

长江中游地区暴雨过程的 500 hPa 信号场特征^{*}

陆慧娟 沈善普

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029)

黄嘉佑

(北京大学物理学院大气科学系, 北京, 100871)

摘 要

文中用 500 hPa 信号场研究了长江中游地区暴雨发生的气候异常环境, 并提出用信号场合成图的检验方法来分析暴雨规律。结果表明, 暴雨过程与无雨过程在 500 hPa 信号场中异常信号显著区的出现及分布形势有明显不同。分析 14 次暴雨过程的合成图, 发现在发生暴雨过程第 1 天, 正异常区常常出现在贝加尔湖附近地区(40°~50°N, 80°~100°E)和中国华南地区(20°~25°N, 100°~130°E), 负异常区出现在中国长江中游北部地区。暴雨过程出现的主要特征是在 110°E 附近, 形成南北向的“+ - +”分布形势和波列。

关键词: 暴雨, 500 hPa 信号场, 合成分析, 显著性检验。

1 引 言

长江中游地区, 包括鄱阳湖、清江、鄂东四水、洞庭四水、宜(昌)汉(口)包围的地区和陆水(鄂东南)地区, 大致位于湖南、江西和湖北南部、贵州东北部。总面积约 50 万 km², 洪涝灾害时有发生。

通常暴雨的短期预报主要靠天气和动力诊断分析及数值模式。统计方法常常只能通过 MOS(模式输出统计量, 即 Model Output Statistics)方法进行预报, 而且往往因为暴雨样本少, 预报效果不是很好。以往对暴雨的研究往往使用天气和动力诊断分析方法和数值模拟的方法。如, 程铁军等^[1]通过对 1998 年 7 月 22 日和 1983 年 7 月 4 日两例发生在长江中下游地区特大雷暴暴雨的诊断分析, 发现此类特大暴雨是由高层冷空气叠加在低空急流左前侧高湿区之上, 产生持续的强烈对流降水所造成的, 强降水中心沿着下游的增湿区和不稳定增强区发展和移动, 与低层水汽辐合增强区, 尤其是与“相对辐散增强区”有较好的对应关系。张小玲等^[2]通过诊断分析发现, 武汉地区的“98·7”突发性大暴雨是 β 中尺

度系统强烈发展引起的。此外, 还有其他很多的暴雨个例分析^[3~6]。另外, 不少研究利用数值模式来模拟、分析暴雨过程。如程麟生和冯伍虎^[7]利用 MM5 对“98·7”发生在鄂东和鄂西南的突发性暴雨进行了模拟和研究, 发现该过程与 500 hPa 低涡, 切变线及沿切变线而生并强烈发展的 β 中尺度系统密切相关。对个例研究很多, 但是对多次的暴雨发生的气候学规律, 目前研究甚少。张顺利、陶诗言^[8]分析了 1998 年夏季中国长江、嫩江、珠江流域发生的严重洪涝灾害的气象、水文特征及其成因。范梅珠、江吉喜^[9]运用 GMS TBB 资料对比分析了 1999 和 1998 年夏季长江流域暴雨的成因。暴雨是一种小概率事件, 它们的发生有没有共同的特征? 它们有什么气候特征? 它们在高空环流场中有什么表现? 使用 500 hPa 信号场方法^[10, 11]是研究暴雨气候规律的新方法, 它可以作为天气学方法的一个补充。

暴雨产生的机理可因地区不同而异, 例如长江地区发生的暴雨往往是江淮气旋所造成。有必要对一个地区暴雨形势进行集中研究。所以本文选取长江中游地区作为研究对象, 而且资料年数比以前增

* 初稿时间: 2003 年 7 月 29 日; 修改稿时间: 2004 年 6 月 9 日。

资助课题: 中国科学院海外知名学者基金(2002-1-02) 和国家基金委项目(40035010)。

作者简介: 陆慧娟, 女, 1980 年生, 广西桂林人, 博士生, 主要从事天气动力学和资料同化。

加了 4 a, 特别包含了 1998 年发生在长江流域的大洪水。另外, 以前的信号场所使用的气候背景场是以月平均场为背景场, 月内逐日的气候背景场假定不变。考虑到暴雨是短期发生的现象, 有必要把气候背景场缩短为 1 d, 即以每天的 500 hPa 高度场的气候平均场(多年平均)作为气候背景场。

在气候规律总结方法上, 以前^[10,11]是用主分量分析方法, 但是目前气候规律研究大多使用合成分析方法, 该方法有利于直接作距平分布的模式分析, 但是以往的研究缺乏对合成场的统计检验。一般的合成分析往往只选取在某条件出现的样本, 对小样本的要素距平场进行平均, 分析正、负距平的分布位置差异。应该说, 合成分析方法比较容易总结不同条件下要素场的分布差异。但是由于条件样本少, 其分布(正、负距平的分布位置差异)是否在统计上是显著的? 这个问题十分重要, 需要对分布形势场的代表性进行显著性检验。本文提出了关于 500 hPa 信号场的合成方面的检验方法, 对该地区暴雨发生的 500 hPa 场的异常气候规律进行了分析, 从而寻找暴雨发生的气候异常机理及其前期征兆。

