

地球科学

# 基于平流层环流变化的夏季长江下游 强降水频数气候预测模型

杨秋明

(江苏省气象科学研究所, 南京 210009)

**摘要** 采用相关分析方法,研究了6~8月长江下游强降水频数与前期冬季12~2月全球50 hPa纬向风的关系;并研制了基于KLM滤波的夏季长江下游强降水频数气候预测模型。结果表明,存在3个显著的相关区:北极附近,北太平洋中纬度和南半球高纬度地区。用这些前期12~2月全球平流层关键区的纬向风建立KLM预测模型进行预测试验,发现它对近10年6~8月长江下游地区强降水频数的变化具有较好的预测能力,明显优于多变量的线性回归预测;其中与北极附近和南半球高纬度地区平流层纬向风相关稳定,而与北太平洋中纬度纬向风的相关存在一定程度的不稳定。基于平流层环流变化的夏季长江下游强降水频数KLM模型可以为短期气候预测业务预报提供重要参考。

**关键词** 长江下游地区 强降水 平流层环流 KLM滤波 气候预测

**中图分类号** P468.32; **文献标志码** A

目前,在国际学术界研究中普遍认为平流层过程对于时间尺度为10~90 d的季节内尺度的对流层天气会有重要的影响<sup>[1-5]</sup>。其原因在于对流层波动的时间尺度相对于平流层而言偏短,耗散时间尺度也短。而平流层环流其更大的尺度与更长的维持时间,在一定条件下,如冬季有利于波的上下传播,平流层环流将可能影响对流层的延伸期(2~4周)天气过程。我国地处北半球中纬地区,其天气、气候同时受到极区和热带区域的强烈影响。

已有研究表明,平流层过程与对流层某些重大天气气候事件(如极端降水等)确实存在着信号的超前表达和实质上的物理驱动因果联系<sup>[6-8]</sup>,平流层的环流异常通过其季节内振荡可以下传到对流层<sup>[9,10]</sup>。当前在我国数值天气预报业务模式中较少涉及平流层过程,10 d以上形势预报的误差迅速增加,因而限制了预报时效的进一步延长。了解在这

一时间尺度上平流层与对流层相互作用并进而研究预报方法,显然是一项紧迫而又有十分重大意义的前沿课题。另外,这些相互关系还存在显著的年代际变化,可能是东亚地区气候变化的机理之一。

近30年来,在全球气候变化的背景下,夏季中国东部长江下游地区频繁出现持续暴雨的极端天气气候事件,会造成这个区域严重洪涝,这类事件越来越引起公众的关注。由于这种极端事件影响的严重性,关于长江下游强降雨事件演变规律的研究引起了人们广泛的注意。比较普遍的意见是它的变化与海温异常有直接的关系,有关模拟和预测研究主要考虑海洋的热异常所形成的下垫面强迫影响,取得了一定的预测效果。但海温的影响(如ENSO,IOD等)不能解释许多强降水过程的形成,其他因子的作用,如平流层环流的作用和在预报中的相对重要性尚未详细研究。本文将研究影响长江下游地区夏季强降水变化的前期冬季全球平流层环流变化的关键区,建立基于KLM滤波的夏季强降水频数年际气候预测模型,进行预测试验,讨论预报方程系数的时间变化特征和可预报性。

## 1 预测方法

### 1.1 资料

采用江苏省气象信息中心提供的逐日长江下游地区降水量 1961~2011 年 51 年的资料,夏季强降水频数定义为 6~8 月长江下游地区(江苏省南部地区的南京,常州,苏州,镇江,宜兴,太仓等 25 站)平均日降水量大于等于 25 mm 的日数。冬季平流层 50 hPa 风场资料采用 NCEP/NCAR 逐月再分析风场资料( $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ )<sup>[11]</sup>计算,所取资料时间是 1960~2011 年。

