992, 28(6): 1121~ 1133.

[4] Memon, B.A. Quantitative analysis of springs. Environ. Geol., 1995, (26): 111~ 120.

[5] Wood, W.W., W.E. Sanford. Chemical and isotopic methods for quantifying groundwater recharge in a regional semiarid environment. Groundwater, 1997, (33): 458~ 468.

[6] Meyboom, P. Estimating groundwater recharge from streamflow hydrograph. Journal of Geophysical Research, 1961, 66(4): 1203~ 1214.

[7] Knisel, W.G. Baseflow recession analysis for comparison of drainage basins and geology. Journal of Geophysical Research, 1963, (68): 3649~ 3653.

[8] Nathan, R.J., and T.A. McMahon. Evaluation of Automated Techniques for Baseflow and Recession Analysis. Water Resources Research, 1990, 26(7): 1465~ 1473.

[9] Rorabaugh, M.I. Estimating changes in bank storage and groundwater contribution to stream flow. Int. Assoc. Sci. Hydrol. 1964, (63): 432~ 441.

[10] Bevans, H.S. Estimating stream~aquifer interactions in coal areas in eastern Kansas by using stream records. In: Seymour (Ed.). Selected Papers in the Hydrologic Sciences, US Geologic Survey Water Supply Paper. 1986, (2290): 51~ 64.

[11] Hoos, A.B. Recharge rates and aquifer characteristics for selected drainage basins in middle and east Tennessee.

- U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report., 1990, (4015): 34.
- [12] Rutledge, A.T. Computer Programs for Describing the Recession of Groundwater Recharge and for Estimating Mean Groundwater Recharge and Discharge from Streamflow Records. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report., 1993, (4121): 45.
- [13] Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah, et al. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I. Model development. Journal of the American Water Resources Association, 1998, (34): 73~ 89.
- [14] 王中根, 刘昌明, 黄友波. SWAT 模型的原理、结构及应用研究. 地理科学进展, 2003, 22(1): 79~ 86.
- [15] 袁作新. 流域水文模型. 北京: 水利电力出版社, 1990.
- [16] 张建云. 地理信息系统及其在水文水资源中的应用. 水科学进展, 1995, 6(4): 290~ 295.
- [17] 张建云, 何惠. 应用地理信息进行无资料地区流域水文模拟研究. 水科学进展, 1995, 9(4): 345~ 350.
- [18] 张仁杰. 从遥感信息到水文模型参数. 遥感信息, 1987, (1): 13~ 18, 28.
- [19] 魏文秋, 谢淑琴. 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.
- [20] 吴险峰, 刘昌明. 流域水文模型研究的若干进展. 地理科学进展, 2002, 21(4): 341~ 348.
- [21] Rango A. A assessment of Remote Sensing Input to Hydrological Models. Water Resources Bulletin, 1985, 21(3): 423~ 432.
- [22] McNamara, J.P., D.L. Kane, and L.D. Hinzman. Hydrograph separations in an Arctic watershed using mixing model and graphical techniques. Water Resources Research, 1997, 33: 973~ 983.
- [23] Birtles, A.B. Identification and separation of major baseflow components from a stream hydrograph. Water Resources Research, 1978, 14(5): 791~ 803.
- [24] Furey, P.R., V.K Gupta. A physically based filter for separating baseflow from streamflow times series. Water Resources Research, 2001, 37(11): 2709~ 2722.
- [25] Rabiner, L.R., B. Gold. Theory and application of digital signal processing. 史令启译. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- [26] Lyne, V., M. Hollick. Stochastic time variable rainfall runoff modeling. Hydrology and Water Resources Symposium Berth, Proceedings, National Committee on Hydrology and Water Resources of the Institution of Engineers, Australia, 1979, 89~ 92.
- [27] Nathan, R.J., and T.A. McMahon. Evaluation of Automated Techniques for Baseflow and Recession Analysis. Water Resources Research, 1990, 26(7): 1465~ 1473.
- [28] Arnold, J.G., and P. M. Allen. Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from stream flow. Journal of the American Water Resources Association, 1999, 35(2): 411~ 424.
- [29] Arnold, J.G., P. M. Allen, R.S. Muttiah, et al. Automated baseflow separation and recession analysis techniques. Groundwater, 1995, (33): 1010~ 1018.
- [30] 郭建民, 郑金亮主编. 伊洛河志. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [31] 洛南县地方志编纂委员会. 洛南县志. 北京: 作家出版社, 1999.
- [32] 卢氏县水利志编纂领导小组. 卢氏县水利志. 西安: 陕西人民出版社, 2001.
- [33] 王中根, 刘昌明等. 基于 DEM 的分布式水文模型构建方法. 地理科学进展, 2002, 21(5): 430~ 439.
- [34] Nash, J.E., and J. Sutcliffe. River Flow Forecasting Through Conceptual Models, Part 1~ A Discussion of Principle. Journal of Hydrology, 1970, 10(3): 282~ 290.
- [35] <http://www.brc.tam.us.edu/swat/swatbase.html> [EB/OL], 2003-6-10.

The Study on Baseflow Estimation and Assessment in SWAT ——Luohe Basin as An Example

YANG Guilian, HAO Fanghua, LI Changming, ZHANG Xuesong

(Institute of Environmental Sciences, Beijing Normal University,

Key Laboratory for Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, Beijing 100875, China)

Abstract: Baseflow, usually separated from total streamflow, is very important in many research fields. Two methods to analyze and calculate baseflow were introduced. The first method uses the water balance components from the soil and water assessment tool model (SWAT). The second method uses a digital recursive filter to separate baseflow from daily flow. The result was applied in Lushi basin located in the upper of Luohe to calibrate baseflow in SWAT model. Simulated flow was calibrated against calculated flow at Luohe ($4\,623\text{km}^2$) from 1992~1996. To validate the model, calibrated and simulated monthly flow at Luohe from 1997~1998 was compared with a R^2 of 0.81 and an E_{ns} of 0.84. Four sensitive factors, including CN_2 , $RWVAPC$, $ESCO$ and $EPCO$, are determined after calibration and validation of the model. The rate of three-month (Aug. to Oct.) baseflow in annual total one is 46% because the floods usually took place in August and September in the study area. Comparing simulated monthly baseflow to the filtered one from 1992~1998, a good result can be gained with a R^2 of 0.76 and an E_{ns} of 0.75. The case study illuminates that SWAT model can simulate baseflow well, and the filter technique has the potential to provide realistic estimates of baseflow for input into regional groundwater models and a check for surface hydrologic models.

Key words: SWAT model; baseflow estimation; digital filter technique; Luohe basin