

# 新安江模型参数的不确定性分析

舒 畅<sup>1,5</sup>, 刘苏峡<sup>1,6,\*</sup>, 莫兴国<sup>2</sup>, 梁忠民<sup>3</sup>, 戴 东<sup>4</sup>

(1 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

2 中国科学院地理科学与资源研究所生态网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101;

3 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098; 4 黄河水利委员会水文局, 郑州 450004;

5 中国科学院研究生院, 北京 100049; 6 中国气象局国家气象中心, 北京 100081)

**摘要:** 水文模型的不确定性研究是水文科学研究的重要课题。模型参数的不确定性分析是水文模型不确定性研究的重要内容之一。本文采用 GLUE 方法分析新安江模型参数的不确定性, 结论基于对不同水文特征流域的长时间径流模拟, 研究发现大量“等效性”参数组存在。据此将参数总结为三类: 第一类为非敏感参数, 如上层张力水容量 UM 等。它们对似然判据, 及确定性系数 ( $R^2$ ) 影响小。第二类为敏感性参数, 如河网蓄水消退系数 CS 等, 其特点是对  $R^2$  的影响大。第三类为区域性敏感参数, 如张力水蓄水容量曲线的方次 B 等, 它们对  $R^2$  的影响力跟流域特征密切相关。这些结论有助于理解新安江模型参数, 为今后流域水文模拟提供参考。文中还展望了未来水文模型不确定性研究的发展方向。

**关 键 词:** GLUE 方法; 新安江模型; 等效性; 不确定性; 卢氏流域; 九洲流域

**文章编号:** 1000-0585(2008)02-0343-10

## 1 引言

任何水文模型进行预报必须具备以下三要素<sup>[1]</sup>: 1) 气象输入, 反映气象条件在流域上的时空分布; 2) 水文模型, 用于定量描述一定时空尺度的水文过程; 3) 参数, 反映流域特征的一组模型参数。模型预报的不确定性来自这三个方面, 即气象输入, 模型结构和参数的不确定性。水文模型的不确定性研究是当今水文科学研究的一个热门和前沿课题。

模型参数理论上可由实测确定, 但实际上由于缺乏观测数据支持, 往往需要通过率定手段来获得。当前常见的率定方法有遗传算法(Genetic Algorithm, GA)<sup>[2,3]</sup>、模拟退火算法(Simulated Annerling, SA)<sup>[4]</sup>和人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)<sup>[5,6]</sup>等, 它们的推广应用有利于水文模型参数的率定。但无论采用何种率定方法, 一般得到一组“最优”参数来预报结果, 存在不确定性。模型参数的不确定性分析是水文模型不确定性研究的重要内容之一。Beven 等 (1992) 提出了普适似然不确定性估计法 (GLUE, Generalized Likelihood Uncertainty Estimation), 是一种度量模型参数不确定性的方法<sup>[7]</sup>。Beven 等 (2001)<sup>[8]</sup>以新西兰西部 Tawhai 林区的一个小流域(面积 0.038km<sup>2</sup>)为例, 采用

收稿日期: 2007-06-09; 修订日期: 2007-11-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40671032, 40671033); 中国气象局气候变化专项项目 (CCSF2006-30); 中国科学院地理科学与资源研究所创新三期领域前沿课题

作者简介: 舒畅 (1983-), 男, 浙江金华人, 博士研究生。从事水文水资源和水文模型研究。

E-MAIL: shuchang6666@163.com

\* 通讯作者: 刘苏峡 (1965-), 女, 湖北黄陂人, 副研究员, 博士。主要从事流域水文模拟和界面水文过程研究。

E-MAIL: liusx@igsnrr.ac.cn

GLUE 方法对 TOPMODEL 模型中的参数进行分析, 研究表明 GLUE 方法能处理模型非线性、模型结构误差等对模拟结果的影响。莫兴国等 (2004)<sup>[9]</sup> 将 GLUE 方法应用到黄河支流卢氏流域估计水文不确定性, 结果认为此法能够定量分析水文数学模型预测的不确定性, 为分析水文模型不确定性提供了一条新途径。GLUE 方法认为导致模型模拟结果好与差不是模型的单个参数, 而是模型的参数组合。它既考虑到最优即最好这一直观事实, 也避免了采用单一最优值进行预测而带来的风险<sup>[10]</sup>。国内外学者应用 GLUE 方法分析了模型参数空间分布和不确定性。莫兴国等 (2004, 2006) 根据小麦灌溉前后实验, 以 CO<sub>2</sub> 和热通量为输出结果, 用 GLUE 方法分析二源与三源小麦冠层模型参数差异性<sup>[11]</sup>, 并通过黄河支流洛河灵口、卢氏上下游水文站资料研究分布式水文模型 LISFLOOD-WB 中 8 个参数的不确定性<sup>[12]</sup>; Gallart 等 (2006)<sup>[13]</sup> 研究 Topmodel 模型不确定性, 发现只考虑出口流量所得的参数不确定性范围较大, 若将水位作为另一目标, 则可大大减少范围; 张丹蓉等 (2006)<sup>[14]</sup> 应用 GLUE 方法获取更宽广的参数取值空间, 认为这有利于模型在不同尺度流域应用。GLUE 方法代表了目前水文模拟预测不确定性估计的最新进展, 也是目前水文模拟、水质模拟中主要的不确定性估计方法之一<sup>[10, 15~ 17]</sup>。

