

陈官军, 魏凤英. 2012. 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 [J]. 大气科学, 36 (3): 633 - 644, doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.2011.11111. Chen Guanjun, Wei Fengying. 2012. 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 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 36 (3): 633 - 644.

## 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

陈官军<sup>1,2,3</sup> 魏凤英<sup>1</sup>

1 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

3 中国人民解放军 96164 部队 58 分队, 浙江 321021

**摘 要** 本文利用 1981~2008 年我国南方地区 200 站逐日降水量、NCEP 再分析资料和 NCEP 气候预报系统 (CFS) 的模式回算数据, 针对降水低频信号, 分析了江淮地区夏季降水的延伸期可预报性, 并选取对江淮持续性强降水有显著影响的东亚环流指数作为预报因子, 以降水 20~50 天低频分量作为预报量, 进行了针对江淮地区夏季持续性强降水过程的延伸期预报试验。结果表明, 江淮地区夏季降水具有明显的 20~50 天周期的低频振荡特征。降水的 20~50 天低频振荡, 尤其是峰谷值位相的变化与实际降水集中期和中断期的交替有较好的关系, 研究 20~50 天降水低频分量的延伸预报, 对于江淮地区夏季持续性强降水过程的延伸预报有一定的指示意义。本文尝试提出一种基于大气环流低频信号和数值模式预报产品的动力与统计相结合的预报方法, 以期对江淮地区夏季持续性降水过程的延伸期预报提供参考。

**关键词** 持续性强降水过程 延伸预报 低频振荡 气候预报系统 预报方法

**文章编号** 1006-9895 (2012) 03-0633-12

**中图分类号** P426

**文献标识码** A

**doi:** 10.3878/j.issn.1006-9895.2011.11111

## 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

CHEN Guanjun<sup>1, 2, 3</sup> and WEI Fengying<sup>1</sup>

1 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Chinese People's Liberation Army Unit 96164, Zhejiang 321021

**Abstract** Based on the daily precipitation datasets at 200 stations in the south of China and the corresponding NCEP/NCAR daily reanalysis data from 1981 to 2008, Analysis By Synthesis (ABS) and Butterworth band-pass fil-

**收稿日期** 2011-06-09, 2011-12-18 收修定稿

**资助项目** 国家科技支撑计划项目 2009BAC51B04, 灾害天气国家重点实验室自主研究课题 2009LASWZF01, 中国气象科学研究院基本科研业务费项目 2010Z001

**作者简介** 陈官军, 男, 1984 年出生, 博士研究生, 主要从事异常天气气候诊断与预报研究。E-mail: aiolya\_gj@163.com

**通讯作者** 魏凤英, E-mail: weify@cma.gov.cn

ter are adopted to diagnose the Low-Frequency Oscillation (LFO) characteristics of the summer rainfall over the Yangtze - Huaihe River Valley (YHRV). And then an experiment for the Extended-Range Forecast (ERF) of persistent heavy rainfall over YHRV is made. The major conclusions are as follows: summer precipitation over YHRV has an obvious characteristic of LFO with 20 - 50 days period, and for climate average, the 20 - 50-day low-frequency components account for nearly 20%, and there are significant annual variations for the intensity of LFO signal. There is a good relationship between the 20 - 50-day components and actual precipitation, especially the phase changes in peak values correspond to alternation of precipitation concentrated period and break period. Therefore the 20 - 50-day low-frequency components of precipitation which is taken as the predictand for the ERF experiment and the persistent heavy rainfall process over YHRV are closely linked. Meanwhile based on the links between LFO of large scale circulation in East Asia and summer persistent heavy rainfall over YHRV, 10 indexes of circulation critical systems are built, which can correctly reflect the intensity and tendency of the 20 - 50-day low-frequency components of precipitation, and are used as predictors for the ERF experiment. Combining with the NCEP Climate Forecast System (NCEP/CFS) output the forecast model based on the LFO signal has some reference value for ERF of persistent heavy rainfall over YHRV.

**Key words** persistent heavy rain, extended-range forecast, low-frequency oscillation, climate forecast system, forecast method

## 1 引言

夏季风爆发和盛行的时期,是我国暴雨的季节,其中最显著的降雨是江淮地区的梅雨。梅雨期降雨,尤其是造成洪涝灾害的持续性强降水过程的研究和预报,一直都是我国气象工作者最关心的问题之一。大范围降雨天气系统的准静止性和再生性是持续性强降水产生的重要条件,而这种有利的降水形势主要是持续性的大尺度环流异常造成的。研究表明(陶诗言等,1980;丁一汇,2005),我国暴雨的发生主要受三个大尺度环流因子的影响:第一,东亚夏季风的爆发和撤退决定了我国东部雨季的开始和结束,而降水的强度和变化与夏季风脉动密切相关;第二,西太平洋副热带高压和南亚高压的位置决定了主雨带的位置;第三,东亚中高纬度大气环流的异常是决定暴雨是否有利的关键因素。因此,把握上述大尺度环流系统的未来变化趋势是做好持续性强降水预报的关键。进一步,可以理解为这些具有准定常性质的大气流型出现,或者某些异常环流的信号明显且持续时,较长时间尺度的天气过程往往具有较好的可预报性,因为这些强的异常环流一般会引发后期的极端持续性天气气候异常(金荣花等,2010)。

当前,数值天气预报能够比较准确地预报未来5~10天的天气形势,但是随着国民经济发展和科学技术的进步,对未来天气的变化,特别是对未来

10~30天的天气变化的预报需求愈来愈高。但由于前兆信号监测条件和科学基础的制约,10~30天延伸期天气过程物理机制中还有许多问题没有解决,延伸数值预报模式尚未达到业务运行的要求(杨秋明,2008)。因此,延伸期预报(10~30天)的方法和机理成为国内外研究的热点问题。我国目前处于延伸预报的探索研究阶段,就预报方法而言,主要有动力学方法和统计学方法。对于动力学方法来说,目前的研究主要集中在对动力延伸预报的可预报性研究上,如模式延伸预报效果的评估、误差来源和误差增长机制以及如何减小模式预报误差等等(陈伯民等,2003;郑志海等,2010),其中对于数值模式对大气季节内振荡特征模拟效果的研究与延伸预报有更加密切的关系(Boer,1993;李崇银等,2006;蒋国荣等,2007;倪文琪和蒋国荣,2010),但是延伸期天气过程既有初始场的影响,又受到外强迫的制约,单纯地采用天气或者气候数值模式来完成延伸预报还存在很大困难。针对延伸期统计预报方法的研究主要是围绕大气季节内振荡特征来开展的(Jones et al.,2000,2003;Xavier and Goswami,2007;信飞等,2008;孙国武等,2008)。可预报性研究证实(Van den Dool and Saha,1990;李崇银,2000),不同空间尺度的大气运动的可预报的时间长度是存在差异的,导致持续性强降水过程的原因是大尺度系统异常的长时间稳定和维持。如阻塞高压、副热带高压、南亚高压和越

