

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20220097

# 地形格网大小对小流域洪水模拟影响研究

段现辉<sup>1</sup>, 李磊菁<sup>2</sup>, 李建柱<sup>2</sup>

(1. 河北省沧州水文勘测研究中心, 河北 沧州 061000;  
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:**以河北省邢台市柳林流域为研究区域,通过HEC-GeoHMS模块处理30 m、90 m、1 km格网DEM数据,构建相应的HEC-HMS模型,对柳林流域选取的19场洪水进行模拟,对比分析不同地形格网大小对洪水模拟的影响,以探索基于不同格网大小地形构建的水文模型在柳林流域洪水模拟的适用性。结果表明:30 m、90 m、1 km格网模型洪峰流量合格率分别为68.4%、42.1%、26.3%;径流量合格率分别为78.9%、68.4%、68.4%;率定期和验证期纳什效率系数均值为0.59、0.57、0.46。因此,30 m格网模型更适合用来进行柳林流域洪水模拟。

**关键词:**HEC-HMS;洪水模拟;DEM格网尺寸;柳林流域

**中图分类号:**P333

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-0852(2024)01-0033-04

## 0 引言

洪水灾害是发生最为频繁、影响最为严重的自然灾害之一,对经济、社会以及生态稳定造成了严重影响<sup>[1-2]</sup>。水文模型是防洪减灾的重要非工程措施<sup>[3]</sup>,是用数学方法,结合地形、洪水、降雨等资料建立相应的模型,以此进行洪水模拟和预测,为洪水预报和防洪决策提供技术手段和参考依据<sup>[4]</sup>。

洪水过程模拟涉及到降雨、径流、流域面积、下垫面状况、起止时间等多个时空尺度<sup>[5-7]</sup>,为了建立合适的洪水模拟模型,国内外开展了大量的研究<sup>[8-9]</sup>。HEC-HMS模型应用范围广,功能全面,对不同气候环境适应能力强<sup>[10]</sup>,在国内外得到广泛的应用。Gunathilake等<sup>[11]</sup>借助HEC-HMS模型,在泰国北部流域,评价不同遥感系统获得的信息对水文模拟的影响程度。Webster<sup>[12]</sup>利用GIS分割流域进行洪水模拟,取得了较好成果。康彦付等<sup>[13]</sup>将紫荆关流域划分为11个子流域,通过选择产流和汇流计算方法,构建了流域HEC-HMS模型,取得了较高的模拟精度。

数字高程模型(DEM)是水文模型构建的基本数

据,包含了高程、坡度、坡向等地形信息<sup>[14]</sup>,DEM的引入促进了水文模型的发展<sup>[15]</sup>。以往研究表明,DEM分辨率的差异对流域地形信息的提取及洪水模拟结果存在影响<sup>[16]</sup>,理论上DEM分辨率越高洪水模拟效果越好,但随分辨率的增加,地形数据量和地形数据的处理难度也增大<sup>[17]</sup>。因此,有必要进一步开展DEM分辨率对半分布式水文模型模拟结果的影响研究。

本文以邢台市柳林流域为例,采用从地理空间数据云下载的30 m、90 m、1 km 3种格网DEM,分别建立HEC-HMS水文模型,对1995—2016年19场洪水进行模拟,探讨DEM格网大小对洪水模拟结果的影响,确定适用于流域洪水模拟的DEM格网,为半干旱半湿润地区洪水过程模拟和防洪减灾提供科学依据。

## 1 研究区域概况

柳林水文站位于河北省邢台市内丘县柳林村,控制流域面积57.4 km<sup>2</sup>。该流域属于半干旱半湿润地带,温带季风气候。控制河段属于海河流域子牙河水系小马河,主河道长13.2 km。

柳林水文站实测洪水涨落迅猛,汛期洪水峰高量

大,洪涝灾害频发。四季特征分明,温差较大。多年平均气温 11.7~13.6 ℃,多年平均降水量 594.5 mm,多年平均径流深 80.7 mm,多年平均最大 24 h 降雨量 92.5 mm,多年平均最大 3 日降水量 135 mm,多年平均水面蒸发量 1 045.5 mm。柳林流域的洪水灾害主要是在汛期由暴雨引起,具有突发性。

