

刘传铭, 陈兴伟, 吴杰峰. HEC-HMS 水文模型参数初损率和波速率定的循环渐近法[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 219-223. [LIU Chuanming, CHEN Xingwei and WU Jiefeng. Approximate Circulating Method for the Parameters Calibration of HEC-HMS [J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(4): 219-223. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.04.037.]

HEC-HMS 水文模型参数初损率和波速率定的 循环渐近法*

刘传铭¹, 陈兴伟^{1,2,3}, 吴杰峰¹

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福建福州 350007; 2. 福建省陆地灾害监测评估工程技术研究中心, 福建福州 350007; 3. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福建福州 350007)

摘要: 初损率(λ)和波速(V)是 HEC-HMS 洪水模型的两个关键参数, 其率定对于提高水文模型的模拟精度具有重要意义。针对这两个参数的特点, 提出对其率定的循环渐近法, 以福建晋江西溪流域为例, 率定相应参数, 构建 HEC-HMS 洪水模型。结果表明: ①循环渐近法可以较好地率定初损率和波速, 参数率定结果合理, 模型模拟精度整体较高; ②起涨流量与初损率密切相关, 起涨流量越大, 初损率就越小; 降雨强度对洪水波波速具有显著影响, 降雨强度越大, 波速也越大; 这两组经验关系的建立有助于拓展模型在洪水预报等工作中的应用。

关键词: 参数率定; 循环渐近法; 洪水; HEC-HMS; 西溪流域

中图分类号: X43; TV122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)04-0219-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.04.037

洪水是指由于降水或冰雪融化, 大量径流汇入河道, 导致水量激增, 水位快速上涨的现象^[1]。我国洪水类型较多, 以暴雨洪水最为常见^[2]。水文模型模拟是进行暴雨洪水研究的常用手段, 目前常见的洪水模型主要有 TOPMODEL 模型、HEC 模型、TOPKAPI 模型、LL-II 模型等, 其中 HEC-HMS 模型在洪水模拟研究中得到广泛的应用^[3-4]。在运用 HEC-HMS 进行流域洪水模拟过程中, 敏感参数的识别及率定是影响模型模拟效果的关键因素。通过对 HEC-HMS 模型进行参数敏感性分析, Sardoii 等^[5]确认 CN、蓄量常数(K)、初损和流域滞时为模型敏感性参数。陈芬等^[6]等的研究也得出与 Sardoii 等类似的结论。张建军等^[7]认为参数 CN 对洪峰流量和洪量敏感, 洪峰滞时对峰现时间为一般敏感。上述研究表明, CN、蓄量常数(K)、初损和流域滞时为主要敏感参数, 其中 CN 可通过美国农业部提供的 CN 值查算表查算得到^[1], 流域滞时可通过嵌套于 Arcgis 平台中 HEC-GeoHMS 模块计算得到。因此, 初损和蓄量常数(K)成为影响模型率定的两个关键参数。初损是指降雨开始至产流时刻这个时段内的雨量累积值^[8], 而 K 值等于河道长度与洪水波波速(V)的

比^[9]。由于各子流域的初损值和各段河道的 K 值都不一样, 为方便计算和率定, 通常可对初损率(λ)和洪水波速(V)进行率定。

针对这两个关键参数的率定, 主要方法有两种, 一是基于目标函数的自动率定法。如邓霞等^[10]采用模型参数自动率定的方式, 探讨了 4 种不同目标函数对 HEC-HMS 模型模拟结果的影响, 结果表明采用峰值加权均方根误差函数得到的模拟效果最好。陈莹等^[11]采用 Nelder-Mead 法率定了初损, 但并未详述对 K 值的率定。自动率定法虽然具有简单方便的特点, 但是该法容易使参数的物理意义模糊化。

二是试错率定法。在采用试错法进行 λ 和 V 的率定时, 主要的做法是变化 λ 或 V 中的某一个, 另一个则固定不变。如丁杰等^[12]在进行模型率定时, 初损值取值为洪水开始当天的土壤含水量, K 值则固定为 1 h。林峰等^[13]在固定 λ 等参数不变的条件下, 对蓄量常数(K)进行了率定, 最后得到了适用于 15 min 时间步长径流过程模拟的 K 值。Lin 等^[8]将波速固定为 3 m/s, 并变化初损, 模拟洪水过程线与实测洪水过程线拟合的较好。这些研究虽然都得到了较好的模型模拟效果, 但是固定 λ 或 V 的做法,

