

郑州市近 58 a 降雨量变化分析

刘少华, 胡彩虹, 王爱琴

(郑州大学水利与环境学院, 郑州 450001)

摘 要:采用水文序列中常用的谱分析、有序聚类分析、Kendall 秩次相关检验和 Man-Kendall 检验等方法,分别对郑州市1951—2008年的年降雨量、汛期和非汛期降雨量序列进行周期性、突变性和趋势性检验分析,结果显示:总体上郑州市年降雨量保持平稳,但各年汛期和非汛期的降雨量分别呈现出增加和减少的趋势,而且非汛期降雨量减少的趋势性较为显著;年降雨量和汛期降雨量有较为显著的近似10 a 的周期,而非汛期降雨量表现为不显著的3 a 的周期;年降雨量、汛期和非汛期降雨量序列的突变点均在20世纪70年代末和80年代初,但并不显著。

关键词:趋势分析;周期分析;突变分析;降雨量

中图分类号: P426.61⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-7148(2010)03-0018-05

引 言

气候变暖已是一个不争的事实,近百年来全球以及中国的气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化,它对世界和我国的生态系统及社会经济产生并将持续产生重大影响^[1]。作为气候对人类影响最为关键的因素之一——降雨,近年来也在发生着巨大的变化。因降水减少,2010年春季西南5省发生百年一遇的大旱,2009年河南发生了50 a 一遇的干旱。

郑州市为河南省省会,位于河南省中部,北临黄河,西依嵩山,东南为广阔的黄淮平原,属暖温带大陆性气候,郑州汛期降雨量占全年降雨量的60%以上,其降雨特性能够代表河南降雨的特性^[2]。因此,研究郑州市的降雨变化特征对于研究河南省整体的降雨乃至气候变化都有一定的参考意义。本文采用水文序列中常用的一些分析方法,通过对郑州市年降雨量、汛期和非汛期降雨量序列的检验分析,来探究郑州市降雨的各种特性。

1 资料来源及分析方法

1.1 资料来源

选用1951—2008年中国地面国际交换站气候资

料数据集,包括郑州市年降雨量、汛期(5—9月)和非汛期(1—4月和10—12月)的降雨量资料。

1.2 分析方法

本文首先对郑州市1951—2008年的年降雨量、汛期和非汛期降雨量及各时段(10 a)的均值和变差系数进行统计分析,在此基础上采用线性趋势拟合^[3]、Kendall 秩次相关检验和 Man-Kendall 检验法对其趋势性进行检验分析,继而通过谱密度分析其周期性,并分别采用有序聚类分析和秩和检验法对其突变点进行识别和显著性检验。

1.2.1 Kendall 秩次相关检验^[4]

对于序列 $\{X_i\}$,先确定所有对偶值 $(x_i, x_j) (j > i)$ 中 $x_i < x_j$ 出现的个数 k ,构造统计量:

$$U = \frac{\tau}{\sqrt{D(\tau)}} \tag{1}$$

式中,

$$D(\tau) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}$$
$$\tau = \frac{4k}{n(n-1)} - 1$$

当 n 增加时, U 很快趋于标准正态分布。假设原序列无趋势,给定显著性水平 α 后,查算 $U_{\alpha/2}$,当 $|U| \leq U_{\alpha/2}$,接受原假设,即序列趋势不显著;反之,拒绝原假设,即序列趋势明显。

收稿日期:2010-06-20;修订日期:2010-07-16
基金项目:河南省教育厅自然科学研究计划项目(2009A57008)资助
作者简介:刘少华(1989-),男,河南驻马店人,学士,主要从事水文学及水资源研究. E-mail: liushaohua2007@yeah.net

1.2.2 Man-Kendall (M-K) 检验^[5]

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{Var(s_k)}} \quad (k = 1, 2, \cdots, n) \quad (2)$$

式中,

$$s_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} \quad (k = 2, 3, \cdots, n)$$
$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad (1 \leq j \leq i)$$
$$E(s_k) = \frac{k(k-1)}{4}$$
$$Var(s_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72}$$

将序列 $\{X_i\}$ 倒序排列,按照(2)式计算,同时使

$$\begin{cases} UB_k = UF_{k'} \\ k' = n + 1 - k \end{cases} \quad (k = 1, 2, \cdots, n) \quad (3)$$

通过分析统计序列 UB_k 和 $UF_{k'}$ 可以进一步检验序列的突变和趋势:若 $UF_{k'} > 0$,则表明序列呈上升趋势; $UF_{k'} < 0$,则序列呈下降趋势。两统计序列构成的曲线超过临界值时,表明上升或下降趋势显著。

