

田笑, 智协飞. 2017. 北半球冬季温带反气旋活动的统计特征 [J]. 气候与环境研究, 22 (3): 322–334. Tian Xiao, Zhi Xiefei. 2017. Statistical characteristics of wintertime extra-tropical anticyclone activity in the Northern Hemisphere [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 22 (3): 322–334, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2016.16048.

北半球冬季温带反气旋活动的统计特征

田笑 智协飞

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/东亚季风与区域气候变化科技创新团队, 南京 210044

摘 要 利用 NCEP/NCAR 再分析资料, 通过客观判定和追踪反气旋的方法统计分析了 1948~2013 年北半球冬季温带反气旋的时空分布、周期和生命史等气候特征。结果表明, 北半球冬季温带反气旋主要活动在东北太平洋、北大西洋、北美落基山脉东部和加拿大、美国东部、欧洲、亚洲中部和东亚地区。太平洋和大西洋上反气旋的生成区分布较分散, 于大洋西部生成, 在中、东部达到成熟期, 最后主要在大洋东部和大陆西岸消亡。大西洋上反气旋消亡区域的大值区从大西洋中部到欧洲西海岸呈西南—东北带状分布, 而太平洋上的反气旋消亡区域的两个大值区独立分布。大陆上反气旋多生成于较高纬度和极地地区, 主要向东、向东南方移动。北半球各区域反气旋数均具有显著的 2~3 年周期变化特征, 欧亚地区则具有显著的 16~18 年周期的年代际变化特征。除了欧亚大陆, 其他三个区域的反气旋偏强时, 其运动轨迹偏北。北美地区反气旋越强, 其运动的纬度范围越大; 而欧亚大陆反气旋越强, 其运动的纬度范围越小。生命史越长的反气旋数比例越少, 只有不到 10% 的反气旋生命史超过一周。

关键词 冬季反气旋 地理分布 年际—年代际变化 生命史

文章编号 1006-9585 (2017) 03-0322-13

中图分类号 P404

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2016.16048

Statistical Characteristics of Wintertime Extra-Tropical Anticyclone Activity in the Northern Hemisphere

TIAN Xiao and ZHI Xiefei

Key Laboratory of Meteorological Disasters, 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)/Science and Technology Innovation Team of East Asian Monsoon and Regional Climate Change, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Based on the NCEP/NCAR reanalysis dataset of sea level pressure and winds for the period 1948–2013, temporal and spatial distribution and period and lifespan characteristics of wintertime extra-tropical anticyclone activity in the Northern Hemisphere were presented in this study using objective identification method and tracking algorithm. The results show that the wintertime extra-tropical anticyclones in the Northern Hemisphere are active mainly in the Northeast Pacific, the North Atlantic, the eastern Rocky Mountains and eastern United States, Europe, and Central and East Asia. The genesis regions of anticyclones in the Pacific and the Atlantic are dispersed. Most anticyclones originally form in the western part of the ocean, become mature in the middle and eastern parts of the ocean, and decay in the eastern part of the

投稿日期 2016-03-04; **网络预出版日期** 2016-06-15

作者简介 田笑, 1989 年出生, 女, 博士研究生, 主要从事季风和气候变化方面的研究。E-mail: 906098912@qq.com

通讯作者 智协飞, E-mail: zhi@nuist.edu.cn

资助项目 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 2012CB955200, 江苏省研究生培养创新工程项目 KYLX_0833

Funded by National Basic Research Program of China (973 Program, Grant 2012CB955200), the Priority Academic Program Development (PAPD) of Jiangsu Higher Education Institutions, and the Innovation Plan for College Graduates of Jiangsu Province (Grant KYLX_0833)

ocean and western coasts of the continents. The difference in the region of lysis of anticyclone between the Pacific and the Atlantic Ocean is that, the large value area of lysis is a belt extending from the middle of the Atlantic to the western coast of Europe in the Atlantic along the southwest-northeast direction, while in the Pacific Ocean the two large value areas of lysis are distributed separately. Over the continent, anticyclones mostly occur in the high latitudes and polar regions, and move eastward or southeastward. It is found that the frequency and intensity, and the mean latitude and latitudinal range of the moving trajectories of anticyclones have different interannual and interdecadal variabilities in different regions. The occurrence frequency of anticyclones shows a significant period of 2–3 years in most part of the Northern Hemisphere, and a significant period of 16–18 years in Eurasia. As the anticyclone intensity increases, its trajectory becomes further northward in all regions except Eurasia. In North America, the stronger the anticyclone is, the greater the mean latitudinal range will be. On the contrary, the anticyclone intensification is often accompanied with a smaller latitudinal range in Eurasia. The occurrence frequency of anticyclones decreases rapidly with longer lifespan, and less than 10% of the total anticyclones can last for more than one week.

Keywords Wintertime extra-tropical anticyclones, Geographical distribution, Interannual and interdecadal variations, Lifespan

1 引言

温带反气旋是出现在南北半球中高纬度地区的高压涡旋, 冬季温带反气旋及其前面的锋面系统能够造成明显的大范围天气现象, 如剧烈降温、降水、大风天气、霜冻等气象灾害。天气尺度的反气旋不仅能够造成剧烈的天气现象, 也与大尺度大气环流相互作用, 进而在局地及全球气候变化中发挥重要作用。但是相比于温带气旋, 对温带反气旋的活动及其影响关注较少 (Ioannidou and Yau, 2008; Zhang et al., 2012)。

天气气候学的统计是一项基础性研究工作。北半球温带反气旋活动规律和变化趋势的统计研究, 将有助于深入理解当地气候特点和天气演变, 提高中长期天气预报的准确率。前人对区域性反气旋的分布、移动、年际变化特征等已做了许多研究。Harman (1987) 通过普查 1959~1979 年的逐月天气图对北美洲反气旋活动频率进行了分析, 发现反气旋频数显著下降, 并将其划分为冬季型、春季型和夏季型三种类型。Favre and Gershunov (2006) 基于日平均海平面气压资料, 利用客观追踪方法分析了 1950~2001 年冬季东北太平洋上的反气旋和气旋, 发现这段期间反气旋的强度减弱, 其发生频数增加, 且反气旋发生多的年份气旋就少, 反之亦然。中国学者常称欧亚地区冬季地面冷性反气旋为冷高压, 并从 20 世纪中叶就对其开展了一些研究。高由禧 (1953) 利用 1946 年、1949 年两年的天气图研究冷高压的移动问题, 发现高压的路径可能和高空急流的强度与位置有关。张淮和

史久恩 (1957) 通过普查天气图对东亚的反气旋活动进行了统计工作, 将其移动路径分为本区产生和外区侵入两大类, 其中心的平均强度由西向东逐渐增加。近年来, Zhang et al. (2012) 根据 NCEP/NCAR 的 1978~2012 年的海平面气压再分析资料, 发现欧亚地区存在冬季反气旋强时气旋就弱的反相关关系, 且自 2000 年后, 冬季反气旋活动明显加强。Chen et al. (2014) 较全面地统计了 1948~2007 年中国区域的冬季反气旋的活动, 发现其发生频数呈上升趋势, 且与极锋急流增强紧密相连。对于北半球反气旋的研究, Galarneau et al. (2008) 利用 NCEP/NCAR 的间隔 12 h 再分析资料, 分析了 1950~2003 年全球闭合反气旋的时空分布特征。统计结果表明东大西洋和东太平洋上反气旋全年都十分活跃, 且夏季达到最强, 而冬季大陆上和海洋上的反气旋数量相当。Ioannidou and Yau (2008) 利用 1957~2002 年 ERA-40 的再分析资料研究北半球冬季反气旋, 较完整地给出了北半球冬季反气旋的空间分布和移动特征。

从上述研究来看, 温带反气旋具有显著的气候变化特征, 且在不同地区又呈现出不同的变化特征。不过, 目前已有的关于反气旋的研究多数是区域性的, 半球范围的研究相对较少, 且集中于南半球 (Jones and Simmonds, 1994; Sinclair, 1996; Pezza et al., 2007; Galarneau et al., 2008; Ioannidou and Yau, 2008)。研究反气旋地理分布的较多, 对其发生频率和强度的时间变化及周期变化特征等研究较少。本文利用较长 (1948~2013 年) 的 NCEP/NCAR 再分析资料, 通过计算机客观识别、追踪方法, 对北半球冬季温带反气旋的时空分布、生命史

和周期变化特征等方面进行统计分析,比较不同区域反气旋的特点,从而较全面地考察北半球温带反气旋总体的气候特征。

2 资料和方法

本文利用 1948~2013 年 NCEP/NCAR 全球 2.5° (纬度) $\times 2.5^{\circ}$ (经度) 间隔 6 h 网格资料中的海平面气压、10 m 风场再分析资料 (Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001) 和南京信息工程大学图书馆保存的历史天气图。

