

地球科学

基于时变关键区和时滞多变量的长江下游 10 ~ 30 d 低频降水实时预报

黄世成 杨秋明 李 熠

(江苏省气象科学研究所, 南京 210009)

摘要 利用 NCEP/NCAR 逐日 850 hPa 再分析风场资料和长江下游地区 25 站逐日降水资料, 采用 Butterworth 二阶 20 ~ 30 d 滤波, 通过变系数时滞回归和关键区自动筛选方法, 构建了长江下游地区汛期(5 ~ 8 月)的延伸期低频降水实时预报模型方案, 对 1979、2013 年的汛期降水分别做了回报和预报试验。结果表明, 基于多变量时滞回归方程(MLR)的实时预报方案, 能客观地反映影响长江下游夏季强降水的欧亚环流季节内振荡(ISO)传播特性的时间变化, 为长江下游地区强降水延伸期预报提供主要信号。提出的实时预测方案中, 关键区的选择随建模样本而变化, 体现了 ISO 变化的多样性和一定程度的不稳定性, 预测模型能及时适应大气内部动力过程和外部强迫引起的时滞相关结构的改变, 在一定程度上提高了延伸期预报的能力。

关键词 时滞回归模型 时变关键区 20 ~ 30 d 低频降水 实时预报

中图法分类号 P456.8; **文献标志码** A

天气预报按照时间尺度, 分为短时、中期和延伸期预报。目前国际上提出要发展和建立气象的从几小时的临近预报到 1 d 甚至 2 周的短中期预报、月、季、年以及十年、百年时间尺度的气候变化预测的“无缝隙预报系统”^[1]。10 ~ 30 d 的延伸期天气预报, 时间尺度处于 1 ~ 3 d 短期天气预报和 3 ~ 10 d 中期天气预报与短期气候预测(月和季节预报)之间, 是构建此完备性预报体系的要求。既是全球气象研究的重点和难点, 也是近 10 年来国际上天气和气候业务预报发展的一个重要方向, 具有突出的科学价值和应用价值。加强 15 ~ 30 d 延伸期预测能力, 是建立无缝隙预测业务的重点任务^[2]。

20 ~ 30 d 延伸期预报的科学基础主要包括大气低频振荡(ISO), 如热带大气低频振荡主要模态(MJO)、中纬度大气低频振荡模态等。这个时间尺度的延伸期预报同时受到初始条件和大气外部强迫因子的影响, 它既是初值问题, 也是边值问题, 亦即第一类和第二类可预报性问题^[3]。由于理论研究尚不完备, 致使延伸期的准确预报还存在诸多困难^[3-5]。

延伸期天气预报的基本方法主要有动力模式和基于大气低频信号演变的统计方法两类, 经验统计模式对 ISO 的预报能力要比动力模式好, 在动力模式进一步得到改进之前, 它无疑是一种研究 ISO 可预报性的更加有效的途径^[5-11]。对比研究表明, 基于动力模式的动力延伸预报方法对低频振荡(如 MJO)关键区及传播等的模拟还存在一定问题, 统计方法的预报时效多优于动力模式, MJO 与全球天气气候有重要联系且具有与延伸期尺度相匹配的准周期性, 是全球延伸期预报的重要信号。大气低频活动(ISO、MJO、低频风场)对 30 d 内的过程预测具有参考价值, 是延伸期预报的一个重要因子^[12-14]。

用低频方法对长江中下游延伸期降水预报的进一步研究表明, 低频经向风预报对未来 3 ~ 5 d 候长江中下游的预报结果有参考价值^[15]; 长江下游地区强降水与季节内振荡(ISO)强度之间存在着选择性影响关系, 即仅 20 ~ 30 d ISO 与长江下游强降水存在最显著的正相关^[16]。根据这个关系, 杨秋明^[17]通过构造多变量时滞回归模型(MLR)和主成分复数自回归模型(PC-CAR)混合预报模型(MLR/PC-CAR)框架, 进行夏季长江下游地区 20 ~ 30 d 低频降水预测模型的构建和预测试验研究, 结果表明基于时滞关系的线性预测方程(MLR)能很好地预测 2011 年夏季长江下游降水低频分量 10 ~ 30 d 延伸期的变化, 提高夏季长江下游地区未来 10 ~ 30 d 强降水过程预报的准确率。