新安江模型<sup>[18~ 22]</sup> 是一个具有分散性参数的概念性流域水文模型, 目前使用较多的是考虑了地面径流、壤中流和地下径流的三水源新安江模型, 已经在我国湿润和半湿润地区取得了良好的模拟结果。虽然新安江模型参数的不确定性研究取得一定成果<sup>[23~ 25]</sup>, 但以往结论大多立足于单个流域或某些参数的独立分析。本文采用 GLUE 方法研究新安江模型参数不确定性, 将模型应用于水文特征不同的流域模拟长时间径流系列, 对比同一参数在不同流域的似然散点图来探讨新安江模型全体参数的不确定性, 通过分析有助于了解新安江模型参数, 为今后流域水文模拟提供参考。

2 模型与方法

2.1 三水源新安江模型

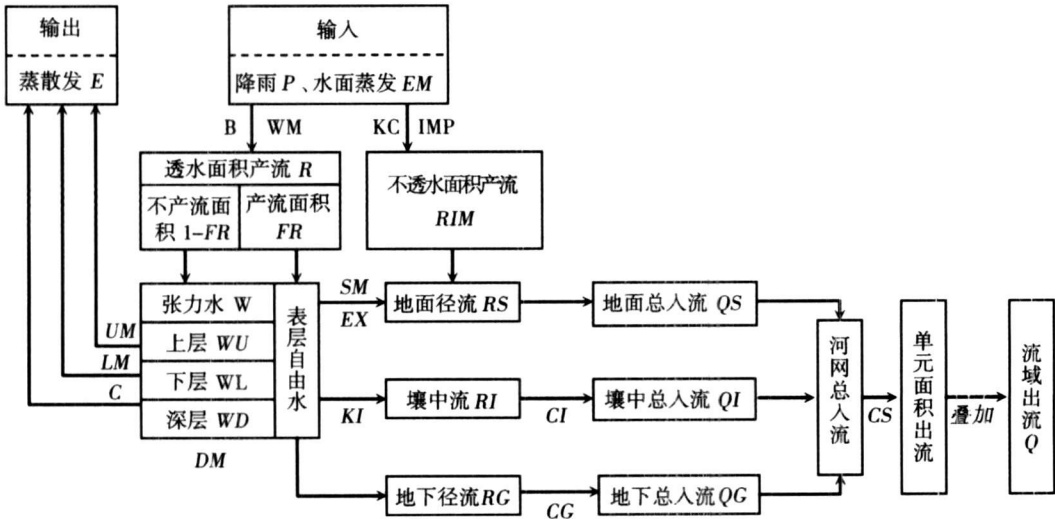


图 1 新安江模型流程图<sup>[20]</sup>

Fig 1 Xinanjiang model flow chart

三水源新安江模型特点包括: 1) 产流采用蓄满产流概念; 2) 蒸散发分为三层: 上层、下层和深层; 3) 水源分为地表、壤中和地下径流三种; 4) 汇流分为坡地、河网汇流两个阶段。模型对地表、壤中和地下径流分别采用不同的线性调蓄水库模拟其汇流过程。模型参数可分为如下 4 类: 第一类: 蒸散发计算, KC、UM、LM、C; 第二类: 产流量计算, WM、B、IMP; 第三类: 分水源计算, SM、EX、KG、KI; 第四类: 汇流计算, CI、CG、CS、KE、XE。其中 KE、XE 为单元河段的马斯京根系数, 根据河道的水力特性推求, 用于模拟河道汇流部分。本文用新安江模型模拟日径流量, 以整个流域为单元进行模拟预报。表 1 为新安江模型主要参数的物理意义; 图 1 为新安江模型流程图<sup>[20]</sup>。

表 1 新安江模型主要参数及取值范围  
Tab 1 Parameters and their sampled ranges of Xinanjiang model

