

文章编号: 1006-4710(2015)03-0366-08

土地利用变化对淮河上游小流域设计洪水的影响研究

吴森¹, 石朋^{1,2}, 孙勇³, 乔雪媛¹, 周敏敏¹, 瞿思敏¹, 王建金¹

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 3. 淮河水利委员会水文局, 安徽 蚌埠 233000)

摘要: 为了研究土地利用变化对设计洪水的影响, 采用同频率放大的方法计算设计暴雨, 并构建潢川流域的 SWAT 模型, 从而推求出设计洪水。根据计算结果, 分析了土地利用方式的改变对淮河上游小流域设计洪水的影响, 通过对设计洪峰、洪量及洪水过程的分析表明: 流域土地利用变化前后, 相同频率下的设计洪量减小, 且频率越大, 减小越多; 不同频率下的设计洪峰均有减小趋势, 且频率越大, 减小越多。对上述设计洪水变化特征进行分析, 设计洪水变化规律明显, 表明土地利用变化对流域设计洪水有显著影响。

关键词: SWAT 模型; 设计暴雨; 设计洪水; 土地利用变化

中图分类号: TV121.2 **文献标志码:** A

Research on the influence of land use change on the design flood of small basins in the upper reaches of Huaihe River

WU Miao¹, SHI Peng^{1,2}, SUN Yong³, QIAO Xueyuan¹,
ZHOU Minmin¹, QU Simin¹, WANG Jianjin¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Huaihe Water Conservancy Bureau, Bengbu 233000, China)

Abstract: In order to study the effect of land use change on the design flood, the method of frequency amplification is used to calculate the design storm. In this paper, and then the SWAT model of Huangchuan River Basin is built up to derive the design flood. According to the calculated results, this paper analyzes the effect of the change of land use pattern on the design flood of small river basin in the upper reaches of Huaihe River. The analysis of the design flood, flood peak and flood process, indicates that before and after the land use changes in the basin, the same frequency of design flood volume decreases, and the higher the frequencis the more reducing will be. There is a decreasing trend in the case of design flood peaks with different frequencies; and the higher the frequency is, the more the reduction will be. Analysis of the characteristics of the above mentioned design flood shows that, the variation law of design flood is obvious, thereby indicating that the change of land use may have a significant effect on the design flood.

Key words: SWAT model; design storm; design flood; land use change

淮河流域地处我国东部, 是我国人口密度大, 土地利用率高地区。由于地处特定的气候和下垫面条件, 淮河流域洪、涝、旱、风暴潮灾害频繁。局部的或较大面积的洪涝灾害时有发生, 给流域经济社会发展造成相当大的损失。

随着社会经济快速发展, 淮河流域土地利用方式及下垫面条件发生显著变化^[1]。研究表明, 淮河流域中游近 50 年来景观格局主要变化是旱地大量

减少, 湿地萎缩, 水田、人居地大量增加; 1999—2007 年, 淮河流域植被覆盖率年均 NDVI 除在 2000 年、2003 年以及 2006 年略有波动外, 整体呈显著增长趋势。20 世纪 80 年代, 土地利用方式主要以旱地为主, 旱地占总面积的 41.85%, 林地其次, 占总面积的 38.55%; 到了 20 世纪 90 年代, 流域主要的土地利用方式以林地为主, 占总面积的 40.69%, 其次为旱地, 占总面积的 30.38%; 2000 年后, 流域主要

收稿日期: 2015-03-12

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(51190090); 国家自然科学基金资助项目(51479062, 41371048)。

