

西太平洋副高活动与平流层 QBO 关系的研究^{*}

李崇银 龙振夏

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100080)

摘 要 资料分析表明, 西太平洋副高活动有准两年振荡特征, 副高的相对强度和副高脊线的纬度位置都清楚地表现出这种振荡。而且分析还表明, 平流层低层纬向风的垂直切变同西太平洋副高活动有关, 东(西)风切变对应着脊线位置偏北的较强(弱)副高形势。平流层低层东(西)垂直切变在赤道对流层上部所引起的异常上升(下沉)运动, 导致 Hadley 环流的异常加强(减弱)可能是平流层 QBO 影响西太平洋副高准两年振荡的重要机制。用 IAP GCM 所作的数值模拟试验得到了同观测资料分析相一致的结果。

关键词 西太平洋副高 准两年振荡 纬向风垂直切变 Hadley 环流

1 引言

西太平洋副热带高压是北半球夏季的重要大气环流系统。它的活动和异常又往往对东亚及西太平洋地区的天气气候有极大的影响, 因此一直受到中国气象科学工作者的重视, 并从不同角度对其进行过研究, 包括它的东西进退和南北移动^[1], 它的结构特征^[2], 它对中国天气气候的影响^[3], 以及 ENSO 对它的作用^[4], 等等。这些研究已使人们对西太平洋副高及其活动有了基本的认识, 但是不少问题仍有待继续深入研究, 尤其是关于西太平洋副高的长时间变化, 因气候异常及预测问题的需要而更为重要。

平流层的准两年振荡(QBO)自 60 年代初被发现后, 一直是大气科学的重要研究课题之一。近些年来, 人们不断发现对流层大气环流和气候变化也存在着准两年周期变化现象, 有人称其为 TBO, 并且发现它们同平流层的 QBO 有一定关系。例如, 印度季风降雨有准两年振荡现象, 而且同 QBO 关系很好, 当 QBO 为东风位相时, 印度季风雨偏少^[5]; 大西洋风暴也与 QBO 有关系, 当处于 QBO 的西风位相时, 大西洋风暴次数相对较多^[6]; 已有的研究表明, 中国东部降水和温度变化, 以及西太平洋台风活动也同 QBO 有一定关系^[7]。因此, 将 QBO 和 TBO 结合起来, 并探索它们对气候的影响, 也是大气科学研究的重要课题。

本文将对西太平洋副高的年际变化特征进行分析研究, 并讨论 QBO 与它的关系及对它的影响, 进而为东亚地区年际气候预测提供一定的科学依据。

1996-02-08 收到, 1996-10-11 收到修改稿

^{*} 本研究得到国家自然科学基金委和中国科学院 KY85-10 项目资助

2 西太平洋副高活动的准两年振荡

西太平洋副高是一庞大的暖高压系统, 在整个对流层都清楚地存在。这里我们用 500 hPa 上 (120°E ~ 150°E , 20°N ~ 30°N) 区域位势高度距平来描写它的强度及变化, 图 1a 是其变化的功率谱, 在 25 个月附近有极显著的谱峰, 因此可以认为西太平洋副高强度的变化也存在着准两年周期振荡现象。图 1b 给出的是 1967~1980 年期间 (20°N ~ 30°N , 120°E ~ 150°E) 地区 500 hPa 位势高度距平的 27 个月带通滤波结果以及新加坡 30 hPa 纬向风的时间演变, 不仅西太平洋副高强度变化的准两年振荡是清楚的, 而且它同平流层 QBO 还有很好的关系。在 QBO 由西风位相向东风位相转换期西太平洋副高处于偏弱期; 相反, 副高偏强期发生在 QBO 由东风位相向西风位相的转换期。