2014 年 3 月 28 日收到

国家自然科学基金项目

(41175082)、江苏省气象局开放基金重点项目

(2011107)、沪通铁路长江大桥气象评估项目资助

第一作者简介: 黄世成(1974—), 硕士, 高级工程师, 研究方向: 应用气象和气候评估。E-mail: huang_sc@163.com。

注意到,对延伸期降水的预测研究目前已有的一些理论模型框架^[17-20],但对长江下游延伸期降水预报模型框架,仅限于20~30 d ISO 较强年份的多年资料的回报试验^[17],该框架下对资料处理和关键区域环流低频主分量构建等的实时预报方案尚未涉及。为构建长江下游地区未来30 d 低频降水分量的多变量时滞线性回归预测模型的实时预报方案,本文重点寻找20~30 d 时间尺度上影响长江下游降水低频分量的环流变化关键区作为因子,建立时滞回归方程,预报未来长江下游地区20~30 d 降水分量的变化,为20~30 d 长江下游地区强降水预报提供主要依据。

1 资料和处理

本文主要的基础资料包括 NCEP/NCAR 逐日850 hPa 再分析风场资料^[21]和长江下游地区25站逐日降水,时间是当年3月至进行实时预报当日。以25站逐日降水均值代表长江下游区域降水量。上述资料采用巴特沃斯(Butterworth)二阶滤波器进行20~30 d 带通滤波,得到全球850 hPa 低频经向风场资料阵 V 和同期长江下游地区低频降水资料 r 。

2 方法

2.1 变系数回归方程

线性回归模型一般形式如下

$$y_i = \beta_0 + x_{i1}\beta_1 + x_{i2}\beta_2 + \cdots + x_{ip}\beta_p + \varepsilon_i \quad (1)$$

式(1)中 $i = 1, 2, \dots, n$; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ 是常数,即认为解释变量对被解释变量的影响是保持不变的。对于时间序列数据,假如因变量在不同时段受自变量的影响程度是会发生变化的,那么应采用变系数模型,其基本形式如下^[22]:

$$y_i(v_i) = \beta_0 + x_{i1}\beta_1(v_i) + x_{i2}\beta_2(v_i) + \cdots + x_{ip}\beta_p(v_i) + \varepsilon_i \quad (2)$$

式(2)中的 v_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 表示数据点的观测特征,可以是数据的观测时间或者空间位置。变系数回归方程对应于一组回归方程。

由于变系数回归模型中的未知参数的个数随着样本容量的增加而成倍增加,因而不可能按照参数模型的估计方法予以拟合,目前运用比较多的方法是“局部加权最小二乘法”,一般来说,给定研究领域内任一可观测点 v_0 (v_0 可以不在已有的各观测点之列),已有的 n 组观测值 ($y_i; x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}$) ($i = 1, 2, \dots, n$) 均对估计 v_0 处的模型参数 $\beta_0(v_0)$, $\beta_1(v_0)$, $\beta_2(v_0)$, \dots , $\beta_p(v_0)$ 提供一定的信息。但是不同的观测值所起的作用有所不同,这种重要性通

过在 v_0 处指定一组权,记为 $\omega_1(v_0)$, $\omega_2(v_0)$, \dots , $\omega_n(v_0)$ 来表征。其中第 i 个权值 $\omega_i(v_0)$ 对应于第 i 组观测值 ($y_i; x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}$)。

根据加权最小二乘估计, v_0 点处的未知参数 $\beta_i(v_0)$ 可通过使

$$\sum_{i=1}^n \{ \omega_i(v_0) [y_i - \beta_0(v_0) - x_{i1}\beta_1(v_0) - x_{i2}\beta_2(v_0) - \cdots - x_{ip}\beta_p(v_0)]^2 \} \quad (3)$$