作者简介: 吴森, 女, 硕士生, 研究方向为水文水资源。E-mail: july3259@sina.com。

通讯作者: 石朋, 男, 教授, 博士, 研究方向为流域水文模拟。E-mail: ship@hhu.edu.cn。

的土地利用方式又以旱地为主,占总面积的 41.81%,林地面积相应减少,占总面积的 38.06%^[1]。

上述下垫面的变化严重影响着淮河流域的蒸散发特性及产汇流过程,淮河流域的降雨径流特性也发生了显著改变。因此,研究淮河流域下垫面变化对设计洪水过程的影响程度,修订已有流域水文设计成果是淮河流域防洪减灾工作的迫切需求。国内外许多学者在这方面也做了大量研究。刘睿^[2]等人以淮河上游漯河站为研究对象,研究了降雨量和年径流深序列变化,结果表明漯河站年径流深和年降雨量分别于 1985 年和 1999 年发生跳跃变异。蔡涛^[3]等人,以淮河上游息县水文站以上为研究区,选用 SWAT 模型模拟径流过程并分析其渗水特性参数时空变化,结果表明:降雨量大小弱化了流域下垫面条件对产水的影响。Chanasyk 等人^[4]将 SWAT 模型应用在加拿大的 Alberta 南部流域,研究表明土地覆被对径流量有较大的影响。刘昌明、郭军庭^[5-6]等人通过不同年代的土地利用状况和变化气候之间的组合来研究土地利用变化水文响应,得出调整流域土地利用类型,是实现流域水资源科学管理的途径之一。周敏敏^[7]等人研究了淮河上游大坡岭流域土地利用变化前后流域平均滞时的变化。乔雪媛^[8]等人研究了不同气候区江河径流变化特征,结果表明三大流域的径流表现出一致性时空变化,其中渭河和北江流域受到人类活动的影响较为突出。在土地利用类型对流域径流的影响方面,Calder、Bosch^[9]认为林地的减少能使流量增加,对于空旷地的造林会使径流总量减少。万荣荣^[10-11]等人选取太湖流域,利用分布式水文模型,定量分析了单一土地利用对洪水过程的影响,认为土地利用变化是影响流域洪涝灾害的重要因素。在设计洪水的研究方面,王国安^[12]强调搞好设计洪水工作需要三大支撑:健全的资料信息、相对合理的分析计算方法以及对设计流域水文气象规律的必要认识。综上所述,本文选取了淮河上游的潢川流域为研究对象,开展土地利用变化对设计洪水影响的研究,为将来潢川流域防洪规划的制定提供一定的理论依据。

1 研究区概况

潢川,因潢河(淮河支流)穿城而过得名,位于东经 114°53′~115°21′,北纬 31°52′~32°22′之间(图 1),流域面积 2 080 km²,南依大别山,北临淮河。潢川地处大别山侧洪积扇向淮北平原过渡地带,属合肥-潢川盆地,地质结构属淮阳古陆边缘的一部分,地貌为剥蚀侵蚀类型,地势南高北低,略向东北倾

斜。流域气象条件表现为亚热带向暖温带过渡的季风湿润气候,年均日照时数 2 092 h,太阳辐射量 118.25 kcal/cm²,无霜期 226 d,全年平均温度 15.3℃,年均降雨量 1 039 mm。流域上游建有泼河水库,水库控制区域面积 25.6 km²。

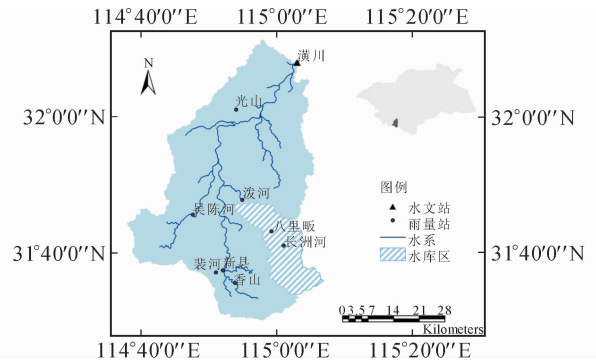


图 1 潢川流域图

Fig. 1 Huangchuan Basin

2 潢川流域 SWAT 模型的构建

2.1 模型简介

SWAT 模型是由美国农业部农业研究中心(USDA)推出的一种分布式流域水文模型,可用于模拟复杂流域的水文过程、水土流失、化学迁移、农业管理和生物量变化等,并能预测在不同土壤类型、土地利用方式和管理措施下人类活动对上述过程的影响^[13-14]。

2.2 流域模型构建

基于研究区内 9 个雨量站(裴河站、香山站、新县站、泼河站、吴陈河站、光山站、潢川站、长洲河站、八里畷站)1964—2012 年的逐日降水资料、1 个气象站(固始站)1964—2012 年的气象资料、流域内泼河水库相应年份的逐日出库流量资料及出口断面潢川水文站相应年份的逐日径流资料,选用研究区 1:20 万的土壤类型图及 1980 年与 1995 年两期 1:20 万土地利用图,本文分别构建了两种土地利用方式下潢川以上控制区的 SWAT 模型。不同年代的土地利用方式对比结果如图 2 及表 1 所示。

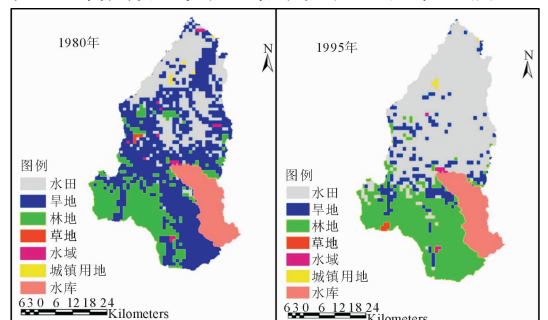


图 2 潢川流域土地利用图

Fig. 2 Land use map of Huangchuan Basin

表1 潢川流域土地利用类型
Tab.1 Land use types in Huangchuan basin

土地利用类型	SWAT 代码	面积百分比/%		
		1980 年	1995 年	变化
水田	RICE	23.75	51.95	28.20
旱地	AGRC	53.42	9.49	-43.93
林地	FRST	20.29	37.11	16.82
草地	RNGB	0.81	0.30	-0.51
水域	WATR	1.43	0.90	-0.53
城镇用地	URHD	0.30	0.25	-0.05

