

基于土地利用与地表覆盖遥感信息的洪水过程模拟

姜红梅¹,任立良¹,安 如²,袁 飞¹,王美荣³

(1. 河海大学水资源环境学院水资源开发教育部重点实验室,江苏 南京 210098;
2. 南京大学城市与资源学系,江苏 南京 210093 3. 北京市水文总站,北京 100039)

摘要 基于数字流域平台,将遥感技术获取的土地利用和地表覆盖 1 km 栅格信息与数字高程模型数据进行空间配准,由此直接提取新安江模型参数 IMP (不透水面积比),并通过构建林地面积比与新安江模型参数 SM (土壤自由水蓄水容量)的关系间接确定各子流域的 SM 值.汉江褒河流域 24 场洪水实例研究表明:采用半分布式水文模型,15 场洪水的确定性系数增大,22 场洪峰流量相对误差显著降低; SM 对洪峰流量的影响要比对确定性系数的影响大.

关键词 数字高程模型;数字流域;土地利用与地表覆盖;遥感;洪水过程模拟

中图分类号 :P338⁺.9 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2004)02-0131-05

地物覆盖影响流域产汇流机制^[1],要研究土地利用变化对水文过程的响应,就必须研究水文过程的物理机制,建立可以描述模型输入、参数和水文过程的空间变异性的模型,通过下垫面的自然地理条件直接或间接地确定参数,借助遥感信息将相关参数从有资料地区推广到无资料地区.

1 数字水系的构建

覆盖汉江褒河流域的栅格 DEM 数据取自美国国家地球物理数据中心提供的全球陆地 1 km 基础高程数据,空间分辨率为 30".应用数字高程流域水系模型 DEDNM^[2,3] (Digital Elevation Drainage Network Model)自动提取流域分水线,并生成栅格型水系及其空间拓扑关系,为洪水过程模拟提供数字流域平台.

2 土地利用与地表覆盖信息的提取

2.1 空间配准

中国土地利用与地表覆盖 1 km 栅格数据由 TM 遥感信息解译而成^[4],其空间分辨率为 1 km,每一层面的任一栅格数值为在该栅格范围内某一种土地利用类型实际面积占 1 km² 面积的百分比.

由于 DEM 数据的空间分辨率(30")与土地利用栅格数据的分辨率(1 km)不同,为了提取研究流域的下垫面土地利用与地表覆盖数据,就必须使这 2 种数据空间配准且尺度相匹配.因此,先从全国土地利用与地表覆盖的水系层面中取出汉江流域黄家港以上流域的水系,再利用软件 ERDAS IMAGINE 选取控制整个汉江流域的水系图上的特征点,将土地利用的水系(分辨率为 1 km)与 DEDNM 生成的水系(分辨率为 30")进行特征点的空间配准,将土地利用的水系图校正到与 DEM 生成的水系基本吻合(见图 1);然后取出与水系层相同范围的各类土地利用栅格数据,按同样的方法将各类土地利用的栅格图校正过来,并把校正后的各类土地利用栅格数据文件导出来.

2.2 不透水面积比和林地面积比的计算

不透水面积比 IMP 是指各子流域内不透水面积(包括河渠、湖泊、水库坑塘、城镇用地)占子流域面积的比例.林地面积比 F 是指各子流域内林地面积(包括灌木林、有林地、疏林地、其他林地)占子流域面积的比例. IMP 和 F 的值从中国土地利用与地表覆盖 1 km 栅格数据中直接提取.

收稿日期 2003-11-06
基金项目 国家重点基础研究发展规划(973 计划)资助项目(2001CB309404),国家自然科学基金资助项目(40171016)
作者简介 姜红梅(1978—),女,辽宁东港人,硕士研究生,主要从事水文水资源方面的研究.

