

# 推理公式法在土耳其小流域设计洪水计算中的适应性分析

李 磊<sup>1</sup>, 朱永楠<sup>2</sup>, 谷洪钦<sup>1</sup>

(1.国核电力规划设计研究院,北京 100095; 2.中国水利水电科学研究院,北京 100038)

**摘要:**为分析推理公式法在土耳其小流域设计洪水计算中的适应性,首先分析了土耳其常用洪水计算方法 DSI Synthetic Method 在设计降雨、产流规律、汇流模型的水文特点,并将 DSI Synthetic Method 与我国常用的两类推理公式法进行比较,探讨土耳其降雨径流关系与推理公式法汇流模型相结合进行小流域洪水计算的方法,最后通过土耳其工程实例将该方法与 DSI Synthetic Method 设计洪水计算成果进行比较。研究表明,改进的推理公式法能够将土耳其的设计降雨、产流规律和推理公式法汇流模型相结合,设计洪水计算成果能够符合当地实际情况。

**关键词:**小流域;设计洪水计算;水科院推理公式法;DSI Synthetic Method;改进的推理公式法;土耳其  
**中图分类号:**X522      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-0852(2016)02-0041-05

## 1 前言

随着涉外工程的增多,自然地理环境千差万别,水文工程者遇到各种各样的小流域洪水计算问题。各国水文工程规范、标准种类繁多,各国甚至各地区的计算方法均有可能有所不同,给水文工作者带来了很多困扰。如何将现有国内成熟的设计洪水计算方法推广到国际工程中去,如何找到国内外工程设计洪水计算方法的异同点,是水文专业在涉外工程工作中的重点和难点<sup>[1]</sup>。

小流域一般无实测水文资料,但区域降雨观测资料较丰富,因此根据暴雨推求洪水是常用的思路<sup>[2-3]</sup>。国内主要的小流域暴雨洪水计算方法有推理公式法、单位线法、一院两所法、交通部门经验公式等,其中推理公式法是最早的利用暴雨资料推求无资料地区小流域设计洪水的方法之一,自提出至今至少有 100 多年的历史<sup>[4-7]</sup>。推理公式法以推理成因为基础,从基本的洪水成因分析出发,结合经验性参数定量的方法,表达流域产汇流因素的经验关系,作为推荐方法在我国各省广泛使用,在英美等国也被称为合理化公式<sup>[2]</sup>。由于各地的降雨和产汇流规律各不相同,推理公式法产生了多种形式,其应用条件也有所差异。

本文以土耳其某电厂为例,选择该国具有代表性

的 DSI Synthetic Method<sup>[8-9]</sup>,分析土耳其小流域设计洪水计算方法在降雨、产流、汇流等各方面的水文特点;在此基础上选择国内主要的两类推理公式法<sup>[5-7]</sup>,尝试将土耳其的降雨径流特点与推理公式法汇流计算方法相结合,得到将推理公式法应用土耳其小流域设计洪水计算的方法;最后将两类推理公式法应用于土耳其某小流域设计洪水计算,分析两类推理公式法在土耳其小流域设计洪水计算中的适用性,并与 DSI Synthetic Method 计算成果进行比较,最终得到推理公式法应用于土耳其小流域洪水计算的方法,为推理公式法应用于国内外工程小流域设计洪水计算提供借鉴。

## 2 土耳其小流域设计洪水计算方法简介

土耳其设计洪水计算方法分为理论方法、频率分析和经验公式三类<sup>[8]</sup>。频率分析方法适用于流域内设有测站的流域,对于小流域设计洪水计算时测站密度往往难以满足该方法的需要;理论方法中 DSI Synthetic Method 适用于全面产流时间大于 2h、流域面积小于 1 000km<sup>2</sup> 的流域,Mockus Method 适用于汇流时间小于 30h 的流域,Snyder Method 适用于流域面积超过 1 000km<sup>2</sup> 的流域;经验公式中 Rational Method 适用于流域面积小于 5km<sup>2</sup> 的小流域,Mc Math Method 适用于平原地区设计洪水计算。电力工程涉及的小流域设计洪水计算