2 数据与方法

2.1 研究数据

本研究采用的地形数据资料源自地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>)平台,下载 30 m×30 m,90 m×90 m,1 km×1 km 的数字高程模型(DEM),运用 Arc-GIS 软件的 HEC-GeoHMS 模块对原始 DEM 数据进行处理;降雨和流量资料为 1995—2016 年的实测逐小时资料,筛选出 19 场典型洪水和相应的降雨过程,作为洪水模拟的输入数据。

2.2 研究方法

主要运用 Arc-GIS 软件和 HEC-HMS 水文模型来进行数据的处理和分析。利用 Arc-GIS 软件和其中的 HEC-GeoHMS 模块进行水文分析,通过对 DEM 数据的填洼、流向分析、汇流计算,确定流域的阈值,提取出河网,划分出子流域,设定产汇流计算方法,生成 HEC-HMS 模型能够识别的流域底图模型文件,在建立水文模型时导入流域模型。

HEC-HMS 模型主要包括四个部分,分别是流域模块、气象模块、控制运行模块、数据储存模块。模型中洪水模拟需要确定四个计算模块,分别是降雨损失、直接径流、基流、河道汇流,四个模块按照实际水流过程组合演算,最终演算出流域水流过程。根据柳林流域水文特性和 HEC-HMS 模型建立的基本计算要求,选取模块计算方案如下:降雨损失计算选用 SCS 曲线法、直接径流计算选用 Synder 单位线法、基流计算选用退水曲线法、河道汇流演算选用马斯京根法。

3 HEC-HMS 模型的应用

3.1 参数率定及验证

本模型的降雨损失计算选用 SCS 曲线法,需要率定反映流域降雨前特征参数 CN 值,CN 值的理论取值范围为 0~100 之间,实际洪水模拟中常用取值范围为 30~100;直接径流计算选用 Synder 单位线法,需要率定 Synder 单位线的峰值系数  $C_p$  和洪峰滞时  $T_p$ ,其中,峰值系数的理论取值范围为 0.4~1;基流计算采用退水曲线法,需要率定衰减系数;汇流计算选用 Muskingum 法,需要率定流量比重因子  $x$  和槽蓄曲线坡度  $K$ 。对 30 m、90 m、1 km 格网 DEM 构建的洪水模型进行参数率定和模型验证,率定期选用 13 场洪水进行模拟,验证期选用其余 6 场洪水进行模拟,基于不同格网 DEM 构建的 HEC-HMS 模型相关参数的率定结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 参数率定  
Table 1 Model parameter calibration

子流域序号	峰值系数 $C_p$			洪峰滞时 $T_p$			衰减系数			CN		
	30 m	90 m	1 km	30 m	90 m	1 km	30 m	90 m	1 km	30 m	90 m	1 km
W100	0.65	0.66	0.6	0.75	0.73	0.75	0.1	0.12	0.13	66	66	66
W110	0.8	0.78	0.75	0.8	0.82	0.77	0.1	0.12	0.13	66	67	56
W120	0.72	0.7	0.7	0.66	0.68	0.65	0.1	0.12	0.13	43	41	48
W130	0.9	0.91	0.88	0.72	0.7	0.72	0.1	0.12	0.13	44	43	44
W140	0.81	0.8	0.83	0.71	0.72	0.71	0.1	0.12	0.13	42	45	42
W150	0.73	0.75	0.75	0.7	0.7	0.65	0.1	0.12	0.13	43	50	40
W160	0.9	0.88	0.85	0.68	0.65	0.66	0.1	0.12	0.13	45	46	45
W170	0.8	0.82	0.81	0.69	0.72	0.72	0.1	0.12	0.13	43	49	40
W180	0.82	0.8	0.83	0.7	0.71	0.68	0.1	0.12	0.13	46	46	48

