

# 新安江流域降水、径流演变特征分析

潘娅英, 骆月珍, 王亚男, 张青, 朱占云

(浙江省气象服务中心, 杭州 310017)

**摘要:**为了掌握新安江流域降水、径流的演变特征,采用 Mann-Kendall 检验法、Morlet 小波分析法对新安江流域近 57 年的降水、径流数据的月、年际变化,年序列的突变和周期特征进行了统计和分析。结果表明:春夏季的 4—7 月是新安江流域降雨和径流最为集中的时段,新安江流域年降雨、径流的年际变化均呈明显增多的趋势,新安江流域年径流、降雨的突变异常时间基本吻合,两组序列的第 1 主周期均为 17 a,第 2,3 周期分别是 7 a,3 a,目前正处于不同周期中的丰水年中。两组序列高度相关,且具有极其吻合的同步变化特征。可见新安江流域属于雨水补给型河流,降雨是影响该流域径流最主要的因子。新安江流域可利用径流和降雨两组序列建立了线性回归模型,其拟合和预报效果较好,在流域长期径流量预报业务中有一定的应用价值。

**关键词:**降水; 径流; M-K 检验; 小波变换

**中图分类号:**P49; P333.3; P426.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2018)06-0121-05

## Characteristics of Evolution of Precipitation and Runoff in Xin'an River Basin

PAN Yaying, LUO Yuezhen, WANG Yanan, ZHANG Qing, ZHU Zhanyun

(Zhejiang Meteorological Service Center, Hangzhou 310017, China)

**Abstract:** In order to grasp the evolution of precipitation and runoff in the Xin'an River Basin, Mann-Kendall test method and Morlet wavelet analysis method were used to analyze the monthly and inter-annual changes of precipitation and runoff data in the Xin'an River Basin in the past 57 years, and the mutations and the periodic characteristics of the annual series were measured and analyzed. The results show that it's the most concentrated periods of rainfall and runoff in the Xin'an River Basin from April to July in spring and summer; the interannual variation of annual rainfall and runoff in Xin'an River Basin showed the increasing trend; the abnormal time of annual runoff and rainfall in the Xin'an River basin was basically same. The first main cycle of the both sets of data was 17 years, and the second and third cycles were 7 years and 3 years, respectively. At present, it is in the water-rich year in different cycles. The two sets of data were significantly correlated and had the characteristics of synchronization change. The Xin'an River Basin is a rain-fed river, and rainfall is the most important factor affecting runoff in the basin. The linear regression model was established by using two sequences of runoff and rainfall data in the Xin'an River Basin, and the fitting and forecasting effect were good, which has a certain application value in the long-term runoff forecasting service of river basin.

**Keywords:** precipitation; runoff; M-K test; wavelet transform

气候变化和人类的活动是影响河川径流变化的最主要的两大因素,由于气候因素会造成降水的改变,从而影响地表、地下水资源的多寡,进而引起径流量的丰枯变化。同时人类活动也会通过改变下垫面而影响河川的产汇流机制,径流量也随之改变。

目前,在水文和气象专业的很多学者对降水和径流的变化都做了较多的有意义的研究,比如孙洋洋<sup>[1]</sup>、潘彬<sup>[2]</sup>、张建兴<sup>[3]</sup>等对黄河上、中、下游的径流变化特征做了研究,得出黄河各段的径流量均有明显减少的趋势,且减少趋势显著。宋小燕等<sup>[4]</sup>认为松花

收稿日期:2017-10-24

修回日期:2017-12-21

资助项目:浙江省科技厅公益资助项目“基于气象-水文耦合模型的中小河流域洪水气象风险等级预报技术研究”(2017C33148)

第一作者:潘娅英(1977—),女,浙江景宁人,高级工程师,主要从事专业气象服务研究。E-mail:34694814@qq.com

通信作者:骆月珍(1963—),女,浙江建德人,高级工程师,主要从事专业气象服务工作。E-mail:1515879608@qq.com

江的径流在 100 年时间尺度上并未表现出显著的增加或减小的趋势,但径流量的年际变化具有明显的阶段性特征。潘扎荣等<sup>[5]</sup>的分析表明淮河干流径流量总体表现出递减的变化趋势。郭爱军<sup>[6]</sup>、刘伟<sup>[7]</sup>、古丽孜巴·艾尼瓦尔<sup>[8]</sup>等利用小波分析、Copula 函数等方法探讨了泾河、清水河等流域径流量的周期特征以及与径流、降水的演变规律。从已有的研究来看,径流量的变化与降雨的关系非常密切。