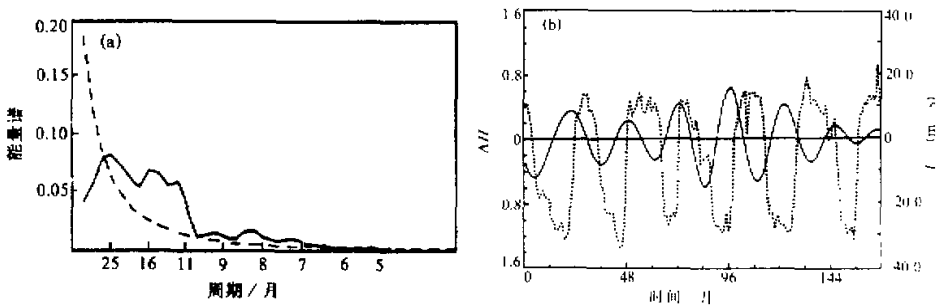


图 1 20°N ~ 30°N , 120°E ~ 150°E 地区平均 500 hPa 位势高度距平的功率谱 (a) 及其 27 个月带通滤波结果 (图 b 实线) 和新加坡 30 hPa 纬向风演变 (图 b 点虚线)

西太平洋副高的活动除了强度变化外, 纬度位置也是极其重要的特征, 一般都用副高的脊线位置来表示。资料分析表明西太平洋副高脊线的纬度位置也表现出准两年周期变化的性质。图 2 给出的是 500 hPa 上 120°E ~ 150°E 经度范围内 6~8 月平均副高脊线所处纬度的年际变化, 其中点线是 3 年滑动平均结果; 为了验证, 图中还给出了由 OLR 资料所确定的西太平洋副高脊线位置 (虚线)。OLR 资料确定的副高脊线位置与 500 hPa 位势高度所确定的脊线位置有大致相近的变化趋势, 表明其图示是比较可信的。夏季西太平洋副高脊线纬度位置的准两年振荡特征在图 2 中有比较清楚的表示。由于是 3 个月的平均值, 其振幅显得不太强, 但年际变化特征是明显的。图中用字母 W 标出了春夏季平流层低层为纬向风西风切变的年份, 未标字母者则为纬向风东风切变的年份。平流层低层的东或西风切变基本上对应着 30 hPa 的纬向东西风位相, 图 2 表示出西太平洋副高脊线的纬度位置同平流层低层纬向风切变有一定关系。平均来讲, 平流层低层的东风切变对应着西太平洋副高脊线偏北, 而西风切变对应着副高脊线位置偏南; 1951~1989 年平均, 对于东风切变, 脊线位置在 25.7°N ; 对于

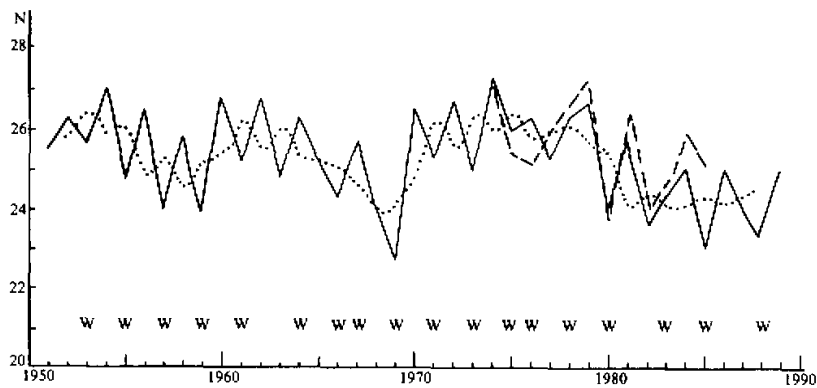


图2 夏季(6~8月)500 hPa西太平洋副高脊线纬度位置(120~150°E平均)的年际变化
图中虚线是由OLR资料确定的副高脊线位置;点线是经过3年滑动平均的结果

西风切变,脊线位置在24.8°N。

3 平流层 QBO 对西太平洋副高活动的影响

上面的分析表明,西太平洋副高的强度和纬度位置都有准两年振荡现象,而且这种年际变化特征同平流层 QBO 有一定联系。为了深入研究平流层 QBO 同西太平洋副高活动的关系,尤其是分析 QBO 的影响,我们给出平流层赤道附近月平均纬向风的时间-高度剖面(图3)(它引自文献[8]),可以比较好地反映赤道平流层纬向风的演变特征。平流层纬向风明显地存在着东风位相和西风位相,同样也存在东风切变和西风切变的转换,这些变化如何影响对流层环流呢?下面将作初步分析。

