文章编号:1672-3031(2019)06-0470-08

山丘区小流域下垫面数据精度对HEC-HMS水文模拟的影响研究

常清睿[1], 唐颖复[1], 王 璐[2], 徐 静[1]
(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 山西省晋城市泽州县水务局, 山西 晋城 048000)

摘要: 山丘区小流域下垫面条件复杂多变, DEM分辨率及子流域划分水平对分布式水文模型模拟结果的影响有待深入研究。本文选取小流域应用广泛的HEC-HMS分布式水文模型, 在河南省栾川流域设置四种DEM分辨率方案及四种子流域划分方案, 分别提取不同方案下的流域水文特征参数进行对比, 并分析两种类型的数据精度对纳什系数和峰值模拟的影响。研究结果表明, 与大中流域相比, DEM分辨率和子流域划分对山丘区小流域空间参数和水文模拟结果的影响要更为显著。在实际山洪预警预报工作中, 为保证模拟结果的稳定性和可靠性, 应尽可能选择高精度下垫面数据精度。

关键词: HEC-HMS水文模型; DEM; 子流域划分; 下垫面数据精度; 影响分析
中图分类号: TV214 **文献标识码**: A **doi**: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2019.06.010

1 研究背景

与集总式水文模型不同, 分布式水文模型需要描述流域下垫面特征的空间数据用于水文建模, 如DEM(数字高程模型)高程、土地利用等, 各类空间数据的精度都会对水文模型预报结果产生影响。作为分布式模型的一种计算单元类型, 子流域的划分个数直接改变下垫面特性的空间分布与参数赋值情况[1], 进而对空间参数的集总程度产生直接影响, 即子流域划分个数越少, 参数集总程度越高; 同时流域高程、坡度及河道长度、比降等地形参数是根据DEM提取而来的, 不同分辨率DEM数据刻画的流域地形细节不同, 导致这些地形参数的提取也有差异[2-3]。

Manillapalli等[4]通过改变STAT模型输入的子流域和水文响应单元的数量以分析产流量的响应变化, 结果表明, 当子流域和水文响应单元的数量过少时, 敏感参数径流曲线值(CN)的高度集总明显影响产流模拟结果; 吴军和张万昌[2]采用5种不同分辨率的DEM数据作为分布式水文模型SWAT的输入, 定性分析DEM分辨率对模拟结果的影响, 结果表明不同分辨率DEM数据下提取出的流域特征参数相差较大, 进而对SWAT模型的预报结果产生一定的影响。目前, 国内外关于DEM数据精度或子流域划分输入的影响研究基本都是在大中流域展开的, 而山丘区小流域地形起伏较大, 下垫面条件复杂多变, 数据精度给洪水预报带来的不确定性影响是否与已有结论一致, 仍有待探讨。

基于此, 本文选择HEC-HMS分布式水文模型, 以河南省栾川流域为研究对象, 分别设置不同DEM分辨率方案和子流域划分方案, 对比不同方案下的流域水文特征参数, 分析两种类型数据精度对小流域暴雨洪水模拟的影响, 以期在实际山洪灾害防治工作中, 选择适宜的建模数据精度, 提高山洪预警预报水平, 减少灾害损失。

2 数据来源与模型简介

2.1 研究流域与基础数据 本文选择的研究流域是位于河南省西南部的栾川流域, 地势起伏跌宕, 地处东经111°12′~111°02′, 北纬33°39′~34°11′, 流域面积343 km^2。流域属暖温带大陆性季风气候, 气

收稿日期: 2019-06-03
作者简介: 常清睿(1985-), 硕士, 主要从事防洪减灾和水文水资源研究。E-mail: changqr@iwhr.com
通讯作者: 王璐(1993-), 硕士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: 1499172680@qq.com