1.2.3 谱分析 (Spectral analysis)^[6]

谱分析是一种基于频域分析的时间序列分析方法。谱分析用于分析数据隐含的周期特性,其核心是谱密度函数,谱密度图中出现峰的地方对方差有重要贡献,也就是敏感频率区,即周期。

1.2.4 有序聚类分析法及秩和检验法^[4]

1.2.4.1 有序聚类分析法

估计降雨量序列 $\{X_i\}$ 的突变点时,假设可能的突变点为 X_t ,则突变前后的离差平方和分别为

$$V_t = \sum_{i=1}^t (X_i - \bar{X}_t)^2$$
$$V_{n-t} = \sum_{i=t+1}^n (X_i - \bar{X}_{n-t})^2$$

其中, $\bar{X}_t, \bar{X}_{n-t}$ 分别为序列中 X_t 前后两部分的均值。

离差总平方和为

$$S_n = V_t + V_{n-t} \quad (4)$$

当 $S = \min_{2 \leq t \leq n-1} \{S_n(t)\}$ 时的 t 为最优二分割点,即为突变点。

1.2.4.2 秩和检验法

假设降雨量序列 $\{X_i\}$ 的突变点为 X_t, X_t 前后两个序列 $F_1(x), F_2(x)$ 有 n_1, n_2 个值。将原序列从小到大排序并统一编号,每个数对应的编号定义为该数的“秩”。记容量小的样本个数对应的数值秩之和为 W 。当 $n_1, n_2 \geq 10$ 时,则相应的统计量满足:

$$U = \frac{W - \left(\frac{n_1(n_1 + n_2 + 1)}{2} \right)}{\sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}} \sim N(0, 1) \quad (5)$$

式中, n_1 代表小容量的样本。假设 X_t 前后两个样本来自于同一个总体,即 $F_1(x) = F_2(x)$,则给定显著性水平 α 后,查算 $U_{\alpha/2}$,当 $|U| \leq U_{\alpha/2}$,接受原假设;反之,表示两个样本不是来自于同一个总体,即序列突变明显。

2 结果与分析

郑州市1951—2008年的年降雨量、汛期和非汛期降雨量及各年际统计特征值结果见表1。由表1可见,年降雨量与汛期降雨量的距均值(时段均值与58 a 总均值的相对误差)相差不大,与非汛期距均值相差较大。郑州市降雨量的这种统计特征与黄河中游三花区间降雨特征一致^[7];其次,郑州市年降雨量、汛期降雨量及各时段的均值和变差系数相对较小,而非汛期降雨量的变差系数较大,从统计意义上说明了非汛期降雨量离散程度较大的现实。这种统计结果也为近年来非汛期出现异常干旱的现象给出了统计意义上的解释。

表 1 各降雨量序列统计特征值的统计结果

序列	年降雨量			汛期降雨量			非汛期降雨量		
	均值/mm	距均值/%	变差系数	均值/mm	距均值/%	变差系数	均值/mm	距均值/%	变差系数
1951—1960	631.63	-1.22	0.29	453.10	-3.67	0.34	178.53	5.58	0.34
1961—1970	640.19	0.12	0.30	450.15	-4.29	0.31	190.04	12.38	0.48
1971—1980	650.77	1.77	0.14	463.32	-1.49	0.15	187.45	10.85	0.29
1981—1990	644.68	0.82	0.31	489.48	4.07	0.37	155.20	-8.22	0.37
1991—2000	601.66	-5.91	0.20	445.74	-5.23	0.28	155.92	-7.79	0.32
2001—2008	674.80	5.53	0.24	532.75	13.27	0.26	142.05	-16.00	0.46
1951—2008	639.44	—	0.25	470.34	—	0.29	169.10	—	0.38

2.1 降雨量序列的趋势分析

2.1.1 各降雨量序列的线性趋势拟合分析

通过线性趋势拟合得到年降雨量、汛期和非汛期降雨量序列的线性趋势回归方程(图 1—4)。由方程的斜率(变化趋势)可知:年降雨量整体保持平稳,变化趋势不明显;汛期和非汛期降雨量序列分别具有较为明显的增加和减少趋势,这种趋势从汛期—非汛期降雨量差值序列的线性拟合结果($k = 1.7997$)上表现更为显著,而且汛期降雨量方程的斜率($k = 0.9283$)和非汛期降雨量方程的斜率($k = -0.8715$)大小相近,因此近年来郑州市年降雨量序列基本保持稳定,这与开封市近年降雨变化趋势完全一致^[8]。

