

暴雨过程的中尺度分析

李象玉 纪英惠 潘志祥

(湖南省气象台, 长沙 410007)

提 要

利用1998年6月13日00时~14日14时逐时降水量、地面风场、高空及雷达回波资料,初步分析了中尺度过程的演变特征,指出中尺度系统是造成暴雨的直接原因并统计出物理量、中低压环流活动与暴雨的对应关系。在大尺度环流形势下,中尺度辐合线和地形作用为局地大暴雨提供了有利条件。

关键词: 暴雨过程 中尺度 分析

1 概 况

1998年6月13日00时~14日14时,湖南省内出现了汛期雨水集中期的第一场范围广、强度大的暴雨过程。38小时内湘中及偏北一线普降暴雨、局部特大暴雨,累计雨量超过100mm的有25个县市,安化、益阳、沅陵、长沙、浏阳超过200mm,其中安化达290.8mm,柘溪库区的邹家滩降雨量最大达383mm。本次暴雨中心位于柘桃区间和柘溪库区,致使柘溪与桃江区间形成 $8000\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的洪峰流量,创1949年以来纪录。

2 中尺度雨团的演变特征

这里所说中尺度雨团是指降雨量 $\geq 10\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的雨区,根据定义分析出本次暴雨过程共有6次中尺度过程:第1次是6月13日00~11时,第2次是6月13日05~12时,第3次是6月13日18~22时,第4次是6月13日19~23时,第5次是6月14日00~03时,第6次是6月14日06~08时。这6次过程既紧密相连,又有各自独立的发展史,在我省湘中以北地区造成暴雨团频频发生。

2.1 雨团的移动路径及尺度

第1次过程于6月13日00时在汉寿生成后向其周围扩展到常德、益阳等地,尔后逐渐向东南方向发展,在湘阴、长沙、浏阳、株

洲、湘潭等地形成暴雨区,11时在湘潭、株洲结束,系统的尺度大约200km左右,移速约 $10\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$;第2次过程于13日05时在溆浦生成,向西北方向发展到达泸溪、沅陵、古文、吉首一带,然后又折向永顺、张家界一带,至12时在张家界结束,系统的尺度约100km,移速约 $16\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$;第3次过程于13日18时在永顺生成,向偏南方向发展到达古文、沅陵、辰溪一带,22时在辰溪结束,系统的尺度约110km,移速约 $22\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$;第4次过程于13日19时在安化生成发展,23时结束,系统尺度约140km;第5次过程于14日00时在长沙、湘潭、湘乡一带生成,尔后向东南方向发展到达株洲一带,03时在株洲结束,系统的尺度约60km,移速约 $23\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$;第6次过程于14日06时在安化生成,尔后发展到益阳一带,08时在安化结束,系统尺度约130km(图略)。

2.2 雨团持续时间及最大降水量

这6次中尺度过程各站降水持续时间最短均为1小时,最长分别为4小时、5小时、4小时、5小时、3小时、3小时,平均时间分别为2.6小时、2.2小时、1.5小时、2.6小时、1.6小时、1.7小时。而第1次过程1小时最大降水量出现在13日07时,是浏阳站,为

39.6mm;第2次1小时最大降水量出现在13日08时,是吉首站,为51.9mm;第3次1小时最大降水量出现在13日18时,是沅陵站,为27.4mm;第4次1小时最大降水量出现在13日20时,是安化站,为32.7mm;第5次1小时最大降水量出现在14日01时,是株洲站,为23.5mm,第6次1小时最大降水量出现在14日07时,是益阳站,为31.2mm。

在一次暴雨过程中,单站降水量的时间演变上可表现出周期约3小时的降水过程,从本次暴雨过程的6次中尺度过程分析看,暴雨团的降水量占日降水量的大部分,且维持时间超过3小时,而每2次中尺度降水过程之间的间歇时间是不尽相同的,有的仅1小时左右,有的是数小时。表1是中尺度过程统计表。

