

基于 HEC-HMS 的青狮潭水库入库洪水预报研究

张静^{1,2}, 杨明祥², 雷晓辉², 梁籍¹, 杨宁³

(1. 华中科技大学 水电与数字化工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国水利水电科学研究院
流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038; 3. 黄河水利委员会信息中心, 河南 郑州 450004)

摘要: [目的] 构建青狮潭水库入库洪水预报模型, 为实际预报业务提供参考, 也可以为桂林市上游地区无资料地区水文气象规律研究提供支撑。[方法] HEC-HMS 是一个包含多个产汇流模型的水文模型系统, 适用于不同地区的水文问题分析和计算, 广泛运用于洪水预报、防灾减灾等方面。利用该模型对桂林市青狮潭水库上游流域进行水文建模, 模拟流域发生暴雨时青狮潭水库的入库洪水过程, 以此作为研究洪水预报依据。[结果] 通过研究发现 HEC-HMS 模型模拟的结果平均确定性系数达到 0.88, 洪峰流量和峰现时间误差均达到乙级预报标准。[结论] HEC-HMS 模型在青狮潭流域适用性较好, 可以用于青狮潭水库入库洪水预报。

关键词: HEC-HMS; 青狮潭水库; 洪水

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2017)04-0225-05

中图分类号: TV124

文献参数: 张静, 杨明祥, 雷晓辉, 等. 基于 HEC-HMS 的青狮潭水库入库洪水预报研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 225-229. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.038; Zhang Jing, Yang Mingxiang, Lei Xiaohui, et al. Flood forecasting research in Qingshitian Reservoir based on HEC-HMS model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4): 225-229. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.038

Flood Forecasting Research in Qingshitian Reservoir Based on HEC-HMS Model

ZHANG Jing^{1,2}, YANG Mingxiang², LEI Xiaohui², LIANG Ji¹, YANG Ning³

(1. School of Hydropower and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 3. Information Center of the Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou, He'nan 450004, China)

Abstract: [Objective] Constructing a flood forecast model of Qingshitian Reservoir to provide a reference for actual forecasting business, and also to provide support for the study of hydrological and meteorological laws in the area, e. g., Guilin City, where information in the upper reaches is lacked. [Methods] HEC-HMS (hydrologic engineering center and hydrologic modeling system) is a hydrological model system with multiple production and distribution modules. It is suitable for the analysis and calculation of hydrological problems in different areas. It is widely used in flood forecasting, disaster prevention and mitigation. This model was used in hydrological modeling of the upper reaches of Qingshitian Reservoir in Guilin City, to simulate the flooding process of Qingshitian Reservoir in the event of heavy rainstorm in the watershed as a basis for flood forecasting. [Results] The average deterministic coefficient of HEC-HMS model was found to be 0.88 by the study. The peak flow rate and peak current error all reached Grade B prediction criteria. [Conclusion] The HEC-HMS model is suitable for the Qingshitian basin and can be used for the flood forecasting of the Qingshitian Reservoir.

Keywords: HEC-HMS; Qingshitian Reservoir; flood

青狮潭水库位于广西壮族自治区桂林市灵川县西北部, 漓江支流甘棠江上。是一座以防洪发电、灌溉和漓江生态补水为主的大(2)型水库。库区面积 474 km², 灌溉面积 2.92 × 10⁴ hm², 水库总库容为

6.0 × 10⁸ m³。如图 1 所示, 青狮潭流域西北高, 东南低, 属于亚热带季风气候, 汛期降雨充沛, 该地区也是华南地区的暴雨中心之一^[1], 每年的 5—7 月为暴雨高发期, 极易引发洪水。位于青狮潭水库下游的桂林

收稿日期: 2016-12-28

修回日期: 2017-02-21

资助项目: 广西壮族自治区水利厅“桂林市防洪及漓江补水水库群生态调度技术研究”(GXZC2016-G3-2344-JHZJ); “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0402201-01; 2016YFC0401903); 南水北调中线干线工程应急运行集散控制技术研究与示范项目(2015BAB07B03)