早期研究反气旋的气候变化主要依靠人工识别来进行统计分析 (张准和史久恩, 1957; Harman, 1987; 张培忠和陈光明, 1999)。随着再分析资料和计算机的发展,一些国外气象学家开始用计算机客观地判定和追踪温带反气旋,这些方法经过多年的发展并成功应用 (Jones and Simmonds, 1994; Sinclair, 1996; Favre and Gershunov, 2006; Zhi and Shi, 2006; Pezza et al., 2007; 史湘军和智协飞, 2007; Galarneau et al., 2008; Ioannidou and Yau, 2008; Chen et al., 2014)。参照史湘军和智协飞 (2007) 的方法,结合气压场和反气旋的环流特征,对冬季反气旋中心的判别如下: (1) 在 $20^{\circ}\text{N}\sim 80^{\circ}\text{N}$ 范围内,海平面气压场上有高压中心存在,且该中心大于阈值 (该点的气候平均值); (2) 高压中心周围存在明显的反气旋环流,此标准结合气压场和风场两种约束条件来判定反气旋存在与否,相比以往仅依据海平面气压场的统计方法效果更好 (Zhi and Shi, 2006; 史湘军和智协飞, 2007); (3) 剔除海拔高度 2500 m 以上的格点,这样可以在一定程度上排除高地的影响; (4) 当两个高压中心距离小于 1200 km,可以认为这两个中心属于同一个反气旋系统,系统的中心为最大的高压中心。为了追踪下一时刻的反气旋,根据 Favre and Gershunov (2006) 以及 Zhang et al. (2012) 的方法,首先找出当前时刻海平面气压场上的反气旋中心,然后在下一刻以此为中心,1280 km 为半径找出最近的反气旋中心,这两个反气旋被认为属于同一个反气旋过程。反气旋至少维持 3 天,且发生在当年 12 月至次年 2 月。

为了检验本文所采用的判定和追踪反气旋的方法,随机选取 6 年的资料用于比较计算机统计和人工查阅历史天气图得到的结果。结果发现每年至

少有 75% 的反气旋过程能够用此方法捕捉到。客观方法和人工方法差异的可能原因有,首先两种方法是分别对两种不同的资料进行统计,这两种资料本身就存在差异。另外,在个别情况下人工判断两个反气旋为同一次过程,而计算机检索时,由于反气旋中心移动范围要求较为苛刻,且中心判定标准为最大气压中心而不是几何中心,计算机就会将这两个反气旋分为两次过程。最后,当遇到大地形或其他原因导致反气旋路径突然改变也可能造成两种方法的识别结果不一致。总体来说,计算机还是能较好地识别反气旋的位置、强度以及移动路径。

3 北半球温带反气旋的地理分布

3.1 反气旋活动频次的分布特征

图 1 是 1948~2013 年北半球温带反气旋中心累积频次的地理分布。可以看出,在大洋上,中纬度中东部的北太平洋、中纬度东北大西洋,均为反气旋活跃区。相较于东太平洋,东大西洋反气旋分布的纬度范围更广。这两个区域正是夏威夷高压和亚速尔高压的控制范围。大洋上明显的大值区域与太平洋和大西洋上的风暴路径相吻合 (Ioannidou and Yau, 2008)。Galarneau et al. (2008) 研究也表明,在寒冷季节对流层低层两个海盆上的反气旋极大值区域,反映了动力作用造成的空气下沉运动易发生在高空急流的反气旋式切变的一侧。

大陆上,北美落基山脉东部和加拿大、美国东部、欧洲、亚洲中部和东亚地区反气旋活动频繁。东亚的反气旋活动范围成西北—东南分布,东可达亚洲东海岸,向南可到中国南海地区形成冷涌。北美的五大湖、斯堪的纳维亚山脉西部、伊朗中西部,以及东亚的蒙古高原、高纬地区的北地群岛、新西伯利亚群岛也存在两个极大值区。冬季大陆反气旋发生、发展与下垫面冷却和地形分布密切相关。冬季冷空气爆发常伴随反气旋,可以看出欧亚大陆上的反气旋中心累积频次较北美大陆更多。但亚洲中部受到青藏高原的阻挡,而北美地区的山脉多南北走向,中部是广阔的大平原,所以冬季反气旋活动区域可至墨西哥湾沿岸。

对比大陆和海洋上的反气旋分布发现,大陆上反气旋分布较集中,且多位于中高纬度,而北大西洋和太平洋上反气旋较陆地上分布较分散,纬度位置较低,这与前人的研究结果基本一致 (Ioannidou

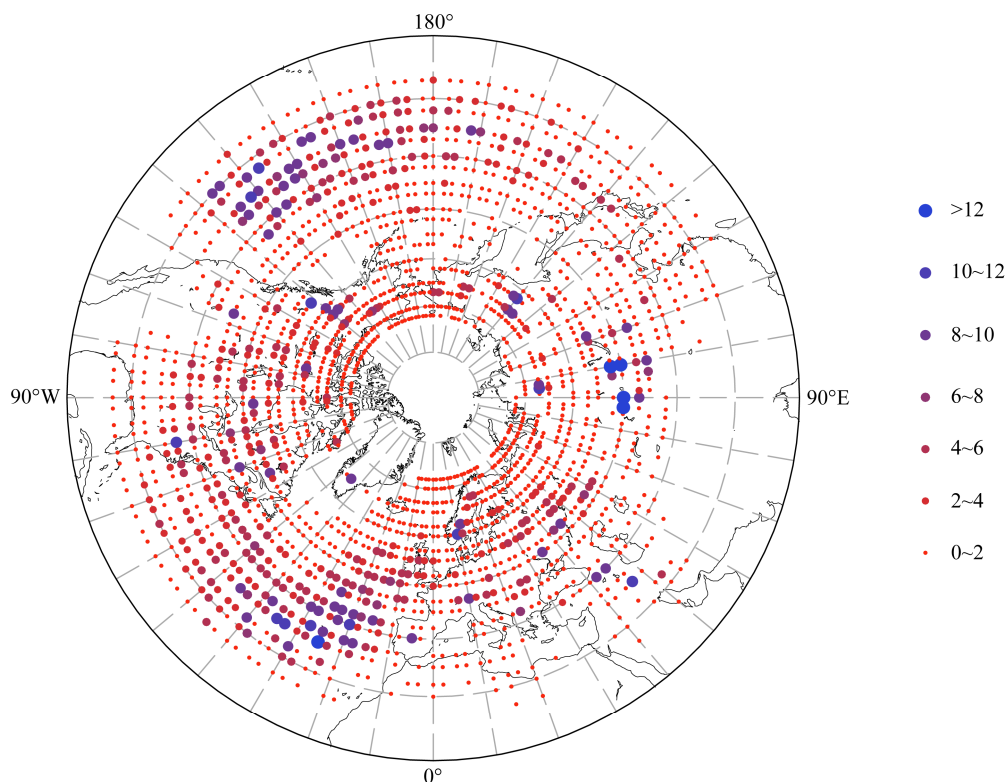


图1 1948~2013年北半球冬季反气旋中心累积频数 $[2.5^\circ$ (纬度) $\times 2.5^\circ$ (经度)区域内的反气旋频数]分布

Fig. 1 Distributions of annual occurrence frequency of anticyclonic centers (anticyclone frequency in $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ area) in the Northern Hemisphere during the winter of 1961–2013

and Yau, 2008)。这也很好地说明本文利用计算机对反气旋进行客观统计是比较可靠的。

3.2 反气旋的生命周期

本文规定在反气旋的生命周期中,第一次出现反气旋的时刻,就是反气旋的生成时刻,气压达到最大值的时刻为成熟时刻,最后出现的时刻为消亡时刻。图2是1948~2013年的冬季反气旋生成、成熟和消亡的地理分布。可以看出,大洋上反气旋的生成区域分布比较分散,而大陆上反气旋多生成于较高纬度和极地区域。太平洋上一部分反气旋在太平洋偏低纬度生成,大值区位于西太平洋日本岛附近,还有一些反气旋主要生成于较高纬度(图2a),后移动到太平洋中、东部时发展最强(图2b),最后在太平洋东部、北美西北沿岸消亡(图2c)。大西洋上,反气旋的生成区域分布也较分散,反气旋多在中、西部生成(图2a),然后向东、向南移动,多在大西洋中东部达到最强(图2b)。与北太平洋不同的是,反气旋的消亡区域分布在大西洋东部(图2c),并且大值区从大西洋中部到欧洲西海岸呈西南—东北带状分布。有研究表明在热带特定