表 2 河道汇流参数  
Table 2 River confluence parameters

河道	R50			R60			R70			R80		
	30 m	90 m	1 km	30 m	90 m	1 km	30 m	90 m	1 km	30 m	90 m	1 km
槽蓄曲线坡度 $K$	0.8	1	1	0.16	0.2	0.25	0.2	0.2	0.25	0.05	0.1	0.1
流量比重因子 $x$	0.38	0.4	0.4	0.38	0.4	0.42	0.34	0.4	0.42	0.3	0.4	0.4

3.2 不同格网DEM的洪水模拟

30 m、90 m、1 km 格网 DEM 构建的模型模拟结果如表3所示,部分洪水模拟过程线如图1所示。

由参数率定和模型验证结果可知:对于30 m格网DEM的模型,率定期Nash系数均值为0.59,洪峰流量相对误差平均绝对值为21.3%,径流量相对误差平均绝对值为19.0%。对于90 m格网DEM的模型,率定期Nash系数均值为0.56,洪峰流量相对误差平均绝对值为26.9%,径流量相对误差平均绝对值为17.7%。对于1 km格网DEM的模型,率定期Nash系数均值为0.50,洪峰流量相对误差平均绝对值为39.0%,径流量相对误差平均绝对值为19.4%,基于较小尺寸格网DEM的HEC-HMS模型模拟精度更高。在验证期也得到了相同的结论。总体上看,30 m、90 m模型率定期和验证期洪水模拟均达到丙等精度,率定的参数较为适用。

根据表3各场洪水模拟评价指标和图1洪水过程线的模拟结果可以得出:(1)30 m格网DEM数据更适合用来进行洪峰流量的模拟;(2)不同格网大小DEM数据对于径流量模拟的影响较小;(3)基于三种尺寸格

网DEM建立的模型,对峰高量大、涨落明显、退水较快的洪水模拟效果更好。结合对洪峰流量、径流量的模拟误差及Nash效率系数,30 m格网的DEM数据建立的模型更适合进行洪水模拟。

4 结论

(1)在HEC-HMS模型的四个计算模块中,降雨损失计算采用SCS曲线法、直接径流计算采用Synder单位线法、基流计算采用退水曲线法、河道汇流计算采用马斯京根法。对30 m、90 m、1 km格网DEM构建的HEC-HMS模型均进行参数率定和模型验证,结果显示:30 m格网DEM的模型,率定期Nash系数均值为0.59,验证期Nash系数均值为0.59。90 m格网DEM的模型,率定期Nash系数均值为0.56,验证期Nash系数均值为0.59。对于1 km格网DEM的模型,率定期Nash系数均值为0.50,验证期Nash系数均值为0.42。模型模拟效果不理想,30 m、90 m模型仅达丙等精度。

