

高原低涡与 OLR、风场的气候变化及低频信号特征

元震, 肖天贵

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

摘要:为进一步探讨高原低涡与高原大气的基本状况及其联系,通过对1981–2015年低涡频次及OLR、500 hPa经纬向风场的统计,分析其气候变化及低频振荡特征,并初步探讨了低涡频次与其他三者低频信号之间的联系。结果表明:4–8月是低涡的频发时段;低涡频次呈逐年增加的趋势,存在显著的2 a、4 a变化周期和55 d、30 d低频振荡周期;在低涡频发期内,OLR平均值为 $212.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,存在显著的10~12 a变化周期和45 d、20 d低频振荡,滤波中心存在东进和西退的移动特征,在纬向上表现为向南移动,500 hPa纬向风均值为 $3.56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,其逐年及逐日变化均呈下降趋势,存在4 a、10 a的变化周期和75 d、45 d的低频振荡周期,30~60 d滤波信号中心以西退和北进为主要移动特征,60~90 d滤波信号中心向南移动特征明显,500 hPa经向风以北风分量为主,其逐年及逐日变化均为减小趋势,存在4 a变化周期和10~20 d低频振荡;低涡频次与500 hPa纬向风区域平均值在1996年发生突变;低涡频次与大气低频振荡存在密切联系,其与500 hPa经向风呈负相关性,7–8月尤为显著,与OLR和500 hPa纬向风在4月至7月中旬呈显著正相关,7月中旬至8月转为负相关,其中与OLR 30–60 d滤波信号呈高度负相关性;500 hPa纬向风滤波信号中心的移动能较好的对应低涡频次空间分布的变化。

关键词:大气科学;气候变化;低频振荡;高原低涡;OLR;经纬向风

中图分类号:P466

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2018.05.013

0 引言

青藏高原位于中国地理位置的上游,有着独一无二的地形结构和热力学特征,其动力及热力作用对中国乃至全球的天气、气候有着重要影响^[1–6]。大气的运动可按时间尺度的不同划分为多个尺度,时间尺度在7~10 d以上,100 d以内的运动变化称为大气低频变化^[7]。在国外学者^[8–9]首先注意到热带地区的低频振荡现象后,中国学者也开始注意到青藏高原上空大气的低频变化。章基嘉等^[10]首先提出青藏高原上空大气存在低频振荡,且是低频振荡的活跃地区,并指出青藏高原是30~50 d大气低频振荡的重要源地。孙国武等^[11–12]指出500 hPa等压面上,青藏高原可能是大气低频振荡源地之一,产生的低频波在经纬向上都存在传播特征。谢安等^[13]利用OLR资料分析讨论了其在高原上的低频振荡特征。大气低频振荡对盛行系统有着重要的调节作用,而高原低涡是一种盛行于夏季的,出现在400 hPa以下,生命周期通常为1~3 d的次天气尺度低压涡旋,其发生发展与高原动力及热力性质密切相关^[14–21]。20世纪70年代中期,青藏高原低值系统会战组^[22]从天气和动力等方面,对高原低值系统的发生发

展规律及成因做了相关研究。一些研究结果显示^[23–25],高原大气的低频振荡与高原低涡的发生发展存在明显的相关。孙国武等^[12]对高原夏季500 hPa经纬向风低频振荡与高原低涡关系进行了分析讨论,并得出低频振荡与高原低涡群发之间的关系。

对1981–2015年4–8月高原低涡(TPV)频次、地表射出长波辐射(OLR)以及高原上空500 hPa纬、经向风(UWND、VWND)的气候变化和低频振荡特征进行分析讨论,并初步探讨了高原大气低频振荡与高原低涡之间的联系,以为后续研究提供一定的参考。

1 资料与方法

文中位势高度及经纬向风资料来自于欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的ERA-Interim再分析资料,时间为1981–2015年1日4次(世界时0,6,12,18时),分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$,OLR资料来自于美国国家海洋和大气管理局(NOAA)提供的NCEP\NCAR再分析资料,时间为1981–2015年1日1次,分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。

利用位势高度场及风场资料,采用客观识别与人工修订相结合的方法识别统计高原低涡。综合青藏高原低值系统会战组^[22]和《青藏高原低涡切变线年鉴》的研究,采用的低涡判定标准为:位于高原主体上空,

收稿日期:2018-02-24

基金项目:国家科技支撑资助项目(2015BAC03B05);国家自然科学基金重点基金资助项目(91337215);国家重点基础研究发展计划资助项目(2013CB733200)

500 hPa等压面上存在闭合等高线或三站风向呈气旋式环流。根据上述标准,将低涡源地表示为其首次出现位置的经纬度。

利用线性倾向估计及滑动平均方法讨论了低涡逐年及累年日频次以及 OLR、经纬向风逐年平均值与累年日均值的变化趋势,并通过曼-肯德尔方法(M-K法)探讨其各自的逐年变化是否存在突变特征,利用小波方法探讨其各自的周期变化特征,并对低涡频次及 OLR 和风场采用 butterworth 带通滤波器进行滤波处理。

2 时间与空间范围

根据统计结果,35年中累计出现低涡1602个,平均每年出现45.8个。图1为1981–2015年低涡的累年月频次分布状况,结合统计结果共同分析可知,低涡的累年月频次平均值为133.4个(图中以短划线标出),累年月频次分布呈现单峰值左右对称的态势,具体为:4–8月为低涡的频发时段,期间共计出现低涡1213个,占全部的75.8%,其中5月最多,累计出现306个,6月次之,共计292个;1–3月及11–12月较少,其中11月和12月分别为18个和13个,是最不活跃的阶段。

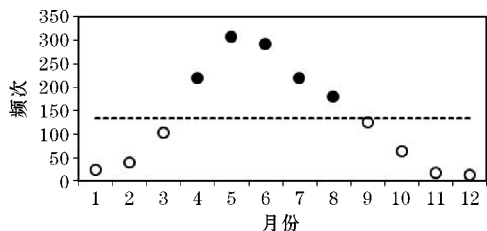


图1 1981–2015年低涡累计频次逐月分布图

对低涡首次出现位置的经纬度进行插值,插值精度为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$,其结果如图2所示。由图2可以看出近35年来低涡的出现位置绝大多数(98.7%)位于($80^{\circ}\text{E} \sim 100^{\circ}\text{E}, 30^{\circ}\text{N} \sim 38^{\circ}\text{N}$),同时该范围涵盖了高原地表面积的绝大部分。此外低涡的主要源地位于($85^{\circ}\text{E} \sim 91^{\circ}\text{E}, 33^{\circ}\text{N} \sim 36^{\circ}\text{N}$),该范围内出现的低涡频次占到总数的一半以上(57.0%)。

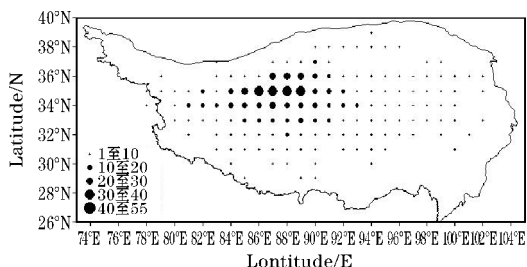


图2 1981–2015年涡源地分布图

综上所述,将($80^{\circ}\text{E} \sim 100^{\circ}\text{E}, 30^{\circ}\text{N} \sim 38^{\circ}\text{N}$)和1981–2015年4–8月作为本文进行分析讨论的时空范围。

