

2003年江淮流域强降水过程中不同时间尺度低频扰动特征的异同

夏 芸^{1,2} 管兆勇²

(1. 北京华风气象影视信息集团有限责任公司, 100081;
2. 南京信息工程大学)

提 要: 利用 NCEP/NCAR 再分析和地面观测站的逐日降水资料, 经 Lanczos 带通滤波, 研究了 2003 年涝年不同时间尺度的低频振荡特征的差异及其与强降水过程的联系。结果显示, 季节内振荡(30~70 天)和准双周振荡(8~15 天)在 2003 年江淮梅雨期明显。季节内振荡强于准双周振荡。总低频降水对总降水具有显著贡献, 且不同时间尺度的低频降水扰动具有很强的局地性与互补性。两个尺度的低频涡度在江淮地区降水期的对流层高、低层大都呈负、正配置, 具有斜压结构, 利于降水发生。不同时间尺度高低空的环流有差异: 季节内振荡主要以对流层低层存在于西太平洋、西北太平洋及其以东地区的低频波列(P-J)的活动过程影响副高的变动进而影响强降水的形成; 准双周振荡则以对流层高层中纬气旋/反气旋沿纬圈方向的持续东移及 Rossby 波的能量传播影响江淮降水过程。整层水汽通量显示, 两个时间尺度上来自副热带高压外围的西南季风对水汽输送贡献都较为显著, 30~70 天低频降水的水汽来源为南海, 而 8~15 天低频降水的水汽源地主要是南海和西太平洋地区。

关键词: 江淮暴雨 季节内振荡 准双周振荡 低频环流 水汽输送

引 言

江淮流域地处东亚季风区, 受季风活动影响, 干旱与洪涝灾害时有发生。大气低频振荡是调控季风活动的重要机制, 其振荡特征很大程度上决定亚洲季风活动的异常, 进而引起我国天气气候的异常。近年来有很多研究揭示了夏季风期间低频振荡与我国东部降水异常的关系, 主要以季节内振荡的研究

居多。Lau^[1] 在对中国东部雨带的研究中强调雨带的变化受 40 天振荡的制约, 并指出夏季降水的变化可能与东传的 40~50 天波动同大尺度季风环流的相互作用有关。琚建华等^[2] 指出东亚夏季风区内低频振荡主要是以 30~60 天周期的振荡为主, 东亚夏季风的季节内振荡在东亚沿海呈波列的形式, 并表现为随时间向北传播的季风涌, 对长江中下游降水产生影响。Chen 等^[3] 研究表明来自南海和中高纬地区的大气季节内振荡在长

江流域的汇合是造成1998年该地区洪涝灾害的重要原因。很多其他研究也表明大气季节内振荡对江淮流域的降水有一定的影响^[4-6], 旱年和涝年的低频环流形势基本相反^[7-8]。

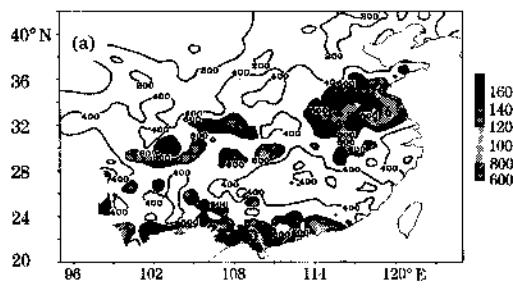
准双周振荡与30~60天振荡一样, 是大气环流低频周期振荡的主要分量之一。何金海等^[9]和Lau等^[10]指出东亚夏季风降水主要受10~20天和30~60天两种低频振荡的制约。但目前对于夏季江淮强降水过程中准双周振荡的研究较少。

本文利用天气诊断方法, 从低频降水对总降水的贡献、低频涡度、低频环流、低频动能以及低频降水的水汽源的角度, 来对比分析2003年江淮地区在季节内和准双周这两个时间尺度上低频振荡的异同及其与强降水的联系, 以增进对降水规律和特征的了解, 进一步改善江淮流域旱涝的中长期预报。

1 资料与方法

使用2003年NCEP/NCAR再分析全球逐日风场、比湿和地面气压资料(水平分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$)^[11]以及2003年中国740站日平均降水资料(中国气象局国家气象信息中心提供)。

采用标准的Morlet小波分析法^[12]分析



时间序列的周期特征和Lanczos滤波器^[13-14]进行低频滤波。

2 2003年夏季江淮降水的低频特征

2003年夏季(6—8月)中国东部地区总降水量超过600mm的测站集中在江淮流域、四川盆地及华南中西部(图1a), 其中江淮流域发生了1991年后的最大洪水^[15]。该年雨型一反常态, 出现了近半个世纪从没有过的厄尔尼诺事件发生年次年主要雨带位于黄河至长江之间(Ⅱ类雨型)的现象。受2002/2003年厄尔尼诺事件的影响, 西太平洋副热带高压冬、春、夏、秋季持续偏强, 夏季西伸脊点位置偏西, 6、7月平均脊线位置偏南, 江淮流域长期稳定地处于西太平洋副高脊前西北侧; 冷暖空气频繁持续地在淮河流域交汇; 初夏6月上中旬有贝加尔湖阻高影响, 6月下旬至7月中旬有鄂霍次克海阻高影响; 盛夏东亚夏季风异常偏强, 6月第4候以后, 西南风向北推进至 $31\sim 33^{\circ}\text{N}$ 附近, 并在此维持1个月左右, 使2003年江淮流域降水异常偏多^[16]。

使用Morlet小波变换进一步分析2003年6—8月江淮地区($30\sim 35^{\circ}\text{N}$ 、 $112.5\sim 120^{\circ}\text{E}$)降水的低频变化特征, 由图1b可见, 准双周振荡和30~70天振荡特征都很显著。根据李崇银^[17]对大气低频振荡研究

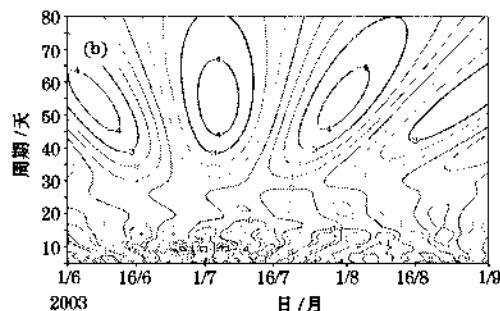


图1 2003年6—8月中国东部地区总降水量(a, 单位: mm)和江淮地区($30\sim 35^{\circ}\text{N}$ 、 $112.5\sim 120^{\circ}\text{E}$)降水的小波分析实部(b)

的总结：时间尺度在 7~10 天以上，100 天以内的大气运动变化称为大气低频变化，它包括引起大家普遍注意的季节内（30~60 天）振荡和准双周（10~20 天）振荡，其中季节内振荡是一个相对宽带的现象，周期范围为 20~90 天，因而 30~70 天振荡周期在此范围之中。以下主要分析强降水过程中 30~70 天和 8~15 天的低频分量。