经度的对流加强,会增强Hadley环流,进而加强相同经度的副热带反气旋(Matthews and Kiladis, 1999; Barlow et al., 2005)。

从图2a看出,北美大陆反气旋多在加拿大西北部、美国北部生成,达到成熟时的大值区分布在加拿大东部,美国中部、东南部沿海地区(图2b),两个消亡的极大值区分别位于美国东部沿海、加拿大拉布拉多高原(图2c)。生成于加拿大西部的反气旋最初向东南方移动到加拿大大草原,在那里主要分成三条路径。一部分反气旋在当地消亡,一部分反气旋向东北方移动到加拿大东部和北大西洋消亡,第三条路径是造成冷空气爆发的主要路径,反气旋向东南方移动到美国东南部(Ioannidou and Yau, 2008)。欧亚大陆上,反气旋主要生成于欧洲中高纬度、亚洲中部,几个大值中心位于瑞典、伊朗、蒙古、中国东北,西伯利亚至楚科奇半岛(图2a)。在东欧平原、西伯利亚、蒙古等地,反气旋多发展到最强(图2b),最后在黑海、西伯利亚、中国东部沿海及邻近的西太平洋等地区消亡(图2c)。影响反气旋生成、发展的有温度、地形和上

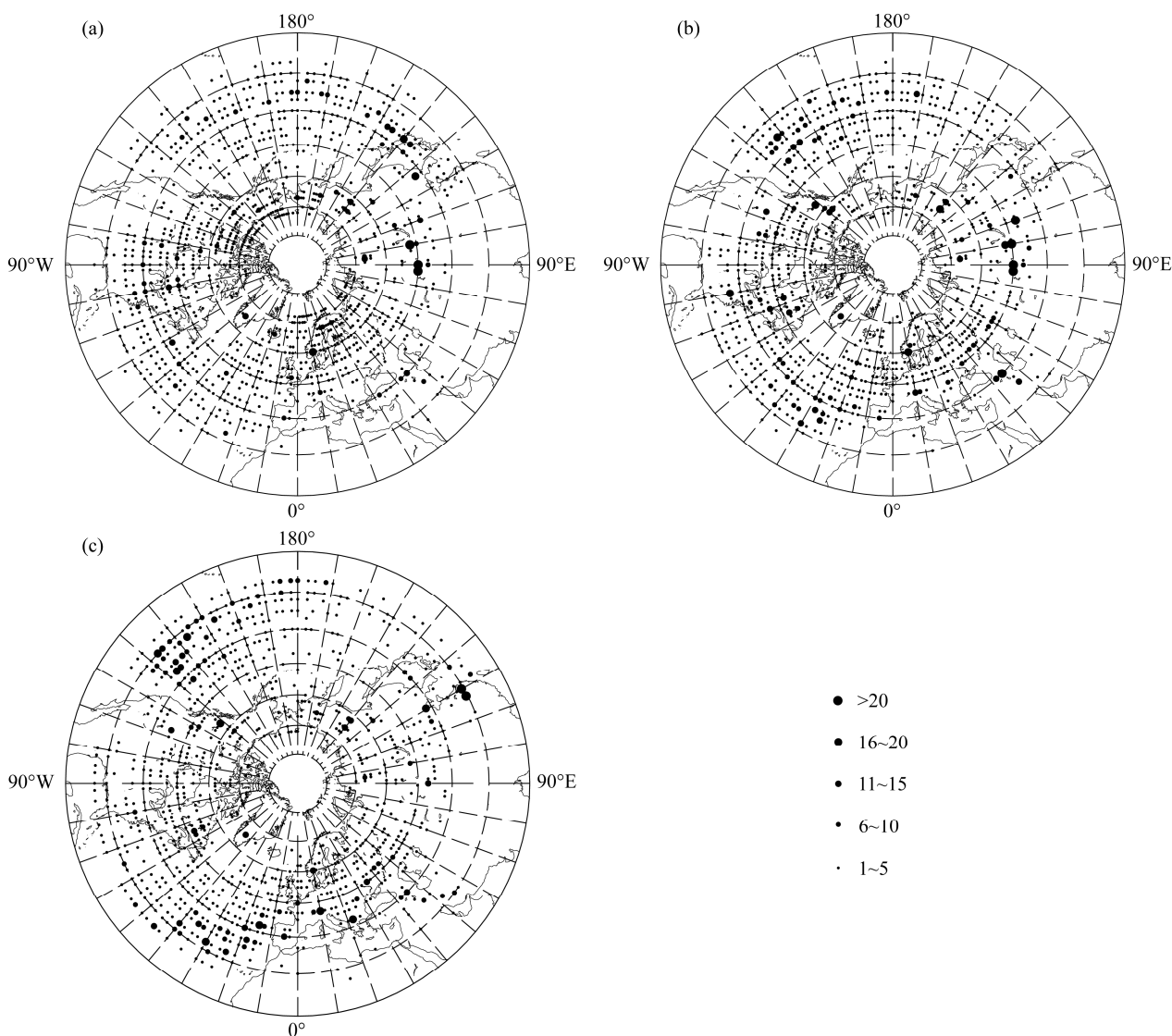


图2 1948~2013年冬季的北半球温带反气旋(a)生成、(b)成熟和(c)消亡的地理分布[2.5°(纬度)×2.5°(经度)区域内的反气旋频数]

Fig. 2 Distributions of the (a) genesis events, (b) maturity events, and (c) lysis events of anticyclones (anticyclone frequency in 2.5°×2.5° area) in the Northern Hemisphere during the winter of 1948–2013

层强迫等等多种因子。由图 2b 可以看出欧亚最大的极值中心位于蒙古地区, 对应于我国寒潮的关键区, 蒙古至西伯利亚地区冬季由于雪盖和沙漠的长波辐射而成为一个强冷源区。而北美的反气旋生成区与大洋上层阻高的发展有密切联系 (Ioannidou and Yau, 2008)。

4 反气旋活动的时间变化特征

4.1 年际—年代际变化

反气旋的频数、强度及运动范围的变化特征与其所经之地的天气变化的频率和强度有密切联系,

进而影响当地和全球的气候变化。图 3 是北半球冬季温带反气旋年平均过程数(反气旋至少持续 3 天)的时间变化。从中可以看出 66 年平均每年冬季有 57.1 次反气旋过程, 其中 1996 年最多, 有 71 次, 1980 年最少有 45 次。1965~1975 年和 1988~2013 年反气旋过程偏多, 而 1948~1965 年偏少。20 世纪 80 年代和 90 年代反气旋过程数为上升趋势, 到 1996 年达到顶峰。根据以上分析, 发现北半球反气旋分布范围广, 活动范围大, 区域特征明显, 反气旋发生频数具有显著的年际—年代际变化。由于海陆差异对反气旋的强度和移动等特征的影响很大, 参照 Galarneau et al. (2008)、Ioannidou and Yau

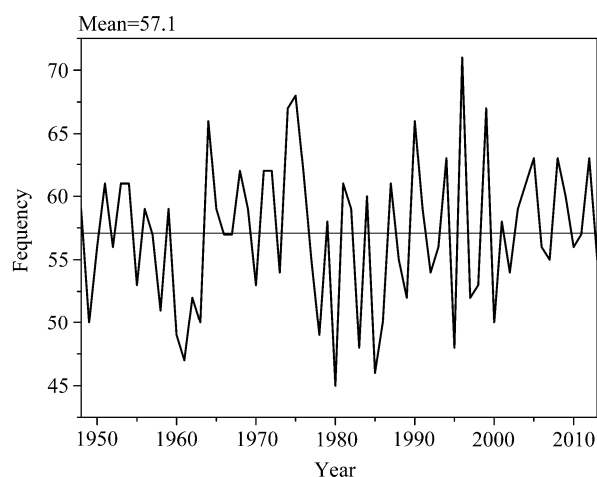


图3 1948~2013年北半球冬季温带反气旋过程数(反气旋至少持续3天)的时间变化

Fig. 3 Temporal variation of the occurrence frequency of wintertime anticyclones that have a life time of at least three days in the Northern Hemisphere during 1948–2013

(2008)的研究, 可以将其粗略分为以下四个高频活动区域: (1) 北欧、西伯利亚和中国北部、东部, 称作欧亚地区 ($0^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$); (2) 加拿大、美国中、东部, 称作北美地区 ($130^{\circ}\text{W}\sim 70^{\circ}\text{W}$); (3) 北大西洋, 称作大西洋地区 ($60^{\circ}\text{W}\sim 360^{\circ}$); (4) 北太平洋, 称作太平洋地区 ($130^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{W}$)。下面通过统计分析方法, 分别考察活跃于这四个区域的反气旋活动的年际—年代际特征。