3 气候变化与低频信号特征分析

3.1 气候变化特征

图3反映了1981–2015年4–8月低涡累计频次以及 OLR、500 hPa UWND 和 VWND 区域平均值逐年时间序列与距平的分布情况。

根据统计结果,1981–2015年4–8月在($80^{\circ}\text{E} \sim 100^{\circ}\text{E}, 30^{\circ}\text{N} \sim 38^{\circ}\text{N}$)共计出现低涡1194个,年平均34.1个。图3(a)为低涡频次的逐年变化曲线图,从图中可以看出低涡频次呈波动增加的趋势,气候倾向率为1.0个/10a(通过0.05水平置信,下文同)。1985年和2008年是低涡频次最多的年份(43个),次多年为2004年(41个);频次最少的年份为1982年和1990年(27个),次少年为1986年和2010年(28个)。结合图3(b)的低涡频次距平分布情况进行分析,低涡频次的逐年变化往往存在较大波动,总体而言其波动幅度在1981–1991年和2004–2015年较为剧烈,1992–2003年相对缓和,其中波动幅度最大的情况出现在1985–1986年,二者分别为最多(次少)值年,相差达15个。

地球向外长波辐射(OLR)^[26–27]是指地球大气系统在大气层顶向外空辐射出去的所有波长的热辐射能量密度,其大小主要由发射下垫面的温度决定,能够在有云时反映对流层内对流活动的强度和范围,以及无云时地球表面的温度。根据统计结果,近35年4–8月 OLR 的区域平均值为 $212.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。从图3(c)的 OLR 区域平均值逐年变化情况可以看出,OLR 的区域平均值存在较大的逐年波动,但在整个35年中 OLR 气候倾向率接近0,35年中 OLR 逐年区域平均的最高值($218.7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)出现在1995年,次高值($218.6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)出现在2009年;最低值($204.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)和次低值($205.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)分别出现在2000年和1993年。结合图3(d)的 OLR 区域平均值距平分布情况及其2a滑动平均线可以看出,在20世纪80年代内其逐年变化波动幅度相对较小,进入90年代后波动幅度开始增大。

1981–2015年4–8月高原上空500 hPa纬向风的区域平均风速为 $3.56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,从图3(e)可以看出,其逐年变化整体呈下降趋势,气候倾向率为 $-0.19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ a}$,35年中纬向风区域平均风速的最大值为 $4.61 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,出现在1991年,1995年出现次大

值为 $4.57\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,最小风速出现在 1997 年,该年仅 $2.08\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,次小值为 $2.56\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,出现在 2004 年。结合图 3(f)反映的纬向风逐年区域平均值距平分布情况,可将其变化分为“高-低-高”3 个阶段:1981-1995 年基本保持高位水平,以正距平分布为主;1996 年纬向风区域平均风速较上一年出现明显下降,从 1996 年开始直至 2008 年基本以负距平为主,期间仅 2003 年超过其 35 年平均水平;2009-2015 年,纬向风区域平均风速虽有升降波动,但总体上仍呈上升趋势并基本回到或超过平均水平。

统计结果显示,35 年中低涡频发时段内高原 500 hPa 经向风的区域平均风速为 $-0.54\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。根

据图 3(g)反映的 500 hPa 经向风区域平均值逐年变化可以看出,其气候倾向率为 $0.06\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$ 。从总体上看,经向风逐年区域平均值多呈北风分量,35 年中仅有 1989 年($0.17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)和 2009 年($0.10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)表现为南风分量。北风分量的最大值($-1.43\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)出现在 1990 年,次大值($-1.33\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)出现在 1984 年。结合图 3(h)所显示的 500 hPa 经向风区域平均值距平分布情况进行分析,不同年份之间经向风区域平均风速存在较大幅度的波动变化,大体上可将其分为“增大-减小-增大”3 个阶段(对应北风分量则为“减小-增大-减小”):第一阶段为 1985-1997 年;第二阶段为 1997-2008 年;第三阶段为 2008-2012 年。

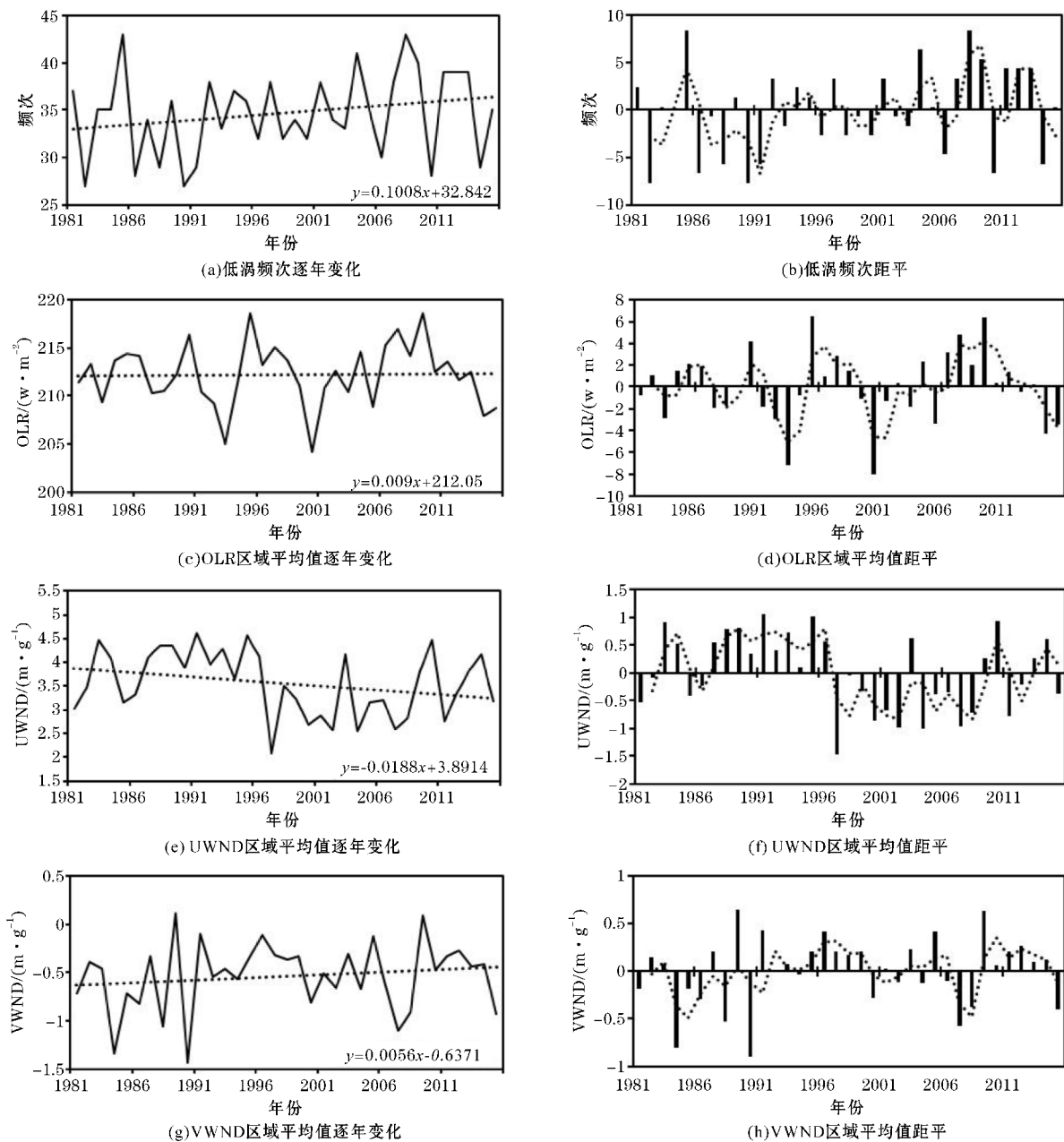


图 3 逐年变化及距平图

图4为频发时段内低涡频次、OLR及500 hPa经纬向风区域平均值的逐年时间序列小波变换的结果。从图4(a)可以看出,低涡频次存在多个尺度的周期变化特征,分别为准2 a、准4 a、准8~9 a和准13 a,其中准8~9 a振荡周期可视作一个准年代际的变化特征。结合小波方差贡献的分析结果,35年中以准2 a振荡周期最为显著,其次为准4 a周期。图4(b)反映了OLR逐年区域平均值的小波变换结果,从图中可以看出其存