* 收稿日期: 2017-04-18 修回日期: 2017-05-31

基金项目: 福建省高校产学研合作科技重大项目(2015Y4002)

第一作者简介: 刘传铭(1991-), 男, 江西赣州人, 硕士研究生, 研究方向为水文水资源. E-mail: 18720189983@163.com

通讯作者: 陈兴伟(1963-), 男, 福建福州人, 博士, 教授, 研究方向为水文水资源与水环境研究. E-mail: cxwchen215@163.com

忽视了下垫面特征和降雨特征等因素对 λ 和 V 的影响,无法客观反映 λ 和 V 的物理意义。

为此,本文根据 λ 和 V 的物理意义,提出两者率定的循环渐近法,并以福建晋江西溪流域为例,对这两个重要参数进行率定,构建高精度的 HEC-HMS 洪水模型。

1 研究区概况与数据

1.1 研究区概况

西溪位于福建省东南部的泉州市,为晋江水系正源,河流全长 145 km,流域面积 3 101 km²。西溪流域地处亚热带海洋性季风气候区,年平均气温为 19.5~21.0℃,年降雨量在 1 200~1 900 mm 之间,且季节变化明显,超过 60% 的降雨集中在 5~8 月份^[14];该区地貌以山地为主,河流深切,地势起伏大,整体自西北向东南倾斜^[15]。西溪属于典型的山区性河流,河道落差大,河水暴涨暴落,汛期多暴雨,容易诱发山洪、滑坡、泥石流等灾害。土地利用类型以林地为主,其次是园地、耕地、建设用地等。本文选取安溪水文站(25°03'N, 118°11'E)控制的流域为研究区,集水面积为 2 466 km² 见(图 1)。



图 1 研究区概况图

1.2 数据

数据由空间数据和水文气象数据两部分组成。空间数据包括西溪流域 DEM、土壤数据和 2006 年土地利用数据。流域 DEM 从“中国科学院国际科学数据服务平台”获取,分辨率为 30 m。2006 土地利用数据由 Landsat TM 遥感影像解译得到。土壤数据通过对福建省土壤肥料实验站绘制的 1:50 万土壤类型图进行数字化得到。水文气象数据包括

西溪流域 1991-2010 年历年最大一次洪水逐时观测数据和 16 个雨量站同期观测数据。

2 研究方法

2.1 HEC-HMS 水文模型及其主要参数

HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) 模型是美国陆军兵团 (Hydrologic Engineering Center of US Army Corps of Engineer) 水文中心开发的水文模型^[16],主要由流域、气象、控制和时间序列数据 4 个模块组成;模型考虑了流域下垫面的时空变化特征,根据流域地形特征和水系特征将流域划分为若干子流域,并依次计算各子流域的产流、坡面汇流和河道汇流,最后演算到流域出口断面^[10]。

HEC-HMS 模型的敏感参数主要有 CN (Curve Number)、初损 (Initial abstraction)、流域滞时 (Lag time) 和蓄量常数 (K) 等^[5,8]。 CN 反映了降雨前期流域综合特征,它与土地利用类型、土壤类型和降雨前期土壤含水量等有关,可根据美国农业部提供的 CN 值查算表查算得到^[1]。初损是指降雨开始至径流产生这个时段内,截留、下渗、蒸发等损耗的所有雨量。初损值不易求取,为了方便计算和率定,引入初损率 (λ),其定义为初损值与流域降雨潜在最大损失量之比 ($0 < \lambda < 1$)^[1]。

$$I_a = \lambda \cdot S. \quad (1)$$

式中: I_a 为初损, λ 为初损率, S 为流域降雨潜在最大损失量, S 值通常由 CN 计算而得,计算方法为:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254. \quad (2)$$

蓄量常数 (K) 是 Muskingum 法中的核心参数,主要影响洪峰流量和峰现时间。 K 值可通过公式 (3) 计算得到。

$$K = \frac{L}{V \times 3600}. \quad (3)$$

式中: K 为蓄量常数,也即相应蓄量下恒定流的河段传播时间,随恒定流的大小变化而变化^[8-9]。 L 为河道长度, V 为洪水运动波波速。

2.2 西溪流域 HEC-HMS 模型构建

将流域划分为 34 个子流域,以 10 min 为时间步长,运用距离平方倒数法计算流域面平均雨量,SCS 曲线数法计算径流量和损失量,SCS 单位过程线模型模拟直接径流过程,指数退水法计算基流, Muskingum 法进行河道洪水演算。基于 2006 年土地利用数据和 1991-2010 年历年最大暴雨洪水资料,对模型进行参数率定与验证,其中,1991-2004 年为率定期,2005-2010 年为验证期。以洪峰流量 (REP) 和洪量相对误差 (REV)、效率系数 (Ens) 及峰现时差等作为模拟精度评价指标。

