

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20180372

RCCC-WBM 模型区域适用性及参数敏感性分析

管晓祥^{1,2}, 刘悦^{1,2}, 张成凤^{1,2}, 杨晓甜^{1,2}, 金君良^{2,3}, 王国庆^{2,3}

(1.河海大学 水文水资源学院,江苏 南京 210098;2.水利部应对气候变化研究中心,江苏 南京 210029;
3.南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210029)

摘 要:天然径流量的模拟计算是区域水资源评价的关键,以中国不同气候区的6个典型流域为例,评估 RCCC-WBM 月尺度水文模型对天然径流过程的模拟能力,并分析其参数的敏感性。结果表明:RCCC-WBM 模型对不同气候区典型流域的天然径流过程都具有较好的模拟效果,Nash-Sutcliffe 效率系数均在 0.80 以上,径流量相对误差较小,满足径流模拟的精度要求,区域适用性较好。南方流域冬季气温较高,降雪积雪较少,导致融雪径流汇流系数对模拟结果的影响微乎其微;在6个典型流域中地表径流汇流系数对模型精度具有显著的影响;土壤蓄水容量通过决定土壤含水量的上限值间接地影响着水源的划分与计算,对模型径流模拟至关重要。

关键词:典型流域;水量平衡模型;参数敏感性

中图分类号:TV11

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2020)02-0055-07

气候变化是目前最重要的环境问题之一,水资源是受气候变化影响最直接和最重要的领域^[1]。全球气候变化必然引起全球水分循环的变化,导致水资源在时间和空间上重新分配,从而进一步影响地球的生态环境和人类社会的经济发展^[2]。

RCCC-WBM 模型是水利部应对气候变化研究中心团队研发的大尺度水文模型,考虑了地面径流、地下径流和融雪径流三种水源,该模型主要用于变化环境下区域水资源评价及径流变化归因识别等研究领域。由于时空尺度与气候模型相匹配,该模型也可用于气候环境影响评价,是将气候与水文过程联系起来的一条纽带。模型在黄河流域历史时期河川径流模拟中取得了很好的模拟与应用效果^[3-4]。赵建华等^[5]将模型应用于山西省典型流域内,径流模拟结果良好;Wang 等^[6]在潮白河流域建立 WBM 模型,并通过设置人类活动影响背景参数集,来表征人类活动对水文过程的影响,结果表明人类活动是导致径流减少的主要原因;之后 Wang 等^[6]选取中国不同气候的典型流域,研究分析了径流对气候变化的敏感性。评估该水文模型在中国不

同气候区的适用性和参数特性对模型的改进和推广应用具有重要意义。

参数敏感性分析是指定性或定量地分析模型参数和模型输入对模型输出的影响^[7],是理解模型特性的有效方法。分析模型参数的敏感性可以诊断模型结构、识别模型关键参数,是模型建立和应用的关键步骤^[8]。敏感性分析可分为局部敏感性分析和全局敏感性分析两类,全局敏感性分析在整个参数空间中分析多个参数对模型输出的共同影响并分析参数间的相互作用,较适用于复杂系统的研究与分析^[9-10];局部敏感性分析能评价单个参数对模型输出的影响^[11],操作简单。由于 RCCC-WBM 模型结构较为简单,采用月尺度水文资料进行径流模拟,且只有四个参数,所以本次研究采用局部敏感性分析方法,分析对比不同典型流域参数的特点以及敏感性。

1 资料与方法

1.1 典型流域选取

分别在南方湿润气候区、西部高原区、南北气候

收稿日期:2018-10-25

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0404403,2016YFA0601501);国家自然科学基金项目(51779144,51679144,51879164,41401024,41371063);中国工程院重大咨询项目(2015-ZD-07)

作者简介:管晓祥(1995-),男,江苏淮安人,硕士研究生,从事水文水资源模拟研究。E-mail:xxguan@hhu.edu.cn

通讯作者:王国庆(1971-),男,山东成武人,博士,教授,从事气候变化和水资源评价等研究。E-mail:gqwang@nhri.cn

过渡区和北方半湿润半干旱区选择 6 个典型流域 (见表 1)用于分析 RCCC-WBM 模型的适用性。其中,辽河流域地处寒温带大陆性季风气候区,冬季寒冷漫长,夏季炎热多雨^[12];唐乃亥水文站位于黄河上游青海省兴海县唐乃亥乡,该站点以上的黄河源区具有明显的大陆高原气候特点^[13];听水河流域位于黄河中游左岸,受季风气候的影响,降水具有年际变化较大且年内分配不均的特点^[14];湘江流域属亚热带季风湿润气候,雨量丰沛、水系发育、支流众多;清流派是长江流域滁河左岸的一级支流,流域水系呈树枝状,流域地处亚热带湿润季风气候区,气候温暖湿润;石角站是珠江流域北江中下游总控制站,水汽充足,年雨量充沛。综上所述,典型流域的选取考虑了中国不同地区的气候条件,选取具有代表性。降水、蒸发和气温资料由中国气象数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)提供,各站流量资料由水文年鉴摘录获取,将资料进行时空尺度转换,作为水文模型的输入。收集的 6 个典型流域水文序列资料统计信息如表 1 所示。

