

# 基于 GLUE 方法的城市雨洪模型参数不确定性分析

史蓉<sup>1</sup>, 赵刚<sup>1</sup>, 庞博<sup>1</sup>, 姜其贵<sup>2</sup>, 甄婷婷<sup>2</sup>

(1.北京师范大学水科学研究院, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875;

2.北京市城市规划设计研究院, 北京 100044)

**摘要:**以北京市大红门排水片为例, 构建基于 SWMM (Storm Water Management Model) 的城市雨洪模型, 并基于 GLUE 方法 (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) 对模型参数的不确定性进行了分析。结果表明, 所建城市雨洪模型能够较好的模拟区域的雨洪过程。在模型参数中, 管道曼宁系数、不透水区洼蓄量以及河道曼宁系数的不确定性对模型结果的影响较为显著。GLUE 方法能够在分析模型结果不确定性的同时给出敏感性参数, 为城市雨洪模型的参数率定和进一步研制提供了有效工具。

**关键词:**SWMM 模型; 不确定性分析; GLUE 方法; 雨洪模拟

**中图分类号:**TV122      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-0852(2016)02-0001-06

随着全球气候变化与城市化进程的加快, 各大中型城市都面临着高强度、短历时暴雨频发, 以及峰量大洪水内涝问题的严峻考验。自 2008~2010 年, 全国有 62% 的城市发生过不同程度的洪涝, 其中 137 个城市洪涝灾害超过 3 次以上, 特别是 2012 年北京“7·21”特大暴雨洪涝事件, 为市政交通带来严重影响, 给生命财产造成巨大损失<sup>[1]</sup>。为解决我国城市水资源短缺、内涝频繁发生、水生态恶化等突出问题, 国家提出了建设海绵城市的新理念。通过海绵城市建设, 将防、排、渗、蓄、滞、处理等措施有机结合, 将极大地减轻城市防洪排涝的压力, 有效减少城市洪涝灾害发生频率和损失<sup>[2]</sup>。因此, 应用海绵城市新理念, 构建符合我国城市特征的城市雨洪模型, 提高雨洪模拟精度, 对建设海绵城市、提高雨洪管理水平具有重要意义。

水文模型作为研究流域水文循环过程及其演化规律的重要工具, 对高度复杂的水文过程进行概念化和抽象化, 采用相对简单的数学公式或物理方程描述各

种水文过程, 往往存在“失真”现象, 这必然导致水文模型存在一定的不确定性<sup>[3]</sup>。作为水文模型一个重要分支的城市雨洪模型, 在构建过程中也存在着各种不确定性, 如对城市雨洪过程认识不足引起的模型结构不确定性和由描述相关水文水力特性失真引起的参数不确定性。在水文模型不断改进、城市降雨径流和排水过程描述不断完善的同时, 模型参数数量也显著增加, 参数之间也表现出了复杂的相关性, 模拟结果的不确定性也随之加大。正确认识城市雨洪模型的不确定性, 对加深对模型参数的认识和提高雨洪模拟精度具有重要意义。

英国水文学家 Beven 等人提出的 GLUE 方法通过对异参同效现象的认识, 不仅能够提供模型参数的后验分布, 而且可以给出模型输出的不确定性范围, 在水文模型中得到了广泛应用<sup>[4]</sup>。研究选择“7·21”洪水中损失较大的大红门排水片区, 构建基于 SWMM 的城市雨洪模型。在此基础上采用 GLUE 方法对模型的参数不确定性进行了深入分析, 以期北京市城市雨洪模

收稿日期: 2015-03-15

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51309009); 北京市自然科学基金资助项目(8141003)