收稿日期:2015-03-05

作者简介:李磊(1981-),男,安徽巢湖人,博士,主要研究方向电力水文气象。E-mail:153636688@qq.com

流域面积常小于 1 000 km<sup>2</sup>, 选用 DSI Synthetic Method 较合适。

DSI Synthetic Method 的基本原理是采用美国农业部水土保持局研制的 SCS (Soil Conservation Service) 模型<sup>[10-11]</sup>的产流原理进行产流计算, 采用单位线法进行汇流计算, 最终采用式(1)进行合成, 其基本公式如下:

$$Q=A \cdot q_p \cdot h_a \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

式中:  $Q$  为设计最大洪峰流量, m<sup>3</sup>/s;  $A$  为流域面积, km<sup>2</sup>;  $q_p$  为单位线洪峰流量, L/s/km<sup>2</sup>/mm;  $h_a$  为径流深, mm。

### 2.1 设计降雨过程推求

24h 设计点雨量 ( $h_{24}$ ) 的确定: ①土耳其设计降雨量计算没有推荐的频率曲线线型, 需根据气象站观测 24h 降雨量资料, 通过对正态分布、对数正态分布、P-分布、对数 P-分布、Gumbel 分布进行综合比较, 选择最优的线型进行 24h 设计点雨量频率分析; ②考虑到气象站 24h 降雨量与水文部门最大 24h 降雨量不同, 需乘以修正系数 1.13。

各时段设计面雨量 ( $h_y$ ) 的确定: ①降雨时段折减系数 (PLV): 土耳其各地区短历时降雨折减系数是根据当地气象站历年观测资料统计得到, 据此可将  $h_{24}$  折算到各时段; ②降雨点面折减系数 (YAD): 土耳其根据流域面积和时段长度编制了流域面积-时段长度-降雨强度曲线, 可供查算。

降雨的时程分配: 土耳其根据降雨特征分为三种雨型曲线, 并编制了雨型分区图, 可查图得降雨的时程分配系数 (YZD), 得到降雨量的时程分配过程线。

降雨的时程分配: 土耳其根据降雨特征分为三种雨型曲线, 并编制了雨型分区图, 可查图得降雨的时程分配系数 (YZD), 得到降雨量的时程分配过程线。

### 2.2 产流模型

产流模型采用美国农业部水土保持局研制的 SCS (Soil Conservation Service) 模型的产流理论, 最终表达式如式(2)所示<sup>[10]</sup>:

$$h_a = \begin{cases} 0 & h_y \leq 0.2SC \\ \frac{(h_y - 0.2SC)^2}{(h_y + 0.8SC)} & h_y > 0.2SC \end{cases} \quad (2)$$

$$SC = (25400/CN) - 254$$

式中:  $h_y$  为一次降雨的降雨总量, mm;  $h_a$  为径流深, mm;  $SC$  为流域可能滞留量, mm;  $CN$  为 SCS 模型中用于描述降雨-径流关系的一个无量纲的重要参数, 反映流域前期土壤湿润程度、坡度、土壤类型和土地利用现状的综合特性, 可以较好地反映下垫面条件对产汇流过程的影响, 还可以结合遥感信息确定曲线号码<sup>[11]</sup>。

### 2.3 汇流模型

在汇流计算中, 模型采用一条统一的无因次单位

线来计算径流输出过程。单位线洪峰流量采用以下经验公式(3)求得<sup>[9]</sup>:

$$q_p = \frac{414}{A^{0.225} \cdot (L \cdot L_c / \sqrt{S})^{0.16}} \quad (3)$$

$$\text{其中: } S = \left( \frac{10}{\sum \frac{1}{\sqrt{S_i}}} \right)^2, S_i = \frac{\Delta H_i}{L/10}$$

