

朱伟军,李天宇. 冬季赤道中东太平洋海温异常对北半球两大洋风暴轴协同变化的可能影响[J].海洋气象学报,2017,37(3):15-26.

Zhu Weijun, Li Tianyu. The possible influence of equatorial central and eastern Pacific SSTA on the concurrent variations of the northern Atlantic and Pacific storm tracks during boreal winter [J]. Journal of Marine Meteorology, 2017, 37(3): 15-26. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.03.003. (in Chinese)

冬季赤道中东太平洋海温异常对北半球 两大洋风暴轴协同变化的可能影响

朱伟军¹, 李天宇^{1,2}

(1. 南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044; 2. 吉林省气候中心, 吉林 长春 130062)

摘要: 利用 NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) 和 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 提供的再分析资料和 CPC (National Climate Prediction Center) 提供的 Nino3.4 指数, 研究了与赤道中东太平洋海温异常相对应的 ENSO (El Niño-Southern Oscillation) 不同位相同期北半球海气耦合关系及两大洋风暴轴协同变化的影响, 具体结论如下: 1) 赤道中东太平洋海温异常与冬季北半球两大洋风暴轴协同变化关系密切, 具体表现为海温正异常时对应北太平洋风暴轴和北大西洋风暴轴同时增强, 且大西洋风暴轴整体和太平洋风暴轴东部位南压, 海温负异常时则相反。2) 海温正异常 (El Niño) 年时, 对流层中层极涡向北太平洋地区伸展, 西北太平洋副热带高压增强西移, 东亚大槽减弱, 高度场异常对应 WP (Western Pacific pattern)、EA (Eastern Atlantic pattern) 型遥相关的负位相和 PNA (Pacific-North American pattern) 型遥相关正位相, 对流层低层加拿大高压增强, 阿留申低气压强度增强并向东南方向移动, 东亚急流增强东伸, 北美急流强度增强, 欧亚大陆 50°N 附近西风增强, 经向环流减弱, 北半球的斜压异常分布有利于北太平洋东部风暴轴南侧以及中西部风暴轴的有效位能向扰动动能转换, 使得风暴轴增强东部南压, 北大西洋风暴轴南部斜压增强, 使得风暴轴整体偏南, 中、西部强度增强。海温负异常 (La Niña) 年时, 海温和环流异常在两大洋基本与 El Niño 年相反, 对应两大洋风暴轴强度同时减弱, 同时北大西洋风暴轴整体和北太平洋风暴轴东部北抬。3) 海温正异常 (El Niño) 年时, 北美大陆为北暖南冷的异常分布, 60°N 以南的东亚地区除我国西南外基本为温度异常升高。海温负异常 (La Niña) 年时, 由于高度场和风场异常在欧亚大陆和北美大陆上的异常分布与 El Niño 年时并不是完全相反, 使得温度场异常主要表现在北美南部和东亚北部异常升高。

关键词: 风暴轴; 协同变化; ENSO; 海气耦合系统

中图分类号: P732.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2017)03-0015-12

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.03.003

收稿日期: 2017-06-30; 修订日期: 2017-07-30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41575070, 41075070); 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201306028); 江苏高校优势学科建设工程 (PAPD)

作者简介: 朱伟军 (1969—), 男, 博士, 教授, 主要从事海气相互作用及短期气候预测研究, weijun@nuist.edu.cn。

The possible influence of equatorial central and eastern Pacific SSTA on the concurrent variations of the northern Atlantic and Pacific storm tracks during boreal winter

ZHU Weijun¹, LI Tianyu^{1,2}

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC) /Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jilin Climate Center, Changchun 130062, China)

Abstract Base on the reanalysis data of NCEP/NCAR and NOAA, index of Nino3.4 from CPC, influences of different ENSO phases corresponding to SST (sea surface temperature) anomalies in the equatorial middle-eastern Pacific on the coupled pattern of atmosphere-ocean system and the concurrent variations of northern Atlantic and Pacific storm tracks are investigated. The results are summarized as follows: 1) The equatorial middle-eastern Pacific SST anomalies are closely related to the concurrent variations between the two storm tracks in boreal winter. When SST anomaly is in positive phase, the two storm tracks are intensified with the whole Atlantic storm track and eastern part of Pacific storm track shift southward. Meanwhile, concurrent variations of the two storm tracks are opposite as SST anomaly is in negative phase. 2) When SST anomaly is in positive phase (El Niño), in the middle troposphere, the polar vortex extends toward the northern Pacific, the north-west pacific subtropical high is intensified and moves westward, the East Asian trough is weakened, and the geopotential height anomalies is characterized by the negative phase of WP and EA teleconnection and positive phase of PNA teleconnection. In the low-troposphere, the Canada high is intensified, the Aleutian low is intensified and shifts southeastward, the Jet in East Asia is intensified and extends eastward, the Jet in North America is intensified, and the westerly near 50°N over Eurasia is intensified with weakened meridional circulation. The baroclinic energy anomalies in the Northern Hemisphere enhance the conversion from available potential energy to eddy kinetic energy, resulting in intensified Pacific storm track and the southward shift of eastern storm track. The increase of baroclinic energy to the south of the Atlantic storm track results in southward shift of the whole Atlantic storm track and an intensification in its middle-western parts. When SST anomaly is in negative phase (La Niña), anomalies of SST and circulation are opposite to variations of storm tracks in positive phase. 3) When SST anomaly is in positive phase (El Niño), it was warmer in the north and colder in the south over the North American continent in the low-tropospheric temperature field. Temperature anomalously increase over East Asia in area south of 60°N except southwest China. When SST anomaly is in its negative phase (La Niña), the abnormal temperature increase is mainly in the south of North America and north of East Asia, because anomalies of geopotential height and wind in Eurasia and North America are not exactly the opposite to those in El Niño phase.

Key words storm track; concurrent variation; ENSO; atmosphere-ocean coupled system

引言

风暴轴一般是指 2.5~6 d 瞬变扰动最活跃的区域,在北半球主要位于北大西洋和北太平洋,即为北半球两大洋风暴轴^[1-2]。风暴轴与地面气旋和反气旋的活动路径密切相关,地面气旋在风暴轴西

端生成,并在东端填塞消亡^[3-5]。风暴轴不仅能够直接影响局地天气异常,而且由于风暴轴能引起强烈的向极热量、动量和水汽输送,因此对大尺度的大气环流维持以及天气气候变化也具有重要影响。

作为北半球中纬度高频瞬变波动最显著的区域,近年来对北半球两大洋风暴轴的研究取得了丰

富的成果。研究表明,北半球两大洋风暴轴都存在显著的月际变化、年际变化和年代际变化^[6-14]。Lau^[6]通过对天气尺度滤波位势高度方差进行经验正交函数分析,发现北太平洋和北大西洋风暴轴的月际变化十分显著,并提出北太平洋和北大西洋风暴轴的主要模态与北半球一些低频变化的遥相关型联系密切。朱伟军和孙照渤^[13]指出冬季北太平洋风暴轴的中心强度和经度、纬度位置有着显著的年际变化,并认为其受到热带和北太平洋海温异常的影响,这种影响与PNA遥相关型和WP遥相关型存在密切联系。年代际尺度上,研究^[10-12]表明,冬季北太平洋风暴轴与北大西洋风暴轴活动在20世纪70年代初发生了显著性增强。Harnik and Chang^[15]分别使用探空资料和再分析资料对北半球风暴轴的年代际变化进行评估,发现利用这两种资料的研究结果均显示出明显的年代际变化特征。

