

1999 年上海市一次连续性暴雨过程分析

陈智强 戴新甫

梁旭东

(上海中心气象台, 200030)

(上海台风研究所)

提 要

利用实测资料, 采用天气学方法和有限区数值预报模式计算的物理参数, 对 1999 年 6 月 23 日 20 时至 28 日 14 时上海市一次连续性暴雨过程进行了分析研究, 指出连续性暴雨过程是在大尺度环流系统异常稳定条件下, 多种尺度天气系统相互作用及恰当配置的结果; 同时还探讨了水汽条件、动力条件及不稳定条件等因子在暴雨维持中的重要作用。

关键词: 连续暴雨 形势特征 成因分析

引 言

连续性暴雨过程是指某地区连续数日每日有 50mm 以上降水。为了与历史情况相比较, 我们统一以 20~20 时为日雨量统计时段, 上海地区从 1873 年开始有正规的气象观测以来的 128 年的日雨量资料显示, 历史上连续 2 天出现暴雨并不少见, 而连续 3 天或以上出现暴雨就非常罕见, 1957 年 7 月 2~4 日曾经出现过一次连续三天的暴雨过程。本次暴雨过程是历年持续时间最长的一次, 过程总雨量达 281.8mm (具体雨量见图 1), 6 月 24~27 日连续四天日雨量超过 50mm, 为历史上首次出现。

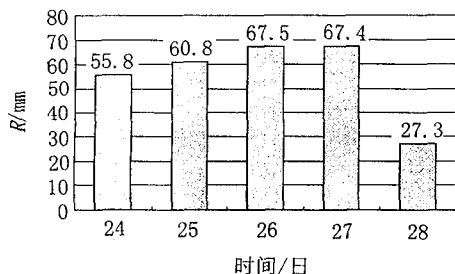


图 1 1999 年 6 月 23 日 20 时~28 日 14 时上海地区日雨量/mm

一般认为, 连续性暴雨与短历时暴雨在

环流背景、影响因素上有很大不同。本文将主要从大尺度环流形势、影响系统、形成的宏观物理条件、持续机制等几个方面进行分析, 以求得到一些有意义的结果和启示。

1 大尺度环流特征及影响系统

大尺度天气形势不能直接产生暴雨, 但它能对天气尺度和中尺度天气系统产生直接的作用, 从而间接地影响暴雨, 因此大尺度天气形势的时间演变与暴雨的落区、持续时间等具有明确的因果关系。本次连续性暴雨过程发生在高纬度地区有阻塞系统, 副热带高压加强西伸的阶段, 冷暖空气在长江中下游地区交汇, 中低空切变线和地面静止锋加强并长时间维持, 一次次低空低涡和波动等移动性天气系统重复通过, 并激发出中小尺度系统影响本地区。

1.1 大尺度环流背景

集中强降水时段的出现除了与副热带高压脊线所处位置有关外, 中、高纬度冷空气能否频繁南下, 是造成集中强降水天气过程的主要条件, 而西风低槽的东移, 尤其是西风低槽振幅的强弱, 即能否把中、高纬度地区的冷空气输送到长江中下游地区, 并且持续不断, 则更是上海地区能否出现连续性暴

雨的关键。

从500hPa图(略)上可以看到,连续暴雨开始的当天(24日),副热带高压脊线(120°E附近)由前一天的15°N北跳到20°N以北,之后始终维持在20~23°N之间摆动,副高西北侧的西南低空急流把南海低纬地区的水汽经华南、江南源源不断地向长江下游地区输送。高纬地区的极涡位于西西伯利亚至新地岛地区,其西风底部一直插到50°N附近的贝加尔湖一带,另一极涡位于新西伯利亚群岛附近,与前一极涡打转,并呈现补充加强前一极涡之势。在东欧北部为一阻塞高压,其前部偏北气流引导新地岛冷空气南下。而中纬度地区的地中海、咸海及我国东北地区各有一个切断低涡,我国新疆地区为高压脊控制,另一高压脊位于俄罗斯东部至库页岛附近,时有阻塞环流出现。在暴雨期间,正是由于这种环流形势异常稳定,使北方南下的冷空气与暖湿气流在长江下游地区交汇,从而使上海地区出现了连续4天的暴雨天气。之后随着新疆高压脊的减弱和东北低涡的填塞,我国东部沿海地区西风槽北缩,暴雨过程结束。

1.2 影响系统

暴雨期在江淮地区低空切变线维持,并有3次低空低涡沿切变线东移。随着副高的北跳,23~24日地面静止锋也从闽北地区北抬到长江下游地区,在冷暖空气的共同作用下,静止锋上不断有低压波动形成,在静止锋北侧29~32°N之间始终维持一条东西向的强降雨带,并不断激发出中尺度雨团影响本地区。根据上海地区每小时雨量资料(略)分析,24~28日上海地区共受到10次中尺度雨团(每小时雨量 $\geq 10\text{mm}$)的影响,最强的一次出现在6月27日14~15时,1小时雨量达33.5mm。

