

# 北太平洋风暴轴的异常活动与辽宁省 冬季最低气温的联系

刘鸣彦, 侯依玲, 周晓宇, 易 雪, 赵春雨, 龚 强, 崔 妍

(沈阳区域气候中心, 沈阳 110166)

**摘要:** 利用1975-2015年辽宁省52站逐日最低气温资料和NCEP/NCAR再分析资料,通过合成分析、相关分析等统计方法,对辽宁省冬季最低气温及北太平洋风暴轴的时空演变特征进行研究,初步探讨了北太平洋风暴轴的异常活动与辽宁省冬季最低气温的可能联系。结果表明,辽宁省冬季最低气温突变年为1986年,20世纪80年代中期以后气温表现出偏暖特征。北太平洋风暴轴与辽宁省冬季最低气温间存在同步一致地变化特征,风暴轴活动强年,辽宁省受西南气流控制,阿留申低压、西伯利亚高压强度减弱,同时东亚大槽减弱北退,东亚西风急流偏北,东亚冬季风系统活动减弱,不利于冷空气向南侵袭,辽宁省冬季最低气温偏高,反之在风暴轴活动弱年,辽宁省冬季最低气温偏低。与北太平洋风暴轴相关联的中高纬度大气环流异常变化是风暴轴强度与辽宁省冬季最低气温关系产生变化的主要原因。

**关键词:** 北太平洋风暴轴;辽宁省冬季最低气温;大气环流异常

DOI: 10.11821/dlxb201707003

## 1 引言

辽宁省地处东亚大陆东岸,属于温带大陆性季风气候区,气温变化既受全球气候增暖趋势的影响又具有一定的地域性,近百年来,辽宁气候变暖非常明显,冬季升温最强,春季次之<sup>[1]</sup>。东亚冬季风、极涡、北极涛动等环流系统<sup>[2-6]</sup>均会影响辽宁省冬季气温的变化。高峰等<sup>[7]</sup>对东北冬季冷、暖冬的环流场特征进行了研究,指出冷冬年东亚大槽较深,中国东北处于西北气流控制下有利于冷空气南下;汪宏宇等<sup>[8]</sup>指出冬季东北气温高低与蒙古高压强弱为负相关关系,当纬向风强盛时东北易出现高温;庞子琴等<sup>[9]</sup>研究了不同年代际背景下北极涛动与冬季中国东北气温年际异常关系的变化情况,与涛动相关联的中高纬度大气环流异常变化导致了两者关系发生年代际变化;刘实等<sup>[10]</sup>研究发现冬季风通过影响200 hPa东亚急流,500 hPa东亚大槽、乌拉尔高压,850 hPa风场,蒙古高压等的异常导致东北冬季气温的年际和年代际异常;房一禾等<sup>[11]</sup>对比了辽宁冬季气温与不同东亚冬季风指数的关系,确定朱艳峰<sup>[12]</sup>定义的冬季风指数与辽宁冬季气温关系最密切。深入研究大气环流异常背景下辽宁冬季气温的演变规律,对提高辽宁地区气温预测水

收稿日期: 2017-01-16; 修订日期: 2017-03-15

**基金项目:** 中国气象局气候变化专项(CCSF201608, CCSF201609); 辽宁省科学技术计划项目(2015103038); 辽宁省气象局科研项目(201503); 中国气象局沈阳大气环境研究所开放基金 [Foundation: Climatic Change Research Item of the China Meteorological Administration, No.CCSF201608, No.CCSF201609; Liaoning Science and Technology Project, No.2015103038; Research Item of the Liaoning Provincial Meteorological Administration, No.201503; The Open Foundation of China Meteorological Administration Shenyang Atmospheric Environment Research Institute]

**作者简介:** 刘鸣彦(1987-), 女, 辽宁沈阳人, 工程师, 主要从事气候变化及气象灾害风险评估研究。

E-mail: imlmy730@163.com

平, 应对气温异常变化所带来的威胁和灾害具有重要意义。

风暴轴常年存在于北太平洋与北大西洋上空, 是中纬度气旋和反气旋活动最为频繁的区域<sup>[13]</sup>, 风暴轴与逐日天气系统的生消与演变相联系, 在中纬度地区表现为显著的瞬变扰动<sup>[14]</sup>。北太平洋风暴轴在冬季最强, 夏季最弱, 风暴轴在对流层具有整体一致的年际和年代际变化特征<sup>[15]</sup>, 1985年前后发生了由弱至强的年代际跃变<sup>[16]</sup>。风暴轴的年际变化与太平洋北美遥相关型和太平洋西部遥相关型密切联系<sup>[17]</sup>, 年代际变化则与大气环流的低频变率有关<sup>[18]</sup>。已有研究表明<sup>[19]</sup>, 风暴轴活动与冬季影响中国的冷空气活动次数间存在相关关系, 风暴轴活动的强年, 东亚地区近地面温度偏高。

在前人研究的基础上, 本文对1975-2015年辽宁省冬季最低气温及北太平洋风暴轴趋势变化特征进行分析, 基于风暴轴强度指数, 主要探讨北太平洋风暴轴的异常活动与辽宁省冬季最低气温间的可能联系。

## 2 资料与方法

选用1975-2015年冬季辽宁省52站的逐日最低气温资料及NCEP/NCAR (美国国家环境预报中心和大气科学研究中心, National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research) 再分析逐日位势高度场、月平均高度场、月平均纬向风场、月平均海平面气压场资料, 网格覆盖整个北半球, 格点数为 $144 \times 37$ 。冬季定义为前一年的12月至当年的2月, 逐日最低气温资料由沈阳区域气候中心提供, 并利用算术平均值法计算得到辽宁省逐年冬季平均最低气温值。

