

# 2011年7月中旬长江下游地区强降水期间低频环流延伸期预报试验

杨秋明

江苏省气象科学研究所, 南京 210008

**摘要** 用2011年5—7月逐日东亚地区850hPa经向风场资料建立主振荡预测模型(POP),对影响7月中旬长江下游地区强降水过程的主要低频经向风场(20—30d时间尺度)的时空变化进行10—30d延伸期独立预报试验。结果表明,在60次预测中提前20d预报的相关预报技巧在0.50以上,很好地预报了2011年7月18日长江下游特大暴雨过程对应的关键区20—30d时间尺度的低频经向风变化过程。

**关键词** 20—30d振荡;长江下游地区;强降水;延伸期预报

**中图分类号** P732

**文献标识码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.32.010

## Extended Range Forecast Experiments of the Low Frequency Circulation for the Period of the Heavy Precipitation over the Lower Reaches of the Yangtze River Valley in Mid-July 2011

YANG Qiuming

*Jiangsu Meteorological Institute, Nanjing 210008, China*

**Abstract** Based on the low-frequency meridional wind of 850 hPa over East Asia for May–July in 2011 on the time scale of the 20–30 days, a series of the principal oscillation pattern (POP) models are built, and independent forecast experiments of POP models are carried out for the propagation of the low-frequency zone associated with the heavy precipitation over the lower reaches of the Yangtze River valley in Mid-July 2011 for the extended range of the 10–30 days. The results show that the skill score of the correlation prediction up to 20 days ahead of time can reach more than 0.50 in the 60 forecasts, and the variations of the low frequency meridional wind of the key region are well predicted in connection with a disastrous rain on July 18, 2011 over the lower reaches of the Yangtze River valley.

**Keywords** 20–30 day oscillation; lower reaches of the Yangtze River valley; heavy precipitation; extended range forecast

### 0 引言

10—30d延伸期天气预报是进入21世纪以来,国际上天气气候业务预报发展的主要方向之一,其中,10—90d时间尺度的季节内振荡(Intraseasonal Oscillation,ISO)变化是主要预报信号。国内外普遍认为,ISO可作为联系1—10d逐日数值天气预报和月、季气候预报的桥梁,填补3—10d中期预报与月、季气候预测之间预报时段的缝隙<sup>[1-2]</sup>。1990年以来,德国、澳大利亚、印度、美国、英国等学者关于热带ISO(即MJO)活

动的监测和延伸预报应用研究十分活跃,他们利用MJO开展了2—4周的预报研究和试验,并应用于高影响天气事件(如强降水,持续高温等)预测,取得了一定效果<sup>[1,3-6]</sup>。同时用得到的实时预报资料发展出了一套评估ISO统计预报的框架结构,用来定量比较业务中心的ISO预报技巧,并用来衡量预报技巧随时间的增长。近30年来,中国学者就ISO对东亚天气气候事件的影响也开展了许多研究<sup>[7-11]</sup>,取得了很多有重要意义的成果。近3年来,主要用统计方法和集合数值预报方法

收稿日期:2011-09-19;修回日期:2011-11-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41175082)

作者简介:杨秋明,高级工程师,研究方向为天气气候预测,电子信箱:yqm0305@263.net

对影响东亚地区天气的 MJO 进行初步延伸期预报试验,并开始准业务试运行。1994 年,笔者用能客观分离不同低频振荡模态的主振荡型分析<sup>[12-13]</sup>建立了预测模型,对 1994 年夏半年西太平洋热带地区 30—50d ISO 型(MJO)形势演变进行预测试验<sup>[14]</sup>,取得了较好的效果,对夏季西太平洋副热带高压和东亚雨带 10—30d 变化趋势有很好的预示性,同时也讨论了可预报性,它在 1995—2005 年期间长江下游地区一般持续降水过程的中期预报中,取得了较显著的预报效果。但是, MJO 仅是影响东亚夏季风降水的可能因子之一,与强降水的关系也存在较大的年际变化,因此,具有一定的不确定性。另一方面,笔者的研究也表明,长江下游地区(118.0°E—122.5°E, 30.5°N—32.0°N)夏季强降水与东亚季风环流的 20—30d 振荡的联系更密切<sup>[5]</sup>。进一步的研究发现,5—8 月的这种伴随长江下游夏季强降水的东亚副热带环流的 20—30d 振荡与全球 850hPa 20—30d 低频高度场的南半球中纬度绕球遥相关波列(SCGT)和热带西太平洋型(TWP)变化也密切相关<sup>[6]</sup>。长江下游地区强降水受到 20—30d 时间尺度的南半球中纬度地区环流 ISO 与亚洲季风区环流 ISO 的共同作用(强降水在这两种 ISO 变化过程中发生的概率均较大,分别为 54.9% 和 60.4%)。因此,显著的 20—30d 振荡是长江下游强降水形成的最主要因子之一,而且东亚地区副热带季风的这种主要 ISO 型与全球环流 20—30d ISO 型有较复杂的联系。然而,对于东亚副热带季风的 20—30d ISO 型变化的延伸期预报方法和可预报性研究尚未开始。

