

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.05.003

SWAT 模型参数区域化在黄河源区的应用

刘 庆¹ 张友静² 刘 祺³ 郝振纯⁴ 房莹莹²

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098;
3. 黄河水利委员会新闻宣传出版中心, 河南 郑州 450003; 4. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 利用多期土地覆盖数据, 采用参数区域化方法, 建立了 SWAT 模型主要参数与下垫面特征的关系。结果表明, 采用下垫面变化后新的模型参数得到的径流模拟精度普遍高于人工试错法, 且下垫面变化最大的年份(1995—1997 年)径流模拟的 $E_{ns} = 0.793$, $R^2 = 0.810$, 与人工调试结果($E_{ns} = 0.639$, $R^2 = 0.641$)相比, 精度明显提高, 模拟的径流过程更接近实测径流过程。

关键词: SWAT 模型; 径流模拟; 土地覆被变化; 模型参数区域化; 黄河源区

中图分类号: P334.92 文献标志码: A 文章编号: 1000-1980(2012)05-0491-07

Application of parameter regionalization of SWAT model to source region of Yellow River

LIU Qing¹, ZHANG Youjing², LIU Qi³, HAO Zhenchun⁴, FANG Yingying²

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. News Media and Press Center, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China;

4. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on land-use data from multiple stages, a relationship between the underlying surface characteristics and the key parameters of the SWAT model was built using the parameter regionalization method. A set of new model parameters were yielded by combining the relationship with the altered underlying surface characteristics. The results show that the accuracy of runoff simulation with the new parameters was higher than that with the manual trial and error method. The values of E_{ns} and R^2 of the Tangnaihai Hydrological Station were, respectively, 0.793 and 0.810, using the regionalization method, and 0.639 and 0.641 using the manual trial and error method from 1995 to 1997, when the underlying surface changed most significantly. The simulated runoff process using the regionalization method was closer to the measured one.

Key words: SWAT model; runoff simulation; land cover change; parameter regionalization; source region of Yellow River

水循环不仅受降水时空分布特征的影响, 还受下垫面、人类活动等因素影响。随着土地利用/土地覆盖变化(LUCC)成为全球变化的研究热点, LUCC 水文效应的研究也日益活跃。近年来, LUCC 的水文效应研究, 通常在水文模型的参数中考虑土地利用/土地覆盖因素, 参数率定和验证后, 按设定的变化情景进行径流过程预测^[1-2]。李昱等^[3]应用 SWAT 模型对逊毕拉河流域进行径流模拟, 并设定土地利用情景预测土地利用变化对径流量的影响; 梁小军等^[4]用紫坪铺水文站与沙坝水文站的实测流量数据对 SWAT 模型进行校准和验证; 利用率定好的参数模拟岷江上游流域在不同干旱情景下的水文响应特征; 王云琦等^[5]采用 PMRS 模型对 Trent 流域进行径流模拟, 并分析流域蒸散量和产流量对土地利用和气候变化的敏感性; 高超等^[6]将不同的

土地覆盖情景输入 HBV-D 模型,建立巢湖流域降水径流关系,分析土地覆盖变化对径流量的影响;陈引珍等^[7]用 SWAT 模型结合土地利用影像资料分析土地覆盖变化对清港河流域径流的影像;陈莹等^[8]应用 HEC-HMS 模型模拟分析太湖上游西苕溪流域未来土地利用/覆盖变化对不同重现期暴雨下洪水过程的影响。应该指出的是,上述研究都假定模型参数不随时间而变化,导致验证期模型的模拟精度通常低于率定期的模拟精度。由于下垫面变化必然导致模型参数的变化,基于参数时不变的径流模拟及预测将增加预测的不确定性。因此,考虑模型参数的时变效应对于变化条件下的径流过程模拟与预测具有重要意义。

笔者以黄河源区为研究区,利用多期土地覆盖类型图,采用参数区域化方法建立了 SWAT 模型主要参数与下垫面特征之间的关系。将参数区域化方法得到土地覆盖变化后的模型参数应用于 1977—1979 年、1985—1987 年、1995—1997 年日径流模拟,并比较分析参数区域化方法和人工试错法在日径流模拟中的应用效果。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