达到最小来予以估计。计算方法可参阅有关文献。

2.2 多变量时滞回归模型

基于上述变系数回归方程的原理,方程回归系数可以是时间、空间的函数。为了试图解决延伸期预报中,回归方程拟合效果好,预测效果差的问题,现利用回归系数为时滞 τ 的函数的多变量线性回归模型^[17] (multivariable lagged regressive model, MLR)。该模型中,时滞回归方程回归系数与时滞 τ 有关,是一组相互独立的回归方程。变系数回归方程中,假设数据点的观测特征 v_i 为观测时间,则时间滞后为 τ 的变系数方程变为

$$y_i(v_i) = \beta_0 + x_{i1}\beta_1(v_i - \tau) + x_{i2}\beta_2(v_i - \tau) + \cdots + x_{ip}\beta_p(v_i - \tau) + \varepsilon_i \quad (4)$$

式(4)可变为

$$y_i(v_i + \tau) = \beta_0 + x_{i1}\beta_1(v_i) + x_{i2}\beta_2(v_i) + \cdots + x_{ip}\beta_p(v_i) + \varepsilon_i \quad (5)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, n$, 根据式(5)即可由预报时刻 $\tau = 0$, 得到不同时刻 y 的预测值。

3 基于 MLR 的延伸期 10~30 d 实时预报模型

与文献[17]基于20~30 d 振荡的长江下游地区夏季低频降水延伸期的预测回报试验框架不同,本研究是一种实时的预测方法。资料初始时间选取为3月,但随着时间的推移,资料时间长度就越大,一方面网格资料的数量增大,增加计算量;另一方面则可能引起相关系数降低,阻碍预测关键区域的正确选择,从而影响预测的准确性。因此,实时预报方案首先要解决的是关键区和资料时间长度选择问题,其次才是实时资料的数据资料的融合问题。

3.1 预报关键区和资料长度的选择

夏季强降水发生频率与一定时间尺度的降水低频分量密切联系,长江下游地区强降水主要受20~30 d 降水低频分量变化的影响,影响这个分量的天气关键区的选择影响了预测的最终结果^[7]。关键区可能随时间有所变化(低频变化的不稳定性),每一次降水天气过程,其环流背景和天气系统都有差

异,因此实时预报中,每次过程应首先需重新确定相应资料长度内低频分量的影响关键区域。

使用回报试验的方法,获得最优的初始资料长度,并以这个资料长度作为预报的资料长度。统计分析时,利用3月15日以后至预报时刻的降水资料和 NCEP 850 hPa 全球经向风(设定初始资料长度为 50~80 d)做回报试验,全球范围(0~360°,85°S~85°N)以 30°×30°的网格范围,查找相关系数的集中区域(相关信号较强的区域)为预报的关键区。

本研究中,为了量化相关系数集中区域的强度,定义该网格空间范围内,统计网格点相关系数符号及算术平均值,正号数目多于负号数目的区域称为“正同号区”(反之为“负同号区”),同号区域内平均相关系数最大的网格区为“正关键区”或“负关键区”。根据此定义,逐一计算各网格区内相关系数同号最多、相关系数最大的网格作为本研究的关键区,并以此关键区内最大相关系数 $R_{i,j}(\max)$ 对应的格点(i,j)的 850 hPa 经向风作为预测因子。

确定关键区后,设定初始资料长度为3月至于报时刻 T(即全部资料),计算各累积时间长度 $t(t=30,31,32,\dots,T)$ 里经向风与区域降水的相关系数 R,以最大 R 值对应的累积时间长度为预报的资料长度。