式中:  $q_p$  为单位线洪峰流量, L/s/km<sup>2</sup>/mm;  $A$  为流域面积, km<sup>2</sup>;  $L$  为流域主河道长度, m;  $L_c$  为流域重心到出口的距离, m;  $S$  为主河道平均比降;  $S_i$  为  $i$  河段比降, 通常将主河道总长度  $L$  分成 10 等分, 分别计算各河段比降;  $\Delta H_i$  为  $i$  河段高差, m。

单位线其它参数由式(4)确定:

$$\begin{aligned} Q_p &= A \cdot q_p \cdot 10^{-3}, V_b = A \cdot 10^3, \\ T &= 3.65(V_b/Q_p), T_p = T/5 \end{aligned} \quad (4)$$

式中:  $Q_p$  为洪峰流量, m<sup>3</sup>/s/mm;  $V_b$  为洪水总量, m<sup>3</sup>;  $T$  为单位线总历时, s;  $T_p$  为造峰历时, s。

## 3 推理公式法

推理公式法是用于根据暴雨资料间接推求设计洪水最大流量的方法之一, 自 20 世纪 60 年代中国水利水电科学研究院水文研究所的改进和推广, 现已广泛应用于我国小流域设计洪水工作中<sup>[5-7]</sup>。推理公式法的基本形式如下:

$$Q_m = 0.278(a - \mu)A \quad (5)$$

式中:  $Q_m$  为洪峰流量, m<sup>3</sup>/s;  $A$  为流域面积, km<sup>2</sup>;  $a$  为暴雨强度, mm/h;  $\mu$  为损失强度, mm/h。

式(5)结构简单, 洪峰流量仅与流域面积、暴雨强度和损失强度有关。但由于我国各地区在降雨和产汇流规律各不相同, 导致了推理公式在不同地区产生了各种形式, 根据我国各省水文手册在处理降雨和产流规律的方法不同, 可以将推理公式法分为两类。

推理公式法的一类形式是水科院推理公式法<sup>[5-6]</sup>, 我国大部分地区的推理公式法均源于该方法, 仅在参数选取上和具体计算时略有差别。水科院推理公式法的原理如式(6)和(7)所示。

$$\text{当 } t_c \geq \tau \text{ 时为全面汇流, } Q_m = 0.278(S_p/\tau^n - \mu)A \quad (6)$$

$$\text{当 } t_c < \tau \text{ 时为部分汇流, } Q_m = 0.278[(S_p t_c^{(1-n)} - \mu t_c)/\tau]A \quad (7)$$

$$\text{其中: } \tau = 0.278L/(m^{1/3}Q_m^{1/4}); t_c = [(1-n)\frac{S_p}{\mu}]^{\frac{1}{n}}$$

式中:  $A$  为流域面积, km<sup>2</sup>;  $J$  为主河道坡度, 用小数表

示; $L$ 为主河道长度,km; $Q_m$ 为洪峰流量, $m^3/s$ ; $\tau$ 为汇流历时,h; $t_c$ 为产流历时,h,根据平均下渗率 $\mu$ 推求; $S_p$ 为1h设计暴雨,mm; $n$ 为暴雨衰减指数; $m$ 为经验汇流系数,选取方法同国内。由于无土耳其平均下渗率 $\mu$ 的地区综合资料,可根据24h降雨量产生的径流深 $h_{24}$ ,采用式(8)确定<sup>[5-6]</sup>。

$$\mu = (1-n)n^{\frac{n}{1-n}} \left( \frac{S_p}{h_{24}^n} \right)^{\frac{1}{1-n}} \quad (8)$$

式中: $h_{24}$ 为24h降雨量产生的径流深,mm;其余同上。

推理公式法的另一类形式是将区域的降雨径流规律与水科院推理公式法汇流计算方法相结合进行洪峰流量计算<sup>[7]</sup>,如江西和湖南等省,本文称为改进的推理公式法。其原理是:根据降雨的时程分配和降雨损失规律得到净雨过程,将净雨过程和水科院推理公式法汇流计算方法相结合,求解得到设计洪峰流量和汇流时间。考虑到土耳其降雨时程分配可查图确定,降雨损失规律推荐采用式(2)SCS产流模型进行确定,在此基础上可通过水科院推理公式法进行汇流计算。