2.3 模型率定

在1980年土地利用条件下,选择1973—1982年作为率定期,1964—1972年作为验证期;在1995年土地利用条件下,选择1995—2004年作为率定

期,2005—2012年作为验证期。模型率定结果及率定参数结果如表2~4所示。

表2 1980年土地利用方式参数率定结果
Tab.2 The results of the parameters of the land use pattern in 1980

1980 年土地利用	率定期	验证期
NS 系数	0.66	0.66
R^2	0.67	0.67

表3 1995年土地利用方式参数率定结果
Tab.3 The results of the parameters of the land use pattern in 1995

1995 年土地利用	率定期	验证期
NS 系数	0.64	0.67
R^2	0.65	0.7

表4 土地利用变化前后参数率定结果
Tab.4 The results of the parameters of the land use change before and after the change

等级	参数名称	描述	1980 年土地利用	1995 年土地利用
1	CN2	SCS 径流曲线系数	0.800	0.067
2	SOL_AWC	土壤可利用水量	0.210	0.356
3	GW_DELAY	地下水滞后系数	35.833	35.767
4	CH_N2	主河道曼宁系数	0.061	0.013
5	CH_K2	河道有效水电导率	12.20	12.15
6	ALPHA_BNK	河岸蓄水量的基流系数	0.50	0.49
7	ALPHA_BF	基流消退系数	0.061	0.061
8	SOL_K	土壤饱和水电导率	-0.147	-0.138
9	SOL_BD	土壤湿容重	0.041	-0.039

3 设计暴雨推求设计洪水

首先计算流域面平均降雨量,并统计出最大1日、3日、5日、7日、15日及30日的面平均降雨量,通过P-III曲线频率计算,从而推求出设计频率为10%、5%、2%和1%的设计面暴雨量,见表5。

表5 设计暴雨值
Tab.5 The value of design storm

分项	设计雨量/mm			
	$p=10\%$	$p=5\%$	$p=2\%$	$p=1\%$
最大1日	126.7	143.3	163.6	178.0
最大3日	227.0	262.0	305.7	337.4
最大5日	246.3	285.1	333.4	368.4
最大7日	277.7	323.4	380.8	422.4
最大15日	343.4	393.8	456.6	502.0
最大30日	481.6	545.5	623.7	679.6

根据典型年应反映本流域特大洪水的地区组成特性,本文选取较具代表性的1968、1969、1980、1996、2003和2007年作为典型年,选取流域逐日面平均降雨量中典型洪水过程对应的降雨过程,通过

同频率放大的方法,将各个站点的典型洪水过程所对应的降雨量放大,得到各站点设计暴雨过程,将设计暴雨输入不同土地利用条件下的SWAT模型中进行径流计算,分别得到两套设计洪水过程(序列A:1980年土地利用;序列B:1995年土地利用)。藉此分析不同土地利用条件下不同频率设计洪水的变化特征(图3~8),从图中可看出,相同频率下序列B的设计洪水过程较序列A略微平缓。

4 结果分析

1) 基于流域1980年和1995年土地利用类型分析发现:流域主要土地利用类型为水田、旱地、林地、草地、水域和城镇用地。其中水田、旱地与林地三种,占总面积的90%以上。根据两个年代的土地利用情况,旱地、草地、水域和城镇用地呈减少趋势,水田与林地呈增长趋势;从变化的幅度来看,旱地、水田与林地的变化最为显著。与1980年相比,1995年的旱地减小了43.93%,水田和林地分别增加了28.2%和16.82%,而草地、水域和城镇用地分别减少了0.51%、0.53%和0.05%。