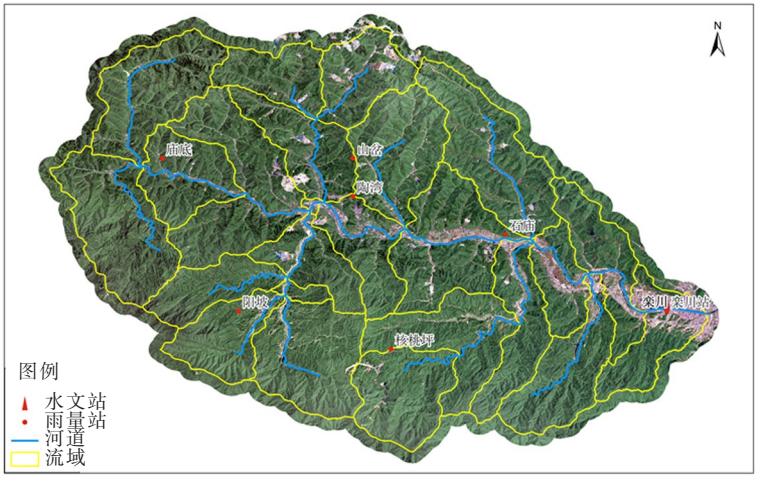


图1　栾川流域

候温凉，雨量较多，冬长夏短。年平均气温12.1 ℃，年日照时数2103 h，无霜期198 d，年平均降雨量784.7 mm，降雨年内分配不均匀，主要集中在7—9月份。栾川流域如图1所示。

本文收集了栾川流域1998—2012年共15年的水文气象资料，包括7个雨量站的降水量摘录数据、栾川站的洪水水文要素摘录数据及日水面蒸发量数据等。为保证水文气象资料的准确性，对水文资料进行三性审查、错误修正、逐时段转换以及场次划分之后，得到栾川流域共20场洪水的连续降雨径流数据用于后续水文模拟。除必要的水文气象数据，还收集了流域的地形地貌数据。地形地貌数据用于建模及地形参数的确定，主要包括DEM数字高程数据、土壤类型和土地利用类型等数据。

2.2　HEC-HMS水文模型　HEC-HMS水文模型是由美国陆军工程师团自主研发的分布式水文模型，主要由HEC-GeoHMS、HEC-DSSVue和HEC-HMS三部分组成[5-6]，三者分工不同，采用松散耦合模式整合，能更好地利用模型的水文模拟功能和GIS软件的空间分析功能。

HEC-HMS模型集成了许多产汇流计算方法，可以根据流域的实际情况以及不同的模拟要求选择适宜的产汇流方法进行组合，具有广泛的适用性[7]。本文选择初损后损法计算产流，Snyder单位线计算汇流，运动波进行河道演算，该组合方法原理简单，优化参数较少，在缺资料或无资料地区易于推广。

(1)初损稳定下渗率法。初损稳定下渗率法基本原理与基本方程如下：

$$pe_t=\begin{cases}0 & \sum p_i<I_a\\ p_t-f_c & \sum p_i>I_a \text{和} \ p_t>f_c\\ 0 & \sum p_i>I_a \text{和} \ p_t<f\end{cases} \tag{1}$$

式中：f_c为一场降水中最大的潜在降水损失；p_t为t到$t+\Delta t$之间的平均面雨量；I_a为初损(径流形成前的截留和填洼)；p_t为累计降雨量；pe_t为净雨。

初始常速率计算法需要确定的参数有稳定下渗率、不透水面积及初始损失。其中，稳定下渗率和不透水面积率可分别根据土壤类型数据和土地利用类型赋值得到，而初损并不是可以量测的参数，是需要人工试错法确定的。

(2)Snyder单位线。Snyder单位线法通过实测降雨径流数据来推求单位线，其洪峰滞时和峰值系数的推求公式如下：

$$T_p=CC_t\left(LL_c\right)^{0.3} \tag{2}$$

式中：T_p为单位线的洪峰滞时；L为流域干流长度；L_c为流域面积中心到流域出口距离；C_t为流域停滞系数，取值范围为1.8～2.2；C为转换系数，国际单位制中为0.75。

$$C_p=Q_pT_p/640A \tag{3}$$

式中：C_p为峰值系数，取值范围为0.1～0.99；Q_p为单位线洪峰值；A为流域面积。

Snyder单位线涉及到的洪峰滞时和峰值系数在模拟过程中需要优化率定来确定。

(3)运动波法。运动波法模拟河道汇流演算过程是通过解有限差分的连续性方程和一个简化的动量方程来进行的，需要的参数有河道坡度、长度、断面形状、边坡系数以及糙率等，其中坡度等地形参数可以通过高程信息提取，而糙率则通过不同的土地利用类型进行粗略估计。

