

# 我国暴雨的 500 hPa 高度信号场分析\*

黄嘉佑

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

杨扬

周国良<sup>P4</sup> A

(水利部水利信息中心, 北京 100053)

**摘要** 提出用气候信号噪音比的概念来分析 500 hPa 逐日高度场, 并建立 500 hPa 高度信号场用来分析我国暴雨发生的气候异常环境。从暴雨发生日当天和前两天的 500 hPa 高度场中提取气候异常信号, 发现在中国周围的东亚地区 (30~180°E, 80~20°N), 500 hPa 信号场的西部出现显著负信号区, 中部为正显著信号区, 东北部为显著负信号区, 大体自西向东呈经向-+-的分布形势。信号场主要显著信号区大体分布在我国境外的西部和东部, 它们的符号相反, 造成我国各大流域地区出现暴雨的主要模态。结果表明, 此方法能进行天气意义分析和气候异常现象的统计规律诊断, 对我国年度暴雨短期预报分析有一定的参考价值, 可以作为传统天气动力诊断的补充工具。

**关键词:** 暴雨; 信号场; 主分量分析

## 1 前言

我国暴雨出现的地域从南部广东的北江流域到北部东北辽宁的太子河流域, 覆盖我国主要经济发达地区, 给国民经济带来严重影响。暴雨发生规律的研究一直是气象学研究的前沿课题。

通常暴雨的短期预报主要靠天气和动力诊断分析和数值模式进行预报。统计方法常常只能通过模式输出统计 (MOS) 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。在天气和动力诊断分析方面往往只限于个例分析, 对单个个例的暴雨成因可以了解很细<sup>[1~3]</sup>, 但是对多次暴雨发生的气候学规律, 则很难进行大量个例的规律性总结。而且, 天气学诊断分析往往只着眼某一天的空间形势分布的差异 (例如, 槽脊位置, 低涡位置), 在时间分析方面仅着眼于几天的变化过程, 未能从多年气候背景中对天气系统的强度进行分析。因此, 有必要对传统的空间天气系统分析手段, 扩充到时间域上进行分析, 把短期天气系统的演变过程, 放到长期气候时间尺度上进行分析。

另外, 暴雨的发生是小概率事件, 一直是统计预测的难题, 一般只从平均旱涝态进行研究<sup>[5]</sup>, 没有把短时天气系统和气候研究结合起来。用统计方法能否对作个例的天气动力诊断进行补充分析, 并从多次暴雨的分析中得到一些暴雨发生的共性规律, 这是很值得研究的。实际上, 每场暴雨的发生虽是表现在天气变化上, 但暴雨是一种灾害性很强的现象, 在天气系统变化中属于突变很强的变化过程, 在这个过程中, 特别是暴雨发生的前期演变中, 会对应有其他非天气的异常现象发生。因此, 我们有必要通过

2000-06-30 收到, 2001-06-22 收到再改稿

\* 国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究”(G1998040901-1)

资助

其他气象要素的异常信号进行诊断分析,对多次暴雨发生的气候学进行规律性的研究和总结,有可能发现某些共同的分布形势特征,以及有气候意义的先兆,这对研究暴雨短期气候预测有一定意义。

500 hPa 高度场的变化是天气现象变化在对流层大气气象要素的主要代表,如果能在它们的变化中提取长期变化中的异常信号,对它们演变过程进行诊断分析,就有可能发现暴雨发生前的大气突变先兆。本文提出的用 500 hPa 高度信号场进行气候背景上的异常信号诊断方法,无疑可以弥补传统天气动力诊断工具的不足,能够把短时天气尺度变化在气候背景尺度上进行分析,这是天气系统不同尺度上的结合。

## 2 方法与资料

在对短期天气过程与长期天气过程关系的研究中,不少气象学家认为大气的振动是由内部动力和缓慢外力之间复杂的相互作用而产生的。系统内部由动力所产生的扰动影响只能持续几天,对长期天气变化尺度而言,可看成为杂乱无章的噪音,称为自然变化(natural variability)或气候噪音(climate noise)。长期天气过程,外力的影响是主要的。缓慢外力来自包括下垫面热状况和水汽的长期变化,称为气候信号(climate signal)<sup>[6,7]</sup>。