(2)在30 m、90 m、1 km格网DEM的HEC-HMS模型中,模拟得到的洪水过程线走向基本相同,格网尺寸大小

表3 洪水模拟结果										
Table 3 Flood simulation results										
洪水场次	洪峰流量相对误差			径流量相对误差			Nash效率系数			
	30 m	90 m	1 km	30 m	90 m	1 km	30 m	90 m	1 km	
参数率定期	950617	-1.4%	-15.7%	-33.2%	15.1%	3.7%	0.3%	0.75	0.73	0.70
	950713	-7.5%	-19.8%	-28.5%	6.2%	-7.4%	3.6%	0.52	0.51	0.40
	950715	-55.2%	-54.1%	-66.8%	-11.8%	-17.9%	-27.7%	0.61	0.41	0.51
	950815	0.2%	3.3%	-19.5%	-12.2%	-12.5%	-15.2%	0.69	0.68	0.73
	960716	-16.6%	-16.7%	-40.6%	38.7%	39.0%	-14.4%	0.59	0.56	0.30
	960805	-22.4%	-23.4%	-36.7%	1.9%	1.6%	0.5%	0.70	0.68	0.59
	960820	-16.5%	-28.6%	-40.4%	-4.9%	-19.6%	-18.6%	0.94	0.86	0.64
	980718	-46.2%	-52.4%	-53.2%	16.7%	12.3%	13.5%	0.59	0.52	0.53
	980814	-43.9%	-46.9%	-60.1%	46.5%	38.5%	46.5%	0.27	0.30	0.11
	000705	-28.4%	-32.7%	-38.7%	9.5%	-8.5%	18.4%	0.72	0.68	0.60
	000811	-9.7%	-26.4%	-32.0%	23.3%	5.3%	27.6%	0.26	0.35	0.55
	030916	-12.6%	-15.3%	-18.9%	45.4%	42.8%	25.3%	0.39	0.38	0.87
	040730	-16.5%	-14.9%	-37.9%	14.5%	21.4%	-40.0%	0.63	0.56	0.01
	平均绝对值	21.3%	26.9%	39.0%	19.0%	17.7%	19.4%	0.59	0.56	0.50
模型验证期	040812	-18.6%	-17.4%	-26.7%	16.5%	13.8%	17.4%	0.51	0.44	0.25
	060814	-2.5%	2.9%	-13.5%	13.5%	16.9%	4.8%	0.55	0.51	0.45
	120726	-15.5%	-21.3%	-27.9%	55.6%	47.0%	56.6%	0.69	0.69	0.40
	160719	-7.2%	-21.7%	-19.4%	8.0%	-19.2%	22.7%	0.88	0.90	0.84
	160807	-20.8%	-23.1%	-18.5%	-13.3%	-21.6%	-4.7%	0.16	0.25	0.07
	160812	8.8%	-15.7%	-28.0%	14.1%	-19.3%	-17.2%	0.75	0.72	0.52
	平均绝对值	12.2%	17.0%	22.3%	20.2%	23.0%	20.6%	0.59	0.59	0.42

