

# 一次西南低涡引起的杭嘉湖地区特大暴雨分析

李法然 朱 红

(浙江省湖州市气象局, 313000)

## 提 要

通过对 1997 年 8 月 13 日特大暴雨过程的分析, 揭示了暴雨发生前环境场各类物理量分布特征, 发现物理量的强梯度带对暴雨的发生发展起了十分重要的作用, 而且物理量强梯度带的形成、加强和移动为暴雨落区预报提供了依据。

**关键词:** 特大暴雨 低涡切变 物理量强梯度带

### 1 概况

1997 年 8 月 13 日 00~24 时, 在湖州、嘉兴两市出现了大暴雨、特大暴雨过程, 图 1 为 24 小时雨量的水平分布。由图 1 我们发现, 主要雨区集中在浙北, 而强降水中心的主轴走向为长兴~湖州~桐乡~海宁~海盐, 其雨量分别为 39.8、126.4、151.6、221.1、304.4mm。整个雨区分布的特点是自西北西向东南东逐渐发展, 从长兴的 39.8mm 到海盐的 304.4mm 都发生在同一天内, 为了能动态地了解这次降水的时空分布, 我们把上述 5 站的逐时雨量点绘在图 2 上, 由图 2 我们看到长兴、湖州 01~03 时都是微量降水, 强降水都是从 08 时以后开始, 最强的降水时段为 09~12 时, 当湖州在下暴雨时, 相隔仅 40km 的德清一直下小雨, 以致湖州日雨量达到 126.4mm, 而德清只有 8.1mm, 西南面的安吉只有 25.8mm, 小梅口水文站离湖州水平距离不足 10km, 雨量仅为 82mm, 水平降水强度梯度达 4.4mm/km。整个降水过程出现过 3 次风暴云发展的高潮, 降水中心呈跳跃式分布: 第一次以湖州为中心, 波及长兴; 第二次风暴云中心在海宁, 波及桐乡; 第三次超级风暴云发展最旺, 中心在海盐, 波及海宁。这是由于超级单体内部有若干中小尺度的 MCC 云团

发展, 随着风暴云系向东南移动, 这类降水云团越来越多, 不断地生成、发展、消亡, 因此在超级风暴中心附近有很强的降水出现, 而其周围地区则降水强度迅速减弱, 这说明超级风暴单体中心水平尺度很小, 而强降水区主要分布在风暴云体的中后部<sup>[1]</sup>, 北侧的雨量又明显地大于南侧。经分析认为, 这次强降水过程是一次中尺度的超级风暴云迅速发展的过程, 其强度自西北向东南逐渐增强, 云体范围也向两侧扩展, 呈喇叭口状分布。对这样一次来势猛, 强度强, 范围小的中-小尺度过程进行分析是十分必要的。

