

卞林根, 林学椿. 2009. 南极涛动和南极绕极波的年代际变化 [J]. 大气科学, 33 (2): 251–260. Bian Linggen, Lin Xuechun. 2009. Interdecadal change of the Antarctic oscillation and the Antarctic circumpolar wave [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (2): 251–260.

南极涛动和南极绕极波的年代际变化

卞林根¹ 林学椿²

¹ 中国气象科学研究院, 北京 100081

² 国家气候中心, 北京 100081

摘 要 用 1951 年 1 月~2002 年 12 月共 624 个月的海平面气压、温度和 850 hPa 西风的 NCEP 再分析资料, 分析定义了南极涛动指数 (简称 AAOI) 和 850 hPa 的南极涛动西风指数 (简称 Uaaoi), 并讨论了它们的长期变化趋势和年代际跃变及其对南极绕极波的影响。结果表明, AAOI 和 Uaaoi 的变化非常相似, 两者的同期相关系数高达 0.218 (624 个月), 超过了 99.9% 信度检验。当 AAOI 为高指数时, Uaaoi 也为高指数, 即西风增加; 当 AAOI 为低指数时, Uaaoi 也为低指数, 即西风减弱。AAOI 和 Uaaoi 都有明显的长期趋势, 倾向率分别为 0.01915/10 a 和 0.009249/10 a。1972 年是跃变点, 跃变前 AAOI 的年平均值为 -3.9691 hPa; 跃变后为 2.9107 hPa。而在 60°S 附近, 跃变前年平均西风为 -1.09 m/s, 跃变后为 0.93 m/s, 二者差达 2.02 m/s。它们的主要振荡周期为 3~5 年。对 50°S~60°S 平均纬圈的海平面气压 (sea level pressure, 简称 SLP) 和温度 (624 月) 作 3~5 年滤波, 它的经度时间剖面图表明: 近 50 多年来南极绕极波均为自西向东的行波, 绕南极一周跃变前约 4.4 年, 跃变后约 3.6 年。南半球的 SLP 和温度经 3~5 年滤波后, 它的 EOF 展开第一特征向量的空间型表明: 跃变前以 3 波振动为主, 跃变后以 2 波振动为主。

关键词 南极涛动 南极绕极波 跃变

文章编号 1006-9895 (2009) 02-0251-10

中图分类号 P433

文献标识码 A

Interdecadal Change of the Antarctic Oscillation and the Antarctic Circumpolar Wave

BIAN Linggen¹ and LIN Xuechun²

¹ Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

² National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract The Antarctic Oscillation Index (AAOI) and the westerly index of Antarctic oscillation (Uaaoi) are defined by using the NCEP data of sea level pressure, temperature and 850-hPa westerly wind from January 1951 to December 2002. Long-term trend, interdecadal jump and cycles of AAOI and Uaaoi as well as the effect on the Antarctic circumpolar wave are discussed. Main conclusions show that the relationship between AAOI and Uaaoi is significant with the correlation coefficient of 0.218, which exceeds 99.9% confidence level. While AAOI and Uaaoi are high, the westerly wind increases, vice versa. Long-term tendency exists in AAOI and Uaaoi with trend rate of 0.01915/10 a and 0.009249/10 a respectively. A distinctive jump point happened in 1972, before and after this year the average AAOI was -3.9691 hPa and 2.9107 hPa respectively, the average AAOI is increased by 6.88 hPa, the average westerly wind was -1.09 m/s and 0.93 m/s respectively. The sea level pressure and temperature along

收稿日期 2007-08-13, 2007-12-21 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40575033, 国家科技支撑计划课题 2006BAB18B05

作者简介 卞林根, 男, 1951 年出生, 研究员, 主要从事极地气象研究。E-mail: blg@cma.gov.cn

50°S–60°S in 50 years show clear patterns of dominating eastward propagation with 4.4 years rounding a circle before the jump year and 3.6 years after the jump year in term of the time series by filter of 3–5 years. In the first principal component of EOF, wave number 3 and wave number 2 are dominating before and after the jump year, respectively

Key words Antarctic oscillation, Antarctic circumpolar wave, jump

1 引言

南极地区是全球最大的冰雪分布区, 南极大陆面积约占南半球面积的 1/10, 其中 95% 以上的地区终年为冰雪覆盖, 冰盖面积达 $14 \times 10^6 \text{ km}^2$, 海冰面积的季节变化在 $4 \sim 20 \times 10^6 \text{ km}^2$, 平均面积相当于南极大陆的面积。由于其四周都是开放的大洋, 所以对高、中纬度海洋和大气环流的热力、动力特性都有重要影响。南大洋是世界上唯一一个东西连通的海域, 位于 35°S 以南, 约占全球大洋表面积的 1/4。南极绕极流 (Antarctic Circumpolar Current, ACC) 环绕南极大陆自西向东流动, 流域长度达 21000 km, 流量达 150 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$), 将大西洋、太平洋和印度洋连接起来, 成为三大洋间水体输运与交换的纽带。

南极绕极流的发现只有几年的时间, 是全球海洋中新发现的重要现象之一。南极绕极流在南大洋以及南半球的气候变化中扮演了重要的角色, 是南大洋海气相互作用系统中极其重要的一部分, 引起了海洋学家、气象学家们的极大兴趣。近几十年来, 随着南半球观测资料的逐渐增加, 特别是 NCEP 再分析资料广泛应用, 才使得对南半球中、高纬度地区大气环流的研究活跃起来 (孙淑清等, 2007; 魏科等, 2008)。早期的相关分析显示南半球纬圈平均海平面气压 (简称 SLP) 的变化在中、高纬度呈相反趋势 (Mo et al., 1985; Mo, 1986)。Kidson (1975) 对 1951~1960 年南半球的资料进行了主成分分析, 而 Rogers et al. (1982) 进行了经验正交函数 (EOF) 分解, 都发现其主要特征向量的空间分布特征是以 50°S 左右为界, 南北符号相反。Thompson et al. (1998, 2000a, 2000b) 对其作了较全面的研究, 并把它命名为南极涛动。

南极涛动 (AAO) 是近几年来得到确认的南半球中高纬度大气环流主要的模态。它具有很强的纬向对称性, 其实质就是南半球高纬度-极地附近与中纬度附近南北向之间的大尺度质量交换, 表示了

南半球绕极低压带和副热带高压带之翘翘板式的变化。南极涛动从海平面气压场到对流层以及平流层低层都有反映, 具有明显的正压结构。南极涛动在全年中信号显著, 有更好的季节持续性, 同时有年代际、年际和季节内时间尺度变化 (Mo, 2000; 范丽军等, 2003)。南极涛动正 (强) 异常时, 绕极低压带加深和副热带高压带加强, 高、中纬度之间的气压梯度加大, 高纬西风加强 (Kindson, 1986)。已有研究 (Thompson et al., 1998, 2000b) 表明: 南极涛动异常能够影响南半球中高纬度的天气气候异常, 且有明显的长期变化倾向。南极涛动异常还能影响我国的天气气候变化 (南素兰等, 2005a, 2005b, 周琴等, 2004)。

