

张晨^{1,2,3} 余锦华^{1,2} 刘红艳³ 何文鹏³

东北地区冬季气温对海温异常响应的研究

摘要

利用 HadISST OI 海温和中国东北地区 92 站逐日气温资料,使用广义平衡反馈分析方法(GEFA)结合 EOF 分析方法(GEFA-EOF)研究了近 50 a 中国东北地区冬季气温对海表温度异常(SSTA)的响应.结果表明:对于热带和北半球中纬度 5 个海盆来说,东北地区冬季气温异常与同期热带大西洋和北大西洋海温异常有密切关系,与其他海盆关系不显著;热带大西洋的“正—负—正”三极型模态(TA3)以及北大西洋纬向上“正—负—正”三极型模态(NA3)分别对东北地区冬季气温的异常偏低和偏高有显著的强迫作用,且对北部地区的强迫作用大于南部地区.热带大西洋和北大西洋对东北地区冬季气温异常影响的可能途径为:热带大西洋 TA3 模态通过在北半球激发的“正—负—正”的遥相关波列,致使东亚大槽移至贝加尔湖地区,有利于极地冷空气南下至东北地区,导致该地区的冷冬;北大西洋的“正—负—正”三极型模态(NA3)直接响应使得东亚大槽减弱消失,极地冷空气南下受阻,导致该地区冬季气温异常偏高.

关键词

广义平衡反馈分析方法(GEFA);经验正交函数(EOF);海温异常(SSTA);东北地区;冬季气温

中图分类号 P466

文献标志码 A

收稿日期 2014-03-16

资助项目 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2012CB955903);江苏省高校优势学科建设工程(PADD)资助项目

作者简介

张晨,女,硕士生,助理工程师,研究方向为气候诊断.shamrock68@163.com

余锦华(通信作者),女,博士,教授,主要研究方向为热带气旋、气候变化与气候诊断.jhyu@nuist.edu.cn

1 南京信息工程大学 大气科学学院,南京,210044

2 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室,南京,210044

3 辽宁省鞍山市气象局,鞍山,114000

0 引言

东北地区位于我国的东北部,包括辽宁、吉林、黑龙江以及内蒙古东部的一部分.该区位于北半球中高纬度地带,是全球陆地气候增暖最明显的区域之一.在冬季气温一致增暖的背景下,冬季气温也存在年际变化,极端事件时有发生,如 2000/2001 年东北地区的雪灾及相伴随的低温严寒天气,2009/2010 年东北地区发生罕见的持续低温灾害等.

影响东北冬季气温异常的前期因子很多,其中海温异常(SSTA)已被认为是重要的影响因子之一.海温的异常量值不要求很大,且所引起的感热量值也不大,但却是一种气候异常的主要触发因子^[1].对于太平洋海温异常与冬季气温的影响,朱乾根等^[2]研究了在不同的海表温度年代际背景下我国东部地区气温与 ENSO 间的关系,结果表明,平均状态下,受 El Nino 影响最大的是东北地区,其次是华南地区,其异常变化与东北地区几乎呈反位相特征.康丽华等^[3]分析认为当我国北方偏暖而南方偏冷的时候,同期的 SST 在北太平洋上有一个显著的正距平.张友妹等^[4]、陈佩艳等^[5]发现赤道印度洋海区是影响我国东部特别是东北、华北冬季气温的关键区,两者呈同位相变化.唐卫亚等^[6]指出,印度洋海温异常引起了大气环流的异常,影响了东亚冬季风的强度.当印度洋海温一致变化时,中国温度变化也呈一致;当印度洋海温距平偶极振荡时,中国东、西部的冬季气温也出现偶极变化的现象;印度洋海温偶极振荡正位相年时,东亚冬季风偏弱,中国东北部气温偏高.文献^[7]则研究发现印度洋海温偶极振荡处于负位相时,中高纬环流经向度变大,可造成东亚冬季风偏强,中国东北地区气温偏低,西南地区气温偏高.曲金华等^[8]研究认为北大西洋中部地区海温异常偏高,冬季中国东部地区气温将偏高,反之则偏低.由此可见,我国冬季东北地区气温异常偏低与赤道太平洋 ENSO、印度洋海温偶极振荡处于负位相以及北大西洋中部海温异常偏低有关.但以往研究多集中于单个海区海温异常的作用,很分散,无法综合考虑各海区异常的共同作用,不能定量给出各海区海温 SST 异常作用的大小.

广义平衡反馈分析方法(GEFA)是 Liu 等^[9]将 Frankignoul 等^[10]提出的平衡反馈分析方法(EFA)从对大气的一元反馈扩展到多元反馈系统,提出的一个综合分析气候反馈的诊断统计方法,该方法可以把不同海区对气候异常的各自贡献分离出来,是研究海-陆-气相互

作用的一种有效统计工具^[11]. Zhong 等^[12] 利用 GEFA 分析不同海洋模态对美国降水的影响,给出了全球海温影响美国水文气候的综合估计,这与前人研究结果^[13-14] 一致. Wen 等^[15] 利用 GEFA 研究了大气位势高度场对全球不同海区海温主模态的响应特征.在气候分析应用上,江志红等^[16] 利用 GEFA 诊断分析了 2009/2010 年中国冬季气温与同期海温异常的关系.

由于 GEFA 对气候应用的相关工作在东北地区气候异常的诊断分析中尚未系统展开,因此本文拟应用广义平衡反馈分析方法研究近 50 a 来无论西南地区是暖冬还是冷冬,东北地区冬季气温对海温异常的响应估计,找出关键影响因子,并研究其响应机制,这对于理解东北地区冬季气候变化机理、积极防御东北气温异常引起的灾害,具有一定理论和实际意义.

1 资料和方法

1.1 资料

本文使用的资料包括:1) 国家气象信息中心气象资料室整编的全国 756 个基本基准站地面逐月、逐日气温数据集资料中挑选出辽宁、吉林、黑龙江、内蒙东部地区共 92 个站点资料;2) NCEP/NCAR 500 hPa 大气环流月平均再分析资料,水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$;3) HadISST OI 海温月平均数据,分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$. 所用数据时间序列为 1960—2010 年.

1.2 广义平衡反馈方法(GEFA)

GEFA 的详细介绍可参见文献[17],下面做简要说明.