第一作者: 张静(1990—), 男(汉族), 重庆市人, 硕士研究生, 研究方向为水信息化。E-mail: linuxing@yeah.net。

通讯作者: 杨明祥(1986—), 男(汉族), 河南省获嘉县人, 博士, 工程师, 主要从事气象水文方面的研究。E-mail: 376246117@qq.com。

市,以其秀美的漓江风光而闻名于世,每年汛期恰逢漓江旅游旺季,数以万计的游客纷至沓来,考虑到桂林市作为旅游城市,为了生态景观不宜修筑高坝,且桂林上游的漓江流域已有水文站点较少,实测水文资料不足,所以洪水预报对于此地区的防洪预警至关重要,因此,研究青狮潭水库入库洪水过程,有助于水库管理部门合理调度,也对下游桂林地区的防汛工作和漓江上游水文规律研究都有着十分重要的指导意义。HEC-HMS(hydrologic engineering center and hydrologic modeling system)模型是由美国陆军工程师团水文工程中心开发的水文建模系统计算机程序。该程序可以模拟自然或人工状态下流域降雨—径流及洪水演进过程^[2],属于半分布式水文模型,采用模块化操作方式,通过设置流域模型、气象模型、控制运行模块和时间序列模块,选择不同降雨损失方案、产汇流模型来计算降雨和径流。HEC-HMS 模型在国外已有较多应用^[3-5],针对该模型在无资料地区的应用,Gumindoga和 Rwasoka 等^[6]利用结合了遥感数据和 GIS 技术的 HEC-HMS 模型对津巴布韦 Manyame 流域径流进行了模拟,并利用有资料子流域模型外推无资料子流域的径流情况,研究发现 HEC-HMS 模型对流域的径流模拟具有较好的适应性,模型参数的移置可用性较好,对该流域的水资源管理和利用有显著的贡献。在国内,针对模型与 GIS 技术的结合运用,雍斌等^[7]在汉江襄河流域进行了降雨径流模拟,结果表明结合 GIS 技术的 HEC-HMS 模型对中国半湿润山区的次洪模拟具有较好的适应性,刘洋等^[8]在洮水南支小流域应用中发现 HEC-HMS 是可以适用于中国的山区小流域,在模拟降雨径流和洪水预报过程中,均能发挥实际作用;王力等^[9]在南水北调东线工程沿线地区进行运用研究表明 HEC-HMS 模型计算结果与观测流量有较好的拟合效果,能为东线工程的水资源调度决策提供区间来水模拟预报。目前,国内对青狮潭水库入库洪水预报的研究还较少,特别是针对 HEC-HMS 模型在青狮潭流域的应用研究还未见报道。因此,基于 HEC-HMS 构建青狮潭水库入库洪水预报模型,分析其适用性与可靠性,能够为实际预报业务提供重要参考,工程实际意义较大,也可以为桂林上游无资料地区水文气象规律的研究,提供一定的支撑。

1 数据与方法

1.1 数据来源及处理

由于青狮潭流域在 2000 年后水文站点增至 6 个,在流域上分布更为合理,故本次研究采用该流域

的老鼠坳、黄梅、两合、和平、田心、青狮潭 6 个雨量站 2000—2015 年的观测数据,并收集了同期青狮潭水库的入库径流资料。针对洪水场次的选择,考虑到预报模型影响到水库和下游的安全性,本着对水利工程最不利原则,选择了 16 场峰高量大的洪水,并对降雨径流资料做了三性审查。研究区的 DEM 来自美国地理调查局(USGS),精度为 30 m,分辨率为 1 km×1 km。由 GLC 2000 项目开发的基于 SPOT4 遥感数据的全球土地覆盖数据中国子集得到土地覆盖数据,该数据来自寒区旱区科学数据中心的 中国地区土地覆盖综合数据集^[10],土壤信息参考了世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集^[11],数据源为第二次全国土地调查南京土壤所提供的 1:100 万土壤数据。该数据可为建模者提供模型输入参数,可用于研究生态农业分区,粮食安全和气候变化等,数据格式为 grid 栅格格式,投影为 WGS84 坐标系统,采用的土壤分类系统为 FAO-90 系统。利用 HEC-GeoHMS 处理地理信息数据可以提取出各子流域面积、河网长度和坡度等流域特征信息。