表1 中尺度过程统计表

雨团 编号	起止 时间	各站持续时间/小时			过程降水量/mm		系统 尺度/km	移向	移速 km·h ⁻¹
		最长	最短	平均	平均	1小时最大			
1	13日00~11时	4	1	2.6	41.5	39.6	约200	140°	10
2	13日05~12时	5	1	2.2	37.0	51.9	约100	320°折向30°	16
3	13日18~22时	4	1	1.5	18.3	27.4	约110	170°	22
4	13日19~23时	5	1	2.6	36.0	32.7	约140	稳定	少动
5	14日00~03时	3	1	1.6	18.3	23.5	约60	100°	23
6	14日06~08时	3	1	1.7	22.5	31.2	约130	稳定	少动

2.3 降水的时空分布

本次暴雨过程的主要降水出现时间有3段:第1段是13日00~12时,第2段是13日19时~14日03时,第3段是14日06~08时,而且降水持续时间长、强度大、范围

分布极不均匀,具有明显的中尺度特征。从13日00时~14日14时的降水图上可以看出,200mm以上的降水中心有4个,其尺度一般小于100km,但沅陵~安化~常德~长沙一带暴雨连成片,其空间尺度超过100km(见图1)。

3 雷达回波的演变特征

在长达38小时的暴雨过程中,雷达进行了跟踪加密观测,发现共有4次中尺度过程:第1次12日19时33分~13日16时、第2次13日17~23时、第3次14日00~02时、第4次14日03~11时。除第3次中尺度过程几乎完全在雷达探测盲区内,无法分析外,现对其余3次中尺度过程进行分析(注:因雷达观测在湘北有挡角,有些中尺度过程分析不出来,故中尺度过程与前述不统一)。

这3次过程活动规律既有共性又有个性,既紧密联系又有各自独立的发展史。在湘中以北地区,形成此起彼伏回波生消不断的局面,前一次过程刚接近减弱,后一个过程又猛烈发展,因而造成强降雨团频频发生。

3.1 回波的生成

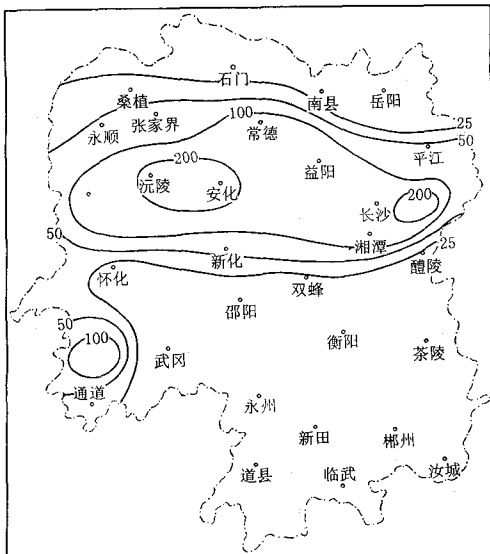


图1 1998年6月13日00时~14日14时总雨量(mm)

广,造成了洪涝灾害。暴雨过程降水量的空间

第 1 次中尺度过程:12 日 19 时 33 分在涟水上游、新化、资水一带有 3 个单体回波出现,以东北西南向排列成一条带状,每个单体的水平尺度仅 20~30km。到 22 时 35 分这条线状回波向东北(60°)伸展,其中最北部的单体迅速发展扩大,水平尺度达 50km,中心强度开始有 40dBz 的回波出现,强回波的位置正好在安化县,从 12 日 23 时~13 日 08 时,这条单体组成线状回波顺转发展成东西向片絮状回波带,即在层状云回波带中镶嵌着较强对流单体,这些强对流单体都是从安化发展向偏东(80°)方向移动,回波约宽度 200km、长 500km(图略)。值得提出的是由于雷达探测盲区面积大,回波在盲区内无法描述,我们仅就较强回波加以描述。

第 2 次和第 4 次中尺度回波的发生源仍在安化附近,与第 1 次回波生成发展形式不同的是在上次减弱成层状云回波中又一次发生对流性单体回波,形成(片、块)絮状回波的速度更快,从前一次过程减弱到后一次过程生成发展仅 1~2 小时,紧接着就是又一次强回波发展过程,但整个回波带仍稳定少动,这是在非连续暴雨过程中少见的(图 2~3)。