给定大气异常场 $\mathbf{x}(t)$ 和海洋 SST 异常场 $\mathbf{y}(t)$ 它们的空间点分别为 I 和 J ,在时刻 t 的矢量表达式,如:

$$\mathbf{x}(t) = \begin{Bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_I(t) \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{y}(t) = \begin{Bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_J(t) \end{Bmatrix}.$$

假定区域 i 大气受到整个海洋不同海区的共同作用,根据广义平衡反馈原理,该区域大气变化 $x_i(t)$ 可表示成海洋反馈 $y_i(t)$ 和大气内变化 $n_i(t)$ 两部分的线性组合,即:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^J b_{ij} y_j(t) + n_i(t), \quad (1)$$

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{B}\mathbf{y}(t) + \mathbf{n}(t), \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (2)$$

其中 b_{ij} 代表区域 i 大气对第 j 个海区的响应系数,反映了该海区 SST 异常对大气的独自贡献.

考虑到气候时间尺度上大气内变化可以看作白噪音,后期大气无法影响前期下垫面异常,就有

$$\langle \mathbf{n}(t), \mathbf{y}(t - \tau) \rangle = 0. \quad (3)$$

由方程(2)可得反馈系数阵

$$\mathbf{B}(\tau) = \mathbf{C}_{xy}(\tau) \mathbf{C}_{yy}^{-1}(\tau). \quad (4)$$

其中 τ 代表大气自身持续时间, \mathbf{C} 代表协方差矩阵,通常情况下,滞后一个月 τ 取 1 是最佳选择.

在估算反馈系数阵 \mathbf{B} 时,本文将 GEFA 应用到 SST EOF 空间场,探测大气对不同海区 SST 主模态的响应特征.一方面,一些主要气候模态是通过 EOF 模来定义的;另一方面, EOF 模态之间相对来说比较“独立”,可以部分缓解样本误差跟空间分辨率问题,准确估算大气对 SST 主模态的响应特征.

取前 J 个 SST EOF 模态来构建 SST 变化的主要信息,如:

$$\hat{\mathbf{y}}(t) = \sum_{j=1}^J \mathbf{e}_j p_j(t), \quad (5)$$

其中 $\{\mathbf{e}_j\}$ 是 EOF 空间场,而 $\{p_j\}$ 为对应主分量场.将 EOF 空间场标准化 ($\langle \sigma(\mathbf{e}_j) \rangle = 1$), \mathbf{e}_j 是第 j 个单位 SST 强迫场,对应主分量 $p_j(t) = \mathbf{e}_j^T \mathbf{y}(t)$. 大气平衡方程(2)在 SST EOF 空间场可近似表示为

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{B}\hat{\mathbf{y}}(t) + \mathbf{n}(t) = \tilde{\mathbf{B}}_e \mathbf{P}(t) + \mathbf{n}(t), \quad (6)$$

其中 $\tilde{\mathbf{B}}_e = [\mathbf{B}_{e1} \dots \mathbf{B}_{eJ}] = [\tilde{b}_{e1} \dots \tilde{b}_{eJ}]$ 是 EOF 空间场的反馈系数矩阵.通过超前 $P(t - \tau)$ 与方程(6)两边做协方差,得到反馈系数阵 $\tilde{\mathbf{B}}_e$, 即:

$$\tilde{\mathbf{B}}_e = \mathbf{C}_{xp}(\tau) \mathbf{C}_{pp}^{-1}(\tau), \quad (7)$$

\tilde{b}_{e_j} (单位: $\text{m}^\circ\text{C}^{-1}$) 解释为大气 x 对第 j 个 EOF 模态 \mathbf{e}_j 的敏感响应.因为 SST 模态作用强度相同 ($\sigma(\mathbf{e}_j) = 1$), 因此可用来评估 SST 异常强迫的有效性.对观测 SST, 对应 EOF 模大气响应振幅为

$$\tilde{b}_{e_j} \times \sigma[P_j(t)], \quad (8)$$

其中 $\sigma[P_j(t)]$ 表示第 j 个主分量的标准差.因此, GEFA 在 EOF 空间场的应用可以扩展到更多海盆,以分离不同海区 SSTA EOF 模态之间的相互影响.

做 GEFA 分析之前,对原始数据进行了如下处理:在得到月平均异常场后用三阶非线性回归方法扣除数据在分析时段上的变化倾向及低频变率;用纬度 \cos 值的开方对区域中每个点做权化,使之有相同的面积权重.因此得到了每 3 个月绑定一起的数值矩阵,总的样本数为 $N=3 \times 50$, 即 150 个样本.

2 海温 SST 强迫场的选取

参照文献[16],把热带和北半球中纬度大洋划分成5个非重叠的子海区:热带太平洋(TP,20°S~20°N,100°E~80°W),北太平洋(NP,20~60°N,120°E~80°W),热带印度洋(TI,20°S~20°N,35~100°E),热带大西洋(TA,20°S~20°N,70°W~

20°E),北大西洋(NA,20~60°N,80°W~0°).同样对以上5个海区SST异常进行EOF分解,取这5个海区的EOF前3个空间模态作为不同区域SST异常强迫场(图1),因其累计方差贡献均在48%以上(表1),因此认为前3个模态及其空间分布特征可以显著表达各海区海温异常的主要信息^[16].