为了提取逐日 500 hPa 高度场的气候变化特征,我们选取东亚地区 1973 年到 1995 年共 23 年北半球 500 hPa 高度场 5~10 月份的逐日资料,总日数为  $23 \times 6 \times 30 + 23 \times 4 = 4232$  天,格点数为  $61 \times 25 = 1525$ ,格距是  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  ( $30^\circ \sim 180^\circ\text{E}$ ,  $80^\circ \sim 20^\circ\text{N}$ )。由于短期气候尺度一般是以月为单位,所以逐日高度场的变化以逐月多年平均和标准差场作为比较基础,对逐月高度场各个网格点进行标准化,即用每一格点上的高度值与同一格点上月多年平均值的差值反映气候信号,以该格点多年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气候异常信号场,简称为信号场。在场中可以做信号等值线分析。在假定网格点高度变量遵从正态分布情况下,根据假设检验的理论,当显著水平为 5% 时,网格点标准化绝对值大于 1.96 可认为有明显异常信号。所以,我们近似地把大于 1.50 包围的地区定义为逐日高度场变化的较显著信号区。

根据我国水利部门资料,我们选取这 23 年期间发生在我国地区的 13 场致洪暴雨(见表 1)作为主要分析对象。

为了提取 500 hPa 高度信号场变化的共同特征,我们使用主分量分析(PCA)方法<sup>[11]</sup>,对所研究的对象(暴雨当日、前期日的标准化高度场),提取其信号场变化的主要特征模式。为比较暴雨

表 1 我国致洪暴雨场次 (1973~1995 年)

场次	年份	月	日	流域
1	1982	5	12	北江
2	1982	6	14	赣江
3	1975	7	7	湘江
4	1975	7	11	西江
5	1981	7	12	嘉陵江
6	1983	7	22	淮河
7	1983	7	28	嘉陵江
8	1982	7	29	颍河
9	1980	8	1	澧水
10	1971	8	7	淮河
11	1981	8	19	太子河
12	1974	9	11	汉江
13	1972	9	26	嘉陵江

发生日与前期各日的 500 hPa 高度场或信号场之间的相似性, 我们还使用相似系数进行度量。即对任意两个场:  $x_i$  ( $i = 1, n$ ) 与  $y_i$  ( $i = 1, n$ ) ( $n$  为场中格点数), 两场相似系数为

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2)(\sum_{i=1}^n y_i^2)}} \quad (1)$$

### 3 信号场分析的天气学意义

为了说明信号场的变化特征, 及它们与天气学诊断的异同点, 我们给出两场暴雨信号场的分布个例进行说明。

一个是 1975 年 8 月 7 日出现在淮河流域的暴雨。从图 1a 可见, 当天的暴雨主要是由于 500 hPa 高度场中切断低压造成, 位于 ( $140^\circ\text{E}$ ,  $40^\circ\text{N}$ ) 附近, 这一低压及它的西北部的脊使冷空气从北部不断南下, 与西太平洋副高的西南暖湿气流交汇, 形成暴雨。切断低压是一般性的天气系统, 为什么有时出现却没有带来暴雨? 只从某一天的 500 hPa 高度场形势分布上很难给予解释, 但从信号场上 (图 1b) 则可以得到较好的说明。从图 1b 看见, 显著信号区成片分布, 大体自西向东呈向  $+ - +$  的分布形势。信号场很强的显著正信号区由西南向东北占据了大面积范围, 其中有两个闭合中心, 一个位于所取的东亚地区东北部 ( $120 \sim 160^\circ\text{E}$ ,  $75 \sim 50^\circ\text{N}$ ), 另一个位于西南部 ( $40 \sim 60^\circ\text{E}$ ,  $40 \sim 30^\circ\text{N}$ ), 处在东北部的正异常区对应高度场的脊区, 说明当天高度场上的脊区比常年 (气候背景) 有十分异常的表现, 在该地区高度有异常增加。在它的南部 ( $60 \sim 120^\circ\text{E}$ ) 是一个比常年高度要低的地区, 即低压区, 正负显著区之间的梯度差很大, 正负异常区之间等值线密集交汇在 ( $60 \sim 30^\circ\text{N}$ ,  $120 \sim 140^\circ\text{E}$ ) 附近, 与冷空气南下路径对应。另外, 值得注意的是, 我国西部的正显著异常区, 也对应为 500 hPa 高度场的脊区, 它的东北部出现负异常区, 对应 500 hPa 高度场为一槽区。反映在我国西南部 ( $60 \sim 80^\circ\text{E}$ ,  $60 \sim 40^\circ\text{N}$ ) 有暖湿空气北上, 贝加尔湖地区的冷空气从我国西北地区南下, 造成淮河流域暴雨出现。值得指出的是, 在信号场上, 东亚地区范围的西南到东北广泛的正异常区, 与东南和南部的负异常区广大地域的分布形势, 是 500 hPa 高度场天气学分析中所谓的“东低西高”型。显然, 异常信号区域的分布形势是该场暴雨发生的主要因素。

