

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.01.043

汾河流域水文气象要素变化特征分析

安宝军¹,周维博^{2,3},夏伟^{2,3},杨浩¹

(1.陕西省西咸新区 沣东新城斗门水库建设管理中心,陕西 西安 710086;

2.长安大学 环境科学与工程学院,陕西 西安 710054;

3.长安大学 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室,陕西 西安 710054)

摘要:为更好地理解气候变化对汾河流域径流变化的影响,采用滑动平均法、累积距平法、M-K检验法、小波分析法等方法对汾河流域1965年—2016年的降水和径流的变化特征进行分析。结果表明:年降水量和年径流量总体均呈现减小的趋势,减小的速率分别为0.007 2 mm/a和0.011 4亿 m³/a;年降水量和年径流量分别在1990年、2002年和1990年、2008年前后发生突变;年降水量序列和年径流量序列年际变化的第一主周期分别为25 a~30 a和27 a~32 a。

关键词:滑动平均法;累积距平法;M-K检验法;小波分析法

中图分类号:TV11

文献标识码:A

文章编号:1672-1144(2019)01-0239-05

Variation Characteristics Analysis of Hydrologic Meteorological Elements in Fenghe River Basin

AN Baojun¹, ZHOU Weibo^{2,3}, XIA Wei^{2,3}, YANG Hao¹

(1. Doumen Reservoir Construction Management Center of Fengdong New City of Xixian New Area of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710086, China;

2. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

3. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecology in Arid Areas of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: In order to better understand the impacts of climate change on runoff of Fenghe River Basin, this article adopted multiple methods including moving average, accumulative anomaly method, M-K test and wavelet analysis to analyze the variation characteristics of precipitation and runoff from 1965 to 2016 in Fenghe River Basin. The results showed that the precipitation and runoff all have a decreasing trend with a rate of 0.007 2 mm/a and 1.14 million m³/a, respectively; the point of abrupt change of the sequences of precipitation and runoff separately occurred in 1990, 2002 and 1990, 2008; the first primary cycle of the inter annual variation of the sequences of precipitation and runoff were 25 a~30 a and 27 a~32 a, respectively.

Keywords: moving average; accumulative anomaly method; M-K test; wavelet analysis

在政府间气候变化委员会(IPCC)第五次评价报告第二工作组报告《气候变化2014:影响、适应和脆弱性》中指出:气候变化已经对全球自然和人类系统包括11种领域和9个区域(各大洲、两极地区和岛屿)都产生广泛和深远的影响;气候变化增温幅度的提高将加剧自然和人类系统广泛的、严重的和不可

逆影响的风险^[1-2]。

唐熊鹏等^[3]以沱沱河流域为例,采用累积距平法、M-K检验法以及小波分析法等一系列分析方法对其1961年—2010年的气温、降水和径流深序列进行了分析,研究表明:沱沱河流域气温、降水和径流深序列均呈不同程度的上升趋势,分别在1999

收稿日期:2018-09-21

修稿日期:2018-10-18

基金项目:陕西省水利科技项目(2018slkj-10)

作者简介:安宝军(1969—),男,陕西西安人,高级工程师,主要从事水利水电工程项目管理工作。E-mail:1552832689@qq.com

通讯作者:周维博(1956—),男,陕西乾县人,博士,教授,博士生导师,主要从事水资源、水环境与节水灌溉研究工作。

E-mail:zwbzyz823@163.com

年、2004 年和 2007 年、2004 年和 2007 年发生突变,且第一主周期分别为 25 年、20 年和 22 年。田龙^[4]应用多种数理统计法对台兰水文站 1957 年—2010 年降水、气温和径流的变化趋势进行了分析,研究表明:降水量年际变幅增大,总体呈上升趋势,气温在 1980 年之前呈显著降低趋势,在 1980 年之后呈显著上升趋势,径流呈现较明显的增多的趋势;李海川等^[5]以澜沧江流域为例,运用了气候倾向率、Mann-Kendall 突变检验法以及 Pearson 相关性分析等一系列分析方法对其 1958 年—2015 年的气温、降水和径流序列进行了分析,研究表明:澜沧江流域上游温度低降水少,下游温度高降水多,降水和径流主要集中在于夏秋两季,径流在 2005 年发生突变,气温与径流的相关性较差,降水径流相关性于 2005 年之后变差。