许多研究显示,风暴轴异常不仅可以直接引起附近大气环流和天气形势(如阻塞)的异常^[15-17],而且对整个北半球大气环流的异常具有重要影响。研究表明,风暴轴反馈的主要作用,是削弱风暴轴入口区气流的垂直切变和增强风暴轴东侧气流的正压分量,从而维持静力平衡^[18-20]。此外,风暴轴向极的能量输送使得赤道和极地之间保持能量平衡,对大气环流和天气气候的维持有重要作用^[21]。袁凯等^[22]通过对北太平洋东部地区的研究,指出北太平洋东部地区的位置变化与同期PNA遥相关型、WP遥相关型以及海表面温度异常存在显著相关。任雪娟等^[23]利用经验正交函数分解研究了冬季北太平洋风暴轴的异常特征,并且进一步分析了与风暴轴空间异常型相关的冬季大气平均气流异常和海表面温度异常的空间耦合型。

根据对已有研究的总结,发现目前对北大西洋风暴轴和北太平洋风暴轴与海气系统耦合关系的研究仅着眼于单个大洋风暴轴,李天宇等^[24]在研究风暴轴年代际尺度上的协同变化关系时指出年际尺度下冬季北半球两大洋风暴轴的协同变化第一模态与赤道中东太平洋海表面温度异常关系密切,袁凯等^[22]也指出北太平洋东部风暴轴的异常变化与ENSO的不同位相相对应,但风暴轴协同变化与赤道中东太平洋海表面温度异常之间的关系及其与北半球大气环流的耦合关系,以及这种关系可能对北半球温度异常造成的影响尚不清楚。因此,本文将对这些问题进行研究。

1 资料与方法

本文采用美国环境预报中心和国家大气研究中心(NCEP/NCAR, National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research)的再分析资料,包括逐月的海平面气压场(p)和温度场(T),逐月和逐日的高度场(z)和风场(u, v),垂直层数为17层,水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$,覆盖时间为1949年1月—2015年12月。海温资料取自美国海洋和大气管理局(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration),水平分辨率为 $2^\circ \times 2^\circ$,覆盖时间为1854年1月—2015年12月。冬季定义为当年12月—次年2月三个月的时间平均。

赤道中东太平洋区域海表温度异常用Nino3.4区($5^\circ\text{N} \sim 5^\circ\text{S}, 170^\circ \sim 120^\circ\text{W}$)的海温平均值表示,取自美国气候预报中心(CPC, National Climate Prediction Center)的计算结果,覆盖时间为1948年1月—2015年12月。为了表征风暴轴的位置和强度异常变化,利用孙照渤^[25]的方法,采用31点对称数字滤波器从逐日的原始资料中滤出一周左右的天气尺度瞬变涡动,并计算每月的滤波方差得到逐月的风暴轴瞬变扰动滤波方差。

风暴轴的发展和维持与大气斜压性强度联系密切,因此引入Eady波最大增长率^[26]作为斜压指数。以 \vec{V} 代表水平风矢量, N^2 代表静力稳定度参数,则Eady波最大增长率计算方法为:

$$\sigma_{\text{BI}} = 0.31f \left| \frac{\partial \vec{V}}{\partial Z} \right| N^{-1} \quad (1)$$

式中的 \vec{V} 为水平风矢量,一般用850 hPa和700 hPa之间的775 hPa作为标准,代表整个对流层底层的斜压性。因此本文计算了775 hPa高度上的斜压性指数。

此外,文中还利用了合成分析、显著性检验等常规气象统计方法^[27]。

2 结果分析

2.1 冬季赤道中东太平洋区域海表温度异常的演变特征

取Nino3.4区的海表面温度的冬季平均值作为赤道中东太平洋区域海表温度异常的指数,图1为1960—2014年冬季的Nino3.4指数标准化序列,可以看出赤道中东太平洋海温异常存在明显的年际变化,

为了研究海温异常不同位相时的风暴轴及大气环流异常,取 Nino3.4 指数标准化序列中大于 1 的为正海温异常年,小于-1 的为负海温异常年。由于赤道中

东太平洋海温与 ENSO 相联系,因此正海温异常对应厄尔尼诺(El Niño)年,负海温异常对应拉尼娜(La Niña)年。表 1 为选取的海温正、负异常年份。

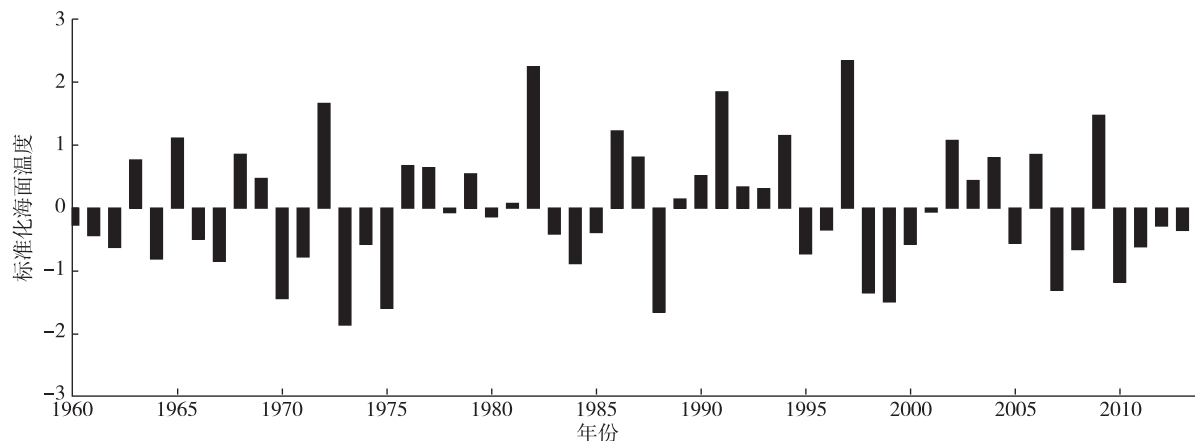


图 1 1960—2014 年 Nino3.4 区海面温度的标准化序列

Fig.1 Standardized series of sea surface temperature in Nino3.4 area from 1960 to 2014

表 1 赤道中东太平洋海面温度异常年份

Table 1 Abnormal years for SST in equatorial middle-east Pacific

正异常年	负异常年
1965, 1972, 1982, 1986, 1991, 1994, 1997, 2002, 2009	1970, 1973, 1975, 1988, 1998, 1999, 2007, 2010

图 2 为赤道中东太平洋海温正、负异常时的海面温度差值场,可以看出异常分布在赤道中东太平洋海温、北美大陆西海岸沿岸以及智利沿岸为海温异常升高,而北半球中纬度则为“横 V”型的海温

负异常,南半球与北半球基本对称,在中纬度存在负异常中心。这种海温异常分布在热带地区表现为典型的 El Niño 型,在北太平洋则为太平洋年代际振荡(PDO),研究^[28-29]表明,不同的 PDO 年代际背景与 ENSO 的异常联系密切。此外,纽芬兰岛附近的中纬度大西洋海温为异常降低,而其南部加勒比海附近的副热带大西洋为海温异常升高。研究表明赤道中东太平洋海温异常升高能够导致大西洋信风和海洋潜热的减少,从而对热带大西洋进行“充电”,影响北大西洋海气耦合^[30]。