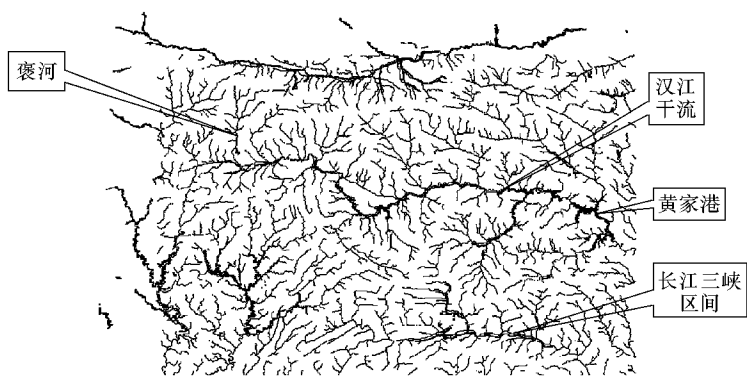


图 1 土地利用与土地覆盖中的水系(深色)与 DEM 生成的水系(浅色)的空间配准

Fig.1 Grid-based channel network (bold lines)with land use and land cover matched spatially with the digital river network (thin lines) generated by DEDNM

3 数字水文模型的构建

a. 新安江模型是一个适用于湿润、半湿润地区的降雨径流模型^[5],又称蓄满产流模型.褒河流域 1980 ~ 1985 年年平均雨量为 930.9 mm ,属湿润地区 ,符合新安江模型的应用条件.因此 ,首先在 DEDNM 生成的子流域单元面积上应用新安江三水模型建立降雨径流模型 ,然后根据 DEDNM 生成的河网与子流域的拓扑关系并应用马斯京根法构建汇流模型 ,最后利用汇流模型构建研究流域的数字水文模型.

b. 以此水文模型模拟水文过程 ,先选用 1980 ~ 1985 年褒河流域马道站控制断面以上的 13 个雨量站的日雨量、江口站的日蒸发量、马道站的日流量进行日模型计算 ,再在这 13 个雨量站的降雨摘录表、马道站的洪水要素摘录表中选取大、中、小不同量级的 24 场洪水过程进行次洪模拟.

3.1 研究区概况

褒河是汉江上游陕西省境内的一条支流 ,位于北纬 33.2° ~ 34.5°、东经 106.5° ~ 107.5° ,海拔高度 470 ~ 3 408 m ,地形较为复杂 (见图 2).马道站 (东经 107°、北纬 33°26′)控制流域面积 3 415 km².图 3 所示为 DEDNM 生成的流域、水系和 22 个子流域.



图 2 褒河流域三维立体图

Fig.2 3-D map of the Baohe catchment

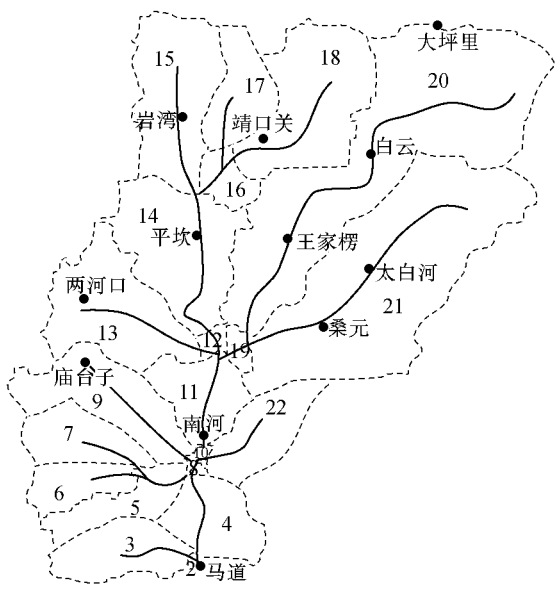


图 3 子流域划分及雨量站分布(数字为子流域编码)

Fig.3 Partition of subcatchments and distribution of rain-gauge stations (figures represent subcatchment codes)

3.2 模型算法

本研究采用传统集总水文模型和半分布式水文模型 2 种不同的模型。

传统集总水文模型将各子流域内雨量站的实测值作为该子流域的雨量输入(没有雨量站的子流域移用邻近雨量站实测资料)模型参数率定采用客观优选方法^[6],无论日模型还是次洪模型,所有子流域都取均一参数。对于次洪模型,所有场次的洪水都率定出一组均一的参数,只是每场洪水的初始条件由日模型给定。