本文选取新安江流域近 57 a 的径流和降水资料,诊断分析降雨、径流的关系特征,该研究成果有助于新安江流域合理进行水资源的优化开发和高效利用,对区域的经济发展和人民生命财产安全的保障均有重要的实际意义。

## 1 研究区概况

新安江发源于安徽省休宁县与江西省交界处的五股尖山,东入浙江省西部,经淳安至建德与兰江汇合后为钱塘江干流桐江段、富春江段,东北流入钱塘江,是钱塘江正源。干流长 373 km,流域面积 11 720 km<sup>2</sup>。全区面积大,地貌类型多样,平原、岗地、丘陵和山地俱全,各个副区间差异显著。新安江流域属于亚热带季风气候,冬夏季风交替明显,由于季风强度出现的时间年际变化较大,流域内易出现旱、涝、高温、低温等自然灾害。

新安江流域内的新安江水库建立于 20 世纪 50 年代,装机容量达 216.26 亿 m<sup>3</sup>,为多年调节水库。流域范围 117.64°—119.34°E,29.19°—30.23°N,控制流域面积 10 480 km<sup>2</sup>,占新安江流域面积的 89.4%。是一座以发电为主,兼防洪、旅游、饮用水源、养殖以及工农业用水等诸多功能为一体的大型水库。

## 2 资料和方法

### 2.1 资料

本文选用新安江水库 1960—2016 年共 57 a 的实测入库流量资料以及流域内 4 个气象站点资料和 10 个水文站的降雨资料作为分析资料。流域面雨量通过各站点的降雨资料经泰森多边形法计算得到。为降雨和径流比较方便,将入库流量换算成径流深,单位为 mm。

### 2.2 分析方法

采用 Mann-Kendall 检验法分析降雨、径流序列的突变检验分析。Mann-Kendall 检验是提取序列变化趋势的有效工具,被广泛应用于气候和水文序列的

分析<sup>[9-10]</sup>。该方法是一种非参数统计检验方法,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,更适用于类型变量和顺序变量,计算也比较简便。

另外,利用小波分析法讨论降雨、径流的周期变化特征。小波分析是比较成熟的数学分析方法,广泛地应用于大气、水文等领域,取得了显著成果<sup>[11]</sup>。采用 Morlet 小波可以得到 Morlet 小波系数实部的时频结构图和小波方差,由此可确定序列的主要周期。

## 3 结果与分析

### 3.1 降雨、径流年际变化特征分析

新安江流域 1960—2016 年降雨、径流变化过程如图 1 所示:(1) 降雨、径流的年际分配不均匀,但两者演变趋势具有一致性,均呈现波动增多的趋势,其中降水增多趋势略微大于径流。(2) 降雨、径流的极大值、极小值均同期出现,分别是在 1999 年和 1978 年。其中,1999 年新安江流域面雨量达 2 410 mm,径流 1 715.94 mm,为历年极大值。1978 年新安江流域面雨量仅 1 040 mm,径流 478 mm,为历年极小值。

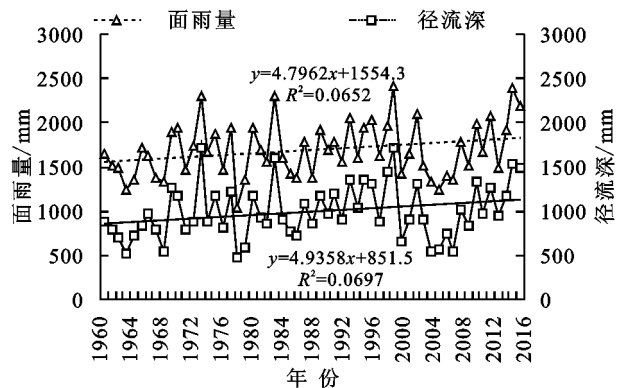


图 1 新安江流域降雨、径流年际变化

### 3.2 降雨、径流年内特征分析

新安江流域年内各月的降雨、径流如图 2 所示,新安江流域降雨各月分配极不均匀,从 1 月起逐渐增加,至 6 月达最大值 319.6 mm,该月雨量占年总雨量的 18.9%。7 月起雨量迅速减小,至 12 月为全年最小值仅 49.6,该月雨量占年总雨量的 2.9%。新安江流域 4—7 月为年内降雨最为集中的时段,该时段总雨量达 931.2 mm,占全年总雨量的 55%。