目前,沔河处于西安城市建设西边缘区域,同时下游位于第七个国家级新区—西咸新区境内,战略地位不断凸显。在全球气候变化的背景下,沔河流域水文气象要素是否发生改变直接影响着当地的经济的发展^[6-7]。目前,西咸新区正处于快速发展成型时期。因此,对沔河流域水文气象要素进行趋势分析、突变分析以及周期分析实际意义重大。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

沔河系渭河右岸较大的一级支流,全长为 78.0 km,流域面积为 1 460 km²,平均比降为 8.2‰。沔河流域属于暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候,四季气候变化明显。流域内较大支流有漓河、太平峪和高冠峪。在沔河下游干流上设有秦渡镇水文站,该站于 1935 年 1 月设立,距沔河入渭口约 36 km,控制流域面积为 566 km²(见图 1)。

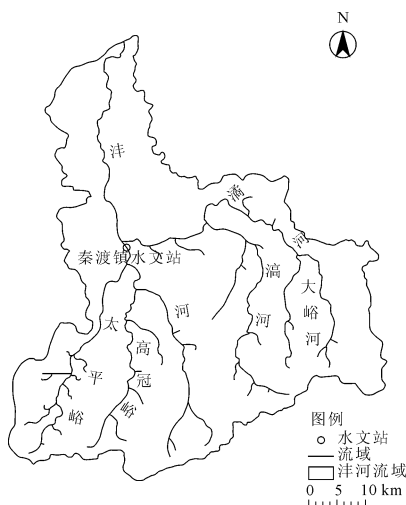


图 1 沔河流域水文站位置及流域水系图

1.2 数据来源

水文气象数据来源于秦渡镇水文站 1965 年—2016 年(共 52 a)逐年实测降水和径流数据。

1.3 研究方法

1.3.1 滑动平均法

滑动平均法又称移动平均法^[8-9],即沿着全长 N 个数据,逐个地取相邻的 $2n + 1$ 个数据进行算术平均,其值作为滑动平均值。其具体的计算公式如下:

$$y_k = \frac{1}{2n + 1} \sum_{i=-n}^n x_{k+i}, k = n + 1, n + 2, \dots, N - n \quad (1)$$

本文采用五日滑动平均法(即 $n = 2$)对沔河流域年降水量和年径流量序列进行趋势分析。运用此方法可以很好地消除原始年降水量和年径流量数据的不稳定波动,显示出年降水量和年径流量序列变化的平稳性。

1.3.2 累积距平法

利用下式来表示序列的累积距平^[10]

$$\bar{x}_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}), t = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

其主要思想是判断离散数据对其均值的离散程度,若曲线呈现上升趋势,表明累积距平值增大,离散数据大于其均值;若曲线呈现下降趋势,表明累积距平值减小,离散数据小于其均值。

1.3.3 Mann-Kendall 检验法

Mann-Kendall 检验法^[11-12]是一种非参数检验方法,其优点主要有以下几点:(1)对样本要求较低,不需要其具有一定的分布特征;(2)分析结果对少数异常值的抗干扰性较强;(3)适用性很强,可以被用于分析顺序变量和类型变量;(4)计算也较为简单方便。Mann-Kendall 法的主要思想是:先根据时间序列的顺序和逆序分别计算出统计量序列 UF 和 UB,给定显著性水平 α (本文 α 取 0.05,即 $U_\alpha = \pm 1.96$),再在一幅图中绘制出 UF 和 UB 两条统计量序列曲线以及 $U_\alpha = \pm 1.96$ 两条临界线。若 UF 和 UB 值大于 0,则表明该统计量序列呈现上升的趋势;若 UF 和 UB 值大于 0,则表明该统计量序列呈现下降的趋势。当 UF 和 UB 超过临界值时,则表明该统计量序列上升或下降的趋势显著。如果 UF 与 UB 两条统计量序列曲线在 $U_\alpha = \pm 1.96$ 两条临界线之间出现交点,则此交点所对应的时间即为突变开始

