



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.02.015

刘翠, 徐慧, 樊旭, 等. 三河闸近50年泄流变化规律[J]. 2016, 14(2): 82-86.

LIU Cui, XU Hui, FAN Xu, et al. Variation rule of Sanhe Sluice discharge in recent 50 years[J]. 2016, 14(2): 82-86. (in Chinese)

三河闸近50年泄流变化规律

刘翠¹, 徐慧¹, 樊旭², 孟灵芳¹

(1 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 2 江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200)

摘要: 根据三河闸水文站1964年-2013年的监测资料, 采用线性趋势法、滑动平均法、累积距平法以及 Morlet 小波分析法, 探究多年来三河闸的泄流变化规律。研究结果表明, 近50年来三河闸年泄流量呈下降趋势; 年泄流变化的主周期是30 a左右, 同时存在6 a、14 a时间尺度的变化周期; 汛期来水变化的主周期是48 a左右, 30 a是第二主周期, 同时还存在5 a、10 a的小尺度变化周期。从30 a周期来看, 未来8 a三河闸年泄流仍处于相对枯水期, 预计2024年开始进入相对丰水期, 到2038年左右, 丰水期结束。

关键词: 三河闸; 小波分析; 变化规律; 多时间尺度; 周期

中图分类号: TV 131 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672 1683(2016) 02-0082-05

Variation rule of Sanhe Sluice discharge in recent 50 years

LIU Cui¹, XU Hui¹, FAN Xu², MENG Lingfang¹

(1. College of hydrology and water resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Jiangdu Water Conservancy Project Management Office, Suzhou 225200, China)

Abstract: Based on the monitoring data from 1964 to 2013 of Sanhe Sluice hydrology station, the discharge variation rule of Sanhe Sluice was investigated by linear trend method, moving average method, the cumulative anomaly and Morlet wavelet analysis method. The results showed that the annual discharge of Sanhe Sluice showed downward trend in recent 50 years, the main cycle of Sanhe Sluice discharge was 30 years, and the change cycles also existed for 6 years and 14 years. The main cycle of flood season discharge was about 48 years, and the second main cycle was 30 years. There are also some small scales cycles of 5 years and 10 years. From a large cycle of 30 years, the Sanhe Sluice would still be at a relatively low water period in the next 8 years. It was expected that the discharge would begin to enter the relatively abundant water period in 2024, and the wet period would end around 2038.

Key words: Sanhe Sluice; morlet wavelet; variation rule; different time scales; cycle

径流演变规律分析是做径流预报的基础, 科学准确的径流分析可以较好地对流域进行中长期的径流预报^[1]。通常, 径流特性分析包括三部分内容: 趋势分析、突变分析和周期分析。趋势分析常用的方法有线性回归法、滑动平均法、Mann-Kendall 检验

法以及R/S分析法^[2], 比如张水锋等采用线性趋势法、累积距平法等来分析径流随时间的变化与异常规律^[3], 代俊峰以南流江、钦江、防城河为例, 采用线性趋势线法、滑动平均法分析了北部湾经济区1956年-2000年入海河流径流量年际变化特征^[4]。在

收稿日期: 2016-03-07 修回日期: 2016-14-29 网络出版时间: 2016-04-14
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160414.1459.025.html>
基金项目: 江苏省水利科技基金(2013044; 2014024)

Fund: Water Science and Technology foundation of Jiangsu Province(2013044; 2014024)

作者简介: 刘翠(1989), 女, 河北衡水人, 主要从事水生态与水资源研究。E-mail: lchrkjh@1633.com

通讯作者: 徐慧(1969), 女, 江苏盐城人, 副教授, 博士, 主要从事水生态及景观规划设计研究。E-mail: njxh@hhu.edu.cn

水文气象领域上进行周期分析,广泛采用的是 Morlet 小波,如姚建群利用 Morlet 小波分析了在上海近 100 年降水变化规律^[5],邓自旺利用 Morlet 小波对西安市近 50 年来气候变化多时间尺度进行了分析^[6],杨辉等通过 Morlet 小波变换法分析了华北地区的水资源各分量 P 、 E 及可利用降水的时间-频率的多层次结构和突变特征^[7]。