新安江流域径流量从 1 月起逐渐增加,至 6 月达最大值 216.2 mm,该月径流占年径流的 21.7%。7 月起径流量迅速减小,至 12 月达全年最小值 21.3 mm,该月径流量仅占年径流量的 2.1%。新安江流域 4—7 月是一年中径流量较为集中的时段,该时段

的径流量 627.2 mm, 占年总径流量的 63.1%。

因此, 新安江流域降雨和径流的年内的月际分配具有相似特征, 均呈一致的单峰型变化。4—5 月新安江流域处于春季, 天气系统活跃, 易出现短时强降水及春季连阴雨天气, 降水量较冬季明显增加, 径流也明显增大。6—7 月上中旬该流域处于雨量最大、最集中的梅汛期, 易出现连续性阴雨天气和暴雨天气, 径流迅速增大。7 月中下旬—9 月份新安江流域进入台风干旱期, 当有台风影响的时段, 该流域容易形成台风降水, 多以过程性降水为主; 当没有台风影响时该流域均为高温干旱天气, 降水多为午后雷阵雨为主, 雨量迅速减小, 径流也迅速减小。10 月—翌年 3 月是新安江流域的秋冬季节, 降水明显减小, 为一年之中雨量最少的时段, 径流亦如此。4—7 月是 新安江流域降雨、径流是一年中最大、最为集中的时段, 也是该流域洪水灾害多发时期。

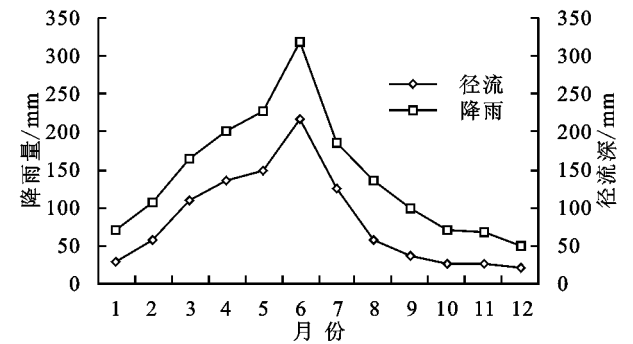
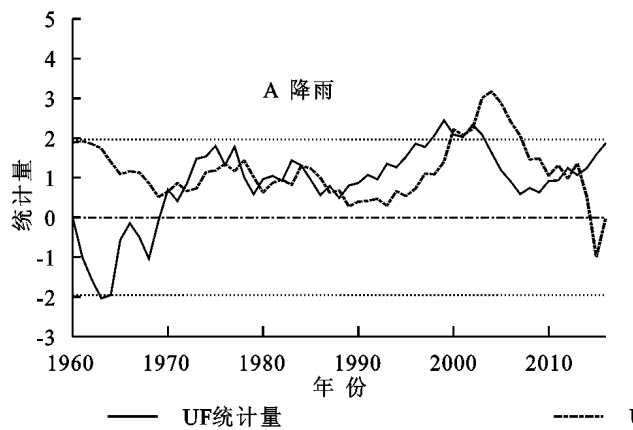


图 2 新安江流域降雨、径流月际变化

3.3 降雨、径流的突变性分析

采用 Mann-Kendall 检验法分别对新安江流域降雨、径流序列突变检验分析(图 3), 在显著性水平 0.05,



3.4 降雨、径流的周期分析

采用 Morlet 小波对新安江流域年降雨、径流进行小波变换分析, 小波实系数等值线图反映了降雨、径流包含的周期与振幅大小。如图 4 所示, 降雨、径

临界值为 $\pm 1.96$ 的条件下, 1960—1968 年 UF 基本小于 0, 且在临界值之内, 说明降雨(图 3A)持续偏少, 且有缓慢上升的趋势, 但变化不显著。1969—1988 年 UF 值大于 0, 且与 UB 交替上下, 并小于临界值, 说明趋势不显著。1989—2002 年, 这两段时间 UF 值呈上升趋势, 说明降雨明显增多。2003—2012 年 UF 呈减少趋势, 说明降水量明显减少。2013 年后 UF 值又上升, 说明降水量增加。在 1960—2016 年的 UF 和 UB 曲线相交于 1972 年、1978 年、1979 年、1980 年、1984 年、1988 年、2002 年、2009 年、2012 年, 结合 UF, UB 曲线的变化, 可知新安江流域年雨量变化在 1971 年、1988 年、2003 年、2009 年有 4 个明显的突变时间点, 其中 1971 年、1988 年、2009 年是降雨由少转多的突变年份, 2003 年是降雨由多转少的突变年份。

