

张萍萍,钟敏,董良鹏.湖北省两类典型极端降水过程气象因子异常特征对比[J].海洋气象学报,2022,42(1):23-31.  
ZHANG Pingping, ZHONG Min, DONG Liangpeng. Comparison of abnormal characteristics of meteorological factors in two typical extreme precipitation processes in Hubei Province[J]. Journal of Marine Meteorology, 2022, 42(1): 23-31. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2022.01.003. (in Chinese)

## 湖北省两类典型极端降水过程气象因子异常特征对比

张萍萍<sup>1,2</sup>, 钟敏<sup>3</sup>, 董良鹏<sup>3</sup>

(1.山东省气象防灾减灾重点实验室, 山东 济南 250031; 2.威海市气象局, 山东 威海 264200; 3.武汉中心气象台, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 利用 NCEP/NCAR 再分析数据和其他常规观测数据, 对湖北省两类典型极端降水型(南北气流汇合型、南北槽叠加型)的天气背景及气象因子异常特征进行分析, 结果表明: 南北气流汇合型 500 hPa 上形成南北气流汇合形势, 低层切变线南侧南风发展异常强盛, 地面上冷锋入暖槽形成静止锋, 动力因子(850 hPa 涡度、200 hPa 散度)和水汽因子(大气可降水量)异常特征显著; 南北槽叠加型 500 hPa 上形成南北槽叠加形势, 低层或边界层形成显著低涡切变, 地面上暖低压强烈发展, 动力因子(200 hPa 散度、925 hPa 涡度)和不稳定因子(700 hPa 温度平流)异常度比例偏高。最后给出了两类集天气背景与气象因子异常度配置于一体的极端降水天气概念模型。

**关键词:** 极端降水; 气象因子异常度; 天气概念模型

中图分类号: P426.6 文献标志码: A 文章编号: 2096-3599(2022)01-0023-09

DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2022.01.003

## Comparison of abnormal characteristics of meteorological factors in two typical extreme precipitation processes in Hubei Province

ZHANG Pingping<sup>1,2</sup>, ZHONG Min<sup>3</sup>, DONG Liangpeng<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong, Jinan 250031, China; 2. Weihai Meteorological Bureau, Weihai 264200, China; 3. Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074, China)

**Abstract** Based on the NCEP/NCAR reanalysis data and other conventional observation data, the abnormal characteristics of weather background and meteorological factors of two typical extreme precipitation types (north-south flow convergence type and north-south trough superposition type) in Hubei Province are analyzed. The results show that there is a convergence of the north and south airflow at 500 hPa for north-south flow convergence type. The southerly wind on the south side of the low-level shear line develops extremely strongly and the cold front on the ground enters the warm trough to form a stationary front. The dynamic factors (vorticity at 850 hPa and divergence at 200 hPa) and water vapor factor (atmospheric precipitable water) have significant abnormal characteristics. For north-south trough superposition type, the north and south troughs are superimposed at 500 hPa. There are significant vortex shear formed in the low layer or boundary layer, and the warm and low pressure on the ground develops strongly. The ratios of the abnormal degree of dynamic factors (divergence at 200 hPa and vorticity at 925 hPa) and instability factor (temperature advection at 700 hPa) are high. Finally, two conceptual models of extreme precipitation weather are presented, which combine the weather background and the abnormal degree of meteorological factors.

**Key words** extreme precipitation; abnormal degree of meteorological factor; conceptual model of weather

收稿日期: 2021-06-07; 修订日期: 2021-08-11

基金项目: 中国气象局公共气象服务中心创新基金项目(M2021019)

通信作者: 张萍萍, 女, 正高级工程师, 主要从事极端降水天气分析工作, zpp7117@126.com。

## 引言

近些年来,全球气候变暖,极端降水事件频发,不仅导致河道漫溢、农田被淹、房屋倒塌,还会引发山洪、滑坡、泥石流、城市渍涝等次生灾害,造成的灾害损失非常严重。

目前极端降水预报仍是天气预报中的一大难题,许多学者对其进行了气候和天气学方面的研究。袁文德等<sup>[1]</sup>对1962—2012年西南地区极端降水事件的时空变化特征进行了统计分析。刘学华等<sup>[2]</sup>分析了中国近40 a极端降水的分布特征及年代际差异。任正果等<sup>[3]</sup>总结归纳了1961—2011年中国南方地区极端降水事件变化规律。孙继松等<sup>[4]</sup>从中尺度系统结构演变特征方面,对2012年“7·21”北京极端降水成因进行了分析,指出地形强迫造成的暖区内中尺度辐合以及低空急流增强过程中的风速脉动触发初始对流,中尺度对流单体沿低空急流轴左侧传播形成“列车效应”是极端降水的成因。孙军等<sup>[5]</sup>从降水效率、水汽、上升运动、持续时间等方面探讨了“7·21”北京极端降水的成因。符娇兰等<sup>[6]</sup>对2016年7月华北极端强降水特征及天气学成因进行了分析,指出异常强的垂直速度和异常充沛的水汽以及地形增幅是此次极端降水的重要原因。娄小芬等<sup>[7]</sup>分析了山脉地形对台风“利奇马”极端降水的增幅作用。秦思等<sup>[8]</sup>发现环境因子、地形和内部条件多尺度相互作用是台风“菲特”极端降水的主要成因。郑怡等<sup>[9]</sup>指出低层强风速带在鲁中山区迎风坡强迫抬升不断触发中尺度对流系统,在中高层气流引导和地形作用下产生“列车效应”是台风“温比亚”造成山东极端强降水的成因。马蕴琦等<sup>[10]</sup>研究发现南海季风与台风相互作用是强热带风暴“碧利斯”产生极端降水的一个重要原因。