为了说明暴雨日信号场的气候异常特征, 取非暴雨日的信号场进行比较。1975 年 8 月 7 日淮河流域致洪暴雨的过程是从 1975 年 8 月 4 日开始到 8 月 9 日结束, 选取暴雨日前 7 天 (7 月 31 日, 无暴雨日) 的信号场 (图 1c) 进行比较。由图可见, 信号场的显著信号区分布比较零乱, 面积也较小, 计算表明显著信号区格点数较暴雨日少。

另一场是 1983 年 7 月 22 日仍然出现在淮河流域的暴雨。500 hPa 高度场的天气形势似乎与 1975 年 8 月 7 日的淮河流域致洪暴雨不同, ( $100 \sim 120^\circ\text{E}$ ,  $60 \sim 40^\circ\text{N}$ ) 的槽区位置代之为东南西北方向伸展的脊区, 它的西部出现低槽, 由槽后冷空气与副高西南

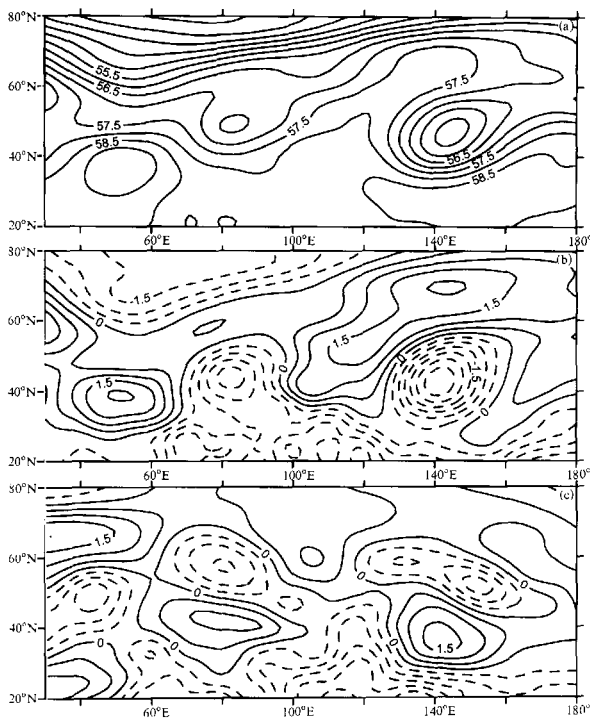


图1 1975年8月7日淮河流域致洪暴雨形势场  
(a) 500 hPa 高度场; (b) 对应的信号场; (c) 暴雨日前7天(无暴雨日)的信号场

暖湿气流交汇, 形成暴雨(见图2a)。显然, 在天气学分析上, 这两场暴雨无任何共同之处。但是, 从图2b发现, 显著信号区也成片分布, 大体自西向东呈经向+ - -的分布形势。500 hPa信号场的显著正信号区位于东亚地区中部(60~160°E, 80~20°N)偏南的地区, 在我国东南部有显著正信号区, 表明西太平洋副高东伸加强。同时, 我国东北部是负异常区, 对应于低高度值, 正负异常区之间等值线密集交汇在(120~160°E, 30°N)附近。表明该地区是副高西北的冷暖空气交汇地区, 造成我国淮河流域暴雨出现。在信号场上, 东亚地区的西部为显著负异常区, 与东南到西北方向的正异常区的分布形势, 可以概括为“西负东正”型, 相当于500 hPa高度场天气学分析的所谓“西低东高”型, 信号场的分布形势与1975年8月7日的淮河流域致洪暴雨近似相反。