1.2 研究方法

本次建模过程是根据 HEC-HMS 水文模型系统中气象、流域和控制运行 3 大模块的功能来进行程序运行前的各项必要配置。模型初始水文参数输入数据已由 HEC-GeoHMS 生成,后续进行水文系统的建模工作主要集中在以下两个方面:① 气象模块中平均面积降雨深度计算方案选择。② 流域模块中计算降雨损失、直接径流、基流和河道汇流时方法的选择。

1.2.1 气象模块 在 HEC-HMS 模型中气象模块要用到 HEC-DSSVue 软件,该软件同样由 HEC 开发,主要用于数据的统一存储和管理。将收集到的降雨数据输入 DSSVue 中,供 HMS 运行时调用。本次平均面积降雨深度计算方案采用雨量站权重法,它假设集水区内任意一点的降雨深度与集水区内或离集水区最近的雨量计的降雨深度相同,根据泰森多边形原理处理青狮潭流域后分配各站点权重(图 1)。

1.2.2 流域模块

(1) 产流模型。HEC-HMS 模型中提供了 7 种降雨损失方法,本研究产流采用 SCS CN 模型,该模型应用广泛,综合考虑了下垫面情况和人类活动影响,参数简单合理。由美国农业部土壤保护局 SCS(现在的自然资源保护局, NRCS)开发,模型中 CN 值反映了流域中不同土壤分组、土地利用组合、前期湿度的综合情况。主要计算公式为:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (1)$$

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

式中: P_e —— t 时间内的累积净雨量(mm); P —— t 时间内降雨量(mm); I_a ——初始降雨损失(mm); S ——最大潜在截留(mm)。

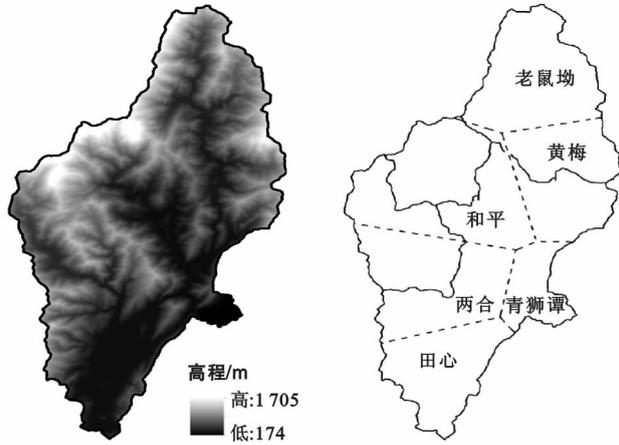


图 1 研究区 DEM 图和泰森多边形雨量站划分

SCS 在 TR55 技术文档中刊发了不同植被、土地利用等情况下对应的 CN 值,本次研究根据该技术文档选择流域的初始 CN 值,然后输入到 HMS 的产流模块中用于计算产流。

(2) 直接径流计算。HEC-HMS 模型中提供了 6 种直接径流计算方法,本研究采用 Clark 单位线模型,该模型特点是对净雨从落下点到流域出口的汇流和产流过程中的流域调蓄作用做了简化。计算时假设水库位于流域出口,利用线性水库模型在水流汇集时的调蓄作用,将净雨从落下点演进到位于出口的水库,由连续方程:

$$\frac{dS}{dt} = I_t - O_t \quad (3)$$

式中: dS/dt —— t 时蓄水量变化率; I_t —— t 时平均入流量(m^3/s); O_t —— t 时出流量(m^3/s)。

由线性水库模型的蓄水量和出流量关系:

$$S_t = RO_t \quad (4)$$

式中: S_t —— t 时刻蓄水量(m^3/s); R ——线性水库参数。

根据有限差分法近似求解得到:

$$O_t = C_A I_t + C_B O_{t-i} \quad (5)$$

式中: C_A, C_B ——演进参数。

t 时段平均出流量为:

$$\bar{O}_t = \frac{Q_{t-1} + \bar{O}_t}{2} \quad (6)$$

在 HEC-HMS 的模型中还要输入汇流时间 t 和蓄水量系数 R ,利用汇流时间与流域面积关系推导出线性水库的入流 I_t ,再利用方程(5)和方程(6)递推求解。

1.2.3 基流计算 HEC-HMS 模型提供的 4 种基流计算方法,本次研究从选取了退水曲线计算模型,该模型中 t 时刻基流 Q_t 与初始基流 Q_0 的关系服从指数退水规律。每次暴雨前的初始基流可能都会不同,衰减系数和峰值比都可以根据流量数据估算出初始值。

1.2.4 河道汇流计算 河道汇流计算 HEC-HMS 模型提供了 7 种方法,本研究采用马斯京根模型,该模型因最开始应用于美国马斯京根河流而得名,模型采用水量平衡和槽蓄方程演算河道流量,以其计算简便、模拟效果好而广泛应用于工程中。

1.2.5 模拟洪水误差评价方法 对洪水预报误差的评价参照《水文情报预报规范(GB/T22482-2008)》(以下简称《规范》)中标准,以洪水预报误差用确定性系数、洪峰流量相对误差和峰现时差来评价,根据预报精度的不同确定性系数范围也有所变化,甲级预报要求确定性系数大于 0.9;乙级则要求小于 0.9 且大于等于 0.7,丙级预报要求确定性系数介于 0.5~0.7 之间;预报许可误差为实测洪峰流量的 20%;峰现时间的许可误差为 1 h(取本次计算时长)。为了更全面评价洪水模拟效果,引入洪量相对误差作为评价指标之一。

2 结果与分析

2.1 参数率定

通过选取的 12 场洪水对青狮潭流域的 HEC-HMS 水文模型进行率定,模型中选用 Univariate Gradient 和 Nelder Mead 优化算法配合使用,目标函数为峰值加权均方根误差函数,在对模型的水文参数进行率定后,用 1—12 号洪水率定出的模型参数,作为 13—16 号洪水 HEC-HMS 模型的参数进行洪水预报(即编号为 1—12 的洪水为率定期洪水,编号为 13—16 的洪水为验证期洪水)。洪水参数率定及验证结果详见表 1,率定期洪水模拟结果如图 2 所示。

2.2 结果与分析

从率定期的结果来看:12 场率定的洪水中,确定性系数最高的是 12 号洪水的 0.99,最低值为 1 号洪水的 0.91,平均的确定性系数为 0.94,平均洪峰流量相对误差 2.3%,平均洪量相对误差 9.03%,12 场洪水中 10 场洪水峰现时差与实测吻合,结果具有较高的确定性系数和较低洪峰流量相对误差、洪量相对误差系数。率定结果中效果最好的两场洪水 2 和 12 号确定性系数均大于 0.97,而效果相对较差的场次 1 和 11 号确定性系数最高为 0.92。由图 2 分析发现率定期中效果最好的 2 场洪水都是单峰型洪水,效果最差的 1 和 11 号洪水均有多个洪峰,可以看出模型

对多峰型洪水率定效果不如单峰型洪水,这点与已有研究一致^[12]。分析验证期的 4 场洪水可以看出,模拟效果最好的 14 号洪水确定性系数为 0.93,模拟效果较差的 16 号洪水确定性系数只有 0.82。4 场洪水的平均确定性系数为 0.88,是率定期平均确定性系数 0.94 的 94%,平均洪峰流量相对误差 4.05%,平均洪量相对误差 5.42%,4 场洪水中 3 场洪水峰现时差与实测吻合。验证期的洪水洪峰流量相对误差和洪量相对误差都很小,峰现时间基本与实际一致。对比漓江流域的其他研究,廖富权和陈立华^[13-14]分别利

