

紫荆关流域分布式HEC-HMS水文模型构建及洪水模拟

康彦付¹,李建柱^{2*},马秋爽²

(1.河北省邢台水文水资源勘测局,河北 邢台 054000;

2.天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室,天津 300350)

摘要:国内外学者利用HEC-HMS水文模型模拟流域降雨径流过程,发现该模型有良好的适用性。**【目的】**提高紫荆关流域洪水模拟精度。**【方法】**采用紫荆关流域水文气象及下垫面资料,将流域划分为11个子流域,通过选择产流和汇流计算方法,构建了该流域分布式HEC-HMS水文模型,并从历史实测暴雨洪水事件中选取14场洪水对构建的HEC-HMS水文模型进行了参数率定和模型验证。**【结果】**率定的各子流域产流参数基本相同,由于各子流域面积不同导致汇流参数也不同。模拟的洪峰流量和洪量相对误差均在20%以内,纳什效率系数为0.51~0.95,模拟与实测的洪水过程线吻合较好,模型模拟精度较高。**【结论】**构建的水文模型能反映紫荆关流域实际的产汇流过程,可用于该流域洪水过程模拟和洪水预报。

关键词:紫荆关流域;模型;洪水模拟

中图分类号:P333

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180520

康彦付,李建柱,马秋爽. 紫荆关流域分布式HEC-HMS水文模型构建及洪水模拟[J]. 灌溉排水学报,2019,38(4): 108-115.

0 引言

洪水是一种常见的自然灾害^[1],一般是由暴雨或融雪导致,无论在湿润地区还是干旱半干旱地区都会发生,可带来较大的社会、经济、生态等问题。如1998年长江流域全流域性大洪水,持续时间较长,造成了很大的经济损失^[2]。2012年7月21日北京特大暴雨洪水,降雨总量、强降雨历时、局部雨强均为历史罕见,拒马河最大洪峰流量达2 500 m³/s,造成了大量房屋倒塌,道路、桥梁、水利工程多处受损,多人受灾。因此,对洪水过程进行精确的模拟,对洪水预警与防洪减灾具有重要的意义^[3]。

水文模型是洪水模拟的有效工具,包括集总式水文模型和分布式水文模型^[4-6]。集总式水文模型是将流域看成一个整体,在流域面上计算降水、蒸发、下渗等水文过程,不考虑水文变量的空间分布,模型结构简单。但由于不能考虑暴雨和流域下垫面的空间分布差异,可能导致模拟的精度不够^[7-8]。分布式水文模型将流域分成若干个子流域或单元格,弥补了集总式水文模型的缺点,但需要的建模数据较多。随着遥感和地理信息系统的发展,分布式水文模型成为水文模拟的主要发展方向^[9]。

兹选择半干旱半湿润地区的紫荆关流域为代表流域,利用实测的水文、气象和遥感资料,构建分布式流域水文模型,并通过历史实测洪水模拟进行模型率定和验证,以期能为流域洪水预报、预警提供一定技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

紫荆关流域位于大清河流域北支拒马河上游,该河发源于河北省涞源县境内。上游石门以上为涞源盆地,石门至紫荆关之间为开阔谷地。流域内植被情况较差,仅局部地区有小块成林,石门以上属黄土高原边缘的土石山区,因此河道侵蚀严重,石门以下属石山区,表层岩石风化严重,水土流失现象较多。流域属于

收稿日期:2018-09-27

基金项目:国家自然科学基金项目(51209157)

作者简介:康彦付(1978-),男,高级工程师,主要从事水文、水资源管理等方面研究。E-mail: xtswkfy@126.com

通信作者:李建柱(1981-),男,副教授,主要从事水文水资源问题的研究。E-mail: lijianzhu@tju.edu.cn

典型温带大陆半干旱性季风气候,多年平均降水量约650 mm。紫荆关水文站始建于1949年9月,紫荆关流域面积1760 km²,主河道长81.5 km,河道纵比降5.5%,流域平均宽度25.4 km。洪水产自汛期暴雨,洪水暴涨暴落,断面冲淤变化大,水位流量关系较不稳定。实测最高水位523.20 m,最大洪峰流量为4490 m³/s(1963年);最大年降雨量1463.6 mm(1956年)。

1.2 暴雨洪水数据

流域内设有7个雨量站,在流域上分布较均匀,分别为斜山、艾河、石门、东团堡、插箭岭、王安镇、紫荆关,降雨量资料系列为1956—2016年。紫荆关水文站的洪水资料和降雨量资料时间尺度为1 h,且年限相对应。

