

沈桂凤, 吴洪宝, 韦莹莹, 等. 热带对流活动及其与 ENSO 关系的非线性特征[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(2): 183-191.

热带对流活动及其与 ENSO 关系的非线性特征

沈桂凤¹, 吴洪宝¹, 韦莹莹¹, 刘学华²

(1. 南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044; 2. 金华市气象局, 浙江 金华 321000)

摘要: 用非线性主成分分析方法和 NCAR/NCEP 长波辐射资料(OLR), 研究了热带对流异常及其与 ENSO 的关系。结果表明热带对流活动在时空上呈现出明显的非线性特征, 它是热带对流活动对 ENSO 的非线性响应; 热带对流异常的强度在 El Nino 时期比在 La Nina 时期强, 且异常的中心位置偏东, 表现出明显的时空上的不对称性。

关键词: 非线性主成分分析; 热带对流; OLR; ENSO

中图分类号: P461 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2008)02-0183-09

Nonlinear Characteristics of Relationship between Convective Activity over Tropics and ENSO

SHEN Gui-feng¹, WU Hong-bao¹, WEI Ying-ying¹, LIU Xue-hua²

(1. School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China; 2. Jinhua Meteorological Bureau, Jinhua 321000, China)

Abstract: Based on the NCEP/NCAR reanalysis data of OLR, Nonlinear Principal Component Analysis (NLPCA) are used to research the convective activity over the tropics and its relationship with ENSO. The results show that more nonlinear characteristics of time-space structure are found by using NLPCA than by linear analysis techniques. Such nonlinear characteristics may reflect the nonlinear relationship between tropical convective activities and ENSO. The intensity of OLR anomalies is stronger in the average El Nino period than in the average La Nina period. And the center of OLR anomalies in the average El Nino period tends to lie at a position east of that in the average La Nina period, thus showing the spatial asymmetry of OLR in the average warm and cold phases of ENSO.

Key words: nonlinear principal component analysis; tropical convective; OLR; ENSO

0 引言

对流活动是热带地区的主要天气过程之一, 作为热带对流指示量的射出长波辐射(OLR), 它可以反映对流活动的强弱, 尤其在常规资料相对缺乏的热带地区, 可以反映海温以及海气相互作用的大量信息。OLR 的明显异常主要是由云高和云量变化造成的, 这种变化反映了深对流活动, 因此在热带地区 OLR 低、高值区代表大气中大规模上升、下沉区, 在天气气候诊断分析和检测工作中有着重要的意义^[1-5]。

黄荣辉等^[6-7]分别从观测、理论数值模拟分析了热带西太平洋暖池的热状况及其上空的对流活动对

东亚夏季气候异常的影响, 并提出暖池上空的对流活动会影响我国江淮流域及黄河流域的降水: 暖池上空的对流活动增强时, 我国夏季江淮流域夏季降水偏少, 黄河流域降水偏多; 暖池上空的对流活动减弱时, 江淮流域降水偏多, 黄河流域降水偏少, 呈现一对一的线性关系。郭艳君等^[8]通过奇异值分解方法研究了热带太平洋对流与海温的相互关系, 发现两者之间高度相关, 在赤道中、东太平洋和赤道西太平洋上存在类似偶极子型的两个符号相反的显著相关区, 并且在 ENSO 期间这两个区域对流活动趋势完全相反。上述工作的出发点是基于对象的线性特征。然而, 热带对流异常及其对 ENSO 的响应可能不完全是线性的, 这是本文研究工作的着眼点。

收稿日期: 2005-12-23; 改回日期: 2007-06-19

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划项目(2001BA607B)

作者简介: 沈桂凤(1981—), 女, 江苏靖江人, 硕士, 研究方向为短期气候预测, shenguifeng@nuist.edu.cn.

非线性主成分(Nonlinear Principal Component Analysis; NLPCA)是揭示非线性特征的一种新方法。Monahan^[9]提出一个用 5 层前反馈神经网络提取多变量资料集的主要非线性特征的方法,并且用 Lorenz 系统数值积分得到的 3 变量资料集为例子做了 NLPCA 应用试验。之后, Monahan^[10] 又用 NLPCA 分析了热带印度洋—太平洋 SST 和 SLP 的非线性结构。Aiming 等^[11] 将 NLPCA 应用于加拿大地面气温,发现加拿大地面气温有非线性的季节依赖性和年代际依赖性。随后 Aiming 等^[12] 又研究了北美冬季气候变率的非线性模态。以上工作取得了很好的结果。本文拟采用基于神经网络的非线性主成分分析方法研究热带对流活动及其与 ENSO 的非线性关系。

1 资料与方法

1.1 资料

采用 NCEP/NCAR 的 OLR 月平均资料,分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 经纬度网格,时间为 1979 年 1 月—2004 年 12 月,区域为热带印度洋—太平洋($30^{\circ}\text{E} \sim 60^{\circ}\text{W}$, $30^{\circ}\text{S} \sim 30^{\circ}\text{N}$)。

1.2 分析方法

按照文献[9-13]的研究方法,先对 OLR 月平均标准化距平场做 EOF 分析,再选取 EOF 分析的前 6 个特征向量的时间系数序列作为非线性主成分分析方法中神经网络的输入,计算出资料的非线性主成分。下面简要介绍非线性主成分分析方法。