表 1 19910625 场次洪水循环渐近法简要操作流程及结果

(λ_0, V_0)			(λ_1, V_1)			(λ_2, V_2)			.....	(λ_i, V_i)		
$(\lambda = 0.2, V = 3\text{m/s})$			$(\lambda = 0.2, V = 4.5\text{m/s})$			$(\lambda = 0.25, V = 4.5\text{m/s})$			.....	$(\lambda = 0.275, V = 6.35\text{m/s})$		
REP	REF	RET	REP	REF	RET	REP	REF	RET	.....	REP	REF	RET
1.40%	14.91%	70min	11.21%	14.82%	50min	4.34%	9.94%	50min	.....	6.56%	7.47%	30min

$$REP = \frac{Q_{sim} - Q_{obv}}{Q_{obv}} \times 100\%; \quad (4)$$

$$REV = \frac{V_{sim} - V_{obv}}{V_{obv}} \times 100\%; \quad (5)$$

$$Ens = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obv} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obv} - Q_{avg})^2} \quad (6)$$

式中: Q_{sim} 和 Q_{obv} 分别为洪峰流量模拟值和实测值, V_{sim} 和 V_{obv} 分别为洪量模拟值和实测值, Q_{avg} 为模拟期观测流量平均值, E_{ns} 为效率系数。

2.3 参数 λ 和 V 率定的循环渐近法

如前所述, 由于下垫面条件和降水特征的不同, 各场次暴雨洪水的 λ 值和 V 值一般也不相同。从模型率定实践中发现, 如果同时变化 λ 和 V , 既不易得到合适的 λ 和 V , 也无法了解 λ 和 V 各自对模型模拟结果的影响。而相关研究^[5,8]表明, λ 和 V 都对洪峰流量有重要影响, 且 V 是峰现时间的敏感参数。因此, 根据 λ 和 V 的特点, 在率定过程中, 可以先固定 λ , 变化 V , 使峰现时间的模拟值较好地接近实测值, 从而得到 V_1 。然后保持 V_1 不变, 变化 λ , 使洪峰流量和洪量模拟值尽可能接近实测值, 从而得到 λ_1 。若此次循环不能满足率定结果的要求, 则可重复上述步骤, 固定 λ_1 , 变化 V_1 , 进而得到更为合理的 V_2 , 如此循环, 使模型模拟结果更接近目标值。相应地, λ 和 V 也逐渐达到合理的取值。这种方法可称为循环渐近法。

3 结果与分析

采用循环渐近法, 对 1991-2004 年共 14 场年最大洪水进行了率定。以 19910625 场次洪水为例, 将循环渐近法的率定过程及结果列于表 1。从表 1 可看出, 从 (λ_0, V_0) 到 (λ_1, V_1) 再到 (λ_i, V_i) , 模拟误差逐渐减小, 模型模拟精度逐渐提高, 说明率定得到的参数趋于合理, 循环渐近法适用于 λ 和 V 的率定。

同样采用上述方法, 对其余 13 场洪水进行了率定。1991-2004 年共 14 场年最大洪水的率定结果如表 2 所示。率定期只有 19920708、19981017、20000618 等 3 场洪峰流量相对误差大于 10%, 其余 11 场均小于 10%, 洪峰流量相对误差绝对平均值仅为 8.45%; 洪量相对误差最大为 -26.95%, 最小为 -2.93%, 相对误差大于 20% 的仅有 19960802、20010706 等 2 场洪水, 这 14 场洪水洪