1.3 研究方法

1.3.1 水文模型构建方法

由于紫荆关流域属于半湿润半干旱地区,下垫面条件较为复杂。SCS曲线法考虑了流域土壤、坡度、植被和土地利用等下垫面条件,故产流计算选用SCS曲线法。此外,SCS曲线法、SCS单位线法、退水曲线法和马斯京根法等方法参数较少,已经在半湿润半干旱地区得到了较好的应用,所以选择这些方法构建紫荆关流域水文模型。

1) SCS曲线法

SCS曲线法是由美国农业部水土保持局(Soil Conservation Service,简称SCS)提出的,并且在其他国家得到广泛应用。

SCS曲线法的产流计算为:

$$R = \begin{cases} \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} & P \geq 0.2S \\ 0 & P < 0.2S \end{cases}, \quad (1)$$

式中: P 为降雨量(mm); R 为径流量(mm); S 为流域可能滞留量(mm),是后损的上限。

引入一个无因次参数 CN ,称为曲线数(Curve number),其与 S 之间的关系为:

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

CN 是反映降雨前流域特征的综合参数,与流域前期土壤湿润程度、坡度、植被、土壤类型和土地利用类型等状况有关。 CN 的取值范围在0~100之间。当子流域内存在多种土地利用和土壤类型时, CN 值为各个土地利用和土壤类型 CN 的加权平均值,计算式为:

$$CN = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i}, \quad (3)$$

式中: i 为子流域内土地利用和土壤类型种类数; CN_i 为第 i 类土地利用和土壤类型的 CN 值; A_i 为第 i 类土地利用和土壤类型的面积。

2) SCS单位线法

SCS单位线法是一条无因次单位线计算出流过程线的单位线模型。主要参数为流域滞时 Lag ,是流域降雨质心与洪峰间的时距,其计算式为:

$$Lag = \frac{l^{0.8}(S + 25.4)^{0.7}}{7069y^{0.5}}, \quad (4)$$

式中: Lag 为流域滞时(min); l 为水流长度(m); y 为流域平均坡度(%), l 和 y 可利用ArcGIS中的HEC-GeoHMS模块提取。

3) 退水曲线法

假定 t 时刻的基流 Q_t 与初始基流 Q_0 之间的关系式(5)为:

$$Q_t = Q_0 M^t, \quad (5)$$

式中: M 为衰减系数,取值范围在0~1之间。

4) 马斯京根法

通过建立马斯京根槽蓄曲线方程,并与水量平衡方程联立求解,进行河段洪水演算,主要有流量比重因子 x 和槽蓄曲线坡度 K 。马斯京根流量演算方程如式(6)、式(7):

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1, \quad (6)$$

$$\begin{cases} C_0 = \frac{0.5\Delta t - Kx}{K - Kx + 0.5\Delta t} \\ C_1 = \frac{0.5\Delta t + Kx}{K - Kx + 0.5\Delta t} \\ C_2 = \frac{0.5K - Kx - 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t} \end{cases}, \quad (7)$$

式中： C_0 、 C_1 、 C_2 都为 K 、 x 、 Δt 的函数； I_1 、 I_2 分别为时段始、末上断面的入流量； O_1 、 O_2 分别为时段始、末下断面的出流量。

1.3.2 水文模型精度评定

采用纳什效率系数(NSE)和相对误差来对水文模型模拟的精度进行评价,NSE计算公式为式(8),相对误差是指模拟值相对于实测值的误差。

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}, \quad (8)$$

式中： Q_i 为实测值； \hat{Q} 为模拟值； \bar{Q} 为实测值系列的均值； n 为实测序列的点数据数。

2 结果与分析

2.1 HEC-HMS水文模型介绍

HEC-HMS模型是由美国陆军兵团(U. S. Army Corps of Engineers)开发的模拟自然或人工状态下降雨径流过程的模型^[10-11]。该模型根据流域降雨空间分布、气候环境特征和下垫面条件,将研究区划分成不同的子流域,在各个子流域内,依据相应的下垫面条件对参数进行率定,然后对降雨径流过程进行模拟计算。

HEC-HMS分布式水文模型主要是由流域模块、气象模块,控制运行模块和时间序列数据模块四大模块组成的,而其计算模块又是由产流、直接径流、基流、河道汇流计算模块组成。主要的产流计算方法有初损后损法、盈亏常数法、SCS曲线法、土壤湿度计算法、格林安普特法等方法。直接径流计算方法主要分为单位线模型和运动波模型两类。其中,单位线模型有;Snyder单位线、Clark单位线、SCS单位线和用户自定义单位线等。基流计算方法主要有退水曲线法、线性水库法、非线性水库法和月恒定流法等。河道汇流方法主要有运动波法、马斯京根法、马斯京根康吉法、滞后演算法等。

