

沂沭泗流域年降水和年地表水资源量演变趋势

张仙娥¹, 刘 妞^{1,2}, 仇亚琴^{2,3}, 甘永德^{2,3}, 魏 娜^{2,3}, 韩春苗⁴

(1. 华北水利水电大学 环境与市政工程学院, 郑州 450011; 2. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038; 3. 中国水利水电科学研究院 水资源所, 北京 100038; 4. 北京市水文总站, 北京 100039)

摘要: 基于沂沭泗流域 1956 年– 2010 年的水文资料, 运用线性倾向估计、Mann Kendall 检验、累计距平和小波分析方法对沂沭泗流域年降水、年地表水资源量的演变趋势、变化过程和趋势及周期性进行了分析。结果表明: 沂沭泗流域近 55 a 内年降水、年地表水资源量变化趋势基本一致, 整体上均呈减少趋势但不显著, 预计未来 10 多年内仍会减少; 年降水和年地表水资源量大体经历了丰枯交替 5 个变化阶段, 年地表水资源量减少的趋势比年降水量减少的趋势稍明显; 年降水变化具有 4 a、8 a、15 a 和 27 a 的主周期, 年地表水资源量变化具有 4 a、14 a 和 27 a 的主周期。趋势表明, 未来 10 多年内沂沭泗流域年降水、年地表水资源量仍会减少

关键词: 沂沭泗流域; 年降水; 地表水资源量; 变化趋势; Mann Kendall 检验; 小波分析; 累计距平和; 线性倾向估计
中图分类号: TV 125; TV 213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672 1683(2015) 01- 0024 05

Variation trend analysis of annual precipitation and surface water resources in the Yi-Shu-Si Basin

ZHANG Xian'e¹, LIU Niu^{1,2}, QIU Ya-qin^{2,3}, GAN Yong-de^{2,3}, WEI Na^{2,3}, HAN Chun-miao⁴

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of the River Basin Water Cycle, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 4. The Hydrological Station of Beijing, Beijing 100039, China)

Abstract: Based on the hydrological data in the Yi-Shu-Si Basin from 1956 to 2010, the linear regression, Mann Kendall test, cumulative departure method, and wavelet analysis were applied to analyze the variation trend and periodicity of annual precipitation and surface water resources. The results showed that the annual precipitation and surface water resources have the similar variation trend with an overall insignificant decreasing trend, and decrease continuously in the future; the annual precipitation and surface water resources have experienced four periods with wet and dry ones in turn, and the decreasing tendency of annual surface water resources is higher than that of annual precipitation; and annual precipitation has main cycles of 4 years, 8 years, 15 years, and 27 years, and annual surface water resources have main cycles of 4 years, 14 years, and 27 years. The trend analysis showed that annual precipitation and surface water resources continue to decrease in the next decade in the Yi-Shu-Si Basin.

Key words: Yi-Shu-Si Basin; annual precipitation; surface water resources; variation trend; Mann Kendall test; wavelet analysis; cumulative departure method; linear regression

沂沭泗流域是淮河流域内一个相对独立的水系, 其位于淮河流域东北部, 北起沂蒙山, 东临黄海, 西至黄河右堤, 南以废黄河与淮河水系为界。全流域介于东经 114°45' – 120°20', 北纬 33°30' – 36°20' 之间, 东西方向平均长约 400 km, 南北方向平均宽不足 200 km, 横跨江苏、山东、河南、安徽 4 省的 15 个地(市)。沂沭泗流域主要由沂河、沭河、泗河三大水系

组成(图 1), 流域面积 7.96 万 km², 占淮河流域面积的 29%。统计资料显示, 流域内多年平均降水量为 622.3 亿 m³, 折合年降水深 788.4 mm; 多年平均水资源总量为 210.8 亿 m³, 其中地表水资源量为 142.6 亿 m³, 地表水与地下水之间的不重复量为 68.2 亿 m³。流域内人均水资源占有量仅为全国人均占有量的 16.4%, 且时空分布不均, 是我国严重缺水

收稿日期: 2014-06-13 修回日期: 2014-11-15 网络出版时间: 2014-12-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20141203.1411.034.html>