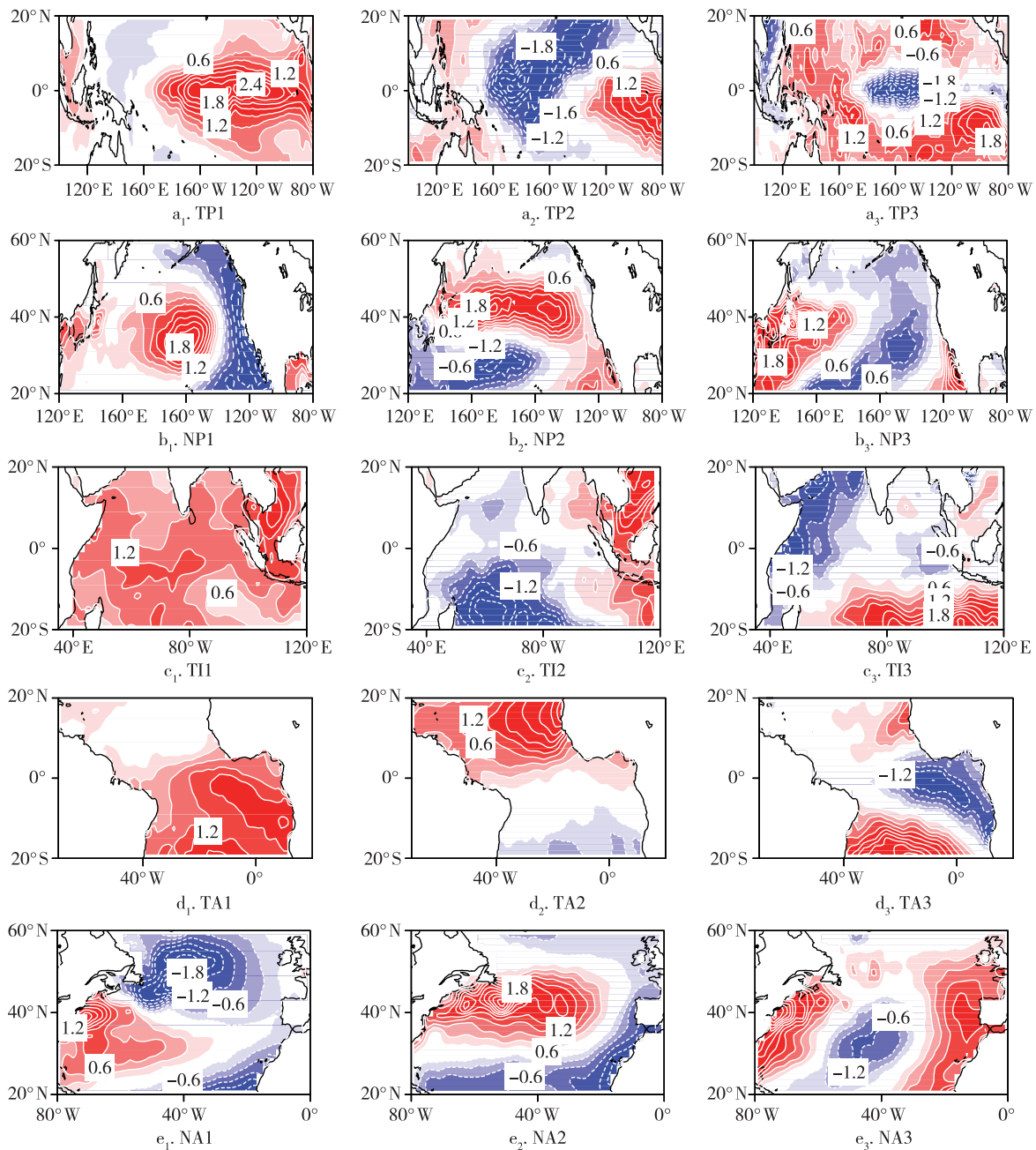


图1 热带和北半球不同海盆冬季SSTA EOF前3个模态的空间分布
(实线为正值,虚线为负值,等值线间隔0.3℃,空间场为标准场,标准偏差为1℃)

Fig. 1 Spatial distribution of the first three EOF eigenvectors of winter SSTA (Solid (dash) contours for positive (negative) values, CI=0.3℃. The magnitude of the spatial patterns is normalized with a standard deviation of 1℃)

表 1 各海盆 SST 前 3 个 EOF 的方差贡献率及其累积贡献率

Table 1 The variance contribution rates and the cumulative contribution rates of the first three SSTA EOFs for five sub-basins

区域	方差贡献/%			
	EOF1	EOF2	EOF3	EOF(1+2+3)
TP	60.70	10.00	4.62	75.32
NP	24.48	13.95	10.73	49.16
TI	47.10	11.55	7.07	65.72
TA	32.89	29.09	8.49	70.47
NA	19.83	18.07	10.13	48.03

3 不同海区异常模态对东北地区冬季气温异常的影响

东北地区冬季平均气温距平的 EOF 分解中,第 1 模态的空间分布形势(图 2)为全区一致变暖,高值中心在吉林中部地区,所得第 1 空间模态的方差贡献达 73.73%,因此第 1 模态的空间分布形势,即全区一致型能够非常好的反映东北冬季平均气温的变化情况.将东北地区冬季区域平均气温距平作为大气响应场,即 X_t ,将同期的上述 6 个海区前 3 个模态的时间系数组合在一起作为海洋对大气的主要强迫场,即 Y_t .根据广义平衡反馈方法的式(7),得到了东北地区冬季气温异常对各大洋主要海温模态的响应系数 $B(\tau)$ 的估计值.因其精度和稳定性与样本长度密切相关,因此考察响应估计值的稳定性和敏感性.

检验稳定性方面,以 1960-12—1969-02 这 10 a (30 个月)为基本样本长度,考察东北地区冬季气温

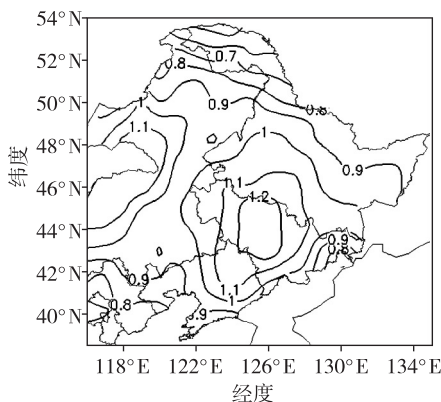


图 2 1960/1961—2009/2010 年东北地区冬季气温异常 EOF 第 1 模态的空间分布(等值线间隔 0.1 °C)

Fig. 2 Spatial distribution of the first EOF mode of winter air temperature in Northeast China during 1960/1961—2009/2010 (CI=0.1 °C)

的 GEFA 响应估计值 B 随样本长度变化的变动情况(图 3).图 3 中,横坐标为 GEFA 响应值 B 的样本长度变动个数 $N = 3i (i = 10, 11, \dots, 50)$ 总体来看,当 $N = 3 \times 40 = 120$ 时,除 TI2 略有浮动外, B 值基本都趋于稳定.其中,北太平洋 3 个模态、热带太平洋 3 个模态、热带大西洋第 1 和第 3 模态、印度洋第 3 模态和北大西洋第 1 模态的 B 值在 $N = 3 \times 20 = 60$ 时就趋于稳定.印度洋第 2 模态的 B 值在 $N = 108 \sim 138$ 时略有浮动,之后趋于稳定.

