

山西省中西河流域降水径流演变特征及响应关系

王国庆^{1,2}, 金君良^{1,2}, 林锦^{1,2}, 王建云³, 刘艳丽^{1,2}

(1. 南京水利科学研究所 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;

2. 水利部应对气候变化研究中心, 江苏 南京 210029; 3. 吕梁市水文水资源勘测分局, 山西 离石 033000)

摘要: 正确理解变化环境下气候水文演变趋势对流域水资源评价具有重要意义。以山西省中部中西河流域为研究对象, 采用 Mann-Kendall 方法和有序聚类方法, 诊断了 1958-2015 年降水径流演变规律及径流变化阶段性特征, 分析了不同阶段降水径流响应关系。结果表明: 近 60 年来, 年降水量和径流量总体呈现减少趋势, 平均线性减少率为 -1.05mm/a 和 -1.62mm/a ; 以 1970 和 1979 年为临界点, 径流系列呈现 3 个阶段的变化特征; 不同阶段内降水与径流具有较好的相关性, 但由于非降水因素的影响, 不同阶段降水径流响应关系存在差异; 未来应加强进行径流变化归因定量分析研究。

关键词: 降水; 径流; 演变趋势; 阶段性; 响应关系; 中西河流域

中图分类号: TV12; P333

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)03-0001-04

Historical variation and response relationship of precipitation and runoff for the Zhongxi River catchment in Shanxi Province

WANG Guoqing^{1,2}, JIN Junliang^{1,2}, LIN Jin^{1,2}, WANG Jianyun³, LIU Yanli^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Research Center for Climate Change, Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China; 3. Liliang Bureau of Hydrology and Water Resources in Shanxi Province, Lishi 033000, China)

Abstract: It is of great importance for regional water resources assessment to correctly understand the trend of climate hydrological evolution in changing environment. Taking the Zhongxi River catchment in Shanxi Province as a case, historical variations and phases features of precipitation and runoff from 1958-2015 were investigated using Mann-Kendall method and cluster analysis method, and the precipitation-runoff relationships at different stages were analyzed. The results show that both the annual precipitation and runoff declined during 1958-2015 with linear decreasing rates of -1.05mm/a and -1.62mm/a , respectively. The years of 1970 and 1979 were detected as significant separating points of runoff series which showed three stages of changing characteristics. Runoff was highly correlated to precipitation in different phases; however, the relationships between runoff and precipitation are different in different phases, which is possibly due to the effect of human activities. It is essential to quantitatively identify contributions of changes in climate and human activities to runoff change in further studies.

Key words: precipitation; runoff; historical variation trend; evolution phase; responses relationship; Zhongxi River basin

1 研究背景

河川径流是维持区域生态环境和支撑社会经济的重要因素。在全球气候变化背景下, 随着社会经济

的快速发展, 人类活动对区域水循环过程的扰动影响越来越显著。实测资料表明, 自 20 世纪 80 年代以来, 黄河流域河川径流量减少 30% 以上^[1]。水资源短缺将严重制约着干旱地区工农业稳定发展。

收稿日期: 2017-02-14; 修回日期: 2017-04-04

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFA0601501, 2016YFA0601601)、国家自然科学基金项目(41330854、41371063、41401024、41401026)

作者简介: 王国庆(1971-), 男, 山东成武人, 博士, 教授, 主要从事气候变化和水资源评价等方面的科学研究。

河川径流演变趋势及特征直接关系到区域水资源的规划和可持续利用,因此,流域管理部门和科研工作者对此予以了较多的研究和关注^[2-6]。孙永寿等^[2]采用距平分析等方法研究了青海三江源区径流趋势及集中度的变化特征,认为全球变暖背景下最近10年江河源区径流总体偏丰,年内分配区域均匀;李春晖等^[3]采用Mann-Kendall方法检验了黄河流域分区天然径流量的趋势性与持续性,发现黄河天然径流量也出现了显著性减少趋势,这与近期流域降水偏枯有密切关系。王兆礼等^[4]对东江的研究结果表明,东江径流量变化趋势不明显,但厄尔尼诺事件的次年径流量一般偏丰。采用数理统计分析方法是目前大多研究中诊断径流变化特征的主要途径,多数研究主要集中在大尺度流域。由于中国气候水文区域特性的差异,对于中小尺度流域的研究仍非常必要,可为流域治理提供直接的支持。

山西省是中国的重要能源基地,气候干旱,生态环境脆弱。自20世纪70年代以来,实施了大规模的水土保持建设、退耕还林还草以及煤矿开采、小型水利工程建设,对流域的水文情势影响显著,多数河流实测河川径流出现大幅度变化^[7-8]。分析全球变化环境下典型流域降水径流演变规律及其响应关系,对于正确理解变化环境下的产流特征,科学评估人类活动对区域水文的影响等方面具有重要意义。以位于山西省中部的中西河流域为研究对象,系统分析了近60年来岔口站以上区域降水、径流的历史演变特征,研究了不同阶段降水径流响应关系,研究成果可为第三次区域水资源评估提供科学依据。

