

# 奇异交叉谱分析方法在夏季降水预报中的应用

尤凤春<sup>1</sup> 史印山<sup>1</sup> 周 煜<sup>2</sup>

(1 河北省气象台, 石家庄 050021; 2 中国气象局, 北京 100081)

**摘要** 利用奇异交叉谱(SCSA)分析方法,提取1951~2002年夏季(6~8月)河北省降水和北半球2~3月500 hPa高度场关键区相互作用的耦合周期信号及其分量序列年际和年代际时变特征。基于SCSA,重建耦合振荡分量序列(RCCS),并与自回归分析相结合,建立预测模型,对河北省夏季降水趋势进行预测试验。结果表明:2003年以后河北夏季降水将转入一个相对多雨阶段,若将此方案进一步完善,可望在业务中推广应用。

**关键词** 奇异交叉谱分析 耦合周期 回归分析 降水趋势预测

## 引言

某一区域夏季降水的多少,取决于大气环流的异常变化。有关北半球500 hPa高度场的异常变化与我国汛期降水关系的研究已有不少文献介绍<sup>[1~5]</sup>。在气候系统内部和外部相互作用的物理机制尚未完全清楚的情况下,揭示系统内外各种因子中所蕴涵的不同时间尺度自振荡及其耦合振荡信号,正是气候诊断和预测研究的重要内容。经典的交叉谱分析是对两个时间序列从频域上考察其振荡信号的依赖工具,但是,这种建立于Fourier变换理论基础上的谱分析方法有一定的局限性。它所揭示的信息较为单一,对于弱耦合信号其分辨率较低,而对于各种耦合振荡的变动特征更不能作某种定量描述。丁裕国等<sup>[6]</sup>提出的SCSA分析则以频域耦合振荡信号分析为目标,通过时频域相结合的方式,准确识别两个时间序列之间的耦合振荡信号,是一种适合研究两个时间序列耦合周期振荡行为的分析方法。余锦华等用SCSA分析方法,对Nino区SST与SOI进行了耦合振荡信号及其预测试验研究<sup>[7]</sup>,相比之下,利用SCSA分析方法,探讨夏季降水气候诊断分析及预测方法研究的工作并不多见。本文利用此方法,提取1951~2002年夏季(6~8月)河北省降水和北半球2~3月500 hPa高度场关键区相互作用的耦合周期信号及其分量序列年际和年代际的

时变特征。基于SCSA,重建耦合振荡分量序列(RCCS),并与自回归分析相结合,建立预测模型,对河北省夏季降水趋势进行预测试验,为探索降水预测方法提供了新方案。

## 1 资料和方法

河北省降水资料为1951~2002年(52年)夏季(6~8月)河北省境内146站降水量。

北半球500 hPa高度场资料为1951~2002年(52年)2~3月,每月576个网格点高度,范围是10°~85°N,0°~180~0°,分辨率为10°×5°经纬度。

对上述所选资料序列均进行标准化预处理。对北半球500 hPa高度场和河北降水的相关分析表明,夏季气候预测实质上是对旱涝年的预测,那么旱涝年的前期500 hPa高空环流特征是否存在明显的差异,是用环流预报因子预测的前提条件。因此,首先选出历史上较典型的旱涝年(降水距平百分率小于35%为旱年,大于35%为涝年)做一检验(表1)。

表1 河北省典型旱涝年

|    |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 旱年 | 1965 | 1968 | 1972 | 1983 | 1992 | 1997 | 1999 | 2002 |
| 涝年 | 1954 | 1956 | 1963 | 1973 | 1977 | 1994 | 1995 | 1996 |

为了比较旱、涝年相应的500 hPa高度场( $x$ 、 $y$ )是否存在显著差异,建立统计量( $t$ ):

作者简介:尤凤春,女,1958年生,硕士,正研高工,主要从事气象预报方法研究  
收稿日期:2003年8月6日;定稿日期:2003年9月15日

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{s_1^2 - s_2^2}} \sqrt{n} \quad (1)$$

其中:  $s_1 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ ,  $s_2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ ,  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$  为旱涝年高度场平均值,  $n$  为样本数。