黄河源区指黄河唐乃亥水文站以上集水区域(图 1),流域面积为 12.23 万 km²。黄河源区位于青藏高原东北部,地势西高东低,地貌形式复杂多样。受西南季风影响,年降水量为 250~750 mm,降水年内变化较大,主要集中在 6—9 月。

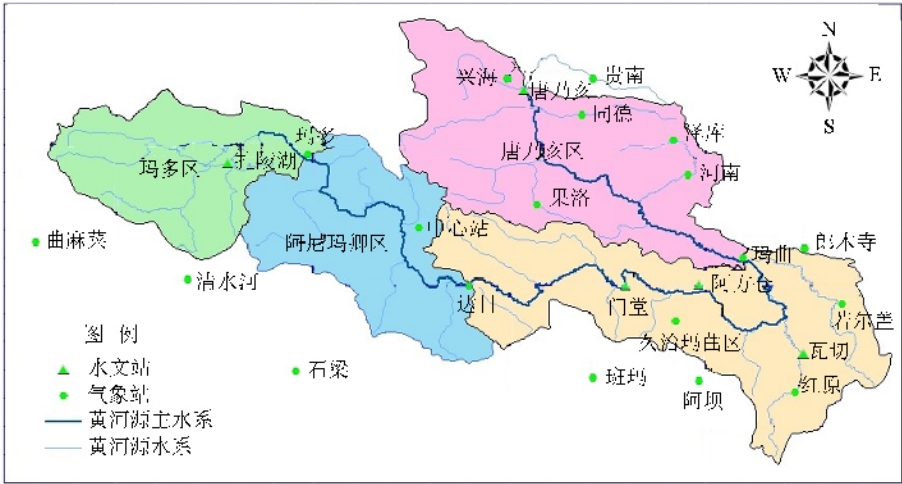


图 1 黄河源区水系及水文、气象站点

Fig. 1 Hydrological and meteorological stations in source region of Yellow River

1.2 数据与预处理

研究区的土地覆盖数据分别为 1977 年、1985 年和 1995 年陆地卫星解译数据,其中 1977 年土地覆盖图用于空间离散化建模、径流模拟和参数区域化研究,1985 年和 1995 年土地覆盖图用于参数区域化结果验证。由土地覆盖图得到各年代土地利用类型面积(表 1)^[9]。由表 1 可见,1977—1995 年间黄河源区的草地面积总体没有变化,但其中高覆盖草地、林地面积明显减少,而低覆盖草地、裸地面积明显增加。

DEM 数据来自美国地质调查局分辨率为 1 000 m 的 DEM 数据,土壤数据来自中国科学院南京土壤研究所提供的 1:1000 000 土壤类型图。利用 DEM 数据将研究区域划分

表 1 研究区各年代土地利用类型面积

Table 1 Area of various land use types in study area in different years

土地利用类型		现状面积/km ²		
		1977 年	1985 年	1995 年
耕 地	旱 地	152	270	253
	有林地	1 310	1 268	1 119
林 地	灌木林	7 284	7 055	6 183
	高覆盖草地	32 895	28 346	18 936
草 地	中覆盖草地	34 067	33 708	32 968
	低覆盖草地	28 244	34 109	44 455
水 域	湖 泊	1 572	1 593	1 550
	河 流	1 027	1 013	1 001
	河滩地	576	572	543
	冰 川	129	114	95
城乡居民点	城 镇	9	12	17
	荒 漠	5 922	5 072	5 363
未利用地	裸 地	3 766	3 818	5 236
	沙 地	1 609	1 513	1 520
	沼 泽	4 042	4 143	3 346

为 28 个子流域 , 将其与流域土地覆盖类型图和土壤类型图进行叠置分析和重分类 , 构建 SWAT 模型的相关参数。气象数据中降水资料采用克里金法插补到每个子流域。

2 SWAT 模型及其参数率定

2.1 SWAT 模型

SWAT 模型是一种典型的具有较强物理机制的半分布式流域水文模型^[10] , 其对水文过程的模拟分为 2 个部分 : 陆面水文循环模块和汇流演算模块。

SWAT 模型对陆面水文循环过程的模拟基于土壤层的水量平衡公式 :

$$S_{W_t} = S_{W_0} + \sum_{i=1}^i (R_{day} - Q_{surf}) - E_a - W_{seep} - Q_{gw}$$