从实际降水距平与滤波后的振荡分量曲线（图 2a、b）可看出：降水过程集中出现在 6 月 21 日至 7 月 21 日，降水强度最大、持续时间长^[15]。在 8 月中和 8 月末也分别有两次小的降水过程，只是这两次过程持续时间短。30~70 天和 8~15 天的低频分量与降水距平都有较好的对应关系，相关系数分别为 0.546、0.408。显示出季节内振荡与准双周振荡在降水变化中的重要性。

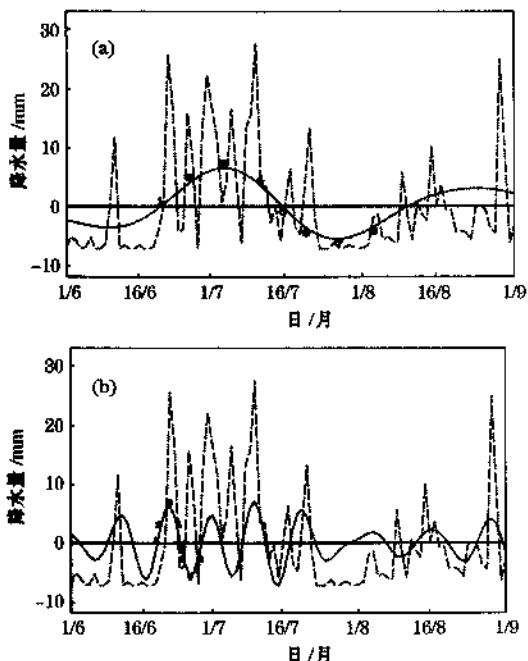


图 2 2003 年 6—8 月江淮地区降水距平（虚线）与降水 30~70 天（a）、8~15 天（b）滤波（实线）的低频分量

为了弄清低频降水在总降水中所占有的

比重，计算了低频降水方差与降水总方差百分比分布（图 3）。由图 3 可见，30~70 天和 8~15 天低频降水对总降水都具有较大贡献。其中，30~70 天低频降水方差占总降水方差的百分比（图 3a）在江淮大部均在 10% 左右，最大量达到 16%^[15]；而 8~15 天所占百分比（图 3b）的最大量高达 28%。值得注意的是：30~70 天低频降水方差占总方差的百分比在江淮流域自西向东呈低—高—低分布，而 8~15 天时间尺度则是呈高—低—高分布，两者正好相反。这说明不同时间尺度的低频降水扰动具有很强的局地性

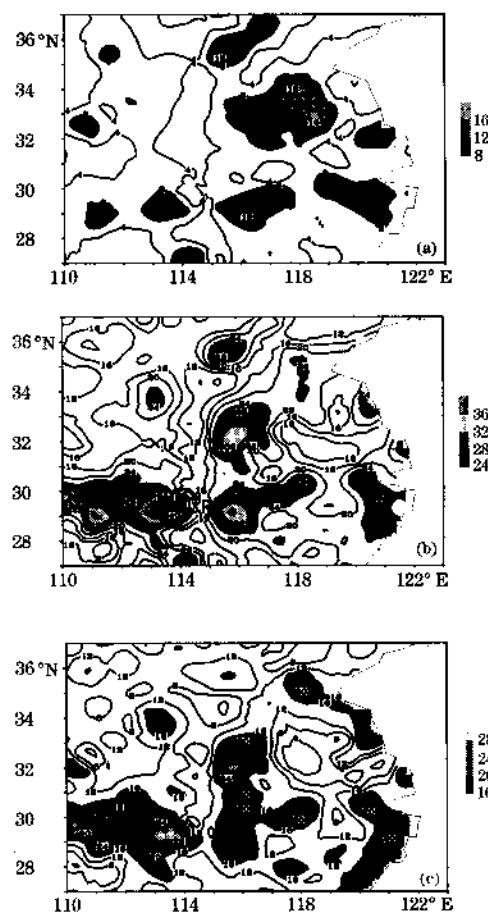


图 3 不同时间尺度低频降水方差与
降水总方差百分比分布
a. 30~70 天，b. 8~15 天，
c. 30~70 天和 8~15 天之和

和互补性。此外, 我们进一步考虑 30~70 天与 8~15 天这两个波段低频降水之和对总降水的贡献, 由图 3c 可见, 其分布与 8~15 天相似, 即在江淮流域自西向东亦呈高—低—高分布, 且总低频降水方差百分比贡献均在 12% 以上, 最大超过 32%。这说明 2003 年江淮地区低频降水对总降水的贡献很大, 正与 Hoskins 等^[18] 和 Krishnamurti 等^[19] 发现低频分量的方差对大气变化总方差的贡献超过天气尺度扰动方差的贡献这一结论相一致。

3 不同时间尺度的低频环流结构

3.1 低频涡度

区域 (30~35°N, 115~120°E) (低频降水方差百分比较大) 平均的低频涡度时间高度剖面 (图 4a、b) 清楚地表明, 在江淮强降水过程中, 30~70 天的低频涡度在对流层高、低层都呈负、正配置, 具有很强的斜压性; 而 8~15 天的低频涡度在前两次低频降水过程中于高、低层呈负、正配置, 第三次则具有正压结构。这说明, 30~70 天低频变化的斜压性强于 8~15 天, 更有利于强降水的形成。