在显著的准10~12 a周期变化特征,该周期信号在前15年内更多的表现为准年代际周期变化,从1995年开始,信号的时间周期尺度开始逐渐增加,此外OLR还存在一个准5 a的周期信号。500 hPa纬向风的小波变换结果显示其存在一个显著的准4 a周期尺度的变化特征,此外还存在一个较不明显的10 a准年代际变化周期。500 hPa经向风以准2 a变化周期最为显著,其次为准8 a的周期变化特征。

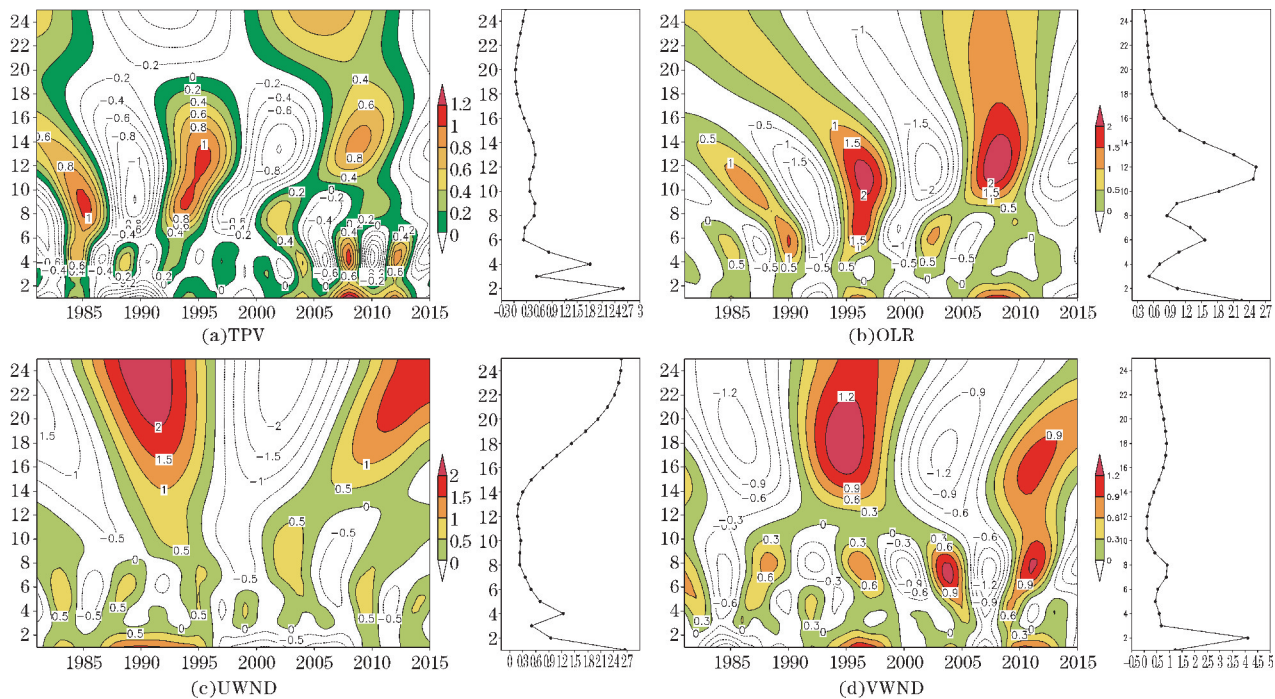


图4 逐年变化小波变换图

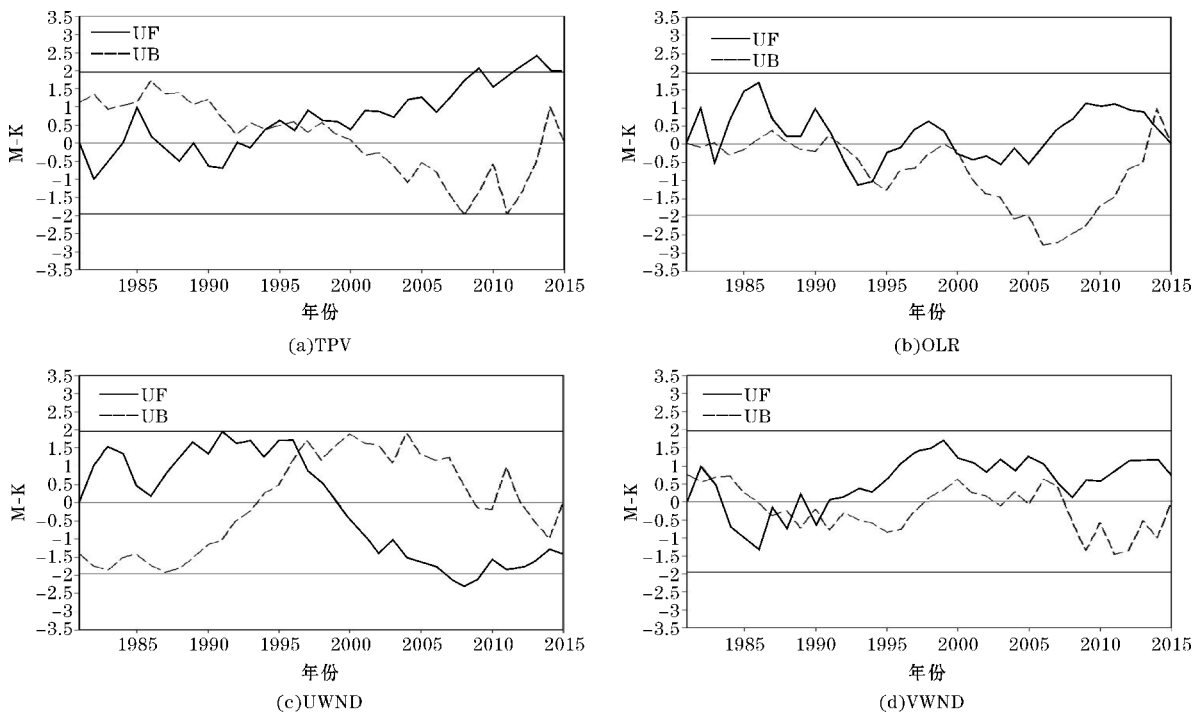


图5 逐年变化 M-K 统计量曲线图

为进一步分析频发时段内低涡频次及各物理量的逐年变化是否存在突变特征,采用 M-K 方法对其进行处理,所得结果如图 5 所示。从图 5(a)可以看到,低涡频次在 1982–1984 年呈减少的趋势,1985–1986 年转为增加,1987 年再次转为减少趋势并持续至 1993 年,1994 年再次转为增加趋势并持续至 2015 年,其中 2012–2014 年 UF 曲线向上超出+1.96 线,即通过显著性检验,表明在此期间低涡频次的增加趋势较为显著,同时 UF 和 UB 曲线在临界区内存在多个交点,综合判断低涡频次在 1996 年左右发生突变。图 5(b)OLR 的区域平均值 UF 统计量曲线呈波动变化,可以看出 OLR 的区域平均值在 1983 年、1992–1996 年和 2000–2006 年呈下降趋势,其余时间内则呈上升的趋势,其 UF 和 UB 曲线在临界区内存在多个交点,但 UF 曲线并未通过显著性检验,因此判断 OLR 的区域平均值在

35 年中未发生突变。从图 5(c)可以看到,500 hPa 纬向风区域平均值的 UF 曲线在 1982–1999 年均大于 0,而 2000–2015 年则始终位于 0 值线以下,说明在上述两个时段内 500 hPa 纬向风的区域平均值分别呈增大及减小趋势,其中 2007 年和 2008 年 UF 曲线向下超出 -1.96 线,表明在此期间减小趋势显著。UF 和 UB 曲线在临界区内相交于 1996 年附近,综合分析判断该点是一个可信的突变点,突变发生的时间在 1996 年附近。图 5(d)500 hPa 经向风区域平均值的 UF 曲线波动变化显示,1982–1983 年经向风风速呈增大的趋势,1984 年开始转为减小并持续至 1988 年,1989 年转为增大趋势,1990 年再次转为减小,1991 年转为增大趋势后一直保持该趋势并持续至 2015 年。UF 和 UB 曲线在临界区内同样存在多个交点,但 UF 统计量并未通过显著性检验,其在 35 年中没有发生突变。