的时间。

1.3.4 小波分析法

小波分析^[13-16]的基本思想是用一簇小波函数(本文选用 Morelet 小波系)来表示或逼近某一信号或函数。通过小波分析,可以得到小波分析时频分布图以及小波方差图。从小波分析时频分布图中可以看出水文时间序列的几个主要的变化周期,从小波方差图中可以看出水文时间序列在不同变化周期时的波动能量的大小,从而可以判断出水文时间序列在变化过程中的主周期。

2 流域水文气象要素时间序列分析

2.1 趋势分析

泃河流域 1965 年—2016 年年降水量和年径流量趋势变化如图 2 所示。

由图 2(a)可知,泃河流域多年平均降水量为 642.6 mm,年降水量总体呈现减小的趋势,减小的速率为 0.007 2 mm/a,其中最大降水量为 1 063.2 mm(1983 年),最小降水量发生为 301.4 mm(1995 年)。从五年滑动平均曲线来看,泃河流域年降水量在 21 世纪之前降水丰枯明显,呈微弱下降趋势,20 世纪 70 年代降水呈下降趋势,20 世纪 80 和 90 年代降水下降趋势更加显著。

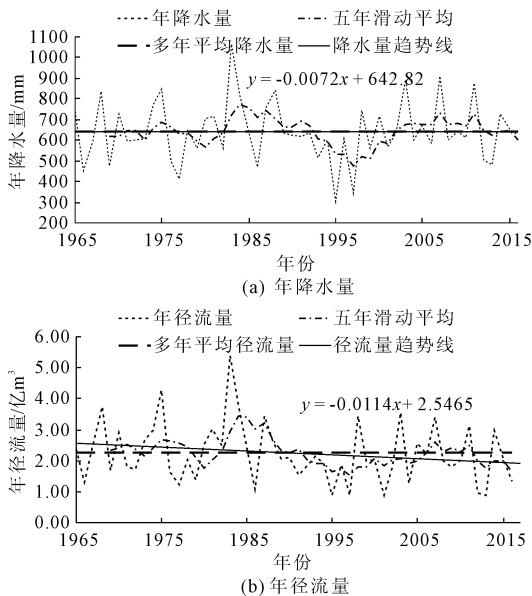


图 2 1965 年—2016 年泃河流域趋势变化图

由图 2(b)可知,泃河流域多年平均径流量为 2.24 亿 m^3 ,年径流量总体呈现减小的趋势,减小的速率为 0.011 4 亿 m^3/a ,其中最大径流量发生在 1983 年,为 5.38 亿 m^3 ,最小径流量发生在 1995 年和 2001 年,为 0.87 亿 m^3 。从五年滑动平均曲线来看,

泃河流域年径流量在 21 世纪之前径流丰枯明显,呈微弱下降趋势,20 世纪 70 年代径流呈下降趋势,20 世纪 80 和 90 年代径流下降趋势更加显著。泃河流域年径流量总体呈现减小的趋势,这可能是由两方面原因导致的,一方面是年降水量的减少,另一方面是人类活动的不断加剧。

利用累积距平法对泃河流域 1965 年—2016 年的降水和径流丰枯状态进行分析,图 3(a)为泃河流域年降水量累积距平曲线图,图 3(b)为泃河流域年径流量累积距平曲线图。

由图 3(a)可知,泃河流域 1965 年—2016 年的年降水量序列大致可分为如下几个阶段:二个显著的枯水段,即 1975 年—1979 年和 1989 年—1997 年;二个显著的丰水段,即 1980 年—1988 年和 2002 年—2011 年;二个显著的平水段,即 1998 年—2001 年和 2014 年—2016 年。

由图 3(b)可知,泃河流域 1965 年—2016 年的年径流量序列大致可分为如下几个阶段:二个显著的枯水段,即 1975 年—1979 年和 1989 年—2016 年;一个显著的丰水段,即 1980 年—1988 年;一个显著的平水段,即 1968 年—1974 年。