2.2 HEC-HMS水文模型构建

2.2.1 模型构建所需资料

紫荆关流域DEM数据的分辨率为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$,高程在 $510 \sim 2\,164\text{ m}$ 之间(图1(a))。采用流域内7个雨量站的实测降雨资料,采用泰森多边形法计算各雨量站和水文站在其子流域内所占面积比例,如图1(b)。

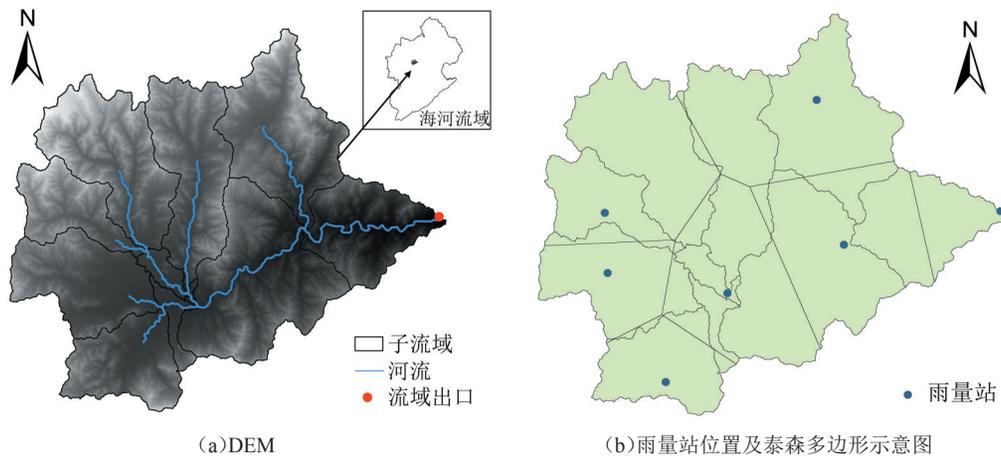


图1 紫荆关流域DEM及雨量站位置

紫荆关流域的土地利用遥感数据分辨率为 250 m ,主要土地利用类型为耕地、林地、草地、水域、建筑用地和未利用土地,其在流域内的空间分布情况如图2(a),根据全国土壤类型分布图得到紫荆关流域土壤类

型图,如图2(b),主要有棕壤、褐土和黄垆土3种类型。

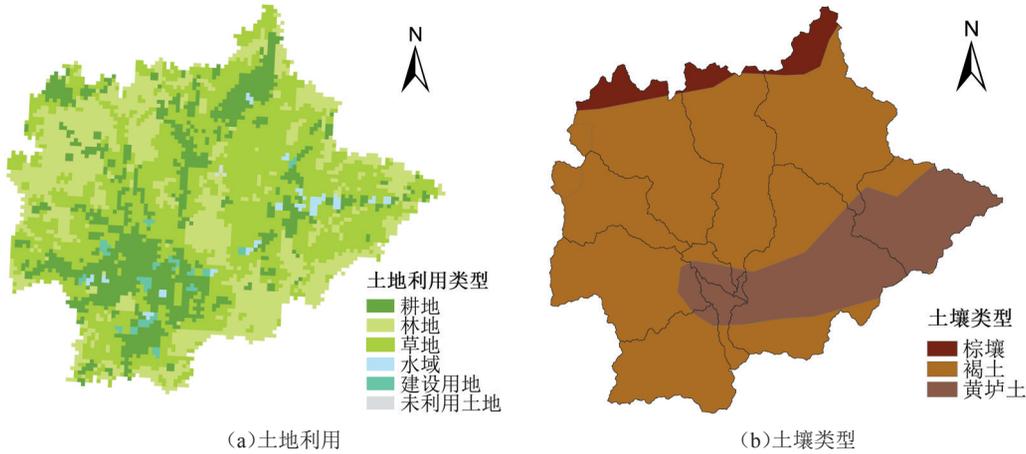


图2 紫荆关流域2000年土地利用和土壤类型

2.2.2 模型构建

根据以上水文气象及下垫面资料,利用 ArcGIS 中的 HEC-GeoHMS 模块自动划分流域。设定集水面积阈值,提取出河网,在此基础上将紫荆关流域划分成 11 个子流域,子流域及其汇流路径概化如图3。