(1)

式中 : S_{W_t} ——最终的土壤含水量 , mm ; S_{W_0} ——土壤初始含水量 , mm ; t ——时间 , d ; R_{day} ——第 i 天降水量 , mm ; Q_{surf} ——第 i 天地表径流 , mm ; E_a ——第 i 天蒸发量 , mm ; W_{seep} ——第 i 天存在于土壤剖面底层的渗透量和侧流量 , mm ; Q_{gw} ——第 i 天的地下水含量 , mm。

SWAT 模型默认初始土壤含水量为零。笔者设定 2 a 的模拟前期 , 用于演算初始土壤含水量。降水数据采用克里金法插值到每个子流域。地表径流采用 SCS 方法计算。潜在蒸散发采用 Penman-Monteith 法计算。河道汇流部分采用马斯京根法计算。

2.2 模型参数率定

SWAT 模型中参数很多 , 准确确定每个参数值非常困难。因此 , 首先利用 SWAT 模型自带的敏感性分析模块确定对模型影响较大的几个参数 , 参数率定时主要考虑这些较敏感参数值的变化。

利用玛多、达日、玛曲、唐乃亥 4 个水文站 1977—1979 年日径流资料对黄河源区日径流进行模拟 , 采用 1985—1987 年和 1995—1997 年唐乃亥径流资料对模拟结果进行验证。选用线性回归系数 (R^2) 和效率系数 (E_{ns}) 评估模型在率定期和验证期的模拟结果。唐乃亥水文站自动率定和人工调试的径流模拟精度结果见表 2。

由表 2 可见 , 参数自动率定与人工调试的径流模拟结果在率定期精度相当 , 但在验证期(1985—1987 年) 参数自动率定结果很差 (E_{ns} 仅为 0.080) , 而人工调试的参数在验证期结果较好 , 表明自动率定的参数在黄河源区适用性较差 , 人工调试的参数具有较好的适用性。但参数人工调试结果中验证期 (1995—1997 年) 唐乃亥日径流模拟 (图 2) 效果并不好。起涨流量偏低 , 峰值偏大 , 模拟过程滞后于实际过程 , 这种状况在退水段尤为明显。究其原因是下垫面随时间发生了变化 , 离率定期时间越长 , 其变化越大 , 参数的有效性越差。由于下垫面变化对于模型的影响主要体现在参数上 , 因此必须考虑参数的时变性 , 建立模型参数与下垫面变化信息之间的关系。

表 2 唐乃亥水文站参数自动率定与人工调试的径流模拟结果

Table 2 Runoff simulation results of automatic calibration and manual adjustment at Tangnaihai Hydrological Station

率定及验证期 资料时段	参数自动率定结果		参数人工调试结果	
	E_{ns}	R^2	E_{ns}	R^2
率定期 (1977—1979 年)	0.698	0.818	0.748	0.757
验证期 (1985—1987 年)	0.080	0.674	0.793	0.843
验证期 (1995—1997 年)			0.639	0.641

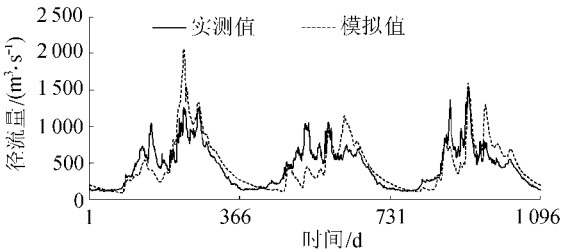


图 2 1995—1997 年唐乃亥日径流模拟结果

Fig. 2 Results of daily runoff simulation at Tangnaihai Hydrological Station from 1995 to 1997