南极绕极波 (Antarctic Circumpolar Wave, 简称 ACW) 首先由 White et al. (1996) 提出。White et al. (1996) 和 Jacobs et al. (1996) 用 20 世纪 80 年代中期到 90 年代中期大约 10 多年的时间资料的研究表明, 在南大洋的绕极流海域, 海平面气压、风应力、海面温度以及海冰范围等参数中存在着彼此明显相关的年际变化, 它们的距平随着南极绕极流向东传播, 4~5 年环绕地球一圈。研究表明, 南极绕极波由 2 条主要的轨迹组成 (Peterson et al., 1998; White et al., 2001, 2002)。北线位于 35°S~45°S, 沿着东大西洋、印度洋和中、西太平洋扇区的亚热带锋面, 绕过澳大利亚的南海岸线经新西兰向东传播; 南线位于 63°S 左右, 沿秋-冬-春的海冰边缘线围绕着南极大陆传播。这 2 个路径都在德雷克海峡汇聚, 然后从东太平洋进入大西洋。

本文用 1951 年 1 月~2002 年 12 月共 624 个连续月的 NCEP 再分析月平均海平面气压资料, 重新定义了南极涛动指数, 进而研究了南极涛动指数的年代际变化及其对南半球海平面气压、温度、850 hPa 风场和绕极环流的影响。

2 南极涛动指数

南极涛动一般用南极地区 (20°S 以南) 月平均

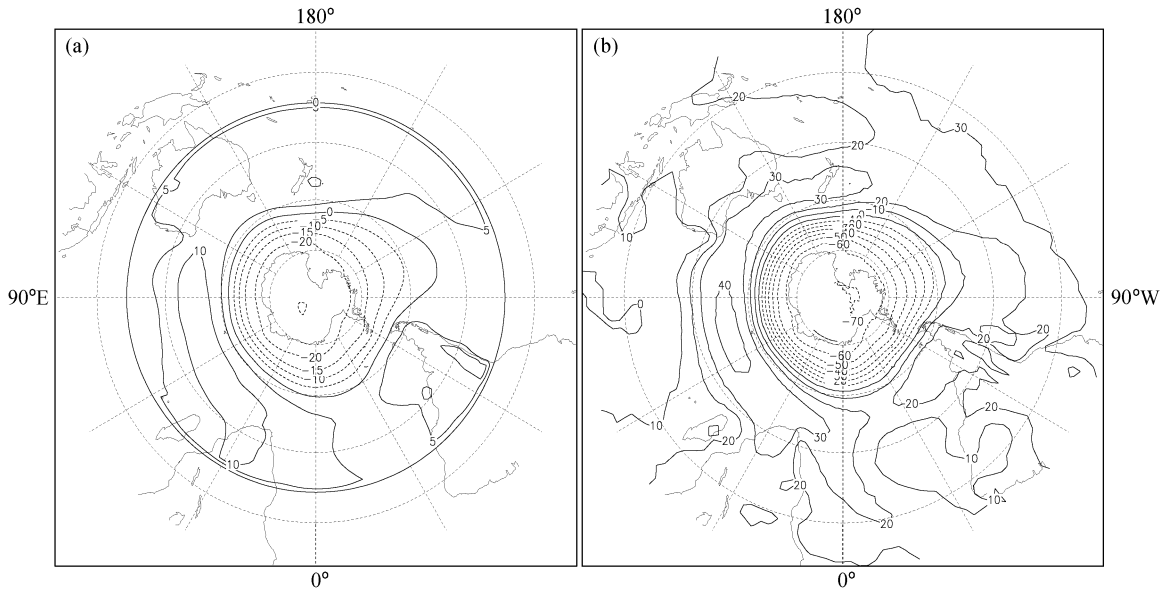


图1 南半球 20°S 以南月平均海平面气压标准化距平 EOF 展开的第一特征向量的空间型 (a, 等值线间隔为 5.0) 以及南极涛动指数和南半球的 SLP 同期相关 (b, 等值线间隔为 10.0×10^{-2})

Fig. 1 (a) The first component of the EOF of the monthly sea level pressure (SLP) normalized anomalies to the south of 20°S (contour interval: 5.0) and (b) the instantaneous correlation between the Antarctic Oscillation Index (AAOI) and the SLP in the Southern Hemisphere (contour interval: 10.0×10^{-2})

海平面气压 EOF 展开的第一特征向量空间型来表示, 图 1a 是用 1951~2002 年 624 个月的 SLP 标准化距平作 EOF 展开的第一特征向量空间型, EOF1 的方差占总方差 20%。它以极地为中心, 等值线与纬圈基本平行, 大致以 50°S 为界, 以南和以北符号相反, 所以也称环状模。其时间系数则用来表征南极涛动强度的变化, 往往被定义为南极涛动指数, 如 Thompson et al. (1998) 就以此为定义并进行讨论。龚道益等 (1998) 用 1974~1996 年 NCEP 再分析资料将 40°S 和 65°S 纬圈平均 SLP 标准化距平之差定义为南极涛动指数。南素兰等 (2005a, 2005b) 用 40°S 和 70°S 纬圈平均 SLP 标准化距平之差定义为南极涛动指数。我们沿用这个概念, 但作了两点改进, (1) 也用 NCEP 再分析资料, 但时间扩充到 1951~2002 年 52 年月资料, 并对各月 SLP 作标准化距平, 以消除它们之间的年变化; (2) 也从月 SLP 标准化距平的平均纬圈的交叉相关 (624 个月) 出发 (图略), 发现这个交叉相关图与文献 (南素兰等, 2005a, 2005b; 龚道益等, 1998) 差异较大, 相关零线在 54°S 附近, 南极区 (54°S 以南) 为正相关, 54°S 以北为负相关, 取正、负相关系数最大区, 即取 37°S~45°S 和 77°S~89°S

