

文章编号: 1000-2022(1999)04-0575-07

冬季太平洋 SST 异常对风暴轴和急流的影响

朱伟军 孙照渤 彭加毅

(南京气象学院大气科学系, 南京 210044)

摘要: 利用观测资料分析了冬季太平洋海表温度异常对风暴轴和急流的影响。结果表明: 在冬季黑潮区域正 SST 异常时, 风暴轴和急流均明显北移, 并且风暴轴的强度在入口区显著增强, 急流核的中心强度却变化不大; 而在冬季赤道中、东太平洋地区正 SST 异常时, 风暴轴和急流主要向东南方向明显扩展, 强度也在太平洋中东部显著增强, 但急流核的中心强度同样变化不大。进一步分析显示, 急流的位置和强度变化主要受热带与副热带温度梯度大小变化的影响, 而风暴轴的位置和强度变化不仅与急流有关, 还主要与非绝热加热效应所直接引起的斜压性增强密切相关。

关键词: 风暴轴; 急流; 海表温度异常; 斜压性

中图分类号: P732.6 **文献标识码:** A

风暴轴一般是指 2.5~6 d 瞬变扰动最活跃的区域。在北半球最显著的风暴轴有两个, 分别位于中纬度的两大洋上。虽然它所占大气总方差的比重并不大, 但因为与每日天气图上的气旋和反气旋路径紧密联系在一起, 所以对天气的演变具有重要的指示意义。另外, 它对时间平均气流有反馈作用, 又对大气环流的短期异常产生重要影响, 因此, 自从 70 年代末 Blackmon 等^[1-3]利用滤波资料首次发现风暴轴以来, 风暴轴研究已逐渐成为三维瞬变波动力学研究中的一个重要分支。Simmons 等^[4]曾指出, 风暴轴区域的天气尺度瞬变波可以由斜压波生命史来解释, 即风暴轴与基本气流的斜压性有密切联系。事实上, 风暴轴与急流的演变确有很好的对应关系: 一般来讲, 风暴轴位于急流的下游偏北一侧, 两者冬季最强, 位置偏南; 夏季最弱, 位置偏北; 而春、夏两季则为过渡季节^[5]。但在同一季节, 风暴轴与急流是否依然存在类似的关系以及原因如何目前还不是十分清楚。最近已有研究表明, 冬季北半球海洋西部的暖边界流以及 ENSO 事件可能对风暴轴的变化有重要影响^[6,7]。在前人研究的基础上, 本文将利用观测资料, 就冬季太平洋 SST 异常对风暴轴和急流的影响进行深入探讨。

1 资料与方法

本文资料取自: NCEP/NCAR 1979~1994 年 16 年全球 2.5°×2.5°再分析逐日网格资料和英国国家气象局整编的同时段全球 1°×1°月平均海表温度网格资料。

收稿日期: 1999-03-10; 修订日期: 1999-08-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 49475258

作者简介: 朱伟军, 男, 1969 年 12 月生, 博士, 讲师

本文首先采用文献[5]给出的31点数字滤波器,从逐日原始资料直接滤出2.5~6 d的瞬变涡动,然后把滤波资料按冬季月份分成每月一段,并对每一段各自计算其方差,这样就得到每月的月平均带通滤波方差(以下简称滤波方差)。研究表明^[1-3],500 hPa位势高度场的这种滤波方差可以代表该月风暴轴的位置和强度,因而本文对风暴轴和急流的分析主要是针对500 hPa位势高度场的滤波方差和500 hPa纬向风这两个场来进行的。其中冬季月份包括上年11月、12月和次年1月、2月、3月共5个月。此外,本文太平洋海表温度异常(*SSTA*)主要考虑黑潮区域(120.5~150.5 E, 15.5~32.5 N)和Nino 3+4区(160.5 E~90.5 W, 5.5 S~5.5 N)两个区域。表1给出了这两个区域*SSTA*变化绝对值0.5的冬季月份,并在此基础上,就冬季太平洋海表温度异常对风暴轴和急流的影响进行合成分析。

表1 黑潮区域和Nino 3+4区*SSTA* 0.5的冬季月份

Table 1 Winter month with *SSTA* 0.5 over Kuroshio area and Nino 3+4 area

	黑潮区域	Nino 3+4区
正 <i>SSTA</i>	1987-11, 1987-12, 1988-01, 1988-02, 1988-03	1982-11, 1982-12, 1983-01, 1983-02, 1983-03, 1986-11, 1987-01, 1987-02, 1987-03, 1987-11, 1987-12, 1991-11, 1991-12, 1992-01, 1992-02, 1992-03
负 <i>SSTA</i>	1984-01, 1984-02, 1984-03, 1986-02	1981-02, 1983-11, 1983-12, 1984-01, 1984-12, 1985-01, 1985-02, 1985-03, 1985-12, 1986-01, 1986-02, 1988-11, 1988-12, 1989-01, 1989-02, 1989-03