作者简介: 史蓉 (1989-), 女, 山西长治人, 硕士研究生, 主要研究方向城市水文。E-mail: shirong610@126.com

通讯作者: 庞博 (1979-), 男, 河南驻马店人, 副教授, 主要研究方向水文预报与水资源利用。E-mail: pb@bnu.edu.cn

型的进一步研究提供技术支撑。

## 1 研究实例与方法

### 1.1 模型建立

北京大红门排水片区(如图 1)位于北京市丰台区及石景山区境内,总面积为 131.49km<sup>2</sup>。区内由西部山区向东部平原阶梯下降,总体高程及坡度都较小。因其位于北京市城区的中部,区域内商业比较发达,是具有典型城市下垫面特性的中心城区,主要排水通道为管道和河道,不透水部分占总面积的 79.7%。区内建有石景山、右安门和大红门水文测站,拥有多年长系列水文观测资料。区内马草河是极为重要的行洪河道,在北京“7·21”暴雨中发生漫溢,导致多处险情,因此,以该区域为典型开发城市水文模型,全面研究暴雨洪水发生发展的自然过程和形成规律,对北京市的防洪减灾工作具有重要的现实意义。

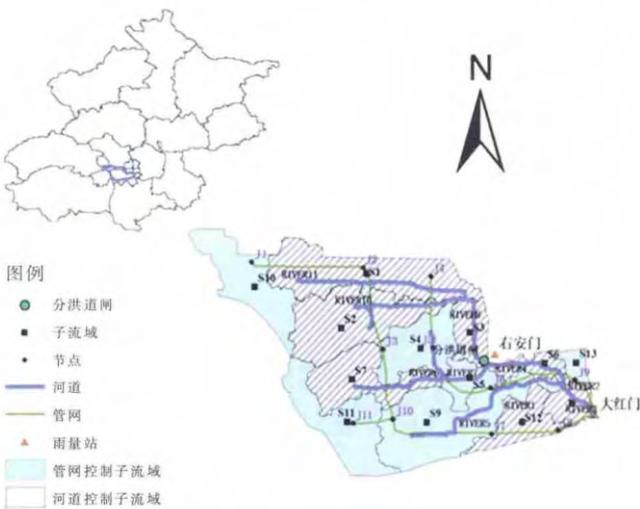


图 1 大红门排水片区流域图  
Fig.1 The Dahongmen drainage area

SWMM 模型是由美国环保部开发的用来设计管理城市暴雨洪水的降雨径流模型,主要用于地表径流和管道径流量的计算,用于模拟单一降雨事件或连续降雨事件下径流的水量和水质状况,并跟踪模拟不同时间步长任意时刻每个子流域所产生径流的水质和水量,以及每个管道和河道中水的流量、水深及水质等情况。其径流模块部分综合处理各子流域中无滞蓄库容不透水面积上、有滞蓄库容不透水面积上和透水面积上 3 部分所发生的降水,径流和污染负荷。其汇流模块部分则通过管网、渠道、蓄水和处理设施、水

泵、调节闸等进行水量传输,主要提供恒定流法、运动波法和动力波法三种方法进行汇流计算。SWMM 已在世界范围内广泛应用于城市地区的暴雨洪水过程模拟、雨洪调蓄处理以及排水系统的规划、分析和设计,在其它非城市区域也有广泛的应用。

数字化的下垫面是 SWMM 模型模拟计算的核心要素,下垫面数字化可分为子流域划分、子流域信息提取及概化、排水系统信息提取及概化<sup>[5]</sup>。城市排水系统是由节点连接而成的排水通道(管道、河道、沟渠等)形成的网络,研究区排水通道分为地下管道、河渠,由于缺乏管网资料,区内排水管网主要沿道路设置,各个汇水子流域的地表径流就近排入城市排水检查井节点。基于 SWMM 的应用及研究区的实际情况对其进行概化,共划分 13 个河道管网共同控制的子流域。本研究中概化的总排水通道数为 22 条,其中河道 11 条,道路排水通道 11 条<sup>[6]</sup>。在之前发表的文章<sup>[6]</sup>中已对 SWMM 模型在该研究区的适用性进行了研究,对其降水径流模拟和验证的结果进行了分析,本文进一步对模型的参数不确定性进行分析。