2 资料与方法

2.1 研究流域概况

中西河位于山西省中部土石山区,发源于交城县西北关帝山,是汾河一级支流文峪河的上游部分,河流呈西北东南走向,岔口水文站以上集水面积492 km²,主河道长度54.5 km。流域内植被较好,变质岩森林山地占岔口站以上面积的87%。流域内布设有6个雨量站,岔口站建于1957年,系统收集了流域内自建站到2015年的逐月降水、流量资料,图1为流域水系及雨量站、水文站的地理位置。

研究流域处于大陆性季风气候区,冬季寒冷多雪,夏季炎热多雨;1958-2015年流域多年平均年降水量为592 mm,岔口站多年平均径流深约131 mm,年径流系数为0.221,是山西省产流较多的地区之一。

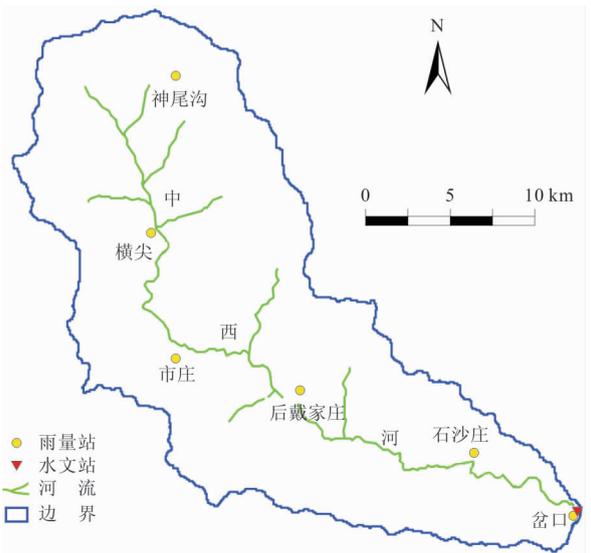


图1 岔口站以上流域水系及水文、雨量站地理位置

2.2 分析方法

(1) Mann-Kendall 秩次检验相关法: Mann-Kendall 方法是一种基于非参数统计的趋势诊断方法。该方法的优点是无须对数据系列进行特定的分布检验,能够有效区分某一时间系列是处于自然波动还是存在确定的变化趋势。Mann-Kendall 方法通过时间系列本身及其次序构造统计量 Mann-Kendall 秩次相关系数(M-K 值),首先假设原序列为无趋势,当统计量 M-K 值介于给定显著水平 α (一般取 0.05) 的临界值 ± 1.96 之间时,接受假设,即趋势不显著;反之,则拒绝原假设,即趋势显著。目前,该方法已广泛应用到气候、水文要素的变化趋势检测^[8-11]。

(2) 有序聚类分析方法: 当水文系列出现持续性变异后,可将变异前后的系列视为不同的类群。有序聚类分析方法的基本原理是使得同类之间的离差平方和较小而不同类之间的离差平方和较大。首先假定系列的变异点,计算变异点前后不同系列的离差平方和,以总离差平方和最小为目标函数,优化推求变异点,对系列进行有序最优分类^[12-13]。

3 结果与讨论

3.1 降水径流变化趋势

中西河流域河川径流源于降雨,降水变化在一定程度上对径流特征起到支配作用,图2给出了1958-2015年岔口站以上年降水量和岔口站年均流量过程。

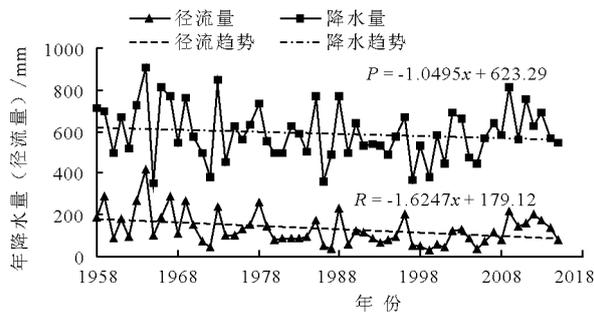


图2 岔口站实测年径流量及流域平均年降水量过程

由图2可以看出,(1)年降水量具有较大的年代际变化,特别是在20世纪50、60年代,最大年降水量905 mm(1964年)约为最小年降水量(305 mm,1965年)的3倍;(2)年降水量整体趋于减少,1958-2015年期间平均线性减少率为-1.05 mm/a;同时具有先减少后增加的趋势特征,2000年之前,呈现减少趋势,平均线性减少率为-3.63 mm/a;最近15年,增加趋势明显,平均线性增率为5.56 mm/a。(3)与年降水量变化相比,实测径流量总体呈现减少趋势且年代际变化更为明显,平均线性递减率为1.62 mm/a,最大年径流量415 mm(1964年),约为最小年径流量(25.9 mm,1999年)的16倍左右。(4)20世纪50、60年代,径流量较大,自1980年以来,实测径流量持续偏低,在1980-2000年期间,只有3个年份(1985、1988、1996年)径流量大于多年均值;最近10年又略有抬升,自2009年以来,又出现减少趋势;径流量的变化与降水的变化特征总体一致。

