

上海市夏季降水延伸期的预报方法

杨慧娟^{1,2} 郭品文¹

摘要

利用 1998—2007 年上海站降水资料和 NCEP 逐日 700 hPa 再分析风场资料,通过统计分析,发现上海强降水发生日,在 10~20 天滤波的合成低频流场上,我国沿海 30°N 附近地区纬向风明显加强,浙江福建沿海地区为一致的偏南风,故定义这两个区域为影响区。通过单点相关方法,在 10~20 天滤波的经纬向风场上分别找到一个与影响区风速超前 15~20 天相关性好的关键区域: 110~130°E, 0°~10°N 和 160~140°W, 45~55°N。研究表明,关键区域的 10~20 天低频经纬向风有明显向上海附近地区传播的趋势,并且与 15~20 天后上海降水有显著正相关,对上海市 6—8 月未来 15 天的降水有较好的指示作用。

关键词

延伸期预报; 10~20 天低频振荡; 降水

中图分类号 P456.2

文献标志码 A

收稿日期 2011-03-16

资助项目 国家科技支撑计划(2009BAC51B01)

作者简介

杨慧娟,女,硕士生, angel27559@163.com

郭品文(通信作者),男,教授,博导,研究方向为气候动力学, guo@nuist.edu.cn

1 南京信息工程大学 大气科学学院,南京, 210044

2 中国民用航空西北地区空中交通管理局 气象中心,西安, 710082

0 引言

近年来,随着人们对天气预报要求越来越高,“无缝隙”天气预报系统应运而生,而延伸期预报就是“无缝隙”预报系统中关键的一环。延伸期预报是介于天气预报与气候预测之间的,10~30 天的预报。在常规天气预报业务和气候预测之间存在的这段 10~30 天预报缝隙是目前预报业务中的“盲点”,从确定性预报的可预报性问题来讲它具有一定的必然性。10~30 天延伸期预报刚好涵盖了逐日预报的可预报时效上限和外强迫开始起作用的时间下限,即介于天气预报和气候预测这两类问题之间,这使得它在科学研究和气象业务上都很复杂。开展延伸期预报业务主要着重两方面进行:一是对气象要素在某段时间的平均值或距平值进行预报;二是针对持续强的异常环流造成的重大天气过程进行预报。目前各国对延伸期预报的尝试也是基于此进行的^[1]。本文主要是针对于夏季降水在未来 15~20 天的平均值或距平值进行预报。对延伸期预报的研究已成为热点也是难点,目前延伸期预报主要建立于低频振荡的研究成果的基础上。

从 20 世纪 70 年代开始,国内外学者都对低频振荡进行了大量的研究,取得了许多成果。热带地区纬向风的 30~50 天低频振荡是 Madden 等^[2-3]在 1970 年代初发现的,故常称为 MJO(Madden-Julian Oscillation)。此后很多学者对低频振荡进行了进一步研究。李崇银^[4]研究了 30~60 天振荡动能的分布,结果表明,高纬度地区的振荡动能要比赤道地区大得多。张勤^[5]的研究表明,中高纬大气 30~60 天振荡表现为定长波位相和振幅的变化,它与中高纬地区遥相关型的转换有关。此外,国内很多学者^[6-7]对大气低频振荡的传播、实体、机制、特征及其与 ENSO 和季风的联系等方面做了大量研究,认为大气中普遍存在 10~20 天和 30~50 天的低频振荡现象。低频振荡是大气环流的一个重要组成部分,它不仅存在于热带,而且也存在于中高纬地区,具有全球性。

基于低频振荡的研究成果,近些年,国内外就 MJO 的 10 天以上预报时效的研究已取得了一些值得借鉴的成果。Wheeler 等^[8]利用 MJO 的 8 个位相的周期和强度变化试做澳大利亚夏季风降水的 15~20 天预报; Jones 等^[9]利用多种统计方法,建立了热带季节内对流异常的统计模型,用以预报热带季节内对流异常,模型预报的未来 20 天的结果在大部分热带地区有参考价值。信飞等^[10]参考 Jones 等^[9]的统计预报模型并结合自回归及多元回归等统计方法,建立统计模型用

以预报低频风场,对未来 3~5 候长江中下游的预报结果有参考价值.孙国武等^[11],提出了低频天气图预报方法,分析关键地区低频天气系统(低频气旋和低频反气旋)的活动特征,并根据这些低频天气系统的活动特征预报降水过程,该方法取得了较好的预报效果.这些研究表明,用经验统计的方法预测 15~20 天的低频振荡的活动是有效的,且低频振荡与天气的变化有着密切的联系.

但目前延伸期预报离业务化预报仍有一段距离,对于具体天气要素,如降水、温度等的预报研究仍较少.本文将尝试为延伸期预报提供一新方法.