特征提取问题的一般提法是,用向量序列 $X(t_n)$, $n=1, \dots, N$ 表示给定的气候资料集, $X(t_n)$ 是 m 维的,记为 $X(t_n) \in \mathbf{R}^m$ 。它的分量记为 $x_i(t_n)$, $i=1, \dots, m$, i 是空间站点的标号,设资料已标准化。通常采用 $X(t_n) = f\{S_f[X(t_n)]\} + \varepsilon_n = \mathbf{X}(t_n) + \varepsilon_n$ 这个模式来描述资料集。其中 S_f 是从 m 维空间到 K

维空间的映射,即压缩变换 $S_f: \mathbf{R}^m \rightarrow \mathbf{R}^K$, $1 \leq K \leq m$; f 是从 K 维空间到 m 维空间的变换,即展开变换 $f: \mathbf{R}^K \rightarrow \mathbf{R}^m$; ε_n 是剩余误差向量; $\mathbf{X}(t_n)$ 是 $X(t_n)$ 的近似表示。然后选取一个标准,使得剩余平方和 $J = \langle \|X - \mathbf{X}\|^2 \rangle$ 达最小。

非线性主成分分析与传统线性主成分分析 (PCA) 方法解决的问题是相同的,都是从多变量资料集或场的序列中提取主要特征的问题,差别在于传统 PCA 中压缩变换 S_f 与展开变换 f 都是线性的,在 NLPCA 中上述两个变换是非线性的。

采用一个 5 层前反馈神经网络能够实现 NLPCA 中的两个非线性变换。如图 1 所示,一系列平行的层组成了前反馈神经网络,每一层包含若干处理单元,也称神经元或节点。第 1 层为输入层,第 5 层为输出层,用于 NLPCA 时,都是 m 个神经元。第 2 和第 4 层分别称为编码层和解码层,各包含 L 个神经元。第 3 层称为瓶颈层,只包含 1 个神经元,表示该网络用来提取 1 维非线性主成分。向量 $X(t_n)$ 的 m 维分量分别提供给输入层 m 个神经元,输出层输出的是 $X(t_n)$ 的一维非线性主成分近似 $\mathbf{X}(t_n)$ 。在相邻的两层,第 i 层每个神经元的输出作为第 $i+1$ 层每个神经元的输入。图 1 表示用于提取 1 维非线性主成分的 5 层神经网络,瓶颈层和输出层的传递函数是线性的,第 2 和第 4 层的传递函数是非线性的,本文用的是双曲正切传递函数。

用神经网络实现 NLPCA,在尽量使网络误差达最小的同时应使网络的推广能力达最大,不可推广的网络称为过适应的(Overfitting)。如果网络被训练成过适应的,则 $X(t_n)$ 无限接近 $\mathbf{X}(t_n)$, $\mathbf{X}(t_n)$ 包含了 $X(t_n)$ 中任意小尺度的成分和噪声,就背离了主成分近似的初衷。为了防止过适应,预留 20% 的数据用来做检验,这部分数据不参加网络训练。在训练进程中,检验资料子集上的误差。当在检验资料子集上的误差开始增长到比训练子集的误差大

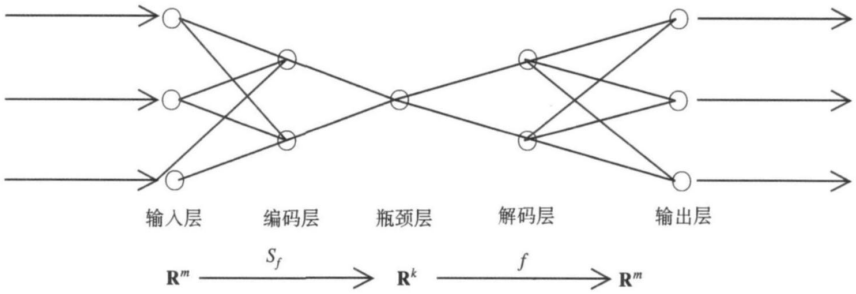


图 1 用于执行 NLPCA 的 5 层前反馈神经网络
Fig. 1 Schematic diagram for a five-layer back propagation neural network used to perform NLPCA

10% (是可调大小的) 时, 就停止训练。

2 OLR 的传统 EOF 分析

对 OLR 月平均标准化资料做 EOF 分析, 反映了 OLR 的年际变化。

OLR 第 1 个特征向量的空间分布(图 2a) 在中东太平洋是一个负中心, 在印度尼西亚、菲律宾附近是正中心, 它反映 El Nino 成熟位相 OLR 距平的典型分布。El Nino 时期热带东太平洋地区海温升高, 对流活动加强, 因此, OLR 在热带中东太平洋区域形成一个负距平中心, 而在印度尼西亚、菲律宾附近对流相对减弱, 是 OLR 的正距平中心。EOF1 对整个场方差贡献率是 19.6%, EOF1 的时间系数(图 3) 也很好反映了 ENSO 的时间演变。EOF2(图 2b) 方差贡献率为 11.8%, 正中心位于 120°W 赤道附近, 绝对值较大的负中心位于赤道以北 150°E~

180°地区, 它反映这两个区域 OLR 负相关的分布型。与 EOF1 比较, EOF2 东西向反相关区域偏东, 基本反映了热带太平洋区域东西方向 OLR 的反相关分布。

当分析的对象是距平或标准化距平时, EOF 分析的时间系数就是主成分。但是传统的主成分(PC) 相互间是线性独立的, 它们在表示原距平场中的作用也是线性和相互独立的, 每个 EOF 只能表示一个反对称的驻波振荡。而实际的 OLR 距平场对 ENSO 的响应不是完全反对称的, 体现在不同主成分之间存在非线性的相关。所以有必要用 NLPCA 研究 OLR 振荡的非线性特征及其对 ENSO 的非线性响应。选取前 6 个 PC 作为神经网络的输入, 做一维非线性主成分分析, 编码层、解码层的节点数均为 3, 瓶颈层的节点数为 1。