赤道低空急流等系统异常的稳定和维持, 对于持续性降水过程有重要影响(陈于湘, 1980; 陈菊英等, 2006; 杨秋明, 2009; 赵亮和丁一汇, 2009)。对于我国南方夏季强降水过程的研究表明, 出现持续性强降水过程不仅与大气环流异常稳定有关, 还与大气季节内振荡相联系(何金海, 1988; 缪锦海和刘家铭, 1991; 琚建华等, 2005; 张瑛等, 2008)。一些研究结果表明(Waliser et al., 1999; Lo and Hendon, 2000; Hendon et al., 2000), 基于季节内振荡的降水潜在可预报性时效为 15 天, 环流场可达 30 天。国外一些气象部门将季节内振荡指数作为实时监测与诊断的工具, 并在此基础上采用统计模型进行热带季节内振荡的实时预测(Wheeler and Hendon, 2004; Saha et al., 2006)。我国近几年开展了延伸期预报的探索(Zhang et al., 2009; 梁萍, 2010), 主要根据大气低频振荡的特性预报未来降水过程, 具有一定的预报效果(丁一汇和梁萍, 2010), 但目前还缺少可以用于业务的延伸期客观预报方法。

前期作者曾对美国国家环境预测中心气候预报系统(NCPE Climate Forecast System, NCEP/CFS)对东亚大气环流场的预报技巧进行了评估(陈官军等, 2010), 发现该模式准双周(10~20天)和30~50天低频振荡分量的延伸期的预报技巧高于对整体环流的预报技巧, 尤其是对持续性强降水产生直接影响的关键系统演变趋势的预报技巧具有较强的参考价值。这就提示我们, 可以利用数值模式对未来环流场的预报产品, 以大气低频振荡特征为物理基础, 以动力与统计学相结合为手段, 建立延伸期降水的客观预报模型。本文在分析江淮地区夏季持续性强降水过程延伸期可预报性的基础上, 利用降水20~50天低频分量与持续性强降水过程的对应关系, 结合NCEP/CFS模式延伸期预报产品, 建立针对江淮地区夏季持续性强降水过程的客观预报模型, 同时进行了试预报和试验结果检验。

## 2 资料

本文使用的资料有:

(1) 国家气象信息中心提供的1981~2008年我国南方地区(105°E以东, 34°N以南)200站逐日降水量。

(2) 美国国家环境预测中心(NCEP)提供的1949~2008年2.5°×2.5°网格点逐日再分析II资料[NCEP/DOE Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP) II Reanalysis (R2) data], 作为环流场观测数据。

(3) NCEP/CFS (NCPE Climate Forecast System)所提供的1981~2008年的逐日历史回报试验结果作为数值预报资料, 水平网格分辨率为2.5°×2.5°, 预报时效从24小时到6480小时, 间隔12小时。

## 3 江淮地区夏季持续性降水过程的可预报性

与副热带季风密切相关的梅雨现象对长江中下游—淮河流域的夏季旱涝有着重要的影响。从以往的研究发现, 梅雨降水的强度和变化与夏季风系统的季节内活动密切相关, 那么, 在这种季节内脉动的影响下, 江淮地区梅雨降水呈现出显著的低频振荡特征(陆尔和丁一汇, 1996; 李桂龙和李崇银, 1999; Yang and Li, 2003; 毛江玉和吴国雄, 2005; 夏芸等, 2008)。我们运用功率谱方法分析了1981~2008年江淮地区4~9月逐日降水序列的频谱特征。如图1, 将相应周期的谱密度除以 $\alpha=0.05$ 的红噪音标准谱, 绘制成28年江淮地区夏季降水的谱比值分布, 当谱比值大于1.0代表该周期超过0.05显著性水平, 比值越大表明周期越显著。从图1可以看出, 江淮地区4~9月逐日降水变化通过显著性检验的周期为20~50天、10~20天和6~7天。其中20~50天振荡在整个28年中均显著, 10~20天周期振荡除了在1991~1994年和2000~2001年期间不明显外, 在其他年份都显著存在。降水量7天左右的周期变化反映了天气尺度过程的影响, 而将10天以上90天以内的周期变化视为低频变化, 因此, 20世纪80年代至今, 4~9月江淮地区逐日降水量具有显著的周期为20~50天的低频振荡特征。

进一步利用Butterworth带通滤波方法提取1981~2008年平均的江淮地区4~9月逐日降水的20~50天低频分量, 如图2所示, 20~50天低频分量分别在4月上旬至5月上旬、6月中旬至7月上旬和8月中旬至9月上旬处于正位相, 与实际降水的三个主要降水时间段分布一致。进一步计算

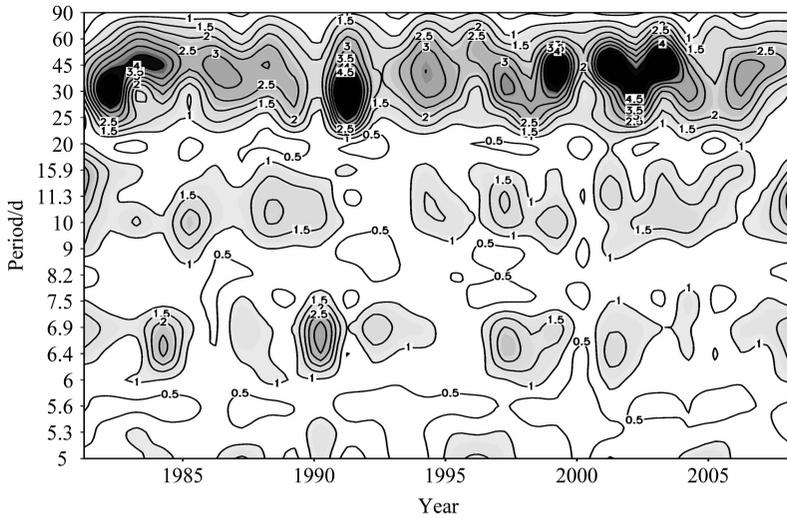


图1 1981~2008年江淮地区4~9月逐日降水量功率谱比值分布

Fig. 1 Power spectrum ratio distribution of daily rainfall during Apr to Sep from 1981 to 2008 over the Yangtze - Huaihe River Valley (YHRV)