2 资料与方法

资料取 1973~1999 年(共 27 a), 每年雨季(5 月 1 日~9 月 30 日)153 d 的流域面雨量与总水量资料。同时取同期的 500 hPa 逐日高度场的资料, 为了突出逐日的气候变化, 本文以日为单位, 即在逐日 500 hPa 高度场上每个格点多年变化的序列上, 以逐日多年平均和标准差场作为比较基础, 对逐日高度场各个网格点进行标准化, 用每一格点上的高度值与同一格点上当日多年平均值的差值反映气候信号, 以该格点变量序列的标准差反映气候噪音, 它们的比值称为信号噪音比(简称为信号), 它的大小反映高度场逐日变化中的气候异常情况, 由各格点的信号值构成 500 hPa 高度的气候异常信号场, 简称为 500 hPa 信号场。

为了了解暴雨过程发生前期 500 hPa 信号场的变化规律, 通常取若干次(设为 n 次)前期某天的 500 hPa 信号场进行合成分析, 求 n 次的合成场。但是合成场中仅能看出信号平均值(正、负值)出现的区域, 需要进一步对合成场中网格点的平均值进行平均值的显著性检验。如果网格点的信号值遵从正态分布, 则可以用如下的统计量进行显著性检验:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{s / \sqrt{n-1}} \quad (1)$$

式中 \bar{X} , s 分别为 500 hPa 信号场中网格点 n 次的信号平均值和标准差, μ 为所有样本的信号平均值, 由于信号值是标准化值, 在所有样本中该值为 0^[12]。由式(1)可以计算出在暴雨发生前期 500 hPa 信号场的合成场—— t 值场(图), 它可以是合成场中某个格点的合成信号值与一般无条件情况的比较, 是否有显著差异的统计显著性检验。当场中某格点 $|t| > 2.0$, 一般可以认为在 5% 水平上是显著的, 从而推断该格点与一般情况有显著差异。

3 汛期 500 hPa 信号场的正态性处理和气候背景分析

一般情况下, 降水量大是地区洪涝发生的直接因子, 长江中游地区也不例外, 该地区面雨量与流域总水量的时间序列关系非常密切, 在雨季它们的相关系数均超过 0.99。

考虑到暴雨与天气系统活动有较密切关系, 我们通过定义暴雨过程来研究其发生规律。在气象业务中, 把日降水量达到和超过 50 mm 的降水称为暴雨。而一般降水过程能够持续 3 d, 所以我们以 3 d 的面降雨量为标准。为了定义得合理, 我们先分别把 3 d 面雨量之和大于 150, 100 和 90 mm 定义为暴雨过程。统计结果, 仅发现分别有 0, 0 和 5 次能够达到此标准, 样本太少。因此, 选取定义 3 d 面雨量之和大于 80.0 mm 为暴雨过程, 每天平均面雨量大约接近 30 mm。1975~1999 年, 有 14 次暴雨过程出现, 均发生在 80 年代以后, 集中出现在 5~7 月(表 1)。可见在气候上, 暴雨过程是一小概率事件, 在 27 a 雨季 153 d 的样本中, 其发生概率为 0.039%。

首先求出历年 5~9 月逐日的 500 hPa 信号场, 并检验信号场网格点的正态性, 选取信号场中每一格点, 取格点的样本容量为 4131 d ($153 \times 27 = 4131$) 序列, 按下式计算变量的偏度系数 g_1

$$g_1 = \frac{m_3}{m_2^{3/2}} \quad (2)$$

其中

$$m_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$$

是二、三阶中心矩。 g_1 遵从平均值为 0, 标准差为 $\sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}}$ 的正态分布。在样本数 $n = 27$,

表 1 14 次暴雨过程
Table 1 14 heavy rainfall cases

年份	月	日	流域面雨量(mm)	与合成场的相似度
1981	6	27	80.1	0.10
1982	6	14	88.1	0.31
1990	6	12	88.1	0.47
1992	5	15	86.9	0.31
1992	6	13	86.8	0.32
1992	7	3	87.4	0.29
1993	7	2	94.6	0.19
1995	6	23	82.5	0.54
1995	6	29	99.3	0.40
1996	7	13	88.7	0.32
1997	6	5	83.9	0.19
1998	6	22	81.3	0.09
1998	7	20	88.3	0.43
1999	5	15	81.3	0.30

显著水平 5% 下,当偏度系数 $|g_1| < 0.83$ 时,格点变量可以看成正态分布。

任意选取 5 月 11 日进行计算,结果表明,有 1353 个格点变量可以看成正态变量,约占总格点数 1525 的 89%。图 1 给出 5 月 11 日 500 hPa 信号场各格点的偏度系数分布。

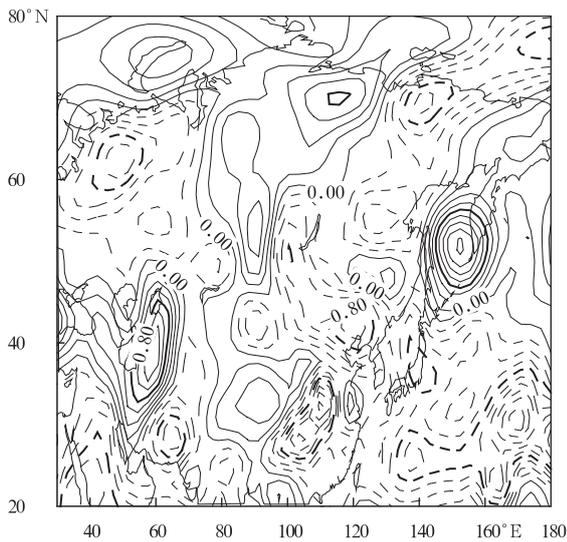


图 1 5 月 11 日 500 hPa 信号场各格点的偏度系数分布

(其中粗实线表示 0.80 的等值线,粗虚线表示 -0.80 的等值线)