表1　HEC-HMS模型率定参数

参数	物理意义	取值范围
I_a	地表径流产生前的降雨损失量/mm	0～W_m
C_p	峰值系数	0.1～0.99
t_p	流域滞时/h	1～25

HEC-HMS模型率定参数意义及取值范围如表1所示。

2.3　目标函数选取及参数率定　传统的水文模型参数率定主要采用单一目标函数，然而水文模型的实际应用表明，基于单目标的水文模型参数优化率定仅仅考虑了水文过程某一方面的特征，不能充分反映水文系统的不同动力学行为特征。由于山丘区小流域洪水预报侧重于洪峰流量的预报，国内外灾害防治也多以成灾流量作为预警指标，故以下研究选取洪峰流量相对误差以及表征洪水过程的纳什系数作为模拟结果的描述指标，指标的具体计算方法如下。

(1)洪峰流量平均相对误差：

$$Q_{\mathrm{rel}}=\frac{\left|Q_{\mathrm{sim}}-Q_{\mathrm{obs}}\right|}{Q_{\mathrm{obs}}}\times 100\% \tag{4}$$

式中：Q_{sim}、Q_{obs}分别为场次洪峰流量的模拟值与实测值；Q_{rel}为场次洪峰流量相对误差，所有场次取其平均值即为流域洪峰流量平均相对误差。

(2)平均确定性系数：

$$DC=1-\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{is}-Q_{io}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{io}-\overline{Q_o}\right)^2} \tag{5}$$

式中：Q_{is}、Q_{io}分别为总流量过程中第i个时段的模拟流量和实测流量；$\overline{Q_o}$为总流量过程的平均实测流量。

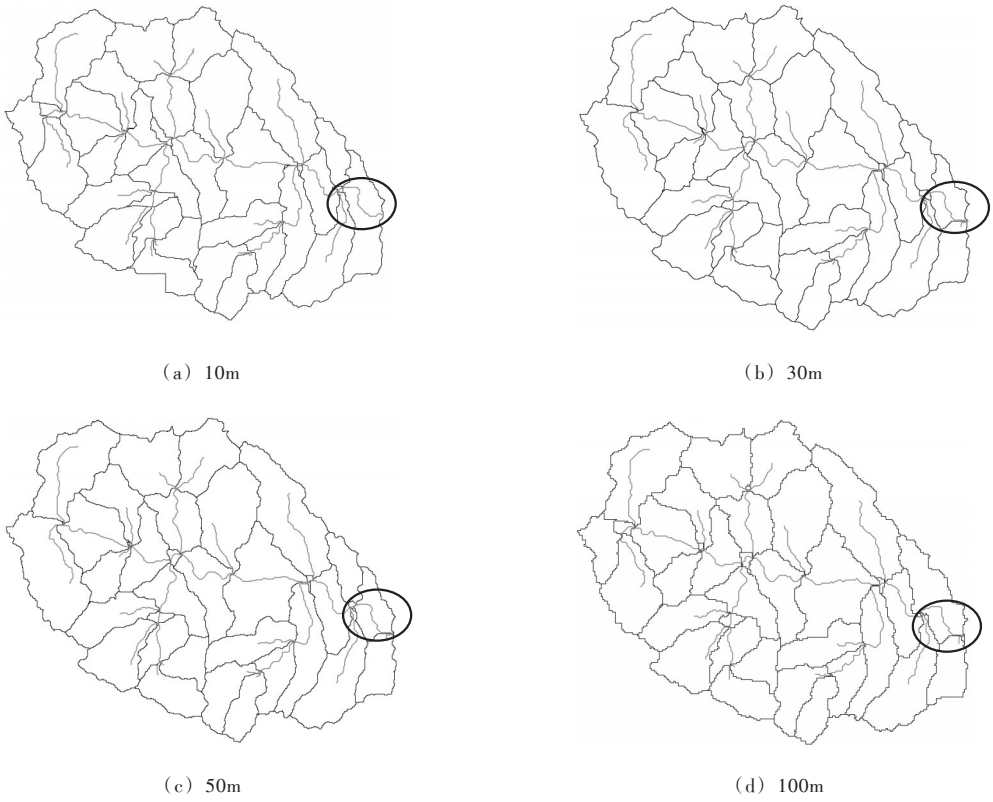
将所有场次洪水相接得到总流量过程线，此流量过程线的确定性系数即为流域平均确定性系数，如上式所示。

在上述目标函数选取的基础上，本文采用多目标优化算法eNSGA-II进行水文模型的参数率定，以获得更为准确的模型参数。eNSGA-II是目前应用较为广泛的多目标遗传算法之一，它降低了非劣排序遗传算法的复杂性，并保证优良种群个体在进化过程中不会被丢弃[8-9]，从而提高优化结果的精度，具有运行速度快、解集的收敛性好等优点。