欧亚地区, 每年平均有 15.2 次反气旋过程, 整个生命过程中的年平均气压是 1041 hPa, 最大气压是 1046 hPa, 平均纬度位置在 52.2°N , 平均纬度范围在 $41.8^{\circ}\text{N}\sim 62.4^{\circ}\text{N}$ 。从 20 世纪 50 年代末到 70 年代中期呈上升趋势, 1974 年最多, 有 22 次过程 (图 4a)。反气旋的强度具有明显的年代际变化, 在 20 世纪 70 年代中期之前偏强, 70 年代后期至 21 世纪初偏弱, 之后反气旋强度有上升趋势 (图 5a)。反气旋运动的平均纬度在 1948~1985 年期间

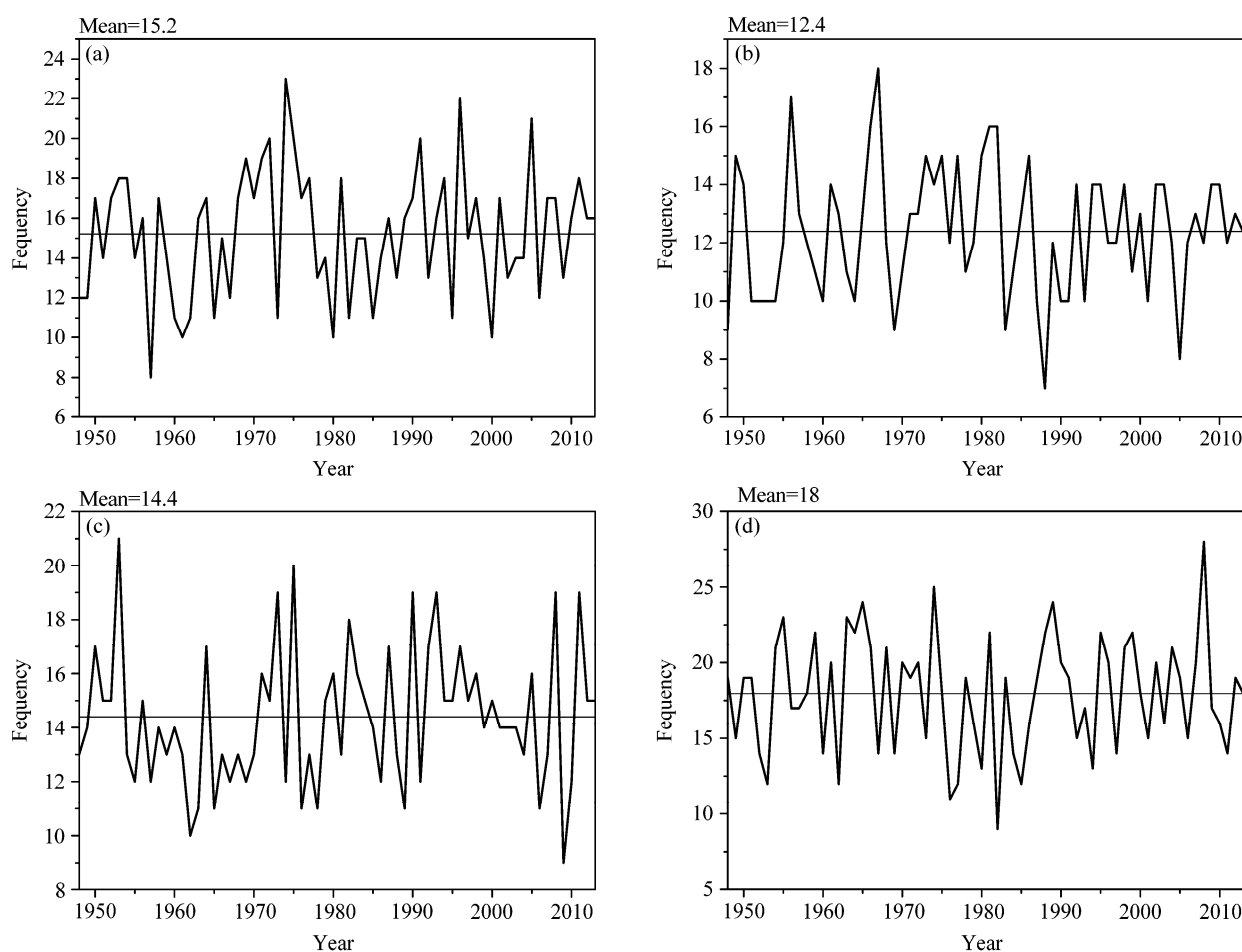


图4 1948~2013年冬季(a)欧亚地区、(b)北美地区、(c)大西洋地区以及(d)太平洋地区温带反气旋过程数(反气旋至少持续3天)的时间变化
Fig. 4 Temporal variations of occurrence frequency of winter anticyclones that have a life time of at least three days during 1948–2013 in (a) Eurasia, (b) North America, (c) the Atlantic, and (d) the Pacific during 1948–2013

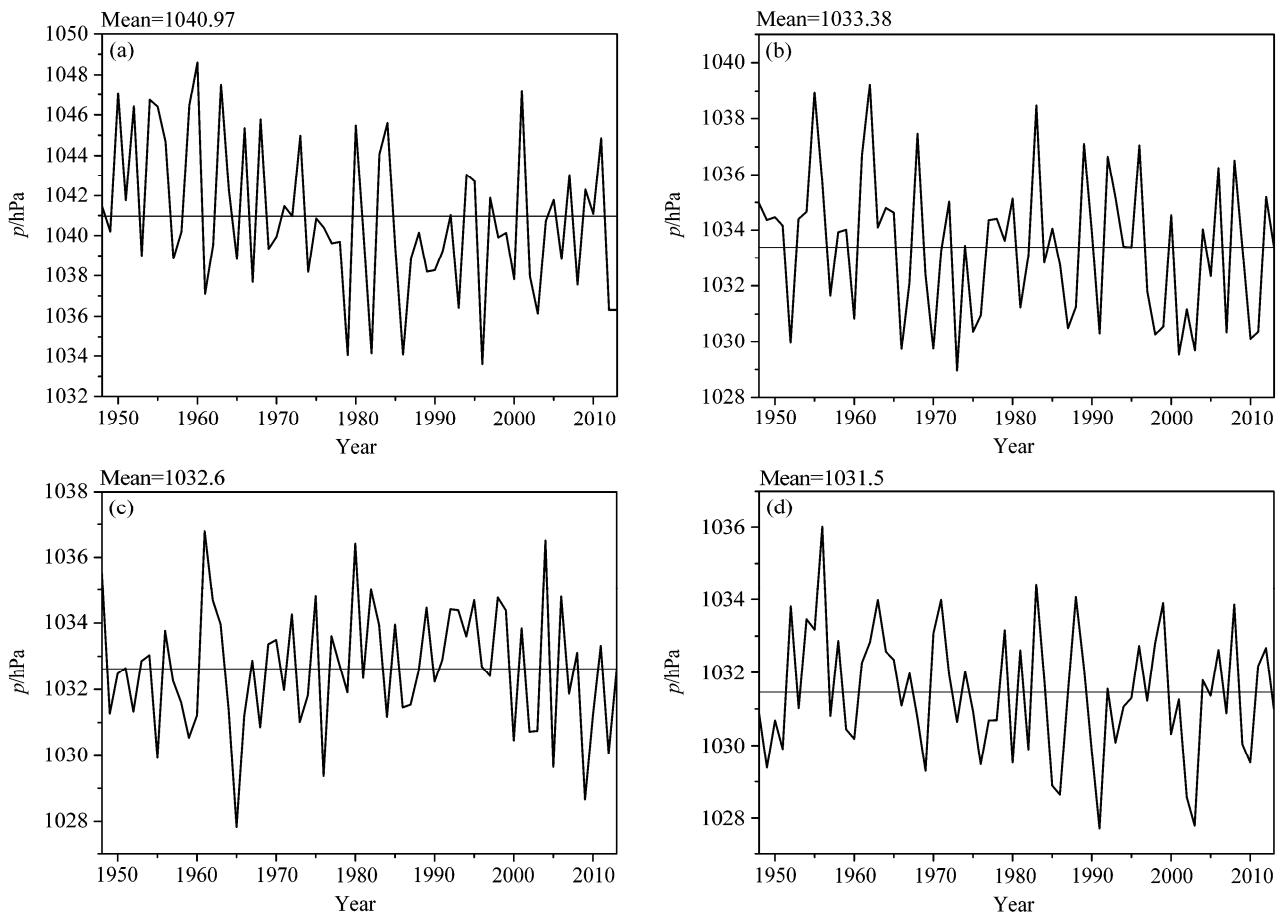


图5 同图4, 但为反气旋过程的平均气压

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for the mean pressure calculated along the track