2 结果分析

2.1 冬季黑潮区域*SSTA*对太平洋风暴轴和急流的影响

图1给出了由表1合成的冬季黑潮区域正、负*SSTA*时500 hPa位势高度滤波方差及其差值分布。为加强结论的可靠性,对两个样本均值进行了差异显著性的*t*检验,结果显著性达到 $\alpha=0.05$ 信度水平以上的地区在图中以阴影区表示。从图1上可以看到,冬季黑潮区域为正*SSTA*时,北太平洋风暴轴位置偏北;为负*SSTA*时,风暴轴位置偏南。比较而言,在正*SSTA*时风暴轴中西部(即入口区)天气尺度扰动强度有显著增强,其差值显著性已达到 $\alpha=0.05$ 的信度水平。

图2是冬季黑潮区域正、负*SSTA*时500 hPa纬向风速及其差值分布。由图可见,在冬季黑潮区域为正*SSTA*时,东亚急流位置偏北;为负*SSTA*时,东亚急流位置偏南。比较而言,其中心强度却几乎没有什么变化,只是在正*SSTA*时略有减弱。由于位置的北移,导致了东亚急流强度在其气候位置北侧(40°N附近)有明显增强,其差值显著性也已达到 $\alpha=0.05$ 的信度水平。

因此,在冬季黑潮区域正*SST*异常时,风暴轴和急流的位置都明显北移,并且风暴轴强度在入口区显著增强,而急流虽在其气候位置北侧强度有所增强,但其中心强度却变化不大。

2.2 冬季Nino 3+4区*SSTA*对太平洋风暴轴和急流的影响

同理,图3给出了冬季Nino 3+4区正、负*SSTA*时500 hPa位势高度的滤波方差及其差值分布。如图1,其差值显著性*t*检验结果达到 $\alpha=0.05$ 信度水平以上的地区也在图中以阴影区表示。图3显示,在冬季Nino 3+4区为正*SSTA*时,北太平洋风暴轴向东南方向扩展非常明显;为负*SSTA*时,风暴轴位置变化不大。比较而言,在正*SSTA*时风暴轴中东部的天气尺度扰动强度有显著增强,其差值显著性已达到 $\alpha=0.05$ 的信度水平。

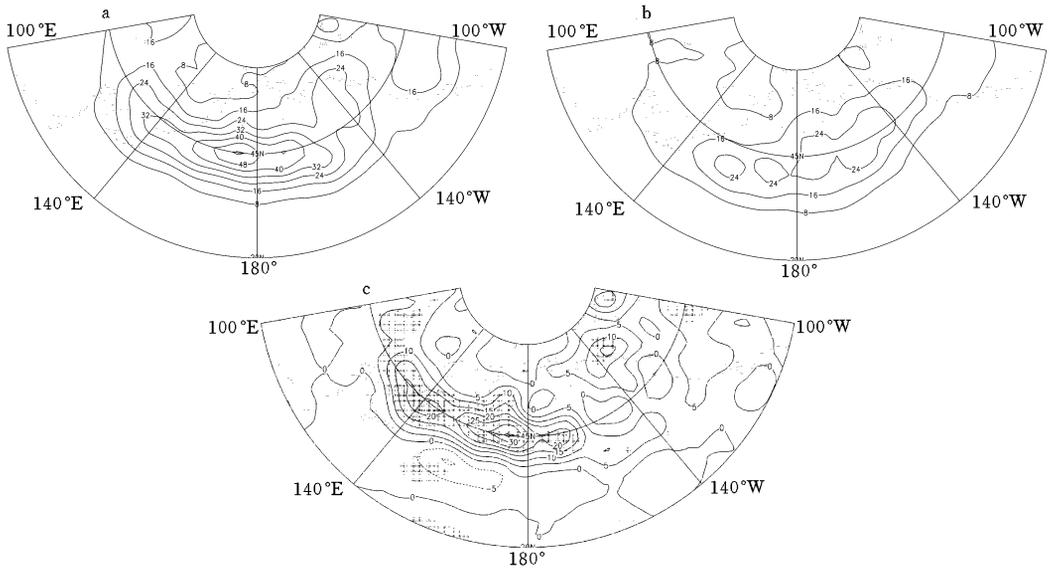


图1 冬季黑潮区域正、负 $SSTA$ 时 500 hPa 位势高度滤波方差(a、b)及其差值(c)的合成分布
(等值线间隔:a、b 中为 8.0 dagpm^2 ; c 中为 5.0 dagpm^2 ;
阴影部分表示通过 t 检验且显著性达到 $\alpha = 0.05$ 信度水平的区域)