#### 4 应用实例

为探讨推理公式法对土耳其小流域设计洪水计算的适应性,本文选择土耳其某电厂为应用实例,先采用DSI synthetic method进行设计洪水计算,以此对土耳其降雨和产汇流规律作进一步阐释,在此基础上对推理公式法应用于土耳其设计洪水计算方法作进一步分析。

土耳其位于北温带,由于沿海山脉的影响,呈现出不同的气候特征。该电厂座落于爱琴海地区,属地中海式气候,夏季炎热干燥,冬季凉爽多雨;累年平均气温 $16.4^\circ\text{C}$ ,累年最高温度 $44.6^\circ\text{C}$ ,累年最低气温 $-11.3^\circ\text{C}$ ;累年平均降雨量 $553.6\text{mm}$ ,12月份平均降水量 $100.1\text{mm}$ 。厂址距西海岸约 $60\text{km}$ ,位于山前坡地,东北高、西南低。厂址西北侧有一发源于厂址北部山丘区的河沟,汇入索马河后入海。河沟上游流域面积 $A=37.2\text{km}^2$ ,主河道长度 $L=14.7\text{km}$ ,流域重心到厂址处的距离 $L_c=8.4\text{km}$ ,根据气象站降雨资料计算得该流域 $P=1\%$ 时最大24h点雨量 $h_{24}=121\text{mm}$ 。

##### 4.1 DSI synthetic method 推求设计洪水

(1)设计降雨过程推求:根据气象站历年观测资料统计得4、6、8h降雨时段折减系数PLV,根据流域面积-时段长度-降雨强度曲线计算4、6、8h点面折减系数YAD,在此基础上计算流域相应时段的 $P=1\%$ 设计

面雨量;以2h为时间间隔查土耳其雨型分区图得降雨时程分配系数YZD,计算得4、6、8h $P=1\%$ 设计降雨量和设计降雨过程如表1所示。

表1 设计降雨量和设计降雨过程计算表  
Table1 The calculation of the design rainfall and precipitation process

历时 /h	YAD	PLV	$P=1\%$ 面雨量 /mm	降雨时程分配/mm			
				2h	4h	6h	8h
4	0.965	0.63	73.9	61.3	73.9		
6	0.974	0.72	85.2	61.3	77.5	85.2	
8	0.975	0.76	90.0	57.6	74.7	84.6	90.0

(2)产流计算:根据流域下垫面地类结构,分别查表采用面积加权综合计算出 $CN=72, SC=98.8\text{mm}$ ,根据表1采用式(2)方法最终可计算出各种历时降雨过程不同时间段的净雨量。

(3)河道汇流单位线推求:将主河道分为10等份,根据各段高差和流域 $A、L、L_c$ 等参数可以推求出 $Q_p=2.391\text{m}^3/\text{s}/\text{mm}; V_b=3.72 \times 10^4\text{m}^3; T=16.0\text{h}; T_p=3.20\text{h}$ 。河道汇流单位线如图1所示。