3　水文模拟的影响分析

3.1　DEM分辨率影响　本文在栾川流域共设置了4种DEM分辨率方案，即10、30、50和100 m，同时为避免子流域划分对结果的影响，通过设置汇水面积使不同DEM分辨率方案下的子流域个数均保持在35个，各方案如图2所示。

DEM分辨率主要影响河流流向及水系的生成，提取水系的差异则会导致子流域划分的不同。整体来看，相较于10 m的DEM分辨率，后3种方案生成的河道要更为光滑，这是由于精细的DEM数据包含更多的下垫面细节，对流域水系刻画的更为细致。同时比较水系位置可发现，各个DEM分辨率下在流域中上游地区提取的水系形状是基本一致的，但流域出口处水系位置有明显偏差，该处为平原区域，坡度较小，河流流向容易受DEM分辨率影响，而HEC-HMS模型是根据地形条件判断水流



（a）10m　（b）30m　（c）50m　（d）100m

图2　4种DEM分辨率方案

方向的，不同分辨率的DEM数据所包含的地形信息不同，导致第一种方案与其余三种方案流向出口的河道位置不一致，进而对流域出口处的子流域划分也产生一定的影响。

3.1.1　流域空间参数　流域的地形参数是根据DEM数据提取而来的，不同分辨率的DEM数据将导致空间参数发生变化，包括子流域面积、流域高程和坡度等HEC-HMS模型需要输入的地形特征，以下对不同分辨率DEM数据下提取的流域空间参数进行对比分析，如表2所示。

表2　不同DEM分辨率方案下的流域空间参数

DEM分辨率/m	子流域面积均值/(km^2)	高程/m				坡度/(°)			
		最大值	最小值	均值	标准偏差	最大值	最小值	均值	标准偏差
10	9.6	1508	779	1108.3	210.8	44.9	18.1	34.2	7.3
30	9.7	1482	733	1071.7	215.7	45.0	2.8	33.1	9.0
50	9.7	1483	741	1072.3	217.1	43.2	8.5	32.1	7.9
100	9.7	1483	736	1098.6	207.8	39.4	7.1	29.3	6.8

不同分辨率的DEM数据所刻画的流域下垫面细节有所不同，据此提取出的地形属性也有差异。为消除子流域划分对参数的影响，通过设置不同的汇水面积阈值以保证4种DEM分辨率下HEC-HMS提取的子流域个数均为35个，子流域的平均面积基本在9.7 km^2左右，DEM分辨率对此影响不大。对高程而言，10 mDEM分辨率下的高程最大值、最小值和平均值均明显大于其余方案，其余方案的高程分布范围基本一致，但100 m分辨率的高程均值明显高于30 m和50 m，几近于10 mDEM，由此可见，对于地形复杂的山丘区小流域，精细的DEM数据所描绘的下垫面要高于其余较为粗糙的DEM数据，同时随着DEM分辨率的降低，掩盖了部分地形细节，对山丘区小流域地形坦化作用较为明显，导致高程最大值、最小值及平均值均有下降，但值得注意的是，当DEM分辨率变为100 m时，尽管最大值和最小值无明显变化，但高程均值明显提高，这主要由于过粗的DEM分辨率可能在一定程度上更加反映出地形大的起伏轮廓，使得部分子流域高程有所上升。林凯荣等[10]在旬河流域比较6种不同网格尺度DEM的地形特征得到与本文类似的结论，即地面高程的起伏程度在网格大于

100 m×100 m时出现明显增大。对坡度而言，精细DEM数据可捕捉到更多的地形起伏细节，10 mDEM分辨率下的坡度最小值和平均值要明显大于其余方案，且DEM分辨率从30 m到100 m，坡度分布的范围缩短，均值减小，流域整体趋于平缓，这与Chaplot[11]的研究结果一致。邱临静[12]于1486 km²的杏子河流域开展DEM栅格分辨率对SWAT模型影响研究，结果表明DEM分辨率对流域坡度影响较大，但对高程影响较小，与本文结论有所出入，这表明与大中流域相比，不同DEM分辨率下的高程变化在山丘区小流域更为敏感。

3.1.2　*模拟结果分析*　理论上讲，DEM数据分辨率越高，可捕捉到更多的流域下垫面细节，地形模拟的精度则越高，但在空间变异程度高的山丘区小流域，模拟结果受众多不确定性因素影响，地形精度高并不能保证水文模拟精度。因此，本文利用HEC-HMS模型在栾川流域对4种DEM分辨率方案进行水文模拟结果的对比分析。

