

董才桂, 赵平, 刘舸, 等. 冬季亚洲—太平洋涛动年际变率与东亚气候异常. 应用气象学报, 2014, 25(6): 669-679.

冬季亚洲—太平洋涛动年际变率与东亚气候异常

董才桂¹⁾ 赵平^{1)*} 刘舸²⁾ 陈军明¹⁾

¹⁾(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081)

²⁾(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘 要

利用 1948—2011 年 NCEP/NCAR 月平均再分析资料和 1951—2010 年我国 160 站降水量资料, 研究了冬季亚洲—太平洋区域的大气遥相关及其与东亚冬季风和降水的关系。结果表明: 冬季在亚洲—西太平洋与中、东太平洋中低纬度对流层上层扰动温度之间存在类似于夏季的亚洲—太平洋涛动(APO)现象, 即当东亚中低纬度对流层中、上层偏暖时, 中东太平洋中低纬度对流层中上层温度偏冷, 反之亦然。冬季 APO 可以反映冬季亚洲—太平洋东西向热力差异强度变化, 与夏季相比, 冬季 APO 遥相关在亚洲的中心位置略偏南、偏东, 且冬季 APO 与大气环流关系与夏季也有所不同; 当冬季 APO 指数偏高时, 对流层上层东亚大槽位置偏西, 而东亚热带地区的高压向北伸展, 导致我国南方对流层为深厚的异常反气旋系统所控制, 此时南方地区对流层低层盛行异常的偏东北气流, 并伴随水汽辐散和异常下沉运动, 南方降水偏少; 冬季 APO 指数与 ENSO 有紧密联系。

关键词: 亚洲—太平洋涛动; 东亚冬季风; 降水; 年际变化

引 言

关于亚洲—北太平洋区域大尺度大气遥相关研究长期以来受到高度关注, 并取得了显著进展^[1-6]。一些遥相关型被广泛应用于解释冬季和夏季北半球气候异常的原因, 且这些遥相关异常变化常常与厄尔尼诺/南方涛动事件有关^[7]。

东亚冬季风是一个复杂的系统, 表现为在东亚地区对流层低层盛行的东北风或西北风。一些研究指出, 在东亚的西北内陆地区冬季风与东亚大陆沿岸及太平洋地区呈反相关关系^[8]。冬季东亚低层风的异常变化与北半球大尺度环流有关, 受到中高纬度大气环流系统的影响^[9], 特别是与东亚大槽、西伯利亚高压等关系紧密^[10-11]。欧亚大陆中纬度对流层上层西风急流和定长波扰动异常通过引起西伯利亚高压异常, 进一步对东亚冬季风产生影响^[4, 12]。此外, 冬季北大西洋涛动和北极涛动也影响着东亚冬季风强度, 当冬季北大西洋涛动指数偏高(低)时, 东

亚冬季风减弱(增强), 而冬季北极涛动处于正(负)位相时, 东亚冬季风偏弱(强)^[13-14]。

东亚冬季风在很大程度上受到西伯利亚冷源和热带海洋的热力对比的影响^[15-16]。如青藏高原冬季热状况异常变化影响着亚洲大气环流和东亚冬季风强度^[17-19]; 在更大尺度上, 欧亚中高纬度地区表面热状况也与东亚冬季风有关^[20]。此外, 冬季欧亚大陆、太平洋上空大气环流和东亚大槽年际变化与热带中东太平洋海表温度异常有关^[21-23]; 在东亚冬季风偏强年份, 热带西太平洋为正距平, 热带东太平洋为负距平, 而在东亚冬季风偏弱年份, 热带太平洋海温异常型相反^[24-27], 且赤道东太平洋海温异常可能超前东亚季风变化 2 个月左右^[28]。施能^[29]利用东亚陆地与西太平洋之间的海平面气压差来指示海陆热力差异, 研究了冬季东亚—西太平洋热力差异对东亚冬季风的影响。晏红明等^[30]研究了亚洲陆地不同区域地面温度之间的联系, 指出南亚与东北亚地表温度存在反位相变化关系, 并根据这种反位相关系定义了一个冬季风热力差异指数, 分析了其对

2014-03-06 收到, 2014-09-16 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金项目(41205056, 41221064), 国家国际合作专项(2011DFG23450)

* 通信作者, email: zhaoping@cams.cma.gov.cn

东亚冬季风和随后的夏季风的影响。最近研究^[31]表明,1990—2009年冬季西伯利亚高压呈增强趋势,伴随亚洲大陆中高纬度地区地表温度的降温趋势,导致近年来东亚严冬频发,且冬季西伯利亚高压的这种变化与前期秋季到冬季北冰洋东部、欧亚大陆北部边缘海区的海冰密集度有密切联系。

尽管关于东亚冬季风变化规律及其与亚洲陆地、周边海洋关系的研究取得了显著进展,但一些问题仍然不清楚,特别是从亚洲陆地与太平洋热力差异角度研究冬季风的报道还较少。赵平等^[32]利用EOF方法研究亚洲与太平洋海平面之间的联系,指出二者之间存在反位相关关系,并分析了其对东亚冬季风的影响。由于海平面气压场在一定程度上可以指示其上空的温度状况^[33],那么在亚洲与太平洋海平面气压之间的反位相关关系是否意味着在亚洲与太平洋之间对流层温度也存在这种遥相关仍需探讨。此外,Jiang等^[34]采用EOF方法研究了冬季青藏高原及周边区域对流层上层温度的主要模态与东亚冬季风的联系。在更大尺度上冬季北半球对流层温度存在何种遥相关,如果冬季存在遥相关,那么对于不同于夏季的冬季大气环流平均状况,与冬季遥相关联系的大气环流异常特征如何均有待深入研究。

为了回答上述问题,本文利用NCEP/NCAR再分析资料,我国160站降水资料分析冬季北半球对流层温度场的大气遥相关特征,并进一步研究这种遥相关异常与东亚冬季风和降水年际变率之间的关系。

1 资料和方法简介

本文所用资料包括1948—2011年NCEP/NCAR月平均大气再分析资料^[35],水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;国家气候中心提供的1951—2010年我国160站月降水量资料。

本文所用的方法包括含有面积权重的自然正交函数分解、功率谱分析、相关分析、回归和合成分析方法。

本文选择的研究时段为1951—2009年的59个冬季。其中,冬季指当年12月至次年1—2月。

2 冬季亚洲—太平洋涛动及其变率

参考Zhao等^[36]方法,对1951—2009年冬季北半球 $0^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ 区域的200~300 hPa平均 T' (这里 T 为温度, $T' = T - \bar{T}$, \bar{T} 为 T 的纬向平均)距平场进行EOF分析,结果表明:第1模态(EOF1)的方差贡献为33%(特征值为20036.3),第2模态(EOF2)为14%(特征值为8587.4),满足North等^[37]提出的判据,说明这两个模态是可区分的。图1给出了EOF1和EOF2的分布特征。对于EOF1(图1a),异常正值主要出现在欧亚大陆、非洲、西太平洋、热带大西洋,中心值出现在 $30^{\circ} \text{N}, 120^{\circ} \text{E}$ 附近;而异常负值主要出现在东太平洋和北大西洋中纬度地区,中心值出现在 $20^{\circ} \text{N}, 150^{\circ} \text{W}$ 附近地区。这种特征是