采用500 hPa天气尺度(2.5~6.0 d)位势高度滤波方差场代表风暴轴的强度及位置, 利用文献<sup>[15]</sup>中的方法, 选用31点数字滤波器, 从逐日500 hPa位势高度场资料中滤波得到2.5~6.0 d瞬变涡动量, 将逐日滤波结果按月份计算逐月方差值, 即得到500 hPa天气尺度月平均位势高度带通滤波方差场。选取北半球 $100^{\circ}\text{E} \sim 100^{\circ}\text{W}$ 、 $20^{\circ}\text{N} \sim 70^{\circ}\text{N}$ 区域内500 hPa天气尺度位势高度滤波方差大于等于 $18 \text{ dagpm}^2$ 的点为北太平洋风暴轴区域, 满足上述条件的所有格点滤波方差平均值为风暴轴强度指数。

采用相关分析、合成分析、一元线性回归等统计方法, 对1975-2015年北太平洋风暴轴和辽宁省冬季最低气温的趋势变化特征, 北太平洋风暴轴的异常活动与辽宁省冬季最低气温的可能联系进行探讨。

## 3 风暴轴与辽宁省冬季最低气温变化特征

### 3.1 辽宁省冬季平均最低气温变化特征

1975-2015年冬季辽宁省52站平均最低气温为 $-20.9 \sim -4.9^{\circ}\text{C}$ , 具有明显的南高北低, 沿海向内陆地区递减的温度变化特征。辽南地区, 特别是大连, 滨临黄渤海, 受海洋气候影响, 气温相对较高, 辽西北地区是燕山山脉向辽河平原过渡地区, 容易受冷空气影响, 其中铁岭、抚顺、朝阳部分地区气温相对较低。

为反映辽宁省冬季最低气温序列长期演变特征, 给出逐年最低气温距平变化曲线(图1)。20世纪80年代中期以后气温呈现变暖趋势, 1986年为辽宁省冬季最低气温的突变年, 与北太平洋风暴轴年代际跃变的时间相一致。20世纪80年代中期以前为相对偏冷时期, 气温呈小幅度下降趋势, 80年代中期以后为相对偏暖时期, 气温显著升高, 但在1999年后气温表现为显著的振荡变化特征, 其中2000年、2010年前后气温均有所降低。

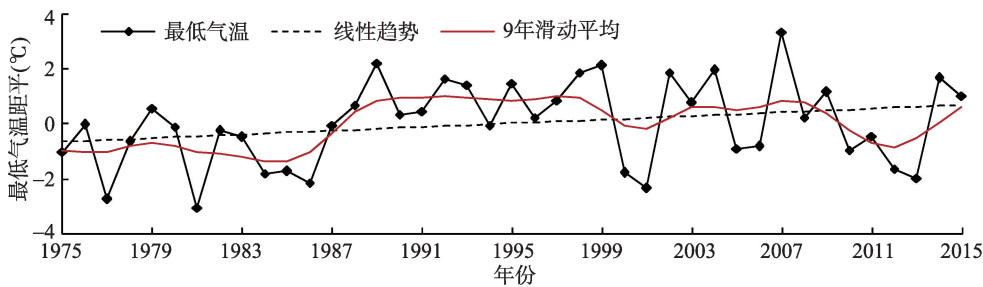


图1 1975-2015年辽宁省冬季最低气温距平变化特征  
Fig. 1 The variation of winter minimum temperature anomaly in Liaoning from 1975 to 2015

近41年中，2007年为最暖的一个冬季，平均最低气温为-9.5℃，1981年为全省冬季气温最低的一年，平均最低气温为-15.9℃。整体来看，近41年辽宁省冬季最低气温表现为显著的波动升温趋势，这与东北地区气候显著变暖背景相一致<sup>[1]</sup>。

3.2 北太平洋风暴轴变化特征

根据1975-2015年近41年冬季北太平洋风暴轴的平均分布（图2）可知，风暴轴贯穿整个北太平洋，从亚洲大陆东部向东延伸至北美西部，表现为一条纬向拉长分布的天气尺度扰动值带。扰动最大值位于170°E、45°N附近，中心强度可达26.0 dagpm<sup>2</sup>以上。

冬季北太平洋风暴轴强度平均为22.6 dagpm<sup>2</sup>，最强年达到28.0 dagpm<sup>2</sup>（1989年），最弱年强度仅为18.9 dagpm<sup>2</sup>（2010年）。强度指数有显著的年代际变化特征，1975-1985年，风暴轴强度较弱，20世纪80年代中期至90年代初风暴轴显著地增强，但在90年代风暴轴呈现持续减弱的趋势；90年代末至21世纪初，风暴轴有所增强，之后又持续减弱，直至2010年后风暴轴才逐渐开始增强。这种年代际变化特征与辽宁省冬季最低气温的变化趋于一致。整体来看，近41年来北太平洋风暴轴表现为微弱增强趋势（图3）。

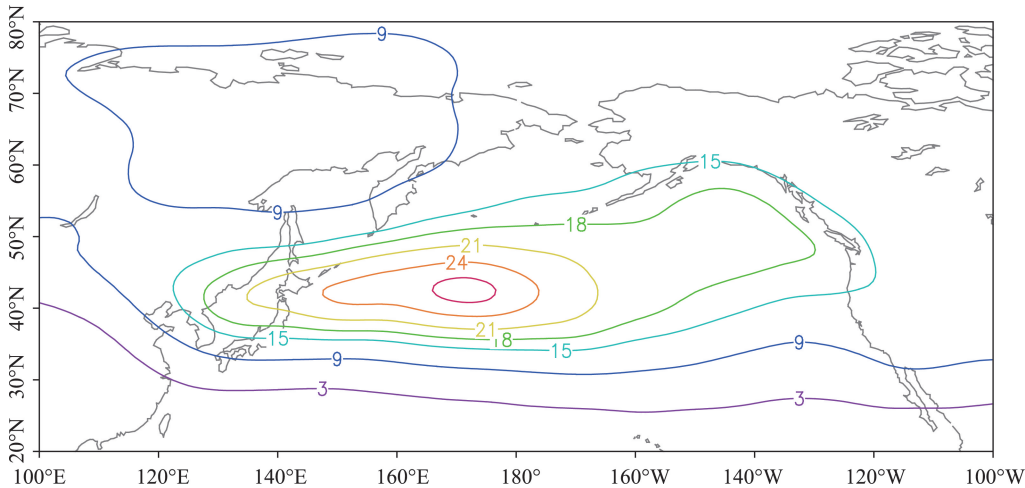


图2 1975-2015年冬季北太平洋风暴轴平均分布 (dagpm<sup>2</sup>)  
Fig. 2 Spatial distribution of North Pacific storm track in winter from 1975 to 2015 (dagpm<sup>2</sup>)