本文采用大红门排水片区 2011~2012 年 6 场暴雨洪水水文资料进行雨洪模拟,各场次暴雨特征见表 1。降雨资料由研究区内的两个雨量站获得,流量资料由排水片区出口大红门闸获取,分洪流量资料由位于凉水河河段右安门水文站处的分洪道闸获取。

表 1 用于不确定性分析的场次暴雨特征  
Table1 The characteristics of the rainstorms used for uncertainty analysis

| 暴雨场次     | 降雨量/mm | 降雨历时/h | 峰现时间            |
|----------|--------|--------|-----------------|
| 20110623 | 105.59 | 15     | 2011-6-23 21:00 |
| 20110724 | 63.35  | 16     | 2011-7-24 23:00 |
| 20110726 | 54.57  | 6      | 2011-7-27 2:00  |
| 20110814 | 92.7   | 10     | 2011-8-14 7:00  |
| 20120623 | 63.68  | 17     | 2012-6-24 5:00  |
| 20120712 | 200.24 | 17     | 2012-7-21 22:00 |

### 1.2 GLUE 方法

在利用水文模型对流域水文过程进行预报时,模型参数的不确定性是造成水文模拟不确定性的主要原因之一。为了优化模型参数,许多基于人工调试和自动优选的参数优化方法被相继提出,其在应用时都出现了所谓的“异参同效”的现象,即在参数的可能取值范围内,对于一个特定的目标函数,可能存在多组可接

受的、模拟结果十分相似参数估计值组合。为了通过分析模型的“异参同效”现象来充分把握水文模型参数优选中的不确定性,英国水文学家 Beven 教授在 1992 年提出了水文数学模型不确定性的估计方法——普适似然不确定性估计方法 (Generalized likelihood uncertainty estimation, 简称 GLUE)。

GLUE 方法中一个很重要的观点是:模型模拟结果的好坏并不是由模型中的单个参数所决定,而是由一组模型参数来决定的。在预先设定的参数取值范围内进行随机采样,将获取的参数值组合代入运行模型。选定似然目标函数,计算模拟结果与观测值之间的似然函数值,再计算这些函数值的权重,得到各个参数组的似然值。在所有的似然值中,设定一个临界值,低于该临界值的参数组似然值被赋值为零;对高于临界值的所有参数组似然值重新归一化,按照似然值归一化处理后的大小,求出在某置信度下模型预报的不确定性范围<sup>[7]</sup>。

根据 GLUE 方法的基本原理,将其应用程序分为如下几个步骤:

(1)似然目标函数定义。似然目标函数主要用于判别模拟结果与实测结果之间的拟合程度。当模拟结果与所研究的系统不相似时,似然目标函数值应为零;而当模拟结果相似性增加时,似然目标函数值应该单调上升。

(2)确定参数的取值范围和先验分布形式。依据参数的物理特性,首先确定模型参数的取值范围。由于通常情况下参数的先验分布形式难以确定,往往选用均匀分布。

(3)模型参数的不确定性分析。根据参数组模拟情况确定有效参数组,点绘模型参数与似然值的散点图,定性分析模型参数的不确定性。若参数对目标函数的影响没有很显著,则参数似然分布应接近于原始均匀分布;若影响较大,则参数的累积似然度的分布与原始分布相差较大,即该参数的敏感性较大。

(4)运行程序,在得到的参数组似然值中,设定一个临界值,将高于临界值的所有参数组似然值重新归一化,即将这些似然值处理为 0 到 1 之间的分布,加权参数组的似然判据值,并根据权重系数确定参数在其空间分布的概率密度。