3 参数区域化

Bastola 等^[11]将参数区域化归纳为 3 种方法 : 空间近似法、地学推理法和统计法。其中 , 将模型参数与流域特征相关的空间近似法是一种广泛应用的方法。该方法基于相似性原理 , 采用相似性准则建立模型参数值与流域下垫面信息的关系 , 将率定的模型参数移用到资料缺乏地区。研究 (包括回归方法和人工神经网络方法等) 已经证实该方法的可行性^[12-13]。张友静等^[14]根据 TOPMODEL 的地形指数 (TI) 和 SCS 模型的径流曲线数 (CN) 构建了水文响应指数 (HRI) , 建立了 HRI 和单元特征与主要模型参数的统计关系 , 利用该关系反演的参数验证流域的径流模拟 , 取得了较好的效果。Hundecha^[15]等将模型参数与流域特征相关构建参数区域

化方程,模拟了内卡河流域3种土地利用情景下的洪峰流量。笔者利用1977年、1985年及1995年黄河源区的土地覆盖图提取各时期的下垫面信息,并用1977年的下垫面信息与模型参数建立参数区域化方程,利用该关系和1985年、1995年的下垫面信息得到下垫面变化后的新模型参数,用于径流模拟,反映了模型参数的时变性。

3.1 下垫面信息提取

下垫面是指流域地表各类覆盖物所组成的、能影响水量平衡和水文过程的综合体。地表岩石、土壤植被和水域等各类要素及其组合特征对流域产汇流具有深刻影响。下垫面信息一般包括子流域的形态特征信息和物质组成信息(如土壤类型和土地利用信息)。

a. 子流域形态特征信息。子流域形态特征信息主要考虑子流域面积形状、海拔和坡度,其中坡度 I 分为3类: $I \leq 5\%$ 、 $5\% < I \leq 10\%$ 和 $I > 10\%$ 。

b. 土壤类型信息。土壤类型信息根据表层土壤的饱和下渗率由大到小可以分为A、B、C、D共4类水文学组。

c. 土地利用信息。黄河源区土地利用类型以草地为主,笔者将土地利用信息分为15类,包括高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地、有林地、灌木林等,其中各类草地年际变化显著,因此参数区域化重点考虑各类草地变化对参数的影响。

3.2 参数区域化方程构建

根据参数敏感性分析结果,考虑 $C_{\text{ALPHA_BF}}$ (基流 α 因子)、 $C_{\text{GW_DELAY}}$ (地下水滞后系数 d)、 $C_{\text{SOL_K}}$ (土壤饱和下渗率 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)、 $C_{\text{SOL_AWC}}$ (土壤有效导水率 $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}$)和 C_{CN2} (径流曲线数,条)5个敏感性较高的参数。其中 C_{CN2} 、 $C_{\text{SOL_K}}$ 和 $C_{\text{SOL_AWC}}$ 影响快速径流, $C_{\text{ALPHA_BF}}$ 和 $C_{\text{GW_DELAY}}$ 影响慢速径流。 C_{CN2} 的大小与土壤渗透性、土地覆盖/利用和前期土壤湿润程度有关,在降水不变时产流能力较大的单元 C_{CN2} 值一般也较大; $C_{\text{SOL_K}}$ 反映土壤的饱和渗透性能,该值越大土壤渗透性越好,地表径流随该值增大而降低; $C_{\text{SOL_AWC}}$ 能够反映土壤达到田间持水量时植物根系可吸收的水量,随着该系数的降低,土壤蓄水能力降低,地表径流随之增加; $C_{\text{ALPHA_BF}}$ 反映地下水对径流补给变化的响应,该值增大能增加地下水径流量; $C_{\text{GW_DELAY}}$ 影响退水时间,该值越大退水时间越长。利用SPSS软件进行1977—1979年径流模拟参数与下垫面信息的相关性分析,选取与参数相关性高的下垫面特征信息,并设定高程因子(高程因子=(最高海拔-最低海拔)/平均海拔)表达子流域形态特征对模型参数的影响。考虑各年代土地利用类型变化幅度较大的主要为高覆盖草地和低覆盖草地,因此参数区域化在土地利用类型方面主要考虑高覆盖草地和低覆盖草地的变化情况。

分析得到的参数与下垫面信息的相关关系结果见表3,下垫面因子间的相关性见表4。

表3 人工调试参数与下垫面信息的相关关系

Table 3 Relationship between manually adjusted parameters and underlying surface characteristics