还有一些学者对极端强降水的天气类型进行了总结。孙建华等<sup>[11]</sup>把华北夏季特大暴雨过程的天气形势分为5型,分别为台风与低槽(低涡)远距离相互作用型、低涡(登陆台风)与西风槽相互作用型、登陆台风北上受高压阻挡停滞型、低涡暴雨型和暖切变暴雨型。侯淑梅等<sup>[12]</sup>将山东省极端强降水天气形势分为高空槽类、副热带高压外围类、切变线类、气旋类、热带气旋类。肖递祥等<sup>[13]</sup>将四川盆地极端暴雨天气分为东高西低和两高切变两类。张家国等<sup>[14]</sup>对湖北省60例极端短时强降水过程进行分析,归纳出5类主要影响天气系统,即锋面气

旋、西南涡切变、西南涡-东北气旋、暖倒槽和登陆台风。孙兴池<sup>[15]</sup>研究认为地面倒槽是有利于极端降水产生的一个重要的天气系统。张芹等<sup>[16]</sup>研究发现当副热带高压边缘出现水汽通量跃增现象和“列车效应”时,有利于极端降水的产生。

综合以上分析发现,学者们对于极端降水的天气学机理及天气分型方面研究较多,但是天气学方面的极端降水研究多局限于单个个例,而利用天气分型方法进行极端降水的落区预报还存在一定困难。基于此,本文在对湖北省极端降水进行天气分型的基础上,对造成极端降水的主要气象因子的异常特征及其阈值进行统计分析,探讨导致极端降水形成的关键气象因子的定量性特征,以期对极端降水过程的预报预警服务提供有力的量化参考依据。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

所用数据:湖北省1981—2016年3个探空站数据和78个国家级地面气象观测站数据;气候背景数据选取1981—2012年格点为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的NCEP/NCAR逐6 h再分析数据,主要计算了大气可降水量等物理量及气象因子异常度。

### 1.2 气象因子异常度及异常度比例计算

为了研究极端强降水事件中各物理量的异常度特征,应用标准化距平法计算气象因子异常度,公式如下:

$$N = (X - \mu) / \sigma \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2} \quad (2)$$

式(1)和式(2)中 $N$ 表示因子的异常度, $X$ 为要素值, $\mu$ 为要素平均值, $\sigma$ 为标准差, $n$ 为样本数,其中要素平均值根据1981—2012年的NCEP/NCAR $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 再分析数据,应用滑动平均法,取当天前10 d、当天和当天后10 d共21 d的数据计算得到。GRUMM and HART<sup>[17]</sup>的研究表明,可用 $N$ 值大小判定极端事件中因子的异常程度,当 $|N| \geq 2\sigma$ 时,表明因子与历史同期平均值的偏离程度较高,异常度较大。

此外,将气象因子在极端降水过程中出现异常时所占的比例,定义为气象因子异常度比例,具体计算公式如下:

$$Y_i = A_i / B \times 100\% \quad (3)$$

式中, $Y_i$ 为第 $i$ 个因子出现异常所占的比例, $A_i$ 为第 $i$

个因子出现异常时异常强降水发生的次数,  $B$  为极端降水发生总次数。

### 1.3 个例选取及分型

本文在极端强降水定义及过程选取中, 选择百分位法, 将 1981—2016 年湖北省 6—8 月 78 个国家级地面气象观测站 08 时日降水由大到小进行排序, 取 99% 百分位的降水量值定义为极端降水阈值<sup>[18]</sup>。

当湖北省内 3 站及以上异常时统计为一次极端强降水事件。按照此标准共整理出湖北省 104 个极端强降水过程。按照 500 hPa 天气形势进行分型, 通过统计发现梅雨期极端降水主要有 5 种类型(表 1), 其中南北气流汇合型、南北槽叠加型占了所有类型的 82.6%, 因此本文将主要针对这两类典型极端降水的天气特征展开研究。

表 1 极端降水天气类型统计

Table 1 Statistical table of extreme precipitation weather types

| 天气类型     | 分型依据                              | 个例数 | 占比/% |
|----------|-----------------------------------|-----|------|
| 南北气流汇合型  | 东北槽后偏北气流与副热带高压外围偏南气流在湖北上空呈现交汇流型   | 50  | 48.0 |
| 南北槽叠加型   | 贝加尔湖槽与高原槽在湖北上空呈现准同位相叠加流型          | 36  | 34.6 |
| 槽前高压坝型   | 湖北处在高空槽前, 且湖北东侧出现南北经向度较大的高压坝并稳定少动 | 8   | 7.6  |
| 台风外围型    | 湖北上空处在台风外围的东南气流中                  | 5   | 4.9  |
| 两高之间辐合带型 | 湖北上空处在大陆高压与副热带高压两个高压脊之间狭长的辐合带中    | 5   | 4.9  |

## 2 两类典型极端降水天气特征对比

### 2.1 降水特征

由南北气流汇合型 08 时 24 h 降水量  $\geq 100$  mm 降水频次分布(图 1a) 可看出, 大暴雨发生频率最大的区域主要位于江汉平原—鄂东北和鄂西南, 其中大暴雨频率高发中心位于汉阳地区。由