平均纬圈 SLP 之差, 定义为南极涛动指数 (简称 AAOI)。

图 1b 为 AAOI 与月平均 SLP 标准化距平 (624 月) 的同期相关场。它与图 1a 非常相似, 相关零线平均在 54°S 附近, 南极大陆均为负相关, 54°S 以北整个南半球均为正相关, 中心在太平洋西部, 即在 (34°S~37°S, 30°E~40°E) 之间。它与极地的负相关中心形成一对偶极子, 非常类似于北半球的北大西洋涛动。同样也计算了 EOF1 的时间系数与月平均 SLP 标准化距平 (624 月) 的同期相关场 (图略)。这两个相关场基本相似, 主要差异是超过 99% 信度 (即相关系数大于 0.106) 的格点数不同, AAOI 相关场超过 99% 信度的格点数占总格点数的 75.3%, 而 EOF1 只有 51.7%。若一个时间序列与另一个序列的相关系数超过某一信度 (如 99%), 则可认为这一时间序列可以代表另一个时间序列的变化。可见, AAOI 能代表整个南半球 (0°~90°S) 的 75.3% 格点变化, 而 EOF1 只能代表近一半 (51.7%) 格点变化, 说明 AAOI 更有代表性。

图 2 给出了 AAOI (图 2a) 的年际变化及其累积曲线 (图 2c 中的实线), 图中粗曲线为 13 个月滑

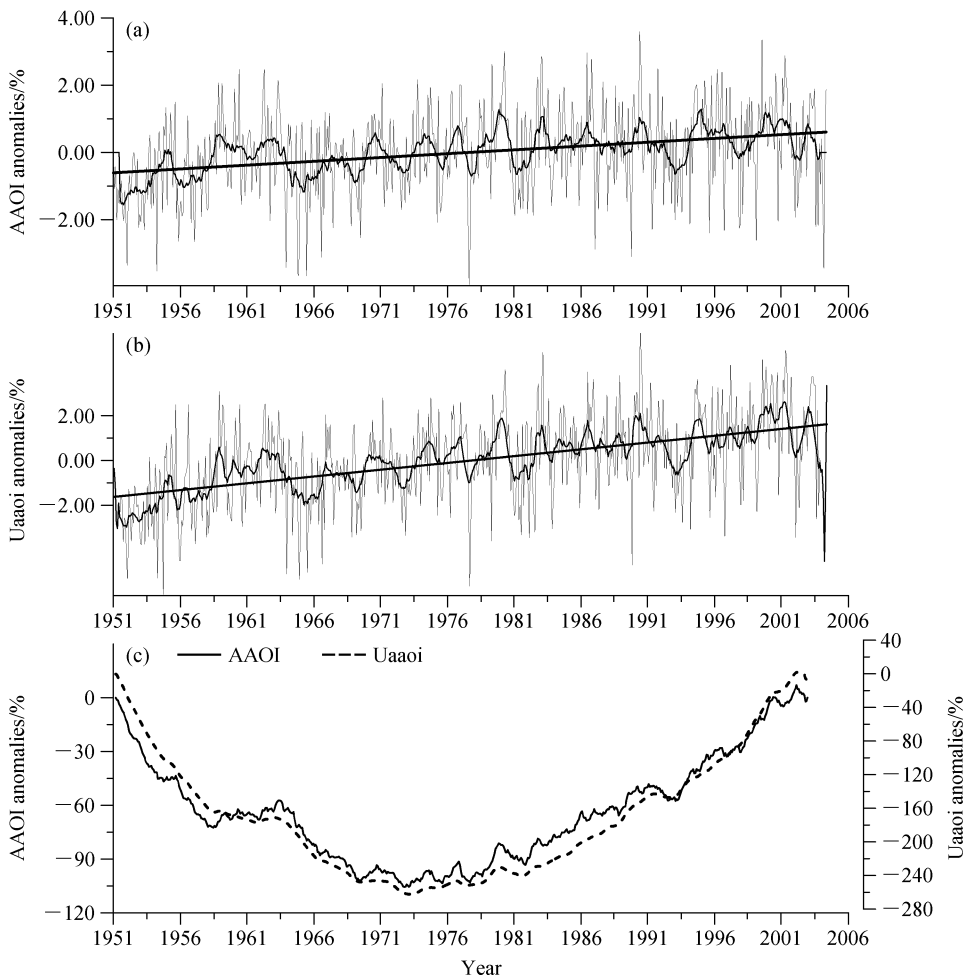


图2 南极涛动指数(AAOI)(a)和850 hPa的南极涛动西风指数(Uaaai)(b)距平及其累积距平(c)的时间序列。(a、b)细线为距平值,粗线为13个月滑动平均值,直线为长期趋势

Fig. 2 Time series of monthly anomalies of (a) AAOI and (b) westerly index of Antarctic Oscillation (Uaaai); (c) the cumulative anomalies of AAOI and Uaaai. (a, b) Thin curve: anomalies; thick curve: moving average; straight line: long-term trend

动平均线。AAOI(图2a)有明显的长期趋势(图中的粗直线),它的倾向率为 $0.01915/10\text{ a}$,再看AAOI的累积曲线(图2c中的实线),1972年前曲线以下降为主,说明这段时期以负距平为主,1972年后曲线以上升为主,即以正距平为主,在1972年附近发生了跃变。同样EOF1的年际变化及其累积曲线(图略)也有类似的变化,两者的同期相关系数高达0.24(624个月),远远超过99.9%信度。EOF1也有明显的长期趋势,它的倾向率为 $0.001017/10\text{ a}$,也在1972年附近发生了跃变。吴仁广等(1994)研究南极海冰和南半球大气环流关系时,也发现有类似的跃变点。这个跃变点要比北半球的跃变早,林学椿(1998)对北半球海平面气压、500 hPa高度和北太平洋海温的年代际气候跃

变进行了研究,指出在20世纪70年代末、80年代初(1980年为跃变点)确实存在一次明显的气候跃变。跃变前后北半球海平面气压、500 hPa高度和北太平洋海温结构都有明显的差异。说明南极涛动的跃变比北半球早8年。同样,AAOI在跃变前后发生巨大变化,跃变前(1951~1971年)的AAOI年平均值为 -3.9691 ;跃变后(1972~2002年)的年平均值为 2.9107 。

图3为AAOI功率谱分析结果(同样也对EOF1作功率谱分析,其周期特征类似于图,这里不再重复),由图可见,谱值超过95%信度的波数,主要集中在7、8、9、10月,对应的周期分别为56.57月(4.7年)、49.50月(4.1年)、44.00月(3.7年)、36.9月(3.1年),此外,谱值超过95%

信度的波数还有 21~23 和 35~36 (图略), 分别相当于 18 个月左右和 12 个月左右的周期。12 个月左右的周期是由于月平均 SLP 资料作距平处理时, 没有完全滤去年变化所余留的周期。许多研究发现, 半年振荡是南半球中高纬度气压变化中的一个普遍现象 (Harry, 1967)。但在这个谱分析中没有发现有超过 95% 信度的半年周期, 而有超过 95% 信度的 18 个月周期, 这个周期不同于准两年振荡, 它可能是与半年波有关的周期。南极涛动指数的主