Fig. 1 The distribution of skewness coefficient (g_1) of the 500 hPa signal field on 11 May
(The heavy solid line is the level-curve of 0.80 and the heavy broken line the level-curve of -0.80)

从图 1 可见,在中国长江流域附近有较大范围的负偏度区,在该区域网格点的信号变量不能看成

为正态变量。图 2 给出 5~9 月 500 hPa 信号场通过正态性的显著检验(5%置信度)网格点所占比例随日数变化情况。在此期间的 153 d,通过正态性显著检验网格点所占比例平均为 91.7%,标准差为 0.025。第 107 天最低的为 82.4%。因此 500 hPa 信号场中格点变量不满足正态性的要求,故要对 500 hPa 信号场格点变量作正态变换。

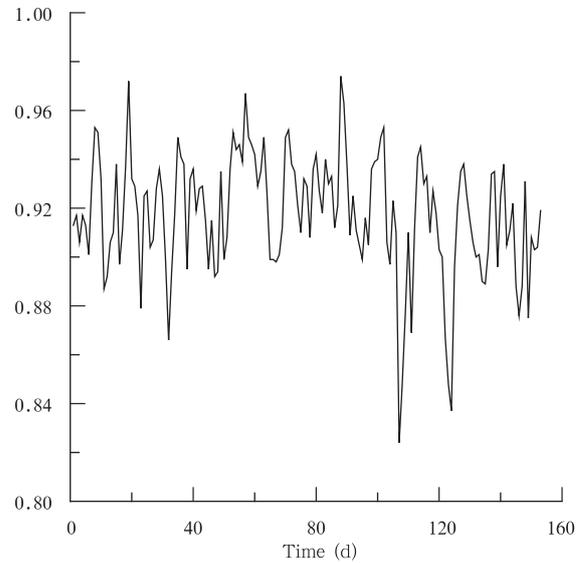


图 2 500 hPa 信号场通过正态性显著检验(5%显著水平)网格点所占比例随日数变化
Fig. 2 The day-to-day variation of the ratio of the number of grid points that have passed the 5% significance level test to the number of total grid points

对 500 hPa 信号场网格点变量作 Z 指数变换

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (3)$$

其中

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n\sigma^3}, \varphi_j = \frac{x_j - \bar{x}}{\sigma} \quad (j = 1, 2 \dots n)$$

式中 x_i 为 500 hPa 信号场网格点在某点、某日的信号值, $n=27$ 为样本数。则 Z 指数遵从正态分布。计算表明,经过 Z 变换后,5~9 月 153 d 变换后 500 hPa 信号场通过正态性显著检验(5%水平)网格点所占比例,平均为 98.2%,标准差为 0.009。比例最低为 95.0%,出现在第 47 天。显然,变换后的 500 hPa 信号场满足正态性要求。图 3,4 给出 1992 年 5 月 15 日 500 hPa 信号场变换前后的比较。图 3 为原 500 hPa 高度场各格点的信噪比(计算见式(1))

的等值线分布,图 4 是 500 hPa 高度场各格点高度经过变换后(使用式(3)),再计算信噪比的等值线分布。可见变换后的 500 hPa 信号场在北部地区的分布形势略有变化。为简便起见,以后使用的信号场均为变换后的 500 hPa 信号场,仍然简称为 500 hPa 信号场。

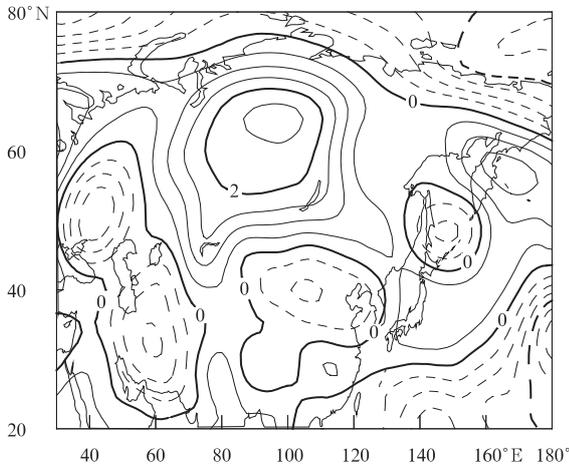


图 3 1992 年 5 月 15 日原 500 hPa 信号场

Fig. 3 The original signal field on 15 May, 1992

(The solid lines indicate positive values, and the broken lines negative values)

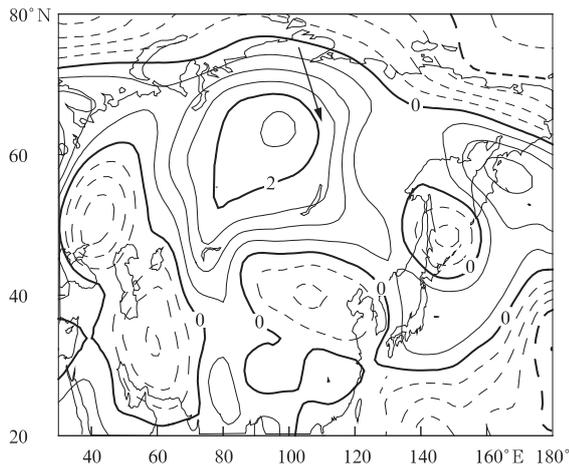


图 4 1992 年 5 月 15 日变换后的 500 hPa 信号场

Fig. 4 The transformed signal field on 15 May, 1992

(The solid lines indicate positive values, and the broken lines is negative values)

