

湖北省梅雨期特大暴雨的环流分析和概念模型

朱吉义

(武汉暴雨研究所, 430074)

提 要

通过对湖北省梅雨期 27 例非局地特大暴雨资料的分析, 概括了天气尺度、次天气尺度系统的一般特征和作用; 采用动态分析方法, 归纳出两类基本环流型; 结合物理量场的分析, 建立了强锋区和暖涡旋两类典型特大暴雨系统的概念模型。

关键词: 特大暴雨 系统特征 环流型 概念模型

引 言

特大暴雨是梅雨期出现的一种最为严重的灾害性天气, 是必须认真考察研究的^{[1][2][3]}。通常, 在业务预报工作中, 需要寻求有利于中尺度对流系统发生发展和最终集结并造成强烈降水天气的环境场区域, 而这个有效的预报区是通过对多个实例的分析, 归纳出具有显著性特征的环境场, 并建立不同类型的概念模型来实现的。

本文定义发生在湖北省内、出现 5 站以上日降水量 $\geq 100\text{mm}$, 其中 1 站以上 $\geq 200\text{mm}$ 的降水过程, 作为一次非局地性特大暴雨过程, 经普查, 33 年(1959—1991 年)中共出现 27 次。另外, 有 8 次过程为局地性特大暴雨过程, 本文重点对前一种过程进行分析。

1 特大暴雨概况

33 年期间湖北省梅雨期共出现 35 次特大暴雨过程, 出现最多的是 1969 年, 共 4 次。灾害最严重的是“91·7”过程, 16 天总降水量达 908mm, 其是由 13 次连续性暴雨, 其中 6 次大暴雨和 2 次特大暴雨过程所致。由 35 次特大暴雨过程的逐站频数分布(图 1)可见, 出现最多的站点是红安、汉川、汉口和浠

水, 其次是汉阳、云梦、嘉鱼和鹤峰。即特大暴雨主要集中在湖北东部地区, 其次在西南地区。

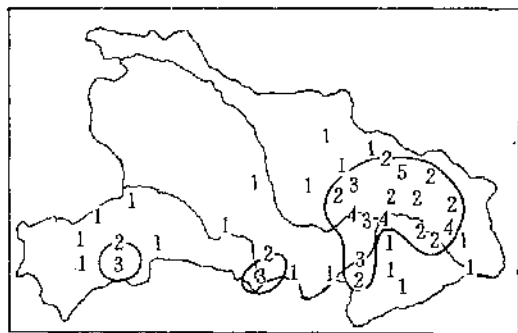


图 1 1959—1991 年湖北省梅雨期 35 次特大暴雨逐站频数分布图

在 27 次非局地性特大暴雨过程中, 日雨量 $\geq 100\text{mm}$ 的站数平均为 11.1 个, 最多年份是 1969 年 7 月 11 日和 1983 年 7 月 4 日, 分别出现 34 站和 25 站; 日雨量 $\geq 200\text{mm}$ 的站数平均为 2.4 个, 最多的是 1969 年 7 月 16 日和 1991 年 7 月 9 日, 均出现 6 站。对 27 次过程的落区分如下 3 型, 即三汉(汉川、汉阳、汉口)及附近至鄂东北(占 48%)(I 落区)、江汉平原南部至鄂东南(33%)(II 落区)和鄂西南(11%)(III 落区)。

2 特大暴雨的环流系统特征

根据 27 次非局地性特大暴雨(以下简称暴雨)过程的分析,影响湖北暴雨的天气尺度、次天气尺度系统有如下特征。

2.1 副热带高压

副热带高压在一定纬度上的稳定和加强对湖北省暴雨的发生起着至关重要的作用。副热带高压反气旋性流型致使西北缘低层形成宽广的西南季风气流,其中有一支高速的低空急流,并沿急流轴形成一条高能级的暖湿输送带。当西风槽与副热带高压相对运动时,导致梅雨锋云带活跃。据统计,副热带高压脊线(120°E 处)位于 $18^{\circ}\text{--}26^{\circ}\text{N}$ 之间(平均为 21°N),588 线的西脊点位于 $105^{\circ}\text{--}115^{\circ}\text{E}$ 之间(平均为 109°E),将有利于湖北暴雨的发生。