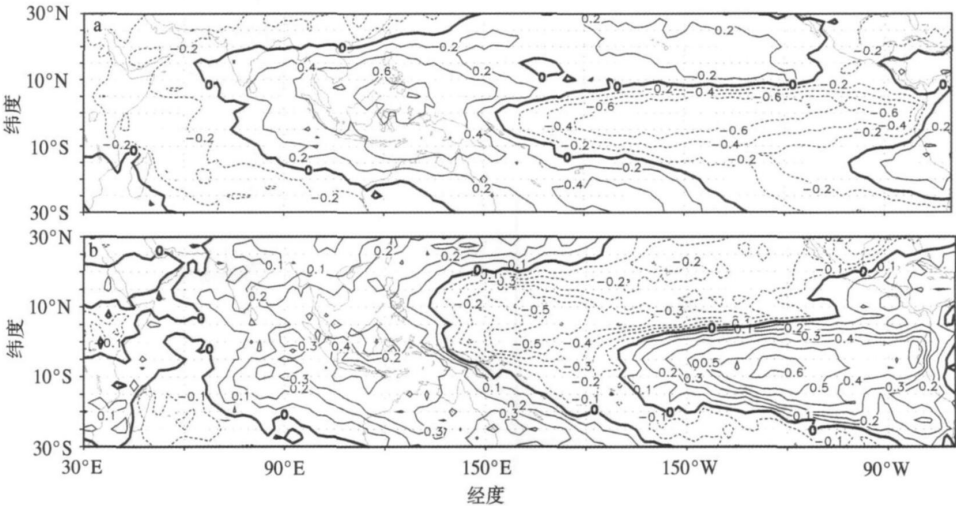


图 2 热带印度洋—太平洋 OLR 标准化距平场的 EOF1(a)、EOF2(b)

Fig. 2 The first two EOF patterns of OLR normalized anomalies over the tropical Indo-Pacific Ocean

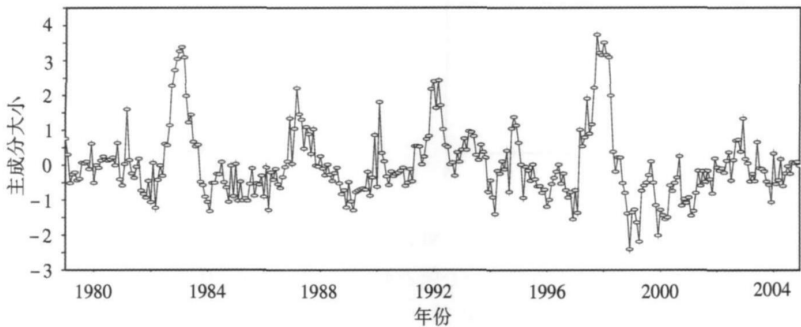


图 3 热带印度洋—太平洋 OLR 标准化距平场 EOF1 的时间系数序列

Fig. 3 The first EOF pattern's time series of OLR normalized anomalies over the tropical Indo-Pacific Ocean

3 非线性主成分分析结果

3.1 OLR 的非线性主成分分析

作为网络输入层的 6 个 PC 解释了原 OLR 距平场方差的 56%, 网络训练完成后, 解释 6 维 EOF 空间方差的 59%。因此, 解释了原方差的 33%, 相当于前 2 个传统 PC 解释的方差百分比为 31.4%。网络输出层的 $\mathbf{X}(t_n)$ 是 6 维的, $\mathbf{X}(t_n)$ 的 6 个分量 $\hat{x}_1(t_n), \hat{x}_2(t_n), \dots, \hat{x}_6(t_n)$ 分别是对 $\alpha_1(t_n), \alpha_2(t_n), \dots, \alpha_6(t_n)$ 的一维 NLPCA 近似。

图 4 是第 1 个 NLPCA 模态近似投影到 OLR 的 EOF 张开的子空间 $(\alpha_1, \alpha_2), (\alpha_2, \alpha_3), (\alpha_1, \alpha_3)$ 和 $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ 上的散布图象, (α_1, α_2) 子空间图是把 $\alpha_1(t_n), \alpha_2(t_n)$ 和 $\hat{x}_1(t_n), \hat{x}_2(t_n), t_n = 1 \sim 312$ 表示在以 α_1 为横轴 α_2 为纵轴的图上, 由 $\alpha_1(t_n), \alpha_2(t_n)$ 确定的点用实心点表示, $\hat{x}_1(t_n), \hat{x}_2(t_n)$ 确定的点用空心圆点表示。 $\hat{x}_1(t_n), \hat{x}_2(t_n)$ 的样本点在该图上聚集为一条曲线, 在横轴(PC1) 零附近, 即 $\hat{x}_1(t_n)$ 位于零附近时, $\hat{x}_2(t_n)$ 也在零附近; 而当 $\hat{x}_1(t_n)$ 取较大的正值和绝对值较大的负值时, $\hat{x}_2(t_n)$ 都为绝对值较大的负值。这反映出 NLPCA 的分析对象中 α_1 和 α_2 之间

