

# 准两年振荡及其对东亚大气环流 和气候的影响

李崇银 龙振夏

(LASG, 中国科学院大气物理研究所, 北京, 100080)

## 提 要

通过多年资料分析,本文研究了平流层准两年振荡(QBO)的演变特征及其对东亚及西太平洋地区大气环流和气候变化的影响。结果表明,平流层QBO的演变特征是:东风向西风转换最早出现在印度洋赤道地区;西风向东风转换最早出现在美洲和西太平洋赤道地区。中国东部降水量、气温以及西太平洋副高和东亚急流都有准两年周期变化,并同平流层QBO有密切关系;平流层QBO对西太平洋台风活动也有一定影响,QBO的西风位相期西太平洋台风偏少。另外,ENSO对于平流层QBO有明显影响,一般在ENSO发生之后,QBO的西风位相期持续时间缩短。

**关键词:** 准两年振荡(QBO); 东(西)风位相; 带通滤波; 厄尔尼诺/南方涛动(ENSO)。

## 一、引 言

QBO (quasi-biennial oscillation)即准两年振荡是60年代发现的一种赤道附近地区平流层低层风场的准周期变化现象。1961年,Reed等最先发现赤道平流层风场有每年反向的现象<sup>[1]</sup>,其后,Angell等进一步发现平流层温度、对流层顶高度及臭氧量等也存在着准两年周期变化<sup>[2-4]</sup>。1968年,Belmont的研究正式用QBO来表示这种准周期变化现象<sup>[5]</sup>。

一系列的研究已基本上弄清了QBO的主要特征:振荡周期基本上为两年,平均为26或27个月;振荡现象一般由30km高空向下传播,且在传播过程中振幅基本不变,但是到了23km以下其振幅迅速削弱;振幅的下传速度为每月1km;振荡现象对赤道呈对称。

很自然,人们早就提出了QBO的发生机制问题。最早Staley企图用太阳辐射的变化来解释QBO的发生<sup>[6]</sup>,但是他的理论难于说明为什么会不减幅地向下传播,经过深入研究,Lindzen和Holton提出了QBO的行星波垂直传播理论<sup>[7-8]</sup>,即热带对流层大气中Kelvin波和混合Rossby-重力波的垂直上传并与平流层的半年周期波相作用,较好地解释了QBO的产生及其传播特征。

近年来人们不断发现对流层大气环流及气候变化也存在着准两年周期变化现象,并且同平流层的QBO有一定的联系。例如,Mukerjee等分析发现印度季风降雨有准两

1990年3月13日收到,1990年6月4日收到修改稿。

年振荡现象<sup>[9]</sup>, 并同 QBO 关系很好, 当 QBO 的东风位相期, 印度季风雨偏少. Shapiro<sup>[10]</sup> 和 Gray<sup>[11]</sup> 研究大西洋风暴与 QBO 关系时发现, 当处于 QBO 的西风位相时, 大西洋风暴的数目相对较多.

我们在本文将首先用 30hPa 的风场资料分析 QBO 的演变特征, 并回答东、西风转换的最早发生区问题; 然后, 分析研究东亚地区大气环流及气候的准两年周期变化及其同 QBO 的关系; 最后还将讨论 ENSO 对 QBO 的影响.

## 二、资料及其处理

由于赤道附近地区主要是大洋, 探空比较稀少, 资料的不足给研究 QBO 带来了一定的困难. 本文有关 30hPa 的风场资料主要取自“Monthly Climatic Data for the world”, 部分用了“Meteorologische Alhardlungen”上的资料. 东亚地区的大气环流和气候变化基本上用国家气象局出版的月平均资料来描写.