进一步研究暴雨过程的气候背景,对 500 hPa 高度场中每个格点上求 27 a 的平均值和标准差。暴雨过程的气候背景场也是随汛期(5 月 1 日~9 月 30 日)逐日变化的。平均场反映气候平均状况,标准差场则反映高度的平均变化幅度。那么,这种气

候背景是怎样演变的呢?

文中,选取长江中游的一次暴雨过程(1992 年 5 月 15~17 日)为例子。从 5 月 15 日 500 hPa 气候平均场(图 5a)可见,气候背景是在 60°N 以北的高度场有一极地低涡,而实际 1992 年 5 月 15 日的高度场,在(20°~60°N, 30°~180°E)广大范围的高度增加地区,向北伸展,特别是其中有一暖脊由(40°~60°N, 60°~100°E)的中纬地区向东北部高纬地区伸展,形成在(60°~80°N, 100°~130°E)地区当天 500 hPa 信号场的正异常。而在图 5c 中(30°~50°N, 80°~180°E)的低涡地区的高度值也明显低于相同地区平均场的高度值,形成该地区的负异常地带,插入到 500 hPa 图中的高度增加地带,使得该地带被分割成南、北两个正信号异常区。这样,在 500 hPa 信号场中(图 4),在 80°~120°E 的地区,由贝加尔湖西部向东南,经过一个弱负异常区和一个更弱的正异常区,形成自北向南的信号异常弱“+ - +”的波列(后两个异常区未达到显著水平),反映冷空气入侵华中地区,使得冷、暖空气在华中地区交汇,形成暴雨。

从 5 月 15 日 500 hPa 气候标准差分布(图 5b)可见,70°~50°N 高度变化较大的西北到东南的地带,另外在东亚东北地带也是高度变化较大的地区。而 1992 年 5 月 15 日这些地区实际高度场的异常也明显。

在 5 月 16 日 500 hPa 气候平均场图上(图略),基本形势变化不大,极涡地区略向东南扩展,形成西北—东南走向。从 5 月 16 日 500 hPa 气候标准差图(图略)发现,气候背景自 70°N 至 50°N 有一 500 hPa 高度变化较大的地带存在,只是在 120°~130°E 地区向南伸展出一个变化大的地区。在 5 月 17 日 500 hPa 气候平均场图(图略)中发现,基本形势变化很少,只是极涡地区继续向东南扩展,而在 500 hPa 气候标准差的图中(图略),气候背景自 70°N 至 50°N 变化较大的地带在 140°E 附近出现断裂。说明气候背景逐日发生变化。

为了说明高度场的气候背景变化,我们选取气候平均场 70°N,计算其纬度平均值汛期逐日变化(图 6a)。由图可见,汛期前一半时期是高度增加时期,直到第 80 天附近(7 月中旬结束)达到高峰。汛期后期是 500 hPa 高度减少的过程。从气候标准差场 70°N 纬圈平均汛期逐日变化过程曲线可见(图 6b),汛期前期是变化较大时期,主要表现在高纬地区,到第 80~120 天(7 月下旬~8 月底)达到标准差