根据紫荆关流域的水文特性,采用 SCS 曲线法计算各子流域产流,采用 SCS 单位线法对直接径流进行汇流计算,采用退水曲线法进行基流汇流计算,采用马斯京根法进行河道汇流计算,从而构建了紫荆关流域 HEC-HMS 水文模型。

2.3 参数率定及模型验证

2.3.1 参数率定

从紫荆关流域实测暴雨洪水资料中选择 8 场洪水,采用构建的 HEC-HMS 水文模型对其进行模拟,以率定模型中的参数,通过人工率定方法对各参数调整,分析各场洪水模拟的纳什效率系数、洪峰流量和洪量相对误差,最终率定出模型中各子流域的参数,各参数取值见表 1 和表 2,模拟洪水和实测洪水对比结果见表 3,部分洪水过程模拟如图 4。

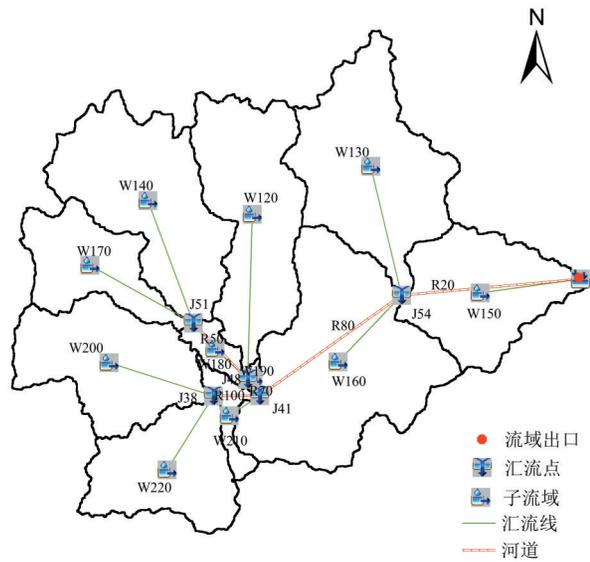


图3 紫荆关流域概化图

表 1 紫荆关流域 CN 值、滞时 Lag 和基流衰减系数 M

| 子流域 | 子流域面积/km ² | CN 值 | 子流域滞时 Lag/min | 衰减系数 M |
|------|-----------------------|------|---------------|--------|
| W120 | 227 | 45 | 256 | 0.5 |
| W130 | 260 | 45 | 307 | 0.5 |
| W140 | 245 | 45 | 362 | 0.5 |
| W150 | 178 | 65 | 300 | 0.5 |
| W160 | 337 | 45 | 210 | 0.5 |
| W170 | 121 | 45 | 189 | 0.5 |
| W180 | 24 | 45 | 50 | 0.5 |
| W190 | 3 | 45 | 15 | 0.5 |
| W200 | 193 | 45 | 268 | 0.5 |
| W210 | 28 | 45 | 60 | 0.5 |
| W220 | 153 | 45 | 325 | 0.5 |

由表 1 和表 2 可以看出,在划分的 11 个子流域中有 10 个子流域的 CN=45, W150 子流域的 CN=65,各子流域滞时受到流域面积和形状影响也不相同,衰减系数 M 表示了基流退水的规律,各子流域衰减系数相同,说明基流退水规律相同。受到河道断面和坡降的影响,槽蓄曲线坡度 K 在各河段不相同。

从表 3 可以看出,模拟的各洪峰流量相对误差为-8.55%~19.82%,洪量相对误差为-13.62%~16.51%,均在

20%误差允许范围之内。纳什效率系数为0.51~0.88,平均为0.71,拟合效果良好。从图4也可以看出,模拟的洪水过程线与实测洪水过程线吻合较好。

表2 紫荆关流域河道汇流参数

| 河段 | R20 | R50 | R70 | R80 | R100 |
|---------|-----|-----|-----|-----|------|
| 槽蓄曲线坡度K | 4.0 | 1.5 | 0.4 | 3.4 | 0.8 |
| 流量比重因子x | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |