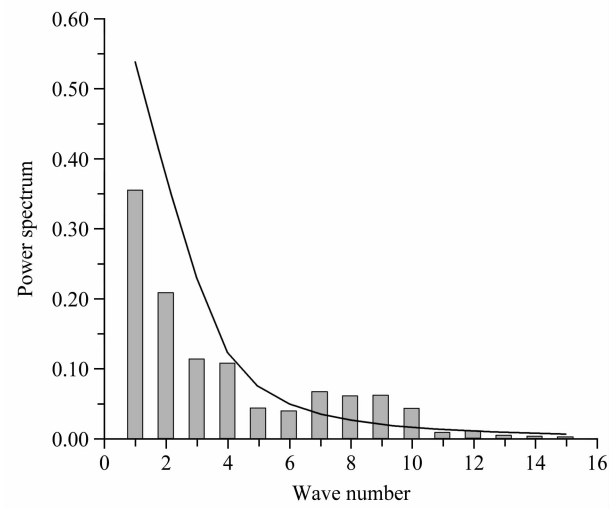


图 3 南极涛动指数功率谱分析的 1~16 波数的功率谱 (曲线为 95% 信度线)

Fig. 3 The power spectrum of wave numbers 1-16 by the power spectrum analysis method for the AAOI. The curve is above 95% confidence level

要周期是波谱数 7~10, 即 56.57~36.9 月周期, 相当于 3~5 年周期。

3 850 hPa 纬向风对南极涛动的响应

由图 1 可以清楚看到, 在相关零线 (54°S) 附近等值线非常密集, 当 AAOI (或 EOF1) 为高指数 (正) 时, 极地 SLP 为负距平, 中纬度 SLP 为正距平, 因而在相关零线 (54°S) 附近正气压梯度特别大, 产生西风距平, 使该地区西风加大; 当 AAOI (或 EOF1) 为低指数 (负) 时, 极地 SLP 为正距平, 中纬度 SLP 为负距平, 在相关零线 (54°S) 附近负气压梯度特别大, 产生东风距平, 使该地区西风减少。南极涛动不仅表示了南半球绕极低压带和副热带高压带之翘翘板式的变化, 而且从另一角度看, 南极涛动也反映了中纬度和副极地之间西风带的异常变化。

南半球平均纬向风分布有三个行星风带 (见图 4a), 在 0°~30°S 即热带和副热带之间的东风带, 中心在 15°S 附近; 30°S~67.5°S 即中纬度和副极地之间的西风带, 中心在 50°S 附近和 67.5°S 以南的极地东风。可见, 南极涛动正好反映了南半球 40°S~60°S 强西风带的异常变化。

为此, 计算了 AAOI 与 850 hPa 纬向风的同期相关场 (如图 5a), 由图可以清楚地看到南半球有 4 个正负相间的行星相关带, 南极圈以负相关为主, 向北, 到高纬度为一强的环状正相关带, 主要集中

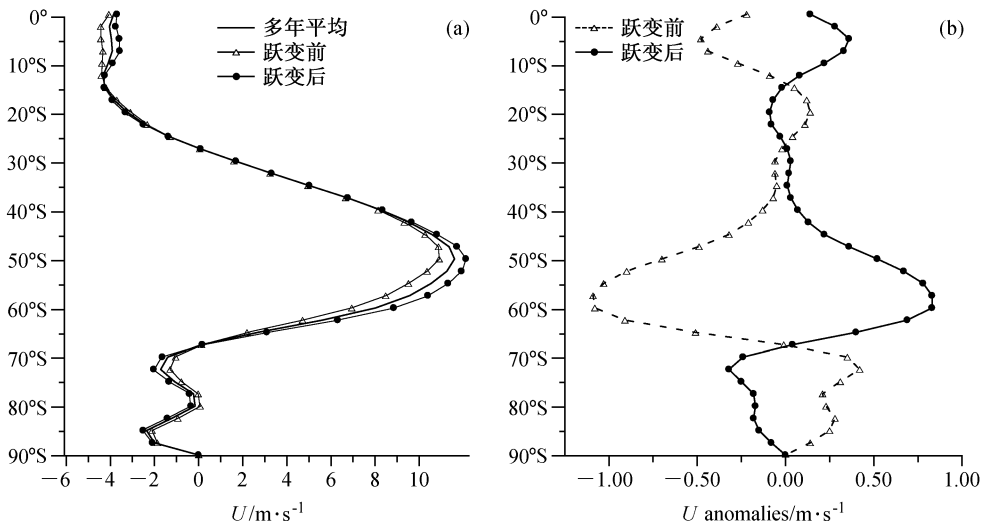


图 4 850 hPa 年平均西风 (U) 纬圈平均廓线: (a) 西风风速; (b) 西风风速距平

Fig. 4 The zonal average profiles of annual mean of westerly (U) at 850 hPa: (a) Westerly wind speed; (b) westerly wind speed anomalies. (a) Thick line: the multiyear average; (a, b) line with triangle: before the jump event; (a, b) line with dot: after the jump event

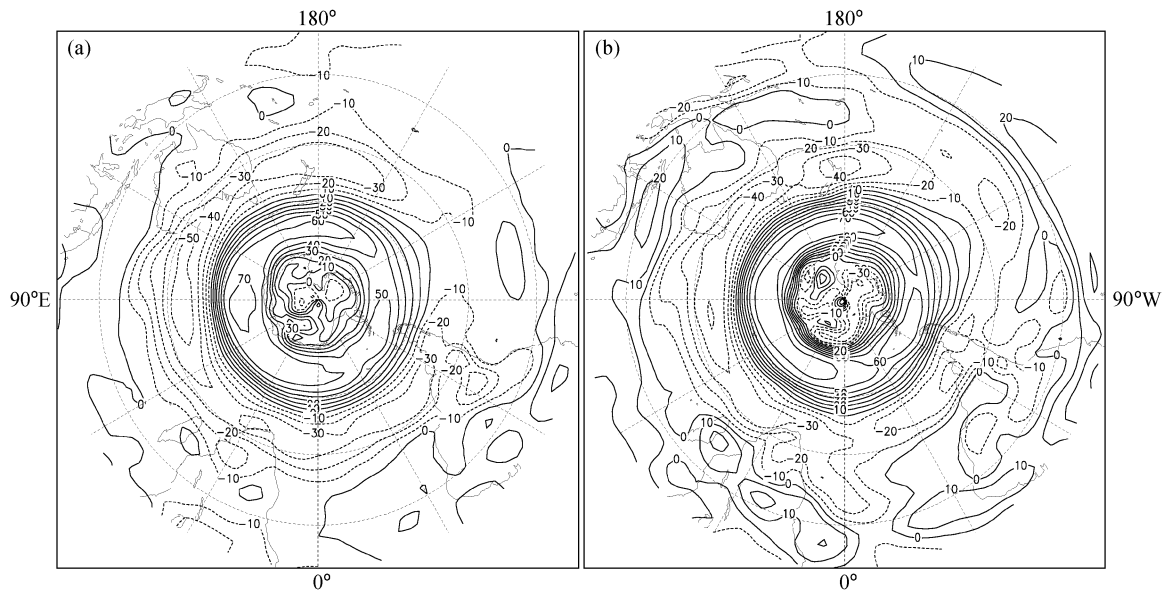


图5 AAOI (a) 和 Uaaoi (b) 与南半球 850 hPa 平均西风 (U) 的同期相关 (等值线间隔: 10×10^{-2})