4 风暴轴的异常活动与辽宁省冬季最低气温的联系

4.1 同期风暴轴强度与冬季最低气温的相关关系

对北太平洋风暴轴强度指数的年际变化与辽宁省52站冬季最低气温年际异常进行同

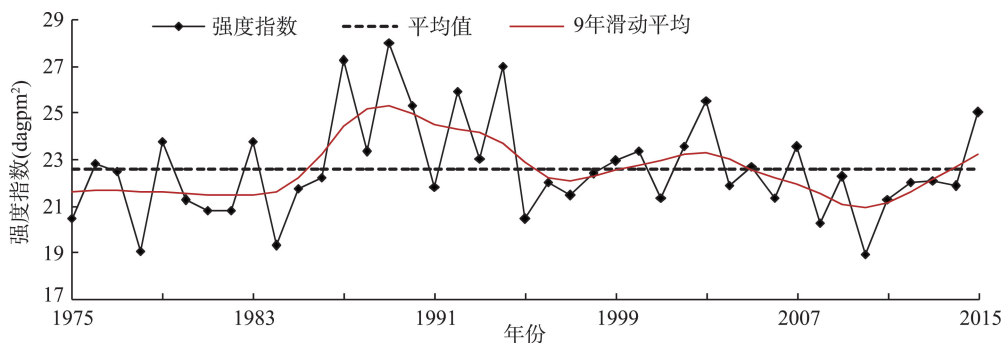


图3 冬季北太平洋风暴轴强度指数变化曲线

Fig. 3 The variation of North Pacific storm track intensity index in winter

期相关, 风暴轴强度指数与冬季最低气温在全省范围内均呈正相关分布, 相关系数也表现为南高北低, 沿海向内陆递减的特征, 丹东、营口、葫芦岛及朝阳部分地区相关系数较高, 铁岭、抚顺地区相关系数较低。对相关系数的显著性进行检验分析(图4), 除铁岭、抚顺部分地区外, 全省大部分地区相关系数通过了95%水平的显著性检验, 葫芦岛、朝阳部分地区的相关系数还通过了99%水平的显著性检验。由以上可知, 当北太平洋风暴轴增强(减弱)时, 辽宁省冬季最低气温升高(降低), 两者间存在同步一致地变化特征。

为更进一步分析北太平洋风暴轴异常变化与辽宁省冬季最低气温的联系, 对北太平洋风暴轴的整体强度进行划分, 探讨风暴轴不同强度下, 同期辽宁省最低气温间的差异。对41年冬季北太平洋风暴轴强度指数进行标准化分析, 取大于(小于)0.6(−0.6)的年份为北太平洋风暴轴活动的强年(弱年)。表1列出了41年冬季北太平洋风暴轴强度指数高、低值所对应的年份, 其中高值年有7年, 低值年有10年。

图5为北太平洋风暴轴强度指数高、低值年对应的辽宁省冬季最低气温合成分析差值分布图。全省均为正差值分布, 当北太平洋风暴轴较强时, 辽宁省冬季最低气温显著升高, 与风暴轴偏弱时相比, 最低气温平均升高1.5℃, 升温显著的地区是在丹东、本溪一带及辽宁西部葫芦岛、朝阳一带, 北部铁岭及中部沈阳部分地区升温较小。

4.2 风暴轴的异常变化与最低气温的联系

4.2.1 风暴轴异常变化与位势高度场

由图6相关分析可知, 北太平洋风暴轴强度指数与500 hPa位势高度场的正相

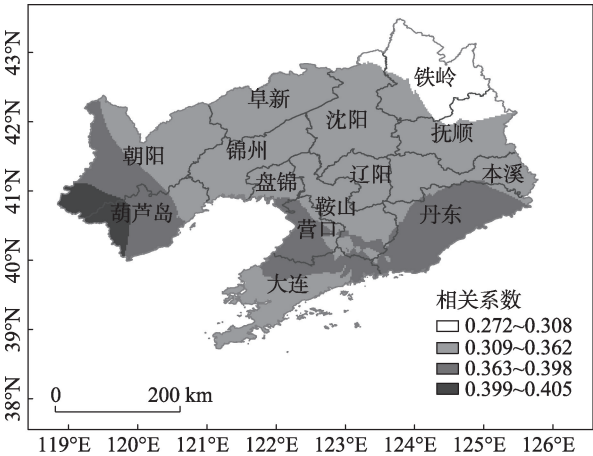


图4 北太平洋风暴轴强度指数与辽宁省冬季最低气温相关系数(阴影区表示通过95%水平显著性检验)

Fig. 4 Distribution of correlation coefficient between North Pacific storm track intensity index and winter minimum temperature in Liaoning (shaded areas denote the significant level at 95%)

表1 1975-2015年冬季北太平洋风暴轴高、低强度指数年份

Tab. 1 The years of strong and weak North Pacific storm track strength index in winter from 1975 to 2015	
高值年	低值年
1987、1989、1990、	1975、1978、1980、1981、1982
1992、1994、2003、2015	1984、1995、2008、2010、2011