参数	物理意义	通常值	本文应用 GLUE 法取值范围
UM (mm)	上层张力水容量	5- 20	0- 50
LM (mm)	下层张力水容量	60- 90	0- 150
DM (mm)	深层张力水容量		0- 100
WM (mm)	流域平均张力水容量		WM= UM+ LM+ DM
B	张力水蓄水容量曲线的万次	0.2- 0.4	0- 1
EX	表层土自由水蓄水容量曲线的万次	1.5	0.5- 2.5
KC	蒸散发折算系数	1	0- 2
C	深层蒸散发系数	0.1- 0.2	0- 0.5
SM (mm)	表层土自由水蓄水量	5- 45	0- 200
KG	表层土自由水蓄水量对地下水的出流系数	KI+ KG= 0.7	0< KI+ KG< 1
KI	表层土自由水蓄水量对壤中流的出流系数		
CG	地下水库消退系数	0.95- 0.995	0.5- 1
CI	壤中流消退系数	0.3- 0.8	0- 1
CS	河网蓄水消退系数		0- 1
IMP	不透水面积占全流域面积的比值	0.01- 0.05	0- 0.1

2.2 GLUE 方法

流域水文模型通常存在多个功能类似的参数组, 从而产生模型预报不确定性问题。这些参数组的模拟效果相似, 这种现象称为“等效性”(Equifinality)。鉴于参数集之间存在着“等效性”现象, GLUE 方法认为导致模型模拟结果好与差不是模型的单个参数, 而是模型的参数组合<sup>[7]</sup>, 具体步骤详见文献[9]。

本文随机均匀采样 100000 组(参数取值范围见表 1)作为新安江模型参数组, 新安江模型依据随机产生的参数组模拟流域出口径流量, 以 Nash 确定性系数  $R^2$  为似然判据, 采用 GLUE 方法分析模型参数不确定性。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n_c} (Q_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n_c} (Q_i - Q_c)^2}$$

(1)

式(1)中:  $R^2$  为似然判据;  $Q_i$  为实测流量;  $Q_i$  为模拟流量;  $Q_c$  为实测流量均值;

$n_c$  为资料长度。

3 应用流域概况

本文选取水文特征不同的两个流域。九洲流域（东经  $114^{\circ}50'$  ~  $115^{\circ}10'$ ，北纬  $23^{\circ}06'$  ~  $23^{\circ}23'$ ）属于海洋性气候，雨量丰沛，林木茂盛，植被良好，根系发达，属于典型的湿润地区。九洲水文站是流域出口站。卢氏流域（东经  $109^{\circ}40'$  ~  $110^{\circ}10'$ ，北纬  $33^{\circ}45'$  ~  $34^{\circ}30'$ ）地处亚热带和暖温带的过渡地带，降水分布不均，地势高峻，河沟密闭，地形复杂，土地贫瘠，天然植被较好，林木覆盖率为 34 %，郁闭度为 0.5 ~ 0.7，草本植物种类繁多，覆盖度中等。卢氏水文站是流域控制站。从图 2 可知九洲流域的降雨-径流相关性优于卢氏流域，产流方式的判断依据年径流系数<sup>[18]</sup>，表 2 为流域基本水文资料。

表 2 流域的基本水文资料  
Tab 2 Basic hydrological data of two basins

流域	年降雨量 (mm)	年径流系数	面积 (km <sup>2</sup> )	产流方式	水文资料	备注
九洲	1868.73	0.55	385	蓄满产流	1978~1987	日降雨、蒸发 出口流量
卢氏	597.42	0.31	4423	蓄满-超渗 混合产流	1980~1988	日降雨、蒸发 出口流量

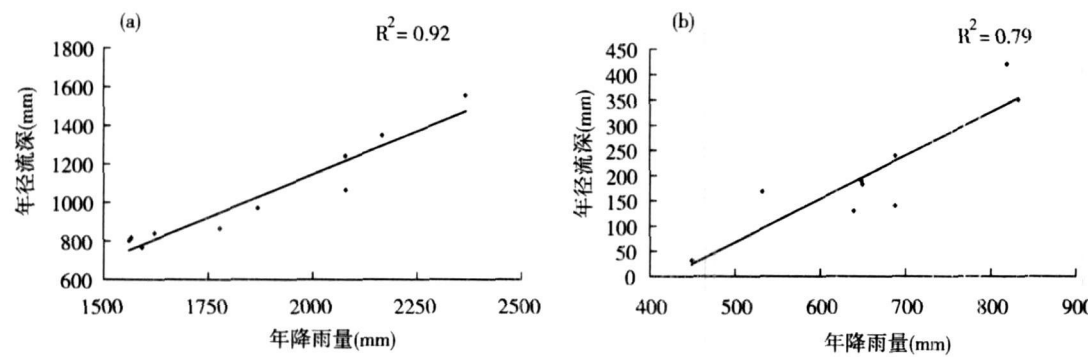


图 2 年降雨量与径流深相关图 ((a) 九洲流域 (b) 卢氏流域)

Fig. 2 Relationship between annual rainfall and runoff of (a) Jiuzhou and (b) Lushi

4 结果分析

4.1 新安江模型在两个流域上的模拟效率

采用下式比较新安江模型在两流域的模拟效率，结果见图 3。

$$E = \frac{N_{R^2 > m}}{N_{Total}} \tag{2}$$

式 (2) 中： $E$  表示效率系数； $N_{R^2 > m}$  表示满足  $R^2 > m$  的参数组数目； $N_{Total}$  表示用于 GLUE 方法的参数组总数目； $m$  为  $R^2$  的临界取值。