2.2 西风槽

所谓西风槽是指在青藏高原东侧至河套地区($35^{\circ}\text{--}45^{\circ}\text{N}$, $95^{\circ}\text{--}110^{\circ}\text{E}$)有一支冷干的槽后西北风气流向低层扩散,其风速大部 $> 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (占 78%)。西风槽(包括短波槽形势)能显著地改变天气尺度气流的流型,使之有利于暴雨的发生:①带来冷干空气向东南方向流入暖湿和不稳定的空气之上,增加南北系统之间锋区的斜压性;②在槽前移动性长波脊中常常导致阻塞形势的弱反气旋性环流形成,建立一支低空偏东风气流,当其与低空西南风急流相交时,使锋区的斜压性显著加强;③有弱的槽后冷干空气从高原东南侧流入四川盆地,与来自孟加拉湾的暖湿气流汇合,驱使形成的气旋性涡旋沿梅雨锋东移发展;④西风槽北段的移速明显快于南段,湖北暴雨落区恰好位于它的伸展区。统计表明,当西风槽位于 $95^{\circ}\text{--}110^{\circ}\text{E}$ 之间时,对湖北暴雨的发生最为有利。

2.3 切变线

在江淮流域若维持一条与梅雨锋相联系

的切变线时,西南涡常沿切变线东移发展形成暴雨。切变线可分为 4 种类型:北部暖切型位于宜昌、汉口以北;南部暖切型位于宜昌、汉口以南;北部冷切型位于宜昌以北;南部冷切型位于宜昌以南。若以 850hPa 上切变线为主分型寻求与暴雨落区的关系可以发现,Ⅰ落区均为北部暖、冷切型,Ⅱ落区均为南部暖、冷切型,而Ⅲ落区均为北部冷切型。这说明切变线在一定位置上的持续稳定对暴雨的发生是非常有利的。在 27 例中, 850hPa 上(个别参照 700hPa)切变线都位于 $29^{\circ}\text{--}34^{\circ}\text{N}$ 之间(110°E 处)。

2.4 低空急流

我们统计了 25 次过程的 850 、 700hPa 上 $20^{\circ}\text{--}35^{\circ}\text{N}$ 、 $105^{\circ}\text{--}125^{\circ}\text{E}$ 范围内暴雨发生前(-12h)、发生时(0h)及发生后($+12\text{h}$)的 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 低空急流(LLJ)各代表站出现的频率(表略)可发现, 850hPa 各时次不同强度 LLJ 的最大频率是在暴雨发生后,发生前次之,发生时最小。同时, 850hPa 上 LLJ 频率均比 700hPa 大,这与台湾、日本在大暴雨过程中各时次 700hPa LLJ 频率都比 850hPa 大的观测事实相反^[4]。从 LLJ 的走向可以看出, 850hPa 上的水汽来源于南海,且在 $+12\text{h}$ 和 -12h 反映明显, 700hPa 上的水汽来自孟加拉湾,且在 $+12\text{h}$ 最为明显。另外,图中 850hPa 上方框内($25^{\circ}\text{--}29^{\circ}\text{N}$, $108^{\circ}\text{--}117^{\circ}\text{E}$)为 LLJ 的高频区,框内出现的几率高达 96%,具有指示意义的站点是芷江、赣州、郴县和桂林,这表明湖北特大暴雨的发生与 850hPa 上 LLJ 密切相关。