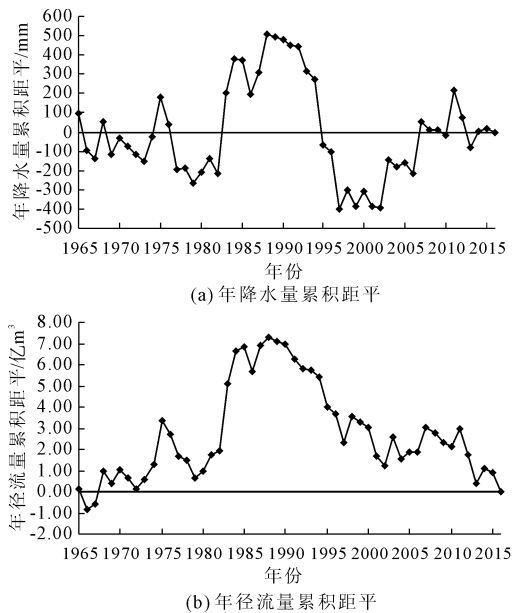


图 3 泃河流域和累积距平曲线

从而可以看出,泃河流域 1965 年—2016 年的年径流量的变化趋势与年降水量的变化趋势大体一致,在 80 和 90 年代下降趋势均较为显著,丰枯状态也大致对应。

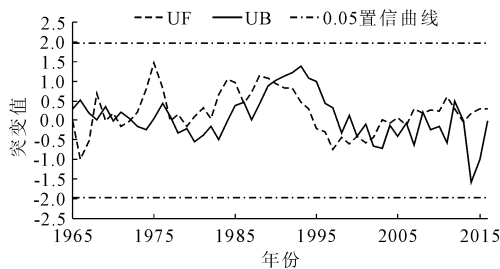
2.2 突变分析

用 Mann - Kendall 检验法对泃河流域 1965 年—

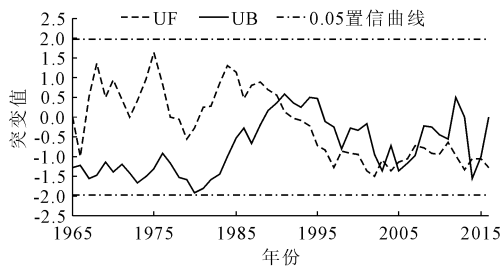
2016 年的年降水量和年径流量进行突变分析,图 4(a)和图 4(b)分别为沱河流域年降水量和年径流量 M-K 检验图。

由图 4(a)可知,UF 和 UB 曲线在 $U_\alpha = \pm 1.96$ 两条临界线间相交于 1990 年和 2002 年,可以确定沱河流域年降水量在 1990 年和 2002 年前后发生突变。

由图 4(b)可知,UF 和 UB 曲线在 $U_\alpha = \pm 1.96$ 两条临界线间相交于 1990 年和 2008 年,可以确定沱河流域年径流量在 1990 年和 2008 年前后发生突变。



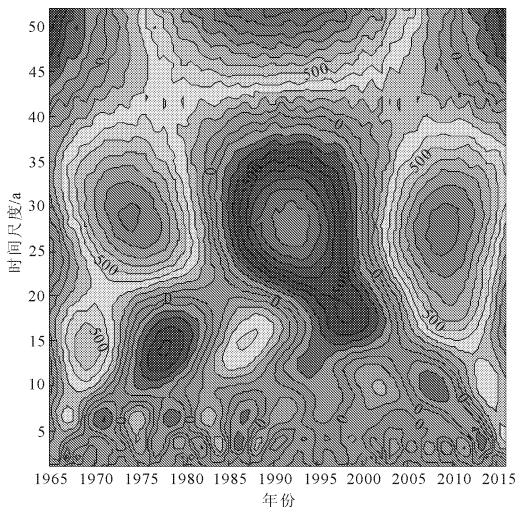
(a) 年降水量 M-K 检验



(b) 年径流量 M-K 检验

图 4 沱河流域 M-K 检验

从而可以看出,沱河流域 1965 年—2016 年的年径流量发生突变的年份与年降水量发生突变的年份



(a) 年降水量小波分析时频分布

大体一致,年径流量第一次发生突变的年份与年降水量第一次发生突变的年份相同,均发生在 1990 年前后,年径流量第二次发生突变的年份较年降水量第二次发生突变的年份有所滞后,前后相差 6 年左右。

