0577-6619/2011/69(4)-0610-19 *Acta Meteorologica Sinica* 气象学报

西太平洋副热带高压强度和东亚地表热通量的年代际变化特征及关系*

严 蜜[1,2] 钱永甫[2] 刘 健[1]
YAN Mi[1,2] QIAN Yongfu[2] LIU Jian[1]

1. 湖泊科学与环境国家重点实验室,中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京,210008
2. 南京大学大气科学学院,南京,210093
1. *State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Science, Nanjing* 210008, *China*
2. *School of Atmospheric Science, Nanjing University, Nanjing* 210093, *China*

2009-07-17 收稿,2009-11-24 改回.

Yan Mi, Qian Yongfu, Liu Jian. 2011. Interdecadal variations of the western Pacific subtropical high and surface heat flux over East Asia and their relationship. *Acta Meteorologica Sinica*, 69(4):610-619

Abstract The interdecadal variation of intensity of the western Pacific subtropical high (WPSH) during the period 1951－2001 is studied by using data from the National Climate Center (NCC), China Meteorological Administration. The characteristics of the circulations at 500 hPa and the surface heat flux over East Asia are also analyzed based on the NCEP/NCAR monthly reanalysis data. The results reveal that the WPSH and the circulations exhibit interdecadal variations around 1978, with enhancing intensities. The interseasonal persistence of the WPSH intensity alters correspondingly to some extent, which is more significant during 1978－2001 than during 1951－1978. The surface heat flux over East Asia also displays a remarkable interdecadal variation, which leads that of the WPSH intensity. The key variation areas of the surface sensible heat flux (SSHF) are mainly located over the eastern and western Tibetan Plateau around the late 1960s. However, the difference of the SSHF between the eastern and western Plateau exhibits a change in the mid 1970s, close to the time of the abrupt climate change of the WPSH intensity. The SSHF of the Plateau stably increases in the west and decreases in the east before the mid－late 1960s, while it stably increases in the east and decreases in the west after the mid-1970s. On the other hand, the key variation area of the surface latent heat flux (SLHF) is mainly situated over the West Pacific (WP), where the SLHF anomaly in spring changes from positive to negative in the south before 1978, but from negative to positive in the north after 1978; while in summer it turns from positive to negative all over the WP after 1978. The interdecadal variation of SLHF in both spring and summer corresponds well to the interdecadal variation of the WPSH intensity in the same season. The notable correlation between the WPSH intensity and SSHF (or SLHF) maintains without any change although each of these qnantities varies on the interdecadal scale.
Key words WPSH intensity, Latent heat flux, Sensible heat flux, East Asia, Interdecadal variation

摘 要 利用 NCEP/NCAR 的月平均再分析资料以及中国国家气候中心的西太平洋副热带高压(副高)强度资料,分析了西太平洋副高强度、500 hPa 环流场以及东亚地表感热、潜热通量场的年代际变化特征,发现各个季节的西太平洋副高强度及其环流形势均存在一定的年代际变化,变化发生的时间为 1978 年前后,20 世纪 70 年代中期以后副高强度有所增强。副高强度在季节间的延续性也发生了一定的年代际变化,1978 年以后季节间的延续性增强,全时段的延续性受后一时段的影响较大。

* 资助课题:国家自然科学基金面上项目(40675042、40871007、40890054)、国家重点基础研究发展计划项目(2004CB418300、2010CB950102、2010CB833404)、中国科学院重点创新计划(KZCX2-YW-337)。
作者简介:严蜜,主要从事气候诊断与模拟研究。E-mail: ammi06@gmail.com
通讯作者:钱永甫,从事气候诊断与模拟研究。E-mail: qianzh2@nju.edu.cn

东亚地表感热、潜热通量场也存在明显的年代际变化,感热通量的变化关键区在大陆上,主要为青藏高原东、西部,其发生年代际变化要早于西太平洋副高强度变化的时间(20 世纪 60 年代中后期),但它们发生差异变化的时间则接近西太平洋副高强度发生年代际变化的时间,在 20 世纪 60 年代中后期以前,高原感热通量体现为稳定的西高东低,而 20 世纪 70 年代中期以后则转为稳定的东高西低,其中,近 10 年时间为调整过渡期,因此,它们各自的年代际变化所造成的影响会有所滞后。潜热通量的变化关键区则位于海洋上,主要是西太平洋地区,1978 年以前春季地表潜热通量距平为南正北负,之后转为南负北正,而夏季潜热通量距平则普遍由正转负,春夏季潜热通量的年代际变化与同期西太平洋副高强度的年代际变化有着较好的对应关系。地表热通量与西太平洋副高强度之间的关系不受各自年代际变化的影响。

关键词　西太平洋副高强度,东亚地表潜热通量,东亚地表感热通量,年代际变化

中图法分类号　P457.8

1　引　言

副热带高压(副高)的研究一直是中国气象学者所关注的问题(陶诗言等,1962;黄士松等,1962;吴国雄等,2000)。黄士松(1979)总结指出,在高层副高的形成和维持过程中,热力因子非常重要。而低层副高则主要是动力驱动,热力因子也起一定作用。刘屹岷等(1999)通过尺度分析和数值模拟,详细研究了空间非均匀加热对副高形成和变异的影响,指出低空副高出现在表面感热加热西侧、深对流凝结加热东侧;而高空副高出现在表面感热加热的东侧,深对流凝结加热的西侧。

由于地表感热通量直接加热大气,可以通过影响气温引起环流场的变化。而地表潜热通量不直接加热大气,需通过凝结释放而对气温产生影响,加上环流的作用,其影响范围不一定是局地的,且影响的时间尺度可能比凝结潜热释放要长。因此,本文将从地表热通量(包括感热通量和潜热通量)的角度研究其变化对西太平洋副高强度变化的影响。

