

奇异谱分析方法在夏季降雨 预测中的应用

尤凤春 史印山 周 煜

(河北省气象台, 石家庄 050021) (中国气象局)

提 要

运用奇异谱分析方法对石家庄市 83 年降水进行了统计分析, 结果表明: 石家庄市近百年夏季降水的趋势变化不太显著, 主要以波动变化为主, 主振荡周期分别为 5~6 年、10 年左右及 30~40 年左右的长周期变化, 各重建分量振幅、位相具有明显的年代际变化。利用重建分量进行降水趋势预测, 1998~2001 年试报表明, 效果较好。

关键词: 降水预测 奇异谱 振荡周期

引 言

降水受多种气候因素的影响, 各年的夏季降水差异很大, 降水异常将导致干旱和洪涝灾害。对长时间的降水序列进行研究有助于我们了解其变化规律, 预测今后的变化趋势。本文运用最新的诊断方法——奇异谱分析对石家庄市夏季降水序列进行研究, 得到一些有益的结果, 为短期气候预测提供了一种有效的预报方法。

1 资料与方法

本文所用资料为 1919~2001 年共 83 年的石家庄市夏季(6~8 月)降水资料, 通过对其作不同最大时间后延的奇异谱分析, 提取优势周期, 重建各主周期振荡分量, 讨论其时变特征。

奇异谱分析(SSA 方法)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, 它具有稳定的识别和强化信号功能, 且其识别和描述信号的方式是时域性的频域特征分析。我们通过奇异谱分析方法能有效地对其不同阶段上的周期分量进行重建, 以了解不同准周期分量的时变特征, 这是最大熵谱及小波分析等方法无法做到的。丁裕国^[1]等对奇异谱的广

义性及其应用特色进行了研究, 并指出在理论和实际应用中与最大熵谱的联系和区别; 徐建军^[2]等利用海平面气压资料对近百年东亚季风主周期振荡作了奇异谱分析。丁裕国^[3]等还利用奇异谱分析方法研究了近百年气温年际变率中的 QBO 长期变率特征。

奇异谱分析是一种变形的 EOF, 相当于对一平稳时间序列 $\{X_t\}, t = 1, \dots, N + m - 1$ 的时滞排列矩阵

$$X^T = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \cdots & x_N \\ x_2 & x_3 & x_4 & \cdots & x_{N+1} \\ x_3 & x_4 & x_5 & \cdots & x_{N+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m & x_{m+1} & x_{m+2} & \cdots & x_{N+m-1} \end{bmatrix}$$

作经验正交展开, 得出的前几个特征向量(TEOF)即表示序列振荡的主要周期模态, 可用于识别和描述序列中蕴含的各种线性或非线性的振荡信号, 而相对应的时间系数(TPC)则表示了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, 因而可按下式重建各个振荡分量序列。

$$x_i^k = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{ij}^k E_j^k$$

当 $m \leq i \leq n - m + 1$

$$x_i^k = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^m a_{ij}^k E_j^k$$

$$\text{当 } 1 \leq i \leq m-1$$

$$x_i^k = \frac{1}{n-i+1} \sum_{j=i-n+m}^m a_{ij}^k E_j^k$$

$$\text{当 } n-m+2 \leq i \leq n$$

其中, a_{ij} 为时间系数, E_j 为特征向量。

2 奇异谱分析

2.1 趋势分析

图1给出了1919~2001年石家庄市夏季降水的变化图,从总体上来说变化趋势不太显著,主要表现为波动特征。早年持续时间长,涝年持续时间短。

分析表明,石家庄市20年代至60年代夏季降水为上升趋势,60年代中期至2001年夏季降水呈下降趋势。

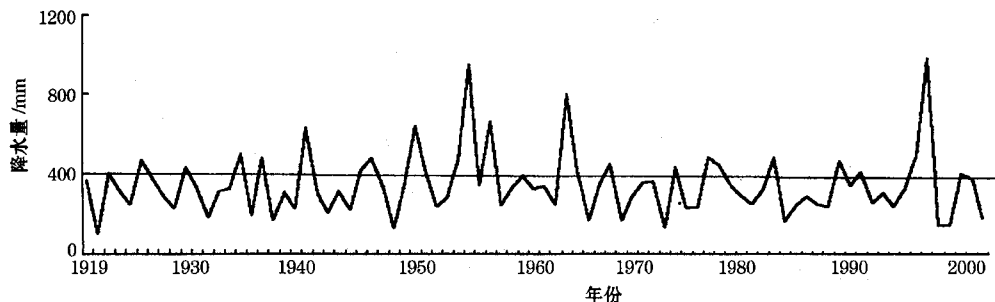


图1 石家庄市1919~2001年夏季降水序列

2.2 主周期振荡模态

计算了石家庄市夏季降水序列经过奇异谱分解 ($m=30$) 的前10个特征向量 (TEOF) 的变化特征。这10个特征向量表征了降水序列变化中最主要的周期模态,总