由图 3 可见，模型在九洲流域有更多高  $R^2$  值参数组（以  $R^2 = 0.5$  为临界值）；相对而言卢氏流域模拟效率偏低，满足要求的参数组数目不多。分析原因是新安江模型结构更适

于九洲流域, 尤其是蓄满产流的结构特征, 因此高  $R^2$  值的参数组相应较多。

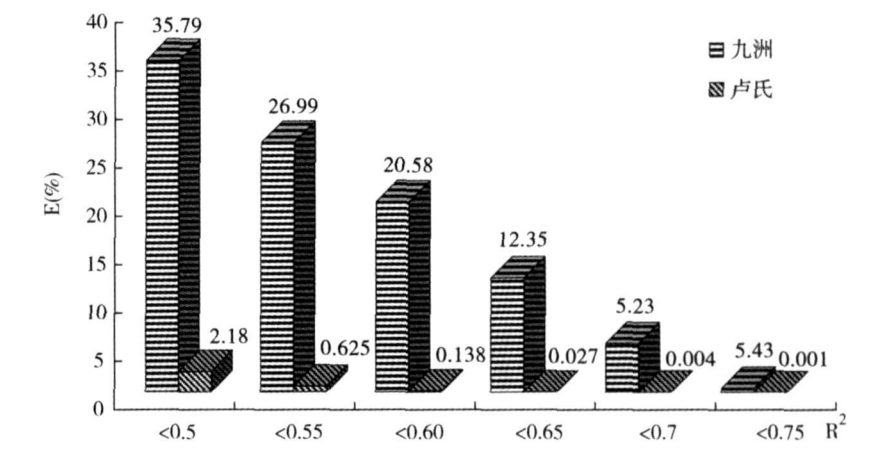


图 3 两流域模拟效率对比

Fig 3 Comparisons of simulation efficiency in two basins

4 2 参数组“等效性”

无论是九洲流域还是卢氏流域, 在模拟结果中都出现大量“异参同效”现象, 即参数的等效性。这个现象印证了 GLUE 方法的重要观点, 即导致模型模拟结果好与坏的关键是模型的参数组, 而非单个参数<sup>[7]</sup>。由此可见由率定而来的“最优”参数组是不可靠的, 具有高不确定性。表 3 具体列出九洲、卢氏流域各三组“等效性”参数组值。

表 3 几组“等效性”参数组						
Tab 3 Several“equifinality” parameter groups						
	九洲流域			卢氏流域		
	组 1	组 2	组 3	组 1	组 2	组 3
U M (mm)	28 54	19 81	16 94	38 27	9 57	26 28
LM (mm)	4 19	46 47	132 46	3 10	26 12	33 92
DM (mm)	71 13	38 97	42 81	37 11	6 51	18 72
B	0 58	0 34	0 51	0 03	0 17	0 15
EX	0 82	1 12	1 20	0 64	0 71	0 91
KC	1 14	0 94	1 38	0 15	0 44	0 10
C	0 32	0 19	0 09	0 37	0 29	0 19
SM (mm)	100 81	85 43	88 71	98 65	38 67	141. 60
KG	0 25	0 48	0 46	0 85	0 63	0 50
KI	0 25	0 50	0 51	0 00	0 03	0 01
CG	0 92	0 87	0 81	0 72	0 57	0 68
CI	1 00	0 99	0 97	0 49	0 22	0 69
CS	0 60	0 59	0 59	0 70	0 59	0 67
IMP	0 09	0 02	0 07	0 06	0 05	0 04
R <sup>2</sup>	0 79	0 79	0 79	0 70	0 70	0 70

将参数组进行总和和标准化计算，其公式如下：

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \tag{3}$$

式 (3) 中：总和标准化后的新数据  $X'_{ij}$ ；原始的数据  $X_{ij}$  ( $i$  为参数类别,  $j$  为参数组号),  $m$  为参数组数。

从图 4 可见同类参数在各组中的取值不同 (相应  $R^2$  值相同), 有些参数如 LM 值变化大, 有些参数如 CS 则小, 说明模型中每类参数不确定性程度存在差异。