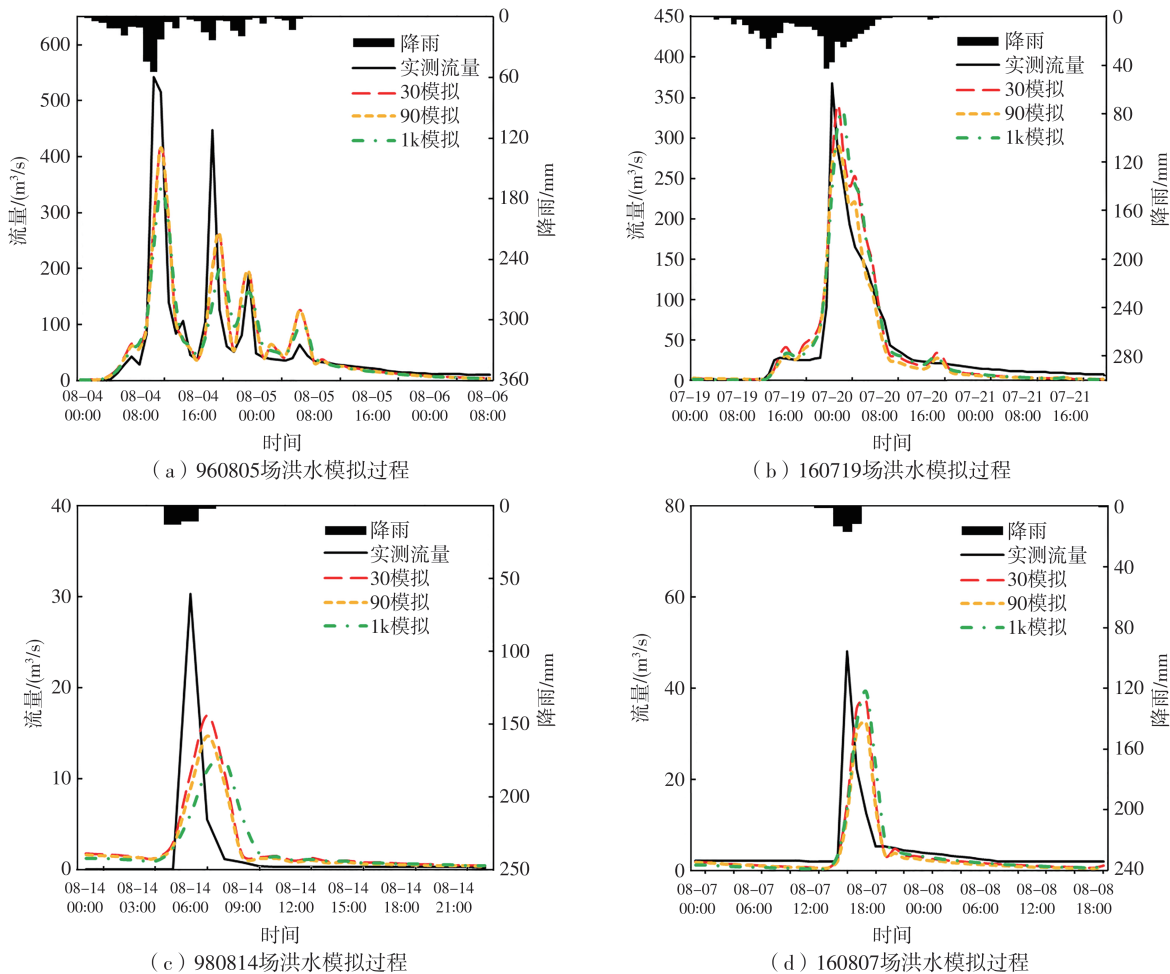


图1 不同格网DEM下部分场次洪水模拟过程线

Fig.1 Simulation of some typical floods under different DEM resolution

对模拟洪水的洪峰流量影响较大,对径流量几乎无影响,模拟得到的Nash系数也随格网尺寸增大而逐渐减小。

(3)综合比较模拟得到的洪水评价参数可知,1 km格网模型模拟洪水有较大误差,不适宜进行模型建立及洪水模拟。30 m格网模型进行洪水模拟的精度较90 m格网模型更高,相比较之下可以更好的模拟柳林流域洪水形态,因此30 m格网DEM数据进行柳林流域洪水模拟是可行的。

#### 参考文献:

- [1] 王蒙, 张恒德, 包红军, 等. 2020年淮河流域梅汛期极端暴雨洪涝雨水情分析[J]. 水文, 2022, 42(3): 95-101.
- [2] HERLE M M, PETER S, ANDERS B. Framing professional climate risk knowledge: Extreme weather events as drivers of adaptation innovation in Copenhagen, Denmark [J]. Environmental Science and Policy, 2019, 98(4): 30-38.
- [3] 文小艳, 李慧. 基于事故树的城市洪水灾害原因分析与应对策略[J]. 防灾科技学院学报, 2016, 18(4): 50-54.
- [4] WARREN V, GARY L. Introduction to hydrology [M]. Harper Collins College Publishers, 1996.
- [5] 杨殿亮, 许畅, 钟华. 沂河临沂站洪水预报影响因素分析[J]. 水利规划与设计, 2017, (12): 33-35, 84.
- [6] CHANG L C, CHANG F J, WANG Y P. Auto-configuring radial basis function networks for chaotic time series and flood forecasting [J]. Hydrological Processes, 2009, 23(17): 2450-2459.
- [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] 金鑫, 郝振纯, 张金良. 水文模型研究进展及发展方向[J]. 水土保持研究, 2006, (4): 197-199, 202.
- [9] 孙野. 水文模型[J]. 水利天地, 2007(7): 29.
- [10] 程文飞, 陈军锋, 吴博等. HEC-HMS水文模型在圪洞流域洪水模拟中的应用[J]. 水电能源科学, 2018, 36(8): 52-55.
- [11] GUNATHILAKE M B, AMARATUNGA Y V, PERERA A. Statistical evaluation and hydrologic simulation capacity of different satellite-based precipitation products in the Upper Nan River Basin, Northern Thailand [J]. Journal of Hydrology: Regional Studies, 2020, 32: 100743.

(下转第49页)