短期天气预报主要依赖于模式的初始条件,而中期和长期的延伸预报的物理基础为陆面的耦合过程,土壤湿度的反馈作用和海气耦合过程。因此,需要建立一个无缝隙预报系统,它通过搜集短时间尺度的各种可预报性源泉的信息(如 ISO 等)来预测地球系统的长期演变,改善多尺度热带对流和热带-热带外双向的相互作用的诊断、模拟、参数化和预报。重点立足于天气和气候间的交叉部分,才能更好地体现天气与气候之间的连接,提高延伸期和月季气候预报准确率。鉴于目前国内外主要气候数值模式尚未能很好模拟东亚夏季环流的 20—30d ISO(主要与大气内部非线性过程有关,其物理过程需要进一步研究),基于 ISO 的统计预报方法仍是改进延伸预报实效的重要途径。由于 20—30d ISO 强度变化的非线性以及与夏季长江下游强降水联系的年际变化,用夏季强降水频繁发生年份的资料,初步对东亚夏季风的 20—30d ISO 时空变化进行延伸期统计预测,对于加深夏季长江下游地区(118.0°E—122.5°E, 30.5°N—32.0°N)强降水变化规律的认识和提高预测时效是十分必要的。2011 年 7 月 18 日江苏省西部出现区域性特大暴雨过程,有 30 个城镇超过 100mm,其中长江下游的南京主城区出现了罕见的特大暴雨,17 日 20 时—18 日 20 时南京站降水量为 102.2mm。从加密站资料来看,南京市的 89 个自动站中有 19 个站大于 100mm,51 个站大于 50mm,最大雨量出现在南京玄武湖,225.8mm。本文将研究与这次长江下游强降水(暴雨)有密切联系的 20—30d

ISO 变化特征和低频形势延伸期预报试验,以期改进长江下游地区夏季强降水的延伸预报方法。

## 1 2011 年 3—7 月东亚环流的主要模态

### 1.1 资料

东亚地区 850hPa 经向风场选用美国国家环境预报中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)逐日再分析风场资料,时间是 2011 年 3 月 1 日—7 月 31 日。在 0—45°N, 90°E—180°E 范围内的 10°×5°的格点,用主成分分析(PCA)得到主要的模态的时间变化,采用一阶 Butterworth 滤波器进行 20—30d 带通滤波,得到 850hPa 低频经向风场,经标准化处理后构成基本资料阵  $V_{m \times n}$  ( $m=153, n=100$ ) 作为延伸期预测的基本资料。逐日长江下游地区降水量采用代表站南京的 2011 年 5 月 1 日—7 月 31 日的逐日降水量。

### 1.2 2011 年 3—7 月东亚 850hPa 经向风主要模态的时空变化

图 1(a)是 2011 年 5—7 月长江下游地区逐日降水的时间演变,6 月 5 日以前处于少雨时段,降水振荡不明显,仅有几次很弱的降水过程。从 6 月 5 日开始旱涝急转,6 月 6 日—7 月 31 日降水活跃期与中断期交替变化,表现为极显著的季节内振荡。对 6—7 月逐日降水非整数波功率谱分析表明,25d 的季节内振荡非常显著(图 1(b)),其中集中降水过程在 6 月 17—26 日和 7 月 11—19 日之间,均处于降水 20—30d 振荡的正位相中(图 1(a)中虚线),其中有两次大暴雨过程(6 月 26 日,7 月 18 日,最大降水大于 100mm)均发生在峰值位相附近。

