

文章编号: 2096-1618(2018)01-0068-10

东亚副热带西风急流年际变化特征分析

廖琦¹, 肖天贵¹, 金荣花²

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 国家气象中心, 北京 100081)

摘要:为了研究东亚副热带地区西风急流随季节变化的急流轴、急流中心以及急流强度的年际变化特征, 定义了西风急流位置指数和随季节变化不同区域的急流强度指数, 进行数据标准化及小波能量频谱分析处理以便进一步分析其周期变化特征。研究表明: 春季和冬季北半球副热带地区稳定存在一个急流带, 副热带西风急流强度在夏季最弱, 冬季最强。随着年际变化, 春季急流轴南移, 其他季节急流轴北移, 冬季北移最显著; 冬季急流中心西移, 其他季节东移, 秋季移动幅度最大; 春季急流强度增强, 夏季和秋季急流强度减弱, 冬季急流强度稳定强盛。

关键词: 大气科学; 大气环流; 西风急流; 急流轴; 急流强度

中图分类号: P434

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2018.01.013

0 引言

东亚副热带西风急流是指200 hPa附近的东亚副热带地区的狭窄而又强烈的西风带, 随季节变化具有显著的北跳或者南退。东亚副热带西风急流气候变化与东亚西风急流的位置与强度变化有密切关系, 是东亚-太平洋地区重要的大气环流系统之一^[1-2]。东亚高空锋区的扰动及其风暴的生成与发展随之带来的降水通常与西风急流相对应, 西风急流强度变化及位置的南北移动与中国大部分地区雨季的始末相关^[3]。

葛明等^[4]指出, 低空急流与高空急流为气旋及中尺度扰动的形成提供了必要条件和环境场。徐海明等^[5]指出东亚高空急流轴的倾斜及走向变化对急流出口处右侧辐散场及降水的形成有很大作用。王小曼等^[6]研究表明, 高空急流与梅雨及暴雨密切相关。周兵等^[7]发现, 高空西风急流的增强(减弱)使得低空急流所产生的暴雨强度加强(减弱), 并且暴雨中心的位置较为偏南(偏北)。叶笃正等^[8]指出“季节突变”现象的特征主要是200 hPa高空西风急流位置的南北的跳跃, 10月份, 西风急流由35°N以北南跳到30°N, 北半球大气环流型由夏季型转为冬季型, 次年6月份, 西风急流的位置会迅速从30°N左右北跳到35°N以北的位置, 此时北半球大气环流型又由冬季型转为夏季型。李崇银等^[9]指出高空西风急流的两次北跳与亚洲南部的高层经向温度梯度两次逆转有明显的关系。第一次东亚高空急流的北跳发生在5月8日前后; 第二次东亚高空急流的北

跳发生在6月7日前后, 比江淮梅雨(开始时间为6月18日前后)提前了10天左右。

Kuang等^[10]指出在不同经度上东亚副热带高空西风急流轴从春到夏季发生的季节性北移表现了不同的特征, 但是冬季却稳定少变。廖清海等^[11]研究了夏季东亚副热带西风急流位置南北移动的年际变化特征以及造成的影响和其可能的形成原因。Lu^[12]和Lin等^[13]指出东亚副热带西风急流在夏季及季节内的位置南北变化和西太平洋副热带高压、南亚高压以及西太平洋对流的相关关系。况雪源等^[14]指出东亚副热带西风急流异常偏北(偏南)时, 南亚高压偏弱(偏强), 位置偏北偏西(偏南偏冬), 呈伊朗高压型(青藏高压型); 西太副高偏弱(偏强)、位置偏东偏北(偏西偏南)。刘生元等^[15]研究指出沙尘暴发生总站日数年际变化特征与中国春季急流中心, 急流轴变化呈显著负相关。邵鹏程等^[16]指出当夏季西风急流中心异常偏东(西)时, 黄河流域中下游地区降水偏少(多), 上游降水偏多(少), 当急流中心异常偏北(南)时, 黄河流域下游降水偏少(多), 中上游地区降水偏多(少)。李雪等^[17]指出200 hPa高空西风急流的强度和位置变化与春季中国北方沙尘暴出现的频率和数量密切相关。Ambrizzi等^[18]指出北半球夏季的一个波导为高空西风急流。Terao^[19-21]指出北半球夏季中纬度地区的季节变化的相关模态在一定程度上被亚洲高空西风急流上的Rossby波的相关活动控制着。

综合以往文献对副热带西风急流相关的研究发现, 由于以往关于东亚副热带西风急流随季节变化的各个参数的整体研究较为少, 为了整体对东亚副热带高空西风急流一年四季各个参数的年际变化特征进行

收稿日期: 2017-10-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(91337215, 41575066); 国家科技支撑计划资助项目(2015BAC03B05); 公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY201406015)

具体分析,所研究参数主要分为急流轴,急流中心以及急流强度,研究它们随季节变化发生的一系列变化特征,以及对比不同季节各个参数之间的联系与发展,深入对它们进行小波能量频谱分析,进一步分析其周期变化特征。

1 资料和方法

1.1 资料

使用的分析资料为美国 NCEP/ NCAR 提供的再分析的全球月平均资料(1960–2016 年),时间尺度为 57 年,主要为 200 hPa 纬向风($uwnd$ 、 $vwnd$)资料,以及月平均风速($wspd$)资料,网格水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$,文中关于冬季的定义为当年的 12 月至次年的 2 月,共 3 个月,例如:2015 年的冬季指的是 2015 年 12 月–2016 年 2 月。

1.2 研究方法

首先对北半球 200 hPa 纬向风的季节平均值进行计算,整体分析北半球的副热带西风急流的气候平均态特征,然后具体针对东亚副热带地区的急流轴,急流中心,急流强度进行分析研究。

同时,使用急流轴的概念来表示急流的南北位置。急流轴的位置定义为任一经度上纬向风极大值所在的位置,以此定义西风急流位置指数为在经向方向选取纬向风极大值所对应的纬度,然后对东亚地区($70^\circ\text{E} \sim 150^\circ\text{E}$)的这个区域进行平均。根据魏林波^[22]等对急流中心的计算方法,即选取 $0^\circ\text{N} \sim 60^\circ\text{N}$, $40^\circ\text{E} \sim 180^\circ\text{E}$ 的 200 hPa 西风风速最大值所在的位置作为西风急流中心。根据 1960 年至 2016 年东亚副热带西风急流的极大值所处的位置、平均值和频次进行统计计算,根据统计特征定义东亚副热带西风急流的强度指数分别春季($27.5^\circ\text{N} \sim 37.5^\circ\text{N}$, $120^\circ\text{E} \sim 160^\circ\text{E}$),夏季($35^\circ\text{N} \sim 45^\circ\text{N}$, $50^\circ\text{E} \sim 105^\circ\text{E}$),秋季($32.5^\circ\text{N} \sim 47.5^\circ\text{N}$, $110^\circ\text{E} \sim 165^\circ\text{E}$),冬季($30^\circ\text{N} \sim 35^\circ\text{N}$, $130^\circ\text{E} \sim 157.5^\circ\text{E}$)区域内 200 hPa 各个季节的纬向风平均值的标准化值。当强度指数大于(小于)1 时,西风急流强度异常偏高(偏低)。