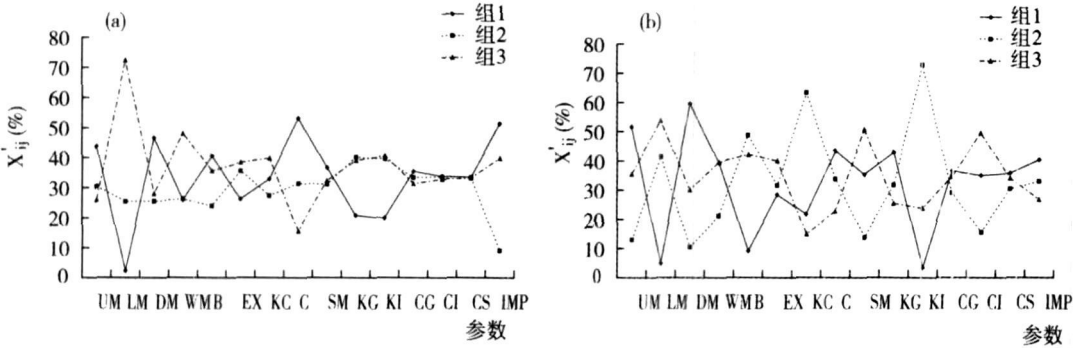


图 4 “等效性”参数组总和标准化图 ((a) 九洲流域; (b) 卢氏流域)

Fig. 4 Total standardization of “equifinality” parameter groups in (a) Jiuzhou and (b) Lushi

4 3 参数不确定性分析

通过新安江模型在两个流域长时间日径流系列的模拟，可以获得参数似然散点图 (图 5~ 7)，据此将参数总结归纳为三大类。

第一类：参数似然散点图在两个流域表现一致，分布均匀，无变化趋势 (图 5)。这类参数有 UM、LM、DM、EX、CG, 它们的变化对似然判据  $R^2$  影响小, 属于不敏感参数。

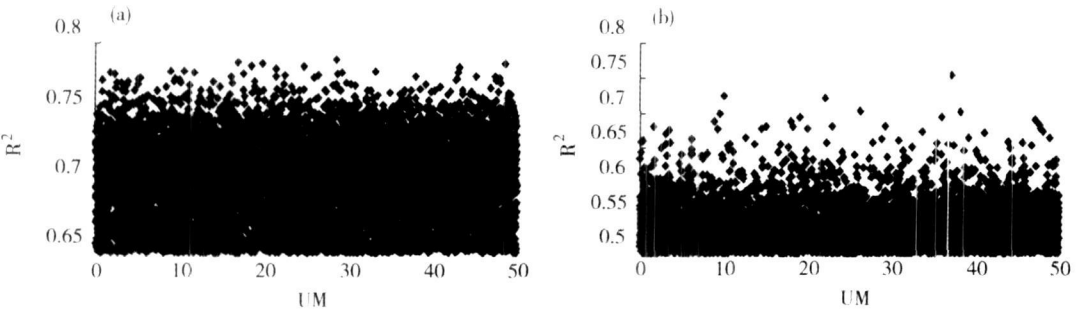


图 5 第一类参数 (UM) 似然散点图 ((a) 九洲流域; (b) 卢氏流域)

Fig 5 Scatter plots of the likelihood of UM for daily discharge in (a) Jiuzhou and (b) Lushi

第二类：敏感参数，其似然散点图在两个流域的情况相似，分布或趋势变化相同(图 6)。这类参数有 KI、KI+ KG、KC、CS。表层土自由水蓄水量对壤中流的出流系数 KI 左密右疏(图略)，KI+ KG 右密左疏(图 6(a), (b))，KI+ KG 反映了直接径流的退水天数<sup>[20]</sup>，

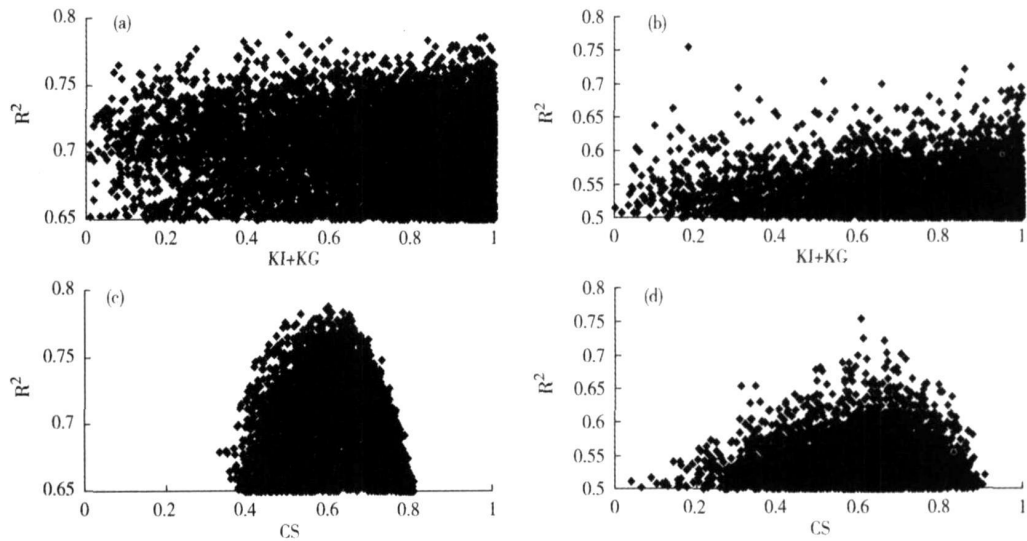


图 6 第二类参数 (KI+KG、CS) 似然散点图 ( (a) (c) 九洲流域; (b) (d) 卢氏流域 )  
Fig. 6 Scatter plots of the likelihood of KI+KG, CS for daily discharge in (a) (c) Jiuzhou; (b) (d) Lushi