对 2011 年 3 月 1 日—7 月 31 日逐日东亚地区 850 hPa 经向风场进行 PCA,得到 3 个主要的空间分布型。第 1 模态表现为欧亚中纬度地区向副热带西太平洋地区向传播的波列(EU 型),解释方差为 8.6%(图 2(a)、2(b)),主要变化周期是 15d 左右和 50—60d(图 2(c));而第 2、3 模态呈现显著的东亚和北太平洋中纬度纬向传播的波列,解释方差分别为 7.8%(图 2(d)、2(e))和 6.4%(图 2(g)、2(h)),这两种模态均存在显著的 20—30d 和 10—15d 振荡周期(图 2(f)、2(i)),其中第 2 模态的 22d 振荡最为显著(图 2(f)),对长江下游地区 6—8 月强降水过程形成有重要影响。由于上述中纬度波列传播和 EU 型传播的共同作用(即中纬度低频冷空气和低纬度低频水汽输送的相互作用),形成了 2011 年 6—7 月长江下游地区强降水过程的频繁发生(其中 20—30d 低频降水稳定维持起主导作用)。而 5 月降水过程不明显,是由于大尺度背景环流异常使得向长江下游地区的输送的水汽偏弱,不利于形成显著降水过程。6 月初随着副热带季风爆发,低纬度地区水汽输送带北移,影响到长江下游地区,形成强的降水 20—30d 振荡,导致正位相中强降水(或大暴雨)的发生。

图 3(a)是东亚地区 2011 年 3—7 月 20—30d 滤波 850hPa 经向风场第 2 空间模态,2011 年 7 月 18 日处于该模态正位相(图 3(b),解释方差为 15.0%),且位于峰值后的下

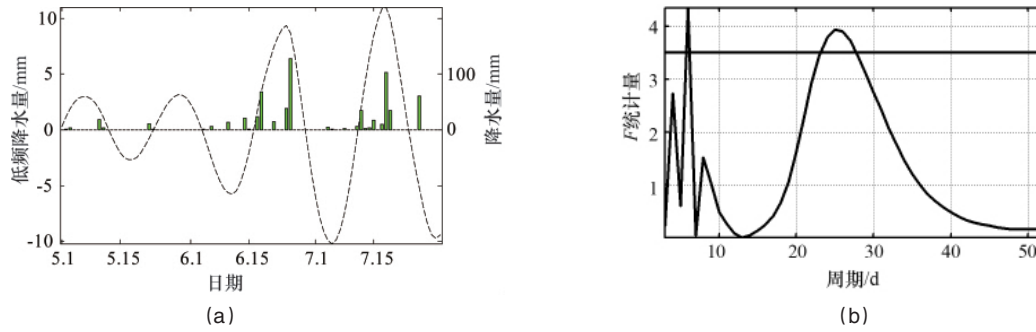


图1 2011年5—7月长江下游地区逐日降水变化(a)和6—7月逐日降水非整数波功率谱分析  $F$  统计量(b)  
 Fig. 1 Time series of the daily precipitation over the lower reaches of the Yangtze River valley during May–July 2011(a), and statistical parameter  $F$  for the non-integral power spectral analysis during June–July 2011(b)  
 注:(a)中虚线是降水20—30d滤波曲线,(b)中水平虚线表示通过0.05显著性检验。  
 Notes: In (a), the curve of the 20–30 day band pass is represented by dashed line, and in (b), the significant level of 95% is represented by horizontal dashed line.