偏北, 20 世纪 80 年代中期至 21 世纪初年际变化很大 (图 6a)。有研究表明, 负北极涛动 (AO) 指数异常事件中出现强烈影响欧亚大陆的冷空气活动 (梁苏洁, 2014), 反气旋的移动常伴随冷空气侵袭, 所以欧亚反气旋活动的年际变化可能与 AO 指数年际变化联系密切。另外, 反气旋的强度变化受西风带的强弱变化的影响, 弱的对流层西风带可能减缓 Rossby 波的传播速度, 进而增加地面高压系统的持续和强度 (Zhang et al., 2012)。

北美地区每年平均有 12.4 次反气旋过程, 平均气压是 1033.4 hPa, 最大气压是 1039 hPa, 平均纬度位置是 49.1°N, 平均纬度范围在 33.6°N~64.6°N。1948~2013 年反气旋发生频数、强度和移动轨迹平均纬度表现出较大的年际变化, 1963 年最多, 有 18 次过程, 但没有显著的变化趋势 (图 4b、5b、6b)。反气旋轨迹的纬度范围在 20 世纪 90 年代之前呈上升趋势, 之后趋势不明显, 但是年际变化显著 (图 7b)。

大西洋地区, 每年平均有 9.3 次反气旋过程, 平均气压是 1032.6 hPa, 最大气压是 1037 hPa, 平均纬度位置为 42.4°N, 平均纬度范围在 32.1°N~52.7°N。1953 年反气旋发生频数最多 (21 次过程), 2010 年最少 (9 次过程), 1990~2010 年有下降趋势 (图 4c)。20 世纪 60 年代中期到 80 年代前期反气旋的年平均气压上升 (0.6 hPa/a), 运动到达的最低纬度向南延伸 ($-0.53^{\circ}/a$), 纬度范围缩小 ($-0.54^{\circ}/a$)。而 1995~2013 年反气旋年平均气压下降 (-0.26 hPa/a), 运动到达的最低纬度向南延伸 ($-0.67^{\circ}/a$), 同时纬度范围缩小 ($-0.4^{\circ}/a$) (图 5c、6c、7c)。

太平洋地区, 每年平均有 18 次反气旋过程, 平均气压是 1031.5 hPa, 最大气压是 1036 hPa, 平均纬度位置为 43.8°N, 平均纬度范围在 34.1°N~53.5°N。从 20 世纪 50 年代末到 90 年代初反气旋年平均气压逐渐减少且具有较强的年际变率 (图 5d), 这与 Favre and Gershunov (2006) 结果一致, 其变

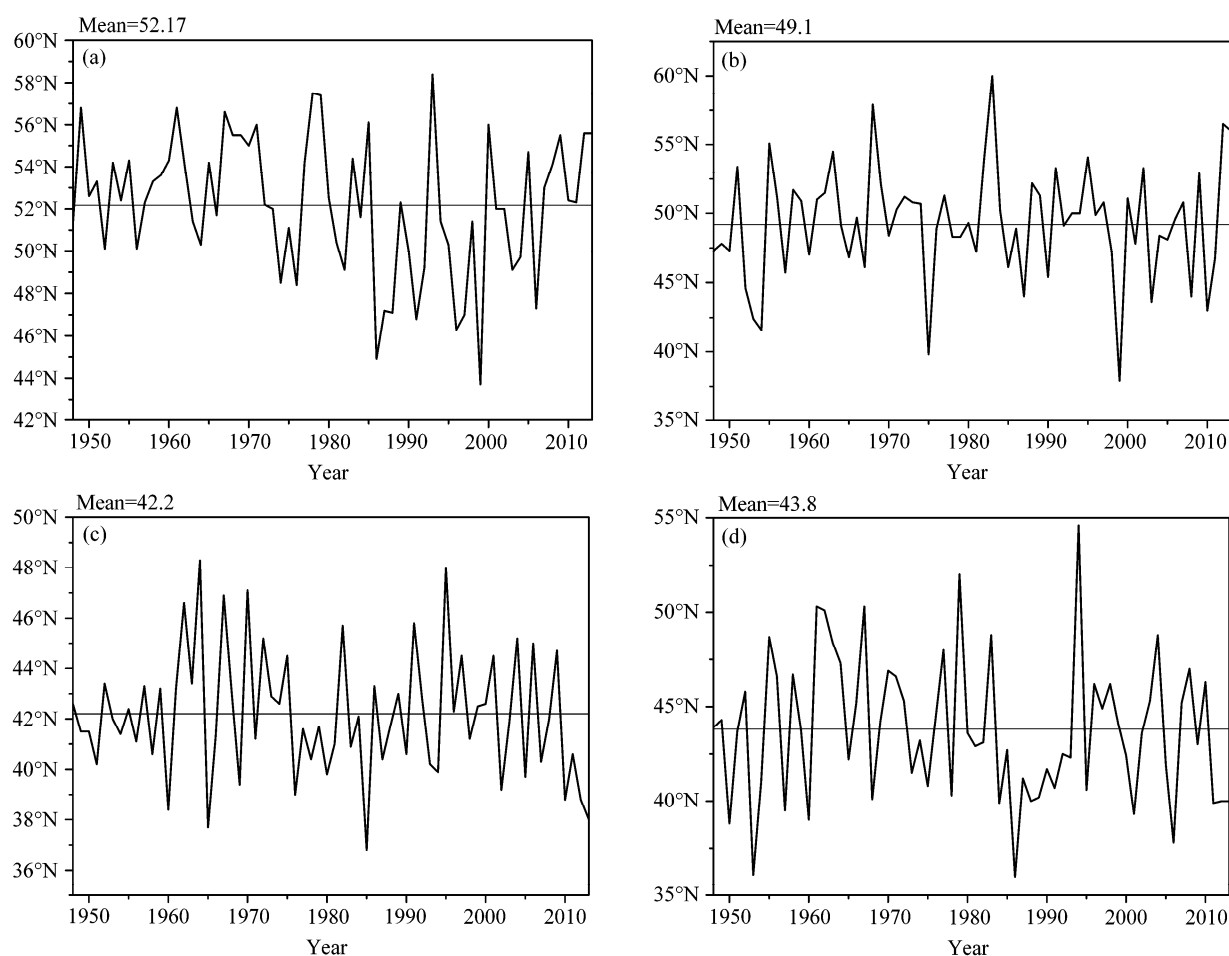


图6 同图4, 但为反气旋过程的平均纬度

Fig. 6 Same as Fig. 4, but for the mean latitude calculated along the track

化与太平洋—北美遥相关(PNA)转变有关。1948~2013年期间, 1994年纬度位置最北(54.6°N), 1986最南(36°N), 而运动纬度范围年际变率较大(图6d、7d)。

通过比较以上四个区域的反气旋气候特征可以看出, 太平洋反气旋活动最多, 北美地区最少。活跃于大陆的反气旋强度和轨迹的平均纬度位置明显高于活跃于海洋上的, 且欧亚大陆上的反气旋最强、最北。而北美地区的反气旋移动纬度范围最大, 太平洋地区的纬度范围最小。考察各地区反气旋的个数(即过程数)和强度、纬度位置的相关关系。四个区域中, 除了欧亚大陆, 其他三个区域反气旋强度与平均纬度都有显著的正相关关系(北美: $r=0.41$, 大西洋: $r=0.31$, 太平洋: $r=0.33$, 均通过了置信度为95%的统计显著性检验), 即反气旋偏强的年份中, 运动偏北。在北美和欧亚大陆, 反气旋的强度都与运动纬度范围显著相关。不同的是,

北美地区的反气旋越强其运动纬度范围越大($r=0.36$, 通过了置信度为99%的统计显著性检验), 而欧亚大陆的反气旋越强其运动纬度范围越小($r=-0.41$, 通过了置信度为99%的统计显著性检验)。而各地区的反气旋的个数与移动轨迹的平均纬度并无显著相关关系(表1)。

一般我们将更易产生瞬变天气现象的地区称为风暴路径或风暴轴, 风暴轴强度变化在一定程度上可以反映反气旋的变化。不少研究表明, 北半球风暴轴存在北移变化趋势并很有可能由全球变暖造成(Yin, 2005)。20世纪70年代中后期, 全球风暴轴强度增强主要是由于平均经向温带梯度增大, 从而为斜压不稳定增长提供有力的背景条件(Lee et al., 2012; 张颖娴等, 2012)。但风暴轴的变化趋势并不具有整个半球变化一致的特征。20世纪70年代中后期北大西洋风暴轴北移加强, 而北太平洋情况相反, 即风暴轴向低纬度偏移, 且与涡旋增