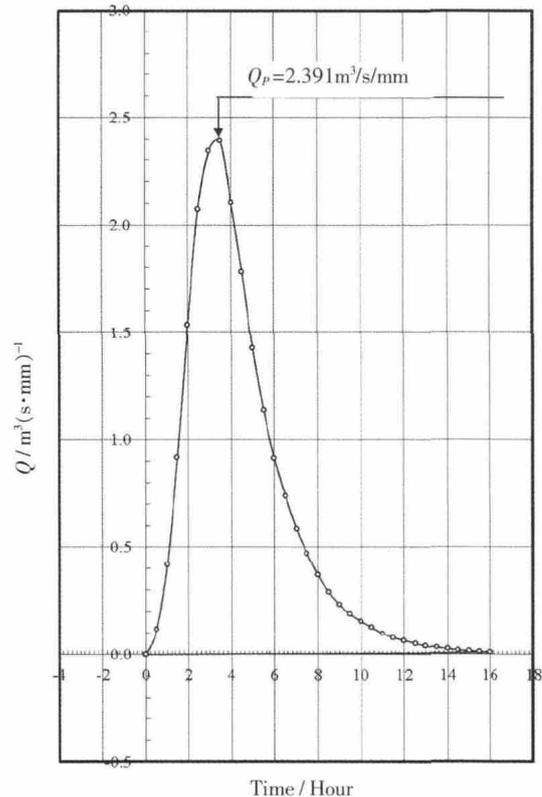


图1 河道汇流单位线图

Fig.1 The watershed unit hydrograph

(4)设计洪峰流量计算:根据净雨量时程分配和

河道汇流单位线,得到不同历时的 $P=1\%$ 设计洪峰流量如表2所示,最终计算出流域 $P=1\%$ 设计洪峰流量为 $40.7\text{m}^3/\text{s}$ 。

表2  $P=1\%$ 各种降雨历时DSI synthetic method设计洪峰流量计算成果

Table2 The different duration  $P=1\%$  design peak flow in DSI synthetic method

历时/h	4	6	8
洪峰流量/ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	37.0	40.7	38.7

#### 4.2 水科院推理公式法推求设计洪水

(1)设计暴雨参数确定。根据厂址24h内不同时段百年一遇降雨量分析,该区域降雨量服从指数分布 $H=S_p t^{1-n}$ ,其中 $S_p=48.6\text{mm}$ , $n=0.717$ 。

(2)产流历时 $t_c$ 计算。根据式(2)可计算得该流域百年一遇24h降雨量产生的径流量 $h_{24}=51.24\text{mm}$ ,采用式(10)和式(9)计算得 $\mu=5.18\text{mm/h}$ , $t_c=3.91\text{h}$ 。

(3)设计洪峰流量计算。已知 $A=37.2\text{km}^2$ , $L=14.7\text{km}$ , $J=0.0272$ ,根据流域形状和下垫面条件取 $m=1.1$ ;采用图解法求得 $\tau=4.8\text{h}$ , $P=1\%$ 设计洪峰流量为 $Q_{m1}=43.7\text{m}^3/\text{s}$ ;显然 $t_c<\tau$ ,汇流形式为部分汇流,采用式(7)计算得 $Q_m=36.6\text{m}^3/\text{s}$ 。

#### 4.3 改进的推理公式法推求设计洪水

(1)设计降雨查算。根据气象站降雨资料计算得该流域 $P=1\%$ 时最大24h点雨量 $h_{24}=121\text{mm}$ ,查土耳其雨型分布图可得厂址区域属于A类雨型,相应各时段降雨分配系数填入表3中(1)栏,进而求得设计降雨24h的逐时时程分配和各时段设计累积降雨量如表3中(2)栏和(3)栏。

(2)设计24h净雨过程计算。根据各时段设计累积降雨量,采用式(2)可计算出各时段的累积径流深和平均径流深如表3(4)栏和(5)栏。

(3)设计洪峰流量计算。已知 $A=37.2\text{km}^2$ , $L=14.7\text{km}$ , $J=0.0272$ ,根据流域形状和下垫面条件取 $m=1.1$ ;采用式(5)计算相应不同时段洪峰流量 $Q_i$ 如表3中(6)栏,可绘制 $Q_i\sim t$ 曲线;以 $Q_i$ 作为 $Q_\tau$ 采用式(6)计算出相应的汇流时间 $\tau$ 如表3中(7)栏,可绘制 $Q_\tau\sim\tau$ 曲线;采用图解法可求得 $\tau=5.00\text{h}$ , $P=1\%$ 设计洪峰流量为 $Q_m=37.4\text{m}^3/\text{s}$ 。