Fig. 1 Composite variance map of 500 hPa geopotential height for positive (a), negative (b) winter $SSTA$ over Kuroshio area and their difference (c) with contour interval of 8.0 (a, b) and 5.0 (c) dagpm^2 , respectively (Shaded areas in (c) are places that have passed t -test with $\alpha = 0.05$)

图4给出的是冬季 Nino 3+4 区正、负 $SSTA$ 时 500 hPa 纬向风速及其差值分布。从图4上可以看到,在冬季 Nino 3+4 区为正 $SSTA$ 时,东亚急流主体位置略微偏北,并明显向东南方向扩展;为负 $SSTA$ 时,东亚急流位置变化不大,只是略有偏南。比较而言,在正 $SSTA$ 时东亚急流强度略有减弱。但由于位置的变动,使得在正 $SSTA$ 时,东亚急流在其气候位置北侧以及下游东南方的强度显著增强,其差值显著性也已达 $\alpha = 0.05$ 的信度水平。

因此,在冬季 Nino 3+4 区正 SST 异常时,风暴轴和急流的位置主要向东南方向扩展明显,强度也在中东部显著增强,而急流核的中心强度却变化不大。

2.3 综合分析

以上分析显示,在冬季风暴轴和急流的位置变化是同步的,但两者的强度变化却并不一致,下面根据已有的观测事实来分析其中的原因。海-气相互作用的研究表明,太平洋各区域的海温变化有很好的相关关系,其中赤道中、东太平洋和西北太平洋地区(包括黑潮区域)的 $SS- TA$ 变化与赤道西太平洋地区的 $SSTA$ 变化基本趋势相反,而且变化趋势一致的地区,其 $SS- TA$ 变化达到峰值的时间也不尽相同^[8]。因此,当黑潮区域为强的正 $SSTA$ 时,赤道西太平洋地区和赤道中、东太平洋地区分别为弱的负 $SSTA$ 和正 $SSTA$,因而这时热带温度梯度减小,使得热带哈得莱环流和沃克环流都减弱,副热带急流也随之减弱;但此时由于副热带与高纬度的温度梯度却是显著增强的,这将导致局地经向环流的增强,进而使副热带急流向北偏移;因此总的效果是导致副热带急流的北移,而强度却变化不大;对风暴轴来讲,由于副热带急流的北移以及非绝热加热而导致的风暴轴区域斜压性的显著增强,风暴轴在其入口区强度显著增强,位置也偏北。而当赤道中、东太平洋地区为强的正 $SSTA$ 时,赤道西太平洋地区和黑潮区