### 1.2 影响夏季长江下游强降水的前期冬季关键区平流层纬向风的变化

图 1 是 1961~2011 年夏季 6~8 月长江下游强降水频数变化序列,其中强降水日数最多的是 1999 年,达到 11 天。另外,1968 年无强降水日数。过去的研究表明,这个序列与长江下游降水 20~30 d 振荡强度具有极显著的正相关<sup>[12]</sup>(通过 0.01 的显著性水平的检验)。因此,与东亚地区大气内部非线性过程密切相关的季节内振荡(ISO)对长江下游强降水过程的作用占主导地位。下面研究长江下游强降水频数年际变化与前期冬季全球平流层环流变化的联系。图 2 给出了 1961~2011 年长江下游强降水频数与前期全球 50 hPa 纬向风的相关系数的空间分布,发现关键区主要在南半球高纬度地区、北太平洋中纬度地区,表现为显著正相关,而北极附近是显著负相关区,其显著性均为 0.05。值得注意的是,前期冬季热带地区平流层纬向风与后期夏季长江下游地区强降水(暴雨)的关系不太显著,仅南北美北部和热带大西洋地区存在范围较小的正相关区。

### 1.3 卡尔曼(KLM)滤波模型的建立

由于气候系统年代际变化的影响,变量之间相关具有一定程度的不稳定性。因此,本文基于 KLM 滤波方法(运用现代随机估计理论给出系统状态的无偏最小方差的递推估计值,其主要特征是通过误差与观测数据间的处理来不断订正模型参数,组建出最优滤波方程<sup>[13]</sup>),对上述 3 个关键区平流层 50 hPa 格点纬向风为 3 个因子  $x_1, x_2, x_3$  ( $x_1$ : 80~

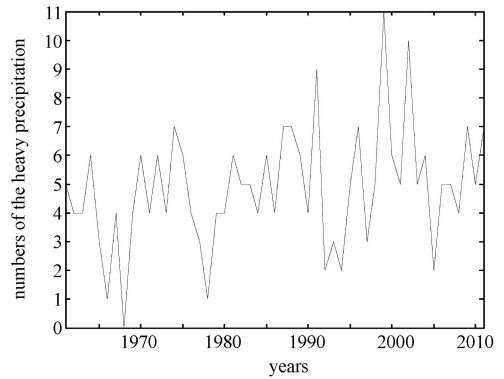


图 1 1961~2011 年 6~8 月长江下游地区强降水频数的时间变化

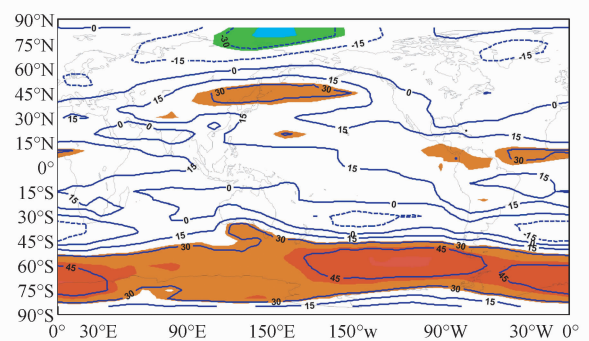


图 2 1961~2011 年夏季(6~8 月)长江下游地区强降水频数与前期冬季(12~2 月)全球 50 hPa 纬向风的相关空间分布  
图中阴影表示显著性为 0.05 的区域

85°N, 140~150°E, 北极附近;  $x_2$ : 45°N, 140~170°E, 北太平洋中纬度;  $x_3$ : 55~60°S, 120~140°W, 东南太平洋高纬度(区域平均)), 构建线性回归方程进行递推,建立系数可变的预测模型,对 6~8 月长江下游强降水频数进行试验,并和多元线性回归模型的预测结果比较。同时,也分析了各个因子对应的回归系数随年代的变化规律,讨论因子的时间稳定性。

## 2 预测结果分析

用 1960/1961, ..., 2011/2012 年 12~2 月(52 个冬季)的平流层纬向风( $x_1, x_2, x_3$ )资料和 1961 年, ..., 2012 年 6~8 月长江下游强降水频数( $y$ ), 构建方程  $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$ , 进行 KLM 递