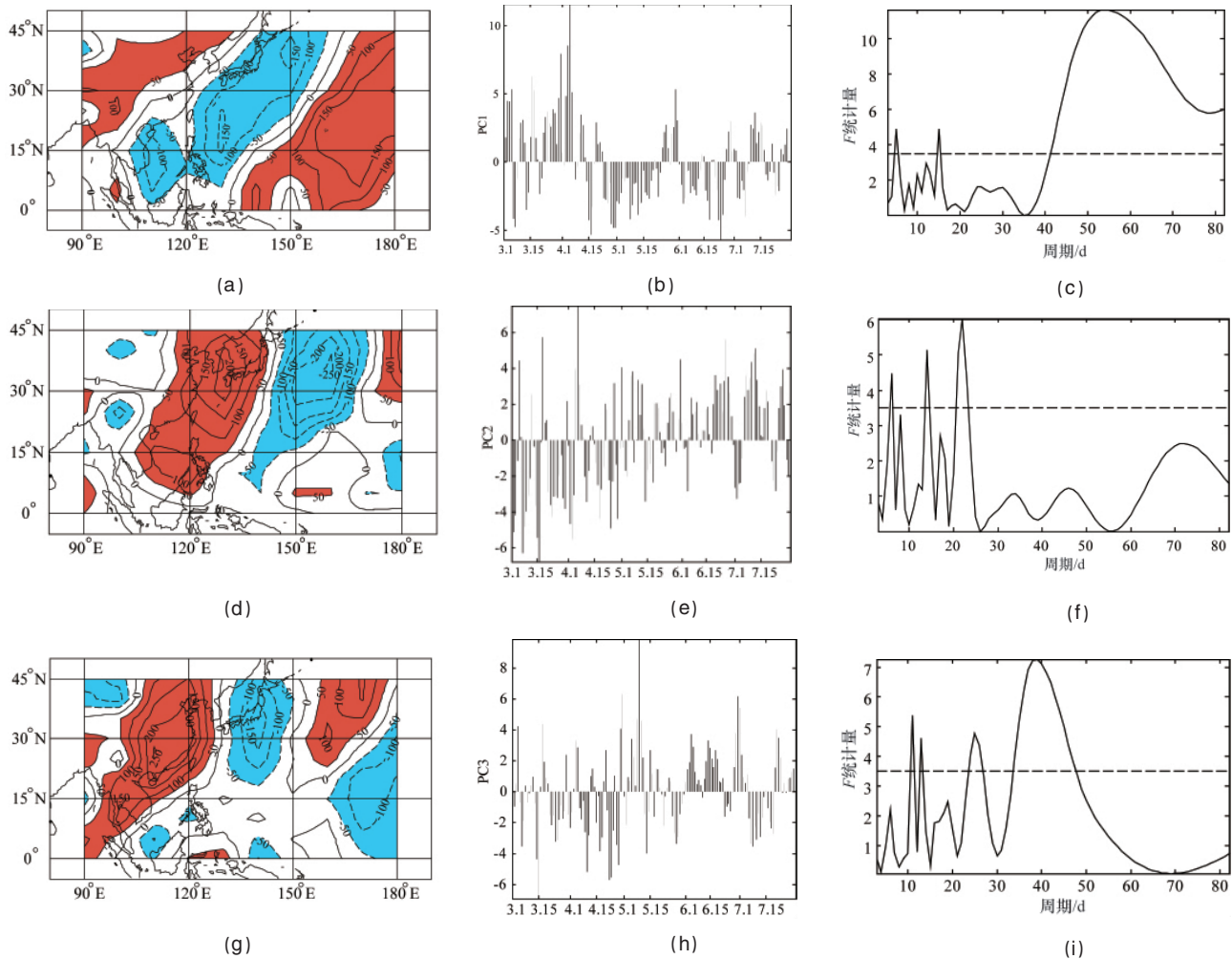


图2 东亚地区2011年3—7月逐日850hPa经向风场主要空间模式  
 Fig. 2 Principal patterns for the daily meridional wind of 850hPa over East Asia in March–July in 2011  
 注:(a),(d),(g)分别是第1,2,3空间分布型,图中数值已 $\times 1000$ ,红(蓝)阴影区表示 $>50$ ( $<-50$ )的区域,(b),(e),(h)是对应的时系数,(c),(f),(i)是对应非整数波功率谱分析  $F$  统计量,图中水平虚线表示通过0.05显著性检验。  
 Notes: The (a), (d) and (g) are refer to the first, second, three pattern, respectively, in which the values are multiplied by 1000 and red (blue) shaded areas represent the regions with values greater than 50 (less than 50), and the (b), (e) and (h) are time coefficients. The (c), (f) and (i) are the statistical parameter  $F$  for the non-integral power spectral analysis corresponding to these patterns, in which the significant level of 95% is represented by horizontal dashed line.