关区域有两个,分别位于中纬度亚洲大陆东部至北太平洋及北美大陆中部至北大西洋一带,负相关分布在 $60^{\circ}\text{N}$ 以北,其中乌拉尔山、格陵兰地区为显著的负值中心,高度场上正负相关中心的分布类似于太平洋西部遥相关型(Western Pacific Teleconnection, WP),其中东亚大槽槽区为显著的正相关,那么当北太平洋风暴轴活动增强时,东亚大槽减弱北退,风暴轴活动减弱时,东亚大槽则加强南伸。

对风暴轴强、弱年500 hPa位势高度距平场进行合成分析,差值场中 $60^{\circ}\text{N}$ 以北为负距平中心,沿贝加尔湖经日本岛直至北太平洋为东西向分布的正距平中心。当风暴轴增强时,极涡增强收缩,东亚大槽减弱,位置偏北、偏东,贝加尔湖以西以北的脊减弱,东亚地区环流经向型减弱,辽宁省乃至整个东北地区受高压脊控制,冷空气活动相对减弱。反之亦然。

#### 4.2.2 风暴轴异常变化与海平面气压场 北太平洋风暴轴强度指数与海平面气压场 (Sea

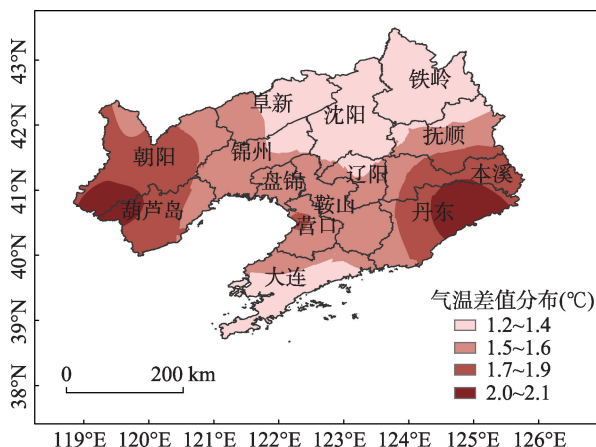


图5 风暴轴强、弱年辽宁省冬季最低气温差值分布  
Fig. 5 The winter minimum temperature differences between years with strong storm track and weak ones

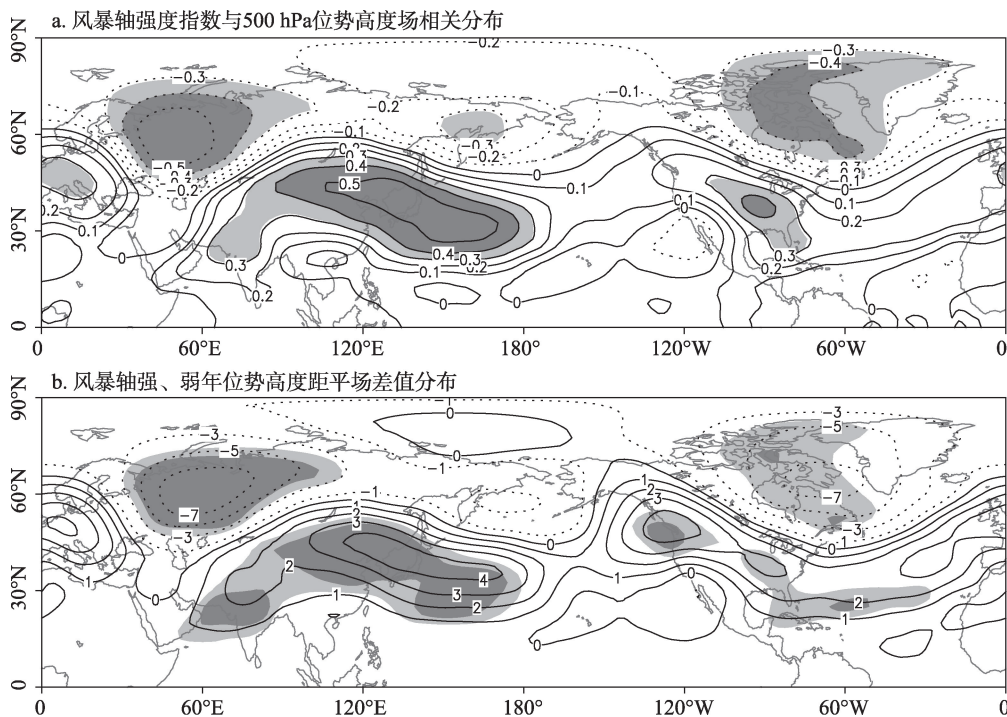


图6 风暴轴强度指数与500 hPa位势高度场相关分布和风暴轴强、弱年位势高度距平场差值分布 (dagpm)(深、浅阴影区分别表示通过了99%和95%水平的显著性检验)

Fig. 6 Distribution of correlation coefficient between North Pacific storm track intensity index and 500 hPa geopotential height variance and Geopotential height anomaly differences between years with strong storm track and weak ones

Level Pressure, SLP) 的相关分布上 (图 7a), 负相关中心有两个, 一个从蒙古西伯利亚一带向南延伸至整个东亚大陆, 另一个分布在格陵兰岛附近, 正相关中心分布在阿留申群岛以南的太平洋上, 其中东亚大陆与西北太平洋之间东西向海陆气压呈跷跷板式变化。

由强风暴轴年减去弱年的 SLP 差值图 (图 7b) 可知, 正异常中心位于  $30^{\circ}\text{N}$  的日本海至东北太平洋一带, 偏南于阿留申群岛, 负异常中心位于西伯利亚高压所在地区 ( $70^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ,  $40^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{N}$ ), 当北太平洋风暴轴偏强时, 阿留申低压减弱, 西伯利亚高压也减弱, 高压前部的偏南气流增强, 东亚至北太平洋地区海陆气压差减小, 海洋上暖湿气流易进入东北地区, 有利于东北地区气温升高, 此时海平面气压场表现为类似于正位相的北极涛动遥相关型 (Arctic Oscillation, AO)。