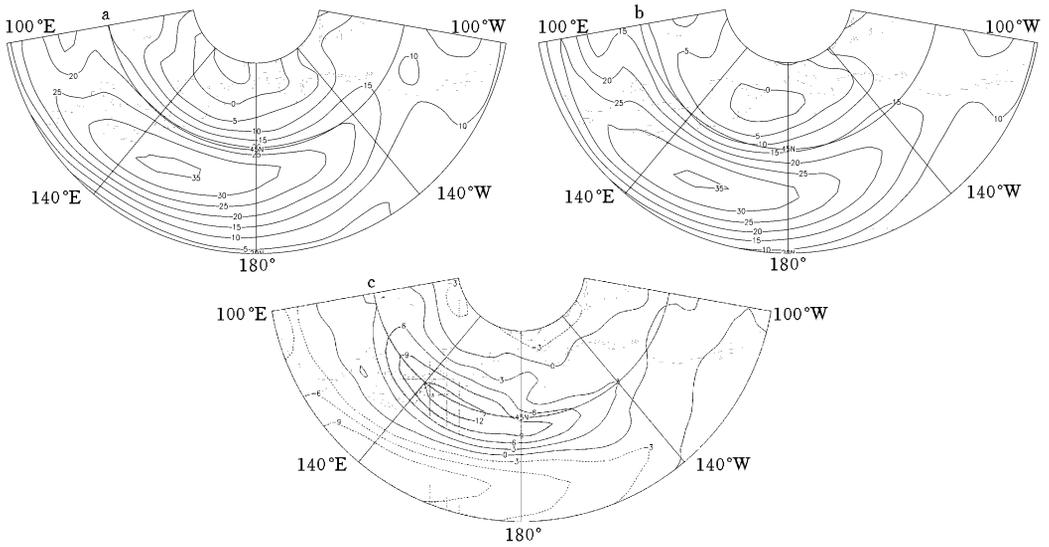


图2 冬季黑潮区域正、负 SSTA 时 500 hPa 纬向风 (a、b) 及其差值 (c) 的合成分布
(等值线间隔: a、b 中为 $5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; c 中为 $3.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
阴影部分表示通过 t 检验且显著性达到 $\alpha=0.05$ 信度水平的区域)

Fig. 2 Composite zonal wind at 500 hPa for positive (a), negative (b) winter SSTA over Kuroshio area and their difference (c) with contour interval of 5.0 (a, b) and 3.0 (c) $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively (Shaded areas in (c) are places that have passed t -test with $\alpha=0.05$)

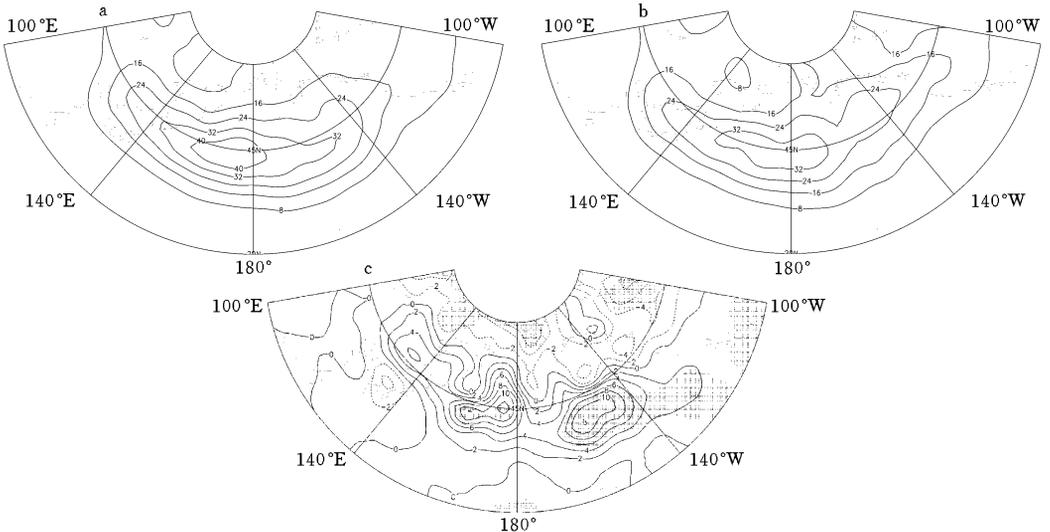


图3 冬季 Nino 3+4 区正、负 SSTA 时 500 hPa 位势高度滤波方差 (a、b) 及其差值 (c) 的合成分布
(等值线间隔: a、b 中为 8.0 dagm^2 ; c 中为 2.0 dagm^2 ;
阴影部分表示通过 t 检验且显著性达到 $\alpha=0.05$ 信度水平的区域)

Fig. 3 Composite variance map of 500 hPa geopotential height for positive (a), negative (b) winter SSTA over Nino 3+4 area and their difference (c) with contour interval of 8.0 (a, b) and 2.0 (c) dagm^2 , respectively (Shaded areas in (c) are places that have passed t -test with $\alpha=0.05$)