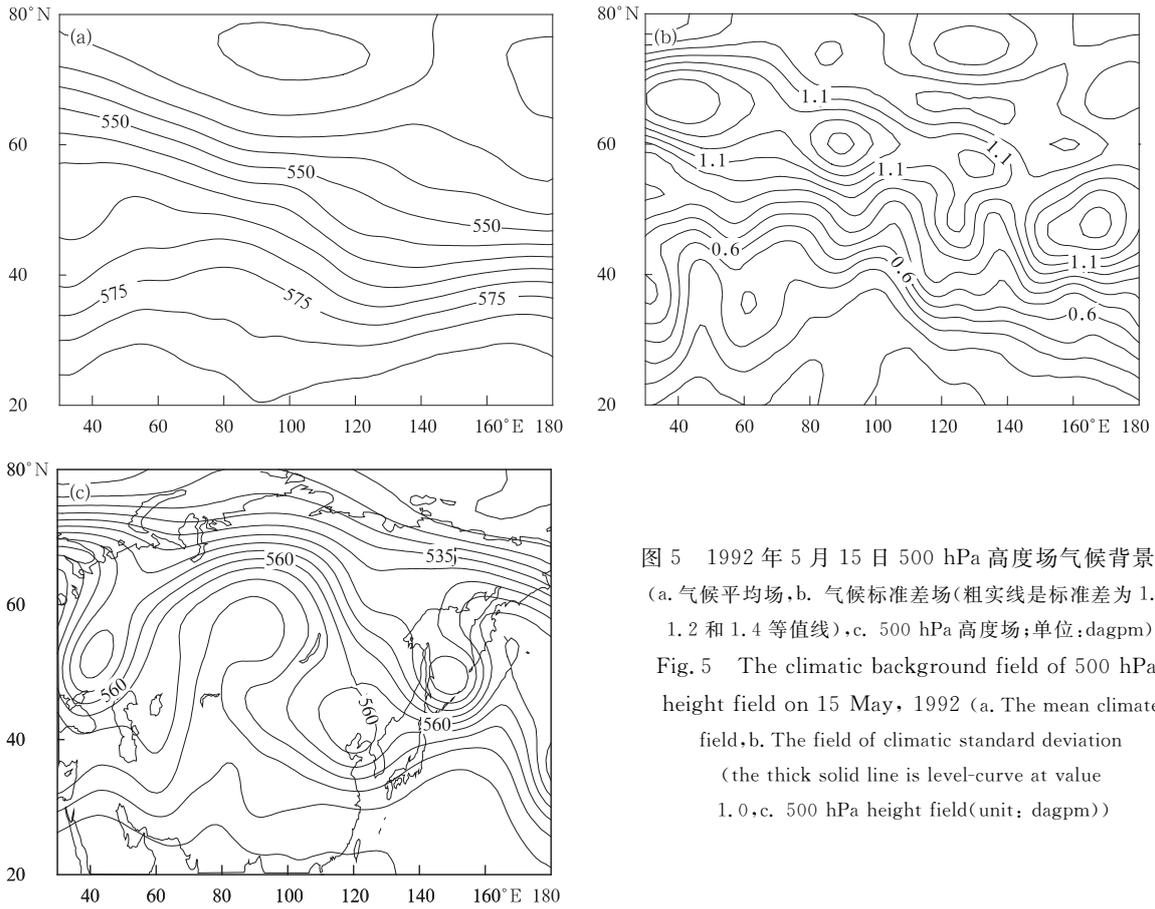


图 5 1992 年 5 月 15 日 500 hPa 高度场气候背景场
(a. 气候平均场, b. 气候标准差场(粗实线是标准差为 1.0, 1.2 和 1.4 等值线), c. 500 hPa 高度场; 单位: dagpm)
Fig. 5 The climatic background field of 500 hPa height field on 15 May, 1992 (a. The mean climate field, b. The field of climatic standard deviation (the thick solid line is level-curve at value 1.0, c. 500 hPa height field (unit: dagpm))

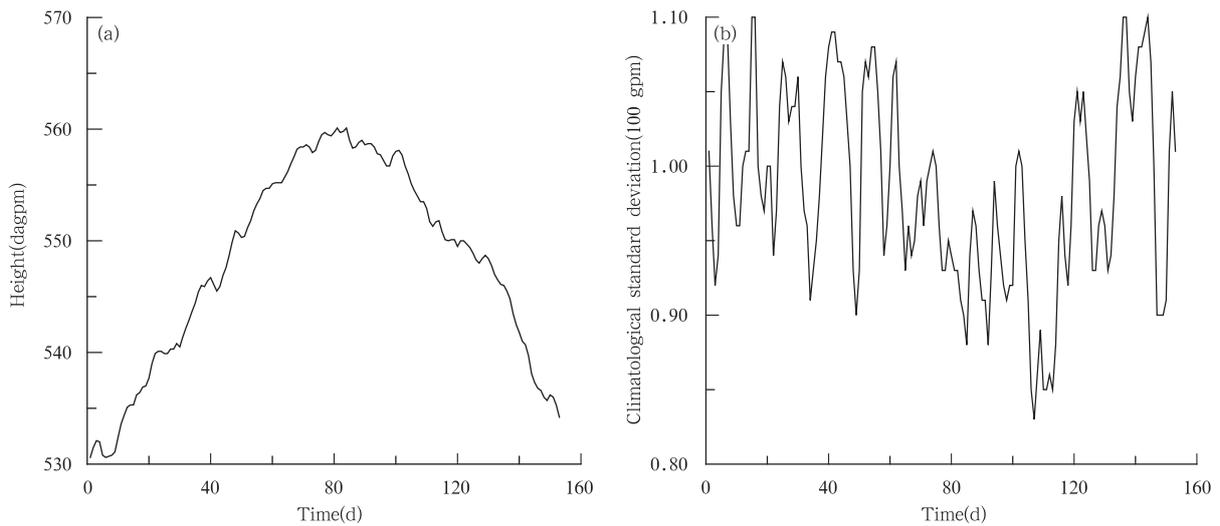


图 6 70°N 纬圈平均气候背景场汛期逐日变化过程曲线

(a. 气候平均场逐日变化, b. 气候标准差(σ)场逐日变化)

Fig. 6 The day-by-day variations of zonal mean climatological background field during the flood season on 70°N (a. The day-by-day variation of zonal mean climatic mean field in 70°N (unit: 100 gpm), b. The day-by-day variation of zonal mean climatological standard deviation (σ) field in 70°N (unit: 100 gpm))

低值期。9月以后,高度迅速减少,高纬高度变化又增加。这就是为什么暴雨常常出现在汛期开始阶段的5~7月的气候背景。

4 暴雨过程 500 hPa 信号场的规律性

为了了解暴雨过程发生的 500 hPa 信号场规律性,我们选取几个暴雨过程的第 1 天 500 hPa 信号场个例进行研究。图 7 给出 1990, 1995, 1998 和 1999 年暴雨过程第 1 天的 500 hPa 信号场比较,从图中可见,在 500 hPa 信号场中,贝加尔湖附近出现的正异常区是几场暴雨过程第 1 天的共同特征。说明长江中游地区暴雨过程的 500 hPa 信号场有共同的规律性。