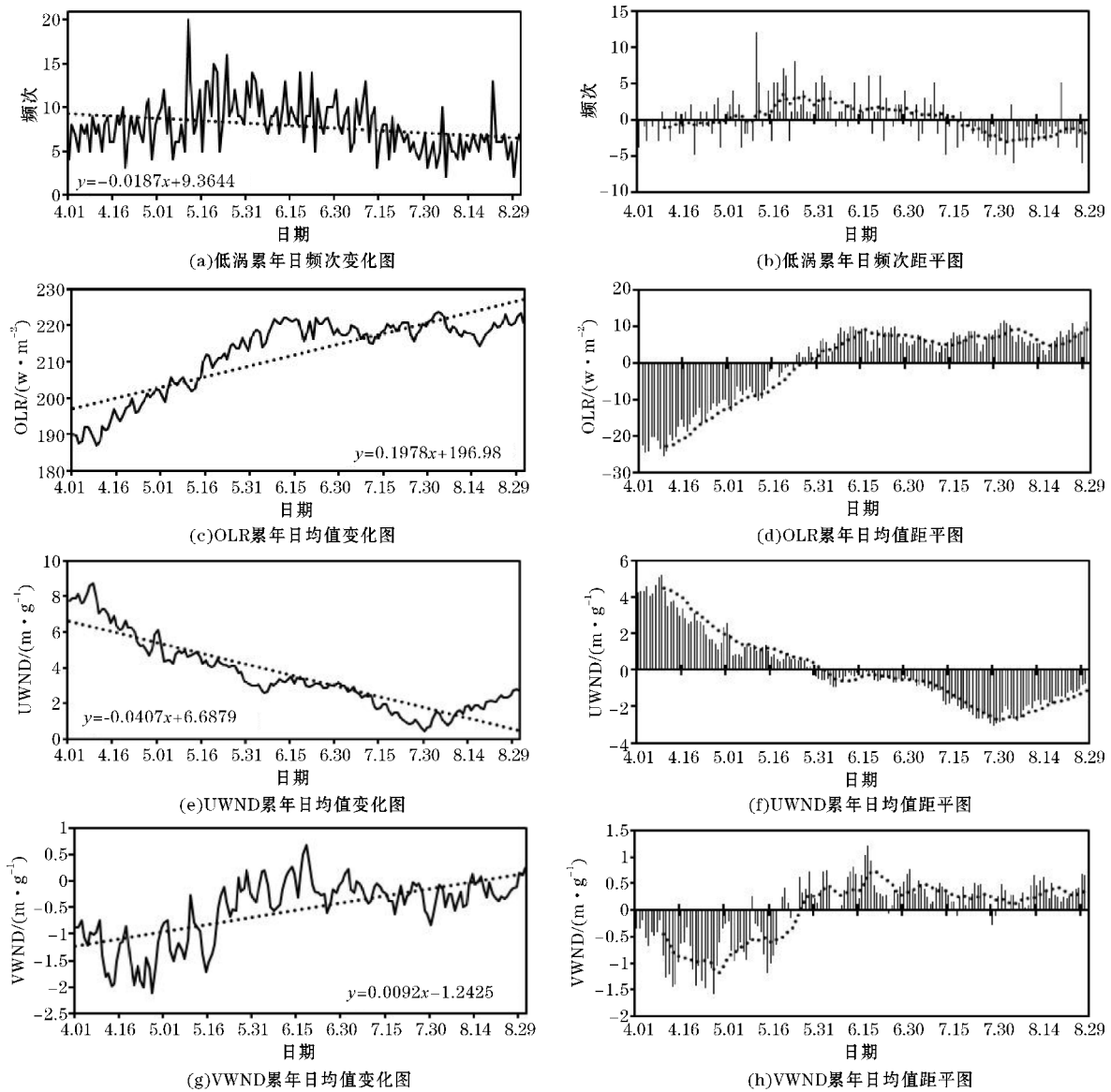


图 6 累年日变化及距平图

3.2 低频振荡特征

图6反映了1981-2015年4-8月低涡的累年日频次及OLR、500 hPa风场区域平均的累年日均值及其距平的分布情况。综合图6(a)、6(b)所反映的低涡累年日频次及其距平变化来看,其总体上呈波动减少的趋势,倾向率为 -0.2 个/10 d,低涡日累计频次最大值(20个)出现在5月上旬,最小值(2个)则分别出现在8月上旬和下旬,结合图6(b) 10 d滑动平均曲线可以看出,累年日频次的变化可大致分为“增加-减少”两个阶段,其中4月至6月初为增加阶段,而后转为减少阶段。4月正负距平交错出现,从5月开始至7月上旬以正距平分布为主,7月下旬至8月则多为负距平。从图6(c)所反映的OLR区域平均累年日均值逐日变化可以看出,其总体上呈明显的上升趋势,倾向率为 $2.0\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}/10\text{ d}$,OLR的区域平均累年日均值在4月至6月中旬期间快速上升,从6月中旬开始至8月底基本保持不变,变化较为平稳,结合图6(d)所反映的距平分布情况分析,4月至5月下旬均为负距平,5月底至6月初转为正距平分布并一直持续至8月底。图6(e)可以看出近35年4-8月高原500 hPa纬向风的区域平均累年日均值变化总体上呈明显的减小趋势,其变率为 $-0.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{ d}$,结合图6(f)的距平及10 d滑动平均线可以看出,4月和5月均为纬向风风速区域平均累年日均值的正距平,6月转为负距平分布并持续至8月底,4月至7月纬向风风速总体上呈

一致的下降趋势,在7月底8月初触底并开始回升。图6(g)和图6(f)分别反映了500 hPa经向风速区域平均累年日均值的逐日变化和距平分布情况。从图6(g)看出,500 hPa经向风区域平均风速的变率为 $0.09\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{ d}$,在低涡频发期内仍以北风分量为主,仅在6月中旬表现为南风分量,但北风分量总体上呈减小的趋势。从图6(h)可以看出,4月至5月中旬其距平值均为负,5月下旬开始转为正距平,根据10 d滑动平均线所反映的情况,4月中旬之前北风分量仍呈增大趋势,而后转为减小趋势并持续至6月中旬,之后总体上基本保持不变。

综合上述分析,在低涡频发时段内,OLR的区域平均值表现为上升的趋势,而西风与北风分量均呈减小趋势,以上3个物理量的区域平均值均在5月下旬至6月初左右发生正负距平的转换。

对低涡的累年日频次及OLR、500 hPa经纬向风的区域平均累年日均值时间序列进行小波变换(图7),以讨论其是否存在低频振荡特征。结果显示:低涡频次存在准55 d和准30 d的低频振荡信号,其中准55 d信号最为显著,并可视作一个准双月振荡特征,而准30 d周期则可视作月际振荡;OLR的区域平均值存在一个较为明显的准45 d周期振荡特征,此外还存在一个较不明显的准20 d周期变化;纬向风以准75 d周期信号最为显著,其次准45 d周期信号也较为明显;经向风分别存在准20 d和准10 d的低频振荡信号,二者共同反映出经向风的区域平均值表现为月内振荡。