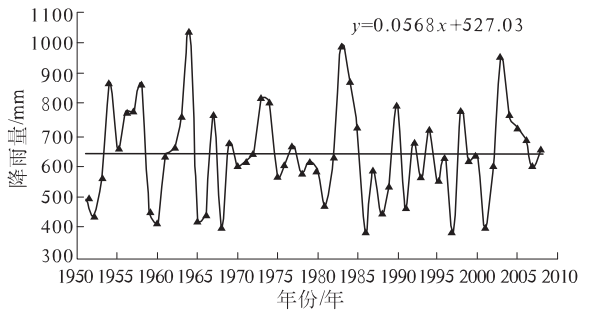


图 1 年降雨量序列线性拟合结果

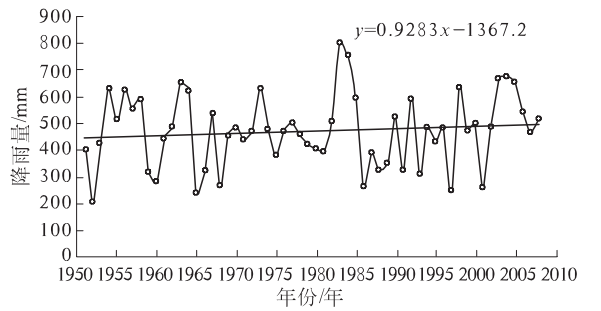


图 2 汛期降雨量序列线性拟合结果

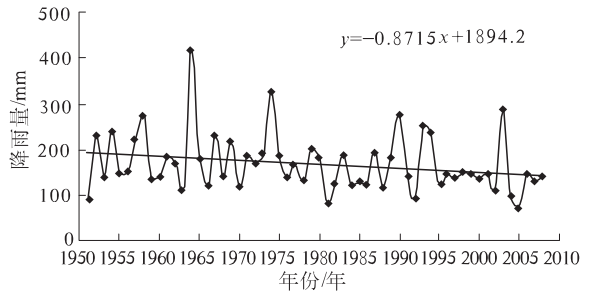


图 3 非汛期降雨量序列线性拟合结果

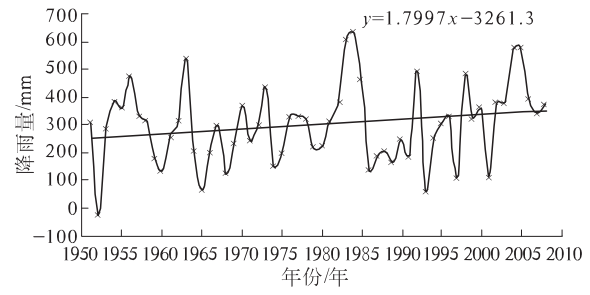


图 4 汛期—非汛期降雨量差值序列线性拟合结果

2.1.2 Kendall 秩次相关检验和 M-K 检验法对各序列的趋势性检验

由于趋势拟合的线性斜率不能定量表明序列趋势的显著性,进而采用 Kendall 秩次相关检验和 M-K 检验来检验各序列趋势的显著性。M-K 检验分别见表2和图5—7。可见,Kendall 检验和 M-K 检验法的结果完全一致,同时其结果与线性趋势拟合分析的结果也基本一致。但是其中线性趋势拟合的汛期降雨量的检验结果略有差别,原因在于线性趋势拟合分析只能从定性上表明序列趋势的方向性和变化程度,而不能对趋势性作出定量的检验。

各种检验结果一致表明:近 58 a 来郑州市的年降雨量基本保持平稳,同时汛期的降雨量略有增加趋势,而非汛期的降雨量有较显著的减少趋势。

表 2 降雨量序列趋势性检验结果对比

分析方法	线性拟合			Kendall 检验			M-K 检验		
	年	汛期	非汛期	年	汛期	非汛期	年	汛期	非汛期
检验指标	$k = 0.0568$	$k = 0.9283$	$k = -0.8715$	$U = 0.02$	$U = 0.80$	$U = -2.03$	$-1.96 < UF_k < 1.96$	$-1.96 < UF_k < 1.96$	$(UF_k)_{\min} < -1.96$
趋势方向	增加	增加	减少	增加	增加	减少	增加	增加	减少
趋势性	不明显	较明显	较明显	不显著	不显著	显著	不显著	不显著	显著