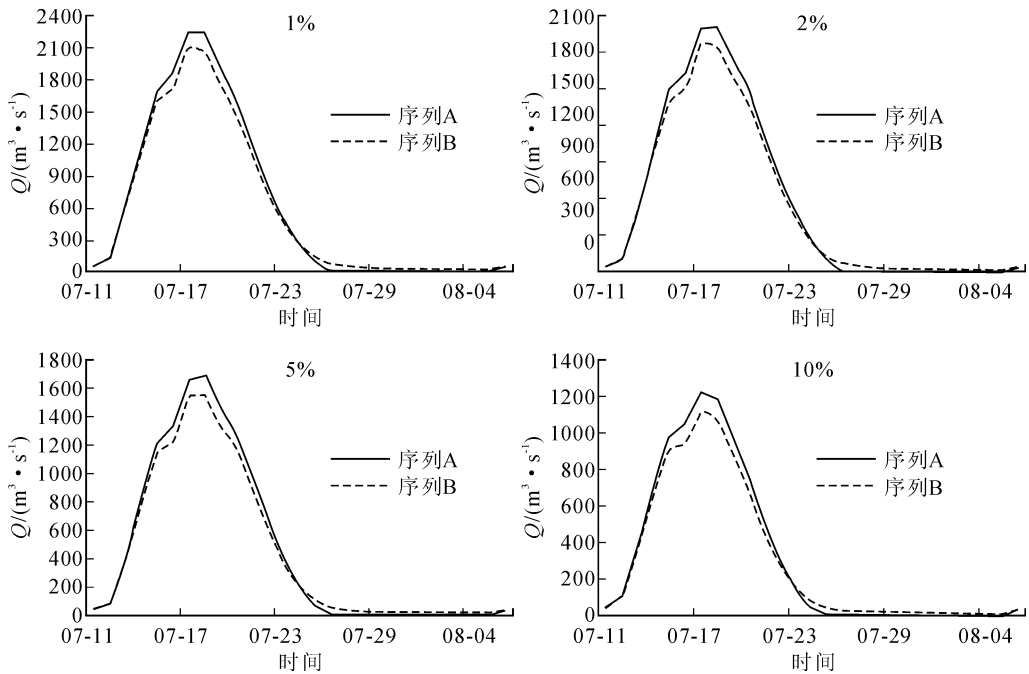


图3 潢川流域1968年不同频率设计洪水过程
Fig. 3 Design flood of different frequency in Huangchuan Basin in 1968

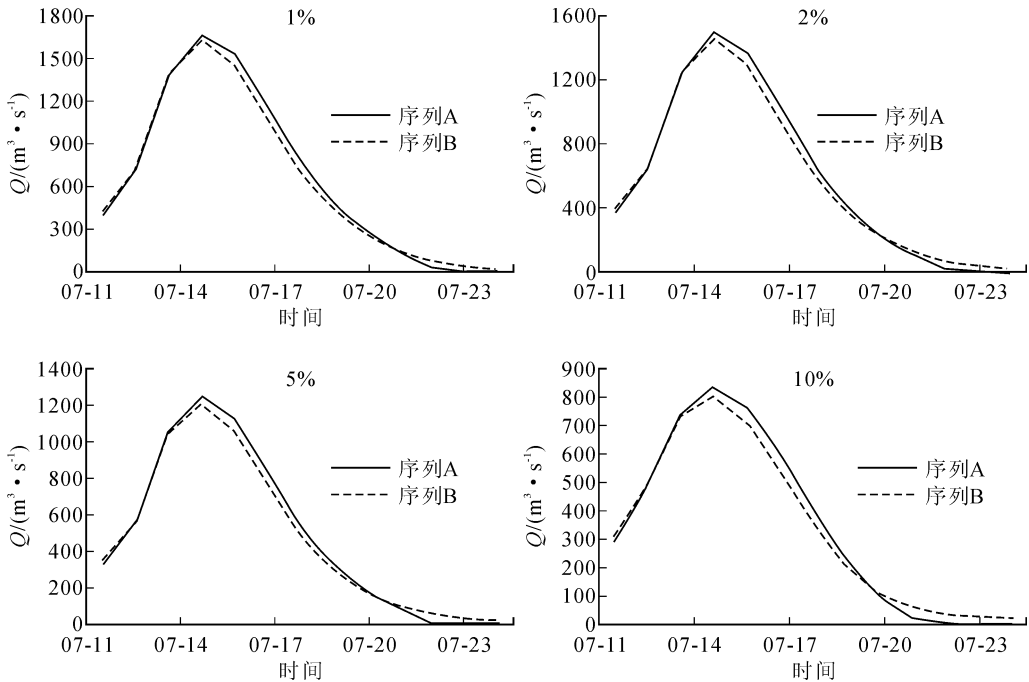


图4 潢川流域1969年不同频率设计洪水过程
Fig. 4 Design flood of different frequency in Huangchuan Basin in 1969

2) 分析表明(表4)流域内最敏感2个参数是: SCS 径流曲线数(CN2)、土壤有效含水率(SOL_AWC)。CN2反映了降雨前的流域特性,综合反映出不同的前期土壤湿润条件下,土地利用、土壤渗透特性等对流域产流的影响。产流量大小与CN2值

呈正相关,CN2越大,产流量也越大。SOL_AWC反映了土壤的蓄水能力,该参数越小,土壤蓄水能力越差,产流量就会增加。其余敏感参数对径流过程也会造成不同程度的影响。从参数的结果来看,土地利用变化前后,CN2减小、SOL_AWC增大都使