1 资料与方法

本文所用的资料是 1998—2008 年的上海站逐日降水资料和 NCEP/NCAR 逐日再分析资料,其水平网格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度.再分析资料的要素为 700 hPa 的纬向风和经向风,选取 $20^{\circ}\text{S} \sim 70^{\circ}\text{N}$, $0^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{W}$ 范围为研究区域.

本文首先对 1998—2007 年上海市降水进行小波分析后得知,上海市 5—9 月降水存在明显的 10~20 天的振荡特征,且 10~20 天的低频振荡的方差贡献比例很大,很好的对应上海地区降水的特征.将 700 hPa 要素场 1998—2007 年 5—9 月的 NCEP 逐日资料用一个基于一级 Butterworth 函数的带通滤波器滤波^[12],保留低频部分(10~20 天).然后分析了上海地区强降水日(≥ 20 mm) 700 hPa(10~20 天)低频环流形势场,找到了对上海市降水产生很大影响的影响区域.然后,分析了 $20^{\circ}\text{S} \sim 70^{\circ}\text{N}$, $0^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{W}$ 区域的经 10~20 天滤波处理后的经纬向风场与影响区域风的一点相关场,并找到关键区.而后,进一步分析表明关键区风场有很强的波动向上海附近地区传播,并与上海地区降水有很好的超前相关.最后对 2008 年的降水做延伸期预报试验.

2 上海市夏季降水的低频特征

对上海市 4—10 月的降水进行小波分析,从图 1 中可以看到,上海市的夏季降水存在明显的以 10~20 天、30 天、40~60 天为周期的低频振荡.对这 3 个周期的振荡进行方差分析,发现 30 天、40~60 天为周期的波动方差贡献比较小,而 10~20 天的低频振荡方差贡献达到了 30% 以上.这说明上海市夏季降水低频信号以 10~20 天周期为主.这为后面用低频振荡的风场来预报降水提供了很好的前提条件.对 1998—2007

年上海市 5—9 月的降水用 butterworth 滤波器进行以 10~20 天周期的滤波处理,与原始降水序列相比较,分析两者的关系如何.从图 2 中可以看出,除了 6 月上旬和 7 月底 8 月初这两段时间外,2002 年 6—9 月经 10~20 天带通滤波后的降水能很好的反映原降水序列的低频特征.其他年份都有相似的特征.

夏半年的降水天气过程常常与对流层中低层(700 hPa)的天气系统和对流层高层(200 hPa)的环流系统的演变密切相关,与位势高度场和风场(流场)低频分量的变化有很好的对应关系^[11].上海市降水存在着明显的低频振荡的特征,可以推测上海市的降水与大气低频振荡有密切的联系.江淮地区的夏季降水多是由于南方来的西南季风、东南季风的暖湿气流和北方西风槽后来的干冷气流在这一带地区交汇而形成的.鉴于此因,下面将从前期 700 hPa 上经向纬向风的入手,对上海地区降水的有影响的形势进行分析.

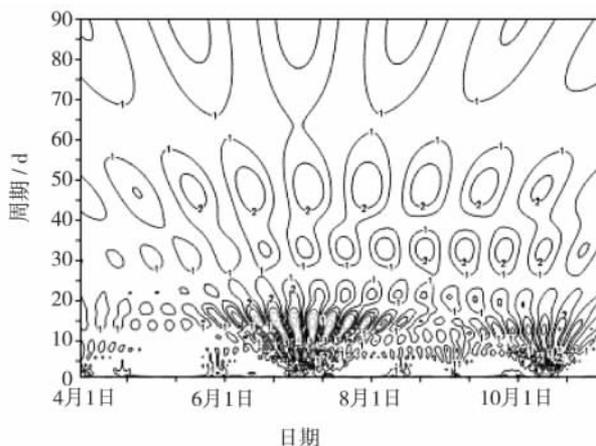


图 1 2002 年 4—10 月上海降水的小波分析

Fig. 1 Wavelet analysis of Shanghai precipitation from April to October in 2002

3 低频环流特征分析

3.1 上海强降水日及其前期的低频环流形势

分析 1998—2007 年上海地区强降水日及降水前 20 天的 700 hPa 低频 10~20 天环流形势.从图 3a 中可以看出,2002 年上海夏季强降水日 700 hPa 环流场上,江淮流域有一低频气旋,福建东部洋面上有一低频反气旋,低频气旋将西北太平洋上的偏南暖湿气流输送到我国东部 30°N 附近地区与北方低频反气旋前部的偏北风干冷气流交汇.在区域($115 \sim 125^{\circ}\text{E}$, $25 \sim 35^{\circ}\text{N}$) 有明显的低频纬向风;而在区域