表1 中西河流域1958-2015年降水径流变化趋势诊断

季节/年	降水 M-K 值	径流量 M-K 值
春季(3-5月份)	-0.275	-1.939*
夏季(6-8月份)	-1.147	-2.368*
秋季(9-11月份)	0.691	-0.959
冬季(12-2月份)	1.576	-2.126*
年	-0.731	-2.287*

注: *表示在置信水平0.05下变化趋势显著。

采用Mann-Kendall秩次相关检验方法诊断了1958-2015年期间不同季节和年降水径流的变化趋势及其在置信水平0.05下的显著性(表1)。由表1可以看出:(1)不同季节和年降水量均呈现非显著性变化趋势,其中秋、冬季节降水量呈现非显著性增加趋势,春、夏季降水量和年降水量为非显著性减少趋势。(2)春、秋季径流量为非显著性减少趋势,其它季节径流量和年径流量均呈现显著性减少趋势。尽管降水是径流变化的支配性因素,但径

流的显著性减少,在一定程度上也说明径流同时也受到了其他因素的影响。

3.2 径流变化的阶段性

采用有序聚类分析方法诊断实测径流变异点年份,图3给出了年径流量的离差平方和的时序变化。

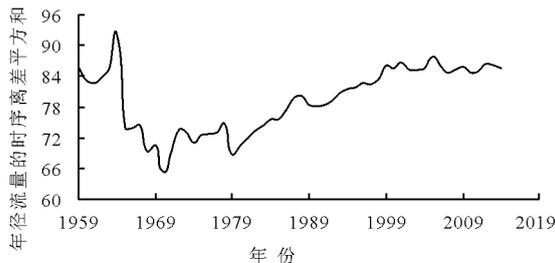


图3 岔口站1958-2015年实测年径流量时序离差平方和过程

由图3可以看出:(1)实测年径流量时序离差平方和在1970年达到最小,因此1970年是最佳变异分割点;(2)实测年径流量时序离差平方和具有一个时长约10年的明显谷底特征,持续到1979年结束。因此,根据图3诊断结果,以1970、1979年为界可将整个径流量系列划分为3个明显的时段:1958-1969年,1970-1979年,1980-2015年。考虑到实测径流的年代际变化特征,可将第3个时段进一步划分为1980-1989、1990-1999、2000-2015年3个时段。以1958-1969年作为基准期,表2统计给出了不同阶段降水量和径流量及其与基准期的相对变化。

表2 中西河岔口站以上区域不同时段降水、径流统计

时段	径流统计		降水统计	
	径流量/ mm	相对变 化/%	降水量/ mm	相对变 化/%
1958-1969年	206.2		663.4	
1970-1979年	139.1	-32.6	586.1	-11.6
1980-1989年	98.8	-52.1	560.9	-15.4
1990-1999年	89.7	-56.5	527.3	-20.5
2000-2015年	116.1	-43.7	603.2	-9.1

由表2可以看出:(1)中西河流域多年平均降水量592 mm;在1970年前之前,流域降水量较丰,平均降水量约663 mm,其后的30a中降水量持续性减少,在20世纪70、80、90年代,降水量较基准期分别减少11.6%、15.4%和20.5%;进入21世纪以来,降水量尽管有所增加,超过了多年平均值,但依然低于较基准期偏少9%左右。(2)岔口站多年平均径流量131 mm;20世纪50、60年代径流量最大,其次为70年代;自80年代之后,年代平均径流量均低于

多年均值;与基准期相比,80、90年代径流量偏少50%以上,是径流量最低的时期,20世纪以来,受降水量增加影响,尽管径流量有所增加,但依然低于多年平均值。径流敏感性分析表明,若降水变化10%,径流量一般变化在10%~20%^[14-15]。由表2可以看出,径流量的变化一般达到了降水量变化的3~4倍,这也间接说明了实测径流量也受到了其它因素的影响。

3.3 不同阶段的降水径流响应关系

对于天然流域来说,无论降水丰枯变化,降水径流总是遵循着一定的线性或非线性响应规律。当流域受到外界因素的扰动时,固定的降水径流响应关系就会被改变,进而影响到河川径流量的变化。根据径流变化的阶段性,图4给出了不同阶段降水量与径流量之间的关系。

