

卢峰, 王黎娟, 郑彬, 等. 南海地区对流层大气准两年振荡的垂直结构特征[J]. 热带气象学报, 2011, 27(4): 484-494.

文章编号: 1004-4965(2011)04-0484-11

## 南海地区对流层大气准两年振荡的垂直结构特征

卢峰<sup>1,2</sup>, 王黎娟<sup>1</sup>, 郑彬<sup>2</sup>, 邓小金<sup>3</sup>

(1. 南京信息工程大学/气象灾害省部共建教育部重点实验室, 江苏 南京 210044;  
2. 中国气象局广州热带海洋气象研究所/热带季风重点开放实验室, 广东 广州 510080;  
3. 永定县气象局, 福建 永定 364100)

**摘 要:** 利用 NCEP(the National Centers for Environmental Prediction)月平均再分析资料, 并结合欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)月平均再分析资料, 研究了中国南海地区(South China Sea, SCS, 105 ~ 120 °E, 5 ~ 20 °N)平均时间序列的气候变量(包括风、温度、湿度、位势高度、气压垂直速度)准两年振荡的垂直结构特征。功率谱分析和滤波分析(整个垂直方向, 从 1 000 ~ 100 hPa, 比湿在 1 000 ~ 300 hPa)的结果表明: 南海地区垂直方向上各气候变量的准两年振荡具有显著性, 同时多数气候变量的准两年特征具有明显的年代或年代际变化。从总体来看,  $u$ 、 $v$  和位势高度准两年振荡在整个对流层的传播方向主要是从下往上传; 气压垂直速度和比湿仅在对流层低层有从下往上传播; 气压垂直速度和温度在对流层高层有从上往下传的波动。此外, 还讨论了 SCS 地区各气候变量准两年变化之间的位相关系。

**关键词:** 气候学; 垂直结构; 统计分析; 准两年振荡; 南海

中图分类号: P46

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2011.04.006

## 1 引 言

准两年周期振荡(Quasi-Biennial Oscillation, QBO)最初是指热带平流层纬向平均气流具有的周期为 26 个月的东风和西风互相交替出现的年际变化, 最早由 Reed 等<sup>[1]</sup>和 Veryard 等<sup>[2]</sup>在 1960 年代发现。此后, QBO 的研究引起了国内外气象学者的普遍关注。不少工作发现在对流层大气环流以及地面气象要素的变化中也几乎普遍存在着 QBO 现象。为了区别平流层准两年振荡, 把在对流层的大气环流和气象气候要素所具有明显的准两年周期振荡, 称之为对流层准两年振荡(Tropospheric Biennial Oscillation, TBO)。TBO 是大气环流和气候年际尺度变化的一种非常显著而

重要的信号, 不仅与对流层环流及环境有直接联系, 而且对全球天气气候的演变有一定的影响, 是国际季风研究关注的主题之一。TBO 是大气环流变化过程中的一个重要特性, 它在大气-海洋-地球系统的相互作用与反馈机制中发挥着重要的作用, 也是季风年际变异中不可缺少的重要组成部分。弄清 TBO 的机制、机理和长期演变等问题, 将有助于提高短期气候预测的准确性。因此, TBO 具有重要的研究价值。

TBO 的研究从 1980 年代兴起<sup>[3]</sup>, 如今诸如北半球地面气压<sup>[4]</sup>、热带纬向风和海面温度<sup>[5]</sup>、副高脊线纬度位置和副高强度<sup>[6]</sup>、500 hPa 位势高度异常场<sup>[7]</sup>、近赤道上空的气温<sup>[8]</sup>、全球及南北半球平均气温<sup>[9-10]</sup>的准两年变化特征被陆续揭示出来。李崇银等<sup>[11]</sup>对华南地区、长江中下游和黄河中下

收稿日期: 2010-12-11; 修订日期: 2011-02-28

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2011CB403403)资助

通讯作者: 郑彬, 男, 福建省人, 博士, 主要从事季风和海气相互作用研究。E-mail: zbin@grmc.gov.cn

游地区月平均降水量的功率谱分析, 揭示了中国东部降水量存在着准两年周期变化。此外, 还给出了  $120 \sim 150^{\circ}\text{E}$ ,  $20 \sim 30^{\circ}\text{N}$  地区的  $500 \text{ hPa}$  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, 证明了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。

近年来关于TBO的研究越来越深入, 使我们对TBO的理解也越来越清晰。国内外许多气象学者在这方面做了很多工作, 比如, Mooley等<sup>[12]</sup>从观测事实的分析指出了在印度尼西亚和印度等热带季风降水的年际变化存在着TBO; Lau等<sup>[13]</sup>、Barnet等<sup>[14]</sup>和Rasmussen等<sup>[15]</sup>将亚澳季风环流看成一个系统来进行研究, 结果表明, 亚澳季风环流、降水的准两年振荡是紧密地与 ENSO 的时间尺度相联系的; Chang等<sup>[16]</sup>研究了热带对流层准两年振荡的理论表明, TBO是一种北半球夏季与冬季季风和热带印度洋与太平洋相互作用的结果; 李崇银等<sup>[17]</sup>研究了TBO产生的原因是异常东亚冬季风与ENSO循环相互作用的结果; Li等<sup>[18]</sup>使用季节性序列EOF分析方法探索了印度太平洋暖海洋地区对流层准两年振荡的时空结构和机制; 黄荣辉等<sup>[19]</sup>应用EOF和熵谱分析方法, 分析了中国夏季(6—8月)降水和东亚水汽输送通量和热带西太平洋表层与次表层海温的年际变化, 表明中国(特别是华南、长江流域和淮河流域以及华北等地区)夏季降水和热带西太平洋热力状态的变化都具有准两年周期的振荡特征。郑彬等<sup>[20]</sup>研究了平流层准两年周期振荡对 $\text{CH}_4$ 双峰的影响, 结果表明:  $\text{CH}_4$ 混合比在平流层下层较大, 向上迅速减小。同时, 中纬度与热带 $\text{CH}_4$ 混合比的等压面梯度也随着高度逐渐减小, 甚至在平流层顶附近和平流层上层形成双峰。另外, 郑彬等<sup>[21]</sup>的研究结果表明亚太季风各子系统(南亚季风、南海季风、西北太平洋季风和东亚副热带季风)都具有显著的准两年变化周期。近年来的研究表明南海夏季风也具有显著的准两年周期变化<sup>[22]</sup>, 而且它也是全球TBO海-气循环系统的重要组成部分<sup>[23]</sup>。