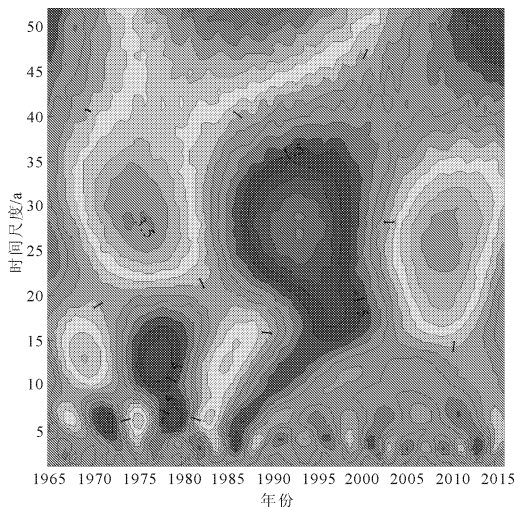
2.3 周期分析

用小波分析法对沱河流域 1965 年—2016 年的年降水量和年径流量进行周期分析,图 5(a)和图 5(b)分别为沱河流域年降水量和年径流量小波分析时频分布图,图 6(a)和图 6(b)分别为沱河流域年降水量和年径流量小波方差图。

由图 5(a)可知,沱河流域年降水量序列存在 12 a~13 a、25 a~30 a 以及 45 a~46 a 左右的三个主要的变化周期。由图 6(a)可知,沱河流域年降水量小波方差曲线共有三个峰值,其中最大峰值对应着 25 a~30 a 的变化周期,最小峰值对应着 45 a~46 a 的变化周期,这表明沱河流域年降水量序列的第一、第二和第三主周期分别为 25 a~30 a、12 a~13 a 和 45 a~46 a。

由图 5(b)可知,沱河流域年径流量序列存在 13 a~15 a、27 a~32 a 以及 46 a~47 a 左右的三个主要的变化周期。由图 6(b)可知,沱河流域年径流量小波方差曲线共有三个峰值,其中最大峰值对应着 27 a~32 a 的变化周期,最小峰值对应着 46 a~47 a 的变化周期,这表明沱河流域年径流量序列的第一、第二和第三主周期分别为 27 a~32 a、13 a~15 a 和 46 a~47 a。

从此可以看出,沱河流域 1965 年—2016 年的年降水量和年径流量均存在着大体一致的三个主要的变化周期,且第一、第二和第三主周期也相互对应。



(b) 年径流量小波分析时频分布

图 5 沱河流域小波分析时频分布

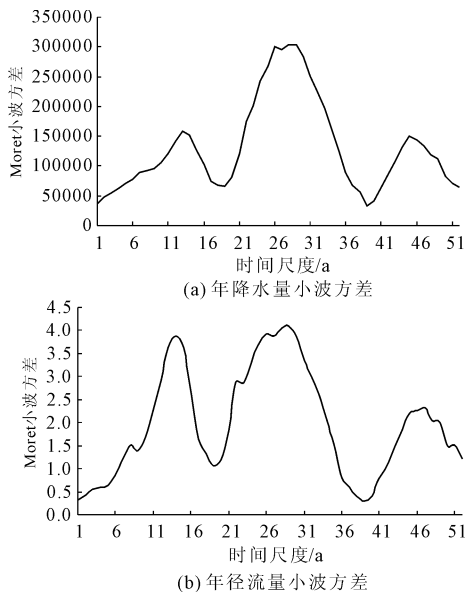


图 6 泇河流域小波方差图

3 结 论

(1) 泇河流域 1965 年—2016 年的年降水量序列和年径流量序列总体均呈现减小的趋势,减小的速率分别为 0.0072 mm/a 和 $0.0114 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$,且最大值均发生在 1983 年,分别为 1063.2 mm 和 5.38 亿 m^3 ;泇河流域 1965 年—2016 年的年降水量序列存在着 1975 年—1979 年和 1989 年—1997 年二个显著的枯水段,1980 年—1988 年和 2002 年—2011 年二个显著的丰水段以及 1998 年—2001 年和 2014 年—2016 年二个显著的平水段;泇河流域 1965 年—2016 年的年径流量序列存在着 1975 年—1979 年和 1989 年—2016 年二个显著的枯水段,1980 年—1988 年一个显著的丰水段,以及 1968 年—1974 年一个显著的平水段。