相关参数	$C_{\text{ALPHA_BF}}$	$C_{\text{GW_DELAY}}$	$C_{\text{SOL_K}}$	$C_{\text{SOL_AWC}}$	C_{CN2}
高程因子	0.933**	-0.747**	0.019	0.093	-0.737**
坡度(>10%)	0.781**	-0.730**	0.002	0.12	0.915**
水文学组C	-0.604**	0.610**	-0.12	-0.219	0.746**
高覆盖草地	0.233	-0.398*	0.599**	0.680**	-0.180
低覆盖草地	-0.552**	0.678**	-0.572**	-0.672**	-0.534**
河滩地	0.010	0.044	-0.499**	-0.400*	-0.033

*表示通过0.05显著性检验,**表示通过0.01显著性检验。

由表3可见,主要下垫面特征对模型参数的作用方式、影响大小各不相同。下垫面因子间具有很好的相关性(见表4),如高程因子和坡度间具有显著相关性,因此建立模型参数与下垫面因子间的关系时可以只考虑1种因子对参数的影响。经分析,最终得到各参数与下垫面因子的回归方程:

$$C_{\text{ALPHA_BF}} = 0.183x_1 - 2.240x_5 \times 10^{-3} + 0.117$$

(2)

$$C_{\text{GW_DELAY}} = -26.275x_1 + 0.992x_5 + 90.234$$

(3)

$$C_{\text{SOL_K}} = 1.581x_4 - 3.191x_6 + 69.288$$

(4)

$$C_{\text{SOL_AWC}} = 2.999x_4 \times 10^{-3} - 4.366x_6 \times 10^{-3} + 0.097$$

(5)

表 4 下垫面因子间的相关性

Table 4 Correlation between underlying surface characteristics

相关因子	高程因子	坡度(> 10%)	水文学组 C	高覆盖草地	低覆盖草地	河滩地
高程因子	1	0.773 **	-0.442 *	0.084	-0.392 *	0.063
坡度(> 10%)	0.773 **	1	-0.711 **	0.052	-0.427 *	0.038
水文学组 C	-0.442 *	-0.711 **	1	-0.291	0.545 **	0.114
高覆盖草地	0.084	0.052	-0.291	1	-0.777 **	0.028
低覆盖草地	-0.392 *	-0.427 *	0.545 **	-0.777 **	1	0.132
河 滩 地	0.063	0.038	0.114	0.028	0.132	1

* 表示通过 0.05 显著性检验 , ** 表示通过 0.01 显著性检验。

$$C_{CN2} = 0.665x_2 - 0.116x_5 + 61.873$$

(6)

式中 : x_1 ——高程因子的大小 ; x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 ——第 3 类坡度、水文学组 C、高覆盖草地、低覆盖草地和河滩地在子流域中的面积比例。

由式(2)~(6)可以看出 ,相对高程越大则地下水出流越快、地下径流出流系数增大、 C_{ALPHA_BF} 增大 ,而地下水滞留时间缩短 ,因此 C_{GW_DELAY} 随相对高程的增大而减小 ,草地覆盖度小 ,土壤水分条件差 ,地下径流量少 ,地下水滞后时间长 ,因此低覆盖草地的面积比例越大则 C_{ALPHA_BF} 越小、 C_{GW_DELAY} 越大 ,草地覆盖度高 ,土壤水分条件好 , C_{SOL_K} 和 C_{SOL_AWC} 也较大 ,因此高覆盖草地的面积比例增大时 , C_{SOL_K} 和 C_{SOL_AWC} 也变大。坡度大 ,汇流速度快 ,入渗量少 ,产流量大 ,因此第 3 类坡度的面积比例越大则 C_{CN2} 值也越大 ;草地越多 ,截留量越大 ,地表产流量越小 ,故低覆盖草地的面积比例越大则 C_{CN2} 值越小。

3.3 参数区域化结果

由各参数与下垫面因子的回归方程 ,结合 1977 年的下垫面信息 ,得到 1977 年各参数的区域化结果 ,与人工调试的参数结果建立相关关系 ,如图 3 所示。由图 3 可见 ,各参数的区域化结果与人工调试的结果具有