依据表 1 比较各典型流域的年均降水量和年均径流量。总体而言,靠近北方的流域的年均降水量和径流量相对较小。其中,以辽河流域和听水河流域的径流量与降水量不匹配最为严重,径流量的多年平均值不足 50mm,且年平均蒸发量是各流域对应年均降水量的两倍左右,这与该区域内由于气候干旱以及社会经济发展与各类需水加剧导致的水资源紧缺紧密相关。相比之下,珠江水系的北江流域的水资源最为丰富(其多年平均降水量和径流量分别为 1 673.1mm 和 1 062.7mm),黄河源区,清流河流域以及湘江流域的年均降水量和径流量居中。综合反映出我国水资源南方丰富、北方紧缺的整体状况。

1.2 研究方法——模型简介

流域水文模型广泛应用于评价气候变化对区域水资源的影响。考虑融雪径流的 RCCC-WBM (Water

Balance Model developed by Research Center for Climate Change, RCCC-WBM, 简记为 WBM 模型)是水利部应对气候变化研究中心团队研发的一个大尺度水文模型,主要用于变化环境下区域水资源评价及径流变化归因识别研究^[4,15]。模型的结构如图 1 所示,考虑了地面径流、地下径流(基流)和融雪径流三种水源,与众多水文模型相比,该模型具有结构简单、参数少、易于率定、适用气候条件范围较广等优点。

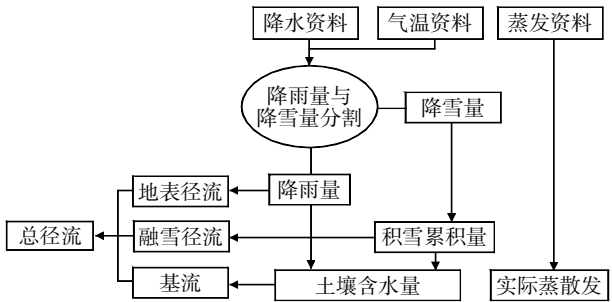


图 1 RCCC-WBM 模型结构图
Fig.1 The structure of RCCC-WBM

首先将月降水量划分为降雨和降雪两个部分,用以计算地表径流和融雪径流。上(T_H)、下(T_L)两个临界气温值分别是 4℃和-4℃。当月气温在 4℃和-4℃两者之间时,月降雪量可以用线性内插的方法计算得到:

$$P_{Sni} = \frac{T_H - T_i}{T_H - T_L} P_i \tag{1}$$

$$P_{Ri} = P_i - P_{Sni} \tag{2}$$

式中: P_{Ri} , P_{Sni} , T_i 分别为 i 月的降雨量、降雪量和平均气温。

地表径流和土壤水分与降雨量成正比;假设地下水径流有一个时间单位的滞时,用线性水库模拟计算;融雪径流计算中,积雪融化率不仅是温度的指数函数,也和积雪量成正比。各水源用式(3)~(6)计算:

$$Q_{Si} = k_s \cdot \frac{S_{i-1}}{S_{max}} P_{Ri} \tag{3}$$

表1 选取典型流域水文站点主要信息表

Table1 The main information of the hydrometry stations in the typical basins

流域	水文站	控制面积/km ²	资料年限	年平均降水量/mm	年平均径流深/mm	年平均水面蒸发量/mm	年平均温度/℃
辽河	铁岭	120 764	1951~2008	428.2	24.8	966.7	5.6
听水河	大宁	3 992	1955~2008	515.8	31.7	1 073.7	9.0
黄河源区	唐乃亥	121 972	1955~2007	501.9	160.4	676.7	-1.1
湘江	湘潭	81 638	1959~2011	1 514.6	788.5	971.6	17.3
清流河	滁县	1 300	1960~2010	962.5	204.6	912.1	15.6
北江	石角	38 363	1954~2006	1 673.1	1 062.7	870.6	18.9