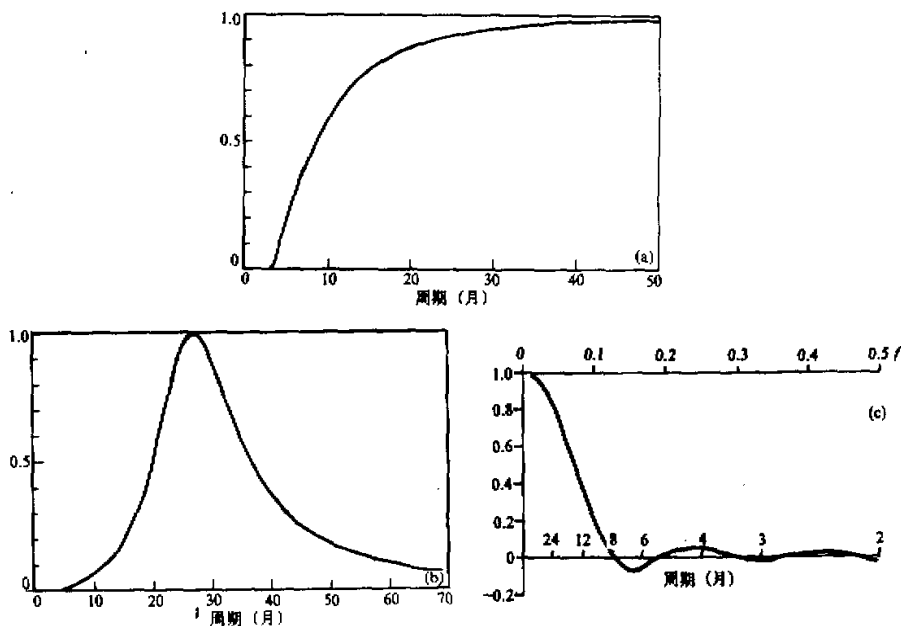


图 1 滤波器的响应函数

(a) 本文所用的低通滤波器, (b) 本文所用带通滤波器, (c) Trenberth 所用低通滤波器.

目前, 有关研究中都采用了滤波方法, 以突出某种时间尺度的变化. 本文的研究中用了两种滤波方法, 即低通滤波和带通滤波. 图 1 中 a 和 b 分别是本文所用低通滤波器和带通滤波器的响应函数, 图 1c 是 1980 年 Trenberth 研究 QBO 时使用的低通滤波器的响应函数<sup>[12]</sup>. 比较图 1a 和 1c 可以看到, 本文的滤波保留了较多的变化信息, 分析得到的准两年振荡更为可靠. 用图 1b 带通滤波器分析得到的是 20—36 月(中心为 27 月)

的周期变化,基本上属于 QBO 的变化现象。

### 三、QBO 的演变特征

前面我们已经指出, QBO 首先发生在 30km 附近,然后缓慢向下传播,其东、西风转换周期平均约为 27 个月。一个自然的问题是 QBO 首先发生在赤道平流层的什么地区呢? Belmont 分析 50hPa 的风场资料认为, QBO 现象的最早变化发生在美洲赤道地区,然后向东西两个方向扩展。但是,根据 QBO 的发生理论,热带对流层的 Kelvin 波和混合 Rossby-重力波是其基本因素,而 Holton<sup>[13]</sup>和李崇银<sup>[14]</sup>的研究又表明, Kelvin 波和混合 Rossby-重力波是由积云对流加热所激发的,全球热带地区对流加热最强处并不在美洲赤道地区,因此, Belmont 的结果难于给予物理解释。

分析赤道附近地区一些测站 30hPa 纬向风的时间演变,我们发现东风和西风位相间互相转换的确不能简单地看成最先发生在美洲赤道地区。从赤道附近地区一些测站 30hPa 月平均纬向风演变的例子,可以看到,由东风向西风转变明显以南亚赤道地区附近(新加坡)发生最先;而由西风向东风的转变却似乎以美洲和西太平洋赤道地区最早(图略)。还需特别指出,东风位相和西风位相的相互转换在全球范围相差的时间一般只 1—3 个月(个别情况可差 6 个月左右)。因此,东西风相互转换在全球范围都进行得相当迅速。

为了进一步揭露东西风演变的特征,图 2 给出了 1976—1977 年赤道附近地区各站候平均的 30hPa 纬向风的时间-经度剖面。很显然,由东风向西风的转换最先发生在 90—110°E 地区,其次是 70—90°W 地区(图 1b)。前者比后者早 15—20 天左右,而后者比其它地区早 5—10 天。由西风转变为东风的时间全球各地相差相对较短,约 10—15 天,以美洲和西太平洋赤道地区最先发生(图 1a)。