量相对误差绝对平均值为 12.91%; 1996、1999-2002 共 4 个年份最大洪水峰现时差为 40 min, 其余场次洪水峰现时差均未超过 30 min, 峰现时差绝对平均值为 24.29 min; 效率系数最高为 0.948, 最低为 0.657, 效率系数平均值达到了 0.857, 且仅有 19920708 和 19960802 两场洪水模拟效率系数小于 0.8。19920708 场次洪水模拟效率系数仅为 0.657, 是因为该场洪水为多峰洪水, 洪水过程线较复杂, 导致模拟效果较差。总体上看, 率定期 14 场洪水模拟效果较好, 说明采用循环渐近法能较好地率定 λ 和 V , 从而构建合理的模型。与固定 λ 或 V , 单独率定其中一个的做法相比, 循环渐近法率定得到的 λ 和 V 的物理意义更明确。

参照文献[8]的方法, 并改进起涨流量的计算, 取起涨时刻前 24 h 径流量平均值为起涨流量, 将率定期 14 场洪水的 λ 值与对应的起涨流量进行相关, 结果如图 2 实线所示(实心点和实线表示率定期), 图 2 中曲线为幂函数拟合, 结果为:

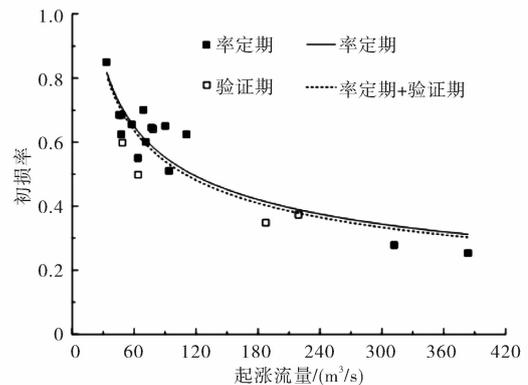


图 2 起涨流量与初损率的关系

$$\gamma = 4.4229F^{-0.468}, \quad (R^2 = 0.8752; n = 14) \quad (7)$$

式中: λ 为初损率, F 为起涨流量 (m^3/s), n 为洪水场次数。

图 2 表明, λ 与起涨流量密切相关, 整体上随起涨流量增加而减小。起涨流量在一定程度上反映了洪水事件前期流域土壤的含水量状况和河道水量状况, 起涨流量越大, 意味着流域降雨前期土壤含水量越高, 根系吸收、土壤下渗等造成降雨损失量越小, λ 值也越小; 反之, 起涨流量越小, 则说明流域降雨前期土壤越干燥, 根系吸收、土壤下渗等消耗的水分就越多, λ 值也越大。起涨流量是洪水过程线中洪水上涨时刻对应的流量, 但是该时刻的选取具有不确定性, 其对应的流量也未必能够反映河道水量状况; 而起涨时刻前 24 h

表 2 HEC-HMS 模型参数率定与验证结果

率定期或验证期	洪水场次	洪峰流量/(m ³ /s)			洪量/mm			峰现时差/min	效率系数 Nash
		模拟	实测	相对误差/%	模拟	实测	相对误差/%		
率定期	19910625	2592.8	2440	6.26	63.45	59.04	7.47	30	0.927
	19920708	1870	1630	14.72	76.26	93.86	-18.75	10	0.657
	19930609	2037.7	2020	0.88	56.28	57.98	-2.93	0	0.948
	19940805	3051.2	2860	6.69	141.08	160.09	-11.87	30	0.925
	19950801	2248.8	2055	9.43	66.4	76.94	-13.70	30	0.808
	19960802	3064.3	2800	9.44	66.44	86.51	-23.20	40	0.772
	19970803	3120.2	2980	4.70	101.15	107.58	-5.98	-30	0.931
	19981017	1863.6	1650	12.95	79.35	87.41	-9.22	20	0.821
	19991009	4812.2	4440	8.38	81.66	91.17	-10.43	0	0.924
	20000618	4096	3600	13.78	133.69	151.41	-11.70	40	0.87
	20010706	1841.2	1690	8.95	53.88	73.76	-26.95	40	0.813
	20020806	3789.7	3470	9.21	81.98	94	-12.79	40	0.869
	20030821	1912.3	1760	8.65	52.19	58.61	-10.95	30	0.833
	20040826	1158.3	1060	9.27	25.71	27.81	-7.55	0	0.905
绝对平均			8.45			12.91	24.29	0.857	
验证期	20050814	4021.1	2940	36.77	102.42	105.76	-3.16	30	0.59
	20060717	4176.5	3700	12.88	170.8	173.44	-1.52	0	0.924
	20070815	2259.1	2070	9.14	35.68	42.36	-15.77	0	0.817
	20081006	785.1	815	-3.67	21.97	28.94	-24.08	30	0.805
	20090714	1072.2	1100	-2.53	19.88	23.53	-15.51	-10	0.867
	20100612	3145	2860	9.97	59.9	58.23	2.87	-10	0.932
	绝对平均			7.63			11.95	10	0.869