的主要非线性关系是: 当 $\alpha_1(t_n)$ 取强的正负值时, 对应的 $\alpha_2(t_n)$ 都倾向于取强的负值。 α_1 和 α_2 之间的这种非线性关系结合 EOF1、EOF2 空间型就能够反映 OLR 距平时间空间变率的不对称性。比如在 EOF1 图上沿赤道附近 $180^\circ \sim 90^\circ \text{W}$ 之间是负中心, 可见, $\alpha_1(t_n)$ 的强正负值分别描述 El Nino 和 La Nina 事件时的 OLR 距平分布。第 1 和 2 特征成分对 OLR 场的近似表示为 $\alpha_1(t_n)$ 乘 EOF1 加 $\alpha_2(t_n)$ 乘 EOF2, 考虑 α_1 和 α_2 的上述非线性关系, $\alpha_1(t_n)$ 的强正负值对应的 $\alpha_2(t_n)$ 都倾向于取强负值。则这两个成分的合成表示出的特征是: 在 El Nino 时段热带东太平洋 OLR 的负距平绝对值大于 La Nina 时段该地区的 OLR 正距平值, El Nino 时段距平中心的位置比 La Nina 时段距平中心位置偏东。 ENSO 振荡中 OLR 距平在强度和地理位置上的这种不对称性正是通过 α_1 和 α_2 之间的非线性关系反映出来的。并且 OLR 距平伴随 ENSO 振荡表现出的不对称与 ENSO 中 SSTA 振荡的不对称相一致, Monahan^[8] 对热带 SSTA 做 NLPCA 也得出, El Nino 时段 SSTA 正中心强度比 La Nina 时段负中心强度强, 位置偏东。

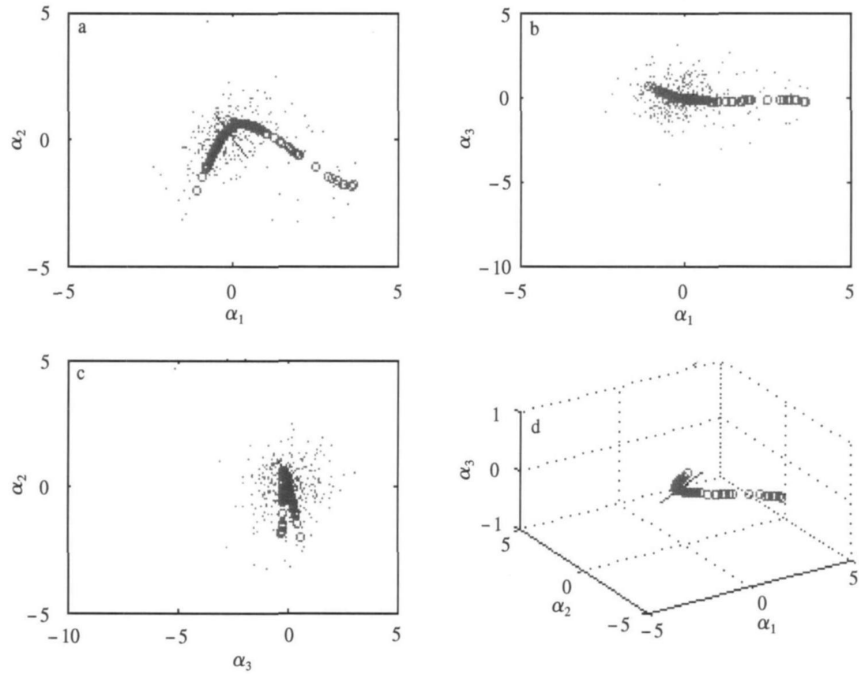


图 4 OLR 距平场的第 1 个 NLPCA 模态近似在平面的散布图象
(PCA 近似用虚线表示, NLPCA 近似用空心圆表示, 实心点表示输入的 PC 在 3 个平面的映射)
a. (α_1, α_2) ; b. (α_1, α_3) ; c. (α_3, α_2) ; d. 第 1 个 NLPCA 模态近似在 3D 空间的立体图象

Fig. 4 Scatter plots of OLR anomalies' first NLPCA mode approximation(open circles) projected onto the planes spanned by (a) (α_1, α_2) , (b) (α_1, α_3) , (c) (α_3, α_2) , and (d) stereo graph of the first NLPCA approximation in the 3D space spanned by $\alpha_1, \alpha_2,$ and α_3

3.2 OLR 与 ENSO 的非线性关系

将瓶颈层的神经元输出序列标准化后即得 NLPCA 第一模态的标准化时间序列 $\beta_1(t_n)$, $\beta_1(t_n)$ 就是 1 维非线性主成分时间序列(NLPC1)。结合 $\beta_1(t_n)$ 与 Nino3、4 指数序列(图 5), 两根曲线的变化趋势非常相似, 两个序列之间的相关系数达到 0.73, 当位相一致时, ENSO 的冷暖事件发展到最强。EOF1 的时间系数序列即传统 PC1 与 Nino3、4 序列的相关系数为 0.69。可见, OLR 距平场的 NLPC1 比它的 PC1 更能反映 OLR 与 ENSO 的密切关系, NLPCA 比传统 PCA 更能清楚地描述 OLR 场的主要信息。

传统一维 PCA 近似 $X(t_n) = [V_1 \cdot X(t_n)] V_1$, 即 $\alpha_1(t_n)$ 乘 EOF1, 它描述一个驻波振荡的时间演变, 这个振荡有固定的空间结构, 振幅随时间变化。当主成分 $\alpha_1(t_n)$ 的值变化, 则表示出的距平强度会