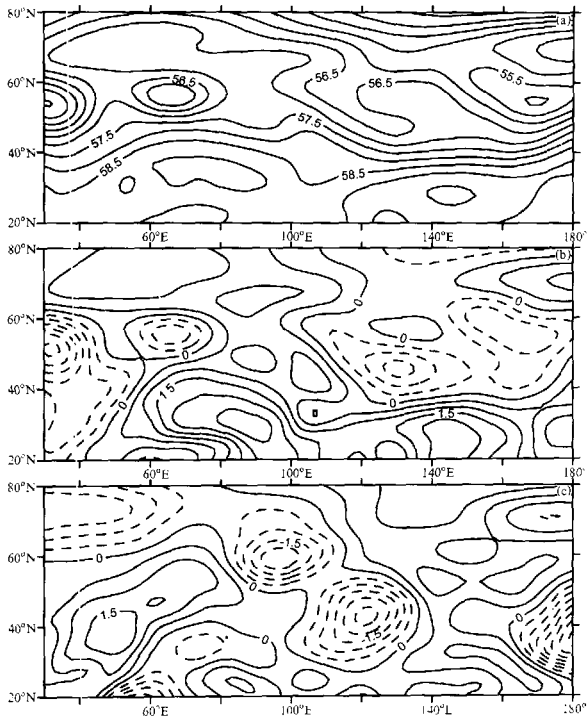


图 2 1983 年 7 月 22 日淮河流域致洪暴雨

(a) 500 hPa 高度场; (b) 对应的信号场; (c) 暴雨日前 7 天 (无暴雨日) 的信号场

同样选取暴雨日前 7 天 (无暴雨日) 的信号场 (图 2c) 进行比较。由图可见, 信号场的显著信号区分布比较零乱, 面积也较小, 计算表明显著信号格点数较暴雨日少, 而且东亚地区没有正负显著信号区的交汇地。

因此, 信号场的分析着重强调当天高度场对常年状态的变化性, 它可以弥补天气学分析方法的不足。

#### 4 暴雨信号场的特征分析

为了寻找暴雨发生信号的共同规律性, 我们对 13 场暴雨日的信号场作 PCA 分

表 2 暴雨信号场的主分量累积方差

分量	1	2	3	4	5	6
当天	0.189	0.340	0.474	0.582	0.662	0.734
前 1 天	0.177	0.343	0.487	0.584	0.661	0.730
前 2 天	0.195	0.351	0.487	0.584	0.666	0.744

析<sup>[8]</sup>，从表 2 看出暴雨当天有一定的信号共同性的提取度，因为取前 6 个主分量，其累积方差已达到 73%。图 3 给出前 2 个主分量荷载场，前两个场所反映的信号场模态可以解释总变化 53% 的方差。

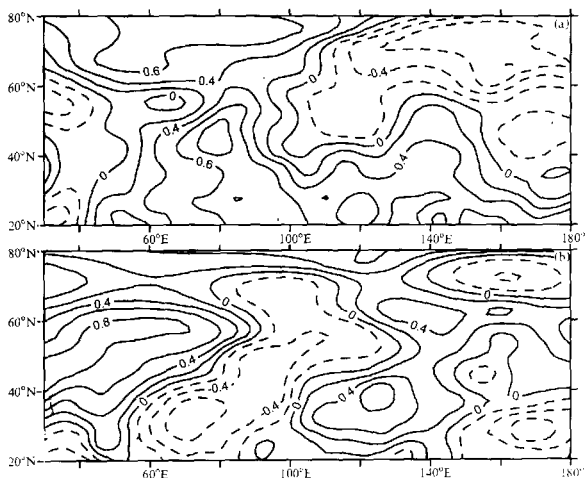


图 3 暴雨当天的信号场前 2 个主分量荷载场  
(a) 第 1 主分量; (b) 第 2 主分量

在 13 场暴雨的信号场中，第 1 模态能解释它们约 20% 的共同性。从图 3a 中可见，在分析范围的西南部 (30~40°E, 60~20°N) 有一负值区，在我国西部 (60~100°E, 60~40°N) 有一异常正值区，荷载值超过 0.5，而在东北部 (110~180°E, 80~60°N) 有一负异常区，分布形势呈+-+，或者呈相反的+-+分布形势。大的形势分布是西北-东南走向的正异常区与东北的负异常区对应，其分布为“东负西正”型。反映暴雨发生时，在 500 hPa 高度场上，我国西部可能出现高脊，而东北部则出现槽区。例如，1983 年 7 月 22 日，从图 2b 可见，主要显著信号区位于我国西部和东南部。另一模态相反，西部有槽，东北部出现阻塞高压。1975 年 8 月 7 日 (见图 1b)，显著主要信号区也位于我国西部和东南部。

