

EOF 迭代方案恢复 夏季大气环流场的试验

张邦林· 丑纪范

(兰州大学大气科学系, 兰州 730001)

孙照渤

(南京气象学院气象系, 南京 210044)

提 要

本文设计了一种恢复夏季大气环流场的 EOF (经验正交函数) 迭代方案, 并利用 1951—1984 年中国夏季降水距平场和北半球 500hPa 夏季高度距平场作恢复试验, 数值试验效果较好。此项工作表明: 利用某些长时间序列的资料通过 EOF 迭代方案恢复历史时期大气环流是可行的。

关键词: EOF 迭代方案; 夏季降水距平; 环流恢复试验。

一、引 言

大气环流变化作为气候变化的一个重要组成部分, 其观测资料序列较短, 其中地面环流不过才有大约 100 年的历史, 而高空大气环流一般仅有 40 年左右的历史资料, 所以要研究大气环流的长期变化是比较困难的。但是, 对环流条件了解的迫切性促使人们利用各种方法恢复大气环流状况。Blasing 和 Fritts 等人利用北美西部的树木年轮资料恢复了北太平洋及北美地区的地面环流^[1-3], Lamb 等人根据海洋钻探及其它资料来判断海表及地表温度, 推测出对流层下部的温度, 并由此恢复了地面气压场和大气环流场^[4-6]。国内黄嘉佑、王绍武也利用我国气温和降水场作了恢复北半球夏季环流场的试验^[7]。吴祥定、孙力、湛绪志等利用我国气温和降水场作了恢复东北半球夏季环流场的试验^[8]。但是上述恢复大气环流场的方法大多是分别对大气环流场和用于恢复大气环流的其它要素场提取主要信息, 然后再对各自的主要信息进行相关分析、建立回归方程等, 这些统计方法有诸如独立样本试验效果较差等缺点, 为了克服这些缺点, 我们设计了一种恢复大气环流场的 EOF 迭代方案, 此方案把大气环流和用于恢复大气环流的其它要素场作为一个有机联系的整体进行分析, 从而最大限度地利用它们的有效信息, 并且 EOF 迭代方案的恢复试验均是独立样本试验。

显然, 近代的气候观测资料比较完整而又准确, 所以本文用 1951—1984 年中国夏

1990 年 11 月 9 日收到, 1991 年 6 月 6 日收到修改稿。

• 现在地址: 中科院大气物理研究所, 北京 100080。

季降水距平场和北半球 500 hPa 夏季高度距平场进行恢复试验,以验证 EOF 迭代方案的可行性和有效性,当然这种恢复试验的基础是大气环流和同期的地面降水等气候状况有较好的联系,而这一点已经得到较好的验证^[7].

二、恢复气象要素场的 EOF 迭代方案

设已知较长时间序列的气象要素场 1 的资料矩阵为 $F_1 = \begin{bmatrix} F_{11} \\ N_1 \times M_1 \\ F_{21} \\ N_2 \times M_1 \end{bmatrix}$, 较短时间序

列的气象要素场 2 的资料矩阵为 F_{22} , 这里 N_2 是气象要素场 2 的时间序列长度, $(N_1 + N_2)$ 是气象要素场 1 的时间序列长度, M_1, M_2 分别为两个要素场的空间站点数. 利用 F_1 和 F_{22} 恢复前 N_1 个时刻气象要素场 2 的 EOF 迭代方案是首先把 F_1, F_{22} 按下列形式放置

$$F^{(0)} = \begin{bmatrix} F_{11} & 0 \\ N_1 \times M_1 & N_1 \times M_2 \\ F_{21} & F_{22} \\ N_2 \times M_1 & N_2 \times M_2 \end{bmatrix},$$

式中 $N = N_1 + N_2$, $M = M_1 + M_2$, 0 是零矩阵即迭代初值为零, 对矩阵 $F^{(0)}$ 进行

EOF 展开, 得 $F^{(0)}$ 的拟合场为

$$\hat{F}^{(0)} = T^{(0)} \cdot V^{(0)} = \begin{bmatrix} \hat{F}_{11}^{(0)} & \hat{F}_{12}^{(0)} \\ \hat{F}_{21}^{(0)} & \hat{F}_{22}^{(0)} \end{bmatrix}$$