江苏省三河闸工程位于洪泽湖的东南角(江苏省洪泽县蒋坝镇南约 3 km 处,见图 1 所示),是淮河洪水下泄入江的重要控制节点,同时也是淮河上游来水的主要出口。本文拟利用三河闸水文站 1964 年-2013 年的水文资料,研究三河闸来水量的多时间尺度变化规律,以期为预测未来淮河上游来水变化、规划湖泊水资源的合理开发利用提供科学依据。



图 1 三河闸位置

Fig. 1 The location of Sanhe Sluice

1 区域概况及研究方法

1.1 区域概况

三河闸是建国初期我国自行设计与施工的大型水利工程。多年来,三河闸经过科学管理与不断加固改进,发挥了巨大的综合效益,有效抵抗了淮河流域大洪水。同时拦蓄淮河上、中游来水,使洪泽湖成为一座巨型平原水库,为周边区提供了丰富的水源,也为实施南水北调东线工程以及洪泽湖流域的水力发电、航运和渔业以及旅游资源开发等提供了良好条件^[8]。

三河闸下泄通道即淮河入江水道。入江水道为淮河下游干流,自三河闸至三江营入长口,全长 157.2 km^[9]。入江水道流经的高邮湖是江苏省第三大湖,湖泊总面积 760.67 km²^[10],主要承担三河闸下泄的淮河来水,是淮水入江的关键部分。该湖泊蓄水主要供周边地区农业、生活用水及扬州城市用水,湖东的运河西堤是里下河地区的防洪屏障,而且南水北调东线工程规划高邮湖为供水通道。因

此,高邮湖上游来水量的多少直接关系到周边地区的生活生产用水保证。

1.2 研究方法

本文采用线性趋势法^[11]判断三河闸近 50 年上游来水的变化大致趋势走向,进而采用 5 年滑动平均法^[12]对原始数据进行平滑去噪,进一步揭示上游来水的年际变化趋势;通过累积距平曲线^[3]的明显上下起伏,判断上游来水长期显著的演变趋势及持续性变化,同时可以诊断出发生来水量突变的大致时间^[3];最后,采用 Morlet 小波作为基函数进行小波变换^[13],对径流序列连续进行时频局部化分析,得到径流序列的多时间尺度相互交错的复杂变化规律,为预测未来来水提供依据。

1.3 数据来源

本研究采用的是数据来源为三河闸水文监测站 1964 年-2013 年的流量统计数据。三河闸工程于 1952 年 10 月动工兴建,1953 年 7 月建成并投入使用,设计抗震烈度 8 度,属大 N 型水闸。2003 年三河闸安装了闸门自动监控系统,实现了水利工程管理自动化。

2 结果与分析

2.1 趋势分析

采用 1964 年-2013 年三河闸水文站统计的年泄流量数据,通过滑动平均与线性趋势法分析三河闸近 50 年的年泄流变化,结果见图 2。

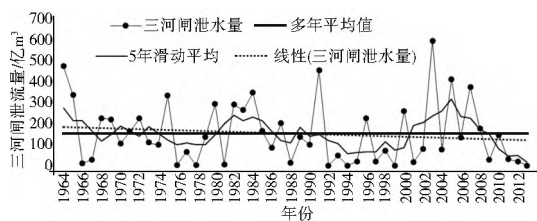


图 2 三河闸年泄流年际变化

Fig. 2 Interannual variability of annual discharge of Sanhe Sluice

从整个系列的线性趋势图(图 2)可以看出,1964 年-2013 年三河闸年泄流量总趋势是平缓下降,但年际泄流量波动较大,基本是丰枯交错。具体为:1964 年-1966 年,年泄流量呈显著递减趋势,平均年递减率为 62.85%;1967 年-1990 年为小区间的波动变化,1991 年-2008 年波动区间较大,2009 年-2013 年为小区间波动。年径流最大值出现在 2003 年,为 584.43 亿 m³,其中 1992 年、1994 年、1999 年、2013 年泄流量很少。从 5 年滑动趋势分析结果可知,1964 年-1975 年、1982 年-1991 年泄流量波动较为平缓,2003 年-2008 年泄流量波动较为