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(201301001); 流域水循环模拟与调控国家重点实验室 2013 年自主选题课题(2013ZY02; 2013QN02); 河南省教育厅自然科学研究计划项目(2011A570008); 河南省高校青年骨干教师资助计划项目; 华北水利水电大学高层次人才科研启动资助项目

作者简介: 张仙娥(1972), 女, 山西芮城人, 副教授, 博士, 主要从事水资源和水环境方面研究。E-mail: zhangxiane@ncwu.edu.cn

的地区之一^[1]。

作为我国重要的粮棉油生产基地、煤电能源基地和制造业基地,沂沭泗流域内水资源短缺、干旱、洪涝等问题成为制约该地区经济发展的重要因素之一。目前,只有张爱军等^[2]利用 Mann Kendall 趋势检验法对该流域降水变化特征进行了分析,尚未见到关于流域地表水资源量演变的研究。本文基于沂沭泗流域 1956 年-2010 年降水、地表水资源量资料,利用多种方法对该流域的年降水、年地表水资源量进行了系统分析,以期为流域水资源合理开发利用、水资源调度与管理,以及防汛、抗旱、排涝提供依据。

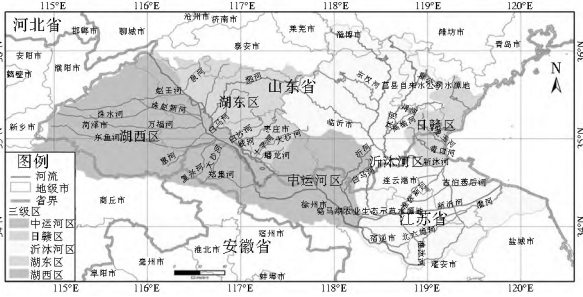


图 1 沂沭泗流域主要水系

Fig. 1 The major river systems in the Yi-Shu-Si Basin

1 研究方法

有关序列中趋势成分的诊断、检验方法有很多,目前常用的趋势分析方法有线性倾向估计、Mann Kendall 趋势检验法(以下简称 M-K 检验法)、Spearman 秩序相关检验法、滑动平均、累积距平法以及趋势系数分析法等等^[3-4]。其中,线性倾向估计、M-K 检验法属于传统趋势成分识别方法,是在成因分析基础上结合统计检验进行的^[5],其优点在于能定性给出变化趋势,并能对结果进行显著性检验^[6],而且 M-K 检验法能根据标准化变量 Z 的正负直接判断出递增趋势还是递减趋势;累积距平法可以从曲线明显的上下起伏判断其长期显著的演变趋势及持续性变化,甚至可以判断出发生突变的大致时间,从曲线小的波动变化可以考察其短期的距平值变化^[7];小波分析法的优点在于可以作局部分析,给出时间变化的细微结构,在趋势不显著时传统方法很难分析出序列的趋势,小波分析就可以通过一步步分解,滤掉高频信息,只留下反映趋势的低频信息,进而得到序列趋势,但小波分析缺乏物理成因背景,且不方便进行显著性检验。本文将线性倾向估计法、Mann Kendall 趋势检验法、累积距平法与小波分析法结合使用,以更好地反映及分析沂沭泗流域降水、地表水资源量随时间序列的变化趋势。

1.1 线性倾向估计法

用 x_i 表示样本量为 n 的某一变化量,用 t_i 表示 x_i 所对应的时间,建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归方程^[7]如下:

$$x_i = a + bt_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: a 为回归常数; b 为回归系数,其符号表示变量的倾向趋势, $b > 0$ 说明 x 随时间 t 的增加而呈上升趋势,反之 x 呈下降趋势。 a 与 b 可用最小二乘法计算得出。

变量与时间之间线性相关的密切程度用相关系数 r 表示。当 $r = 0$ 时,回归系数为 0,说明 x 的变化与时间无关;

$|r|$ 越接近 0, x 与 t 之间的线性相关就越小;反之, $|r|$ 越大, x 与 t 之间的线性相关就越密切。对于判断变化趋势的程度是否显著,必须对相关系数进行显著性检验,确定显著性水平 α ,若 $|r| > r_\alpha$,表明 x 随时间 t 的变化趋势是显著的,否则表明变化趋势不明显。