并且对上述急流轴、急流中心、急流强度年际变化进行分析,进一步分析其周期变化特征。

2 东亚副热带西风急流年际变化特征

2.1 东亚副热带西风急流多年平均气候特征

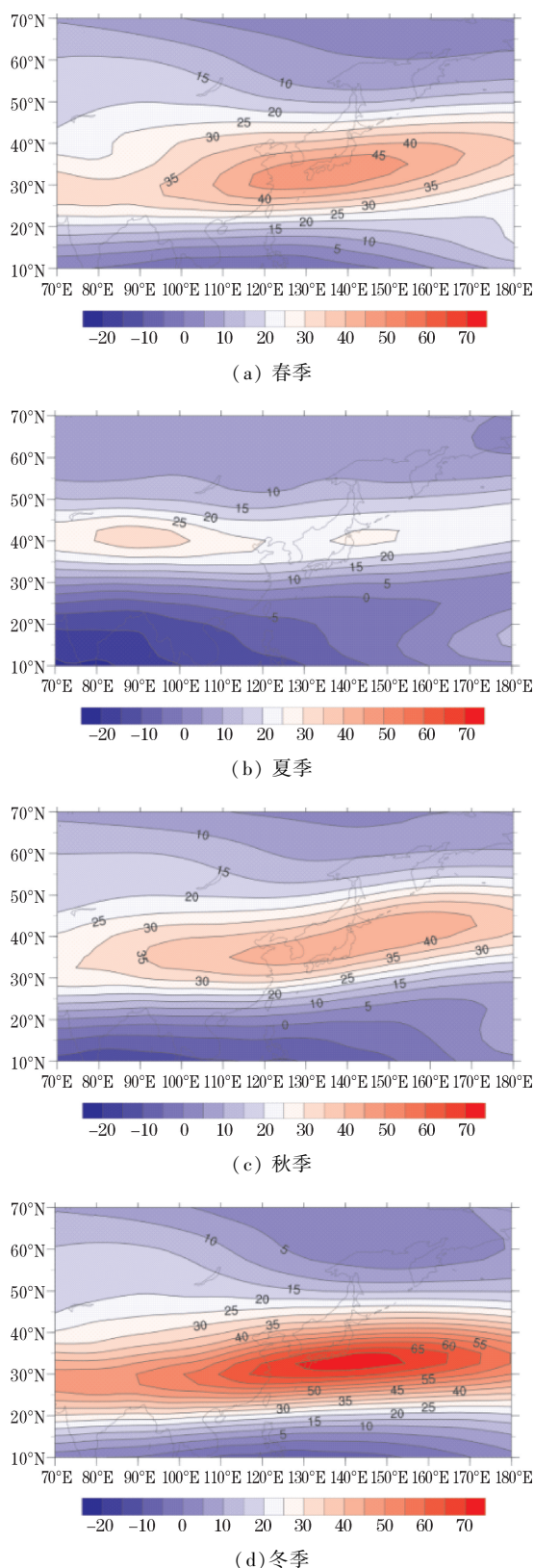


图 1 200 hPa 东亚副热带纬向风气候平均

根据朱乾根等^[23]提出的高空西风急流的定义是指 200 hPa 对流层上层的一股强而窄的气流带,并且急流中心的最大风速 ≥ 30 m/s,其中心长轴就是急流轴。图 1 为东亚副热带 1960–2016 年 200 hPa 纬向风多年平均图,从图 1(a)可以看出:从 1960–2016 年春季东

亚副热带西风急流轴线平均位于 31°N , 纬向风速大于 30 m/s 的西风急流带的纬度跨度较大, 急流面积较大, 急流中心位于南北纬 $25^{\circ}\text{N} \sim 45^{\circ}\text{N}$, 在日本岛附近有一个极大值中心 ($30^{\circ}\text{N} \sim 38^{\circ}\text{N}, 116^{\circ}\text{E} \sim 158^{\circ}\text{E}$), 中心风速值达到 45 m/s 以上; 从图 1(b) 可以看出: 夏季东亚副热带西风急流的位置北移, 其急流轴位于 40°N 附近, 并且急流强度明显比春季弱, 急流中心向西, 向北移动到了新疆地区 ($40^{\circ}\text{N} \sim 44^{\circ}\text{N}, 80^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$), 并且位置位于最北, 以及最西, 强度为全年最弱; 从图 1(c) 可以看出: 秋季东亚副热带西风急流的急流中心位置向东移动, 急流强度逐渐增强, 急流面积也增大, 急流轴位于 35°N 附近, 急流区中有一个中心风速大于 40 m/s 的大值区, 其位置大致与急流轴线走向位置一致, 横跨经度范围较大, 具体位于 ($33^{\circ}\text{N} \sim 45^{\circ}\text{N}, 110^{\circ}\text{E} \sim 170^{\circ}\text{E}$); 从图 1(d) 可以看出: 冬季副热带西风急流位置继续向南移动, 急流强度达到全年最强, 位置最为偏南, 沿着急流轴线移动的风速均大于 45 m/s , 在日本

岛南部有一个极大值中心 ($30^{\circ}\text{N} \sim 35^{\circ}\text{N}, 130^{\circ}\text{E} \sim 155^{\circ}\text{E}$), 中心风速大于 70 m/s 。

为分析东亚副热带西风急流区的风场强度的变化幅度特征, 图 2 为 1960–2016 年 200 hPa 纬向风标准差的季节变化图, 从图中可以看出: 春季标准差大值区几乎位于整个东亚副热带地区, 并且在中国的长江中下游一带向东延伸到太平洋的中北部标准差达到了 4 m/s 以上, 太平洋中北部地区中心标准差达到了 6 m/s , 表示在这片区域的西风急流的强度扰动存在较大的变率; 夏季和秋季急流标准差的大值区域均集中在 90°E 以东, 180°E 以西之间, 并且夏季在中国东北部的黑龙江地区标准差达到了 4 m/s 以上, 秋季太平洋中北部标准差达到了 5 m/s 以上; 冬季东亚副热带地区均为明显的标准差大值区, 且数值最大, 在中国的山东和山西标准差达到了 5 m/s , 太平洋中北部地区中心标准差达到全年最盛时期为 7 m/s 以上。