$$Q_{gi}=k_g \cdot S_{i-1} \tag{4}$$

$$Q_{SNI} = \begin{cases} 0 & (T_i < T_L) \\ k_{sn} \cdot e^{\frac{T_i - T_L}{T_H - T_L}} \cdot SN_i & (T_L < T_i < T_H) \\ SN_i & (T_i > T_H) \end{cases} \tag{5}$$

$$SN_i = SN_{i-1} + P_{SNI} \tag{6}$$

式中： Q_{Si} 、 Q_{gi} 、 Q_{SNI} 分别为*i* 月的地表径流、地下径流和融雪径流(mm)； SN_i 、 SN_{i-1} 分别为*i* 和*i-1* 月的累积积雪量(mm)； S_{i-1} 为*i-1* 月份的土壤含水量(mm)； S_{max} 为流域土壤含水能力(mm)，是 S_{i-1} 的上限值； k_s 、 k_g 、 k_{sn} 分别表示地表径流、地下径流以及融雪径流的汇流系数^[14]。

一层蒸散发模型就可以满足实际蒸散发的模拟精度，计算公式如下：

$$E_i = \frac{S_{i-1}}{S_{max}} \cdot E_{601i} \tag{7}$$

式中： E_i 为*i* 月实际蒸散发量； E_{601i} 为 E601 蒸发皿观测的蒸发量。

第*i* 月份的总径流量为地表、地下、融雪径流的总和，*i* 月末的土壤含水量 S_i 可以根据水量平衡计算得到：

$$Q_{ai} = Q_{Si} + Q_{gi} + Q_{SNI} \tag{8}$$

$$S_i = S_{i-1} + P_i - Q_{ai} - E_i \tag{9}$$

式中： Q_{ai} 为*i* 月的总径流量。

用 Nash-Sutcliffe 效率系数(NSE) 和相对误差(R_e) 来反映 RCCC-WBM 模拟结果的好坏，NSE 越接近 1，同时 R_e 越接近于 0，模拟效果越好，其计算公式为：

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_{ri} - q_{si})^2}{\sum_{i=1}^n (q_{ri} - \bar{q}_{ri})^2} \tag{10}$$

$$R_e = \frac{\sum_{i=1}^n (q_{ri} - q_{si})}{\sum_{i=1}^n q_{ri}} \tag{11}$$

式中： q_{ri} 、 q_{si} 、 \bar{q}_{ri} 分别为*i* 月的实测径流、*i* 月的模拟径流和模拟期月实测径流量的平均值；*n* 为系列长度。

1.3 模型参数敏感性分析方法

采用局部敏感性分析的方法比较 RCCC-WBM 模

型 4 个参数的敏感性。根据实测水文气象资料确定模型最优参数值后，在参数取值范围内改变单个参数值，即将待考察参数增加或减少适当的数量，再进行水文模拟计算，评价参数变化对模拟结果和目标函数变化的影响程度，最终确定其的敏感度。具体计算表述为：

$$\delta_i = F(x_i + \Delta x_i) - F(x_i) \quad (i=1, 2, 3, 4) \tag{12}$$

式中： x_i 为第*i* 个参数的率定值； Δx_i 为第*i* 个参数的变化量； F 函数表示不同参数情况下经水文模型模拟计算后目标函数(可以是 Nash-Sutcliffe 效率系数或相对误差)的计算值； δ_i 即为目标函数的变化值，反映参数的敏感度。

2 结果与分析

2.1 模型率定及天然径流量过程模拟

WBM 要求输入逐月面平均雨量、气温和潜在蒸发资料（一般依据 E601 观测的水面蒸发量结合 Penman-Monteith 公式估算），将河川径流划分为地面径流、地下径流和融雪径流三种成分。在不同的典型流域，分别选择合适的资料年限，以逐月平均降水、蒸发、气温和实测径流作为模型输入资料，以 NSE 为目标函数，进行模型参数率定，各个典型流域站点的参数率定以及模型的验证结果如表 2 所示。

从表 2 中可以看出除辽河流域以外，其余 5 个典型流域率定期 NSE 值都大于 0.8，湘江流域和北江流域径流模拟的 NSE 大于 0.9，且相对误差都接近 0。图 2 为各典型流域率定期和验证期内实测和模拟的逐月径流量对比散点图，从中可以看出在黄河源区、北江以及湘江流域 WBM 模型表现良好，径流量实测值和模型模拟值非常接近；验证期 RCCC-WBM 模型的表现总体较好，辽河流域、昕水河流域以及清流河流域径流模拟的 NSE 在 0.75 附近，径流量相对误差小于 10%，验证期模拟精度相比其他站点较差的原因可能