根据 Lindzen 和 Holton 提出的 QBO 的行星波垂直传播理论,若对流层上层有一

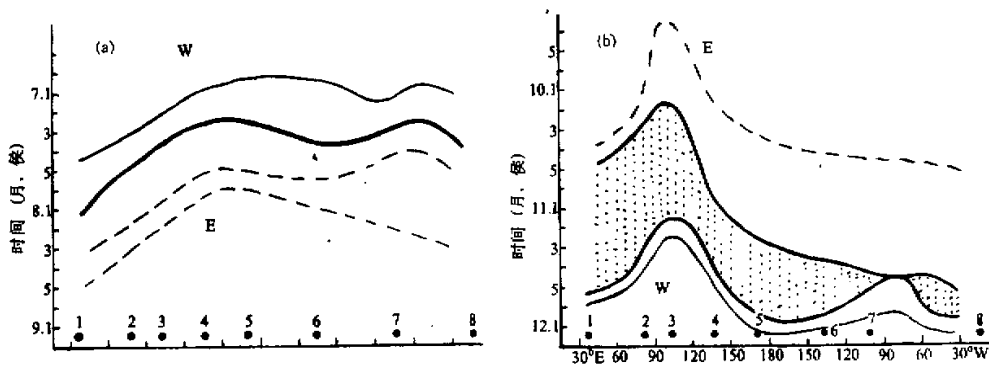


图 2 赤道附近地区候平均 30hPa 纬向风的时间-经度剖面

阴影区为东、西风不稳定期, W、E 分别代表西风 and 东风, 1、2、3、4、5、6、7 和 8 表示依次位于

(1°S, 37°E), (8°N, 78°E), (8°N, 101°E), (9°N, 139°E), (8°N, 169°E),

(11°S, 139°W), (9°N, 79°W), (8°S, 14°W) 的测站。

西传的行星波(混合 Rossby-重力波), 则其垂直上传将导致平流层低层平均东风气流的加速; 而东传的行星波(Kelvin 波)将导致平均西风气流加速, 那么, 上面的结果似乎表明, 在南亚赤道地区有利于 Kelvin 波的垂直上传, 使得西风最先建立。

#### 四、中国东部地区的降水与 QBO

关于中国东部地区降水量存在准两年周期变化现象已有研究提及<sup>[15]</sup>。1951—1980 年期间华南地区、长江中下游和黄河中下游地区月平均降水量的功率谱分析结果如图 3 所示, 很显然, 上述三个地区的月平均降水量都有准两年周期变化的谱峰, 说明中国东部降水量存在着准两年周期变化。