半分布式水文模型与传统集总水文模型的不同之处是,每个子流域内的 SM 和 IMP 均根据土地利用与地表覆盖数据取不同的值。这是半分布式水文模型的优点。

3.3 参数率定

2 种方法除了 SM 和 IMP 参数确定方法不同外,其他参数率定方法均相同,因此仅介绍 SM 的确定方法。

壤中流主要产自浅层,浅层土质主要决定于植被条件^[7]。流域平均自由水蓄水容量 SM 对地面径流产生的多少起决定性作用,其值与模型计算时间步长有关。 SM 与林地率有较好的相关关系,在土壤透水性相似的情况下,林地面积比(F)大,根系形成的土壤孔隙率就大;土壤孔隙率大,表层土所蓄自由水量就大,洪水过程就肥胖^[8]。

利用 8 个流域的样本数据(其中 7 个取自文献[9,10],1 个取自褒河流域)建立了一元线性回归方程 $SM = 40.5F - 6.8$ (相关系数 $R = 0.87$)。由此方程可根据各子流域的林地面积比求出各子流域的 SM 值(见表 1)。若子流域的林地面积比为 0,则 SM 取为 23 mm。这种情形仅存在于第 8 子流域。

表 1 褒河流域各子流域的 SM 值

Table 1 SM for each subcatchment of the Baohe catchment

子流域编号	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SM	19	20	16	14	17	11	23	15	23	5	6	20	21	14	23	5	13	7	18	24	9

4 计算结果及分析

表 2 为用 2 种方法模拟 24 场洪水所得出的确定性系数与洪峰流量相对误差计算结果。从表 2 可以看出,采用半分布式水文模型进行模拟,洪水确定性系数明显增大,原来洪峰偏低的现象大为改善。确定性系数增大较明显的主要是中小量级洪水,而洪峰流量相对误差降低则是普遍现象。具体而言(a)24 场洪水的确定性系数中,增大的有 15 场,不变的有 5 场,降低的有 4 场;(b)24 场洪水的径流总量相对误差中,明显降低(降低幅度大于 2%)的有 7 场,基本不变(降低幅度小于 2%)的有 11 场,变大的有 6 场;(c)30 个洪峰流量相对误差中,显著降低的有 22 个,几乎不变的有 4 个,变大的有 4 个;(d)30 个洪峰峰现时间绝对误差中,变小的有 8 个,不变的有 16 个,变大的有 6 个。

总体看来,子流域 SM 参数的分布式设定对洪水过程的模拟有显著影响。在所有场次的洪水中,2 种方法模拟的结果均在误差范围内,半分布式水文模型径流总量的模拟结果要略好于传统集总水文模型模拟的结果,但优势不很明显。虽然半分布式水文模型峰现时间的模拟效果要略好于传统集总水文模型的模拟效果,但 2 种方法模拟的结果均不特别理想。这主要是由于降雨摘录表中大部分记录时间过长(6 h)造成的。

从图 4 可以看出,复式洪水前后 2 个洪峰值均有所提高,后一个峰值偏低,但半分布式水文模型模拟的结果更接近实测值。计算结果表明:传统集总水文模型模拟的后一个峰的峰现时间要滞后一个时段,而半分布式水文模型模拟的峰现时间与实测峰现时间一致;传统集总水文模型模拟的径流量相对误差为 0.45%,半分布式水文模型模拟的径流量相对误差为 -0.34%,误差有所降低;传统集总水文模型模拟的确定性系数为 0.87,半分布式水文模型模拟的确定性系数为 0.93,精度提高了 6%。

5 小 结

a. 本文从物理成因角度研究模型部分参数,并基于土地利用与地表覆盖遥感信息将新安江模型参数 SM 和 IMP 离散到每一个子流域。具体做法是:建立土地利用信息与模型参数 SM 的相关关系,直接由土地利用信息提取模型参数 IMP 。这样做不仅使模型参数物理意义更强,而且可依据下垫面信息将相关参数推广到无实测水文资料的区域。从模拟结果来看,半分布式水文模型的参数子流域离散法优于传统集总水文模型的参数全流域均一化法。