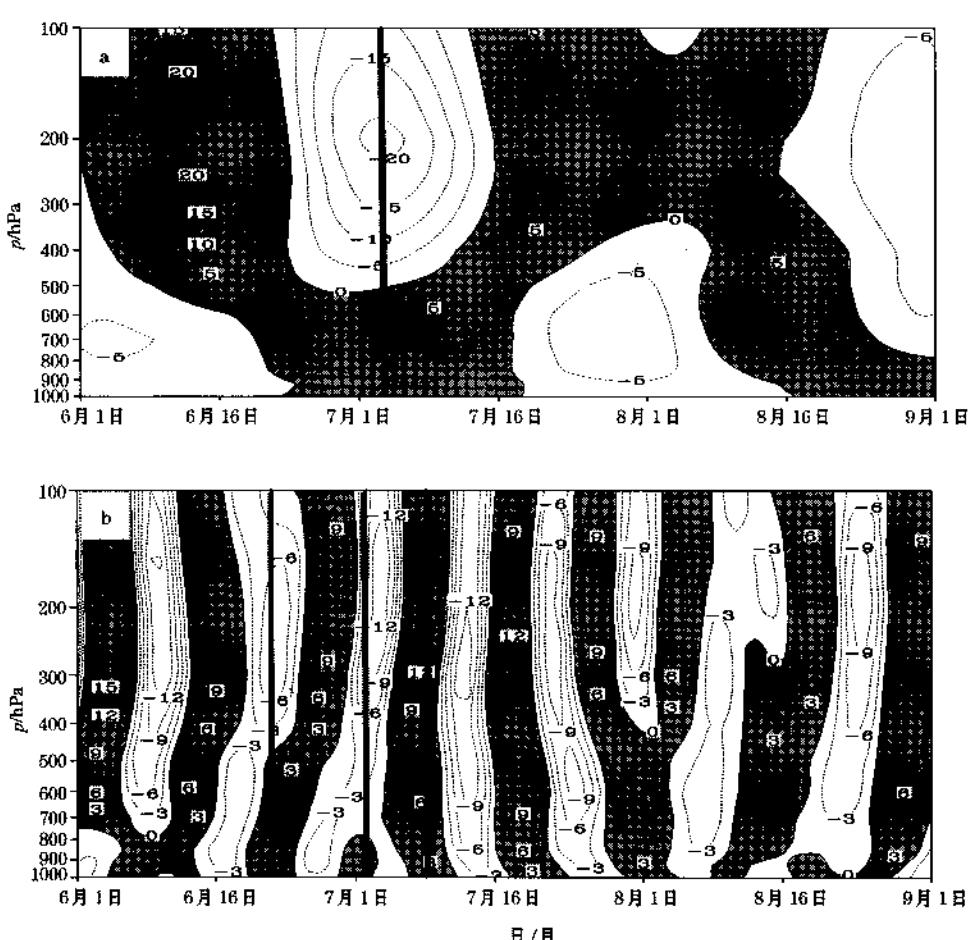


图 4 区域 (30~35°N, 115~120°E) 平均低频涡度场的时间—高度剖面

a. 30~70 天, b. 8~15 天; 阴影区为正涡度, 单位: 10^{-6} s^{-1}

3.2 低频扰动在对流层高、低层不同位相的特征

参考 Chan 等^[20]和毛江玉等^[21]的做法, 根据图 2a 中 30~70 天降水的时间序列曲线, 将 6 月 21 日至 7 月 21 日这次强降水过程所在的低频降水循环 (6 月 21 日至 8 月 10 日) 分为 8 个位相, 1 到 8 位相的日期依次为 6 月 21 日、6 月 27 日、7 月 3 日、7 月 9 日、7 月 15 日、7 月 21 日、7 月 27 日、8 月 3 日。其中 1、5 为转换位相, 位相 1 表示振荡由中断期向活跃期的过渡, 位相 5 与位相 1 相反, 表示振荡由活跃期向中断期的过渡; 位相 3 表示活跃期的波峰, 位相 7 表示中断期的波谷; 而位相 2、4、6、8 表示低频振荡的振幅值达到该循环的最大值或最小值一半的时间。通过对 850hPa 和 200hPa 不同位相低频风场的比较来了解高、低空环流的差异和演变。同样, 对 8~15 天低频变化而言, 将低频降水序列 (图 2b) 的 3 个循环叠加合成后来分析环流的位相特征。

3.2.1 30~70 天低频环流

在对流层低层, 强降水开始前 (图 5a, 位相 1), 160°E 以西有一个大的异常反气旋控制西太平洋广大地区, 在其东北部有一异常气旋开始生成^[15]。其后反气旋的西移使其西北侧的西南风增强, 同时, 东北部的气旋增强并控制 30°N 以北的西太平洋 (图 5b, 位相 2)。在极端活跃位相时 (图 5c, 位相 3), 这个异常的反气旋和气旋对向西南伸展, 反气旋西北侧的异常西南暖湿气流和中纬大陆反气旋南侧的东北干冷气流交绥于江淮之间, 有利于水汽向该地区的辐合增强。位于西太平洋的反气旋显示了副高的异常变化, 其异常导致了副高向西伸展。此显示了低频振荡在持续性特大暴雨形成和维持中的重要作用。从位相 4 (图 5d) 可见江淮

之间的西南风异常减小, 致使辐合明显减弱, 低频降水开始减弱。

由活跃期向中断期过渡时 (图 5e, 位相 5), 异常气旋性环流型几乎与位相 1 相反, 20~40°N 之间的西太平洋已经由异常气旋控制。异常反气旋退出南海, 北跳至中国内陆, 强度和范围明显减小。中纬反气旋消失, 江淮地区受西风控制。位相 7 至 8 (图 5g、5h) 时, 西太平洋由南向北完全处于气旋/反气旋的波列, 江淮地区已经处于较强的东风气流中。

综上所述, 30~70 天振荡在低空以异常反气旋/异常气旋性环流型在南海北部地区交替出现, 它自日本北部以东洋面向中国东南沿海传播, 调控着西太平洋副高进入(退出)南海, 形成有利(不利)江淮流域降水的环流形势。

而在对流层高层每个位相上的低频环流形势几乎与低层相反, 但没有低层的特征明显。因此, 季节内振荡主要以对流层低层存在于西太平洋、西北太平洋及其以东地区的低频波列 (P-J) 的活动过程影响副高的变动进而影响强降水的形成。

3.2.2 8~15 天低频环流

在对流层低层, 8~15 天低频环流仍表现为自南海向东北方向至日本岛以东的西北太平洋地区的一列气旋/反气旋的低频变化。

而在对流层上层却出现明显不同的特征, 在 30~40°N 之间有一系列气旋/反气旋沿纬圈方向持续向东移动 (图 6a~h), 这与对流层高层 Rossby 波的活动有关, 其能量传播沿亚洲急流 (作为波导)^[22]进行, 是江淮流域 8~15 天低频降水的成因之一。降水开始前 (图 6a, 位相 1), 江淮地区受这条波列上气旋 (中心在 108°E 附近) 东南部西南气流控制。其后 (图 6b, 位相 2) 此气旋东移, 强度减弱。在极端活跃位相时 (图 6c, 位相 3), 东移进入的反气旋控制江