表3 紫荆关流域HEC-HMS模型14场洪水模拟结果

| 模型 | 洪水场次 | 实测洪峰流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) | 模拟洪峰流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) | 洪峰流量相对误差/% | 实测径流量/mm | 模拟径流量/mm | 径流量相对误差/% | 纳什效率系数 |
|----------|----------|---|---|------------|----------|----------|-----------|--------|
| 模型率定 | 19560803 | 1 490 | 1 537.4 | -3.18 | 136.70 | 126.26 | 7.64 | 0.83 |
| | 19580707 | 905 | 922.9 | -1.98 | 12.12 | 10.63 | 12.29 | 0.51 |
| | 19590731 | 648 | 697.4 | -7.62 | 91.44 | 103.89 | -13.62 | 0.62 |
| | 19630806 | 4 490 | 3600 | 19.82 | 229.79 | 233.98 | -1.82 | 0.80 |
| | 19640809 | 752.3 | 644 | 14.40 | 67.94 | 62.28 | 8.33 | 0.81 |
| | 19660814 | 242 | 262.7 | -8.55 | 12.60 | 11.77 | 6.59 | 0.88 |
| | 19730813 | 108 | 92.6 | 14.26 | 4.39 | 4.58 | -4.33 | 0.65 |
| 19740728 | 309 | 282.3 | 8.64 | 13.81 | 11.53 | 16.51 | 0.58 | |
| 模型验证 | 19750806 | 139 | 132.2 | 4.89 | 3.94 | 4.41 | -11.93 | 0.91 |
| | 19780825 | 428 | 401.1 | 6.29 | 26.24 | 27.61 | -5.22 | 0.95 |
| | 19790814 | 245 | 281.5 | -14.90 | 19.47 | 20.07 | -3.08 | 0.90 |
| | 19880730 | 175 | 182 | -4.00 | 8.28 | 7.85 | 5.19 | 0.79 |
| | 19880810 | 349.8 | 282.3 | 19.30 | 27.27 | 22.38 | 17.93 | 0.77 |
| | 19960728 | 739.4 | 810.3 | -9.59 | 97.88 | 82.49 | 15.72 | 0.95 |