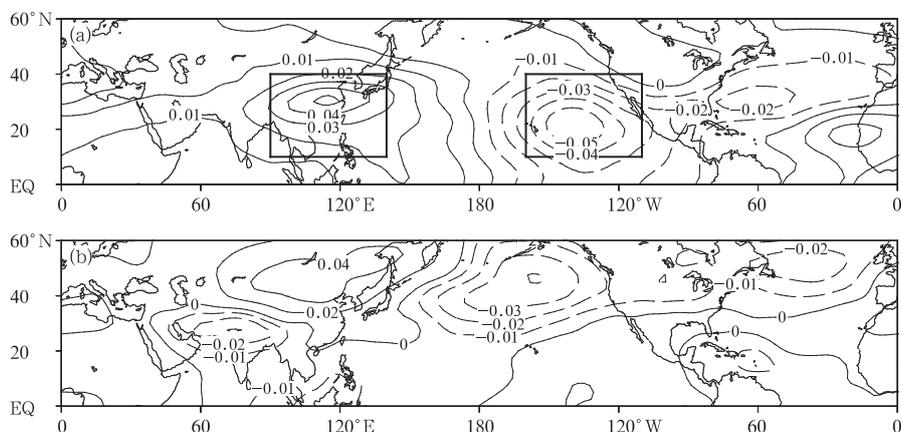


图1 冬季北半球 $0^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ 区域200~300 hPa平均 T' 距平场的EOF模态

(a) EOF1(方框分别代表东亚—西太平洋和中东太平洋区域), (b) EOF2

Fig. 1 EOF modes of anomaly of December-January-February (DJF) 200-300 hPa mean T' over the Northern Hemisphere ($0^{\circ} - 60^{\circ} \text{N}$) (a) EOF1 (boxes denote Asian-western Pacific and central-eastern Pacific, respectively), (b) EOF2

与赵平等^[38]利用 1958—2002 年 ERA-40 再分析资料分析得到的结果一致。与 EOF1 不同,在 EOF2 中(图 1b),正值主要出现在欧亚大陆中高纬度地区,负值主要出现在北太平洋中高纬度地区南亚和大西洋高纬度地区。很明显,EOF2 的正负中心与 EOF1 的弱值区相对应,这进一步证明了两个模态的差异。EOF1 所揭示的异常特征反映了在东亚与中东太平洋中低纬度对流层上层温度之间的一种反位相变化关系。

参考 EOF1 正、负中心位置,分别用 $10^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}, 90^{\circ} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 和 $10^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}, 110^{\circ} \sim 160^{\circ}\text{W}$ (图 1a)指示东亚—西太平洋和中东太平洋区域,并分别定义为东亚—西太平洋温度指数和中东太平洋温度指数。图 2a 给出了冬季东亚—西太平洋和中东太平洋地区 200~300 hPa 平均的 T' 指数。由图 2a 可

知,这两个指数存在着明显的反位相关系,59 年中有 46 年符号相反,占 78%,仅 13 年同号,且总体上同号年份的异常均偏弱,这两个指数之间的相关系数为 -0.84 (达到 0.001 显著性水平)。这些结果进一步证明冬季在亚洲与太平洋地区对流层上层 T' 之间存在东西向的反位相变化关系,且这种遥相关型与 Zhao 等^[36]所揭示的夏季亚洲—太平洋涛动(Asian-Pacific Oscillation, APO)特征相似,只是与夏季遥相关位置相比,亚洲上空冬季遥相关的正中心位置稍偏东和偏南。本文仍将这种遥相关称为 APO 遥相关,定义东亚—西太平洋与中东太平洋之间的对流层上层(200~300 hPa)之间的温度差异作为 APO 指数,即

$$I_{\text{APO}} = T_{10^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}, 90^{\circ} \sim 140^{\circ}\text{E}} - T_{10^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}, 110^{\circ} \sim 160^{\circ}\text{W}} \quad (1)$$

相关分析表明,1951—2009 年冬季 APO 指数

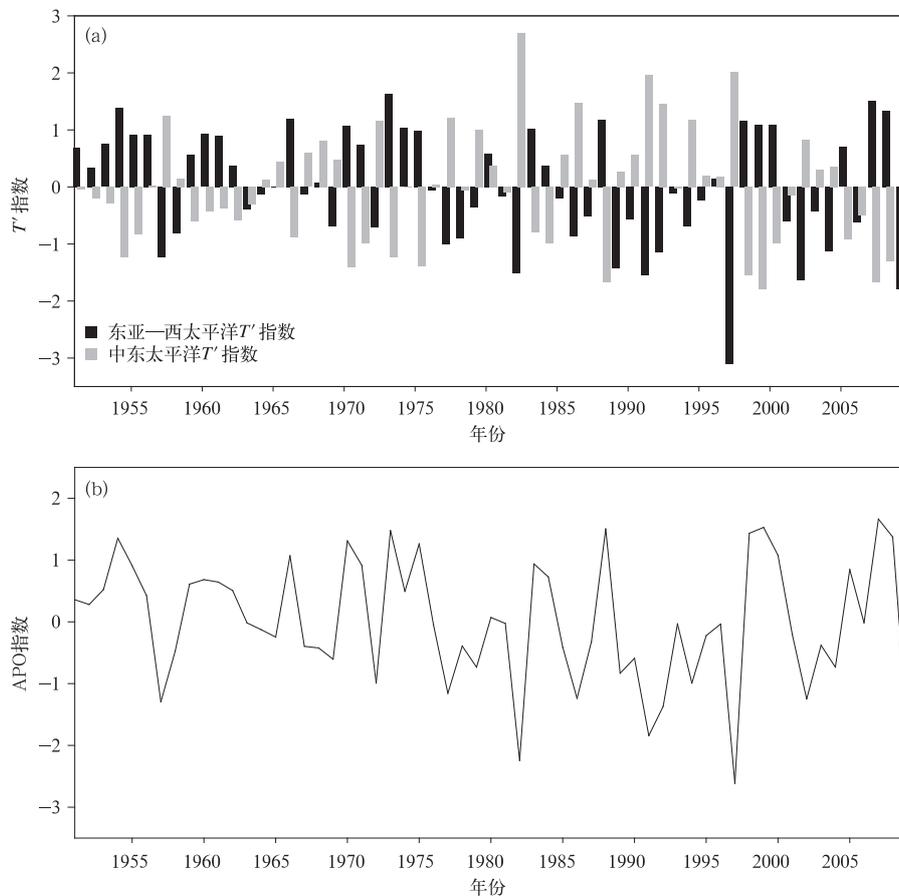


图 2 标准化的冬季指数时间序列

(a) 冬季东亚—西太平洋和中东太平洋平均 T' 指数, (b) 冬季 APO 指数

Fig. 2 Standard time series of DJF indices

(a) T' indices of Asian-western Pacific and central-eastern Pacific in winter, (b) DJF APO index