如果给定信度  $1 - \alpha = 95\%$ , 当  $t > 2.2$  时, 则可以认为两者的差异显著。经过统计分析表明, 显著区域出现在南亚地区 ( $25^\circ \sim 40^\circ \text{N}$ ,  $70^\circ \sim 85^\circ \text{E}$ )。尤其在 2~3 月份, 这一区域的  $t$  值大致在 +2.5 以上, 最大为 6.6, 由此可见, 这一区域高度差异最为显著。这说明此区域的高度场变化与河北省夏季降水多少相关关系较好, 且为正相关。当河北省夏季为多雨年时, 南亚地区 500 hPa 高度场为正距平; 反之, 当河北省夏季为少雨年时, 南亚地区 500 hPa 高度场为负距平。这一区域高度场变化与河北省夏季降水的多少有很好的对应关系。因此, 可以将南亚地区定为预示河北省夏季旱涝的关键区。选取这一区域的高度场与河北省夏季降水做 SCSA 分析, 具有明显的物理意义。

SCSA 的基本原理和方法见文献[6], 其另一重要功能和描述方法就是按各显著耦合振荡分量重建原序列  $\{x_t\}$  和  $\{y_t\}$  的各分量序列, 这一描述方法对于气候诊断与预测具有重要的实用价值。重建耦合振荡分量序列 (RCCS) 表达式为:

$$x_t^{(k)} = \begin{cases} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L_i^k a_{t-i+1}^k & m \leq t \leq (n-m+1) \\ \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t L_i^k a_{t-i+1}^k & 1 \leq t \leq (m-1) \\ \frac{1}{n-t+1} \sum_{i=t-n+m}^m L_i^k a_{t-i+1}^k & (n-m+2) \leq t \leq n \end{cases} \quad (2)$$

$$y_t^{(k)} = \begin{cases} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m g_i^k b_{t-i+1}^k & m \leq t \leq (n-m+1) \\ \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t g_i^k b_{t-i+1}^k & 1 \leq t \leq (m-1) \\ \frac{1}{n-t+1} \sum_{i=t-n+m}^m g_i^k b_{t-i+1}^k & (n-m+2) \leq t \leq n \end{cases} \quad (3)$$

由前  $p$  个显著耦合振荡分量即可重建原序列, 其中:

$$\begin{aligned} x_t &\approx \tilde{x}_t = \sum_{k=1}^p x_t^{(k)} \\ y_t &\approx \tilde{y}_t = \sum_{k=1}^p y_t^{(k)} \end{aligned} \quad (4)$$

式中:  $L_i^k$  和  $g_i^k$  分别为对应于各分量序列的奇异向量,  $a_{t-i+1}^k$  和  $b_{t-i+1}^k$  分别为谐振耦合分量,  $n$  为序列长度,  $m$  为最大后延。

这种由 SCSA 而合成的序列  $\{x_t\}$  和  $\{y_t\}$  实际上是一种耦合的滤波序列, 它的实用价值在于揭示由 SCSA 识别的各耦合分量在时间域上的变动, 进而可用 RCCS 来研究时间序列的预报问题。

## 2 夏季降水和高度场相互作用的耦合周期分析

现以河北省夏季降水序列的标准化值作为  $\{Y_t\}$  序列, 2~3 月 500 hPa 高度场关键区平均高度标准化值作为  $\{X_t\}$  序列, 对不同的  $M$  (嵌套维数) 进行分析。结果表明: SCSA 识别出的有些耦合振荡显著周期稳定于某些  $M$  值域内, 周期长度变化不大, 而有些分量序列的耦合振荡周期随  $M$  的变化出现一些变动或在一分量序列中的显著周期不是唯一的, 但差别不大。

根据文献[6]中序列准周期信号的识别方法, 可以从前 8 对特征向量中分别提取 3 种显著周期振荡信号, 结果列于表 2。

表 2 SCSA 方法计算结果分析 ( $M=30$ )

|      | 第 $L$ 对特征向量 |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | $L=1$       | $L=2$ | $L=3$ | $L=4$ | $L=5$ | $L=6$ | $L=7$ | $L=8$ |
| 左右序列 | 0.95        | 0.91  | 0.95  | 0.93  | 0.94  | 0.96  | 0.95  | 0.94  |
| 相关系数 |             |       |       |       |       |       |       |       |
| 耦合振荡 | 17          | 17    | 10    | 10    | 10    | 10    | 4     | 4     |
| 周期/年 |             |       |       |       |       |       |       |       |
| 方差贡献 | 0.27        | 0.17  | 0.11  | 0.10  | 0.8   | 0.5   | 0.3   | 0.3   |