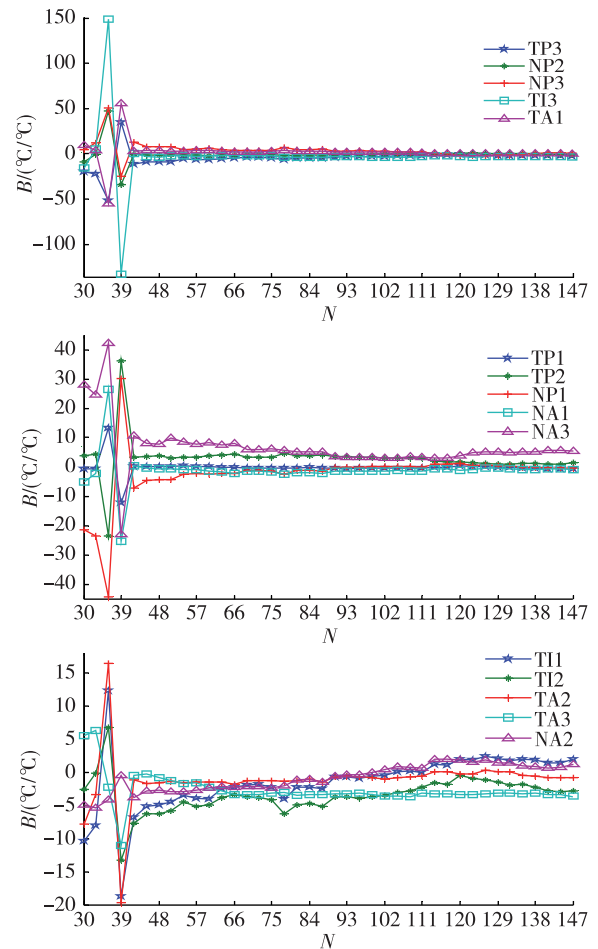


图 3 东北地区冬季气温异常对 5 个海区海温前 3 个模态的 GEFA 响应系数 B 随样本长度的变化曲线

Fig. 3 The GEFA response coefficient changes of winter air temperature anomalies in Northeast China to the five sub-basins' first three EOF modes with the sample length

对相同样本长度,通过交叉样本分析,考察其对样本变化的敏感性.对 1960—2009 年(150 个月)样本中从 1969 年开始逐年去除冬季 3 个月的样本,对剩余 $3 \times (50 - 1) = 147$ 个样本进行 GEFA 分析,估计 GEFA

相应值 B 的敏感性(图 4).图 4 中,横坐标为去除该年份后的 GEFA 分析中剩余 49 个年份的 147 个月的样本数.总体上, B 值对样本年份选取很敏感,特别是对于 1997 年,除了北大西洋第 3 模态和热带大西洋第 3 模态外,其他 13 个大洋模态的 B 值在去除 1997 年后差别特别大.北大西洋第 3 模态还对 1972、1985、1988 和 1999 年较为敏感,原因有待进一步研究.

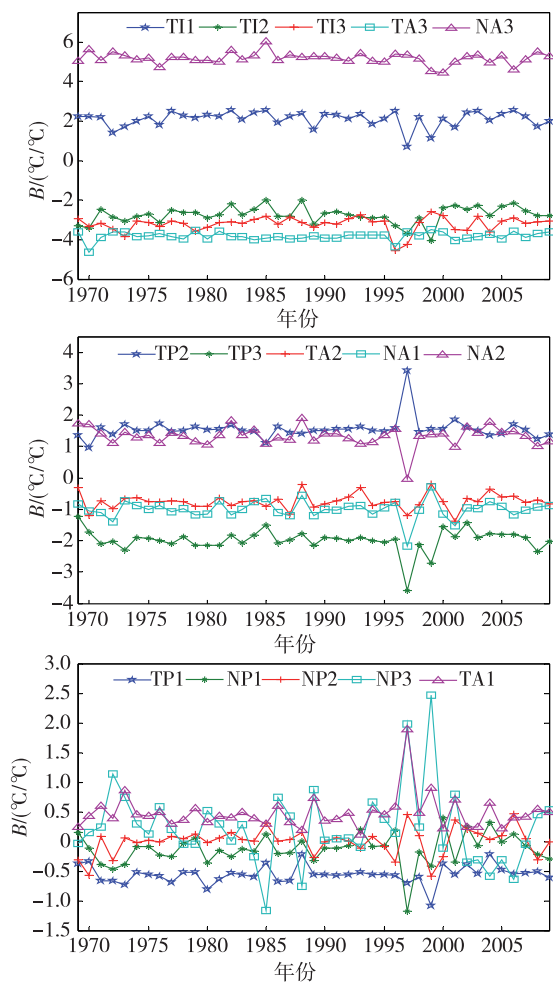


图 4 东北地区冬季气温异常对 5 个海区海温前 3 个模式的 GEFA 响应系数 B 随样本变化曲线

Fig. 4 The GEFA response coefficient changes of winter air temperature anomalies in Northeast China to the five sub-basins' first three EOF mode with the sample changes

考虑到响应系数的稳定性和敏感性,选取样本容量为 $3 \times 50 = 150$ 个,计算得到冬季气温对热带和北半球大洋海温模态的响应值 B (图 5a),并用 Monte-Carlo 方法用来检验其响应的显著性.从图 5a 可以看出东北地区冬季气温热带大西洋第 3 模态和

北大西洋第 3 模态有显著响应,对应的响应值分别为 -3.84 和 5.18 $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$,表明热带大西洋和北大西洋分别出现 TA3 和 NA3 海温强迫型(图 1d—1e),当其海温 SST 变化 1 $^{\circ}\text{C}$ 时,对应东北地区冬季气温的响应值分别是 -3.84 和 5.18 $^{\circ}\text{C}$.

利用前面计算出来的响应估计值和同期 50 a 的海温距平,根据 GEFA 响应振幅公式(式(8)),求得近 50 a 对应的冬季 SST 不同 EOF 模态下,同期东北地区气温的响应振幅(图 5b).TA3 和 NA3 的响应振幅分别为 -0.44 和 0.72 $^{\circ}\text{C}$,即 TA3 和 NA3 分别使得近 50 a 东北地区气温降低 0.44 $^{\circ}\text{C}$ 和升高 0.72 $^{\circ}\text{C}$.