2.2 降雨量序列的周期性分析

通过谱密度分析得到的郑州市年降雨量、汛期降雨量和非汛期降雨量序列结果分别见图 8、图 9 和图 10。可见,郑州市近 58 a 的降雨量近似呈 10 a 和 3 a 的周期,此结果与近 50 多年中国的降雨量的变化周期一致^[9]。同时汛期降雨量的变化周期和

年降雨量周期基本一致,但是非汛期降雨量的周期呈现出明显不同的特性,非汛期降雨量的周期只体现出近 3 a 周期,这与华北地区近年夏季降雨量周期性一致,而且整体上周期不明显、规律性差,这对于解释近年来出现较为异常的春季干旱有一定的意义。

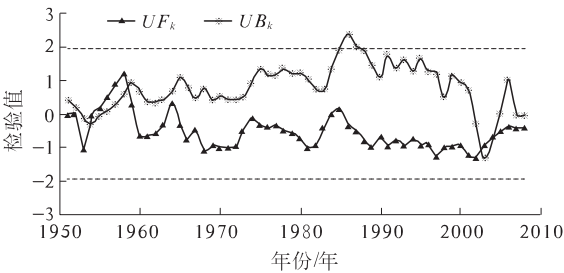


图 5 年降雨量的Man-Kendall 检验结果

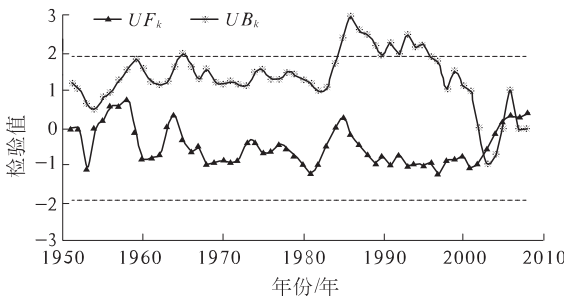


图 6 汛期降雨量的Man-Kendall 检验结果

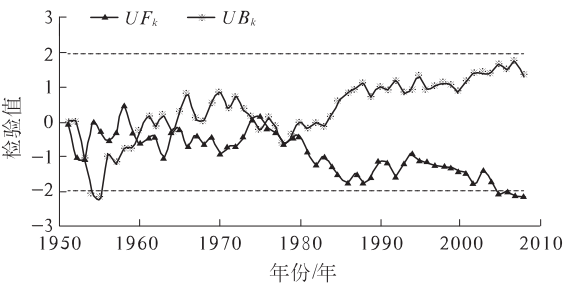


图 7 非汛期降雨量的Man-Kendall 检验结果

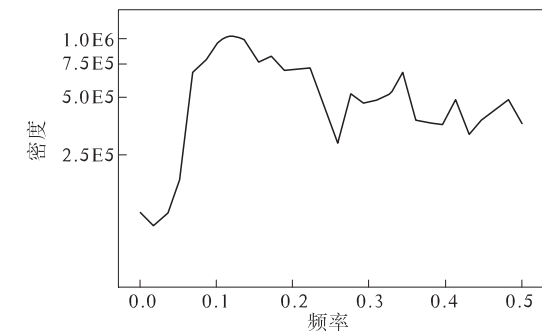


图 8 年降雨量谱密度图

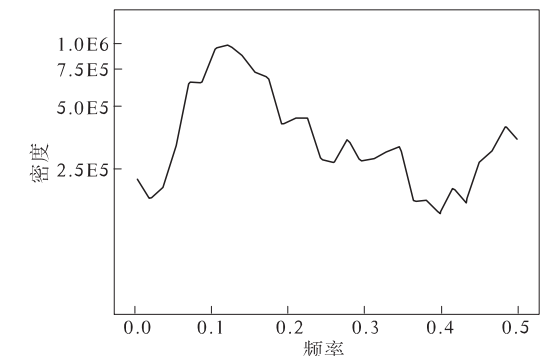


图 9 汛期降雨量谱密度图

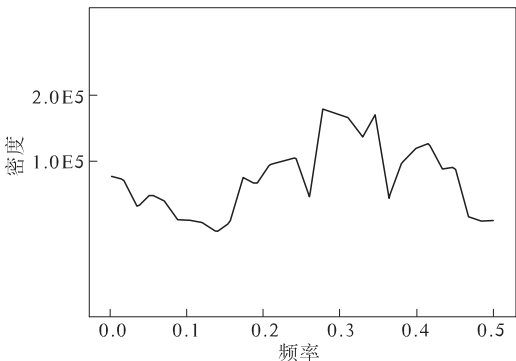


图 10 非汛期降雨量谱密度图

2.3 降雨量序列的突变性分析

突变点及其显著性的结果见表 3。由表 3 可知,年、汛期和非汛期降雨序列突变年份分别在 1979、1978 和 1980 年。然而各降雨序列的突变性均不显著 ($|U| \leq U_{0.5/2} = 1.96$),这是由于降雨等气候突变是长期渐变的过程,其突变性可能在原始序列上没有反映,而仅在其内部层次上存在隐性突变^[10],因此其检验结果一般相对较不明显。但是,通过检验结果可知,非汛期降雨量的突变显著性检验值的绝对值远大于汛期和年降雨量的突变显著性检验值的绝对值。同时郑州市年降雨量、汛期和非汛期降雨量序列的突变点基本一致,均发生在 20 世纪 70 年代末和 80 年代初,这与吉林、新疆等我国其他地区近年的气候变化突变点保持一致^[11-13]。

表 3 降雨量序列秩和检验结果

降雨量序列	年	汛期	非汛期
突变点	1979	1978	1980
秩和检验值 U	0.004	-0.008	-0.033
检验结果	不显著	不显著	不显著

3 结 语

- (1)郑州市近年的年降雨量总体上保持平稳,但各年汛期和非汛期的降雨量分别呈现出增加和减少的趋势,而且非汛期降雨量减少的趋势较为显著。
- (2)郑州市 58 a 的年降雨量和汛期降雨量的表现为近似 10 a 的周期,而非汛期降雨量的周期为近似 3 a。同时年降雨量和汛期降雨量的周期性较为明显,非汛期降雨量的周期性不明显、规律性较差。
- (3)郑州市年降雨量、汛期和非汛期降雨量序列的突变点基本一致,均在 20 世纪 70 年代末和 80 年代初,但其突变性表现均不显著。

参考文献

[1] 秦大河. 气候变化:科学、影响和对策[M]// 中国气象年鉴. 北

京:气象出版社, 2004.

[2] 齐翠阁,田建设. 从东西南北看郑州的降雨特性[J]. 河南水利与南水北调,2007(7):16-20.

[3] 韩艳,杨龙. 保定市 2009 年冬季气温分析[J]. 气象与环境科学, 2009,32(4):20-24.

[4] 王文圣,丁晶,金菊良. 随机水文学[M]. 2 版. 北京:中国水利水电出版社,2008:20-23.

[5] 谢平,陈广才,雷红富,等. 变化环境下地表水资源评价方法[M]. 北京:科学出版社,2009:89-90.