表2 典型流域WBM模型率定精度及参数表
Table2 The accuracy and parameters of WBM in calibration

典型流域	站点	S_{max}	K_s	K_g	K_{sn}	率定期			验证期		
						年限/年	NSE	R_e	年限/年	NSE	R_e
辽河	铁岭	295.0	0.173	0.003	0.001	1952~1960	0.78	3.27	1961~1966	0.75	8.24
昕水河	大宁	308.3	0.134	0.002	0.001	1957~1970	0.81	2.99	1971~1979	0.79	9.78
黄河源	唐乃亥	220.0	0.285	0.044	0.028	1956~1975	0.82	2.00	1976~1990	0.85	-5.00
湘江	湘潭	258.0	0.432	0.114	0.004	1959~1979	0.95	1.02	1980~1999	0.95	0.21
清流河	滁县	307.0	0.282	0.003	0.001	1960~1966	0.80	0.42	1967~1975	0.76	-7.16
北江	石角	248.0	0.548	0.215	0.001	1954~1970	0.92	0.64	1971~1999	0.90	-0.41

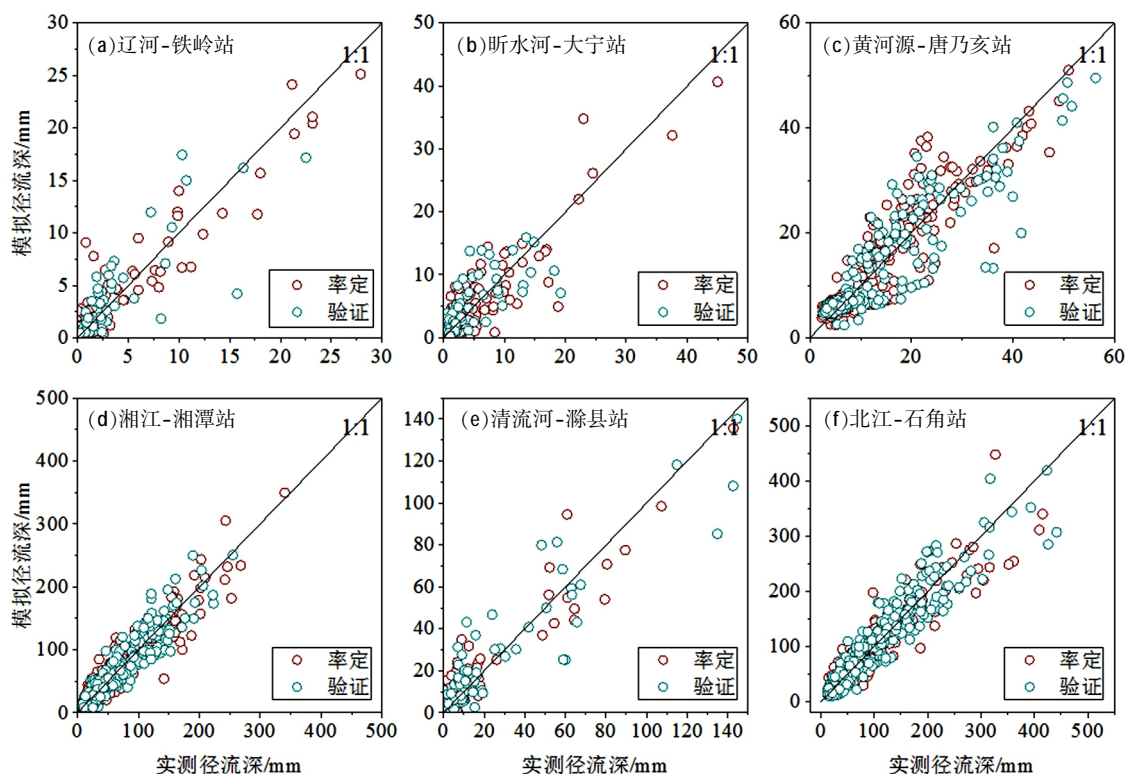


图2 WBM模型在6个典型流域月径流模拟值与实测值对比

Fig.2 The comparison between the monthly observed and simulated runoff at the 6 stations by using WBM

是降水径流关系的变化,水文序列出现了不一致性,导致模拟结果不够理想。综上所述,所建立的基于融雪径流的水量平衡(WBM)模型在所选的6个典型流域内有相当好的径流模拟效果。

2.2 WBM模型参数敏感性分析结果

模型共有4个参数,且物理意义相对明确,参数的取值范围如表3所示。其中 S_{\max} 表征土壤层的最大蓄水能力; K_s 取值与下垫面状况和植被覆盖度有关;地下水汇流系数 K_g 与土壤类型密切相关;融雪汇流系数 K_{sn} 反映了流域内融雪产流的特性^[16]。