3.2 预报方案业务流程

基于上述方法,提出长江下游强降水的延伸期降水实时预报方案,该方案的业务流程如图 1。

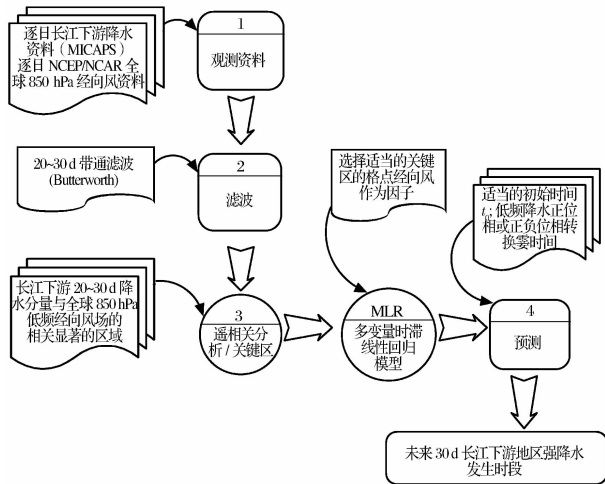


图 1 实时预报模型方案

Fig. 1 Real-time forecast model solution

对于 M 个观测样本,设 L 个主要关键区 850 hPa 低频经向风是 $v_j(i)$ ($i=1,2,\dots,M$); 其中 $j=1,2,\dots,L$; 长江下游地区低频降水 (r_{lej}) 与时间滞后为 τ 的主要关键区环流低频分量 v_j 满足线性方程(4):

$$r_{lej}(i) = a_0(\tau) + \sum_{j=1}^L a_j(\tau)v_j(i-\tau) \quad (5)$$

系数 $a_j(j=0,1,2,\dots,L)$ 由线性最小二乘估计,当 $\tau=1,2,\dots,30$ d 时,长江下游地区低频降水 (r_{lej}) 的 1,2, \dots ,30 d 变化由式(5)预测。式(5)反映了各个时间滞后 τ 主要关键区环流分量 v_j 和低频降水之间相互独立的回归关系;式(5)可变为

$$r_{lej}(i+\tau) = a_0(\tau) + \sum_{j=1}^L a_j(\tau)v_j(i) \quad (6)$$

由初始时间的 $i=i_0$ 的 $v_j(i_0)$,用式(2)可得到未来 30 d 低频降水预测值 $r_{lej}(i_0+\tau)$; $\tau=1,2,\dots,30$ d, 时滞相关结构[回归系数 $a_j(\tau)$ 随 τ 变化]体现了低频降水与主要关键区环流低频分量之间的相互作用;这种相互作用增强,低频降水也增强,其正位相或正负位相转换时产生强降水的概率明显增大。

3.3 预报试验及结果

延伸期预测试验表明,长江下游地区强降水主要受关键区 20~30 d 降水低频分量变化的影响,关键区随时间的变化,体现了大气低频变化的不稳定性。以 3~5 月预测 6 月的强降水过程时,可见预报关键区的个数和主要关键区分布明显有差异(图 2),图中方框分别为 1979 年和 2013 年的为相关系数平均值较大的前 5 个关键区分布。低频分量预报关键区的重新确定在本实时预报方案中尤显必要。

因此以自动关键区选择方法和资料长度自动判断方法,做长江下游 20~30 d 的强降水预测。以利用 3 月 15 日以后至 5 月 31 日构建 MLR,预报 2013 年 6 月 1~30 日(初始时间:2013 年 5 月 31 日)长江下游地区的强降水[图 3(a)],图中虚线为预测低频分量,实线为观测的低频分量,相关预报技巧(预报和观测低频分量之间的相关系数 r)达 0.89,最优的预报资料长度为 78 d(即以 3 月 15 日以后的资料)。图 3 中直方图表示长江下游地区逐日降水变化。预报在 6 月 23 日左右低频降水分量由负位相转位相,产生一次强降水过程。但是,若以 2013 年 6 月 30 日作为预报初始时间,则最优资料长度为 54 d(即仅需使用 5 月 6 日以后的观测资料),预报 5 日、25 日更有一次强降水过程,相关预报技巧达到 0.95[图 3(b)]。