如图 3B 所示, 1960—1968 年 UF 基本小于 0, 且在临界值之内, 说明该时段处于径流偏少的枯水期, 但有缓慢上升的趋势。1969—1978 年、1980—2002 年, 这两段时间 UF 值先波动后上升, 总体来看径流处于丰水期。2003—2009 年 UF 呈减少的趋势, 说明径流量逐渐减小的枯水期中。2010—2016 年, UF 值又上升, 说明径流量呈上升趋势, 由枯转丰。在 1960—2016 年的 UF 和 UB 曲线相交于 1972 年、1978 年、1979 年、2003 年、2009 年, 结合 UF, UB 曲线的变化, 可知新安江流域年径流变化在 1971 年、2003 年、2009 年是 3 个发生突变的时间点, 其中 1971 年、2009 年的年径流由枯转丰, 2003 年的年径流由丰转枯。可见, 新安江流域径流与降雨的突变异常时间基本吻合, 径流变化受降雨的影响显著。

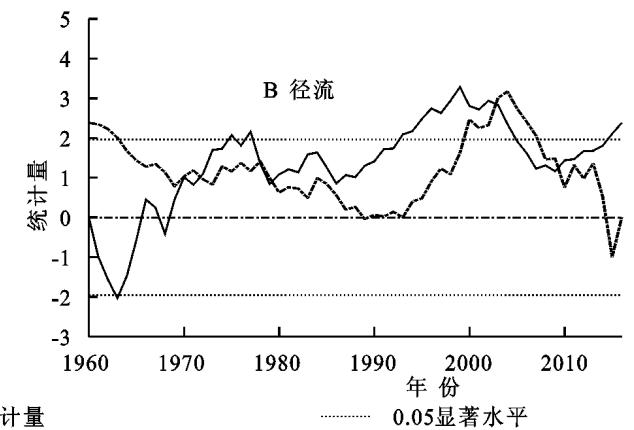


图 3 新安江流域降雨、径流突变检验

流偏多, 小波实系数为正值用实线表示; 反之, 降雨、径流偏少, 小波实系数等值线用虚线表示。根据 1960—2016 年新安江流域的年降雨量、径流的年际变化均存在着 2~3 a, 5~8 a, 10~20 a 的多重时间尺度上的

周期。新安流域年降雨量具有 10~20 a 尺度的周期振荡规律,共经历了 3 次枯—丰循环交替过程。5~8 a 的周期变化主要发生在 20 世纪 70—80 年代以及 2008 年以后,先后共经历了 4 次枯—丰循环交替过程。2~3 a 的周期变化主要发生在 1985 年之前,以及 1990—2005 年,共经历了 9 个丰—枯循环交替变化过程。目前正处于大、小周期中的丰水年周期里。

新安江年降雨、径流序列的小波方差分析反映了其波动能量随着时间尺度的变化情况,以及小波变换系数在不同周期内方差贡献的相对极大值,据此,可以准确判断出降雨、径流变化过程中存在的主周期。新安江的年降雨、径流序列的周期振荡一致,第 1 主周期均为 17 a,第 2,3 周期分别是 7 a,3 a,可见,新安江流域径流的振荡周期是由降雨的振荡周期引起的。