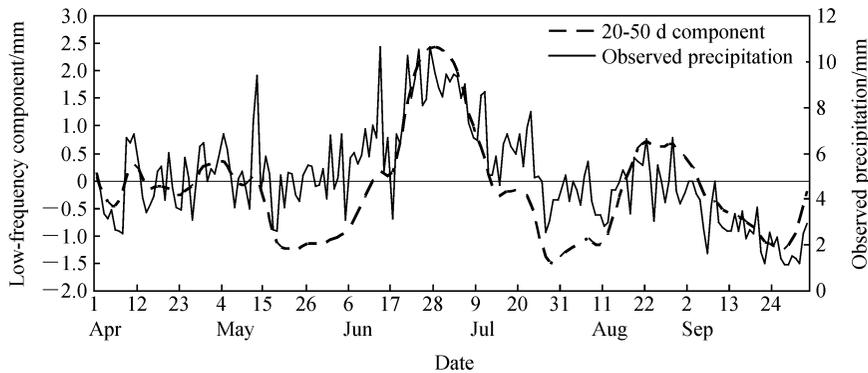


图2 江淮地区4~9月多年平均实际日降水量(实线)和20~50天低频分量(虚线)

Fig. 2 The 1981 - 2008 average daily rainfall over the YHRV (solid line) and the 20 - 50-day low-frequency component (dashed line)

20~50天低频分量的方差,并除以实际降水量的方差得到相对方差,即低频分量对实际降水量的方差贡献,发现在整个4~9月20~50天低频分量对实际降水的方差贡献率为20.8%,而在梅雨发展最旺盛的6月中旬到7月上旬,20~50天低频分量的方差贡献增加到34%。因此,在气候平均状况下,20~50天低频变化,尤其是其正负位相变化能够反映持续性的强、弱降水过程的交替演变。

那么,上述变化特征与实际的持续性强降水过程有怎样的关系?下面分析各年的情况,同样以Butterworth带通滤波方法提取1981~2008年各年的江淮地区4~9月逐日降水的20~50天低频分量,并计算其方差贡献。分析发现,20~50天低频分量对于实际降水的贡献有明显的年际差异,上下

限分别为6%和28.5%,平均近15%。这种变化还体现在,江淮地区强降水出现频数相对较大的年份,如1983年、1991年、1996年、1998年、1999年和2003年,20~50天低频分量的方差贡献大于平均值。进一步计算4~9月江淮地区强降水频数(日降水量大于20mm的日数)与低频分量方差贡献率的相关系数后发现,20~50天低频分量与江淮地区4~9月强降水频数有显著的正相关(相关系数为0.66,超过0.001的显著性水平)。同时,如图3所示,以1983年、1991年、1998年、2003年为例,在出现持续性强降水过程的年份,20~50天的准周期振荡与实际强降水过程的演变有一定关系,特别是其峰谷值位相与降水集中期和中断期非常吻合。因此,就江淮地区夏季降水而言,20~50

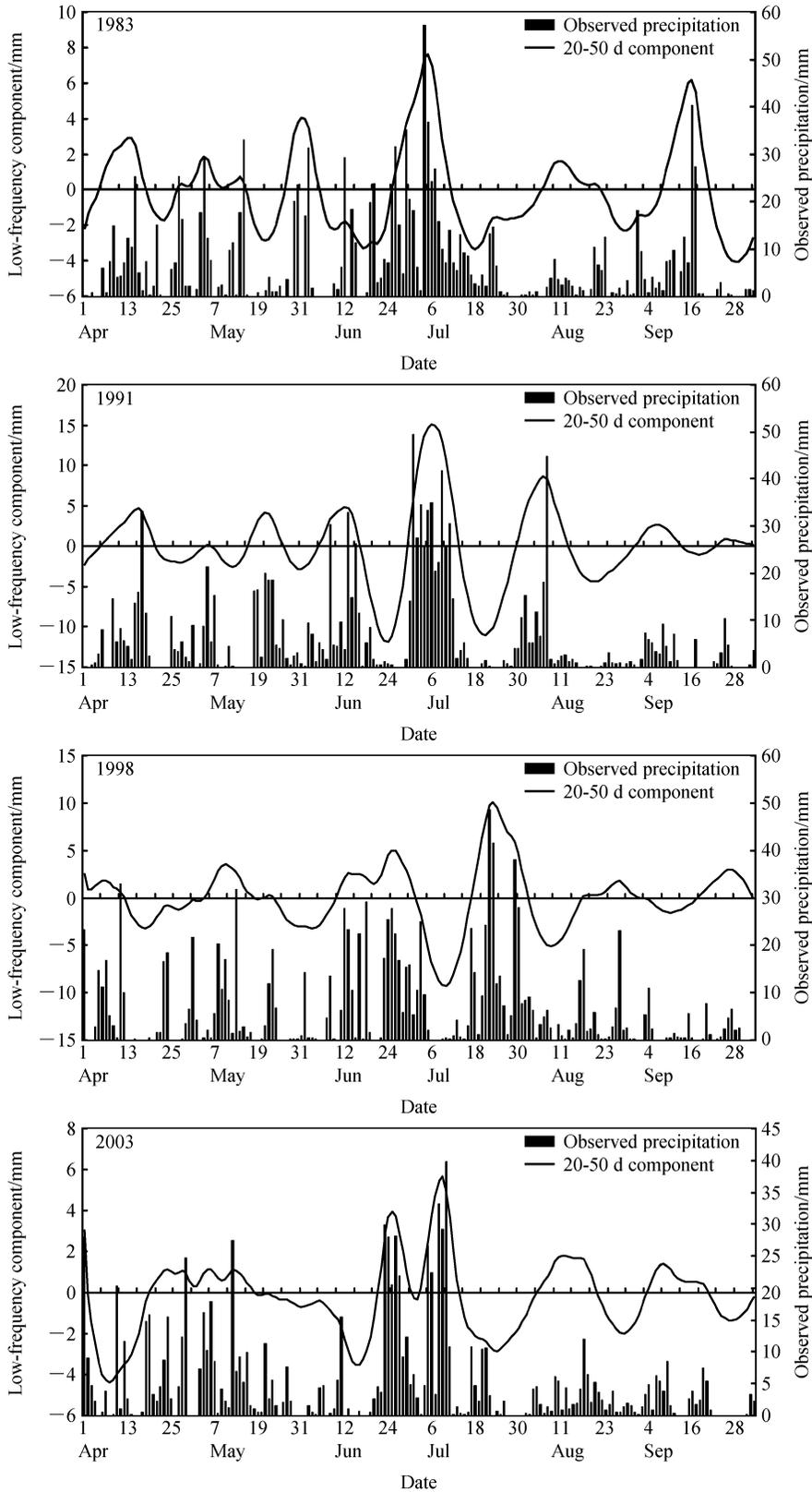


图 3 1983 年、1991 年、1998 年和 2003 年 4~9 月份逐日降水量 (柱状) 及其 20~50 天低频分量 (实线) 演变

Fig. 3 The evolution of original precipitation and the 20-50-day component during Apr to Sep in 1983, 1991, 1998, and 2003