图3用于直观比较4种DEM分辨率下场次洪水纳什系数分布情况。10和30 mDEM分辨率下的纳什系数分布范围要比50和100 m分辨率集中靠上，随着DEM分辨率的降低，纳什系数均值呈下降趋势：0.84、0.82、0.80和0.81，而且精度最高的10 mDEM箱线图中位线和上四分位线均要略高于其余DEM分辨率。由此可见，DEM分辨率越高，其纳什系数越高，对场次洪水过程模拟效果越好。

图4用于直观比较4种DEM分辨率下场次洪水峰值相对误差的分布情况。DEM分辨率由10 m到100 m，洪峰流量相对误差分布范围明显扩大，这主要由于4种方案的峰值相对误差的最大值均发生于“20100723”场次洪水，该场洪水实测洪峰流量高达1210.3 m³/s，是20场洪水中模拟难度最大的场次，DEM数据分辨率越低，该场洪水的峰值模拟结果相对越差，导致误差分布的极大值逐渐升高；同时发现随着DEM分辨率的降低，峰值相对误差的均值、中位线、下四分位线均略有升高而后在100 m时降低，尤其箱线图中100 mDEM的中位线(12.9)和下四分位线(7.1)要明显低于其余三种方案，说明对于峰值模拟误差前50%的场次洪水，最粗糙的100 mDEM分辨率得到的洪峰模拟值反而更接近实测。由此可见，DEM数据分辨率越高，其洪峰模拟越为稳定，但据此无法得出其洪峰模拟精度就越高的结论，分析由于HEC-HMS模型对4种方案均进行参数优化率定，从而抵消了部分DEM分辨率对洪峰流量模拟的影响，高玉芳等[13]的研究也证明HEC-HMS水文模型的参数率定可降低DEM分辨率的不确定性对模拟结果的影响。

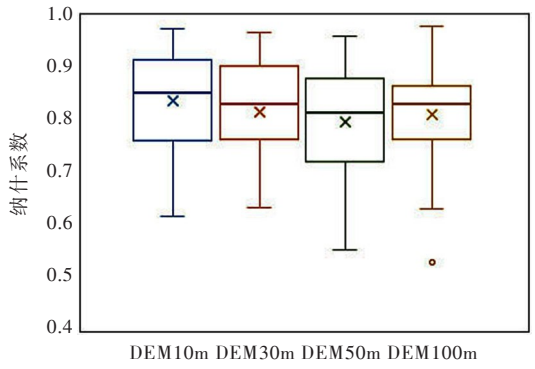


图3　不同DEM分辨率方案下纳什系数分布

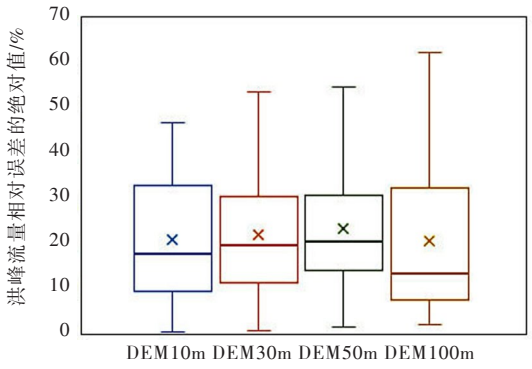
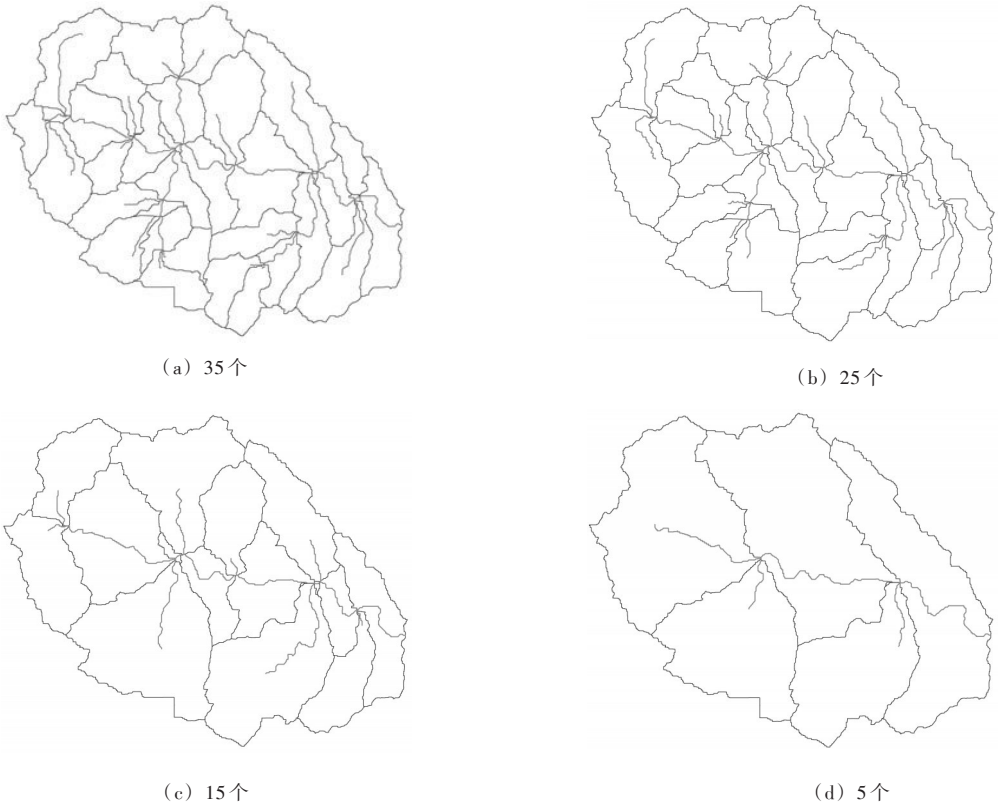