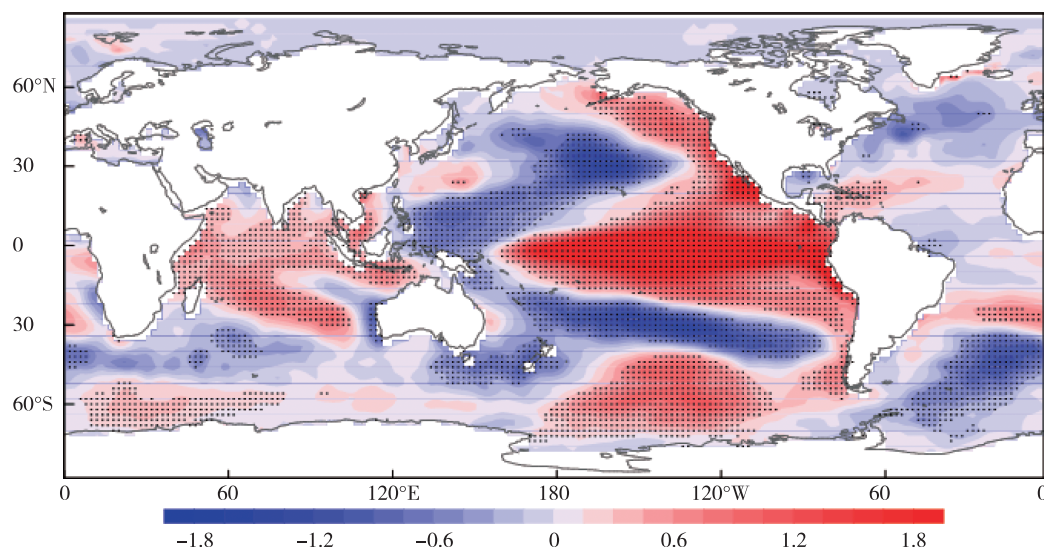


图 2 赤道中东太平洋海温正、负异常年海面温度(单位:°C)差值场(填色区)(打点区域表示通过 95% 的显著性检验)

Fig.2 Difference of SST (unit: °C, color-filled area) between positive and negative phase years in equatorial middle-east Pacific (Dotted areas represent the values significant at the 95% confidence level)

2.2 冬季赤道中东太平洋海温异常与北半球两大洋风暴轴协同变化的关系

为了研究冬季赤道中东太平洋海表温度异常与冬季北半球两大洋风暴轴协同变化的关系, 分别利用选取的赤道中东太平洋正、负海温异常年份进行合成分析。图3为赤道中东太平洋海表温度正、负异常年对应的500 hPa位势高度滤波方差异常场及其差值的合成分布, 可以看出, ENSO不同位相时北半球两大洋风暴轴存在显著差异, 其中El Niño年滤波方差异常分布在北太平洋为西北—东南走向的一对正、负异常中心, 正异常位于北太平洋中部30~50°N, 负异常位于白令海峡至阿拉斯加附近, 北大西洋上空格陵兰岛以南的60°N附近为负异常, 中纬度及美国沿岸地区则为正异常。此时, 北太平洋风暴轴气候平均位置中、西部基本位于正异常, 东部则基本位于正、负异常之间的零线附近; 北大西洋风暴轴的气候平均位置中、西部基本位于正异常, 气候平均位置东部则位于零线附近。因此El Niño年对应两大洋风暴轴强度异常增强以及北大

西洋风暴轴整体和北太平洋风暴轴东部的异常南压。而La Niña年时, 北太平洋上空西部的负异常中心强度较El Niño时的正异常有所减弱, 异常主要体现在大洋东部的一对北正、南负的异常中心, 北大西洋上空与北太平洋相似。这种异常分布对应两大洋风暴轴强度异常减弱同时北大西洋风暴轴整体和北太平洋风暴轴东部北抬。袁凯等^[22]在分析北太平洋风暴轴东部的变化特征及其与海表面温度异常的关系时, 指出东部风暴轴南压(北抬)时, 同期冬季对应El Niño(La Niña)年海温的异常分布型, 这与本文的研究结果一致。滤波方差差值场(图3c)中, 两大洋上空分别存在一对北负南正的异常中心, 但通过显著性检验的区域主要位于北太平洋东部和北大西洋中纬度地区, 说明ENSO对两大洋风暴轴的影响主要体现在北太平洋风暴轴东部的南北位置异常和北大西洋风暴轴中、西部强度异常。李天宇等^[24]利用EOF分解分析了两大洋风暴轴的协同变化, 指出年际尺度下第一模态主要表现为两大洋风暴轴强度在气候平均位置附近同时增

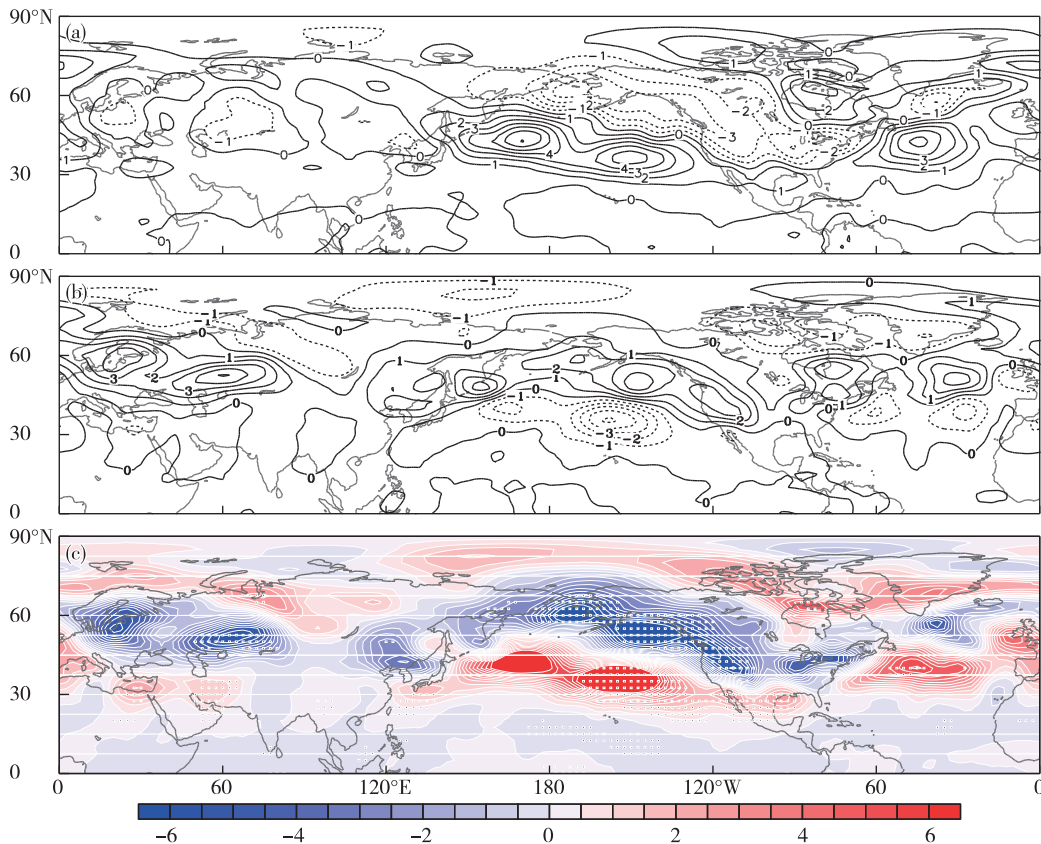


图3 赤道中东太平洋海表温度正(a)、负(b)异常年对应的500 hPa位势高度滤波方差异常场(等值线)及其差值(c, 填色区)的合成分布(单位: dagpm^2) (打点区域表示通过95%的显著性检验)

