

近 55 年影响广州的强冷空气及其准双周变化

纪忠萍¹ 谷德军² 梁健¹ 李晓娟¹ 谢炯光¹ 杨亚正³ 温晶¹ 陈敏升¹

1 广州中心气象台, 广州 510080

2 中国气象局广州热带海洋气象研究所/热带季风重点实验室, 广州 510080

3 广东省气象局业务处, 广州 510080

摘 要 利用 1951~2005 年冬半年 (10 月~次年 3 月) 广州逐日地面气温资料及 NCEP/NCAR 逐日资料, 采用功率谱分析、小波分析、Lanczos 滤波器等方法对近 55 年来冬半年影响广州的强冷空气变化特征及其与低频振荡的关系进行了研究, 并用合成分析的方法建立了影响广州的强冷空气准双周振荡的大气环流模型。结果表明, 虽然 20 世纪 80 年代后期以来广州冬半年升温的趋势很明显, 但 90 年代~2003 年影响广州的强冷空气次数却偏多。影响广州的强冷空气具有明显的准 2~3 年、9 年左右的周期振荡。广州冬半年逐日气温具有明显的准单周、准双周振荡, 而 30~60 天的振荡较弱, 且影响广州强冷空气活动主要受准双周振荡低频波控制, 与我国北方的强冷空气活动主要受 30~60 天周期的低频波控制有明显的不同。El Niño (La Niña) 事件发生的冬半年, 准双周振荡的强度以偏强 (弱) 为主, 影响广州的强冷空气次数以正常至偏多 (偏少) 为主。所建立的广州强冷空气准双周振荡的大气环流模型较好地反映了广州强冷空气爆发前后准双周振荡不同演变阶段的大气环流及地面气压场的变化特征, 可为中期预报提供参考。

关键词 强冷空气 变化特征 准双周振荡 大气环流模型

文章编号 1006-9895 (2007) 05-0999-12

中图分类号 P441

文献标识码 A

The Strong Cold Air Occurrences Affecting Guangzhou and Their Biweekly Oscillation during the Last 55 Years

JI Zhong-Ping¹, GU De-Jun², LIANG Jian¹, LI Xiao-Juan¹, XIE Jiong-Guang¹,
YANG Ya-Zheng³, WEN Jing¹, and CHEN Min-Sheng¹

1 Guangzhou Central Meteorological Observatory, Guangzhou 510080

2 Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology/Key Open Laboratory for Tropical Monsoon, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080

3 Operational Departure of Guangdong Meteorological Bureau, Guangzhou 510080

Abstract Using daily observations of surface air temperature in Guangzhou and NCEP/NCAR daily data during the winter half-year (between October and the next March) from 1951 to 2005, the characteristics on variation of the strong cold air occurrences affecting Guangzhou during winter and their relationship with low frequency oscillation are studied by the methods of power spectrum analysis, wavelet analysis and Lanczos filter. The conceptual model on biweekly oscillation of atmospheric circulation in relation to strong cold air affecting Guangzhou is established by composite analysis. The results show that the number of strong cold air occurrences affecting Guangzhou does not have linear increasing trend significantly, but has the characteristics of interdecadal phase in variation, exhibiting quasi-periodic significant oscillations of 2-3 years and 9 years in recent 55 years. The number of such occurrences

收稿日期 2006-05-08, 2006-08-15 收修定稿

资助项目 广东省气象局立项课题“广东省中期灾害性天气过程的预报研究”(0311), 广东省科技厅项目 2006B37202004

作者简介 纪忠萍, 女, 1967 年出生, 硕士, 高工, 主要从事中长期天气预报与短期气候预测研究。E-mail: jzp@tqyb.com.cn

becomes more from the 1990s to the early 2000s, though the increasing trend of winter air temperature in Guangzhou is obvious since the end of the 1980s. The daily air temperature in Guangzhou displays obviously quasi-weekly, bi-weekly and weaker 30–60-day oscillations during the winter half-year. The number of strong cold air occurrences affecting Guangzhou has significant positive correlation with 10–20-day Fourier power spectrum (correlation coefficient is 0.384) and significant negative correlation with 30–60-day Fourier power spectrum (correlation coefficient is -0.315), both pass the significance test at $\alpha=0.05$. By choosing the year 2001, which has strong 30–60-day and weak 10–20-day oscillations, and 2005, which has strong 10–20-day and weak 30–60-day oscillations, the sequence of daily air temperature in Guangzhou filtered by Lanczos filtering indicates that only one trough of air temperature anomalies affected by strong cold air is consistent with the trough of 30–60-day oscillation and the other six troughs are greatly different in time for the two years. However, the trough of 10–20-day oscillation is almost consistent with the above ones, and the amplitude of 10–20-day oscillation reflects the strength of cold air activity. The activity of strong cold air affecting Guangzhou is controlled by the low frequency wave of biweekly oscillation, while the activity of strong cold air affecting northern China is controlled by 30–60-day oscillation. Furthermore, the intensity of biweekly oscillation is stronger (weaker) and the number of strong cold air occurrences affecting Guangzhou is normal or more (less) during the winter half-year in the developing phase of El Niño (La Niña) events. The composite analysis of different phases of biweekly oscillation of strong cold air demonstrates that the pressure ridge forms and moves eastwards around the Ural Mountains, resulting in the deepening of the East Asian trough which leads to the cold air moving southwards, at 500 hPa in the process of strong cold air moving southward. The cold surface high pressure center between Balkhash Lake and Baikal Lake is strengthened with the eastward movement of upper trough. At the same time, the southwest low develops and Guangzhou is warmed up significantly. When the high pressure ridge moves southwards distinctly with the isobaric line of 1020 hPa situated in the north of Guangdong, the strong cold air starts to affect Guangzhou. So the conceptual atmospheric general circulation model on biweekly oscillation of strong cold air affecting Guangzhou is better to describe the atmospheric circulation and surface pressure characteristics in different evolving phases before and after cold air outbreak, and viable for operational medium range weather forecasting.

Key words strong cold air, variation characteristics, biweekly oscillation, atmospheric circulation conceptual model

1 引言

自 20 世纪 70 年代初 Madden 和 Julian^[1–2] 发现了热带大气中存在 40~50 天的低频振荡以来,人们对低频振荡做了大量的研究。由于低频振荡的活动和异常对不少地区的天气和气候都有重大的影响,人们把它视为重要的大气环流系统之一,也尝试利用低频振荡做预报^[3–5]。

东亚冬季风也具有明显的低频振荡现象。Murakami^[6] 曾用我国东部、东海、南海以及西太平洋资料分析得到冬季风有 4.3~4.6 天、6.0~6.7 天和 20~30 天三种周期,其中前 2 个周期对应短期弱冷空气活动,后一周期对应强冷空气活动。仇永炎^[7] 也指出,寒潮活动周期为 20 天左右。李崇银^[8] 对与寒潮相联系的东亚大槽活动的研究表明,东亚大槽的加强与向东南方向伸展具有明显的 30~50 天周期的振荡。杨松和朱乾根^[9] 用 1980~1981 年冬季的逐日资料研究指出,在冬季风活动期间强