1.2 M-K 检验法

M-K 趋势检验法是世界气象组织推荐并已广泛使用的非参数统计检验方法^[8-10],其不要求序列服从某种分布,也不受少数异常值的干扰,适用于水文、气象等非正态分布的数据^[9],计算较简单,定量化程度高。其检验统计量公式如下:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (2)$$

其中,

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & (x_i - x_j) > 1 \\ 0 & (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & (x_i - x_j) < 1 \end{cases} \quad (3)$$

S 为正态分布,方差 $\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18$ 。当 $n > 10$ 时,标准正态统计变量通过下式计算:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

在双边的趋势检验中,对于给定的 α 置信水平,若 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$,则原假设是不可接受的,即在 α 置信水平上,时间序列数据存在明显的上升或下降趋势。对于统计变量 Z ,大于 0 时,是上升趋势;小于 0 时,则是下降趋势。 Z 的绝对值在大于等于 1.28、1.64 和 2.32 时,分别表示通过了信度 90%、95% 和 99% 的显著性检验。

1.3 累积距平法

累积距平法又称差积曲线法,通过累积距平曲线可以划分出变化的阶段性,通常用来划分径流的丰水期、枯水期和平水期。累积曲线上表示丰水期;下降表示枯水期;当没有明显的上升或下降时,表示平水期^[9]。对于时间序列 x ,在某一时刻的累积距平表示为

$$S_i = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \quad (5)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

1.4 小波分析法

小波分析法^[11-12]用于探讨时间序列周期成分和多时间尺度变化特征。给定小波函数 $\phi(t)$,时间序列 $f(t) \in L^2(R)$ 的连续小波变换定义为

$$W_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (7)$$

式中: $W_f(a, b)$ 为小波变换系数,通过以 b 为横坐标、 a 为纵坐标绘制关于 $W_f(a, b)$ 的二维等直线图可以分析时间序列的多时间尺度变化特征; $\phi(t)$ 为 $\phi(t)$ 的复共轭函数; a 是尺度因子(频域),反映小波的周期长度; b 是时间因子(时域),反映时间上的平移。

将时间域上的关于 a 的所有小波变换系数 $W_f(a, b)$ 的平方进行积分,即为小波方差 $\text{Var}(a)$ 。

$$Var(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |W_f(a, b)|^2 db \quad (8)$$

小波方差随尺度 a 变化过程称小波方差图, 可以显示一个时间序列中各种时间尺度(周期)及强弱(能量大小)尺度变化特征^[13]。

2 结果与分析

2.1 趋势性分析

2.1.1 年降水量变化趋势分析

沂沭泗流域在 1956 年 - 2010 年间最大年降水量、最小年降水量分别为 1 175.1 mm(2003 年)、485.5 mm(1988 年)(图 2), 前者为后者的 2.42 倍。采用线性倾向估计法分析沂沭泗流域年降水量变化过程, 结果见表 1; 将 α 设定为 0.05, 系列年限为 55 年, 计算临界值 r_α 为 0.266, 即 $|r| < r_\alpha$, 反映多年降水量没有明显的趋势变化。利用 M-K 趋势检验法对沂沭泗流域年降水量的变化趋势进行检验, 计算出统计量 Z 值为 -0.0073, 其绝对值小于 1.28, 没有通过 90% 的置信度检验, 表明年降水具有减少趋势但不显著。两种方法计算结果相同。这种变化趋势与淮河流域的降水变化趋势相一致^[8]。

表 1 沂沭泗流域年降水、年地表水资源量过程分析

Tab. 1 Process analysis of annual precipitation and surface water resources in the Yi Shu Si Basin

分析量	线性倾向分析	相关系数 检验	M-K 趋势分析
年降水量	$x = -1.1057t + 2990.81$	-0.119	-0.0073
年地表水资源量	$x = -0.52275t + 1183.18$	-0.118	-0.036