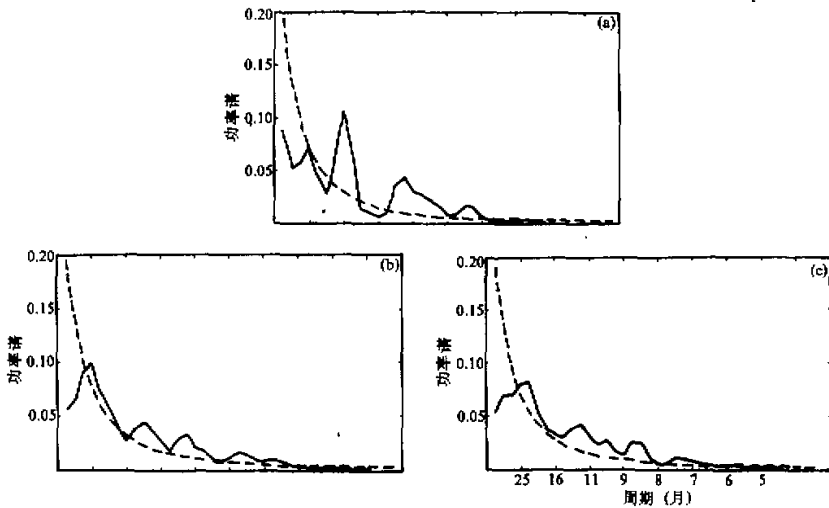


图 3 中国东部月平均降水量的功率谱

图中虚线表示 95% 的置信度, (a) 黄河中下游地区,

(b) 长江中下游地区, (c) 华南地区。

中国东部降水存在准两年周期变化特征, 它们同 QBO 有没有直接关系呢? 分别对上述三个地区月平均降水量进行的 27 个月带通滤波的结果表明, 滤波后的标准差分别为原月平均量标准差的 18%, 20% 和 14%。乍看起来这个比值似乎不大, 但应该注意, 27 个月带通滤波更多地反应两年时间尺度的变化, 同月变化量相比当然显得很小, 但同年降水量的标准差相比, 却十分可观, 它们分别达到 74%、66% 和 46%。这些对比分析进一步说明, 中国东部地区降水量准两年周期变化是十分重要的。图 4 给出的是 27 个月带通滤波的中国东部地区降水量的时间演变和马里亚纳 30hPa 纬向风的时间演变。首先我们可以看到, 曲线 c 和 d 有近乎反相的变化特征, 表明华南降水量的演变同马里亚纳 30hPa 纬向风的演变有非常好的反相关系, QBO 的东风期与华南多雨相对应, 而 QBO 的西风期对应着华南降水量偏少。曲线 a 与 c 相比较, 表现出明显的位相滞后特征, 即黄河中下游降水量的准两年周期变化比华南滞后半年到 1 年。因此, 黄河中下游降水

量变化同 QBO 的关系表现为, 多雨发生在 QBO 由东风向西风的转换期, 少雨发生在 QBO 由西风向东风的转换期. 曲线 b 与曲线 a 和 c 相比较表明, 长江中下游降水量的准两年周期演变有时同黄河中下游地区相一致(如 1967—1970 年), 而有时又同华南相一致(如 1971—1979 年), 表现出中间地带的特征.

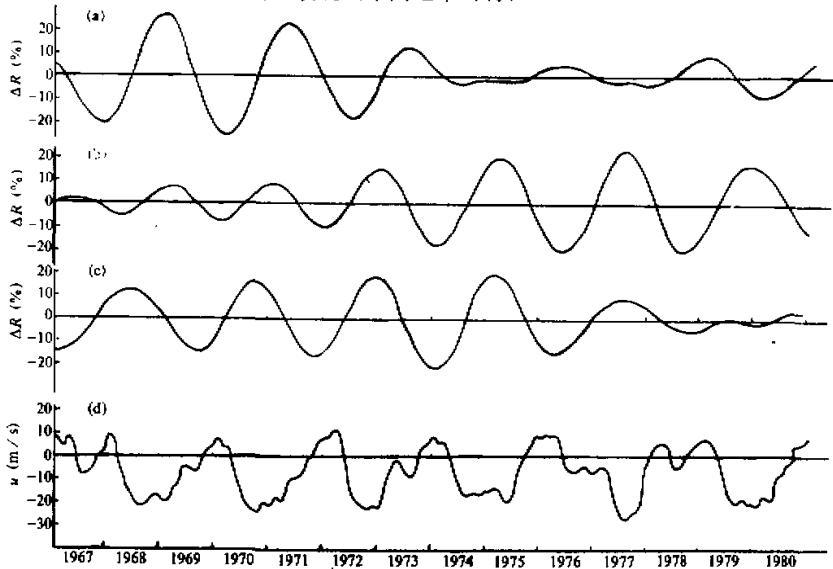


图 4 经过 27 个月带通滤波的中国东部地区降水量(a—c)以及马里亚纳 30hPa 纬向风(d)的时间演变

(a) 黄河中下游地区, (b) 长江中下游地区 (c) 华南地区.