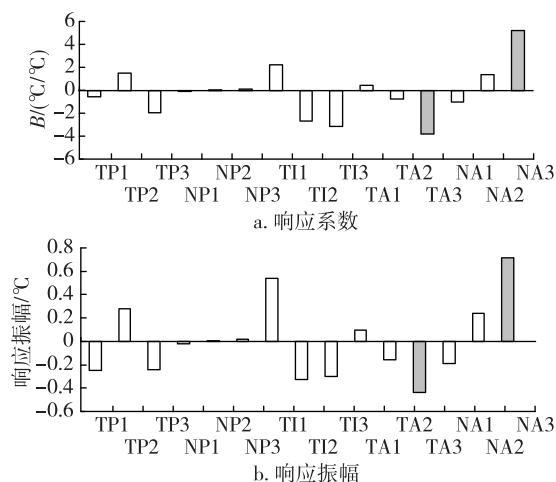


图 5 5 个海区海温前 3 个模态对应的东北地区冬季气温异常的 GEFA 响应系数 B 以及对冬季气温异常的响应振幅(阴影代表通过 0.1 的显著性检验)

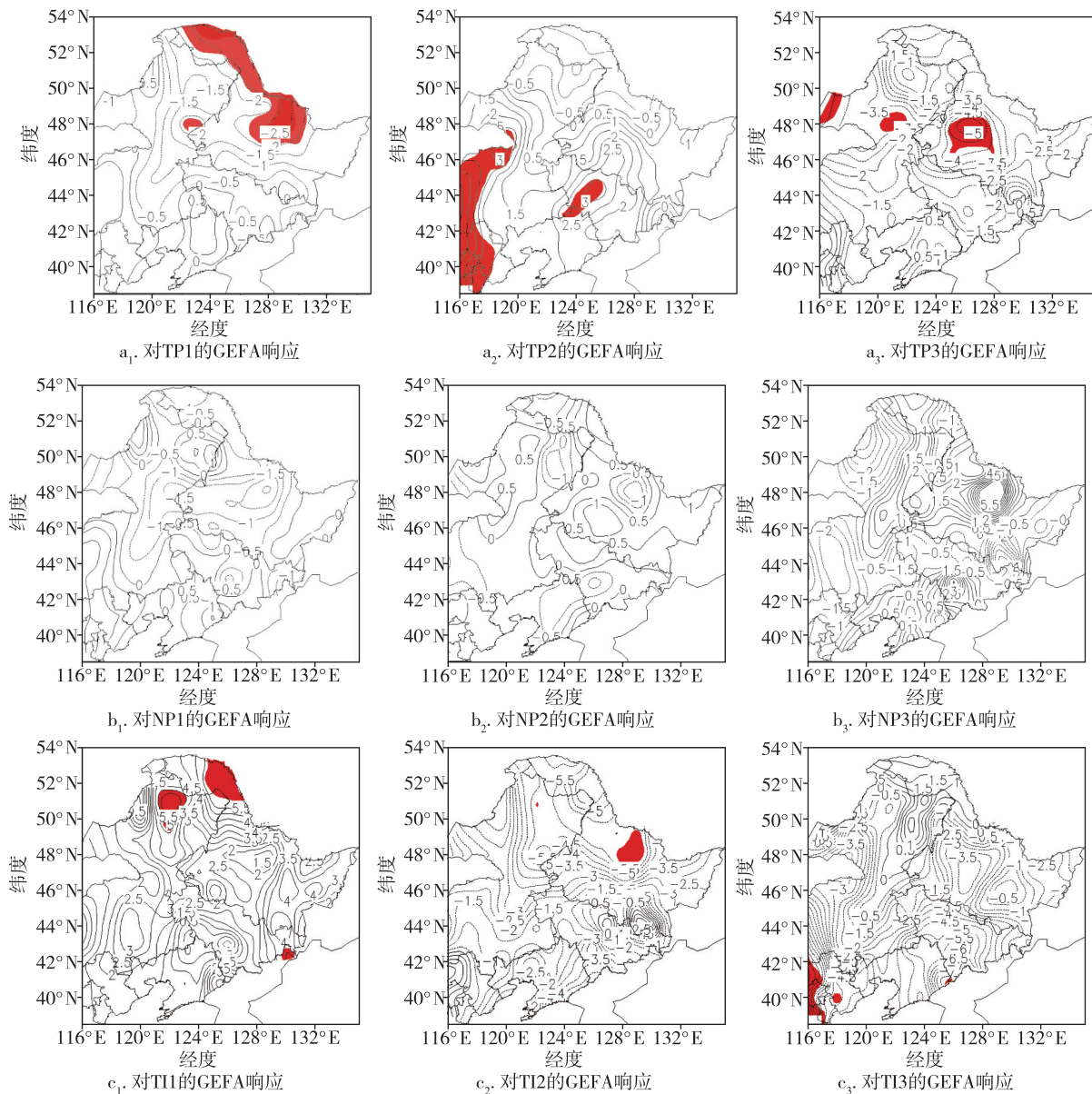
Fig. 5 The GEFA response coefficient B of winter air temperature anomalies in Northeast China to the five sub-basins' first three EOF modes, the corresponding winter air temperature's response amplitude, shaded areas are significant at 0.1 level

下面进一步分别考察了东北地区冬季气温距平场对热带和北半球 5 个海盆前 3 个 EOF 模态强迫场的响应(图 6).明显看出,TA3 和 NA3 对东北大部分地区的 GEFA 响应通过了显著性检验,这也与上文讨论的 GEFA 响应结果一致.当热带大西洋呈现其第 3 模态 TA3,即热带东北大西洋为正中心、赤道中东大西洋为负中心、热带南大西洋为正中心的“正—负—正”三极型分布时,东北地区冬季气温为负异常相应,且负异常响应中心在最北部的内蒙古一带,最大响应估计值为 -7.4 $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$;当北大西洋西部和东部海岸湾流区一致海温偏高,中部海温偏低(NA3)

时,东北地区冬季气温一致增加,其中以北部增温幅度大于南部,且在北部和东部各有一个响应估计大于 $7.5\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ 的大值区.对于热带太平洋的 EOF 前 3 个模态(图 1a)的 GEFA 响应,东北地区也分别有一区域通过了显著性检验,但是范围很小,对热带太平洋 ENSO 模态(TP1)的响应除了辽宁中部的小范围外,全区负异常响应,且最北部的负相应最显著,这也与前人得出的影响东北地区的冬季气温异常的是赤道中东太平洋 ENSO 的结论一致,但 GEFA 得出的结果仅北部的一小部分通过了显著性检验,原因尚不明确;对热带太平洋中部偏冷,东部偏暖,类似于 La Niña Modoki 的第 2 模态(TP2)的响应是全区

正异常响应,且最西部内蒙一带和中部吉林、辽宁一带的最大响应区通过了显著性检验;对于除赤道中太平洋小范围 SSTA 负异常,其他区域为正异常分布的第 3 模态(TP3)也是全区负异常响应,黑龙江中部出现负异常响应极大值区.东北地区对于其他海区海温模态的 GEFA 响应并没有通过显著性检验.