试验表明,使用自动识别关键区的方法,回归方程的系数是时间的函数,也是空间的函数,相关预报技巧比一般延伸期强降水预报有明显提高。

为比较不同预测时间不同关键区对预测结果的影响,本文还给出了 2013 年初始预报时间为 7 月 31 日[图 3(c)]、1979 年初始预报时间分别 5 月 31 日、

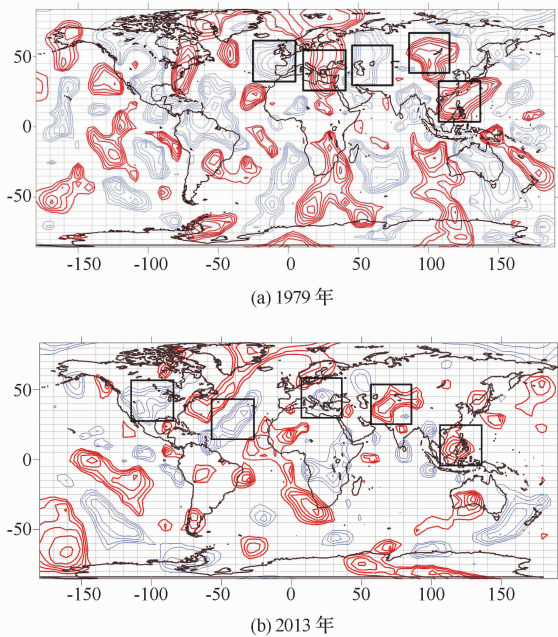


图2 3~5月相关系数(≥ 0.4)分布及主要关键区域(等值线颜色:红色为正相关,蓝色为负相关)

Fig. 2 Correlation coefficient (0.4 or higher) distribution and the key-areas from March to May (red contour for positive correlation, blue for negative correlation)

6月30日的回报试验结果(图4),可见对于不同的年份不同的月份,延伸期预报的初始资料长度和相关预报技巧均有差异,一般在正负位相的转换时间会有明显的降水发生,此结果对于长江下游区域的汛期(5~8月)降水延伸期预报有一定的指示意义。

4 结论和讨论

无缝隙天气-气候预测是全球气象研究的重点和难点,本工作主要研究长江下游地区强降水的延伸期预报问题,影响我国10~30 d低频强降水、强降/升温的物理过程和机理以及延伸预报方法尚需进一步作研究。本文的研究得到如下结论:

(1)基于多变量时滞回归方程(MLR)的实时预报方案,能客观地反映影响长江下游夏季强降水的欧亚环流季节内振荡(ISO)传播特性的时间变化,反映了前期环流ISO和后期降水ISO变化联系的演变的连续性,较好地预测了1979年和2013年夏季长江下游地区20~30 d降水ISO未来10~30 d延伸期变化,能为长江下游地区强降水延伸期预报提供主要信号。

(2)在实时预测方案中,关键区的选择随建模样本而变化,能动态地反映环流和降水ISO之间联系的变化,体现了ISO变化的多样性和一定程度的不稳定性,预测模型能及时适应大气内部动力过程