(5)根据似然值的大小排序,估算一定置信水平的模型预报不确定性范围。一般以累计似然分布的 5% 和 95% 作为预报不确定性范围的上、下界限。

### 1.3 参数取值范围

在水文模型的众多参数中,参数的取值变化对模拟结果的影响是不同的,其取值范围的大小对模拟结果不确定性、置信水平有显著影响<sup>[8]</sup>。有些参数是可实际测量得到的是确定的,而有些参数无法根据实际情况得到的只能取经验值,因而存在很大的不确定性,所以本文在参考了 SWMM 模型相关文献后选出 11 个参数来进行参数不确定性分析。参数取值应依据特定的研究区,设定在符合物理意义的范围内,根据实测和文献资料<sup>[9-11]</sup>得出 SWMM 模型中水文参数取值范围,见表 2。

表 2 SWMM 模型参数取值范围  
Table 2 The parameters variation range for SWMM model

| 参数名称          | 参数物理意义       | 单位              | 取值范围          |
|---------------|--------------|-----------------|---------------|
| Imperv        | 不透水率         | %               | U*(60-80)     |
| Zero-imperv   | 无注蓄不透水区所占百分比 | %               | U*(20-30)     |
| N-imperv      | 不透水区曼宁系数     |                 | U*(0.02-0.05) |
| N-perv        | 透水区曼宁系数      |                 | U*(0.1-0.8)   |
| N-conduit     | 管道曼宁系数       |                 | U*(0.01-0.08) |
| N-river       | 河道曼宁系数       |                 | U*(0.04-0.7)  |
| Dstore-imperv | 不透水区注蓄量      | mm              | U*(1-50)      |
| Dstore-perv   | 透水区注蓄量       | mm              | U*(50-70)     |
| MaxRate       | 最大入渗率        | mm/h            | U*(50-80)     |
| MinRate       | 最小入渗率        | mm/h            | U*(1-50)      |
| Decay         | 衰减系数         | h <sup>-1</sup> | U*(1-50)      |

### 1.4 不确定性区间评价指标

在区间估计中,水文学家们提出了一系列评价不确定性区间优良性的方法,主要涉及不确定性区间的覆盖率和带宽<sup>[12-13]</sup>。在此基础上,熊立华等<sup>[14-15]</sup>提出了涉及不确定性区间的对称性的评价指标。为了分析不确定性区间的有效性,本文选取四个评价指标:区间的平均相对宽度  $RB$ 、覆盖率  $CR$ 、平均对称度  $S$  和平均偏移幅度  $D$ ,计算公式分别为:

$$RB = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Q_{s,upper}^i - Q_{s,lower}^i}{Q_o^i} \quad (1)$$

$$CR = \frac{n_{Q_o}}{n} \times 100\% \quad (2)$$

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_{s,upper}^i - Q_o^i}{Q_{s,upper}^i - Q_{s,lower}^i} - 0.5 \right| \quad (3)$$

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{1}{2} (Q_{s,upper}^i + Q_{s,lower}^i) - Q_o^i \right| \quad (4)$$

式中： $n$  为流量过程序列点个数； $Q_{s,upper}Q_{s,lower}$  为模拟流量点估计置信区间的上下边界值； $Q_o$  为实测流量； $n_{Q_o}$  为实测值落在置信区间的个数。

对于给定的置信水平，区间的平均相对宽度越窄，则表示预测不确定性区间优良性越好；覆盖率表示预测区间包含实测流量的比例，通常用百分比表示，覆盖率越接近 100% 则说明模拟值接近实测值的可能性越大，模拟效果越好；在绝对对称的情形及理想情况下， $S$  值为 0，当  $S < 0.5$  则说明在平均水平上流量过程线在预测不确定性区间内，若  $S \geq 0.5$ ，则说明平均水平上流量过程线在预测不确定性区间之上或之下， $S$  越大，则不确定性区间的性能越差；由于水文现象的高度非线性，不确定性预测区间的中心线和观测的流量过程线往往是不重合的，平均偏移幅度指标  $D$  即是为了量化这一偏离程度，理论上平均偏移幅度越小，表示预测区间的对称性越好，性能越优良。