[6] 张文彤. 世界优秀统计工具 SPSS11.0 统计分析教程(高级篇)[M]. 北京:希望电子出版社,2002:226-228.

[7] 王红振,明亮,晋建设,等. 近 50 a 黄河中游三花区间降雨特征分析[J]. 气象与环境科学,2009,32(2):78-82.

[8] 张德卞,张明周,李柯星,等. 近 50 a 开封市气候变化特征分析[J]. 气象与环境科学,2009,32(增刊):82-86.

[9] 王遵娅. 近 50 年中国气候变化的特征与中国夏季降雨量的气候学[D]. 南京:南京气象学院,2004.

[10] 李跃清. 气候变化与气候层次结构初探[J]. 四川气象,1997,17(2):31-36.

[11] 王启光,张增光. 近似熵检测气候突变的研究[J]. 物理学报, 2008,57(3):1976-1983.

[12] 于秀晶,李栋梁,胡靖彪. 吉林近 50 a 来气候的年代际变化特征及其突变分析[J]. 冰川冻土,2004,26(6):779-784.

[13] 李珍,姜峰清. 1961-2004 年新疆气候突变分析[J]. 冰川冻土, 2007,29(3):351-359.

Analysis of the Precipitation Variation in Zhengzhou in Resent 58 Years

Liu Shaohua, Hu Caihong, Wang Aiqin

(School of Water Conservancy and Environment Engineering of Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Spectral analysis, sequence clustering analysis, Kendall rank correlation test and Man-Kendall trend test were applied in analyzing the cycle, mutation and trend of precipitation of annual, flood season and non-flood season in Zhengzhou from 1951 to 2008. The results indicated that annual precipitation maintained steady; there are precipitation increasing and reducing trends both in flood season and non-flood season, but precipitation reducing trend is obviously in non-flood season. The significant cycle of annual precipitation and flood season precipitation in Zhengzhou is 10 years, but cycle of non-flood season precipitation is 3 years and non significant. And the non significant mutation point of precipitation of annual, flood season and non-flood season occurred in the late 1970s and early 1980s.

Key words: trend analysis; cycle analysis; mutation analysis; precipitation