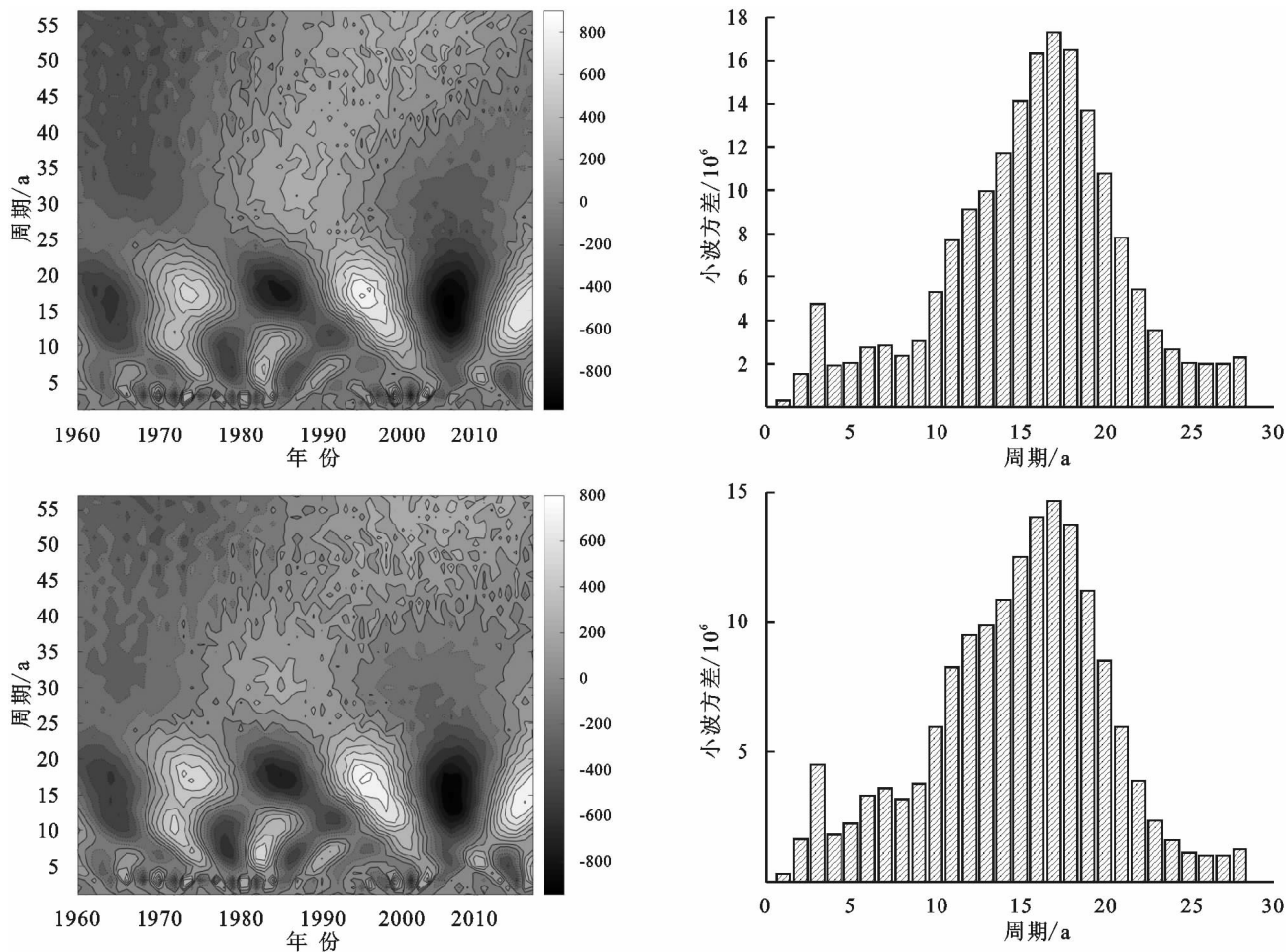


图 4 新安江流域降雨、径流小波分析实系数和小波方差

### 3.5 降雨、径流的相关分析

计算新安江流域年降雨、年径流序列的相关系数达 0.962 4,月降雨、月径流序列的相关系数达 0.951 3,新安江流域的径流变化与同期降雨高度相关。结合径流与降雨的时间序列变化、突变和周期等特征分析可知,新安江流域的径流与降雨变化有着极其吻合的同步变化特征,新安江流域属于雨水补给型河流,降雨是影响该流域径流最主要的因子。

将月降雨与月径流建立降雨径流的拟合分析,降雨与径流以线性形式拟合最好,回归方程如下:

$$Y = 0.776X - 26.672 \quad (1)$$

式中: $X$  为降雨量(mm); $Y$  为月径流(mm),该回归方程的拟合优度即判定系数  $R^2$  为 0.905,说明该线

性拟合模型的效果显著。

由此可以利用新安江流域月降雨量的预测来推断月径流量的丰枯变化,以 2016 年 1—12 月的月雨量作为试报变量,用该回归方程可计算出同期月径流的预测值(图 5),除 7 月份的绝对误差达 27.6 mm,其余 11 个月的绝对误差均在 10 mm 以内;相对误差均 20% 以内;预测值与实况值较为一致。

