

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20221679

城市化进程对贾鲁河径流变化的影响分析

魏怀斌^{1a}, 孙志航^{1a}, 刘 静^{1b,2}

(1. 华北水利水电大学 a. 水利学院; b. 水资源学院, 河南 郑州 450046;
2. 河南省黄河流域水资源节约集约利用重点实验室, 河南 郑州 450046)

摘要: 随着城市的不断发展, 受气候变化和人类活动的影响, 城市水系径流量发生较大变化。为进一步研究城市化所带来的径流量变化趋势及其主要影响因素, 对累积斜率变化率法在水文变化分析的应用中进一步创新, 从人类活动因素中分离出下垫面对径流量变化的贡献率, 并以贾鲁河流域郑州段为例结合 Mann-Kendall 检验法, 求出气候变化因素和下垫面因素及其他人类活动因素对径流量变化的贡献率。结果表明, 1980~2019 年实测径流量呈上升趋势, 并在 2008 年发生突变。在对径流量的影响分析中, 下垫面变化和其他人类活动为主要影响因素, 其贡献率分别为 69.76%、56.19%。针对主要影响因素分析原因主要为下垫面硬化使产汇流增大及人口增多排放量增大。

关键词: 城市化; 径流量; 人类活动; Mann-Kendall 检验法; 累积斜率变化率

中图分类号: TV121 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)07-0016-03

1 引言

随着社会的不断发展, 城市不断扩张, 城市化对水文要素的影响逐渐增大^[1-2]。目前, 关于城市化进程下径流量变化影响因素分析的研究主要分为构建数值模型和数理统计分析两方面。构建数值模型主要通过下垫面数据与水文数据进行水循环模拟, 着重反映城市化所引起的下垫面变化与径流变化的关系^[3-4]。数理统计主要采用 Mann-Kendall 检验法、累积距平法、线性回归等方法分析水文数据的变化趋势及突变情况, 并结合累积斜率变化率法、基于 Budyko 水热耦合平衡理论弹性分析法、双累积曲线法等方法, 分析气候变化和人类活动对径流变化的贡献率^[5-7]; 三种方法计算的贡献率大致相同, 具有可靠的适用性^[8]。本文通过对累积斜率变化率法的进一步运用, 研究贾鲁河流域郑州段 1980~2019 年实测径流量变化, 通过贡献率反求人类活动累积斜率变化率, 并结合不透水面变化的时间序列, 从人类活动中分离出下垫面变化的贡献率, 在考虑气候变化及其他人类活动影响因素下, 反映城市化进程对径流影响的程度。研究结果可为郑州市城市化发展下河流管理与保护提供依据。

2 数据与方法

2.1 数据来源

水文数据选用郑州市主城区内及其周边水文站 1980~2019 年实测数据。数据源来自《中华人民共和国水文年鉴——淮河流域水文资料》。土地利用数据来源于国家地球系统科学数据中心 (<http://www.geodata.cn/>), 分辨率为 30 m×30 m。

2.2 研究方法

2.2.1 Mann-Kendall 检验法

Mann-Kendall 检验是一种非参数检验(无分布检验), 样本不受一定的分布及异常值的影响^[9]; 适用于降水、径流、蒸发等时间序列数据变化趋势和突变点分析。

2.2.2 累积斜率变化率法

累积斜率变化率法是一种通过突变前后累积曲线线性关系式斜率比来求时间序列突变变化程度的一种方法, 并通过自变量与因变量比计算其贡献率。本文在该方法的基础上进一步研究, 结合土地利用变化数据, 运用累积斜率变化率法的逆向思维, 从人类活动影响因素中分离出下垫面变化对径流量变化的影响。人类活动累积斜率变化率 R_{SH} 计算式为:

$$R_{SH} = C_H R_{Sr} \times 100\% \quad (1)$$

下垫面对径流量变化的贡献率 C_{HI} 的计算式为:

$$C_{HI} = (R_{SHI}/R_{SH}) \times 100\% \quad (2)$$

收稿日期: 2022-08-15, 修回日期: 2022-09-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(51979107)