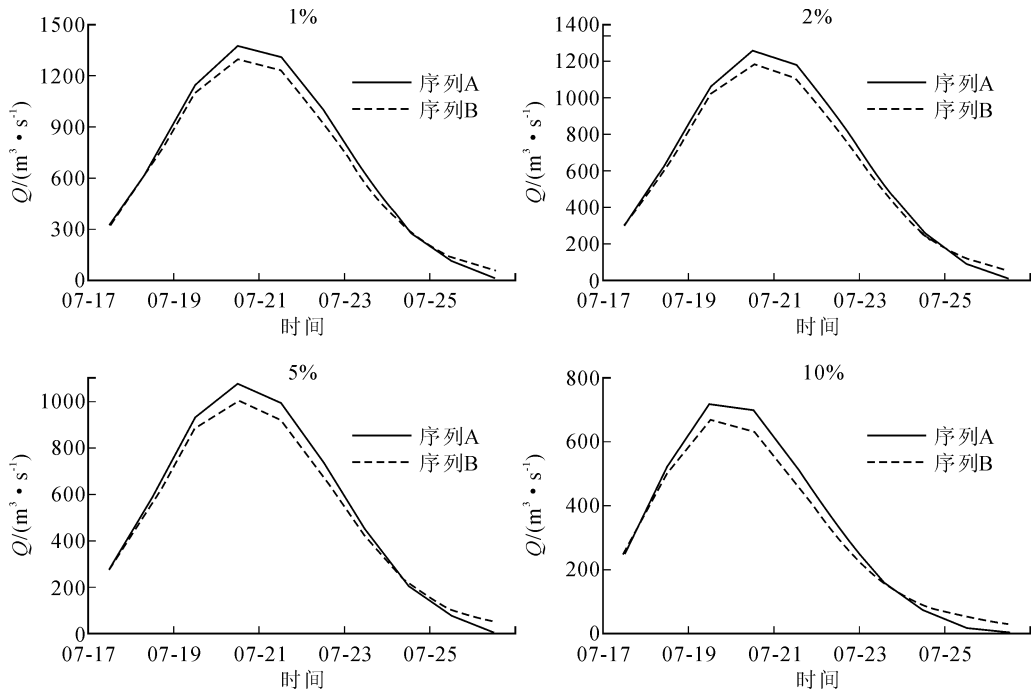


图5 潢川流域1980年不同频率设计洪水过程

Fig. 5 Design flood of different frequency in Huangchuan Basin in 1980

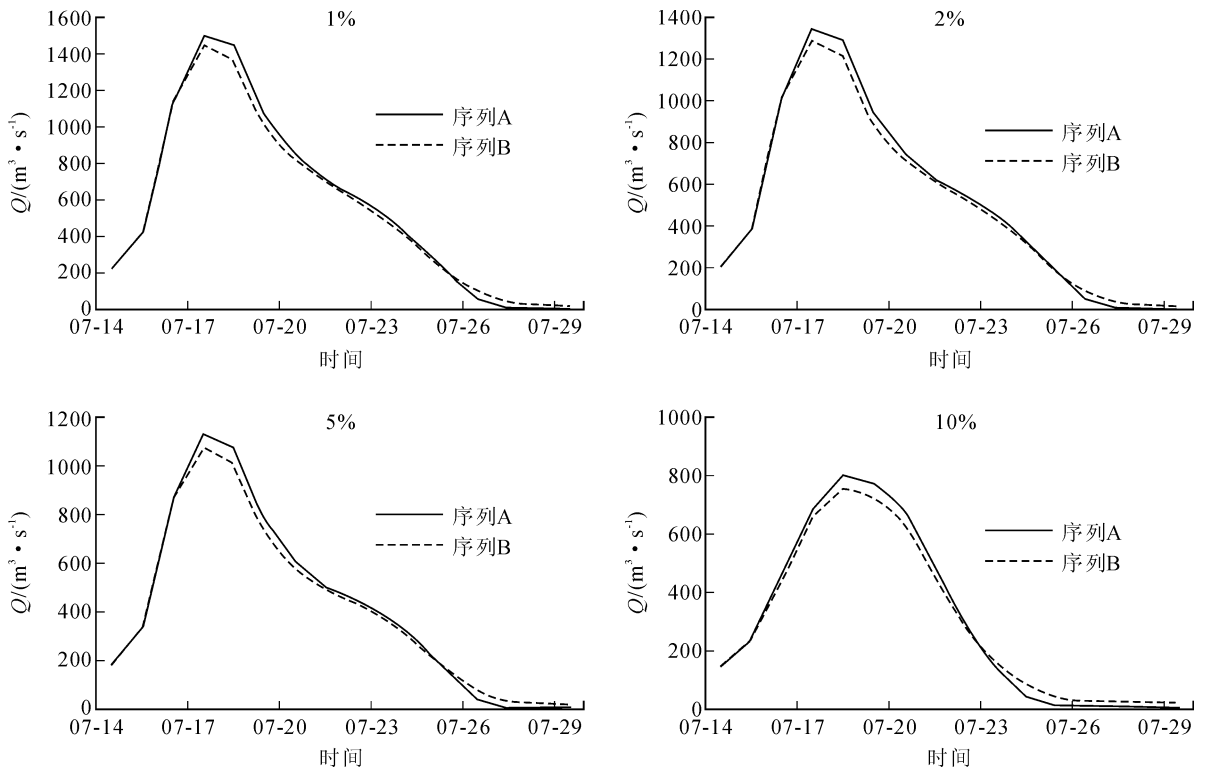


图6 潢川流域1996年不同频率设计洪水过程

Fig. 6 Design flood of different frequency in Huangchuan Basin in 1996

得流域产流减少。

3) 由设计暴雨推求设计洪水中,对比土地利用变化前后,相同频率下,序列B的设计洪量较序列

A的设计洪量值减小,变化范围为0.3%~20.2%。序列B的设计洪峰较序列A的设计洪峰量值减小,其变化范围在2.5%~8.6%(表6)。

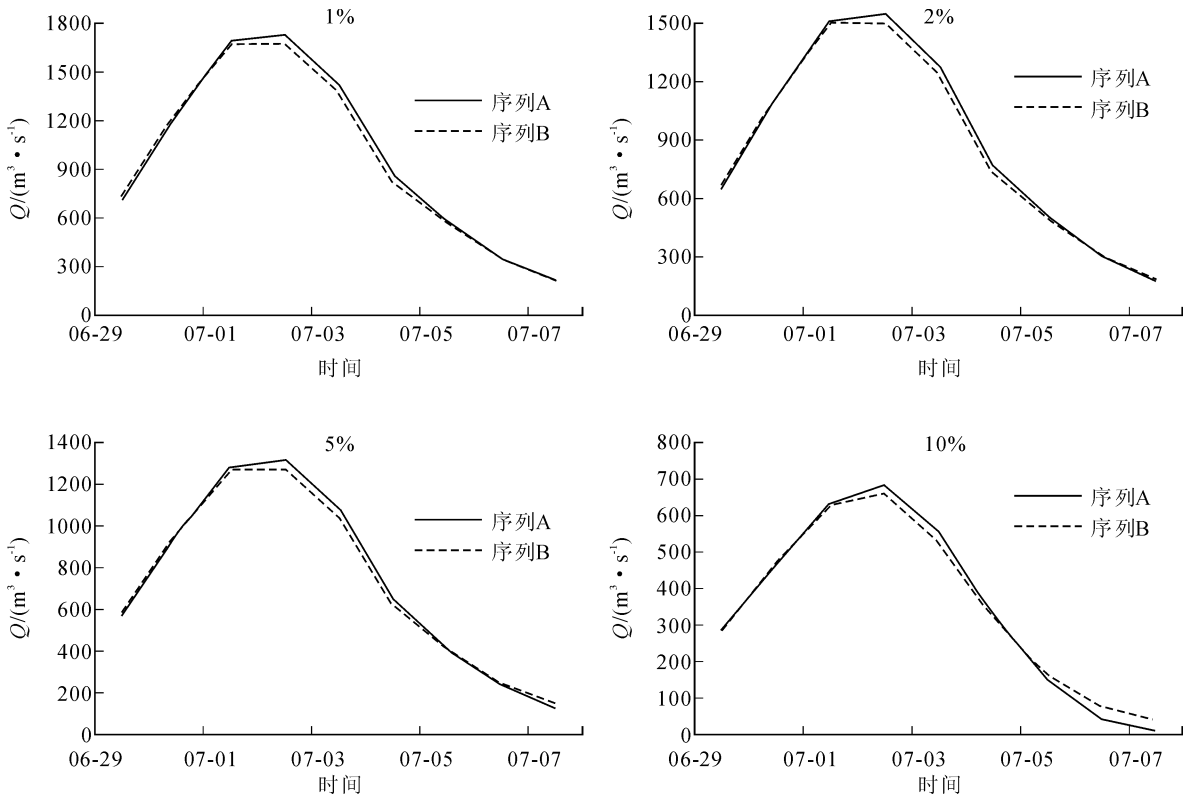


图7 潢河流域2003年不同频率设计洪水过程

Fig. 7 Design flood of different frequency in Huangchuan Basin in 2003

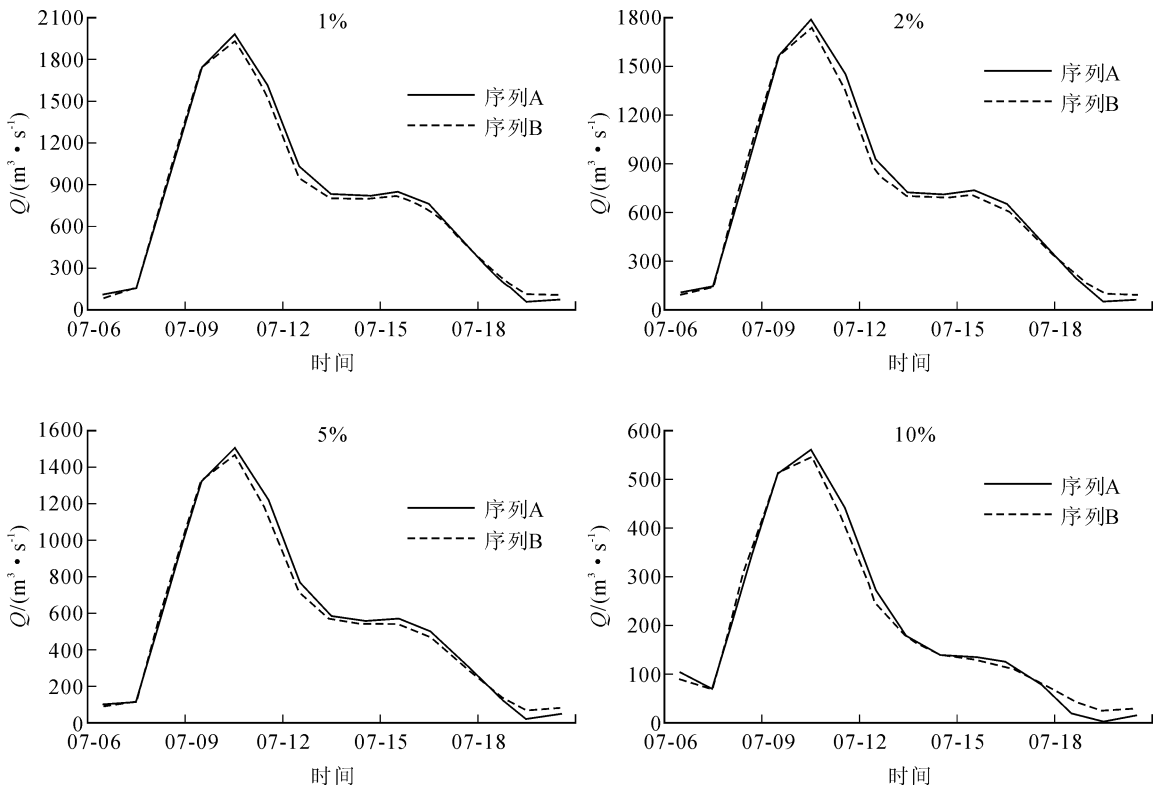


图8 潢河流域2007年不同频率设计洪水过程

Fig. 8 Design flood of different frequency in Huangchuan Basin in 2010