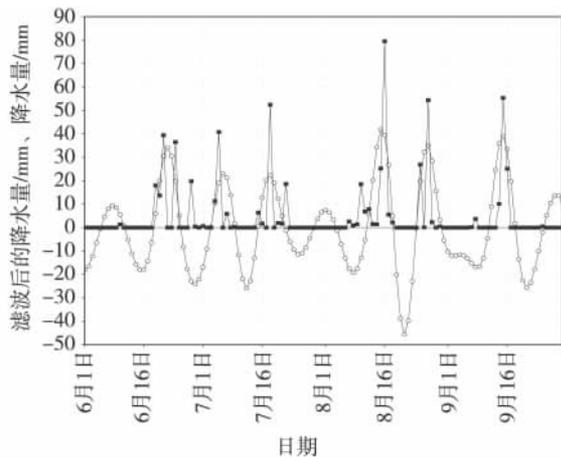


图2 2002年6—9月上海降水(实心点)及其经10~20天滤波的低频分量(放大了5倍,空心圆)的时间序列

Fig. 2 Rainfall (solid points) and its 10—20 day LFO component (hollow circles) in Shanghai from June to September in 2002

($120 \sim 130^{\circ} \text{E}$, $20 \sim 30^{\circ} \text{N}$) 有明显的低频偏南气流. 图3b, 对应的强降水发生前20天环流场上看到, 我国东部沿海地区被一低频气旋控制, 没有冷暖气流的交汇, 低频气旋与南部低频反气旋交汇于华南地区. 在对比图3a、图3b后发现: 强降水发生前后, 区域一($115 \sim 125^{\circ} \text{E}$, $25 \sim 35^{\circ} \text{N}$) 纬向风增大或反向, 区域二($120 \sim 130^{\circ} \text{E}$, $20 \sim 30^{\circ} \text{N}$) 的偏南风变明显. 其他9年也有类似的情况出现, 这两个区域的10~20天低频风与上海市夏季降水有着良好的相关性, 说明两个区域与上海市夏季降水有密切关系, 选这两个区域为影响区域, 分别定义为影响区一和影响区二. 影响区一的低频纬向风和影响区二的低频经向风与上海市夏季较长时间尺度的降水有密切的联系.

3.2 影响上海市降水的经纬向风场的10~20天低频振荡

大气中充满了各种尺度的波动, 各种天气、气候变化也是由这些波动传播引起的. 下面来分析影响上海地区的700 hPa上10~20天经向风和纬向风低频振荡的传播特征. 图4中可以看到, 超前15天的时候在 $110 \sim 130^{\circ} \text{E}$, $0^{\circ} \sim 10^{\circ} \text{N}$ 的地区有很高的正相关, 超前10天时, 正相关北移到菲律宾南部地区, 超前5天时, 正相关北移到菲律宾北部及我国南海地区, 同期时移到我国长江下游地区. 由此得到, 10~20天波动纬向风在 $110 \sim 130^{\circ} \text{E}$, $0^{\circ} \sim 10^{\circ} \text{N}$ 的区域有一波列向东北方向传播, 影响上海附近地区, 这与李崇银^[13]的研究结果一致, 他指出在 $120 \sim$

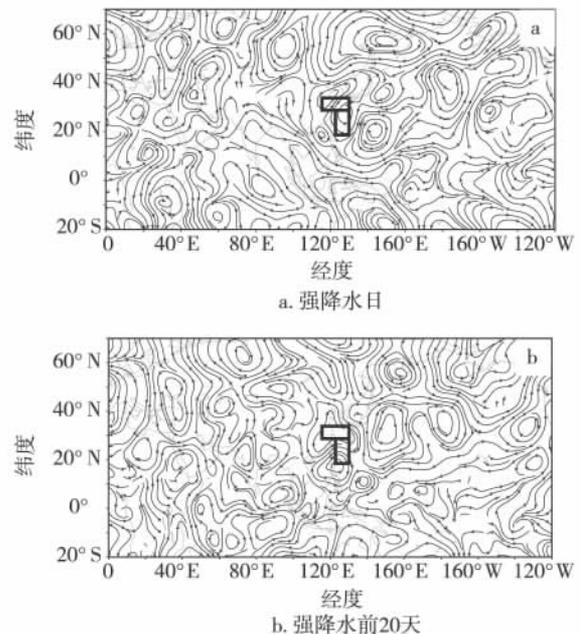


图3 2002年上海市强降水日和强降水前20天700 hPa低频(10~20天)流场合成(两个方框分别为影响区1和影响区2)
Fig. 3 700 hPa 10—20 day LFO stream composite for heavy rain days and for 20 days ahead of heavy rain days in 2002 in Shanghai (boxes for influencing area NO.1 and NO.2)