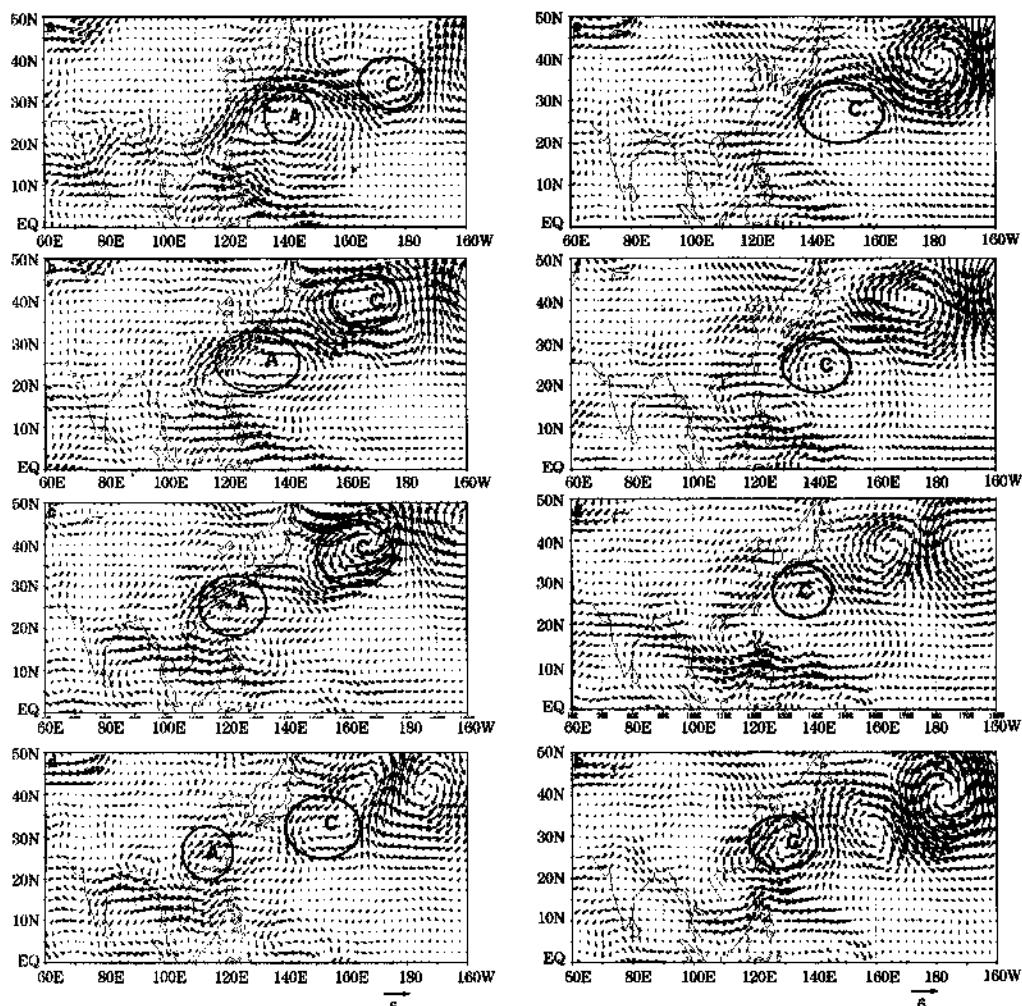


图 5 850hPa 低频风场在 8 个位相上的演变特征

a~h 依次为 1~8 位相, 单位: $m \cdot s^{-1}$

淮地区, 高层受辐散型流场控制。由高层偏北风和低层西南风构成的局地经向垂直环流恰位于江淮地区所在经度带内, 有利于降水加强和持续。位相 5 (图 6e) 显示在位相 1 时控制江淮地区的气旋已被反气旋取代。到位相 7 时 (图 6g), 江淮地区的反气旋略有东移, 强度不变, 江淮高层受东北风控制, 对应低层也是东北风, 高低空的配合不利于降水, 因而低频降水处于中断。

因此, 准双周振荡主要以对流层高层中纬气旋/反气旋沿纬圈方向的持续东移及

Rossby 波的能量传播影响了我国 2003 年江淮 8~15 天低频降水的形成。

4 8~15 天和 30~70 天 200hPa 低频动能的空间差异

前文所述, 200hPa 上 30~70 天低频振荡对 2003 年江淮降水造成影响的低频波列在西太平洋自东北向西南传播, 经向传播明显。然而, 8~15 天尺度上 200hPa 低频波列 (图 6) 则是在 30~40°N 范围之间沿纬

圈方向持续向东移动，纬向传播明显。为了进一步研究其能量的变化特征，首先需要考

察对流层高层不同时间尺度低频动能变化的差异。有低频扰动方程^[22]：

$$\frac{\partial}{\partial t} \bar{V}' + \bar{V} \cdot \nabla \bar{V}' + \bar{\omega} \frac{\partial \bar{V}'}{\partial p} + \bar{V}' \cdot \nabla \bar{V} + \bar{\omega}' \frac{\partial \bar{V}}{\partial p} + R' - f k \wedge V' = - \nabla \Phi' + F' \quad (1)$$

其中 V' 为 8~15 天（或 30~70 天）低频扰动风矢量。

定义低频动能 $K_E = \frac{1}{2}(u'^2 + v'^2)$ ，用 V' 点乘式 (1) 得：

$$\frac{\partial}{\partial t} K_E + \bar{V} \cdot \nabla K_E + \bar{\omega} \frac{\partial K_E}{\partial p} + (V' \cdot \nabla \bar{V}) \cdot V' + \left(\bar{\omega}' \frac{\partial \bar{V}}{\partial p} \right) \cdot V' + R' \cdot V' = - V' \cdot \nabla \Phi' + F' \cdot V' \quad (2)$$