Fig.3 Composites of 500 hPa geopotential height variance anomalies (contour, units: dagpm^2) for positive(a) and negative(b) phase years and their difference anomalies(c) (color-filled area) (Dotted areas represent the values significant at the 95% confidence level)

强(减弱)并伴随北大西洋风暴轴整体和北太平洋风暴轴东部南压(北抬)。此处赤道中东太平洋海温正、负异常差值场(图3c)中的异常分布正好与李天宇等^[24]协同变化年际尺度第一模态下的分布型(图4a、图4b)十分相似,说明 ENSO 可能是年际尺度下北半球两大洋风暴轴协同变化的重要影响因素。

图4c为1960—2014年冬季平均的Nino3.4区指数标准化序列以及李天宇等^[24]年际尺度下冬季两大洋风暴轴 EOF 第一模态特征向量场对应的时间系数,二者的变化趋势在20世纪60年代至20世纪70年代中期、20世纪80年代中期及20世纪90年代中期至21世纪都十分相似。二者之间的相关系数为0.26, t 检验通过95%的置信水平。

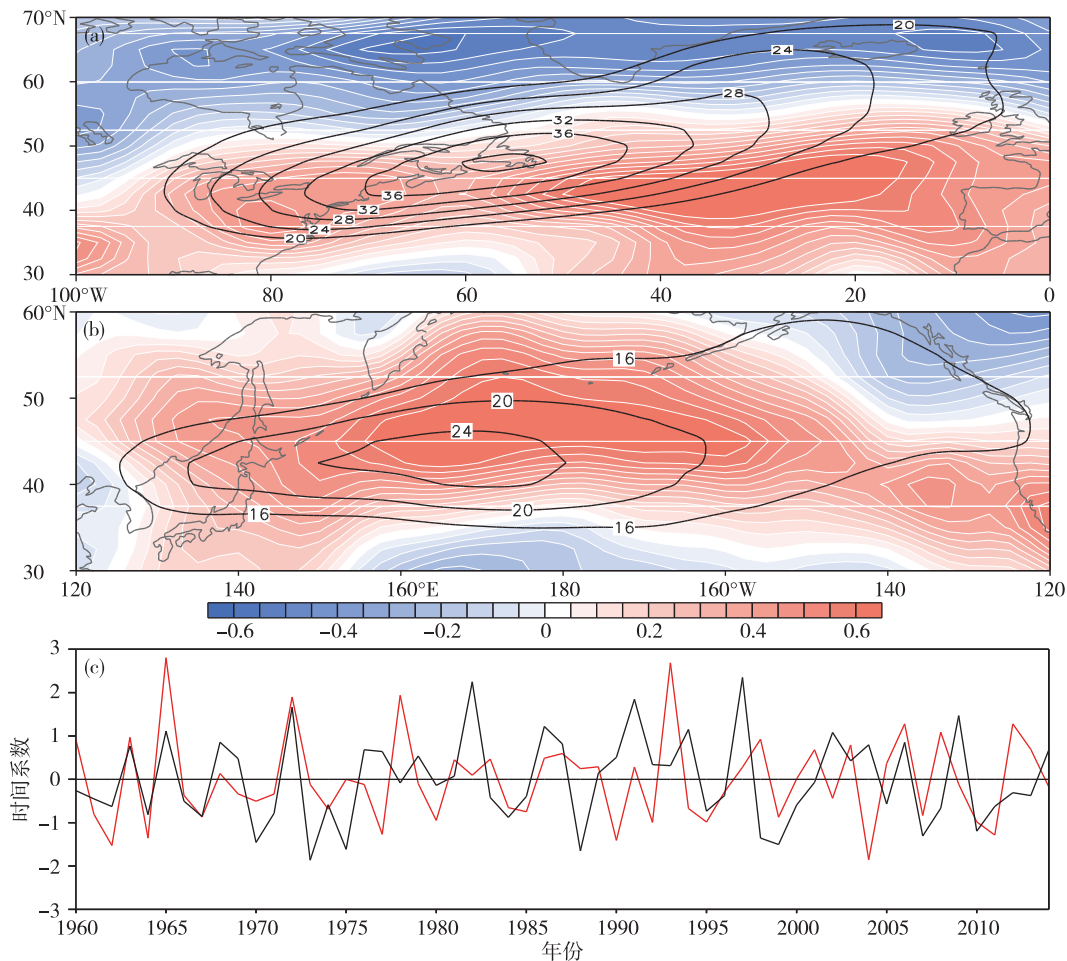


图4 李天宇等^[24]年际尺度下冬季两大洋风暴轴 EOF 第一模态特征向量场的北大西洋风暴轴(a)和北太平洋风暴轴(b)及其对应的时间系数(c,红色实线)以及1960—2014年冬季平均的Nino3.4区指数标准化序列(c,黑色实线)

Fig.4 Spatial patterns of northern AST(a) and PST(b) and corresponding normalized coefficients(c, red solid line) for the first EOF mode of the interannual component of the 500-hPa filtered geopotential height variance during winter from Li Tianyu et al^[24], and standardized series of Nino3.4 area index (c, black solid line) during 1960–2014 winter

以上分析说明,赤道中东太平洋海温异常与冬季北半球两大洋风暴轴协同变化关系密切,具体表现为 El Niño 年(海温正异常)时对应北太平洋风暴轴和北大西洋风暴轴同时增强,且大西洋风暴轴整体和太平洋风暴轴东部位置南压,La Niña 年(海温负异常)时则相反。

2.3 冬季赤道中东太平洋海温异常对北半球两大洋风暴轴协同变化的可能影响机制

研究^[30–32]表明,赤道中东太平洋海温异常作为全球海气耦合作用的强异常信号,对全球环流及海气相互作用产生重要影响,并进一步影响许多地区温度、降水等气候异常。那么当冬季赤道中东太平洋的海温异常发生时,与同期北半球两大洋风暴轴的协同变化相联系的大尺度大气环流异常特征,以

及这种异常对北半球温度产生的影响将如何变化? 本节将利用合成分析等方法,对以上问题进行具体分析。

图 5-7 为赤道中东太平洋海温正、负异常年对应的 500 hPa 位势高度异常场、纬向风异常场及 850 ~ 700 hPa 斜压指数异常场及其差值的合成分布。对流层中层的 500 hPa 位势高度异常场上(图 5),当赤道中东太平洋海温正异常(El Niño 年)时,负异常分别位于北半球高纬地区、北太平洋东北部、美国东部以及中纬度北大西洋,正异常则位于热带和副热带太平洋、北美大陆北部以及副热带大西洋。当赤道中东太平洋海温负异常(La Niña 年)时,高度场上的异常分布基本与正异常时相反,但此时北美大陆北部至格陵兰岛的负异常区域较 El Niño 年时的正异常范围更大,欧亚大陆北部的异常中心强度则有所减弱。结合位势高度差值场(图 5c),说明 El Niño(La Niña)年,极涡向北太平洋(北美)地区伸展,西北太平洋副热带高压增强西移(减弱东移),日本附近的正异常对应东亚大槽减弱(增强)。

西北太平洋和副热带太平洋的反位相异常分布对应西大西洋型(WP)遥相关的负(正)位相;阿留申地区与北美大陆北部及副热带太平洋的反位相位势高度异常,而与美国东部同位相,这种异常分布组成了太平洋北美型(PNA)遥相关正(负)位相。朱伟军等^[33-34]指出冬季赤道中东太平洋海表温度可以通过激发或加强 PNA 遥相关型,从而影响北太平洋风暴轴东端的异常变化,这与本文结果是一致的。而在北大西洋副热带、北大西洋中纬度以及欧洲上空,位势高度异常中心分别呈正(负)-负(正)-正(负)分布,基本上对应于大西洋东部型(EA)遥相关的负(正)位相。