3.2 回波的发展

3.2.1 强回波时段

3 次过程发展的旺盛时期分别为 13 日 08~12 时、13 日 18~22 时和 14 日 05~08 时。尤其是 13 日 08~09 时、12 时,13 日 19~20 时,14 日 07~08 时,都出现 50dBz 以上的强回波中心,强回波的水平尺度一般很小,仅 10km 左右。一般的回波顶高 10~12km,最高 15km,但强回波顶高一般都在 8km 以下。安化 13 日 20 时强回波中心达 52dBz,降水量为 32.7mm,为最大极值。安化既是回波的发展源,又是强回波的中心,在 38 小时降水过程中就有 10 个时次 1 小时降雨达 10mm 以上。

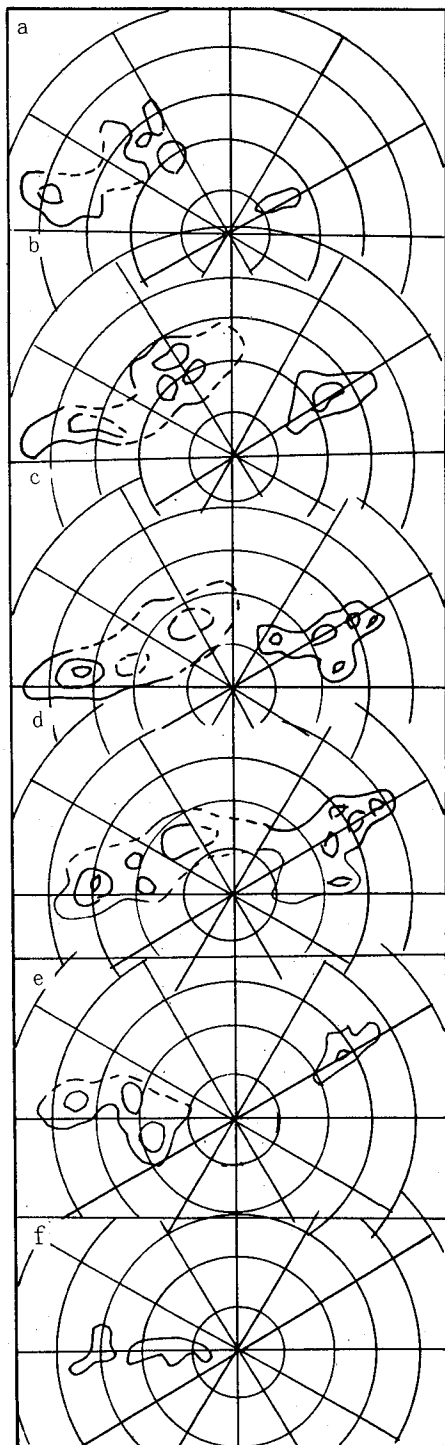


图 2 1998 年 6 月 13 日 17~23 时(a~f)逐小时长沙 713 雷达回波演变图

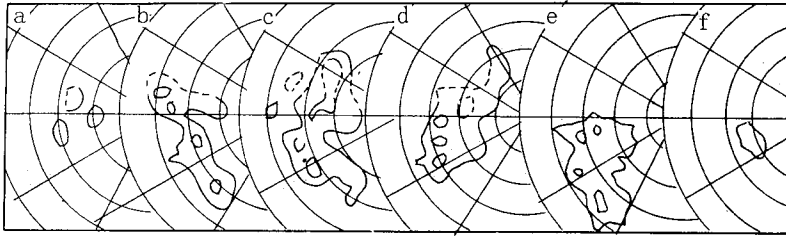


图3 1998年6月14日03~11时长沙713雷达回波演变图

a~f代表的时间分别为03时00分、05时00分、07时00分、08时00分、09时00分、11时00分

3.2.2 回波的移动

3次过程在发展旺盛时期都呈东西向絮状分布,在湘中以北 27.5~29°N 之间,南北摆动不过几十公里,尤其是第1、2两次过程回波带表现极为稳定,在回波带上有一个个强对流单体向偏东方向移动。在回波愈发展