表 2 24 场洪水的确定性系数 DC 与洪峰流量相对误差 δ 统计

Table 2 Comparison between computed results of deterministic coefficient and relative error of flood peak discharge for 24 flood events

洪水编号	洪峰流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	传统集总 水文模型 DC_L	半分布式 水文模型 DC_S	$DC_S - DC_L$	传统集总水 文模型 $\delta_L/\%$	半分布式水文 模型 $\delta_S/\%$	$(\delta_L - \delta_S)\%$
8002	3090	0.76	0.78	0.02	-36.16	-27.62	8.54
8003	575				7.80	0.62	7.18
(复式)	595	0.71	0.75	0.04	-15.58	-13.24	2.34
8004	693	0.87	0.88	0.01	-18.80	0.06	18.74
8005	710	0.88	0.86	-0.02	-30.50	-23.85	6.65
8101	568	0.84	0.91	0.07	-0.07	-0.07	0.00
8102	1550	0.80	0.81	0.01	-0.60	0.17	0.43
	3200				-21.06	-13.26	7.80
8103	3490	0.67	0.67	0	-6.24	-0.14	6.10
(复式)	5810				-45.83	-43.79	2.04
8104	1110				-16.78	-3.24	13.54
(复式)	1260	0.84	0.88	0.04	-33.53	-12.99	20.54
8201	516	0.70	0.70	0	0.49	0.36	0.13
8202	607	0.78	0.71	-0.07	0.74	0.51	0.23
8203	289	0.88	0.86	-0.02	-14.29	0.33	13.96
8301	540	0.94	0.94	0	0.69	13.06	-12.37
8302	787	0.70	0.72	0.02	-18.06	-9.02	9.04
8303	883	0.74	0.77	0.03	-19.86	-18.20	1.66
8304	1700	0.74	0.74	0	-28.14	-28.79	-0.65
8305	722	0.85	0.85	0	0.21	0.76	-0.55
8306	882	0.80	0.83	0.03	-33.49	-19.20	14.29
8307	782	0.91	0.94	0.03	-14.60	-0.58	14.02
8401	592	0.76	0.83	0.07	-19.62	-9.84	9.78
8402	292	0.60	0.66	0.06	-17.46	-14.57	2.89
8403	558	0.67	0.69	0.02	-14.22	-19.02	-4.80
8404	602				-12.67	0.35	12.32
(复式)	663	0.87	0.93	0.06	-31.89	-17.27	14.62
8504	211	0.91	0.85	-0.06	0.04	3.95	-3.91
8505	367				-7.52	2.84	4.68
(双峰)	374	0.61	0.66	0.05	0.44	-1.07	-0.63

