

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2015.03.012

1961—2012 年汾河流域降水量变化特征

侯剑英

(山西省太原市水文水资源勘测分局,山西 太原 030002)

摘要:基于汾河流域 12 个气象站 1961—2012 年降水资料,采用统计、线性倾向估计和 Morlet 子波分析等方法,对流域自然降水量变化特征进行了分析。结果表明:52 年间,汾河流域降水量在波动中不断减少,1990 年代后,减少速率加快,自然资源短缺现象趋于严重,且变差系数大,表明流域年降水量年际变化大,降水匮乏,水资源利用价值较低。流域降水量的周期表现出多尺度特征,2010 年代后开始进入丰水期。流域年和季节降水量的突变点及变化趋势表现出明显的季节气候特点。

关键词:降水量;变化特征;线性倾向估计法;Morlet 子波分析;汾河流域

中图分类号:P332.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2015)03-0063-04

Precipitation variation characteristics of Fenhe Basin from 1961 to 2012

HOU Jianying

(Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Shanxi Province, Taiyuan 030002, China)

Abstract: Based on precipitation data from twelve weather stations in Fenhe Basin from 1961 to 2012, using statistical method, linear trend estimation, and Morlet wavelet analysis method to analyze variation characteristics of natural precipitation. Results show that the natural precipitation in Fenhe Basin has been continually reducing during the recent 52 years. Since the 1990s, the reducing rate has been increasing and shortage of water resource became more and more serious. Also, the coefficient of variation has been bigger than ever, which means the annual variation of precipitation over Fenhe Basin being too large, lacking in rain and water resource utilization of low value. The cycle of precipitation in Fenhe Basin has multi-scale characteristics. In the 2010s, the abundant water period started. The abrupt junction and variation trend of precipitation over years and seasons in Fenhe Basin plays apparent seasonal weather characteristics.

Key words: precipitation; variation characteristics; linear trend estimation; Morlet wavelet analysis; Fenhe Basin

汾河发源于山西北部的宁武县,经由 6 个地市的 34 个县市,最后由河津汇入黄河,全长 716 km,流域面积 39 741 km²,约占山西省总面积的 1/4,是山西省工业集中、农业发达的主要地区,沿岸地区每年从汾河提取的水量占全省水资源利用总量的 46%^[1],经济地位特殊。

汾河流域水资源短缺,严重制约区域经济发展。在极端干旱条件下,水资源安全受到严重威胁^[2]。目前,由于水资源过度开采造成的河道断流、地下水位下降等已经成为汾河流域水生态环境的主要危机之一^[3]。为了缓解城市水资源供需矛盾,雨水利用已经成为许多城市的重点水利工程之一,因为雨水

利用不仅能够涵养水源、延缓滞洪、减少径流、缓解供排水压力,而且能够改善生态环境,具有良好的经济效益、社会效益和环境效益^[4]。而雨水利用必须充分考虑自然降水的多年变化规律,才能达到理想效果。国内一些学者针对黄河三角洲、长江、松花江等流域的降水变化特征进行了研究,得出一些有意义的结论^[5-11]。但利用最新降水资料,针对汾河流域的水情变化特征进行的分析还较少。笔者以汾河流域 12 个气象站近 52 年降水资料为基础,利用多种分析方法进行研究。研究结果可为全面了解该流域在全球气候变化背景下的水情变化规律,为合理开发水资源、有效利用雨水资源、减缓需水矛盾提供

1 数据和方法

1.1 数据选择

资料来源于汾河流域 12 个气象站(图 1)的降水量观测,12 个气象站分别位于流域的上游和下游地区,基本能反映流域自然降水分布情况。序列长度为 1961—2012 年,以 12 个站的年、季降水量平均值作为流域年、季降水量,多年降水平均值采用 1981—2010 年气候值。