近几年来, 中国气象学家关于亚洲夏季风的研究表明, 亚洲存在着南亚(印度)季风和东亚季风两支既有联系又有差别的季风系; 而且季风雨的年际变化表明, 当印度地区夏季雨量偏多时, 中国夏季季风雨却偏少<sup>[16]</sup>. 在较高纬度地区, 西风带扰动的影响也是重要的, 因此, 华南地区受东亚季风的影响更大, Mukerjee 等的研究指出, 印度季风雨同平流层 QBO 有明显关系, 在 QBO 的东风位相, 印度季风雨偏少. 本文的分析表明, QBO 的东风位相对应着我国华南地区多雨. 这同印度地区降水量与 QBO 的关系相反, 但却符合印度季风雨偏多(少), 东亚季风雨偏少(多)的变化特征. 可见, 本文关于中国东部降水量与平流层 QBO 关系的研究结果, 可以同有关亚洲季风活动的研究以及印度季风雨与平流层 QBO 关系的研究结果相吻合.

## 五、东亚 / 西太平洋大气环流变化与 QBO

东亚 / 西太平洋地区大气环流演变是否存在准两年周期现象以及它们同 QBO 有什么关系, 还是一个尚未研究的新问题. 图 5 分别给出了(120—150 °E, 20—30 °N)地区 500hPa 位势高度变化(代表西太平洋副热带高压活动), 长江中下游地区以及华南地区气温变化的功率谱. 很显然, 它们在 25 个月左右都有清楚的谱峰, 表明西太平洋

副热带高压、东亚西风带强度以及地面气温都存在着明显的准两年周期变化。

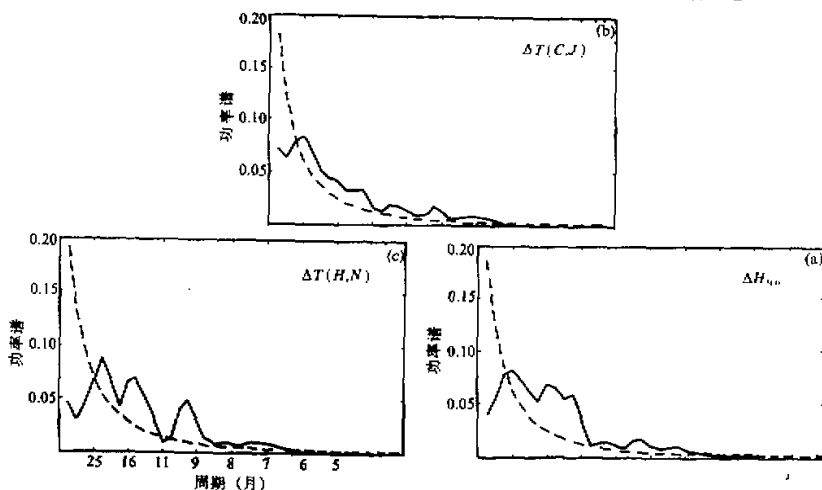


图 5 (120—150 °E, 20—30 °N)地区 500hPa 位势高度(a), 长江中下游地区地面气温变化(b)以及华南地区气温变化(c)的功率谱  
图中虚线表示 95% 的置信度

27 个月带通滤波结果表明, 东亚 500hPa 位势高度以及 50 °N 和 30 °N 间高度差的最大变化可以达到 50 位势米左右, 而长江流域地面气温的标准差与月平均温度的标准差相比为 17%, 与气温年平均变化的标准差相比可达 50% 以上, 足见东亚 / 西太平洋大气环流的准两年周期变化是极其重要的。图 6 分别给出了 27 个月带通滤波的西太平洋副高(实线)和东亚西风强度(虚线)以及新加坡 30hPa 纬向风(点线)的时间演变。由图我们可以清楚看到, 实线与虚线基本上为反相关系, 说明东亚西风带强时, 西太平