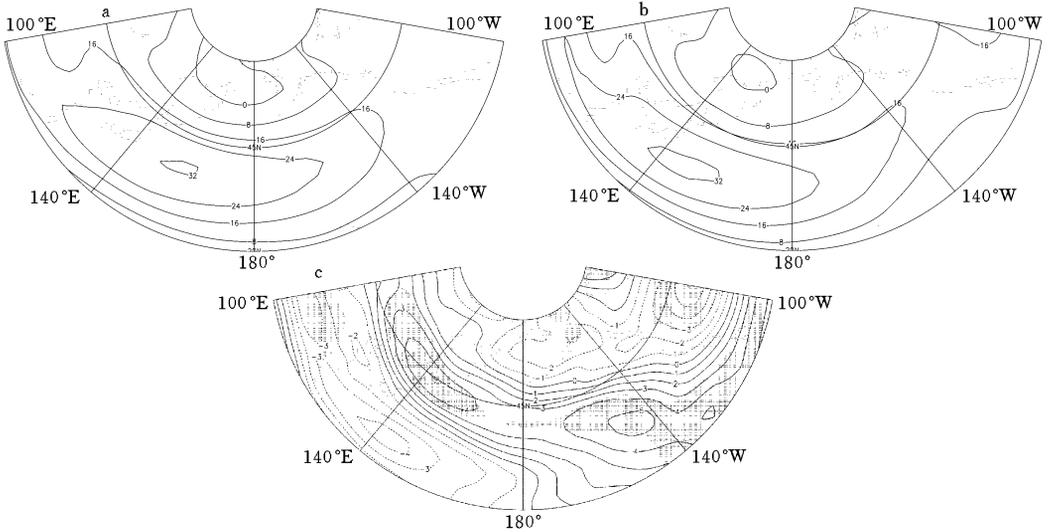


图 4 冬季 Nino 3+4 区正、负 SSTA 时 500 hPa 纬向风(a, b) 及其差值(c) 的合成分布
(等值线间隔: a、b 中为 $8.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; c 中为 $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

图中阴影部分表示通过 t 检验且显著性达到 $\alpha = 0.05$ 信度水平的区域)

Fig. 4 Composite zonal wind at 500 hPa for positive (a), negative (b) winter SSTA over Nino 3+4 area and their difference (c) with contour interval of 8.0 (a, b) and 1.0 (c) $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively

(Shaded areas in (c) are places that have passed t -test with $\alpha = 0.05$)

域分别为弱的负 SSTA 和正 SSTA, 此时热带沃克环流明显减弱, 但热带哈得莱环流总的来讲却是增强的, 因而副热带急流也随之增强并明显向东南方向扩展^[9]; 但由于副热带与高纬度的温度梯度此时也稍有增强, 又使副热带急流略有减弱并向北偏移; 因此总的效果是导致急流向东南向扩展, 而主体强度却变化不大; 对风暴轴来讲, 由于副热带急流东南向扩展以及非绝热加热而导致的风暴轴区域斜压性的增强, 风暴轴也向东南方向扩展, 并在其中东部强度显著增强。

当黑潮区域和赤道中、东太平洋地区为强的负 SSTA 时, 情况正好与以上结果相反。

图 5 给出了冬季太平洋区域正、负 SSTA 时 850~700 hPa 层斜压性强度指数 σ_{BI} 的差值分布图。其中 σ_{BI} 为根据 Hoskins 等^[6]引入的 Eady 波最大增长率 $\sigma_{BI} = 0.31f \frac{\partial V}{\partial Z} N^{-1}$ (式中右端符号均为常用气象符号)。在忽略气流低层的水平切变以及湿过程等复杂情况的影响下, 此量不失为表征中纬度斜压性强弱的一种很好度量, 故本文用作斜压性强度指数。从图中可以看到, 冬季黑潮区域正 SSTA 时太平洋风暴轴在西端入口区即中、西太平洋地区的斜压性显著增强(图 5a), 而冬季赤道中、东太平洋区域正 SSTA 时风暴轴区域在中、东太平洋地区的斜压性显著增强(图 5b), 并且斜压性增强的区域正好对应着这两个海域正 SSTA 时太平洋风暴轴增强的位置。因为此时急流的强度变化不大, 因此这种斜压性的增强应主要由非绝热加热效应直接引起的。

以上分析表明, 在冬季, 急流的位置和强度变化主要受热带与副热带温度梯度大小变化的影响, 而风暴轴的位置和强度变化不仅与基本气流的斜压不稳定(急流)有关, 还主要与非绝热加热效应所直接引起的斜压性增强密切相联。