剧烈, 2009 年以后为急剧下降趋势。

从图 3 可以看到, 三河闸年泄流量经历了 6 次显著的波动变化阶段: 1964 年- 1975 年相对平稳期; 1976 年- 1981 年急剧下降期, 1976 年是下降的一个突变点, 1980 年稍有回升; 1982 年- 1991 年为平缓上升期, 其中 1987 年、1990 年稍有回落; 1992 年- 2002 年急剧下降期, 1992 年是下降的又一个突变点, 1998 年后累积距平值为负值, 其中 1996 和 1999 年稍有回升; 2003 年- 2008 年为急剧上升期, 2003 年是回升的一个突变点, 其中 2004、2006 年稍有回落; 2009 年- 2013 年急剧下降期, 2009 年是下降的又一个突变点。各阶段平均年泄流量分别为 191.55 亿 m³、83.32 亿 m³、203.24 亿 m³、66.22 亿 m³、289.97 亿 m³、44.19 亿 m³, 相对多年平均值的变化率分别为 27%、-45%、35%、-55.97%、92.8%、-70.62%。

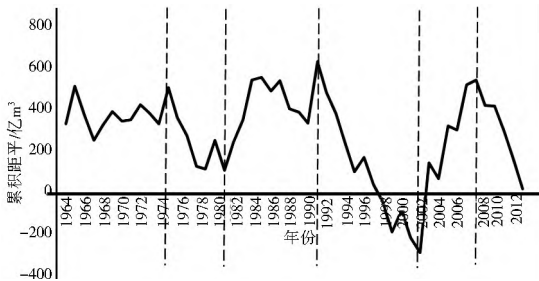


图 3 三河闸年泄流量累积距平

Fig. 3 Accumulative anomaly map of annual discharge of Sanhe Sluice

2.2 周期分析

小波分析多用于对多年降雨、气温、天然径流或人工控制不明显的径流进行周期变化规律分析^[1-6], 三河闸为人工控制的水利工程, 其年径流量虽然会受人工调控的影响, 但根本影响因素取决于上游淮河的来水大小, 且全年的径流总量序列会削弱其人为调控的影响。尤其是汛期, 集中了全年大部分的降水。经统计, 1964 年- 2013 年 50 年三河闸总泄流量为 7 520.12 亿 m³, 其中汛期总径流量为 6 295.34 亿 m³ (占总来水的 83.71%), 非汛期 1 224.78 亿 m³ (占总来水的 16.29%)。所以汛期的调控基本反映了淮河的天然径流变化状况。而对于非汛期, 可能由于周边需水要求进行人为抽排, 影响对其自身变化规律分析。因此, 采用 1964 年- 2013 年年径流序列与汛期的三河闸泄流量, 分析上游的淮河段来水变化规律, 即分析时采用汛期(5 月- 9 月)五个月为一年计量。