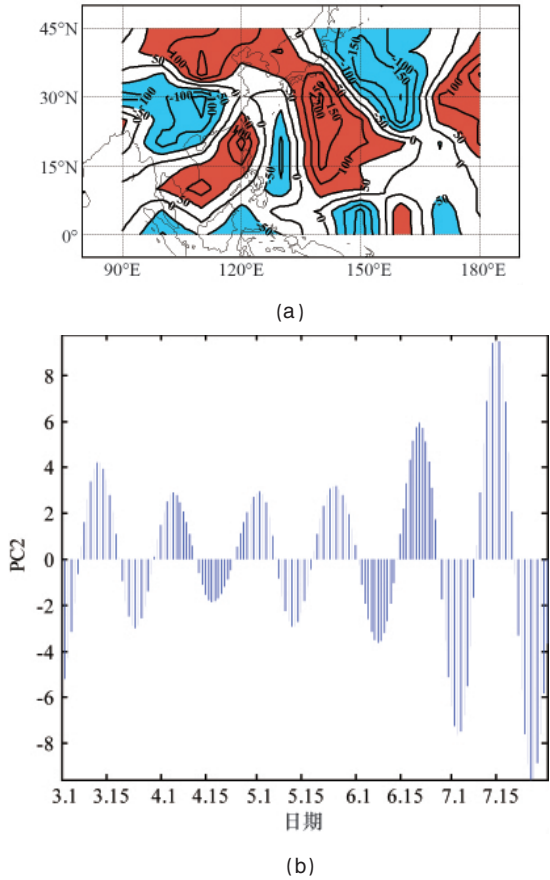


图3 东亚地区 2011 年 3—7 月 20—30d 滤波 850hPa 经向风场第 2 空间模式 (a) 和时间系数 (b)  
Fig. 3 Second spatial distributions (a) and time coefficient (b) for the 20—30 days band pass for the meridional wind of 850hPa over East Asia in March—July in 2011

注: 图 (a) 中数值已×1000, 红 (蓝) 阴影区表示 >50 (<-50) 的区域。  
Notes: In (a), the values are multiplied by 1000 and red (blue) shaded areas represent the regions with values greater than 50 (less than 50).

降时段中, 此时, 日本中部地区到日本南部洋面呈现显著的南风距平区 (图 3(a))。

图 4 给出了 2011 年 5 月 1 日—7 月 31 日长江下游地区 20—30d 低频降水 (图 1(a)) 与 850hPa 低频经向风场的相关的空间分布图 (样本长度为 92d), 也表现为纬向传播的波列结构, 其中, 日本南部洋面是带状分布的显著正相关区, 通过 0.05 的显著性检验 (相关显著的格点的平均有效自由度为 12d 左右, 当相关系数大于 0.60 时, 其显著性为 0.05)。因此, 对于 850hPa 经向风低频变化, 日本中部地区到南部洋面是影响长江下游低频降水和强降水过程的关键区 (与图 3(a) 的结果一致), 这个西北太平洋地区低频经向风变化的 10—30d 延伸期预测对于预报出长江下游地区强降水发生时段十分重要。

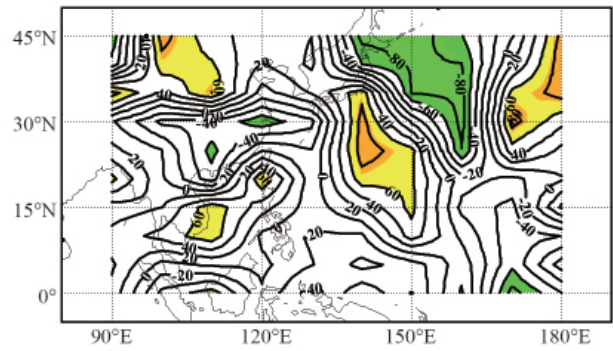


图 4 2011 年 5 月 1 日—7 月 31 日长江下游地区 20—30d 低频降水与东亚地区 850hPa 低频经向风场的相关  
Fig. 4 Correlation between the rainfall over the lower reaches of the Yangtze River valley and meridional wind anomaly of 850hPa over East Asia on the time scale of the 20—30 days from May 1 to July 31 in 2011

注: 图中相关系数已乘以 100, 阴影区表示通过 0.05 的统计显著性检验的区域。  
Notes: The values are multiplied by 100 and the significant levels of 95% are represented by shaded areas.