该型极端最大降水的分布(图 1c) 可以看出, 该型 24 h 雨量超过 150 mm 的降水主要分布在鄂西南—江汉平原—鄂东北。其中 24 h 降雨量超过 250 mm 的典型极端降水站点分别是鹤峰、京山、汉川、黄石、英山, 典型的极端降水过程是 1998 年 7 月 21 日(5 个国家级地面气象观测站突破历史极值, 黄石雨量达到 271 mm)。由南北槽叠加型 08 时 24 h 雨

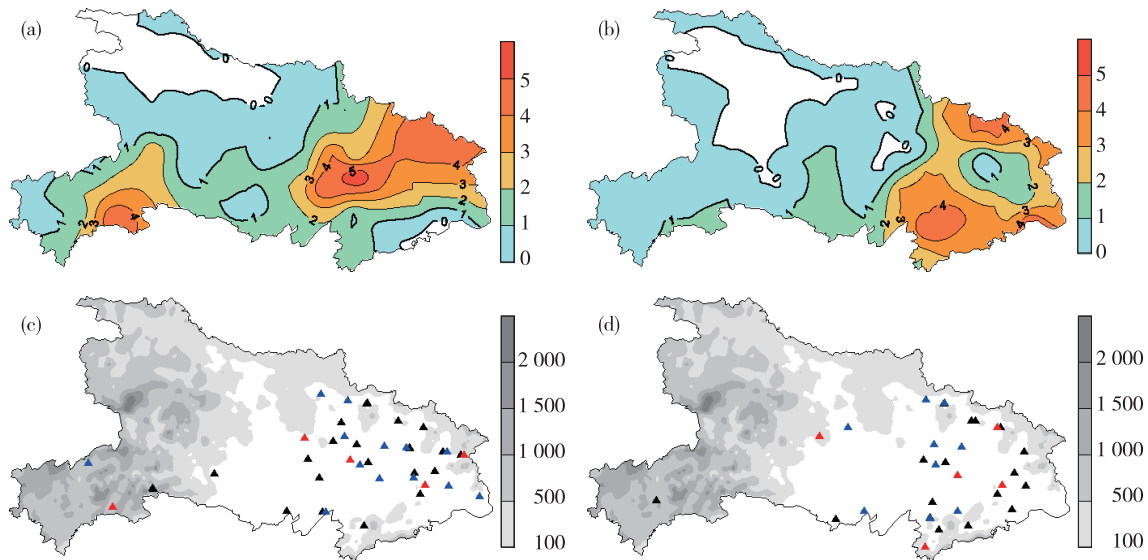


图 1 24 h 雨量  $\geq 100$  mm 降水频次(色阶)分布和极端最大降水量(红色三角: 24 h 雨量  $\geq 250$  mm, 蓝色三角:  $200$  mm  $\geq 24$  h 雨量  $\geq 200$  mm, 黑色三角:  $200$  mm  $\geq 24$  h 雨量  $\geq 150$  mm; 色阶为海拔高度, 单位: m) 分布(a、c. 南北气流汇合型, b、d. 南北槽叠加型)

Fig.1 Frequency distribution (color scale) of precipitation with rainfall greater than or equal to 100 mm in 24 h and distribution of extreme maximum precipitation (red triangles indicate that rainfall is greater than or equal to 250 mm in 24 h, blue triangles indicate that rainfall is between 200 mm and 250 mm in 24 h, and black triangles indicate that rainfall is between 150 mm and 200 mm in 24 h; color scale denotes the altitude, units: m) (a/c. the north-south flow convergence type, b/d. the north-south trough superposition type)

量 $\geq 100$  mm降水频次分布(图1b)可看出,大暴雨发生频率最大的区域主要位于鄂东北北部和鄂东南,其中大暴雨频率高发中心位于咸宁地区。由该型24 h极端最大降水的分布(图1d)可以看出,该型24 h雨量超过150 mm的降水主要分布在江汉平原—鄂东,其中08时降雨量超过250 mm的典型极端降水站点分别是荆门、蔡甸、麻城、黄石、通城。典型的极端降水过程是2016年6月30日(4个国家级地面气象观测站突破历史极值,麻城雨量达到285 mm)。与南北气流汇合型相比,南北槽叠加型鄂东南极端降水强度增大,鄂西南极端降水强度略有减弱。此外,由上述两种典型极端降水中最大极端降水分布与地形的对应关系看,较强的极端降水主要落在鄂东北大别山南麓、鄂西南武陵山脉迎风坡、鄂东南幕府山北侧,均与地形关系密切。

## 2.2 天气背景特征

由南北气流汇合型500 hPa高度场平均场及标准化距平分布(图2a)可看出:该型中高纬度为两槽一脊形势,东北地区多形成冷槽,槽线多延伸至长江中下游地区;受到东北槽阻挡,副热带高压位置略偏南,588 dagpm线位于华南及沿海地区,西伸脊点位于 $110^{\circ}\text{E}$ 附近,脊线位于 $23^{\circ}\text{N}$ 附近;中纬度地区,受到东北槽后部偏北气流以及副热带高压外围偏南气流的共同影响,湖北省上空处在南北气流交汇处,500 hPa高度场往往呈现弱槽或者以平直环

流为主,高原上多小波东传。700 hPa(图略)自河南中部至湖北西部形成冷式切变线,850 hPa(图略)或925 hPa(图略)上自湖北中西部至河南东南部一带形成东北—西南向切变线,有时也有低涡形成,925 hPa南风的标准化距平达 $1.2\sigma$ ,表明边界层附近南风发展较气候平均值偏强。地面上,湖北受低压倒槽控制,河南西北侧多冷空气扩散南下,其冷高压标准化距平达 $0.6\sigma$ ,冷空气入暖倒槽,多形成静止锋,冷暖空气在湖北省上空强烈交汇,为极端降水提供了有利的天气背景。