表 2 ( $M=30$  为最大后延) 给出了河北夏季降水和北半球 2~3 月 500 hPa 高度场关键区经过 SCSA 分解的前 8 对特征向量的左右耦合分量序列之间的相关系数、耦合振荡周期及方差贡献。从表 2 看出, 各左右耦合分量序列之间相关系数都在 0.90 以上, 相关很好。前 8 对特征向量表征了这两者相互作用的 3 个最主要耦合周期模态, 其中 17 年左右周期最为明显 (第 1、2 对奇异向量), 方差贡献占 44%; 其次是 10 年左右周期 (第 3、4、5、6 对奇异向量), 方差贡献占 34%; 而 4 年左右周期 (第 7、8 对奇异向量) 所占的方差最小, 仅为 6%。前 8 对特征向量所占的总方差贡献为 84%, 因此, 前 8 对特征向量所蕴涵的耦合周期信号已经能很好地表示出其主耦合周期振荡模态。经过分析可以看出, 河

北夏季降水与北半球 2~3 月份 500 hPa 南亚关键区高度场耦合振荡有一明显特点,是以年代际振荡为主,即准 17 年和准 10 年耦合周期振荡,其方差贡献占 78%。

### 3 各耦合周期振荡的时变特征分析

利用式(2)、(3),重建耦合振荡分量序列(RCCS),再由式(4)进行合成,可得到各耦合周期的合成序列。各耦合周期的重建分量合成序列随时间的演变特征,基本上代表了河北夏季降水与北半球 2~3 月份 500 hPa 关键区高度场显著耦合周期随时间的变化。

由图 1 可见,准 17 年合成序列(RCCS1+2)的耦合周期振荡从 20 世纪 50 年代到 60 年代初比较明显,60 年代以后降水周期明显减弱,表现为周期缩短,振幅减小,而高度场周期从 50 年代到 90 年代初变化不太大,可是 90 年代中期以后持续偏强;准 10 年合成序列(RCCS3+4+5+6)的耦合周期振荡从 50 年代到 80 年代中期,降水比较稳定,变化不大,以后趋向减弱,高度场周期 50 年代较弱,从 60 年代开始增强,90 年代以后又有减弱的趋势;准 4 年合成序列(RCCS7+8)的耦合周期振荡从 50 年代到 90 年代初均较弱,以后降水周期开始增强,高度场周期变化不大。

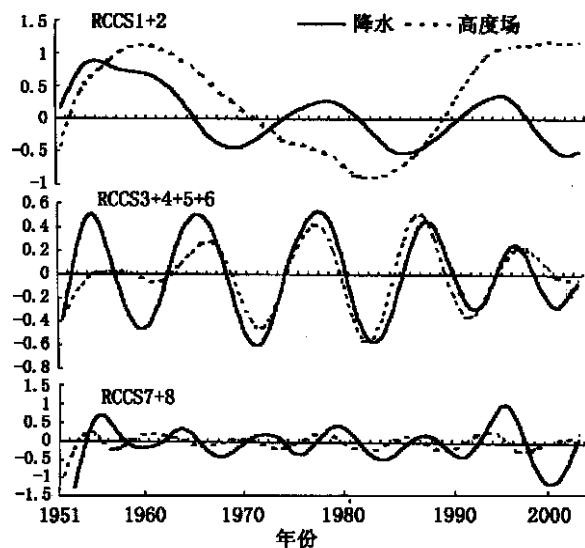


图 1 各耦合周期的时变特征

### 4 建立基于 SCSA 的预测模型及预测试验

SCSA 分析方法,既有奇异谱(SSA)和自回归分

析(AR)相结合所建立的预测模型的优点,又可克服其不足之处,从而在显著耦合关系的基础上对某一分量序列具有更高的预报技巧<sup>[6]</sup>。本文是用 SCSA 与自回归分析相结合在降水预测中的推广应用。首先,利用重建耦合振荡分量序列(RCCS)与自回归分析相结合,建立预测模型,对河北夏季降水进行预测试验。

从上面分析得出,河北夏季降水与 2~3 月份 500 hPa 高度场关键区序列之间的相关系数较高,达 0.9 以上。各自耦合序列与其相应的合成序列必然也存在较好的关系。用自回归分析,经用 FPE 准则<sup>[8]</sup>对降水各 RCCS 分量序列选取最佳阶数,结果表明,大多数 RCCS 序列以 2~4 阶模型最佳,且拟合效果较好。由于模型简单,序列本身的信号单一,准周期性强,不受噪音的干扰,因此,给模型外推预报提供了基础。