东亚气候在 20 世纪 70 年代末发生了明显的年代际变化(宇如聪等,2008;Yu,et al,2004,2007;Zhou,et al,2009a),作为东亚大气环流中重要的一环,西太平洋副高必然会产生相应的变化,而副高位置的变化,将通过影响水汽输送,直接造成降水异常(Zhou,et al, 2005)。研究表明,西太平洋副高强度的年际和年代际振荡都很重要(慕巧珍等,2002),有 2—3 a 周期的准 2 a 振荡和 3—5 a 周期的低频振荡(Wu, et al, 2008),也有突出的年代际尺度的突变,时间在 1979—1980 年(龚道溢等,2002)。Wu 等(2008)指出,准 2 a 振荡在 20 世纪 90 年代较显著,而低频振荡在 20 世纪 70—80 年代较显著;两种振荡分别归因于大气对海表面温度(SST)异常和赤道中东太平洋 SST 异常的响应。龚道溢等(2002)也指出,在西太平洋副高年代际尺度变化的机制中,热带太平洋和印度洋 SST 的年代际变化可能都起到了非常重要的作用。Zhou 等(2009b)在对副高西伸的年代际变率研究中也发现,热带印度洋和西太平洋的增温是导致副高西伸的重要因子。可见地表(海表)热力异常是影响西太平洋副高的重要因素。以上研究大多针对 SST 的作用,而未关注热通量的影响。

本文除了讨论对流层中层西太平洋副高强度及其环流的年代际变化特征外,对东亚地表热力异常(包括地表感热通量和地表潜热通量)的年代际变化特征也做了分析。已有的研究对潜热的作用主要关注的是降水凝结释放的潜热加热(刘屹岷等,1999;温敏等,2000;舒锋敏等,2006),至于地面潜热通量的作用如何,则涉及不多,这也是本文所要研究的问题之一。

2　资　料

利用 NCEP/NCAR 月平均再分析资料,包括地表潜热通量、地表感热通量、等压面上风场以及气温场,时间长度为 1948 年 1 月—2002 年 12 月,共 660 个月。已有学者对该再分析资料中地表热通量的合理性做过较多分析(Kalnay,et al,1996;苏志侠等,1999;宋敏红等,2000)。发现该资料虽然在数值上存在一定误差,但仍能准确地反映地表热通量的空间分布以及时间变化趋势,因此是可用的。同时,也用欧洲中期天气预报中心(ECMWF)ERA-40 的地表热通量资料进行了对比分析,得到的地表热通量年代际变化特征与 NCEP/NCAR 的地表热通量变化特征非常类似,说明资料不同不会对本研究的结论有明显影响。

文中的西太平洋副高强度指数使用的是中国国家气候中心气候系统诊断预测室的再处理资料,时

间长度为 1951 年 1 月—2001 年 12 月。该强度指数是根据 500 hPa 上闭合的 588 dagpm 线内格点高度来定义的(慕巧珍等,2002)。由于该指标存在一定的误差及不连续性(龚道溢等,2002),导致 20 世纪 90 年代副高强度指数异常偏高,龚道溢等(1998)对该指数进行了订正,文中 1991—1996 年的副高强度指数即是订正过的指数。

文中涉及到的气温距平梯度定义为:$\nabla T_a = \frac{\partial T_a}{\partial x}\boldsymbol{i} + \frac{\partial T_a}{\partial y}\boldsymbol{j}$,其中 T_a 为气温距平,即某一年的气温减去多年平均的气温。文中其余物理量距平梯度的定义也是如此。

3 西太平洋副高强度指数及 500 hPa 环流场的年际变化特征

3.1 西太平洋副高强度的年际、年代际变化

图 1 为 1951—2001 年各季西太平洋副高强度指数标准化距平的时间序列。各个季节副高强度的年际变化趋势较一致,在 20 世纪 70 年代中后期以前副高强度变化幅度不大,之后则明显变强,即在 1977—1978 年以前副高强度标准化距平以负为主,而 1979 年以后则以正距平为主。可见西太平洋副高的强度存在明显的年代际变化,以 20 世纪 70 年代中后期为界。用滑动 t 检验方法对年平均及春夏季副高强度指数进行突变检验发现,年平均和夏季副高强度指数的突变点在 1978 年,而春季的突变点在 1976 年。陈桂英(1999)、吕俊梅等(2004)指出西太平洋副高在 1977 年发生了年代际变化,李江南等(2003)也指出西太平洋副高在 1978 年前后发生了气候突变,副高强度由负距平为主转为正距平为主,而脊线位置正好相反。本文以 1978 年为界,分别对 1951—1978 年和 1979—2001 年的环流场、地表热通量场等作合成及相关分析,分析环流场、地表热力场及之间的关系是否存在相应的年代际变化。

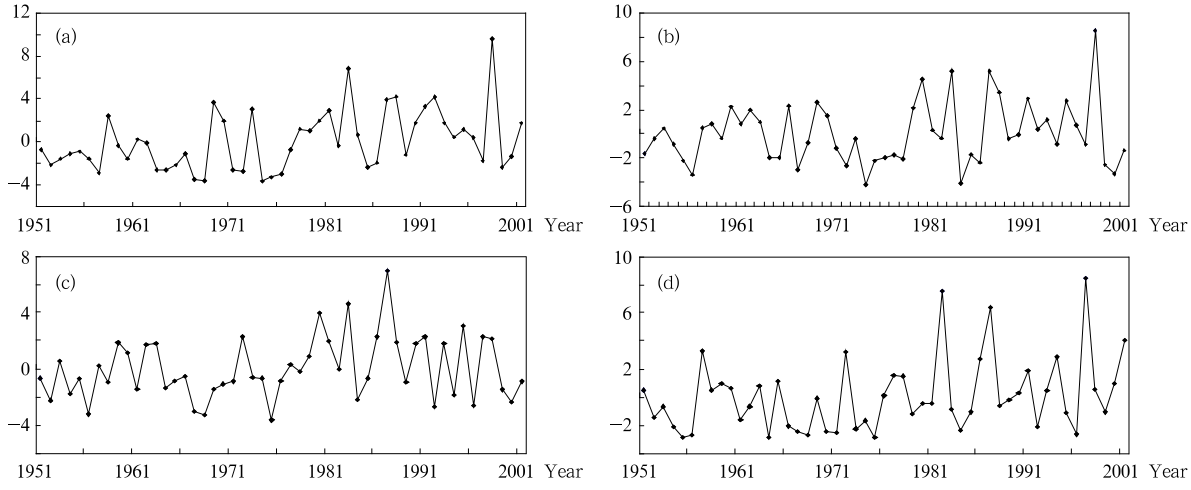


图 1 1951—2001 年各季西太平洋副高强度指数标准化距平年际变化曲线
(a. 春季,b. 夏季,c. 秋季,d. 冬季)
Fig. 1 Time series of the normalized WPSH intensity for (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter

若将标准化距平不小于 2 的年份作为副高强年,不大于 -2 的年份作为副高弱年,则由图 1 可看出春季副高偏强时,后期夏季甚至秋冬季副高强度往往也偏强,但春季副高偏弱时则无明显的延续性。因此,对各个季节的副高强度作两两相关(表 1),研究年际和年代际季节间的连续性,发现前期冬季与后期春、夏季之间有较好的连续性,春季与后期夏季、夏季与后期秋季的关系也较好,且后一时期的关系明显强于前一时期,全时段内的关系明显受后一时期的影响。可见不仅副高的强度存在年代际变化,各季节间的延续性同样存在年代际变化。这与上述现象能较好对应,即春季副高强度偏强,则后期各季副高强度普遍偏强,春季副高偏弱,后期副高却不一定偏弱,而副高强度在 1978 年前后发生了转

变,之前强度以弱为主,因此,相关性略差,之后强度显著增强,相关性也相应增加。另外,从表1中前期冬季与后一年冬季副高强度的相关性可知,虽然相关系数非常小,但仍体现了二者相反变化的形势,对应着副高强度的准2 a振荡,且二者的负相关关系在后一时期有所增强。

表1　各个季节间西太平洋副高强度指数的两两相关

Table 1　Correlation coefficients of the WPSH intensity index among the four seasons

	春夏	夏秋	秋冬	前冬与春	前冬与夏	前冬与秋	前冬与冬
全时段(1951—2001)	0.71	0.68	0.45	0.77	0.61	0.39	−0.003
前一时期(1951—1978)	0.55	0.37	0.59	0.56	0.40	0.18	−0.016
后一时期(1979—2001)	0.78	0.81	0.28	0.83	0.67	0.38	−0.166

注:下划线为超过99%信度检验的相关系数,全时段 $r>0.4$,前一时期 $r>0.48$,后一时期 $r>0.49$。

The correlation coefficient over the significant level of 1% is underlined, the entire period is from 1951 to 1978 ($r>0.49$), the pre period is from 1951 to 1976 ($r>0.48$), and the latter period is from 1979 to 2001 ($r>0.49$)。

3.2　500 hPa环流场的年代际变化特征

首先将区域(0°—30°N,110°E—180°)作为副高区,分析该区域平均的500 hPa高度场的变化情况,发现1948—2002年各季其区域平均的500 hPa高度场呈现相似的变化趋势,除了冬季趋势不明显,其余3季在1976年前后均存在跃变,1976年以后该区域平均的高度场明显变高。用Mann-Kendall方法判断其夏季的气候突变点在1977—1978年,而春季的突变点在1978年前后,与西太平洋副高强度的突变点一致。图2给出了春、夏季副高区500 hPa高度场的年际变化。可见,春、夏季副高区500 hPa高度场关系密切,协同变化的程度很高。这也从一定角度证明了副高的强度存在季节延续性。

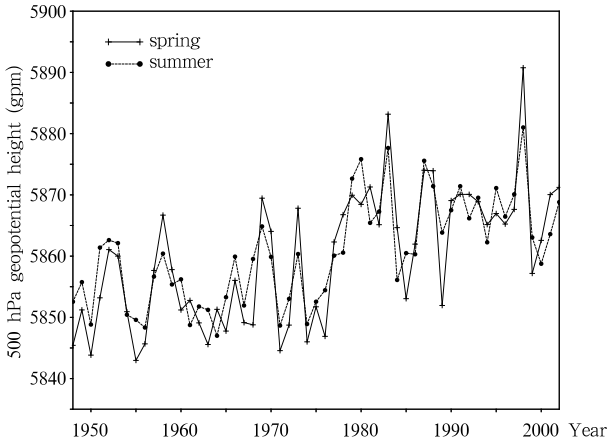


图2　春、夏季西太平洋副高区区域平均500 hPa高度场的时间序列(1948—2002)(相关系数 $r=0.925$)

Fig. 2　Time series of the geopotential height at 500 hPa averaged over the region (0°−30°N, 110°E−180°) in spring (solid line) and summer (dashed line) with a correlation coefficient of 0.925

为了解各环流因子的年代际变化情况,以1978年为界,将前后两个时段的500 hPa风场距平、气温距平、气温距平梯度以及高度场分别做合成,并辅以850 hPa的形势进行分析,因篇幅关系,只给出后一时段与前一时段的差值,以春季为例(图3),其余3季的500 hPa高度场变化与春季类似(图略)。各季500 hPa高度场在大陆及中低纬度的海洋地区均在1978年以后有所升高,升高最大的区域为青藏高原以北的高纬度大陆地区。

春季青藏高原西南部为一个气旋性的距平差值环流,到了夏季(图略),该差值环流西移了约5个经度,而在其南部的印度季风区,显示的是东北向的距平差值风场,削弱了西南向的季风环流,东亚大陆东部西南季风地区上空同样为东北向的距平差值风场。另外,在110°—120°E的季风区,前一时段的距平风场更多地显示西南风不受阻碍的发展,而后一时段的距平风场则主要体现了副高西缘的维持。

气温距平梯度与气温距平的差值在中高纬度大陆上的近似"+ − +"的纬向分布形势能较好地对应起来。青藏高原及其以北的高纬度大陆是气温距平的空间差异发生较大变化的区域,在以下有关地表热通量的讨论中也会涉及该地区。

夏季的差值环流场显示,东亚大陆上中高纬度地区500 hPa气温场降低而高度场升高,850 hPa上气温距平及高度场也是相同的变化形势(图略),且850 hPa高度场的升高要强于500 hPa,气温距平的变化也强于500 hPa,气温场和高度场的这种变化