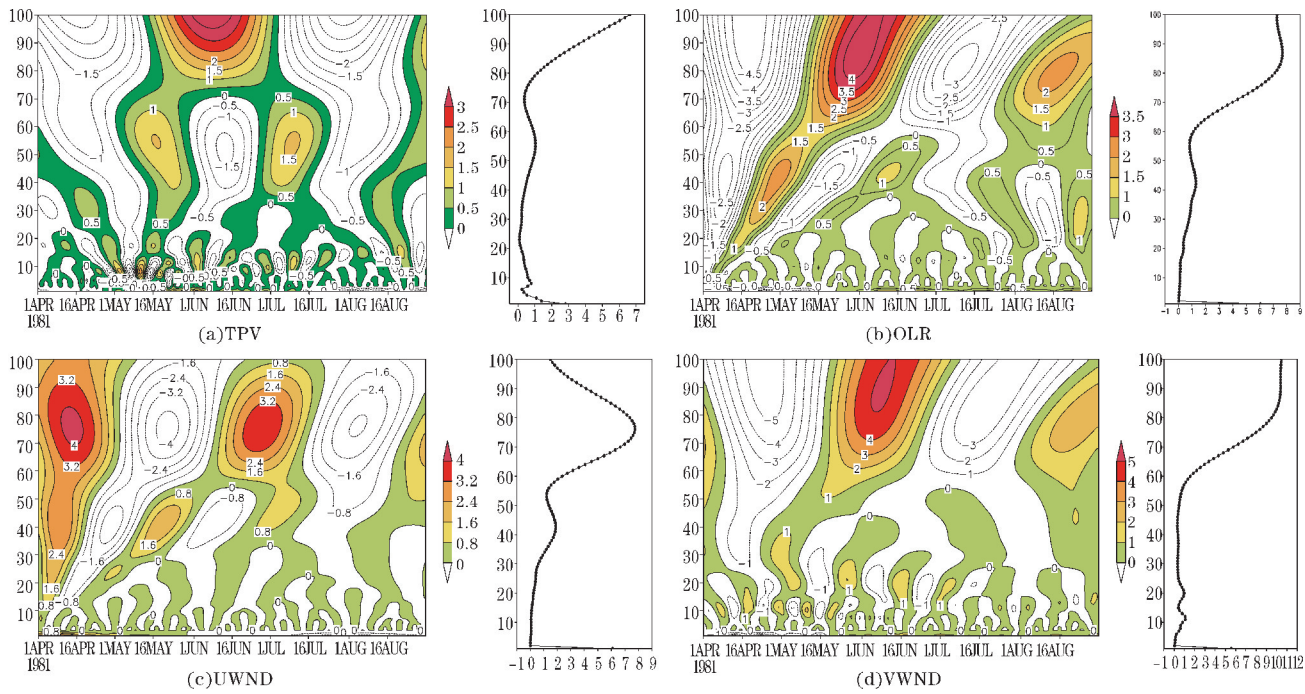


图7 累年日变化小波变换图

对 OLR 及500 hPa经纬向风的累年日均值采用 butterworth 带通滤波方法进行处理,并沿 34°N 和 90°N 展开经纬向剖面以讨论其低频振荡信号随时间的移动特征,其中34°N和90°E为确定的分析区域的

几何中心线。根据上面的分析结果,OLR 的滤波时间上下限分别为 10 ~ 30 d和 30 ~ 60 d,纬向风为 30 ~ 60 d和 60 ~ 90 d,经向风为 10 ~ 30 d。

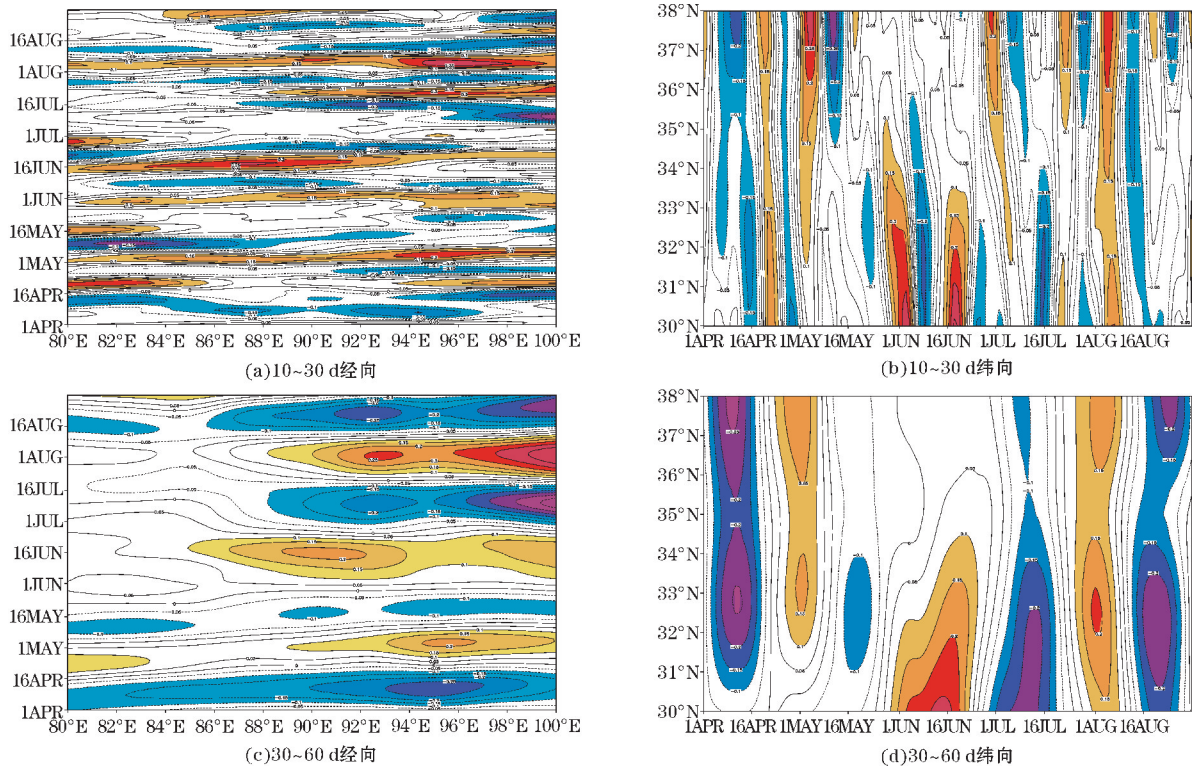


图8 OLR 累年日均值滤波图

图8为 OLR 累年日均值的滤波结果。10 ~ 30 d 的滤波结果显示(图8a;图8b),纬向上的信号中心在6月集中位于高原南部,在其余时段内高原南北均有分布,经向上高原东西部在各时段内均存在信号中心。信号中心在经向上的移动情况较为复杂,总的来说位于高原东部的信号中心在4月中旬至5月初和7月表现为向西移动的特征,8月转为东进;位于高原西部的信号中心在4月中旬至5月初和5月中旬至6月中旬呈东进特征,5月初至中旬和6月中旬至7月初表现为西退的移动特征。纬向上位于高原北部的信号中心基本不发生移动,南部信号中心则分别在4月和7月的下半月呈向南移动的趋势。从图8(c)和图8(d)可以看出,OLR 的30 ~ 60 d低频振荡信号中心在经向上集中分布于高原中、东部地区,纬向上同样在6月集中分布于高原南部,其余时段内南北均有分布。位于高原东部的信号中心在4月位于95°E附近,至6月中旬其位置移动至99°E以东,之后基本不发生位置移动;位于中部的信号中心在6月中旬至7月底呈明显的向东移动的趋势,在8月则略微西退。位于高原南部的

信号其中心位置从5月开始至6月中旬呈明显的向南移动的特征,而后从6月中旬开始至8月初转为向北移动,位于高原北部的信号中心位置则基本不发生移动。

500 hPa纬向风滤波信号如图9所示。从图9(a)和图9(b)中可以看出,纬向风30 ~ 60 d滤波信号中心在经向上位于高原中西部地区,4月至5月中旬表现为向西移动的特征,5月中旬至6月初转为向东移动,之后信号中心位置基本不变;在纬向上4月下旬开始至7月中旬信号中心从高原南部移动至高原北部,而后至8月初其位置略微南退。纬向风60 ~ 90 d振荡周期的信号中心位置如图9(c)和图9(d)所示,可以看出在经向上其信号中心位置基本位于88°E轴线上,其位置基本不变,而纬向上信号中心在整个4~8月呈明显向南移动的趋势。