依据局部敏感性分析方法,分别计算四个参数对目标函数的影响,结果如图3和图4所示,每幅图中都有一组曲线簇反映四个模型参数对模型模拟精度的影

响程度。

就 Nash-Sutcliffe 效率系数而言,湘江流域湘潭站的 NSE 值最大,其次是北江流域的石角站,再其次是黄河源的唐乃亥站和昕水河流域的大宁站,说明 WBM 模型在湘江和北江流域模拟效果最好。从 Nash-Sutcliffe 效率系数的变动范围来看,在6个流域典型站点模拟结果中,都可以发现地下水汇流系数 K_g 和融雪汇流系数 K_{sn} 对模型精度的影响微乎其微(见图3);地表径流系数 K_s 对模型精度具有显著的影响;典型流域不同,模型对土壤蓄水容量 S_{\max} 的敏感性也不一。地表径流系数(K_s)变化范围为-50%~+50%时,6个站点(辽河-铁岭站、昕水河-大宁站、黄河源-唐乃亥站、湘江-湘潭站、清流河-滁县站和北江-石角站)模拟的 Nash-Sutcliffe 效率系数的变动跨度分别为 48%、130%、78%、25%、129%和 123%;土壤蓄水容量 S_{\max} 变化范围为-50%~+50%时,6个站点模拟的 NSE 值的变动跨度分别为 48%、16%、15%、6.5%、16%和 15%;6个站点模拟的 NSE 响应地下径流汇流系数 K_g 变化的变动跨度分别为 0.91%、0.67%、9.57%、1.82%、0.67%和 0.67%;而融雪汇流系数 K_{sn} 的改变对模拟结果的影响不大(表现为 NSE 几无改变)。

表3 RCCC-WBM模型参数说明

Table3 The parameter description of RCCC-WBM

参数	物理意义	取值范围	默认值
S_{\max}	土壤蓄水容量/mm	(10, 500)	200
K_s	地面径流系数	(0, 1)	0.2
K_g	地下水汇流系数	(0, 1)	0.02
K_{sn}	融雪汇流系数	(0, 0.5)	0.002