在对流层低层,海平面气压异常场上(图略),异常分布与对流层中层相似,在阿拉斯加和北大西洋中纬度地区为负异常,加拿大附近为正异常,欧亚大陆上的异常中心并不显著,说明 El Niño(La Niña)年时,加拿大高压增强(减弱),阿留申低气压强度增强(减弱)并向东南(西北)方向移动。

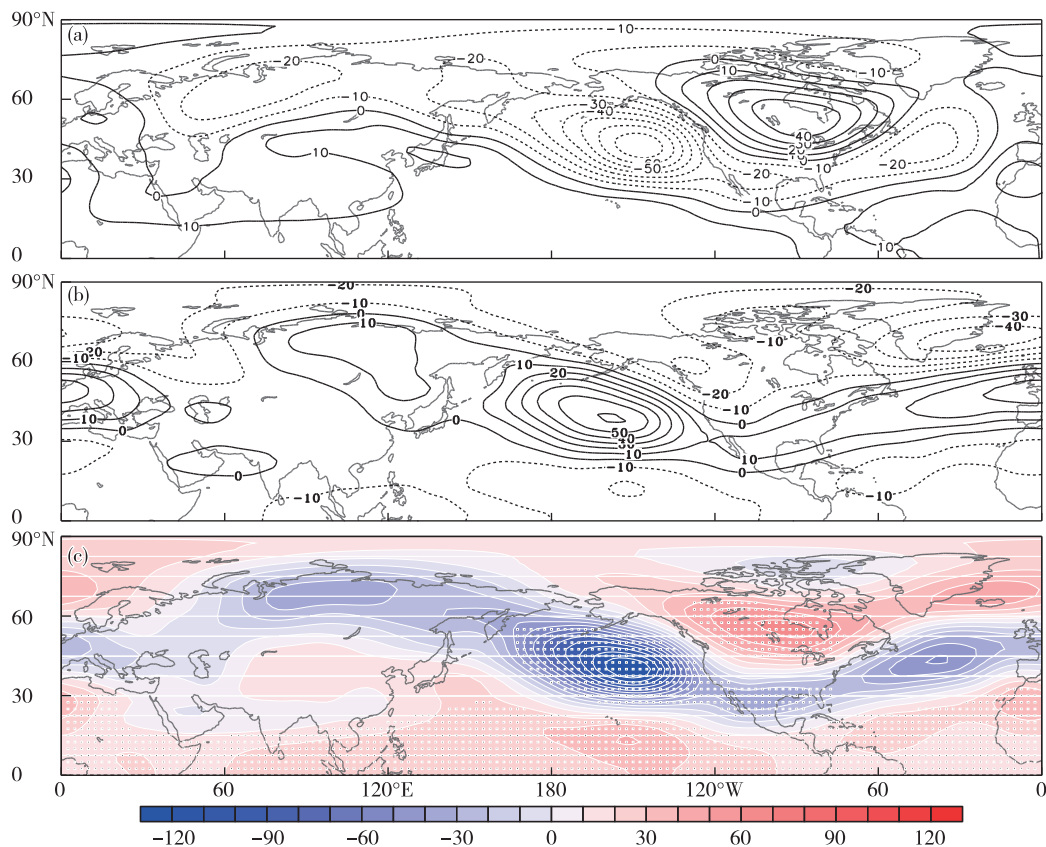


图 5 同图 3,但为 500 hPa 位势高度异常场
Fig.5 Same as Fig.3, but for 500 hPa geopotential height anomaly

图6为赤道中东太平洋海温正、负异常年对应的纬向风异常场及其差值的合成分布,纬向风场与高度场异常相对应,El Niño年时北太平洋和北大西洋上空呈负-正-负的三极子型异常,东亚急流气候平均位置出口区西风异常增强,两大洋风暴轴南侧的西风异常增强,而北侧的西风异常减弱,欧亚大陆上空从副热带向北分别为正-负-正-负的西风异常。La Niña年时,两大洋上空的异常分布与El Niño年相反,但异常中心有所减弱并向东移动,大陆上的异常分布在30°N以北地区与El Niño年有所差异,贝加尔湖和长江中下游附近的异常均不明

显。Zhang et al.^[31]统计了ENSO不同位相的中国东南沿海经向风,指出La Niña与El Niño年的风场异常并不是完全反位相的关系,这与本文的结论一致。结合纬向风差值场(图6c),说明El Niño年时东亚急流增强东伸,北美急流强度增强,欧亚大陆50°N附近西风增强,经向环流减弱,使得高纬冷空气不易南下,而北美大陆中高纬北正南负的纬向风异常,有利于经向风增强。此外,合成分布在欧亚大陆中纬度地区有所差异,差值场并未通过显著性检验,说明东亚冬季风对不同ENSO位相的响应有所差异。