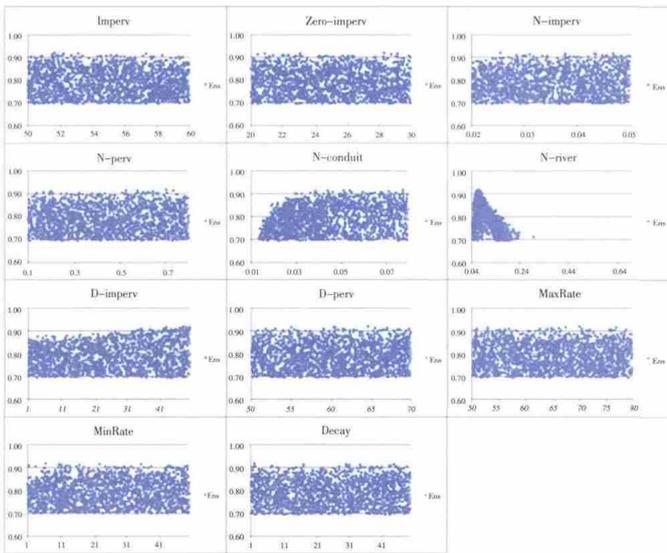


图2 参数似然值散点分布图

Fig.2 The scatterplots of the parameters livelihood values

在进行参数不确定性分析时，似然判据的临界值取 0.70，低于该临界值的参数组似然值被赋予 0，将高于该临界值的参数组似然值重新归一化。按归一化后的似然值的大小排序，求出某一置信度下模型预报的不确定性范围。本文采用模拟流量过程的 90% 的置信区间来分析，如图 4 为各场次暴雨流量过程。从图中可以看出，流量过程线在整体趋势吻合较好，有部分场次

## 2 结果与分析

利用 Monte-Carlo 随机采样方法获取 10 000 组参数运行模型，将确定性系数作为似然判据，选定 0.70 为判据临界值，得到各场次暴雨模拟的有效参数组，如图 2 是 20120721 场次暴雨参数似然判据值散点图。参数散点图清晰地反映了参数的选取与似然值之间的关系。图中不透水区曼宁系数  $N$ -imperv 和不透水区洼蓄量  $D$ -imperv 在一定区间有所变化，但幅度不大；管道曼宁系数  $N$ -conduit 和河道曼宁系数  $N$ -river 存在明显的高峰区域，范围大幅减小；其他参数在各自取值范围内变化对似然值影响较小，不确定性较显著。此外，在散点图的高似然值区 ( $E_{ns} > 0.9$ )，存在着多组等效的参数组，即“异参同效”现象存在。从参数后验概率分布图(图 3)中也可看出除管道曼宁系数  $N$ -conduit 和河道曼宁系数  $N$ -river 外其他参数分布接近均匀分布。