## 2 预测方法及结果

主振荡型分析 (POP) 直接从观测资料的时间序列提取有关气候系统的主要的线性动力过程的控制方程, 从而找出其固有模态或各类气候主要振荡 (如 ISO) 的时空演变<sup>[12-13]</sup>。POP 分析技术作为一种介于动力学模式与统计分析之间的方法, 对于有效地分离各种时空尺度, 并识别其对应的气候系统振荡类型显示出很强的功能。它同时也是一种重要的预测工具, 对主要振荡型的传播具有一定的预报能力。本文用限定记忆法, 保持子序列  $N_0$  不变, 对 20—30d 时间尺度的东亚地区 850hPa 低频经向风场建立一系列 POP 预测模型<sup>[13-14]</sup>, 滑动进行独立样本预测试验。在 2011 年初夏期间共作 60 次预报 (5 月 3 日—7 月 1 日), 取预报时间  $\tau=30d$ , 子序列长度  $N_0=50d$ 。这种方法有利于适应主要 20—30d 振荡系统空间结构的随时间的改变, 在一定程度上提高预测时效。图 5 给出了这 60 次独立预报的提前 10、15、20d 的低频经向风场预报与对应的实况低频经向风场的相关系数的空间分布 (图 5(a)—5(c))。从图 5(a)—5(c) 可发现未来 10—20d 东亚副热带大部分地区预报效果很好, 尤其是影响长江下游地区强降水的关键区 (日本中部地区到南部洋面, 最显著的关键区在日本以南的西北太平洋洋面) 20—30d 低频经向风的预报对于长江下游地区 (118.0°E—122.5°E, 30.5°N—32.0°N) 强降水过程的预测具有重要参考价值 (其显著性均通过 95% 的信度检验)。

图 6 给出了 2011 年 7 月 18 日 850hPa 20—30d 低频经向风场 (图 6(b)) 和 17d 预报 (7 月 18 日, 图 6(a), 初始场是 2011 年 7 月 1 日)。17d 预报较好地预报出影响长江下游强降水的日本中西部地区到南部洋面南风距平 (正距平区) 的形

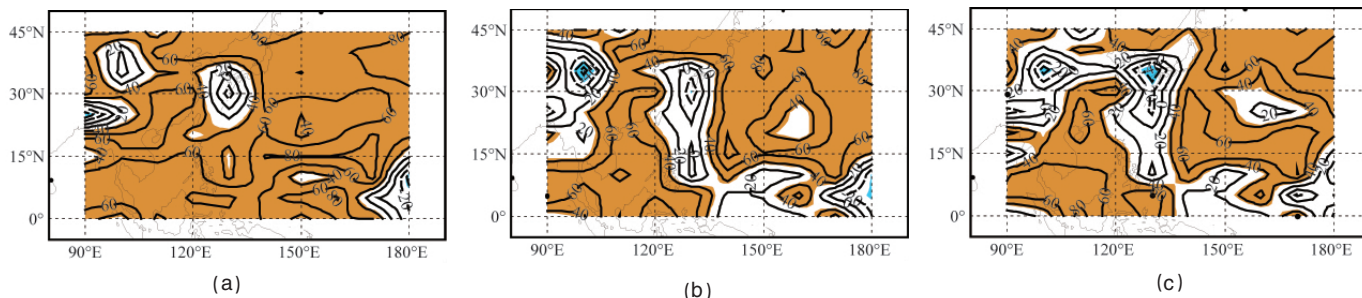


图 5 850hPa 低频经向风场预报的相关预报技巧时间变化

Fig. 5 Temporal correlation between forecasts and observed filtered meridional wind of 850 hPa perturbations at various forecast leads from 10 to 20 days

注: (a)、(b)、(c) 分别对应与提前 10、15、20d 预报, 图中相关系数已乘以 100, 阴影区表示通过 0.05 的统计显著性检验。

Notes: (a), (b) and (c) for boreal summer, in which values are multiplied by 100 and the significant levels of 95% are represented by shaded areas.

成和加强(有利于南海和西北太平洋地区向长江下游地区水汽输送的增强), 这种符号变化是长江下游地区强降水形成的重要条件之一。因此, 基于 POP 的 20—30d 预测模型对于经向风场的空间变化有较好的预测能力。从图 6 也可看到, 中国东部沿海的负异常(北风异常)中心未预报出来, 反映了

预测模型中尚未包括这种尺度较小的低频扰动(但这种扰动对 2011 年长江下游强降水作用不明显)。另外, 将图 6(a)和图 6(b)比较后发现, 预报低频经向风数值偏小, 可能与预测模型尚未能很好描述 20—30d 振荡强度的非线性变化过程有关, 其影响因子可能有外部强迫(如海温、雪盖、土壤湿度异常等)和大气内部非线性相互作用等, 具体机制和预测模型的改进仍需进一步研究。