2.2.1 三河闸年径流小波分析

采用 Morlet 小波变换对三河闸 1964 年- 2013

年的年泄流序列进行周期特征分析, 得到其小波变换时频分布图(图 4)和小波方差变化分析结果(图 5)。

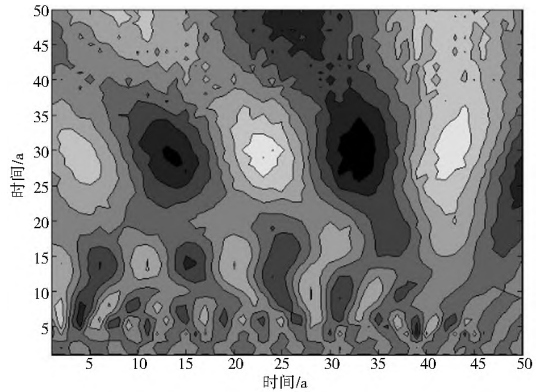


图 4 三河闸年泄流量小波实部时频分布

Fig. 4 Wavelet real time frequency distribution of Sanhe Sluice annual discharge

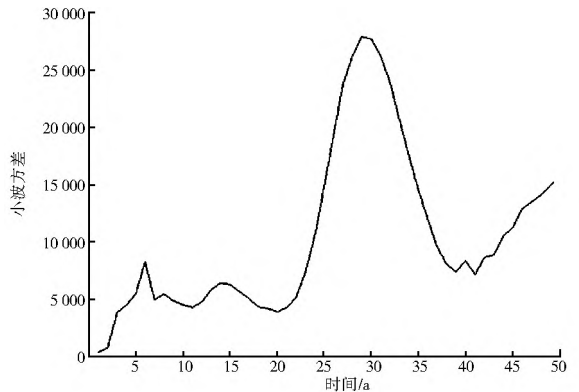


图 5 三河闸年泄流量小波方差

Fig. 5 Wavelet variance diagram of Sanhe Sluice the annual discharge

从图 4 的小波实部时频分析图可以看到, 三河闸年泄流量年际变化具有显著的多时间尺度周期, 在 30 a 左右有一个显著的波动周期, 在 1974 年- 2003 年完成一个完整的丰、枯大循环, 在其下方有 5 个明显的能量中心, 每一个丰、枯的能量中心波动范围约为 7~ 10 a, 在这个大的周期下存在 6 a、14 a 左右的周期振荡。通过小波方差检验发现, 最大峰值出现在 30 a 左右, 表明 30 a 左右的周期震荡最为明显, 为其第一主周期, 其次是 6 a 和 14 a 左右的短周期。在 6 年左右的特征时间尺度下, 年径流经历了 5 次显著的循环交替, 在 1964 年- 1993 年期间内表现明显, 但在 1994 年- 2013 年表现不明显。在 14 a 左右的特征时间尺度下, 年径流大致经历了 2 次周期循环, 其中在 1992 年- 2006 年波动较为剧烈。

从三河闸年泄流量小波实部时频分布图还可以得到: 50 年来年泄流量不同尺度的周期循环交替, 具体为 1964 年- 1975 年偏多, 1976 年- 1979 年偏少, 1980 年- 1985 年偏多, 1986 年- 1990 年平稳, 1991 年- 2002 年波动特别剧烈且其平均值比多年平均偏少, 2003 年- 2008 年偏多, 2009 年- 2013 年

偏少,各阶段持续时间分别为 12 a、4 a、6 a、5 a、12 a、6 a、5 a。从 30 a 大周期来看,目前三河闸年泄流量正处于相对枯水阶段,未来 8 年仍处于相对枯水期,预计 2024 年开始进入相对丰水期,到 2038 年左右,丰水期结束。从实际监测数据来看:2009 年三河闸泄流量为 27.46 亿 m^3 ,与 2008 年的 173.6 亿 m^3 相比,明显偏小,且在历年泄流量数据系列中也明显偏小,标志着三河闸年泄流进入相对枯水期;2009 年-2013 年期间出现 2010 年相对丰水,来水量为 144.2 亿 m^3 ,2011 年、2012 年来水量都较少,2013 年三河闸泄流量为 0,与 30 年大周期中的相对枯水期变化规律吻合。