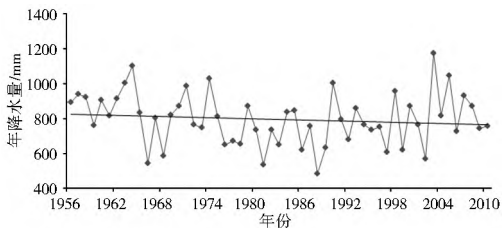


图 2 沂沭泗流域年降水量变化过程

Fig. 2 Variation process of annual precipitation in the Yi Shu Si Basin

2.1.2 年地表水资源量变化趋势分析

从沂沭泗流域地表水资源量变化过程(图 3)可以看出, 2003 年流域地表水资源量最大(316 亿 m^3), 1988 年最小(43.4 亿 m^3), 前者是后者的 7.28 倍, 流域地表水资源量年际变化较大; 从年代上看, 20 世纪 50 年代年均地表水资源量最大(183.4 亿 m^3), 80 年代最低(99.8 亿 m^3); 随后又逐渐增加, 到 21 世纪初期达 163.3 亿 m^3 。

由表 1 可看出, 利用线性倾向估计检验分析, 沂沭泗流域年地表水资源量没有明显的趋势变化。利用 M-K 趋势检验法, 计算出统计量 Z 值为 -0.036, 其绝对值小于 1.28, 没有通过 90% 的置信度检验, 表明年地表水资源量有减少趋势但不显著。

2.2 年降水量和年地表水资源量变化过程分析

从 55 年的降水、年地表水资源量根据累积距平曲线(图 4)

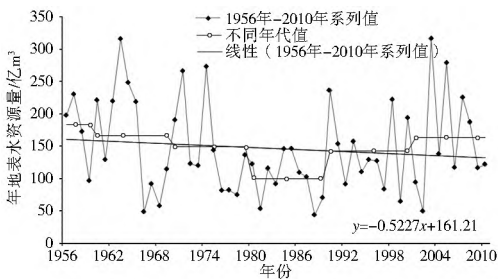


图 3 沂沭泗流域年地表水资源量变化过程

Fig. 3 Variation process of annual surface water resources in the Yi Shu Si Basin

中可以看出, 沂沭泗流域年降水、地表水资源量变化趋势基本一致。大体上经历了丰枯交替的 5 个变化阶段: 20 世纪 50 年代末到 60 年代中期, 差积曲线呈波动式上升趋势, 属于丰水期; 从 60 年代中期到末期, 差积曲线呈波动式下降趋势, 属于枯水期; 从 70 年代初期到中期, 差积曲线呈波动式上升趋势, 属于丰水期; 从 70 年代中期到 21 世纪初期, 差积曲线呈波动式下降趋势, 属于枯水期。21 世纪初到 2008 年, 为丰水期。

从图 4 还可看出, 年降水量、年地表水资源量虽然年际间波动较大, 但总体呈减少的趋势, 且年地表水资源量减少的趋势比年降水量减少的趋势稍大些。从图 2 和图 3 也可以看出, 地表水资源量的年际变化也比降水量更为剧烈, 前者最大年与最小年地表水资源量的比值是后者的 3 倍。主要原因是: 一方面由于近年来随着沂沭泗流域经济的快速发展, 城市化进程的加快, 形成了新的“自然-社会”二元水循环特征, 引起局地的水循环特征发生改变; 另一方面是强烈的人类活动改变下垫面条件, 造成土壤类型和局地的微地貌特征发生变化, 影响了流域的产汇流特性。

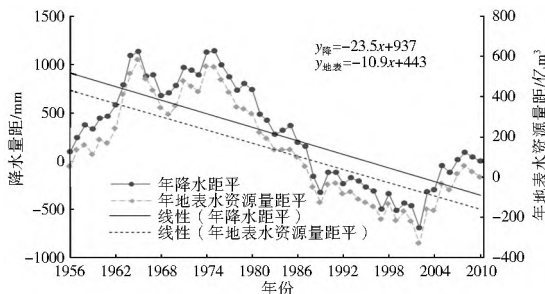


图 4 沂沭泗流域年降水量、年地表水资源量累积距平

Fig. 4 Cumulative departure of annual precipitation and surface water resources in the Yi Shu Si Basin

2.3 年降水量和年地表水资源量周期性分析

为了进一步识别时间序列的周期成分及其时域上的分布。采用 Morlet 小波^[14-15]对年降水、年地表水资源量进行了周期性分析。

小波方差可用来确定年降水、年地表水资源量演化过程中存在的主周期。根据年降雨与年地表水资源量的小波方差变化分析结果曲线见图 5。从图中可看出, 年降水具有 4 a、8 a、15 a 和 27 a 的主周期, 其中, 27 a 峰值最大, 周期震荡最强, 为第一主周期, 依据峰值高低, 15 a、8 a、4 a 分别为其第 2、第 3、第 4 周期; 而 14 a 为年地表水资源量的第一主周期, 27 a、4 a 分别为其第 2、第 3 主周期。主周期的波动控制