在业务应用过程中,新安江流域特别需要有月尺度上的径流预测来作为生产和调度的决策依据,对于流域径流长期预报可以利用气象部门的长期预报中的流域月雨量预报,并通过该线性回归模型对流域月径流量做出较准确的预测。因此该线性回归模型在新安江流域长期径流量的预报业务中有一定的应用价值。

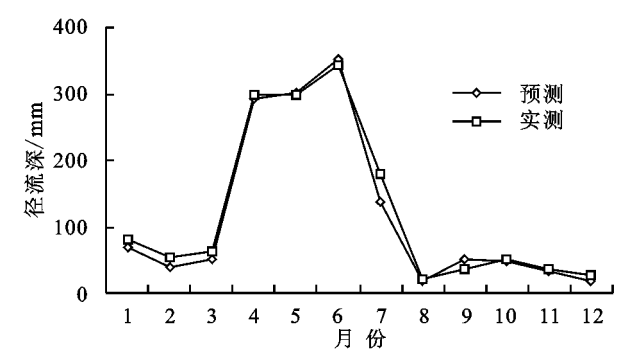


图 5 月径流分月预测与实测对比

4 结 论

(1) 新安江流域降雨、径流的年际分配不均匀,但两者演变趋势具有一致性,均呈现波动增多的趋势。两序列的月际分配均呈一致的单峰型变化,春夏季的 4—7 月是该流域降雨和径流最为集中的时段,也是同期洪水灾害最为多发的时段。

(2) 新安江流域径流与降雨的突变异常时间基本吻合,径流变化受降雨的影响显著。新安江流域年雨量序列有 4 个明显的突变年份,其中 1971 年、1988 年、2009 年是降雨明显增多的突变年份,2003 年是径流明显减小的突变年份。径流量序列有 3 个发生突变的年份,其中 1971 年、2009 年的年径流由枯转丰,2003 年的年径流由丰转枯。

(3) 新安江的年降雨、径流序列的周期振荡一致,第 1 主周期均为 17 a,第 2,3 周期分别是 7 a,3 a。目前正处于不同周期中的丰水年中。新安江流域径流的振荡周期是由降雨的振荡周期引起的。

(4) 新安江流域的径流与降雨变化有着极其吻合的同步变化特征,新安江流域属于雨水补给型河流,

降雨是影响该流域径流最主要的因子。

(5) 新安江流域降雨与径流高度相关。利用这两组序列建立线性回归模型效果较好,在流域长期径流量预报业务中有一定的应用价值。

参考文献:

[1] 孙洋洋,穆兴民,高鹏,等. 黄河上中游区径流量格局长期变化过程[J]. 水土保持研究,2017,24(3):59-64.

[2] 潘彬,韩美,倪娟. 黄河下游近 50 年径流量变化特征及影响因素[J]. 水土保持研究,2017,24(1):122-127.

[3] 张建兴,马孝义,屈金娜,等. 气候变化对黄河中游何龙区间径流量的影响分析[J]. 水土保持研究,2007,1(4):197-204.

[4] 宋小燕,穆兴民,高鹏,等. 松花江哈尔滨站近 100 年来径流量变化趋势[J]. 自然资源学报,2009,24(10):1803-1809.

[5] 潘扎荣,阮晓红,朱愿福,等. 近 50 年来淮河干流径流演变规律分析[J]. 水土保持学报,2013,27(1):51-55.

[6] 郭爱军,畅建霞,王姨民,等. 近 50 年泾河流域降雨—径流关系变化及驱动因素定量分析[J]. 农业工程学报,2015,31(14):165-171.

[7] 刘伟,何俊仕,陈杨,等. 浑河流域降水与径流变化特征及同步性分析[J]. 水土保持研究,2016,23(1):150-154.

[8] 古丽孜巴·艾尼瓦尔,麦麦提吐尔逊·艾则孜,米热古丽·艾尼瓦尔,等. 基于小波分析 1956—2010 年焉耆盆地清水河径流量季节变化规律[J]. 水土保持研究,2016,23(1):210-214.

[9] 李澜,丁文荣. 龙川江上游径流量变化及其对气候变化的响应[J]. 水土保持研究,2016,23(4):83-88.

[10] 涂新军,陈晓宏. 基于变点识别的区域河川径流量特征值变异研究[J]. 自然资源学报,2010,25(11):1930-1937.

[11] 熊亚兰,张科利,杨光敏,等. 贵州省年降雨量和天然年径流量年际变化研究[J]. 水土保持学报,2009,23(1):36-40.