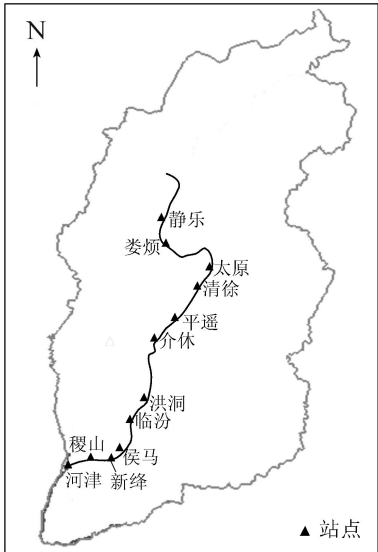


图 1 研究区域示意图

1.2 研究方法

所用方法为统计法、线性倾向估计法和 Morlet 小波变换^[12]等。

统计参数为多年降水平均值和变差系数、变化速率等。

降水变差系数是指年降水量的距平数与多年平均降水量之比的百分数,用以表征某一地区降水的年际变化程度。一个地区降水量丰富,变化率小,说明水资源利用价值高。

子波分析方法在时域和频域上同时具有良好的局部性,可以对信号进行多尺度分析并能聚焦到所研究对象的任意微小细节,因此,子波分析理论被广泛应用于信号处理、地震勘探、非线性科学等领域。而 Morlet 子波分析对奇异点的诊断还具有数学上的严谨性(对应于拐点)。本文选用 Morlet 子波分析进行周期分析和突变分析。

最常用的复数形式的小波函数是 Morlet 子波函数,母函数为

$$\psi_{\Omega}(x) = e^{i\Omega x} (e^{-\frac{x^2}{2}} - \sqrt{2} e^{-\frac{\Omega^2}{4}} e^{-x^2}) \quad (1)$$

其 Fourier 变换为如下形式:

$$\Psi_{\Omega}(\omega) = e^{-\frac{(\omega-\Omega)^2}{2}} - e^{-\frac{\Omega^2}{4}} e^{-\frac{\omega^2}{4}} \quad (2)$$

用该子波变换时,物理空间尺度 L 与伸缩标度因子 a 之间的关系为 $L \approx \pi a / \Omega$ 或

$$T = \left[\frac{4\pi}{\Omega + \sqrt{2 + \Omega^2}} \right] a = 1.144\pi \quad (3)$$

式中: ω 为频率; T 为与 Fourier 分析中所对应的周期,而 Ω 取值 5.4。

2 流域降水量的基本特征和线性趋势变化

2.1 基本特征

汾河流域年降水量的多年平均值为 443.9 mm,最大值为 714.2 mm(1964 年),最小值为 287.3 mm(1997 年),年降水量最大值是最小值的 2.5 倍;而春、夏、秋季降水量的多年平均值分别为 78.4 mm、243.6 mm、109.3 mm,最大值分别为 177.2 mm(1963 年)、414.9 mm(1966 年)、232 mm(2011 年),最小值分别为 21 mm(2001 年)、125.1 mm(1997 年)、35.7 mm(1998 年)。可见,流域降水量最大值基本出现在 1960 年代,最小值出现在 1990 年代末到 21 世纪初。年降水量距平最大值为 270.3 mm,最小值为 -0.2 mm,变差系数为 41.9%,表明流域年降水量的年际变化大,降水匮乏,水资源利用价值较低。

汾河流域 1961—2012 年年均降水量年代距平见表 1。由表 1 可见,1960 年代、1970 年代和 1980 年代汾河流域的降水量距平为正,说明该时段内降水量偏多,而进入 1990 年代后,汾河流域的降水量距平为负,说明该时段内降水量偏少,其中 1990 年代最少,距平百分率为 -4.5%。21 世纪以来,汾河流域降水量距平虽然仍为负值,但与 1990 年代相比,降水量有增加趋势。

表 1 1961—2012 年汾河流域年均降水量年代距平

年代	降水量距平/mm	降水量距平百分率/%
1960s	71.6	16.1
1970s	23.6	5.3
1980s	25.0	5.6
1990s	-20.1	-4.5
2000s	-0.4	-0.1
2010s	-0.2	-0.04

2.2 变化趋势

图 2 为汾河流域 1961—2012 年的年、季降水量变化曲线。从图 2 可看出,近 52 年来汾河流域的年降水量在波动中不断减少,减少速率为每 10 年 16.7 mm。1961—1990 年 30 年中,共有 12 年降水量小于多年平均值,而 1991—2010 年的 20 年中,有 13 年降水量小于多年平均值,说明 1990 年代以来,其减少速率加快,自然资源短缺现象趋于严重。