$$(1) \quad (2) \quad (3) \quad (4) \quad (5) \quad (6)$$

$$= - V' \cdot \nabla \Phi' + F' \cdot V' \quad (2)$$

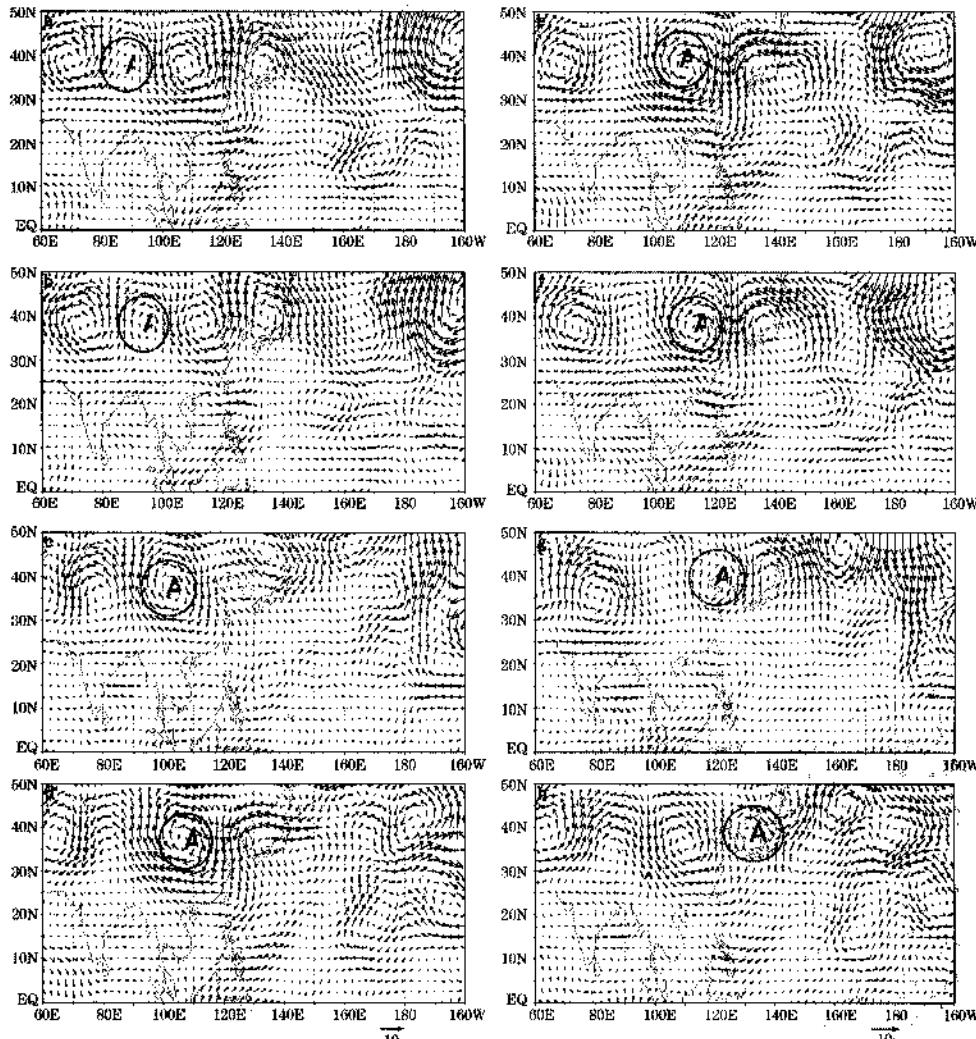


图 6 8~15 天 200hPa 低频风场在 8 个位相上的演变特征

a~h 依次为 1~8 位相；单位： $m \cdot s^{-1}$

式(2)左边第(1)项为低频扰动($8\sim15$ 天或 $30\sim70$ 天)动能随时间变化, 第(2)、(3)项表示对低频扰动动能的辐散、辐合, 第(4)、(5)项分别表示低频扰动和基本场之间正压和斜压的转换, 第(6)项表示其他时间尺度扰动间相互作用的贡献。右边两项分别为动能制造和摩擦耗散项。利用式(2)可诊断低频扰动动能的维持机制。

从低频动能随经度的分布(图7a、b)

可见, $30\sim70$ 天低频扰动动能的高值区都分布在 $100\sim130^{\circ}\text{E}$ 之间, 与低频风场变化对应, 存在着因位相传播而形成的动能自西向东的快速传播, 同时, 亦存在因波扰能量传播而对应的大值中心向东的缓慢位移。 $8\sim15$ 天低频扰动动能则因扰动位相传播而形成明显的东传, 但其波动能量传播对应的传播则较为复杂。由低频动能随纬度的分布(图7c、d)表明, 江淮地区 $30\sim70$ 天低频

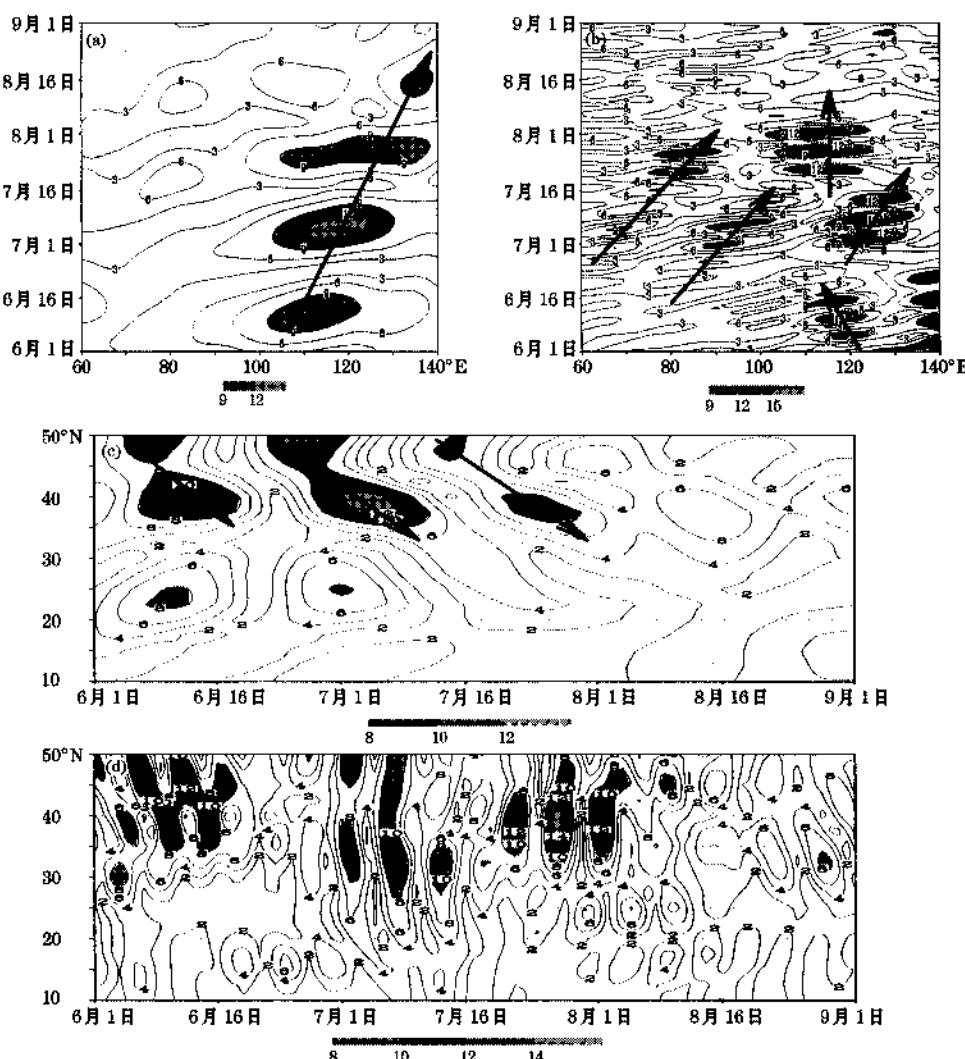


图7 2003年6—8月在 $32.5\sim42.5^{\circ}\text{N}$ 范围平均的200hPa低频动能随经度的分布(a. $30\sim70$ 天, b. $8\sim15$ 天)和在 $100\sim130^{\circ}\text{E}$ 范围平均的200hPa低频动能随纬度的分布(c. $30\sim70$ 天, d. $8\sim15$ 天)

(单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)

扰动能来自高纬，8~15 天低频扰动能在 30~45°N 之间处于高值区，几乎无传播，量值较 30~70 天大。能量的不太明显的传播提示我们，2003 年江淮地区 8~15 天低频振荡的发生和维持机制可能归因于一种局地不稳定，尽管在纬向方向上存在着波包的东传（图 7b）。

5 不同时间尺度上低频降水的水汽源

一般而言，影响江淮地区降水的水汽源认为有三种：来自孟加拉湾、南海和西太平洋^[24-27]。由垂直积分的水汽通量的低频部分可追踪分析低频降水的水汽源^[28-30]。