然而, 过去主要是从平面二维结构上探讨TBO产生的原因和机制、揭示对流层各种气候变量的准两年周期或降水的准两年振荡等, 关于

TBO 的垂直结构和随时间演变的特征这方面研究还比较少, 而 TBO 的垂直结构特征是 TBO 研究的一个重要内容。已有研究表明, 南海季风不仅仅是雨或风, 它本质是一个深厚的环流系统<sup>[24]</sup>, 因此, 有必要在前人对 TBO 研究的基础上分析南海地区 TBO 的垂直结构特征。利用 1968 年 1 月—2009 年 3 月 NCEP(the National Centers for Environmental Prediction)再分析资料, 并结合欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)月平均再分析资料, 对中国南海地区(South China Sea, SCS,  $105 \sim 120^{\circ}\text{E}$ ,  $5 \sim 20^{\circ}\text{N}$ )平均时间序列的气候变量(包括风、温度、比湿、位势高度、气压垂直速度)进行了功率谱分析(整个垂直方向, 从  $1000 \sim 100 \text{ hPa}$ , 比湿从  $1000 \sim 300 \text{ hPa}$ ), 证明了 SCS 地区各气候变量准两年振荡显著, 接着对各气候变量进行了 TBO 滤波, 分析了中国南海对流层准两年振荡的垂直结构特征, 最后探讨了各气候变量准两年变化之间的位相关系。

## 2 各气候变量的准两年特征

### 2.1 功率谱分析

为了研究南海准两年振荡的垂直结构特征, 对南海地区的气候变量(包括风、温度、湿度、位势高度、气压垂直速度)进行了功率谱分析(整个垂直方向), 图 1 是  $u$  分量(a)、 $v$  分量(b)、气压垂直速度(c)、温度(d)、比湿(e)和位势高度(f)功率谱分析图。由于资料是 1968 年 1 月—2009 年 3 月共 495 个月, 因此, 选取的序列长度为  $n=495$ , 最大落后长度为  $m=150$ , 则对应周期是  $2 \times m/\text{波数}(\text{月})$ 。由此可知  $10 \sim 15$  波数范围对应的即是准两年振荡的周期( $20 \sim 30$  个月, 下同)。

从  $u$  分量的功率谱分析图(图 1a)可以看出,  $10 \sim 15$  波数范围内具有显著性。显然, 南海地区  $u$  分量有明显的准两年周期变化。由  $v$  分量、气压垂直速度、温度、位势高度、比湿的功率谱分析图(图 1b ~ 1f)也可以看到, 这些变量在整个对流层的准两年周期都非常显著。利用欧洲中心再分析资料对南海地区上述各气候变量进行了验证(图略), 得到各气候变量的准两年振荡都具有显

著性, 与 NCEP 资料得到的结果一致。

综上所述, 南海地区的各个气候变量在整个

对流层(1 000 ~ 100 hPa, 比湿从 1 000 ~ 300 hPa)都具有显著的准两年振荡周期。

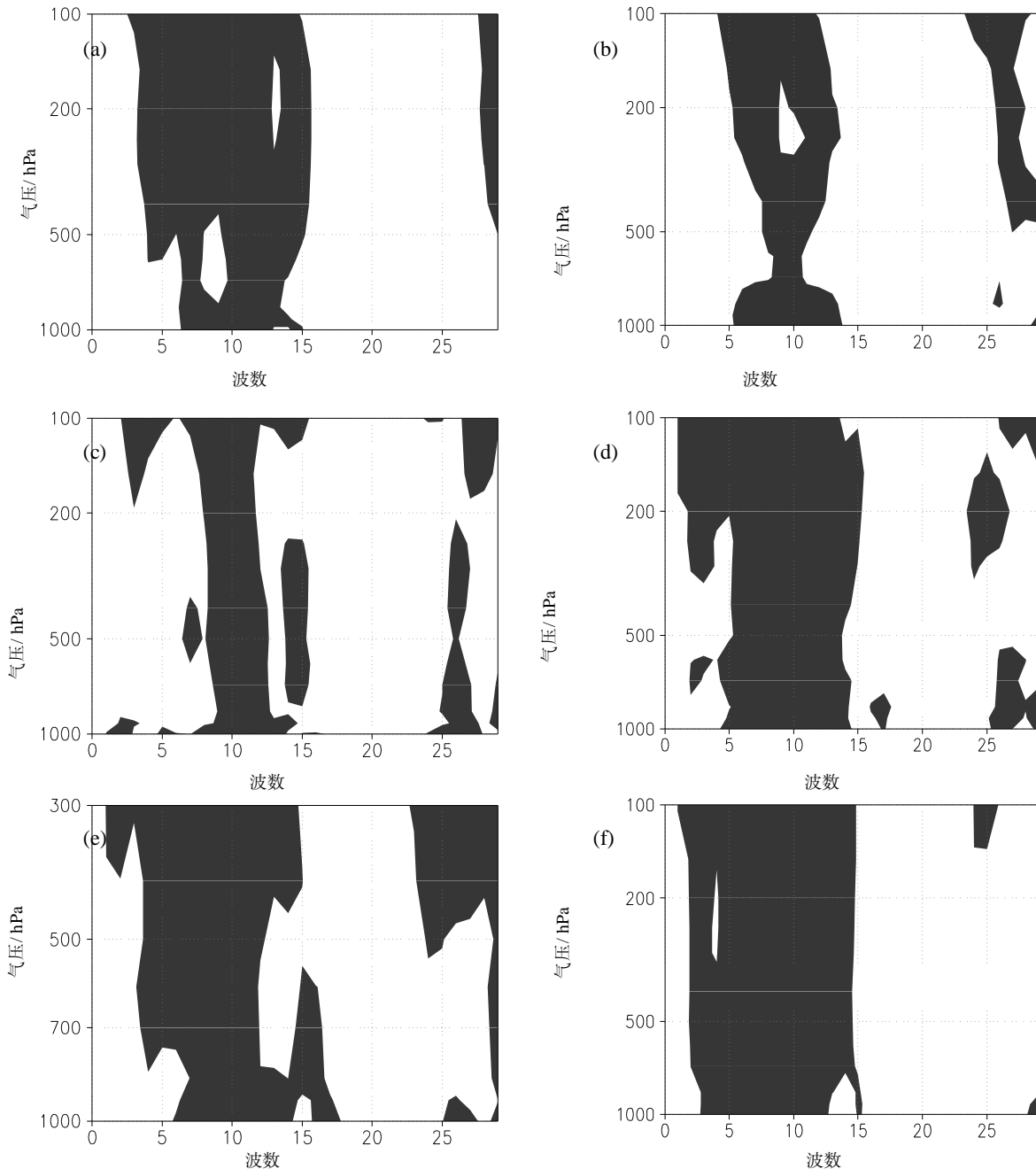


图1 南海地区  $u$  分量(a)、 $v$  分量(b)、垂直速度(c)、温度(d)、比湿(e)和位势高度(f) 在垂直方向上的功率谱分布  
阴影部分是超过 0.05 显著性统计检验的功率谱值, 10 ~ 15 波数对应 20 ~ 30 个月的周期。