式中 $K^{(0)}$ 为第零步迭代的截断阶数, 构造矩阵

$$F^{(1)} = \begin{bmatrix} F_{11} & \hat{F}_{12}^{(0)} \\ F_{21} & F_{22} \end{bmatrix},$$

对 $F^{(1)}$ 再作 EOF 展开得拟合场

$$\hat{F}^{(1)} = T^{(1)} \cdot V^{(1)} = \begin{bmatrix} \hat{F}_{11}^{(1)} & \hat{F}_{12}^{(1)} \\ \hat{F}_{21}^{(1)} & \hat{F}_{22}^{(1)} \end{bmatrix},$$

又构造矩阵

$$F^{(2)} = \begin{bmatrix} F_{11} & \hat{F}_{12}^{(1)} \\ F_{21} & F_{22} \end{bmatrix},$$

作 EOF 展开求拟合场, 如此往复直到第 n 步迭代后得

$$F^{(n)} = \begin{bmatrix} F_{11} & \hat{F}_{12}^{(n-1)} \\ F_{21} & F_{22} \end{bmatrix}$$

对 $F^{(n)}$ 进行 EOF 展开则

$$\hat{F}_{12}^{(n)} = T^{(n)} \cdot V^{(n)} = \begin{bmatrix} \hat{F}_{11}^{(n)} & \hat{F}_{12}^{(n)} \\ \hat{F}_{21}^{(n)} & \hat{F}_{22}^{(n)} \end{bmatrix}$$

当范数 $\|\hat{F}_{12}^{(n)} - \hat{F}_{12}^{(n-1)}\| < \varepsilon$ 时, $\hat{F}_{12}^{(n)}$ 即为我们所恢复的前 N_1 个时刻的气象要素场 2 所构成的矩阵。大量数值试验表明: 这种恢复气象要素场的 EOF 迭代方案是收敛的。

三、北半球 500 hPa 夏季高度距平场的恢复试验

首先我们利用 1951—1984 年共 34 年中国 160 站夏季平均降水距平场资料和 1966—1984 年共 19 年的北半球夏季平场高度距平场 288 个格点资料作恢复 1951—1965 年北半球 500 hPa 夏季高度距平场的试验, 则按 EOF 迭代方案, 降水距平场资料

矩阵 $F_1 = \begin{bmatrix} F_{11} \\ F_{21} \end{bmatrix}$ 和已知高度场资料矩阵 F_{22} 一起构成了初始矩阵,

$$F^{(0)} = \begin{bmatrix} F_{11} & 0 \\ F_{21} & F_{22} \end{bmatrix},$$

这里 $N_1=15$, $N_2=19$, $M_1=160$, $M_2=288$, 则 $N=34$, $M=448$, 对矩阵 $F^{(0)}$ 作 EOF

迭代, $K^{(n)}$ 的选取标准是使得第 n 步迭代过程中前 $K^{(n)}$ 个特征值所对应经验正交函数解释的总方差达到某一选定的精度。为了简单起见, 本文中 $K^{(n)}$ 在迭代过程中取固定值, 其数值大小是对 $F^{(0)}$ 作经验正交函数展开的解释总方差达到 80.8% 的个数, 80.8% 的个数 15。用于判断前后两次迭代过程中恢复场差异的范数可以取

$$\|\hat{F}_{12}^{(n)} - \hat{F}_{12}^{(n-1)}\| = \sqrt{\frac{1}{N_1 \times M_2 - 1} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{M_2} [\hat{F}_{12}^{(n)}(i, j) - \hat{F}_{12}^{(n-1)}(i, j)]^2}$$

而迭代精度 ε 的选取标准可以是: 对 1951—1984 年 500 hPa 季平均高度距平场求均方差

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N \times M_2 - 1} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_2} [F_2(i, j)]^2},$$