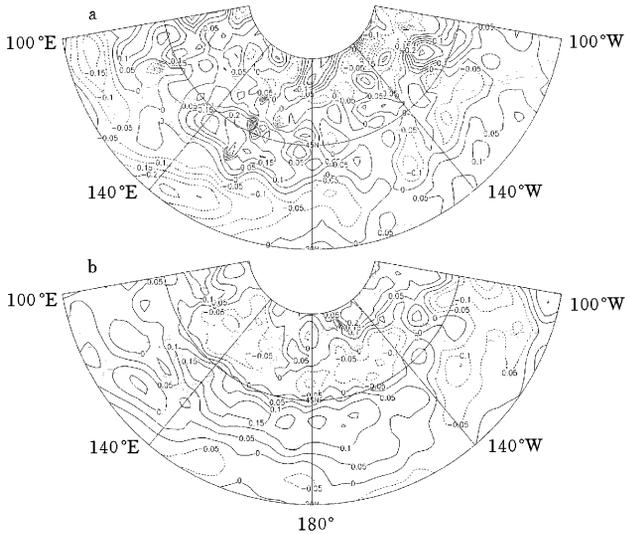


图5 冬季太平洋区域正、负 SSTA 时北半球 850 ~ 700 hPa 层斜压性指数合成场的差值分布
a. 黑潮区域; b. Nino 3+ 4 区 (等值线间隔分别为: 0.05 d^{-1} ;
阴影部分表示通过 t 检验且显著性达到 $\alpha=0.05$ 信度水平的区域)

Fig. 5 Composite difference map of 850 ~ 700 hPa baroclinicity index between positive and negative winter SSTA over Kuroshio (a) and Nino 3+ 4 (b) areas with contour interval of 0.05 d^{-1}
(Shaded areas are places that have passed t -test with $\alpha=0.05$)

3 结论与讨论

(1) 在冬季黑潮区域海表温度正异常时, 风暴轴和急流的位置均明显北移, 并且风暴轴的强度在入口区显著增强, 而急流中心的强度却变化不大, 只是在其气候位置北侧强度有所增强。

(2) 在冬季赤道中、东太平洋地区海表温度正异常时, 风暴轴和急流主要向东南方向明显扩展, 强度也在中东部显著增强, 而急流核的中心强度却变化不大。

(3) 急流的位置和强度变化主要受热带与副热带温度梯度大小变化的影响, 而风暴轴的位置和强度变化不仅与基本气流的斜压不稳定(急流)有关, 还主要与非绝热加热效应所直接引起的斜压性增强密切相联。

最后应指出, 本文所讨论的海温影响风暴轴与急流的位置及强度变化的结果是针对冬季季节内的变化而言的, 与其季节变化的结果有一定的区别, 而且影响两者变化的因素还比较复杂, 尚需进一步深入探讨。

参考文献

- [1] BLACKMON M L. A climatological spectral study of the 500mb 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 observation study of the northern hemisphere wintertime circulation[J]. J Atmos Sci, 1977, 34(7): 1040 ~ 1053
- [3] LAU N-C. The structure and energetics of transient disturbance in the northern hemisphere wintertime circulation[J]. J Atmos Sci, 1979, 36(6): 982 ~ 995

- [4] SIMMONS A J, HOSKINS B J. The life circle of some nonlinear baroclinic waves[J]. *J Atmos Sci*, 1978, 35(3): 441 ~ 432
- [5] 邓兴秀, 孙照渤. 北半球风暴轴的时间演变特征[J]. *南京气象学院学报*, 1994, 17(2): 165 ~ 170
- [6] HOSKINS B J, VALDES P J. On the existence of storm tracks[J]. *J Atmos Sci*, 1990, 47(15): 1854 ~ 1864
- [7] 朱伟军, 孙照渤. ENSO 事件对冬季北太平洋风暴轴维持的影响[J]. *南京气象学院学报*, 1998, 21(2): 189 ~ 195
- [8] 陈敬阳, 孙照渤. 热带西太平洋和印度洋海表温度的时空分布特征[J]. *南京气象学院学报*, 1993, 16(1): 41 ~ 47
- [9] 吴国雄, CUBASCH U. El Nino 海温异常对纬向平均经圈环流及大气输送特征的影响[J]. *中国科学(B 辑)*, 1986, 10: 1109 ~ 1120

EFFECTS OF WINTER PACIFIC SSTA ON THE STORM TRACK AND JET STREAM

ZHU Wei-jun, SUN Zhao-bo, PENG Jia-yi

(Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: Observational analysis is conducted of the effects of winter Pacific SSTA on the storm track and jet stream. It is shown that the positive Kuroshio (equatorial central and eastern Pacific) SSTA in winter can give rise to northward (east- and south-ward) movement of both the storm track and jet stream, and lead to substantial enhancement in the entrance area of the storm track (central and eastern Pacific), but leave the center of jet stream little variation in intensity. As such, the jet stream varies in position and intensity mainly as a result of the change of temperature gradient in the tropics and subtropics, while the variation of the storm track in position and intensity is not only related to the jet stream, but also to the intensified baroclinicity which is mainly caused by diabatic heating.

Keywords: storm track; jet stream; SSTA; baroclinicity