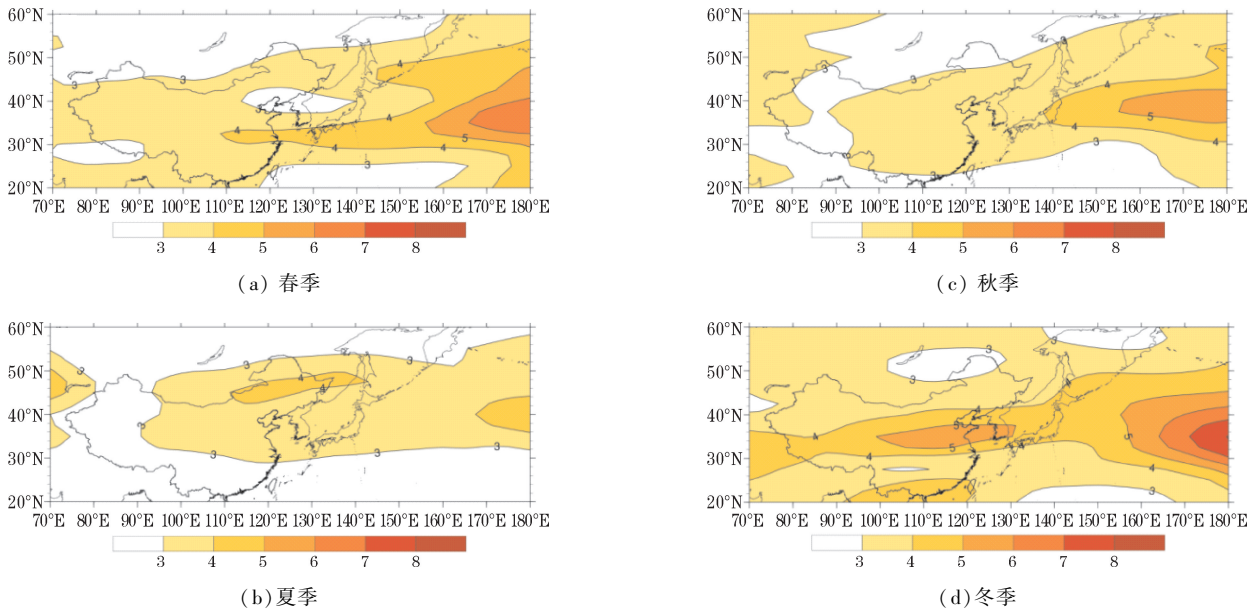


图 2 200 hPa 春季纬向风标准差(单位: m/s)

2.2 东亚副热带西风急流轴年际变化特征

为进一步分析急流轴的年代变化特征, 图 3 为 1960–2016 年东亚副热带西风急流轴所在的平均纬度图, 可以看出: 2 月底至 3 月初急流轴位置最为偏南, 大致位于 28°N , 从春季的 3 月开始急流轴逐渐有向北移动的趋势, 到了 4 月北移速度明显增强, 急流轴在八月达到位置最北, 大致位于 43°N , 之后急流轴又开始迅速向南移动, 进入冬季急流轴位置最为偏南, 整体而言, 从 1–12 月急流轴位置整体北移。

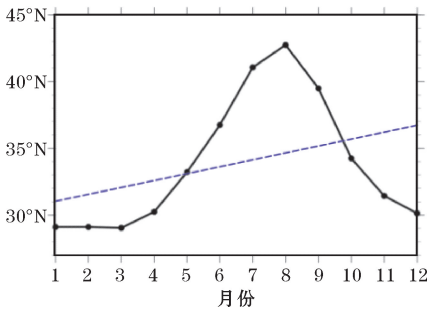
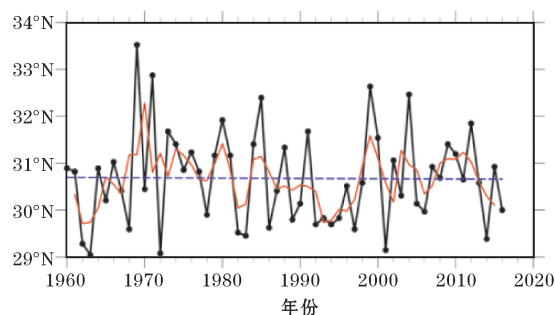


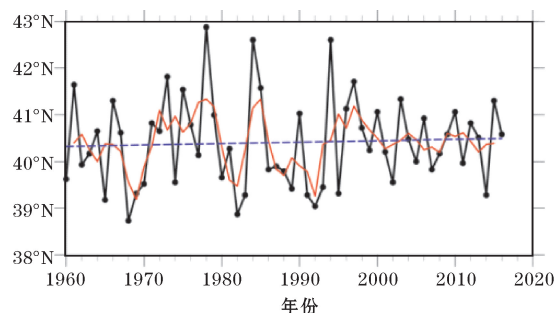
图 3 1960–2016 年急流轴平均纬度的逐月变化 (蓝色虚线为线性回归)

具体分析各个季节的急流轴位置变化特征, 图 4 为春、夏、秋、冬四季东亚副热带西风急流轴线的年际

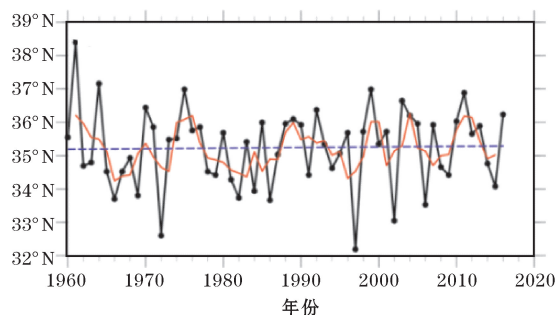
变化图,从图 4(a)可以看出:春季在 20 世纪 60 年代急流轴的位置较为偏南,进入 70 年代急流轴向北移动,80–90 年代中期急流轴位置又向南移动,90 年代后期到 21 世纪 00 年代急流轴向北移动,并且在 1964 年、1972 年、2001 年急流位置最为偏南,到达了 29°N 附近,在 1969 年急流轴位置最为偏北,大致位于 33.5°N 附近,其次在 1971 年急流轴的位置位于 33°N 附近,整体而言,春季急流轴位置随着年代变化有逐渐偏南的趋势,南北波动在 5 个纬度之间。



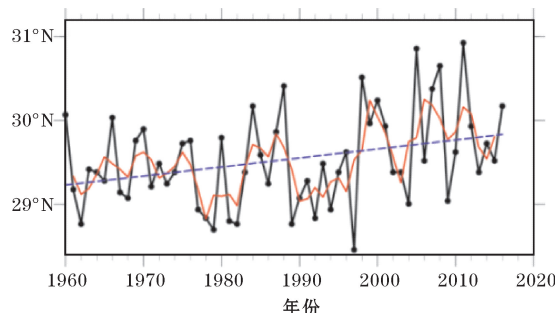
(a) 春季



(b) 夏季



(c) 秋季



(d) 冬季

图 4 急流轴平均纬度的年际变化

(红色实线为 3 点滑动平均,蓝色虚线为线性回归)

从图 4(b)可以看出:夏季在 20 世纪 60 年代急流轴的位置偏南,70 年代急流轴位置偏北,80 年代急流轴又重新向南移动,其位置偏南,90 年代急流轴位置整体略为偏北,进入 21 世纪后急流轴位置在南北之间逐年波动,大致呈现准 3 年的周期变化特征,并且在 1978 年、1984 年以及 1994 年急流轴位置最为偏北,大致位于 43°N 附近,1968 年、1982 年急流轴位置最为偏南,大致位于 38.5°N 。整体而言,夏季急流轴位置随着年代变化有逐渐偏北的趋势,南北波动在 5 个纬度之间。

