

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkk.2015.05.008

1954年-2010年沂沭河流域降水序列变化特征

陆建宇¹, 周政辉^{1,2}, 朱夏阳³, 陆宝宏¹, 王学斌⁴, 丁伟⁵

(1. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 2. 河南省漯河市水文水资源勘测局, 河南 漯河 462000;
3. 黄河水利委员会 水文局, 郑州 450004; 4. 水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心, 南京 210098;
5. 河海大学 计算机与信息学院, 南京 211100)

摘要: 以沂沭河流域为研究区, 根据流域内7个代表性雨量站1954年-2010年降水资料, 采用自相关系数、频次分析法、累积距平法、小波分析法、Mann Kendall法、R/S法等方法分析了流域内降水演变特征。结果表明: 各站年降水量之间存在显著的正相关性, 多年平均降水量从北向南逐渐增加, 降水年际变化幅度从北向南逐渐减小; 降水偏丰水年、平水年出现频次最大; 降水年际变化经历了3个丰水段、1个平水段和4个枯水段; 各站年、汛期、非汛期降水变化的第一周期为12 a、12 a和5 a, 第二周期为16 a、17 a和5 a, 第三周期为4~5 a、4~5 a、3 a或10 a; 各站年、汛期、非汛期降水多呈不同程度的减少趋势, 未来降水多呈较强的下降趋势。

关键词: 降水量; 变化特征; 时间序列分析方法; 沂沭河流域

中图分类号: TV124; TV882.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)06-1060-05

Variation characteristics of precipitation in the Yishu River Basin from 1954 to 2010

LU Jianyu¹, ZHOU Zhenghui^{1,2}, ZHU Xiayang³, LU Baohong¹, WANG Xuebin⁴, DING Wei⁵

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Luohe Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Henan Province, Luohe 462001, China; 3. Bureau of Hydrology, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450004, China; 4. National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety, Nanjing 210098, China; 5. College of Computer and Information, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: According to the precipitation data of seven representative precipitation stations in the Yishu River Basin from 1954 to 2010, the variation characteristics of precipitation were analyzed using the correlation coefficient, frequency analysis method, accumulative anomaly method, Morlet wavelet method, Mann Kendall method, and R/S method. The results showed that (1) there is a significantly positive correlation between the precipitation data series of each station, and the average annual precipitation increases gradually from north to south, while the annual variation magnitude of precipitation decreases from north to south; (2) the occurrence frequencies of partial wet year and normal year are the highest; (3) the variations of annual precipitation have undergone three wet phases, one normal phase, and four dry phases; (4) the first characteristic time scales of annual precipitation, flood season precipitation, and non-flood season precipitation are 12 a, 12 a, and 5 a, respectively, the second characteristic time scales are 16 a, 17 a, and 5 a, respectively, and the third characteristic time scales are 4~5 a, 4~5 a, and 3 or 10 a, respectively; and (5) annual precipitation, flood season precipitation, and non-flood season precipitation have a decreasing trend, and precipitation of most stations will have a strong decreasing trend in the future.

Key words: precipitation; variation characteristics; time series analysis method; Yishu River Basin

近几十年来, 气候变化逐渐成为研究的热点和重点^[1], 其中降水作为重要的气候因子, 其变化规律越来越受到相关学者的关注^[2-4]。沂沭河流域位于淮河流域东北部, 地处南北气候过渡带, 降水是流域水资源的主要补给源。降水的多

收稿日期: 2014-11-18 修回日期: 2015-09-28 网络出版时间: 2015-11-03
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20151103.1005.006.html>
基金项目: 国家自然科学基金项目(50979023); 水利部公益性科研专项(201201026)
作者简介: 陆建宇(1989-), 男, 内蒙赤峰人, 主要从事水文气象水资源规划方面研究。E-mail: lujianyuchn@126.com