第2模态中我国西部(40~80°E, 60~40°N)有一异常正值区, 荷载值超过0.5, 而在我国西部(60~120°E, 70~20°N)有一负异常区, 与另一(140~180°E, 80~60°N)负异常区对应, 形成由西南到东北向的负异常区分布, 而我国东部(100~140°E, 50~20°N)有一正异常区, 呈+-+或相反的-+-分布形势(或反之)。与第1模态不同的是这一模态大体为西部的正异常区与东北-西南走向的负异常区对应。这一模态的代表是1982年5月12日, 从图4可见, 正值显著信号区仍然位于我国西部, 只不过位置比第1模态更偏西, 中间有负值区相隔, 此负值区由西南(60~80°E, 40~25°N)延伸至东北(140~170°E, 80~65°N), 另一正值显著信号区位于(120~150°E, 40~20°N), 分布形势呈+-+。大的形势分布是东北-西南走向的负异常区与西部的正异常区对应, 其分布也可称为“东负西正”型。另一模态相反, 西部有负异常区, 而东北部出现正异常区。例如, 1976年7月7日, 西部有一负值显著信号区(30~70°E, 60~40°N), 在它的东部有一正值显著信号区, 位于(50~70°E, 40~30°N), 另一负显著信号区位于我国东部, 位于(90~150°E, 45~20°N)(见图5), 分布形势呈-+-。大的形势分布是东北的正异常区与西部的负异常区对应, 其分布也可称为“东正西负”型。

值得指出是, 上述两个主要模态的共同特点是信号场的主要显著信号区大体分布在我国境外的西部和东部。

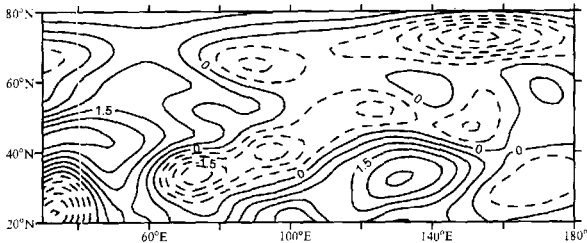


图4 1982年5月12日北江流域致洪暴雨500 hPa 信号场

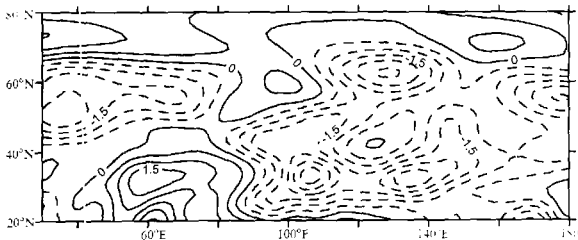


图5 1976年7月7日湘江流域致洪暴雨500 hPa 信号场

为了考察暴雨前一天是否也有类似的异常信号模态出现,我们取 13 场暴雨前一天的资料做主分量分析,仍取前 6 个主分量,其收敛性比暴雨当天的略差,不过也能达到 70% (见表 2)。发现第 1 主分量的因子荷载场(图略)最大的荷载区与暴雨当天的标准化场第 2 个模态最相似(见表 3),主要正值区在我国西部, (40~80°E, 60~40°N) 有一异常正值区,荷载值超过 0.7。为比较它们的相似性,我们用(1)式计算了前两个荷载场模态之间的相似系数,并列在表 3 上。从中发现第 2 主分量的因子荷载场与暴雨当天的标准化场第 1 个模态很相似,反映当天与前一天信号场是相似的。

表 3 暴雨的前 2 天与当天信号场前 2 个模态的相似性比较

	PC11	PC21	PC12	PC22
PC10	0.154	0.816	0.198	0.548
PC20	0.833	-0.284	0.690	-0.084

注: PC 表示主分量, PC 后第一个数字表示第几个主分量,第二个数字表示暴雨发生日前第几天。

类似地,我们还分析了暴雨发生前 2 天的信号场主分量的主要模态,其累积方差也达到 74% (见表 2)。进一步计算与当天信号场的主分量主要模态的相似性,发现它们与暴雨当天的前两个模态仍有相当高的相似度。由于暴雨当天的前两个模态分布形势有一定的相似性,且可以有 53% 的代表性,说明暴雨过程在信号场上显著信号区的分布存在一定的规律性。