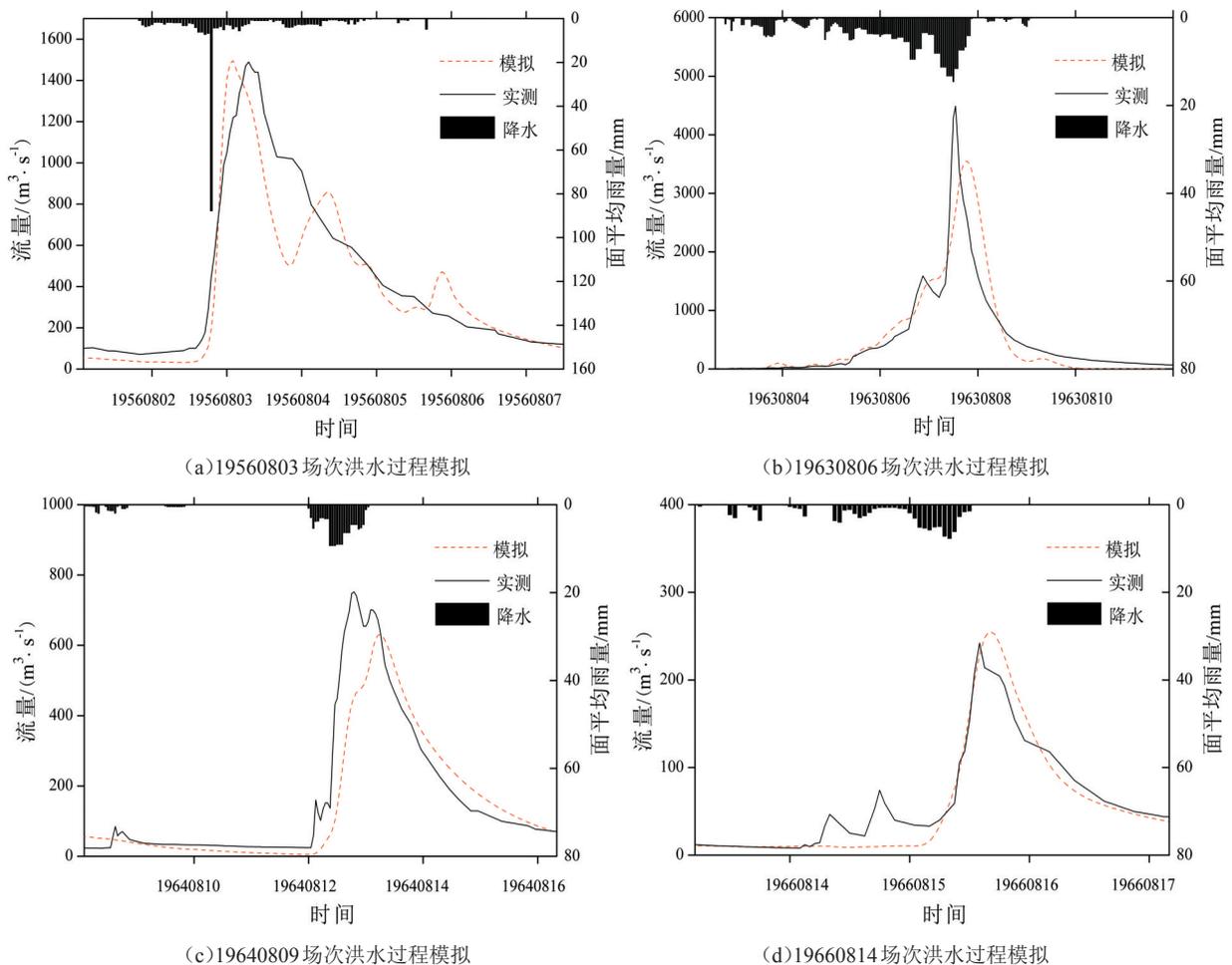


图4 率定期部分场次洪水过程模拟图

2.3.2 模型验证

选择另外6场洪水对率定的HEC-HMS模型进行验证,保持率定的参数不变来模拟这6场洪水过程,模拟结果见表3,部分洪水过程模拟如图5。从表3可以看出,模拟的洪峰流量相对误差为-14.90%~19.3%,径流量相对误差为-11.93%~17.93%,均在允许误差20%以内。纳什效率系数为0.77~0.95,平均为0.88。从图5也可以看出,模拟的洪水过程与实测洪水过程吻合较好。结合模型率定结果可知,构建的紫荆关流域HEC-HMS水文模型可以很好地反映紫荆关流域产汇流过程,可用于该流域洪水过程模拟。韩瑞光等^[12]构建的超渗-蓄满产汇流模型模拟的紫荆关流域洪水过程洪峰流量、径流量相对误差分别为-28.4%~37.3%和-19.3%~31.1%,纳什效率系数为0.51~0.91,平均为0.70。与其结果相比,本研究在洪峰流量、径流量相对误差和纳什效率系数方面都体现了HEC-HMS模型的精度更高。