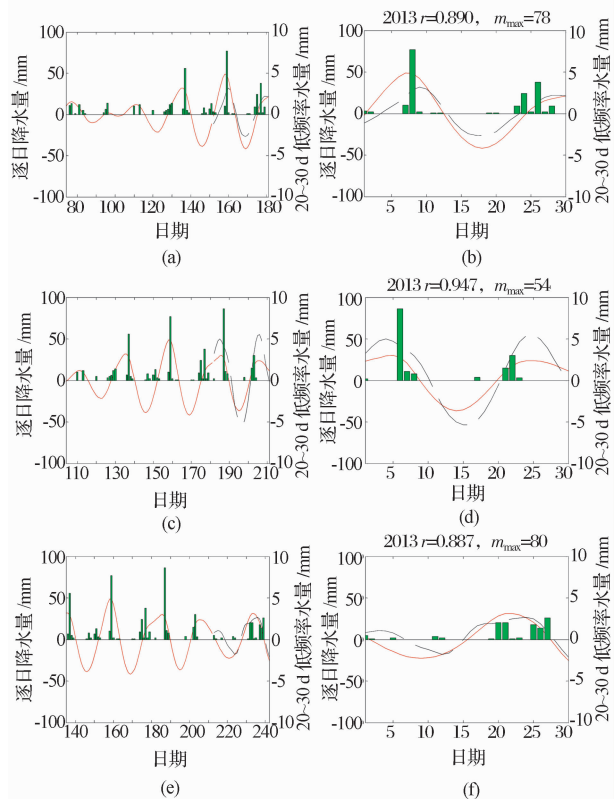


图3 2013年夏季长江下游地区20~30 d低频降水1~30 d预报(虚线)和实况(实线)(mm)(预报初始时间由上至下分别为5月31日、6月30日、7月31日)

Fig. 3 Prediction (dashed line) and observation (solid line) of the 20~30-day rainfall over the lower Yangtze region for the period 1~30 d in the flood season of 2013 (initial date: (a) 31 May, (b) 30 June, (c) 31 July. The bar represents the time series of the daily precipitation over the lower Yangtze region (unit: mm), r : correlation coefficients)

和外部强迫(如海温、土壤湿度等)引起的时滞相关结构的改变,立足于天气和气候之间的交叉部分,更好地体现天气和气候之间的连接。

(3)随着集合数值预报模式发展,到能有效预报未来30 d的逐日风场、位势高度场的20~30 d低频场时,本实时预报方案仍可以使用其30 d预报场为初始场,预报未来30~60 d的低频分量变化,将强降水天气过程的预报时效延长到60 d左右,表明了本预报方案具有显著的预报时效的可扩展性。

现提出的基于变系数的多变量时滞预报方案,在一定程度上提高了延伸期预报的能力。在分别研究制约这些不同的ISO型演变的因子和时间变化规律的基础上,利用大气低频振荡动力机制分析可传播信号的放大和对预报区域的影响,建立简化统计动力学模型,能做出高于随机判断和单纯依靠统计

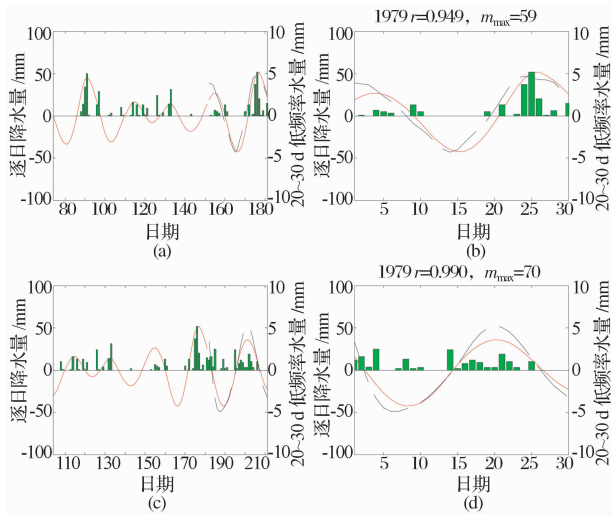


图4 1979年夏季长江下游地区20~30 d低频降水30 d 预报(虚线)和实况(实线)(预报初始时间由上至下分别为5月31日、6月30日。直方图表示长江下游地区逐日降水变化)