天低频振荡能够反映持续性强降水过程的发生、发展和终结,江淮地区夏季降水 20~50 天低频分量的延伸预报,对于实际持续性强降水过程的延伸预报具有一定的指示意义。

## 4 预报因子的选取及其对实际降水的拟合

副热带高压、阻塞高压、青藏高压和西南季风气流等大尺度天气系统的低频振荡过程及低频波列的传播与直接影响江淮地区降水过程的低频环流系统演变有密切联系。同时,如果希望采用数值预报的产品来结合统计规律建立延伸期预报模型,则需要同时兼顾数值模式的预报精度和统计模型的显著性。NCEP/CFS 对于夏季东亚地区大尺度环流系统的低频变化过程的延伸期预报有很强的利用价值,因此,结合前人的研究(陶诗言等,2001),将与江淮地区低频降水过程相关的大尺度天气系统客观、定量化,就能够为江淮地区延伸期降水客观预报提供合适的预报因子。

### 4.1 东亚关键环流系统指数的定义

传统的数值模式产品释用中预报因子处理方法,通常是数值预报产品的格点预报值直接内插到站点上作为站点的预报因子,再与站点的预报对象建立预报方程,而位势高度场、风场等常规要素场往往可以反映大气运动中天气系统的变化情况,但必须以“形势场”的形式出现时才能体现天气系统和环流背景的特征。持续性强降水总是与特定的天气系统异常相联系,如将模式预报值直接插值到预报站点上,则无法体现天气系统和环流背景的特征。我们尝试将影响持续性降水的东亚大尺度关键环流系统指数作为预报因子引入预报模型,改善 MOS 法或 PPM 法等传统释用方法在天气和动力学意义上的缺陷。参考其他人的工作(赵振国,1999;刘平等,2000;王会军和薛峰,2003;王瀛等,2007;彭丽霞等,2009),定义 10 个环流指数如下:

(1) 西太平洋副热带高压强度指数(Subtropical High Intensity,简称 SubHI): $10^{\circ}\text{N}$  以北, $110^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$  范围,大于 5880 gpm 的编码之和(5880=1, 5890=2, 5900=3...);

(2) 西太平洋副热带高压脊线位置(Subtropical High Ridge,简称 SubHR): $110^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$  范

围内,以赤道 500 hPa 位势高度值为基准,求北半球各个纬度与它的位势高度偏差,位势高度偏差最大值格点的纬度平均值;

(3) 西太平洋副热带高压西伸脊点(Western end of the Subtropical High ridge,简称 SubHW): $90^{\circ}\text{E}\sim 179^{\circ}\text{E}$  范围内 5880 gpm 等值线最西位置所在的经度;

(4) 鄂霍次克海阻塞高压指数(Okhotsk Block High,简称 Okhotsk BH): $(60^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}, 125^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E})$  范围内 500 hPa 位势高度场的范围平均值;

(5) 贝加尔湖阻塞高压指数(Baikal Lake Block High,简称 BKL BH): $(45^{\circ}\text{N}\sim 55^{\circ}\text{N}, 80^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E})$  范围内 500 hPa 位势高度场的范围平均值;

(6) 乌拉尔山阻塞高压指数(Ural Block High,简称 Ural BH): $(55^{\circ}\text{N}\sim 65^{\circ}\text{N}, 40^{\circ}\text{E}\sim 70^{\circ}\text{E})$  范围内 500 hPa 位势高度场的范围平均值;

(7) 极涡强度指数(Polar Vortex,简称 PLV): $60^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$  范围内逐日 500 hPa 位势高度的最低值;

(8) 索马里越赤道急流指数(Somali Jet,简称 SMJ): $(15^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}, 37.5^{\circ}\text{E}\sim 62.5^{\circ}\text{E})$  纬度范围 850 hPa 经向风平均风速;

(9) 南亚高压东伸指数(Eastern end of the South Asia High,简称 SAHE):200 hPa 高度场上  $10^{\circ}\text{N}$  以北 12500 gpm 等值线最东端点所在位置的经度;

(10) 南亚高压风场脊线位置(South Asia High Ridge,简称 SAHR): $30^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{E}$  范围内 200 hPa 水平风场上纬向风为零( $u=0$ )的点的纬度平均值。

### 4.2 关键系统的低频振荡特征及其与江淮低频降水的关系

同分析江淮地区 4~9 月降水的方法类似,对消除季节变化的 10 个环流指数 4~9 月逐日值做功率谱分析。表 1 所示为各周期对应谱比值的多年平均。显而易见,最主要的显著周期在 20~50 天范围内,即上述将作为预报因子的环流指数与江淮地区降水同样具有显著的 20~50 天低频振荡特征。

为了进一步明确所选取的预报因子能够在多大程度上反映江淮地区低频降水的强度和变化,首先参考鲍名(2007)对江淮地区区域性暴雨的定义,并且,鉴于 20~50 天低频降水分量对实际降水的

表 1 1981~2008 年平均的 4~9 月份逐日环流指数功率谱比值分布

Table 1 The power spectrum ratio distribution of 10 indexes for 1981 - 2008 daily circulation