经向风10 ~ 30 d的滤波信号(图略)显示,4~8月其信号中心在经向上呈较为一致的西退特征,而在纬向上不存在明显的移动特征。

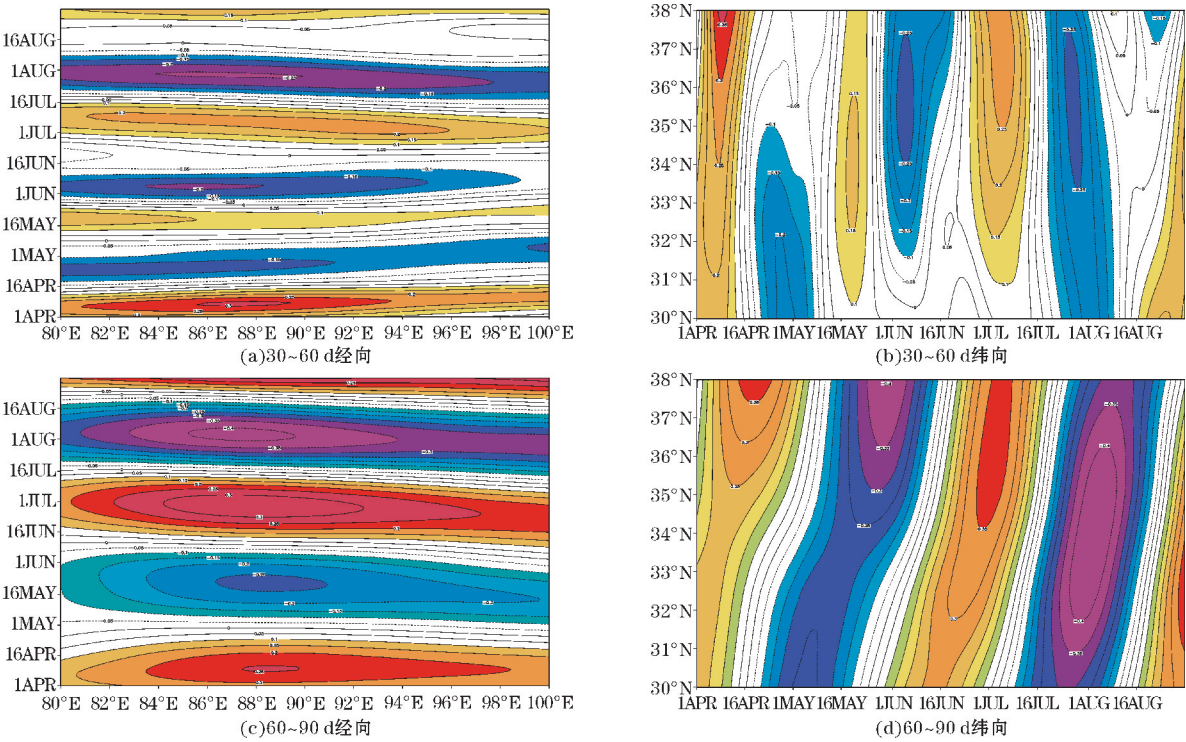


图9 UWND 累年日均值滤波图

4 低频振荡与低涡的联系

根据上文中的分析结果,低涡频次存在较明显的双月和月际变化特征,而 OLR 和500 hPa 纬向风区域平均值的累年日变化也存在准45 d的低频振荡周期,

因此对上述参量进行 30 ~ 60 d 的带通滤波处理,以讨论三者之间的联系。此外对低涡累年日频次及 OLR、500 hPa 经向风的区域平均累年日均值进行 10 ~ 30 d 的滤波处理,以讨论低涡频次的月内振荡与高原大气之间的联系。

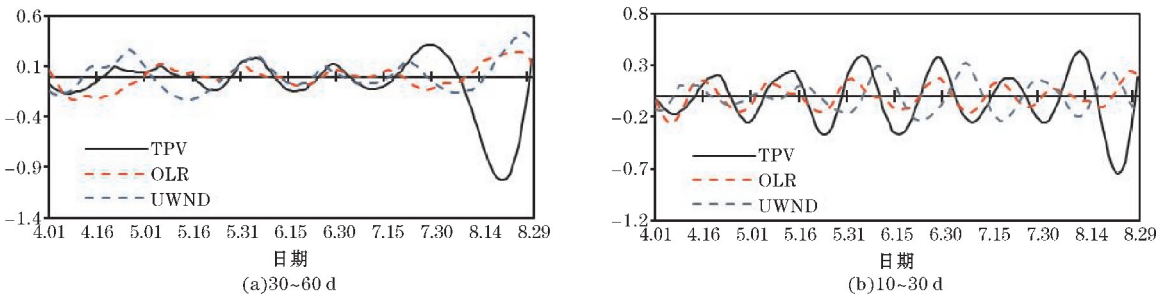


图10 滤波曲线合成图

图 10(a) 为低涡累年日频次与 OLR、500 hPa 纬向风区域平均累年日均值的 30 ~ 60 d 滤波曲线合成图。从图中可以看出,4 月至 7 月中旬,三者的滤波曲线存在大致相同的升降变化趋势,正负位相的分布时段基本重合,即当 OLR 和纬向风的区域平均值呈上升趋势时,低涡频次同样表现为增加的趋势,反之亦然,该特征尤以在 5 月中旬至 7 月中旬最为显著。相关系数的计算结果显示,4 月至 7 月中旬期间,低涡频次滤波值与 OLR、纬向风区域平均滤波值的相关系数分别为 0.5 和 0.6,均呈显著的正相关性。而在 7 月中旬至 8 月底,低涡频次的滤波曲线与 OLR 和纬向风滤波曲线

则转为反向变化,相关系数分别为-0.9 和-0.4,低涡频次与 OLR 区域平均的滤波值呈高度负相关,与纬向风的区域平均滤波值呈低度负相关。从图 10(b) 可以看出,低涡频次与 OLR 区域平均累年日均值的 10 ~ 30 d 滤波曲线同样在 4 月至 7 月中旬存在大致相同的升降趋势和正负位相分布,期间二者呈高度的正相关性,相关系数为 0.8,8 月转为反向变化,呈低度负相关,相关系数为-0.3。4-8 月经向风区域平均累年日均值的 10 ~ 30 d 滤波曲线与低涡频次滤波曲线均呈大致相反的升降趋势,相关系数为-0.4,为低度负相关,7-8 月这种特征表现的更加明显,相关系数为

-0.7,呈显著的负相关性。

综合上述分析结果可以得出,低涡的发生频次与大气的低频振荡存在较为密切的联系,具体表现为与 500 hPa 经向风呈一致的负相关性,与 OLR 和 500 hPa 纬向风在大部分时间内呈正相关,从 7 月中下旬开始至 8 月底转为负相关性,而造成这种转变的具体原因有待进一步的研究解释。

同样根据低频振荡周期,考察低涡源地的逐(双)月位置变化情况,并结合上文中所分析的 OLR 与 500 hPa 纬向风 30~60 d 滤波信号中心移动特征来讨论它们之间的联系。

对低涡首次出现位置的经纬度进行插值,插值精度为 $0.5^{\circ}\times0.5^{\circ}$,并统计各格点上出现的低涡累年日频次,绘制频发时段内低涡源地的逐月分布情况,结果如图 11 所示,其中图 11a~(e) 分别为 4~8 月低涡源地分布图。从图中可以看出,各月低涡的主要源地均位于高原西北部($85^{\circ}\text{E}\sim91^{\circ}\text{E}$, $33^{\circ}\text{N}\sim36^{\circ}\text{N}$),其中