为了了解暴雨过程第 1 天 500 hPa 信号场出现的规律性,取 14 次暴雨发生日 14 个 500 hPa 信号场的合成图,并进行网格点平均值的显著性检验。计算相应的 t 值,构成合成场 t 值图,在合成场 t 值图(图 8)中发现,在合成 t 值场中,看到在贝加尔湖北部有一个很强的正异常区,其中心最大值为 3.86 ($67.5^{\circ}\text{N}, 125.0^{\circ}\text{E}$),在中国长江流域北部有一个很强的负异常区,其中心最大值为 -4.10 ($32.5^{\circ}\text{N}, 105.0^{\circ}\text{E}$),在其南部有一个正异常区,有两个没有闭合的区,一个为 2.33 ($20.0^{\circ}\text{N}, 112.5^{\circ}\text{E}$),另一个为 2.10 ($20.0^{\circ}\text{N}, 95.0^{\circ}\text{E}$)。3 个异常区形成“+ - +”的波列,波列轴线约在 110°E 附近通过长江中游,而且在长江流域附近 (25°N 附近)有较密集

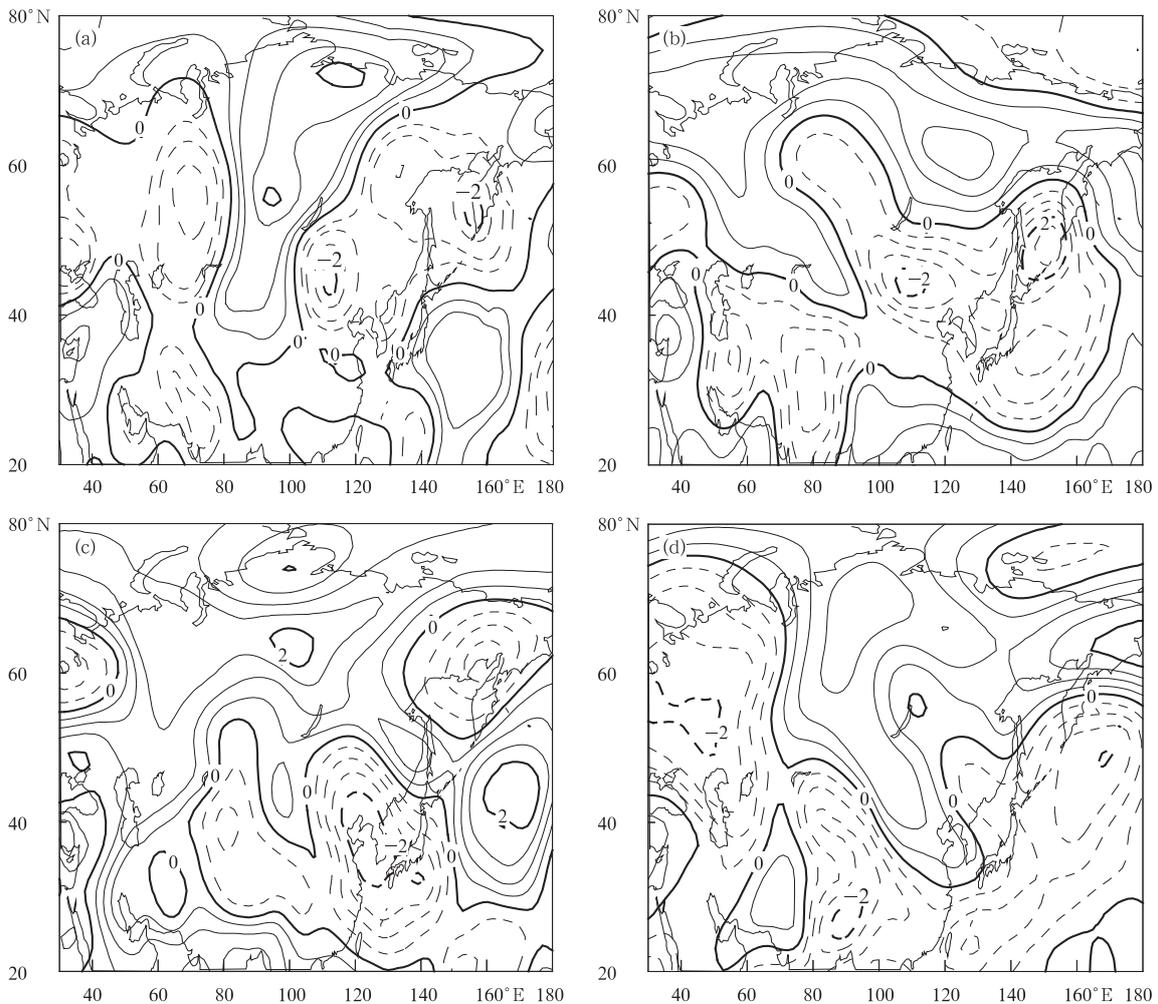


图 7 暴雨过程第 1 天的 500 hPa 信号场比较

(a. 1990 年 6 月 12 日, b. 1995 年 6 月 23 日, c. 1998 年 7 月 20 日, d. 1999 年 5 月 15 日)

Fig. 7. Comparison of the 500 hPa signal fields on the first day during the process of a rainstorm.