形势对应了东亚大陆热低压的减弱(方之芳等,2006)。印度季风区气温的升高和高度场的升高则对应印度夏季风的减弱(何立富等,2005)。而西太平洋上气温和高度场的升高,对应了西太平洋副高的加强。

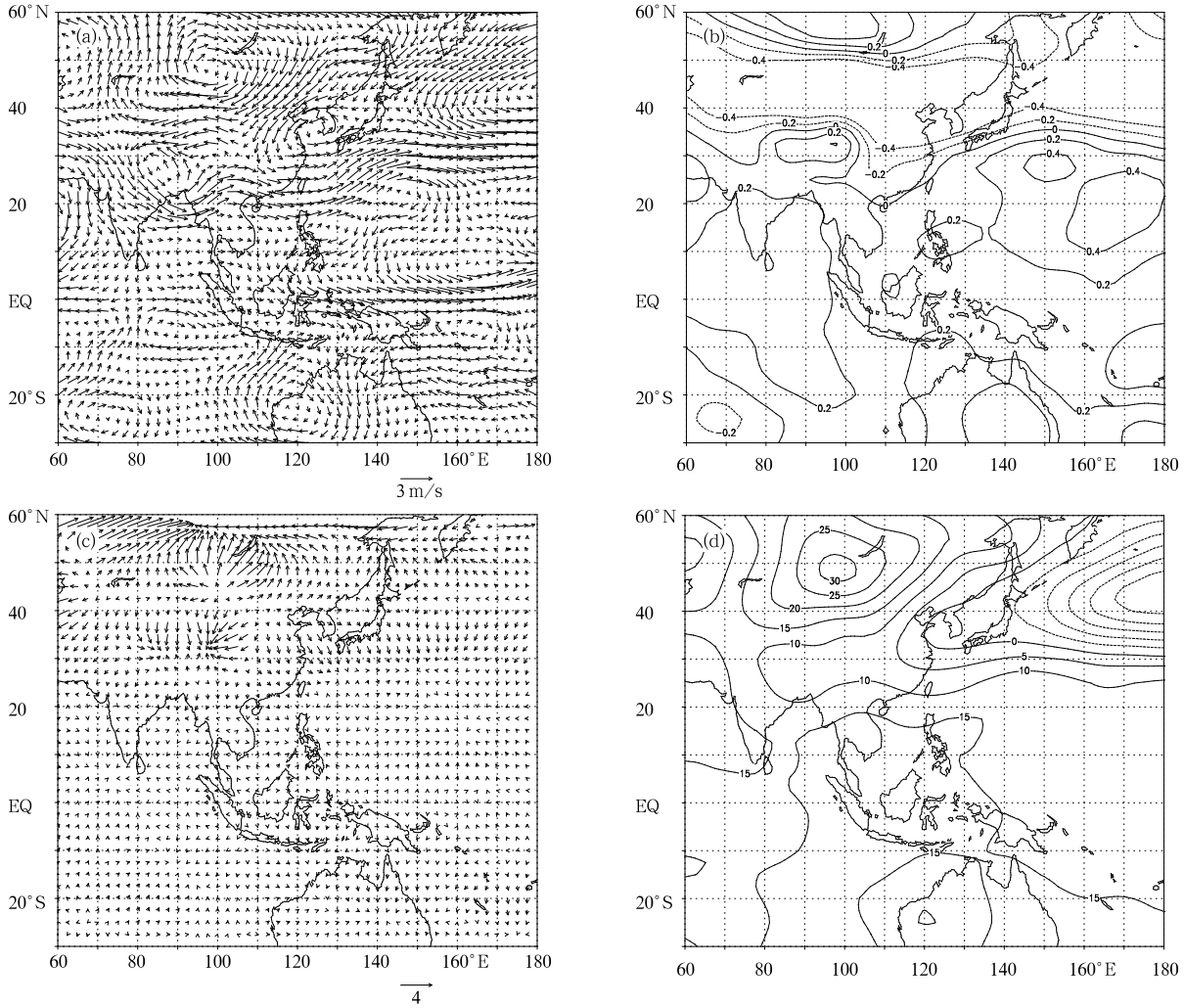


图 3 前后两个时期春季 500 hPa 环流场的差值(后一时期减去前一时期)
(a. 风场距平(m/s),b. 气温场距平(K), c. 气温距平梯度(K/(1000 km)), d. 高度场(gpm))

Fig. 3 Differences in the anomalies of (a) wind (m/s), (b) air temperature (K), (c) gradient of air temperature (10^{-6} K/m), and (d) geopotential height (gpm) at 500 hPa in spring between the two sub-periods (1979－2001 and 1951－1978)

3 地表热通量场的年代际变化特征

分别对 1978 年前后的地表热通量场做合成,发现同样存在明显的年代际变化。以春季地表感热通量为例(图 4),前后两个时段的感热通量距平呈现了相反的分布形势,主要体现在大陆上,包括青藏高原西部与南部、高原主体及其以东地区、鄂霍次克海以及印度半岛,在 80°—100°E 的大陆区域,显示了“－ ＋ －”(前一时期)及“＋ － ＋”(后一时期)的纬向差异,结合 500 hPa 温度距平梯度(图 3c),该经度范围内的高纬度地区气温距平梯度增大,表明气温距平的空间差异有明显变化,从 500 hPa 风场距平差值(图 3a)也能看到相应的反映,为一个反气旋性的距平差值环流。而中纬度地区即高原主体上空气温距平增大,500 hPa 高度场增高(图 3d)。可见地表感热通量分布的这种年代际变化形势能通过对

500 hPa 环流场的影响从而作用于西太平洋副高。

其余 3 个季节地表感热通量的年代际变化情况跟春季比较类似,鄂霍次克海地区在全年都是发生年代际变化的区域,后一时段的感热通量减小。另外,夏、秋季在高原西部、高原主体及其以东地区,冬季在高原南部地区也都是年代际变化明显的地区。