式中 F_2 为 1951—1984 年高度距平场组成的矩阵, 然后令 $\varepsilon = 10^{-3}\sigma$. 为了简单, 本文中 ε 直接取成 10^{-3} 位势什米. 一旦范数 $\|F_{12}^{(n)} - F_{12}^{(n-1)}\|$ 的形式和 $K^{(n)}$ 、 ε 给定以后, 就可以进行大气环流场的 EOF 迭代恢复. 显然利用 EOF 迭代方案进行的恢复大气环流场试验本身就是独立样本试验, 我们用实况场与恢复场距平符号相关系数 ρ_s 作为恢复效果的检验标准, 其中 $\rho_s = \frac{\rho_+ + \rho_-}{M_s}$, 式中 ρ_+ 与 ρ_- 分别表示两个距平“+”号与“-”号相同的网格点数, M_s 为考虑区域内的总格点数. 为了研究不同区域的恢复效果, 我们分别计算了北半球中低纬地区 ($10^\circ - 40^\circ \text{N}$, $10^\circ - 360^\circ \text{E}$)、高纬地区 ($50^\circ - 80^\circ \text{N}$, $10^\circ - 360^\circ \text{E}$)、东北球区域 ($10^\circ - 80^\circ \text{N}$, $10^\circ - 180^\circ \text{E}$) 和西半球区域 ($10^\circ - 80^\circ \text{N}$, $190^\circ - 360^\circ \text{E}$) 的距平符号相关系数, 表 1 是 1951—1966 年 500hPa 夏季高度距平场恢复效果检验的距平符号相关系数 ρ_s 的分布. 由表可见, 整个北半球区域 15 年的平均符号相关系数达 0.53, 因此利用 EOF 迭代方案恢复大气环流场是可行的. 综合分析表 1 得环流场恢复效果随空间的分布是高纬度地区好于低纬度, 东半球好于西半球. 产生这种现象的可能原因是我国夏季降水与同期高度距平场的相互联系在东半球中高纬度地区较好, 因此在 EOF 迭代方案中, 若 1966—1984 年高度距平场序列 F_{22} 只取东半球中高纬地区, 则 1951—1965 年东半球中高纬地区的恢复效果可能要好于 F_{22} 取整个北半球进行恢复试验时的效果.

表 1 1951—1966 年 500 hPa 高度距平恢复场与实况场在各区域的符号相关系数 ρ_s .

ρ_s 年份 区域	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	平均
北半球	0.59	0.44	0.45	0.59	0.45	0.59	0.49	0.54	0.56	0.59	0.44	0.60	0.49	0.57	0.52	0.53
高 纬	0.70	0.36	0.54	0.56	0.54	0.54	0.56	0.44	0.56	0.62	0.57	0.60	0.56	0.55	0.54	0.55
中低纬	0.48	0.53	0.35	0.61	0.36	0.65	0.41	0.64	0.57	0.56	0.31	0.60	0.42	0.59	0.50	0.51
东半球	0.61	0.45	0.44	0.50	0.49	0.58	0.56	0.59	0.51	0.60	0.46	0.57	0.50	0.67	0.47	0.54
西半球	0.51	0.44	0.46	0.67	0.41	0.60	0.41	0.49	0.61	0.58	0.42	0.63	0.49	0.57	0.57	0.52

为了说明整个北半球高度场的恢复情况, 我们给出了恢复效果相对较好的 1954 年夏季作为例子, 图 1a 是 1954 年夏季 500 hPa 季平均高度距平场图, 图 1b 是对应的距平恢复场. 比较两图可见, 除 (60°N , 20°E) 附近的一对正负区位置偏差较大外, 其余地区的主要正负距平区都得到了较好的恢复, 特别指出正负距平区的强度也得到了很好的恢复.

上面的试验是我们固定 $N_1=15$ 即恢复前 15 年大气环流场的结果, 为了研究 N_1 变化时环流场恢复效果的异同, 表 2 给出了恢复 5, 10, 15, 20, 25, 30 年北半球 500hPa 高度距平场的恢复场与实况场的平均符号相关系数 ρ_s , 由表可见, 随恢复时段 N_1 的变化, 其恢复效果较为稳定, 这从另一个方面说明了利用 EOF 迭代方案恢复较长时段的大气环流是可行的。