加强时,移速愈慢,移向愈偏北,如12日20时回波加强中,移向60°,移速20km·h⁻¹。在回波愈减弱消亡时,移速愈快,移向愈偏南,如14日17时回波消亡时,移向100°,移速50km·h⁻¹,这是雷达观测的一个普遍事实(见表2)。

表2 雷达回波探测统计

日期	时间	性质	形状	强中心地点	中心强度/dBz	顶高/km	移向/度	移速/km·h ⁻¹
6月	19:33	∇/:	块	新化	28	10	60	20
12日	22:35	R∇/:	块絮	安化	37	11	80	20
	08:00	R∇/:	片絮	安化	51	15	90	20
6月	11:00	R∇/:	片絮	安化	40	12	90	20
	14:00	R∇/:	片絮	安化、宁乡	50	10	70	30
13日	17:00	∇/:	絮	安化	40	9	60	30
	20:00	R∇/:	片絮	安化、益阳	52	11	90	30
	23:00	R∇/:	片絮	宁乡	31	12	100	40
6月	05:30	R∇/:	片絮	新化	40	15	70	30
	07:37	R∇/:	片絮	安化~娄底	50	11	90	30
14日	11:00	R∇/:	片絮	娄底~双峰	30	8	100	40
	13:52	∇/:	絮	双峰~衡阳	25	8	100	50

3.3 回波的消亡

随着中层切变和地面冷锋的南压,第4次过程回波带整体南摆,强回波由原来的东西向转为南北向,与回波整体一起南压,移速加快,达40~50km·h⁻¹,移向顺时针旋转到100°,直到回波减弱消失。

4 成因分析

4.1 大尺度环流背景

大尺度的暴雨系统一方面支配着降水区的活动,同时又为系统的内部存在的、直接酿成暴雨的中尺度系统的发生、发展提供了重要的大尺度背景条件。从500hPa图(略)上

看,副高脊线在17~20°N附近,有利于湘中以北的暴雨发生,四川盆地有低槽东移。850hPa图(略)上,重庆~贵阳附近有一低涡(西南低涡)发展,切变位于湘北。随着高空低槽、西南低涡沿着切变线发展东移,地面有冷空气补充南下在湘中一带形成静止锋,造成了湘中以北地区暴雨成片。在这样有利的大尺度环流背景下,低层及地面切变线附近不断有中尺度暴雨团发展,这是造成暴雨过程的主要原因之一。

4.2 物理量场分析

选取的物理量有散度(D)、涡度(ξ)、垂

直速度(ω)及水汽能量散度(Dq),资料取1998年6月13日08时500hPa、700hPa及850hPa。通过计算,将上述4个物理量合成到一张图上,以850hPa合成图为例(图4)可看出:合成图上的重叠部分正好与暴雨的落区基本吻合,阴影区代表负散度、负垂直速度、负水汽通量散度及正涡度的重叠区,其中心最大值分别为 $22.0(\times 10^{-6} \cdot s^{-1})$ 、 $43.7(\times 10^{-4} \cdot hPa \cdot s^{-1})$ 、 $202.4(\times 10^{-5} \cdot g \cdot cm \cdot hPa)$ 和 $60.3(\times 10^{-6} \cdot s^{-1})$ 。中低层散度的强辐合区与强降水落区有很好的对应关系,本次过程700、850hPa散度场 $-10(\times 10^{-6} \cdot s^{-1})$ 的等值线包括的范围与大暴雨落区基本吻合,700hPa负最大中心 $-20(\times 10^{-6} \cdot s^{-1})$ 也正好在安化、沅陵境内,这与安化、沅陵是强降水中心正好相对应。从涡度分析看,500hPa以上暴雨区内以负涡度为主,