冷空气的活动具有准 40 天周期的振荡,并可以向南传播至南海地区,冬季风在中高纬的活动主要表现为东亚寒潮。丁一汇^[10] 研究了 1980~1984 年冬季 19 次东亚寒潮爆发过程低频扰动的传播特征和行星尺度作用,揭示出冷空气的向南传播主要是一种低频模态的 10~20 天周期的振荡。金祖辉和孙淑清^[11] 对 1979~1986 年 7 个冬半年期间东亚大陆的地面气温、气压资料做了 30~60 天的低频波、准双周振荡等分析,结果表明东亚大陆冬季风期间的地面气温、气压的 30~60 天波和准双周波具有重要作用,并伴有显著的年际差异。Compo 等^[12] 利用 ECMWF 10 年 (1985/1986~1994/1995) 气压、风场、温度资料,指出东亚 ($10^{\circ}\text{N}\sim35^{\circ}\text{N}$) 冷空气的爆发具有 6~30 天的周期振荡。从以上研究可见,由于所用资料及其长短、年代不同,所得结论也存在一定的差异。因此,有必要利用近几十年的资料来研究强冷空气的低频振荡特征。

有关广东寒潮的活动及其变化规律已有一些研

究,例如,黄大文^[13]对 1965 年以来广东寒潮酝酿期间天气系统的演变作了系统的分析并提出短期预报条件,林爱兰等^[14]对近 40 多年广东的寒潮活动进行了分析。但有关广东强冷空气的活动规律与低频振荡的关系研究较少,而且用近几十年的资料来系统地研究强冷空气的活动与低频振荡的关系也较少见。另外,广东是否与我国北方地区一样,强冷空气的活动也主要受 30~60 天的低频波控制? 为了更清楚地了解近 55 年来影响广东强冷空气的变化特征及与大气低频振荡之间的关系,找出强冷空气的活动规律,做好强冷空气的中期预报。本文以 1951~2005 年冬半年(10 月~次年 3 月)影响广州的强冷空气活动做代表,并利用可以表征冷空气强度的逐日地面气温资料来研究近 55 年影响广州强冷空气的变化特征及其与低频振荡的关系,最后建立了强冷空气处于准双周振荡不同演变阶段的大气环流模型,为中期预报提供参考。

2 资料与方法

本文所用资料主要为广州地面逐日气温资料、NCEP/NCAR 逐日再分析地面气压、500 hPa 高度

场资料(2.5°×2.5°)。资料时间是 1951~2005 年 55 个冬半年(10 月 1 日至次年 3 月 31 日,下同),每年序列的长度为 182 天(闰年为 183 天)。

首先,将逐年 10 月 1 日~3 月 31 逐日资料按文献^[15]的处理方法消除季节变化,即先求序列的逐日气候平均值以消除日变化,再求序列长度范围内的季节平均值来消除季节变化,并对每序列做 5 天滑动平均以消弱高频波的影响^[11]。其次,用功率谱分析、Torrence 等^[16]墨西哥帽(Mexican hat)子波分析、Lanczos 滤波器^[17]来研究近 55 年广州冬半年逐日气温低频振荡的变化特征,并讨论它们与强冷空气变化之间的关系。最后,用合成分析的方法建立影响广州的强冷空气准双周振荡的大气环流模型。

3 广州强冷空气的定义及变化特征

为了便于业务与科研相结合,根据广州中心气象台强冷空气标准,对广州强冷空气的定义如下:在北方冷空气影响下,致使广州日平均气温下降幅度:24 小时≥6℃,或 48 小时≥8℃,或 72 小时≥10℃,定义为一次强冷空气过程。

图 1a 为根据上述标准统计出的 1951~2005 年

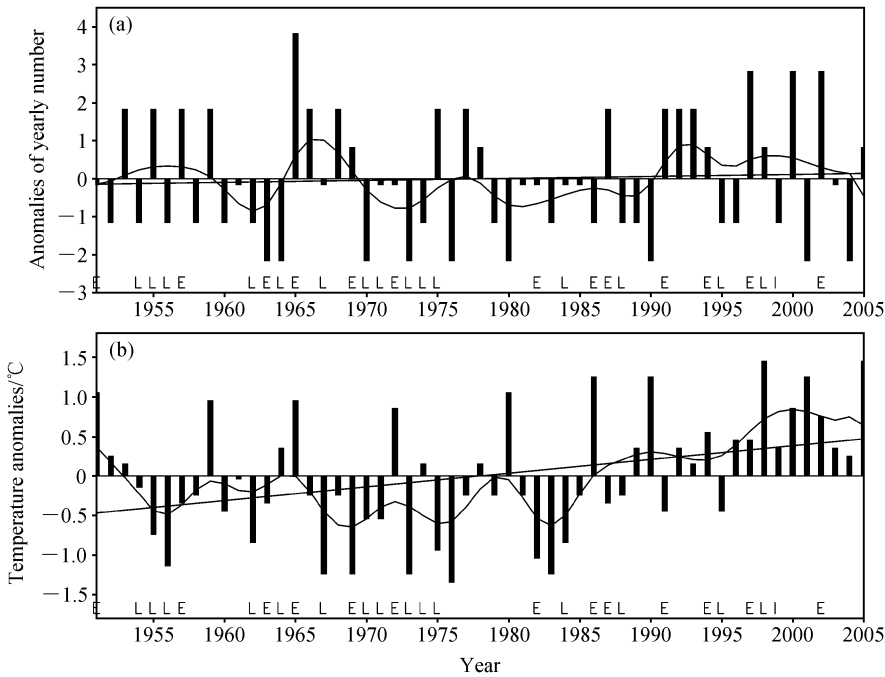


图 1 1951~2005 年冬半年影响广州强冷空气逐年次数(a)与月平均气温(b)距平(柱)及其 9 点二项式滤波(曲线)和线性趋势(斜直线)。E: El Niño 年, L: La Niña 年

Fig. 1 The anomalies of yearly number of strong cold air occurrences affecting Guangzhou (a) and monthly mean air temperature anomalies in Guangzhou (b) during the winter half-year (Oct–Mar) from 1951 to 2005 (columns), as well as 9 year binomial smoothing (curves). The tilting lines show the linear fitting trend, and N, L represent El Niño and La Niña years, respectively

冬半年影响广州的强冷空气逐年次数的距平及其高斯 9 点二项式滤波曲线和趋势线。零值线代表 1951~2005 年影响广州的强冷空气的平均次数为 4.2 次/年。从高斯 9 点平滑曲线可见, 50 年代强冷空气的活动次数偏多, 60 年代前期偏少, 60 年代后期偏多, 70~80 年代强冷空气的次数偏少, 90 年代~2003 年强冷空气的次数偏多。2004 年后强冷空气的次数又开始转入年代际偏少阶段。从线性趋势线的变化可见, 虽然略微向上, 但相关系数只有 0.0507, 不能通过显著性检验, 说明强冷空气次数线性增长的趋势不明显, 以年代际的阶段变化为主。

图 1b 为广州 1951~2005 年冬半年月平均气温的距平及其 9 点二项式滤波曲线和趋势线。从高斯 9 点平滑曲线可见, 从 50 年代中期至 80 年代中期, 广州冬半年的气温以偏低为主, 80 年代末至今以偏高为主。线性倾向 $b=0.0173$, 反映近 55 年来广州冬半年以 $0.173\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的速度增温。相关系数为 0.361, 远通过 0.05 的显著水平检验, 说明广州冬半年升温的趋势很明显, 尤其是 1990~2005 年广州冬半年的平均气温持续偏高。这与王遵娅等^[18]统计寒潮季(9 月~次年 5 月)中国地面的平均温度在近 53 年(1951~2003 年)持续升高是一

致的, 并认为西伯利亚高压和冬季风强度的减弱使得冬季中国地表温度持续升高。但 90 年代~2003 年影响广州强冷空气的次数却偏多, 这可能与强冷空气来之前积温偏高, 易产生降温及冷空气的强度减弱有关^[19]。具体原因有待于做进一步的深入分析。