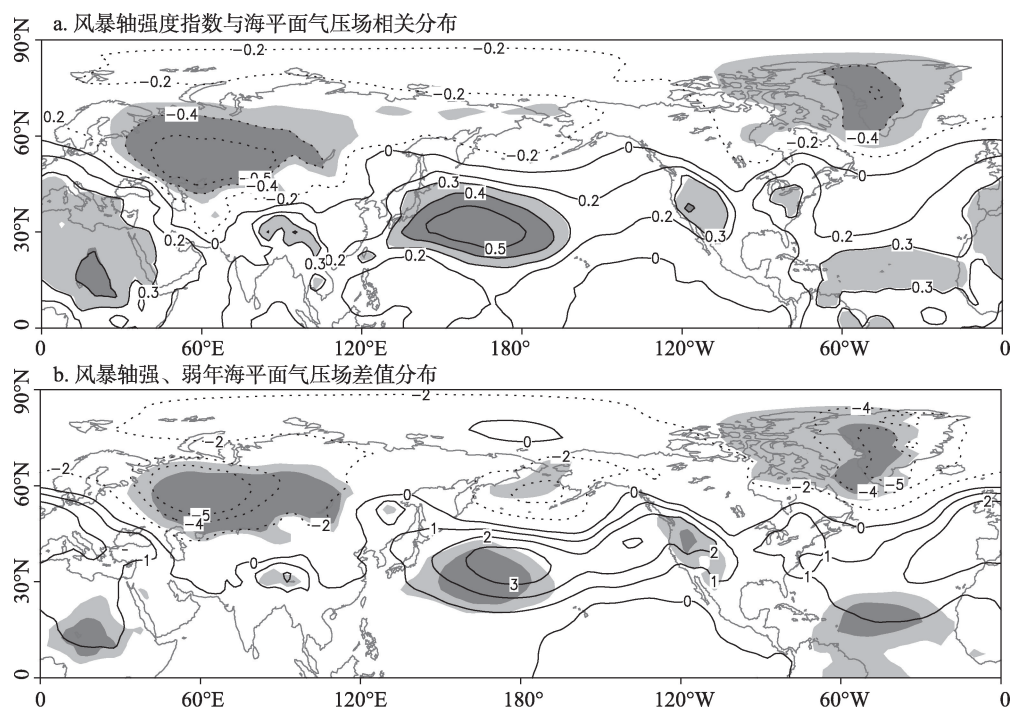


图 7 风暴轴强度指数与海平面气压场相关分布和风暴轴强、弱年海平面气压场差值分布(hPa)  
(深、浅阴影区分别表示通过了 99%和 95%水平的显著性检验)

Fig. 7 Distribution of correlation coefficient between North Pacific storm track intensity index and sea level pressure field and Sea level pressure differences between years with strong storm track and weak ones

**4.2.3 风暴轴异常变化与纬向风场** 风暴轴异常强年减去弱年的 500 hPa 纬向风场上 (图 8), 中高纬度与中低纬度间表现为反位相分布的特征, 正异常区分布在风暴轴轴线的北侧  $45^{\circ}\text{N}\sim 75^{\circ}\text{N}$  一带, 轴线以南为负异常区分布。当风暴轴增强时, 东亚西风急流北抬, 中高纬纬向风偏强, 中低纬纬向风减弱, 特别是  $30^{\circ}\text{N}$  附近的青藏高原东南侧纬向风相对较弱, 冷空气被限制在极地, 高低纬之间纬向风的经向切变减弱, 东亚冬季风偏弱, 容易出现暖冬, 反之亦然。

**4.2.4 风暴轴异常变化与同期大气环流关系的检验** 以上研究揭示出冬季北太平洋风暴轴整体强度的年际变化与同期大气环流及辽宁冬季最低气温间有密切联系, 以下从风暴轴强度指数与 5 个有代表性的中、低纬度大气环流指数间的关系, 来验证这种联系的真实存在性 (图 9)。根据前面的分析, 选取了阿留申低压指数、西伯利亚高压指数、北半球

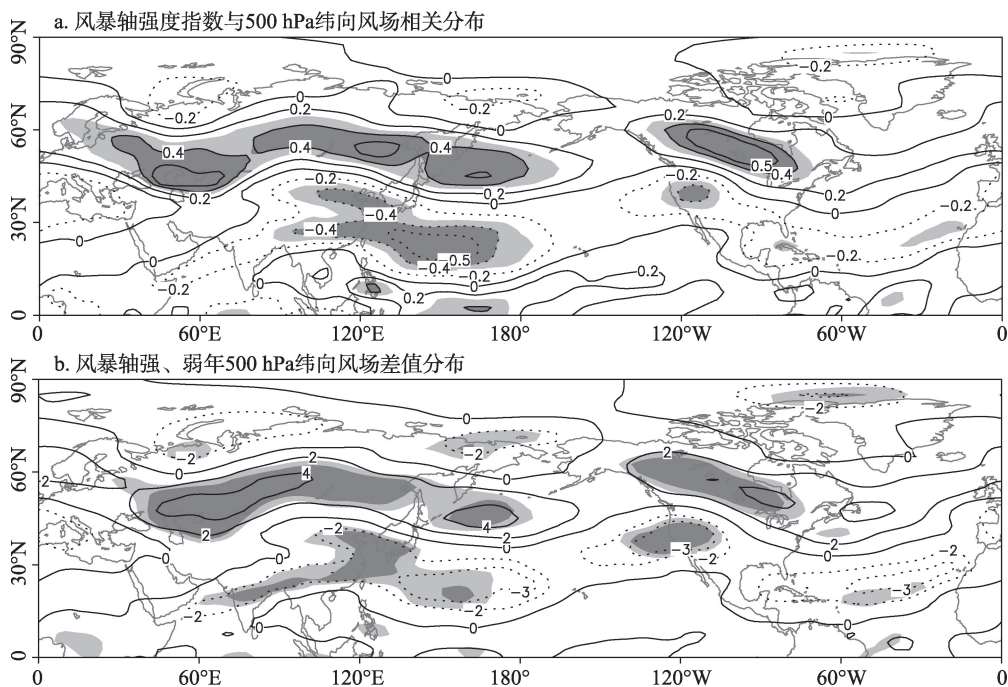


图8 风暴轴强度指数与500 hPa纬向风场相关分布和风暴轴强、弱年500 hPa纬向风场差值分布 ( $\text{m s}^{-1}$ )(深、浅阴影区分别表示通过了99%和95%水平的显著性检验)