130°E 区域上, 850 hPa 纬向风10~20天低频振荡是由南向北传播的. 这可能是夏季菲律宾群岛南部附近地区对流旺盛, 激发低频振荡并向北传播, 可能体现的是东亚夏季风的10~20天的低频振荡. 由于夏季风的低频振荡导致低纬度向 30°N 附近地区输送的水汽也存在低频振荡, 从而使得降水也存在10~20天的低频变化. 而经向风的情况跟纬向风有很大不同, 从图5中可以看到, 超前15天时在北美的西北海岸有一正相关区域, 超前10天时正相关区域西移到北太平洋中部地区, 超前5天的时候正相关区域移动到日本东南部洋面, 同期时正相关位于福建、台湾东南沿海地区.

从图4和图5可以看出, 纬向风和经向风从菲律宾南部附近和北美西北海岸附近各有一列波动传播到我国东南沿海地区. 沿着纬向风和经向风的路径各做了时间纬度剖面, 确定它们的传播情况. 从图6可以看出, 从5月底到8月底纬向风有明显从菲律宾南部像上海附近地区传播的现象, 同一波列从菲律宾地区传播至 30°N 附近地区的时间大约为15天, 一个周期. 同样, 图7中经向风也有明显的从东北太平洋地区向我国东南沿海传播的现象. 其他的年份也有相似的现象.

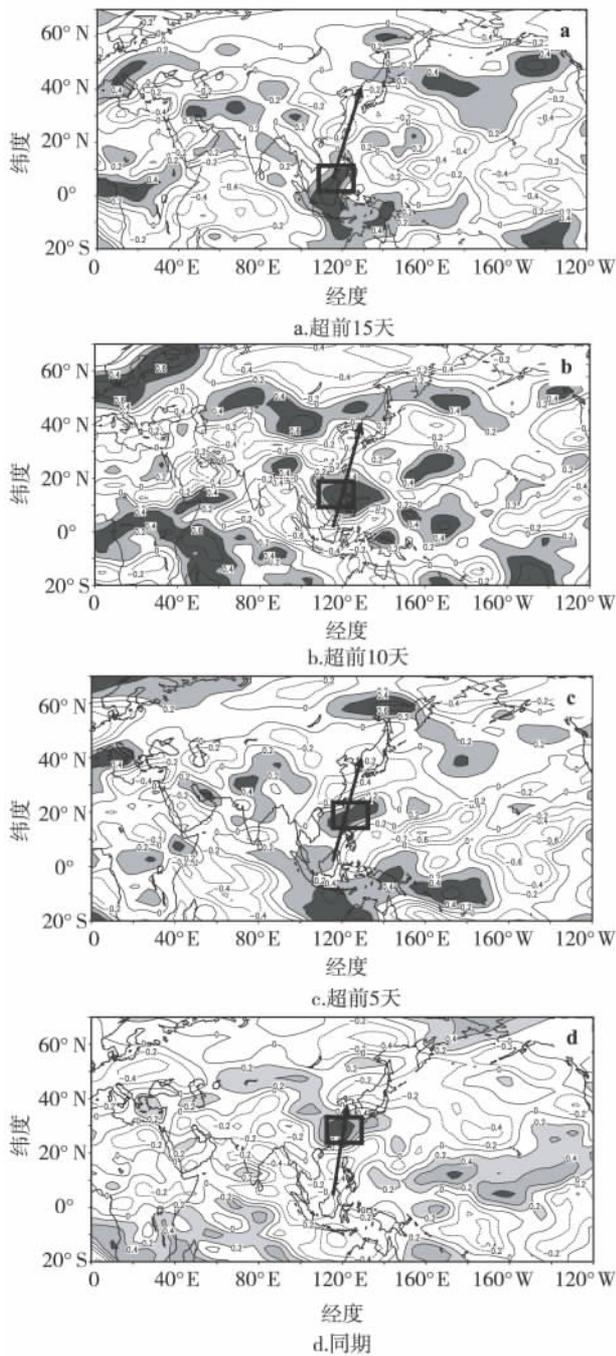


图 4 1999 年 5—9 月 700 hPa 10~20 天波动纬向风场与影响区 1 的 10~20 天纬向风的超前和同期相关系数(阴影区通过了 0.05 的显著性水平检验,箭头方向为传播路径方向,方框中的区域为从关键区 1 沿路径传播的最大相关区)

Fig. 4 700 hPa 10—20 day LFO zonal wind lag correlation with 10—20 day LFO zonal wind over influencing area NO.1 from May to September in 1999 (shaded area passed significance test at level 0.05 arrows for propagation track, boxes for max correlation area along the track)