寡在一定程度上决定着流域水资源的丰枯,降水的时空分布将直接影响流域的年内、年内旱涝变化。因此,研究沂沭河流域降水变化特征具有重要意义。

张仙娥等^[3]指出沂沭泗流域年降水和年地表水存在减少趋势,且未来一段时间内仍会减少;张爱军等^[4]发现沂沭泗流域降水量、极端降水特征量和有效降水特征量均呈减少趋势;詹道强^[5]等得出沂沭泗流域汛期降水量偏多2成以上时,临沂站有较大可能出现大洪水或较大洪水;薛丽芳^[6]等发现沂河流域上游临沂站年及年内各月降水多有微弱减少趋势,流域内降水发生变化将会影响径流的演化。目前,与沂沭泗流域降水有关的学术成果已较为丰富,但多局限于个别站点降水变化,研究方法相对单一,且有关于沂沭河流域降水年际、年内演变特征方面的研究仍然相对薄弱。鉴于此,本文对沂沭河流域内7个代表性雨量站的降水演变规律进行分析,以期研究流域降水变化规律,保障流域工农业生产活动提供一定的参考。

1 资料及计算方法

为保证计算结果的准确性,本文选择沂沭河流域内具有长系列降水资料的雨量站作为代表站,即傅旺庄、莒县、姜庄湖、葛沟、临沂、大官庄、新安(按纬度由高到低排序)等站,采用的资料为各站1954年-2010年的年、汛期、非汛期降水数据。根据这些数据,本文在分析各站降水相关性的基础上,采用频次分析法^[7]获得降水的丰、枯变化特征,运用累积距平法^[3,8]分析降水年际变化的阶段性特征,借助小波分析法^[9,10]提取降水的多时间尺度演变特征,选取Mann-Kendall法^[10,12]定量检验降水变化趋势的显著性,最后利用R/S法^[13,15]研究降水变化趋势的持续性。

2 计算结果及分析

2.1 年降水相关性分析

各站年降水序列的相关关系见表1。查相关系数检验表^[16]可知,自由度 $n=55$ 对应显著性水平 $\alpha=0.01$ 时, $r_{\alpha}=0.339$ 。比较可得,7站年降水序列之间的相关系数均通过了0.01的显著性水平检验,说明7站降水之间存在显著的正相关性,因此基本能反映沂沭河流域的降水演变规律。

表2 沂沭河流域降水年际变化特征

Tab. 2 Variation characteristics of annual precipitation in the Yishu River Basin

雨量站	多年平均降水/mm	汛期平均降水/mm	年最大值		年最小值		极值比值	年降水线性倾向系数/(mm·(10a) ⁻¹)	C _v
			降水/mm	年份	降水/mm	年份			
傅旺庄	744.7	569.0	1510.0	2003	122.0	2001	12.38	-34.475	0.35
莒县	787.4	578.0	1387.0	2003	129.0	2001	10.75	-42.518	0.32
姜庄湖	784.9	601.7	1307.7	1960	32.0	2001	40.87	-41.352	0.32
葛沟	817.4	617.3	1422.0	2003	190.0	2001	7.48	-36.988	0.31
临沂	849.4	608.0	1449.2	1960	181.0	2001	8.01	-16.543	0.28
大官庄	880.9	622.4	1357.1	2007	201.0	2001	6.75	29.100	0.25
新安	866.5	597.2	1363.4	1974	511.7	1966	2.66	-24.218	0.23

2.3 降水丰枯统计分析

根据丰、平、枯水文年型的划分标准^[9],将流域7站降水量按大小分别统计(图2),可以看出:(1)整体上,各站降水偏

表1 沂沭河流域年降水相关性检验

Tab. 1 Correlation test of annual precipitation in the Yishu River Basin

雨量站	莒县	姜庄湖	葛沟	临沂	大官庄	新安
傅旺庄	0.810	0.866	0.903	0.800	0.722	0.572
莒县		0.777	0.878	0.754	0.719	0.607
姜庄湖			0.889	0.799	0.700	0.523
葛沟				0.831	0.763	0.606
临沂					0.813	0.633
大官庄						0.673