由于青藏高原南部和西部与高原主体及其以东地区的感热通量距平的变化成相反的形势,因此,分别将高原南部(25°—30°N,80°—100°E)和西部(30°—45°N,70°—75°E)、高原主体(30°—40°N,80°—100°E)及其以东地区(25°—50°N,100°—120°E)的感热通量做区域平均的时间序列(图 5),发现二者均存在年代际变化,青藏高原主体及其以东地区的感热通量发生突变的时间较早,在 20 世纪 60 年代中期,而高原南部和西部发生突变的时间滞后 5 a左右。在20世纪60年代中后期前后,二者

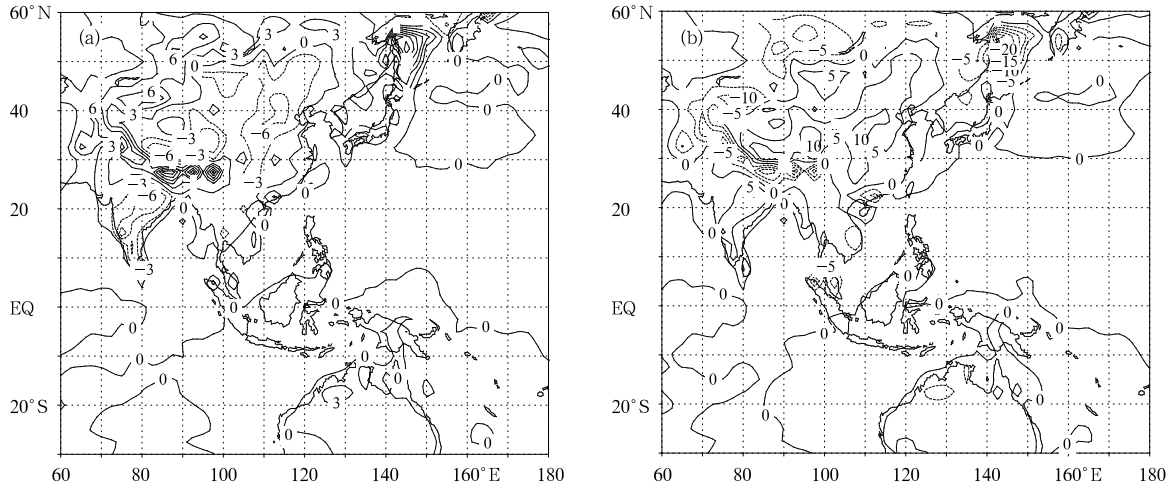


图 4　前(a)、后(b)两段时期的春季地表感热通量距平(单位:W/m²;实线为正,虚线为负)

Fig. 4　Anomaly of the SSHF (W/m²) in spring during (a) 1951－1978 and (b) 1979－2001
Solid lines indicate positive values and dashed lines indicate negative values

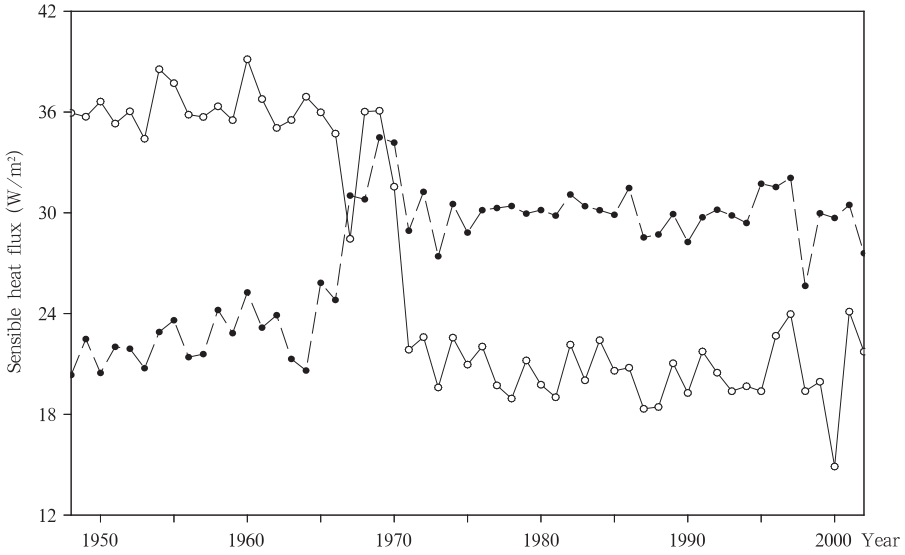


图 5　青藏高原南部和西部(实线)、高原主体及其以东地区(虚线)区域平均的感热通量(W/m²)时间序列(1948—2002 年)

Fig. 5　Time series of the regional averaged SSHF over the south and west of the Tibetan Plateau (solid line) and over the main area and the east of the Plateau (dashed line) during 1948－2002

的感热通量大小发生了转变,用 Mann-Kendall 突变检验方法发现高原西部和南部的感热通量发生突变的时间在 1968 年,而东部的时间更早一些。因此,以 1968 年为界,对前后即 1951—1968 年和 1969—2001 年两个时段的地表感热通量做合成,发现年代际变化形势比较明显(图略),其形势与以 1978 年为界的合成分布类似。可见在 20 世纪 60 年代中后期至 70 年代中后期这 10 年左右的时间里,感热通量的变化并没有显著体现出来,为感热年代际变化的过渡期(图 5)。因此,以 1978 年为界所作的合成特征,仍然体现了明显的年代际变化。将感热通量与西太平洋副高强度指数作点面相关,发现春季青藏高原主体及其以东地区的感热通量与同期西太平洋副高强度指数是正相关关系,而高原西部及南部则是负相关关系。可见随着高原不同地区感热通量的年代际变化,西太平洋副高强度也会发生相应的变化。