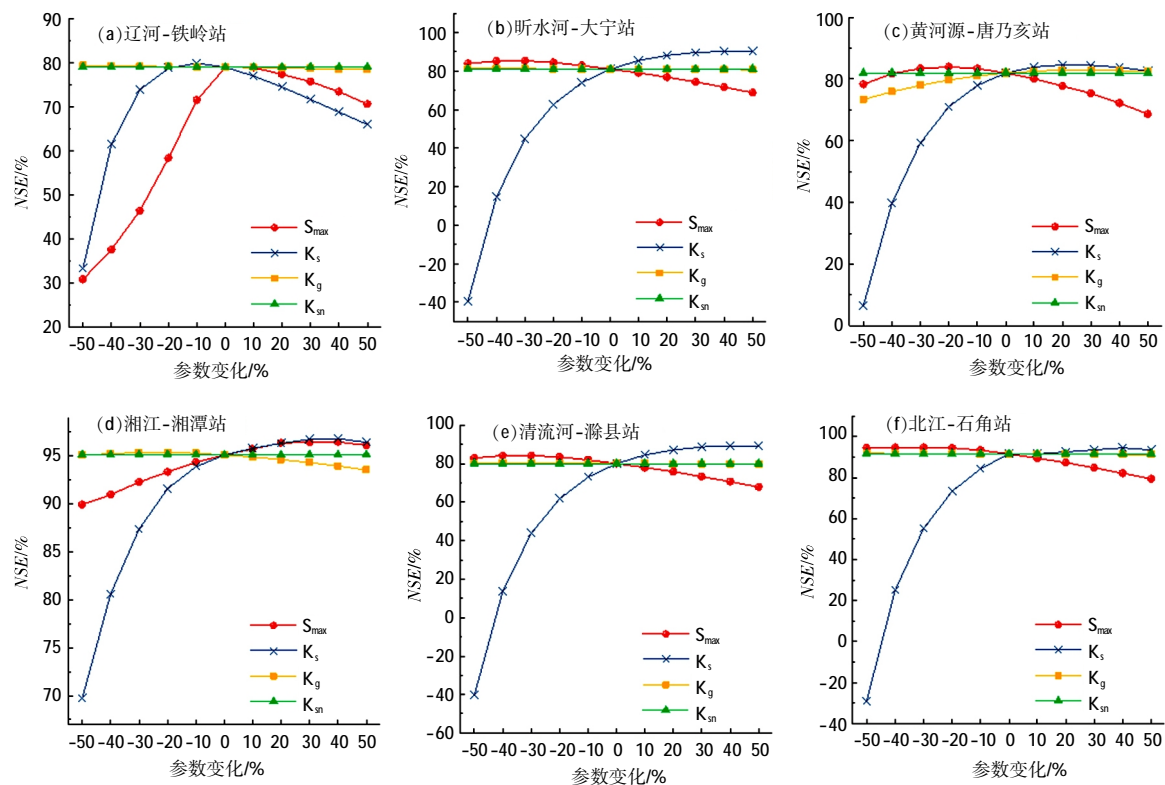


图3 以 Nash-Sutcliffe 效率系数为目标函数的参数敏感性
Fig.3 The parameter sensitivity based on Nash-Sutcliffe efficient

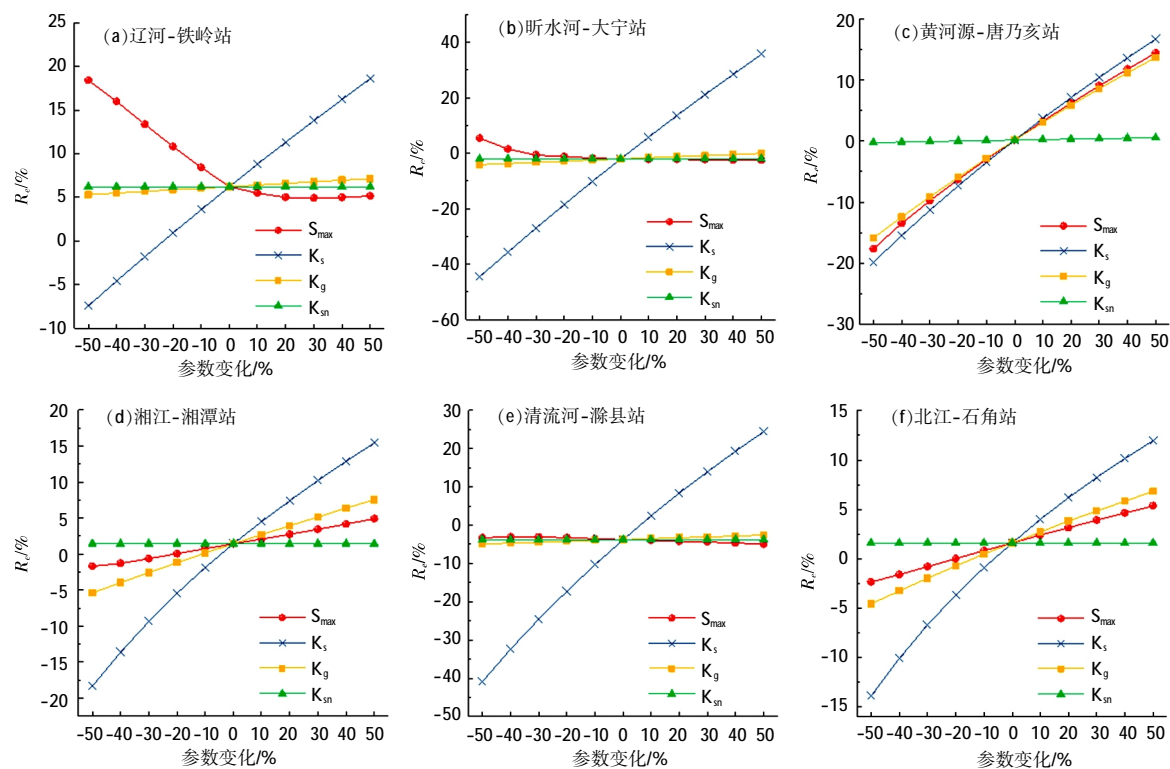


图4 以相对误差为目标函数的参数敏感性
Fig.4 The parameter sensitivity based on the relative error of runoff volume

在 WBM 模型的产流结构中,地表径流占据了非常大的比重,地表径流汇流系数 K_s 直接影响地表径流的产流量,土壤含水容量 S_{\max} 通过决定土壤含水的上限值间接地影响着水源的划分与计算,故而模型对 K_s 和 S_{\max} 较为敏感。

结合以径流量相对误差为目标函数的参数敏感性分析结果(见图 4),可以得出与以 Nash-Sutcliffe 效率系数为目标函数较为相似的结论。不同之处在于,在湘江流域和北江流域,地下径流汇流系数 K_g 对相对误差有明显的影响,这可能是因为湿润地区地下径流占有一定的比重,影响着模拟计算中的水量平衡。