Fig. 5 The instantaneous correlation between (a) the AAOI and 850-hPa U , (b) the Uaaoi and 850-hPa U (contour interval: 10×10^{-2})

在 $47^{\circ}\text{S} \sim 77^{\circ}\text{S}$ 纬带, 中心在 $65^{\circ}\text{E} \sim 107^{\circ}\text{E}$, 相关系数达到 0.73, 这个正相关带与图 1b 中相关零线附近等值线密集带对应, 也与图 4a 西风急流轴对应, 说明当 AAOI 为高指数 (正值) 时, 西风加大; 而 AAOI 为低指数 (负值) 时, 则西风减少。再向北, 到低中纬度为一强的环状负相关带, 集中在 $18^{\circ}\text{S} \sim 47^{\circ}\text{S}$ (主要在 $32^{\circ}\text{S} \sim 40^{\circ}\text{S}$) 纬带, 中心在 $70^{\circ}\text{E} \sim 100^{\circ}\text{E}$, 相关系数达到 -0.68 。这个相关带对应于图 1b 中的最大正相关区。由图 5a 可以看到在中高纬度这对强的正负相关带, 其中心大致在 $60^{\circ}\text{E} \sim 100^{\circ}\text{E}$ 附近, 构成了一对偶极子, 类似于北半球北大西洋涛动。在南半球低纬度为一弱的环状负相关带。

在 $47^{\circ}\text{S} \sim 77^{\circ}\text{S}$ 强的环状正相关带中, 把 $55^{\circ}\text{S} \sim 65^{\circ}\text{S}$ 之间 850 hPa 平均西风分量定义为南极涛动西风指数 (简称 Uaaoi)。图 5b 为 Uaaoi 与 850 hPa 西风的同期相关场, 与图 5a 非常相似, 其特征不再重复, 但两者相关关系要比图 5a 显著。

图 2b 为 Uaaoi 的年际变化及其累积曲线 (图 2c 中的虚线), 从中可见, 它和 AAOI 的变化非常相似, 两者的同期相关系数高达 0.218 (624 个月), 远远超过了 99% 信度。它们都有明显的长期趋势 (图中的粗直线), AAOI (图 2a) 的倾向率为 $0.01915/10 \text{ a}$, Uaaoi (图 2b) 倾向率为 $0.009249/$

10 a, 再看它们的累积曲线, 其变化也非常一致, 但 Uaaoi 线在 1971 年前曲线以下降为主, 说明这段时期以负距平为主, 1971 年后曲线以上升为主, 即以正距平为主, 在 1971 年附近发生了跃变。这个跃变点要比 AAOI 早。图 4b 给出了跃变前 (三角线) 和跃变后 (黑点线) 850 hPa 纬圈平均年西风距平廓线, 由图可见, 在极圈东风区, 跃变前为西风 (正) 距平, 跃变后为东风 (负) 距平, 这意味着跃变前该地区东风减少, 跃变后东风增加。在中高纬度西风区, 跃变前为负距平, 西风减弱, 跃变后为正距平, 西风加强, 最大变化区在 60°S 附近, 跃变前为 -1.09 m/s , 跃变后为 0.93 m/s , 二者差达 2.02 m/s 。

同样, 也对 Uaaoi 作功率谱分析 (图略)。结果也与图 3 类似, 谱值超过 95% 信度的波数, 主要集中在 6、7、8、9、10, 对应的周期分别为 66.00 月 (5.5 年)、56.57 月 (4.7 年)、49.50 月 (4.1 年)、44.00 月 (3.7 年)、36.9 月 (3.1 年), 此外, 谱值超过 95% 信度的波数还有 13~16、32~35 和 59~65, 分别相当于准 2 年、12 个月左右的周期和半年周期。

综合上述 AAOI 和 Uaaoi 指数都具有明显的增长趋势, 且在 1972 年 (1971 年) 发生气候跃变; 跃变前后指数都发生显著变化, 它们的主要周期是

3~5 年。

4 南极绕极波

随着数据长度的增加以及数值模式的介入, 人们发现南大洋的海洋大气参数中的确存在着围绕南极的大尺度的波, 但是在其波数以及是否传播的问题上却得到了不同的结论。围绕南极的海面气压距平存在 2 种模态, 一种是像 White et al. (1996) 定义的呈现出波数为 2、周期为 4 年的形态; 另一种则表现出几乎不传播的波数为 3 的振荡形态 (Chistoph et al., 1998)。Connolley (2003) 用 1966~1999 年的 NCEP 再分析资料, 按照 White et al. (1996) 分析方法研究, 对气候要素的时间序列都经过 3~7 年的带通滤波, 沿 56°S 作经向时间剖面图, 结果均表明, 南极绕极波的现象只存在于 1985~1994 年间。非常巧合的是, 这恰好就是 White et al. (1996) 等所选取数据资料的时间段。而在这之前或之后, 南极绕极波的信号 (特别是在平均海平面气压中) 没有明显的传播迹象, 而且呈现出不传播的波数为 3 的空间形态。

从以上讨论可以知道, Uaaoi 所取的 55°S~65°S 平均西风是 850 hPa 西风最大的地方, AAOI 所取 37°S~45°S 和 77°S~89°S 平均纬圈 SLP 之差, 也是反映了该纬度带的气压差。AAOI 和 Uaaoi 都存在着年代际变化, 1972 年是它们的跃变点, 跃变后比跃变前 AAOI 增加了 6.8798 (跃变前年平均值为 -3.9691, 跃变后年平均值为 2.9107), Uaaoi 增

加了 2.02 m/s (跃变前为 -1.09 m/s, 跃变后为 0.93 m/s)。AAOI 和 Uaaoi 都具有超过 95% 信度的 3~5 年周期, 而没有发现 6~7 年周期超过 95% 信度。林学椿 (1989, 1991) 对北半球 500 hPa 高度场用 3~5 年带通滤波作过详细研究, 得到很多有益的结论。所以, 用 3~5 年带通滤波器对南极绕极波的特征进行研究是适合的。这个滤波器比 White et al. (1996) 采用的 3~7 年滤波要短些, 波段更窄。