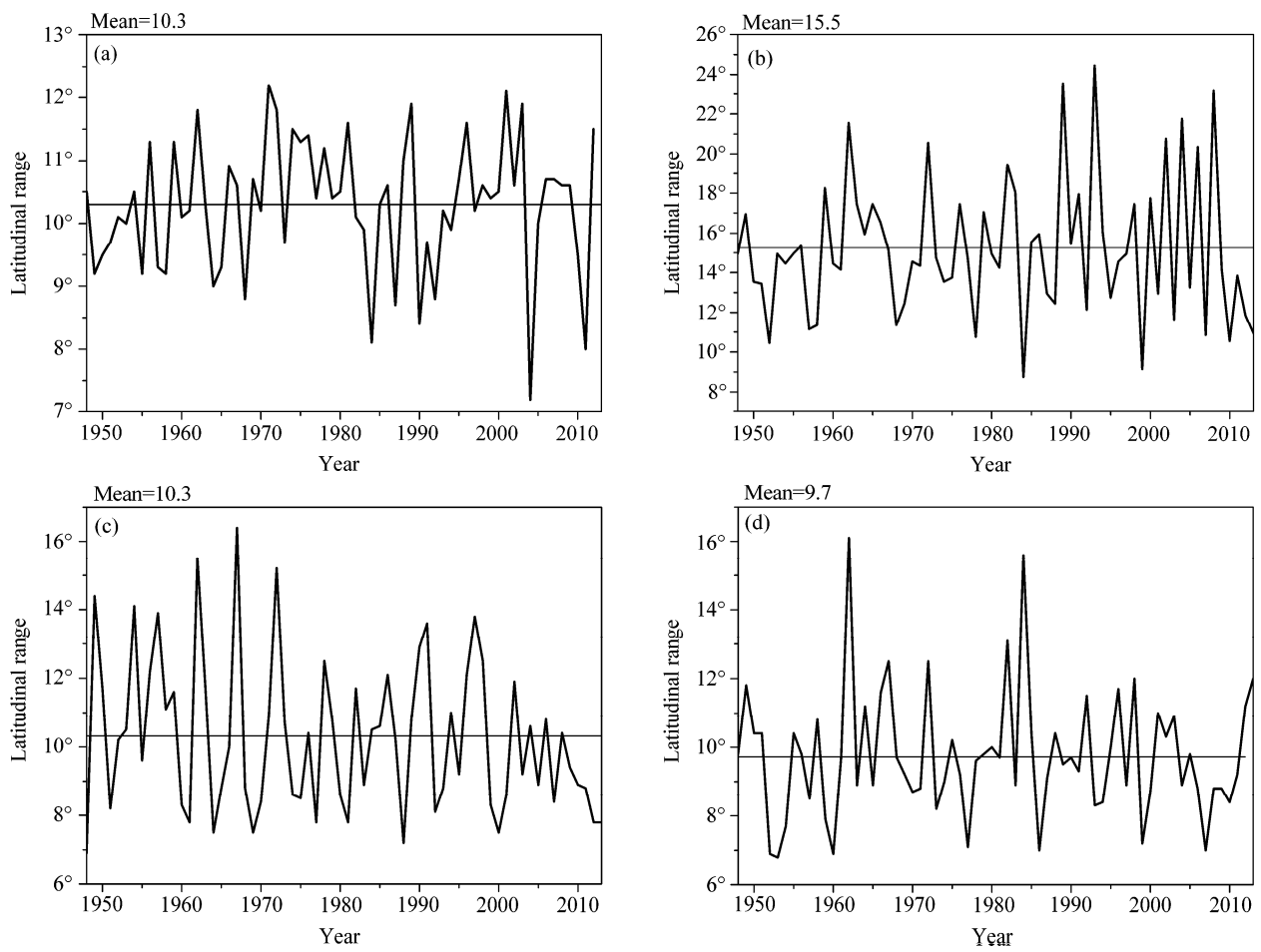


图 7 同图 4，但为反气旋过程的平均纬度范围
Fig. 7 Same as Fig. 4, but for the latitudinal range defined by the difference between maximum and minimum latitudes reached along the tracks

表 1 欧亚、北美、大西洋和太平洋四个区域温带反气旋过程数（反气旋至少持续 3 天）、平均气压、平均纬度和平均纬度范围之间的线性相关系数

Table 1 Linear temporal correlation coefficients between frequency, mean pressure, mean latitude, and latitudinal range of winter anticyclones that have a life time of at least three days in Eurasia, North America, the Atlantic, and the Pacific during 1948–2013

	过程数和平均气压 相关系数	过程数和平均纬度 相关系数	过程数和纬度范围 相关系数	平均气压和平均纬度 相关系数	平均气压和纬度范围 相关系数	平均纬度和纬度范围 相关系数
欧亚	−0.06	−0.03	0.08	0.05	−0.40**	0.12
北美	−0.04	−0.01	0.07	0.41**	0.36**	−0.00
大西洋	0.18	−0.07	0.24*	0.31*	0.05	0.24*
太平洋	0.38**	0.04	−0.12	0.33**	0.04	0.16

*, **分别表示通过置信度为 95%、99%的统计显著性检验。

长率变化有密切关系。本文中两大洋的反气旋的平均纬度位置变化类似于张颖娴等（2012）中风暴轴位置变化，表现出不同的变化趋势，这在一定程度上说明不同区域反气旋活动特征不同，可能与不同地区斜压性变化不同有关。

4.2 周期变化特征

使用 Morlet 小波变换（Torrence and Comp,

1998; Zhi, 2001）进一步分析了整个北半球以及其内四个地区反气旋数的周期特征。由图可见，北半球反气旋在 1980~2000 年期间存在显著的 2~3 年周期变化（图 8a）。欧亚地区的反气旋在 20 世纪 70 年代和 90 年代存在显著的 2~3 年周期变化。前人大量的研究揭示了地面气压、降水、SST 以及热带印度洋和太平洋的其他要素的这种 2~3 年周期