Fig 4. Same as Fig. 3, but for (a) 31 May, 1979, and (b) 30 June, 1979

计算的有效延伸期天气预报。

但由于影响可预报性的因子太复杂,本方案可能也只能在一定程度上解决回归方程拟合效果好,预测效果差的问题,更优秀的预报模型也正在研究之中。

参 考 文 献

- 1 世界气象组织(WMO). 世界气候研究计划 2005~2015 年战略框架:地球系统的协调观测和预报(COPES). 李建平,刘屹岷,周天军,等,译. 北京:气象出版社,2006;5—6
World Meteorological Organization (WMO). The world climate research programme strategic framework 2005~2015 coordinated observation and prediction of the earth system(COPES). Li Jianping, Liu Yimin, Zhou Tianjun, *et al.* eds. Beijing: Meteorological Press, 2006;5—6
- 2 肖子牛. 我国短期气候监测预测业务进展. 气象,2010;36(7):21—25
Xiao Ziniu. Advances of the short range climate monitoring and prediction in china. *Meteorological Monthly*, 2010;36(7):21—25
- 3 朱玉祥,俞小鼎,赵亮,等. 10~30 d 延伸期预报及其策略思考. 沙漠与绿洲气象,2013;7(4):38—44
Zhu Yuxiang, Yu Xiaoding, Zhao Liang, *et al.* Extended-range weather forecasts of 10~30 days and strategy thinking. *Bimonthly of Xinjiang Meteorology*, 2013;7(4):38—44
- 4 康志明,鲍媛媛,周宁芳. 我国中期和延伸期预报业务现状以及发展趋势. 气象科技进展,2013;(1):18—24
Kang Zhiming, Bao Yuanyuan, Zhou Ningfang. Current situation and development of medium-range and extended-range weather forecast in China. *Advances in Meteorological Science and Technology*, 2013;(1):18—24
- 5 贾小龙,陈丽娟,高辉,等. 我国短期气候预测技术进展. 应用

- 气象学报,2013;24(6):641—655
Jia Xiaolong, Chen Lijuan Gao Hui, *et al.* Advances of the short-range climate prediction in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2013;24(6):641—655
- 6 孙国武,信飞,孔春燕,等. 大气低频振荡与延伸期预报. 高原气象,2010;29(5):1142—1147
Sun Guowu, Xin Fei, Kong Chunyan, *et al.* Atmospheric low-frequency oscillation and extended range forecast. *Plateau Meteorology*, 2010;29(5):1142—1147
 - 7 孙国武,孔春燕,信飞,等. 天气关键区大气低频波延伸期预报方法. 高原气象,2011;30(3):594—599
Sun Guowu, Kong Chunyan, Xin Fei, *et al.* Method of extended range forecast of atmospheric low-frequency wave in key region. *Plateau Meteorology*, 2011;30(3):594—599
 - 8 丁一汇,梁萍. 基于MJO的延伸预报. 气象,2010;36(7):111—122
Ding Yihui, Liang Ping. Extended range forecast basing on MJO. *Meteorological Monthly*, 2010;36(7):111—122
 - 9 梁萍,何金海,穆海振. MJO在延伸期预报中的应用进展. 气象科技进展:英文版,2013;3(1):31—38
Liang Ping, He Jinhai, Mu Haizhen. Application of MJO in extended-range forecast. *Advances in Meteorological Science and Technology*, 2013;3(1):31—38
 - 10 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. 热带气象学报,2010;26(3):371—378
Zhu Hongrui, Jiang Zhihong, Zhang Qin, *et al.* MJO index forecasting based on SSA-AR model. *Journal of Tropical Meteorology*, 2010;26(3):371—378
 - 11 Jiang X, Waliser D E, Wheeler M C, *et al.* Assessing the skill of an all-season statistical forecast model for the Madden-Julian Oscillation. *Monthly Weather Review*, 2008;136(6):1940—1956
 - 12 Vitart F, Molteni F. Simulation of the Madden-Julian oscillation and its teleconnections in the ECMWF forecast system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2010;136:842—855
 - 13 Maharaj E A, Wheeler M C. Forecasting an index of the Madden-Julian oscillation. *International Journal of Climatology*, 2005;25:1611—1618
 - 14 Wheeler M C, Hendon H H. An all-season real-time multivariate MJO index: development of an index for monitoring and prediction. *Monthly Weather Review*, 2004;132(8):1917—1932
 - 15 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. 高原气象,2008;27(增刊):69—75
Xin Fei, Sun Guowu, Chen Bomim. An autoregressive statistical model for extended range prediction. *Plateau Meteorology*, 2008;27(s):69—75
 - 16 杨秋明,李熠,宋娟,等. 2002年夏季东亚地区环流20~30 d 主振荡型延伸期预报研究. 气象学报,2012;70(5):1045—1054
Yang Qiuming, Li Yi, Song Juan, *et al.* Study of the extended range forecast of the principal 20~30 day oscillation pattern of the circulation over East Asia in the summer of 2002. *Acta Meteorologica Sinica*, 2012;70(5):1045—1054
 - 17 杨秋明. 基于20~30 d 振荡的长江下游地区夏季低频降水延伸期预报方法研究. 气象学报,2014;72, DOI: 10.11676/qxxb2014.028