作者简介: 魏怀斌(1981-), 男, 博士、副教授、博导, 研究方向为水文水资源, E-mail: weihuabin2008@126.com

$$C_{HO} = 1 - C_{HI} \quad (3)$$

$$C_H = C_{HI}/C_H + C_{HO}/C_H = C_{SI} + C_{SO} \quad (4)$$

式中, C_H 为人类活动变化对径流量变化的贡献率; R_{Sr} 为径流累积斜率变化率; R_{SHI} 为不透水面累积斜率变化率; C_{HO} 为其他因素对人类活动变化的贡献率; C_{SI} 为下垫面变化对径流量变化的贡献率; C_{SO} 为其他人类活动对径流量变化的贡献率。

3 结果与分析

3.1 趋势变化与突变检验

贾鲁河流域郑州段 1980~2019 年径流量的年变化趋势见图 1。由图 1 可知,随着城市的不断发展,贾鲁河流域郑州段年实测径流量变化呈上升趋势,拟合直线斜率为 0.075。通过 M-K 趋势检验分析年径流量,统计量 Z 为 3.484,在 40 年内径流量上升趋势通过置信度为 99% 的显著性检验。

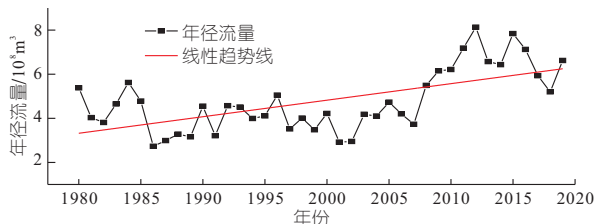


图 1 1980~2019 年径流量变化曲线

Fig. 1 Variation curves of annual runoff from 1980 to 2019

采用泰森多边形法对郑州市主城区及周边水文站点雨量数据进行面雨量转化,以贾鲁河中牟站水面蒸发数据反映贾鲁河流域郑州段的蒸发情况,采用 M-K 突变检验方法同时对贾鲁河流域郑州段 1980~2019 年径流量、降水量和水面蒸发量进行变异性诊断,统计量变化曲线见图 2。由图 2 可知,年径流量在 2008 年发生突变,年降水量和年水面蒸发未发生突变。

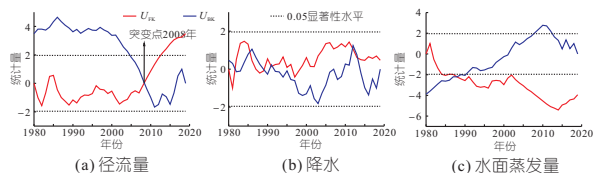


图 2 1980~2019 年径流量、降水量、水面蒸发量 M-K 突变曲线

Fig. 2 M-K mutation curve of runoff, precipitation and evaporation from 1980 to 2019

3.2 径流量变化的影响

根据 M-K 突变检验成果,以 2008 年作为突变分割点,将时间序列分割成 1980~2008、2009~2019 年两段,根据分割点画出年径流量、

年降水量和年水面蒸发量与时间变化的累积曲线图,并将其进行线性拟合。2008 年前年径流量、年降水量和年水面蒸发量拟合直线斜率分别为 3.94、591.13、902.99,2008 年后年径流量、年降水量和年水面蒸发量拟合直线斜率分别为 6.82、558.38、781.76。通过累积斜率变化率法可得到累积年径流量、累积年降水量和累积年水面蒸发量斜率变化率,见表 1。累积年径流量 2008 年前后拟合直线斜率增加 2.88,增加率为 73.1%,累积年降水量拟合直线斜率减少 32.75,减少率为 5.54%,累积年水面蒸发量拟合直线斜率减少 121.23,减少率为 13.43%。

表 1 累积斜率及其变化率

Tab. 1 Cumulative slope and its change rate

时期	年径流量		年降水量		年水面蒸发量	
	拟合直线斜率	变化量	拟合直线斜率	变化量	拟合直线斜率	变化量
1980~2008	3.94	591.13	902.99			
2009~2019	6.82	2.88	73.10	-32.75	-5.54	781.76 -121.23 -13.43