Fig. 8 Distribution of correlation coefficient between North Pacific storm track intensity index and 500 hPa zonal wind field and 500 hPa zonal wind differences between years with strong storm track and weak ones

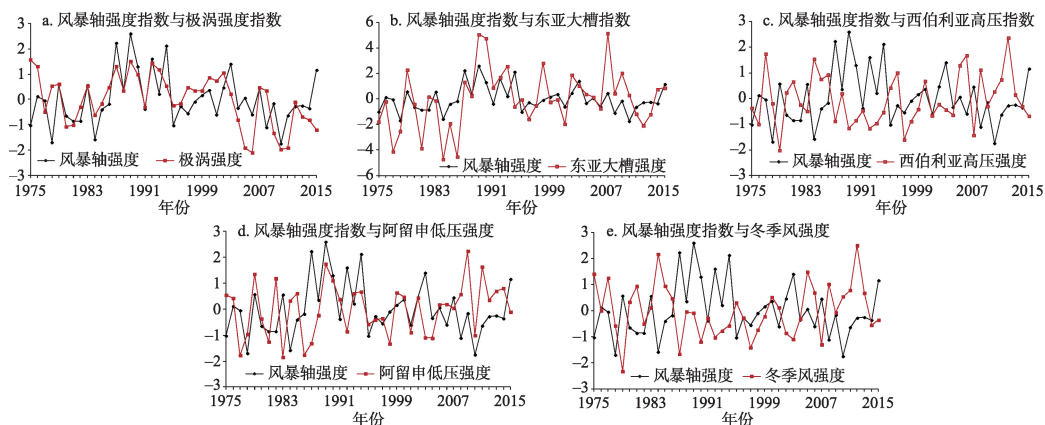


图9 风暴轴强度指数与极涡强度指数、东亚大槽指数、西伯利亚高压指数、阿留申低压指数、冬季风指数的时间演变曲线

Fig. 9 Time series of North Pacific storm track strength index and polar vortex index, East Asian trough intensity index, Siberian High index, Aleutian Low index, East Asian winter monsoon index

极涡强度指数、东亚大槽强度指数及冬季风强度指数作为北太平洋地区大气环流指数的代表。北半球极涡强度指数 ( $I_{pv}$ ) 资料取自国家气候中心气候系统诊断预测室的74项环流特征量资料, 东亚大槽强度 ( $I_{EAT}$ ) 用  $30^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$  区域平均的500 hPa高度距平场表示<sup>[20]</sup>, 根据龚道溢等<sup>[21]</sup>的定义, 西伯利亚高压强度指数 ( $I_{SH}$ ) 为冬季  $70^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 、 $40^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{N}$  区域平均海平面气压值, 阿留申低压 ( $I_{AL}$ ) 指数是根据 Trenberth 等<sup>[22]</sup>



的定义, 将 30°N~65°N、160°E~140°W 海平面气压的区域平均值定义为阿留申低压的强度, 此值越低表明阿留申低压越强, 根据朱艳峰的定义<sup>[12]</sup>, 500 hPa 纬向风则可用来表征东亚冬季风环流指数, 如式 (1) 所示, 其定义中的两个纬向风区域正是图 8 中的正、负异常区。为便于比较, 将北太平洋风暴轴强度指数 ( $I_{ST}$ ) 在内的所有指数进行了标准化处理。

$$I_{EAWM} = \overline{U}_{500}(25^{\circ} - 35^{\circ}N, 80^{\circ} - 120^{\circ}E) - \overline{U}_{500}(50^{\circ} - 60^{\circ}N, 80^{\circ} - 120^{\circ}E)$$

(1)

表 2 对比了北太平洋风暴轴强度指数与各环流指数间的相关系数, 除阿留申低压强度指数外, 风暴轴强度指数与其他环流指数间的相关系数均通过了 95% 的显著性检验。时间演变曲线显示出, 当北太平洋风暴轴活动偏强时, 对应的对流层低层, 西伯利亚高压明显减弱, 阿留申低压略微减弱, 对流层中层, 东亚大槽减弱北退, 东亚西风急流偏北, 青藏高原东南侧西风相对减弱, 东亚冬季风系统活动偏弱, 不利于冷空气向南侵袭, 辽宁省冬季最低气温有所升高, 反之当风暴轴活动偏弱时, 各环流系统活动反相, 辽宁省冬季最低气温有所降低。风暴轴强度发生变化时, 海平面气压场表现出 AO 的形态特征, 高度场上表现为 WP 遥相关型, 纬向风场急流变化显著。可见, 北太平洋风暴轴的活动在一定程度上可以反映东亚—北太平洋大气环流的异常, 通过与北半球大气平均流异常的相互配合建立了风暴轴与辽宁省冬季最低气温间的一定联系。

表 2 各大气环流指数与北太平洋风暴轴强度指数的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between atmospheric circulation exponentials and North Pacific storm track strength index