周期/d	Okhotsk BH	BKL BH	Ural BH	PLV	SubHI	SubHR	SubHW	SMJ	SAHE	SAHR
90	0.51	0.56	0.6	0.53	0.55	0.5	0.46	0.51	0.65	0.53
45	<b>1.21</b>	<b>1.14</b>	<b>1.18</b>	<b>1.06</b>	<b>1.2</b>	<b>1.14</b>	<b>1.05</b>	<b>1.12</b>	<b>1.19</b>	<b>1.27</b>
30	<b>2.01</b>	<b>1.8</b>	<b>1.81</b>	<b>1.69</b>	<b>1.8</b>	<b>2</b>	<b>1.88</b>	<b>1.8</b>	<b>1.7</b>	<b>2.05</b>
25	<b>1.91</b>	<b>1.89</b>	<b>1.9</b>	<b>2</b>	<b>1.8</b>	<b>1.96</b>	<b>1.86</b>	<b>1.81</b>	<b>1.64</b>	<b>2</b>
19.5	<b>1.36</b>	<b>1.49</b>	<b>1.41</b>	<b>1.7</b>	<b>1.58</b>	<b>1.44</b>	<b>1.35</b>	<b>1.43</b>	<b>1.19</b>	<b>1.7</b>
16	0.77	0.74	0.7	0.86	0.8	0.79	0.85	0.71	0.71	0.82
13	0.5	0.39	0.41	0.48	0.42	0.41	0.56	0.37	0.41	0.46
11.5	0.54	0.54	0.48	0.66	0.61	0.56	0.63	0.59	0.48	0.5
10	0.97	0.98	0.86	<b>1.11</b>	<b>1.1</b>	<b>0.87</b>	<b>1.01</b>	<b>1.02</b>	0.92	<b>1.1</b>
9	<b>1.17</b>	<b>1.21</b>	0.97	<b>1.1</b>	<b>1.19</b>	<b>1.09</b>	<b>1.16</b>	<b>1.2</b>	<b>1.09</b>	<b>1.02</b>
8.18	<b>1</b>	0.94	0.82	0.88	1.01	0.92	0.93	<b>1.09</b>	0.95	0.93
7.5	0.54	0.55	0.5	0.51	0.54	0.49	0.51	0.56	0.49	0.56
6.92	0.4	0.35	0.37	0.34	0.34	0.3	0.34	0.31	0.34	0.39
6.43	0.55	0.51	0.47	0.47	0.48	0.45	0.48	0.53	0.48	0.48
6	<b>1.01</b>	0.83	0.8	0.88	0.87	0.79	0.86	0.88	<b>1.00</b>	0.85
5.62	0.94	0.87	0.85	<b>1.02</b>	<b>1.04</b>	0.94	<b>1.05</b>	0.98	<b>1.12</b>	0.97
5.29	0.79	0.74	0.69	0.88	0.88	0.79	0.94	0.87	0.9	0.85
5	0.5	0.49	0.42	0.52	0.51	0.47	0.58	0.5	0.48	0.47

注: 黑体表示该指数对应周期的振荡特征超过 0.05 的显著性水平。

多年平均贡献为 15%，将连续三日以上 20~50 天低频降水量大于 5 mm，过程总低频降水量大于 30 mm 的情况作为挑选持续性低频降水过程的标准，结果共获得江淮地区持续性低频降水过程 12 次，它们分布在 10 个个例年，分别是：1981 年 6 月 26~30 日、1982 年 6 月 19 日~6 月 21 日、1983 年 6 月 27 日~7 月 8 日、1984 年 6 月 8~14 日、1991 年 6 月 30 日~7 月 10 日、1995 年 6 月 20~25 日、1996 年 6 月 30 日~7 月 3 日和 7 月 13~17 日、1999 年 6 月 22 日~7 月 1 日、2002 年 7 月 21~25 日、2003 年 6 月 24~28 日和 7 月 5~10 日。然后，利用上述环流指数的 20~50 天低频分量对这 10 个个例年份 6~8 月降水 20~50 天低频分量做回归分析。结果如表 2 所示，回归方程的复相关系数全部通过 0.01 显著性水平，除 1991 年和 1996 年外，绝对误差均小于 2 mm，10 年平均绝对误差 0.94 mm，同时，从 10 个个例年的 6~8 月逐日降水时间序列的拟合曲线（图略）来看，通过综合 10 个低频环流因子的低频变化特征，能够较好地把握江淮地区 6~8 月出现的持续性强降水过程。

表 2 10 个个例年 6~8 月 20~50 天低频降水量与环流指数的回归分析结果

Table 2 Regression analysis for the 20 - 50-day components of precipitation and the 10 indexes

	平均绝对误差 EMR/mm	回归方程复相关系数 RV
1981 年	0.85	0.72
1982 年	1.34	0.79
1983 年	0.63	0.91
1984 年	0.56	0.91
1991 年	1.62	0.91
1995 年	0.77	0.83
1996 年	0.69	0.91
1999 年	1.47	0.73
2002 年	0.75	0.94
2003 年	0.76	0.81
平均	0.94	0.85

## 5 江淮地区夏季降水延伸期回报试验

基于第 3、4 节的分析，得到关于江淮地区夏季持续性强降水过程延伸期预报的几点重要信息：

(1) 江淮地区夏季降水存在显著的周期为 20~50 天的低频振荡特征，并且 20~50 天低频分量与

实际降强降水过程的演变有一定的联系,尤其是峰谷值位相的变化与持续性强降水过程的起止和发展有很好的对应关系,20~50天降水低频分量的延伸预报,能够为江淮地区持续性强降水过程的延伸预报提供参考。

(2) 通过综合 10 个环流关键系统指数的 20~50 天低频变化特征,能够较好地把握江淮地区 6~8 月出现的持续性强降水过程。

(3) 在延伸期时间尺度内,NCEP/CFS 模式能够较好地模拟关键环流系统的低频振荡特征,并且通过提取 20~50 天低频分量能够有效地提高该模式对东亚大气环流的延伸期预报效果。

因此,我们尝试结合 NCEP/CFS 提供的大气环流预报产品与江淮地区夏季降水及大气环流低频振荡特征,采用多元线性回归方法建立预报模型,并针对前述 10 个个例年的 6~8 月降水开展延伸预报试验及效果检验。

### 5.1 预报方法简述

**预报因子:** 将能够反映大尺度环流背景和江淮持续性强降水低频特征的 10 个东亚环流关键系统指数作为预报因子引入预报模型。

**预报量:** 模型的直接输出预报量是江淮地区逐日降水的 20~50 天低频分量,然后按照一定的统计特征来确定持续性强降水过程的发生时段。

**预报试验方案:** 鉴于所选个例中江淮地区的持续性降水过程多发生在 6 月中下旬至 8 月上旬,因此将 6 月 10 日~8 月 8 日(共 60 天)作为预报区间,取预报期之前 4 月 11 日~6 月 9 日(共 61 天)作为建模区间。预报区间的预报因子取自 NCEP/CFS 以 6 月 9~13 日 5 个初始场各自 1~60 天预报值的平均,采用多元线性回归方法进行江淮地区夏季降水延伸期预报试验,之后依据一定的客观标准利用得到的预报区间低频降水时间序列,预测未来 10~50 天内的主要持续性强降水出现的时间段。具体预报流程如图 4。

### 5.2 预报效果分析

首先,检查上述试验对江淮地区降水 20~50 天低频分量变化趋势的预报效果。表 3 第二列为预报时间 11~60 天(6 月 20 日~8 月 6 日)的低频降水预报结果与观测降水低频分量的相关系数,黑体加粗数值表示相关性超过 0.05 的显著性水平。总体而言,有 6 个个例年对 10 天到 60 天范围内的低