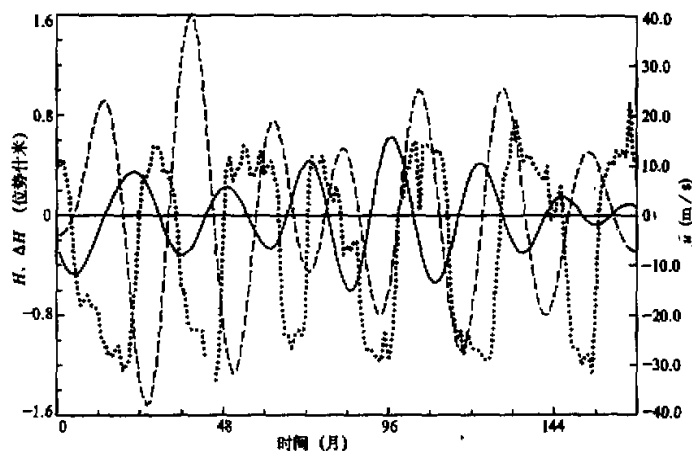


图 6 27 个月带通滤波的(120—150 °E, 20—30°N)地区 500hPa 位势高度异常(实线)和(110—140°E)地区 50 °N 与 30 °N 间 500hPa 高度差异常(虚线)以及新加坡 30hPa 纬向风(点线)的时间演变

洋副高弱, 而东亚西风带弱时, 西太平洋副高则强, 同东亚 / 西太平洋大气环流演变的事实相一致。比较点线和实线我们还可以发现, 最弱的副高发生在 QBO 由偏西风位相向偏东风位相转变的过程中; 相反, 最强的副高发生在 QBO 由偏东风位相向偏西风位相转变的过程中。长江中下游地区气温的准两年周期变化基本上同西太平洋副高的准两年周期变化相一致(图略), 也与东亚大气环流演变的事实相符。

## 六、西太平洋台风活动与 QBO

Shapiro 和 Gray 在其研究中都指出了大西洋风暴活动与平流层的 QBO 有一定的关系, 当 QBO 处于西风位相时, 相应的大西洋风暴数目相对较多。根据 1964—1987 年西太平洋的台风活动与平流层的 QBO 的分析, 我们发现西太平洋台风活动与平流层 QBO 之间也有一定的关系。根据 1961—1987 年 30hPa 月平均纬向风及 1964—1987 年西太平洋月平均台风数距平的时间变化(图略), 可以看到两者间的反相关系比较明显一些, 为了更说明问题, 我们对其间 QBO 的 10 个夏季东风位相年(1965, 1967, 1968, 1970, 1972, 1974, 1979, 1981, 1984, 1986) 和 6 个夏季西风位相年(1969, 1971, 1973, 1975, 1980, 1985) 的 6—12 月西太平洋台风数距平分别进行了分析。结果表明, 对于(夏季)东风年, 西太平洋台风数(6—12)距平为 1.97, 而对于(夏季)西风年, 西太平洋台风数(6—12)距平为 -2.01, 也就是说, 当夏季处于 QBO 的东风位相时, 有利于西太平洋台风的生成, 而夏季处于 QBO 的西风位相时, 不利于西太平洋台风生成。这里我们未考虑夏季 30hPa 纬向风处于由(东)风向(西)风转换的情况。

将本文的结果与 Shapiro 和 Gray 的研究相比较, 可以认为, 西太平洋台风数与平流层 QBO 的关系正好同大西洋风暴数与 QBO 的关系相反。平流层 QBO 的西风位相有利于大西洋风暴的发生, 却不利于西太平洋台风的生成。同样处于 QBO 的西风位相, 为什么在西太平洋和大西洋有不同影响呢? 这可能同整个热带大气环流(包括沃克环流)的异常变化有关, 尚待进一步深入研究。

## 七、ENSO 对 QBO 的影响

前面已经指出, QBO 的平均周期约为 27 个月。但是, 在各个测站东风和西风并不是正弦或余弦式变化。各地东风都比西风强得多; 但东风位相所占的时间同西风位相所占的时间平均来讲基本相似。

近年来有关 ENSO 的一系列研究表明, El Nino 事件发生对全球大气环流和气候变化都有极为明显的影响。那么, ENSO 对于热带平流层的风场演变, 或者说对 QBO 有没有明显的影响呢? 图 7 给出了 1967—1988 年间新加坡(实线)和马里亚纳(虚线) 30hPa 上纬向风的时间演变, 其中在曲线下面用粗横线标出了 El Nino 事件, 由图可以看到, 这些 El Nino 事件都使其后 QBO 的西风位相所持续的时间明显缩短。表 1 给出了新加坡和马里亚纳 30hPa 纬向风的持续时间, 相对 El Nino 事件, 两站的西风平