与 EOF1 模态的时间系数变化特征一致,二者相关系数为 0.98,说明可以用冬季 APO 指数近似代替 EOF1 模态的时间系数,而 EOF1 模态的时间系数变率可以反映亚洲与太平洋之间的东西向热力差异变化,即冬季陆地与太平洋之间的对流层上层 T' 之间的变率不是完全独立的,参考 EOF1 模态正负中心位置定义的热力差异指数可以很好地反映亚洲与太平洋之间对流层上层温度的差异程度。

图 3a 显示了冬季 APO 指数回归的对流层 T' 沿 25°N 的剖面。由图 3a 可知,显著 T' 正值出现在东亚上空 $200\sim 700$ hPa,中心值为 0.8,位于 $200\sim 500$ hPa 之间;显著 T' 负值出现在中东太平洋上空 $200\sim 700$ hPa,中心值为 -1.2 ,位于 $200\sim 300$ hPa 之间。图 3b 给出了回归的 250 hPa T' 水平分布。由图 3b 可知,超过 0.6 的显著正差值主要出现在东亚和西太平洋中低纬度地区,中心值为 1.2,位于我

国东部 30°N 附近;超过 0.6 的显著负差值主要出现在中东太平洋中低纬度地区,中心值为 -1.2 ,位于 $22.5^{\circ}\text{N}, 140^{\circ}\text{W}$ 附近。此外,在 200 hPa 以上这种“跷跷板”结构仍然存在,只是其位相与对流层中上层相反,即在亚洲上空 $100\sim 150$ hPa 存在显著 T' 负差值,而在中东太平洋为显著的 T' 正差值(图 3a)。在表面(图 3c),亚洲陆地上空(除了青藏高原区域)和西太平洋副热带地区以显著的负差值为主,中心值为 0.4,位于我国东部 30°N 附近,显著的负差值也出现在 150°W 以东的太平洋中纬度地区和热带中东太平洋;显著的正差值出现在中太平洋中纬度地区和热带西太平洋地区。这些结果说明冬季 APO 特征在对流层中上层更明显。此外,与冬季 APO 指数回归的温度(T)的特征进行了比较,结果表明:回归的 T 特征与图 3 给出的很相似(图略)。

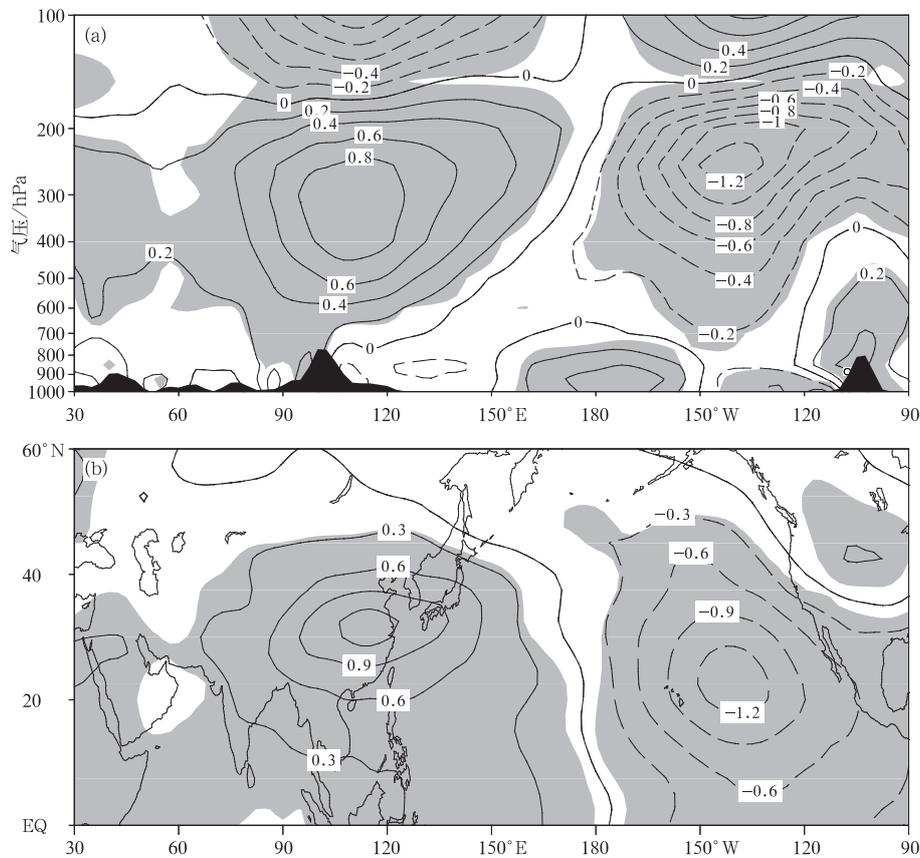


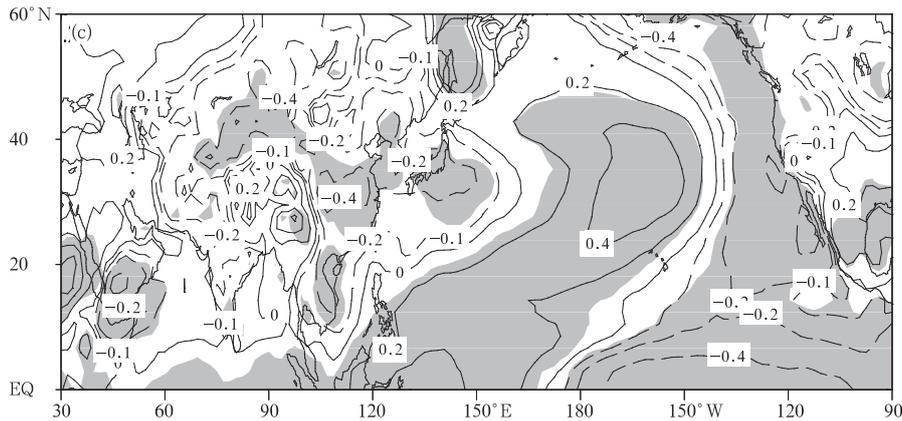
图 3 冬季 APO 指数回归的同期 T' (灰色区域表示达到 0.05 显著性水平,黑色区域表示地形)