注 (a) 洪峰流量相对误差为负值则表示计算值比实测值小 (b) 2 种方法比较项中的负值表示精度降低、误差变大。

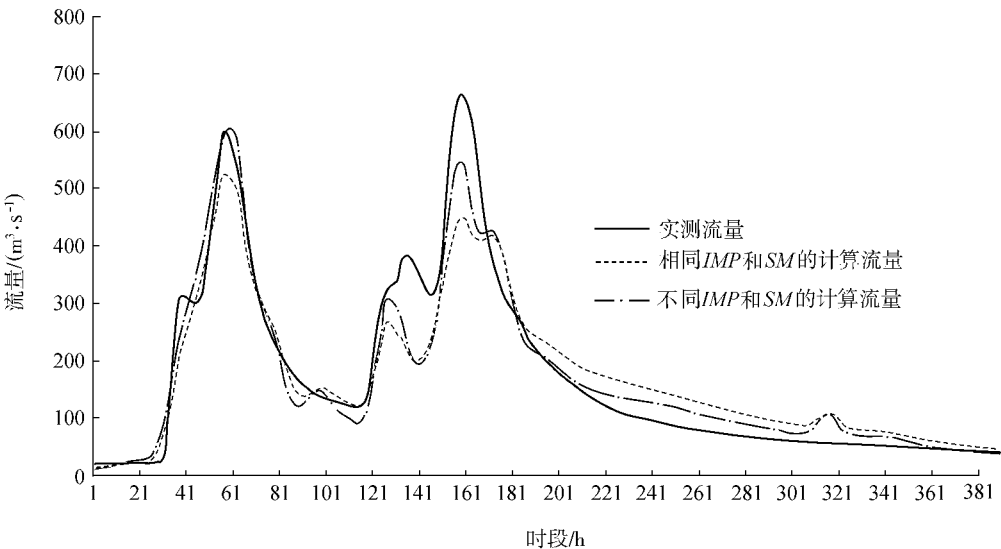


图 4 马道站 8404 次洪水过程线

Fig.4 Hourly discharge hydrograph for No.8404 flood event occurring at Madao station in 1984

b. 半分布式水文模型可以探究土地利用变化等人类活动对水循环过程的影响,定位分析人类活动对其所在子流域水循环的影响,定量分析某个子流域上土地利用变化对整个流域水文过程的影响.在充分利用土地利用与地表覆盖数据,考虑流域空间变异性并使参数在流域内尽可能离散化的基础上构建分布式水文模型,是提高洪水预报精度的一条有效途径.

参考文献:

- [1] BRONSTERT A, NIEHOFF D, BÜRGER G. Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modeling capabilities [J]. *Hydrological Processes*, 2002, 16(2): 509—529.
- [2] MARTZ W, GARBRECHT J. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models [J]. *Computers & Geosciences*, 1992, 18(6): 747—761.
- [3] 任立良, 刘新仁. 基于数字流域的水文过程模拟研究 [J]. *自然灾害学报*, 2000, 9(4): 45—52.
- [4] 刘纪远, 庄大方, 张增祥, 等. 中国土地利用时空数据平台建设及其支持下的相关研究 [J]. *地球信息科学*, 2002, 4(3): 3—7.
- [5] 赵人俊. 流域水文模拟——新安江模型与陕北模型 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1984. 32—70.
- [6] 王佩兰, 赵人俊. 新安江模型(三水源)参数的客观优选方法 [J]. *河海大学学报*, 1989, 17(4): 65—69.
- [7] 赵人俊, 王佩兰, 胡凤彬. 新安江模型的根据及模型参数与自然条件的关系 [J]. *河海大学学报*, 1992, 20(1): 52—59.
- [8] 胡凤彬, 陆桂华. 华南花岗岩区产流区域规律的宏观分析 [J]. *河海大学学报*, 1991, 19(3): 86—93.
- [9] 井立阳. 基于 GIS 的三峡实时洪水预报研究 [D]. 南京: 河海大学, 2002.
- [10] 王美荣. 数字流域平台上多源信息在水文模型中的应用研究 [D]. 南京: 河海大学, 2003.

Application of remote sensing information about land use and land cover to flood simulation

JIANG Hong-mei¹, REN Li-liang¹, AN Ru², YUAN Fei¹, WANG Mei-rong³

(1. Key Laboratory of Water Resources Development of Ministry of Education, College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Dept. of Urban and Resources, Nanjing Univ., Nanjing 210093, China;

3. Beijing Bureau of Hydrology, Beijing 100039, China)

Abstract: Based on the platform of digital basin, the grid information with a resolution of one kilometer about land use and land cover obtained by the remote sensing technology is spatially matched with the data from the digital elevation model. The ratio of the impervious area to the subcatchment area, denoted by *IMP*, a parameter of the Xin'anjiang Model, is extracted directly. The soil free water storage capacity—*SM*, another sensitive parameter of the Xin'anjiang Model, can also be obtained indirectly by construction of the relationship between the ratio of forest-land area to the subcatchment area and the parameter *SM*. A case study of 24 flood events in the Baohe catchment, the upper tributary of the Hanjiang River, by use of the semi-distributed hydrologic model shows that the precision of the deterministic coefficient of 15 flood events is obviously improved, and the relative error of peak discharge of 22 flood events obviously decreases, and that the effect of *SM* on the peak discharge is greater than that on the deterministic coefficient.

Key words: digital elevation model; digital basin; land use and land cover; remote sensing; flood simulation