以 1951~2002 年河北夏季降水资料为样本,用河北夏季降水 RCCS1~8 重建分量序列分别建立预测模型,用自回归方法外延,实现各分量序列的外推预测,再将各分量序列进行合成,就可得到未来 4 年(2003~2006 年)河北夏季降水趋势预测(图 2)。从图 2 可以看出,河北夏季降水从 2003 年以后将逐渐转入一个相对多雨阶段。

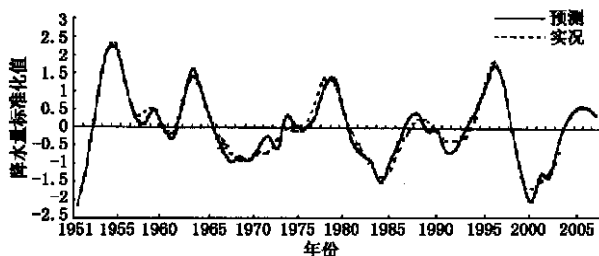


图 2 利用自回归统计模型对各重建分量的外延合成及预测

### 5 结论

(1)用 SCSA 方法得出河北夏季降水与北半球 2~3 月份 500 hPa 南亚关键区高度场相互作用的耦合周期有一明显特点,是以年代际振荡为主,即以准 17 年和准 10 年耦合周期振荡为主。

(2)各耦合周期重建分量序列随时间的变化,代表了河北夏季降水与北半球 2~3 月份 500 hPa 关键区高度场显著耦合周期随时间的变化,且各显著耦合周期的变化比较复杂。

(3)由于重建耦合振荡分量(RCCS)的合成序

列,实际上是一种耦合滤波序列,即将一些绝对值较大的正或负异常值过滤掉了,可以反映出各序列的主要变化特征。

(4)用SCSA与自回归分析相结合建立预测模型,并对河北夏季降水趋势进行预测试验。结果表明:河北夏季降水从2003年以后将逐渐转入一个相对多雨阶段。

(5)若对该方案进一步从各方面加以完善,可望在实际业务中推广应用。

## 参考文献

1 黄荣辉.引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及物理机

制的研究.大气科学,1990,14(1):108-117

2 陈菊英.中国旱涝分析与长期预报研究.北京:农业出版社,1991

3 严华生,陈兴芳,谢应齐,等.中国近百年雨量与大气环流因子的关系.热带气象学报,1998,14(3):251-257

4 据建华,邓崧,陈兴芳,等.冬春500 hPa高度场与中国夏季降雨场的场相关分析.热带气象学报,1999,15(2):154-161

5 陈晓光,朱乾根,徐祥德.河套华北地区旱涝前期的环流异常和遥相关机制.南京气象学院学报,1993,16(4):392-398

6 丁裕国,江志红,施能,等.奇异交叉谱分析及其在气候诊断中的应用.大气科学,1999,23(1):91-100

7 余锦华,丁裕国. Nino 区 SST 与 SOI 的耦合振荡信号及其预测试验.南京气象学院学报,1999,22(4):637-643

8 丁裕国,江志红.气象数据时间序列信号处理.北京:气象出版社,1998.166-167

# Application of Singular Cross-Spectrum in Analysis of Summer Precipitation in Hebei Province

You Fengchun<sup>1</sup> Shi Yinshan<sup>1</sup> Zhou Yu<sup>2</sup>

(1 Hebei Meteorological Office, Shijiazhuang 050021; 2 China Meteorological Administration, Beijing 100081)

**Abstract:** With Singular Cross-Spectrum (SCS) method, the summer precipitation over Hebei Province from 1951 to 2002 and the coupled periodic signals of interaction between key areas in the 500-hPa height field from February to March in the North Hemisphere were diagnosed and analyzed, and the annual and decadal variation characteristics of the array series were obtained. Based on SCSA and RCCS (Reconstructed Coupled Oscillation Component Series), in conjunction with regression analysis, the prediction model was established, with which the precipitation prediction of summer in Hebei Province was made and the result is satisfactory.

**Key words:** singular cross-spectrum, coupling period, regression analysis, climatic prediction