与南北气流汇合型不同,南北槽叠加型中高纬度为两脊一槽型(图2b),贝加尔湖附近为一深厚的低槽,槽的经向度较大或分裂短波槽南下,青藏高原上低值系统也非常活跃,贝加尔湖槽和高原槽在东移的过程中逐渐合并加深并使槽经向度加大。由于低槽强烈发展,受到槽前正涡度平流的作用,低层在川东往往有低涡形成并移动到湖北境内,江汉平原一带低涡形成的频率也增加。850 hPa或925 hPa(图略)上湖北境内受低涡影响,暖平流强盛,暖锋锋生明显,降水强度大,有利于形成极端降水。700 hPa(图略)上,川东有低涡发展,低涡东侧西南风与偏东风之间形成一条准东西向的切变线。地面上,川东至贵州一带有暖倒槽形成,倒槽向东伸展至湖南北部至湖北东部,地面暖槽的强烈发展,为极端降水的形成积蓄了充足的不稳定能量。

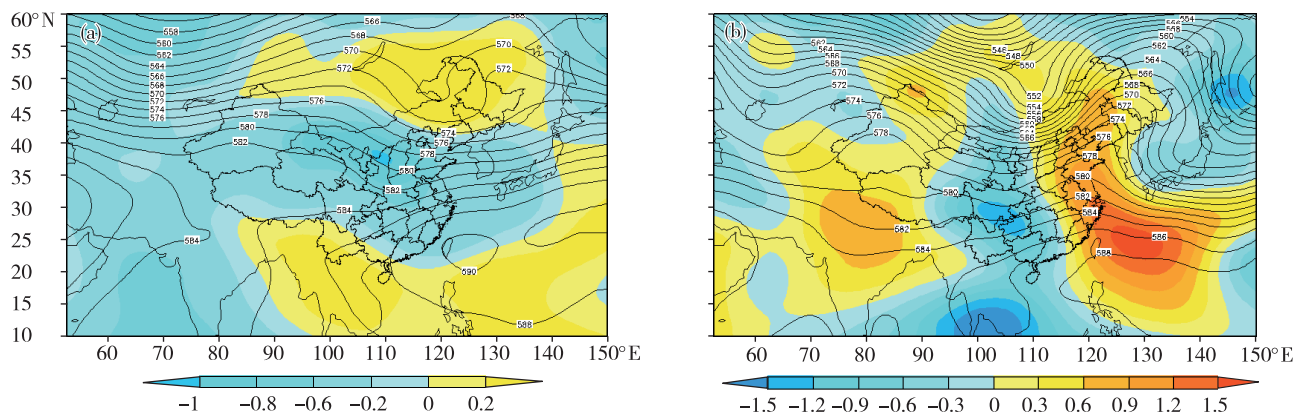


图2 南北气流汇合型(a)和南北槽叠加型(b)500 hPa位势高度(等值线,单位:dagpm)和异常度(色阶,单位: $\sigma$ )平均场

Fig.2 Mean field of geopotential height at 500 hPa (isoline, units: dagpm) and its abnormal degree (color scale, units:  $\sigma$ ) of the north-south flow convergence type (a) and the north-south trough superposition type (b)

## 2.3 气象因子异常特征

### 2.3.1 南北气流汇合型

为定量分析两类极端降水发生过程中气象因子的异常特征,对每一类极端降水的气象因子进行

了异常度比例排序。由南北气流汇合型极端降水的气象因子异常度( $\geq 2.0\sigma$ )所占比例统计结果(图3)来看,比例前10的因子中有4个动力因子、3个水汽因子、3个不稳定因子,其中排名前5的因子

及异常度排序比例分别是 850 hPa 涡度 (68.5%)、200 hPa 散度 (65.7%)、大气可降水量 (54.2%)、850 hPa 散度 (51.4%)、850 hPa 水汽通量散度 (43.2%)。可见此类极端降水发生过程中,动力因子和水汽因子出现异常特征的比例较高。这是由于在此类极端降水发生的过程中,由于低层有明显的冷切变线或者低涡形成且发展强烈,易导致低层辐合和高层辐散出现异常,同时由于低层切变线或低涡南侧的南风气流发展异常强盛,导致水汽输送通道通畅,因此大气可降水量的值迅速增长,容易出现超气候平均值达  $2.0 \sigma$  以上的异常现象。从时间演变上看,这种类型极端降水发生过程中,水汽因子异常往往呈现一定的持续性,即在极端降水发生的整个过程中大气可降水量都会表现出一定的异常性。因此在此类极端降水的预报过程中,应着重关注动力因子和水汽因子的异常性特征,以及水汽因子异常的持续时间,当其达到某种阈值时,预示着可能会发生极端性降水。此外,通过研究发现极端降水的落区不仅与相关气象因子本身可能达到的阈值有关<sup>[19]</sup>,而且与气象因子异常度可能达到的阈值有关,为此,还需要对气象因子及其异常度的阈值进行统计分析。