2.5 西南涡

生成在梅雨锋上的四川盆地气旋性涡旋东移发展可以显著地加大梅雨锋上的降水强度。分析表明, 700hPa 上涡旋东移的盛行路径大致为西昌—达县—宜昌以东,即大都路

经长江三峡。850hPa 上盛行路径大致为达县—金佛山北侧—江汉平原,即大都经川南至湘西北再到达鄂东地区,这一结果与暴雨主要发生在鄂东地区的事实相吻合。另外,涡旋东移的路径与急流轴的走向大致平行,而且这两个中间尺度系统的最大频数中心的距离相差 3—4 个纬度。

3 特大暴雨的环流型

通过对 27 例暴雨过程的逐例分析,以 500hPa 形势中副热带高压和低槽为主导系统,可建立两类暴雨环流型。

3.1 东高西低槽脊东移型

本型的主要环流特征是:中纬度高脊叠加在副热带高压北缘,致使低层有明显的反气旋环流发展,而且脊后有低槽东移加深,形成显著的东高西低形势,表现为 700hPa 上汉口站与成都站之差 $\Delta H \geq 40\text{gpm}$,暴雨发生在脊后槽前。这类过程的副热带高压位置略偏南,通常在沿海至江南一带加强。27 次过程中本型出现 8 次,占 30%,均造成鄂东地区特大暴雨过程。

3.2 副热带高压西伸低槽东移型

这类暴雨在 500hPa 上主要环流特征是:副热带高压强盛,其脊线的平均位置为 22°N (120°E 处),副热带高压明显西伸,同时西风槽东移,暴雨发生在低槽与副热带高压之间的梅雨锋强锋区附近。例如,1969 年 7 月 10—11 日发生在鄂西南至三汉附近的一次特大暴雨过程(图 2)。由图可见,副热带高压西伸(北抬)与西风槽东移的特点非常明显。副高中心强度均大于 5920gpm ,10—12 日 08 时中心分别位于 24°N 、 150°E , 24°N 、 140°E 和 25°N 、 136°E ,以后继续西伸,并造成 13—14 日、15—16 日两次连续性特大暴雨过程。在 27 次过程中该型出现 17 次,占 63%,且降水的最大范围和最强的过程均出现在本型中。

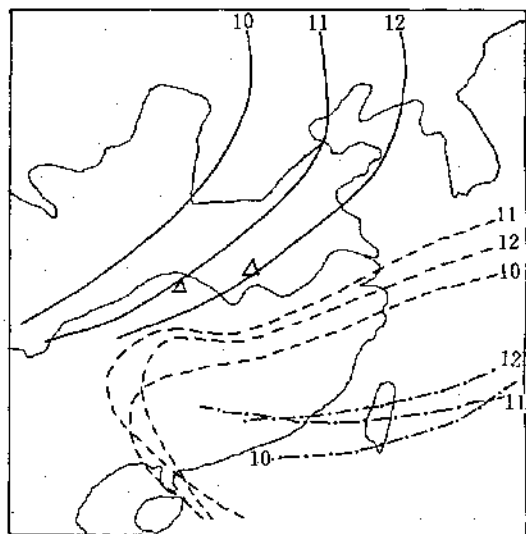


图 2 1969 年 7 月 10—12 日 500hPa 逐日副高脊线(点划线)、588 线(虚线)与槽线(实线)的位置
三角形为特大暴雨落区

4 特大暴雨系统的概念模型

通过对 27 次暴雨过程的物理量场分析,确定以 850hPa 上 θ_{se} 平均场特征为主,其它物理量和环流系统辅之,建立鄂东和鄂西南两个地区特大暴雨系统的概念模型。

4.1 鄂东特大暴雨的强锋区概念模型

湖北东部暴雨的强锋区模型配置如图 3,图中给出了 80.7.16、82.6.19、83.6.28、83.7.3、91.7.2 和 91.7.8 共 6 个十分相似例子的平均物理量场。可看出暴雨落区集中在三汉至鄂东北,其中有 1 例出现在鄂东南。模型有如下显著特征:

4.1.1 在南北环流系统的相互作用下,形成一强 θ_{se} 锋区,强度 $\geq 8^\circ\text{C}/100\text{km}$,位于鄂东北至豫南之间,与梅雨锋云带耦合。

4.1.2 在锋区南侧有一支低空急流,急流轴自南海至安庆一带,中心位于芷江。沿急流轴有一条暖(湿)带,暖带自云贵高原至江南一带,中心位于长沙附近, $\theta_{se} \geq 80^\circ\text{C}$ 。

4.1.3 在锋区北侧,有一支偏东风下沉气流

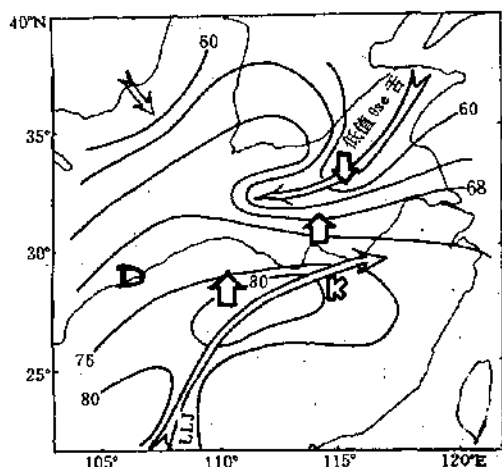


图3 850hPa 鄂东6次特大暴雨的 θ_{se} 平均图
短箭头向上表示上升气流中心,短箭头向下表示下沉气流中心, k 为指数中心, D 表示西南涡。下同。

相伴随的低值 θ_{se} 舌,与暖带构成强 θ_{se} 锋区。

4.1.4 由于低层有强的水平辐合(正涡度负散度区),因此出现两个与暴雨有关的上升区(中心):一支出现在芷江北侧的迎风坡地,上升速度 $\geq -6 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$;另一支相对弱的上升气流位于锋区南缘,上升速度 $\geq -2 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,其与梅雨锋扰动相关联。

4.1.5 位势不稳定中心位于长沙至南昌附近, K 指数高达 40°C 。

上述强锋区是在中低纬度环流系统的相互作用下形成的,且表现为低值 θ_{se} 舌与高能带发生“碰头”的显著特征,暴雨发生在此“碰头”区,如1991年7月2—3日发生在鄂东北地区的特大暴雨过程(图略)。2日08时有低能舌与新建的高能带在鄂东北地区发生“碰头”,3日08时,高能带在东伸过程中断裂,但仍维持着强能量锋区和强降水。当高能区耗散和强锋区不存在时,降水过程结束。

就上述低能舌的来路而言,可分成东路、西路和东、西路3种。在27例中,大都为东路

影响,其比例为17/22,占77%。分析表明,西路低能舌是由槽后强冷干空气向低层流入扰动的结果,东路低能舌是由槽前反气旋性环流形成的偏东风下沉气流扰动所致。另外,根据多年试验资料发现,一般暴雨的 T_e 等值线在 $30-40^\circ\text{N}$ 之间几乎全部是平直的,而特大暴雨几乎都出现显著的低能舌扰动、波动现象。因此,应特别注意低能舌与高能带可能发生“碰头”的特征。

4.2 鄂西南特大暴雨的暖涡旋概念模型

鄂西南特大暴雨过程共发生过3次,另有2次同时发生在鄂西南和鄂东北。图4给出了前3次(80.6.16、81.6.26、82.7.10)过程850hPa上的平均物理量场。由图可见,它们具有明显的相似性。