图 6 为月平均 SLP 标准化距平每个格点的时间序列作 3~5 年滤波后, 再用 EOF 展开的第一特征向量空间型 (EOF1)。图 6a 为 1951 年 1 月~2002 年 12 月共 624 个连续月的 3~5 年滤波后 EOF 展开的第一特征向量空间型 (EOF1), 这个型占滤波后 SLP 总方差的 31%。由图 6a 可见, 这个空间模态不同于图 1a 呈环状的一波型分布, 极地为中心, 中心在别林斯高晋海, 有三个槽线, 分别在 0°E、135°W 和 148°E 附近, 中高纬度为正距平, 有二个正中心分别在 (42°S, 73°E) 和 (20°S, 116°W) 附近。总的看来, 这个模态呈 2 波型。

图 6b 为跃变前 (1951~1972 年 264 个月) 经 3~5 年滤波后 EOF 展开的第一特征向量空间型 (EOF1), 这个型占滤波后 SLP 总方差的 36%, 极圈为负距平, 一个低中心有三个槽线, 以 60°S 纬圈为例, 它们分别在 0°E、148°E 和 135°W 附近; 三个脊线分别在 51°E、173°E 和 41°W, 明显地呈 3 波型分布。而在 148°E 附近的槽要比图 6a 深, 它和

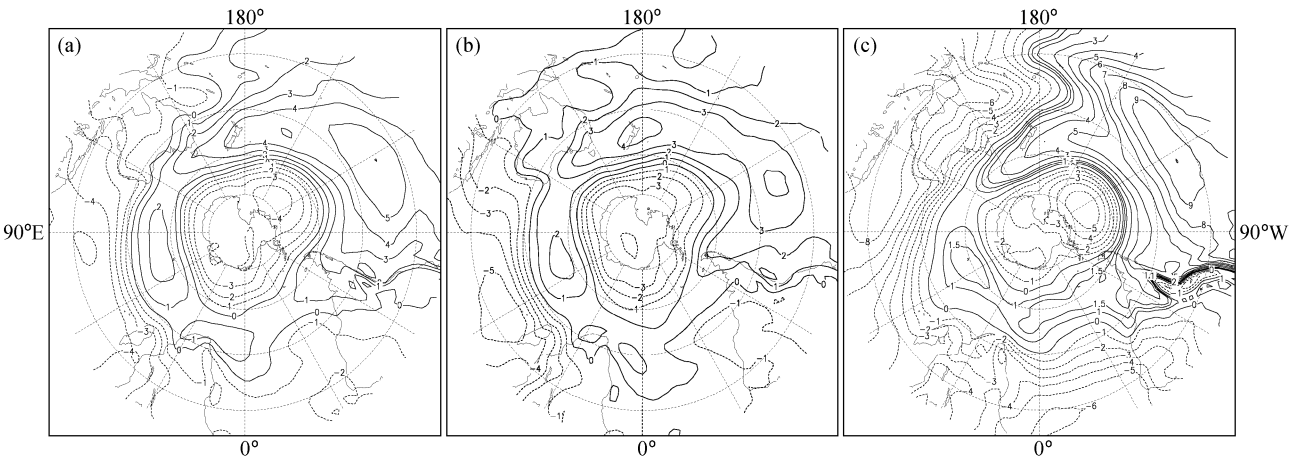


图 6 海平面气压标准化距平经 3~5 年滤波后展开的 EOF 第一特征向量的空间型: (a) 1951~2002 年 624 个月资料; (b) 跃变前 1951~1972 年 264 个月资料; (c) 跃变后 1973~2002 年 360 个月资料

Fig. 6 The first component of the EOF of the normalized SLP anomalies by 3-5-year band-pass filtering: (a) 624-month data from 1951 to 2002; (b) 264-month data from 1951 to 1972 before the jump event; (c) 360-month data from 1973 to 2002 after the jump event

图 6a 最大的不同是中高纬度正距平区, 图 6a 只有二个中心, 而图 6b 为三个中心, 分别在 (42°S, 73°E)、(37°S, 176°E) 和 (27°S, 144°W) 附近。

图 6c 为跃变后 (1973 年 1 月~2002 年 12 月共 360 个连续月) 3~5 年滤波后 EOF 展开的第一特征向量空间型 (EOF1), 这个型占滤波后 SLP 总方差的 33%, 它不同于图 6b, 类似于图 6a, 极圈为负距平, 有二个负中心: 一在阿蒙森海南部 (62°S,

113°W) 附近, 另一个在毛德皇后地 (73°S, 24°E); 中高纬度为正距平, 并延伸到南太平洋低纬度, 也有二个中心: 一在南太平洋低纬度 (18°S, 120°W) 附近, 另一个在南印度洋 (48°S, 65°E) 附近。在 60°S 纬圈, 两个明显的槽线分别在 12°E 和 124°W; 而脊线分别在 154°E 和 5°W, 呈明显的 2 波型分布。