3 结论与讨论

天然径流量的模拟计算是区域水资源评价的关键,以中国不同气候区的 6 个典型流域为例,建立了 RCCC-WBM 月尺度流域水文模型,评估了其对流域天然阶段径流量的模拟能力,并利用局部参数敏感性分析方法评价了 WBM 模型的参数特性。结果表明:

(1)RCCC-WBM 模型对六个典型流域天然径流量序列具有较好的模拟效果,Nash-Sutcliffe 效率系数均在 75% 以上,模拟相对误差较小,满足径流模拟的精度要求。模型能够用于变化环境下区域水资源的评价。

(2)在其他三个模型参数不改变的基础上,调整其中某个参数,再运行模拟,以 Nash-Sutcliffe 效率系数和径流量的相对误差作为目标函数,分析比较模型对四个参数的敏感性。结果发现,地下水汇流系数和融雪汇流系数对模型精度的影响微乎其微;而地表径流系数对模型精度具有显著的影响;典型流域不同,模型对土壤蓄水容量的敏感性也不一。地表径流占据了非常大的比重,地表径流汇流系数直接影响地表径流的产流量,土壤含水容量通过决定土壤含水的上限值间接地影响着水源的划分与计算,故而模型对地表径流系数和土壤含水容量较为敏感。

模型参数敏感性分析结果表明在南方温暖湿润流域可以依据实际情况省略融雪径流模块,以提高模型稳定性;整体而言,RCCC-WBM 水量平衡模型结构简单,适用性强,可以用于变化环境下径流资源的快速评价,且在河川径流变化归因定量识别以及未来不同 CO_2 排放情境下水资源预测方面具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Zhang J, Lu C, Wang G, et al. Impacts of and Adaptation to Climate Change [M]. Springer Vienna, 2015:51-58.
- [2] 宋晓猛,张建云,占车生,等. 气候变化和人类活动对水文循环影响研究进展[J]. 水利学报, 2013,44(7):779-790. (SONG Xiaomeng, ZHANG Jianyun, ZHAN Chesheng, et al. Review for impacts of climate change and human activities on water cycle [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013,44(7):779-790. (in Chinese))
- [3] Wang G, Zhang J, Yang Q. Attribution of runoff change for the Xishui River catchment on the Loess Plateau of China in a changing environment [J]. Water, 2016,8(6):267.
- [4] Wang G Q, Zhang J Y, Jin J L, et al. Regional calibration of a water balance model for estimating stream flow in ungauged areas of the Yellow River basin [J]. Quaternary International, 2014,336: 65-72.
- [5] 赵建华,王国庆,张建云,等. RCCC-WBM 水量平衡模型在北方典型流域的适用性研究[J]. 水文, 2018,38(2):25-29+14. (ZHAO Jianhua, WANG Guoqing, ZHANG Jianyun, et al. Suitability of RCCC - WBM model to typical river Catchments in north China [J]. Journal of China Hydrology, 2018,38(2):25-29+14. (in Chinese))
- [6] Wang G, Zhang J, He R, et al. Runoff sensitivity to climate change for hydro-climatically different catchments in China [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2017,31 (4):1011-1021.
- [7] Shin M J, Guillaume J H A, Croke B F W, et al. Addressing ten questions about conceptual rainfall-runoff models with global sensitivity analyses in R [J]. Journal of Hydrology, 2013,503(11):135-152.
- [8] 任启伟,陈洋波,舒晓娟. 基于 Extend FAST 方法的新安江模型参数全局敏感性分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2010,(3):127-134. (REN Qiwei, CHEN Yangbo, SHU Xiaojuan. Global sensitivity analysis of Xin'anjiang Model parameters based on Extend FAST method [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Suny Atseni, 2010,(3):127-134. (in Chinese))
- [9] 任启伟,陈洋波,周浩澜,等. 基于 Sobol 法的 TOPMODEL 模型全局敏感性分析[J]. 人民长江, 2010,(19):91-94+107. (REN Qiwei, CHEN Yangbo, ZHOU Haolan, et al. Global sensitivity analysis of TOP-MODEL parameters based on Sobol method [J]. Yangtze River, 2010,(19):91-94+107. (in Chinese))
- [10] 张小丽,彭勇,徐伟,等. 基于 Sobol 方法的新安江模型参数敏感性分析[J]. 南水北调与水利科技, 2014,(2):20-24+33. (ZHANG Xiaoli, PENG Yong, XU Wei, et al. Sensivity analysis of Xin'anjiang model parameters using Sobol method [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014,(2):20-24+33. (in Chinese))
- [11] 张利茹,管仪庆,叶彬,等. 新安江模型参数敏感性分析的实证研究[J]. 水电能源科学, 2008,(5):16-17+30. (ZHANG Liru, GUAN Yiqing, YE Bin, et al. Empirical study on parameter sensitivity analysis of Xin'anjiang model [J]. Water Resources and Power, 2008,(5):16-17+30. (in Chinese))