着流域在整个时间域内的变化特征。

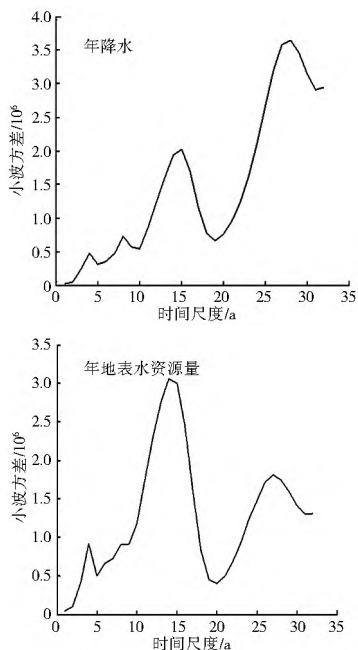


图5 沂沭泗流域年降雨、年地表水资源量时间序列小波方差
Fig. 5 Time series wavelet variance of annual precipitation and surface water resources in the Yi Shu Si Basin

小波系数等值线图能反映年降雨、年地表水资源量序列不同时间尺度下的周期变化及其在时间域中的分布,进而能判断在不同时间尺度上,年降雨、年地表水资源量的变化趋势。等值曲线中为正时即图中实线部分,代表丰水期;为负时即图中虚线部分,表示枯水期。

图6为沂沭泗流域年降水小波变换等值线及不同时间尺度下的小波系数变化,可以看出沂沭泗流域年降水以27a的周期变化为主,其次是15a、8a,而4a周期变化最弱。以年降水27a左右强周期对应的位相结构,正负相位以27a左右的时间振荡为例,在1956年-1961年,1971年-1978年、1987年-1996年各时段为正相位,表示降水偏多;而在1962年-1970年、1979年-1986年、1996年-2006年各时段为负相位,表示降水偏少。不同时间尺度下,从1956年-2002年小波振幅呈缓慢下降的趋势,而从2004年至今,先经历了一段缓慢增长阶段后又呈下降趋势。由此以2010年为时间起点,预测在未来的10多年内沂沭泗流域年降水将进入偏枯阶段。

图7为沂沭泗流域年地表水资源量小波变换等值线及不同时间尺度下的小波系数变化,可以看出年地表水资源量以14a、27a左右的周期相位变化明显,且14a周期变化最为突出。例如14a强周期对应的位相结构中,在1962年-1966年、1971年-1975年、1980年-1985年、1990年-1996年、2003年-2008年各时段为正相位,表示年地表水资源量偏丰;而在1957年-1961年、1966-1971年、1975年-1980年、1985年-1990年、1996年-2003年各时段为负相位,表示年地表水资源量偏枯。不同时间尺度下,14a的时间尺度周期性在1956年-2002年基本保持不变,而从2004年至今,又呈缓慢减少趋势。另外,年地表水资源量的14a

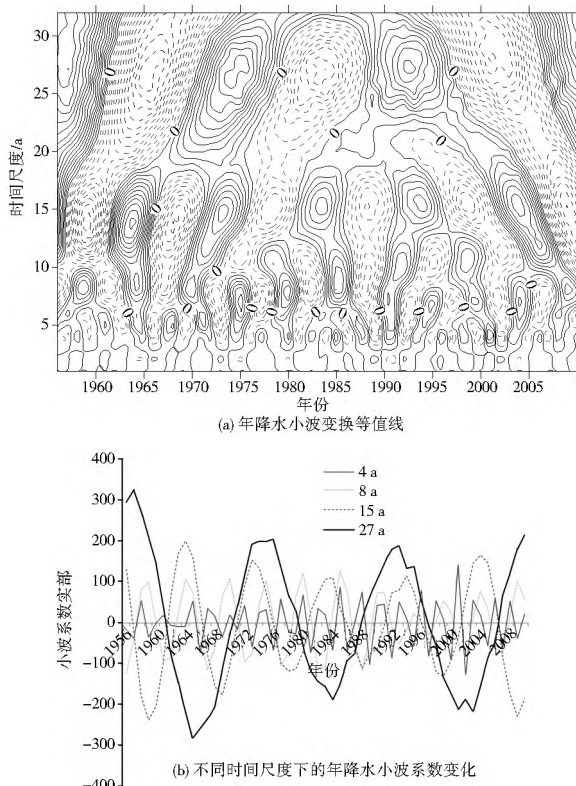


图6 沂沭泗流域年降水小波变换等值线及系数变化
Fig. 6 Contour of wavelet transform and coefficient variation of annual precipitation in the Yi Shu Si Basin