均持续时间分别为 10.3 月和 5.8 月；而相对于非 El Nino 情况，西风平均持续时间分别为 17.2 月和 12.0 月。可见，El Nino 事件的发生对于 QBO 的西风位相有着极为重大的影响，使其持续时间平均缩短了 41% — 52%。

一个有趣的现象是 El Nino 事件对于 QBO 的东风位相并没有什么影响，包括其强度和持续时间。关于 El Nino 事件会导致 QBO 西风持续时间的缩短以及它的动力学机制，还有待于进一步研究。

表 1 新加坡和马里亚纳 30hPa 上西风的平均维持时间(月)

|      | El Nino | 非 El Nino |
|------|---------|-----------|
| 新加坡  | 10.3    | 17.2      |
| 马里亚纳 | 5.8     | 12.0      |

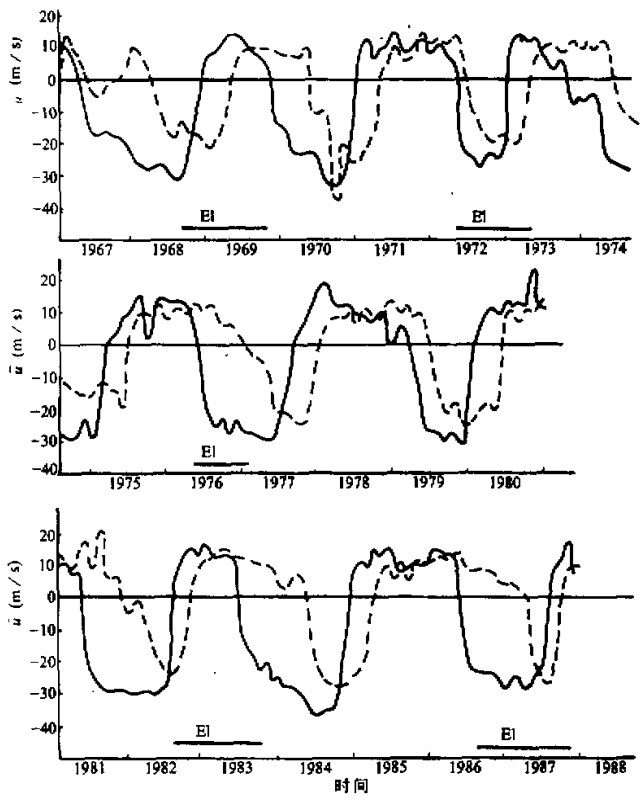


图 7 1967 — 1988 年新加坡(实线)和马里亚纳(虚线)30hPa 月平均纬向风的时间演变

### 八、结 论

根据前面的分析，可以得到以下几点结论：



(1) 平流层 QBO 的东西风位相的相互转换过程在全球范围都进行得相当迅速, 但由东风向西风的转变明显地在南亚赤道地区先发生; 而由西风向东风的转变却最先在美洲和西太平洋的赤道地区发生。

(2) 中国东部地区的降水存在着明显的准两年周期变化, 且同平流层 QBO 有一定联系。对华南地区来说, QBO 的东风期对应着华南多雨, 而 QBO 的西风期与华南少雨相对应; 黄河中下游地区情况有所不同, 多雨发生在 QBO 由东风向西风的转换期, 少雨发生在 QBO 由西风向东风的转换期; 长江中下游的情况介于两者之间, 有时同华南地区相一致, 有时又同华北地区相一致。

(3) 功率谱分析表明, 西太平洋副热带高压、东亚西风带强度以及地面气温都存在明显的准两年周期变化。东亚西风带强时, 西太平洋副高弱; 东亚西风带弱时, 西太平洋副高则强。弱的副高出现在平流层 QBO 由偏西风位相向偏东风位相转变的过程中; 相反, 强的副高发生在 QBO 由偏东风位相向偏西位相转变的过程中。

(4) 西太平洋台风活动同平流层 QBO 关系的研究表明, 夏季处于 QBO 的东风位相时有利于西太平洋台风生成, 而夏季处于 QBO 的西风位相时, 不利于西太平洋台风生成。