2 物理量诊断分析

环流特征及影响系统分析多年来一直作

为暴雨过程分析预报的主要依据,但它没有涉及到暴雨的成因,为了分析此次连续性暴雨的成因,我们从暴雨的成因条件出发,采用上海有限区数值预报模式计算08、20时的物理参数(垂直从地面至100hPa共12层;水平格距81km,东西向67个格点,南北向65个格点;中心点位于上海,即31.4°N、121.4°E,网格序号34、33),对物理量进行诊断分析,并对连续暴雨过程的持续机制进行一些初步探讨。

2.1 水汽的输送和辐合

图2为暴雨期间(6月24日08时~27日20时,下同)850hPa平均水汽通量南分量(Q_v)分布图, Q_v 的大值中心位于暴雨区的西南方向,湿舌顶伸向长江中下游,正 Q_v 大值轴线北侧到700hPa切变线南侧之间,等 Q_v 线几乎平行于切变线,其南北向梯度较大处与暴雨带强降水区相对应。

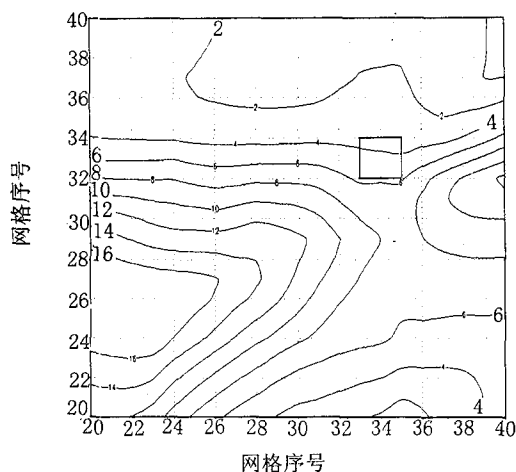


图2 暴雨期间850hPa平均水汽通量南分量分布(单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

为了进一步了解水汽条件,我们还计算了上海附近正方形区域内(图2粗实线区)各层各侧边界平均水汽的输入和输出情况(见表1),由表1中可以看到,南侧、西侧为输入,北侧、东侧为输出(仅在1000hPa层上

东侧为输入,西侧为输出),同时输入西侧大于南侧,输出东侧大于北侧,并在700hPa层上达到最大;从水汽的辐合辐散条件看,500hPa层以上为辐散层,以下为辐合层,并在850hPa层上达到最大。另外,尽管东西侧输入输出量明显地大于南北侧,但水汽的辐合却以南北向为主,东西向很小。

表1 上海地区水汽的输入和输出情况(正号为流入,负号为流出,单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

高度	南侧	北侧	西侧	东侧	合计
1000	2.6	-1.2	-0.4	1.3	2.3
850	5.7	-3.2	9.3	-8.9	2.9
700	4.9	-2.5	10.2	-11.1	1.5
500	2.2	-1.7	8.2	-8.3	0.4
400	1.1	-1.4	5.5	-5.4	-0.2
300	0.1	-0.4	2.3	-2.3	-0.3
合计	16.6	-10.4	35.1	-34.7	6.6

2.2 动力条件分析

2.2.1 高低空急流

图3为暴雨期间平均风速 U 分量沿 121.4°E 南北向剖面图,在200hPa层上有一个强西风中心,即高空急流,中心风速达 $40\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,其南侧为东风带;位于中低层的西风反映了西南低空急流的位置,在低空急流的北侧有一东风带,东西风的零线附近反映了中低层的风向切变,即切变线的位置。从这两支急流的逐日变化图(图略)上可见,在暴雨发生前,高空急流位置偏北,低空急流位置偏南,两者相距12~14个格距,以后高空急流缓慢南移,低空急流略有北抬,在暴雨期,两者平均相距8~10个格距。从动力条件分析来看,高空急流的右侧为动力辐散流场,低空急流的左侧为动力辐合流场,当这两支急流处于合适的位置时,高层辐散、低空辐合相互垂直叠置,引起很强的上升运动,对流活动猛烈发展。在环流形势稳定的条件下,这种高低空急流的配置可维持较长时间,为连续性暴雨提供持续的动力上升条件。