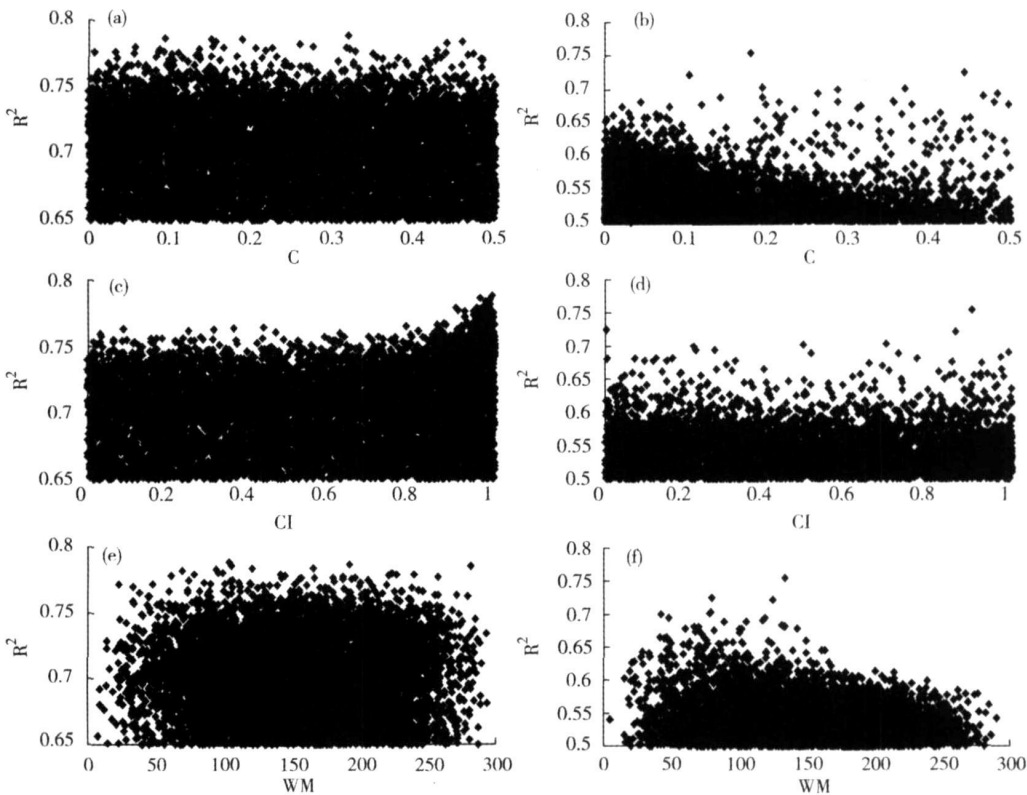


图 7 第三类参数 (C、CI、WM) 似然散点图 ( (a) (c) (e) 九洲流域; (b) (d) (f) 卢氏流域 )  
Fig. 7 Scatter plots of the likelihood of C, CI and WM for daily discharge in (a)(c)(e) Jiuzhou; (b)(d)(f) Lushi

两个流域都呈现上升的趋势,显示两个流域直接退水的天数较短,这与实际流域产汇流情况吻合。蒸散发折算系数  $KC$ (图略)、河网蓄水消退系数  $CS$  有明显的高峰(图 6(c), (d)),对优选参数值有帮助。显然,这类参数对  $R^2$  值影响大,分布域通常有凹凸。

第三类:参数似然散点图在两个流域分布或趋势不同(图 7)。这类参数有  $B$ 、 $C$ 、 $IMP$ 、 $KG$ 、 $CI$ 、 $WM$ 、 $SM$ 。在卢氏流域张力水蓄水容量曲线的方次  $B$  右密左疏(图略),深层蒸发系数  $C$  左密右疏(图 7(b)),不透水面积占全流域面积的比值  $IMP$  左疏右密(图略),表层土自由水蓄水量对地下水的出流系数  $KG$  趋向于 1(图略),流域平均张力水容量  $WM$  ( $WM = UM + LM + DM$ ,反映流域干旱指标)出现峰值(图 7(f))。而在九洲流域壤中流消退系数  $CI$  趋向于 1(图 7(c)),表层土自由水蓄水容量  $SM$  有不显著峰值(图略)。上述参数散点图在两流域表现迥异是模型参数对流域水文特征不同的响应。九洲流域雨量丰沛,土壤水、地下水系发达。卢氏流域面积较大,蒸发是水量平衡主要因素,土壤、地下水库调蓄功能差。这类在一个流域敏感,在另一个流域却不敏感的参数,属于区域性敏感参数,其敏感程度与流域特征和模型结构密切相关。