用 TOPMODEL 和新安江模型建立了漓江上游洪水预报模型,研究中验证期洪水模拟结果的平均确定性系数分别为 0.83,0.87;洪峰流量的平均误差分别为 8.16%和 7.68%;预报的峰现时间误差分别为 1.5 和 1.63 h,与本次研究相比,验证期洪水模拟结果的平均确定性系数分别低了 0.05,0.01;的洪峰流量的平均误差分别高了 4.11%,3.63%;预报的峰现时间分别晚了 1.25 和 1.38 h。结合图 3 可知,4 场洪水中模拟值和观测值整体趋势基本一致,表明 HEC-HMS 模型,在该地区实际应用效果较好。

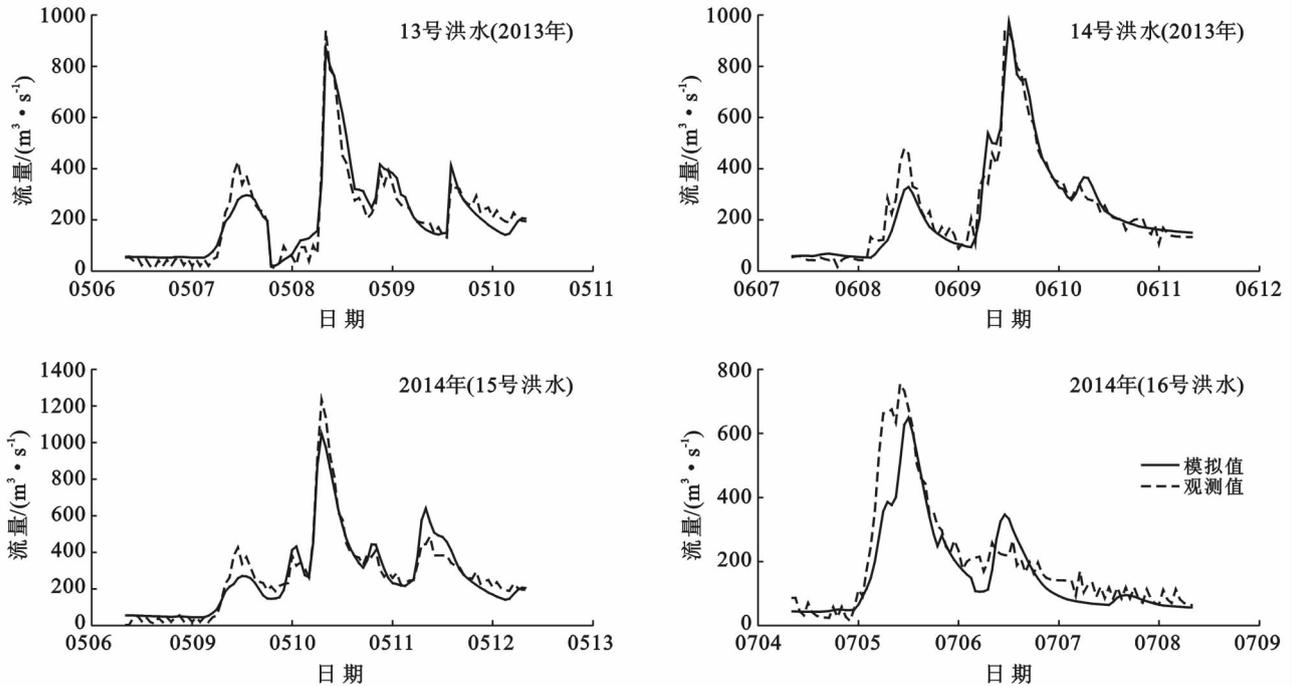


图 2 验证期 4 场洪水模拟效果

表 1 洪水参数率定及验证结果

时期	编号	洪号	实测洪峰流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	洪峰流量 相对误差/%	实测洪水 总量/ m^3	洪量相对 误差/%	峰现时差/ h	确定性 系数
率定期	1	20020614	1 706.60	0.26	75 191.10	1.55	0	0.91
	2	20030624	1 636.00	5.68	37 292.60	-3.83	0	0.97
	3	20040407	664.80	4.32	11 460.90	-6.18	0	0.93
	4	20050617	658.20	1.82	13 896.10	-2.69	0	0.96
	5	20050626	1 085.40	1.23	23 158.50	-12.22	0	0.95
	6	20060525	631.20	3.24	11 399.40	-7.21	1	0.93
	7	20070601	989.10	7.28	18 515.70	-4.85	0	0.94
	8	20070625	872.10	2.53	15 333.60	2.49	0	0.93
	9	20080608	972.40	8.15	20 235.60	-11.49	0	0.95
	10	20090630	1 176.30	-6.95	16 722.40	-12.16	0	0.93
	11	20100417	935.9	6.84	25 811.40	-12.35	1	0.92
	12	20100513	1 456.50	1.14	15 892.00	-0.12	0	0.99
验证期	13	20130506	918.80	-0.99	16 919.30	-5.41	0	0.92
	14	20130607	967.90	-2.04	24 158.20	3.81	0	0.93
	15	20140508	1 268.30	-2.05	26 147.30	-9.12	0	0.88
	16	20140704	755.00	-11.12	19 203.70	-10.97	1	0.82