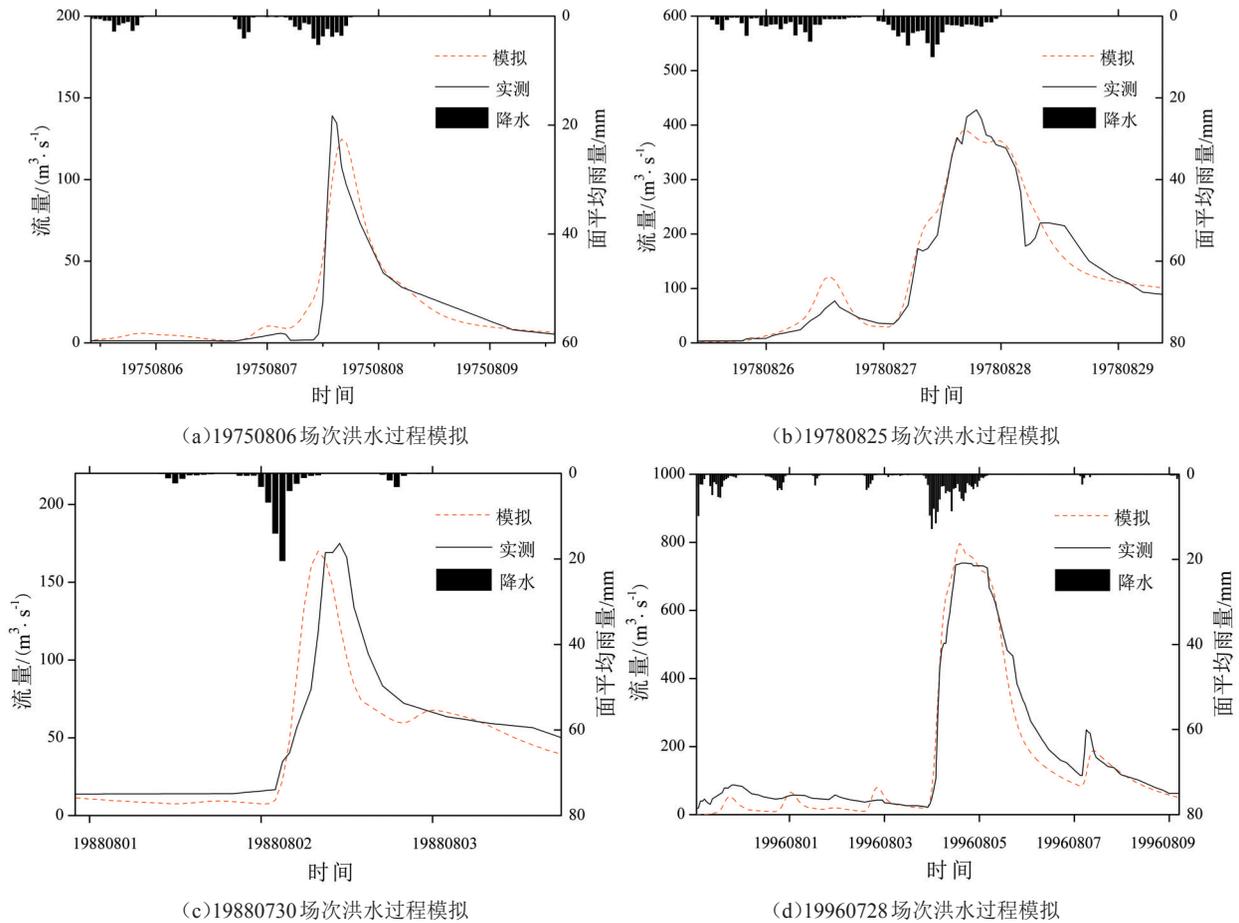


图5 验证期部分场次洪水过程模拟图

3 讨论

流域水文模型的结构是影响洪水模拟精度的重要因素,本文构建的HEC-HMS水文模型将紫荆关流域划分为11个子流域,在每个子流域上进行产汇流计算,模型中的参数物理意义明确,模型结构合理,能够反映研究流域洪水形成的机制。模拟结果比韩瑞光等^[12]和于静^[13]在紫荆关流域构建的超渗-蓄满耦合产汇流模型的精度还要高,其主要原因是超渗-蓄满耦合产汇流模型中采用的是面平均暴雨过程,并且是在各类土地利用类型上进行产汇流计算,地面径流的汇流只考虑了坡面汇流,而HEC-HMS水文模型考虑了降雨的空间分布和土壤特性,并且考虑了河道汇流。虽然模型模拟的所有场次洪水洪峰流量和洪量均在20%以内,但19580707和19740728场次洪水的纳什效率系数没有超过0.60,这表明模拟的这2场洪水过程线和实测过程线的拟合程度相对不好,主要原因是19580707场次洪水历时较短,且模拟的峰现时差滞后2h,导致了纳什效率系数为0.51,而19740728场次实测洪水为双峰,但模拟的洪水过程只有1个洪峰,纳什效率系数为0.58。

HEC-HMS 水文模型将流域划分为子流域进行产汇流计算,由于流域下垫面条件复杂,模型率定的产汇流参数在各子流域是平均值,这与以更为精细的水文响应单元为计算单元的分布式水文模型相比,模型结构相对简单,需要率定的参数少。如果划分的子流域更多,虽然子流域内的下垫面更为单一,但会相应增加率定的产汇流参数,并且增加人工调参的难度,这需要发展分布式水文模型的自动率定技术及模型参数合理性分析标准,以在满足模型率定目标函数的多组参数中寻求最优,即水文模型中的“异参同效”问题是未来还需进一步研究的难点。克服“异参同效”的思路和措施是尽可能通过实验或理论提高模型结构的精度并独立给出模型参数的物理定量方法或合理取值范围等^[14]。

在紫荆关流域各子流域均进行了产汇流计算,但在该流域仅有紫荆关水文站,模型的率定和验证只能采用该水文站的洪水过程,模拟的各子流域洪水过程是否和实际一致是无从验证的。要解决这一问题,需要在紫荆关流域布设更多的气象站。另一方面,随着遥感技术的发展,出现了越来越多的土壤含水量和蒸散发遥感反演产品,具有覆盖范围广、空间分辨率也较高的优点^[15-16],在以后的研究中可结合这些水文循环的关键中间变量遥感反演值来对模型进行参数率定和验证,以保证模型参数的合理性和提高水文模型的精度。但目前这些遥感反演产品的时间序列还较短,在干旱半干旱地区和这些遥感反演产品相对应的洪水场次可能较少,随着时间序列的延长,遥感反演产品在水文模型构建方面的优势会越来越明显。