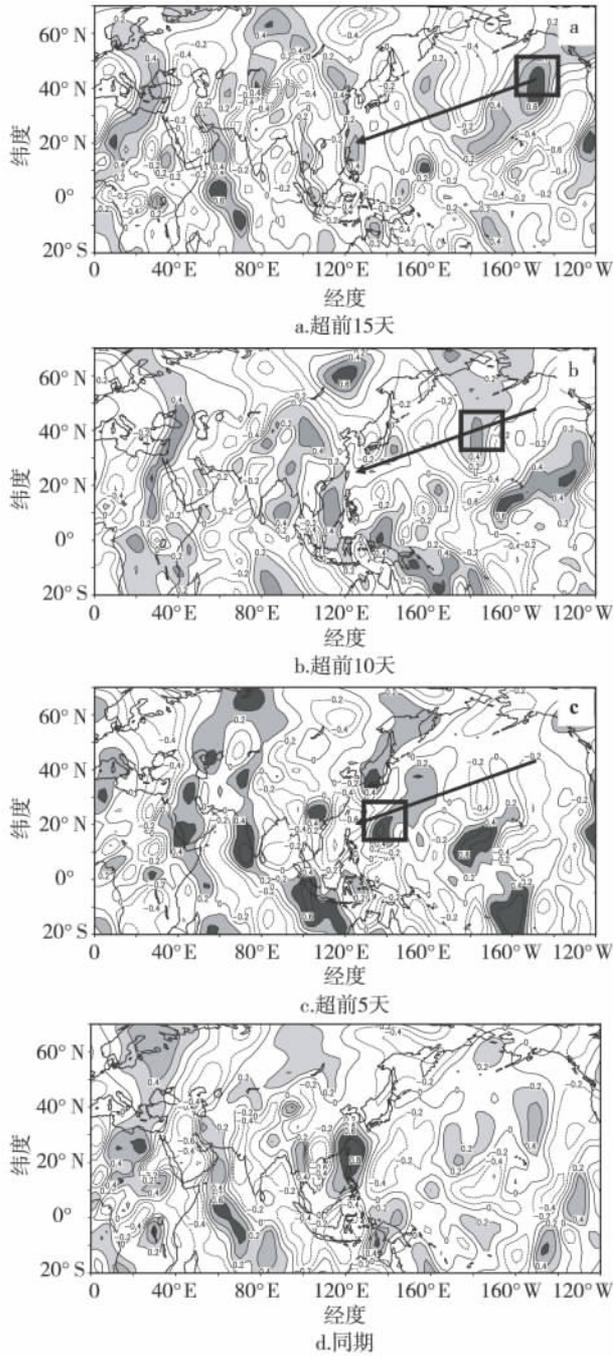


图 5 1999 年 5—9 月 700 hPa 10~20 天波动经向风场与影响区 2 的 10~20 天经向风的超前和同期相关系数(阴影区通过了 0.05 的显著性水平检验,箭头方向为传播路径方向,方框中的区域为从关键区 2 沿路径传播的最大相关区)

Fig. 5 700 hPa 10—20 day LFO meridional wind lag correlation with 10—20 day LFO meridional wind over influencing area NO.2 from May to September in 1999 (shaded area passed significance test at level 0.05 arrows for propagation track, boxes for max correlation area along the track)

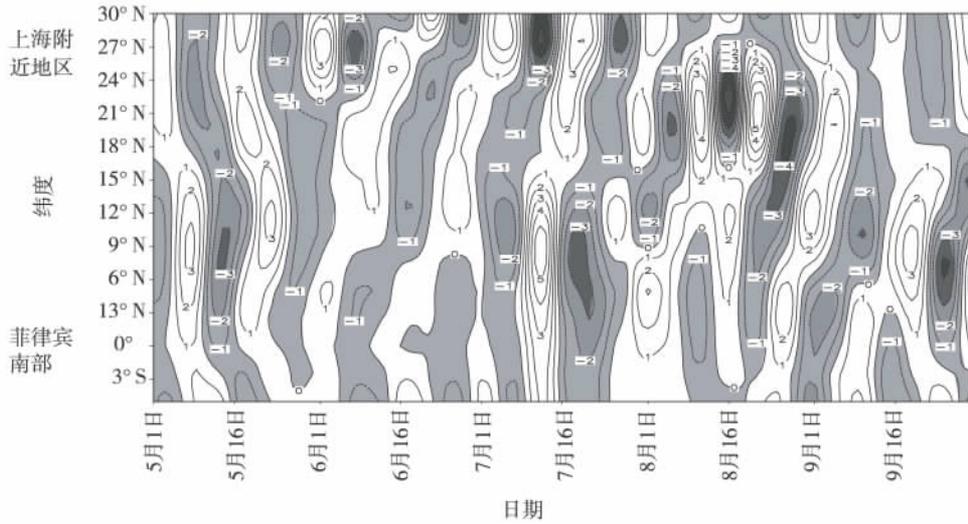


图 6 2007 年 700 hPa 纬向风 10~20 天波动沿路径 1 传播的时间纬度剖面(单位: $m \cdot s^{-1}$)
 Fig. 6 700 hPa 10—20 day LFO zonal wind time-latitude cross section along track NO. 1 in 2007(units: $m \cdot s^{-1}$)