为了进一步了解强冷空气的周期变化特征, 我们又对 1951~2005 年冬半年影响广州的强冷空气的次数做小波分析(如图 2)。由图 2 可见, 影响广州的强冷空气具有明显的准 2~3 年、准 7~11 年、准 30~40 年左右的周期振荡。其中 2~3 年的周期振荡主要存在于 50 年代、60 年代中期~70 年代中期和 90 年代中期至今; 7~11 年左右的周期振荡主要存在于 50 年代后期~70 年代末; 30~40 年左右的年代际周期振荡主要存在于 70 年代至今。另外, 还可见 80 年代末~90 年代中期又具有明显的准 4~6 年左右的周期振荡。从年代际小波系数值的变化可知, 70~80 年代中后期小波系数为负, 反映强冷空气的次数偏少, 80 年代末~2005 年小波系数为正, 反映强冷空气的次数偏多。这与图 1a 高斯 9 点平滑曲线所反映的年代际变化趋势基本上一致。从小波方差图(图 3a)可见, 明显的周期为 3.1 年、8.7 年和 37.8 年, 但由于资料长度的原

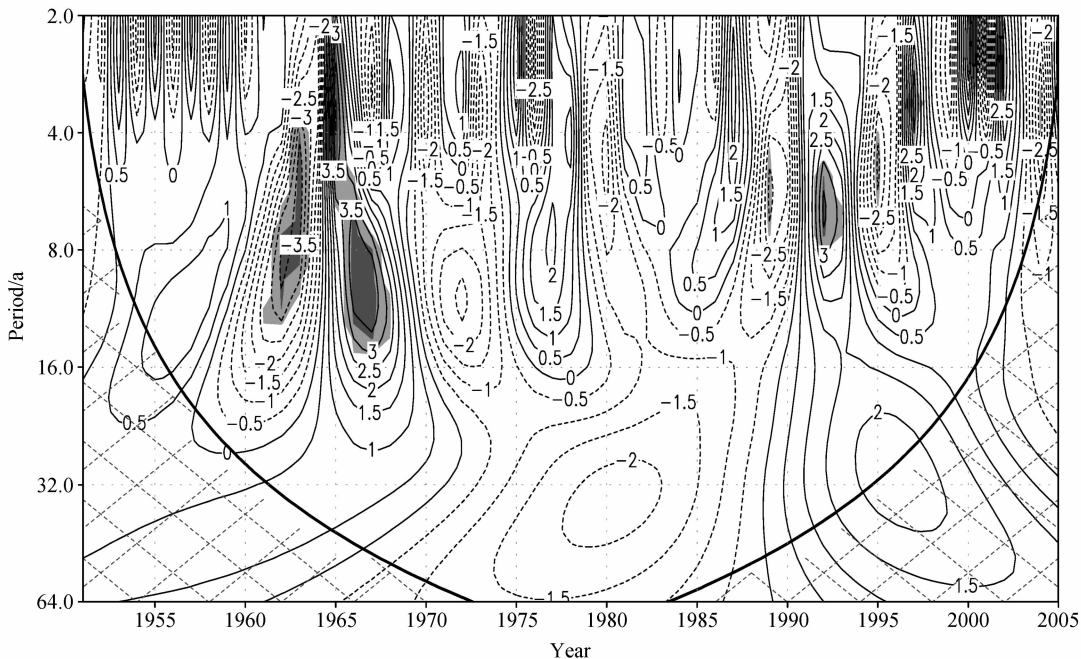


图 2 1951~2005 年冬半年影响广州强冷空气次数的墨西哥帽小波分析(阴影区表示超过显著性水平 0.05 的区域, 两边的交叉区域表示边界效应的影响域)

Fig. 2 The Mexican wavelet analysis of the yearly number of strong cold air occurrences affecting Guangzhou during the winter half-year from 1951 to 2005 (The shaded areas represent regions with significance level over 0.05 and the cross-hatched regions on both ends indicate the areas with boundary effects)

因, 37.8 年的周期并不可靠。从功率谱图 (图 3b) 可见, 通过 0.05 显著性水平检验的周期为 3 年, 另外还有 2 个明显的峰值为 2.1 年和 9 年, 它们与小波系数图所反映的主要周期是一致的。故影响广州的强冷空气具有明显的准 2~3 年、9 年左右的周期振荡。

4 广州冬半年逐日气温低频振荡的变化及与强冷空气的关系

4.1 低频振荡的年际与年代际变化

为了更清楚地了解广州逐日气温的低频振荡特

征, 对 1951~2005 年逐年冬半年逐日气温距平的 5 天滑动平均序列 (序列长度为 178 天, 闰年为 179 天) 做功率谱分析 (最大滞后长度 $M=60$), 并将每年的各个周期的功率谱值与 0.05 显著性水平值相比而得到的各个周期上的比值, 以时间为横坐标, 各周期为纵坐标, 做二维的功率谱值过 0.05 显著性水平检验图 (图 4)。可见能通过 0.05 的显著性水平检验的主要周期为准单周、准双周 (10~20 天), 而 30~60 天的季节内振荡未通过 0.05 的显著性水平检验。从图 4 还可见, 50~60 年代主要表

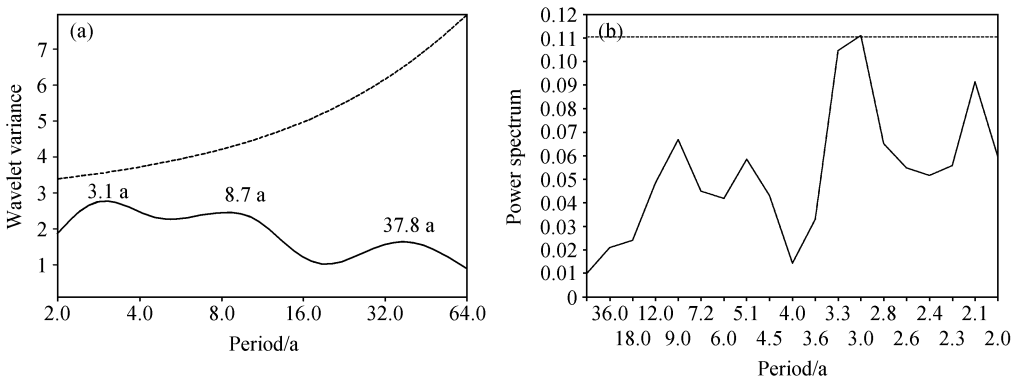


图 3 1951~2005 年冬半年影响广州的强冷空气次数的小波功率谱 (a) 及 Fourier 功率谱分析 (b) (虚线为 0.05 显著性水平值)
Fig. 3 The global wavelet power spectrum (a) and Fourier power spectrum (b) for the yearly number of strong cold air occurrences affecting Guangzhou during the winter half-year (Oct-Mar) from 1951-2005 (The dashed line is the 0.05 significance level)