地表潜热通量的变化主要位于海洋上。全年来看,孟加拉湾及其同纬度的西太平洋、高纬度西太平洋、鄂霍次克海等地区都存在明显的年代际变化。以春季为例,同样分别给出前后两个时段地表潜热通量的距平(图 6),可以看到,除了上述海洋上的大部分地区以外,青藏高原南部以及东部地区也发生显著的年代际变化。夏季与春季类似。秋冬季由于降水偏少,大陆上的地表潜热通量本身偏小,其变化也不特别明显。春、夏季,中国大部分地区的潜热通量距平在 1978 年以后为负值,与感热通量距平的正值相对应。将地表感热通量与 500 hPa 纬向和经向风场分别做相关分析可知(图略),春、夏季中国大部分地区强盛的感热通量,一方面有利于西太平洋副高的维持,另一方面也会阻碍西南风向东北方向的发展,与 3.2 节中的分析相对应。而弱的潜热通量一方面有相应的作用,另一方面也对应了地面供给大气的水汽减少,对凝结潜热释放也会造成一定影响。

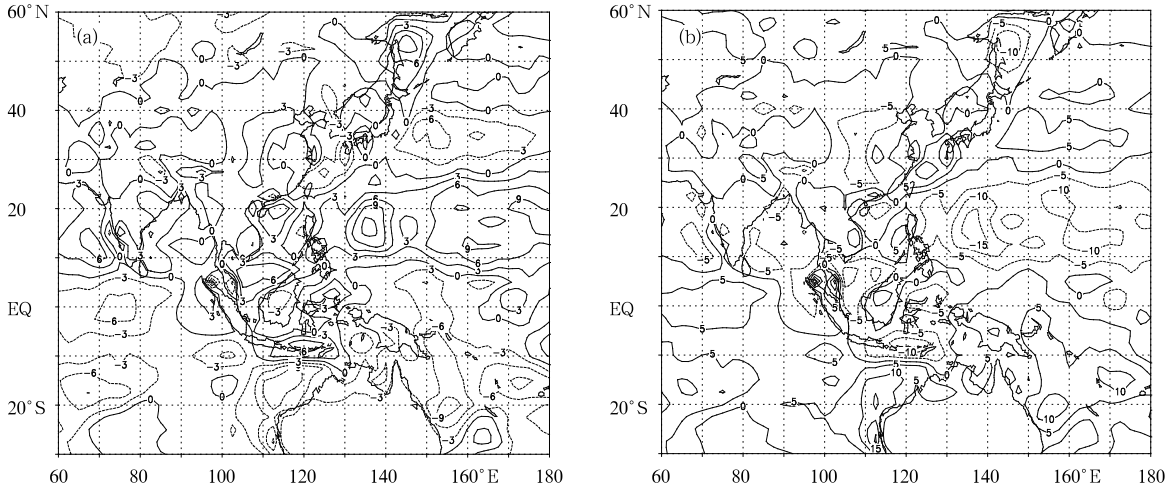


图 6 春季前后两个时段的地表潜热通量距平的空间分布

(a. 1951—1978 年, b. 1979—2001 年; 单位:W/m^2)

Fig. 6 Anomalies of the SLHF (W/m^2) in spring during (a) 1951 - 1978 and (b) 1979 - 2001

Solid lines indicate positive values and dashed lines indicate negative values

春季,北半球中低纬度西太平洋地区的潜热通量在 1978 年以后由正距平转变为负距平,而高纬度地区的潜热通量则由负距平转变为正距平。将潜热通量与同期西太平洋副高强度指数做相关分析发现(图略),在中纬度西太平洋地区二者为负相关,而高纬度地区为正相关。可见,春季西太平洋副高强度的年代际变化与同期西太平洋地区潜热通量的年代际变化有着密切关系。

夏季,北半球西太平洋地区的表面潜热通量在 1978 年以后普遍由正距平转为负距平,将地表潜热通量与春、夏季 500 hPa 纬向风场做相关分析(图略),发现低纬度西太平洋地区尤其是南海地区弱的表面潜热通量有利于夏季该地区纬向东风的增强以及纬向西风的减弱,而高纬度西太平洋地区弱的表

面潜热通量则有利于纬向西风的增强。这样一个低纬度东风、高纬度西风增强的形势与西太平洋副高的增强形势能较好地对应起来。

另外,地表感热通量和潜热通量这种不同区域的年代际变化特征也能体现出二者的相对权重,即在大陆上二者相当或以感热通量为主,在海洋上则以潜热通量为主。

为了与各个季节副高强度的延续性做对比,将各个季节的地表感热通量也做两两相关分析,分析不同区域的感热通量在各季间的延续性及其年代际变化(图 7)。可见在整个时段中,高原及其周围地区、低纬度海洋地区的地表感热通量异常特征存在较长时间的延续性,这也从一定角度解释了为何冬季的地表热力异常能影响到后期春、夏季的环流。该延续性的年代际变化特征并不明显,尤其是春、夏季,而冬、春季的延续性在前一时段更为显著。即虽然各季节的地表感热通量本身均发生了年代际变化,但是,各季节间的延续性并不受年代际变化的影响。地表潜热通量亦为类似的形势。

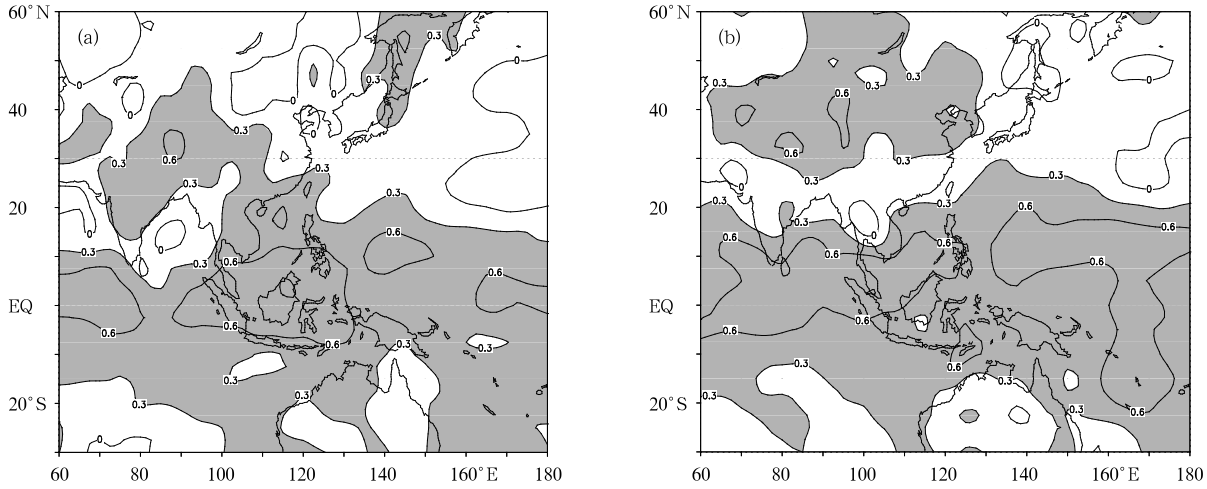


图 7　冬、春季(a)、春、夏季(b)地表感热通量的相关系数分布
(1948—2002 年;阴影区为超过 99%信度检验)