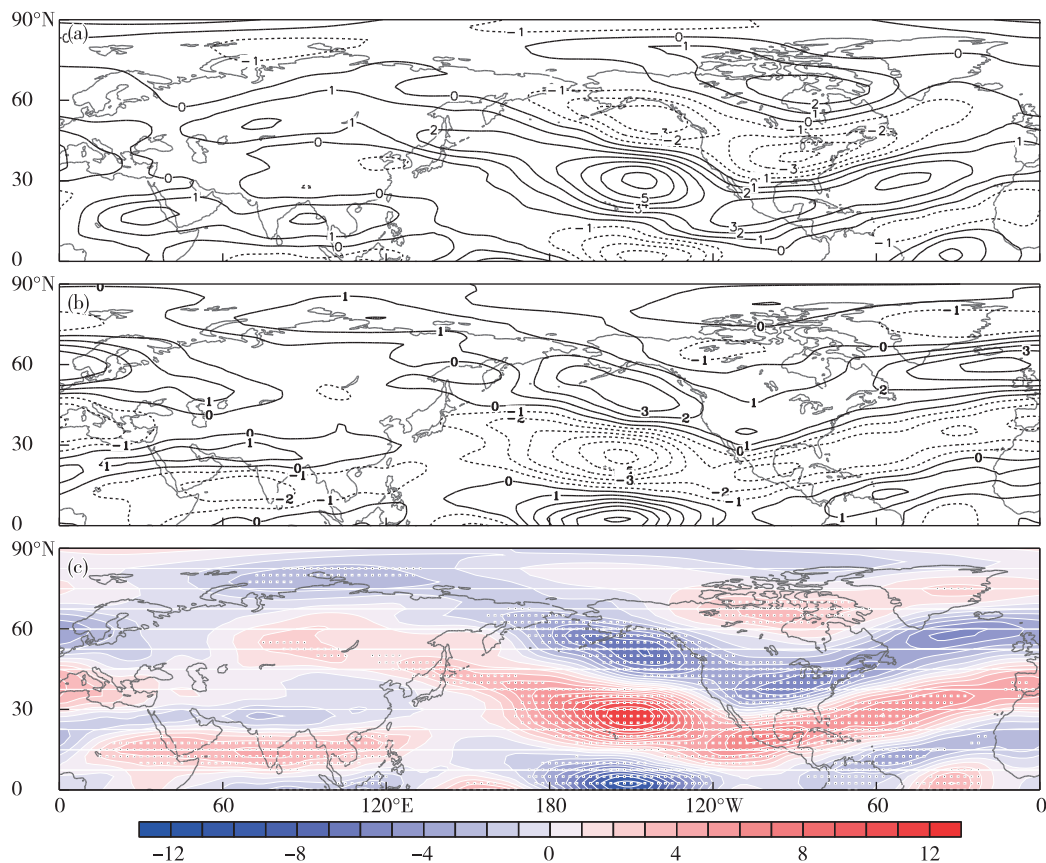


图6 同图3,但为500 hPa纬向风异常场

Fig.6 Same as Fig.3, but for 500 hPa zonal wind anomaly

由于天气尺度瞬变扰动发展的能量主要来自基本气流的斜压不稳定,研究^[35]表明,Eady波最大增长率能够很好地表征大气斜压性的变化,其值越大说明斜压性越强,越有利于平均有效位能向扰动动能的转化,天气尺度波动越容易得到发展,因此风暴轴的维持和发展与斜压性的增强或减弱密切相关。在斜压指数气候平均场(图略)中,斜压指数大值中心位于两大洋风暴轴上游偏北地区,即风暴轴西端为强斜压结构,而风暴轴东

端的下游地区斜压指数偏小,基本为相当正压结构。图7为赤道中东太平洋海温正、负异常年对应的775 hPa斜压指数异常场及其差值的合成分布,El Niño年时阿留申和阿拉斯加地区为负异常中心,40°N以南为西北-东南走向的正异常,气候平均斜压性位置东部对应这对北负、南正的异常中心,北大西洋上空以40°N为界,南、北两侧分别为正、负异常,零线基本位于气候平均斜压性中心偏北,此外加拿大附近也存在较强的正异常中心。

La Niña 年时,两大洋上空的斜压异常基本与 El Niño 年相反,在北太平洋上的气候平均斜压性入口处为负异常,出口处存在北负、南正的异常中心,大西洋上 40°N 以南的负异常比 El Niño 年时此处的正异常强度更强,而加拿大的异常中心强度有所减弱。结合纬向风差值场(图 6c)和斜压指数差值场(图 7c)来看,El Niño 年(La Niña 年),东亚急流增强东伸(减弱西缩),北美急流强度增强(减弱),斜压指数的异常分布有利于(不利于)北

太平洋风暴轴中西部以及东部风暴轴南侧的有效位能向扰动动能转换,使得风暴轴增强(减弱)东部南压(北抬),北大西洋风暴轴南部斜压增强(减弱),使得风暴轴整体偏南(北),中、西部强度增强(减弱)。但北太平洋通过显著性检验的部分主要是东部,而北大西洋风暴轴只有中、西部通过显著性检验,说明赤道中东太平洋海温异常对斜压异常的影响在北太平洋主要是气候平均斜压性中心出口处,在北大西洋则主要在入口处和中部地区。

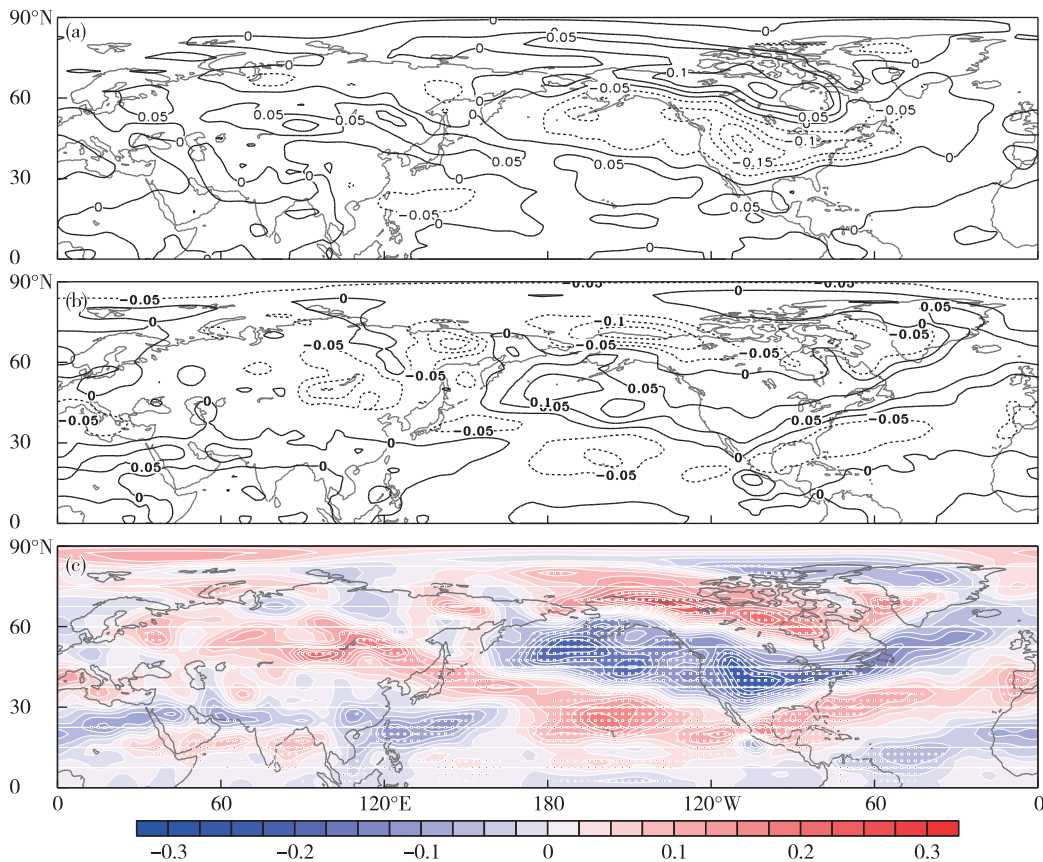


图7 同图3,但为 775 hPa 斜压指数异常场
Fig.7 Same as Fig.3, but for 775 hPa baroclinicity index anomaly

研究^[32,36-38]表明,与赤道中东太平洋海温异常相对应的 ENSO 现象,通过对北半球大尺度大气环流、低频遥相关型以及大洋上空对流活动的影响,进一步影响北半球特别是北美地区的气候异常。图 8 是赤道中东太平洋海温正、负异常年对应的 850 hPa 温度异常场及其差值的合成分布,可以看出赤道中东太平洋海温异常主要影响北美和北太平洋地区的温度异常,与北美地区相比,对同期欧亚大陆所引起的温度异常强度较弱。El Niño 年时(图 8a),北美大陆 35°N 以北的整个大陆上为强大的正异常中心,35°N 以南及北太平洋中部

为负异常,欧亚大陆上贝加尔湖以北的高纬地区为负异常,60°N 以南的东亚地区基本为正异常,但我国西南地区存在一温度负异常中心。La Niña 年时(图 8b),温度的异常分布与 El Niño 年时基本相反,但北美地区北部的负异常和南部的正异常分别较 El Niño 年时的正、负异常减弱西移和增强北上,欧亚大陆北部的正异常中心增强东移,温度异常升高的影响扩大到我国整个东北地区,而我国西南地区的负异常强度则较 El Niño 年的正异常减弱范围缩小。此外,El Niño(La Niña)年时,北太平洋中部基本为温度负(正)异常中心,而位势