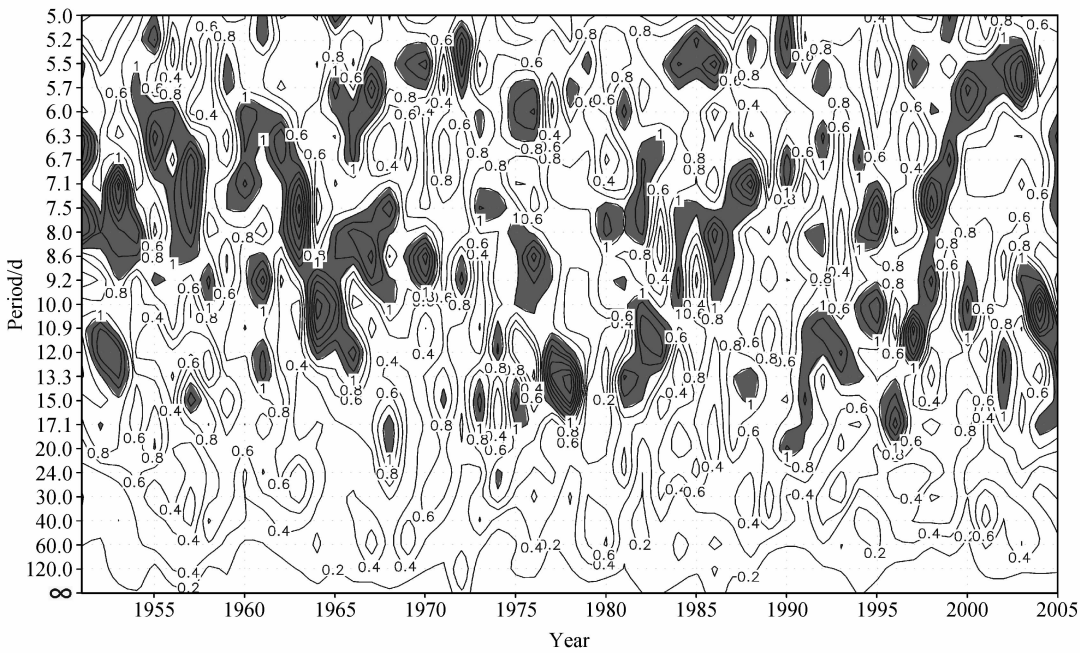


图 4 1951~2005 年冬半年广州逐日气温的功率谱值与 0.05 显著性水平值之比 (阴影为比值 ≥ 1 的区域, 表示通过 0.05 显著性水平检验)
Fig. 4 The ratio of the Fourier power spectrum of daily air temperature in Guangzhou during the winter half-year to the spectrum with 0.05 significance level from 1951 to 2005 (The shaded areas indicate the regions with the ratios ≥ 1 and 0.05 significance level)

现为显著的准单周振荡, 70 年代准双周振荡较显著, 80 年代准单周振荡显著, 90 年代以来准单周、准双周振荡均较显著。

为了更清楚地了解准双周(10~20 天)与准单周(5~9 天)、30~60 天振荡强度变化之间的关系, 我们计算了它与 5~9 天、30~60 天谱值年变化之间的相关系数。结果表明, 10~20 天的周期振荡强度与准单周振荡强度关系不大(相关系数为 -0.044), 而与 30~60 天之间的相关系数高达 -0.6697 ($N=55$, N 为样本数), 远通过显著性水平为 0.001 的显著性检验, 说明它与 30~60 天振荡强度之间的反向变化是很显著的。

为了考察 10~20 天与 30~60 天周期强度随时间变化的详细情况, 对上述 1951~2005 年逐年冬半年逐日气温距平的 5 天滑动平均序列的 10~20 天与 30~60 天周期的功率谱值作累加平均, 可得到每年 10~20 天与 30~60 天的平均谱值的变化(图 5)。从图 5 可见, 在 10~20 天振荡处于峰值(谷值)的年份 30~60 天振荡多处于谷值(峰值)或附近。这也说明 10~20 天与 30~60 天振荡强度之间有显著的反向变化。这与金祖辉等^[11]的研究结论是一致的。

4.2 低频振荡与强冷空气的关系

为了解不同频率的低频振荡强度与影响广州冬半年强冷空气次数的关系, 我们计算了它们之间的相关系数。结果表明, 冬半年影响广州强冷空气的次数与 10~20 天功率谱值具有明显的正相关(相关系数 $r=0.384$), 与 30~60 天的功率谱值具有明显的负相关(相关系数 $r=-0.315$), 均通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验, 而与准单周的周期振荡关系

不明显。

为进一步了解低频振荡变化与广州强冷空气变化之间的关系, 选取图 5 中 30~60 天(10~20 天)振荡最强而 10~20 天(30~60 天)振荡不显著的 2001 年(2005 年)冬半年, 分别对 2001 年与 2005 年冬半年逐日气温距平序列做 10~20 天与 30~60 天的 Lanczos 滤波, 可得到图 6。由图 6a 可见, 2001 年 2 次强冷空气所引起的气温距平波谷与 30~60 天振荡的波谷相隔较远, 但与 10~20 天振荡的波谷相隔较近或一致, 而且 10~20 天振荡的振幅大小也基本上反映了冷空气活动的强弱。由图 6b 可见, 2005 年 5 次强冷空气所引起的气温距平波谷与 10~20 天振荡波谷也几乎一致, 且 10~20 天振荡的振幅大小也基本上反映了冷空气活动的强弱。而气温距平的波谷与 30~60 天振荡的波谷只有 1 次一致, 其余 4 次均相隔较远。由前面的分析也可知, 10~20 天振荡是冬半年通过 0.05 显著性水平检验的主要周期, 而 30~60 天的振荡不显著。故影响广州强冷空气的活动主要受准双周振荡低频波控制, 与北方强的冷空气活动主要受 30~60 天周期的低频波控制有明显的不同^[9, 11]。

4.3 ENSO 与低频振荡及强冷空气

根据李晓燕等^[20]对 1951~2003 年 ENSO 事件的划分以及国家气候中心近年来的 ENSO 监测简报, 在 1951~2005 年 55 个冬半年中, 有 14 年(1951、1957、1963、1965、1968、1969、1972、1982、1986、1987、1991、1994、1997、2002)发生 El Niño 事件, 有 16 年(1954、1955、1956、1962、1964、1967、1970、1971、1973、1974、1975、1984、1988、1995、1998、1999)发生 La Niña 事件(如图

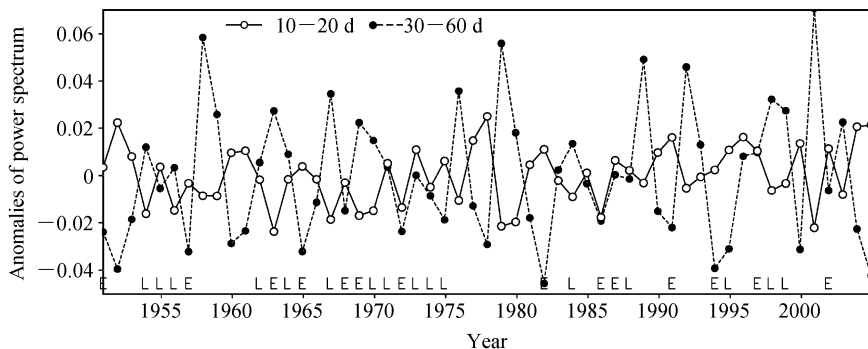


图 5 1951~2005 年冬半年广州逐日气温 10~20 天与 30~60 天功率谱值的距平(E: El Niño 年, L: La Niña 年)

Fig. 5 The anomalies of 10~20-day and 30~60-day Fourier power spectra of daily air temperature in Guangzhou during the winter half-year from 1951 to 2005 (E, L represent El Niño and La Niña years, respectively)