综上所述表明,东北地区冬季气温主要受热带大西洋的经向上的“正—负—正”三极型模态(TA3)和北大西洋纬向上出现的“正—负—正”三极型模态(NA3)的强迫.热带太平洋的前 3 个模态对东北个别区域的 GEFA 响应系数通过了显著性检验,但是通过显著性检验的区域范围较小.



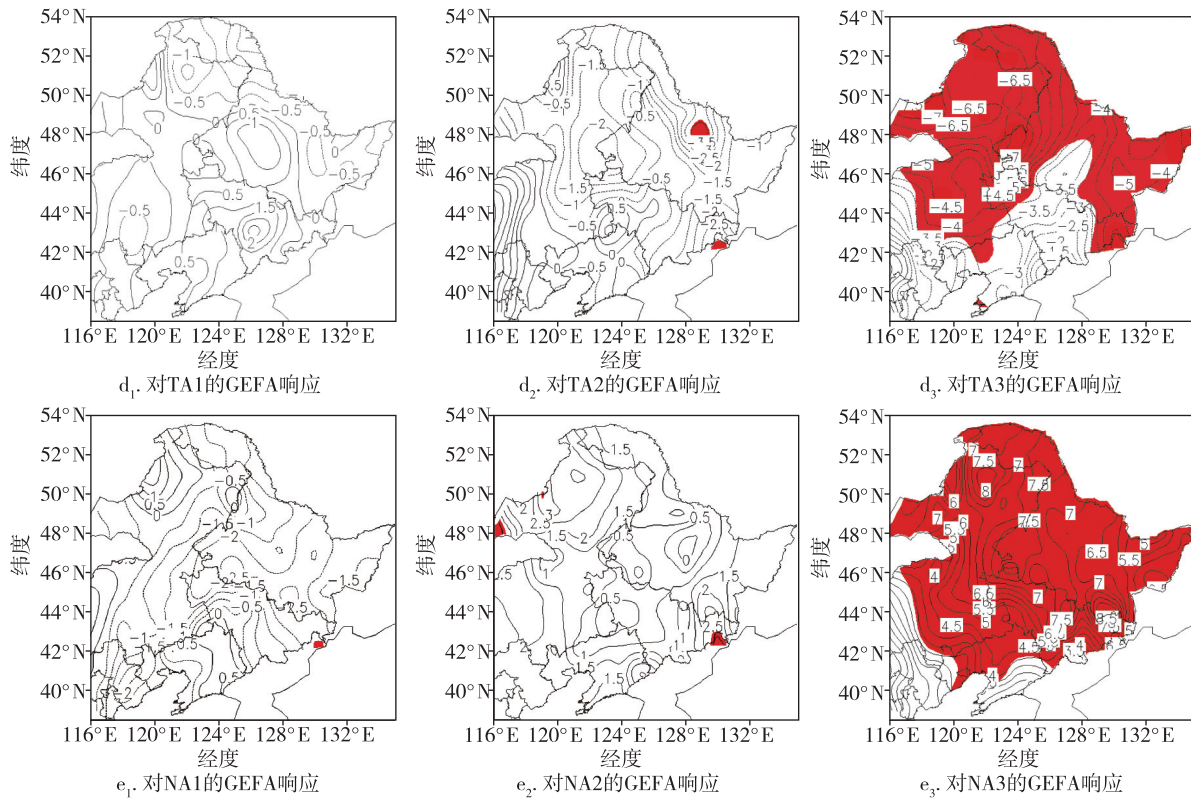


图6 热带和北半球5个海盆 SSTA EOF 前3个模态对应的东北地区冬季气温异常的 GEFA 响应场 (实线为正值,虚线为负值,等值线间隔为 0.5 °C/°C,阴影区通过 0.1 的显著性检验)

Fig. 6 The GEFA response field of winter air temperature anomalies in Northeast China to the five sub-basins' first three EOF modes (Solid (dash) line for positive (negative) values, CI=0.5 °C/°C, shaded areas are significant at 0.1 level)

4 不同海区异常模态对东北地区冬季气温异常的可能影响机制

选取东北地区冬季气温异常的标准化序列中 >1 和 <-1 年份(图略)分别表示该区域冬季气温异常偏高和偏低年,异常偏高的年份为 1972、1975、1981、1988、2001 和 2006 年,异常偏低的年份为 1976、1984、1985、1999、2000、2004 和 2005 年.图 7 给出了偏高和偏低年份的 500 hPa 高度场的合成差值分布.由图 7 可以看出,冬季气温异常偏高时,中、高纬的环流形势为欧亚大陆交界区域为负异常、亚洲大陆一直延伸到太平洋中部为大区域的正异常,太平洋东岸加拿大一区域为负异常的“负—正—负”的三极波列,显然这样的环流形势使得中国东部一带处在大范围的带状分布的正值区域,其正异常的带状环流中心正好位于东北地区,该带状分布的反气旋性环流比较平直,东亚大槽消失,不利于极地冷空气南下,致使影响东北地区高空的冷空气较弱.冬季气温异常偏低时,其环流形势反之,亚洲大陆一直延伸

到太平洋中部的大区域的负异常为东亚大槽或极涡所在区,极地冷空气沿东亚大槽或极涡南下,影响东北地区.

基于前文研究,东北地区冬季气温异常偏低和偏高主要与热带大西洋 TA3 模态和北大西洋 NA3 模态强迫有关,而气温异常对海温强迫的响应必然通过大气环流的异常实现,因此可以计算对流层大气对 TA3 和 NA3 响应.利用高层 500 hPa 位势高度场作为大气响应场,5 个海区前 3 个 EOF 模态组合在一起代表海洋对大气的主要强迫场,根据式(7),图 8a 和 8b 分别给出了冬季高层 500 hPa 高度场对 TA3 和 NA3 的 GEFA 响应.可以看出:对 TA3 的 GEFA 响应中,在 500 hPa 位势高度场上(图 8a)出现了北半球 60°E 为正异常响应区域,贝加尔湖区域为显著负异常响应(相比合成差值场图 7 中,太平洋中部负响应较弱),北美东海岸 60°W 为正异常响应的“正—负—正”的三极响应,致使东亚大槽加深偏西,30°N 盛行西风致使极地高纬度冷空气南下堆积在东北地区,导致东北地区气温异常偏低;对 NA3