(a)沿 25°N 的经度-高度垂直剖面,(b) 250 hPa T' 水平分布,(c) 表面气温

Fig. 3 Regressed T' against DJF APO index

(the grey denotes passing the test of 0.05 level, the black denotes the topography)

(a) longitude-height cross section along 25°N , (b) T' at 250 hPa, (c) surface temperature



续图 3

由图 2b 可知,冬季 APO 指数没有表现出明显的线性趋势,而是呈明显的年际变率,功率谱分析结果表明:冬季 APO 指数有显著的 2~6 年变化周期,也指示着明显的年际变率。为了采用合成分析方法研究与冬季 APO 异常相关的气候变化特征,根据图 2b 的冬季 APO 指数分别选择 9 个高指数年和低指数年,其中 9 个 APO 高指数年分别为 1954, 1970, 1973, 1975, 1988, 1998, 1999, 2007, 2008 年; 9 个 APO 低指数年分别为 1957, 1977, 1982, 1986, 1991, 1992, 1997, 2002, 2009 年。其中这些极端年的冬季 APO 指数距平绝对值都大于 1 倍时间序列标准差(即 1.5°C)。从冬季 APO 高指数年和低指数年合成的 250 hPa 扰动温度差值图(略)可知:显著 T' 正差值主要位于亚洲—西太平洋中低纬度地区,中心位于我国中东部及附近海域;而显著的 T' 负差值主要位于北太平洋中东部,中心位于东太平洋 20°N ,这种分布特征与图 1a 和图 3b 一致,说明用上述冬季 APO 指数的极端年份能够较好地指示冬季 APO 的年际变率。

3 与冬季 APO 异常相关联的东亚冬季风和降水变化

图 4a 给出了在冬季 APO 高指数年和低指数年合成的扰动位势高度差值(H')沿 25°N 的经度-高度剖面,可以看到,在亚洲—西太平洋上空的对流层中、高层(100~400 hPa)存在显著正差值,中心值为 6 dagpm,而在对流层低层(600~1000 hPa)为显著负差值;在东太平洋上空的对流层上层(100~300 hPa)为显著的 H' 负差值,在中低层(500~

1000 hPa)为显著正差值。图 4b 给出了合成的扰动位势高度差值(H')沿 115°E 的纬度-高度剖面,可以看到,显著的负 H' 中心值出现在 30°N 以北的对流层,其中心位于 200~400 hPa;而在偏低纬度的 400 hPa 以上存在显著正差值,其中 7 dagpm 中心值位于 100~200 hPa。图 4c 给出了 200 hPa 的 H' 差值,可以看到,在亚洲中高纬度地区为显著负差值,而在其南侧为显著正差值,中心位于我国南方;中东太平洋地区正和负中心分别出现在中高纬度和热带地区。在 200 hPa 气候平均图上(略),东亚中高纬度沿岸是东亚大槽平均位置附近,而在南、北半球的热带地区为环绕全球的高压带控制,因此在图 4c 中东亚中高纬度地区的 H' 负差值反映了一个位置偏西的东亚大槽,而在东亚低纬度地区的 H' 正差值说明热带地区的高压系统在东亚地区偏强。很显然,由于东亚季风区冬季气候平均状况与夏季不同,因此与冬季 APO 相关联的东亚大气环流的异常特征也与夏季情况^[36]不一致。

对应于对流层上层 H' 正异常,由合成的 200 hPa 风场差值图(图 5a)可知,一个异常反气旋出现在东亚和西太平洋中纬度地区,异常环流中心在 30°N , 120°E 附近,该中心北侧的异常偏西风指示着东亚中纬度地区的西风急流加强。该异常反气旋深厚,在 850 hPa(图 5b)异常反气旋环流出现在江南,环流中心位于 30°N , 110°E 附近,该中心东南侧的异常东北气流盛行于东亚中低纬度地区。该异常反气旋也出现在合成的海平面气压场上(图 5c),我国东部地区为较弱的异常高压控制。这些结果表明,在整个对流层中,我国南方地区为一个深厚的异常高压系统控制。图 5d 给出了冬季 APO 高指数

年和低指数年合成的经向垂直环流沿 $107.5^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 的纬度-高度剖面, 可以看到, 在对流层高层东亚中高纬度异常反气旋环流中心附近(图 5a)为异常的下沉运动区(图 5d), 下沉气流在对流层低层

向南和向北辐散, 其中向南的一支伴随低层的异常偏北风, 指示在东亚 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}\text{N}$ 之间的东北风是下沉的, 而异常上升运动区出现在 20°N 的热带地区, 并伴随着一个异常顺时针垂直环流中心出现在