Fig. 7　Distributions of correlation coefficients of the SSHF between (a) winter and spring and (b) spring and summer for the period 1948－2002
Shaded regions denote the values significant at the 99% confidence level

4　地表热通量与西太平洋副高强度的相关分析

在进行相关分析时发现,地表潜热通量和地表感热通量与西太平洋副高强度的相关关系类似,因此,仅给出地表潜热通量与西太平洋副高的相关情况。首先,对全时段进行同期与后期相关分析,然后再给出分时段的情况。结果发现,尽管在数值上会存在一定差异,但各区域所反映的热通量与副高的关系在整个时段中是一致的(图 8)。尤其是西太平洋沿岸及中国大陆东部地区,在整个时期都是影响西太平洋副高强度的重要区域,当冬季中国沿海海洋和西北太平洋区域的潜热偏少,大陆地区尤其是长江流域和江南地区的潜热偏多时,春季的副高偏强,这种相关关系未发生年代际变化。

同样,如果将地表感热、潜热通量与同期及后期 500 hPa 高度场做一一相关,则会发现,冬季地表感热、潜热通量与后期春季的 500 hPa 高度场相关很小,而冬、春、夏季同期,以及春季与夏季间,地表感热、潜热通量与 500 hPa 高度场在一定区域有较好的相关关系。春、夏之间主要在东亚大陆及热带海洋,其余 3 季同期除了上述区域外,在高纬度海洋即西北太平洋地区也是相关显著的区域。分时段后,发现大部分区域的年代际变化并不明显,且与全时段的相关情况比较类似。

虽然西太平洋副高的强度和地表感热、潜热通量各自均存在年代际变化,但是二者的关系没有发生明显的年代际变化。即随着地表感热、潜热通量

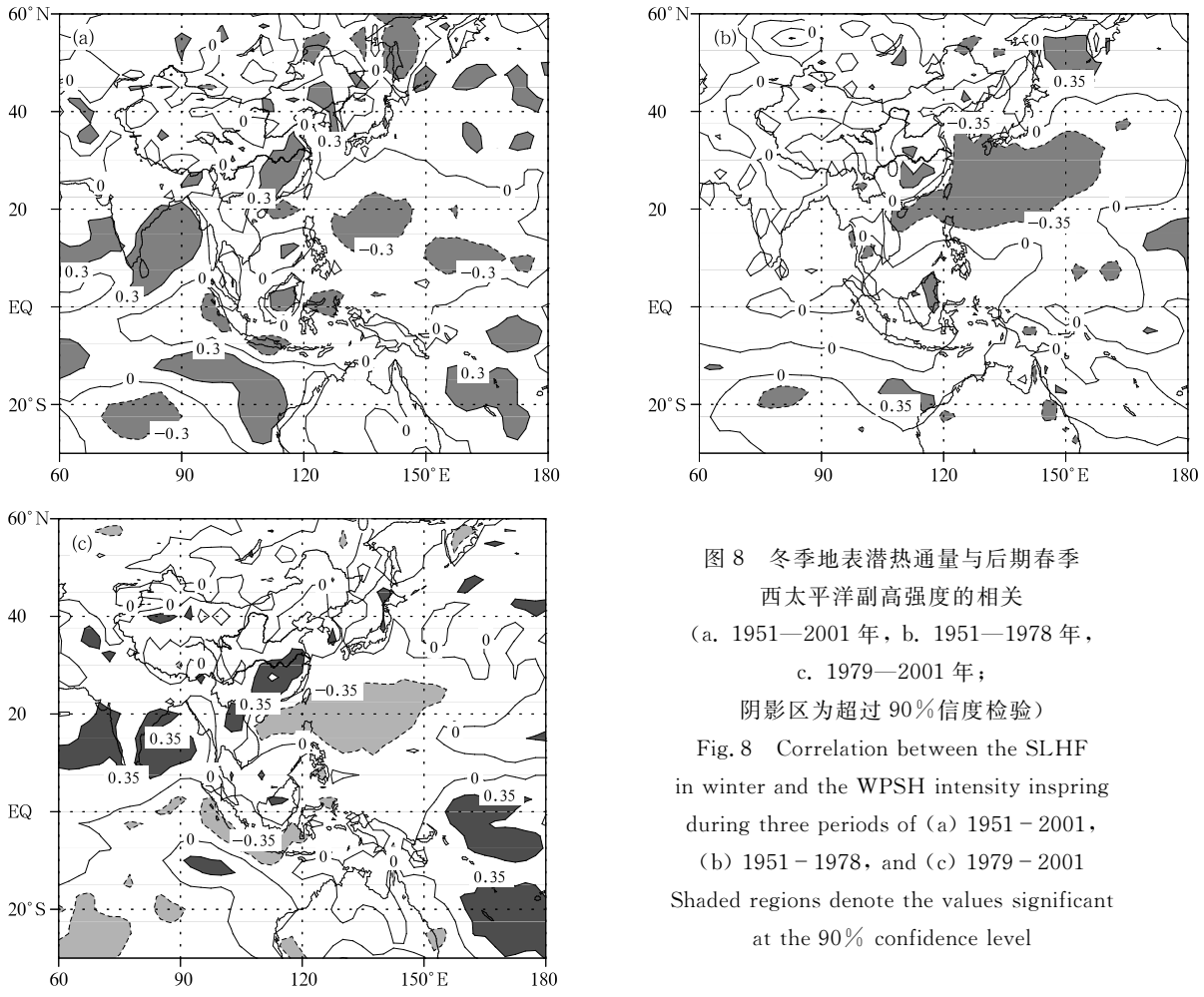


图 8 冬季地表潜热通量与后期春季西太平洋副高强度的相关
(a. 1951—2001 年, b. 1951—1978 年, c. 1979—2001 年;
阴影区为超过 90%信度检验)