从地面到 300hPa 的水汽水平输送通量表示为：

$$\mathbf{F} = \int_{P_S}^{P_{300}} \frac{1}{g} q \mathbf{V} dp$$

而

$$\begin{aligned} (q\mathbf{V})_L &= (\bar{q}\bar{\mathbf{V}})_L + (\bar{q}\mathbf{V}_R)_L + (q_R\bar{\mathbf{V}})_L + \\ &(\bar{q}\mathbf{V}_L)_L + (q_L\bar{\mathbf{V}})_L + (q_L\mathbf{V}_L)_L + \\ &(q_R\mathbf{V}_R)_L + (q_L\mathbf{V}_R)_L + (q_R\mathbf{V}_L)_L \\ &= \bar{q}\mathbf{V}_L + q_L\bar{\mathbf{V}} + (q_L\mathbf{V}_L)_L + \\ &(q_R\mathbf{V}_R)_L + (q_L\mathbf{V}_R)_L + (q_R\mathbf{V}_L)_L \end{aligned} \quad (3)$$

其中 q 、 q_L 、 q_R 分别是平均水汽量、30~70 天水汽扰动和剩余部分， $\bar{\mathbf{V}}$ 、 \mathbf{V}_L 、 \mathbf{V}_R 分别是平均风场、30~70 天风场扰动和剩余部分。式 (3) 表示水汽水平输送通量不同部分的低频贡献，其中平均水汽由低频风场输送的部分 ($\bar{q}\mathbf{V}_L$) 贡献最大，其次是低频水汽由平均风输送的部分 ($q_L\bar{\mathbf{V}}$)，第三是低频水汽由低频风场输送的部分 ($q_L\mathbf{V}_L$)，其余部分贡献很小，可以忽略。本文着重分析前 3 项之和。

5.1 30~70 天低频降水的水汽源

从 30~70 天低频水汽通量在 8 个位相

的演变过程^[15]看：在降水开始前（图 8a，位相 1），中心在 145°E 附近的异常反气旋西侧西南季风很强，中国东南沿海已经受到其经向水汽输送的影响，随后江淮地区降水开始。到位相 2 时（图 8b），异常反气旋明显西移，江淮之间的西南季风开始加强。在极端活跃位相时（图 8c，位相 3），反气旋继续西移，其西北侧的异常西南暖湿气流已完全控制了东南沿海到江淮之间，使江淮地区的水汽输送梯度明显增强，进而有利于水汽向江淮之间的辐合增强，给江淮流域的强降水过程提供了充沛的水汽来源。从位相 4（图 8d）开始江淮以南的经向水汽输送明显减弱。由活跃期向中断期过渡时（图 8e，位相 5），江淮地区几乎受西风控制，经向水汽输送很少。到极端中断期（图 8g，位相 7），反气旋位置更偏北，范围极度缩小，强度减弱，江淮地区处于其中心，几乎无水汽输送。到位相 8（图 8h）时，原先控制中国东南沿海及其以东的异常反气旋已被强大的气旋控制，江淮地区已经处于较强的东风气流中。以上对整层低频水汽通量的分析表明，水汽通过副热带高压外围的西南季风输送进入江淮地区，这意味着 2003 年江淮 30~70 天低频强降水的水汽源自南海地区而非孟加拉湾和西太平洋。

5.2 8~15 天低频降水的水汽源

由 3 个周期循环在 8 个位相上的水汽通量合成获得的 8~15 天低频水汽输送强度特征表明：在降水开始前（图 9a，位相 1），从孟加拉湾向东而来的水汽通过南海向江淮输送，但经向风不是很强，而中心在日本列岛南部的反气旋西侧有较强西南风将西太平洋上空水汽向中国沿海输送，随后江淮地区降水开始（图 9a）。位相 2（图 9b），从孟加拉湾而来的西南气流有所加强，与南海附近强劲的东南风合并，共同向江淮地区输送

水汽。在极端活跃位相时(图9c, 位相3), 源自孟加拉湾的经向水汽很难到达江淮流域, 中心在台湾岛附近的反气旋西移并加强, 其西北侧的异常西南气流已完全控制了东南沿海到江淮之间, 使江淮地区的水汽输送梯度明显增强, 进而有利于水汽向江淮之间的辐合增强, 使低频降水达到峰值。从位相4(图9d)开始, 江淮地区的水汽输送明显减弱, 到极端中断期(图9g, 位相7),

江淮地区已经受大陆中高纬气旋西南部的弱西北风影响, 无水汽输送。由此可见, 在低频降水的前两个位相有从孟加拉湾和日本列岛南部西太平洋而来的水汽向江淮地区输送, 之后水汽主要通过副热带高压外围的西南季风输送进入江淮地区, 这意味着2003年江淮8~15天低频降水的水汽源地主要是南海地区。此外, 由图8和图9对比发现, 30~70天和8~15天低频水汽通量的