2.2.2 三河闸汛期过闸流量(5 月-9 月)小波分析

采用三河闸水文站 1964 年-2013 年汛期 250 个月三河闸泄流流量数据进行小波分析,得到汛期流量小波实部时频分布图(图 6)和小波方差图(图 7)。

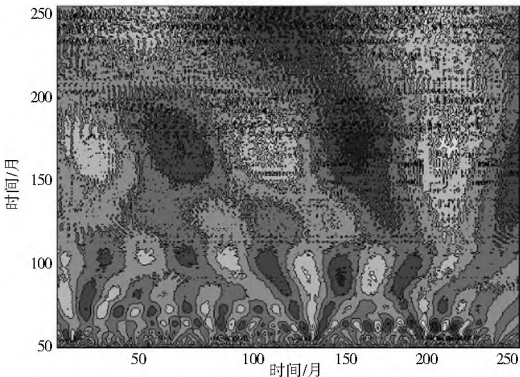


图 6 汛期流量小波实部时频分布

Fig. 6 Wavelet real time frequency distribution of flood flow

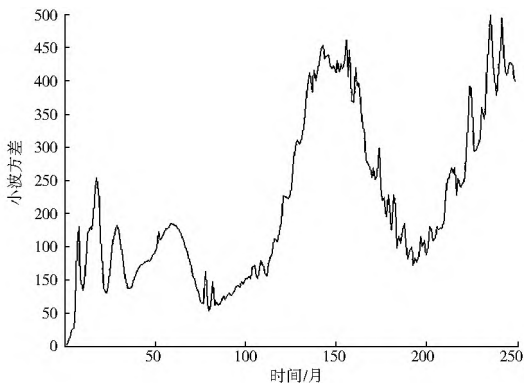


图 7 汛期流量小波方差

Fig. 7 Wavelet variance diagram of flood flow

从图 6 可以看到,三河闸汛历来水变化具有较明显的周期性,从小波时频分布图的最上方来看 48 a 左右的周期波动贯穿整个时域,在其下方有一个 30 a 左右的完整周期,出现 5 个能量中心,分布在 4 a、14 a、24 a、32 a、40 a 左右,下一个枯水期的能量中心在此序列下没能完全显示。在此大的波动能量中心下,存在 5 a、10 a、30 a 左右的周期振荡。通过

图 7 小波方差检验,最大峰值出现在 48 年左右,表明 48 a 左右的周期震荡最为明显,为其第一主周期,其次是 30 a、10 a、5 a 左右的短周期,其中 30 a 周期是略次于 48 a 的一个峰值,为第二主周期,在整个径流序列的周期性上表现十分显著。

此外,从小波实部时频分布图还可以得到:在 5 a 左右的特征时间尺度下,汛期泄流量经历了 9 次的较为显著的循环交替,其中在 1964 年-2008 年期间内表现明显,2009 年-2013 年表现不明显。此外,表现出不同周期综合作用下的汛期泄流量丰枯交替变化,具体如下:1964 年-1973 年偏多、1974 年-1983 年偏少,1984 年-1993 年偏多,1994 年-2003 年偏少,其中 1994 年-2003 年波动较为剧烈,综合表现出一个丰(枯)水期的持续的时间是 8~10 a。从 2009 年进入枯水期来算,大约 2014 年是此枯水期的最低点,枯水期约持续到 2018 年左右。

3 结论

(1) 近 50 年来三河闸年泄流量呈平缓下降趋势。从三河闸的流量统计数据来看,2004 年-2013 年的年均泄流量比 1964 年-2003 年下降了 10.39%,与淮河流域总来水变化规律一致,说明三河闸泄流量受淮河流域来水影响明显。

(2) 小波分析结果显示,三河闸年泄流量主周期是 30 a,其次为 14 a 周期。从 30 a 周期看,从 2009 年进入相对枯水期,预计到 2023 年左右枯水期结束,2024 年后开始回升,2032 年达到峰值,2038 年左右完成一个完整周期。从 14 a 周期看,2013 年会达到此枯水段的一个最枯值,2017 后来水量有所增加,2020 年左右会达到枯水期的丰水年,2023 年完成一个周期。

(3) 小波分析结果显示,三河闸汛期泄流量主周期是 48 a,同时 30 a 周期的小波能量也非常显著,三河闸年泄流与汛期流量变化的小波方差图形状相近,综合分析认为 30 a 是三河闸一个较为显著的波动周期。小波方差分析的结果显示,对于同一个水文序列,大周期的最枯点与小周期的最枯点并不完全一致,甚至会出现峰谷相对,这显示了径流周期的复杂性和相对性。受大环境(流域气温、降雨、下垫面条件)影响的大周期具有较为稳定持续的变化规律,而对于小周期内的水文事件本身就是随机性与规律性的综合反映,因此小周期内的丰枯具有一定的不确定性,且这种不确定性与小周期的时间尺度密切相关,但这种不确定的突变点不会改变大周期的总体变化趋势。

