

郑州市年降水的奇异谱分析

焦建丽¹, 康雯璞²

(1. 河南省气候中心, 郑州 450003; 2. 河南省气象学会, 郑州 450003)

摘要: 运用奇异谱分析方法对郑州市1951—2006年的年降水资料进行分析, 结果表明: 郑州市近56 a来的年降水趋势变化不太显著, 主要以波动变化为主, 存在9、7、5、3 a的振荡周期, 各振荡周期存在年代际变化, 不同阶段各周期强弱表现不同。

关键词: 年降水; 奇异谱; 变化周期

中图分类号: P456.3

文献标识码: A

文章编号: 1673-7148(2007)04-0054-03

引言

降水受多种气候因素的影响, 各年的降水量差异很大, 对长时间的降水序列进行研究有助于了解其规律, 预测今后的变化趋势。本文运用奇异谱分析方法对郑州市年降水时间序列进行分析, 研究其变化规律, 以期得到一些中长期气候预测信息。

1 SSA分析方法简介

奇异谱分析(简称SSA)是一种广义的功率谱分析, 是近年来气象学者用于气候诊断领域的新方法之一, 适用于天气气候时间序列及时空场的大尺度振荡研究^[1-3], 它具有稳定的识别和强化信号功能。奇异谱分析是从时间序列的动力重构出发, 并与经验正交函数(EOF)相联系的一种统计技术。应用奇异谱分析, 可从包含噪声的有限长气象要素观测序列中提取较多的可靠信息(相当于对时间序列进行低通滤波), 对要素不同振荡周期进行重建, 以了解不同准周期分量的时变特征。

SSA分析的对象是一维时间序列 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ 。把时间序列按时滞排列成矩阵:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \cdots & x_{N-m+1} \\ x_2 & x_3 & x_4 & \cdots & x_{N-m+2} \\ x_3 & x_4 & x_5 & \cdots & x_{N-m+3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m & x_{m+1} & x_{m+2} & \cdots & x_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

作经验正交展开, 得出的前几个特征向量(T -EOF)即表示序列振荡的主要周期模态, 而相对应的时间系数(T -PC)则表示相应周期的长期变化特征。由于经过SSA分解, 序列的频域信号被分解为具有单一循环周期的时域信号, 因而可按按下式重建各个振荡分量序列:

$$\chi_i^k = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{ij}^k E_j^k \quad (\text{当 } m \leq i \leq N-m+1) \quad (2)$$

$$\chi_i^k = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i a_{ij}^k E_j^k \quad (\text{当 } 1 \leq i \leq m-1) \quad (3)$$

$$\chi_i^k = \frac{1}{N-i+1} \sum_{j=i-N+m}^m a_{ij}^k E_j^k \quad (\text{当 } N-m+2 \leq i \leq N) \quad (4)$$

其中, a_{ij} 为时间系数, E_j 为特征向量。

当由单独的 E^k 与 a^k 重建第 k 个 RC, 记为 x^k 。 m 个 RC 有叠加性, 即原序列可以表示为所有重建成分的和

$$x = \sum_{k=1}^m x^k \quad (5)$$

(5)式是SSA应用中的重要公式, 它表明原序列的功率谱被分解为各 T -PC 功率谱贡献之和。它可以帮助我们滤去噪声和选取感兴趣的特征成分重建原序列。

2 郑州市年降水的奇异谱分析

本文用SSA对郑州年降水时间序列进行分解,

滤掉噪声,提取优势周期,重建各主周期振荡分量,讨论其时变特征,并对主要周期进行叠加拟合,重构原序列。

2.1 郑州市年降水历史演变分析

图 1 给出了 1951—2006 年郑州市年降水距平百分率的时间变化曲线,它的变化趋势不显著(虚线所示),主要表现为波动特征。图中粗线为 3 阶多项式回归演变曲线,可以看到:降水量从 20 世纪 50 年代到 60 年代中期呈上升趋势,60 年代中期到 80 年代末呈下降趋势,90 年代呈上升趋势。郑州降水偏少的年份多于降水偏多的年份,早年持续时间长,涝年持续时间短。