- [12] 孙凤华,李丽光,梁红,等. 1961—2009 年辽河流域气候变化特征及其对水资源的影响[J]. 气象与环境学报, 2012,28(5):8-13. (SUN Fenghua, LI Liguang, LIANG Hong, et al. Research status analysis of impact of climate change on water resource in Liaohe River basin [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2012,28(5):8-13. (in Chinese))
- [13] 张营营,胡亚朋,张范平. 黄河上游天然径流变化特性分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017,31(2):104-109. (ZHANG Yingying, HU Yapeng, ZHANG Fanping. The characteristics of natural streamflow in the upstream of the Yellow River [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017,31(2):104-109. (in Chinese))
- [14] 王国庆,张建云,李雪梅,等. 黄土高原泾河流域径流变化及其对环境要素的响应[J]. 水土保持研究, 2014,21(3):192-196. (WANG Guoqing, ZHANG Jianyun, LI Xuemei, et al. Runoff variation of the Xinsuihe River catchment and its response to environmental change on the Loess Plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014,21(3):192-196. (in Chinese))
- [15] Wang G, Zhang J, Pagano T C, et al. Simulating the hydrological responses to climate change of the Xiang River basin, China [J]. Theoretical & Applied Climatology, 2016,124(3-4):769-779.
- [16] 王国庆,张建云,贺瑞敏,等. 黄土高原泾河流域径流变化归因定量分析[J]. 水土保持研究, 2014,21(6):295-298. (WANG Guoqing, ZHANG Jianyun, HE Ruimin, et al. Attribution of runoff change for the Xinsui River basin in the Loess Plateau of China [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014,21(6):295-298. (in Chinese))

Regional Suitability and Parameter Sensitivity Analysis of RCCC-WBM

GUAN Xiaoxiang^{1,2}, LIU Yue^{1,2}, ZHANG Chengfeng^{1,2}, YANG Xiaotian^{1,2}, JIN Junliang^{2,3}, WANG Guoqing^{2,3}

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

2. Research Center for Climate Change, MWR, Nanjing 210029, China;

3. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, NHRI, Nanjing 210029, China)

Abstract: Simulation of natural runoff plays a key role in regional water resources assessment. Taking the typical watersheds in different climatic regions of China as an example, the RCCC-WBM, a monthly hydrological model, was used to simulate the runoff process in the natural stage, and the sensitivity of its parameters was analyzed. The results show that the WBM has fairly good performance in 6 typical basin and the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient is above 0.80, the relative error of runoff is also small. The surface runoff coefficient has a significant impact on the model accuracy, while in southern basins the influence of the snowmelt runoff coefficient on the simulation results is negligible due to small proportion of snowfall and higher temperature in winter, and the surface runoff coefficient has a significant impact on the model performance; the soil water storage capacity indirectly affects the runoff component partitioning and calculation by determining the upper limit of soil moisture, to which the sensitivities of typical watersheds is inconsistent.

Key words: typical watershed; water balance model; parameter sensitivity

(上接第 11 页) Application of ADM Method in Groundwater Dynamic Simulation

GUO Weiguo^{1,2}, CHEN Xi², ZHANG Zhiyue³

(1. State Nuclear Electric Power Planning Design & Reserch Institute, Beijing 100095, China;

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

3. Cangzhou Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Cangzhou 061000, China)

Abstract: Based on the Boussinesq equation, an analytical model of groundwater was established using the ADM method. The simulation accuracy of the ADM method was analyzed, and the boundary condition representation of the method was improved to reduce the calculation error of the ADM method. The improved ADM method was applied to the Cang County area. By comparing the simulated and measured values, the improved ADM method can be used to simulate the distribution of groundwater level in the study area. The calculation process is convenient and quick. The groundwater numerical calculation of the study area was conducted using the parameters determined by the groundwater analytical model, and the results were also compared. The groundwater analytical model based on the improved ADM method has a simple method and high calculation efficiency. Overall, the simulation results are satisfactory.

Key words: ADM method; Boussinesq equation; groundwater analysis model; groundwater numerical model; groundwater level