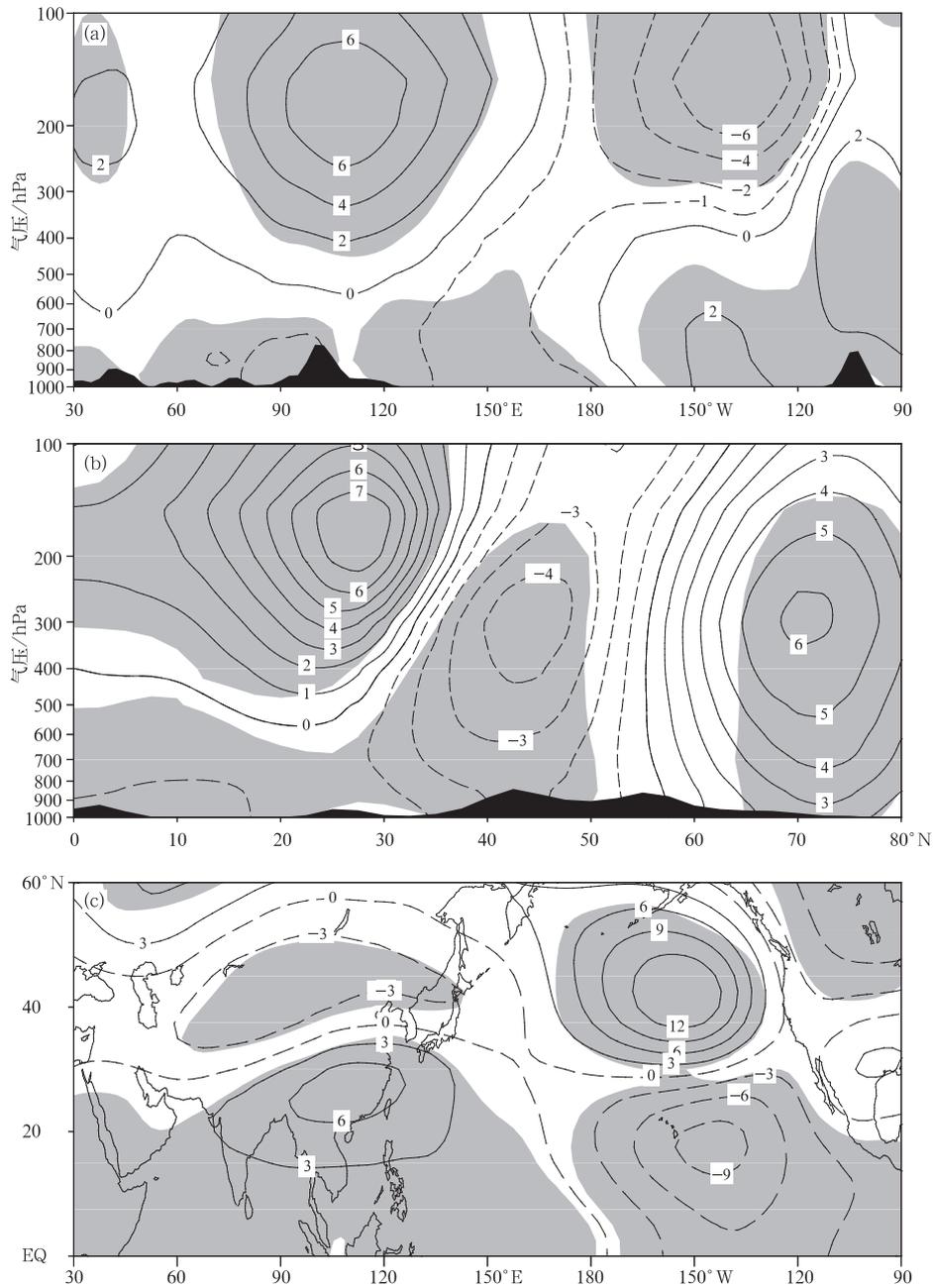


图4 冬季 APO 高指数年和低指数年合成的冬季 H'

(单位: dagpm, 灰色区域代表达到 0.05 显著性水平, 黑色区域代表地形)

(a) 沿 25°N 的经度-高度剖面, (b) 沿 115°E 的纬度-高度剖面, (c) 200 hPa H' 水平分布

Fig. 4 Composite difference of winter mean H' between high and low DJF APO indices

(the grey denotes passing the test of 0.05 level, the black denotes the topography)

(a) longitude-height cross section along 25°N , (b) latitude-height

section along 115°E , (c) H' at 200 hPa

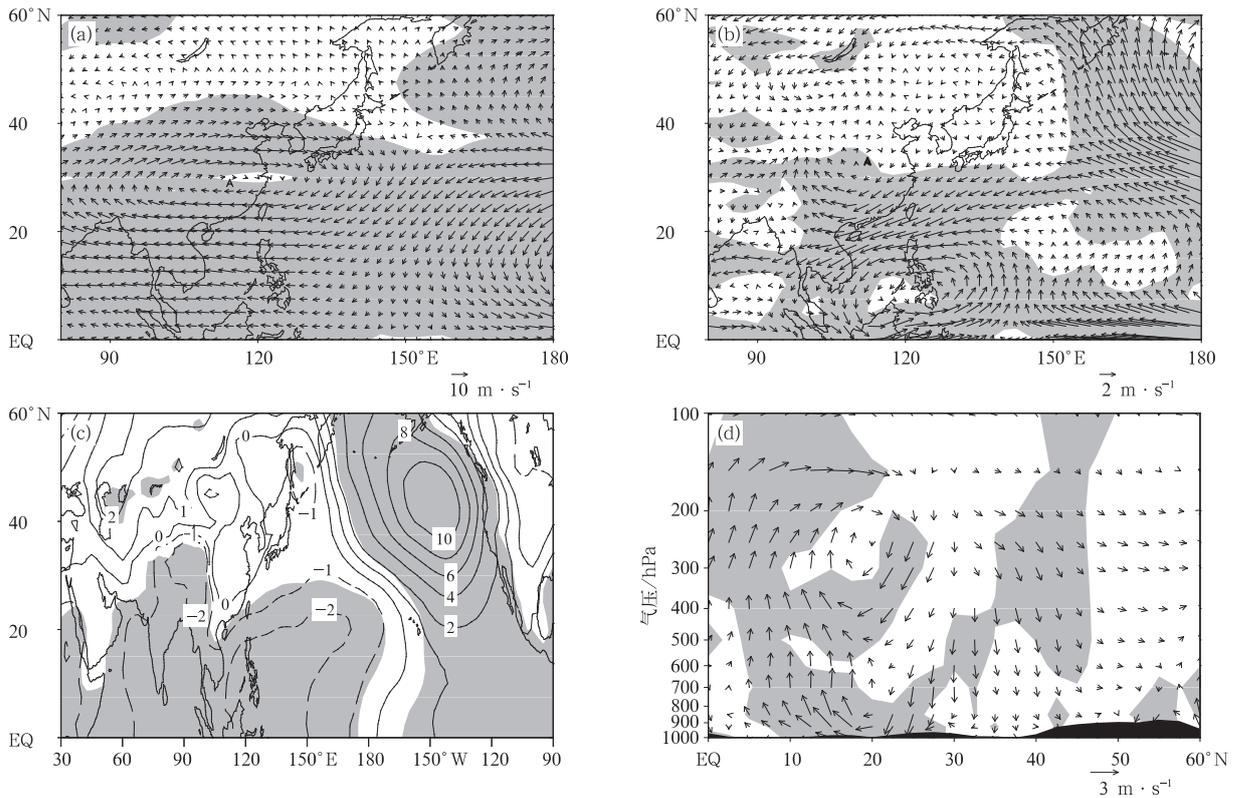


图 5 冬季 APO 高指数年和低指数年合成差值(灰色区域代表达到 0.05 显著性水平,黑色区域代表地形)
 (a)200 hPa 风场,(b)850 hPa 风场,(c)海平面气压(单位:hPa),
 (d)沿 107.5°~120°E 纬度-垂直环流差值剖面(水平速度单位:m·s⁻¹,垂直速度单位:10⁻² Pa·s⁻¹)
 Fig. 5 Composite difference between the high and low DJF APO indices
 (the grey denotes passing the test of 0.05 level,the black denotes the topography)
 (a)200 hPa wind,(b)850 hPa wind,(c)sea level pressure(unit:hPa),(d)latitude-height cross section
 along 107.5°-120°E(unit for horizontal wind is m·s⁻¹, unit for vertical wind is 10⁻² Pa·s⁻¹)

20°N 上空 300 hPa 附近。由冬季 APO 高指数年和低指数年合成的 925 hPa 水汽通量和水汽通量散度(图略)可以看到,我国南方地区的异常水汽通量由东北指向西南,表现为弱的水汽通量散度;正的水汽通量散度也位于南方地区,说明该地区有异常的水汽输出,不利于降水发生。