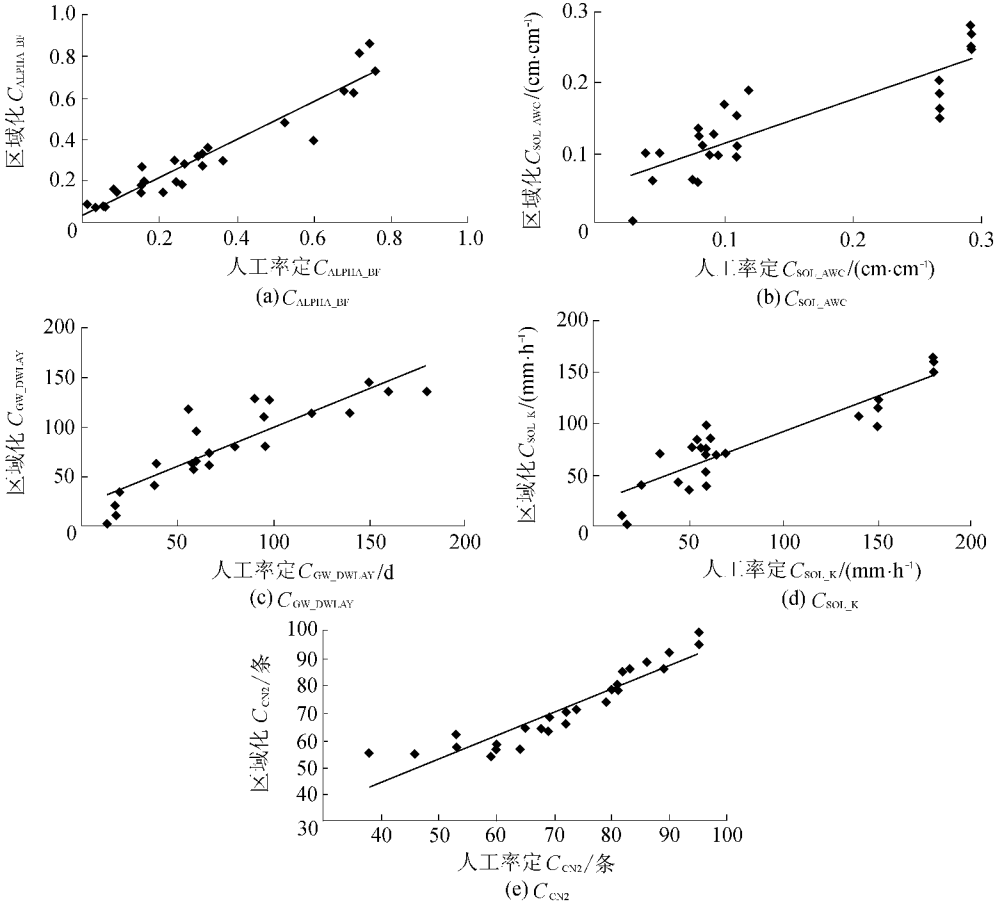


图 3 1977 年各参数区域化结果与人工调试结果相关关系

Fig. 3 Correlation between parameter regionalization and manual adjustment in 1977

良好的相关性,其中, $C_{\text{ALPHA_BF}}$ 的参数区域化结果与人工调试的结果相关系数达到0.911, $C_{\text{SOL_K}}$ 和 C_{CN2} 的也接近0.9。分析表明,参数区域化结果能较好地代表人工调试的参数结果,可以用于模型参数的率定。

4 结果与分析

提取各时期的下垫面信息并将其代入已建立的参数区域化方程,得到各时期新的模型参数,分别模拟1977—1979年、1985—1987年和1995—1997年(见图4)唐乃亥水文站的日径流,与参数人工调试的径流模拟精度结果见表5。

由表5可见,采用参数区域化方法模拟结果精度比人工率定参数有所提高,特别是下垫面变化大的年份(1995—1997年), E_{ns} 提高了0.154, R^2 提高了0.169,精度提高较大。从水文过程线来看,参数区域化方法的模拟径流过程线与实测径流过程线吻合得更好(图2、图4),峰值和退水段得到明显改善。但依然存在起涨流量偏低的情况,究其原因,模型中没有考虑冻土和融雪也许是其主要因素。