的径流量平均值则是一个相对稳定的流量值，它能够在一定程度上反映河道中的水量状况，以该流量值为起涨流量，可避免上述因素给模型模拟带来的不利影响。因此，相比于 Lin 等^[8]用起涨时刻对应流量与初损率建立的经验关系，本研究建立的 λ 与起涨流量的经验关系受人为主观因素和数据偶然性的影响较小，可信度更高。

相似的，从降雨径流过程来看，暴雨强度的大小影响流域的汇流过程，包括洪水波的演进，也即 V 的大小与暴雨强度密切相关。所以，将率定期 14 场洪水的 V 值与最大 1 h 雨强进行相关，结果如图 3 实线所示（实心点和实线表示率定期），图 3 中曲线为幂函数拟合，结果为：

$$V = 0.0609X^{1.5105}, (R^2 = 0.8039; n = 14)。 (8)$$

式中： V 为波速 (m/s)， X 为最大 1 h 雨强 (mm/h)， n 同式 (7)。

图 3 表明， V 受降雨强度影响较大，整体上随最大 1 h 雨强增加而增加。最大 1 h 雨强越大，汇流速度越快，河道中水量汇集的速度和规模随之上升，导致洪水演进速度加快；反之，最大 1 h 雨强越小，汇流速度越慢， V 值也相对较小。

为了验证模型参数率定结果和两组经验关系的适用性，以 2005 - 2010 年为验证期，通过这两个公式计算得到 λ 和 V ，并转化为初损值和 K 值作为参数输入，以洪峰流量相对误差、洪量相对误

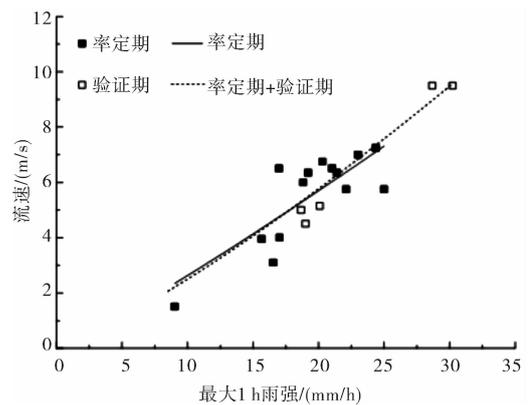


图 3 最大 1 h 雨强与波速的关系

差、峰现时差和 Nash 效率系数等指标来评价模拟效果，结果一并汇入表 1。20050814 场次洪水模拟结果较差可能与实测数据合理与否有关，所以该场次洪水不参与各项指标相对误差绝对平均值的计算。由表 1 可知，验证期其余 5 场洪水洪峰流量相对误差最大为 12.88%，最小为 2.53%，相对误差绝对平均值仅为 7.63%，且仅有 20060717 场次洪水洪峰流量相对误差大于 10%；洪量相对误差最大为 -24.08%，最小为 -1.52%，相对误差绝对平均值为 11.95%，除 20081006 场次洪水外，其余 4 场洪水洪量相对误差均未超过 20%；这 5 场洪水峰现时差绝对平均值为 10min，效率系数均

大于 0.8, 其平均值为 0.869。这说明通过 λ 与起涨流量、 V 与最大 1 h 雨强这两组经验关系计算得到的初损值和 K 值的模拟效果较为理想, 进一步证明循环渐近法可以较好地率定 λ 和 V 。

将验证期的 λ 和 V 结果与率定期一起进行回归, 得到如下结果:

$$\lambda = 3.9962F^{-0.499}, (R^2 = 0.8459; n = 19); (9)$$

$$V = 0.0701X^{1.4537}, (R^2 = 0.8318; n = 19)。 (10)$$

从式(9)和式(10), 以及图 2 和图 3 可看出, 模型率定和验证得到的 19 场洪水 λ 和 V 值, 分别与起涨流量和最大 1 h 雨强构建的经验关系, 相关性较好, 可信度较高, 可用于今后模型的相关应用。