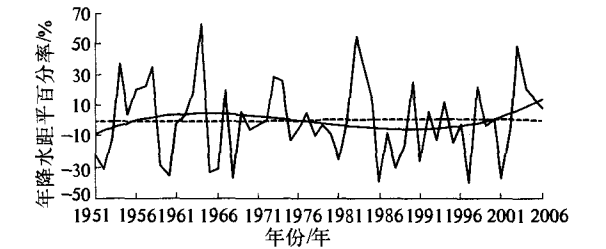


图 1 郑州市 1951—2006 年的年降水距平百分率时间序列

表 1 郑州年降水时间序列 SSA 分解的前 10 项奇异谱值和方差贡献										
特征向量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
奇异谱值	12.0	11.3	10.2	9.9	8.1	7.6	6.5	5.9	5.7	4.9
累积方差贡献/%	12.0	23.3	33.5	43.4	51.5	59.1	65.6	71.5	77.2	82.1

2.3 时间序列重建

对主要周期进行时间序列重建,图 2 给出了成对 RC 叠加后的结果。

从图 2 中可看出,郑州年降水表现出不同的周期特征:9 a 周期 $RC_1 + RC_2$,5 a 周期 $RC_3 + RC_4$,3 a 周期 $RC_5 + RC_6 + RC_7 + RC_8$,7 a 周期 $RC_9 + RC_{10}$,它们表示了各振荡分量序列随时间的演变特征。其中,9 a 周期振幅是 20 世纪 50 年代大,然后随时间逐渐减小;5 a 周期振幅是 50 年代中期前大,然后减小并维持平衡状态,较为稳定;3 a 周期振幅是 50、60 年代大,70、80 年代小,90 年代以后又有所增大;7 a 周期振幅是 50 年代小,随时间逐渐增大。从各周期振幅变化来看,60 年代以前降水序列 9、5、3 a 的周期振荡分量起主要作用;90 年代以后降水序列 7、5、3 a 的周期振荡分量起主要作用。

将图 2 中的 RC 全部叠加,可以基本上重建原

2.2 时间序列分解

选取郑州 1951—2006 年的年降水资料,把年降水时间序列处理成距平百分率形式,将处理后的序列作 SSA 计算。

将郑州年降水距平百分率时间序列按窗口长度排列成矩阵形式($m = 20$),进行 EOF 分解,表 1 是降水序列 SSA 的前 10 项奇异谱值和方差贡献,序列前 10 个典型波型向量累积方差占总方差的 82.1%,它们表征了郑州市年降水变化的主要振荡模态。

郑州市年降水序列的前 10 个特征向量(图略)表示了以下几个周期模态:T-EOF1 和 T-EOF2 的合成表征了 9 a 的周期振荡模,占总方差的 23.3%;T-EOF3 和 T-EOF4 的合成表征了 5 a 的周期振荡模,占总方差的 20.1%;T-EOF5 和 T-EOF8 的合成表征了 3 a 的周期振荡模(3 a 周期中包含有 2.6 a 和 3.3 a 的周期,为便于分析,把两者合并称为 3 a 周期),占总方差的 28.1%;T-EOF9 和 T-EOF10 的合成表征了 7 a 的周期振荡模,占总方差的 10.6%。

来的年降水距平百分率时间序列(图 3),它们解释了降水总方差的 82.1%。将拟合序列与原始序列进行对比分析,拟合序列已基本体现了实况序列的变化,二者的相关系数达 0.92。

3 结 语

①奇异谱分析方法是一种识别时间序列周期的有效方法,并且能对周期分量进行重建,可了解不同周期分量的时变特征,这是最大熵谱及功率谱等分析方法无法做到的。

②郑州市近 56 a 来的年降水趋势不显著,主要以波动为主,波动存在 9、7、5、3 a 左右的周期变化,各振荡周期具有年代际变化,不同阶段各周期强弱表现不同。其中 9 a 周期振幅随时间由大变小;7 a 周期振幅随时间由小变大;5 a 周期振幅比较稳定;3 a 周期振幅由大变小,又从小变大。