5 结 语

以黄河源区为研究区域,比较了参数区域化方法与人工调试法在同一时期的径流模拟效果。结果表明,利用参数区域化方法得到的模型参数进行径流模拟,其模拟精度普遍高于人工试错法,且下垫面变化越大精度越高。通过土地覆盖的变化反映模型参数的时变性,构建了模型参数与下垫面特征的桥梁,得到的径流模拟过程更接近实测径流过程。研究结果对气候变化下径流过程的模拟与预测具有实际的应用意义。

参考文献:

[1] 张圣微,雷玉平,姚琴,等.土地覆被和气候变化对拉萨河流域径流量的影响[J].水资源保护,2010,26(2):39-44.(ZHANG Shengwei, LEI Yuping, YAO Qin, et al. Runoff response to land cover and climate change in Lhasa River Basin[J]. Water Resources Protection, 2010, 26(2): 39-44. (in chinese))

[2] 刘吉峰,霍士青,李世杰,等.SWAT模型在青海湖布哈流域径流变化成因分析中的应用[J].河海大学学报:自然科学版,2007,35(2):159-163.(LIU Jifeng, HUO Shiqing, LI Shijie, et al. Application of SWAT model to analysis of runoff variation of Buha River Basin of Qinghai Lake[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2007, 35(2): 159-163. (in chinese))

[3] 李昱,张弛,周惠成,等.SWAT模型在土地利用变化对径流影响研究中的应用[J].河海大学学报:自然科学版,2010,38(增刊2):308-311.(LI Yu, ZHANG Chi, ZHOU Huicheng, et al. Application of SWAT model in the effects of land use change to runoff[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2010, 38(Sup2): 308-311. (in chinese))

[4] 梁小军,江洪,王可,等.基于SWAT模型的岷江上游干旱河谷区水文特征情景模拟研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(8):79-84.(LIANG Xiaojun, JIANG Hong, WANG Ke, et al. Scenarios simulation studies of hydrological characters of arid valley in the upper reaches of Minjiang River based on SWAT mode[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(8): 79-84. (in chinese))

[5] 王云琦,齐实,孙阁,等.气候与土地利用变化对流域水资源的影响:以美国北卡罗来纳州Trent流域为例[J].水科学进展,2011,22(1):51-58.(WANG Yunqi, QI Shi, SUN Ge, et al. Impacts of climate and land-use change on water resources in a watershed: a case study on the Trent River basin in North Carolina, USA[J]. Advances in Water Science, 2011, 22(1): 51-58. (in chinese))

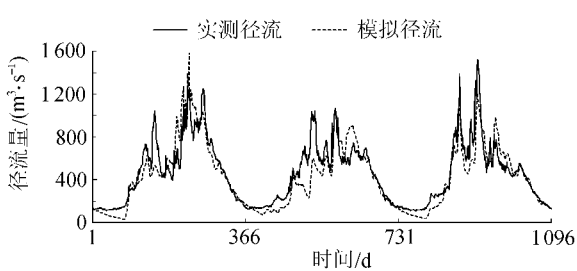


图4 1995—1997年唐乃亥日径流模拟结果
Fig. 4 Results of daily runoff simulation at Tangnaihai Hydrological Station from 1995 to 1997

表5 唐乃亥日径流人工率定结果与参数区域化结果比较

Table 5 Comparison of manual adjustment and parameter regionalization of daily runoff at Tangnaihai Hydrological Station

时 间	参数人工率定结果		参数区域化方法结果	
	E_{ns}	R^2	E_{ns}	R^2
1977—1979 年	0.748	0.757	0.780	0.786
1985—1987 年	0.793	0.843	0.832	0.854
1995—1997 年	0.639	0.641	0.793	0.810

[6] 高超 ,翟建青 ,陶辉 ,等 .巢湖流域土地利用/覆被变化的水文效应研究[J]. 自然资源学报 ,2009 ,24(10) :1794-1802.(GAO Chao ,ZHAI Jianqing ,TAO Hui ,et al. Hydrological Response to Land Use/Land Cover Change in Chaohu Basin[J]. Journal Of Nature Resources ,2009 ,24(10) :1794-1802. (in chinese))