有关热带对流层顶高度的年际变化研究已经指出,热带对流层顶存在着 QBO 型上下伸缩现象^[9],而新加坡的探空资料又清楚表明,对应 QBO 的东(西)风位相,对流层上层(包括对流层顶)的高度有正(负)距平。Gray 等将热带大气在对流层顶附近等压面的变化及空气温度的变化同平流层低层纬向风垂直切变联系起来,并给出了一个示意图,图4的上半部分就是他们的示意图,而图4的下半部给出了 QBO 影响西太平洋副高的示意图。对于平流层低层为东风切变的情况,赤道地区的对流层上层有异常上升运动,从而导致 Hadley 环流的加强, Hadley 环流的异常加强不仅使得西太平洋副高位置偏北,而其强度也偏强;相反,对于平流层低层为西风切变的情况,赤道地区的对流层上层有异常下沉运动, Hadley 环流将受到削弱,进而导致西太平洋副高位置偏南,其强度也偏弱。

上述分析表明,平流层低层的纬向风垂直切变(往往同 30 hPa 纬向风有相同位相)可以影响西太平洋副高,相对于东风切变副高脊线位置偏北,强度偏强;相对于西风切变则副高脊线位置偏南,强度偏弱。实际观测资料与这些分析结果是基本一致的,因为图2给的西太平洋副高脊线位置,平均来讲就是对应东风切变偏北,而对应西风切