心位置没有发生较大的变动。通过上文中的分析可知,OLR 的 30~60 d 滤波信号中心主要位于高原中、东部及南部,因此其移动规律不能较好的与低涡源地位置相联系,而纬向风 30~60 d 滤波信号中心的分布位置则能与之较好对应。分析低涡源地的逐月变化情况可以看出,相较于 4 月(图 11a)而言,5 月(图 11b)出现在主要区域西部和南部的低涡次数相对增多,对应纬向风滤波信号在相同时段内的西退和向南移动趋势;6 月(图 11c)低涡源地的分布情况相较于 5 月表现为南部次数减少而东部增多,7 月(图 11d)相较于 6 月表现为同样的特征,同样对应纬向风滤波信号中心的东进和北移;8 月(图 11e)相较于 7 月的变化主要体现在整体频次的减少上,其位置并没有出现较大变动,也与纬向风的滤波信号移动特征类似。低涡源地的双月变化(图略)存在与其逐月变化类似的特征。以上分析说明 500 hPa 纬向风滤波信号中心的移动规律对低涡频次的空间分布变化有着较好的指示意义。

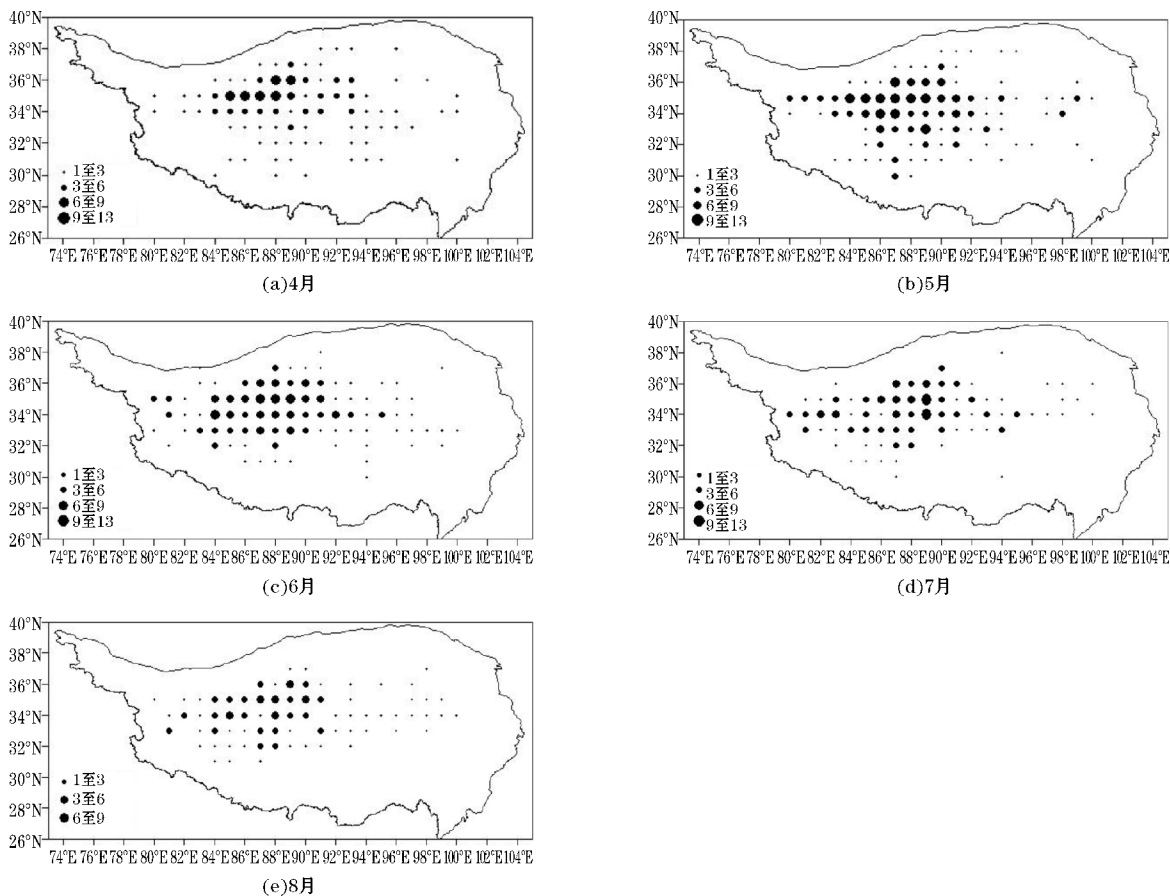


图 11 低涡源地逐月分布图

5 结论

分析和讨论了 1981-2015 年 4-8 月高原低涡频次与 OLR、500 hPa 经纬向风场的气候变化与低频振荡

特征,并初步探讨了低涡频次与大气低频振荡之间的联系,结论如下:

(1) 1981-2015 年高原低涡的主要活跃时段为每年的 4-8 月,绝大部分低涡的首次出现位置位于 ($80^{\circ}\text{E}\sim100^{\circ}\text{E}$, $30^{\circ}\text{N}\sim38^{\circ}\text{N}$)。在此时空范围内 35

年累计出现低涡 1194 个,年均出现 34.1 个,1985 年和 2008 年的低涡频次最多,为 43 个,1982 年和 1990 年最少,仅为 27 个。低涡频次的逐年变化呈波动增加的趋势,气候倾向率为 1.0 个/ 10 a,以准 2 a 和 4 a 周期最为显著,在 1996 年左右发生突变。频发时段内低涡频次的累年日变化呈减少的趋势,变率为 -0.2 个/ 10 d,存在准 55 d 和准 30 d 的低频振荡。

(2) 近 35 年 4–8 月 OLR 的区域平均值为 $212.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,其逐年波动较为剧烈,但总体上其气候倾向率接近 0,最高值为 $218.7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,出现在 1995 年,最低值为 $204.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,出现在 2000 年。OLR 逐年区域平均值存在准 10–12 a 和准 5 a 变化周期,35 年中不存在显著的突变。其累年日均值呈明显的上升趋势,变率为 $2.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}/10 \text{ d}$,存在准 45 d 和准 20 d 低频振荡,其距平值呈“前负后正”分布,在 5 月底发生正负转换。10~30 d 的滤波信号中心在不同时段内存在东进或西退的移动特征,位于高原南部的信号中心在纬向上存在向南移动的趋势,30~60 d 滤波信号中心在经向上以向东移动为主,纬向上在 5 月初至 6 月中旬存在明显的向南移动趋势。

(3) 1981–2015 年 4–8 月 500 hPa 纬向风的区域平均风速为 $3.56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,其逐年变化呈减小趋势,气候变率为 $-0.19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ a}$,最大值出现在 1991 年为 $4.61 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,最小值出现在 1997 年仅为 $2.08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。其逐年区域平均值存在准 4 a 和准 10 a 变化周期,在 1996 年左右发生突变。纬向风区域平均的累年日均值呈减小趋势,变率为 $-0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ d}$,存在准 75 d 和准 45 d 的低频振荡周期,其距平值呈“前正后负”分布,在 6 月初发生正负转换。纬向风 30~60 d 滤波信号中心在 4 月至 5 月中旬呈西退的移动特征,纬向上以向北移动为主,60~90 d 信号中心不存在东西方向上的移动特征,在纬向上则表现为明显的向南移动趋势。

(4) 35 年低涡频发时段内 500 hPa 经向风的区域平均风速为 $-0.54 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,气候倾向率为 $0.06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ a}$,绝大多数年份总体呈北风分量,北风分量的最大值 ($-1.43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) 出现在 1990 年,其逐年变化以 2 a 周期最为显著,其次为准 8 a 周期,35 年中没有发生突变。累年日变化呈北风分量减小的趋势,变率为 $0.09 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ d}$,存在准 20 d 和准 10 d 的月内低频振荡特征,其距平值表现为“前负后正”的分布,正负转变发生在 5 月下旬。10~30 d 滤波信号中心在经向上呈较为一致的西退特征,而在纬向上不存在明显的移动特征。