因此, 500 hPa 信号场的西部出现显著负信号区,中部为正显著信号区,东北部为显著负信号区,大体自西向东呈经向-+-的分布形势。大的形势分布是西北-东南走向的正异常区与东北的负异常区对应或是相反分布形势。信号场主要显著信号区大体分布在我国境外的西部和东部,它们的符号是相反的。这种信号异常区的配置似乎是造成出现在我国各大流域地区暴雨的主要模态。这与一些学者对长江地区特大洪涝成因的分析结论是一致的<sup>[9]</sup>,他们认为由西南季风强盛和东亚阻塞高压维持的 500 hPa 场分布形势,是造成长江地区多雨的主要原因。

## 5 结论与讨论

本文提出用 500 hPa 高度信号场来分析我国暴雨发生的气候异常环境,从暴雨发生日当天和前 2 天的 500 hPa 高度场中提取信号场和气候异常信号,对中国周围东亚地区(30~180°E, 80~20°N) 500 hPa 信号场分析表明:

(1) 暴雨个例的 500 hPa 信号场中异常信号显著区的出现及比常年高或低分的布形势是暴雨发生的基本原因。

(2) 在 500 hPa 信号场的西部出现显著负信号区,中部为正显著信号区,和东北部为显著负信号区,大体自西向东呈经向-+-的分布形势。大的形势分布是西北-东南走向的正异常区与东北的负异常区对应或是相反分布形势。或者, 500 hPa 信号场的西部出现负信号区和东北部为正信号区或是相反分布形势,是造成我国各大流域地区出现暴雨的主要模态。

(3) 多场暴雨信号场大形势配置规律的共同特点是,信号场主要显著信号区大体分



布在我国境外的西部和东部。它们的符号是相反的。

应该说, 天气学对暴雨个例分析表明, 暴雨出现的形势很难有共同之处。本文所使用的方法, 能通过多场暴雨所对应 500 hPa 信号场的分布形势, 进行天气意义分析。另外, 从气候异常的角度对暴雨现象作统计诊断, 可以得到一些有规律性的结论。这些研究无疑对我国年度暴雨短期预报分析有一定的参考价值, 可以作为传统天气动力诊断的补充工具。

### 参 考 文 献

- 1 张玉琴, 高脊强暴雨过程的分析和预报, 成都气象学院学报, 1999, 25(2), 156~162.
- 2 陈文选, 王俊, 刘文, 一次冷涡过程降水的微物理机制分析, 应用气象学报, 1999, 10(2), 190~198.
- 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.
- 4 李廷福, 李晓农, 俞连芬, "98.7"北京大暴雨的中尺度分析, 气象, 1999, 25(5), 44~48.
- 5 朱正义, 刘敏, 周月华等, 1998年长江中游暴雨洪涝特征分析, 暴雨·灾害(三), No.2, 国家"九五"重中之重科技项目 96-908-05-04 专题"华中地区旱涝预测系统研究"专辑, 北京: 气象出版社, 1999, 1~8.
- 6 Leith, C. F., The standard error of time-average estimates of climatic means, *J. Appl. Meteor.*, 1973, 12, 1066~1075.
- 7 Hayashi, Y., Confidence intervals of a climatic signal, *J. Atmos. Sci.*, 1982, 39, 1895~1905.
- 8 黄嘉佑, 气象统计分析与预报方法, 北京: 气象出版社, 1990, 387pp.
- 9 丁一, 湖北省特大旱涝成因、规律及预报技术, 暴雨·灾害(三), No.2, 国家"九五"重中之重科技项目 96-908-05-04 专题"华中地区旱涝预测系统研究"专辑, 北京: 气象出版社, 1999, 77~83.

## A Study of the 500 hPa-Signal Field about Heavy Rainfall in China

Huang Jiayou

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Yang Yang and Zhou Guoliang

(Water Resources Information Center, Ministry of Water Resources, Beijing)

**Abstract** A study of the rule about the heavy rainfall is investigated using the 500 hPa-signal field. The climate signals have been extracted from 500 hPa constant level chart. They are extracted from the day of the heavy rainfall and two preceding days. The synoptic diagnosis in the signal field can be analyzed. The rule about occurrence of the heavy rainfall and the anomaly climate signal in signal field also is revealed in a normal climate background. It can be found that the significant signal area with negative values in west of the area in East Asia (30~180°E, 80~20°N), the middle is of the significant signal area with positive values, and the east area is the significant signal area with negative values. It displays a pattern with the mark "+ -", or otherwise. It can be also found that the significant signal areas are in the east and west with the opposed symbol in East Asia. The results of the study show that the signal field can be used as a new accompanied tool in the synoptic diagnosis.

**Key words:** heavy rainfall; signal field; principal component analysis