相关系数	$I_{PV}$	$I_{EAT}$	$I_{SH}$	$I_{AL}$	$I_{EAWM}$
$I_{ST}$	0.464**	0.551**	-0.449**	0.089	-0.495**

注: \*: 通过 95% 显著性检验; \*\*: 通过 99% 显著性检验。

## 5 结论与讨论

利用 NCEP\NCAR 逐日、逐月再分析资料, 辽宁省 52 站逐日最低气温资料, 使用相关、合成分析等方法, 对辽宁省冬季最低气温及北太平洋风暴轴的时空演变特征进行分析, 探讨北太平洋风暴轴的异常活动与辽宁省冬季最低气温间的可能联系, 主要结论为:

- (1) 辽宁省冬季最低气温存在显著的阶段性变化特征, 20 世纪 80 年代中期以前为相对偏冷时期, 气温以负距平为主, 80 年代中期后至 2015 年气温以正距平偏暖为主, 1986 年为最低气温的突变年。全省冬季最低气温具有南高北低、沿海向内陆递减的变化特征。北太平洋风暴轴是分布在北太平洋上的一条天气尺度扰动值带, 中心强度可达 26.0 dagpm<sup>2</sup> 以上, 具有显著的年代际变化特征。
- (2) 风暴轴强度指数与辽宁省冬季最低气温间存在同步一致地变化特征。当北太平洋风暴轴增强 (减弱) 时, 辽宁省冬季最低气温升高 (降低), 其中丹东、本溪、葫芦岛、朝阳一带升温 (降温) 显著。
- (3) 当北太平洋风暴轴异常活动时, 与其年际变化有关的大气环流发生变化, 进而建立了风暴轴与辽宁省冬季最低气温间的联系。北太平洋风暴轴活动的强年, 西伯利亚高压与阿留申低压均有减弱的特征, 东亚至北太平洋地区海陆气压差减小, 海洋上暖湿气流易进入东北地区。500 hPa 高度距平场上, 东亚大槽减弱北退, 贝加尔湖以西以北的脊减弱, 东亚地区环流经向型减弱, 辽宁省处于高压脊控制区内, 受西南气流控制, 有利于气温升高。对流层中层纬向风场上, 中高纬纬向风偏强, 东亚西风急流北抬, 中低纬纬向风减弱, 高低纬之间纬向风的经向切变减弱, 东亚冬季风偏弱, 更容易出现暖冬。北太平洋风暴轴活动的弱年, 情况则相反, 辽宁省更容易出现冷冬。
- (4) 北太平洋风暴轴强度与辽宁省冬季最低气温的年际变化间存在着相关联系, 风



暴轴及大气环流的相互配合作用对辽宁省冬季最低气温的年际差异有一定程度的影响。但北太平洋风暴轴强度的改变与东亚冬季风、西伯利亚高压、阿留申低压等系统之间关系的差异机制仍需要进一步的研究。

## 参考文献(References)

- [1] Sun Fenghua, Zhao Chunyu. Analysis on the characteristics of temperature change in Liaoning during the last hundred years. *Journal of Meteorology and Environment*, 2002, 3: 14-22. [孙风华, 赵春雨. 辽宁近百年气温变化基本特征分析. *气象与环境学报*, 2002, 3: 14-22.]
- [2] Yang Suying, Wang Qianqian, Sun Fenghua. The winter air temperature anomalies and the changes of the atmosphere circulation characteristics in southern Northeast China. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2005, 16(3): 334-344. [杨素华, 王谦谦, 孙风华. 中国东北南部冬季气温异常及其大气环流特征变化. *应用气象学报*, 2005, 16(3): 334-344.]
- [3] Liu Shi, Yan Minhua, Sui bo. Advances in the research of winter air temperature variation of three provinces in Northeast China. *Advances in Climate Change Research*, 2009, 5(6): 357-361. [刘实, 闫敏华, 隋波. 东北三省冬季气温变化的有关研究进展. *气候变化研究进展*, 2009, 5(6): 357-361.]
- [4] Shen Zhichao, Ren Guoyu, Li Jiao, et al. Winter temperature variability and its relationship with atmospheric circulation anomalies in Northeast China. *Journal of Meteorology and Environment*, 2013, 29(1): 47-54. [沈志超, 任国玉, 李娇, 等. 中国东北地区冬季气温变化特征及其与大气环流异常的关系. *气象与环境学报*, 2013, 29(1): 47-54.]
- [5] Zhao Lianwei, Jin Wei, Zhang Yunfu, et al. Spatio temporal distributions of winter air temperature and its conceptual prediction model in Liaoning Province. *Journal of Meteorology and Environment*, 2009, 25(1): 19-22. [赵连伟, 金巍, 张运福, 等. 辽宁冬季气温时空分布特征及其预测概念模型. *气象与环境学报*, 2009, 25(1): 19-22.]
- [6] Hu Xiuling, Liu Xuanfei. Decadal Relationship between winter air temperature in Northeast China and Arctic Oscillations. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2005, 28(5): 640-648. [胡秀玲, 刘宣飞. 东北地区冬季气温与北极涛动年代际关系研究. *南京气象学院学报*, 2005, 28(5): 640-648.]
- [7] Gao Feng, Sui Bo, Sun Hongyan, et al. Variation characteristics of winter air temperature and circulation field from 1951 to 2008 in the Northeast China. *Journal of Meteorology and Environment*, 2011, 27(4): 12-16. [高峰, 隋波, 孙鸿雁, 等. 1951-2008年东北地区冬季气温变化及环流场特征. *气象与环境学报*, 2011, 27(4): 12-16.]
- [8] Wang Hongyu, Gong Qiang, Sun Fenghua, et al. Temperature anomaly features in Northeast China and east of North China and primarily analysis of its mechanism. *Plateau Meteorology*, 2005, 24(6): 1024-1033. [汪宏宇, 龚强, 孙风华, 等. 东北和华北东部气温异常特征及其成因的初步分析. *高原气象*, 2005, 24(6): 1024-1033.]
- [9] Pang Ziqin, Guo Pinwen. Interdecadal variation of relationship between AO and winter temperature interannual variability in Northeast China. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 2010, 33(4): 469-476. [庞子琴, 郭品文. 不同年代际背景下AO与冬季中国东北气温的关系. *大气科学学报*, 2010, 33(4): 469-476.]
- [10] Liu Shi, Sui Bo, Li Ji, et al. Influence of East Asian winter monsoon on winter air temperature in Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(4): 507-514. [刘实, 隋波, 李辑, 等. 东亚冬季风对中国东北冬季气温变化的影响. *地理科学*, 2015, 35(4): 507-514.]
- [11] Fang Yihe, Zhang Yunfu, Shao Pengcheng, et al. Variation characteristics of winter air temperature in Liaoning province and its relations with East Asia winter monsoon. *Journal of Meteorology and Environment*, 2014, 30(1): 57-63. [房一禾, 张运福, 邵鹏程, 等. 辽宁冬季气温变化特征及与东亚冬季风的关系. *气象与环境学报*, 2014, 30(1): 57-63.]
- [12] Zhu Yanfeng. An index of East Asian winter monsoon applied to description the Chinese mainland winter temperature changes. *Acta Meteorologica Sinica*, 2008, 66(5): 781-788. [朱艳峰. 一个适用于描述中国大陆冬季气温变化的东亚冬季风指数. *气象学报*, 2008, 66(5): 781-788.]
- [13] Zhu Weiju, Li Ying. Inter-decadal variation characteristics of winter North Pacific storm tracks and its possible influencing mechanism. *Acta Meteorologica Sinica*, 2010, 68(4): 477-486. [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. *气象学报*, 2010, 68(4): 477-486.]
- [14] Li Ying, Zhu Weijun, Wei Jiansu. Reappraisal and improvement of winter storm track indices in the North Pacific. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2010, 34(5): 1001-1010. [李莹, 朱伟军, 魏建苏. 冬季北太平洋风暴轴指数的评估及其改进. *大气科学*, 2010, 34(5): 1001-1010.]
- [15] Deng Xingxiu, Sun Zhaobo. Characteristics of temporal evolution of northern storm tracks. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 1994, 17(2): 165-170. [邓兴秀, 孙照渤. 北半球风暴轴的时间演变特征. *南京气象学院学报*, 1994, 17(2): 165-170.]
- [16] Ding Yefeng, Ren Xuejuan, Han Bo. Primairy analysis of the climatic characteristics and variability of the north pacific