同样, 对月平均温度标准化距平每个格点的时间

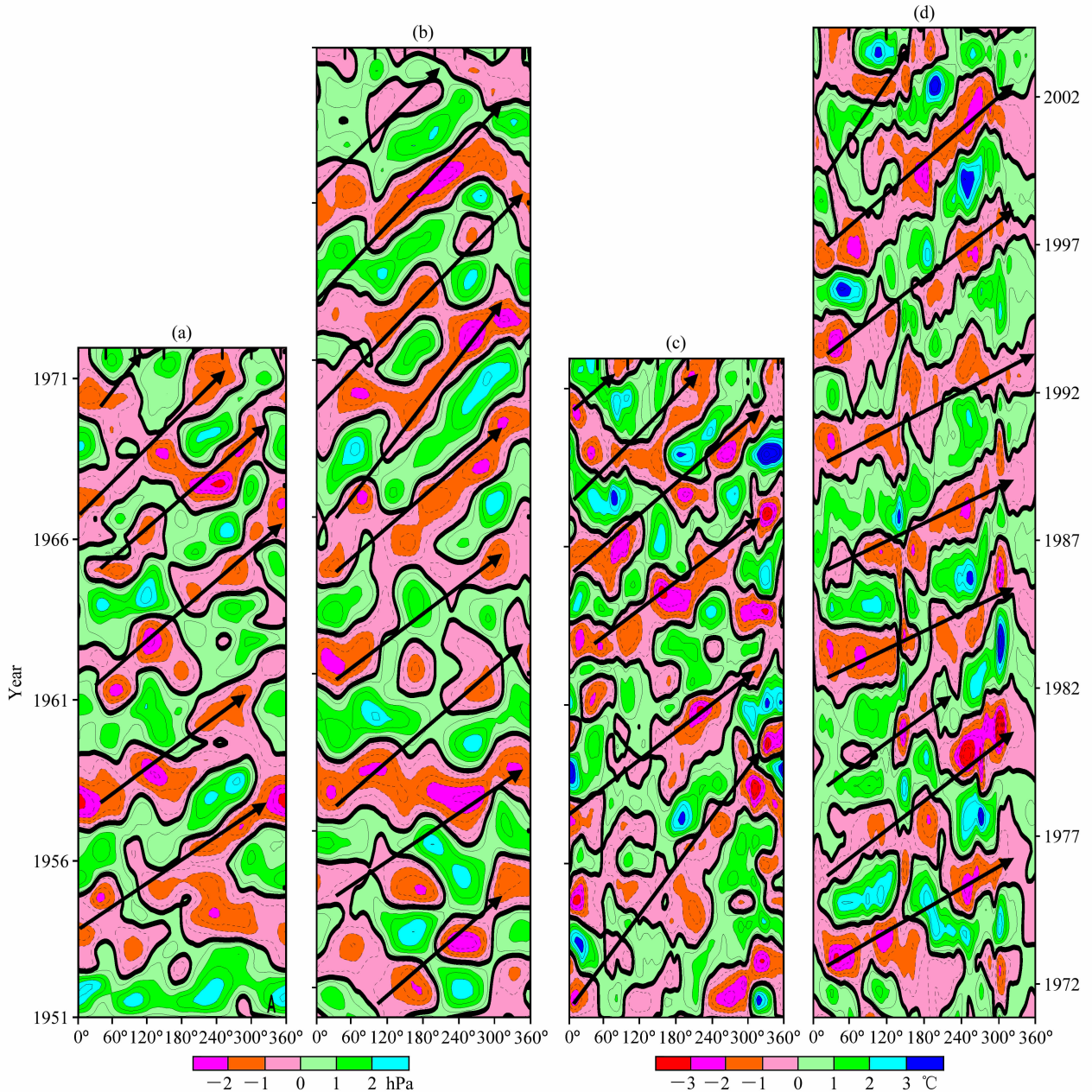


图 7 南半球 50°S~60°S 纬圈平均海平面气压距平 (a、b) 和温度距平 (c、d) 经 3~5 年带通滤波后的时间剖面图: (a、c) 跃变前; (b、d) 跃变后

Fig. 7 The time sections of 50°S~60°S mean (a, b) SLP anomalies and (c, d) temperature anomalies treated by 3-5-year band-pass filtering: (a, c) Before the jump event; (b, d) after the jump event

间序列作也作 3~5 年滤波, 然后对其 EOF 展开, EOF1 的空间型(图略)在跃变前以 3 波为主, 而跃变后以 2 波为主, 它们的位置也分别与图 6b、c 类似。

由以上的分析不难发现, 不论 SLP 或温度, 南极绕极波在跃变前都以 3 波为主, 而跃变后却以 2 波为主。这是因为跃变前 AAOI 是低指数时期, 极地为正距平, 中高纬度为负距平, 说明南极低压较弱、副热带高压带也较弱, 分裂成较多的单体, 形成多波为主的振荡; 跃变后 AAOI 是高指数时期, 极地为负距平, 中高纬度为正距平, 说明南极低压较强、副热带高压带也较强, 不易分裂成较多的单体, 振动的波型要减少, 形成以 2 波为主的振动。这一结果也解决了 Connolley (2003) 用长期 (1966~1999 年) 资料的研究结果与 White et al. (1996) 的结果之间 2 波振动和 3 波振动的矛盾。

White et al. (1996) 用 56°S 纬圈的 SLP、SST 等气候要素作 3~7 年带通滤波后给出纬圈时间剖面。对此, 我们作两点改进: (1) 尽管南极绕极流的主轴平均位置 56°S 附近, 但它毕竟不是完全沿着这个纬圈运动, 总有些波动, 据此, 用 50°S~60°S 平均代替单一的 56°S 纬圈; (2) 由以上讨论的 3~5 年周期带通滤波器代替 White et al. (1996) 的 3~7 年带通滤波器。图 7 给出了南半球 50°S~60°S 平均纬圈 SLP 和温度的 3~5 年带通滤波后的时间剖面图, 图中所画箭头表示负中心的移动方向。图 7 中箭头的绘制依据三个原则: 一是负中心的连线; 二是当没有负值区时, 允许箭头从相对低的正值区穿过; 三是在难以确定的地方, 根据连续性原则, 按上下箭头走向确定。绕极波传播是十分复杂的, 不可能完全按直线进行, 图 7 中所画的箭头只能表示南极绕极波的基本传播方向。由图 7 可见, 跃变前 (1951~1972 年 264 个月, 图 7a、c), SLP 和温度都存在环绕南极大陆由西向东移动, 而 Connolley (2003) 的结果是, 在 1985~1994 年之前或之后, 南极绕极波的信号 (特别是在平均海平面气压) 没有明显的传播迹象, 而且呈现出传播的波数为 3 的空间形态。这显然与图 7 显示的结果有明显差异, 在跃变前这段时间内大约有 5 个南极绕极波通过, 平均约 4.4 年 (264 月/5) 绕南极一周; 跃变后 (1973~2002 年 360 个月, 图 7b、d), SLP 和温度也都存在由西向东传播的南极绕极波, 且比跃

变前明显, 特别是 White et al. (1996) 分析的时段 (1985~1994 年) 南极绕极波表现得非常清晰。在跃变后这段时间内大约有 8 个南极绕极波通过, 平均约 3.8 年 (360 月/8) 绕南极一周。南极绕极波在跃变后绕南极一周的时间比跃变前短, 运动速度更快, 这可能与跃变前后平均西风风速变化有关, 跃变前平均西风距平为 -1.09 m/s, 跃变前平均西风距平为 0.93 m/s, 前者为西风减少期, 而后者则为西风增加期。

5 结果与讨论

通过用 1951~2002 年 NCEP 再分析资料定义南极涛动指数 (AAOI) 和南极涛动西风指数 (Uaaoi), 发现两者都有明显的长期趋势, 同期相关系数高达 0.218 (624 个月), 远远超过了 99% 信度。在两者都存在 3~5 年振荡周期的基础上, 采用 3~5 年滤波器代替 White et al. (1996) 采用的 3~7 年滤波器, 并将 50°S~60°S 平均纬圈代替 56°S 单一纬圈, 得到 AAOI 和 Uaaoi 年代际的跃变时段, 解决了过去研究因资料不足南极绕极波的余留问题和争论。1972 年是它们的跃变点, 跃变前以 3 波振荡为主, 跃变后以 2 波振荡为主。引起跃变前后空间模态的变化, 可能与跃变前后 AAOI 的变化有关。近 50 多年南极绕极波不是驻波, 而是自西向东的行波, 跃变后比跃变前更清楚。绕南极一周, 跃变前约 4.4 年, 跃变后约 3.6 年。南极绕极波跃变后比跃变前快, 主要是跃变后西风有所加大。