## 2.2 滤波结果

为了进一步说明南海地区准两年周期振荡的特征, 下面分别对各变量进行了滤波, 还是用欧洲中心再分析资料进行了验证, 验证的结果与 NCEP 再分析资料得到的结果基本一致。

$u$  分量滤波结果(图 2)显示, 除了前十年, 有

从上往下传的波外, 其余的年份波基本上都是从下往上传的。从上往下传可能是由于平流层 QBO 会引起平流层的异常经向环流并向下传播<sup>[24]</sup>; 而从下往上传可能是由于海气耦合作用的结果<sup>[25]</sup>, 首先在大气低层产生 TBO, 然后向上传播。在自由大气中,  $u$  分量波的平均周期为 28 个月(平

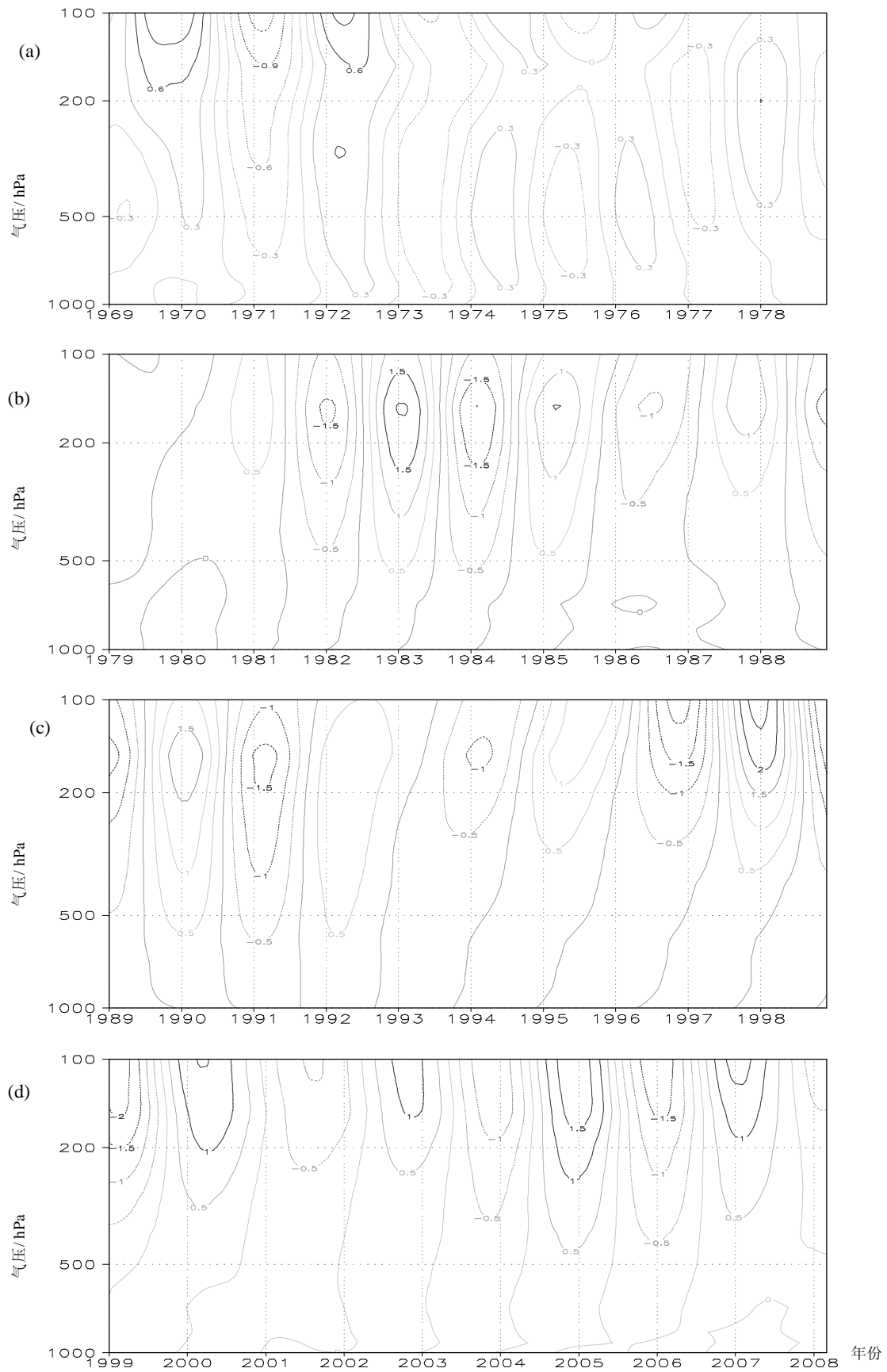


图2 u分量1969年1月—2008年3月的滤波图



均周期是根据序列长度 120 个月/波数 4.25=28 个月得出,下同)。这里要特别说明一点,在边界层,可能受到下垫面的影响,  $u$  分量波的周期出现年代变化特征,1969—1979 年、1989—1999 年的平均周期约为 28 个月,而 1979—1989 年和 1999—2008 年的平均周期则长达 32 个月。一般 1 000 hPa 都有波的向上传播,而且周期越长的波传播速度越慢。

图 3a 是用 NCEP 再分析资料得到的  $u$  分量在 1 000 hPa 相对于其他层次的相关图(图中阴影部分是信度超过 0.99 的区域,绿线是最大正相关的

连线,横坐标 -12~12 代表 1 000 hPa 超前和落后其他层次 0~12 个月),1 000 hPa 超前其他层次意味着波是从 1 000 hPa 向上传播到其他层次,而 1 000 hPa 落后其他层次则意味着波是从其他层次向下传播到 1 000 hPa。从图中可以很明显看出波是从下往上传的,1 000~600 hPa 和 250~100 hPa 的传播速度比较快,500~300 hPa 的传播速度较慢,其结果与  $u$  分量的滤波结果基本一致。图 3b 是欧洲中心再分析资料得到的位相关系图,可以看出两资料得到的结果大致相同。