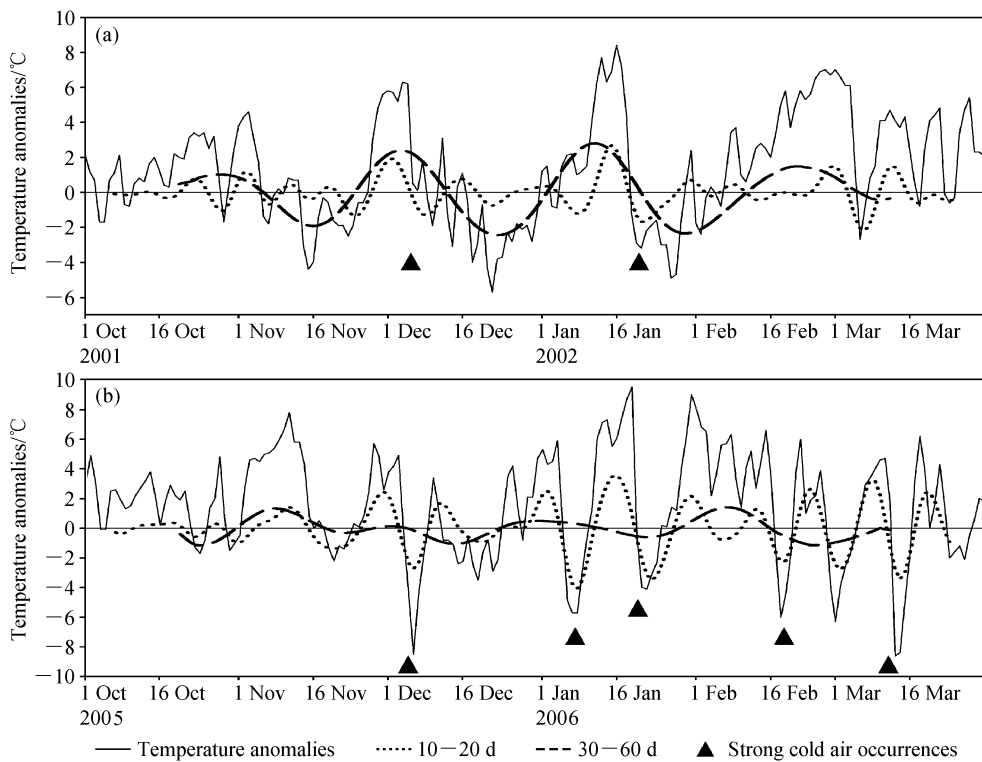


图 6 2001 年 (a) 与 2005 年 (a) 广州冬半年逐日气温距平及其 Lanczos 带通滤波序列

Fig. 6 The daily air temperature anomalies in Guangzhou during the winter half-year and their filtered sequences by Lanczos band-passed filter for 2001 (a) and 2005 (b)

5 中所示)。

由图 5 可见，对于 30~60 天的功率谱值，在 14 个 El Niño 年中，除 3 年为正距平外（其中 1963，1969 年处于峰值），有 10 年为负距平（其中 9 年处于谷值，1 年处于谷值附近），占 71.4%。故 El Niño 事件发生的冬半年，30~60 天的振荡强度以偏弱为主。这与王盘兴等^[21]和李崇银等^[22]用资料分析和数值模拟的结果是一致的。而在 16 个 La Niña 年中，除 4 年为负距平、2 年正常外，10 年为正距平（占 62.5%）。故 La Niña 事件发生的冬半年，30~60 天的振荡强度以偏强为主。

从图 5 还可见，对于 10~20 天的功率谱值，在 14 个 El Niño 年中，除 4 年（1963、1969、1972、1986）处于谷值外，有 7 年（1957、1965、1968、1982、1987、1991、2002）处于峰值，3 年（1951、1994、1997）处于峰值附近且为正距平。故 El Niño 事件发生的冬半年，10~20 天的振荡强度以偏强为主。而在 16 个 La Niña 年中，有 10 年为负距平（占 62.5%），其中 6 年（1954、1956、1967、1974、1984、1998）处于谷值，2 年（1970、1999）

接近谷值，2 年（1962、1964）在谷值附近且为弱的负距平。另外，为正距平的 6 个 La Niña 年中有 4 年为较弱的正距平。故 La Niña 事件发生的冬半年，10~20 天的振荡强度以偏弱为主。

对比 10~20 天的强度变化与广州强冷空气次数变化（图 1a）可知，14 个 El Niño 年中处于 10~20 天的振荡峰值及其附近的 10 年中有 8 年广州强冷空气次数偏多（≥5 次），2 年正常（4 次）。而处于谷值的 4 年中，有 1 年偏多，1 年正常，2 年偏少。故 El Niño 事件发生的冬半年，影响广州强冷空气的次数以正常~偏多为主（占 85.7%）。而 16 个 La Niña 年中，处于 10~20 天的振荡谷值及其附近且为负距平的 10 年中有 7 年广州强冷空气次数偏少（2~3 次），2 年正常（4 次），1 年略多（5 次）。而处于正距平的 6 年中，有 3 年偏少（2~3 次），1 年正常（4 次），2 年偏多（6 次）。故 La Niña 事件发生的冬半年，影响广州强冷空气的次数以正常~偏少为主（占 81.3%）。图 7 为 El Niño/La Niña 事件发生的 1965/1954 年广州冬半年逐日气温距平及其 Lanczos 带通滤波。可见，

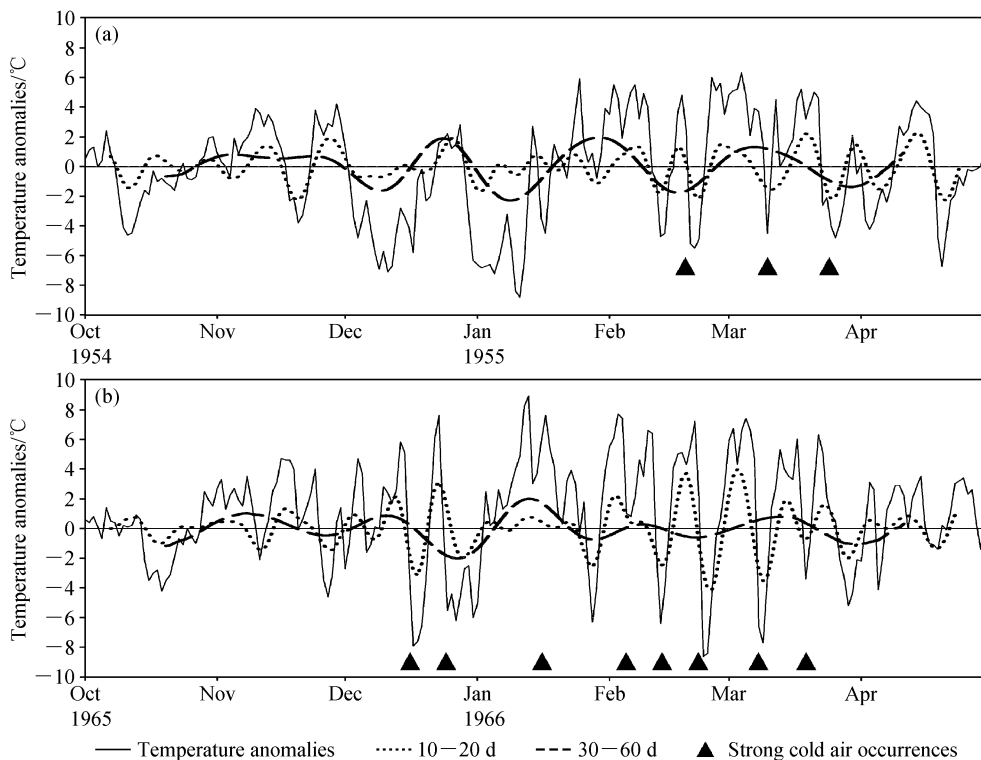


图7 同图6, 但为 La Niña (1954) 与 El Niño (1965) 年

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for the La Niña (1954) and El Niño (1965) years

1965 年 10~20 天的振荡强度偏强, 而 30~60 天的振荡强度偏弱, 该年影响广州的强冷空气为历年最多 (8 次); 而 1954 年, 10~20 天的振荡强度偏弱, 30~60 天的振荡强度偏强, 该年影响广州的强冷空气只有 3 次。