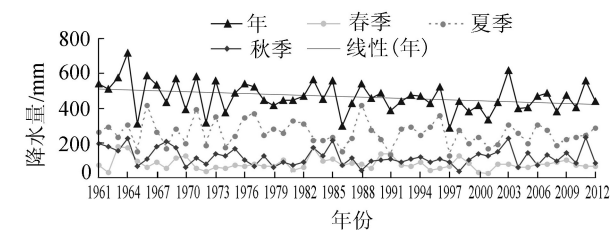


图2 汾河流域 1961—2012 年降水量线性趋势变化

对于季节降水量来说,春、夏、秋季降水量均为减少趋势,每 10 年减少速率分别为 5.8 mm、7.4 mm 和 3.8 mm,夏季减少速率最大,且夏季波动幅度也最大,说明年降水量的变化主要受夏季降水量变化主导。

3 流域降水量的周期变化特征和突变情况

利用式(1)~(3)对汾河流域年、季降水量进行小波变换计算,分析周期特征和突变情况。

3.1 周期变化特征

图 3 反映了汾河流域近 52 年降水变化 Morlet 子波变换实部等值线,图中实线为正值,虚线为负值。

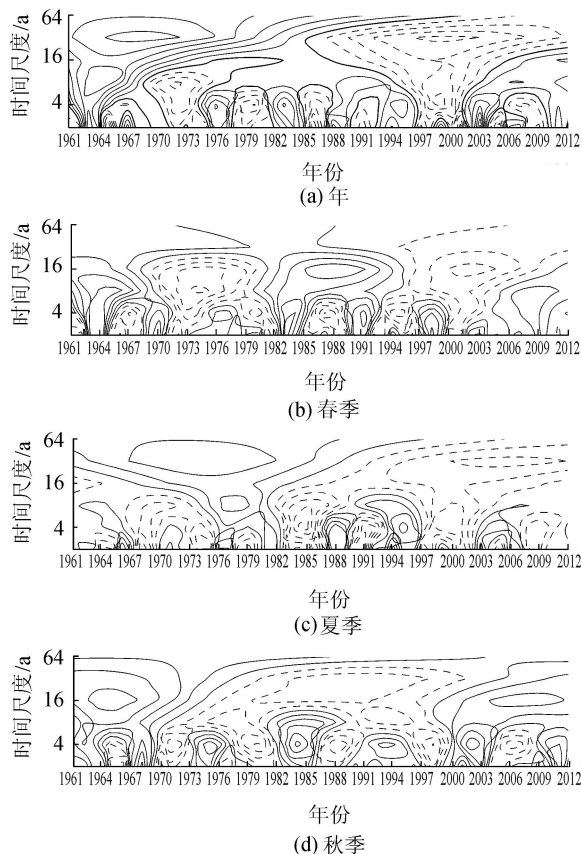


图3 汾河流域 1961—2012 年降水量小波变换实部

从图 3 可看出,近 52 年汾河流域年降水量在 16~64 a 时间尺度上,信号最为显著,存在 30~32 a 的周期,以 1995 年为界,之前为丰水期,之后为枯水期;在 4~8 a 的时间尺度上,信号也较强,存在 5~7 a 的周期。其他时间尺度上,信号较弱。

季节降水量的周期特征具有明显差异。春季:

在 4~16 a 时间尺度上,信号最强,存在 11~13 a 的周期。夏季和秋季:在长时间尺度和短时间尺度上,信号最强。16~64 a 的长时间尺度上,夏季存在 32~34 a 的周期,以 1993 年为界,之前为丰水期,之后为枯水期;秋季存在 25~27 a 的周期;2~4 a 的短时间尺度上,夏季存在 16~18 a 的周期,秋季存在 6~8 a 的周期。

可见,不同季节其周期特征不同;不同时间尺度其信号强弱不同。但无论是年降水量还是季节降水量,2010 年代以来均开始进入丰水期。

另外,根据周期分析可以推测,在 16~64 a 时间尺度上,2002 年以后开始进入丰水期,年降水量在 2025—2030 年、夏季降水量在 2035—2038 年、秋季降水量在 2022—2028 年将可能出现极值。