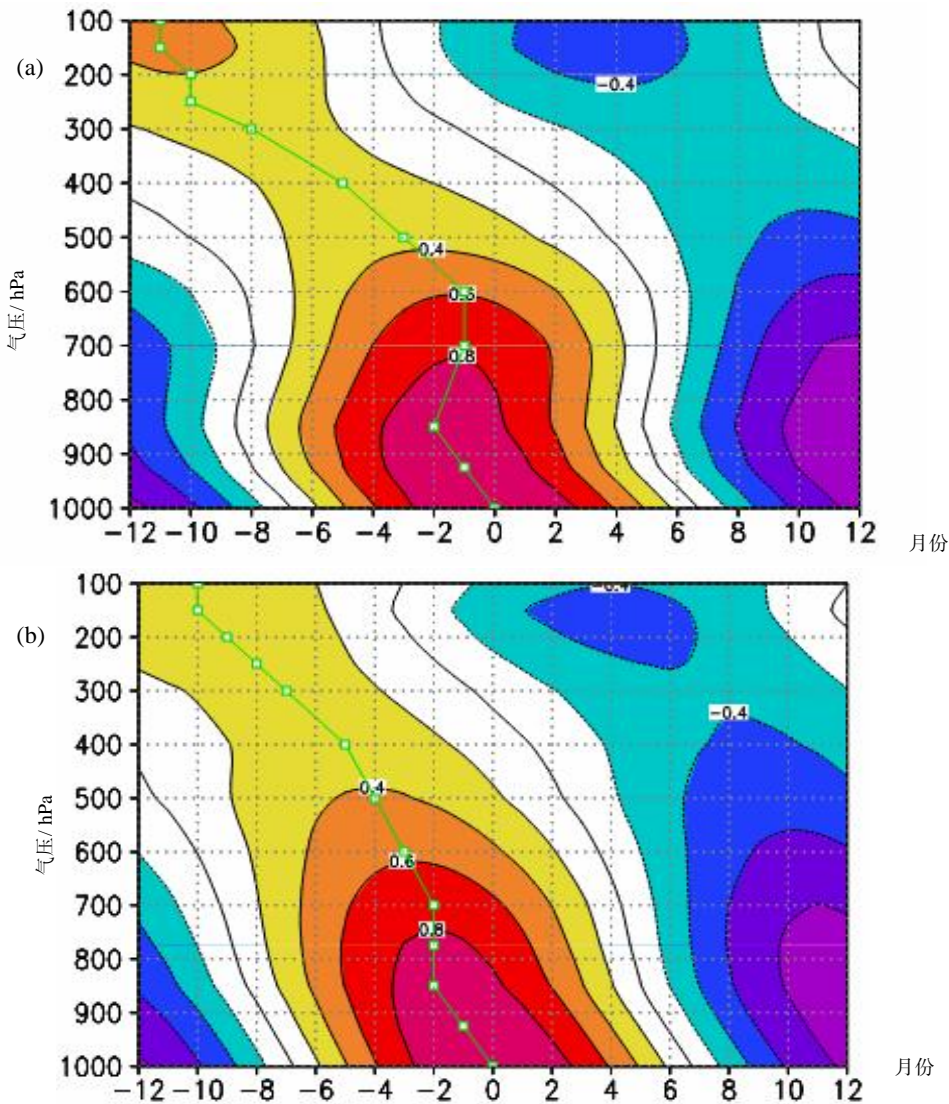


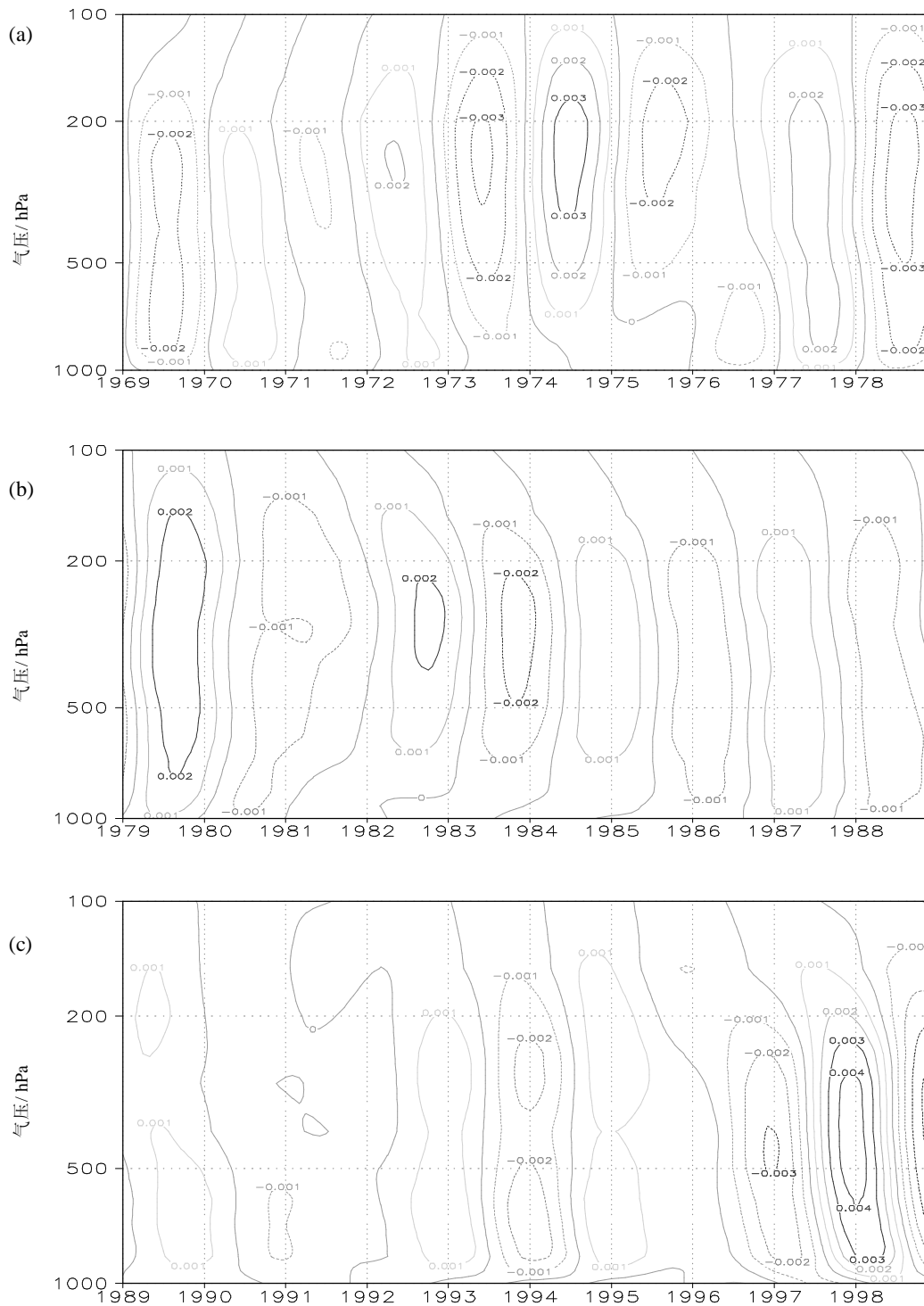
图 3  $u$  分量在 1 000 hPa 相对于其他层次的相关图 a. NCEP 再分析资料; b. 欧洲中心再分析资料。阴影区为 0.99 信度区。