#### 4.4 设计洪水计算结果比较

比较3种方法的计算结果,两种推理公式法的计算结果略小于DSI synthetic method方法,水科院推理公式法和DSI synthetic method方法设计洪峰流量的计算结果相差10.07%,改进的推理公式法和DSI synthetic method方法计算结果相差8.1%,三种方法的计算结果相差不大。

水科院推理公式法根据地区24h降雨及对应的产流量计算出平均下渗率为 $5.18\text{mm/h}$ ,在此基础上分析得出流域汇流形式为部分汇流,最终计算出流域 $P=1\%$ 设计洪峰流量为 $36.6\text{m}^3/\text{s}$ 。水科院推理公式法的基本假设是认为降雨强度在汇流时间内是均匀的且只有流域平均降雨强度大于地面平均入渗能力的情况下才产生径流,然而事实上降雨强度和入渗能力不是均匀的,该假设只有在降雨历时不大、流域面积不大时才能更好符合<sup>[9]</sup>。通过对本工程流域不同时段降雨径流关系分析可以发现,根据式(2)可得当降雨量超过 $19.8\text{mm}$ 即产生径流,且随着降雨时段的增长该流域平均下渗率不断下降;对于本流域产流历时小

表3 推理公式法推求设计洪峰流量计算过程表

Table3 The reasoning formula method calculation for determining the design flood

时程 /h	累积降雨分配百 分比	降雨过程 /mm	累积降雨 $h_y$ /mm	累积径流深 $h_x$ /mm	平均径流深 /mm	洪峰流量 $Q_i$ (或 $Q_\tau$ ) / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	汇流时间 $\tau$ /h
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.26	31.5	31.5	1.2	1.24	12.8	6.53
2	0.38	14.5	46.0	5.5	2.75	28.4	5.35
3	0.47	10.9	56.9	10.1	3.38	34.9	5.08
4	0.545	9.1	65.9	14.7	3.68	38.0	4.97
5	0.595	6.0	72.0	18.1	3.61	37.4	5.00
6	0.635	4.8	76.8	20.9	3.48	36.0	5.04
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
23	0.99	1.2	119.8	50.3	2.19	22.6	5.66
24	1	1.2	121.0	51.2	2.13	22.1	5.70

于 24h, 因此产流历时内的实际下渗率应大于 24h 降雨对应的平均下渗率。此时采用 24h 降雨对应的平均下渗率计算出的产流时间可能偏大, 导致该方法计算结果产生偏差。因此, 水科院推理公式法应用于土耳其设计洪水计算时的关键是确定合理的平均下渗率。

改进的推理公式法采用当地设计降雨量和设计降雨过程, 依据当地下垫面条件选用 SCS 模型进行产流计算; 与 DSI synthetic method 所不同的是, DSI synthetic method 汇流计算采用河道汇流单位线法, 而改进的推理公式法采用推理公式法经过概化后的汇流模型, 两种方法的差异主要在产流的处理和汇流模型上。改进的推理公式法与 DSI synthetic method 计算结果接近, 这也说明本文采用改进推理公式法进行土耳其小流域设计洪水计算是可行的。

从推理公式法在本工程中的应用结果可以看出, 若采用能够反映当地降雨规律的暴雨参数和反映当地降雨-径流关系的产流模型, 可以采用推理公式法进行本工程设计洪峰流量计算。由于 DSI synthetic method 是土耳其常用的设计洪水计算方法, 且该方法计算结果偏于安全, 从工程安全角度推荐采用该方法的计算结果作为设计洪峰流量最终成果。