从图 4(c)可以看出:秋季在 20 世纪 60 年代初期急流轴位置偏北,60 年代中期到 70 年代初期,急流轴向南移动,位置偏南,70 年代中期急流轴位置偏北,70 年代后期到 90 年代急流轴位置偏南,进入 21 世纪后急流位置转为整体偏北,1961 年急流轴位置达到最北为 38.5°N ,1972 年和 1997 年急流轴位置最为偏南大致位于 32°N ,整体而言,秋季急流轴位置随年代变化略为北移,急流轴南北波动最为显著,南北波动范围达到了 7 个纬度。

从图 4(d)可以看出:冬季 20 世纪 60–70 年代中期急流轴位置偏北,70 年代后期到 80 年代初期急流轴位置偏南,80 年代中、后期急流轴位置偏北,90 年代急流轴位置偏南,进入 21 世纪后急流轴整体显著偏北,2011 年急流轴位置最为偏北位于 31°N ,1997 年急流轴的位置最为偏南位于 28.3°N ,整体而言,冬季急流轴位置随年代的变化显著北移,并且冬季急流轴位置较为稳定,南北波动在 3 个纬度之间。

进一步分析四季急流轴的周期变化特征,图 5 为四季急流轴平均纬度年际变化的小波能量频谱图,从图 5(a)可以看出:春季急流轴整体呈现 7–8 年的周期变化特征,且通过显著性检验,并且在 1960–1990 年以及 1994–2006 年期急流轴呈现 1 年左右的周期振荡特征,1964–1974 年期存在的 0.5 年左右的周期振荡特征且通过了显著性检验,1978–1988 年以及 1994–2006 年的 1 年左右的周期振荡特征均通过了显著性检验。从图 5(b)可以看出:夏季急流轴整体呈现 4–5 年以及 7–8 年的周期变化特征,1968–1997 年伴随着 3 年左右的周期振荡特征,1960–1966 年,1974–2004 年以及 2010–2016 年均存在 0.5 年的周期振荡特征,并且在 1974–1984 年以及 1992–1996 年的 0.5 年的周期振荡特征通过了显著性检验,1974–1988 年存在的 1.5 年左右的周期振荡特征通过了显著性检验。从图 5(c)可以看出:秋季急流轴从 1960–2000 年呈现 4 年左右的周期振荡特征,并且在 1970–1988 年的 4 年周期特征通过显著性检验,1960–1976 年以及 1990–

2016 年存在 1 -2 年左右的周期振荡特征,并且 1960-1972 年以及 1994-2000 的 1 年周期振荡特征通过了显著性检验,1996-2002 年的 1.5 年周期振荡特征通过了显著性检验。从图 5(d)可以看出:冬季急流轴整体呈现 12 年左右的周期变化特征且通过了显著性检验,并且在 1966-2000 年存在 4 年左右的周期振荡特征,1974-2016 年存在 1 年左右的周期振荡特征,1994-2004 年存在 2 年左右周期振荡特征,并且在 2006-2010 年的 1 年周期特征通过显著性检验。

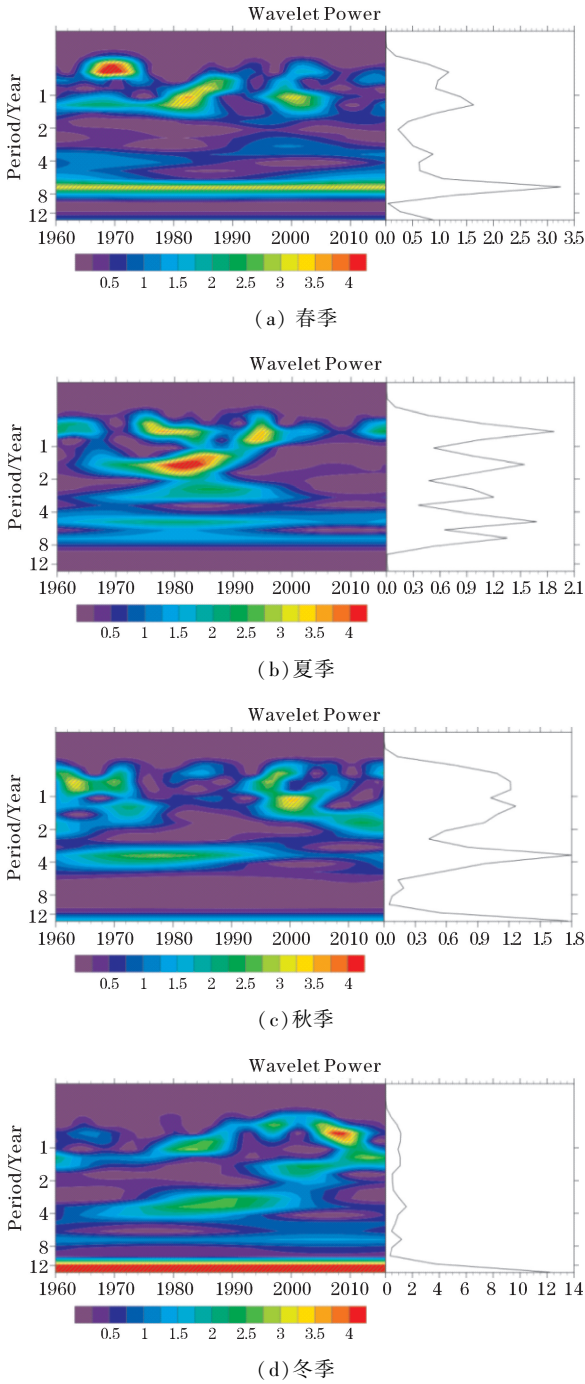


图 5 急流轴平均纬度的年际变化小波能量频谱图
(斜线表示通过 95% 显著性检验的区域)

2.3 东亚副热带西风急流中心年代变化特征

由于东亚副热带西风急流的位置变化不仅存在急流轴南北方向的变化,同时也存在急流中心东西方向的振荡变化,图 6 为 1960-2016 年东亚副热带西风急流中心所在的平均经度图,从图 6 可以看出:西风急流的急流中心一年之中所处的位置整体而言比较稳定维持在 140°E 左右,冬季由于青藏高原作为强大的冷源引发的冷却作用,西风急流带在青藏高原的西侧分裂为南北两支急流,向东移动,当它们绕过青藏高原以后,两者又重新在 140°E 处汇合,使得该处的西风急流得以增强,所以冬季急流中心稳定于 140°E ,到了 4 月急流中心位置略为西移,到达了 135°E ,5 月和 6 月初急流中心重新向东移动,整体仍维持在 140°E ,然而由于夏季青藏高原作为强大的热源引发的加热作用,使得青藏高原其北侧的经向温度梯度得以加强,进入 7 月份后急流中心迅速向西移动,7 月和 8 月急流中心处于全年最西的位置,位于 87°E ,大致位于高原上方,然而进入秋季后,由于大气和高原的辐射加热作用大大减弱了,进入 9 月份后急流中心又迅速向东移动,到达 10 月后急流位于最东,位于 155°E ,之后高原的冷却作用进一步加强,急流中心再次稳定在 140°E 。