2.2 降水年际、年内变化分析

根据沂沭河流域降水年际变化特征(图1、表2)可以看出:(1)从年代变化分析,各站降水在20世纪50-70年代降水年际波动幅度较大,20世纪80-90年代降水波动则相对平缓,21世纪初期出现极端降水过程,进入新的波动周期;(2)从年际变化分析,各站多年平均降水量为744.7~880.9mm,年降水量最大值为1510.0mm(傅旺庄,2003年),最小值为32.0mm(姜庄湖站,2001年),极值比值为2.66~40.78,C_v为0.23~0.35;线性倾向系数显示,除大官庄站年降水呈增加趋势外,其余各站均呈减少趋势;(3)从年内变化分析,受黄淮气旋、台风、南北切变和地形的影响,各站降水年内分配极不均匀,汛期、非汛期降水分配比例差别明显。其中,汛期(6月-9月)降水量可达多年平均降水量的68.92%~76.66%,非汛期降水量仅占多年平均的23.34%~31.08%;(4)从降水空间变化分析,发现由北向南,各站多年、汛期平均降水量呈增加趋势,降水的年际、年内波动幅度呈现南小北大的变化趋势。

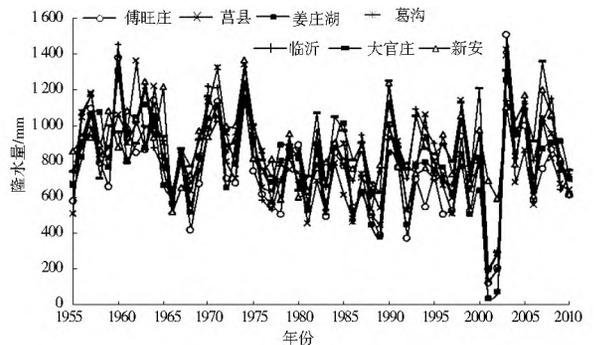


图1 沂沭河流域降水年际变化过程

Fig. 1 Variation processes of annual precipitation in the Yishu River Basin

丰水年、平水年出现频次最大(占统计年份比例约为30%),枯水年出现频次居次(占20%~30%),丰水年、偏枯水年出现频次最小(占10%左右);(2)各站中,傅旺庄站、莒县站、临

沂站、新安站的降水丰、枯水年出现频次相对均衡, 丰、枯年频次比值为 1.04~1.11, 其余站点降水丰水年出现频次均远大于枯水年频次, 其中姜庄湖站的降水丰、枯年出现频次差距最大(丰、枯年频次比值达 1.41), 新安站的降水丰、枯年出现频次差距最小(丰、枯年频次比值仅为 1.04)。

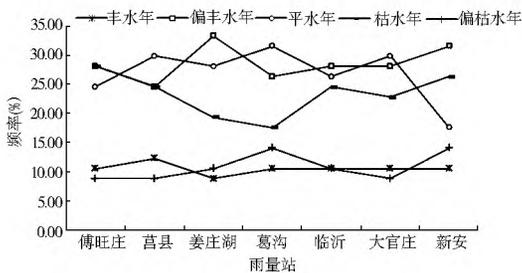


图 2 沂沭河流域降水丰、枯频率统计

Fig. 2 Wet and dry frequencies of annual precipitation in the Yishu River Basin

从上述统计结果中挑选出降水持续时间最长且均值最大的连丰水段、持续时间最长且均值最小的连枯水段, 分别计算连丰水段、连枯水段降水量的时段平均值及其与整个系列降水量多年平均值的比值, 即 $K_{丰}$ 和 $K_{枯}$, 结果见表 3。可

表 3 沂沭河流域年降水变化阶段

Tab. 3 Variation stages of annual precipitation in the Yishu River Basin

雨量站	连丰水段			连枯水段		
	起止年份	多年平均降水量/mm	$K_{丰}$	起止年份	多年平均降水量/mm	$K_{枯}$
傅旺庄	1960年-1964年	1042.6	1.40	1986-1989	512.3	2.04
莒县	1959年-1965年	1033.1	1.31	2001-2002	161.5	6.40
姜庄湖	1962年-1964年	1059.4	1.35	1999-2002	310.5	3.41
葛沟	1970年-1972年	1134.2	1.39	2001-2002	236.5	4.80
临沂	1960年-1963年	1149.5	1.35	1976-1978	600.9	1.91
大官庄	1963年-1965年	973.8	1.11	2001-2002	245.0	3.97
新安	1969年-1974年	1046.9	1.21	1991-1995	746.9	1.40