采用累积斜率变化率法计算求出气候变化和人类活动贡献率,见表 2。气候变化影响贡献率为 -25.95%,其中年降水量贡献率为 -7.58%,年水面蒸发量贡献率为 -18.37%。人类活动对径流量变化的贡献率为 125.95%。通过贡献率绝对值大小对影响因素进行主次排序,可看出人类活动对径流量的影响为主要影响因素。

表 2 未分离下垫面因素、分离下垫面因素各变量贡献率

Tab. 2 Contribution rate of variables of undivided underlying surface factors and after separating underlying surface factors

类别	项目	贡献率	影响因素排行
未分离下垫面因素	降水量	-7.58% 负贡献	3
	水面蒸发量	-18.37% 负贡献	2
	人类活动	-125.95% 正贡献	1
分离下垫面因素	降水量	-7.58% 负贡献	4
	水面蒸发量	-18.37% 负贡献	3
	人类活动(下垫面变化)	69.76% 正贡献	1
	其他人类活动	56.19% 正贡献	2

由 1980~2018 年不透水面变化(图 3)可知,1980~2018 年,郑州市主城区城市建筑用地不断增多,耕地不断减少,城市呈现由中心向四周扩张趋势,城市化较为明显,其中 2000~2018 年城市化速度较快。根据不同土地利用下渗系数可分为不透水面和透水面,1980~2018 年不透水面面积由 451.89 km² 增长到 762.33 km²,增长 30%。

采用插值法对不透水面数据进行补充并构建 1980~2019 年不透水面变化累积曲线,发现 2008 年前后不透水面累积曲线线性拟合斜率分别为 473.81、715.41,累积斜率变化率为 50.99%,通过式(1)可求出 2008 年前后人类活动累积变化率 R_{SH} 为 92.06%,结合不透水面累积斜率变化率

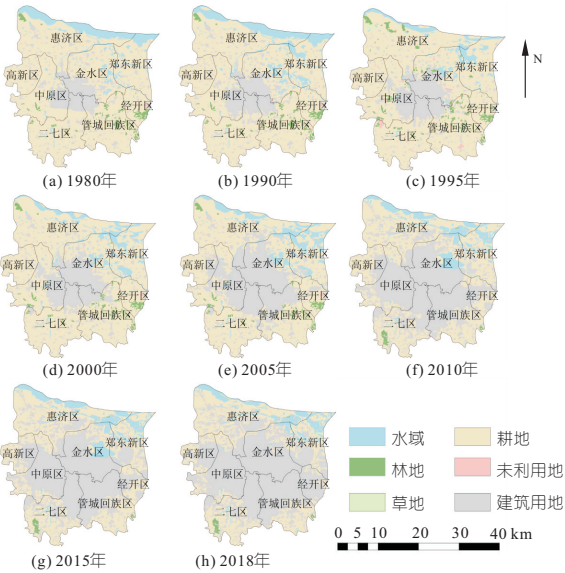


图3 1980~2018年不透水面变化

Fig. 3 Change chart of impervious surface from 1980 to 2018
 R_{SHI} , 得到 C_{HO} 为 55.39%, C_{HI} 为 44.61%, 通过式(4)得到不透水面变化对径流量变化的贡献率是 69.76%, 其他人类活动对径流量变化的贡献率为 56.19%, 分离下垫面因素后各变量贡献率见表 2。城市化带来的下垫面变化为径流量变化的主要影响因素, 其他人类活动为次要影响因素。这与王慧亮等^[10]的研究结果相同。