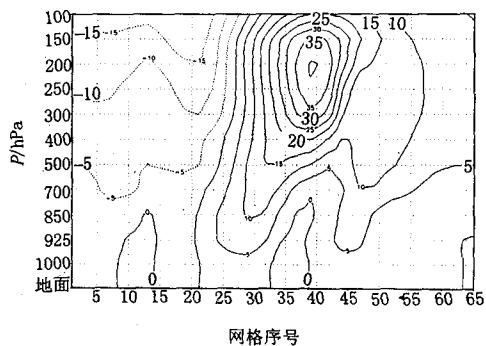


图3 暴雨期间平均风速 U 分量沿 121.4°E 南北向剖面图

风速单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

2.2.2 涡度场分布

暴雨期间,在850hPa层上有一个东西向的正涡度带,它的南北二侧为负涡度带(图略)。850hPa低空急流轴线位于正涡度轴线南侧200~300km处,即正负涡度过渡区域内,正涡度带与850hPa低空切变线相重合,两个负涡度带分别对应副热带高压和西风带小高压。在垂直方向上,暴雨期间平均涡度沿 121.4°E 南北向剖面图上显示(图略),正涡度向北倾斜,500hPa以下正涡度区对应中低空切变线和低涡,500hPa以上正涡度区对应高层西风槽前的区域。

图4是上海地区(网格序号34、33)涡度时间序列图,正涡度一般均出现在500hPa层以下,在850hPa层上出现3次正涡度极大值,时间分别为24日20时、26日08时、28日08时,对应时次出现3次低空急流的加强,同时在上海附近有3次低压波动通过,低空急流和低压波动的强弱与850hPa层上3次正涡度极大值的变化趋势完全一致,如28日08时正涡度值达到 $6.0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$,此时850hPa层上低空急流风力达 $18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,地面静止锋上低压波动获得明显发展。低空正涡度、低空急流、低气压的同步变化不是偶然的,而是具有密切的联系,这种联系可

以通过降水的正反馈作用得到合理的解释。低空正涡度是降水天气系统发生发展的重要因素之一,降水产生凝结潜热,潜热释放使空气柱增暖,根据热成风关系,在暴雨区北侧高空风加大,造成空气质量的大量流出,高空辐散加强,同时低层出现减压和辐合,暴雨区周围低层出现了大的气压梯度。由于气压梯度的加大而使水平风速加大,于是低空急流得到加强,暴雨得到维持。

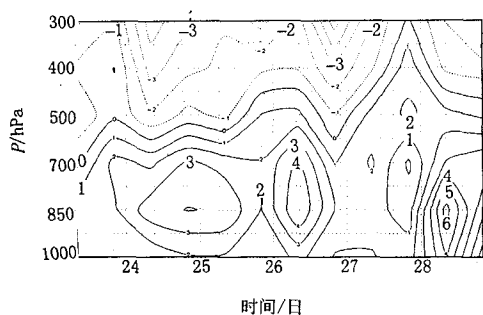


图4 1999年6月24~28日上海地区涡度($\times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$)时间序列图

2.2.3 散度场分布

图5给出了上海地区暴雨期间平均散度

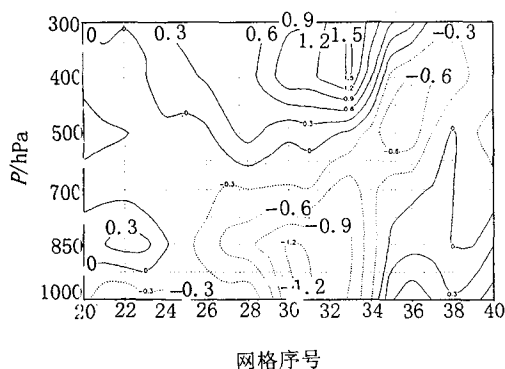


图5 暴雨期间平均散度($\times 10^{-5} \text{s}^{-1}$)沿 121.4°E 南北向剖面图

沿 121.4°E 南北向剖面图。不难看出 600hPa 层以下为辐合区,辐合中心位于 850hPa 层以下,强度达 $-1.2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$; 600hPa 层以

上为辐散区,辐散中心位于 400hPa 层以上,强度达 $1.5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$,这个高层辐散中心与高空西风南侧强辐散流场相联系。由于高层辐散大于低层辐合,高空抽气机效应明显,根据相对散度与降水之间的正相关关系,暴雨正是出现在散度垂直梯度最大,即相对散度最大的地区。

2.2.4 垂直速度场

暴雨期间 500hPa 层平均垂直速度分布显示(图略),正负速度也基本上呈纬向分布,最大上升运动区为 $-3.0 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 所包围的区域,与暴雨区相对应。