表6 A、B序列设计洪水对比结果
Tab.6 The result of design flood of series A and B

年份	分项	1%— 相对变 化/%	2%— 相对变 化/%	5%— 相对变 化/%	10%— 相对变 化/%
1968	最大1日	-6.0	-6.6	-8.0	-8.6
	最大3日	-7.1	-7.5	-8.1	-9.6
	最大5日	-6.9	-7.3	-8.2	-9.3
	最大7日	-6.9	-7.3	-7.9	-8.9
	最大15日	-6.2	-6.4	-6.9	-7.5
	洪峰	-6.0	-6.6	-8.0	-8.6
1969	最大1日	-2.5	-2.8	-3.3	-4.0
	最大3日	-2.4	-2.6	-3.1	-4.2
	最大5日	-3.7	-3.4	-3.5	-4.6
	最大7日	-3.9	-3.9	-4.5	-4.5
	洪峰	-2.5	-2.5	-3.3	-4.0
	1980	最大1日	-5.1	-5.5	-6.4
最大3日		-5.0	-5.5	-6.3	-7.5
最大5日		-5.2	-5.6	-6.4	-8.5
最大7日		-5.0	-5.4	-6.0	-7.4
洪峰		-5.1	-5.5	-6.4	-7.5
1996		最大1日	-3.6	-4.0	-4.5
	最大3日	-3.2	-1.6	-4.1	-5.8
	最大5日	-3.9	-4.2	-4.7	-5.8