高度滤波方差差值场(图3c)中北太平洋中部基本为正(负)异常中心,研究^[39-40]表明,天气尺度瞬变扰动异常的热力强迫对大尺度气流存在负反馈作用,并且抑制和削弱了低频尺度温度异常的变化,因此两大洋风暴轴的协同变化可能是造成北半球中部温度异常的原因之一;同时,在北大西洋上空温度异常并不明显,说明这种热力强迫的负反馈作用主要表现在北太平洋。根据温度差值场(图8c),可以看出 El Niño 年时由于极涡增强并向北太平洋伸展,而北美中纬度西风异常减弱和高纬西风异常增强,使得高纬冷空气继续堆积,而副热带暖气流北上,从而造成北美大陆北部大部分地区温度异常升高,北美南部则温度异常降低。

欧亚大陆上空贝加尔湖附近的西风异常及其南侧的东风异常,使得高纬经向环流增强,东亚中低纬地区除我国西南地区外大部分地区温度异常升高,这与龚道溢和王绍武^[41]的研究结果一致。但是差值场中我国西南地区的这种温度异常并未通过显著性检验,其可能原因正如蒋兴文和李跃清^[42]所指出的,西南地区冬季气温异常主要受东亚冬季风和西北太平洋副热带高压以及冷空气的活动影响,而 ENSO 对西南地区气候异常的影响主要体现在降水方面。La Niña 年时,由于北美和欧亚大陆中高纬的纬向风场异常与 El Niño 年相比强度较弱,因此北美和东亚地区的温度异常主要体现在北美南部和东亚北部的温度异常升高。

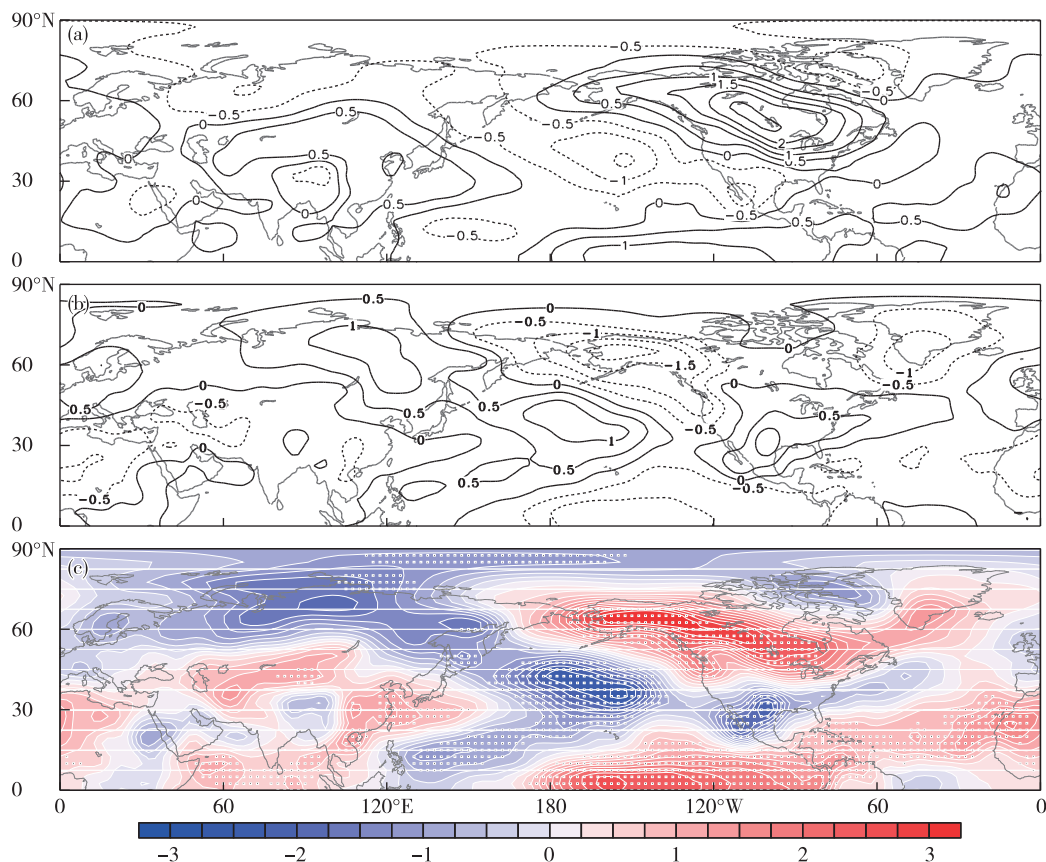


图8 同图3,但为850 hPa温度异常场
Fig.8 Same as Fig.3, but for 850 hPa temperature anomaly

以上分析表明,赤道中东太平洋海温异常可以通过其对应的 ENSO 位相变化影响低频遥相关发生变化,进而引起北半球位势高度场、风场以及斜压性等异常,最终使得两大洋风暴轴协同变化异常,并导致部分地区温度异常变化。

3 结论

本文利用 1960—2014 年 NCEP/NCAR 提供的再分析资料和 CPC 提供的 Nino3.4 指数,通过对赤道中东太平洋海温正、负异常年对应的大气位势高度场滤波方差、位势高度、纬向风、斜压性指数以及温度异常场及其差值的合成分析,研究了与赤道中

东太平洋海温异常相对应的 ENSO 不同位相相对两大洋风暴轴协同关系的影响,具体结论如下:

1) 赤道中东太平洋海温异常与冬季北半球两大洋风暴轴协同变化关系密切,具体表现为海温正异常时对应北太平洋风暴轴和北大西洋风暴轴同时增强,且大西洋风暴轴整体和太平洋风暴轴东部位置南压,海温负异常时则相反。

2) 海温正异常(El Niño)年时,在热带地区表现为典型的 El Niño 型,在北太平洋则为太平洋年代际振荡,中纬和副热带大西洋分别为负、正海温异常。在对流层中层,极涡向北太平洋地区伸展,西北太平洋副热带高压增强西移,东亚大槽减弱,高度场异常对应 WP、EA 型遥相关的负位相和 PNA 型遥相关正位相,对流层低层加拿大高压增强,阿留申低压强度增强并向东南方向移动,东亚急流增强东伸,北美急流强度增强,欧亚大陆 50°N 附近西风增强,经向环流减弱,使得高纬冷空气不易南下,而北美大陆中高纬北正南负的纬向风异常,有利于经向风增强。在这种风压场调整的影响下,北半球的斜压异常分布有利于北太平洋风暴轴中西部以及东部风暴轴南侧的有效位能向扰动动能转换,使得风暴轴增强东部南压,北大西洋风暴轴南部斜压增强,使得风暴轴整体偏南,中、西部强度增强。海温负异常(La Niña)年时,海温和环流异常在两大洋基本与 El Niño 年相反,对应两大洋风暴轴强度同时减弱,同时北大西洋风暴轴整体和北太平洋风暴轴东部北抬。

3) 海温正异常(El Niño)年时,北美大陆为北暖南冷的异常分布,60°N 以南的东亚地区除我国西南外基本为温度异常升高。海温负异常(La Niña)年时,由于高度场和风场异常在欧亚大陆和北美大陆上的异常分布与 El Niño 年时并不是完全相反,使得温度场异常主要表现在北美南部和东亚北部异常升高。