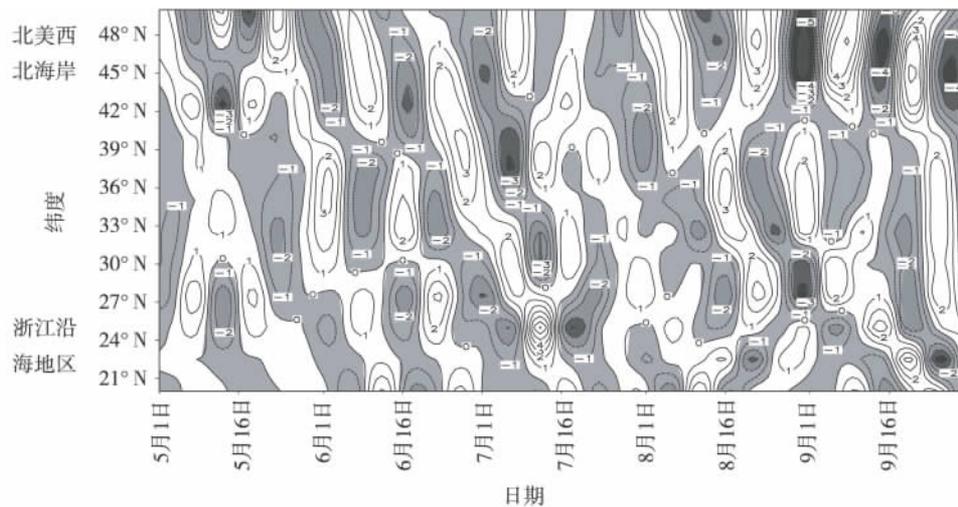


图 7 2007 年 700 hPa 经向风 10~20 天波动沿路径 2 传播的时间纬度剖面(单位: $m \cdot s^{-1}$)
 Fig. 7 700 hPa 10—20 day LFO meridional wind time-latitude cross section along track NO. 2 in 2007(units: $m \cdot s^{-1}$)

4 上海市延伸期预报模型的建立与预报实验

从前面的分析可以知道,700 hPa 上影响上海市降水的低频振荡主要来源于两个区域:关键区 1 (110~130°E, 0°~10°N) 和关键区 2 (160~140°W, 45~55°N). 分析了两个关键区平均风速与上海市 10~20 天滤波后的降水的对应关系后,发现两个区域的平均风速与 15 天后的上海市降水有很好的对应关系(图 8). 这说明两个关键区的平均风速对上海市 15 天后的降水预报有较好的指示作用. 故选取这两个区域的平均风速作为预报因子,建立对 15 天后的上海市降水的预报的多元回归预报模型.

根据 1998—2007 年的 10~20 天滤波后的降水资料和滤波后的 700 hPa 风场资料,建立了多元回归方程 $r = 0.03 + 0.438u + 3.939v$, 该回归方程通过了 0.05 的显著性水平检验,回归方程显著. 由于预报量是 10~20 天滤波后的降水,与实际降水量存在较大的差距,只能用来做趋势预报. 用该方程进行 2008 年上海市降水的延伸期预报试验. 试验结果如表 1 所示,除了 2008 年 06 月 21—23 日的大雨过程,2008 年 9 月 5 日的中雨过程以及 2008 年 9 月 20—21 日的中雨过程,三次较大的降水过程漏报以外,其他时间段的预报就比较准确,可见,该方法对降水时段的预报比较准确.