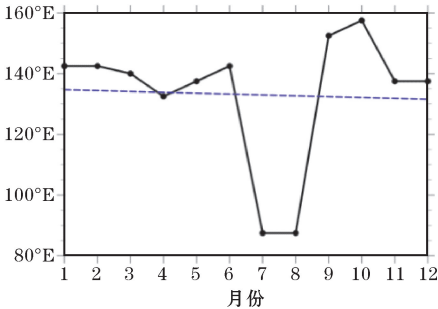


图 6 1960-2016 年急流中心平均经度的逐月变化
(蓝色虚线为线性回归)

具体分析各个季节的急流轴位置变化特征,图 7 为春、夏、秋、冬四季西风急流中心的年际变化图,从图 7(a)可以看出:春季西风急流中心整体处于 140°E ,20 世纪 60 年代初、中期急流中心位置偏西,60 年代末期到 90 年代中期急流中心位置整体偏东,90 年代后期到 21 世纪初急流中心位置偏西,进入 2005 年后急流中心整体偏东。在 1961 年、1963 年、1964 年、1998 年以及 2003 年急流中心位置最为偏西大致位于 40°E ,在 1984 年、1994 年急流中心位置最为偏东大致位于 160°E ,整体而言,春季西风急流中心随年际变化逐渐有向东移动的趋势。

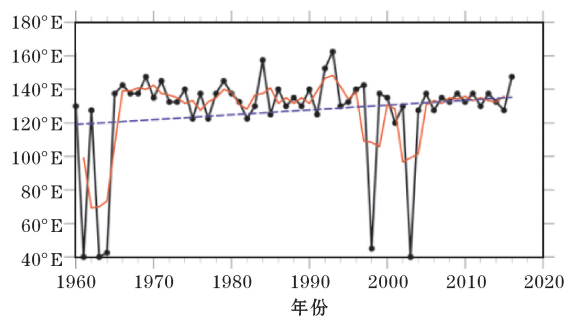
从图 7(b)可以看出:夏季西风急流中心整体处于 85°E ,20 世纪 60-70 年代急流中心位置偏西,80 年代

急流中心位置偏东,90年代急流中心偏西,进入21世纪后急流中心偏东。在1965年、2002年、2015年急流中心位置最为偏东大致位于 160°E ,整体而言,夏季急流中心随年际变化逐渐有向东移动的趋势。

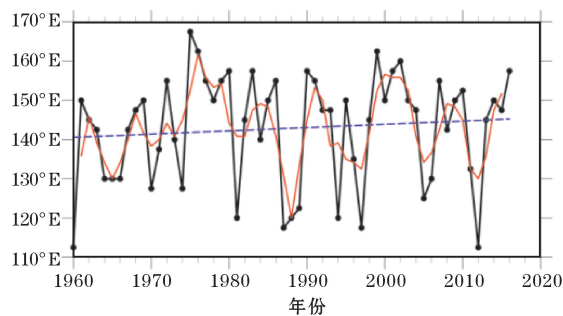
从图7(c)可以看出:秋季急流中心随年际变化东西位置的振动幅度较大,20世纪60年代急流中心整体偏西,70-80年代中期急流中心整体偏东,80年代末期急流中心转为偏西,90年代初急流中心偏东,90年代中、后期急流中心偏西,21世纪00年代初急流中心偏东,00年代中期急流中心偏西,00年代后期急流中心偏东,之后急流中心又向西移动,整体呈现准5年

的周期变化特征,在1975年急流中心位置最为偏东为 170°E ,在1960年、1987年、1997年、2012年急流中心位置最为偏西大致位于 115°E 。整体而言,秋季急流中心随年际变化逐渐有向东移动的趋势。

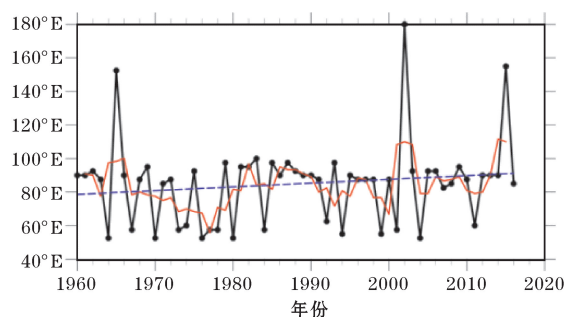
从图7(d)可以看出:冬季20世纪60-70年代中期急流中心整体偏西,70年代末期到80年代急流中心整体偏东,90年代至今急流中心整体偏西,在1960年、1986年急流中心位置最为偏东大致位于 158°E ,在1968年、1999年、2012年急流中心位置最为偏西大致位于 132°E ,整体而言,冬季急流中心随年际变化逐渐有向西移动的趋势。



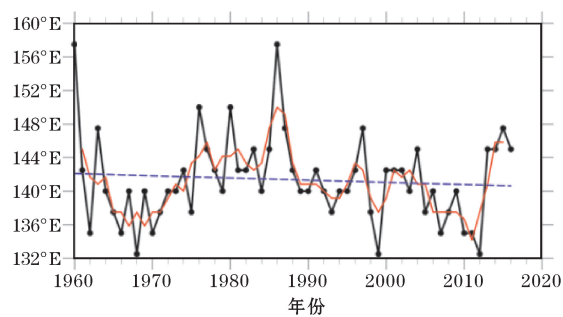
(a) 春季



(c) 秋季



(b) 夏季



(d) 冬季

图7 急流中心平均经度的年际变化(红色实线为3点滑动平均,蓝色虚线为线性回归)

进一步分析急流中心的周期变化特征,图8为四季急流中心平均经度年际变化的小波分析图,从图8(a)可以看出:春季急流中心整体存在12年以及4年左右的周期变化特征,且均通过了显著性检验,1960-1970年的2-3年周期振荡特征通过了显著性检验,1960-1964年以及1995-2004年的1年左右周期振荡特征也通过了显著性检验。从图8(b)可以看出:夏季急流中心整体呈现12年以及8年左右的周期变化特征,并且在1962-1980年存在1年左右周期振荡特征,并且1962-1968年的1年周期特征通过显著性检验,1996-2006年存在1-2年的周期振荡特征且通过了显著性检验。从图8(c)可以看出:秋季急流中心整体呈现8年左右的周期变化特征,1974-2016年存在2年的周期振荡特征,且1982-2004年的2年周期特征通

过显著性检验,1970-1982年、1994-1998年以及2012-2016年存在1年左右周期振荡特征且均通过了显著性检验。从图8(d)可以看出:冬季急流中心整体呈现7年、12年左右的周期变化特征,且均通过了显著性检验,1960-1980年以及2000-2016年存在4年左右的周期振荡特征且通过了显著性检验,1960-1964年以及1980-2000年存在1年左右周期振荡特征,并且1960-1964年的1年周期特征通过显著性检验。

2.4 东亚副热带西风急流强度年际变化特征

根据对1960-2016年东亚副热带高空西风急流极大值的位置、平均值以及频次进行统计,定义的东亚副热带西风急流的强度指数分别春季($27.5^{\circ}\text{N} \sim 37.5^{\circ}\text{N}, 120^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{E}$),夏季($40^{\circ}\text{N} \sim 47.5^{\circ}\text{N}, 50^{\circ}\text{E}$