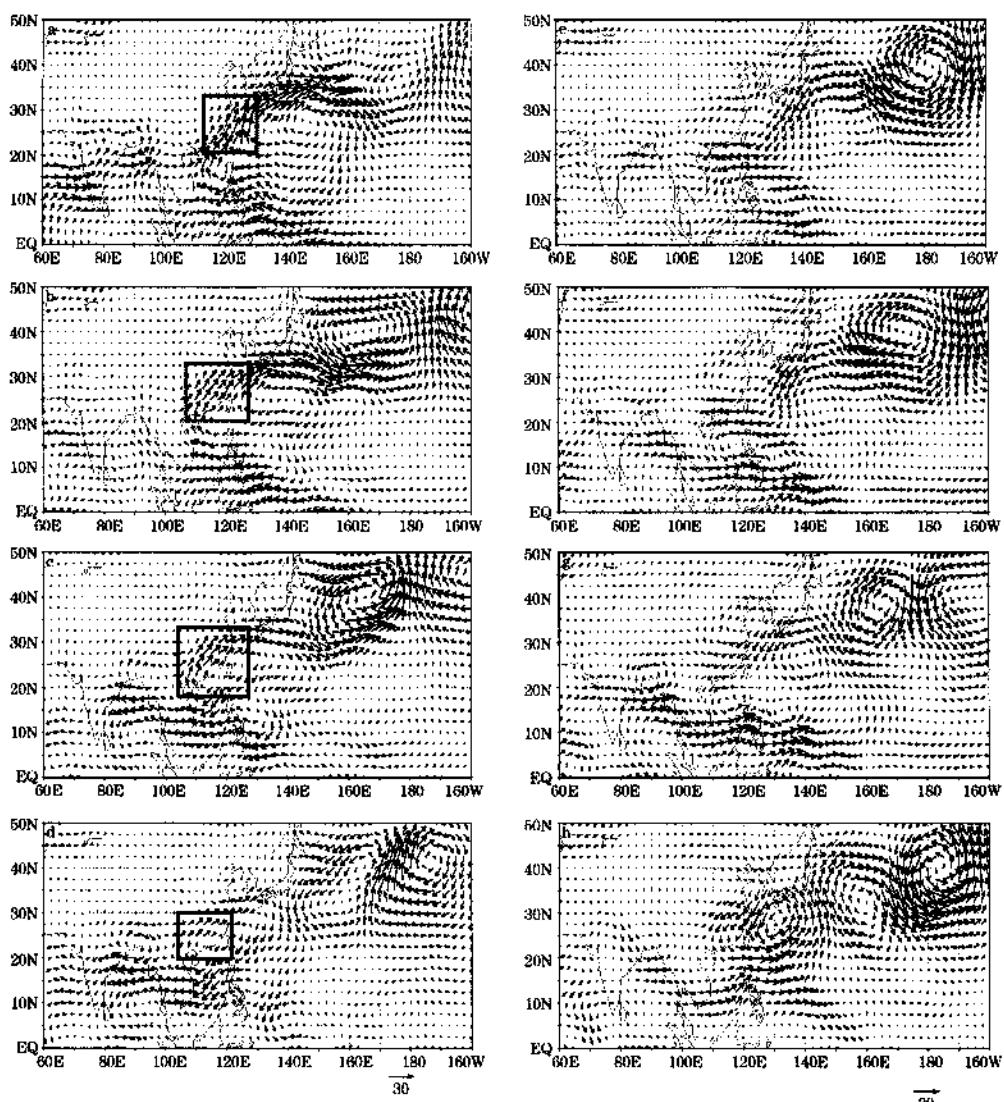


图8 垂直积分的30~70天低频水汽通量在8个位相上的演变特征

a~h依次为1~8位相 单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

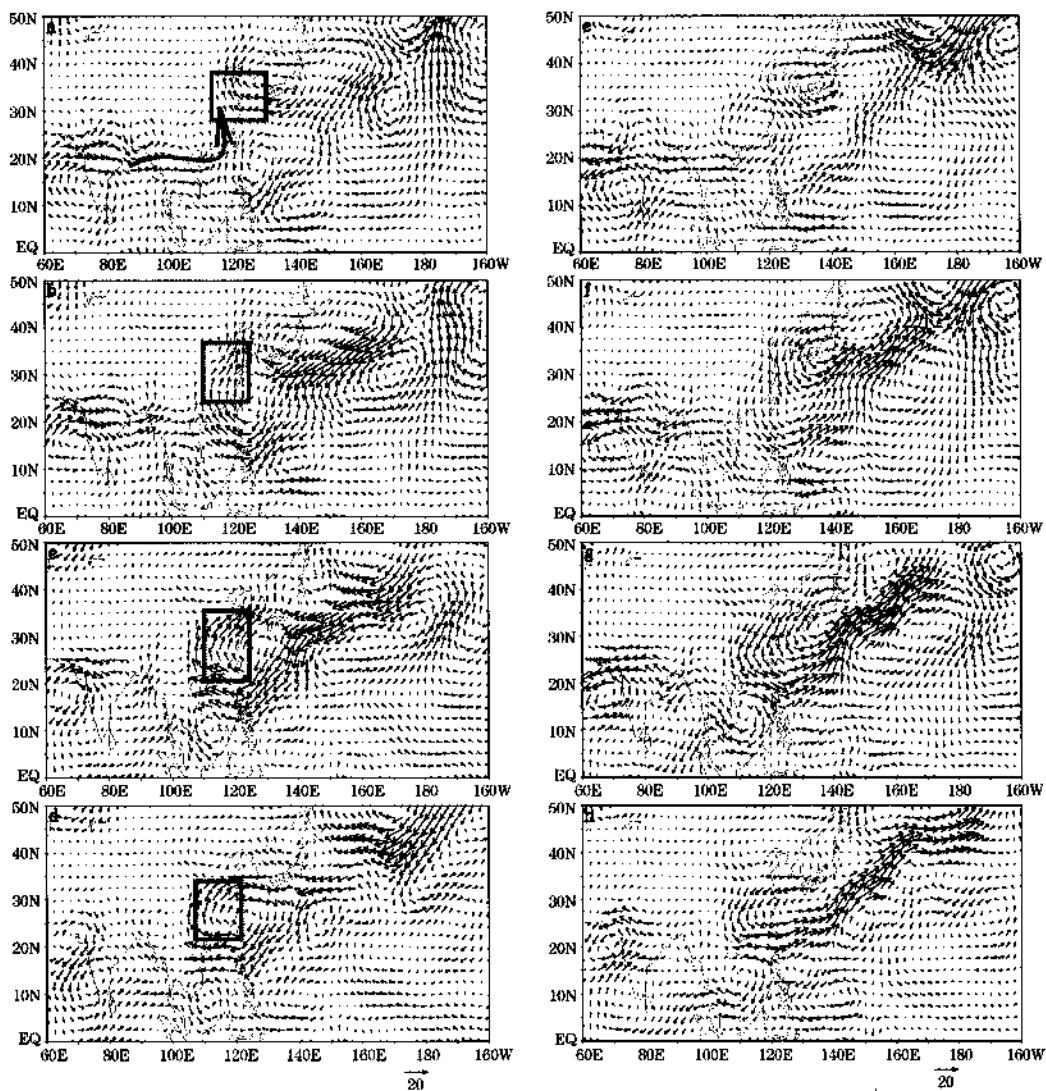


图9 垂直积分的8~15天低频水汽通量在8个位相上的演变特征

a~h依次为1~8位相；单位： $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

量值不同，分析表明，前者的水汽输送强于后者的水汽输送。

6 结语

(1) 季节内振荡(30~70天)和准双周振荡(8~15天)在2003年江淮梅雨期明显。总低频降水(8~15天与30~70天之和)对总降水具有较大贡献，其方差百分

比均在12%以上，其中最高值达到32%。不同时间尺度的低频降水扰动具有很强的局地性与互补性，30~70天低频降水方差占总方差的百分比在江淮流域自西向东呈低—高—低分布，而8~15天低频降水方差占总降水方差百分比在江淮流域自西向东呈高—低—高分布，两者正好相反。

(2) 两种尺度的低频涡度在江淮地区降水期的对流层高、低层大都呈负、正配置，

具有斜压结构, 且30~70天的斜压性明显强于8~15天, 更利于降水发生。

(3) 不同时间尺度高、低空的环流有差异: 季节内振荡主要以对流层低层(850hPa)存在于西太平洋、西北太平洋及其以东地区的低频波列(P-J)的活动过程影响副高的变动进而影响强降水的形成; 准双周振荡则以对流层高层(200hPa)中纬气旋/反气旋沿纬圈方向的持续东移及Rossby波的能量传播影响江淮降水过程。

(4) 两种时间尺度200hPa低频动能在空间上的差异: 纬向上, 江淮地区30~70天和8~15天低频扰动动能都存在因扰动位相传播而形成明显的东传; 经向上, 30~70天低频扰动动能来自高纬, 8~15天低频扰动动能在30~45°N之间处于高值区, 几乎无传播, 量值较30~70天大, 这意味着2003年江淮地区8~15天低频振荡的发生和维持机制可能归因于一种局地不稳定, 尽管在纬向方向上存在着波包的东传。