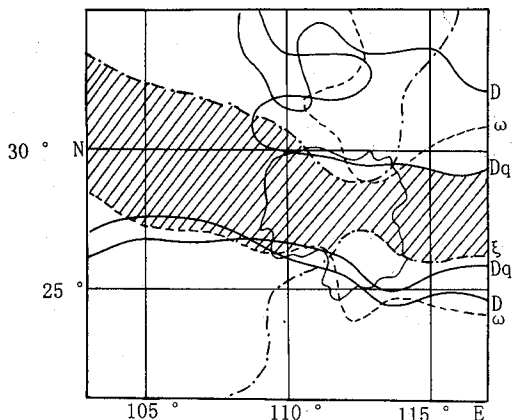


图4 1998年6月13日08时850hPa散度、涡度、垂直速度、水汽通量散度合成图

而500hPa及以下层次有明显的正涡度,呈东西向的带状分布,这种低层正涡度、高层负涡度的配合对本次过程的低涡东出及倒槽锋生有很大的贡献。垂直运动是各物理量场的综合表征,在暴雨落区内,从低层到高层为一致的上升运动,100mm以上的大暴雨区达到 $-30 \sim -50(\times 10^{-4} hPa \cdot s^{-1})$ 的量级,上升运动更为剧烈。

4.3 地面流场分析

根据地面逐时风场资料(略)分析看,在 $28^{\circ}N$ 附近不断有中低压环流活动,这为地面中尺度辐合线提供了重要的流场保证,13日01时在安化、长沙附近有两个中低压环流生成、发展,持续4个小时。13日09时在长沙附近又有一个中低压环流生成,持续2个小时。18时,在安化一带又有中低压环流生成,持续6个小时。14日02时,又在安化、湘阴附近有两个中低压环流生成、发展,持续4个小时。从中低压环流的活动与雨量分布看,中尺度辐合线北侧的中低压环流活动的地区,正好是强降水的落区。

4.4 中尺度辐合线和地形的作用

从这一次暴雨过程看,中尺度辐合线在 $27 \sim 28^{\circ}N$ 一带形成准静止辐合线,它与地形的关系非常密切。雪峰山位于 $26 \sim 28^{\circ}N$ 、 $110^{\circ}E$ 的范围内,呈北北东~南南西走向,其东侧盛行偏南气流,其西侧为武陵山与雪峰山之间的沅水河谷地带,往往地面有弱冷空气沿河谷地带南下,使雪峰山的两侧吹东北风,它与雪峰山东侧的西南气流之间形成辐合线。在这里,沅陵、安化一带正是个强暴雨中心。沅陵过程降水量达240.3mm,安化过程降水量为290.8mm,它们正好处在沅水河谷与雪峰山北侧一带,是中尺度最强辐合区。安化是本省的一个暴雨中心,这与地形的作用有很大的关系。

5 小结

(1)从物理量场分析看,散度、垂直速度及水汽通量散度的负值与正涡度的重叠区,与暴雨的落区比较吻合,为暴雨的预报提供了客观依据。

(2)中尺度辐合线和地形为局地大暴雨提供了有利条件。

(3)天气系统的尺度愈小,对分析资料的要求愈高、愈严格。和大尺度天气分析比较起来,中尺度系统的分析不但要求资料的精度高,而且要求资料的密度大,时间间隔和空间间隔都要尽可能的小。因此,要提高中尺度过程的预报水平,就需要增加必要的探测手段。

(下转第44页)

Mesoscale Analysis of the Heavy Rain Process

Li Xiangyu Ji Yinghui Pan Zhixiang

(Hunan Province Meteorological Observatory, Changsha 410007)

Abstract

Using the hourly precipitation data, surface wind filed, upper air data and radar echo data in Hunan province from 13 to 14 June in 1998, the evolution character of the mesoscale proess was analysed preliminarily. The mesoscale system——direct cause of the heavy rain and the corresponding connection for heavy rain with physical quantity, active of mesolow circulation were pointed out. The large scale circulation situation, mesoscale convergence line and orographic action provided advantage condition for local large heavy rain.

Key Words: heavy rain mesoscale analysis precipitation