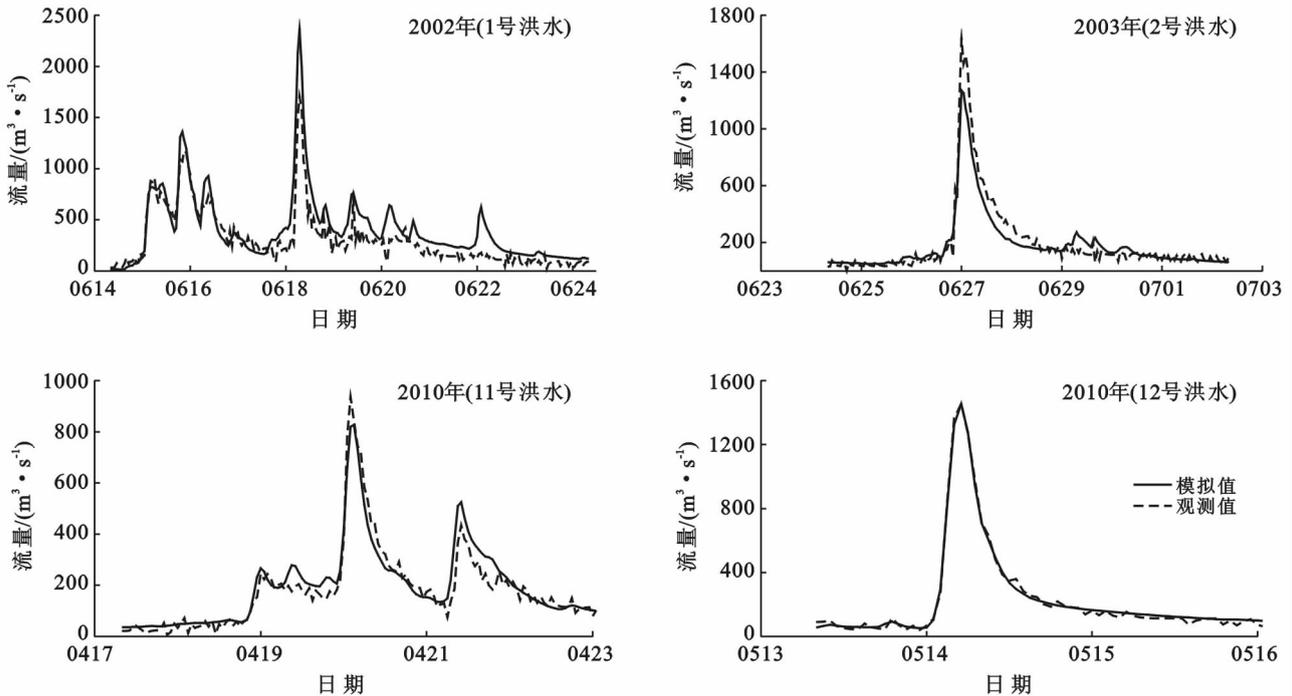


图3 1,2,11,12号洪水率定期模拟结果

根据《规范》中对洪峰预报许可误差的解释,洪水的洪峰流量相对误差在实测洪峰流量的20%以内即为合格,本研究中验证期4场洪水洪峰流量相对误差均达到合格标准,洪峰预报合格率达到100%;峰现时间4场中3场预报准确,只有16号洪水峰现时间与实测值相差1h,峰现时差的预报合格率为75%;本次研究的4场洪水中3场洪水预报合格,预报综合合格率为75%,且合格场次洪水确定性系数均符合要求,根据《规范》对预报精度和预报合格率的要求,本次预报已经达到乙级预报水平,可用于实际洪水预报。从验证期表现来看,本次研究所率定出来的参数能够用于青狮潭入库洪水的模拟,对编制青狮潭水库入库洪水预报方案具有指导和参考意义。

通过分析16场洪水特征,本次研究中综合预报效果并不是很好,分析其原因:降雨径流等原始资料的代表性、水文模型参数的合理性以及降雨暴雨中心的影响都可能导致预报效果与实际观测洪水产生较大差异。

3 结论

(1) HEC-HMS水文模型在青狮潭流域对场次洪水有较好的模拟效果,适应性较好。与漓江上游已有研究对比后发现,该模型模拟精度较高,可用于实际的洪水预报。在中国降水丰沛、径流量较大的湿润山区洪水模拟方面具有广泛的应用前景。

(2) 本次研究率定出来的参数对漓江上游无资料地区水资源规划管理有参考价值。

(3) 基于RS和GIS技术提取流域下垫面地形、土地利用、土壤等信息,并将提取结果与HEC-HMS水文模型结合的方法为水文循环研究提供了新的思路,同时也为其他水文模型初始参数的获取提供了新的途径。

(4) 本次研究只是通过移用率定出来的平均参数作为洪水预报模型的参数,虽然模拟结果较好,但模型的参数率定过程可能会停留在纯粹数字吻合的层面上,所以仍需进一步探索更合理的参数选择方法。

任何水文模型都离不开它的适用条件,针对不同的水文条件,需要通过科学方法找出最匹配的参数,提高模型预报精度和延长预报时间,这样才能更好地服务于科学研究和工程运用。

[参 考 文 献]

- [1] 郑玉林,韩培丽,代俊峰,等. 桂林市青狮潭水库入库径流变化分析[J]. 水利科技与经济,2012,18(8):46-48.
- [2] 李向新. HEC-HMS水文建模系统原理·方法·应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2015.
- [3] Abushandi E, Merkel B. Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS and IHACRES for a single rain event in an arid Region of Jordan[J]. Water Resources Management, 2013, 27(7):2391-2409.