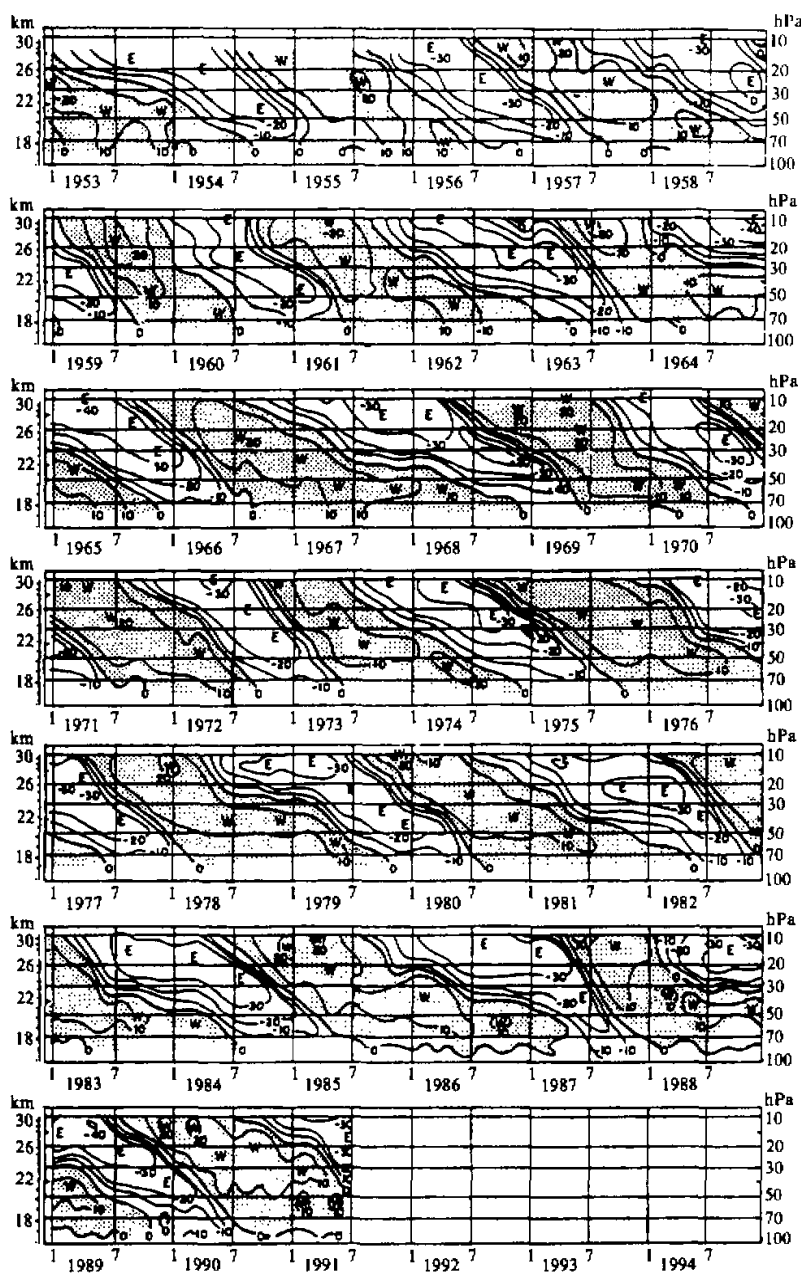


图3 1953~1991年期间赤道附近地区平流层月平均纬向风 (m/s) 的时间-高度剖面
图中阴影表示西风 (引自文献[8])

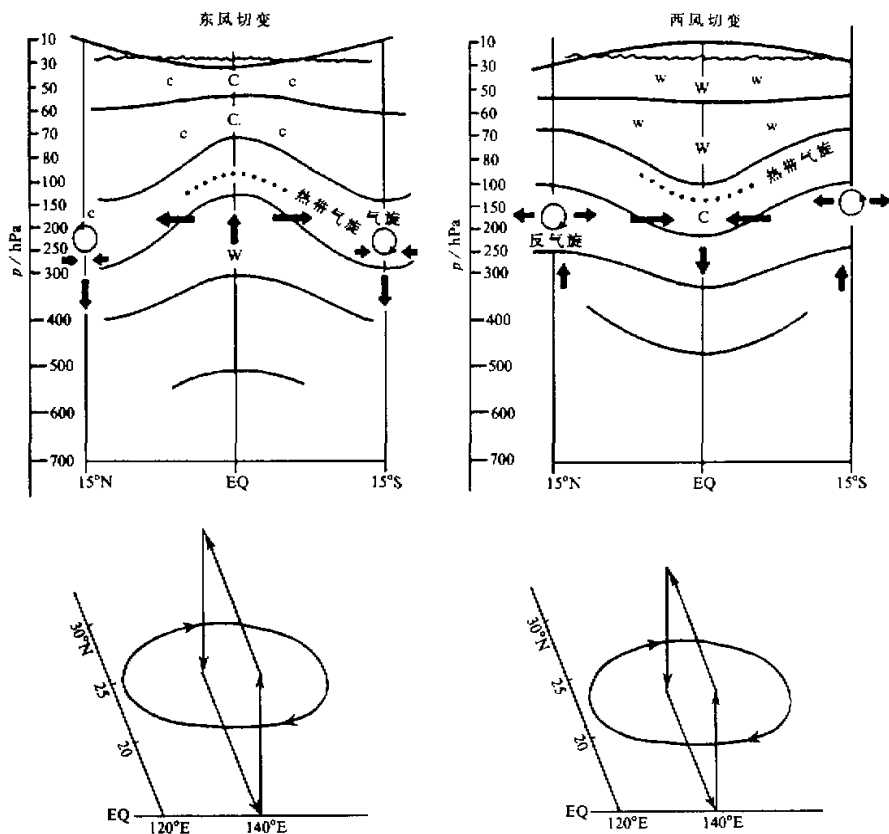


图 4 平流层低层纬向风垂直切变及其影响的示意图
图中下半部的椭圆形反环流表示西太平洋副高

变偏南。同时，天气分析预报的实践还表明，副高脊线偏北时副高强度一般也较强，而位置偏南时强度一般也较弱。

为了进一步说明平流层 QBO，尤其是纬向风垂直切变对副高的影响，下面再用观测资料分析经圈环流的情况。图 5 分别给出了 1985，1986 和 1987 年 7 月份 120°~150°E 平均经向风的高度-经度剖面，其中 1985 年 7 月对应着平流层低层的西风切变情况（30 hPa 也为西风），而 1986 和 1987 年对应着平流层低层、东风切变情况（30 hPa 也为东风）。十分清楚，平流层低层有西风切变的 1985 年 7 月，Hadley 环流的位置十分偏南，强度也较弱；平流层低层有东风切变的 1986 年和 1987 年 7 月，其 Hadley 环流都明显偏北，强度也比较强。这些观测资料的分析结果完全证实了我们前面关于平流层纬向风切变影响西太平洋副高的讨论。