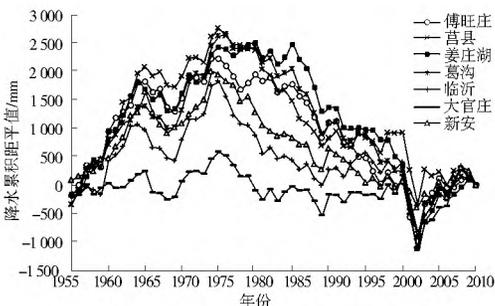


图 3 沂沭河流域年降水累积距平曲线

Fig. 3 Accumulative anomaly curves of annual precipitation in the Yishu River Basin

2.5 降水变化周期分析

为得到各站年、汛期、非汛期降水序列中存在的多时间尺度演变特性, 借助水文气象上常用的 Morlet 小波的小波方差曲线分析各站降水的波动能量随时间尺度的分布情况。

从沂沭河流域年、汛期、非汛期降水序列小波方差曲线(图 4)可以看出: (1) 各站年降水的主周期与汛期降水的主周期基本一致, 而非汛期降水的主周期相差较大; 在同一周期内, 各站降水变化呈现的周期值则较为接近, 其中, 各站

以看出: (1) 各站降水丰水段、枯水段发生时间相对集中, 持续时间相近, 其中降水连丰水段多出现于 20 世纪 60~70 年代(持续 3~7 a, $K_{丰}$ 值为 1.11~1.40), 降水连枯水段则多集中于 20 世纪 80~90 年代和 21 世纪初期(持续 3~5 a, $K_{枯}$ 值为 1.40~6.40); (2) 由北向南, 各站丰水段、枯水段时段平均降水量大致呈现先增后减趋势, 而且流域内降水的丰、枯水年型可能具有同期异地发生、同地交替发生的特点。

2.4 降水变化阶段分析

运用累积距平法分析各站降水年际变化的阶段性特征, 并按时间序列绘制各站年降水的累积距平曲线(图 3)。由图 3 可知: (1) 整体上, 各站年降水累积距平曲线变化过程相似, 存在 3 个丰水段(1955 年-1965 年、1969 年-1975 年和 2003 年-2008 年)、1 个波动的平水段(1990 年-2000 年)、4 个枯水段(1966 年-1968 年、1976 年-1989 年、2001 年-2002 年、2009 年-2010 年); (2) 各站中, 姜庄湖站和大官庄站部分时段降水丰枯变化与多站平均降水丰枯变化稍有差别。其中, 姜庄湖站 1975 年-1985 年、大官庄站 1982 年-2000 年降水处于波动的平水段, 姜庄湖站 1986 年-2002 年、大官庄站 1976 年-1981 年降水处于枯水段。

年、汛期、非汛期降水变化的第一周期为 12 a、12 a 和 5 a, 第二周期为 16 a、17 a 和 5 a, 第三周期为 4~5 a、4~5 a、3 a 或 10 a; (2) 单站中, 以傅旺庄站为例, 其年、汛期、非汛期降水变化的第一周期分别为 5 a、5 a 和 23 a, 第二周期分别为 11 a、11 a 和 5 a, 第三周期分别为 24 a、24 a 和 10 a, 显然年、汛期降水周期变化最为强烈; (3) 总体上, 由北向南, 各站年降水变化的第一周期逐渐变大, 第二周期则先增后减, 第三周期逐渐减小, 而非汛期降水变化的除第三周期逐渐减小外, 其他时段降水周期的空间变化趋势并不明显。