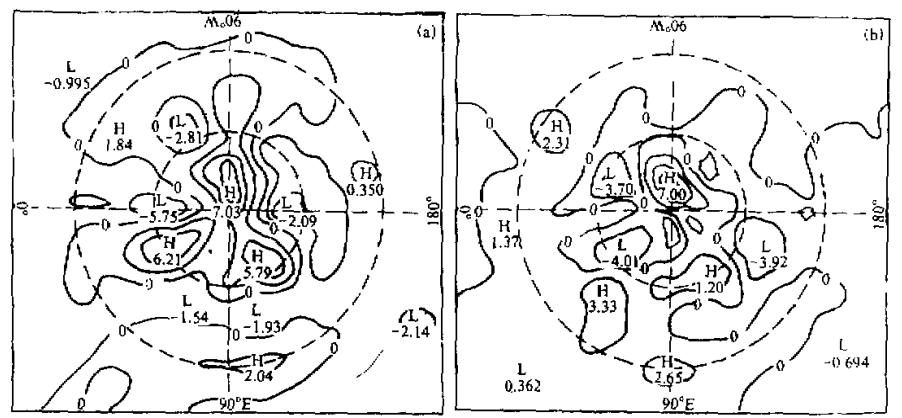


图 1 1954 年夏季高度距平实况场 (a) 和恢复场 (b)

表 2 500 hPa 夏季高度距平恢复场与实况场的 $\bar{\rho}_s$

恢复时段	51—55	51—60	51—65	51—70	51—75	51—80
$\bar{\rho}_s$	0.54	0.53	0.53	0.51	0.52	0.51

四、讨 论

本文利用 EOF 迭代方案作了北半球 500 hPa 夏季平均高度距平场的恢复试验, 试验结果表明: 用中国夏季平均降水距平场恢复大气环流场的 EOF 迭代方案是可行的。此外, 我们还用中国夏季气温距平场进行恢复北半球 500 hPa 夏季平场高度距平场的试验, 恢复效果也不差。由于利用 EOF 迭代方案恢复大气环流的试验是独立样本试验, 因此可以相信, 利用 500 年旱涝资料、树木年轮资料通过 EOF 迭代恢复大气环流场以及利用树木年轮资料等恢复历史气候场如降水、温度分布是可能的, 这方面的工作还有待我们进一步去做。

参 考 文 献

[1] Blasing, T. J., 1975, Method for analyzing climatic variations in the North Pacific sector and western North America for the last few centuries, Ph. D. Thesis, Univ. of Wisconsin, Madison.

[2] Fritts, H. C., 1971, Multivariate techniques for calibrating time series used to reconstruct anomalies in paleoclimate, International Symposium on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences, 59—64.

- [3] Fritts, H. C., G. R. Lofgren and B. A. Bordon, 1981, Reconstructing seasonal to century time scale variation in climate from tree-ring evidence, *Climate and History*, 139—161.
- [4] Lamb, H. H. and H. Woodroffe, 1970, Atmospheric circulation during the last ice age, *Quaternary Research*, 1, 27—58.
- [5] Wright, P. B. and H. H. Lamb, 1974, A second approximation to the circulation patterns prevailing at the time of the last glacial maximum, *Collected Abstracts of International (CLIMAP) Conference Held in Norwich in May 1973*.
- [6] Lamb, H. H., 1960, World climate from 8000 to 0 B. C., *Proceedings of the International Symposium*.
- [7] 黄嘉佑, 王绍武, 1984, 利用我国气温降水场作恢复东半球夏季大气环流场的试验, *大气科学*, 8, 252—259.
- [8] 吴祥定, 孙力, 洪绪志, 1989, 利用树木年轮资料重建西藏中部过去气候的初步尝试, *地理学报*, 44, 334—342.

Reconstruction of the Summer Atmospheric Circulation Based on EOF Iteration Scheme

Zhang Banglin, Chou Jifan

(Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730001)

Sun Zhaobo

(Department of Meteorology, Nanjing Meteorological Institute, Nanjing 210044)

Abstract

In this paper, a new method of reconstructing the summer atmospheric circulation is given based on the empirical orthogonal function (EOF) iteration scheme. By the method some experiments are done by authors using summer 500 hPa height anomalies in the Northern Hemisphere and summer rainfall departures for 160 stations in China during the 1954—1984 period. The experimental results show that the new method can be used to reconstruct the general circulation in paleoclimate.

Key words: EOF iteration scheme; Summer rainfall; Reconstruction of the summer atmospheric circulation.