4 数值模拟试验结果

为了进一步说明平流层纬向风切变对西太平洋副高的影响，我们利用 IAP-GCM 进行了数值模拟试验。考虑到计算量，我们这里用的是两层 IAP-GCM，它是全球格点模式，包含了比较完整的物理过程，有关模式的详细介绍可参阅文献[10，11]。需要指出的是，这个模式虽然只有两层，但对气候的模拟能力比较好，同九层模式结果并无太大差别。

正如图 4 所示，当平流层有东（西）风切变时，在赤道对流层上层有异常上升（下沉）运动，其等压面高度将异常增高（降低）。在所用模式不包括平流层的情况下，为了描写平流层东风切变的影响，我们假定在（2°S~6°N，100~180°E）区域的 200 hPa 上有位势高度正异常存在，其异常中心区的高度异常为 100 m，异常区边界上的高度异常为 50 m。数值试验的积分从 5 到 8 月，有高度异常的模式积分（即异常试验）同没有高度异常的模式积分（即对照试验）结果的差值可表明平流层东风切变的影响。由于目的在于讨论平流层纬向风切变（QBO）对西太平洋副高的影响，我们没有在数值模拟试验中取全球赤道地区都有高度异常的情况。

图 6 给出的是由于平流层东风切变的影响所造成的 6~8 月平均 500 hPa 高度异常形势，可以清楚地看到在西北太平洋地区有显著的正距平出现，其主要距平区在（10~35°N，120~165°E）范围。这种正距平分布意味着平流层东风切变的影响可导致西太平洋副高的增强和向北扩展，其副高脊线亦将偏北，因为西太平洋副高脊线在 6~8 月平均一般位于 25°N 左右。图 7 是在平流层东风切变影响下，数值模拟得到的 120~

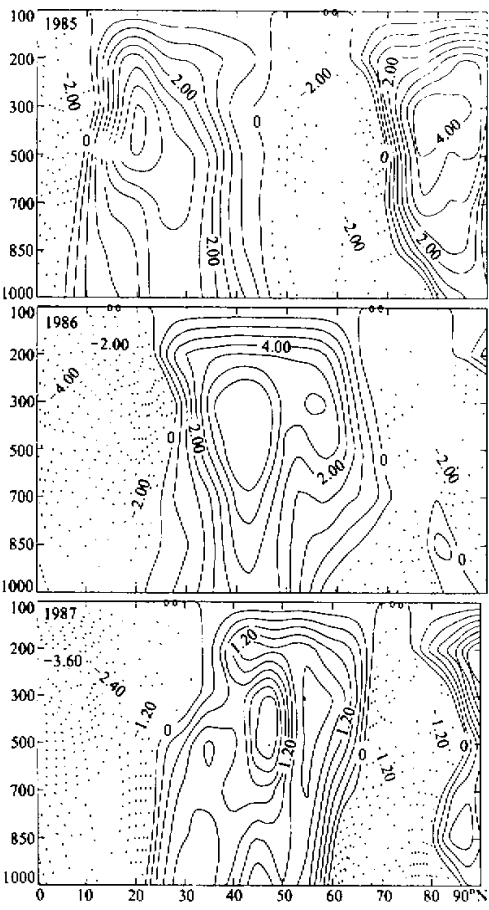


图 5 120~150°E 平均的 1985，1986 和 1987 年 7 月份的
经向风的高度-经度剖面
实线和虚线分别表示北风和南风，等值线间隔为 0.3 m/s