- [J]. 现代农业科技, 2015(19):253-253.
- [18] 刘昌明, 张永勇, 王中根, 等. 维护良性水循环的城镇化LID模式: 海绵城市规划方法与技术初步探讨[J]. 自然资源学报, 2016, 31(5):719-731.
- [19] 李恒义, 孟琳琳. 基于海绵城市的北京市巨灾洪水防御体系设计[J]. 人民黄河, 2016, 38(7):35-38.
- [20] 刘忠阳, 杜子璇, 刘伟昌, 等. 城市洪灾及城市防洪规划探讨[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(9):5-8.
- [21] 朱华桂. 论风险社会中的社区抗逆力问题[J]. 南京大学学报: 哲学·人文科学·社会科学版, 2012(5):47-53, 159.
- [22] 河南省水利厅. 水资源公报[EB/OL]. 郑州: 河南省水利. (1999-02-15) [2017-02-11]. <http://www.hnsl.gov.cn/>.
- [23] Tobin G A. Sustainability and community resilience: The holy grail of hazards planning? [J]. Global Environmental Change (Part B): Environmental Hazards, 1999, 1(1):13-25.
- [24] Norris F H, Stevens S P, Pfefferbaum B, et al. Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness[J]. American Journal of Community Psychology, 2008, 41(1/2):127-150.
- [25] Ostadtaghizadeh A, Ardalan A, Paton D, et al. Community disaster resilience: A qualitative study on Iranian concepts and indicators[J]. Natural Hazards, 2016, 83(3):1843-1861.
- [26] Ainuddin S, Routray J K. Earthquake hazards and community resilience in Baluchistan[J]. Natural Hazards, 2012, 63(2):909-937.
- [27] Sherrieb K, Norris F H, Galea S. Measuring capacities for community resilience [J]. Social Indicators Research, 2010, 99(2):227-247.
- [28] 朱华桂. 论社区抗逆力的构成要素和指标体系[J]. 南京大学学报: 哲学·人文科学·社会科学, 2013(5):68-74, 159.
- [29] 任广平, 邹志红, 孙靖南. 因子分析及其在河网水质综合评价中的应用研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6(4):91-94.
- [30] 刘德林, 刘贤赵. 主成分分析在河流水质综合评价中的应用[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3):124-125, 128.
- [31] 刘德林, 梁恒谦. 区域自然灾害的社会脆弱性评估: 以河南省为例[J]. 水土保持通报, 2014, 34(5):128-134.
- [32] Liu Delin, Hao Shilong, Liu Xianzhao, et al. Effects of land use classification on landscape metrics based on remote sensing and GIS[J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 68(8):2229-2237.
- [33] 朱庆平, 周力, 李开, 等. 西昌引种栽培油橄榄果中5种金属元素主成分及聚类分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2017, 36(1):362-369.

(上接第229页)

- [4] Rahman S, Bagtzoglou A C, Hossain F, et al. Investigating spatial downscaling of satellite rainfall data for streamflow simulation in a medium-sized basin[J]. Journal of Hydrometeorology, 2009, 10(4):1063-1079.
- [5] Ashfaq S A. Rainfall-runoff modelling of Doddahalla watershed: An application of HEC-HMS and SCN-CN in ungauged agricultural watershed[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2016, 9(3):1-16.
- [6] Gumindoga W, Rwasoka D T, Nhapi I D T. Ungauged runoff simulation in Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: Applications of the HEC-HMS model[C]. US: Physics and Chemistry of the Earth, 2016.
- [7] 雍斌, 张万昌, 赵登忠, 等. HEC-HMS水文模型系统在汉江褒河流域的应用研究[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3):86-90.
- [8] 刘洋, 马长明. HEC-HMS模型构建方法及在山区洪水预报中的应用[J]. 山西建筑, 2013, 39(19):209-210.
- [9] 王力, 赵红莉, 蒋云钟. HEC-HMS模型在南水北调东线水资源调度中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2007(6):58-61.
- [10] Youhua Ran, Xin Li, Ling Lu. Evaluation of four remote sensing based land cover products over China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(2):391-401.
- [11] Fischer G F, Nachtergaele S, Prieler H T, et al. Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture(GAEZ2008)[C]. Italy Rome: II ASA, Laxenburg, Austria and FAO, 2008.
- [12] 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]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(5):119-122.
- [13] 魏传健. 基于TOPMODEL模型的漓江上游洪水预报研究[D]. 广西南宁: 广西大学, 2015.
- [14] 陈立华, 冯世伟, 邓芳芳. 漓江流域上游洪水预报方案研究与应用[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2016, 41(4):1298-1305.