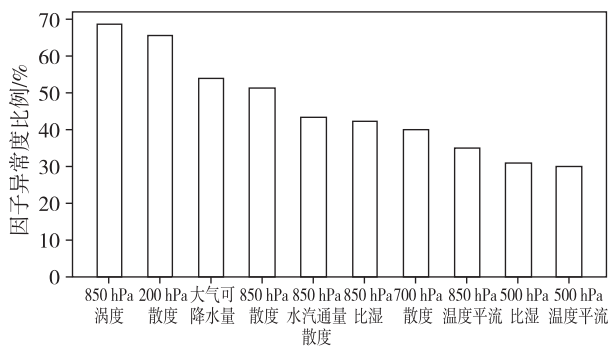


图 3 南北气流汇合型气象因子异常度比例(单位:%)

Fig.3 Ratio of abnormal degree of meteorological factors for the north-south flow convergence type (units: %)

选取异常度比例排名前三的气象因子(850 hPa 涡度、200 hPa 散度、大气可降水量)进行统计分析(图 4)。此类极端降水 850 hPa 涡度中位数为  $15.6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ,上四分位数达到  $25.1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ,最大值高达  $58.7 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。850 hPa 涡度异常度中位数为  $1.1 \sigma$ ,上四分位数为  $1.9 \sigma$ ,最大异常度达到  $3.7 \sigma$ 。这说明此类极端降水对于低层动力条件的异常度阈值要求较高;由高层辐散动力条件(200 hPa 散度)来看,200 hPa 散度中位数为  $8.2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ,上四分位数为  $13.2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ,最大值高达

$35.1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。200 hPa 散度异常度中位数为  $1.0 \sigma$ ,上四分位数为  $1.7 \sigma$ ,最大异常度达到  $3.5 \sigma$ 。高层异常强辐散配合低层异常强辐合是此类极端降水的最显著的气象因子特征。水汽因子(大气可降水量)中位数为  $57.0 \text{ mm}$ ,上四分位数为  $60.3 \text{ mm}$ ,最大值为  $74.8 \text{ mm}$ 。大气可降水量异常度中位数为  $1.6 \sigma$ ,上四分位数为  $2.0 \sigma$ ,最大值为  $3.9 \sigma$ 。综上所述,此类极端降水发生过程中,动力因子本身要求的阈值较高,水汽因子的异常度阈值较高。在此类极端降水预报分析过程中,应着重分析动力因子和水汽因子及其异常度是否达到相关阈值,并依据统计分析得出的异常度阈值对出现极端降水的可能性进行判断。

### 2.3.2 南北槽叠加型

由南北槽叠加型极端降水的物理量异常度 ( $\geq 2.0 \sigma$ )所占比例统计结果(图 5)来看,比例前 10 的因子中有 5 个动力因子,3 个不稳定因子,2 个水汽因子,其中排名前 5 的因子及异常度排序比例分别是 200 hPa 散度 (62.5%)、925 hPa 涡度 (55.5%)、700 hPa 温度平流 (52.5%)、925 hPa 散度 (45%)、850 hPa 涡度 (41%)。此类极端降水发生过程中,动力因子和不稳定因子表现出明显的异常性。这是因为在此类极端降水发生过程中,南北槽叠加使高空槽经向度加大,500 hPa 槽前正涡度平流增强,促使边界层辐合强烈发展,造成动力因子出现明显异常。从时间演变上看,动力因子的异常性持续时间在 6~12 h 之间。同时由于边界层低涡切变强烈发展,切变南侧的暖平流发展异常强烈,造成不稳定因子出现异常偏强现象,因此在此类极端降水的预报过程中,应着重关注动力因子和不稳定因子的异常性特征及可能达到的阈值。

选取异常度比例排名前三的气象因子(200 hPa 散度、925 hPa 涡度、700 hPa 温度平流)进行统计分析(图 6)。200 hPa 散度中位数为  $9.3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ,上四分位数为  $14 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ,最大值高达  $24.8 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。200 hPa 散度异常度中位数为  $1.0 \sigma$ ,上四分位数为  $1.5 \sigma$ ,最大异常度达到  $3.6 \sigma$ 。由边界层辐合条件(925 hPa 涡度)看,925 hPa 涡度中位数为  $14.8 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ,上四分位数达到  $20.8 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ,最大值高达  $29.7 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。925 hPa 涡度异常度中位数为  $1.4 \sigma$ ,上四分位数为  $1.9 \sigma$ ,最大异常度达到  $2.9 \sigma$ 。不稳定因子(700 hPa 温度平流)的中位数为  $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ ,上四分位数为  $2.8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ ,最大值为  $8.9 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 。700 hPa 温