(5) El Nino 事件对平流层 QBO 有着极为重大的影响, 使 QBO 的西风位相的持续时间平均缩短了 41% — 52%。

以上结论都是对实际资料的分析而得出的, 它们的动力学机制尚不清楚, 有待于进一步研究。

致谢 本研究得到国家自然科学基金部分资助。

### 参 考 文 献

- [1] Reed, R. J. et al., 1961, Evidence of the downward-propagating annual wind reversal in the equatorial stratosphere, *J. Geophys. Res.*, **66**, 813 — 818.
- [2] Angell, J. K. and J. Korshover, 1968, Additional evidence for quasi-biennial variations in tropospheric parameters, *Mon. Wea. Rev.*, **96**, 778 — 784.
- [3] Reed, R. J. and D. G. Rogers, 1962, The circulation of the tropical stratosphere during the years 1954 — 1960, *J. Atmos. Sci.*, **19**, 127 — 135.
- [4] Tucker, G. B. and Hopwood, J. M., 1968, The 26-month zonal wind oscillation in the lower stratosphere of the Southern Hemisphere, *J. Atmos. Sci.*, **25**, 293 — 298.
- [5] Belmont, A. D. and D. G. Dartt, 1968, Variation with longitude of the quasi-biennial oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **96**, 767 — 777.
- [6] Staley, D. O., 1963, A partial theory of the 20-month oscillation of the zonal wind in the equatorial stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, **20**, 506 — 515.
- [7] Lindzen, R. S. and J. R. Holton, 1968, A theory of the quasi-biennial oscillation, *J. Atmos. Sci.*, **25**, 1095 — 1107.
- [8] Holton, J. R. and R. S. Lindzen, 1972, An updated theory for the quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, **29**, 1076 — 1080.
- [9] Mukherjee, B. K., Indira, K., Reddy, R. S. and Murty, B. H. V. Ramana, 1985, Quasi-biennial oscillation in stratospheric zonal wind and Indian Summer monsoon, *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 1421 — 1424.

- [10] Shapiro, L., 1982, Hurricane climatic fluctuations. Part II: Relation to large-scale circulation, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 1014 — 1023.
- [11] Gray, W. M., 1984, Atlantic seasonal hurricane frequency, Part I: El Nino and 30 mb quasi-biennial oscillation influences, *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1649 — 1668.
- [12] Trenberth, K. E., 1980, Atmospheric quasi-biennial oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1370 — 1377.
- [13] Holton, J. R., 1972, Waves in the equatorial stratosphere generated by tropospheric heat sources, *J. Atmos. Sci.*, **29**, 368 — 375.
- [14] Li Chongyin, 1984, The CISK-overstability convection, *Science in China (B)*, **27**, 501 — 510.
- [15] 黄嘉佑, 1988, 准两年振荡在我国月降水量中的表现, *大气科学*, **12**, 267 — 273.
- [16] Tao Shiyan et al., 1985, The East Asia summer monsoon, *Proceedings of International Conference on Monsoon in the Far East*, Tokyo, November 5 — 8, 1985, 1 — 11.

## QBO and Its Influence on the General Atmospheric Circulation and the Climate in East Asia

Li Chongyin   Long Zhenxia

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

### Abstract

In this paper, the evolution properties of the stratospheric QBO and its influence on the general atmospheric circulation and the climate in East Asia/the western Pacific are studied by analyzing data of many years. Results show that the transition from the easterly to the westerly originates in the equatorial Indian Ocean, and from the westerly to the easterly in tropical America and the equatorial western Pacific. There are quasi-biennial variations in the precipitation, the temperature in East China/the subtropical high over the western Pacific and the Jet in East Asia. They are closely related to the stratospheric QBO. The stratospheric QBO also affects the typhoon activity over the western Pacific. The number of the typhoon over the western Pacific is smaller during the period of the QBO's westerly phase. In addition, ENSO obviously affects the stratospheric QBO. Generally, after ENSO's occurrence, the continued length of the QBO's westerly phase is shortened.

**Key words:** Quasi-biennial Oscillation (QBO); Easterly (Westerly) phase; Bandpass-filtered; El Nino/Southern Oscillation (ENSO).