拟合率为75.3%。将前10个特征向量重建分量合成拟合序列并与标准化实况序列进行对比分析(图2),由图2可知,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0.81。

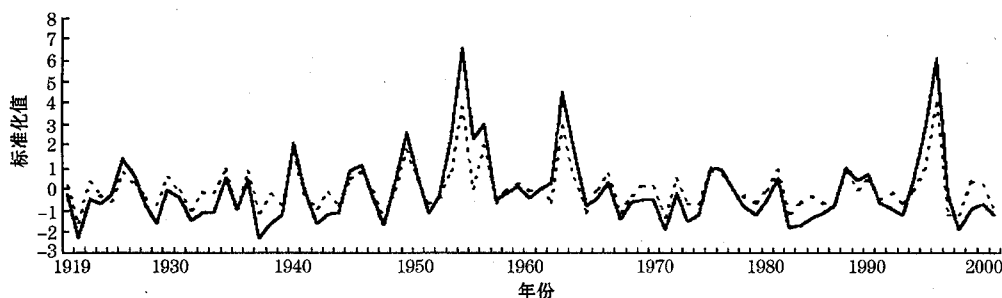


图2 降水标准化实况序列(实线)、拟合序列(虚线)变化图

图3给出了石家庄市夏季降水序列的前10个特征向量分布,这10个特征向量表示了以下几个周期模态:TEOF1和TEOF2表征了30~40年的长周期振荡模,它们占总方差的26.4%;TEOF3、TEOF4、TEOF5、TEOF6表征了5年左右的周期振荡模,占总方差的28.1%;TEOF7、TEOF8、TEOF9、TEOF10表征了10年准周期振荡模,它们占总方差的20.8%;由此可以看出5年左右的周期最为明显。

石家庄市夏季降水序列的功率谱分析结果表明,石家庄市夏季降水存在5年、10年的周期,周期表明序列主要表现为准5年、准10年周期的振荡特征,这与奇异谱分析的结果基本一致,且后者还能清晰地分析出序列30~40年左右的长周期变化。

由此可见,石家庄市夏季降水在近百年的变化中,除存在5年、10年周期振荡外,还具有30~40年左右的较长周期变化。

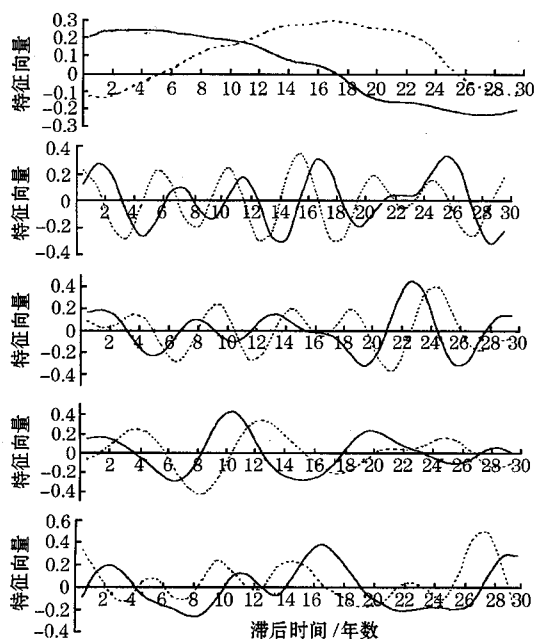


图3 石家庄市夏季降水序列的
TEOF1~TEOF10分布

(由上至下:TEOF1~2, TEOF3~4, TEOF5~6, TEOF7~8, TEOF9~10, 双数为实线, 单数为虚线)

2.3 主周期振荡模态的时间演变特征

对前10个特征向量进行序列重建, 将TEOF1和TEOF2合并重建为30~40年长周期振荡分量序列, 将TEOF3、TEOF4、TEOF5、TEOF6合并重建为准5年振荡分量序列, 将TEOF7、TEOF8、TEOF9、TEOF10合并重建为准10年振荡分量序列。