2.6 降水变化趋势分析

Manr Kendall 法是一种被广泛应用于气象参数和水文序列的非参数统计检验方法^[2], 其优点是不需要样本遵循一定的分布, 也不受个别异常值的干扰, 能够定量地揭示时间序列变化趋势^[2]。

根据沂沭河流域年、汛期、非汛期降水序列变化趋势 Manr Kendall 法检验结果(图 5)可知: (1) 年降水变化上, 除大官庄站年降水呈现不显著的增加趋势外, 其余各站年降水均表现为减少趋势, 其中傅旺庄站、姜庄湖站、新安站年降水减少趋势通过了 90% 置信度检验, 而莒县站、葛沟站年降水

减少趋势通过了95%置信度检验,临沂站年降水减少趋势未通过显著性检验;(2)汛期降水变化上,除大官庄站汛期降水呈现不显著的增加趋势外,其余各站汛期降水均表现为减少趋势,其中新安站汛期降水减少趋势通过了90%置信度检验,莒县站汛期降水减少趋势通过了95%置信度检验,其余各站汛期降水减少趋势未通过显著性检验;(3)非汛期降水变化上,除临沂站、大官庄站非汛期降水呈现不显著的增加趋势外,其余各站均表现为减少趋势,其中傅旺庄站、葛沟站非汛期降水减少趋势通过了95%置信度检验,姜庄湖站非汛期降水减少趋势通过了99%置信度检验,其余各站非汛期降水减少趋势未通过显著性检验。