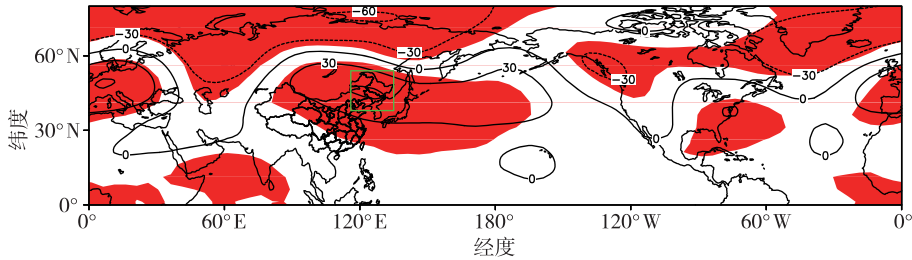


图7 依据东北地区冬季气温异常标准化序列定义的冬季气温异常偏高与偏低年份的冬季500 hPa高度场合成差值分布(实线为正值,虚线为负值,等值线间隔30 gpm,阴影区为通过0.1的显著性检验)

Fig. 7 Composite difference of height anomalies fields at 500 hPa between high temperature years and low temperature years for winter air temperature anomalies in Northeast China as identified by the series of standard winter air temperature anomaly (Solid (dash) line for positive (negative) values, CI=30 gpm, shaded areas are significant at 0.1 level)

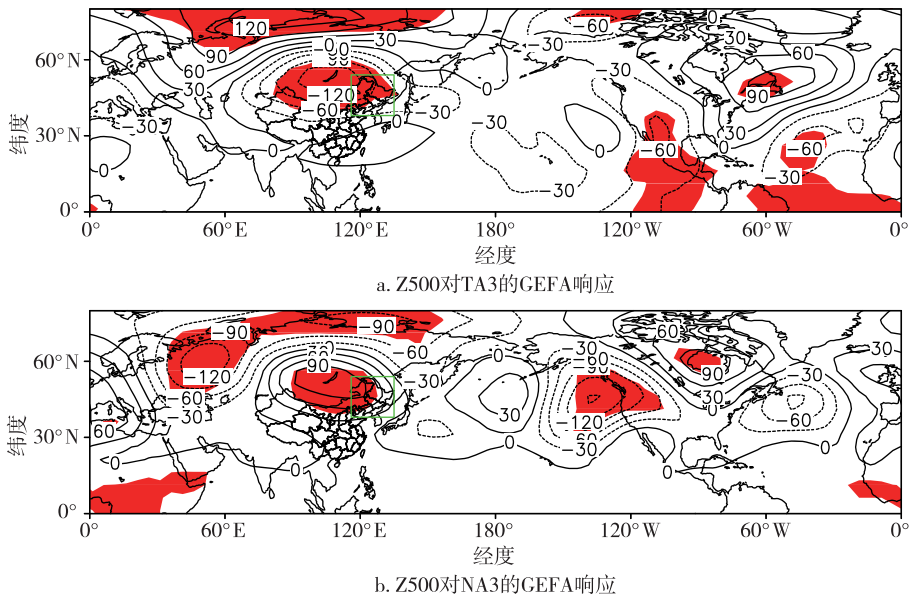


图8 对热带大西洋第3模态(TA3)和北大西洋第3模态(NA3)的Z500的GEFA响应(实线为正值,虚线为负值,等值线间隔30 gpm/°C,阴影区为通过0.1的显著性检验)

Fig. 8 The GEFA response sensitivity of Z500 to the SST EOF3 of the a. Tropical Atlantic (TA3) and b. North Atlantic (NA3) (Solid (dash) line for positive (negative) values, CI=30 gpm/°C, shaded areas are significant at 0.1 level)

的GEFA响应(图8b)中,与500 hPa高度合成差值场(图7)的“负—正—负”波列相似,其中蒙古贝加尔湖值区域为一强的高压异常中心,致使影响东北地区冬季气温异常偏低的低涡和东亚大槽消失,冷空气影响不到东北地区,东北地区气温将异常偏高.综合,赤道大西洋第3模态(TA3)和北大西洋第3模态(NA3)是导致东北地区异常偏冷和偏暖的主要海温模态.

5 总结

本文把广义平衡反馈分析方法(GEFA)引入到

东北地区气候异常的诊断分析中,并结合经验正交分解(EOF)、合成等方法,研究了无论西南地区是暖冬年还是冷冬年,中国东北地区冬季气温对热带和北半球海区海温异常的响应估计及其响应机制,结果表明:

- 1) 根据广义平衡反馈分析方法,得到东北地区冬季气温对热带和北半球大洋海温模态的响应估计值.通过对响应估计值的稳定性和敏感性考察可得,当样本容量超过120个时,除了TI2外,响应估计值基本都趋于稳定,但对样本的选取很敏感.
- 2) 当热带大西洋的经向上呈现“正—负—正”

三极型模态(TA3)以及北大西洋纬向上出现的“正—负—正”三极型模态(NA3)的强迫时,东北地区冬季气温将异常偏低和偏高,变化幅度均是北部地区大于南部地区;热带太平洋前3个模态也影响东北地区,但显著区域范围较小.其他海温的影响不显著.

3) 大气高度场对热带大西洋 TA3 模态的响应是在北半球出现“正—负—正”的三极响应,东亚大槽加深偏西移至贝加尔湖地区,冷空气沿着东亚大槽南下到大东北地区,导致该区域气温异常偏低;当北大西洋出现“正—负—正”三极型模态(NA3),东亚大槽减弱消失,极地冷空气无法进一步南下影响东北地区,造成了该区域气温的异常偏高.

本文是 GEFA 在东北地区冬季气温中的应用,得出热带大西洋经向上呈现“正—负—正”三极型模态(TA3)以及北大西洋纬向上出现的“正—负—正”三极型模态(NA3)对近 50 a 来东北地区冬季气温异常有显著的强迫作用,但是 GEFA 的响应估计值的计算对个别年份的选取很敏感,且得出热带太平洋第 1 模态厄尔尼诺模(TP1)对东北地区的影响不显著,与前人得出的结论有些偏差,其原因可能是近 10 a 来热带太平洋对东北地区的气温异常的作用与之前的年份相反,也可能是 GEFA 应用在东北这个相对较小的区域的精确性降低所致,其真实原因还有待进一步系统研究.