对应于我国南方地区的异常垂直下沉运动和异常水汽辐散,我国南方地区降水偏少。从合成的冬季 APO 高指数年冬季总降水量图(略)可以看到,超过 20 mm 的降水出现在 35°N 以南的我国中东部地区,其最大值仅为 60 mm 左右,位于江南;而在低指数年合成的降水量图(略)上,我国中东部的降水有所增加,特别是位于江南的降水中心值超过 100 mm。图 6a 给出了在 APO 高指数年、低指数年合成的冬季总降水量差值,可以看到,显著的降水负

差值出现在我国 30°N 以南地区,中心值超过 40 mm。参考显著降水负异常区位置,计算了冬季 APO 指数与长江以南地区(20°~28°N, 108°~120°E)同期降水时间序列的相关,结果表明:冬季 APO 指数与江南降水在 1951—2009 年相关系数为 -0.38(达到 0.01 显著性水平)。这些结果说明冬季 APO 指数与同期我国南方降水之间确实存在显著负相关关系。图 6b 给出了在冬季 APO 高指数年和低指数年合成的表面空气温度差值,可以看到,该差值的正、负异常特征总体上是与图 3c 所示的 T' 一致,其中负异常出现在亚洲中高纬度和我国中东部地区,指示这些地区气温下降,冬季冷空气活动频繁,而正异常出现在青藏高原地区,指示着较少的冷空气活动。这也说明青藏高原与其周边地区的冷空气活动呈现出一定的反相变化关系。

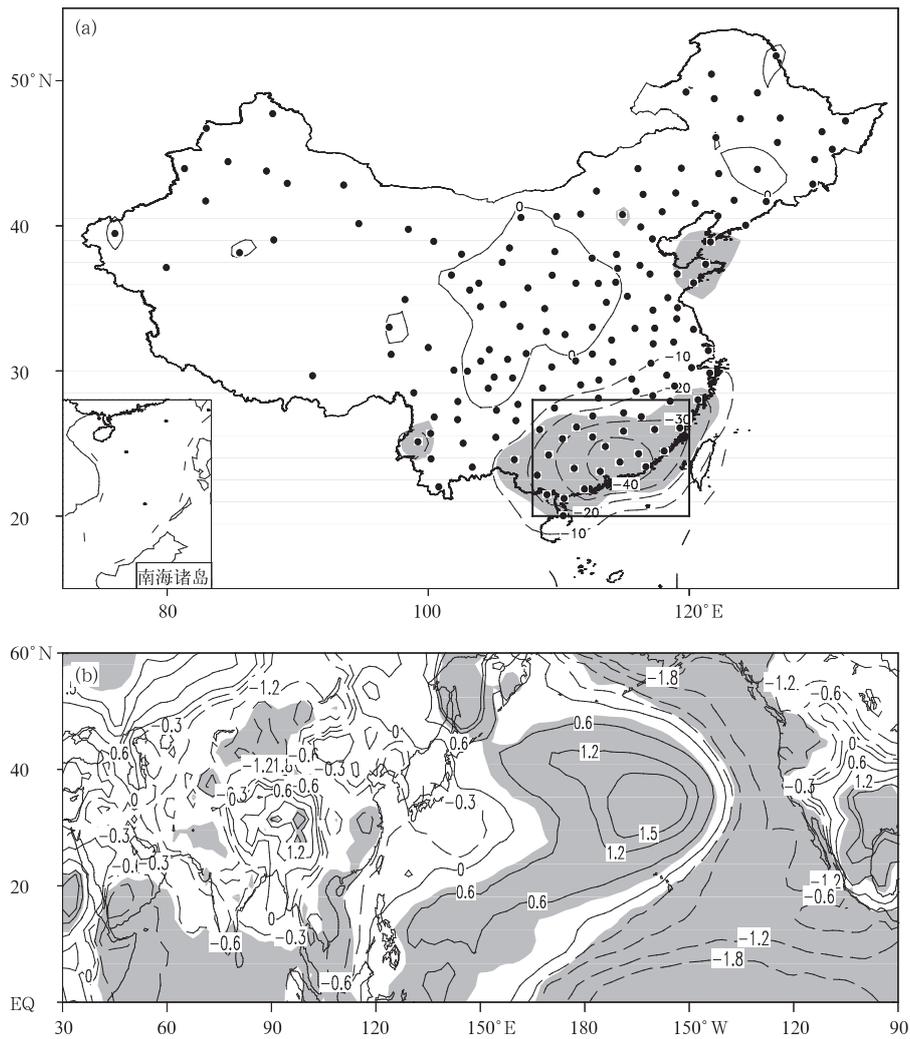


图6 冬季 APO 高和低指数年合成的差值(灰色区域代表达到 0.1 显著性水平)

(a)冬季总降水量(单位:mm,圆圈代表 160 站的分布,方框指示着南方地区),(b)表面气温(单位:°C)

Fig. 6 Composite difference between the high and low DJF APO indices(the grey denotes passing the test of 0.1 level) (a) winter total rainfall(unit:mm,dots denote 160 stations in China, the box denotes southern China),(b) surface air temperature(unit:°C)

4 结论与讨论

本文利用 NCEP/NCAR 月平均再分析资料 and 我国 160 站降水量资料,探讨了冬季亚洲—太平洋涛动(APO)变化特征及其与东亚冬季风和降水的关系,得到以下主要结论:

1) EOF 和相关分析表明:冬季在亚洲—西太平洋与中、东太平洋中低纬度对流层中上层扰动温度之间存在一种反位相变化的“跷跷板”现象,类似于夏季的 APO,称为冬季 APO;与夏季 APO 相比,冬季亚洲上空的中心位置偏南、偏东。当东亚中低

纬度地区对流层 200~700 hPa 偏暖(冷)时,中东太平洋中低纬度对流层偏冷(暖),反映了冬季型的亚洲—太平洋的东西向热力差异偏弱(强)。

2) 1951—2009 年亚洲与太平洋之间对流层热力差异没有明显的线性变化趋势,而呈显著的 2~6 年周期变化。当冬季 APO 指数偏高时,亚洲中高纬度对流层扰动位势高度偏低,而太平洋该纬度带扰动位势高度偏高,在亚洲—太平洋的较低纬度地区也存在“跷跷板”现象,只是位相与中高纬度地区的位相相反,反映了对流层上层东亚大槽位置偏西和东亚热带地区的高压带向北伸展。

3) 对应于偏高的冬季 APO 指数,我国南方对

流层为深厚的异常反气旋系统,此时南方地区盛行异常偏东北气流,伴随水汽辐散,在异常反气旋中心附近为异常下沉运动,于是南方降水偏少;反之亦然。与冬季 APO 相关联的东亚冬季风和降水的这些异常特征与夏季不同,这可能与冬季东亚平均环流与夏季不同有关。