3.2 流域降水量的突变情况

图 4 为汾河流域降水量的的小波变化趋势。可以看出,流域年降水量在 64 a 和 32 a 的时间尺度上,均只有 1 个突变点,分别为 2002 年和 1986 年,且总体上为减少趋势,这与线性倾向估计法得到的结论一致。16 a 时间尺度上,则有 4 个突变点,为 1976 年、

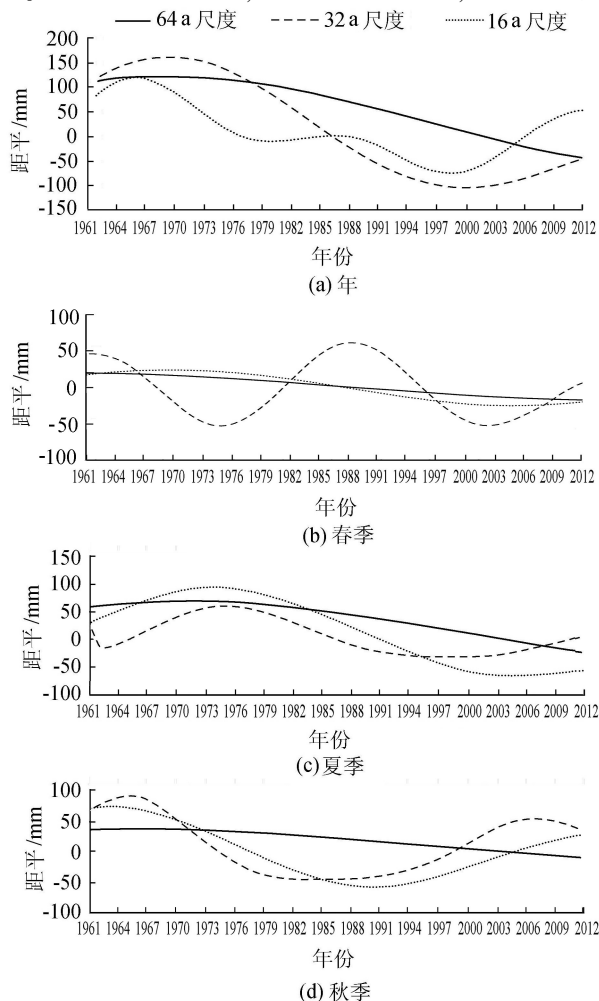


图4 汾河流域 1961—2012 年降水量小波变换趋势

1983 年、1988 年和 2006 年,且在 1976—1988 年间,降水量变化平稳,基本在距平附近摆动。在 32 a 和 16 a 时间尺度上,2006 年以后为明显增加趋势。

对于季节降水而言,其突变点和变化趋势明显不同。

夏季:64 a 和 32 a 的时间尺度上,均只有 1 个突变点,分别为 2004 年和 1992 年,总体上虽然为减少趋势,但在 2011 年以后,开始出现增加趋势。而 16 a 的时间尺度上,也有 4 个突变点,为 1962 年、1965 年、1986 和 2011 年,在整个时间序列上,基本呈正弦式变化,但年际间变幅较春季要小。

秋季:64 a 时间尺度上,有 1 个突变点,为 2004 年,总体上为减少趋势;32 a 和 16 a 时间尺度上,均有 2 个突变点,分别为 1977 年和 2006 年,1974 年和 1999 年;且在整个时间序列上,均为正弦式变化,但年际间变幅多变,1970 年代末以前变幅大,之后变幅趋于减小;21 世纪以来变幅又趋于增大。

可见汾河流域的年 and 季节降水量变化趋势和突变点均存在明显差异。

4 结 论

a. 1961—2012 年,汾河流域降水量最大值基本出现在 1960 年代,最小值出现在 1990 年代末到 21 世纪初,变差系数为 41.9%,表明流域年降水量的年际变化大,降水匮乏,水资源利用价值较低。

b. 52 年间,汾河流域的年、春季、夏季和秋季的降水量均在波动中不断减少,每 10 年减少速率分别为 16.7 mm、5.8 mm、7.4 mm 和 3.8 mm,季节中夏季减少速率最大。1990 年代以来,降水量减少速率加快,自然资源短缺现象趋于严重。

c. 汾河流域降水量的周期表现出多尺度特征,但无论是年、还是季节降水量,2010 年以来,均开始进入丰水期。在长时间尺度上,年、夏季和秋季降水量分别在 2025—2030 年、2035—2038 年、2022—2028 年将可能出现极值。

d. 汾河流域年、季节降水量的突变点和变化趋势明显不同,表现出明显的季节气候特点。

参考文献:

[1] 杨国栋,孟庆珍. 汾河流域水环境状况及流域可持续发展对策研究[J]. 中国人口·资源与环境,2001(增刊 1): 64-66. (YANG Guodong, MENG Qinzhen. Present situation of water environment and sustainable development countermeasures for economy and environment in Fenhe River Valley [J]. China Population, Resources and Environment, 2001 (Sup1): 64-66. (in Chinese))

[2] 任世芳. 极端干旱条件下汾河流域水资源安全研究 [J]. 人民黄河,2013,35(7): 46-48. (REN Shifang. Research on the water resources security under extreme drought conditions in the Fenhe River Basin [J]. Yellow River, 2013,35(7): 46-48. (in Chinese))

[3] 樊晓婷. 水资源合理配置对汾河流域生态环境改善作用的探讨 [J]. 山西水利,2003(6): 22, 46. (FAN Xiaoting. Rational allocation of water resources for water ecological environment improvement of Fenhe River Basin [J]. Shanxi Water Resources, 2003(6): 22, 46. (in Chinese))

[4] 孙静,阮本清,张春玲. 北京市降水量的时间变化分析 [J]. 北京水务,2007(1): 20-22. (SUN Jing, RUAN Benqing, ZHANG Chunling. Analysis of time variation of precipitation in Beijing City [J]. Beijing Water, 2007(1): 20-22. (in Chinese))

[5] 林琳,刘健,陈学群,等. 黄河三角洲 1961—2000 年水资源时空变化特征 [J]. 水资源保护,2012,28(1): 31-34,37. (LIN Lin, LIU Jian, CHEN Xuequn, et al. Spatial and temporal characteristics of water resources in Yellow River Delta from 1961 to 2000 [J]. Water Resources Protection, 2012,28(1): 31-34,37. (in Chinese))

[6] 白路遥,荣艳淑. 气候变化对长江、黄河源区水资源的影响 [J]. 水资源保护,2012,28(1): 47-50,57. (BAI Luyao, RONG Yanshu. Impacts of climate change on water resources in source regions of Yangtze River and Yellow River [J]. Water Resources Protection, 2012,28(1): 47-50,57. (in Chinese))

[7] 宋萌勃,陈吉琴,张晓健. 长江流域 1951—2000 年蒸发皿蒸发量变化趋势 [J]. 水资源保护,2011,27(1): 24-27,33. (SONG Mengbo, CHEN Jiqin, ZHANG Xiaojian. Pan evaporation trend in Yangtze River Basin from 1951 to 2000 [J]. Water Resources Protection, 2011,27(1): 24-27,33. (in Chinese))

[8] 胡彩虹,郭慕平,任健美,等. 近 50 年汾河流域气候变化特征分析 [J]. 水利水电科技进展,2006,26(增刊 1): 1-6. (HU Caihong, GUO Muping, REN Jianmei, et al. Climate variation features of Fenhe River Basin for last 50 year [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006,26(Sup1): 1-6. (in Chinese))

[9] 张志悦,陈皓锐,熊孟琴. 沧州南部地区 1970 年以来气候变化特征分析 [J]. 水资源保护,2011,27(4): 42-46. (ZHANG Zhiyue, CHEN Haorui, XIONG Mengqin. Analysis on characteristics of climate change in southern district of Cangzhou since 1970s [J]. Water Resources Protection, 2011,27(4): 42-46. (in Chinese))

[10] 王情,张广录,王晓磊,等. 中国北方城市雨水资源利用探讨 [J]. 水资源保护,2009,25(4): 86-90. (WANG Qing, ZHANG Guanglu, WANG Xiaolei, et al. Investigation on utilization of rainwater resources in North China cities [J]. Water Resources Protection, 2009,25(4): 86-90. (in Chinese))

[11] 林振山,邓自旺. 子波气候诊断技术的研究 [M]. 北京:气象出版社,1999:98-103.

(收稿日期:2014-05-14 编辑:高渭文)