对气压垂直速度进行滤波(图 4)可以得到,波的准两年周期振幅强度变化年代差异明显,在

1970—1973 年和 1989—1996 年波的振幅较弱。绝大部分年份,波的传播仅在对流层高层和近地

层。另外，波的周期也呈现出明显的年代变化特征，1999—2008 年的平均周期约为 26 个月，而 1989—1999 年的平均周期长达 32 个月。与欧洲中心再分析资料得到的结果相比较(图略)，两者主要在传播方向上有些差异。

图 5 是用 NCEP 再分析资料得到的气压垂直速度在 500 hPa 相对于其他层次的相关图(图中阴影部分是信度超过 0.99 的区域，黄线是最大正相关的连线，横坐标同图 3)，从图中可以很明显看出，在对流层高层波是从上往下传的。



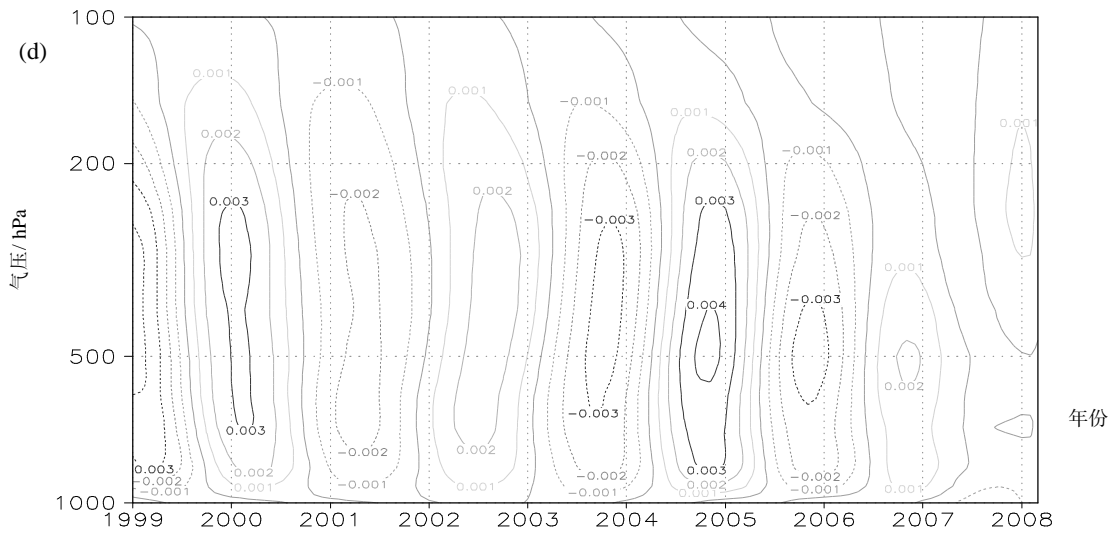


图4 气压垂直速度 1969 年 1 月—2008 年 3 月的滤波图

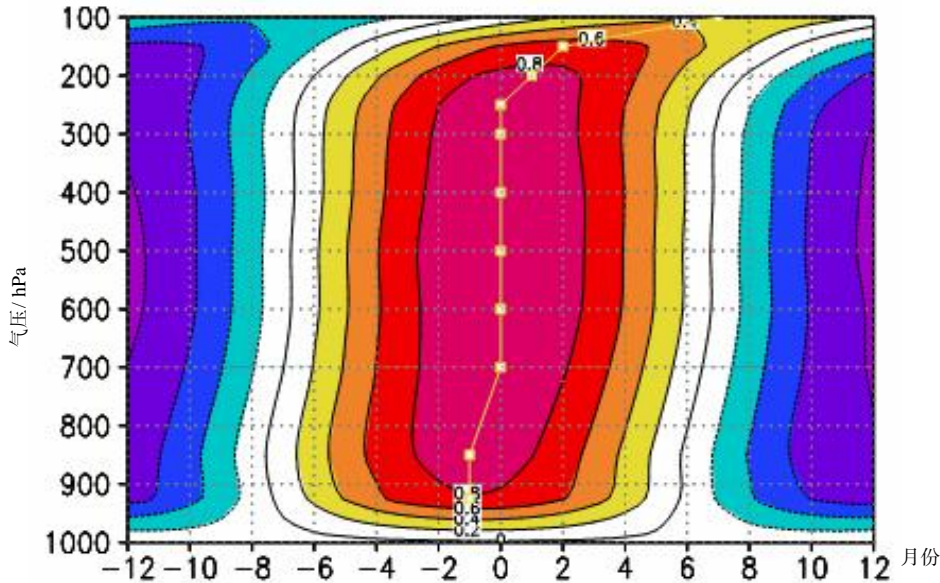


图5 用 NCEP 资料得到的气压垂直速度在 500 hPa 相对于其他层次的相关 阴影区为 0.99 信度区。

从滤波结果(图略)可以看出,  $v$  分量的准两年周期也有明显的年代际变化。对流层高层,  $v$  的准两年周期振幅在 1980—1992 年较强, 而其他年份较弱, 同时它的传播方向有 7~10 年的变化周期; 对流层低层,  $v$  的准两年周期振幅在前 10 年相对较强, 而之后偏弱。与  $u$  分量不同的是, 行星边界层也有比较强的极值中心, 周期与上层差不多, 平均约为 28 个月。图 6a 是用 NCEP 再分析资料得到的  $v$  分量在 1 000 hPa 相对于其他层次的相关图(图中阴影部分是信度超过 0.99 的区域, 黄线是最大正相关的连线, 横坐标同图 3), 从图

中可以很明显看出, 波是从下往上传的, 1 000~500 hPa 的传播速度较快, 而 500 hPa 以上的传播速度较慢。

比湿的滤波结果(图略), 波的振幅变化不大, 它的传播方向都是从下往上传的。波的周期年代际变化特征不是很明显, 平均周期约为 30 个月。图 6b 是用 NCEP 再分析资料得到的比湿在 1 000 hPa 相对于其他层次的相关图(图中阴影部分是信度超过 0.99 的区域, 绿线是最大正相关的连线, 横坐标同图 3), 从图中可以很明显看出, 波基本是从下往上传的, 主要在 700 hPa 以下传播, 700



hPa 以上则几乎无上下传播, 其结果与比湿的滤波结果还是基本一致的。

对温度的滤波结果(图略)可以得到, 波的准两年周期振幅在 1969—1974 年较强, 其余年份都比较弱, 总体上强度变化不大。对流层高层, 绝大多数年份波都是从上往下传的, 而对流层中低层, 大部分年份基本从下往上传。波的周期年代变化特征也比较明显, 1969—1979 年和 1999—2008 年对流层中下层的周期为 25 个月左右, 而 1989—1999 年的周期约为 30 个月。图 6c 是用 NCEP 再分析资料得到的温度在 1 000 hPa 相对于其他层次的相关图(图中阴影部分是信度超过 0.99 的区域, 绿线是最大正相关的连线, 横坐标同图 3), 从图中可以很明显看出, 600 ~ 400 hPa, 波是从下往上传的, 传播速度较快, 400 hPa 以上, 波是从上往下传的, 传播速度较慢, 与滤波结果一致。