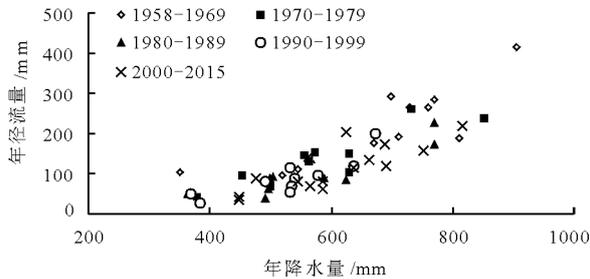


图4 中西河流域不同阶段年降水量与径流量的响应关系

由图4可以看出:(1)年降水量和径流量具有较好的相关性,统计结果表明,二者之间的相关系数在0.63~0.78之间。(2)年降水量超过500mm时,降水与径流之间存在较好的线性响应关系;降水量小于500mm的情况下,径流量不依赖于降水量,分析认为是以地下径流补充为主。(3)不同阶段降水径流的点群尽管态势一致,但分布在不同的区域,特别是20世纪80年代以后的点群明显低于前期点群,说明在相同的降水条件下,后期的径流量小于前期的径流量,这主要是其他非降水因素造成的。

4 结论

(1)近60年来,山西省中西河流域不同季节和年降水量均呈现非显著性(置信水平位0.05,下同)变化趋势,其中秋、冬季节降水量呈现非显著性增加趋势,春、夏季降水量和年降水量为非显著性减少趋势。

(2)岔口站春、秋季径流量为非显著性减少趋势,其它季节径流量和年径流量均呈现显著性减少趋势。径流变化的阶段性明显,1970和1979为径流显著的变异点。

(3)不同阶段降水径流响应关系存在一定的差异,特别是20世纪80年代以来,降水径流点群偏低,体现了其他非降水因素对河川径流的影响,在一定程度上减少了河川径流量。定量分析不同因素对河川径流的影响是未来研究的重要内容。

参考文献:

- [1] Wang Guoqing, Yan Xiaolin, Zhang Jianyun, et al. Detecting evolution trends in the recorded runoffs from the major rivers in China during 1950 - 2010 [J]. *Journal of Water and Climate Change*, 2013, 4(3): 252 - 264.
- [2] 孙永寿,段水强,李燕,等. 近年来青海三江源区河川径流变化特征及趋势分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2015, 26(1): 52 - 57.
- [3] 李春晖,杨志峰. 黄河流域分区天然径流量趋势性与持续性特征[J]. *水文*, 2005, 25(1): 13 - 17.
- [4] 王兆礼,陈晓宏,杨涛. 近50 a 东江流域径流变化及影响因素分析[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(8): 1365 - 1374.
- [5] 丁文峰,张平仓,任洪玉. 近50年来嘉陵江流域径流泥沙演变规律及驱动因素定量分析[J]. *长江科学院院报*, 2008, 25(3): 23 - 27.
- [6] 陈亚宁,郝兴明,徐长春. 新疆塔里木河流域径流变化趋势分析[J]. *自然科学进展*, 2007, 17(2): 205 - 210.
- [7] 唐丽霞,张志强,王新杰,等. 晋西黄土高原丘陵沟壑区清水河流域径流对土地利用与气候变化的响应[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(7): 800 - 810.
- [8] 王国庆,张建云,李雪梅,等. 黄土高原泾河流域径流变化及其对环境要素的响应[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(3): 192 - 197.
- [9] 张嘉琪,任志远. 1977 - 2010年柴达木盆地地表潜在蒸散时空演变趋势[J]. *资源科学*, 2014, 36(10): 2103 - 2112.
- [10] 黄领梅,沈冰. 和田河汇入塔里木河径流演变及成因分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2012, 23(2): 26 - 28 + 32.
- [11] 严栋飞,解建仓,姜仁贵,等. 汉江上游径流变化趋势及特征分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2016, 27(6): 13 - 19.
- [12] 李保敏,张俊芝,吴旭,等. 基于Mann-Kendall法和有序聚类法的径流变化特征研究[J]. *海河水利*, 2012, (2): 37 - 38 + 44.
- [13] Wang Guoqing, Zhang Jianyun, Pagano T C, et al. Using hydrological simulation to detect human-disturbed epoch in runoff series [J]. *Water Science & Technology*. 2015. 71(5): 691 - 700.
- [14] Wang Guoqing, Zhang Jianyun, He Ruimin, et al. Runoff sensitivity to climate change for hydro-climatically different catchments in China [J]. *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, 2017, 31(4): 1011 - 1021.
- [15] 刘晓燕,等. 黄河近年水沙锐减成因[M]. 北京:科学出版社, 2016.