参考文献 (References)

- Christoph M, Barnett T P, Roeckner E. 1998. The Antarctic circumpolar wave in a coupled ocean-atmosphere GCM [J]. *J. Climate*, 11: 1659-1672.
- Connolley W M. 2003. Long-term variation of the Antarctic circumpolar wave [J]. *J. Geophys. Res.*, 108 (C4): 103-112.
- 范丽军, 李建平, 韦志刚, 等. 2003. 北极涛动和南极涛动的年变化特征 [J]. *大气科学*, 27 (3): 419-424. Fan Lijun, Li Jianping, Wei Zhigang, et al. 2003. Annual variations of the Arctic oscillation and the Antarctic oscillation [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 27 (3): 419-424.
- 龚道益, 王绍武. 1998. 南极涛动 [J]. *科学通报*, 43 (3): 296-301. Gong Daoyi, Wang Shaowu. 1998. Antarctic oscillation. *Chinese Science Bulletin (in Chinese)*, 43 (3): 296-301.
- Harry V L. 1967. The half-yearly oscillations in middle and high southern latitudes and the coreless winter [J]. *J. Atmos. Sci.*, 24

- (4): 472–486.
- Jacobs G A, Mitchell J L. 1996. Ocean circulation variations associated with the Antarctic circumpolar wave [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 23 (21): 2947–2950.
- Kidson J W. 1975. Eigenvector analysis of monthly mean surface data [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 103 (4): 182–186.
- Kindson J W. 1986. Index cycles in the Southern Hemisphere during the global weather experiment [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 11 (12): 1654–1663.
- 林学椿. 1998. 70 年代末至 80 年代初气候跃变及其影响 [M]//中国科学院大气物理研究编. 东亚季风和暴雨. 北京: 气象出版社, 240–249. Lin Xuechun. 1998. The climate jump variation and its impact from the end of 1970s to the beginning of 1980s [M]// *Eastern Asia Monsoon and Rainstorm* (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Ed. Beijing: China Meteorological Press, 240–249.
- 林学椿. 1989. 大气中 3–5 年周期的观测研究 [J]. *科学通报*, 14: 1089–1092. Lin Xuechun. 1989. Observational study of atmosphere 3–5 year cycle [J]. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 14: 1089–1092.
- 林学椿, 于淑秋. 1991. 3–5 年周期的波列结构 [J]. *大气科学*, 15 (3): 87–96. Lin Xuechun, Yu Shuqiu. 1991. The wavetrain construction of 3–5 year cycle [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 15 (3): 87–96.
- Mo K C, Wlute G N. 1985. Teleconnections in the Southern Hemisphere [J]. *Mon Wea. Rev.*, 113 (1): 22–37.
- Mo K C. 1986. Quasi-stationary states in the Southern Hemisphere [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 114 (7): 808–823.
- Mo K C. 2000. Relationships between low-frequency variability in the Southern Hemisphere and sea surface temperature anomalies [J]. *J. Climate*, 13 (3): 599–610.
- 南素兰, 李建平. 2005a. 春季南半球环状模与长江中下游夏季降水的关系 I. 基本事实 [J]. *气象学报*, 63 (6): 837–846. Nan Sulan, Li Jianping. 2005a. The relationship between the summer precipitation in the Yangtze River valley and the boreal spring Southern Hemisphere annular mode. Part I. Basic facts [J]. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 63 (6): 837–846.
- 南素兰, 李建平. 2005b. 春季南半球环状模与长江中下游夏季降水的关系 II. 印度洋、南海海温的“海洋桥”作用 [J]. *气象学报*, 63 (6): 847–856. Nan Sulan, Li Jianping. 2005b. The relationship between the summer precipitation in the Yangtze River valley and the boreal spring Southern Hemisphere annular mode. Part II. The role of the Indian Ocean and South China Sea as an “Oceanic Bridge” [J]. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 63 (6): 848–858.
- Peterson R G, White W B. 1998. Slow oceanic teleconnections linking the Antarctic circumpolar wave with the tropical El Niño–Southern Oscillation [J]. *J. Geophys. Res.*, 103 (c11): 24573–24583.
- Rogers E R, van Loon H. 1982. Spatial variability of sea level pressure and 500mb height anomalies over Southern Hemisphere [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 110 (11): 1375–1392.
- 孙淑清, 刘舸, 张庆云. 2007. 南半球环流异常对夏季西太平洋热带气旋生成的影响及其机理 [J]. *大气科学*, 31 (6): 1189–1200. Sun Shuqing, Liu Ge, Zhang, Qingyun. 2007. The influence of the circulation anomalies in the Southern Hemisphere on the tropical cyclone frequency in summer over the western Pacific and its mechanism [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 31 (6): 1189–1200.
- Thompson D W J, Wallace J M. 1998. The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 25 (9): 1297–1300.
- Thompson D W J, Wallace J M. 2000a. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-month variability [J]. *J. Climate*, 13 (5): 1000–1016.
- Thompson D W J, Wallace J M. 2000b. Annular modes in the extratropical circulation. Part II: Trends [J]. *J. Climate*, 13 (5): 1018–1036.
- 魏科, 陈文, 黄荣辉. 2008. 涡动在南北半球平流层极涡崩溃过程中作用的比较 [J]. *大气科学*, 32 (2): 206–219. Wei Ke, Chen Wen, Huang Ronghui. 2008. Comparison of the roles of wave activities in the breakup of the stratospheric polar vortex between the Southern and Northern hemispheres [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 32 (2): 206–219.
- White W B, Peterson R G. 1996. An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent [J]. *Nature*, 380: 699–702.
- White W B, Chen S C. 2001. Thermodynamic mechanisms responsible for the troposphere response to SST anomalies in the Antarctic circumpolar wave [J]. *J. Climate*, 14: 2577–2596.
- White W B, Chen S C, Allan R J, et al. 2002. Positive feedbacks between the Antarctic circumpolar wave and the global El Niño–Southern Oscillation wave [J]. *J. Geophys. Res.*, 107 (C10): 29–37.
- 吴仁广, 陈烈庭. 1994. 南极海冰和南半球大气环流关系的初步探讨 [J]. *大气科学*, 18 (Suppl.): 792–800. Wu Renguang, Chen Lieting. 1994. A preliminary investigation of the relationship between the Antarctic sea ice and the atmospheric circulation of the Southern Hemisphere [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 18 (Suppl.): 792–800.
- 周琴, 赵进平, 何宜军. 2004. 南极绕极波研究综述 [J]. *地球科学进展*, 19 (5): 761–766. Zhou Qin, Zhao Jinping, He Yijun. 2004. Study progress of the Antarctic circumpolar wave [J]. *Advances in Earth Sciences* (in Chinese), 19 (5): 761–766.