150°E 平均的 500 hPa 高度异常的时间-纬度剖面。由图我们同样可以看到在 10~38°N 纬带平均有持续的高度正距平；而且距平区的活动有明显低频特征，同过去我们已指出的结果类似，即大气对外强迫的响应主要为低频（30~60 d）响应^[12]。就其正距平中心随时间南北变化看，在 6 月份它极清楚地持续向北扩展，6 月下旬达到了 38°N 附近；然后它持续向南退缩，7 月中旬位于 15°N 附近；再后，正距平中心又向北推进，8 月份平均位置在 40°N 左右。也就是说平流层的东风切变所造成的西太平洋副高变化，不仅平均来讲强度增强，脊线位置偏北，与资料分析结果相一致，而且副高的这种变化具有 30~60 d 低频振荡的特征。

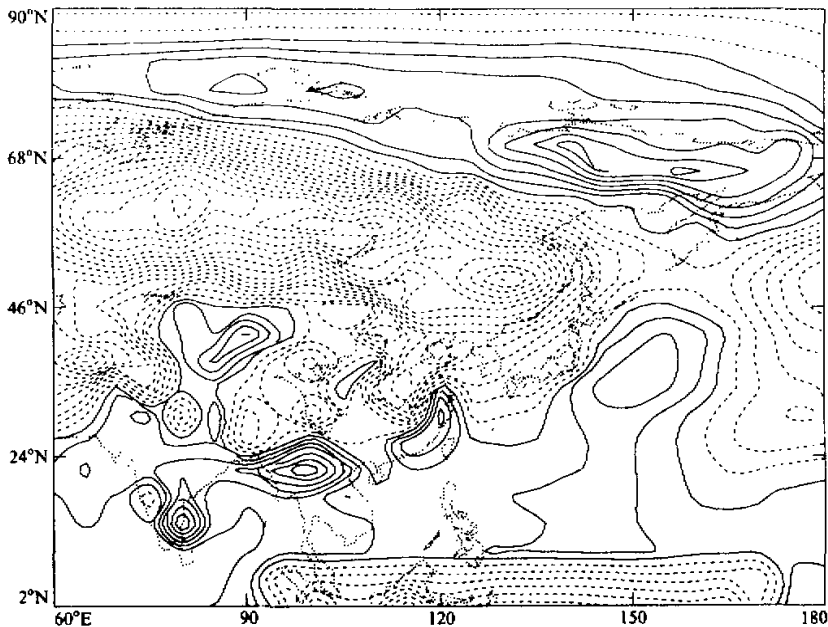


图 6 在平流层东风切变的影响下，数值模拟得到的 500 hPa 上 6~8 月平均的高度异常形势
图中实线和虚线分别表示正、负距平，等值线间隔为 ± 3 m

对于平流层低层为西风切变的情况，数值模拟则表明西太平洋夏季副高将偏弱偏南（图略），但影响不及东风切变时那么显著。

5 结论

本文的资料分析就西太平洋副高的活动及平流层 QBO 的影响等进行了研究，还用 GCM 作了相应数值模拟试验。其主要结果可归纳如下几点：

(1) 西太平洋副热带高压的活动，包括副高脊线纬度位置和副高强度，都有准两年振荡的特征。

(2) 平流层低层纬向风的垂直切变(30 hPa 附近的纬向风往往有相同位相)同西太平洋副高活动有一定关系。相对于东风垂直切变,副高脊线位置偏北,且强度偏强;相对于西风垂直切变,副高脊线位置偏南,且强度偏弱。

(3) 平流层低层东(西)风垂直切变在赤道对流层上部所引起的异常上升(下沉)运动,将导致 Hadley 环流的异常加强(减弱),从而影响西太平洋副高的活动,使其具有准两年振荡特征。这可能是平流层 QBO 影响西太平洋副高。

(4) 用 IAP-GCM 所作的数值模拟试验得到了同资料分析十分一致的结果,在平流层低层为东风切变的情况下(赤道对流层上部有异常上升运动或有位势高度正异常),模拟的西太平洋副高偏强,且位置偏北;在平流层低层为西风切变的情况下,却有相反情况。