改变, 但空间结构不变, 也就是说分析对象的空间分布完全与 $\alpha_1(t_n)$ 呈线性关系。但是, 一维 NLPCA 能描述更复杂的低维结构。图 6 是 NLPC1 达最大值和最小值时, 由神经网络输出结果重建的 OLR 距平场。图 6a 为 $\beta_1(t_n)$ 取最大值时 OLR 的距平场, 负距平中心位于赤道以南 110~ 140°W 地区, 正中心在赤道以北 150°E~ 180°地区, 对应着强 El Niño 事件。图 6b 为 $\beta_1(t_n)$ 取最小值时 OLR 的距平场, 正距平中心在赤道 135~ 150°W 附近, 负距平中心在赤道 120°E 附近, 对应着 La Niña 事件。图 6a 中 OLR 负距平中心相对于图 6b 正距平中心位置偏东、强度偏强, 在位置与强度上呈现了明显的非对称,。说明 NLPCA 中, 如果改变非线性主成分 $\beta_1(t_n)$ 的值, OLR 距平的强度和结构都将改变, 反映了原场的非线性相关结构特征。下面取非线性主成分的一系列代表性值重建 OLR 距平场, 以此反映

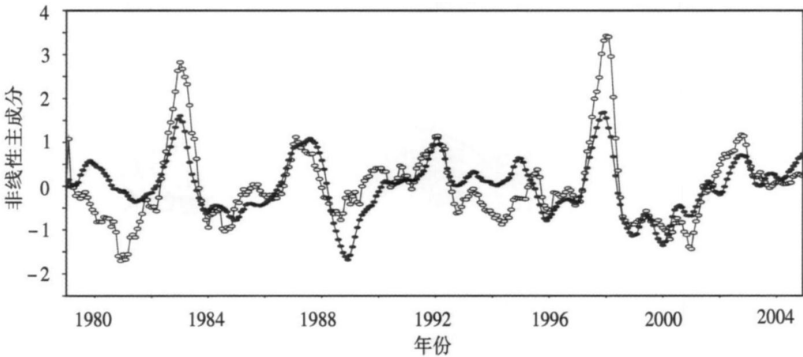


图 5 OLR 的 NLPCA 第 1 模态的 $\beta_1(t_n)$ 时间曲线(淡色线) 和 Nino3、4 指数曲线(深色线)
Fig. 5 The plot of $\beta_1(t_n)$ curve(light line) and the Nino3,4 index(fuscous line)

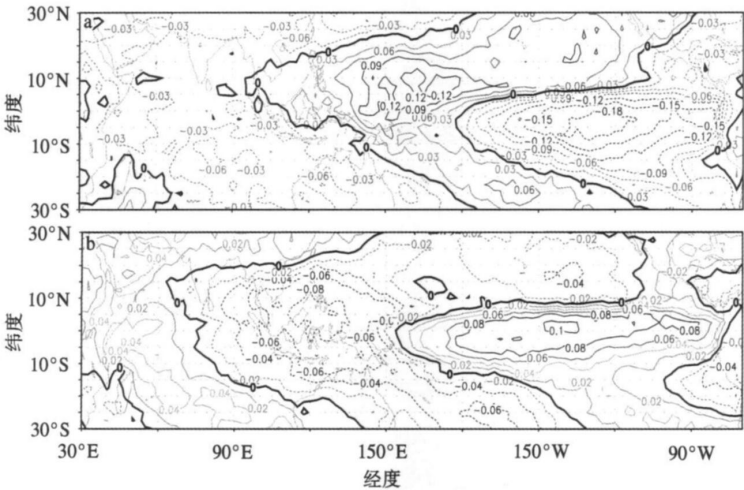


图 6 $\beta_1(t_n)$ 取最大(a)、最小值(b) 时神经网络输出结果重建的 OLR 距平场
Fig. 6 OLR anomalies maps reconstructed using the output of the neural network when $\beta_1(t_n)$ takes (a) the maximum and (b) minimum values