对位势高度的滤波结果(图略)可以得到, 波的准两年周期振幅变化的周期约为 7 年, 而且波都是从下往上传的。波的年代周期变化特征还是比较明显, 1999—2008 年波的周期约 28 个月, 而 1969—1979 年和 1979—1989 年波的周期约 32 个月。图 6d 是用 NCEP 再分析资料得到的位势高度在 1 000 hPa 相对于其他层次的相关图(图中阴影部分是信度超过 0.99 的区域, 绿线是最大正相关的连线, 横坐标同图 3), 从图中可以很明显看出, 波是从下往上传的, 与滤波结果一致, 传播速度不是很快。

从以上分析可知,  $u$ 、 $v$  和位势高度的准两年振荡基本在整个对流层都是从下往上传播, 而比湿和气压垂直速度仅在对流层低层有向上的传播。值得注意的是气压垂直速度和温度在对流层高层都有向下的传播, 这可能意味着 TBO 的研究中平流层的影响不可忽略。

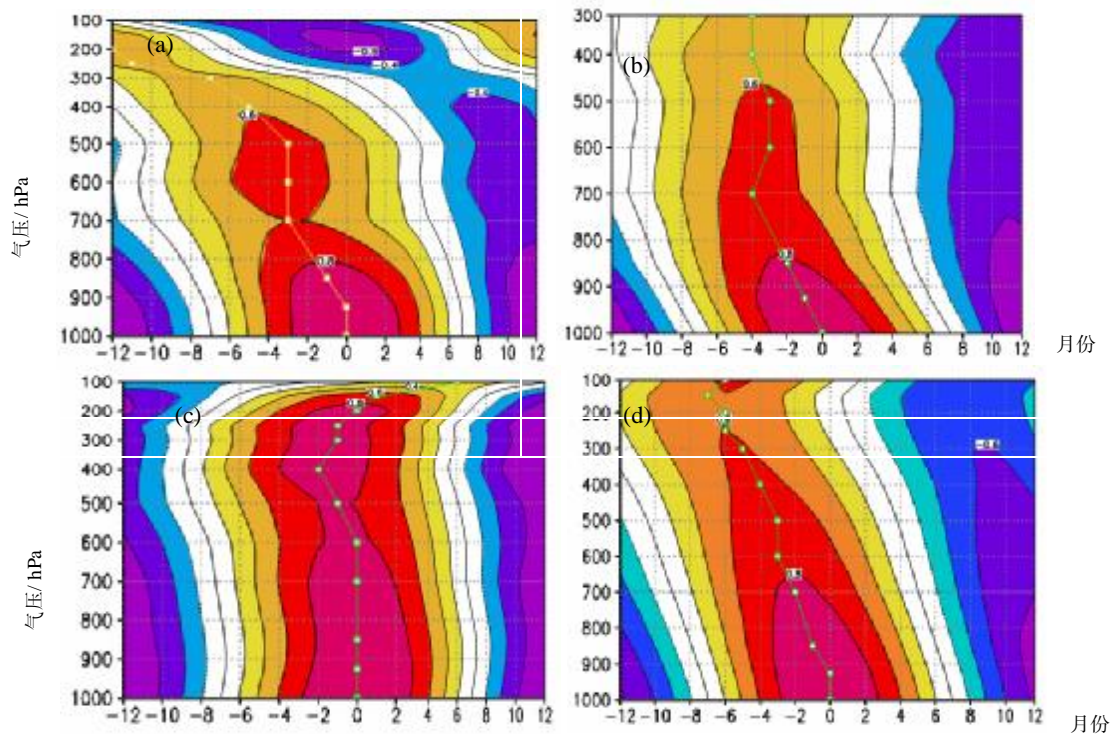


图 6 南海地区  $v$  分量(a)、比湿(b)、温度(c)和位势高度(d)在 1 000 hPa 相对于其他层次的相关图 阴影区为 0.99 信度区。

### 2.3 各气候变量准两年变化之间的位相关系

图 8a 是用 NCEP 资料得到的各气候变量准两年变化之间的位相关系(相对于  $\omega$ ), 从图中可以看出: 温度在整个对流层(1 000 ~ 100 hPa)都

落后于气压垂直速度, 比湿除了 1 000 hPa 外, 其余的层次都落后于气压垂直速度, 而且几乎都与气压垂直速度反位相。 $u$  变量在 925 ~ 500 hPa 超前于气压垂直速度, 在 1 000 hPa 和 400 ~ 100 hPa



都落后于气压垂直速度，而  $v$  变量在 250 hPa 以上则超前于气压垂直速度。位势高度在 1 000 ~ 800 hPa 是超前于气压垂直速度，而 800 hPa 以上