郑州市作为中原城市群的代表城市, 具有较快的发展速度和发展水平, 从 2000 年开始, 随着城市的不断扩张, 使得原有土地硬化, 改变了原始下渗系数, 郑州市主城区不透水面积持续增加, 降水形成产汇流增加, 通过城市排水系统排入贾鲁河支流, 最终流入贾鲁河, 使得贾鲁河中牟站径流量呈上升趋势。其他人类活动的影响可能源于用水量、排放量、水库调蓄等因素, 随着城市化的不断推进, 人口持续上涨, 生活用水量和排放量随之增大, 使得中牟水文站实测流量随着人口和排放量的增长而增长。对此, 建议减少对林地、绿地、耕地等土地的开发, 采用透水性路面加强“海绵城

市”建设, 加强污水回用工程建设。

4 结论

- a. 在城市化进程下, 贾鲁河流域郑州段 1980~2019 年年径流量呈上升趋势, 且在 2008 年发生突变。
- b. 本文下垫面因素分离方法具有一定的可靠性和适用性。
- c. 城市化进程下, 下垫面变化为影响径流量变化的主要因素, 其他人类活动为次要因素, 气候变化为第三影响因素。

参考文献:

[1] 姜芊孜, 俞孔坚, 王志芳. 城市化背景下坡塘水文调节能力变化研究[J]. 中国农村水利水电, 2019(12): 52-59, 64.

[2] 冯雷, 倪红珍, 陈根发. 快速城市化条件下基于 SLEUTH-SWAT 模型的济南市水文响应分析[J]. 水利水电技术, 2020, 51(3): 26-36.

[3] 刘珍环, 曾祥坤. 深圳市不透水表面扩展对径流量的影响[J]. 水资源保护, 2013, 29(3): 44-50.

[4] 权全, 罗纨, 沈冰, 等. 城市化土地利用对降雨径流的影响与调控[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1): 46-50.

[5] 张丽梅, 赵广举, 穆兴民, 等. 基于 Budyko 假设的渭河径流变化归因识别[J]. 生态学报, 2018, 38(21): 7607-7617.

[6] 王随继, 李玲, 颜明. 气候和人类活动对黄河中游区间接流量变化的贡献率[J]. 地理研究, 2013, 32(3): 395-402.

[7] 冷曼曼, 张志强, 于洋, 等. 昕水河流域径流变化及其对气候和人类活动的响应[J]. 水土保持学报, 2020, 34(3): 113-119, 128.

[8] 马亚丽, 王兴繁, 白祖晖, 等. 白龙江中上游径流变化及其对气候和人类活动的响应[J]. 水电能源科学, 2022, 40(2): 22-26.

[9] 马妍博, 袁鹏, 李保琦. 前河流域上游径流的时间变化特征及变化趋势分析[J]. 水电能源科学, 2013, 31(9): 16-19.

[10] 王慧亮, 吴泽宁, 孙若尘. 郑州市城市化对贾鲁河流域水文过程的影响[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(31): 316-321.

Analysis of the Impact of Urbanization on Runoff Change in Jialu River

WEI Huai-bin^{1a}, SUN Zhi-hang^{1a}, LIU Jing^{1b,2}

(1a. School of Water Conservancy; 1b. College of Water Resources, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China; 2. Henan Key Laboratory of Water Resources Conservation and Intensive Utilization in the Yellow River Basin, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: With the intensive development of the city, influenced by climate change and human activities, the runoff of urban water system has changed greatly. In order to further research the runoff trend and its main influencing factors brought by urbanization, the application of the comparison of slope change ratio in hydrological change analysis was further innovated, and the contribution rate of underlying surface to runoff change was separated from human activities. Taking Zhengzhou city as an example, combined with Mann-Kendall test method, the contribution rate of climate change factors, underlying surface factors and other human activities to runoff change was calculated. The results indicate that the measured runoff flow showed an upward trend from 1980 to 2019, and a sudden change occurred in 2008. In the impact analysis of runoff, the change of underlying surface and other human activities are the main influencing factors, and their contribution rates are 69.76% and 56.19%. According to the analysis of the main influencing factors, the main reasons are as follows: The hardening of the underlying surface increases runoff yield and flow concentration, and the population increases and the emissions increase.

Key words: urbanization; runoff; human activities; Mann-Kendall test; comparison of slope change ratio