参考文献(References):

- [1] 王元超,王旭,雷晓辉,等.丹江口水库入库径流特征及其演变规律[J].南水北调与水利科技,2015,13(1):6-10.(WANG Yuan chao,WANG Xu,LEI Xiao hui,et al.Inflow runoff in the Danjiangkou Reservoir and its evolution[J].South to North Water Transfers and Water Science& Technology,2015,13(1):6-10.(in Chinese))
- [2] 张峰.西江流域分布式水文模拟及其应用研究[D].上海:东华大学,2012.(ZHANG Feng.Distributed hydrological modeling and application for Xijiang River[D].Shanghai: Donghua University,2012.(in Chinese))
- [3] 张水锋,张金池,闵俊杰,等.基于径流分析的淮河流域汛期旱涝急转研究[J].湖泊科学,2012,24(5):679-686.(ZHANG Shui feng,ZHANG Jin chi,MIN Jun jie,et al.Drought flood abrupt alternation based on runoff in the Huaihe River Basin during rainy season[J].Lake Sciences,2012,24(5):679-686.(in Chinese))
- [4] 代俊峰,张学洪,王敦球,等.北部湾经济区入海河流径流变化分析[J].水电能源科学,2011,29(2):4-6.(DAI Jun feng,ZHANG Xue hong,WANG Dun qiu,et al.Analysis of the northern Bay Economic Zone of river runoff change[J].Water Resources and Power,2011,29(2):4-6.(in Chinese))
- [5] 姚建群.连续小波变换在上海近 100 年降水分析中的应用[J].气象,2001,27(2):20-24.(YAO Jian qun.Application of continuous wavelet transform analysis of precipitation in Shanghai in the recent 100 years[J].Meteorological,2001,27(2):20-24.(in Chinese))
- [6] 邓自旺,林振山,周晓兰.西安市近 50 年来气候变化多时间尺度分析,高原气象,1997,16(1):81-93.(DENG Zi wang,LIN Zhen shan,ZHOU Xiao lan.Multiple time scale analysis of climate change in Xi'an City in recent 50 years[J].Plateau Meteorology,1997,16(1):81-93.(in Chinese))
- [7] 杨辉,宋亚山.华北地区水资源多时间尺度分析[J].高原气象,1999,18(4):496-5071.(YANG Hui,SONG Ya shan.Multiple time scales analysis of water resources in North China[J].Plateau Meteorology,1999,18(4):496-5071.(in Chinese))
- [8] 郑金堂,陈星辰,陈斌.三河闸上下游地形与泄流流态异常关系浅析[J].水利建设与管理,2013(3):18-21.(ZHENG Jin tang,CHEN Xing chen,CHEN Bin.Sanhe Sluice downstream terrain and discharge on the relationship between flow anomaly[J].Water Conservancy Construction and Management,2013,3:18-21.(in Chinese))
- [9] 王贤达.洪泽湖及淮河下游洪水出路[J].中国水利,1998(3):26-27.(WANG Xian da.Hongze Lake and Huaihe River flood way[J].China Water Conservancy,1998(3):26-27.(in Chinese))
- [10] 赵智,丁建国.高邮湖近年水质及出入湖污染物通量分析[J].治淮,2011(12):78-79.(ZHAO Zhi,DING Jian guo.The water quality of Lake Gaoyou and throughput analysis of pollutants out of the lake in recent years[J].Huaihe Governance,2011(12):78-79.(in Chinese))
- [11] 张利民,刘伟京,尤本胜,等.洪泽湖流域生态环境问题及治理对策[J].环境监测管理与技术,2010,22(4):30-36.(ZHANG Li ming,LIU Wei jing,YOU Ben sheng,et al.Ecological problems and counter measures for Hongzhu Lake Area[J].Administration and Technique of Environmental Monitoring,2010,22(4):30-36.(in Chinese))