值得注意的是,赤道中东太平洋海温正、负异常对两大洋风暴轴的影响主要表现在北太平洋上空,而对北大西洋上空则有一定影响,并且这种海温的正、负异常对北半球大气环流及大气斜压性异常的影响并不是完全相反,具体原因还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Blackmon M L. A climatological spectral study of the 500 mb geopotential height of the Northern Hemisphere [J]. *J Atmos Sci*, 1976, 33 (8): 1607-1623.
- [2] Blackmon M L, Wallace J M, Lau N C, et al. An observational study of the Northern Hemisphere wintertime circulation [J]. *J Atmos Sci*, 1977, 34 (7): 1040-1053.
- [3] Blackmon M L. Horizontal structure of 500 mb height fluctuations with long, intermediate and short time scales [J]. *J Atmos Sci*, 1984, 41(6): 961-980.
- [4] Wallace J M, Lim G H, Blackmon M L. Relationship between cyclone tracks, anticyclone tracks and baroclinic waveguides [J]. *J Atmos Sci*, 1988, 45(3): 439-462.
- [5] Penny S M, Battisti D S, Roe G H. Examining mechanisms of variability within the Pacific storm track: Upstream seeding and jet-core strength [J]. *J Climate*, 2013, 26 (14): 5242-5259.
- [6] Lau N C. Variability of the observed midlatitude storm tracks in relation to low-frequency changes in the circulation pattern [J]. *J Atmos Sci*, 1988, 45 (19): 2718-2743.
- [7] Nakamura H, Izumi T, Sampe T. Interannual and decadal modulations recently observed in the Pacific storm track activity and east Asian winter monsoon [J]. *J Climate*, 2002, 15(14): 1855-1874.
- [8] Nakamura H. Midwinter suppression of baroclinic wave activity in the Pacific [J]. *J Atmos Sci*, 1992, 49(17): 1629-1642.
- [9] 丁叶风,任雪娟,韩博. 北太平洋风暴轴的气候特征及其变化的初步研究 [J]. *气象科学*, 2006, 26 (3): 237-243.
- [10] Lee S S, Lee J Y, Wang B, et al. Interdecadal changes in the storm track activity over the north Pacific and north Atlantic [J]. *Climate Dyn*, 2012, 39(1): 313-327.
- [11] Chang E K M, Fu Y F. Interdecadal variations in Northern Hemisphere winter storm track intensity [J]. *J Climate*, 2002, 15(6): 642-658.
- [12] Chang E K M, Fu Y. Using mean flow change as a proxy to infer interdecadal storm track variability [J]. *J Climate*, 2003, 16 (13): 2178-2196.
- [13] 朱伟军,孙照渤. 冬季北太平洋风暴轴的年际变化及其与 500 hPa 高度以及热带和北太平洋海温的联系 [J]. *气象学报*, 2000, 58(3): 309-320.
- [14] 朱伟军,李莹. 冬季北太平洋风暴轴的年代际变化特征及其可能影响机制 [J]. *气象学报*, 2010, 68 (4): 477-486.
- [15] Harnik N, Chang E K M. Storm track variations as seen in radiosonde observations and reanalysis data [J]. *J Climate*, 2003, 16(3): 480-495.
- [16] 陆日宇. 夏季东北亚阻塞形势维持时的天气尺度波 [J]. *大气科学*, 2004, 25(3): 289-302.

- [17] Huang F, Zhou F, Qian X. Interannual and decadal variability of the north Pacific blocking and its relationship to SST, teleconnection and storm tracks[J]. *Adv Atmos Sci*, 2002, 19(5):807-820.
- [18] Nakamura H, Wallace J M. Observed changes in baroclinic wave activity during the life cycles of low-frequency circulation anomalies[J]. *J Atmos Sci*, 1990, 47(9):1100-1116.
- [19] Holopainen E O, Rontu L, Lau N C. The effect of large-scale transient eddies on the time-mean flow in the atmosphere[J]. *J Atmos Sci*, 1982, 39(9):1972-1984.
- [20] Hoskins B J, James I N, White G H. The shape propagation and mean-flow interaction of large scale weather system [J]. *J Atmos Sci*, 1983, 40(7):1595-1612.
- [21] Trenberth K E, Stepaniak D P. Covariability of components of poleward atmospheric energy transports on seasonal and interannual timescales [J]. *J Climate*, 2003, 16:3691-3705.
- [22] 袁凯, 朱伟军, 陈懿妮. 北太平洋东部风暴轴的变化特征及其与大气环流和 SST 异常的关系[J]. *大气科学学报*, 2015, 38(1):66-75.
- [23] 任雪娟, 杨修群, 韩博, 等. 北太平洋风暴轴的变异特征及其与中纬度海气耦合关系分析[J]. *地球物理学报*, 2007, 50(1):92-100.
- [24] 李天宇, 朱伟军, 马阳, 等. 冬季北半球两大洋风暴轴的协同变化及其与同期海气系统的空间耦合关系[J]. *大气科学*, 2017. doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.1701.16255.
- [25] 孙照渤. 热带外地区大气中 40~60 天振荡的统计特征 [C]//章嘉基. 长期天气预报论文集. 北京: 海洋出版社, 1992:29-35.
- [26] Eady E T. Long waves and cyclone waves[J]. *Tellus*, 1949, 1(3):33-52.
- [27] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007.
- [28] Trenberth K E. The 1990-1995 El Niño-Southern Oscillation event: Longest on record [J]. *Geophys Res Lett*, 1996, 23(1):57-60.
- [29] Wang B. Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades[J]. *J Climate*, 1995, 8(2):267-285.
- [30] Alexander M A, Bladé I, Newman M, et al. The atmospheric bridge: The influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans[J]. *J Climate*, 2002, 15(16):2205-2231.
- [31] Zhang R, Sumi A, Kimoto M. Impact of El Niño on the East Asian Monsoon [J]. *J Meteor Soc Japan Ser ii*, 2009, 74(1):49-62.
- [32] 郭艳君, 倪允琪. ENSO 期间赤道太平洋对流活动异常对我国冬季风的影响[J]. *气象*, 1998, 24(9):3-7.
- [33] 朱伟军, 孙照渤, 彭加毅. 冬季太平洋 SST 异常对风暴轴和急流的影响[J]. *大气科学学报*, 1999, 22(4):575-581.
- [34] 朱伟军, 孙照渤, 闵锦忠, 等. 冬季赤道中东太平洋区域海表温度异常对北太平洋风暴轴年际变化的影响[J]. *热带气象学报*, 2000, 16(1):91-96.
- [35] Hoskins B J, Valdes P J. On the existence of storm-tracks [J]. *J Atmos Sci*, 1990, 47(15):1854-1864.
- [36] 朱益民, 杨修群, 谢倩, 等. 冬季太平洋海表温度与北半球中纬度大气环流异常的共变模态[J]. *自然科学进展*, 2008, 18(2):161-171.
- [37] Weng H, Ashok K, Behera S K, et al. Impacts of recent CP El Niño on dry/wet conditions in the Pacific Rim during boreal summer [J]. *Climate Dyn*, 2007, 29(2):113-129.
- [38] Ropelewski C F, Halpert M S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation [J]. *J Climate*, 1989, 2(3):268-284.
- [39] 张盛曦, 任雪娟. 阿留申低压低频变化及其相关的瞬变动力学过程分析[J]. *气象科学*, 2017, 37(1):1-9
- [40] 任雪娟, 杨修群, 韩博. 北太平洋冬季海-气耦合的主模态及其与瞬变扰动异常的联系[J]. *气象学报*, 2007, 65(1):52-62.
- [41] 龚道溢, 王绍武. 冬季西风环流指数的变率及其与北半球温度变化的关系研究[J]. *热带气象学报*, 2002, 18(2):104-110.
- [42] 蒋兴文, 李跃清. 西南地区冬季气候异常的时空变化特征及其影响因子 [J]. *地理学报*, 2010, 65(11):1325-1335.