- Yang Qiuming. Study on the method of the extended-range forecast for the low frequency rainfall over the lower reaches of Yangtze river valley in summer based on the 20 ~ 30 day oscillation. *Acta Meteorologica Sinica*, 2014;72, DOI:10.11676/qxxb2014.028
- 18 陈官军,魏凤英. 基于低频振荡特征的夏季江淮持续性降水延伸期预报方法. *大气科学*,2012;36(3):633—644
Chen Guanjun, Wei Fengying. An extended-range forecast method for the persistent heavy rainfall over the Yangtze - Huaihe river valley in summer based on the low-frequency oscillation characteristics. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2012; 36(3):633—644
- 19 郑志海,黄建平,封国林,等. 延伸期可预报分量的预报方案和策略. *中国科学:地球科学*,2013;43(4):594—605
Zheng Zhihai, Huang Jianping, Feng Guolin, *et al.* Forecast scheme and strategy for extended-range predictable components. *Science China: Earth Sciences*, 2013; 43(4): 594—605
- 20 谷德军,纪忠萍,林爱兰,等. 广州逐日降水振荡及其延伸期预报的简谐波模型. *热带气象学报*,2013;29(6):899—906
Gu Dejun, Ji Zhongpin, Lin Ailan, *et al.* The oscillation of Guangzhou daily precipitation and its simple harmonic wave model for extended-range forecasts. *Journal of Tropical Meteorology*, 2013; 29(6):899—906
- 21 Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, *et al.* The NCEP/NCAR 40—year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1996;77: 437—471
- 22 Hastie T J, Tibshirani R J. Varying-coefficient models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 1993; 55:757—796

10 ~ 30 d Extended-range Low Frequency Rainfall Real-time Forecast for Lower Yangtze Region Based on Time-varying Key Area and Multivariable Lagged Regressive Model

HUANG Shi-cheng, YANG Qiu-ming, LI Yi

(Jiangsu Institute of meteorological Sciences, Nanjing 210009, P. R. China)

[Abstract] By Using the NCEP/NCAR reanalysis daily 850 hPa wind data and daily precipitation data of 25 weather stations over the lower Yangtze region, based on the 20 ~ 30 d second-order Butterworth filter and with the varying-coefficient time lagged regression models and rainfall key-area auto filter, an extended-range real-time forecast model solution was established for low frequency rainfall of Yangtze River downstream in flood season from May to August, and then it was used in hindcast and forecast experiment in the flood season of 1979 and 2013. The results show that the real-time forecasting solutions based on multivariable lagged regressive model (MLR), can objectively reflect the time-varying propagation characteristics of the intra-seasonal oscillation (ISO) for Eurasian circulation that affect the severe rainfall over lower Yangtze region during summer, and offer a main signal for the extended-range forecast for strong precipitation over the area. The rainfall key areas change with the modeled samples in the proposed real-time prediction scheme, and have reflected the diversity and a certain degree of instability of ISO changes. The prediction model can promptly adapt to the change of relevant time-lag structure caused by the internal dynamics of atmospheric processes and other external forcing, and have improve the ability of extended-range forecast to a certain extent.

[Key words] time-lagged regression models time-varying key-area 20 ~ 30 d low frequency rainfall
real-time forecast