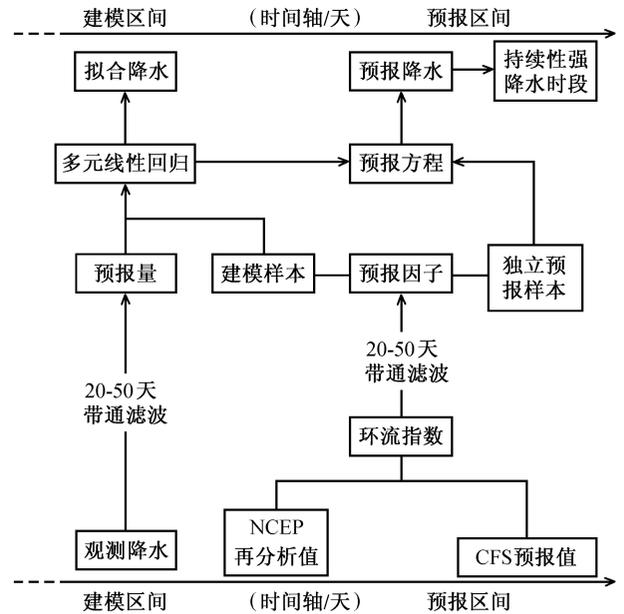


图 4 预报流程示意图

Fig. 4 The flow diagram of forecast experiment

频降水变化趋势的预报效果较好,特别是 1982、1991 和 1996 年,相关系数都超过了 0.01 显著性水平,说明采用的方法对江淮地区延伸期低频降水趋势有一定的预报效果。但是也有年份预报效果很不理想,如 1995 年和 2002 年,低频降水变化趋势与观测情况几乎相反。

上述试验主要针对持续性降水过程的延伸期预报,因此,更加重要的是了解由预报量所确定的持续性降水过程出现的时间段与实际情况的相符程度。这里,首先根据前面分析的江淮地区夏季降水低频振荡特征,给定判断持续性降水过程的客观标准。第一,针对江淮地区原始逐日降水量,我们定义出现连续三天日降水量大于 10 mm,或者日降水量大于 10 mm 超过三天但间断不大于一天的情况下,记为一次持续性降水过程;第二,对于预报实验得到的降水低频分量,取连续三天以上降水量大于  $(10 \times \text{当年 } 20 \sim 50 \text{ 天低频降水方差贡献率})$  的时间段作为一次持续性降水过程。当预报的持续性降水时段包括或者与实际持续性降水时段至少有三天重合部分时,则判断为一次正确预报,其余为漏报或空报。表 3 第三到六列为实际持续性降水时段与预报的降水时段的对比以及正确预报的预报时效。按照上述定义,10 个个例中总共出现 33 次持续性降水过程,我们总共进行了 10 次预报试验,

表 3 对持续性降水过程的预报试验结果检验

Table 3 The evaluation result of forecast experiment

	相关系数	实际持续性降水时段	预报持续性降水时段	预报结果	预报时效/天
1981 年	0.27	6 月 27 日~7 月 1 日		漏报	
		7 月 9~12 日	7 月 6~12 日	正确	30
1982 年	0.66	6 月 11~14 日	6 月 12~25 日	正确	10
		6 月 19~22 日			
		7 月 17~20 日	7 月 12~26 日	正确	30
		7 月 23~25 日			
		8 月 8~10 日		漏报	
1983 年	-0.03	6 月 12~15 日	6 月 12~24 日	正确	20
		6 月 19~21 日			
		6 月 25 日~7 月 1 日		漏报	
		7 月 4~8 日			
		7 月 22~24 日	7 月 18~27 日	正确	20
1984 年	0.28	6 月 12~15 日	6 月 10~18 日	正确	5
		6 月 27~29 日		漏报	
			7 月 20~28 日	空报	
1991 年	0.83	6 月 11~16 日	6 月 10~17 日	正确	5
		6 月 30 日~7 月 12 日	7 月 1~14 日	正确	20
		8 月 3~8 日	8 月 4~8 日	正确	55
1995 年	-0.24	6 月 20~25 日	6 月 19~22 日	正确	10
		7 月 6~8 日		漏报	
			7 月 17~22 日	空报	
1996 年	0.51	6 月 19~21 日	6 月 18~25 日	正确	9
		6 月 23 日~7 月 5 日		漏报	
		7 月 9~11 日	7 月 8~17 日	正确	30
1999 年	0.18	7 月 14~21 日			
		6 月 16~18 日	6 月 16~28 日	正确	15
		6 月 22 日~7 月 1 日			
2002 年	-0.34	7 月 7~12 日	7 月 7~18 日	正确	35
		7 月 15~17 日			
		6 月 19~21 日	6 月 18~28 日	正确	20
2003 年	0.35	6 月 25~28 日			
		7 月 21~26 日		漏报	
			7 月 28 日~8 月 8 日	空报	
2003 年	0.35	6 月 23~29 日	6 月 25 日~7 月 2 日	正确	15
		7 月 5~11 日		漏报	
		7 月 17~21 日	7 月 10~22 日	正确	35

在预报时效大于 10 天的范围内, 预报出了 33 次持续性降水过程中的 21 次, 占总的实际过程的 63%, 漏报了 7 次, 空报两次。

## 6 小结

本文将 CFS 的延伸期数值预报产品与低频振

荡相结合, 在分析江淮地区夏季降水低频振荡特征及其延伸期可预报性的基础上, 将具有物理意义的多个环流指数低频信号作为预报因子, 以降水 20~50 天低频分量作为预报量, 采用多元线性回归方法对江淮地区汛期(6~8 月)的持续性降水过程的发生时段进行了预报试验, 结果表明:

(1) 江淮地区夏季降水 20~50 天振荡与江淮地区持续性强降水过程的演变有密切的联系, 把握好降水 20~50 天低频分量的延伸预报对于江淮地区夏季持续性强降水过程的延伸期预报具有一定的指示意义, 但是 20~50 天低频分量只能解释实际降水五分之一左右的方差。因此, 在采用该方法进行延伸预报时还仅限于对明显的持续性强降水过程的发生和结束时间的粗略预报, 如何将其他在延伸期范围内具有可预报性的分量考虑进预报量当中去, 提高预报量对实际降水的解释程度, 需要深入的研究。

(2) 东亚大气环流的低频信号与江淮地区夏季降水的低频变化过程有密切的关系, 结合降水的物理成因提取的低频环流指数能够在一定程度上体现环流背景, 对低频降水的拟合效果较好, 具有一定的利用价值。

(3) 江淮夏季降水过程的延伸预报试验表明, 基于影响因子低频信号和数值模式预报产品的动力与统计相结合的预报方法, 可为持续性降水过程的延伸期预报提供参考。但该方法在不同年份的预报效果有差异, 预报效果不好的原因可能与该年份低频信号的影响不显著有关, 并且与所使用的数值预报产品的随机误差有关。同时, 由于所使用的资料完整度的限制, 该方法对数值预报的历史资料的利用还很不充分, 需要在这个方面加以改进。另外, 对于延伸期预报效果的评估还没有较为统一、完善的方法, 本文所采用的方法主要是针对持续性强降水时段的确定, 对于短期的、间断性的和强度较小的降水过程我们暂无法考虑在预报和检验范围内。

## 参考文献 (References)

鲍名. 2007. 近 50 年我国持续性暴雨的统计分析及其大尺度环流背景 [J]. 大气科学, 31 (5): 779-792. Bao Ming. 2007. The statistical analysis of the persistent heavy rain in the last 50 years over China and their backgrounds on the large scale circulation [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (5): 779-792.