图4表示了各振荡分量序列随时间的演变特征, 由图可见:5年周期振荡分量序列从

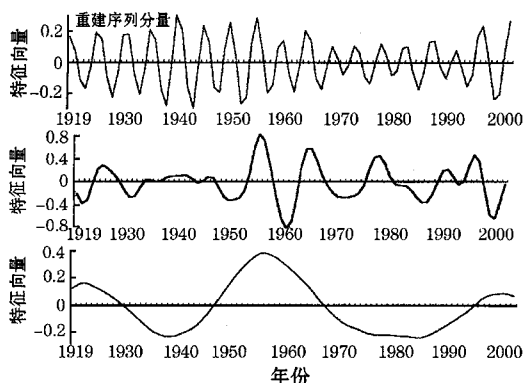


图4 石家庄市夏季降水主周期振荡模的重建序列
(自上而下为:5年振荡分量;10年振荡分量;长期变化)

20年代至40年代初期振幅逐渐增大, 从40年代初期至50年代中期振幅变化不太大, 其后到70年代振幅开始减小, 从70年代初到2001年振幅又有一个增大的过程。最大振幅出现在40年代初期, 最小振幅出现在70年代初。但总的来说振幅变化不太大, 较为稳定。

准10年周期振荡分量序列从20年代至50年代初振幅较小, 50年代以后开始增大, 到60年代初达到最大, 然后又开始减小, 90年代后期又有增大的趋势。近百年来振幅变化较大, 从50年代至80年代10年周期较为明显, 其它年代不太明显。

长周期振荡分量体现了降水序列的长期变化, 由图中看出:20年代至50年代后期振幅逐渐增大, 以后又开始减小。从这里也可以反映出石家庄市在40年代后期至60年代中期为多雨期, 而30~40年代后期和60年代后期至90年代为少雨期。90年代以后降水序列准5年和10年周期振荡分量起主要作用。

3 预测试验

由于拟合序列由不同重建分量合成而来, 而各个重建分量具有明显的周期振荡, 所以可通过自回归方法对重建分量序列分别进行预测的基础上, 进行降水趋势预测。表1给出了1998~2005年石家庄市夏季降水的预测结果, 从1998~2001年来看, 4年趋势预测正确, 效果较好。并可看出, 2003年以后石家庄市夏季降水可能进入一个偏多时期。

表1 石家庄市1998~2005年降水趋势预测结果

年份	5年	10年	30~40年	预测	实况
1998	-0.51	-0.51	0.40	-0.62	-1.20
1999	0.56	-0.74	0.38	0.20	0.40
2000	0.45	-0.78	0.35	0.02	0.20
2001	-0.42	-0.45	0.17	-0.70	-1.00
2002	0.21	0.08	0.03	0.32	-
2003	0.43	0.74	0.26	1.43	-
2004	0.39	1.25	0.26	1.90	-
2005	0.03	0.52	0.14	0.69	-

4 结论

(1)石家庄市近百年夏季降水趋势主要以波动为主, 主要振荡周期为5年、10年及

30~40年的长期变化。

(2)主要振荡振幅、位相有明显的低频振荡趋势,在不同时段里表现有强有弱,总体来看,石家庄市近百年降水序列在近期主要体现为周期较短(5年)的高频变化。

(3)在运用自回归方法对重建分量序列预测的基础上,进行降水趋势预测,从1998~2001年预测结果来看,效果较好。

(4)该方法还有待于进一步完善,为开展短期气候预测降水分县预报提供思路。

参考文献

- 1 江志红,丁裕国.奇异谱分析的广义性及其应用特色.气象学报.1998.56(6):736~745.
- 2 徐建军,朱乾根,施能.近百年东亚季风长期变化中主周期振荡的奇异谱分析.气象学报.1997.55(5):620~627.
- 3 丁裕国,俞锦华,施能.近百年全球平均气温年际变率中的QBO长期变化特征.气候学研究文集,北京:气象出版社,1998.

Application of Singular Spectrum Analysis to Summer Precipitation Prediction

You Fengchun Shi Yinshan

(Hebei Meteorological Observatory, Shijiazhuang, 050021)

Zhou Yu

(China Meteorology Administration)

Abstract

Using the singular spectrum analysis method, the features of summer precipitation nearly one hundred years in Shijiazhuang city are analyzed. The results show that the feature of tendency variation of summer precipitation is not marked, main oscillation periods are 5—6 years, about 10 years and 30—40 years respectively, and time variables (amplitude and phase) of rebuild arrays are characterized by interdecade. The prediction result of summer precipitation based on the rebuild arrays during 1998—2001 are better.

Key Words: precipitation prediction singular spectrum oscillation periods