(a. 12 June, 1990; b. 23 June, 1995; c. 20 July, 1998; d. 15 May, 1999)

的等值线。另一个 3 个异常区形成“十—十”的波列,是指向红海地区,由贝加尔湖北部的正异常区,其中心最大值为 3.86(125.0°E,67.5°N),一个负异常区,其中心最大值为-2.60(60.0°E,35.0°N),在其西南部的一个没有闭合的正异常区,较大值为 2.88(37.5°E,25.0°N),构成另一个波列。

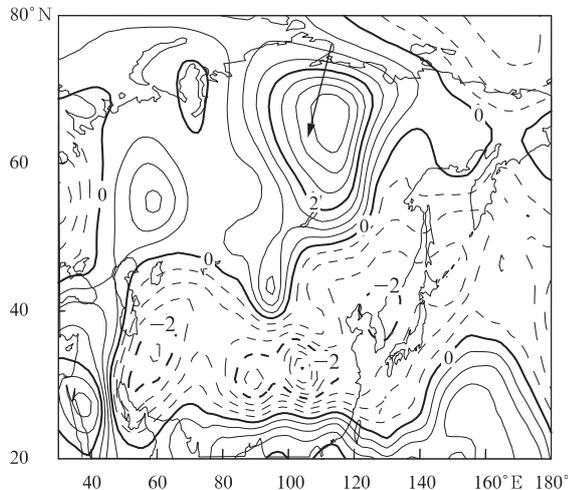


图 8 暴雨过程第 1 天 500 hPa 信号场的合成 t 值
Fig. 8. The t -values of the first signal field during the process of a heavy rainfall

为了说明合成场的代表性,进一步计算各次暴雨过程第 1 天 500 hPa 信号场与合成 t 值场网格点的相关系数,来反映它们的相似性(表 1)。在样本数为 1525(网格点数)时,5% 显著水平下,相关系数绝对值大于 0.05 为显著,从表中相似系数可见,合成场是可以作为暴雨 500 hPa 信号场的代表。

为了突出两个极端事件(有暴雨和无雨)的 500 hPa 信号场差异性,选择 1973~1999 年中无雨的 255 个 500 hPa 信号场进行合成分析,从无雨日的 500 hPa 信号场的合成 t 值(图 9)可见,在贝加尔湖附近有一个明显负异常区,其东南是一个正异常区,在其东南部是一个负异常区,反映北部没有暖脊,无法引导冷空气南下,东南部的负异常区正好是西太平洋副热带高压西部位置,说明副热带高压无法西伸,不利于长江地区降水。异常区的分布是“十—十”,正好与 14 次暴雨过程当天 500 hPa 信号场的合成 t 值(图 8)的分布相反。进一步说明暴雨过程 500 hPa 信号场的波列是有代表性的。

5 结 论

本文提出用 500 hPa 信号场来分析长江中游地

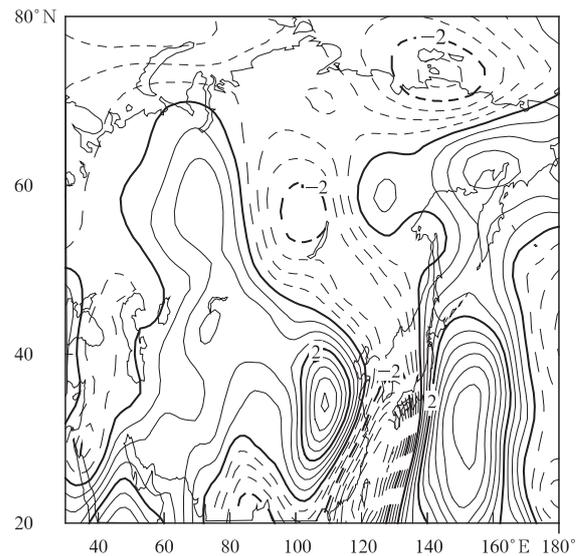


图 9 无雨日 500 hPa 信号场合成 t 值
Fig. 9 The field of t -values during the days of no rain

区中国暴雨发生的气候异常环境,通过对在中国周围东亚地区(20°~80°N,30°~180°E,)500 hPa 信号场分析,我们得到以下结论:

(1) 暴雨个例的 500 hPa 信号场分析表明,暴雨信号场中异常信号显著区的出现及相对于常年高低分布形势,可以反映冷暖空气活动的异常情况,从而分析暴雨发生的异常形势和原因。

(2) 从 14 场暴雨的 500 hPa 信号场合成分析中发现,在发生暴雨前期,正异常区常常出现在贝加尔湖附近地区(40°~50°N,80°~100°E)和中国华南地区(20°~25°N,100°~130°E),负异常区出现在中国长江中游北部地区。在 110°E 附近,形成西北—东南走向的“十—十”分布形势和波列,是暴雨出现的主要特征。

因此,500 hPa 信号场的异常分析给传统的天气学槽—脊分析方法的暴雨研究提供一个有用的补充工具。

参考文献

- [1] 程铁军,张苏.长江中下游地区特大雷暴暴雨的诊断分析及预报.气象,2001,27(10):25~27
Cheng Tiejun, Zhang Su. Diagnosis and forecast of extraordinary rainstorm in the lower middle reaches of Yangtze River. Meteor Mon(in Chinese), . 2001,27(10): 25-27
- [2] 张小玲,陶诗言,张庆云.1998 年 7 月 20~21 日武汉地区梅雨锋上突发性中- β 系统的发生发展分析.应用气象学报,2002,13(4):385~397