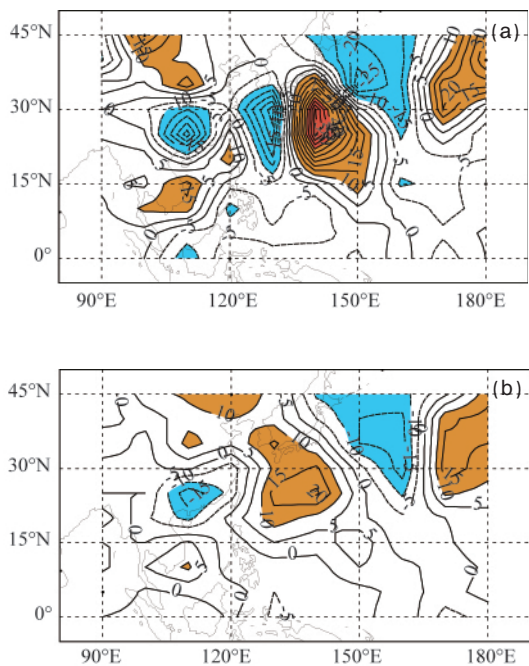


图 6 东亚地区 850hPa 低频经向风场 POP 预报 2011 年 7 月 18 日 (b), 17d 预报, 初始场 7 月 1 日) 和实况 (a)

Fig. 6 Prediction of meridional wind anomaly on 850 hPa (b) from POP models for 17 day (2011-07-18) and corresponding observation (a), initial date 2011-07-01

注: 实线, 南风距平 (正值); 虚线, 北风距平 (负值); 红 (蓝) 阴影表示  $\geq 10$  ( $\leq -10$ ); 图中数值已乘以 10; 等值线间隔为 0.5m/s。

Notes: Unit, 0.5m/s; red (blue) grey shaded areas representing the regions with values greater than 10 (less than -10), and values are multiplied by 10.

### 3 结论

2011 年 5—7 月东亚副热带地区环流存在极显著的 20—30d 振荡, 在 850hPa 表现为中国东部和北太平洋地区纬向传播的经向风波列, 是引起长江下游地区强降水过程频繁发生的主要原因之一。相关分析表明, 在 20—30d 时间尺度上, 影响长江下游地区低频降水的经向风的关键区在日本南部的西北太平洋地区, 表现为显著的正相关。当这个区域低频南风显著时(正经向风距平), 长江下游地区低频降水位于正位相, 易发生强降水过程, 2011 年 7 月 18 日长江下游地区特大暴雨发生在其峰值状态附近。用主振荡模型 (POP) 方法对 2011 年 5—7 月东亚副热带地区低层低频风场未来 20d 变化具有很好的预报效果, 能提前 15—20d 预报出影响长江下游地区强降水的日本南部的西北太平洋地区低频南风的形成, 对于 2011 年 7 月 18 日长江下游地区特大暴雨产生有很好的预示性, 对这次大暴雨过程的 10—30d 延伸期预报具有重要的应用价值。

长江下游地区 (118.0°E—122.5°E, 30.5°N—32.0°N) 强降水过程与 20—30d 时间尺度的低频降水和东亚副热带地区环流之间存在显著相关, 但低频环流变化的关键区与经向风波列的位置和强度有关。由于环流 20—30d 振荡存在较强的年际变化, 所以影响长江下游地区强降水的关键区也存在显著的年际变化, 体现了低频环流变化的非线性。用时变的 POP 预测模型能较好地预测未来 20d 内这种经向风波列传播空间位置的变化, 其延伸期关键区的经向风距平变化的预测, 能较好地预报长江下游地区强降水的发生时段。