	最大7日	-3.8	-4.0	-4.3	-5.5
	最大15日	-2.5	-2.6	-2.7	-2.4
	洪峰	-3.6	-4.0	-4.5	-6.0
2003	最大1日	-2.9	-3.1	-3.3	-3.6
	最大3日	-14.4	-18.0	-20.2	-3.2
	最大5日	-12.3	-18.2	-2.5	-1.0
	最大7日	-11.8	-15.6	-1.8	-2.1
	洪峰	-2.9	-3.1	-3.3	-3.6
	2007	最大1日	-2.8	-2.8	-3.0
最大3日		-2.6	-2.7	-2.8	-3.1
最大5日		-2.4	-2.5	-2.6	-2.4
最大7日		-2.5	-2.6	-2.7	-2.0
最大15日		-2.1	-2.1	-2.1	-0.3
洪峰		-2.8	-2.8	-3.0	-3.5

注:洪峰相对变化($\%$)= $(Q_B - Q_A) / Q_A * 100\%$, 洪量相对变化($\%$)= $(W_B - W_A) / W_A * 100\%$ (其中 Q_A 为序列A计算的设计洪峰, Q_B 为序列B计算的设计洪峰, W_A 为序列A设计洪量, W_B 为序列B设计洪量。)

5 结论与展望

由于土地利用方式中旱地明显减少与水田的明显增多,土壤的下渗容量变大,径流量减小,从而使得序列B较序列A洪峰减小。同时,与其他几种土地利用类型相比,林地的增多也加大了灌层截留量,同时也使得蒸腾率增大,由于树木根系吸取土壤水