(5) 整层水汽通量显示, 两种时间尺度上来自副热带高压外围的西南季风对水汽输送贡献都较为显著, 30~70天低频降水的水汽来源为南海, 而8~15天低频降水的水汽源地主要是南海和西太平洋地区。

需要指出, 由于不同时间尺度低频振荡的发生发展具有很强的局地性, 其能量维持和增强机制有待进一步诊断研究。

另外, 2007年夏季, 从6月19日至7月26日, 江淮流域之间也发生了暴雨洪涝灾害。和2003年相似, 主雨带同样位于偏北的淮河流域一带, 特别是从6月29日至7月26日出现了持续性强降水天气, 此期间淮河流域区域平均降水量达465.06mm, 多于2003年和1991年同期, 发生了仅次于1954年的第二大流域性洪水。该年强降水过程中的低频振荡问题值得关注, 有待于进一步研究, 希望能从中进一步挖掘强降水与

低频振荡的联系。

附: 文中图1、图2a、图3a、图5、图8引自《2003年江淮地区强降水过程与30~70天低频振荡的联系》一文, 该文收录于《南京气象学院学报》2008年第33卷1期。

致谢: 本工作受到国家重点基础研究发展计划项目(973课题2004CB418302)的资助以及NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center (<http://www.cdc.noaa.gov/>)和中国气象局国家气象信息中心提供的资料服务, 谨致谢忱!

参考文献

- [1] Lau K M, Yang G, Shen S H. Seasonal and Intraseasonal Climatology of Summer Monsoon Rainfall Over East Asia [J]. *Mon Wea Rev*, 1988, 116 (1): 18-37.
- [2] 瞿建华, 钱诚, 曹杰. 东亚夏季风的季节内振荡研究 [J]. *大气科学*, 2005, 29 (2): 187-194.
- [3] Chen L X, et al. Westward Propagation Low-Frequency Oscillation and Its Teleconnection in the Eastern Hemisphere [J]. *Acta Meteor Sin*, 1988, 2: 300.
- [4] 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 1998年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件 [J]. *气候与环境研究*, 1998, 3 (4): 290-299.
- [5] 陆尔, 丁一汇. 1991年江淮特大暴雨与东亚大气低频振荡 [J]. *气象学报*, 1996, 54 (5): 730-736.
- [6] 张秀丽, 郭品文, 何金海. 1991年夏季长江中下游降水和风场的低频振荡特征分析 [J]. *南京气象学院学报*, 2002, 25 (3): 388-394.
- [7] 黄静, 朱乾根, 李爱武. 与长江流域旱涝相联系的全球低频环流场 [J]. *热带气象学报*, 1997, 13 (2): 146-157.
- [8] YANG Hui, Li Chongyin. The Relation between Atmospheric Intraseasonal Oscillation and Summer Severe Flood and Drought in the Changjiang-Huaihe River Basin [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20 (4): 540-553.
- [9] 何金海, Murakami T, Nakazawa T. 1979年夏季亚洲季风区域40~50天周期振荡的环流及水汽输送场变化 [J]. *南京气象学院学报*, 1984, 2 (2): 163-175.
- [10] Lau K M, Yang G J, Shen S H. Seasonal and In-

- traseasonal Climatology of Summer Monsoon Rainfall over East Asia [J]. *Mon Wea Rev*, 1988, 116 (1): 18-37.
- [11] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project [J]. *Bull Amer Meteorol Soc*, 1996, 77 (3): 437-471.
- [12] 吴洪宝, 吴雷. 气候变率诊断和预测方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2005: 208-225.
- [13] Claude E Duchon. Lanczos Filtering in One and Two Dimensions [J]. *J Appl Meteor*, 1979, 18 (8): 1016-1022.
- [14] 姚菊香, 王盘兴, 李丽平. 季节内振荡研究中两种数字滤波器的性能对比 [J]. *南京气象学院学报*, 2005, 28 (2): 248-253.
- [15] 夏芸, 管兆勇, 王黎娟. 2003年江淮地区强降水过程与30~70天低频振荡的联系 [J]. *南京气象学院学报*, 2008, 33 (1): 33-41.
- [16] 杨义文, 许力, 龚振松. 2003年北半球大气环流及中国气候异常特征 [J]. *气象*, 2004, 30 (4): 21-25.
- [17] 李崇银. 大气低频振荡 [M]. 北京: 气象出版社, 1991: 1-2.
- [18] Hoskins B J and Pearce R (eds). Large Scale Dynamical Process in the Atmosphere [M]. Academic Press, 1983.
- [19] Krishnamurti T N, Gadgil S. On the Structure of the 30 to 50 Day Mode Over the Globe during FGGE [J]. *Tellus*, 1985, 37A: 336-360.
- [20] Chan J C L, Ai W, Xu J. Mechanisms Responsible for the Maintenance of the 1998 South China Sea Summer Monsoon [J]. *J Meteor Soc Japan*, 2002, 80 (5): 1103-1113.
- [21] 毛江玉, 吴国雄. 1991年江淮梅雨与副热带高压的低频特征 [J]. *气象学报*, 2005, 63 (5): 762-770.
- [22] Schmukler Bruce, Hoshins Michael J. Threshold Voltage of Charge Storage in Acoustic-Transport Devices: Experiment and Model [J]. *Applied Physics Letters*, 1988, 52 (6): 428-430.
- [23] 管兆勇, 徐建军. 扰动间相互作用、通量矢量和流动的低频加速 [J]. *热带气象学报*, 1994, 10 (1): 47-56.
- [24] 黄荣辉, 张振洲, 黄刚, 等. 夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别 [J]. *大气科学*, 1998, 22 (4): 460-469.
- [25] 田红, 郭品文, 陆维松. 中国夏季降水的水汽通道特征及其影响因子分析 [J]. *热带气象学院学报*, 2004, 25 (5): 401-408.
- [26] Ninomiya K. Moisture Balance over China and South China Sea during the Summer Monsoon in 1991 in Relation to the Intense Rainfalls Over China [J]. *J Meteor Soc Japan*, 1999, 77 (3): 737-751.
- [27] 谢安, 毛江玉, 宋焱云, 等. 长江中下游地区水汽输送的气候特征 [J]. *应用气象学报*, 2002, 13 (1): 67-77.
- [28] 马开玉, 高国栋. 长江流域典型旱涝夏季大气中的水汽输送 [J]. *气象科学*, 1992, 12 (1): 48-57.
- [29] 沈金妹. 1991年江苏梅雨期内水汽输送特征的诊断分析 [J]. *气象科学*, 1993, 13 (2): 174-181.
- [30] 周军, 薛宇峰, 刘宣飞. 1994年8月亚洲季风区水汽的源汇分布和输送 [J]. *热带气象学报*, 1998, 14 (1): 91-96.