图4　不同DEM分辨率方案下峰值模拟相对误差

3.2　子流域划分影响　本文在栾川流域共设置了4种子流域划分方案，将栾川流域分别划分为35个、25个、15个和5个子流域，同时为避免DEM分辨率对结果的影响，4种子流域划分方案均采用10 m分辨率的DEM数据，各方案如图5所示。

不同的子流域划分个数带来最直观的影响是子流域面积大小和水系疏密程度的变化。方案(d)将栾川流域分为5个子流域，空间集总程度高，仅存主河道和两条最大的支流，随着子流域划分个数增多，各子流域面积有所减小，河网的密集程度随之增高，有利于描述流域下垫面的空间差异性。

3.2.1　*流域空间参数*　传统的集总式水文模型将下垫面视为一个整体，而分布式水文模型认为降雨、土壤、地形地貌等因素是空间各异的[14-15]，因此将研究流域划分为空间上分散的子单元，并在



（a）35个　（b）25个　（c）15个　（d）5个

图5　4种子流域划分方案

模型计算过程中对各子单元的参数值进行某种程度的集总，其集总程度对模拟结果的准确度影响较大[3]。显然，HEC-HMS模型中子流域的划分直接影响流域内的地形、土壤及土地利用等因素的分布，进而改变计算单元的归属与参数值的集总。对不同子流域划分条件下提取的空间输入参数进行比较分析，结果如表3所示。

随着子流域划分水平的变化，河道特征参数及下垫面集总参数变化趋势较为明显。子流域个数从35个减少到5个，细小支流的消失拉高河段长度的平均取值，但总河道长度有所减小，且河段整体趋于平缓。同时随着子流域个数的减少，流域下渗率及不透水面积比例的取值范围逐渐缩小，具体来讲，两参数的最大取值从方案(a)到(c)基本保持稳定，在方案(d)处明显减小，下渗率的最小取值先逐步增大而后稳定，不透水面积比例的最小值则是先稳定不变而后从方案(b)开始呈增大趋势。

3.2.2　模拟结果分析　一般地，在起伏较小的平原区流域，下垫面空间分布差异不大，地形参数的空间集总程度较高，较低的子流域划分水平即能得到比较稳定的模拟结果，但对于地形复杂的山丘小流域，空间特性复杂多变，理论上需要更为细致的描述才能准确表达局部差异，而子流域是HEC-HMS模型应用中具有唯一性的地形起伏、土壤类型以及土地利用类型的组合。因此，本文利用HEC-HMS模型在栾川流域对4种子流域划分方案进行水文模拟结果的对比分析。