过去关于东亚冬季风强度变化的研究^[29,39-44]很多,王宁^[45]对先前的研究工作进行了较全面的分析总结。这里将冬季 APO 指数与一些冬季风指数进行了比较,如计算 Jhun 等^[39]定义的冬季风指数 $I_{\text{EAWM}} = U_{300(27.5^{\circ}\sim 37.5^{\circ}\text{N},100^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{E})} - U_{300(50^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N},80^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E})}$ 。相关分析表明,在 1951—2009 年冬季 APO 指数与 I_{EAWM} 的相关系数为 0.24,仅达到 0.1 显著性水平;同时对比了冬季 APO 指数与 Wu 等^[46]定义的西伯利亚高压指数,这里西伯利亚指数被定义为 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N},80^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 范围内海平面气压平均值。这些结果表明,冬季 APO 与这些冬季风指数之间的联系可能不是很紧密。相反,计算 1951—2009 年 Niño3.4 指数与冬季 APO 指数的相关系数,相关系数为 -0.88,达到 0.001 显著性水平,即冬季 APO 与赤道中东太平洋海表温度呈显著负相关,关于这种相关的物理联系需今后深入研究。

参考文献

- [1] Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon Wea Rev*, 1981, 109: 784-812.
- [2] Nitta T. Convective activities in the tropical western Pacific and their impacts on the Northern Hemisphere summer circulation. *J Meteor Soc Japan*, 1987, 65: 373-390.
- [3] Lau K M. East Asian summer monsoon rainfall variability and climate teleconnection. *J Meteor Soc Japan*, 1992, 70: 211-241.
- [4] Yang S, Lau K M, Kim K M. Variations of the east Asian jet stream and Asian-Pacific-American winter climate. *J Climate*, 2002, 15: 306-325.
- [5] Ding Q H, Wang B. Circumglobal teleconnection in the Northern Hemisphere summer. *J Climate*, 2005, 18: 3484-3505.
- [6] Zhang P Q, Yang S, Kousky V E. South Asian high and Asian-Pacific-American climate teleconnection. *Adv Atmos Sci*, 2005, 22: 915-923.
- [7] Wang B, Wu R G, Fu X H. Pacific-east Asian teleconnection: How does ENSO affect Asian climate? *J Climate*, 2000, 13: 1517-1536.
- [8] 王振华. 西太平洋暖池热含量变化与东亚冬季风关系. *海洋通报*, 2009, 28(4): 27-34.
- [9] 陈隽, 孙淑清. 东亚冬季风异常与全球大气环流变化 I. 强弱冬季风影响的对比研究. *大气科学*, 1999, 23: 101-111.
- [10] Zhu Y. An index of East Asian winter monsoon applied to description the Chinese mainland winter temperature changes. *Acta Meteorologica Sinica*, 2008, 22(4): 522-529.
- [11] Wang L, Chen W, Zhou W, et al. Interannual variations of East Asian trough axis at 500 hPa and its association with the East Asian winter monsoon pathway. *J Climate*, 2009, 22: 600-614.
- [12] 陈文, 顾雷, 魏科, 等. 东亚季风系统的动力过程和准定常行星波活动的研究进展. *大气科学*, 2008, 32(4): 950-966.
- [13] 武炳义, 黄荣辉. 冬季北大西洋涛动极端异常变化与东亚冬季风. *大气科学*, 1999, 23(6): 641-651.
- [14] Wu B Y, Wang J. Impacts of winter Arctic Oscillation on Siberian high, the East Asian winter monsoon. *Adv Atmos Sci*, 2002, 19(2): 297-320.
- [15] Ramage C S. Role of the maritime continent on the atmospheric circulation. *Mon Wea Rev*, 1968, 96: 365-370.
- [16] Chang C P, Erickson J, Lau K M. Northeasterly cold surges and near-equatorial disturbances over the winter-MONEX area during 1974. Part II: Planetary scale aspects. *Mon Wea Rev*, 1980, 108: 293-312.
- [17] 徐国昌, 李梅芳. 青藏高原温度与东亚环流. *高原气象*, 1985, 4(2): 185-189.
- [18] Ding Y H, Krishnamurti T N. Heat budget of the Siberian high and the winter monsoon. *Mon Wea Rev*, 1987, 115: 2428-2449.
- [19] Zhao P, Chen L X. Interannual variability of atmospheric heat source/sink over the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and its relation to circulation. *Adv Atmos Sci*, 2001, 18(1): 106-116.
- [20] 陈海山, 孙照渤. 欧亚积雪异常分布对冬季大气环流的影响 I: 观测研究. *大气科学*, 2003, 27(3): 304-316.
- [21] 赵平, 陈隆勋. 青藏高原大气热量源汇在海-地-气相互作用准 4 年振荡中的作用. *科学通报*, 2000, 45(15): 1666-1671.
- [22] Zhao P, Zhang X D, Li Y F, et al. Remotely modulated tropical-North Pacific ocean-atmosphere interactions by the South Asian high. *Atmos Res*, 2009, 94: 45-60.
- [23] Zhao P, Yang S, Jian M Q, et al. Relative controls of Asian-Pacific summer climate by Asian land and tropical-North Pacific sea surface temperature. *J Climate*, 2011, 24: 4165-4188.
- [24] 李崇银. 中国东部地区的暖冬与厄尔尼诺. *科学通报*, 1989, 4: 282-286.
- [25] Li Chongyin. Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño events. *Adv Atmos Sci*, 1990, 7: 36-46.
- [26] 穆明权, 李崇银. 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息 I. 观测资料分析. *大气科学*, 1999, 23(3): 276-285.
- [27] 布和朝鲁, 纪立人. 东亚冬季风活动异常与热带太平洋海温异常. *科学通报*, 1999, 44(3): 252-259.
- [28] 梁巧倩, 简茂球, 罗会邦. 东亚冬季风与海温在年际尺度上的耦合关系分析. *热带海洋学报*, 2004, 23(2): 19-27.