## 5 结论

随着涉外工程的增多, 水文工作遇到了越来越多的小流域洪水计算问题, 且多为无资料地区, 探讨我国常用的推理公式法应用于国外小流域洪水计算非常必要。本文将两类推理公式法和土耳其设计洪水计算方法 DSI Synthetic Method 进行比较, 在此基础上将土耳其的降雨径流特点与推理公式法汇流方法相结合, 应用于土耳其小流域设计洪水计算, 并将计算结果与 DSI Synthetic Method 计算成果进行比较。分析研究表明推理公式法在设计降雨处理、流域产流、流域汇流等方面均与 DSI Synthetic Method 有所不同。将两类推理公式法应用于土耳其设计洪水计算时, 水科院推理公式法计算的关键是下渗参数不易确定; 改进的推理公式法能够将土耳其的设计降雨、产流规律和推理公式法的汇流模型相结合, 设计洪峰流量计算成果能够符合当地实际情况。本文将推理公式法应用于土耳其设计洪水计算的分析过程和计算结果令人满意, 可以为国内外其它工程小流域设计洪水计算提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] 许轶. 涉外电力工程水文气象工作方法简析 [A]. 2012 年电力工程勘测水文气象专业经验交流论文集 [C]. 2012:119-123. (XUYI. Hydrometeorological working methods of foreign power engineering analysis [A]. Proceedings of Power Engineering Survey Hydrometeorological Experience Meeting in 2012 [C]. 2012:119-123. (in Chinese))
- [2] 岳华, 刘发明, 颜真梅. 用暴雨资料推求中小河流洪峰流量的方法研究 [J]. 四川大学学报(工程科学版), 2012, 44(4):39-44. (YUE Hua, LIU Faming, YAN Zhenmei. Approaches to estimate peak discharges by rainfall in small to medium scale river basins [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science), 2012, 44(4):39-44. (in Chinese))
- [3] 钱群, 冉启华. 龙门山区小流域降雨产流数值模拟研究 [J]. 水利学报, 2012, 43(S2):35-40. (QIAN Qun, RAN Qihua. Numerical simulation of rainfall-runoff in Longmen mountain watershed [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(S2):35-40. (in Chinese))
- [4] 陈家琦. 论现行小汇水面积雨洪最大流量计算方法 [J]. 水利学报, 1957, 2(1):1-28. (CHEN Jiaqi. Discuss existing maximum flow calculation method about small watershed rainfall flood [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1957, 2(1):1-28. (in Chinese))
- [5] 陈家琦, 张恭肃. 小流域暴雨洪水计算 [M]. 北京: 水利水电出版社, 1985. (CHEN Jiaqi, ZHANG Gongsu. Design Flood Calculation of Small Watershed [M]. Beijing: Waterpower Press, 1985. (in Chinese))
- [6] 中国电力规划设计协会. 电力工程水文气象计算手册 [M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2011. (China Electric Power Planning Design Association. Handbook of Power Engineering Hydrometeorological Computing [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2011. (in Chinese))
- [7] 江西省水文局. 江西省暴雨洪水查算手册 [R]. 2010. (Hydrology Bureau of Jiangxi Province. Handbook of Jiangxi storm flood computing [R]. 2010. (in Chinese))
- [8] DSI. MÜHENDİSLİK İHİDROLOJİSİ HİZMETLERİ TEKNİK ŞARTNAMESİ [Z]. (in Turkish)
- [9] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü. Karayolu tasarımı el kitabı [Z]. 2005. (in Turkish)
- [10] Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays. Applied Hydrology [M]. McGraw-Hill Book Company, 1988.
- [11] 王红雷, 王秀茹, 王希. 利用 SCS-CN 方法估算流域可收集雨水资源量 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(12):86-91. (WANG Honglei, WANG Xiuru, WANG Xi. SCS-CN-based approach for estimating collectable rainwater in watershed-scale [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(12): 86-91. (in Chinese))
- [12] 王国安, 贺顺德, 李荣容, 等. 论推理公式的基本原理和适用条件 [J]. 人民黄河, 2010, 32(12):1-4. (WANG Guoan, HE Shunde, LI Ronrong. On basic principle and applicable conditions of reasoning formula [J]. Yellow River, 2010, 32(12):1-4. (in Chinese))

(下转第 6 页)

- 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.