~100°E), 秋季 (32.5°N ~ 47.5°N, 110°E ~ 165°E), 冬季 (30°N ~ 35°N, 130°E ~ 157.5°E) 区域内 200 hPa 各个季节纬向风平均值的标准化值。当强度指数大于 (小于) 1 时, 西风急流强度异常偏高 (偏低)。

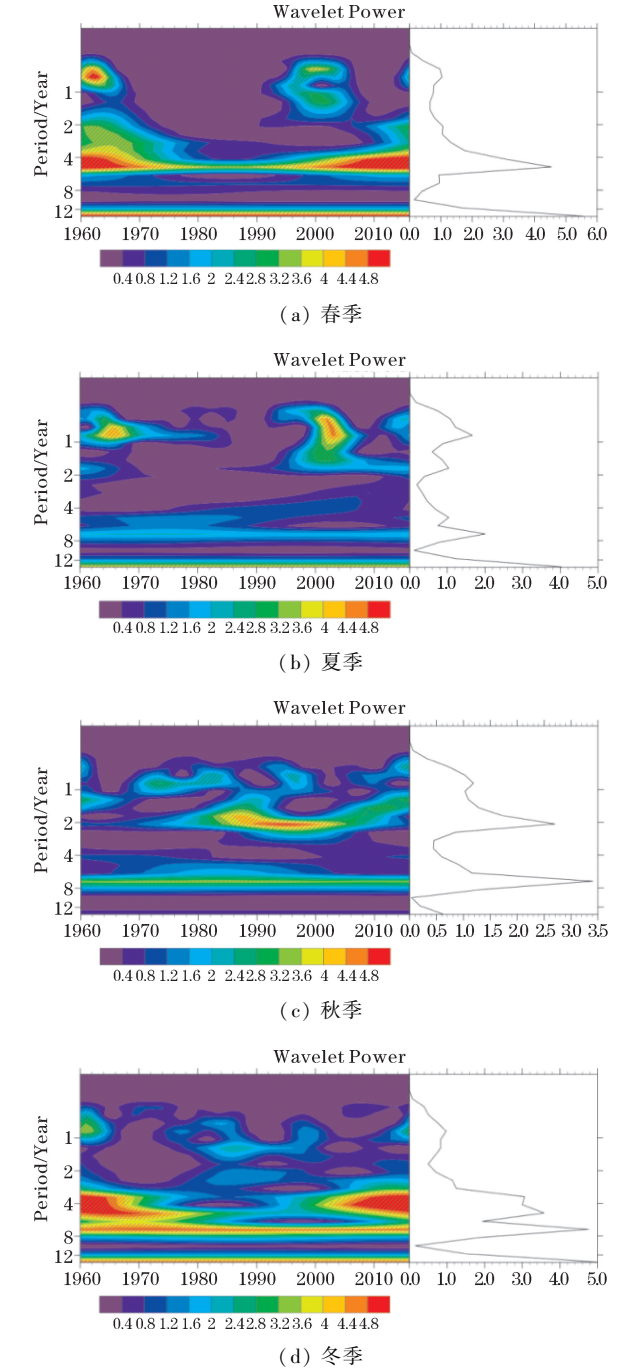


图 8 急流中心平均经度的年际变化小波能量频谱图 (斜线表示通过 95% 显著性检验的区域)

图 9 为春、夏、秋、冬四季西风急流强度指数的年际变化图, 从图 9(a) 可以看出: 春季急流强度随年际变化呈现出增强的趋势, 60 年代强度偏弱, 70 年代强度增强, 80 年代强度又有一定的减弱, 进入 90 年代之后急流强度在增强-减弱中交替变化, 整体呈现增强的趋势, 强度异常偏高的年份有 1984 年、1993 年、

1996 年、2000 年、2007 年、2011 年, 强度异常偏低的年份有 1963 年、1964 年、1969 年、1972 年、1985 年、1998 年、2015 年。

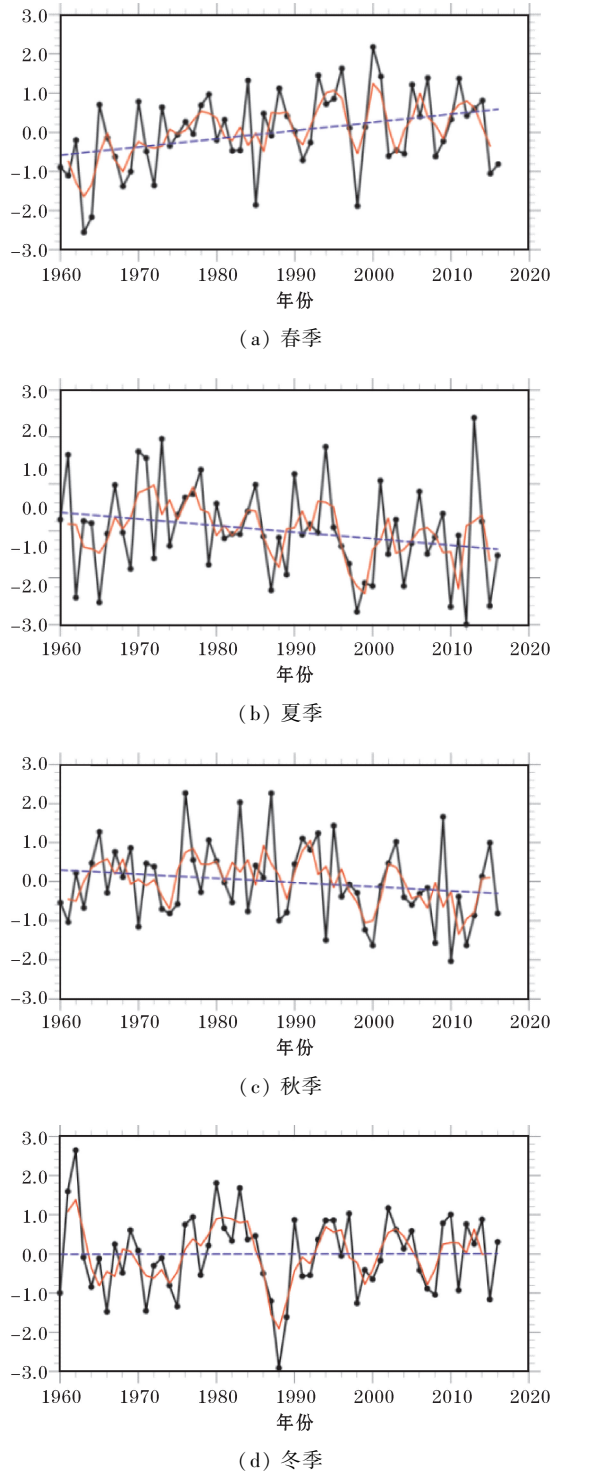


图 9 西风急流强度指数的年际变化 (红色实线为 3 点滑动平均, 蓝色虚线为线性回归)

从图 9(b) 可以看出: 夏季急流强度随年际变化呈现出减弱的趋势, 60 年代急流强度偏弱, 70 年代急流强度偏强, 80 年代强度偏弱, 90 年代初期强度偏强, 90 年代中、末期强度大幅度减弱, 进入 21 世纪 00 年代急