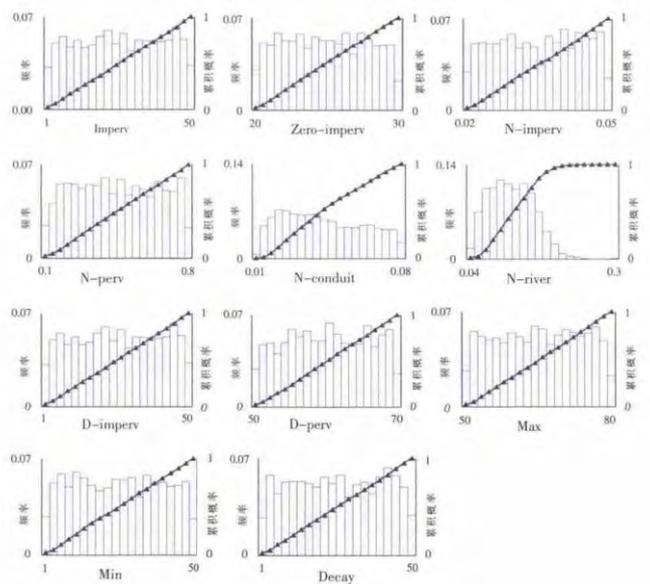


图3 参数后验概率分布图

Fig.3 The posterior probability distribution of the parameters

在峰值附近模拟较差 (如 20110623 和 20110726 场次);各场次洪水模拟的峰现时间误差较小,都在 2h 之内,而且在 20110724 和 20110814 场次中对峰现时间和峰值模拟结果较好。对比各场次 50%分位点和最优的模拟过程,可看出 50%分位点的流量模拟效果与最优模拟效果相当,甚至在峰值处更优于最优模拟过程,因此在模拟预报时亦可将其作为参考。

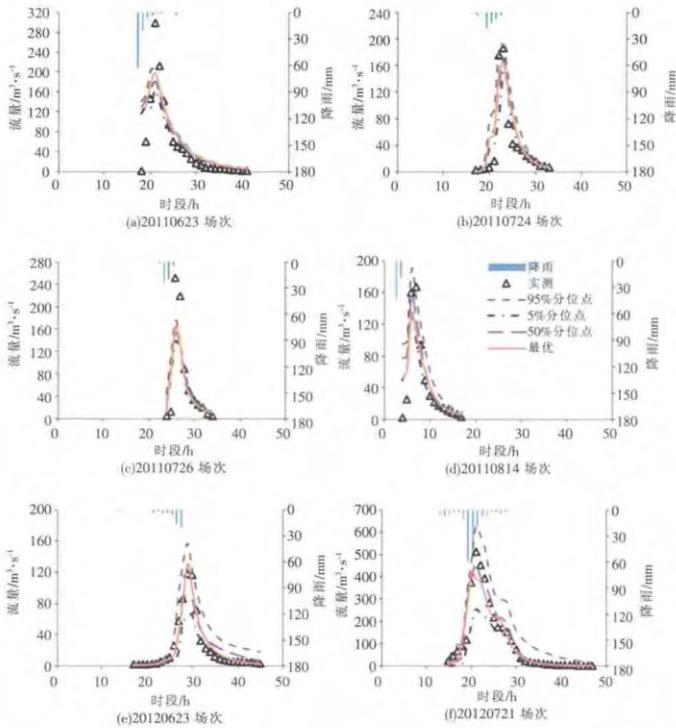


图 4 6 场洪水流量过程线

Fig.4 The prediction bounds for the 6 floods process

本研究中各场次区间估计的评价指标值如表 3 所示。从表中可看出 6 场暴雨模拟不确定性区间宽度都较小,但平均偏移幅度  $D$  普遍偏大。从各场次的  $RB$  和  $CR$  值可看出二者有很强的线性关系,这与熊立华等<sup>[15]</sup>得到的结论一致。综合四项指标,20110724 和 20110814 场次模拟结果较好,满足不确定性分析的要求;20120721 场次虽然  $CR$  和  $S$  是各场次中最接近理想标准的,但其  $RB$  值较大;20120623 场次除覆盖率较小外其他指标都较好;20110623 及 20110726 场次不确定性区间的平均相对宽度  $RB$  最小但其覆盖率较小,平均对称度  $S$  较大,不确定性区间的性能较差。

表3 不确定性区间评价结果

Table3 The evaluation results of the uncertainty bounds

| 评价<br>指标             | 率定期      |          |          | 验证期      |          |          |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                      | 20110623 | 20110724 | 20110726 | 20110814 | 20120623 | 20120721 |
| $RB$                 | 0.81     | 1.23     | 0.99     | 2.03     | 1.75     | 3.77     |
| $CR/\%$              | 8        | 59       | 45       | 78       | 34       | 97       |
| $S$                  | 1.84     | 0.65     | 1.44     | 0.53     | 0.52     | 0.34     |
| $D/m^3 \cdot s^{-1}$ | 24.14    | 17.85    | 27.98    | 16.31    | 7.92     | 29.25    |