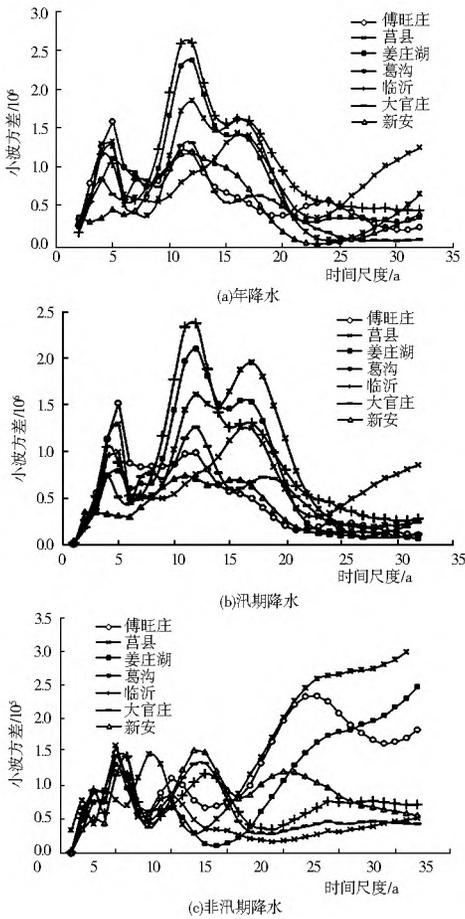


图4 沂沭河流域降水小波方差曲线

Fig. 4 Wavelet variance curves of precipitation in the Yishu River Basin

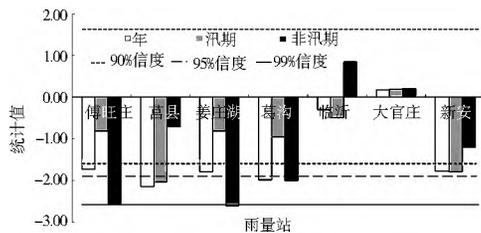


图5 沂沭河流域年降水的Mann-Kendall法检验值

Fig. 5 Mann-Kendall test values of annual precipitation in the Yishu River Basin

2.7 降水变化持续性分析

考虑到Mann-Kendall法只能对过去的降水变化趋势进行定量分析,故利用R/S法通过线性回归得出Hurst指数,

以揭示流域降水时间序列的分形特征和长期记忆过程,定性识别未来各站的年、汛期、非汛期降水序列持续性趋势特征。由沂沭河流域降水的Hurst指数计算结果(表4)可知:(1)整体变化上,各站年、汛期、非汛期降水的Hurst指数均介于0.5~1.0之间,其均值分别为0.75、0.71、0.71,说明7站年、汛期、非汛期降水序列具有长程依赖性,未来降水变化总趋势恰与过去50多年降水变化趋势相一致,即具有较强的持续性,多表现为减少变化;(2)单站变化上,傅旺庄站、姜庄湖站、葛沟站汛期降水下降趋势持续程度远弱于其非汛期降水下降趋势持续程度,莒县站、临沂站汛期降水下降趋势持续程度远弱于其非汛期降水下降趋势持续程度,大官庄站汛期、非汛期降水下降趋势持续程度相当,新安站汛期降水、非汛期降水变化趋势相反,即汛期降水将呈下降趋势,非汛期降水呈上升趋势。

表4 沂沭河流域降水的Hurst指数

Tab. 4 The Hurst indexes of annual precipitation in the Yishu River Basin

雨量站	Hurst 指数			未来趋势		
	年降水	汛期降水	非汛期降水	年降水	汛期降水	非汛期降水
傅旺庄	0.78	0.64	0.86	下降	下降	下降
莒县	0.79	0.81	0.53	下降	下降	下降
姜庄湖	0.82	0.67	0.96	下降	下降	下降
葛沟	0.84	0.72	0.91	下降	下降	下降
临沂	0.70	0.75	0.69	下降	下降	下降
大官庄	0.57	0.61	0.58	下降	下降	下降
新安	0.77	0.79	0.45	下降	下降	上升

总体而言,未来一段时间内,沂沭河流域大部分站点的年、汛期、非汛期降水将会减少,这与文献[11,13]及文献[3,4]的研究结论相一致。因此,未来一段时期内,沂沭河流域水资源供需形势将会更加严峻。

3 结论

基于多种时间序列分析方法,对沂沭河流域7个代表性雨量站近60年的年、汛期、非汛期降水资料进行了分析,获得了以下结论。

(1)沂沭河流域降水大体呈现南多北少的分布格局,降水的年际、年内波动幅度呈现南小北大的变化趋势。其中,20世纪50~70年代降水年际波动幅度较大,80~90年代降水波动平缓,21世纪初期出现极端降水过程,进入新的波动周期。

(2)沂沭河流域降水偏丰水年、平水年出现频次最大,占统计年份比例约为30%,枯水年出现频次居次,约占20%~30%,丰水年、偏枯水年出现频次最小,维持在10%左右;降水的连丰水段多出现于20世纪60~70年代,连枯水段多集中于20世纪80~90年代和21世纪初期;各站降水累积距平曲线变化过程相似,经历了3个降水丰水段、1个波动的降水水平水段和4个降水枯水段。

(3)沂沭河流域各站年、汛期、非汛期降水变化的第一周期为12 a、12 a和5 a,第二周期为16 a、17 a和5 a,第三周期为4~5 a、4~5 a、3 a或10 a。各站年、汛期、非汛期降水多存在不同程度的减少变化,未来降水多呈较强的下降变化。

参考文献(References):