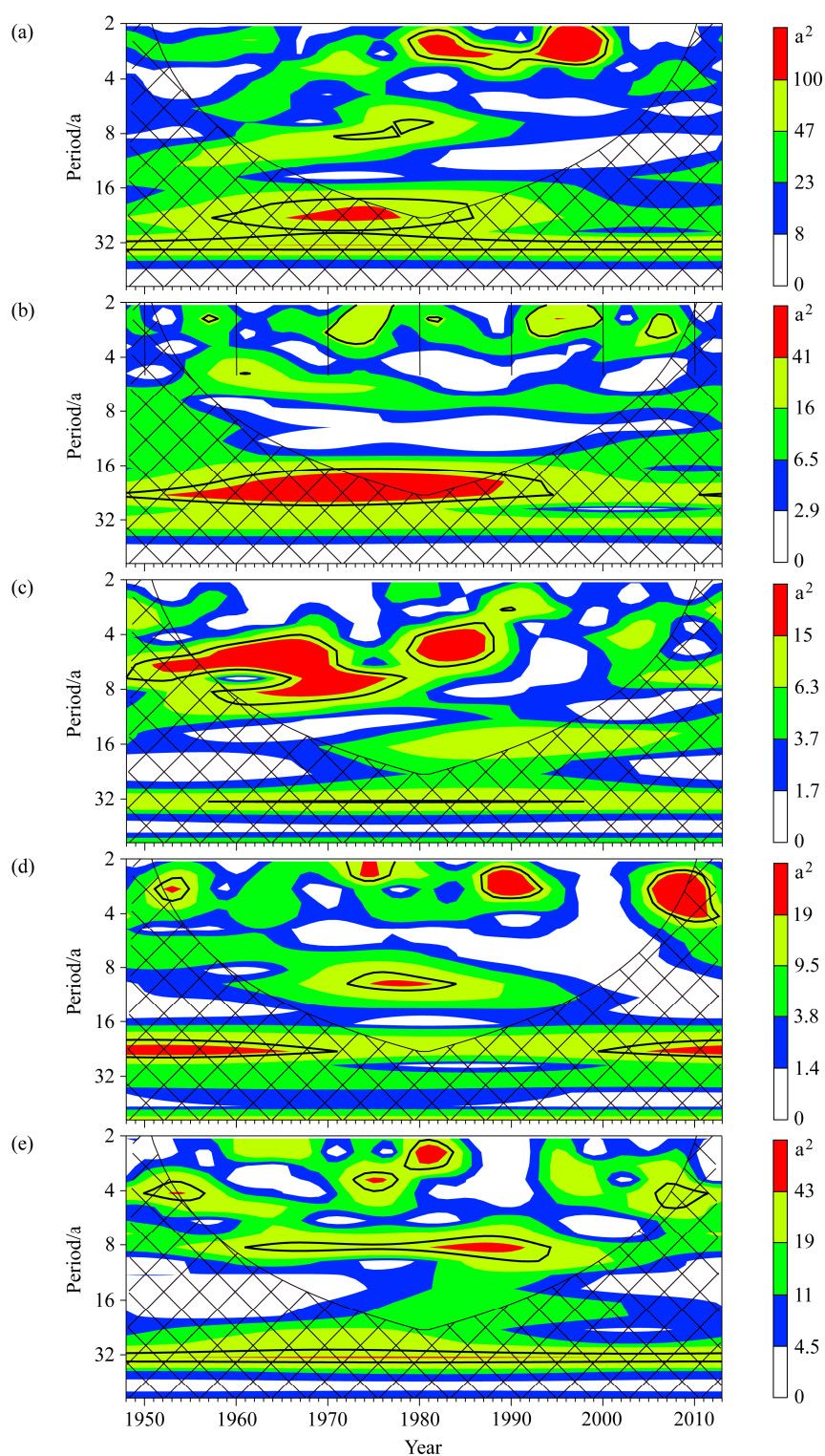


图 8 1948~2013 年反气旋数的小波变换功率谱 (黑线部分表示通过 90% 置信水平, 网格影区是小波变换受边界影响的区域): (a) 北半球; (b) 欧亚地区; (c) 北美地区; (d) 大西洋地区; (e) 太平洋地区

Fig. 8 Power spectrum analysis of the Morlet wavelet transform for occurrence frequency of anticyclones in (a) Eurasia, (b) North America, (c) the Atlantic, and (d) the Pacific during 1948–2013. Black contours encompass the wavelet power spectra that are statistically significant at the 90% confidence level. The cross-hatched region is the cone of influence

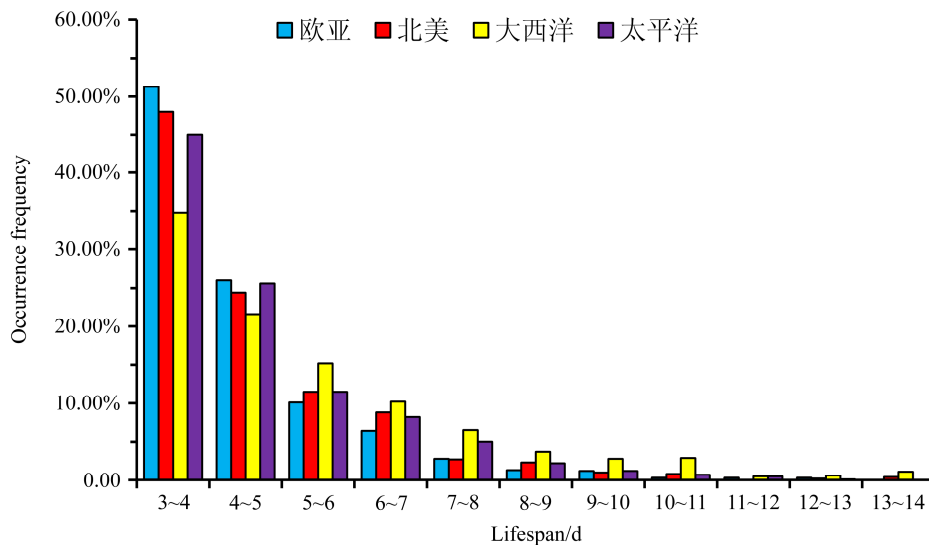


图9 不同生命史的反气旋出现的频率: (a) 欧亚地区; (b) 北美地区; (c) 大西洋地区; (d) 太平洋地区

Fig. 9 Occurrence frequencies of anticyclones as a function of their lifespans in (a) Eurasia, (b) North America, (c) the Atlantic, and (d) the Pacific

变化特征 (Trenberth, 1975; Meehl, 1987; Zhu and Zhi, 1991; Shen and Lau, 1995; Zhi, 1997; Webster et al., 1998; Chang and Li, 2000; Tseng and Mechoso, 2001; Yang et al., 2011)。北美地区的反气旋在 1948~1990 年期间存在显著的 3~9 年周期变化, 并表现出从长周期向短周期转变的变频现象。Zhi et al. (1997) 曾研究了热带大气低频振荡的变频特征及可能的影响因子。不过, 这种年际变化的变频机理目前尚不清楚。大西洋的反气旋在 20 世纪 70 年代中期、80 年代末到 90 年代初和 2005~2010 年期间存在显著的 2~3 年周期变化, 70 年代具有显著的准 8 年周期特征。太平洋的反气旋在 20 世纪 70 年代和 80 年代初期存在显著的 2~3 年周期变化, 并具有从长周期向短周期转变的变频现象, 在 1960~1995 年期间存在显著的准 8 年周期 (图 8b、8c、8d、8e)。整个北半球和欧亚地区从 20 世纪 70 年代中期到 90 年代存在显著的 16~18 年周期的年代际变化特征 (图 8)。

4.3 反气旋活动的生命史

鉴于反气旋的持续时间与对局地天气的影响大小和范围有密切关系, 图 9 给出了四个区域反气旋的生命史长度在各个时段所占的百分比。由图可见, 活跃于大西洋的反气旋持续 5 d 以上的比例最高, 其他三个区域生命史为 3~4 d 的反气旋占总数的 50% 左右。四个区域反气旋数随生命史的变长而急剧下降, 生命史为 4~7 d 的反气旋占 40% 左右,

只有不到 10% 的反气旋生命史超过一周。

5 结论和讨论

基于 NCEP/NCAR 再分析资料, 采用客观判定和追踪反气旋的方法统计分析了 1948~2013 年北半球冬季温带反气旋的时空分布特征, 得到如下几点结论:

(1) 北半球冬季温带反气旋主要活动在中纬度中东部的北太平洋、东北大西洋、北美落基山脉东部和加拿大、美国东部、欧洲、中亚和东亚地区。大陆上反气旋分布较集中, 且多位于中高纬度地区, 而北大西洋和太平洋上反气旋较陆地上分布零散, 纬度位置较低。

(2) 大洋上反气旋的生成区域分布比较分散, 太平洋上的反气旋主要生成于西太平洋, 在中、东太平洋达到成熟期, 最后在太平洋东部、北美西北沿岸消亡。大西洋上的反气旋与太平洋上的分布类似, 但大西洋上的反气旋消亡区域的大值区从大西洋中部到欧洲西海岸成西南—东北带状分布。欧亚和北美地区的反气旋多生成于高纬度及极地区域, 主要向东、东南方向移动。一些反气旋在当地发展消亡, 而另一些反气旋则能移动到大陆东海岸。

(3) 北半球反气旋活动具有明显的年际—年代际变化, 且不同地区的时间变化特征也不尽相同。北半球各区域反气旋出现的个数均具有显著的 2~

3 年周期变化特征, 欧亚地区则具有显著的 16~18 年周期的年代际变化。

(4) 北美、大西洋和太平洋地区反气旋强度偏强(弱)的年份中, 运动轨迹偏北(南)。在北美大陆, 反气旋的强度越强其运动纬度范围越大, 而欧亚大陆的反气旋越强其运动纬度范围越小。

(5) 欧亚、北美和太平洋地区持续时间 3~4 d 的反气旋占总数的 50% 左右, 大西洋上的反气旋持续 5 d 以上的比例较其他地区更高, 不到 10% 的反气旋生命史超过一周。

反气旋的气候变化以及他们导致的区域地表大气环流与北半球大气环流的转变和地面气候有密切联系。例如, 2000 年以来欧亚地区反气旋强度增强, 可影响半永久性西伯利亚高压的加强和移动, 从而有利于欧亚中纬度和中国东北地区地表气温降低 (Pinto et al., 2007; Wen et al., 2009; Zhou et al., 2009; Zhang et al., 2012), 导致极端冷冬事件增多, 而下垫面的冷却反过来也会加强反气旋 (Zhang et al., 2012)。能够移动到北美西海岸的东北太平洋上的反气旋不仅对北太平洋的天气气候有影响, 而且对北美西部的地表气温有直接影响, 尤其是夜间温度 (Favre and Gershunov, 2006)。目前, 导致各区域反气旋具有不同的气候特征的原因并不十分清楚, 影响区域反气旋的年代际变化的主要因子以及与对当地气候的联系等等都需要在未来的工作中进一步研究。