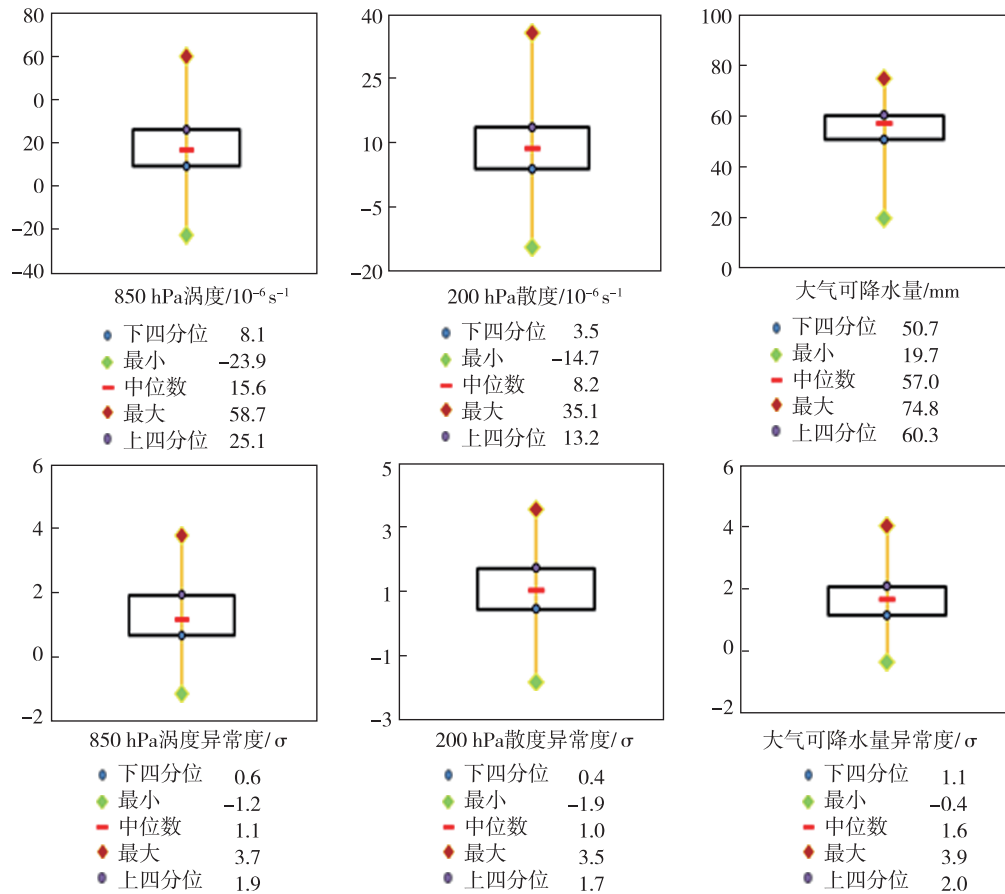


图 4 南北气流汇合型气象因子四分位图

Fig.4 Quartile map of meteorological factors for the north-south flow convergence type

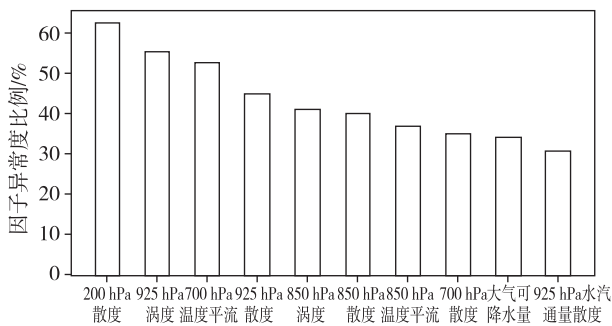


图 5 南北槽叠加型气象因子异常度比例(单位:%)

Fig.5 Ratio of abnormal degree of meteorological factors for the north-south trough superposition type (units: %)

度平流异常度中位数为  $0.9 \sigma$ , 上四分位数为  $1.7 \sigma$ , 最大值为  $4.4 \sigma$ 。综上所述,在此类极端降水过程中,边界层动力因子本身要求的以及异常度阈值较高,应重点关注边界层动力辐合系统出现的异常现象,并结合高层辐散以及低层温度平流可能达到的异常度阈值,对极端降水出现的可能性进行判断。

### 3 两类极端降水天气概念模型

通过以上分析,给出两类集天气背景与气象因子异常度配置相结合的极端天气概念模型(图 7)。其中南北气流汇合型 500 hPa 上,东北冷槽后部偏北气流与副热带高压西侧偏南气流形成气流汇合形势。低层 850 hPa 或 925 hPa 上形成东北—西南向切变线,切变线南侧的南风发展异常强盛,地面上冷空气入暖倒槽形成静止锋,极端降水区位于静止锋附近。在此类极端降水发生过程中,东北冷槽、副热带高压的位置相对稳定,地面形成静止锋并维持较长时间,易形成系统性东北—西南向雨带,且雨带方向与中尺度系统移动方向一致,有利于产生“列车效应”,另外,由于此类极端降水发生过程中边界层南风发展异常强烈,往往与大别山迎风坡产生正交,由于地形增幅作用导致降水强度加大。另外,边界层南风在北上过程中受到鄂西南地形以及北侧峡谷地形阻挡,易进入鹤峰附近喇叭口内产生辐合,导致鄂西南鹤峰降水强度加强。在此