2.3 不稳定条件分析

不稳定条件反映了大气层结的不稳定状况和能量输送。从上海地区 K 指数变化看,在暴雨发生前(23日08时、20时), K 指数较高,达 37.5°C 以上,说明暴雨发生前有不稳定能量的积聚,暴雨发生后, K 指数下降,24日20时 K 指数仅为 33.3°C ,这种下降正说明了暴雨的负反馈作用,对于短历时暴雨过程而言,暴雨即将结束。对于本次暴雨过程而言,暴雨并未结束,一直持续到28日14时,25日20时之后 K 指数不降反升,说明对于连续性暴雨,必然存在着不稳定能量补偿作用,这种不稳定能量的补偿是以平流的方式从不稳定能量区向暴雨区输送,分析各个时次 K 指数分布图(图略)可知,暴雨区西南方存在一个 K 指数大于 40°C 高能中心,强度逐日增强,沿低空急流向东北方向扩展。同时可以注意到,由于高能中心位于下沉气流区,能量在当地得不到释放,只能在低层流场的作用下以平流的方式向暴雨区输送,使暴雨区上空能量释放后得以重新建立。

分析位势不稳定指标 $I_c(\theta_{se500} - \theta_{se850})$ 可以得到同样的结论,图6是6月26日20时位势不稳定指标 I_c 和 700hPa 风场分布图,可看出暴雨并不出现在最不稳定的区域,而是出现在负值区的下风方,等值线密集的区域,

由于有负的位势不稳定平流,使暴雨区上空在相当长时间内维持弱的不稳定,造成对流活动频繁发生。

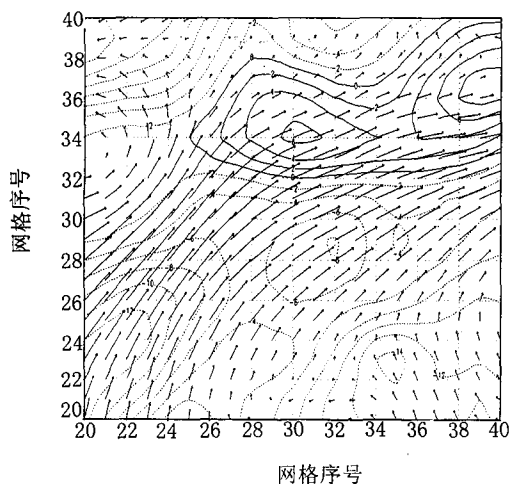


图6 1999年6月26日20时位势不稳定指标 I_c 和700hPa风场分布
 I_c 单位: K, 坐标说明同图2

3 结论

(1) 大形势的持续稳定制约着水汽输送带和冷暖平流交锋对峙,使低空切变线、地面静止锋滞留,地面低压波动一次次反复出现,并不断激发出中尺度系统,持续数日影响同一地区。

(2) 低空急流一方面为暴雨区不断输送

水汽和不稳定能量,另一方面在低空急流的左侧为动力辐合流场,当高空急流向南移动时,其右侧动力辐散流场与低空辐合流场相互垂直叠置,同时高层辐散大于低空辐合,引起强烈的上升运动。在环流形势稳定的条件下,这种高低空急流的配置可维持较长时间,为连续性暴雨提供持久的动力条件。

(3) 在连续性暴雨过程中,低空正涡度、低空急流、地面气压具有同步变化的特征不是偶然的,而是具有密切的联系,这种联系可以通过降水的正反馈作用得到合理的解释。由于没有加密观测资料,目前还无法进行进一步的计算,定量确定它们之间的相互关系。

(4) 暴雨发生后,局地不稳定能量释放。当暴雨区上游存在高能中心,且以平流的方式向暴雨区输送时,暴雨区不稳定能量得以重建,因此连续性暴雨过程往往发生在能量锋区附近。这种不稳定能量的补偿作用是连续性暴雨得以维持的重要条件。

参考文献

- 1 丁一汇. 1991年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 1993.
- 2 张丙辰. 长江中下游梅雨期暴雨的研究. 北京: 气象出版社, 1990.
- 3 章淹. 暴雨预报. 北京: 气象出版社, 1990.
- 4 湘中中、小尺度系统试验基地暴雨组. 中尺度暴雨分析和预报. 北京: 气象出版社, 1988.

A Persisting Heavy Rain Process in Shanghai in 1999

Chen Zhiqiang Dai Xinfu

(Shanghai Meteorological Center, 200030)

Liang Xudong

(Shanghai Typhoon Institute)

Abstract

By using of the conventional data and physical parameters provided by the limited-area model, according to the principle of meteorology, the causes of the persisting heavy rain process of June 23—28, 1999 occurred in Shanghai were analyzed. The results show that the persisting heavy rain occurs in the condition of the large-scale circulation systems remaining anomalous stability and the multi-scale weather systems interacting and standing in a suitable situation. Meanwhile the vapor, dynamic condition and instability energy which play an important role in the heavy rain persistence were also discussed.

Key Words: persisting heavy rain situation feature limited-area model