表 1 表 1 2008 年上海市降水延伸期预报结果与实际降水对比表

Table 1 Comparison of rainfall event and forecast precipitation of Shanghai in 2008

预报时间	预报的降水时段	实际的降水时段	实际降水情况
2008-05-01	2008-05-16—2008-05-17	2008-05-18—2008-05-19	中雨
2008-05-12	2008-05-27—2008-06-02	2008-05-27—2008-05-28	中雨
2008-05-27	2008-06-12—2008-06-17	2008-06-10—2008-06-11	中雨
		2008-06-14	大雨
		2008-06-17—2008-06-18	大雨
2008-06-11	2008-06-26—2008-06-28	2008-06-21—2008-06-23 漏报	大雨
		2008-06-27—2008-06-28	大暴雨
2008-06-21	2008-07-06—2008-07-11	2008-07-11—2008-07-12	大雨
2008-07-07	2008-07-22—2008-07-28	2008-07-19—2008-07-20	小雨
		2008-07-28—2008-07-30	中雨
2008-07-21	2008-08-05—2008-08-09	2008-08-10—2008-08-11	小雨
		2008-08-14—2008-08-16	小雨
		2008-08-18—2008-08-20	中雨
2008-08-04	2008-08-19—2008-08-25	2008-08-23	小雨
		2008-08-25	大雨
		2008-09-05 漏报	中雨
2008-08-25	2008-09-09—2008-09-15	2008-09-14—2008-09-17	中雨
		2008-09-20—2008-09-21 漏报	中雨
2008-09-08	2008-09-23—2008-09-28	2008-09-24—2008-09-26	大雨

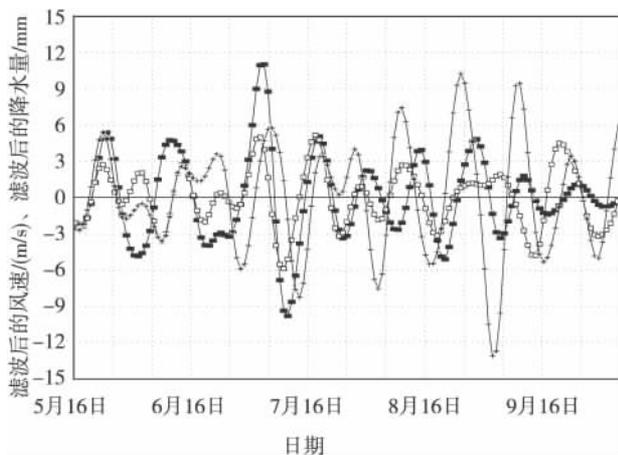


图 8 1999-05-16—1999-09-30 的 10~20 天滤波的降水 (十字线; 单位: mm) 和 15 天前 700 hPa 10~20 天滤波关键区 1 的区域平均纬向风(黑色实心点线)、关键区 2 的区域平均经向风(黑色空心圆线)的时间序列
Fig. 8 10—20 day LFO rainfall(Cross line) and 15 days earlier 700 hPa 10—20 day LFO average zonal wind(black solid line) over key area NO. 1 and LFO average meridional wind (black hollow circle) ver key area NO. 2 from May 16 ,1999 to September 30 ,1999

5 结论与讨论

本文尝试用简单的统计学方法为延伸期预报提供一个思路. 经过上述分析 得到以下结论:

1) 经过小波分析发现 ,上海夏季降水有明显的

10~20 天、30 天、40~60 天的低频振荡. 经方差分析后发现 ,10~20 天低频部分方差贡献较大 ,并且能很好的体现较长时间尺度降水的趋势.

2) 上海夏季强降水发生时 ,700 hPa 的 10~20 天低频环流场上 ,30°N 附近地区有较强低频纬向风 ,我国东南沿海地区有一致的低频偏南气流. 这是有利于暖湿空气向长江流域输送的形势. 而强降水发生前 20 天(无降水时) 则无此特殊结构.

3) 通过超前相关分析发现: 从菲律宾南部和北美东北部洋面上分别有 10~20 天的低频纬向经向风向上海附近传播 ,影响上海的降水情况. 这两个区域的风速对上海的降水有很好的超前 15 天相关. 通过建立的多元回归模型 ,对 2008 年的上海市夏季降水进行了预报实验 ,发现这两个因子可以用来做未来 15 天的降水预报.

参考文献

References

- [1] 金荣花 ,马杰 ,毕宝贵. 10~30 d 延伸期预报研究进展和业务现状[J]. 沙漠与绿洲气象 2010 4(2): 1-5
JIN Ronghua ,MA Jie ,BI Baogui. Research advancement and operation status about the extended range forecast from 10 to 30 days [J]. Desert and Oasis Meteorology , 2010 4(2): 1-5
- [2] Madden R A ,Julian P R. Detection of a 40—50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific [J]. Journal of Atmospheric Sciences ,1971 28(5): 702-708