### 3 结论

以大红门排水片区为研究实例,论文构建了基于 SWMM 的城市雨洪模型。以包括“7·21”在内的 6 场实测暴雨洪水过程为基础,采用 GLUE 方法对模型结果的不确定性和参数的敏感性进行了分析。主要结论如下:

(1)GLUE 方法提供的 90%置信度不确定性范围虽不能完全包含 6 场洪水的实测流量过程,但在峰值、峰现时间及流量过程上的模拟较好,能够在给出范围的同时达到较好精度。

(2) 根据参数与似然值散点分布图,可将研究的 11 个参数分为敏感参数(管道曼宁系数、不透水区注蓄量以及河道曼宁系数)和不敏感参数两类。研究结果为今后参数识别和率定奠定了基础,有效减少了工作量,进而提高了参数率定的效率和模拟的可靠性。

(3)城市管道和河道的曼宁系数对大红门排水片区的洪水模拟结果的影响较为显著。因此,排水通道的糙率对片区雨洪过程有较大影响。加强排水通道的日常疏通维护,保证城市排水的畅通,对片区防洪具有重要作用。

#### 参考文献:

- [1] 张建云. 城市洪涝应急管理系统关键技术研究[J]. 中国市政工程, 2013,168:1-6. (ZHANG Jianyun. Key technologies for building urban floods and waterlogging emergency management system [J]. China Municipal Engineering, 2013,168:1-6. (in Chinese))
- [2] 张旺,庞靖鹏.海绵城市建设应作为新时期城市治水的重要内容[J].水利发展研究, 2014,(9):5-7. (ZHANG Wang, PANG Jingpeng. Sponge city construction should be an important part of the new era of urban flood control [J]. Water Resources Development Research, 2014,(9):5-7. (in Chinese))
- [3] 宋晓猛,占车生,孔凡哲,等.大尺度水循环模拟系统不确定性研究进展[J].地理学报,2011,66(3):396-406. (SONG Xiaomeng, ZHAN Chesheng, KONG Fanzhe, et al. A review on uncertainty analysis of large-scale hydrological cycle modeling system [J]. Acta Geographica Sinica, 2011,66(3):396-406. (in Chinese))
- [4] Keith Beven, Jim Free. Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modeling of complex environmental systems using the GLUE methodology[J]. Journal of Hydrology, 2001,249:11-29
- [5] 喻海军,黄国如,武传号.基于 SWMM 模型的济南城市雨洪模拟研究[J].水资源研究,2012,(1):433-439.(YU Haijun, HUANG Guoru, et al. Study on urban storm water modeling at Jinan city using SWMM model[J]. Journal of Water Resources Research, 2012,(1):433-439. (in Chinese))
- [6] 赵刚,庞博,徐宗学,等.基于 SWMM 模型的北京大红门排水片区雨洪模拟研究[J].北京师范大学学报(自然科学版),2014,50(5):452-455. (ZHAO Gang, PANG Bo, XU Zongxue, et al. Simulation of urban