[7] 陈引珍 ,程金花 ,张洪江 ,等 .清港河流域土地利用变化对径流的影响[J]中国水土保持科学 ,2009 ,7(4) :38-43.(CHEN Yinzhen ,CHENG Jinhua ,ZHANG Hongjiang ,et al. Effects of land-use change on the runoff in Qingganghe River Basin[J]. Science of Soil and Water Conservation ,2009 ,7(4) :38-43. (in chinese))

[8] 陈莹 ,许有鹏 ,尹义星 .土地利用/覆被变化下的暴雨径流过程模拟分析 :以太湖上游西苕溪流域为例[J].地理科学 ,2009 ,29(1) :117-123.(CHEN Ying ,XU Youpeng ,YIN Yixing. Assessment of effects of land use changes on storm runoff generation :a case study of Xitiao River Basin[J]. Scientia Geographica Sinica ,2009 ,29(1) :117-123. (in chinese))

[9] 张滔 .黄河源区土地覆盖变化遥感监测及时空预测[D].南京 :河海大学 ,2011.

[10] 王中根 ,刘昌明 ,左其亭 ,等 .基于 DEM 的分布式水文模型构建方法[J].地理科学进展 ,2002 ,21(5) :430-439.(WANG Zhonggen ,LIU Changming ,ZUO Qiting ,et al. Methods of constructing distributed hydrological model based on DEM[J]. Progress In Geography ,2002 ,21(5) :430-439. (in chinese))

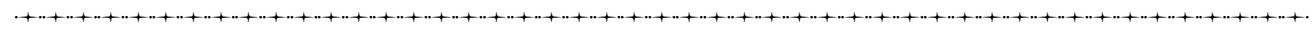
[11] BASTOLA S ,ISHIDAIRA I ,TAKEUCHI K. Regionalization of hydrological model parameters under parameter uncertainty :a case study involving TOPMODEL and basins across the globe[J]. Journal of Hydrology ,2008 ,357 :188-206.

[12] KLING H ,NACHTNEBEL H P. A method for the regional estimation of runoff separation parameters for hydrological modeling[J]. Journal of Hydrology ,2009 ,364 :163-174.

[13] LEE H ,MCINTYRE N ,WHEATER H ,et al. Selection of conceptual models for regionalization of the rainfall-runoff relationship[J]. Journal of Hydrology ,2005 ,312 :125-147.

[14] 张友静 ,陈波 ,何川 ,等 .水文响应指数及其在 TOPMODEL 参数区域化中的应用[J].河海大学学报 :自然科学版 ,2009 ,37(5) :539-544.(ZHANG Youjing ,CHEN Bo ,HE Chuan ,et al. Application of hydrological response index in regionalization of TOPMODEL parameters[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences ,2009 ,37(5) :539-544.(in chinese))

[15] HUNDECHA Y ,BARDOSSY A. Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model[J]. Journal of Hydrology ,2004 ,292 :281-295.



《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

(邮发代号 28-63 ,CN32-1117/TV ,ISSN1000-1980 ,双月刊)

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊 ,主要刊登河海大学在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章 ,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

《河海大学学报(自然科学版)》创办于 1957 年 ,是全国中文核心期刊、中国科技核心期刊 ,在国内工程技术界和学术界有较大影响。刊载的文章中 ,绝大部分为国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果 ,部分达到了国内领先和国际先进水平 ,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议 ,发挥了较大的社会效益和经济效益 ,深受工程界和科技界赞许 ,并获得中国高校精品科技期刊奖以及中国期刊方阵“ 双效期刊 ”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

《河海大学学报(自然科学版)》每逢单月出版 ,国内外公开发行 ,2013 年每期定价 15 元 ,全年 6 期共计 90 元。欢迎广大读者通过全国各地邮政局订阅或直接与编辑部联系。

编辑部地址 210098 南京市西康路 1 号 《河海大学学报(自然科学版)》编辑部
电话/传真 025-83786343 E-mail :xb@hhu.edu.cn
http://kkb.hhu.edu.cn/web/indexxb.asp?id_id=53