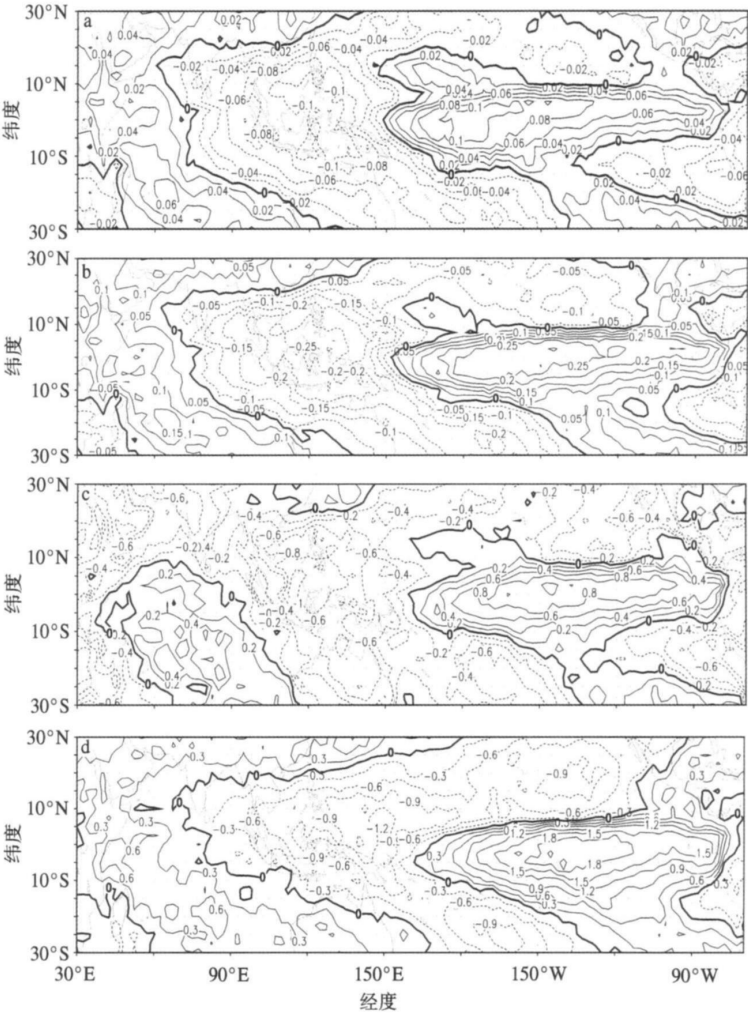
ENSO 循环的不同位相下 OLR 距平的典型分布。

β_1 分别取 $-3.5, -1.5, -0.75, -0.25, 0.25, 0.75, 1.5, 3.5$, 网络输出 8 个对应的 X , X 是原来 6 个 PC 在一维非线性主成分的 8 个代表性位相下的近似, 将 X 结合原先的 6 个 EOF, 返回生成 8 个位相下 OLR 距平的空间分布(图 7)。图 7a~ 7h 分别对应 β_1 取 $-3.5, -1.5, -0.75, -0.25, 0.25, 0.75, 1.5, 3.5$ 8 个代表性值时重建的空间分布图。对比 ENSO 的物理模型可知, $\beta_1 = -3.5$ 相应于 ENSO 最强的冷位相, OLR 最强的正距平中心在赤道 180° 地区附近。 $\beta_1 = 3.5$ 相应于 ENSO 最强的暖位相, OLR 负距平中心在赤道 $120^\circ \sim 150^\circ \text{W}$ 地区附近。可见, 强 El Nino 时期 OLR 负距平中心位置比强 La Nina 时期 OLR 正距平中心偏东, 强度偏强。图 7 对应的 8 个空间分布反映了 ENSO 循环中 OLR 标准化距平的平均演变。NLPCA 第一个模态演变的这种非线性特征主要来源于它混合了传统 PCA 模态 1 和 2 的贡献(这两个模态贡献最大)。由 EOF1(图 2a) 知 α_1 的强正负值分别对应 El Nino

和 La Nina 时期, EOF2(图 2b) 最强正中心在 120°W 附近, 而 NLPCA 反映的 α_1 和 α_2 的非线性关系是 α_1 强正负值都倾向与 α_2 强负值相配合。因此无论是 El Nino 还是 La Nina 事件中, α_1 、EOF2 迭加到 α_1 、EOF1 上的贡献都是在 120°W 附近的东太平洋叠加上负距平, 这样使得在 ENSO 的暖事件中 OLR 在中东太平洋的负距平中心位置偏东, 在强度上增强; 而使冷事件时期 OLR 的正距平中心位置偏西, 在强度上减弱。

4 OLR 合成场的不对称性

研究一个场振荡的不对称性, 另一个方法是使用振荡在二个不同位相下的合成场, 在这里可以用来辅助说明 NLPCA 的结果。由参考文献[10], 考虑一个空间场 $Y(t_n)$, $n = 1, \dots, N$, Y 是 m 维向量。根据一个标量时间序列 $x(t_n)$ 的取值, $x(t_n)$ 要求是零均值的, 即 $\langle x \rangle = 0$, 按以下方式做 $Y(t_n)$ 的合成。讨论 Y 场对 ENSO 振荡的对称或反对称性响应, 本文 $Y(t_n)$ 采用 OLR 距平场, 取 Nino 3、4 指数为 $x(t_n)$