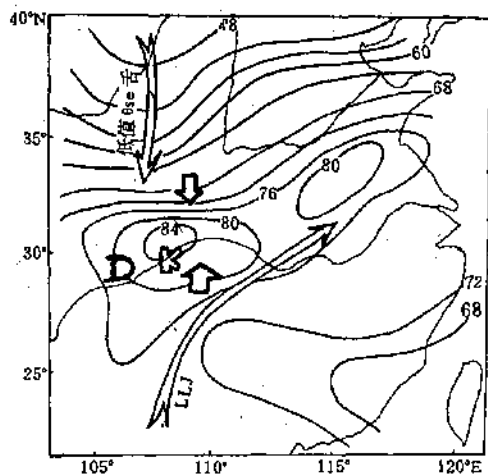


图4 3次鄂西南特大暴雨850hPa θ_{se} 平均图
(说明同图3)

鄂西南暴雨发生前,在四川盆地有一异常的暖(湿)性涡旋,涡旋位于暖带中心($\theta_{se} > 84^\circ\text{C}$)的西侧。涡旋的气旋性切变明显,有很强的正涡度、负散度和上升运动,上升速度达 $-8 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在涡旋的东南侧有一支强劲的低空急流,急流轴自南海至芷江过汉口以北,中心位于芷江,其风向具有明显的向北的分量。在涡旋的北侧有强的 θ_{se} 锋区

形成,锋后是来自西风槽后的西路下沉冷干空气。尔后冷干空气呈漏斗状侵入四川盆地,并驱动暖涡旋斜压发展。在两支气流的交汇区有位势不稳定建立,其 K 指数 $>40^{\circ}\text{C}$,因此,一旦受到扰动抬升,将引起强烈的位势不稳定释放。

当西南涡及其对流云团东移发展时,受到环流系统的制约和鄂西南山地阻挡而驻留。因此,涡旋上生成的气旋性对流云团被迫向鄂西南上空传播和集结,并造成该地区特大暴雨过程。

5 结语

5.1 湖北梅雨期特大暴雨落区主要集中在鄂东地区,其次在鄂西南地区。特大暴雨可分为3个落区(带):江汉至鄂东北、江汉平原南部至鄂东南和鄂西南。

5.2 概述了特大暴雨的副热带高压、西风槽、切变线、低空急流和西南涡天气尺度、次天气尺度系统的一般特征、作用和判据,并采用动态分析方法,归纳出东高西低槽脊东移

型和副热带高压西伸低槽东移型两类特大暴雨的基本流型。

5.3 在上述基础上,结合物理量场的分析,建立了鄂东特大暴雨的强锋区概念模型和鄂西南特大暴雨的暖涡旋概念模型。且揭示出低能舌扰动、波动特征和沿低空急流形成的高能带特征。提出了低能舌与高能带发生“碰头”并形成强能量锋区的显著性特征和异常的暖涡旋特征。这种特征场有利于中尺度对流系统的发生、发展和集结,并可能爆发大规模的持久的对流活动。

参考文献

- 1 陶诗言等. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980 年.
- 2 李玉兰等. 1981 年 7 月 12-13 日四川盆地特大暴雨的分析, 1981 年我国异常天气分析预报技术文集. 北京气象中心, 1983 年.
- 3 周鸣盛. 我国北方 50 次区域性特大暴雨的环流分析. 气象, 1993 年, 19(7).
- 4 陈泰然等. 梅雨期低空急流与台湾北部大暴雨的研究. 暴雨研究和试验文选. 北京: 海洋出版社, 1991 年.

The Circulation Analysis and Conceptual Models of Regional Heavy Rainstorms during Meiyu Period in Hubei Province

Zhu Jiye

(Wuhan Heavy Rain Institute, 430074)

Abstract

Based on the analysis of twenty-seven non-local heavy rainstorm events in the Hubei Meiyu period, general features and effects of synoptic scale and subsynoptic scale are summarized. Two kinds of circulation patterns are induced with dynamic analysis. Combined with the analysis of physical parameters, two kinds of conceptual models of typical regional heavy rainstorm systems about strong frontal zone and warm vortex are found.

Key Words: regional heavy rainstorm system feature circulation pattern conceptual model