- storm at Dahongmen drainage area by SWMM[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2014,50(5):452–455. (in Chinese))
- [7] Freer J K, Beven K J. Bayesian estimation of uncertainty in runoff prediction and the value of data: an application of the GLUE approach[J]. Water Resources Research,1996,32(7):2161–2173.
- [8] Gabriele Freni, Giorgio Mannina, Capare Viviani. Uncertainty in urban stormwater quality modeling: the influence of likelihood measure formulation in the GLUE methodology [J]. Science of the Total Environment, 2009,408:138–145.
- [9] 赵东泉,王浩正.城市暴雨径流模拟的参数不确定性研究[J].水科学进展,2009,20(1):45–51.(ZHAO Dongquan, WANG Haozheng. Parameters uncertainty analysis of urban rainfall–runoff simulation[J]. Advances in Water Science, 2009,20(1):45–51. (in Chinese))
- [10] 宋霁云.水文模型参数优选方法比较与参数敏感性分析[J].水电能源科学,2011,(4):25–27. (SONG Jiyun. Comparative study on parameter calibration algorithms and sensitivity analysis for conceptual hydrological model [J]. Water Resources and Power, 2011,(4):25–27. (in Chinese))
- [11] Lewis A. Rossman. Storm water management model user’s manual[R]. USA: US Environmental Protection Agency, 2010:163–165.
- [12] Beven K.J.,Smith P.J.,Freer J.E.. So just why would a modeller choose to be incoherent[J]. Journal of Hydrology, 2008,354(1–4):15–32.
- [13] Blasone R.–S.,Madsen H.,Rosbjerg D. Uncertainty assessment of integrated distributed hydrological models using GLUE with Markov chain Monte Carlo sampling [J]. Journal of Hydrology, 2008,353(1–2):18–32.
- [14] Xiong L.,Wan M.I.N.,Wei X., et al. Indices for assessing the prediction bounds of hydrological models and application by generalised likelihood uncertainty estimation [J]. Hydrological Sciences Journal, 2009,54(5):852–871.
- [15] 董磊华,熊立华,万民.基于贝叶斯模型加权平均方法的水文模型不确定性分析[J].水利学报,2011,42(9):1065–1074. (DONG Leihua, XIONG Lihua, WAN Min. Uncertainty analysis of hydrological modeling using the Bayesian model averaging method[J].Journal of Hydraulic Engineering, 2011,42(9):1065–1074. (in Chinese))

### Uncertainty Analysis of SWMM Model Parameters Based on GLUE Method

SHI Rong<sup>1</sup>,ZHAO Gang<sup>1</sup>,PANG Bo<sup>1</sup>,JIANG Qigui<sup>2</sup>,ZHEN Tingting<sup>2</sup>

(1.College of Water Sciences, Key Laboratory for Water and Sediment Sciences of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Beijing Municipal Institute of City Planning & Design, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Based on the storm water management model (SWMM), an urban rainfall runoff model was established in Dahongmen drainage area of Beijing.The generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE) method was chosen to analyze both the model uncertainty and parameter sensitivity. The results show that the proposed model is capable of simulating the urban rainfall runoff process. The manning roughness coefficient of conduit, the depression storage of impervious surfaces and the manning roughness coefficient of river, whose uncertainty are notable, have more influence on the model results than others. The analysis results can provide information for further development and parameter estimation of the urban rainfall runoff models.

**Keywords:** SWMM;uncertainty analysis; GLUE method;flood simulation

(上接第 45 页)

### Adaptability Study on Rational Formula for Turkish Small Watershed Design Flood Calculation

LI Lei<sup>1</sup>, ZHU Yongnan<sup>2</sup>, GU Hongqin<sup>1</sup>

(1. State Nuclear Electric Power Planning Design & Research Institute; Beijing 100095, China;  
2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** In order to analyze the adaptability of rational formula to the calculation of small watershed design flood in Turkey, this paper first introduced the widely-used Turkish flood calculation method—DSI Synthetic Method and analyzed its functions and characteristics in designing rainfall, runoff process and concentration principle. Then a comparison was made between the DSI Synthetic Method and two of the rational formulas which are commonly used in China. Further, this paper explored a synthetic method which combines Turkish rainfall and runoff principle and rational formula concentration principle to calculate small watershed design flood. At last, it compared the calculation results of the synthetic method and those of the DSI synthetic method. The calculation results show that the combination of rational formula with Turkish hydrological features is feasible for Turkish small watershed flood calculation.

**Key words:** small watershed; design flood calculation; IWHR rational formula; DSI synthetic method; improved rational formula; Turkey.