表3　不同子流域划分下的流域空间参数

子流域划分（个）	子流域面积均值/km²	河道长度均值/km	河道比降均值	下渗率/(mm/h)		不透水面积比例/%	
				最大值	最小值	最大值	最小值
35	9.6	3.0	0.04	1.52	0.64	11.1	5
25	13.5	3.7	0.03	1.52	0.76	10.92	5.01
15	22.5	4.1	0.02	1.52	0.94	10.92	5.27
5	67.5	7.7	0.01	1.42	0.97	7.58	5.48

图6用于直观比较4种子流域划分水平下场次洪水纳什系数的分布情况。如图6所示，子流域划分35个时，纳什系数不存在异常偏低值，其分布范围明显靠上，而且其纳什系数均值(0.84)、上四分位数(0.92)和中位数(0.85)也要高于其余3种方案，由此可见，与DEM分辨率的影响效果类似，子流域划分个数越多越高，其纳什系数越高，对场次洪水过程的模拟效果越好。

图7用于直观比较4种子流域划分水平下场次洪水峰值相对误差的分布情况。如图7所示，子流域划分35个时，峰值模拟相对误差的分布范围要小于其余划分方案，由于对于超高洪峰洪水“20100723”，方案(a)的模拟效果要优于其余方案，直接导致误差分布范围的不同，但与DEM分辨率影响相似，除“20100723”洪水过程外，方案(a)的峰值模拟并无明显优势，并且对于峰值模拟误差前25%和50%的场次洪水，从中位线(方案(a)到(d)：17.4、16.9、13.4、17.9)和下四分位线(方案(a)到(d)：9.0、5.9、4.3、10.2)可以看出，划分35个子流域的方案要比划分15个和25个的方案表现略差。由此可见，子流域划分对洪峰流量模拟的影响与DEM分辨率相似，即子流域划分越细致，其洪峰模拟越稳定，但无法得出其洪峰模拟精度就越高的结论，分析由于除了参数的优化率定消除部分影响外，更重要的是随着子流域个数的增加，虽然空间参数集总程度减小，能更细致地刻画真实客观的流域下垫面情况，但空间参数个数的增多也为水文模拟结果带来了较大的不确定性，一定程度上降低了洪峰模拟精度。

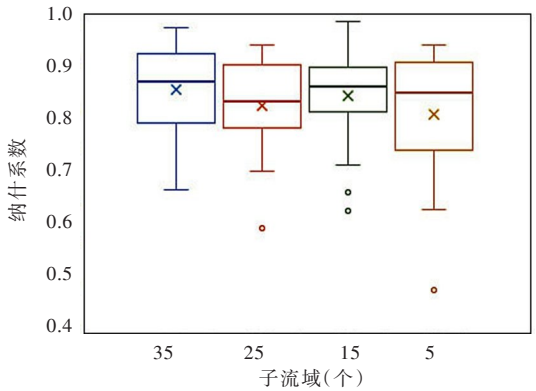


图6　不同子流域划分下纳什系数分布

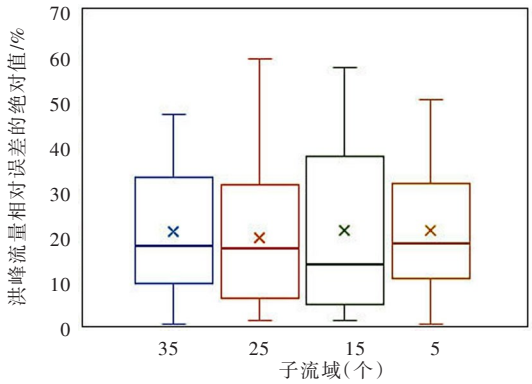


图7　不同子流域划分下峰值模拟相对误差分布

4　结论

本文选择HEC-HMS分布式水文模型，以河南省栾川流域为研究对象，分别提取出不同DEM分辨率和子流域个数下的流域水文特征参数进行对比，并分析两种类型的数据精度对纳什系数和峰值模拟的影响。

与以往大中流域的研究结果相比，DEM分辨率和子流域划分对山丘区小流域空间参数和水文模拟结果的影响要更为显著。随着DEM分辨率的降低，高程分布先减小后在100 m时又明显增大，坡度则呈明显的连续变缓趋势，粗糙的DEM数据对其均化作用明显；随着子流域个数的减少，子流域面积和河道长度有所增大，河道坡度减小，下渗率、不透水面积等集总赋值参数的分布范围先稳定不变而后明显缩小。