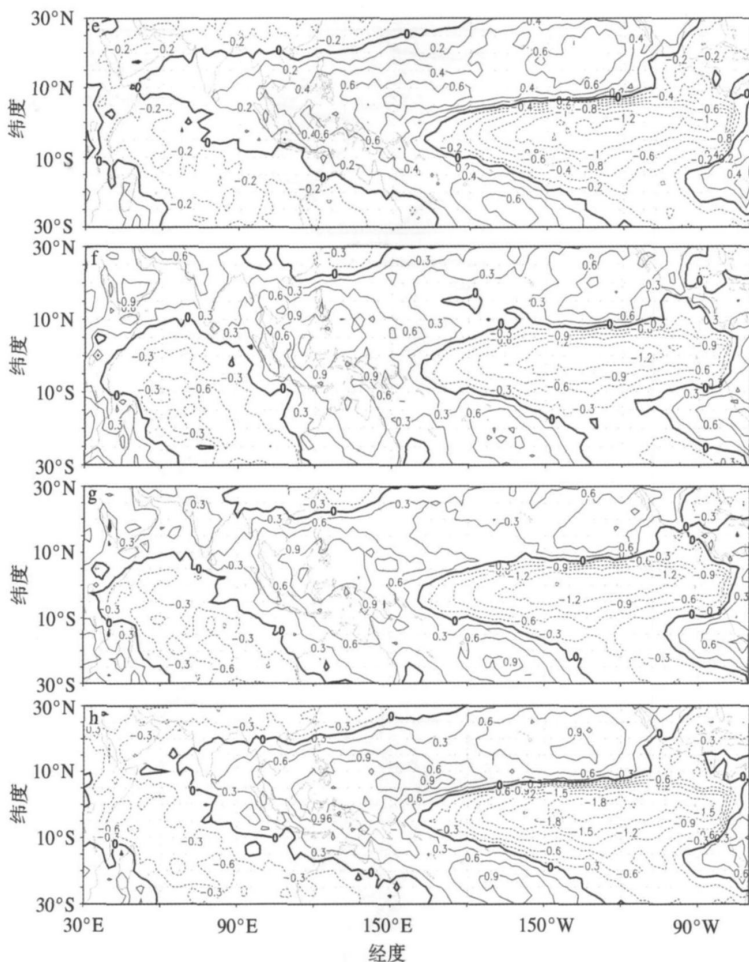


图 7 β_1 分别取所给不同值时重建的 OLR 空间分布

a. - 3.5; b. - 1.5; c. - 0.75; d. - 0.25; e. 0.25; f. 0.75; g. 1.5; h. 3.5

Fig. 7 Spatial patterns reconstructed under conditions of various value of β_1

a. - 3.5; b. - 1.5; c. - 0.75; d. - 0.25; e. 0.25; f. 0.75; g. 1.5; h. 3.5

序列, 在所有时间 $t_n, n = 1, \dots, N$ 中选出两个时间子集, $t_n^{(+)}$ 和 $t_n^{(-)}$, 定义为

$$\{t_n^{(+)}\} = \{t_n : x(t_n) > c\},$$

$$\{t_n^{(-)}\} = \{t_n : x(t_n) < -c\}.$$

根据 El Nino 的定义^[14-15], 取 $c = 0.4^\circ\text{C}$, $t_n^{(+)}$ 和 $t_n^{(-)}$ 分别代表 El Nino 和 La Nina 时间子集。 $Y(t_n)$ 场的正合成场和负合成场分别记为 $Y^{(+)}$ 和 $Y^{(-)}$, 定义为在时间子集 $\{t_n^{(+)}\}$ 和 $\{t_n^{(-)}\}$ 上的平均^[6-7]。

由此做出 El Nino 时段的 OLR 合成(图 8a, 记为 $Y^{(+)}$) 和 La Nina 时段的 OLR 合成(图 8b, 记为 $Y^{(-)}$), 从图上可明显看出 ENSO 冷暖事件 OLR 合成场的不对称, 暖事件 OLR 负距平中心位置在 $175^\circ \sim 145^\circ\text{W}$ 附近, 冷事件 OLR 的正距平中心在 $175^\circ\text{E} \sim 170^\circ\text{W}$ 附近, 暖事件负中心比冷事件正中心位置偏东, 强度偏强。NLPCA 反映的是场非对称变化的特征。根据参考文献^[6], $Y^{(+)} - Y^{(-)}$ 和 $Y^{(+)} +$

$Y^{(-)}$ 可以反映 Y 场(OLR 距平场) 振荡对 $x(t_n)$ (ENSO) 的线性和非线性响应, 分别表示 OLR 场的反对称成分(图 8c) 和对称成分(图 8d)。OLR 的反对称成分图与 EOF1(图 2a) 很相似, 对称成分与 EOF2(图 2b) 也很相似。可见, 第 1 个 PC 模态可以用来刻画 ENSO 事件的平均演变, 是 El Nino 和 La Nina 事件之间的反对称成分, 第 2 个 PC 模态是 ENSO 事件 OLR 场的对称成分, 结合 OLR 场的反对称成分和对称成分, NLPCA 第 1 个模态则可以用来刻画 ENSO 冷暖事件 OLR 场的空间不对称。