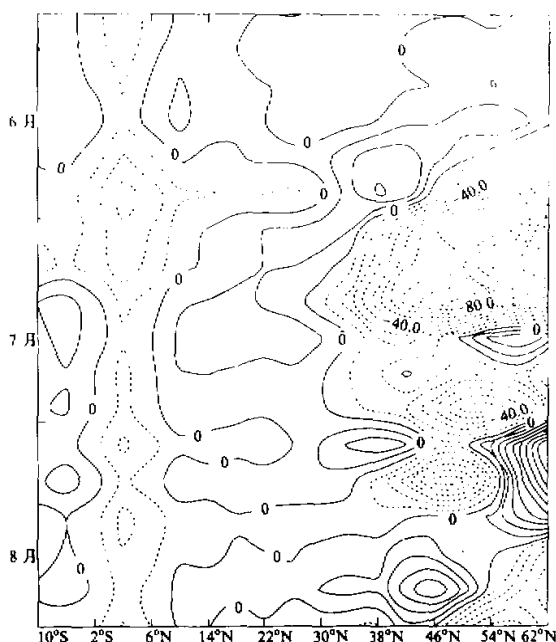


图 7 在平流层东风切变的影响下,数值模拟得到的 120~150°E 平均 500 hPa 高度异常的时间-纬度剖面

图中实线和虚线分别表示正、负距平,等值线间隔为 ± 10 m

参 考 文 献

- 1 黄士松、汤明敏, 1962, 副热带高压位置一年中南北变动的特征及其意义, 南京大学学报, 2, 86~95.
- 2 黄士松等, 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, 339~359.
- 3 陶诗言、徐淑英, 1962, 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征, 气象学报, 32(1), 1~10.
- 4 陈烈庭, 1982, 北太平洋副热带高压与赤道东部海温的相互作用, 大气科学, 6(2), 148~156.
- 5 Mukherjee, B. K., K. Indira and R. S. Reddy et al., 1985, Quasi-biennial oscillation in stratospheric zonal wind and Indian summer monsoon, *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1421~1424.
- 6 Gray, W. M., 1984, Atlantic seasonal hurricane frequency, Part I: El Niño and 30 mb quasi-biennial oscillation influences, *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1649~1668.
- 7 李崇银、龙振夏, 1992, 准两年振荡及其对东亚大气环流和气候的影响, 大气科学, 16, 167~176.
- 8 Gray, W. M., J. D. Sheaffer and J. A. Knaff, 1992, Influence of the stratospheric QBO on ENSO variability, *J. Meteor. Soc. Japan*, 70(5), 1~21.
- 9 Reid, G. C. and K. S. Gage, 1985, Interannual variations in the height of the tropical tropopause, *J. Geophys. Res.*, 90, 5629~5635.
- 10 Zeng Qingcun et al., 1990, IAP-GCM and its application to the climate studies, *Climate Change Dynamics and Modelling*, Beijing: China Meteorological Press, 303~330.

- 11 Zeng Qingcun et al., 1989, Documentation of IAP Two-level Atmospheric General Circulation Model. United States Department of Energy, TRO-44, DOE / ER / 60314-H1.
- 12 肖子牛、李崇银, 1992, 大气对外源强迫低频遥响应的数值模拟 I. 赤道东太平洋海温异常, 大气科学, 16, 708~717.

Study on Subtropical High Activity over the Western Pacific and QBO in the Stratosphere

Li Chongyin and Long Zhenxia

(LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Based on the data analyses, the quasi-biennial oscillation feature of subtropical high over the western Pacific is studied. This oscillation is very clear in both relative intensity and the ridge-latitude location of subtropical high. The analyses still show that the vertical shear of zonal wind in the lower stratosphere is related to subtropical high activity over the western Pacific, easterly (westerly) shear corresponds to stronger (weaker) subtropical high and the ridge locating to north (south) side. The ascending (sinking) motion in the upper troposphere over the equator caused by the easterly (westerly) shear in lower stratosphere will rise (weaken) the Hadley cell, and this is a possible important mechanism in relation to the influence of QBO on the subtropical high activity over the western Pacific. The simulations in IAP-GCM are also completed in this study and the results are similar with that in the observation data analyses.

Key words subtropical high over the western Pacific quasi-biennial oscillation (QBO) zonal wind shear Hadley cell