- [1] 郭志起, 王秀茹. 河北省地区 50 年来降水变化特征分析[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 67-72. (GUO Qizhi, WANG Xiuru. Variations of precipitation in recent 50 years in Hebei Province[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 67-72. (in Chinese))
- [2] 简虹, 骆云中, 谢德体. 基于 Mann-Kendall 法和小波分析的降水变化特征研究—以重庆市沙坪坝区为例[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2011, 36(4): 217-222. (JIAN Hong, LUO Yunzhong, XIE Detti. Precipitation variation feature research based on Mann-Kendall and wavelet analysis taking the Shapingba in Chongqing as an example[J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition, 2011, 36(4): 217-222. (in Chinese))
- [3] 张仙娥, 刘 娟, 仇亚琴, 等. 沂沭泗流域年降水和年地表水资源量演变趋势[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(1): 1-5. (ZHANG Xian'e, LIU Niu, QIU Yaqin, et al. Variation trend analysis of annual precipitation and surface water resources in the Yishu Si Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(1): 1-5. (in Chinese))
- [4] 张爱军, 韩刚, 范荣亮. 沂沭泗流域降水变化特征分析[J]. 水电能源科学, 2012, 30(7): 34-36. (ZHANG Aijun, HAN Gang, FAN Rongliang. Analysis of precipitation variation characteristics in Yishu Si Basin[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(7): 34-36. (in Chinese))
- [5] 詹道强. 沂沭泗流域汛期降水特征与临沂站洪峰流量的对比分析[J]. 水科学进展, 2000, 11(1): 88-91. (ZHANG Daoqiang. Comparison of rainfall characteristics of the flood period in Yishu Si River basin and peak discharge of Linyi Station[J]. Advances in Water Science, 2000, 11(1): 88-91. (in Chinese))
- [6] 薛丽芳, 谭海樵. 沂河流域水文特征变化及其驱动因素[J]. 地理科学进展, 2011, 30(11): 1354-1360. (XUE Lifang, TAN Haiqiao. Variations of the hydrological characteristics and driving factors in the Yihe River Basin[J]. Progress in Geography, 2011, 30(11): 1354-1360. (in Chinese))
- [7] 唐肖岗. 改进后的频次分析法分析水文资料代表性初探[J]. 水文, 2010, 30(2): 73-75. (TANG Xiaogang. Representative analysis of hydrological series with modified frequency analysis method[J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30(2): 73-75. (in Chinese))
- [8] 王绪娟, 门宝辉. 乌云河流域径流变化及其影响因子分析[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(4): 35-40. (WANG Xujuan, MEN Baohui. Analysis of runoff variation and its impact factors in the Wuyun River Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(4): 35-40. (in Chinese))
- [9] 邵晓梅, 许月卿, 严昌荣. 黄河流域降水序列变化的小波分析[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2006, 42(4): 503-509. (SHAO Xiaomei, XU Yueqing, YAN Changrong. Wavelet analysis of rainfall variation in the Yellow River Basin[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006, 42(4): 503-509. (in Chinese))
- [10] 陆建宇, 陆宝宏, 朱从飞, 等. 沂河流域天然径流变化规律分析[J]. 中国农村水利水电, 2014, (7): 67-71. (LU Jianyu, LU Baohong, ZHU Congfei, et al. An Analysis of the Variation of Natural Runoff at the Yihe River Basin[J]. China Rural Water and Hydropower, 2014, (7): 67-71. (in Chinese))
- [11] 袁喆, 杨志勇, 郑晓东, 等. 近 50 年来淮河流域降水时空变化特征分析[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(2): 98-103. (YUAN Zhe, YANG Zhiyong, ZHENG Xiaodong, et al. Spatial and temporal variations of precipitation in Huaihe River basin in recent 50 years[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(2): 98-103. (in Chinese))
- [12] 邓山, 陆晓明, 陆宝宏, 等. 南京市近 53 年气温和降水量特征分析[J]. 水电能源科学, 2014, 32(8): 14-17. (DENG Shan, LU Xiaoming, LU Baohong, et al. Variation analysis of annual mean temperature and precipitation near 53 years in Nanjing City[J]. Water Resources and Power, 2014, 32(8): 14-17. (in Chinese))
- [13] SHI P, MA X X, CHEN X, et al. Analysis of Variation Trends in Precipitation in an Upstream Catchment of Huai River[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2013, (2013): 1-11.
- [14] Kahya E, Kalayc S. Trend Analysis of Streamflow in Turkey[J]. Journal of Hydrology, 2004, 289(1): 128-144.
- [15] 赵翠娥, 丁文荣. 龙川江流域主要气象要素及径流变化趋势[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(3): 38-41, 54. (ZHAO Cuie, DING Wenrong. Variation trend analysis of major climatic variables and runoff in the Longchuan River Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(3): 38-41, 54. (in Chinese))
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第 2 版. 北京: 气象出版社, 2007. (WEI Fengying. Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction Technology[M]. 2nd. Beijing: China Meteorological Press, 2007. (in Chinese))