推预报,其中近 10 年(2003 ~ 2012 年)预测试验结果见表 1。从表中可以看出,预报和观测值十分一致。经计算,预报的平均绝对误差是 0.96 天,预测效果很好。另外,回归系数  $b_1 < 0, b_3 > 0$  变化幅度较小,表明近 10 年与北极附近,南半球高纬度纬向风的负、正相关关系比较稳定,而  $b_2 < 0$ ,近 10 年负值显著,表明与北太平中纬度纬向风的相关变为较显著的负相关(与整个 52 年期间的正相关不同),相关显示出一定程度的不稳定,并改变符号。用 42 年(1961 ~ 2002 年)资料,建立多元线性回归方程,对近 10 年(2003 ~ 2012 年)进行独立预报,结果见表 2。预报的平均绝对误差是 1.26 d,大于 KLM 方法的结果;主要原因是多元线性回归方程没有体现变量之间相关的年代际变化(特别是  $x_2$ ,北太平中纬度纬向风)。因此,以上近 10 年的独立预报试验表明,基于 KLM 滤波的预测方法明显优于经典的多元回归方法,表明气候系统年代际变化对于 6 ~ 8 月长江下游强降水频数统计模型的气候预测精度的变化有明显影响。

表 1 基于 KLM 滤波的夏季长江下游强降水频数预测

年份	观测	预测	系数			
			$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
2003	5.0	5.2	4.9	-1.0	-0.4	1.5
2004	6.0	6.8	4.8	-0.7	-0.3	1.6
2005	2.0	4.2	3.8	-1.4	-0.3	1.8
2006	5.0	6.0	3.5	-1.2	-0.5	1.7
2007	5.0	4.8	3.6	-1.1	-0.5	1.7
2008	4.0	5.8	3.4	-0.7	-0.8	1.2
2009	7.0	5.6	3.5	-1.2	-1.4	1.3
2010	5.0	4.6	3.7	-1.3	-1.4	1.2
2011	7.0	7.7	3.6	-1.3	-1.3	1.0
2012	4.0	3.0	4.0	-1.2	-0.8	1.1

由于平流层异常(如平流层极涡的增强或者减弱,赤道纬向风的准 2 年振荡(QBO),与对流层在太阳活动的准 11 年周期上的耦合变化等)的持续时间长<sup>[6]</sup>,它可能对于对流层气候预测的改进有重要应用价值。而且,过去的研究也表明,当平流层影响达到最大时,其影响可以达到和 ENSO 的影响相当的量级和空间尺度<sup>[9]</sup>,同时可以在季节内时间尺度和准 2 年时间尺度上对东亚冬季和夏季大气环

流和长江下游极端天气气候事件产生显著

影响。因此,深入研究平流层扰动对于夏季东亚环流季节内变化及其强度年际变化的影响,能显著改善长江下游地区 6 ~ 8 月强降水过程频数和旱涝预测准确率,同时也有利于预测与强降水过程密切相关的 20 ~ 30 d 振荡强度年际变化<sup>[12]</sup>以及提高强降水过程 10 ~ 30 d 延伸期预报精度。

表 2 夏季长江下游强降水频数线性回归预测

年份	观测	预测
2003	5.0	4.4
2004	6.0	6.8
2005	2.0	4.1
2006	5.0	6.6
2007	5.0	6.2
2008	4.0	7.0
2009	7.0	6.7
2010	5.0	5.2
2011	7.0	7.8
2012	4.0	5.9

### 3 结论和讨论

本文用近 50 年观测资料,研究了冬季平流层环流和夏季长江下游强降水之间的联系,并建立统计方程对夏季长江下游强降水频数进行预测,得到如下结论:

(1)前期冬季 12 ~ 2 月全球 50 hPa 纬向风变化对后期 6 ~ 8 月长江下游强降水频数变化有明显影响,其中显著的正相关区在南半球高纬度地区和北太平洋中纬度地区,负相关区在北极附近;但强降水频数变化与热带地区平流层纬向风的变化无关。

(2)用前期 12 ~ 2 月全球平流层关键区的纬向风建立 KLM 预测模型进行独立预测试验,发现它对近 10 年(2003 ~ 2012 年)6 ~ 8 月长江下游地区强降水频数的变化具有较好的预测能力,明显优于多变量的线性回归预测结果。

(3)从回归方程系数的时间变化来看,近 10 年夏季长江下游强降水频数与前期冬季北极附近和南半球纬度地区平流层纬向风相关十分稳定,而与北太平洋中纬度纬向风的相关存在一定程度的不稳定。