- Zhang Xiaoling, Tao Shiyan, Zhang Qingyun. An analysis on development of meso-convective system along MeiYu front associated with flood in Wuhan on 20—21 July 1998. *Quart Appl Meteor* (in Chinese), 2002, 13(4): 385—397
- [3] 于玉斌, 姚秀萍. “96.8”暴雨过程的尺度分离动能方程的诊断. *应用气象学报*, 1999, 10(1): 49—58
Yu Yubin, Yao Xiuping. Diagnosis of 96.8 torrential rain with the scale-separation kinetic energy equation. *Quart Appl Meteor*, (in Chinese) 1999, 10(1): 49—58
- [4] 李廷福, 廖晓农, 俞连芬. “98.7”北京大暴雨的中尺度分析. *气象*, 1999, 25(5): 44—48
Li Tingfu, Liao Xiaonong, Yu Lianfen. Mesoscale analysis of torrential rain over Beijing area in July 1998. *Meteor Mon*(in Chinese), 1999, 25(5): 44—48
- [5] 高守亭, 雷霆, 周玉淑等. 强暴雨系统中湿位涡异常的诊断分析. *应用气象学报*, 2002, 13(6): 662—670
Gao Shouting, Lei Ting, Zhou Yushu et al. Diagnostic analysis of moist potential vorticity anomaly in torrential rain systems. *Quart Appl Meteor* (in Chinese), 2002, 13(6): 662—670
- [6] Gao Shouting, Lei Ting, Zhou Yushu. Moist potential vorticity anomaly with heat and mass forcings in torrential rain systems. *China Phys Lett*, 2002, 19(6): 878—880
- [7] 冯伍虎, 程麟生, 程明虎. “96.8”特大暴雨和中尺度系统发展结构的非静力数值模拟. *气象学报*, 2001, 59(3): 294—307
Feng Wuhu, Cheng Lingsheng, Cheng Minghu. Nonhydrostatic numerical simulation for the “96.8” extraordinary heavy rainfall and the developing structure of mesoscale system. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese) 2001, 59(3): 294—307
- [8] 张顺利, 陶诗言, 张庆云等. 1998年夏季中国暴雨洪涝灾害的气象水文特征. *应用气象学报*, 2001, 12(4): 442—457
Zhang Shunli, Tao Shiyan, Zhang Qingyun, et al. Meteorological and hydrological characteristics of severe flooding in China during the summer of 1998. *Quart Appl Meteor* (in Chinese), 2001, 12(4): 442—457
- [9] 范梅珠, 江吉喜. 1999、1998年长江流域暴雨成因对比分析. *气象*, 2001, 27(4): 38—41
Fan Meizhu, Jiang Jixi. Study of heavy rainfall causes contrasting 1999 to 1998 summer over Changjiang River Basin. *Meteor Mon* (in Chinese), 27(4), 38—41
- [10] 黄嘉佑, 杨扬, 周国良. 我国暴雨的500 hPa高度信号场分析. *大气科学*, 2002, 26(2): 221—229
Huang Jiayou, Yang Yang, Zhou Guoliang. A study of the 500 hPa—signal field about torrential rainfall in China. *Scientia Atmospherica Sinica*(in Chinese), 2002, 26, 221—229
- [11] 黄嘉佑, 杨扬, 周国良. 500 hPa高度场的信号场突变与我国暴雨的发生规律性研究. *大气科学*, 2002, 26(5): 625—632
Huang Jiayou, Yang Yang, Zhou Guoliang. Jump phenomena in the 500 hPa signal field and the occurrence of China's heavy rainfalls. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 2002; 26(5), 221—229
- [12] 黄嘉佑. *气象统计分析与预报方法*. 北京: 气象出版社, 1990. 387pp
Huang Jiayou. *Methods for Statistical Analysis and Forecasting in Meteorology*. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese), 1990. 387pp

AN ANALYSIS OF THE 500 HPA SIGNAL FIELD FOR HEAVY RAINFALL EVENTS OVER THE MIDDLE REACHES OF THE YANGTZE RIVER IN CHINA

Lu Huijuan Samuel S. P. Shen

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Huang Jiayou

(Department of Atmospheric Science, School of Physics, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

The signal field of 500 hPa anomalies for the heavy rainfall events was analysed over the Middle Reaches of Yangtze River, China. A t -test for the composite signal field has been developed. The analysis of the 1977–1999 observational data implies that the appearance and distribution of anomaly in the 500 hPa signal field is an important precursory signal of heavy rainfall. The analysis of the composite signal field of 14 heavy rainfall cases indicates that on the first day of a heavy rainfall event, a positive anomaly occurred over the northwest of China (40° – 50° N, 80° – 100° E), and another over the south of China (20° – 25° N, 100° – 130° E), while a negative anomaly occurred over the area northern of the Middle Reaches of Yangtze, i. e., (30° – 50° N, 100 – 150° E). Thus, a wave pattern $+ - +$ has been identified from the northwest to the southeast in China.

Key words: Heavy rainfall, 500 hPa signal field, Analysis of the composite signal field, t -test for the composite signal field.