另外, 从图 1b 可见, 14 个 El Niño 年中, 有 7 年 (1951、1965、1972、1986、1994、1997、2002) 广州冬半年的平均气温偏高 0.5~1.3℃, 有 5 年 (1957、1963、1968、1987、1991) 正常略偏低, 另有 2 年偏低 1℃左右。故 El Niño 事件发生的冬半年, 广州冬半年的平均气温以正常~偏高为主。而 16 个 La Niña 年中, 除 1964、1974 年正常略偏高外, 其余 14 年均为偏低。故 La Niña 事件发生的冬半年, 广州冬半年的平均气温以偏低为主。这与李崇银^[23]、穆明权^[24]、孙林海等^[25]等的研究结论是一致的。

综上所述, El Niño 事件发生的冬半年, 10~20 天的振荡强度增强, 影响广州强冷空气的次数以正常~偏多为主, 但 30~60 天的振荡强度减弱, 冬季风偏弱, 冬季偏暖。而 La Niña 事件发生的冬半年, 10~20 天的振荡强度减弱, 影响广州强冷空

气的次数以正常~偏少为主, 但 30~60 天的振荡强度增强, 冬季风偏强, 冬季偏冷。

5 影响广州强冷空气的准双周振荡大气环流模型

由前面的分析可知, 影响广州强冷空气的活动主要受准双周振荡低频波控制, 为了在实际业务预报中更好地利用低频振荡作好强冷空气的中期天气预报, 我们建立了 12~3 月强冷空气 (占冬半年总次数的 83.3%) 10~20 天准双周振荡演变过程的大气环流模型, 以了解影响广州的强冷空气活动处于准双周振荡不同阶段大气环流场的演变特征, 揭露准双周振荡天气学过程的共同特点。

首先选取图 5 中 10~20 天振荡处于峰值而 30~60 天振荡处于谷值的年份, 然后再取该年影响广州的强冷空气次数偏多 (≥ 5 次) 的年份。对逐年 12~3 月的广州逐日平均气温用 Lanczos 滤波器进行 10~20 天的滤波, 以振幅大于 1 倍标准差, 且此波段内无中等以上冷空气影响作为一次强冷空气 10~20 天低频振荡过程选取的标准, 取其变化的谷作为过程截取的标准, 共选取了 12~3 月 10~

20 天低频振荡过程共 22 次, 将每个循环分为 5 个位相 (图 8), 位相 5 同位相 1。

图 9 为准双周振荡 1~4 个位相 500 hPa 合成高度场。它们分别主要反映了强冷空气到达日之前

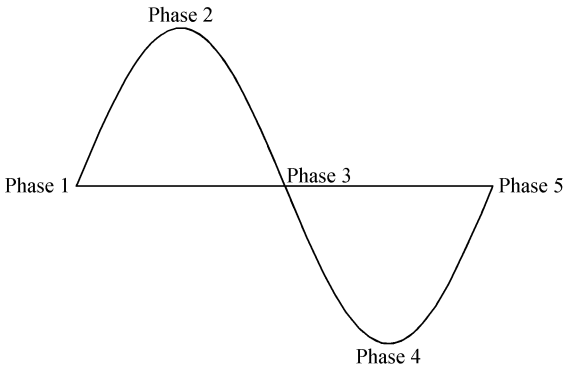


图 8 准双周振荡的位相
Fig. 8 The phases of quasi-biweekly oscillation

5~7 天、2~4 天、0~1 天及后 2~4 天的 500 hPa 环流场的演变。从位相 1 (图 9a) 可见, 欧洲沿岸有明显的高空槽存在, 45°E 附近有高压脊隆起, 乌拉尔山及其东部的亚洲大陆为宽槽区; 位相 2 (图 9b), 欧洲沿岸的高空槽东移到 30°E 附近, 乌拉尔山高压脊建立, 巴尔喀什湖以东的亚洲大陆仍为宽槽区; 位相 3 (图 9c), 乌拉尔山高压脊东移到巴尔喀什湖-贝加尔湖, 东亚大槽向南加深, 引导冷空气南下; 位相 4 (图 9d) 巴尔喀什湖-贝加尔湖仍为高压脊控制, 东亚大槽维持, 引导冷空气不断南下, 使气温继续下降, 最后达到谷值。从合成的地面气压场 (图 10) 可见, 位相 1 (图 10a), 45°N~65°N 的欧洲西部到亚洲大陆为冷高压控制, 冷高压中心在巴尔喀什湖-贝加尔湖之间, 中心值为 1025 hPa。同时 (20°N~30°N, 100°E~110°E) 为西南低压控制, 广东为出海高压脊控制, 地面开始

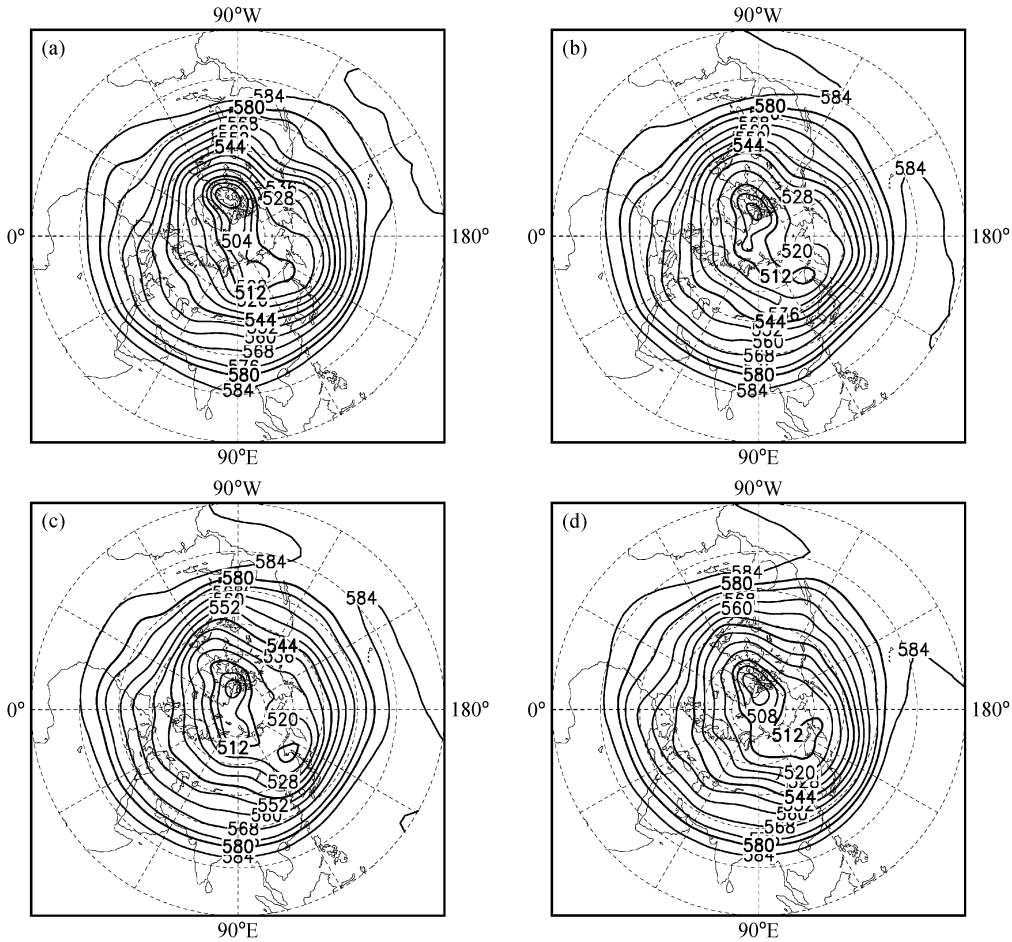


图 9 影响广州强冷空气的准双周振荡的 500 hPa 合成位势高度场 (单位: dagpm): (a) 位相 1; (b) 位相 2; (c) 位相 3; (d) 位相 4
Fig. 9 Composite 500 hPa geopotential height (dagpm) with quasi-biweekly oscillation for strong cold air affecting Guangzhou; (a) Phase 1; (b) phase 2; (c) phase 3; (d) phase 4