参考文献 (References)

- Barlow M, Wheeler M, Lyon B, et al. 2005. Modulation of daily precipitation over Southwest Asia by the Madden-Julian Oscillation [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 133 (12): 3579–3594, doi: 10.1175/MWR3026.1.
- Chang C P, Li T. 2000. A theory for the tropical tropospheric biennial oscillation [J]. *J. Atmos. Sci.*, 57 (14): 2209–2224, doi: 10.1175/1520-0469(2000)057<2209:ATFTTT>2.0.CO;2.
- Chen L, Tan B K, Kvamstø N G. 2014. Wintertime cyclone/anticyclone activity over China and its relation to upper tropospheric jets [J]. *Tellus A*, 66: 21889, doi: 10.3402/tellusa.v66.21889.
- Favre A, Gershunov A. 2006. Extra-tropical cyclonic/anticyclonic activity in north-eastern Pacific and air temperature extremes in western North America [J]. *Climate Dyn.*, 26 (6): 617–629, doi: 10.1007/s00382-005-0101-9.
- Galarneau T J, Bosart L F, Ayyer A R. 2008. Closed anticyclones of the subtropics and midlatitudes: A 54-Yr climatology (1950–2003) and three case studies [J]. *Meteor. Monogr.*, 33 (55): 349–392, doi: 10.1175/0065-9401-33.55.349.
- 高由禧. 1953. 冬季冷高压移动问题 [J]. *气象学报*, 24 (1): 11–27. Gao Youxi. 1953. The moving of cold high [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 24 (1): 11–27.
- Harman J R. 1987. Notes and correspondence: Mean monthly North American anticyclone frequencies, 1950–79 [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 115: 2840–2848, doi: 10.1175/1520-0493(1987)115<2840:MMNAAF>2.0.CO;2.
- Ioannidou L, Yau M K. 2008. A climatology of the Northern Hemisphere winter anticyclones [J]. *J. Geophys. Res.*, 113: D08119, doi: 10.1029/2007JD008409.
- Jones D A, Simmonds I. 1994. A climatology of Southern Hemisphere anticyclones [J]. *Climate Dyn.*, 10 (6–7): 333–348, doi: 10.1007/BF00228031.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77 (3): 437–471, doi: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2.
- Kistler R, Collins W, Saha S, et al. 2001. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82 (2): 247–267, doi: 10.1175/1520-0477(2001)082<0247:TNNYRM>2.3.CO;2.
- Lee S S, Lee J Y, Wang B, et al. 2012. Interdecadal changes in the storm track activity over the North Pacific and North Atlantic [J]. *Climate Dyn.*, 39 (1): 313–327, doi: 10.1007/s00382-011-1188-9.
- 梁苏洁. 2014. 近 50 年中国冬季气温和冬季风以及区域环流的年代际变化研究 [D]. 中国气象科学研究院博士学位论文, 142pp. Liang Sujie. 2014. Analysis of the interdecadal changes of the wintertime surface air temperature and winter monsoon over China mainland and regional atmospheric circulation characteristics during 1960–2013 [D]. Ph.D. dissertation (in Chinese), Chinese Academy of Meteorological Sciences, 142pp.
- Matthews A J, Kiladis G N. 1999. The tropical-extratropical interaction between high-frequency transients and the Madden-Julian oscillation [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 127 (5): 661–677, doi: 10.1175/1520-0493(1999)127<0661:TTEIBH>2.0.CO;2.
- Meehl G A. 1987. The annual cycle and interannual variability in the tropical Pacific and Indian Ocean regions [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 115 (1): 27–50, doi: 10.1175/1520-0493(1987)115<0027:TACAIV>2.0.CO;2.
- Pezza A B, Simmonds I, Renwick J A. 2007. Southern hemisphere cyclones and anticyclones: Recent trends and links with decadal variability in the Pacific Ocean [J]. *International Journal of Climatology*, 27 (11): 1403–1419, doi: 10.1002/joc.1477.
- Pinto J G, Brücher T, Fink A H, et al. 2007. Extraordinary snow accumulations over parts of central Europe during the winter of 2005/06 and weather-related hazards [J]. *Weather*, 62 (1): 16–21, doi: 10.1002/wea.19.
- Shen S, Lau K M. 1995. Biennial oscillation associated with the East Asian summer monsoon and tropical sea surface temperatures [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 73 (1): 105–124.
- 史湘军, 智协飞. 2007. 1950–2004 年欧亚大陆阻塞高压活动的统计特征 [J]. *南京气象学院学报*, 30 (3): 338–344. Shi Xiangjun, Zhi Xiefei. 2007. Statistical characteristics of blockings in Eurasia from 1950 to 2004 [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese)*, 30 (3): 338–344.

- Sinclair M R. 1996. A climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 124 (2): 245–263, doi: 10.1175/1520-0493(1996)124<0245:ACOAAB>2.0.CO;2.
- Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79 (1): 61–78, doi: 10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2.
- Trenberth K E. 1975. A quasi-biennial standing wave in the Southern Hemisphere and interrelations with sea surface temperature [J]. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 101 (427): 55–74, doi: 10.1002/qj.49710142706.
- Tseng L S, Mechoso C R. 2001. A quasi-biennial oscillation in the equatorial Atlantic Ocean [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 28 (1): 187–190, doi: 10.1029/2000GL011206.
- Webster P J, Magaña V O, Palmer T N, et al. 1998. Monsoons: Processes, predictability, and the prospects for prediction [J]. *J. Geophys. Res.*, 103 (C7): 14451–14510, doi: 10.1029/97JC02719.
- Wen M, Yang S, Kumar A, et al. 2009. An analysis of the large-scale climate anomalies associated with the snowstorms affecting China in January 2008 [J]. *Monthly Weather Review*, 137 1111–31, doi: 10.1175/2008MWR2638.1
- Yang H, Zhi X F, Gao J, et al. 2011. Variation of East Asian summer monsoon and its relationship with precipitation of China in recent 111 years [J]. *Agricultural Science and Technology*, 12 (11): 1711–1716.
- Yin J H. 2005. A consistent poleward shift of the storm tracks in simulations of 21st century climate [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 32 (18): L18701, doi: 10.1029/2005GL023684.
- 张淮, 史久恩. 1957. 东亚的反气旋活动 [J]. *气象学报*, 28 (3): 167–174.
- Zhang Huai, Shi Juen. 1957. The activity of the anticyclone in eastern Asia [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 28 (3): 167–174.
- 张培忠, 陈光明. 1999. 影响中国寒潮冷高压的统计研究 [J]. *气象学报*, 57 (4): 493–501. Zhang Peizhong, Chen Guangming. 1999. A statistical analysis of the cold wave high which influences on China [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 57 (4): 493–501.
- 张颖娴, 丁一汇, 李巧萍. 2012. ERA40 再分析资料揭示的北半球和东亚地区温带气旋生成频率变化 [J]. *气象*, 38 (6): 646–656. Zhang Yingxian, Ding Yihui, Li Qiaoping. 2012. Cyclogenesis frequency changes of extratropical cyclones in the Northern Hemisphere and East Asia revealed by ERA40 reanalysis data [J]. *Meteorological Monthly*, 38 (6): 646–656 (in Chinese).
- Zhang X D, Lu C H, Guan Z Y. 2012. Weakened cyclones, intensified anticyclones, and recent extreme cold winter weather events in Eurasia [J]. *Environmental Research Letters*, 7 (4): 044044, doi:10.1088/1748-9326/7/4/044044
- Zhi X F. 1997. Quasi-biennial oscillation in precipitation and its possible application to long-term prediction of floods and droughts over eastern China [J]. *Ann. Meteor.*, 35: 250–252.
- Zhi X F. 2001. Interannual variability of the Indian summer monsoon and its modeling with a zonally symmetric 2D-model [D]. Ph. D. dissertation, Shaker Verlag.
- Zhi X F, Shi X J. 2006. Interannual variation of blockings in Eurasia and its relation to the flood disaster in the Yangtze River valley during boreal summer [C]. // *Proceedings of the 10th WMO International Symposium on Meteorological Education and Training*. Nanjing, China.
- Zhi X F, Chen X H, Tian H. 1997. TBB-revealed annual cycle features of tropical LFO [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 11 (4): 460–468.
- Zhu Q G, Zhi X F. 1991. Quasi-biennial oscillation in rainfall over China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 5 (4): 426–434.
- Zhou W, Chan J C L, Chen W, et al. 2009. Synoptic-scale controls of persistent low temperature and icy weather over southern China in January 2008 [J]. *Monthly Weather Review*, 137 3978–91, doi: 10.1175/2009MWR2952.1