- [12] 裴益轩,郭民.滑动平均法的基本原理.火炮发射与控制学报[J].2001(1):21-23.(PEI Yi xuan,GUO Min.The basic principle of sliding average method[J].Gun Launch and Control Journal,2001(1):21-23.(in Chinese))
- [13] Torrence C,Compo G P.A practical guide to wavelet analysis[J].Bulletin of the American Meteorological Society,1998,79:61-78.
- [14] 王文圣,丁晶,向红莲.小波分析在水文学中的应用研究及展望[J].水科学进展,2002,13(4):515-517.(WANG Wen sheng,DING Jing,XIANG Hong lian.Application and prospect of wavelet analysis in hydrology[J].Advances in Water Science,2002,13(4):515-517.(in Chinese))
- [15] 王文圣,丁晶,李跃清.水文小波分析[M].北京:化学工业出版社,2005.(WANG Wen sheng,DING Jing,LI Yue qing.Hydrology wavelet analysis[M].Beijing:Chemical Industry Press,2005.(in Chinese))
- [16] 闫淑莲,周淑玲.威海市近 40 年气温变化特征[J].现代农业科技,2009(15):356-358.(YAN Shu lian,ZHOU Shu ling.The temperature variation in Weihai for nearly 40 years[J].Modern Agricultural Science and Technology,2009,(15):356-358.(in Chinese))
- [17] 傅丽昕.近 57 年来和丰县气温和降水量的趋势性及突变特征分析[J].南水北调与水利科技,2014,12(4):38-41.(FU Li xin.Tendency and mutation analysis of annual temperature and precipitation of Hefeng county in recent 57 years[J].South to North Water Transfers and Water Science & Technology,2014,12(4):38-41.(in Chinese))
- [18] 雷廷,张兆吉,费宇红,等.海河平原 1956 年-2011 年降水特征分析[J].南水北调与水利科技,2014,12(1):32-36,41.(LEI Ting,ZHANG Zhao ji,FEI Yu hong,et al.Analysis of precipitation characteristics in the Haihe River Plain from 1956 to 2011[J].South to North Water Transfers and Water Science & Technology,2014,12(1):32-36,41.(in Chinese))
- [19] 刘健,林琳,陈学群,等.黄河三角洲地区降水时序变化特征研究[J].水资源保护,2012,28(1):22-28.(LIU Jian,LIN Lin,CHEN Xue qun,et al.Characteristics of variation of precipitation time series in Yellow River Delta[J].Water Resources Protection,2012,28(1):22-28.(in Chinese))
- [20] 张金峰,张丽娟,陈红,等.哈尔滨市近 50 年气温的突变特征及趋势分析[J].中国农学通报,2011,27(6):313-316.(ZHANG Jin feng,ZHANG Li juan,CHEN Hong,et al.The Variational characteristics and trend prediction of temperature in Harbin past 50 years[J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2011,27(6):313-316.(in Chinese))
- [21] 张少文,丁晶,廖杰,等.基于小波的黄河上游天然年径流变化特性分析[J].四川大学学报:工程科学版,2004,36(3):32-37.(ZHANG Shaowen,DING Jing,LIAO Jie,et al.Analysis of natural annual flow time series in the Upper Reach of the Yellow River based on wavelet transform[J].Journal of Sichuan University:Engineering and Science Edition,2004,36(3):32-37.(in Chinese))
- [22] 胡刚,宋慧.基于 Mann-Kendall 的济南市气温变化趋势及突变分析[J].济南大学学报:自然科学版,2012(1):96-101.(HU Gang,SONG Hui,Analysis of air temperature variation trend and abrupt change in Jinan based on Mann-Kendall test[J].Journal of University of Jinan:Science and Technology Edition,2012(1):96-101.(in Chinese))