5 结论

(1) 对 OLR 场的 EOF 研究发现, EOF1 空间型在印度尼西亚、菲律宾附近是正中心, 在热带中东太平洋是负中心, 呈东西向的反相关, 基本反映了热带

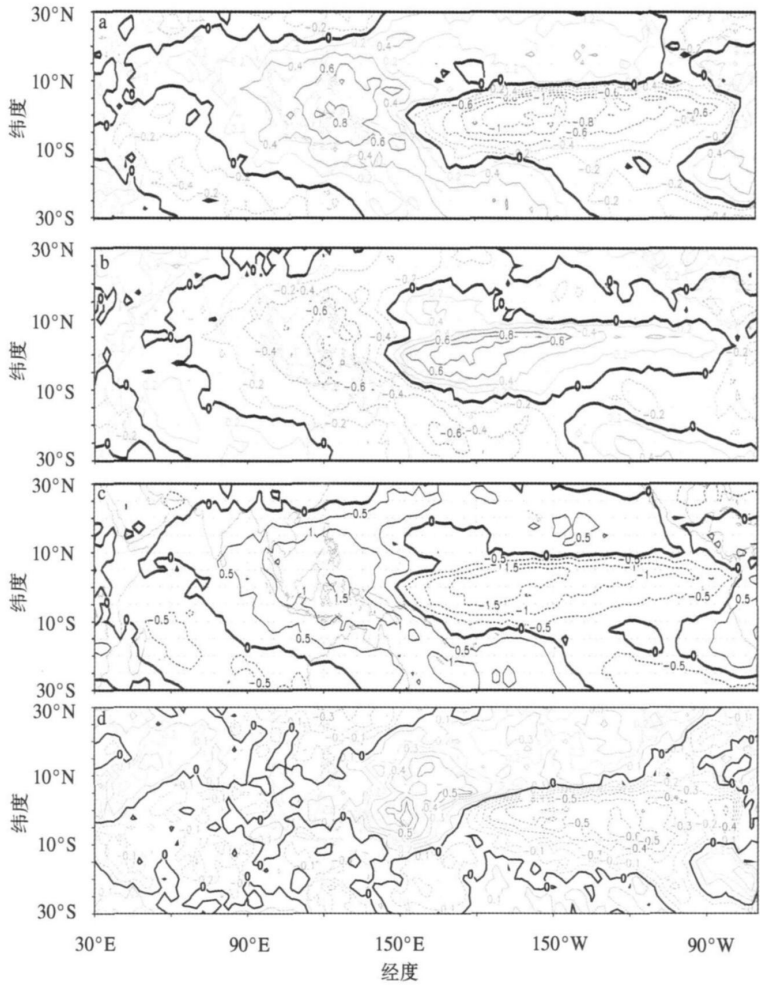


图 8 El Nino(a) 和 La Nina(b) 事件 OLR 的合成, 以及它们的反对称成分(c) 和对称成分(d)
Fig.8 OLR composite maps for (a) El Nino and (b) La Nina events, and (c) the antisymmetric part and (d) symmetric part of OLR

对流对海洋中冷暖事件响应的空间分布型。传统 PCA 描述的是驻波振荡, 刻画的是线性空间结构, 可以线性地描述热带对流基本时空分布特征及其与 ENSO 的线性关系, 能够反映 OLR 距平场在 ENSO 振荡演变过程中的线性特征, 但无法反映更低维的非线性结构。

(2) 对 OLR 场应用 NLPCA 方法研究发现, NLPC 取最大、最小值时的 OLR 距平场并不是完全相反的空间分布, 不仅距平中心的强度发生了改变, 其空间结构也有所不同。当 NLPC 取最大值时, OLR 距平场负中心位于赤道以南 110~140°W 地区, 对应着强 El Nino 事件; NLPC 取最小值时, 正距平中心在 135~150°W 赤道附近, 对应着强 La Nina 事件。并且, NLPC 取最大值时的 OLR 负距平中心相对于取最小值时的正距平中心位置偏东、强度偏强。

(3) EOF 能基本反映 ENSO 关系, 传统 $\beta > 0$ 与 $\beta < 0$ 时分别对应着 El Nino 和 La Nina 时期 OLR 距平场分布的基本关系, 但是 EOF 分析只能反映线性振荡。而 NLPCA 中用神经网络提取的 NLPC 取最大、最小值时, OLR 距平场呈现的不是完全反对称的关系。非线性主成分 α 取不同的值可以给出整个 ENSO 循环所对应的 OLR 距平场分布的循环, 并且这种循环不是完全对称的。

(4) El Nino 和 La Nina 事件 OLR 的距平合成场反映了两个位相下的空间非对称性, 暖事件 OLR 的负距平中心位置在 175~145°W, 冷事件正距平中心在 175°E~170°W, 暖事件期间 OLR 的负中心位置比冷事件正中心位置偏东, 强度偏强, 这与非线性主成分分析的结果定性上是一致的。因此 NLPCA 可以用来揭示 ENSO 冷暖事件之间 OLR 场的空间不对称, 反映热带对流活动对 ENSO 响应的非线性

特征。

参考文献:

[1] 蒋尚城. 气象卫星对长江流域旱涝的诊断研究[J]. 科学通报, 1992, 37(19): 1779-1781.

[2] 王盘兴, 李俊, 贾朝阳, 等. 热带 OLR 场的遥相关结构及其与 El Nino 事件的联系[J]. 气象科学, 1992, 12(2): 171-177.

[3] 朱乾根, 吴秋英. 热带大气准周振荡的数值试验研究[J]. 气象科学, 1989, 9(4): 341-352.

[4] 翁笃鸣, 高庆先, 姚志国. 中国大气净辐射的气候特征[J]. 南京气象学院学报, 1996, 19(4): 450-455.

[5] 翁笃鸣. 中国地—气系统长波射出辐射(OLR)的气候特征[J]. 气象科学, 1994, 14(3): 187-195.

[6] 黄荣辉, 孙凤英. 北半球夏季大气环流遥相关型的年际变化及其数值模拟[J]. 大气科学, 1992, 16(1): 52-61.

[7] 黄荣辉, 孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响[J]. 大气科学, 1992, 18(2): 141-151.

[8] 郭艳君, 翟盘茂, 贺敬安. OLR 在 ENSO 监测中的应用[J]. 热带气象学报, 2003, 19(1): 101-106.

[9] Monahan A H. Nonlinear principle component analysis by neural networks: theory and application to the lorenz system[J]. J Climate, 2000, 13(4): 821-835.

[10] Monahan A H. Nonlinear principle component analysis: tropical Indo-Pacific sea surface temperature and sea level pressure [J]. J Climate, 2001, 14(2): 219-233.

[11] Aiming W, William W H. Nonlinear characteristics of the surface air temperature over Canada[J]. J Geophys Res, 2002, 107(D21), ACL81-815.

[12] Aiming W, William W H. Nonlinear modes of north American winter climate variability derived from a general circulation model simulation[J]. J Climate, 2003, 16(14): 2325-2339.

[13] 韦莹莹, 吴洪宝. 北半球冬季大气环流遥相关型的非线性特征[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(1): 17-25.

[14] Kevin E T. The definition of El Nino[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1997, 78(12): 2771-2777.

[15] 黄海英, 吴洪宝. 热带太平洋 ENSO 振荡的空间对称和非对称成分[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(4): 442-451.