参考文献

References

- [1] 王谦谦,钱永甫,徐海明,等.1991年太平洋海温异常对降水影响的数值实验[J].南京气象学院学报,1995,18(2):200-206
WANG Qianqian, QIAN Yongfu, XU Haiming, et al. Numerical study of influence on rainfall of 1991 Pacific SST anomaly[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1995, 18(2): 200-206
- [2] 朱乾根,徐建军. ENSO 及其年代际异常对中国东部气候异常影响的观测分析[J]. 南京气象学院, 1998, 21(4): 615-623
ZHU Qiangen, XU Jianjun. Observational study on the effect of ENSO and its interdecadal variations on the climate anomaly in eastern China[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1998, 21(4): 615-623
- [3] 康丽华,陈文,王林,等.我国冬季气温的年际变化及其与大气环流和海温异常的关系[J].气候与环境研究,2009,14(1):45-53
KANG Lihua, CHEN Wen, WANG Lin, et al. Interannual variations of winter temperature in China and their relationship with the atmospheric circulation and sea surface temperature[J]. Climatic and Environmental Research, 2009, 14(1): 45-53
- [4] 张友妹.华北地区气温的气候特征及其与 100 hPa 高度场异常、西北印度洋海温异常的关系[D].南京:南京气象学院,2002
ZHANG Youshu. Climatic characteristic of air temperature in North China and the relationship between 100 hPa geopotential height anomaly, SST anomaly in Northeast Indian Ocean and the air temperature [D]. Nanjing: Nanjing Institute of Meteorology, 2002
- [5] 陈佩燕,倪允琪,殷永红.近 50 年来全球海温异常对我国东部地区冬季温度异常影响的诊断研究[J].热带气象学报,2001,17(4):371-380
CHEN Peiyan, NI Yunqi, YIN Yonghong. Diagnostic study on the impact of the global sea surface temperature anomalies on the winter temperature anomalies in eastern China in past 50 years[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2001, 17(4): 371-380
- [6] 唐卫亚,孙照渤.印度洋海温异常与中国气温异常的可能联系[J].南京气象学院学报,2007,30(5):667-673
TANG Weiya, SUN Zhaobo. Effect of Indian Ocean SSTA on China temperature anomaly[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2007, 30(5): 667-673
- [7] Yang J L, Liu Q Y, Xie S P, et al. Impact of the Indian Ocean SST basin mode on the Asian summer monsoon [J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(2): L02708
- [8] 曲金华,江志红,谭桂容,等.冬季北大西洋海温年际、年代际变化与中国气温的关系[J].地理科学,2006,26(5):557-563
QU Jinhua, JIANG Zhihong, TAN Guirong, et al. Relation between interannual, interdecadal variability of SST in North Atlantic in winter and air temperature in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(5): 557-563
- [9] Liu Z Y, Wen N, Liu Y. On the assessment of nonlocal climate feedback. Part 1: The generalized equilibrium feedback assessment [J]. Journal of Climate, 2008, 21(1): 134-148
- [10] Frankignoul C, Czaja A, Heveder B L. Air-sea feedback in the North Atlantic and surface boundary conditions for ocean models [J]. Journal of Climate, 1998, 11(9): 2310-2324
- [11] 朱艳峰,肖子牛,温娜.广义平衡反馈分析方法[J].气象,2010,36(4):1-6
ZHU Yanfeng, XIAO Ziniu, WEN Na. An introduction to the generalized equilibrium feedback analysis [J]. Meteorological Monthly, 2010, 36(4): 1-6
- [12] Zhong Y F, Liu Z Y, Notaro M. A GEFA assessment of observed global ocean influence on U.S. precipitation variability: Attribution to regional SST variability modes [J]. Journal of Climate, 2011, 24(3): 693-707
- [13] Ropelewski C F, Halpert M S. Quantifying Southern Oscillation precipitation relationships [J]. Journal of Climate, 1996, 9(5): 1043-1059
- [14] Gutale D S, Kann D M, Thornbrugh C. Modulation of ENSO based long-lead outlooks of Southwestern US winter precipitation by the Pacific decadal oscillation [J]. Weather and Forecasting, 2002, 17(6): 1163-1172

- [15] Wen N, Liu Z Y, Liu Q Y, et al. Observed atmospheric responses to global SST variability modes: A unified assessment using GEFA [J]. *Journal of Climate*, 2010, 23 (7): 1739-1759
- [16] 江志红, 吴燕珠, 刘征宇, 等. 基于广义平衡反馈方法的2009/2010年中国冬季气温异常型的诊断 [J]. *热带气象学报*, 2013, 29 (1): 28-36
JIANG Zhihong, WU Yanzhu, LIU Zhengyu, et al. A diagnostic analysis of air temperature anomaly mode over China in 2009/2010 winter based on Generalized Equilibrium Feedback Assessment (GEFA) method [J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2013, 29 (1): 28-36
- [17] 温娜. 广义平衡反馈分析方法及其在研究海洋对大气反馈中的初步应用 [D]. 青岛: 中国海洋大学海洋环境学院, 2009
WEN Na. The generalized equilibrium feedback assessment and its preliminary application in oceanic feedback to atmosphere [D]. Qingdao: College of Physical and Environmental Oceanography, Oceanic University of China, 2009

Response of winter air temperature in Northeast China to SST anomaly

ZHANG Chen^{1,2,3} YU Jinhua^{1,2} LIU Hongyan³ HE Wenpeng³

1 School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

3 Anshan Meteorological Bureau of Liaoning Province, Anshan 114000

Abstract By using SST data from HadISST OI and a dataset of daily winter temperature from 92 stations in Northeast China, the relationships between Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA) and winter air temperature in Northeast China have been studied using the Generalized Equilibrium Feedback Assessment (GEFA) method combined with the Empirical Orthogonal Function analysis (GEFA-EOF). The results show that among the five sub-basins in the tropical or northern hemisphere, winter air temperature anomaly are closely related to the synchronous SSTAs of Tropical Atlantic and North Atlantic, and have nothing to do with that of other basins. The negative and positive winter air temperature anomaly in Northeast China is strengthened by the positive-negative-positive three-pole mode of Tropical Atlantic SSTAs (TA3), and the positive-negative-positive three-pole mode of North Atlantic SSTAs (NA3), respectively, while the strengthening effect is more obvious in northern areas than in southern areas of Northeast China. The possible pathway can be explained as following, the TA3 mode stimulates the positive-negative-positive teleconnection wave train in the northern hemisphere, which results in the East Asia major trough moving to the Lake Baikal, thus facilitates the polar cold air moving south to Northeast China; while the direct response of NA3 mode of North Atlantic SSTAs weakens or even eliminates the East Asia major trough, which hinders the polar cold air from moving south and results in warm winter in Northeast China.

Key words Generalized Equilibrium Feedback Assessment (GEFA); Empirical Orthogonal Function (EOF); Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA); Northeast China; winter air temperature