Boer G J. 1993. Systematic and random error in an extended-range forecasting experiment [J]. Mon. Wea. Rev., 121: 173-188.

陈伯民, 纪立人, 杨培才, 等. 2003. 改善月动力延伸预报水平的一种新途径 [J]. 科学通报, 48 (5): 513-520. Chen Bomin, Ji Liren, Yang Peicai, et al. 2003. A new approach to improve the dynamical extended-range forecast for month [J]. Chinese Science

Bulletin (in Chinese), 48 (5): 513-520.

陈官军, 魏凤英, 巩远发. 2010. NCEP/CFS 模式对东亚夏季延伸预报的检验评估 [J]. 应用气象学报, 21 (6): 659-669. Chen GuanJun, Wei Fengying, Gong Yuanfa. 2010. Assessing the extended range forecast error of NCEP/CFS in the summer of East Asia [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 21 (6): 659-669.

陈菊英, 冷春香, 程华琼. 2006. 江淮流域强暴雨过程对阻高和副高逐日变化的响应关系 [J]. 地球物理学进展, 21 (3): 1012-1020. Chen Juying, Leng Chunxiang, Cheng Huaqiong. 2006. The Ural blocking high anomalous daily variation impact on the heavy rainfall in the Yangtze River basin and Huai River basin [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 21 (3): 1012-1020.

陈于湘. 1980. 夏季西太平洋赤道气流的谱分析 [J]. 大气科学, 4 (4): 363-368. Chen Yuxiang. 1980. The spectral analysis of the low-level cross-equator air flow over the western Pacific during the northern summer [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 4 (4): 363-368.

丁一汇. 2005. 高等天气学 (第二版) [M]. 北京: 气象出版社, 585pp. Ding Yihui. 2005. Advanced Synoptic Meteorology (2nd ed) (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 585pp.

丁一汇, 梁萍. 2010. 基于 MJO 的延伸预报 [J]. 气象, 36 (7): 111-122. Ding Yihui, Liang Ping. 2010. Extended range forecast basing on MJO [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 36 (7): 111-122.

何金海. 1988. 亚洲季风区纬圈剖面内准 40 天周期振荡的环流结构及其演变 [J]. 热带气象学报, 4 (2): 116-125. He Jinhai. 1988. The structure and evolution of the circulation with quasi-40 day periodic oscillation in zonal cross-sections over Asian monsoon region [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 4 (2): 116-125.

Hendon H H, Liebmann B, Newman M, et al. 2000. Medium-range forecast errors associated with active episodes of the Madden-Julian oscillation [J]. Mon. Wea. Rev., 128: 69-86.

蒋国荣, 俞永强, 何金海. 2007. 季节内振荡的数值模拟 I. 模拟的自然变率 [J]. 大气科学, 31 (3): 536-546. Jiang Guorong, Yu Yongqiang, He Jinhai. 2007. Numerical simulation of the intraseasonal oscillation. Part I: Simulative natural variability [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (3): 536-546.

金荣花, 马杰, 毕宝贵. 2010. 10-30d 延伸期预报研究进展和业务现状 [J]. 沙漠与绿洲气象, 4 (2): 1-5. Jin Ronghua, Ma Jie, Bi Baogui. 2010. Research advancement and operation status about the extended range forecast from 10 to 30 days [J]. Desert and Oasis Meteorology (in Chinese), 4 (2): 1-5.

Jones C, Leila M V, Wayne R, et al. 2003. A statistical forecast model of tropical intraseasonal convective anomalies [J]. J. Climate, 17: 2078-2095.