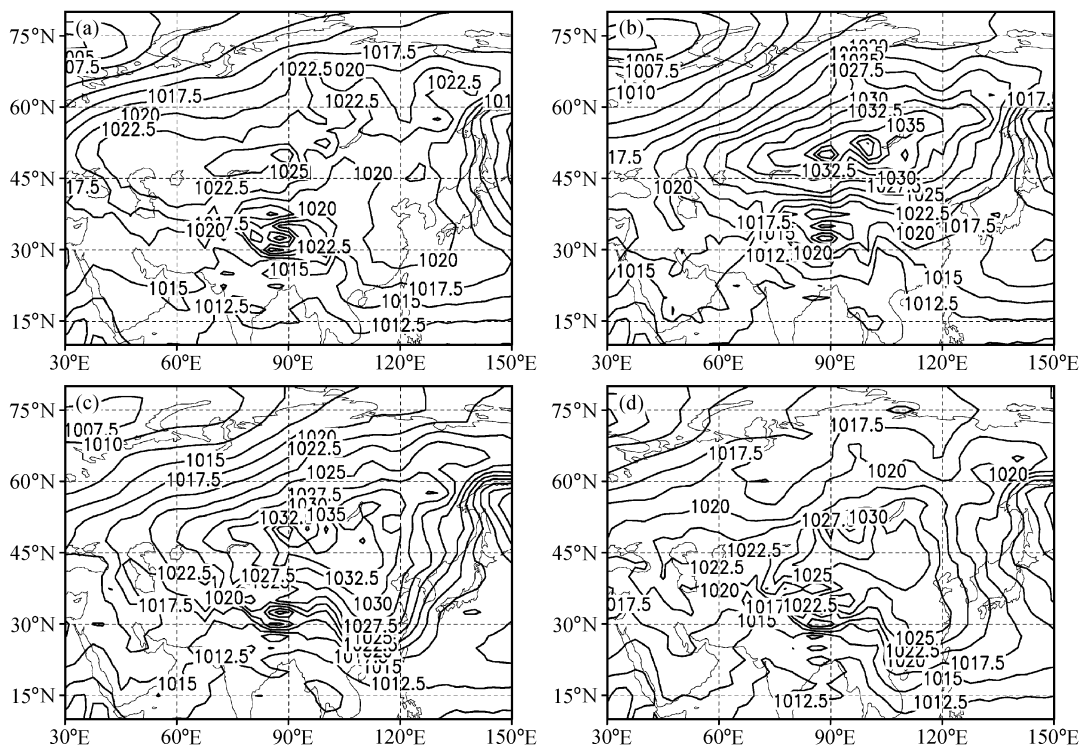


图 10 同图 9, 但为合成的海平面气压场 (单位: hPa)

Fig. 10 Same as Fig. 9, but for composite sea level pressure (hPa)

回暖。位相 2 (图 10b), 冷高压主体向东移动, 巴尔喀什湖-贝加尔湖的冷高压中心已加强到 1035 hPa 以上。同时, 西南低压也在发展, 1012.5 hPa 等值线达广东西部, 广东为西南低压槽控制, 明显回暖。位相 3 (图 10c), 地面巴尔喀什湖-贝加尔湖的冷高压中心维持, 但高压脊开始明显南压, 1020 hPa 等压线到达广东北部, 冷空气开始影响广州, 气温下降; 位相 4 (图 10d), 巴尔喀什湖-贝加尔湖的高压中心明显南压, 强度减弱, 高压脊也继续南压, 1020 hPa 等压线到达广东沿海, 使冷空气不断补充到华南, 气温继续下降。

这种强冷空气准双周振荡不同演变阶段高空环流场与地面气压场的演变特征与黄大文^[13]揭示的广东寒潮的 500 hPa 环流与天气系统特征一致。黄大文^[13]指出, 寒潮南下过程中, 地面冷高压中心有所加强, 西南低压在南面发生发展, 预示着高空槽将加深并引导寒潮南下; 500 hPa 环流场上, 寒潮从酝酿到爆发期间, 欧亚地区 500 hPa 环流经向度

的加强, 主要表现为乌拉尔山阻塞高压脊的发展和东亚大槽的加深 (其中在 11/16 次寒潮过程中, 寒潮到达前 2 天出现了乌拉尔山阻高)。《广东省短期天气预报指导手册》^①分析强冷空气的主要 500 hPa 环流与地面形势时也指出, 500 hPa 环流场上乌拉尔山地区高压脊形成与加强, 冷空气从暖脊的东北方向向东南移动, 在西西伯利亚地区形成较深的槽, 而后槽向东移或槽移到贝加尔湖以东加深成东亚大槽, 引导冷空气爆发南下; 地面图上, 冷高压中心随高空槽东移加深而向东南移动, 但当移到蒙古或贝加尔湖附近时, 常有停滞加强过程, 冷高压脊则向南方扩展, 使地面冷峰南下影响广东省。因此, 所建广州强冷空气活动的准双周振荡大气环流模型, 较好地反映了强冷空气准双周振荡不同演变阶段大气环流场的变化特征。

图 11 为地面气压场两极端位相差 (位相 2 减位相 4)。可见, 在巴尔喀什湖到贝加尔湖之间为 +10 hPa 的差值区, 它与陶诗言^②所划的寒潮关键区

① 《广东省短期天气预报指导手册》编写组. 广东省短期天气预报指导手册. 广东省气象局, 1987. 269~271

② 陶诗言. 东亚冬季冷空气活动的研究. 短期预报手册, 中央气象局编, 1957

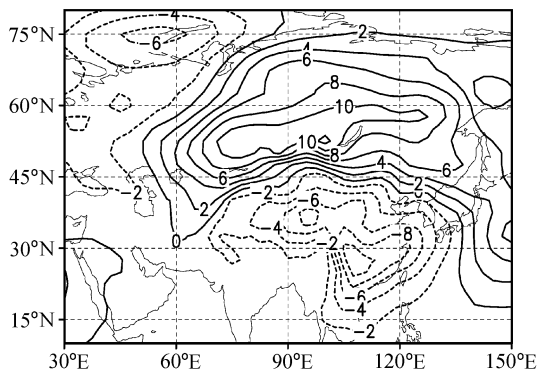


图 11 海平面气压场两极端位相差(位相 2 减位相 4)(单位: hPa)

Fig. 11 The difference of sea level pressure (hPa) between extreme phases (phase 2 minus phase 4)

(45°N~65°N, 70°E~90°E)、《寒潮年鉴》^[26]所定的冷高压集中区(45°N~60°N, 80°E~105°E)以及张培忠^[27]所统计的寒潮冷高压的主中心(50°N~55°N, 95°E~100°E)均有些相似之处,故巴尔喀什湖到贝加尔湖之间的区域为广东强冷空气活动的关键区。

6 结论

(1) 虽然 20 世纪 80 年代后期以来广州冬半年升温的趋势很明显,但 90 年代~2003 年影响广州的强冷空气次数却偏多,而 1951~2005 年影响广州的强冷空气次数无明显的线性增长趋势,以年代际的阶段性变化为主,并具有明显的准 2~3 年、9 年左右的周期振荡。