- [29] 施能. 近40年东亚冬季风强度的多时间尺度变化特征及其与气候的关系. *应用气象学报*, 1996, 7(2): 175-182.
- [30] 晏红明, 杞明辉, 肖子牛, 等. 冬季亚洲大陆的热力差异对亚洲季风活动的影响. *大气科学*, 2005, 29(4): 549-564.
- [31] 武炳义, 苏京志, 张人禾. 秋-冬季节北极海冰对冬季西伯利亚高压的影响. *科学通报*, 2011, 56(27): 2335-2343.
- [32] 赵平, 张人禾. 东亚-北太平洋偶极型气压场及其与东亚季风年际变化的关系. *大气科学*, 2006, 30(2): 307-316.
- [33] 郭琪蕴. 东亚夏季风强度指数及其变化分析. *地理学报*, 1983, 38(3): 207-216.
- [34] Jiang X W, Yang S, Li Y Q, et al. Dominant modes and their links to surface climate of the winter tropospheric temperature over the Tibetan Plateau. *J Climate*, 2013, 26: 9043-9060.
- [35] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77: 437-470.
- [36] Zhao P, Zhu Y N, Zhang R H. An Asia-Pacific teleconnection in summer tropospheric temperature and associated Asian climate variability. *Climate Dyn*, 2007, 29: 293-303.
- [37] North G R, Bell T, Cahalan R, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function. *Mon Wea Rev*, 1982, 110: 699-706.
- [38] 赵平, 陈军明, 肖栋, 等. 夏季亚洲—太平洋涛动与大气环流和季风降水. *气象学报*, 2008, 66(5): 716-729.
- [39] Jhun J G, Lee E J. A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon. *J Climate*, 2004, 15: 711-726.
- [40] 郭琪蕴. 东亚冬季风的变化与中国气温异常的关系. *应用气象学报*, 1994, 5(2): 218-225.
- [41] 徐建军, 朱乾根, 周铁汉. 近百年东亚冬季风的突变性和周期性. *应用气象学报*, 1999, 10(1): 1-8.
- [42] 陆琛莉. 东亚冬季风经向异常与后期嘉兴梅雨关系. *应用气象学报*, 2008, 19(2): 238-242.
- [43] 曾琮, 胡斯团, 梁建茵, 等. 东亚冬季风异常与广东前汛期旱涝的初步分析. *应用气象学报*, 2005, 16(5): 645-654.
- [44] 王启祎, 丁一汇, 江滢. 亚洲季风活动及其与中国大陆降水关系. *应用气象学报*, 1998, 9(增刊 I): 84-89.
- [45] 王宁. 东亚冬季风指数研究进展. *地理科学*, 2007, 27(增刊 I): 103-110.
- [46] Wu B, Wang J. Winter Arctic Oscillation, Siberian High and East Asian winter monsoon. *Geophys Res Lett*, 2002, 29(19): 1897, doi: 10. 1029/2002GL015373.

Inter-annual Variability of Winter Asia—Pacific Oscillation and Its Relationship with the East Asian Climate Anomalies

Dong Caigui¹⁾ Zhao Ping¹⁾ Liu Ge²⁾ Chen Junming¹⁾

¹⁾ (State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

²⁾ (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

Using 1948—2011 NCEP/NCAR monthly reanalysis data and 1951—2010 precipitation data at 160 meteorological stations of China, the empirical orthogonal function (EOF), correlation analysis and composite analysis methods, the winter (December, January and February) atmospheric teleconnection over the Asian-Pacific and its association with East Asian winter monsoon and precipitation are examined. Results show an Asian—Pacific Oscillation (APO) teleconnection in upper-tropospheric temperature disturbance between the Asian—western Pacific and the central-eastern Pacific region during winter, which is similar to the APO phenomenon during summer. When the mid-upper troposphere temperature in mid-lower latitudes of East Asia is warmer, it is colder in mid-lower latitudes of the central and eastern North Pacific, and vice versa. The APO reflects the variability of the zonal thermal contrast between Asia and North Pacific. Compared to summer, the Asian anomalous center of DJF APO is southward and eastward in position. DJF APO index does not show a significant linear trend. The power spectrum analysis shows that the APO index has the varying periods of 2—6 years. Corresponding to a higher APO index, geopo-

tential height disturbance in mid-upper tropospheres is lower in mid-higher latitudes of East Asia and it is higher in mid-higher latitudes of central and eastern North Pacific. Also, there is a “seesaw” in lower latitudes between the Asian—western Pacific region and the central-eastern Pacific, but with a reversed phase comparing to that in higher latitudes. This anomalous feature in geopotential height in the upper troposphere indicates a westward long-wave trough in East Asia and a northward high pressure in the tropics of East Asia, with a deep anti-cyclonic anomaly over southern China. Wind anomalies of northeasterly prevail over southern China in the lower troposphere, with divergence anomalies of water vapor and downward motion anomalies in southern China. Accordingly, the local precipitation decreases. However, these relationships between DJF APO and atmospheric circulation are different from those during summer. Moreover, the APO index is highly correlated with ENSO as well.

Key words: Asian—Pacific Oscillation; East Asian winter monsoon; precipitation; inter-annual variability

《应用气象学报》征稿简则

《应用气象学报》(双月刊)是大气科学理论与应用研究的综合性学术期刊,主要刊登反映新理论与新技术在大气科学中的应用,以及大气科学理论与实践相结合,应用于各个有关领域的研究论文、业务系统和研究简报,国内外大气科学与应用气象科学发展中的新动态与新问题的探讨与评论,国内外重要学术会议或研究、业务活动的报道,气象书刊评介。

投稿要求和注意事项:

1. 论点明确、文字精炼。摘要请按文摘四要素(目的、方法、结果、结论)撰写,列出 3~8 个关键词,作者姓名请附汉语拼音,所在单位请附中、英文全名、地名、邮编。要求中文摘要为 200~400 字,英文摘要为 500 个单词左右(并请附对应的中文译文)。

2. 插图请插入文中适当位置,要求准确、清晰、美观。图中物理量、单位请勿遗漏,中、英文图题及说明写在插图下面。表格请采用三线表形式,并列出中、英文表题。

3. 参考文献请择主要的列入,并请按文中引用顺序标号。期刊书写格式:作者. 文章题目. 刊名,年,卷(期):起止页. 专著书写格式:作者. 书名. 译编者. 出版地:出版社,出版年:起止页。

4. 计量单位请按《中华人民共和国法定计量单位》列出,已废止的单位请换算成法定计量单位。

5. 科技术语和名词请使用全国自然科学名词审定委员会公布的名词。外国人名和地名,除常用者外请注原文。

6. 网上投稿(<http://qk.cams.cma.gov.cn>)请同时寄送全体作者签名的《承诺书》(请网上自行下载)。稿件自收到之日起,将在 6 个月内决定刊用与否,来稿一经刊登,酌情收取版面费,并酌付稿酬。

7. 文中的数字及符号必须清楚无误,易混淆的外文字母、符号,请标注文种,大、小写,正、斜体,黑、白体,公式中的上、下标。

8. 本刊已加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”。本刊所付稿酬包含光盘稿酬和刊物内容上网服务报酬。凡向本刊投稿的作者(除事先声明外),本刊视为同意将其稿件纳入此两种版本进行交流。

欢迎投稿。投稿请登录 qk.cams.cma.gov.cn。

地址:中国气象科学研究院《应用气象学报》编辑部,邮政编码:100081;电话:(010)68407086,68408638;网址:qk.cams.cma.gov.cn;邮箱:yyqxxb@cams.cma.gov.cn,yyqxxb@163.com。