Jones C, Waliser D E, Schemm J K E, et al. 2000. Prediction skill

- of the Madden and Julian oscillation in dynamical extended range forecasts [J]. *Climate Dyn*, 16: 273–289.
- 据建华, 钱诚, 曹杰. 2005. 东亚夏季风的季节内振荡研究 [J]. *大气科学*, 29 (2): 187–194. Ju Jianhua, Qian Cheng, Cao Jie. 2005. The intraseasonal oscillation of East Asian summer monsoon [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 29 (2): 187–194.
- 李崇银. 2000. 气候动力学引论 [M]. 北京: 气象出版社, 449pp. Li Chongyin. 2000. *Climate Dynamics (in Chinese)* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 449pp.
- 李崇银, 贾小龙, 董敏. 2006. 大气季节内振荡的数值模拟比较研究 [J]. *气象学报*, 64 (4): 412–419. Li Chongyin, Jia Xiaolong, Dong Min. 2006. Numerical simulation and comparison study of the atmospheric intraseasonal oscillation [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 64 (4): 412–419.
- 李桂龙, 李崇银. 1999. 江淮流域夏季旱涝与不同时间尺度大气扰动的关系 [J]. *大气科学*, 23 (1): 39–50. Li Guilong, Li Chongyin. 1999. Drought and flood in the Changjiang–Huaihe River basin associated with the multi-time-scale oscillation [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 23 (1): 39–50.
- 梁萍. 2010. 中国梅雨的季节内振荡分析和延伸预报 [D]. 南京信息工程大学博士学位论文, 192pp. Liang Ping. 2010. *Intraseasonal oscillation analysis and extend range forecast of Meiyu over China* [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese). Nanjing University of Information Science & Technology, 192pp.
- 刘平, 吴国雄, 李伟平, 等. 2000. 副热带高压带的三维结构特征 [J]. *大气科学*, 24 (5): 578–579. Liu Ping, Wu Guoxiong, Li Weiping, et al. 2000. The three-dimensional structure of subtropical high belt [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 24 (5): 578–579.
- Lo F, Hendon H H. 2000. Empirical extended-range prediction of the Madden-Julian oscillation [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 128: 2528–2543.
- 陆尔, 丁一汇. 1996. 1991 年江淮特大暴雨与东亚大气低频振荡 [J]. *气象学报*, 54 (6): 730–736. Lu Er, Ding Yihui. 1996. Low frequency oscillation in East Asia during the 1991 excessively heavy rain over Changjiang–Huaihe River basin [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 54 (6): 730–736.
- 毛江玉, 吴国雄. 2005. 1991 年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡 [J]. *气象学报*, 63 (5): 762–770. Mao Jiangyu, Wu Guoxiong. 2005. Intraseasonal variability in the Yangtze–Huaihe River rainfall and subtropical high during the 1991 Meiyu period [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 63 (5): 762–770.
- 缪锦海, 刘家铭. 1991. 东亚夏季风降水 30–60 天低频振荡 [J]. *大气科学*, 15 (5): 65–71. Miao Jinhai, Lau K M. 1991. Low frequency oscillation (30–60 day) of summer monsoon rainfall over East Asia [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 15 (5): 65–71.
- 倪文琪, 蒋国荣. 2010. 东亚夏季风过程大气低频振荡的数值模拟研究 [J]. *热带气象学报*, 26 (1): 93–97. Ni Wenqi, Jiang Guorong. 2010. A numerical study of atmospheric low frequency oscillation during the East Asia monsoon process [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 26 (1): 93–97.
- 彭丽霞, 孙照渤, 倪东鸿, 等. 2009. 夏季南亚高压年际变化及其与 ENSO 的关系 [J]. *大气科学*, 33 (4): 783–795. Peng Lixia, Sun Zhaobo, Ni Donghong, et al. 2009. Interannual variation of summer South Asia high and its association with ENSO [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 33 (4): 783–795.
- Saha S, Nadiga S, Thiaw C, et al. 2006. The NCEP climate forecast system [J]. *J. Climate*, 19: 3483–3517.
- 孙国武, 信飞, 陈伯民, 等. 2008. 低频天气图预报方法 [J]. *高原气象*, 27 (增刊): 65–68. Sun Guowu, Xin Fei, Chen Bomin, et al. 2008. A predicting method on the low-frequency synoptic weather map [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 27 (Suppl): 65–68.
- 陶诗言, 等. 1980. 中国之暴雨 [M]. 北京: 科学出版社, 225pp. Tao Shiyan, et al. 1980. *The Torrential Rain in China (in Chinese)* [M]. Beijing: Science Press, 225pp.
- 陶诗言, 倪允琪, 赵思雄, 等. 2001. 1998 年夏季中国暴雨形成的机理与预报研究 [M]. 北京: 气象出版社, 255pp. Tao Shiyan, Ni Yunqi, Zhao Sixiong, et al. 2001. *The Forming Mechanism and Forecast of the China's Heavy Rain in Summer (in Chinese)* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 255pp.
- Van den Dool H M, Saha S. 1990. Frequency dependence in forecast skill [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 118: 128–137.
- Waliser D E, Jones C, Schemm J K E, et al. 1999. A statistical extended range tropical forecast model based on the slow evolution of the Madden–Julian oscillation [J]. *J. Climate*, 12: 1918–1939.
- 王会军, 薛峰. 2003. 索马里急流的年际变化及其对半球间水汽输送和东亚夏季降水的影响 [J]. *地球物理学报*, 46 (1): 18–25. Wang Huijun, Xue Feng. 2003. Interannual variability of Somali Jet and its influences on the inter-hemispheric water vapor transport and on the East Asian summer rainfall [J]. *Chinese Journal of Geophysics (in Chinese)*, 46 (1): 18–25.
- 王瀛, 王茜, 陈宇, 等. 2007. ECMWF 模式副热带高压指数释用产品的应用 [J]. *气象与环境学报*, 23 (5): 26–31. Wang Ying, Wang Qian, Chen Yu, et al. 2007. Application of subtropical high index from ECMWF model [J]. *Journal of Meteorology and Environment (in Chinese)*, 23 (5): 26–31.
- Wheeler M C, Hendon H H. 2004. An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 132: 1917–1932.
- Xavier P K, Goswami B N. 2007. An analog method for real-time forecasting of summer monsoon subseasonal variability [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 135 (12): 4149–4160.
- 夏芸, 管兆勇, 王黎娟. 2008. 2003 年江淮流域强降水过程与 30~70 天低频振荡的联系 [J]. *南京气象学院学报*, 31 (1): 33–41. Xia Yun, Guan Zhaoyong, Wang Lijuan. 2008. Association of

- 30-70d oscillations with the heavy rainfall over Changjiang - Huaihe River valley in summer 2003 [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese)*, 31 (1): 33-41.
- 信飞, 孙国武, 陈伯民. 2008. 自回归统计模型在延伸期预报中的应用 [J]. *高原气象*, 27 (增刊): 69-74. Xin Fei, Sun Guowu, Chen Bomin. 2008. An autoregressive statistical model for extended-range prediction [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 27 (Suppl): 69-74.
- Yang Hui, Li Chongyin. 2003. The relation between atmospheric intraseasonal oscillation and summer severe flood and drought in the Changjiang - Huaihe River basin [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 20 (4): 540-553.
- 杨秋明. 2008. 10-30 天延伸期天气预报及发展趋势 [J]. *中国新技术新产品*, (7): 96-97. Yang Qiuming. 2008. 10-30 days extended-range forecast and trends [J]. *China New Technologies and Products (in Chinese)*, (7): 96-97.
- 杨秋明. 2009. 全球环流 20~30 d 振荡与长江下游强降水 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 39 (11): 1515-1529. Yang Qiuming. 2009. Association of 20-30d oscillations with heavy rainfall over Yangtze River [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences (in Chinese)*, 39 (11): 1515-1529.
- Zhang L N, Wang B Z, Zeng Q C. 2009. Impact of the Madden-Julian oscillation on summer rainfall in southeast China [J]. *J. Climate*, 22: 201-216.
- 张瑛, 陈隆勋, 何金海, 等. 2008. 1998 年夏季亚洲地区低频大气环流的特征及其与长江中下游降水的关系 [J]. *气象学报*, 66 (4): 577-591. Zhang Ying, Chen Longxun, He Jinhai, et al. 2008. A study of the characteristics of the low-frequency circulation on Tibetan plateau and its association with precipitation over the Yangtze valley in 1998 [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 66 (4): 577-591.
- 赵亮, 丁一汇. 2009. 东亚夏季风时期冷空气活动的位涡分析 [J]. *大气科学*, 33 (2): 359-374. Zhao Liang, Ding Yihui. 2009. Potential vorticity analysis of cold air activities during the East Asian summer monsoon [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 33 (2): 359-374.
- 赵振国. 1999. 中国夏季旱涝及环境场 [M]. 北京: 气象出版社, 297pp. Zhao Zhenguo. 1999. Drought and Flood in Summer of China and the Circulation Back Ground (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 297pp.
- 郑志海, 封国林, 丑纪范, 等. 2010. 数值预报中自由度的压缩及误差相似性规律 [J]. *应用气象学报*, 21 (2): 139-148. Zheng Zhihai, Feng Guolin, Chou Jifan, et al. 2010. Compression for freedom degree in numerical weather prediction and the error analogy [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 21 (2): 139-148.