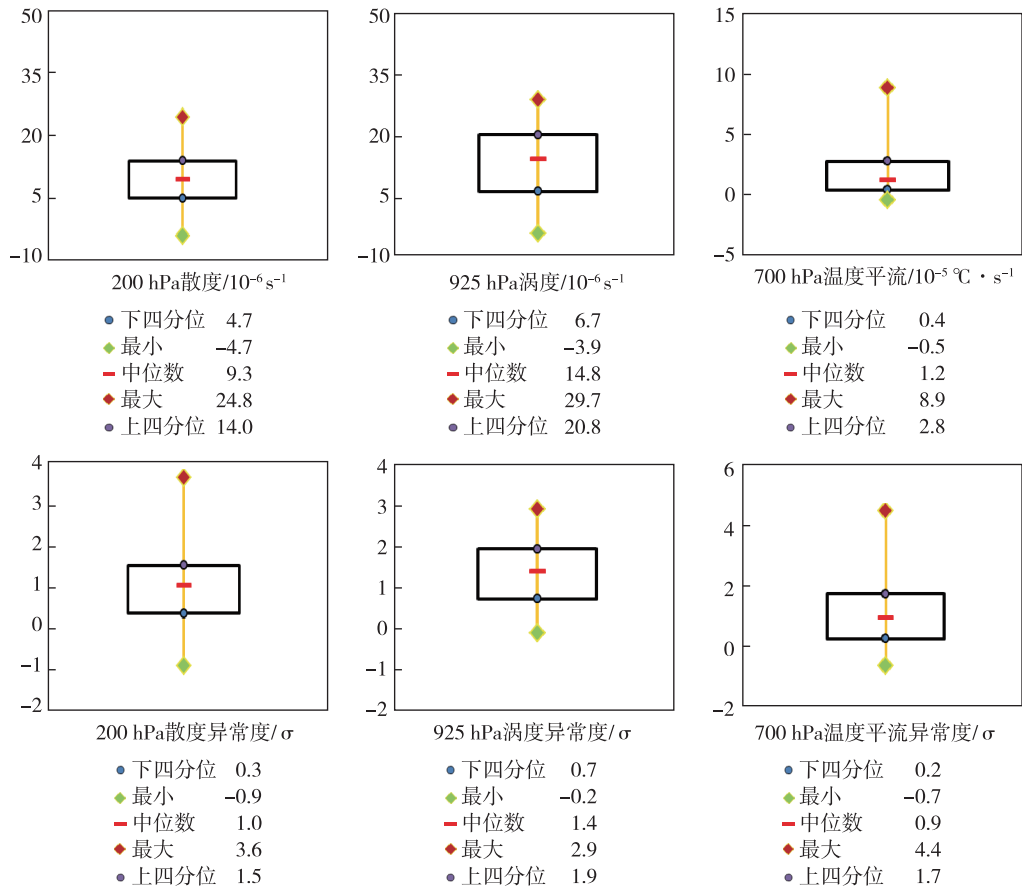


图 6 南北槽叠加型气象因子四分位图

Fig.6 Quartile map of typical meteorological factors for the north-south trough superposition type

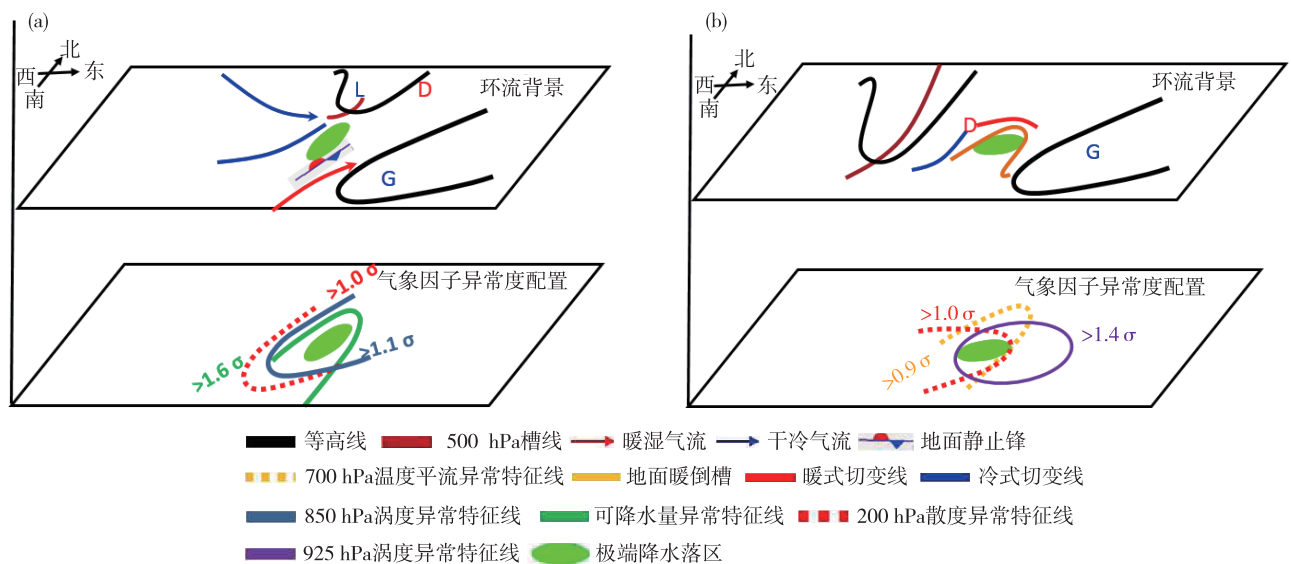


图 7 南北气流汇合型(a)和南北槽叠加型(b)天气概念模型

Fig.7 Conceptual model of weather of the north-south flow convergence type (a) and the north-south trough superposition type (b)

类极端降水的预报过程中,当某地 850 hPa 涡度异常度  $\geq 1.1 \sigma$ , 200 hPa 散度异常度  $\geq 1.0 \sigma$ , 大气可降水量异常度  $\geq 1.6 \sigma$  时,该地有出现极端降水的可

能性,预报员应给与足够重视。

南北槽叠加型 500 hPa 上,贝加尔湖附近有冷槽东移,同时川东一带有高原槽东移,形成南北槽

叠加形势。850 hPa 和 925 hPa 上,川东有低涡发展,低涡东侧西南风与偏东风之间形成一条准东西向的暖式切变线,地面上暖低压强烈发展。极端降水区位于低涡东侧西南风与偏东风形成的暖式切变线附近。此类极端降水雨带多为准东西向,低空西南风与偏东风之间形成较强而持续的辐合带,东风同时也对南风起到阻挡作用,导致对流带稳定维持。此类极端降水发生过程中,大别山南麓由于迎风坡效应容易产生极端降水,此外受到幕府山阻挡,边界层暖切易在鄂东南山地维持较长时间,易导致鄂东南降水出现明显增幅。在此类极端降水的预报过程中,预报员可参考的气象因子异常度阈值为:200 hPa 散度异常度 $\geq 1.0\sigma$ ,925 hPa 涡度异常度 $\geq 1.4\sigma$ ,700 hPa 温度平流异常度 $\geq 0.9\sigma$ 。