## 参考文献 (References)

- [1] Waliser D E, Lau K M, Stern W, *et al.* Potential predictability of the Madden-Julian oscillation[J]. *Bul Amer Meteor Soc*, 2003, 84(1): 33-50.
- [2] 王斌. 认识和预报亚洲季风气候: 前沿突破点和展望 [J]. 气象学报, 2008, 66(5): 653-669.  
Wang Bin. *Acta Meteorol Sin*, 2008, 66(5): 653-669.
- [3] Jones C, Carvalho L M V, Higgins W, *et al.* A statistical forecast model of tropical intraseasonal convective anomalies [J]. *J Climate*, 2004, 17: 2078-2095.
- [4] Wheeler, M C, Hendon H. An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction [J]. *Mon Wea Rev*, 2004, 132(8): 1917-1932.
- [5] Maharaj E A, Wheeler M C. Forecasting an index of the Madden-Julian Oscillation[J]. *Int J Climatol*, 2005, 25: 1611-1618.
- [6] Love B S, Matthews A J, Janacek G J. Real-time extraction of the Madden-Julian oscillation using empirical mode decomposition and statistical forecasting with a VARMA model [J]. *J Climate*, 2008, 21(20): 5318-5335.
- [7] 丁一汇, 梁萍. 基于 MJO 的延伸预报[J]. 气象, 2010, 36(7): 111-122.  
Ding Yihui, Liang Ping. *Meteorological Monthly*, 2010, 36(7): 111-122.
- [8] 朱红蕊, 江志红, 张勤, 等. 基于 SSA-AR 方法的 MJO 指数预报模型试验[J]. 热带气象学报, 2010, 26(3): 371-378.  
Zhu Hongrui, Jiang Zhihong, Zhang Qin, *et al.* *Journal of Tropical Meteorology*, 2010, 26(3): 371-378.
- [9] 据建华, 刘一伶, 李汀, 等. 预测夏季南海季节内振荡的一种新方法[J]. 热带气象学报, 2010, 26(5): 521-525.  
Ju Jianhua, Liu Yiling, Li Ting, *et al.* *Journal of Tropical Meteorology*, 2010, 26(5): 521-525.
- [10] 孙国武, 孔春燕, 信飞, 等. 天气关键大气低频波延伸期预报方法[J]. 高原气象, 2011, 30(3): 594-599.  
Sun Guowu, Kong Chunyan, Xin fei, *et al.* *Plateau Meteorology*, 2011, 30(3): 594-599.
- [11] Ding R Q, Li J P, Seo K H. Estimate of the predictability of boreal summer and winter intraseasonal oscillations from observations [J]. *Mon Wea Rev*, 2011, 139(8): 2421-2438.
- [12] Hasselmann K. PIPs and POPs: The reduction of complex dynamical systems using principal interaction and principal oscillation patterns[J]. *J Geophys Res*, 1988, 93(D9): 11015-11021.
- [13] von Storch H, Xu J S. Principal oscillation pattern analysis of the 30- to 60-day oscillation in the tropical troposphere. Part I: Definition of an index and its prediction[J]. *Climate Dyn*, 1990, 4: 175-190.
- [14] 杨秋明. 西太平洋热带地区环流低频变化的主振荡型预测试验[J]. 应用气象学报, 1998, 9(3): 345-351.  
Yang Qiuming. *Journal of Applied Meteorological Science*, 1998, 9(3): 345-351.
- [15] 杨秋明. 初夏亚洲季风区环流低频振荡与长江下游持续暴雨 [J]. 应用气象学报, 1993, 4(3): 320-326.  
Yang Qiuming. *Journal of Applied Meteorological Science*, 1993, 4(3): 320-326.
- [16] 杨秋明. 全球环流 20-30d 振荡与长江下游强降水[J]. 中国科学 D 辑, 2009, 39(11): 1515-1529.  
Yang Qiuming. *Sci China Ser D*, 2009, 39(11): 1515-1529.

(责任编辑 林祥磊,代丽)

· 学术动态 ·



## “中国病毒性肝炎和艾滋病实验室 诊断与临床高峰论坛”征文

“中国病毒性肝炎和艾滋病实验室诊断与临床高峰论坛”定于 2012 年 4 月 1 日在北京市举行。大会由中华医学会检验分会等单位主办。

征稿范围:病毒性肝炎和艾滋病的实验室诊断与检测新方法的研究;病毒性肝炎和艾滋病的临床检测中存在的问题及解决方法;病毒性肝炎和艾滋病实验室诊断的质量控制;(如 HBV、HCV 等)艾滋病合并感染和机会感染的诊断;病毒性肝炎和艾滋病疑难样本诊断;艾滋病抗病毒治疗的毒副作用的实验室检测;艾滋病的婴儿早期诊断,窗口期的诊断、抗病毒治疗的耐药的诊断和耐药的早期预警、CD4+T 淋巴细胞计数和病毒载量在我国抗病毒治疗的疗效评估的作用。

全文截止日期:2012 年 2 月 29 日。

联系电话:010-85158269。

电子信箱:AIDS2012@cma.org.cn。

会议网站: <http://www.cma.org.cn>。