Fig. 8 Correlation between the SLHF in winter and the WPSH intensity inspring during three periods of (a) 1951－2001, (b) 1951－1978, and (c) 1979－2001
Shaded regions denote the values significant at the 90% confidence level

的变化,副高强度跟着变化,二者仍然保持较好的相关关系。

5 结 论

西太平洋副高的强度在 1978 年前后发生了年代际突变,并且随着西太平洋副高强度的变化,其强度在季节间的延续性也发生了变化。通过对两个时段环流场的合成分析发现,东亚大槽、亚洲季风、澳大利亚高压、阿留申低压等大气活动中心也发生了相应的年代际变化。

通过对地表热通量(包括潜热和感热通量)的合成分析及相关分析,发现地表热通量同样存在明显的年代际变化,尤其在青藏高原及其周围地区,虽然其年代际变化发生的时间较早,但是其影响体现出来的时间与西太平洋副高强度发生年代际变化的时间接近。另外,虽然各个季节的地表热通量均发生了年代际变化,但是其延续性没有发生变化,与同期及后期 500 hPa 高度场的关系也未发生年代际变化,相应地,与西太平洋副高强度的关系同样未发生年代际变化。即地表热通量与西太平洋副高强度的关系较为密切,不受各自年代际变化的影响,是地表热通量的年代际变化引起了西太平洋副高强度的变化。

参考文献

陈桂英. 1999. 副热带高压//赵振国. 中国夏季旱涝及环境场. 北京:气象出版社,48-49

方之芳,张丽. 2006. 夏季 NCEP 资料质量和 20 世纪 70 年代东亚热低压的突变. 高原气象,25(2):179-189

龚道溢,何学兆. 2002. 西太平洋副热带高压的年代际变化及其气候影响. 地理学报,57(2):185-193

龚道溢,王绍武,杨义文等. 1998. 90 年代西太平洋副高异常的分析. 气象,24(8):8-13

何立富,武炳义,管成功. 2005. 印度夏季风的减弱及其与对流层温度的关系. 气象学报,63(3):365-373

黄士松. 1979. 西太平洋高压的一些研究. 气象,5(10):1-3

黄士松,余志豪. 1962. 副热带高压结构及其同大气环流有关若干问题的研究. 气象学报,31(4):339-359

李江南,蒙伟光,王安宇等. 2003. 西太平洋副热带高压强度和位置的气候特征. 热带地理,23(1):35-39

刘屹岷,刘辉,刘平等. 1999. 空间非均匀加热对副热带高压形成和变异的影响 II:陆面感热与冬太平洋副高. 气象学报,57(4):385-396

刘屹岷,吴国雄,刘辉等. 1999. 空间非均匀加热对副热带高压形成和变异的影响 III:凝结潜热加热与南亚高压及西太平洋副高. 气象学报,57(5):525-538

刘屹岷,吴国雄. 2000. 副热带高压研究回顾及对几个基本问题的再认识. 气象学报,58(4):500-512

吕俊梅,任菊章,琚建华. 2004. 东亚夏季风的年代际变化对中国降水的影响. 热带气象学报,20(1):73-80

慕巧珍,王绍武,蔡静宁等. 2002a. 近百年西太平洋副热带高压变化的模拟研究. 科学通报,47(7):550-553

慕巧珍,王绍武,龚道溢. 2002b. 近百年四季西太平洋副热带高压的变化. 气象学报,60(6):668-679

舒锋敏,简茂球. 2006. 亚洲季风区感热凝结潜热对副高带季节演变的影响. 热带气象学报, 22(2):121-130

宋敏红,吴统文,钱正安. 2000. 高原地区 NCEP 热通量再分析资料的检验及在夏季降水预测中的应用. 高原气象,19(4):467-475

苏志侠,吕世华,罗四维. 1999. 美国 NCEP/NCAR 全球再分析资料及其初步分析. 高原气象,18(2):209-218

陶诗言,徐淑英,郭其蕴. 1962. 夏季东亚热带和副热带地区经向和纬向流型的特征. 气象学报,32(1):91-102

温敏,何金海. 2000. 夏季季风降水凝结潜热释放效应对西太平洋副高形成和变异的影响. 南京气象学院学报,23(4):536-541

吴国雄,刘屹岷,刘平. 1999. 空间非均匀加热对副热带高压带形成和变异的影响 I:尺度分析. 气象学报,57(3):257-263

宇如聪,周天军,李建等. 2008. 中国东部气候年代际变化三维特征的研究进展. 大气科学,32(4): 893-905

Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40 years reanalysis project. Bull Amer Meteor Soc, 77(3):437-471

Wu B, Zhou T. 2008. Oceanic origin of the interannual and interdecadal variability of the summertime western Pacific subtropical high. Geophys Res Lett, 35(13): L13701, doi:10.1029/2008GL034584

Yu Rucong, Bin Wang, Zhou Tianjun. 2004. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia. Geophys Res Lett, 31: L22212, doi:10.1029/2004GL021270

Yu R C, Zhou T J. 2007. Seasonality and three-dimensional structure of the interdecadal change in East Asian monsoon. J Climate, 20:5344-5355

Zhou T J, Yu R C. 2005. Atmospheric water vapor transport associated with typical anomalous summer rainfall patterns in China. J Geophys Res, 110: D08104, doi:10.1029/2004JD005413

Zhou T J, Gong D, Li J, et al. 2009a. Detecting and understanding the multi-decadal variability of the East Asian Summer Monsoon-Recent progress and state of affairs. Meteorologische Zeitschrift,18(4): 455-467

Zhou T J, Yu R C, Zhang J, et al. 2009b. Why the Western Pacific subtropical high has extended Westward since the Late 1970s. J Climate, 22(8): 2199-2215