#### 4 小结

本文通过对湖北省梅雨期两类典型极端降水天气特征及气象因子异常特征进行分析,得出如下结论。

(1)南北气流汇合型 500 hPa 东北冷槽后部偏北气流与副热带高压西侧偏南气流形成气流汇合形势,低层形成冷式切变线,切变线南侧南风发展异常强盛,地面上形成静止锋,极端降水区位于静止锋附近,呈东北—西南走向;南北槽叠加型 500 hPa 上贝加尔湖槽与高原槽叠加使低槽经向度加大,低层或边界层形成显著低涡,地面上暖低压强烈发展,极端降水区位于低涡东侧暖式切变线附近,呈准东西向。

(2)通过对两类典型极端降水的气象因子异常度特征进行统计分析发现,南北气流汇合型动力因子和水汽因子的异常度比例较大,异常偏强的低层辐合配合高层辐散形成强烈的上升运动,强烈发展的低空急流导致可降水量异常度达到  $1.6\sigma$  以上,异常强的动力因子和水汽因子的形成和维持导致极端降水的产生;南北槽叠加型动力因子和不稳定因子易出现显著异常,由于低层及边界层低涡强烈发展,导致 925 hPa 涡度异常度超过了  $1.4\sigma$ ,低涡发展的同时低层出现了异常强的低层暖平流,因此在这类极端降水的预报中,要特别关注边界层动力因子和低层不稳定因子可能出现异常的区域,此外两类极端降水落区均与地形关系密切。

通过以上分析,在今后的极端降水预报业务中,可根据不同类型极端降水的天气特征以及典型气象因子的异常阈值,对极端降水可能发生的区域

做出事先判断,因此具有一定的实际应用价值。然而在极端降水发生的过程中,除了大尺度和气象因子表现出的异常特征之外,也应多关注中尺度系统的演变特征。

#### 参考文献:

- [1] 袁文德,郑江坤,董奎.1962—2012 年西南地区极端降水事件的时空变化特征[J].资源科学,2014,36(4):766-772.
- [2] 刘学华,季致建,吴洪宝,等.中国近 40 年极端气温和降水的分布特征及年代际差异[J].热带气象学报,2006,22(6):618-624.
- [3] 任正果,张明军,王圣杰,等.1961—2011 年中国南方地区极端降水事件变化[J].地理学报,2014,69(5):640-649.
- [4] 孙继松,何娜,王国荣,等.“7.21”北京大暴雨系统的结构演变特征及成因初探[J].暴雨灾害,2012,31(3):218-225.
- [5] 孙军,谌芸,杨舒楠,等.北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(二)极端性降水成因初探及思考[J].气象,2012,38(10):1267-1277.
- [6] 符娇兰,马学款,陈涛,等.“16·7”华北极端强降水特征及天气学成因分析[J].气象,2017,43(5):528-539.
- [7] 娄小芬,马昊,黄旋旋,等.台风“利奇马”造成浙江极端降水的成因分析[J].气象科学,2020,40(1):78-88.
- [8] 秦思,姚美,任福民,等.强台风“菲特”(1323)极端降水研究进展[J].海洋气象学报,2021,41(1):11-18.
- [9] 郑怡,杨晓霞,孙晶.台风“温比亚”(1818)造成山东极端强降水的成因分析[J].海洋气象学报,2019,39(1):106-115.
- [10] 马蕴琦,任福民,冯恬,等.强热带风暴“碧利斯”(0604)极端降水研究回顾[J].海洋气象学报,2020,40(3):1-10.
- [11] 孙建华,张小玲,卫捷,等.20 世纪 90 年代华北大暴雨过程特征的分析研究[J].气候与环境研究,2005,10(3):492-506.
- [12] 侯淑梅,盛春岩,万文龙,等.山东省极端强降水天气概念模型研究[J].大气科学学报,2014,37(2):163-174.
- [13] 肖递祥,杨康权,俞小鼎,等.四川盆地极端暴雨过程基本特征分析[J].气象,2017,43(10):1165-1175.
- [14] 张家国,王珏,吴涛,等.长江中游地区极端降水主要天气系统类型分析[J].暴雨灾害,2018,37(1):14-23.
- [15] 孙兴池.地面倒槽暴雨的形成机制研究[J].海洋气象学报,2018,38(3):39-46.
- [16] 张芹,王恬茹,张秀珍,等.一次副热带高压边缘切变线暖区暴雨特征分析[J].海洋气象学报,2020,40(3):102-110.
- [17] GRUMM R H, HART R. Standardized anomalies applied



- to significant cold season weather events: Preliminary findings[J]. Wea Forecasting, 2001, 16(6): 736-754.
- [18] 钟敏, 车钦, 张蒙蒙, 等. 华中区域极端降水天气形势及物理量异常度特征[J]. 气象, 2020, 46(4): 503-516.
- [19] 张萍萍, 孙军, 车钦, 等. 2016 年湖北梅汛期一次极端强降雨的气象因子异常特征分析[J]. 气象, 2018, 44(11): 1424-1433.