流强度略有增强,21 世纪 10 年代后急流强度又减弱,强度异常偏高的年份有 1961 年、1970 年、1971 年、1973 年、1978 年、1994 年、2013 年,强度异常偏低的年份有 1963 年、1965 年、1987 年、1998 年、1999 年、2000 年、2004 年、2010 年、2012 年、2015 年。

从图 9(c) 可以看出:秋季急流强度随年际变化呈现出减弱的趋势,20 世纪 60–80 年代急流强度整体偏强,进入 90 年代之后急流强度显著减弱,21 世纪初急流强度有一定增强趋势,之后急流强度继续减弱,强度异常偏高的年份有 1965 年、1976 年、1983 年、1987 年、1995 年、2009 年,强度异常偏低的年份有 1961 年、1970 年、1994 年、1999 年、2000 年、2008 年、2010 年、2012 年。

从 9(d) 可以看出:冬季急流强度随年际变化呈现较稳定趋势,60 年代初期急流强度偏强,60 年代中、后期到 70 年代急流强度减弱,80 年代初、中期急流强度又增强,进入 80 年代末期急流强度显著减弱,90 年代初、中期急流强度有增强的趋势,90 年代末期急流强度减弱,21 世纪 00 年代初、中期急流强度又增强,00 年代末期急流强度减弱,之后急流强度又增强,强度异常偏高的年份有 1961 年、1962 年、1980 年、1983 年,强度异常偏低的年份有 1966 年、1971 年、1975 年、1987 年、1988 年、1989 年。

进一步分析急流强度的周期变化特征,图 10 为四季急流强度指数的年际变化小波能量频谱图,从图 10(a) 可以看出:春季急流强度整体呈现 8 年以及 12 年的周期变化特征,且均通过显著性检验,1960–1990 年存在的 1 年左右周期振荡特征,并且在 1966–1980 年的 1 年周期特征通过显著性检验,2000–2014 年存在的 1.5 年左右周期振荡特征通过显著性检验。从图 10(b) 可以看出:夏季急流强度整体呈现 12 年的周期变化特征,且通过显著性检验,1970–1992 年存在 1 年左右周期振荡特征,且通过显著性检验,1994–2014 年存在 2 年左右周期振荡特征。从图 10(c) 可以看出:秋季急流强度整体呈现 5 年和 12 年左右的周期变化特征,并且 12 年的周期特征通过了显著性检验,1990–1996 年存在 1 年左右周期振荡特征且通过了显著性检验,2006–2016 年存在 2 年左右周期振荡特征且通过了显著性检验。从图 10(d) 可以看出:冬季急流强度整体呈现 5 年左右周期振荡特征,并且 1970–1994 年的 5 年周期特征通过显著性检验,1976–1994 年同样存在 3–4 年周期振荡特征均通过了显著性检验,1960–1966 年存在 2 年左右周期振荡特征且通过了显著性检验,1960–1964 年、1970–1980 年存在 1 年左右周期特征且通过了显著性检验。

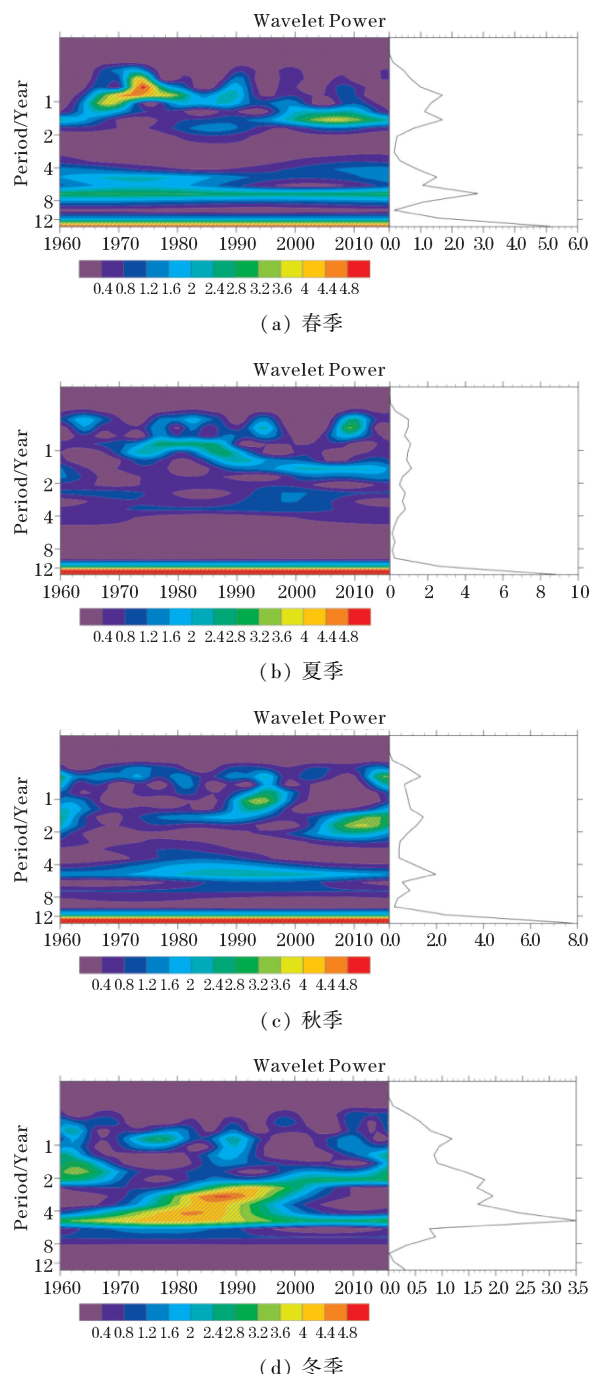


图 10 急流强度指数的年际变化小波能量频谱图
(斜线表示通过 95% 显著性检验的区域)

3 结束语

春季和冬季北半球副热带地区稳定存在一个急流带,春季急流中心强度弱于冬季急流中心强度。夏季副热带地区急流强度最弱,秋季急流强度比夏季强,比冬季弱,北半球副热带上空存在一条急流带。春季太平洋中北部地区中心区域的西风急流的强度扰动存在较大的变率;夏季和秋季急流标准差的大值区域均集中在 90°E 以东,180°E 以西之间;冬季太平洋中北部

地区中心标准差达到全年最盛时期为7 m/s以上。

2月底急流轴位置最为偏南,3月开始急流轴向北移动,4月北移速度明显增强,8月达到位置最北,之后急流轴又开始迅速向南移动,进入冬季急流轴位置最为偏南。整体而言,从1-12月急流轴位置整体北移。春季急流轴位置随着年代变化有逐渐偏南的趋势,夏季急流轴位置随着年代变化有逐渐偏北的趋势,南北波动在5个纬度之间。秋季急流轴位置随年代变化略为北移,急流轴南北波动最为显著,南北波动范围达到了7个纬度。冬季急流轴位置随年代的变化显著北移,急流轴位置较为稳定,南北波动在3个纬度之间。