则落后于气压垂直速度。

由此可得出南海地区各气候变量准两年振荡大致的位相关系如图 8。

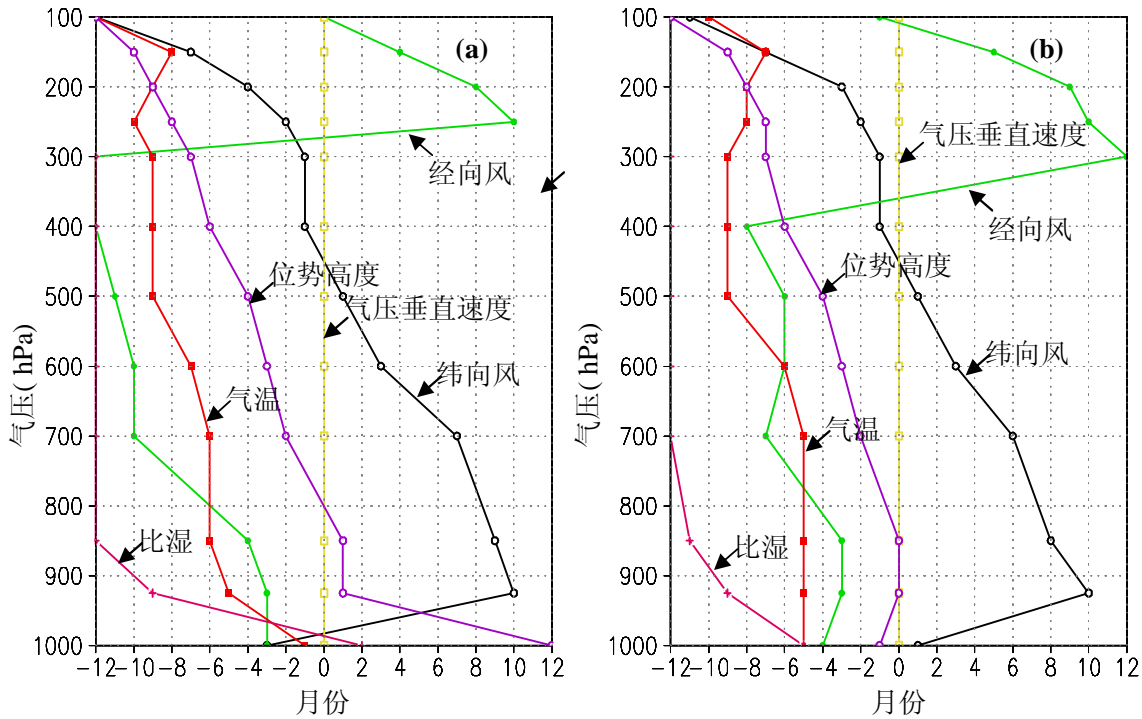


图 7 用 NCEP(a)和欧洲中心再分析资料(b)得到各气候变量准两年变化之间的位相关系(相对于气压垂直速度)

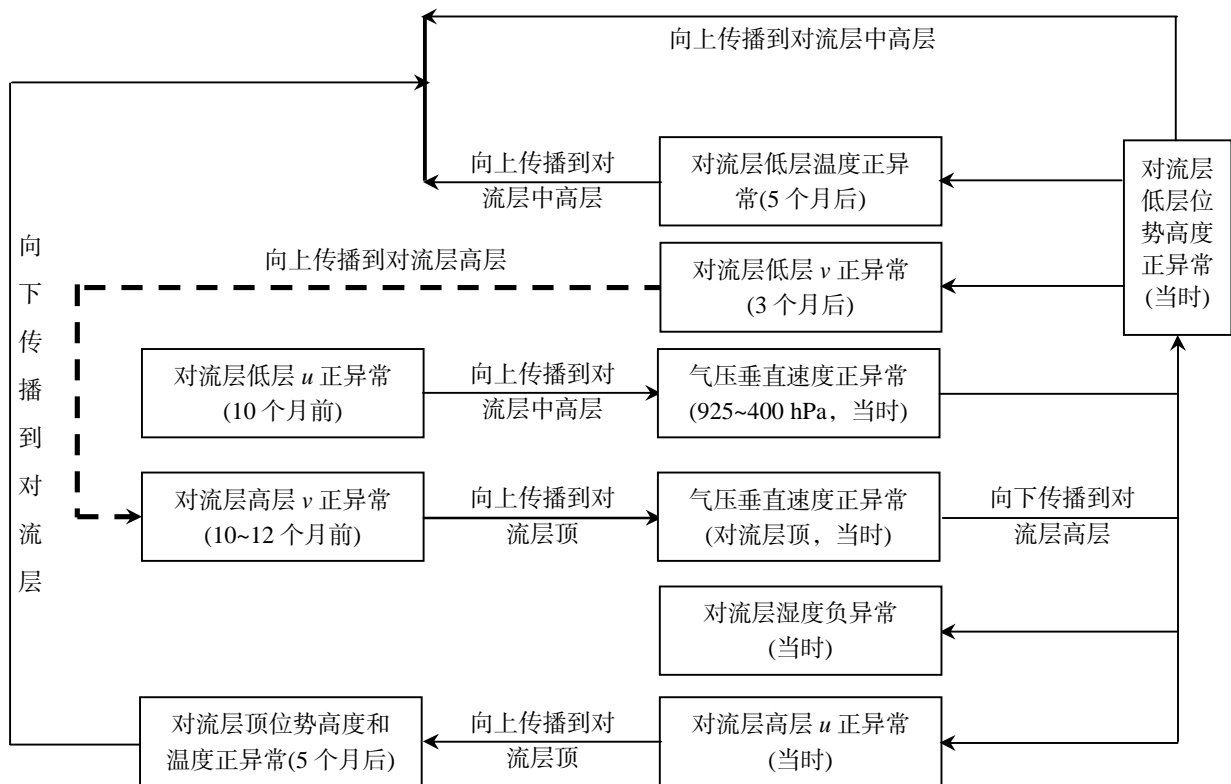


图 8 南海地区各气候变量准两年变化位相关系示意图

图 7b 是用欧洲中心再分析资料得到的各气候变量准两年变化之间的位相关系, 从图中可以看出各变量位相关系与图 7a 基本相似, 两者主要在 700 ~ 400 hPa,  $v$  变量的位相有些小差异, 而在 1 000 hPa,  $u$  变量、温度、比湿和位势高度的位相差异较大。其中的原因可能是由于两套资料同化系统中的行星边界层参数方案有差异, 从而导致 1 000 hPa 各气候变量的位相差异变大, 特别是对气压垂直速度的影响较大。而用 NCEP 资料得到的各气候变量准两年变化之间的位相关系(相对于  $u$ )(图略)与用欧洲中心再分析资料得到的各气候变量准两年变化之间的位相关系(相对于  $u$ )(图略)还是基本一致的。

### 3 结 论

利用 NCEP 月平均再分析资料, 使用功率谱、滤波和相关分析方法, 探讨了南海地区各气候变化准两年的垂直结构特征, 并用欧洲中期天气预报中心月平均再分析资料进行了验证。

(1) 南海地区各气候变量在整个对流层垂直层面上(1 000 ~ 100 hPa, 比湿从 1 000 ~ 300 hPa)都具有明显的准两年振荡特征。

(2) 各气候变量准两年振荡的周期、传播方向和速度以及振幅都具有明显的年代际变化。总体来看,  $u$ 、 $v$  和位势高度准两年振荡在整个对流

层的传播方向主要是从下往上传; 气压垂直速度和比湿仅在对流层低层从下往上传播; 气压垂直速度和温度在对流层高层有从上往下传的波动。

(3) 在准两年尺度上, 当出现异常下沉气流, 通常伴有湿度的负异常, 而且之前 10 个月左右有  $u$  风场的正异常向上传播; 此外, 异常的下沉气流还将引起低层位势高度的正异常并向上传播到对流层高层, 约半年后的低层温度异常也会向上传播到对流层高层;  $v$  分量正异常首先出现在对流层高层, 然后向上传播到对流层顶, 在异常下沉气流出现约 3 个月后, 对流层低层  $v$  分量异常生成并向上传播到对流层高层, 与之前对流层高层出现的  $v$  分量异常汇合。考虑到气压垂直速度准两年变化在对流层顶附近的向下传播(图 5), 在下沉气流出现约 5 个月后, 温度和位势高度正异常在对流层顶也有向下的传播。