(2) 广州冬半年逐日气温具有明显的准单周、准双周振荡,而 30~60 天的振荡较弱。准双周振荡与 30~60 天振荡强度之间有显著的反向变化。影响广州的强冷空气活动主要受准双周振荡低频波控制,与我国北方的强冷空气活动主要受 30~60 天周期的低频波控制有明显的不同。

(3) El Niño 事件发生的冬半年,10~20 天的振荡强度增强,影响广州强冷空气的次数以正常~偏多为主,但 30~60 天的振荡强度减弱,冬季风偏弱,冬季偏暖。而 La Niña 事件发生的冬半年,10~20 天的振荡强度减弱,影响广州强冷空气的次数以正常~偏少为主,但 30~60 天的振荡强度增强,冬季风偏强,冬季偏冷。

(4) 用合成分析方法所建立的广州强冷空气准

双周振荡的大气环流模型较好地反映了广州强冷空气爆发前后不同演变阶段的大气环流场及地面气压场的变化特征。强冷空气南下过程中,500 hPa 乌拉尔山高压脊的建立及其向东移动,东亚大槽向南加深,引导冷空气南下;地面上巴尔喀什湖-贝加尔湖的冷高压中心随高空槽的东移而加强,同时西南低压发生发展。当高压脊明显南压,1020 hPa 等压线到达广东北部,强冷空气开始影响广州。

参考文献 (References)

- [1] Madden R A, Julian P R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 1971, **28** (5): 702~708
- [2] Madden R A, Julian P R. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 1972, **29** (6): 1109~1123
- [3] Kingtse C M. Adaptive filtering and prediction of intraseasonal oscillations. *Mon. Wea. Rev.*, 2001, **129**: 802~817
- [4] Waliser D E, Lau K M, Stern W, et al. Potential predictability of the Madden-Julian oscillation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2003, **84**: 33~50
- [5] Wheeler M C, Hendon H H. An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. *Mon. Wea. Rev.*, 2004, **132**: 1917~1932
- [6] Murikami T. Winter monsoonal surges over East and South-east Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1979, **57**: 133~158
- [7] 仇永炎. 中期天气预报. 北京: 科学出版社, 1985. 333~337
- [8] 李崇银. 北半球大气运动的 30~50 天振荡. 长期天气预报论文集. 北京: 气象出版社, 1990. 63~73
- [9] Li Chongyin. The 30-50 day atmospheric oscillation in the Northern Hemisphere. *Collected Works of Long-Range Weather Forecast* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1990. 63~73
- [10] 杨松, 朱乾根. 东亚地区冬季大气低频振荡与冷空气活动关系的初步研究. 南京气象学院学报, 1990, **13** (3): 339~347
- [11] Yang Song, Zhu Qian'gen. Oscillation and its relation to cold air activities in Asian winter. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1990, **13** (3): 339~347
- [12] 丁一汇. 东亚寒潮冷空气的传播和行星尺度作用. 应用气象学报, 1991, **2** (2): 124~132
- [13] Ding Yihui. The propagation of the winter monsoon during cold air outbreaks in East Asia and the associated planetary-scale effect. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1991, **2** (2): 124~132
- [14] 金祖辉, 孙淑清. 东亚大陆冬季风的低频振荡特征. 大气科

- 学, 1996, **20**: 101~111
- Jin Zhuhui, Sun Shuqing. The characteristics of low frequency oscillations in winter monsoon over the Eastern Asia. *Chinese J. Atmos. Sci. (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1996, **20**: 101~111
- [12] Compo G P, Kiladis G N, Webster P J. The horizontal and vertical structures of East Asian winter monsoon pressure surge. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1999, **125**: 29~54
- [13] 黄大文. 广东寒潮的分析和预报. 广东气象, 1995, **4**: 2~6
Huang Dawen. The analysis and forecasting of cold waves in Guangdong. *Guangdong Meteorology* (in Chinese), 1995, **4**: 2~6
- [14] 林爱兰, 吴尚森. 近 40 多年广东的寒潮活动. 热带气象学报, 1998, **14** (4): 337~343
Lin Ailan, Wu Shangsen. The characteristics of cold wave action in Guangdong Province during recent 44 years. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1998, **14** (4): 337~343
- [15] Yang Hui, Li Chongyin. The relation between atmospheric intraseasonal oscillation and summer severe flood and drought in the Changjiang-Huahu River basin. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, **20** (4): 540~553
- [16] Torrence C, Gilbert P C. A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of American Meteorological Society*, 1998, **79**: 61~78
- [17] 陈兴跃, 王会军, 曾庆存. 大气季节内振荡及其年际变化. 北京: 气象出版社, 2000. 142~144
Chen Xingyue, Wang Huijun, Zeng Qingcun. *Atmospheric Intraseasonal Oscillation and Its Interannual Variation* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 142~144
- [18] 王遵娅, 丁一汇. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能原因. 大气科学, 2006, **30** (6): 1068~1076
Wang Zunya, Ding Yihui. Climate change of the cold wave frequency of China in the last 53 years and the possible reasons. *Chinese J. Atmos. Sci. (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 2006, **30** (6): 1068~1076
- [19] 李峰, 矫梅燕, 丁一汇, 等. 北极区近 30 年环流的变化及对中国强冷事件的影响. 高原气象, 2006, **25** (2): 209~219
Li Feng, Jiao Meiyun, Ding Yihui, et al. Climate change of arctic atmospheric circulation in last 30 years and its effect on strong cold events in China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2006, **25** (2): 209~219
- [20] 李晓燕, 翟盘茂, 任福明. 气候标准值改变对 ENSO 事件划分的影响. 热带气象学报, 2005, **21** (1): 72~78
Li Xiaoyan, Zhai Panmao, Ren Fuming. Redefining ENSO episodes based on changed climate references. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2005, **21** (1): 72~78
- [21] 王盘兴, 刘家铭, 沈素红. IAP GCM 模式大气波谱结构及其在厄尔尼诺年的异常. 南京气象学院学报, 1992, **15** (1): 22~30
Wang Panxing, Lau K M, Shen Suhong. The spectral structure of the IAP GCM model atmospheric waves and their anomalies in El Niño years. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1992, **15** (1): 22~30
- [22] Li Chongyin, Smith I. Numerical simulation of the tropical intraseasonal oscillation and the effect of warm SSTs. *Acta Meteor. Sinica*, 1995, **9** (1): 1~12
- [23] 李崇银. 大气低频振荡. 北京: 气象出版社, 1991. 219~222
Li Chongyin. *Low Frequency Oscillation in the Atmosphere* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1991. 219~222
- [24] 穆明权. 东亚冬季风异常与 ENSO 循环关系的进一步研究. 气候与环境研究. 2001, **6** (3): 273~285
Mu Mingquan. A further research on the cyclic relationship between anomalous East-Asia winter monsoon and ENSO. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2001, **6** (3): 273~285
- [25] 孙林海, 赵振国. 我国暖冬气候及其成因分析. 气象, 2004, **30** (12): 57~60
Sun Linhai, Zhao Zhenguo. Analysis of warm winter in China. *Meteorology* (in Chinese), 2004, **30** (12): 57~60
- [26] 国家气象中心资料室. 寒潮年鉴 (1981.9~1982.5). 北京: 气象出版社, 1991
Climatic Data Center of China National Meteorological Center. *The Almanac of Cold Waves (from September 1981 to May 1982)*. Beijing: China Meteorological Press, 1991
- [27] 张培忠, 陈光明. 影响中国寒潮冷高压的统计研究. 气象学报, 1999, **57** (4): 493~501
Zhang Peizhong, Chen Guangming. A statistical analysis of the cold wave high which influences on China. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 1999, **57** (4): 493~501