- [3] Madden R A , Julian P R. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40—50 day period [J]. *Journal of Atmospheric Sciences* ,1972 ,29 (6) : 1109-1123
- [4] 李崇银. 大气中的季节内振荡 [J]. *大气科学* ,1990 , 14(1) : 32-45
LI Chongyin. intraseasonal oscillation in atmosphere [J]. *Scientia Atmospherica Sinica* ,1990 ,14(1) : 32-45
- [5] 张勤 ,倪允琪 ,林武银 ,等. 热带和中高纬地区季节内振荡的特征及其动力学诊断 [J]. *热带气象学报* , 1992 8(4) : 289-296
ZHANG Qin ,NI Yunqi ,LIN Wuyin ,et al. Diagnostic study for intraseasonal oscillation of tropical and mid-high latitudes in a low resolution global spectral model [J]. *Journal of Tropical Meteorology* ,1992 ,8 (4) : 289-296
- [6] 何金海. 关于准 40 天振荡经向传播机制的讨论 [J]. *南京气象学院学报* ,1989 ,12(3) : 239-248
HE Jinhai. A discussion on the mechanism for the meridional propagation of the Quasi 40 day Periodic Oscillation (QPO) [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* , 1989 ,12(3) : 239-248
- [7] 章基嘉 ,孙国武 ,陈葆德. 青藏高原大气低频变化的研究 [M]. 北京: 气象出版社 ,1991: 105-108
ZHANG Jijia ,SUN Guowu ,CHEN Baode. Research on atmospheric low-frequency variations over the Qinghai-Xizang Plateau [M]. Beijing: China Meteorological Press , 1991: 105-108
- [8] Wheeler M C ,Hendon H H. An all-season real-time multivariate MJO Index: Development of an index for monitoring and prediction [J]. *Monthly Weather Review* ,2004 , 132(8) : 1917-1932
- [9] Jones C ,Carvalho M V ,Higgins R W ,et al. A statistical forecast model of tropical intraseasonal convective anomalies [J]. *Journal of Climate* ,2004 ,17: 2078-2094
- [10] 信飞 ,孙国武 ,陈伯民. 自回归统计模型在延伸期预报中的应用 [J]. *高原气象* 2008 27(S1) : 69-75
XIN Fei ,SUN Guowu ,CHEN Bomin. An autoregressive statistical model for extended-range prediction [J]. *Plateau Meteorology* 2008 27(S1) : 69-75
- [11] 孙国武 ,信飞 ,陈伯民 ,等. 低频天气图预报方法 [J]. *高原气象* 2008 27(S1) : 64-68
SUN Guowu ,XIN Fei ,CHEN Bomin ,et al. A prediction method on the low-frequency synoptic weather map [J]. *Plateau Meteorology* 2008 27(S1) : 64-68
- [12] 李崇银. 大气低频振荡 [M]. 北京: 气象出版社 ,1991: 15-18
LI Chongyin. Atmospheric low-frequency oscillation [M]. Beijing: China Meteorological Press ,1991: 15-18
- [13] 李崇银 ,周亚萍. 热带大气中的准双周(10—20 天) 振荡 [J]. *大气科学* ,1995 ,19(4) : 435-444
LI Chongyin ,ZHOU Yaping. On quasi-two-week (10—20 day) oscillation in the tropical atmosphere [J]. *Scientia Atmospherica Sinica* ,1995 ,19(4) : 435-444

A study on extended range forecast method for summer precipitation in Shanghai

YANG Huijuan^{1 2} GUO Pinwen¹

1 School of Atmospheric Science ,Nanjing University of Information Science & Technology ,Nanjing 210044

2 Meteorological Center of Northwest Regional Air Traffic Management Bureau of CAAC ,Xi'an 710082

Abstract Based on NCEP $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ reanalysis data of wind and daily station precipitation data from 1998 to 2008 , a regular pattern is found that when there is a heavy rain in Shanghai ,10—20 day LFO zonal wind along 30° N in East China becomes stronger than normal and there is 10—20 day LFO southerly wind in Fujian and Zhejiang coastal area at the same time. So define the two areas as influencing areas. After doing lag correlation analysis with 10—20 day LFO wind in whole field and 10—20 day LFO zonal and meridional wind of the two influencing areas separately ,two key areas are found ,which are area 110° — 130° E 0° — 10° N and area 160° — 140° W 45° — 55° N respectively. It is found that 10—20 day LFO zonal wind propagates from area 110° — 130° E 0° — 10° N to the region around Shanghai and 10—20 day LFO meridional wind propagates from area 160° — 140° W 45° — 55° N to Shanghai. Therefore through LFO propagation ,10—20 day LFO wind of the two key areas would influence the weather of Shanghai area. Results also show that 10—20 day LFO zonal wind and 10—20 day LFO meridional wind of the two key areas have a good relationship with precipitation of Shanghai 15—20 days later. Prediction test shows that the 10—20 day LFO wind in the two key areas can be good indicators of extended range forecast of summer precipitation in Shanghai.

Key words extended range forecast; 10—20 day low-frequency oscillation; precipitation