分,从而补给基流的水量减少,同时枯枝落叶层增加了近地表面的糙率,降低了地表径流的速率,因此林地具有延迟和削弱洪峰的作用,使得设计洪峰减小。总得来说,土地利用变化方式是影响设计洪水洪量的一个重要因素。

本文选取淮河上游的潢川流域,总结了其两个时期的土地利用变化规律,定性分析土地利用变化对设计洪水的影响。但设计洪水的变化并不是单一土地利用类型改变作用的结果,而是多种土地利用类型变化组合的结果,因此定量区分土地利用类型的变化对设计洪水影响仍需深入研究,有待结合GIS技术更进一步的分析。

参考文献:

- [1] Qu S, Bao W, Shi P, et al. Evaluation of runoff responses to land use/cover changes in the upper Huaihe River Basin, China [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2012, 17: 800-806.
- [2] 刘睿, 夏军. 气候变化和人类活动对淮河上游径流影响分析 [J]. 人民黄河, 2013(09): 30-33.
Liu Rui, Xia Jun. Influence analysis of climate change and human activities on runoff of the Upper Huaihe River [J]. Yellow River, 2013(09): 30-33.
- [3] 蔡涛, 李琼芳, 宋秀民, 等. 基于空间信息平台的土地利用方式变化径流响应模拟 [J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2009, 37(5): 563-567.
Cai Tao, Li Qiongfang, Song Xiumin, et al. Influence of land use change on runoff response simulation based on spatial information platform [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2009, 37(5): 563-567.
- [4] Chanasyk D S, Mapfumo E, Willms W. Quantification and simulation of surface runoff from fescue grassland watersheds [J]. Agricultural Water Management, 2003, 59: 137-153.
- [5] 刘昌明, 李道峰, 田英, 等. 基于DEM的分布式水文模型在大尺度流域应用研究 [J]. 地理科学进展, 2003, 22(5): 437-445, 541-542.
Liu Changming, Li Daofeng, Tian Ying, et al. An application study of DEM based distributed hydrological model on macroscale watershed [J]. Progress In Geography, 2003, 22(5): 437-445, 541-542.
- [6] 郭军庭, 张志强, 王盛萍, 等. 应用SWAT模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响 [J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1559-1567.
Guo Junting, Zhang Zhiqiang, Wang Shengping, et al. Applying SWAT model to explore the impact of changes in land use and climate on the streamflow in a watershed of Northern China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34

- (6): 1559-1567.
- [7] 周敏敏,瞿思敏,石朋,等. 淮河上游大坡岭流域土地利用方式变化引起的流域滞时变化[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2015,43(2): 100-106.
- Zhou Minmin, Qu Simin, Shi Peng, et al. Lag time response of land use change in the upstream of the Huaihe River [J]. Journal of Hohai University (Natural Science), 2015,43(2): 100-106.
- [8] 乔雪媛,石朋,陈喜,等. 不同气候区代表性江河径流变化特征分析[J]. 西安理工大学学报, 2014,30(3): 357-365.
- Qiao Xueyuan, Shi Peng, Chen Xi, et al. Analysis on the change characteristic of runoff in different climate regions of China [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2014,30(3): 357-365.
- [9] Bosch J M, Hewlett J D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration [J]. Journal of Hydrology, 1982(103): 323-333.
- [10] 万荣荣,杨桂山,李恒鹏. 流域土地利用/覆被变化的洪水响应——以太湖上游西苕溪流域为例 [J]. 自然灾害学报, 2008,17(3): 10-15.
- Wan Rongrong, Yang Guishan, Li Hengpeng. Flood response to land-use and land-cover change: a case study of Xitiao Rivulet Basin in upper reach of Taihu Lake [J]. Journal of Natural Disasters, 2008,17(3): 10-15.
- [11] 万荣荣,杨桂山. 流域土地利用/覆被对洪峰的影响研究——以太湖上游西苕溪流域为例 [J]. 自然资源学报, 2009,24(2): 318-327.
- Wan Rongrong, Yang Guishan. The influence of land-use and land-cover on flood peak: a case study of Xitiao River Basin in the head water region of Taihu Lake [J]. Journal of Natural Resources, 2009,24(2): 318-327.
- [12] 王国安. 中国设计洪水研究回顾和最新进展 [J]. 科技导报, 2008,26(21): 85-89.
- Wang Guoan. Review and recently progress of design flood work in China [J]. Science & Technology Review, 2008,26(21): 85-89.
- [13] 王中根,刘昌明,黄友波. SWAT模型的原理、结构及应用研究 [J]. 地理科学进展, 2003,22(1): 79-86.
- Wang Zhonggen, Liu Changming, Huang Youbo. The theory of SWAT Model and its application in Heihe Basin [J]. Progress in Geography, 2003,22(1): 79-86.
- [14] 侯统昭,李锦育. SWAT模型之初步探讨 [J]. 水土保持研究, 2009,16(6): 282-286.
- Hou Tongzhao, Li Jinyu. Primarily study for soil and water assessment tool (SWAT) [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009,16(6): 282-286.

(责任编辑 李斌)