DEM数据分辨率和子流域划分水平对HEC-HMS模型模拟结果的影响是类似的，对于纳什系数，DEM数据分辨率和子流域划分水平的影响趋势较为明显，随着DEM分辨率的降低，纳什系数逐渐减小，随着子流域划分个数的减少，受空间参数集总程度的影响，纳什系数先减小后稳定再减小，变化略微复杂；对于洪峰流量，研究发现数据精度与峰值模拟精度并非正比关系，对大部分场次洪水，各方案模拟效果基本一致，甚至粗糙的数据方案模拟精度略高，但对模拟难度大的“20100723”超高峰值洪水，精细的DEM数据或细致的子流域划分输入能带来相对较好的结果，缩小模拟误差分布范围，总体表现更为稳定。

参　考　文　献：

[1] 郝芳华，张雪松，程红光，等．分布式水文模型亚流域合理划分水平刍议[J]．水土保持学报，2003，17(4)：75-78．

[2] 吴军，张万昌．DEM分辨率对AVSWAT2000径流模拟的敏感性分析[J]．遥感信息，2007(3)：8-13．

[3] 冷佩，宋小宁，李新辉．复杂山区小流域径流模拟影响因素分析[J]．水文，2010，30(6)：5-9．

[4] MANILLAPALLI S．Effect of spatial variability on basin scale modeling. Third International Conference Workshop on Inte-grating GIS and Environmental Modeling[C]//Santa Fe，New Mexico，1996．

[5] USACE．Hydrologic Modeling System HEC-HMS Users Manual[M]．US：Hydrologic Engineering Center，2000．

[6] USACE．HEC-GeoHMS Users Manual[M]．US：US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center，2000．

[7] 董小涛，李致家．HEC模型在洪水预报中的运用[J]．东北水利水电，2004，22(11)：43-44．

[8] SRINIVAS N，KALYANMOY Deb．Multi-objective optimization using non-dominated sorting in genetic algorithms[J]．Evolutionary Computation，1994，2(3)：221-248．

[9] Kalynanmoy Deb，Amrit Pratap，Sameer Agarwal，et al．A fast and elitist multi-objective genetic algorithm：NSGA-II[J]．IEEE Transactions on Evolutionary Computation，2002，6(2)：182-197．

[10] 林凯荣，刘珊珊，陈华，等．DEM网格尺度对水文模拟影响的研究[J]．水力发电，2007(12)：12-14．

[11] CHAPLOT V．Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT runoff，sediment，and NO3-N loads predictions[J]．Journal of Hydrology，2005，312(1/4)：207-222．

[12] 邱临静．DEM栅格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响[J]．生态学报，2012，32(12)：3754-3763．

[13] 高玉芳，陈耀登，蒋义芳，等．DEM数据源及分辨率对HEC-HMS水文模拟的影响[J]．水科学进展，2015，26(5)：624-630．

[14] 徐宗学，陈磊．分布式水文模型研究与应用进展[J]．水利学报，2010，41(9)：1009-1017．

[15] 梁犁丽，冶运涛，龚家国，等．分布式水文模型在短期水文预报中应用的可行性探讨[J]．中国水利水电科学研究院学报，2013，11(3)：210-215．

Influence analysis of accuracy of underlying surface data on simulation results of HEC-HMS hydrological model in mountainous areas

CHANG Qingrui[1]，TANG Yingfu[1]，WANG Lu[2]，XU Jing[1]

(1. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research*，*Beijing*　100038，*China*；

2. *Water Bureau of Zezhou County*，*Jincheng City*，*Shanxi Province*　048000，*China*)

Abstract：The underlying surface conditions of the small watersheds in mountainous areas are complex and variable，and the effects of DEM resolution and sub-basin classification on the simulation results of the distributed hydrological model should be in-depth studied. This paper selected HEC-HMS distributed hydrological model，which has been widely used in small watersheds. Four kinds of DEM resolution schemes and four sub-basin classification schemes are set up in the Luanchuan basin of Henan Province. The hydrological characteristic parameters of watershedes under different schemes are extracted and compared. Besides，the effects of two types of data accuracy on Nash coefficients and simulated results of peak discharge are analyzed. The results indicate that compared with the large and medium watersheds，DEM resolution and sub-basin classification have more significant impact on spatial parameters and hydrological simulation results of small watersheds in mountainous area. In flash flood warning and forecasting，in order to ensure the stability and reliability of the simulation results，the accuracy of the underlying surface data should be improved as much as possible.

Keywords：HEC-HMS hydrological model；DEM；sub-basin classification；accuracy of underlying surface data；influence analysis

（责任编辑：王成丽）