时间尺度的振幅变化与年降水在15a时间尺度下的变化相似。对于27a的时间尺度,近55a来呈缓慢下降趋势。由此以2010年为时间起点,预测在未来的10多年内沂沭泗流域年地表水资源量将进入平水偏枯的阶段。

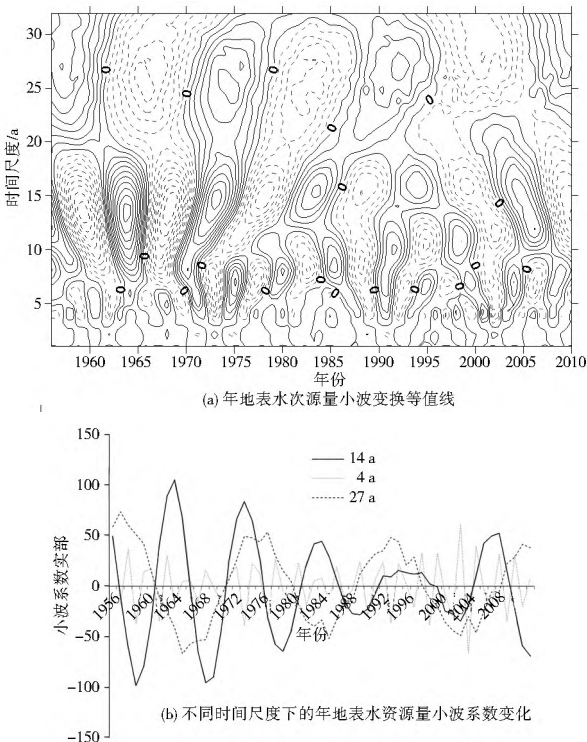


图7 沂沭泗流域年地表水资源量小波变换等值线及系数变化
Fig. 7 Contour of wavelet transform and coefficient variation of annual surface water resources in the Yi Shu Si Basin

3 结论

本文利用线性倾向估计法、Mann Kendall 检验法、累计距平法以及小波分析法对沂沭泗流域年降水、年地表水资源量进行了时间变化特征分析,得到如下结论。

(1) 通过线性倾向分析法和 Mann Kendall 趋势检验法分析结果表明流域内年降水、年地表水资源量整体上呈下降趋势但下降趋势不显著。

(2) 累积距平分析结果表明,自 1956 年以来,沂沭泗流域的年降水、年地表水资源量变化趋势基本一致,大体上经历了丰枯交替 5 个变化阶段。年地表水资源量减少的趋势比年降水量稍明显。

(3) 沂沭泗流域年降水、年地表水资源量序列为多时间尺度特性,年降水具有 4 年、8 年、15 年和 27 年主周期,年地表水资源量具有 4 年、14 年和 27 年主周期。年降水、年地表水资源量时间序列具有一定的同步性,但是两者的第一主周期又不相同,年降水以 27 年为第一主周期,而年地表水资源量以 14 年为主周期。由各主要周期下的小波实部变化图像综合分析,未来 10 余年内降水量、地表水资源量均将进入偏枯阶段。

参考文献(References):