前期平流层过程与后期夏季长江下游强降水过程的形成存在实质上的物理驱动因果联系(通过平流层环流的异常激发的低频波在一定条件下会

向下传播到对流层), 引进平流层信号的统计预报可以为业务极端天气气候事件的气候预测提供重要参考, 有利于进一步提高长江下游旱涝年际气候预测准确率。

### 参 考 文 献

- 1 Baldwin M P, Dunkerton T J. Propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere. *Journal of Geophysical Research*, 1999; 104: 30937—30946
- 2 张 灵, 李维京, 陈丽娟. 北半球平流层大气环流转型的基本气候特征. *应用气象学报*, 2011; 22(4): 411—420
- 3 Xu J S. On the relationship between the stratospheric quasibiennial oscillation and the tropospheric southern oscillation. *J Atmos Sci*, 1992; 49: 725—734
- 4 Garfinkel C I, Hartmann D L. The influence of the quasi-biennial oscillation on the troposphere in winter in a hierarchy of models. part II: perpetual winter WACCM runs. *J Atmos Sci*, 2011; 68: 2026—2041
- 5 任荣彩. 过去 60 年中 3—5 年时间尺度的强 ENSO 过程与平流

层环流异常的滞后耦合及其机理. *气象学报*, 2012; 70(3): 520—535

- 6 陈 文, 魏 科, 王 林, 等. 东亚冬季风气候变异和机理以及平流层过程的影响. *大气科学*, 2013; 37(2): 425—438
- 7 李崇银, 顾 薇, 潘 静. 梅雨与北极涛动及平流层环流异常的关联. *地球物理学报*, 2008; 51(6): 1632—1641
- 8 李崇银, 龙振夏. 西太平洋副高活动与平流层 QBO 关系的研究. *大气科学*, 1997; 21(6): 670—678
- 9 Baldwin M P, Thompson D W J, Shuckburgh E F, *et al.* Weather from the stratosphere? *Science*, 2003; 301: 317—319
- 10 李崇银, 程 胜, 潘 静. 冬季北半球平流层季节内振荡与对流层季节内振荡的关系. *大气科学*, 2006; 30(5): 744—752
- 11 Kalnay E, Kanamitsu, Kistler R, *et al.* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Am Meteorol Soc*, 1996; 77: 437—471
- 12 Yang Q M. The 20—30-day oscillation of the global circulation and heavy precipitation over the lower reaches of the Yangtze River valley. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 2009; 52(10): 1485—1501
- 13 黄嘉佑, 谢 庄. 卡尔曼滤波在天气预报中的应用. *气象*, 1993; 19(4): 3—6

## Climate Prediction Model of the Number of the Heavy Precipitation over Lower Reaches of the Yangtze River Valley in Summer Based on the Variations of Stratospheric Circulation

YANG Qiu-ming

(Jiangsu Meteorological Institute, Nanjing 210009, P. R. China)

[ **Abstract** ] Using correlation analysis, the relationships of the number of the heavy precipitation over lower reaches of the Yangtze river valley (LYRV) in summer to the global zonal wind at 50 hPa during previous winter are explored. And the climate prediction model with the KLM filter technique is developed. The results show that there are three regions with significant correlation between the number of the heavy precipitation over LYRV and the global zonal wind at 50 hPa during previous winter, which occur near the North Pole, over the middle latitude of North Pacific, in the high latitude of the Southern Hemisphere. Based on the stratospheric winds of these key regions, the prediction model the number of the heavy precipitation over LYRV in summer can be better predicted for last 10 years, which the prediction for KLM filter technique is significantly better than multiple linear regression prediction. In these connections, correlations to the stratospheric zonal winds of the North Pole and the high latitude of the Southern Hemisphere are stable, and to that over the middle latitude of North Pacific, to some extent, is instable. So, the prediction from KLM filter technique can offer important to operational prediction of the short term climate prediction for heavy precipitation over LYRV.

[ **Key words** ] lower reaches of the Yangtze River valley    heavy precipitation    stratospheric circulation  
KLM filter technique    climate prediction