## 5 结论与展望

模型参数的不确定性分析是水文模型不确定性研究的重要内容之一。本文采用 GLUE 方法研究新安江模型参数的不确定性。研究结论基于模型在不同流域上模拟长时间日径流系列。研究表明:1) 新安江模型结构更适用在九洲流域。这主要因为模型产流机理与九洲流域水文特征相吻合。2) 两个流域都存在大量“等效性”参数组。大量不同的参数组能模拟出相同的效果。这个现象印证了 GLUE 方法的重要观点(即模型参数组决定着模拟结果好坏),同时也由于新安江模型参数值难以通过实测确定,故为 GLUE 方法探求模型参数不确定性提供了条件。3) 根据两个流域参数似然散点图分析,可将参数分为三类:①  $UM$ 、 $LM$ 、 $DM$ 、 $EX$ 、 $CG$ ,属于不敏感参数,对  $R^2$  值影响小;②  $KI$ 、 $KI + KG$ 、 $KC$ 、 $CS$ ,属于敏感参数,对  $R^2$  值影响大,分布值域凹凸明显;③  $C$ 、 $IMP$ 、 $WM$ 、 $B$ 、 $SM$ 、 $KG$ 、 $CI$ ,属于区域性敏感参数,这类参数的敏感性跟流域特性密切相关。以上结论有助于理解新安江模型参数,为今后流域水文模拟提供参考。

随着科学技术的进步,为流域参数提取和数据输入提供了支持,有力地推动了水文模型的发展。但不确定性问题依然是阻碍水文模型发展的难题。以下几个方面在今后水文模型不确定性研究中值得关注:1) 数据问题是水文模型遇到的首要问题,也是产生不确定问题的主要原因之一。充分利用已掌握的数据,同时引入新数据,尤其是将遥感数据融合到不同尺度的水文模拟中,为水文模拟提供各种时空分辨率的空间信息,必将大大减少水文模拟的不确定性。2) 加强对水文循环的基础性研究。水文模型的基础是人类对水文规律的认知程度,只有加深对自然界水文循环的机理了解,才能减少模型结构带来的不确定性。3) 对于模型参数的不确定性,要尽量依据物理机理来设置模型参数,并通过有效手段来确定,以避免产生参数不确定性问题。4) 当前水文模型不确定性研究仍处于发展阶段,虽然 GLUE 方法等不确定估计方法在评估模型上已取得了较好的效果,完善模型不确定性的基础理论还需要更深入的科研。5) 目前水文不确定性研究大多着眼于集总模型在流域上对单一目标模拟来分析不确定性问题,缺少流域内水文要素相关变化及不同时空尺度下的不确定性研究,尤其是基于分布式水文模型参数的探讨<sup>[12]</sup>,还需进一步研究。