- [1] 李万荣,张立,纪晓晴,等.沂沭泗直管区实行最严格水资源管理制度的难点与对策设想[J].治淮,2011(10):39-41. (LI Warrong, ZHANG Li, JI Xiaoqing. The difficulties and countermeasures envisaged of implementing the most stringent water resources management system in Yi Shu Si straight district[J]. Harnessing the Huaihe River, 2011(10): 39-41. (in Chinese))
- [2] 张爱军,韩刚,范荣亮,等.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. Changing analysis of precipitation characteristics in Yi Shu Si Basin[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(7): 34-36. (in Chinese))
- [3] 张世法,崔新文.径流的趋势分析和概率预测[J].水科学进展,1995(1). (ZHANG Shifan, CUI Xinwen. Trend analysis and probability prediction of annual runoff[J]. Advances in Water Science, 1995(1). (in Chinese))
- [4] 曾燕.黄河流域实际蒸散发分布式模型研究[D].北京:中国科学院博士学位论文,2004. (ZENG Yan, The actual evapotranspiration distributed model of the Yellow River basin[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences Doctoral Dissertation, 2004. (in Chinese))
- [5] 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 Wensheng, DING Jing, LI Yueqing. Hydrology wavelet analysis[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. (in Chinese))
- [6] 陈文海,柳艳香,马柱国.中国 1951 年—1997 年气候变化趋势的季节特征[J].高原气象,2002,21(3):251-257. (CHEN Weihai, LIU Yanxiang, MA Zhuguo. The seasonal characteristics of climatic change trend in China from 1951 to 1997[J]. Plateau Meteorology, 2002, 21(3): 251-257. (in Chinese))
- [7] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999. (WEI Fengying. Statistic diagnose and foreshadow technology in present climate[M]. Beijing: Meteorological Press, 1999. (in Chinese))
- [8] 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. Spatial and temporal variations of precipitation in Huaihe river in recent 50 years[J]. South to north water transfers and water science & technology, 2012, 10(2): 98-103. (in Chinese))
- [9] 秦新秀,姜彤,许崇育.长江流域径流趋势变化及突变分析[J].长江流域资源环境,2005,14(5):589-594. (QIN Niarixiu, JIANG Tong, XU Chongyu. Trends and abruptness analysis on the discharge in the Yangtze basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(5): 589-594. (in Chinese))
- [10] 刘春玲,许有鹏,张强,等.长江三角洲地区气候变化趋势及突变分析[J].曲阜师范大学学报:自然科学版,2005,31(1):109-114. (LIU Chunling, XU Youpeng, ZHANG Qiang. An analysis of climatic variation and jump in the Yangtze Delta[J]. Journal of Qufu Normal University: Journal of Natural Resources, 2005, 31(1): 109-114. (in Chinese))
- [11] 衡彤,王文圣,丁晶.降水量时间序列变化的小波特征[J].长江流域资源与环境,2002,11(5):466-470. (HENG Tong, WANG Wensheng, DING Jing. Wavelet characteristics of the change in precipitation time series[J]. Resources and Environment in the Yangtze basin, 2002, 11(5): 466-470. (in Chinese))
- [12] 王顺久.长江上游川江段气温、降水及径流变化趋势分析[J].资源科学,2009,31(7):1142-1149. (WANG Shunjiu. Changing pattern of the temperature, precipitation and runoff in Chuanjiang section of the Yangtze river[J]. Resources Science, 2009, 31(7): 1142-1149. (in Chinese))
- [13] 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[J].高原气象,1997,16(1):81-93. (DENG Ziwang, LIN Zhen Shan, ZHOU Xiaolan. Multiple time scales analysis of Xi'an climate change for last 50 years[J]. Plateau Meteorology, 1997, 16(1): 81-93. (in Chinese))
- [14] 王钧,蒙吉军.黑河流域近 60 年来径流量变化及影响因素[J].地理科学,2008,28(1):83-88. (WANG Jun, MENG Jijun. Characteristics and tendencies of annual runoff variations in the Heihe river basin during the past 60 years[J]. Scientia geographical sinica, 2008, 28(1): 83-88. (in Chinese))
- [15] 李荣昉,王鹏,吴敦银.鄱阳湖流域年降水时间序列的小波分析[J].水文,2012,32(1):29-31. (LI Rongfang, WANG Peng, WU Dunyin. Wavelet analysis of annual precipitation series in Poyang Lake Basin[J]. Journal of china hydrology, 2012, 32(1): 29-31. (in Chinese))
- [16] 白桦,穆兴民,高鹏,等.嘉陵江流域降水及径流演变规律分析[J].水土保持研究,2012,19(1):102-106. (BAI Hua, MU Xingmin, GAO Peng. Analysis on spatio-temporal variation of precipitation and streamflow in the Jialingjiang River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(1): 102-106. (in Chinese))