4 结论

(1) 本文提出的 HEC-HMS 模型初损率和波速这两个关键参数率定的循环渐近法, 应用于晋江西流域的结果表明, 参数结果合理, 模型模拟效果整体上较好, 表明该方法是对 HEC-HMS 模型率定方法的重要改进。

(2) 将模型率定得到的初损率、波速, 分别与起涨流量和最大 1 h 雨强进行相关, 建立的两组经验关系, 有助于拓展模型在洪水预报等工作中的应用。

参考文献:

- [1] 魏永霞, 王丽学, 郭忠, 等. 工程水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [2] 刘玉邦, 梁川. 基于天气成因和主成分投影分析的暴雨洪水分级研究[J]. 水利学报, 2011, 42(1): 98-104.
- [3] Yusop Z, CHAN C H, Katimon A. Runoff characteristics and application of HEC-HMS for modeling stormflow hydrograph in an oil palm catchment [J]. Water Sci. Technol. 2007, 56(8): 41-48.
- [4] Rahajeng E. Application HEC-HMS to predict hydrograph(case study in Lebak Petal Sub Basin) [C]// In: AFITA 2010 International Conference, The Quality Information for Competitive Agricultural Based Production System and Commerce (W. Astika & R. M. Sampurno, eds). Bogor Agriculture University Press, Bogor, West Java, Indonesia, 2010: 372-378.
- [5] Sardoi E R, Rostami N, Sigaroudi S K, et al. Calibration of loss estimation methods in HEC-HMS for simulation of surface runoff (case study: Amirkabir Damwatershed, Iran) [J]. Adv. Environ. Biol. 2012, 6(1): 343-384.
- [6] 陈芬, 陈兴伟, 谢剑斌. HEC-HMS 模型次洪模拟的参数敏感性分析及应用[J]. 水资源工程学报, 2012, 23(5): 118-122.
- [7] 张建军, 纳磊, 张波. HEC-HMS 分布式水文模型在黄土高原小流域的可应用性[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(3): 52-57.
- [8] LIN M S, CHEN X W, CHEN Y, et al. Improving calibration of two key parameters in Hydrologic Engineering Center hydrologic modeling system, and analyzing the influence of initial loss on flood peak flows [J]. Water Science and Technology, 2013, 68(12): 2718-2724.
- [9] 董晓华, 刘冀, 徐刚, 等. 目标函数对马斯京根法河道流量演算精度的影响[J]. 水文, 2009, 29(6): 9-13.
- [10] 邓霞, 董晓华, 薄会娟. 目标函数对 HEC-HMS 模型参数率定的影响研究[J]. 水电能源科学, 2010, 28(8): 17-19.
- [11] 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.
- [12] 丁杰, 李致家, 郭元, 等. 利用 HEC 模型分析下垫面变化对洪水的影响——以伊河东湾流域为例[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 463-468.
- [13] 林峰, 陈莹, 陈兴伟, 等. 基于 HEC-HMS 模型的时间步长对次洪模拟的影响分析[J]. 山地学报, 2011, 29(1): 50-54.
- [14] 鹿世瑾, 王岩. 福建气候[M]. 北京: 中国气象出版社, 2012.
- [15] 赵昭炳, 陈佳源. 福建省地理[M]. 福州: 福建人民出版社, 1993.
- [16] US Army Corps of Engineers, USACE HEC-HMS User's Guide and Utility Manuals [M]. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA. 2000.

Approximate Circulating Method for the Parameters Calibration of HEC-HMS

LIU Chuanming¹, CHEN Xingwei^{1, 2, 3} and WU Jiefeng¹

(1. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. Fujian Province Engineering Research Center for Monitoring and Assessing Terrestrial Disasters, Fuzhou 350007, China; 3. State Key Laboratory Breeding Base of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Initial abstraction ratio and flood wave velocity are two key parameters in HEC-HMS model. Their values determined reasonably during the calibration are of great significance to improve the simulation accuracy of the model. Approximate circulating method is proposed and Xixi watershed is selected as a study area to set up the HEC-HMS model. Results showed that: (1) Values of initial abstraction ratio and flood wave velocity were properly determined and the accuracy of the model is high with the application of Approximate Circulating method in the calibration of the model. (2) Regression analysis indicated that the initial abstraction ratio was closely related to the initial discharge and flood wave velocity was depending on rainfall intensity. The establishment of two empirical formulas is helpful for the model's application in flood forecast.

Key words: parameter calibration; approximate circulating method; flood; HEC-HMS; Xixi watershed