(5) 低涡的发生频次与大气的低频振荡存在较为密切的联系。在低涡频发时段内,低涡频次与 500 hPa 经向风区域平均累年日均值的 10~30 d 滤波曲线在同一时段内滤波位相相反,统计结果显示二者相关系

数为 -0.4 ,即呈较弱的负相关性,表明当低涡频次呈增加趋势时经向风区域平均累年日均值呈减小趋势,反之亦然,该特征在 7–8 月表现尤为显著,其相关系数高达 -0.7 ,呈显著负相关;低涡频次与 500 hPa 纬向风区域平均累年日均值的 30~60 d 滤波曲线在 4 月至 7 月中旬基本呈同位相分布,二者相关系数为 0.6 ,为显著正相关,7 月中下旬开始转为反位相分布,相关系数为 -0.4 ,表现为较弱的负相关性;低涡频次与 OLR 的 10~30 d 和 30~60 d 滤波曲线同样在 4 月至 7 月中旬表现为同位相分布,相关系数分别为 0.8 和 0.5 ,呈高度或显著正相关性,7 月中旬至 8 月底转为负相关,相关系数为 -0.3 和 -0.9 ,二者的 30~60 d 滤波值在 7 月中旬至 8 月呈高度负相关性。500 hPa 纬向风 30~60 d 滤波信号中心的移动对低涡频次的空间分布变化有着较好的指示意义,当其中心位置发生移动时,位于低涡主要分布区域周围对应方向上的低涡频次呈增加的趋势,相反方向则相应减少。

参考文献:

- [1] 郑庆林,王三杉,张朝林,等. 青藏高原动力和热力作用对热带大气环流影响的数值研究[J]. 高原气象,2001(1):14–21.
- [2] 范广洲,程国栋. 青藏高原隆升对西北干旱气候形成影响的模拟(II):水汽收支及高原动力、热力作用的影响[J]. 高原气象,2003(S1):58–66.
- [3] 徐飞亚,纪立人. 夏季青藏高原动力和热力的强迫定常扰动[J]. 大气科学,1985:(4)331–339.
- [4] 郑庆林,梁丰. 青藏高原动力和热力作用对季节转换期全球大气环流影响的数值研究[J]. 热带气象学报,1999(3):56–66.
- [5] 乔钰,周顺武,马悦,等. 青藏高原的动力作用及其对中国天气气候的影响[J]. 气象科技,2014(6):1039–1046.
- [6] 王同美,吴国雄,万日金. 青藏高原的热力和动力作用对亚洲季风区环流的影响[J]. 高原气象,2008(1):1–9.
- [7] 徐国强,朱乾根. 大气低频振荡研究回顾与概述[J]. 气象科技,2003(4):193–200.
- [8] Madden R D, Julian P. Detection of a 40~50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific[J]. J Atmos Sci,1971,28(5):702–708.
- [9] Madden R D, Julian P. Detection of global scale circulation cells in the tropics with 40~50 day period[J]. J Atmos Sci,1972,29(6):1109–1123.
- [10] 章基嘉,孙国武,陈葆德. 青藏高原大气低频变化的研究[M]. 北京:气象出版社,1991:1–50.
- [11] 孙国武,陈葆德. 青藏高原上空大气低频波的

- 振荡及其经向传播[J]. 大气科学, 1988(3): 250-256.
- [12] 孙国武, 陈葆德. 青藏高原大气低频振荡与低涡群发性的研究[J]. 大气科学, 1994, 8(1): 113-121.
- [13] 谢安, 叶谦. OLR 低频振荡与西太平洋台风活动的探讨[J]. 气象, 1987(10): 8-13.
- [14] 郁淑华, 高文良, 彭骏. 青藏高原低涡活动对降水影响的统计分析[J]. 高原气象, 2012(3): 592-604.
- [15] 王跃男, 陈隆勋, 何金海, 等. 夏季青藏高原热源低频振荡对我国东部降水的影响[J]. 应用气象学报, 2009(4): 419-427.
- [16] 何光碧, 高文良, 屠妮妮. 2000-2007 年夏季青藏高原低涡切变线观测事实分析[J]. 高原气象, 2009, 28(2): 549-555.
- [17] 王伏村, 付双喜, 张德玉, 等. 一次引发河西走廊大暴雨的高原低涡的机制分析[J]. 气象, 2014(4): 412-423.
- [18] 王鑫, 李跃清, 郁淑华, 等. 青藏高原低涡活动的统计研究[J]. 高原气象, 2009(1): 64-71.
- [19] 李江萍, 王式功, 孙国武. 高原低涡研究的回顾与展望[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2012, 48(4): 53-71.
- [20] 刘晓冉, 李国平. 青藏高原低涡研究的回顾与展望[J]. 干旱气象, 2006(1): 60-66.
- [21] 陈功, 李国平. 夏季青藏高原低涡的切向流场及波动特征分析[J]. 气象学报, 2011(6): 956-963.
- [22] 青藏高原低值系统会战组. 盛夏青藏高原低值系统[J]. 气象, 1977, 3(9): 4-7.
- [23] 张鹏飞, 李国平, 王旻燕, 等. 青藏高原低涡群发性和 10~30 天大气低频振荡关系的初步研究[J]. 高原气象, 2010(5): 1102-1110.
- [24] 陈伯民, 钱正安, 张立盛. 夏季青藏高原低涡形成和发展的数值模拟[J]. 大气科学, 1996(4): 491-502.
- [25] 唐信英, 周长艳, 王鸽. 青藏高原低涡活动特征统计分析[J]. 高原山地气象研究, 2014(3): 41-44.
- [26] 柳苗, 李栋梁. 青藏高原东部雨季 OLR 与降水变化特征及相关分析[J]. 高原气象, 2007(2): 249-256.
- [27] 刘德富, 康春丽. 地球长波辐射(OLR)遥感与重大自然灾害预测[J]. 地学前缘, 2003(2): 427.

Climate Change and Low-frequency Signal Characteristics of Plateau Vortex, OLR and Wind Fields

YUAN Zhen, XIAO Tian-gui

(College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: In order to further discuss the basic situations and relations between plateau vortex and plateau atmosphere, the characteristics of climate change and low frequency oscillation are analyzed by the statistics of the low vortex frequency and the OLR and 500hPa wind field of the 1981-2015 years. Moreover, the relationships between the frequency of the plateau vortex and the other three's low frequency signals are also discussed. The results are showed as follows: The plateau vortex is active from April to August. The frequency of the plateau vortex has an increasing trend, which has significant oscillations of 2 a and 4 a and low frequency oscillations of 55 d and 20 d. In the active period of plateau vortex, the average value of OLR is $212.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, there is a significant 10-12 a change cycle and low frequency oscillation of 45 d and 20 d in OLR. The filter centers exist moving characteristics of eastward or westward movement, and southward movement at latitude. The mean value of the 500 hPa zonal wind is $3.56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, and the trend of the zonal wind has a decreasing trend in annual and daily change. The change has variation periods of 4 a and 10 a and the low frequency oscillation periods of 75 d and 45 d. The filtering signal centers of 30-60 d is mainly moving westward and northward, and the 60-90 d filter signal centers have a tendency to move southward. The north wind component is the main component of the of 500 hPa meridional wind and 500 hPa meridional wind has a 4 a variation period and 10-20 d low frequency oscillation. The mutations of annual variation of the vortex frequency and the zonal wind mean value of 500 hPa both exist in 1996. The low vortex frequency is closely related to the low frequency oscillations of the atmosphere, it is negatively correlated with the 500 hPa meridional wind, especially in 7-8 months. The low vortex frequency has a significant positive correlation with the OLR and 500 hPa zonal wind from April to mid July and turns negative correlation from mid July to August, which is highly negatively correlated with the OLR 30-60 d filtering signal. The movement of 500 hPa zonal wind filtering signal centers can better correspond to the spatial distribution of low vortex frequency.

Keywords: atmospheric science; climate change; low-frequency signal; plateau vortex; OLR; wind field