西风急流中心所处的位置稳定维持在140°E左右,冬季西风急流带在青藏高原的西侧分裂为南北两支急流,绕过高原后,在140°E处汇合,增强了该处的西风急流,夏季由于青藏高原的加热作用,高原北侧的经向温度梯度加强,进入7月份后急流中心迅速向西移动,7月和8月急流中心处于全年最西的位置,大致位于高原上方,进入秋季后,由于大气和高原的辐射加热作用大大减弱了,急流中心向东移动最后稳定在140°E。整体而言,春季西风急流中心随年际变化逐渐有向东移动的趋势,夏季急流中心随年际变化逐渐有向东移动的趋势。秋季急流中心随年际变化东西位置的振动幅度较大,急流中心随年际变化逐渐有向东移动的趋势,冬季急流中心随年际变化逐渐有向西移动的趋势。春季急流中心整体存在12年以及4年左右的周期变化特征,夏季急流中心整体呈现12年以及8年左右的周期变化特征,1996-2006年存在1-2年的周期振荡特征且通过了显著性检验。秋季急流中心整体呈现8年左右的周期变化特征,1982-2004年的2年周期特征通过显著性检验。冬季急流中心整体呈现7年,12年左右的周期变化特征,且均通过了显著性检验,1960-1980年以及2000-2016年存在4年左右的周期振荡特征且通过了显著性检验。

春季急流强度随年际变化呈现出增强的趋势,夏季急流强度随年际变化呈现出减弱的趋势,秋季急流强度随年际变化呈现出减弱的趋势,冬季急流强度随年际变化呈现较稳定趋势。春季急流强度整体呈现8年以及12年的周期变化特征,夏季急流强度整体呈现12年的周期变化特征,1994-2014年存在2年左右周期振荡特征。秋季急流强度整体呈现5年和12年左右的周期变化特征,并且12年的周期特征通过了显著性检验,冬季急流强度整体呈现5年左右周期振荡特征,1976-1994年同样存在3-4年周期振荡特征。

参考文献:

- [1] 叶笃正,陶诗言,李麦村. 在六月和十月大气环流的突变现象[J]. 气象学报, 1958, 29(4): 249-263.
- [2] 陶诗言,赵煜佳,陈小敏. 东亚的梅雨与亚洲上空大气环流季节变化的关系[J]. 气象学报, 1958, 29(2): 119-134.
- [3] 况雪源,张耀存. 东亚副热带西风急流位置异常对长江中下游夏季降水的影响[J]. 高原气象, 2006, 25(3): 382-389.
- [4] 葛明,陆端军,蒋尚城. 一次黄河气旋暴雨大尺度高低空急流影响的数值试验[J]. 暴雨·灾害, 1997(1): 89-98.
- [5] 徐海明,何金海,周兵. “倾斜”高空急流轴在大暴雨过程中的作用[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(2): 155-161.
- [6] 王小曼,丁治英,张兴强. 梅雨暴雨与高空急流的统计与动力分析[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(1): 111-117.
- [7] 周兵,韩桂荣,何金海. 高空西风急流对长江中下游暴雨影响的数值试验[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(5): 595-604.
- [8] Ye, D, S Tao, M Li. The abrupt change of circulation over the Northern Hemisphere during June and October[J]. The Atmosphere and the Sea in Motion, the Rockefeller Institute Press and Oxford University Press, 1959: 249-267.
- [9] 李崇银,王作台,林士哲,等. 东亚夏季风活动与东亚高空西风急流位置北跳关系的研究[J]. 大气科学, 2004, 28(5): 641-658.
- [10] KuangXueyuan, ZhangYaocun. Seasonal variation of the East Asiansubtropical westerlyjet and its association with the heatingfieldover East Asia[J]. Adv. Atmos. Sci. 2005, 22(6): 831-840.
- [11] 廖清海,高守亭,王会军,等. 北半球夏季副热带西风急流变异及其对东亚夏季风气候异常的影响[J]. 地球物理学报, 2004, 47(1): 10-18.
- [12] Lu Riyu. Associations among the components of the East Asian Summer Monsoon System in the meridional direction [J]. Meteor. Soc. Japan, 2004, 82: 155-165.
- [13] Lin Zhongda, Lu Riyu. Interannual meridional displacement of the East Asian Upper-tropospher-

- ic jet stream in summer [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2005, 22: 199–211.
- [14] 孙安健. 江淮旱涝年份准定常行星波分布于平均纬向风速的差异 [J]. *应用气象学报*, 1994, 5(1): 68–76.
- [15] 刘生元, 王金艳, 王式功, 等. 春季东亚副热带西风急流的变化特征及其与中国沙尘天气的关系 [J]. *中国沙漠*, 2015, 35(2): 431–437.
- [16] 邵鹏程, 李栋梁, 王春学. 近 50 年黄河流域夏季降水的时空变化及其与东亚副热带西风急流的关系 [J]. *高原气象*, 2015, 34(2): 347–356.
- [17] 李雪, 刘晓东. 中国北方春季沙尘暴活动与高空西风急流变化的联系 [J]. *高原气象*, 2015, 34(5): 1292–1300.
- [18] Ambrizzi T, Hoskins B J, Hsu H H. Rossby wave Propagation and teleconnection Patterns in the Austral winter [J]. *Atmos. Sci.*, 1995, 52: 3661–3672.
- [19] Terao T. Barotropic disturbances on intraseasonal time scales observed in the midlatitudes over the Eurasian continent during the northern summer [J]. *Meteor. Soc. Japan*, 1998, 76: 419–436.
- [20] Terao T. The zonal wavelength of the quasi-stationary Rossby waves trapped in the westerly jet [J]. *Meteor. Soc. Japan*, 1999, 77: 687–699.
- [21] Terao T. Relationships between the quasi-stationary Rossby waves in the subtropical jet and the mass and heat transport in the northern Periphery of the Tibetan high [J]. *Meteor. Soc. Japan*, 1999, 77: 1271–1286.
- [22] 魏林波, 周甘霖, 王式功, 等. 亚洲副热带高空西风急流活动的气候特征及其与我国部分地区夏季降水的关系 [J]. *高原气象*, 2012, 31(1): 87–93.
- [23] 朱乾根, 林锦瑞, 等. *天气学原理和方法* [M]. 北京: 气象出版社, 2000.

Analysis on Inter-annual Variation of East Asian Subtropical Westerly Jet

LIAO Qi¹, XIAO Tian-Gui¹, JIN Rong Hua²

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. National Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to study the inter-annual variability of the westerly jet stream in the East Asia subtropical region with the seasonal variation of the jet stream axis, the jet stream center and the jet stream intensity, the westerly jet stream position index and the jet flow intensity index in different regions with different seasons are defined, and the data standardization and wavelet energy spectrum analysis were performed to further analyze their periodic variation characteristics. The results show that there is a stable jet stream in the northern hemisphere subtropical region in spring and winter, and the intensity of the subtropical westerly jet stream is weakest in summer and strongest in winter. With the inter-annual variation, the jet axis in spring moved southward, while it moved northward in other seasons. Moreover, the jet axis in winter moved northward most significantly. The jet stream center in winter moved westward, with the other seasons moving eastward and it moves the most in autumn. The jet intensity in spring was enhanced, and it's weakened in summer and autumn. And it was stable and strong in winter.

Keywords: meteorology; atmospheric circulation; westerly jet; jet axis; jet intensity