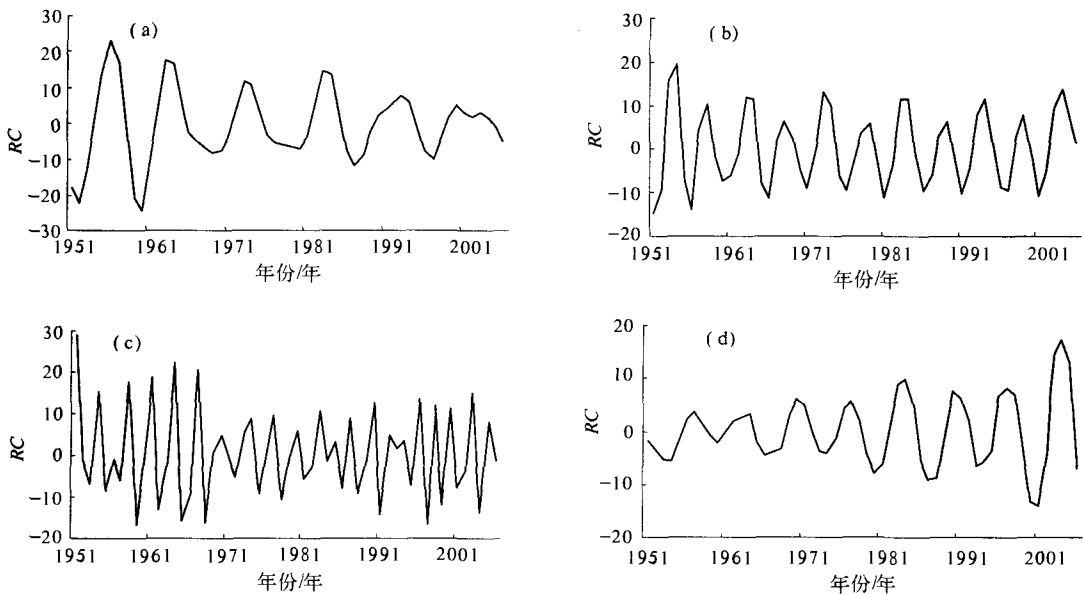


图 2 郑州市年降水主周期振荡模的重建序列

a 为 RC_{1+2} , b 为 RC_{3+4} , c 为 $RC_{5+6+7+8}$, d 为 RC_{9+10}

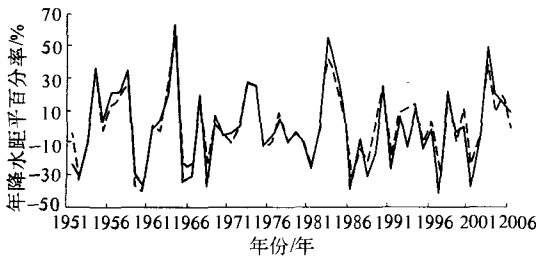


图 3 郑州 1951—2006 年的年降水距平百分率实况时间序列
(实线)和拟合序列(虚线)

参考文献

- [1] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2002: 233 - 243.
- [2] 江志红, 丁裕国. 奇异谱分析的广义性及其应用特色[J]. 气象学报, 1998, 56(6): 736 - 745.
- [3] 李永华, 刘德, 朱业玉, 等. 重庆市气温及降水变化的奇异谱分析[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 798 - 804.

Singular Spectrum Analysis of the Annual Rainfall in Zhengzhou

Jiao Jianli¹, Kang Wenying²

(1. Henan Provincial Climate Center, Zhengzhou 450003, China;
2. Henan Provincial Meteorological Society, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Using the singular spectrum analysis method, the annual rainfall data from 1951 to 2006 in Zhengzhou is analyzed. The results show the variable tendency of the annual rainfall is not obviously; main wave oscillation periods are 9, 7, 5 and 3 a. There is inter-decadal change among the oscillation periods and each period strong or weak shows dissimilarity.

Key words: annual rainfall; singular spectrum; change period