- storm track. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2006, 26(3): 237-243. [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. *气象科学*, 2006, 26(3): 237-243.]
- [17] Zhu Weijun, Sun Zhaobo. Interannual variability of northern winter pacific storm track and its association with 500 hPa height and tropical and northern pacific sea surface temperature. *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, 58(3): 309-320. [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. *气象学报*, 2000, 58(3): 309-320.]
- [18] Chang E K M, Fu Y. Interdecadal variations in Northern Hemisphere winter storm track intensity. *J. Climate*, 2002, 15: 642-658.
- [19] Gu Peushu, Zhu Weijun, Liu Mingyan, et al. Storm track anomaly over the North Pacific in winter and its relation with atmospheric circulation over East Asia. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2013, 33(6): 610-618. [顾沛澍, 朱伟军, 刘鸣彦, 等. 冬季北太平洋风暴轴异常及其与东亚大气环流的关系. *气象科学*, 2013, 33(6): 610-618.]
- [20] Mu Mingquan, Li Chongyin. Interdecadal variations of atmospheric circulation (I): Observation analyses. *Climatic and Environmental Research*, 2000, 5(3): 233-241. [穆明权, 李崇银. 大气环流的年代际变化(I): 观测资料的分析. *气候与环境研究*, 2000, 5(3): 233-241.]
- [21] Gong Daoyi, Zhu Jinhong, Wang Shaowu. The influence of Siberian High on large-scale climate over continental Asia. *Plateau Meteorology*, 2002, 21(1): 8-14. [龚道溢, 朱锦红, 王绍武. 西伯利亚高压对亚洲大陆的气候影响分析. *高原气象*, 2002, 21(1): 8-14.]
- [22] Trenberth K E, Hurrell J W. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Climate Dyn.*, 1994, 9: 303-319.

## The North Pacific storm track anomaly and its relationship with winter minimum temperature in Liaoning Province

LIU Mingyan, HOU Yiling, ZHOU Xiaoyu, YI Xue, ZHAO Chunyu,  
GONG Qiang, CUI Yan

(Regional Climate Center of Shenyang, Shenyang 110166, China)

**Abstract:** Based on the daily minimum temperature data from 52 observational stations in Liaoning Province and the NCEP/NCAR reanalysis data from 1975 to 2015, with composite analysis and correlation analysis, the spatial and temporal features of the winter minimum temperature in Liaoning and North Pacific storm track are analyzed, and the North Pacific storm track anomaly and its relationship with winter minimum temperature are studied. Some conclusions are drawn as follows. The winter minimum temperature in Liaoning had an obvious abrupt change around 1986, then the temperature continued to rise. The North Pacific storm track and the winter minimum temperature had synchronous consistent variation. In the years when North Pacific storm track was stronger, the winter minimum temperature was affected by the southwestern flow; at the same time, the Aleutian Low and Siberian High were at lower level, and the East Asia Trough weakened as it moved to north, the East Asian westerly jet stream at 500 hPa also moved to north. All these led to the weaker East Asian winter monsoon circulation, which was not conducive to the southward movement of cold air, leading to a higher winter temperature in Liaoning. In the years when North Pacific storm track was weaker, lower air temperature was observed in Liaoning. The main reason for the change of relationship with North Pacific storm track intensity and winter minimum temperature is anomalous change of atmospheric circulation at middle and high latitudes.

**Keywords:** North Pacific storm track; minimum temperature in winter; atmospheric circulation anomaly; Liaoning Province