致谢: 河海大学水资源环境学院黄国如副教授提供九洲流域资料。感谢两位审稿专家提出的宝贵意见。

## 参考文献:

- [ 1 ] Sivapalan M K, Takeuchi S W, Franks S W. IAHS decade of prediction in ungauged basins ( PUB ), 2003– 2012: Shaping an exiting future for the hydrological sciences. *Hydrological Sciences Journal*, 2003, 48( 6 ): 857~ 879
- [ 2 ] 陈炯烽, 张万昌. 基于遗传算法的新安江模型日模拟参数优选研究. *水文*, 2006, 26( 4 ): 32~ 38.
- [ 3 ] 陆桂华, 郦建强, 杨晓华. 水文模型参数优选遗传算法的应用. *水利学报*, 2004, ( 2 ): 50~ 56
- [ 4 ] 郑红星, 李丽娟. 水质模型参数的非数值随机优化. *地理研究*, 2001, 20( 1 ): 97~ 102
- [ 5 ] 李双成, 高伟明, 刘濂. 河北省环渤海地区生态经济协调发展的人工神经网络分析. *地理研究*, 1998, 17( 4 ): 352~ 359
- [ 6 ] 王为, 吴正. 应用人工神经网络识别华南沿海全新世海滩岩和海岸沙丘岩. *地理研究*, 1999, 18( 4 ): 382~ 390
- [ 7 ] Beven K, Binley A M. The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological Processes*, 1992, 6( 3 ): 279~ 298.
- [ 8 ] Keith Beven, Jim Free. Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modeling of complex environmental systems using the GLUE methodology. *Journal of Hydrology*, 2001, 249: 11~ 29
- [ 9 ] 莫兴国, 刘苏峡. GLUE 方法及其在水文不确定性分析中的应用. 见: 夏军 主编. 水问题的复杂性与不确定性研究与进展. 北京: 中国水利水电出版社, 2004. 143~ 150
- [ 10 ] 王中根, 夏军, 刘昌明, 等. 分布式水文模型的参数率定及敏感性分析探讨. *自然资源学报*, 2007, 22( 4 ): 649~ 655
- [ 11 ] Mo Xingguo, Beven K. Multi-objective parameter conditioning of a three-source wheat canopy model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 122: 39~ 63
- [ 12 ] Mo Xingguo, *et al*. Parameter conditioning and prediction uncertainties of the LISFLOOD-WB distributed hydrological model. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 2006, 51( 1 ), 45~ 65
- [ 13 ] Gallart F, *et al*. Using internal catchment information to reduce the uncertainty of discharge and baseflow predictions. *Advances in Water Resources*, 2006: 1~ 16
- [ 14 ] Zhang Danrong, Beven K, Mermoud A. A comparison of non-linear least square and GLUE for model calibration and uncertainty estimation for pesticide transport in soils. *Advances in Water Resources*, 2006, 29( 12 ): 1924~ 1933
- [ 15 ] Free J, Beven K J, Ambroise B. Bayesian estimation of uncertainty in runoff prediction and the value of data: An application of the GLUE approach. *Water Resources Research*, 1996, 32( 7 ): 2161~ 2173
- [ 16 ] Keith B, Zak S. Equifinality, sensitivity and uncertainty in the estimation of critical load. *Science of the Total Environment*, 1999, 236: 191~ 214
- [ 17 ] Romanowicz R J, Beven K J. Comments on generalized likelihood uncertainty estimation. *Reliability Engineering and System Safety*, 2006, 91: 1315~ 1321
- [ 18 ] 林三益 主编. 水文预报. 北京: 水利电力出版社, 1986. 140~ 154
- [ 19 ] 赵人俊 编著. 流域水文模拟——新安江模型与陕北模型. 北京: 水利电力出版社, 1984. 11~ 148
- [ 20 ] 赵人俊, 王佩兰. 新安江模型参数的分析. *水文*, 1988, 6: 2~ 9
- [ 21 ] 翟家瑞 编著. 常用水文预报算法和计算程序. 郑州: 黄河水利出版社, 1995. 1~ 23
- [ 22 ] 王佩兰, 赵人俊. 新安江模型(三水源)参数的客观优选方法. *河海大学学报*, 1989, 17( 4 ): 65~ 69
- [ 23 ] 刘金涛, 张佳宝. 前期土壤含水量对水文模拟不确定性影响分析. *冰川冻土*, 2006, 28( 4 ): 519~ 525
- [ 24 ] 李胜, 梁忠民. GLUE 方法分析新安江模型参数不确定性的应用研究. *东北水利水电*, 2006, 24( 259 ): 31~ 47
- [ 25 ] 熊立华, 郭生练. 三水源新安江模型异参同效现象的研究. 见: 夏军 主编. 水问题的复杂性与不确定性研究与进展. 北京: 中国水利水电出版社, 2004. 151~ 155

# Uncertainty analysis of Xinanjiang model parameter

SHU Chang<sup>1,5</sup>, LIU Su-xia<sup>1,6,\*</sup>, MO Xing-guo<sup>2</sup>, LIANG Zhong-min<sup>3</sup>, DAI Dong<sup>4</sup>

(1 Key Lab of Water Cycle & Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research (IGSNRR), CAS, Beijing 100101, China;

2 Key Lab of Ecological Net Observation and Modeling, IGSNRR, CAS, Beijing 100101, China;

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

4 Bureau of Hydrology, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450004, China;

5 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

6 National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The uncertainty problem in hydrological model is an important issue of scientific research at present, which covers three aspects of data, model structure and parameters. Parameter is one of the key roles in analyzing model uncertainty problem. The value of parameters depends on characteristics of a basin, but in fact it is difficult to obtain because there are few observation stations. In general, it needs to confirm parameters by several calibration methods including Genetic Algorithm, Simulated Annealing and Artificial Neural Network. So there exists parameter uncertainty problem. The generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE) methodology is an effective approach to study uncertainty of parameters. In this paper, the uncertainty in Xinanjiang model is examined by employing GLUE. Based on the simulation results of daily data from Jiuzhou(1978~1987) and Lushi(1980~1988) basins, it is found that the phenomenon of “equifinality” exists among parameters groups for both of the basins. According to comparison result of scatter plots, parameters of Xinanjiang model can be classified into three groups: sensitivity parameters such as UM, EX; non-sensitivity parameters such as KC, CS and regional sensitivity parameters such as B, WM. The conclusion is favorable for understanding parameters of Xinanjiang model so as to provide valuable scientific information for simulating hydrological processes. Finally it puts forward the main contents on future uncertainties research in hydrological modeling.

**Key words:** GLUE methodology; Xinanjiang model; equifinality; uncertainty; Lushi basin; Jiuzhou basin