**致 谢:** 本文使用的 ECMWF 再分析资料来源于欧洲中期天气预报中心资料服务器 <http://data.ecmw.fint/data>, NCEP/NCAR 再分析资料从 the NOAA-CIRES 气候诊断中心, Boulder, Colorado 获得, 网址为: <http://www.cdc.noaa.gov/>, 特此致谢。

### 参 考 文 献:

- [1] REED R, CABELL W J, RASMUSSEN L A, et al . Evidence of a downward propagating, annual wind reversal in the equatorial stratosphere [J]. *J Geophys Res*, 1961, 66 (3): 813-818.
- [2] VERYARD R G, EBDON R A. Fluctuations in tropical stratospheric winds[J]. *Meteor Mag*, 1961, 90(1 066): 125-143.
- [3] 郑彬, 梁建茵. 对流层准两年周期振荡的研究进展[J]. *热带气象学报*, 2005, 21(1): 79-86.
- [4] TRENBERTH K E, SHIN W -T K. Quasi-Biennial fluctuations in sea level pressure over the Northern Hemisphere[J]. *Mon Wea Rev*, 1984, 112 (4): 761-777.
- [5] RASMUSSEN E M, WANG X, ROPELEWSKI C F. The Biennial component of ENSO variability[J]. *J Mar Sys*, 1990, 1: 71-96.
- [6] 李崇银, 龙振夏. 西太平洋副高活动与平流层 QBO 关系的研究[J]. *大气科学*, 1997, 21(6): 670-678.
- [7] 李永平, 端义宏, 刘秦玉, 等. 热带海洋 SST 与北半球大气环流的低频振荡特征[J]. *海洋与湖沼*, 1999, 30(1): 97-103.
- [8] SATHIYAMOORTHY V, MOHANAKUMAR K. Characteristics of tropospheric Biennial Oscillation and its possible association with the stratospheric QBO [J]. *Geophys Res Lett*, 2000, 27(5): 669-672.
- [9] 丁裕国, 余锦华, 施能. 近百年全球平均气温年际变率中的 QBO 长期变化特征[J]. *大气科学*, 2001, 25(1): 89-102.
- [10] 丁裕国, 刘晶森, 余锦华. 近百年全球平均气温年际变化型态的低频变率特征[J]. *热带气象学报*, 2001, 17(3): 193-203.
- [11] 李崇银, 龙振夏. 准两年振荡及其对东亚大气环流和气候的影响[J]. *大气科学*, 1992, 16(2): 167-176.

- [12] MOOLEY D A, PART hasarat hy B. Variability of t he Indian summer monsoon and t ropical circulation features[J]. Mon Wea Rev, 1983, 111 (7): 967-978.
- [13] LAU K M, SHEN P J, ANNUAL cycle. quasi2biennial oscillation and Sout hern Oscillation in global precipitation[J]. J Geophys Res, 1988, 93 (D9): 10 975-10 988.
- [14] BARNET T P, DUMENIL L, SCHLESE U, et al. The effect of Eurasian snow cover on regional and global precipitation[J]. J Atmos Sci, 1989, 46 (5): 661-685.
- [15] RASMUSSEN E M, WANG X, ROPELEWSKI C F. The biennial component of ENSO variability[J]. J Mar Syst, 1990, 1(1): 71-90.
- [16] CHANG C -P, LI Tim. A theory for the Tropical Tropospheric Biennial Oscillation[J]. Journal of the atmospheric sciences, 2000, 57(14): 2 209-2 224.
- [17] LI Chongyin, SUN Shuqing, MU Mingquan. Origin of TBO-Interaction between Anomalous East-Asian Winter Monsoon and ENSO Cycle[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2001, 18(4): 554-566.
- [18] LI TIM, LIU PING, FU X, et al. Spatiotemporal Structures and Mechanisms of the Tropospheric Biennial Oscillation in the Indo-Pacific Warm Ocean Regions[J]. Journal of Climate, 2006, 19: 3 070-3 087.
- [19] 黄荣辉, 陈际龙, 黄刚, 等. 中国东部夏季降水的准两年周期振荡及其成因[J]. 大气科学, 2006, 30(4): 545-560.
- [20] 郑彬, 李春晖, 林爱兰, 等. 亚太季风各子系统的准两年变化特征及其比较[J]. 热带气象学报, 2009, 25(1): 13-21.
- [21] 郑彬, 施春华. 平流层准两年周期振荡对 CH<sub>4</sub> 双峰的影响[J]. 热带气象学报, 2008, 24(2): 111-116.
- [22] 郑彬, 施能. 南海夏季风对华南夏季降水年代际变化的影响[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(4): 477-483.
- [23] ZHENG Bin, GU De-Jun, LIN Ai-Lan, et al. Effects of South China Sea/western North Pacific summer monsoon on tropospheric biennial oscillation (TBO) [J]. Chinese Physics, 2007, 16(5): 1 472-1 476.
- [24] 郑彬, 谷德军, 林爱兰, 等. 平流层准两年变化对南海夏季风影响机制的探讨[J]. 中国科学, 2007, 37(11): 1 547-1 555.
- [25] ZHENG Bin, GU De-jun, LIN Ai-lan, et al. Spatial Patterns of Tropospheric Biennial Oscillation and Its Numerical Simulation [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2008, 25(5): 815-823.

## THE VERTICAL STRUCTURE CHARACTERISTICS OF QUASI-BIENNIAL OSCILLATION OVER SOUTH CHINA SEA TROPOSPHERE

LU Feng<sup>1,2</sup>, WANG Li-juan<sup>1</sup>, ZHENG Bin<sup>2</sup>, DENG Xiao-jin<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education/Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology/Key Open Laboratory for Tropical Monsoon, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080, China;

3. Yongding Meteorological Bureau of Fujian, Yongding 364100, China)

**Abstract:** The U.S. National Centers for Environmental Prediction monthly mean reanalysis data, combined with European center for Medium-Range Weather Forecasts monthly mean reanalysis data, are applied to analyze the vertical structure characteristics of quasi-biennial oscillation of climate variables (including wind, temperature, humidity, geopotential height, pressure vertical velocity) of average time series over South China Sea (SCS, 105~120 °E, 5~20 °N). The result of power spectral analysis and filtering analysis (in the vertical direction, from 1 000~100 hPa, specific humidity from 1 000~300 hPa) show that the quasi-biennial oscillation over the SCS region is significant, and the quasi-biennial characteristics of most climate variables have significant inter-annual or decadal changes. Overall,  $u$ ,  $v$ , and quasi-biennial oscillations of geopotential height mainly propagate from the bottom to the top in the whole troposphere, pressure vertical velocity and specific humidity propagate only from the bottom to the top, and pressure vertical velocity and temperature have top-to-bottom fluctuations in the upper troposphere. In addition, the phase relationship among climate variables over the SCS region is also discussed.

**Key words:** Climatology; vertical structure; statistical method; quasi-biennial oscillation; South China Sea