4 结论

1)根据紫荆关流域的DEM、雨量站分布、土地利用遥感资料和土壤分类,将流域划分了11个面积不同的子流域。并且在各子流域上分别进行产汇流计算和河道汇流计算,构建了紫荆关流域分布式HEC-HMS水文模型。

2)选择了共14场洪水过程对构建的HEC-HMS水文模型进行了参数率定和模型验证,在率定期和验证期,洪峰流量和洪量的模拟相对误差均在20%以内,模型纳什效率系数均较高,表明构建的HEC-HMS水文模型能够反映紫荆关流域实际产汇流过程,可以用于该流域洪水过程模拟及洪水预报。

参考文献:

- [1] 洪文婷. 洪水灾害风险管理制度研究[D]. 武汉:武汉大学,2012.
- [2] 彭静,何少苓,廖文根,等. 珠江三角洲大系统洪水模拟分析及防洪对策探讨[J]. 水利学报, 2003,34(11):78-84.
- [3] 李建柱,魏兆珍,刘阳. 洪水过程对水土保持工程响应程度的分析[J]. 灌溉排水学报, 2013,32(5):137-140.
- [4] 龙爱华,王浩,于福亮,等. 社会水循环理论基础探析II:科学问题与学科前沿[J]. 水利学报, 2011,42(5):505-513.
- [5] LAN C, GIAMBELLUCA T W, ZIEGLER A D. Lumped parameter sensitivity analysis of a distributed hydrological model within tropical and temperate catchments [J]. Hydrological Processes, 2011, 25(15):2 405-2 421.
- [6] 吴江,胡胜. DEM分辨率对SWAT模型水文模拟的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(11):18-23.
- [7] 金鑫,陈琼,金彦香. 土地利用/覆被数据精度对流域水文过程模拟的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(2):108-115.
- [8] 白晓燕,丁华龙,陈晓宏. 基于HSPF模型的东江流域土地利用变化对径流影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(2):58-63.
- [9] IMMERZEEL W W, DROOGERS P. Calibration of a distributed hydrological model based on satellite evapotranspiration [J]. Journal of Hydrology, 2008, 349(3):411-424.
- [10] GYAWAIL R, WATKINS D W. Continuous hydrologic modeling of snow-affected watersheds in the Great Lakes basin using HEC-HMS [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2013, 18(1):29-39.
- [11] ABUSHANDI E. 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):2 391-2 409.
- [12] 韩瑞光,丁志宏,冯平. 人类活动对海河流域地表径流量影响的研究[J]. 水利水电技术, 2009, 40(3):4-7.
- [13] 于静. 大清河流域土地利用/覆被变化对洪水径流影响问题的研究[D]. 天津:天津大学,2008.
- [14] 芮孝芳. 论流域水文模型[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(4):1-7.
- [15] 张成才,吴泽宁,余弘婧. 遥感计算土壤含水量方法的比较研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(2):69-72.
- [16] 张特,刘冀,董晓华,等. 基于MOD16的渭河流域蒸散发时空分布特征[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8):121-128.

Using HEC-HMS Model to Simulate Flooding in Zijingguan Watershed

KANG Yanfu¹, LI Jianzhu^{2*}, MA Qiushuang²

(1.Xingtai Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Xingtai 054000, China;

2.State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300350, China)

Abstract:【Objective】HEC-HMS is a hydrological model to simulate rainfall-runoff process at basin scale, and the purpose of this paper it to apply it to simulate flooding in Zijingguan watershed. 【Method】Based on available hydrological, meteorological and land surface data, we divided the watershed into 11 sub-watershed. The HEC-HMS model was built based on runoff generation and flow, and it was validated against 14 flood events measured in the watershed. 【Result】The runoff generation parameters in all sub-watersheds were approximately the same, but the flow parameters varied due to the difference in topography between the sub-watersheds. The errors of the simulated peak discharge was < 20%, with RSE ranging from 0.51 to 0.95. 【Conclusion】The model can reproduce the measured runoff generation and flow in Zijingguan watershed, and can thus be used to predict flooding in the catchment.

Key words: Zijingguan watershed; HEC-HMS hydrological model; flood simulation

责任编辑:白芳芳

关于评选优秀论文的公告

为鼓励创新,本刊已开启优秀论文评选活动,每年评选优秀论文10篇,每篇奖励800元,并颁发获奖证书,届时将在期刊网站首页展示,同时微信公众号推送。欢迎广大读者、作者积极向我刊投稿。

《灌溉排水学报》编辑部