(2) 泇河流域 1965 年—2016 年的年径流量序列与年降水量序列发生突变的年份大体一致,年降水量序列在 1990 年和 2002 年前后发生突变,年径流量序列在 1990 年和 2008 年前后发生突变。

(3) 泇河流域 1965 年—2016 年的年降水量序列存在 $12 \text{ a} \sim 13 \text{ a}$ 、 $25 \text{ a} \sim 30 \text{ a}$ 以及 $45 \text{ a} \sim 46 \text{ a}$ 左右的三个主要的变化周期,其中第一主周期为 $25 \text{ a} \sim 30 \text{ a}$;泇河流域 1965 年—2016 年的年径流量序列存在 $13 \text{ a} \sim 15 \text{ a}$ 、 $27 \text{ a} \sim 32 \text{ a}$ 以及 $46 \text{ a} \sim 47 \text{ a}$ 左右的三个主要的变化周期,其中第一主周期为 $27 \text{ a} \sim 32 \text{ a}$ 。

参考文献:

- [1] Pachauri R, La M. Climate change 2014: synthesis report. contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[J]. Journal of Romance Studies, 2014,4(2):85-88.
- [2] 姜 彤,李修仓,巢清尘,等.《气候变化 2014:影响、适应和脆弱性》的主要结论和新认知[J].气候变化研究进展,2014,10(3):157-166.
- [3] 唐雄朋,吕海深.沱沱河流域水文气象要素变化特征分析[J].水电能源科学,2016,34(12):37-40.
- [4] 田 龙.台兰河流域水文气象要素变化特征分析[J].广西水利水电,2014(4):26-29.
- [5] 李海川,王国庆,郝振纯,等.澜沧江流域水文气象要素变化特征分析[J].水资源与水工程学报,2017,28(4):21-27.
- [6] 王宁伟,颜克顺,梁家豪.不同降雨类型对边坡稳定性的分析与研究[J].水利与建筑工程学报,2017,15(4):148-152.
- [7] 李 璐,高 睿,汪 洋.基于熵权集结交叉评价模型的洪灾脆弱性评价[J].水利与建筑工程学报,2018,16(2):237-240.
- [8] 吕琳莉,刘湘伟,周红梅,等.雅鲁藏布江中下游年径流变化趋势分析[J].人民黄河,2013,35(5):27-29.
- [9] 谢 平,陈广才,夏 军.变化环境下非一致性年径流序列的水文频率计算原理[J].武汉大学学报(工学版),2005,38(6):6-9.
- [10] Ran L, Wang S, Fan X. Channel change at Toudaoguai Station and its responses to the operation of upstream reservoirs in the upper Yellow River[J]. Journal of Geographical Sciences, 2010,20(2):231-247.
- [11] 郭 彦,侯素珍,林秀芝.近 51 年西柳沟流域水沙变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2014,28(10):176-183.
- [12] 曹洁萍,迟道才,武立强,等. Mann - Kendall 检验方法在降水趋势分析中的应用研究[J].农业科技与装备,2008(5):35-37.
- [13] 夏 伟,周维博,何庆龙,等.气候变化和人类活动对灞河流域输沙量影响的定量评估[J].水利水电科技进展,2018,38(4):51-56.
- [14] 李春晖,郑小康,杨志峰,等.黄河天然径流量变化趋势及其影响分析[J].北京师范大学学报(自然科学版),2009,45(1):80-85.
- [15] 从 辉,周维博,宋 扬,等.1970—2013 年大西安地区降水时空变化特征分析[J].长江科学院院报,2017,34(8):18-23.
- [16] 宋 扬,周维博,马亚鑫,等.50 年来灞河流域降水变化特征分析[J].长江科学院院报,2017,34(7):12-18.