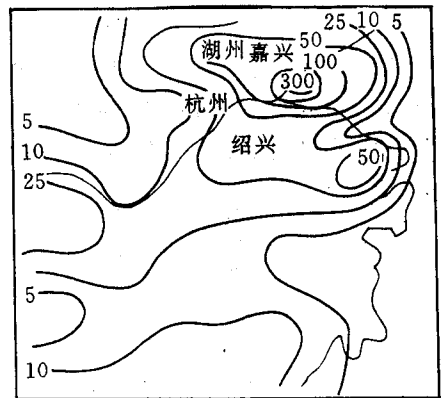


图 1 1997 年 8 月 13 日 00 时~14 日 00 时雨量/mm 水平分布

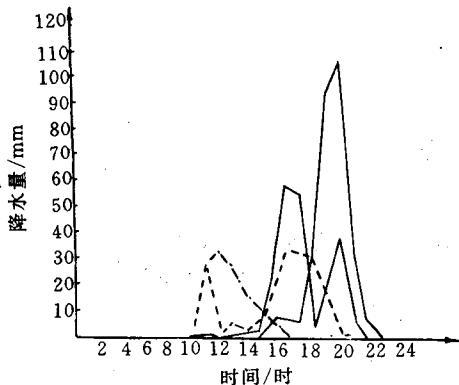


图2 1997年8月13日00~24时雨量中心移动路径上长兴(虚线)、湖州(点断线)、桐乡(断线)、海宁(实线)和海盐(高实线)5站逐时雨量

## 2 环流形势

从8月12、13日700hPa高空图(图略)上看,12日08时在长沙南面有一低涡,南支槽的东侧有一支 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南急流指向钱塘江口,13日08时低涡中心位置已移到南昌和安庆之间,由于该低压前期一直在华西高空暖湿空气中活动,携带着丰富的水汽和能量。12日08时的700hPa图上,从上海~南京~安庆~长沙~重庆已有一个 $12^{\circ}\text{C}$ 的狭长暖温度舌。13日随着从朝鲜半岛向黄海南伸的冷温度槽继续南移,上海站 $\Delta T_{24} = -2^{\circ}\text{C}$ ,这个冷槽的南伸与12日的暖温度舌相迭加,使杭嘉湖地区形成强烈的气柱不稳定。12日08时700hPa急流前部位于杭州以南,杭州站为西北西风,上海为西北风。而13日08时由于渤海湾的高压中心加强南压,南支急流又随着低涡的北上而北抬,使安庆、杭州转为偏南风,上海、南京转为偏东风。12日08时切变线位于南昌、衢州南面,13日08时

北抬到安庆、杭州和南京、上海之间,从原来的暖性切变转变为冷性切变。13日08时500hPa图(图略)上,在杭州与上海之间有一个偏西风和偏南风的气旋性曲率,维持一低槽,负变温区从射阳一带南移到衢州。另外在汉口~南昌~赣州有一低槽,且有一强冷舌与之相配,在这两个冷槽之间自南昌~杭州向蚌埠北伸一暖性高压脊,使该区成了巨大的不稳定能量贮存地,对该地气柱对流发展有着十分重要的作用,而杭州湾北缘正好为温度场和高度场发生急变的气柱不稳定区。

这次强降水过程从大环流上分析,主要是低涡过境,南支急流的加强北抬,切变线、地面辐合线横穿杭嘉湖地区,低空的西南急流和东南急流是大暴雨的主要水汽输送带,而12日温度场的暖性脊为13日的冷性低槽所替代则是潜在不稳定能量得以形成和释放的气柱垂直分布条件。

## 3 地面要素分析

上述讨论表明,这次大暴雨、特大暴雨过程主要表现为中小尺度特征,从高空资料的大尺度分析中很难解释这样强烈降水为什么只分布在长兴、湖州、桐乡、海宁、海盐这狭长的地带,影响湖州和德清,海盐和萧山的高空环流系统并没有什么不同,同一低涡、切变线未能使影响区内每个站点都出现大暴雨。为了探讨这些问题,我们把湖州、嘉兴各气象站的地面资料作了深入的分析,试图从中找出一些中尺度特征来。

地面湿静力能量的计算公式为<sup>[2]</sup>:

$$T_e = T + 1505 \times E/p$$

式中 $T_e$ 、 $T$ 、 $E$ 、 $p$ 分别为湿静力能量、温度、水汽压、气压。

我们计算分析了这次强降水发生前后几天定时观测的资料,图3a、b分别为13日08时和14时的地面湿静力能量的分布图,从图3a上我们清楚地看到高能轴是从海宁向长兴沿西北方向伸展的,而且从长兴向海盐能量值

是逐渐增长的,在 高能轴的两侧形成了两条西北~东南向的能量等值线密集区,即能量锋区,且能量锋最强的区域在海盐与平湖之间,  $T_e$  等值线从北向南呈明显的汇合状。再看图 3b,高能中心已集中到平湖、海盐、海宁,  $T_e$  等值线由西南方向的疏散状逐渐向东北汇合,最大梯度区在海盐、平湖和嘉兴、嘉善之间。从图 3a 的高能脊分布及走向与 08 时开始由西北向东南发展的暴雨、大暴雨、特大暴雨的雨带

分布相吻合,且地面能量分布的增长趋向与雨量的增长相一致,14 时以后位于西部的湖州地区 4 站不再有高能中心及强水平能量梯度存在,说明高能能量的积贮区已释放结束,这跟 15 时降水基本结束相符,此时能量锋区集中在东部嘉兴市区域,而高能中心又明显地出现在平湖、海盐、海宁,这预示着该高能区湿能的释放将又出现一次降水高潮,也就是说 14 时大暴雨将在东南片出现。

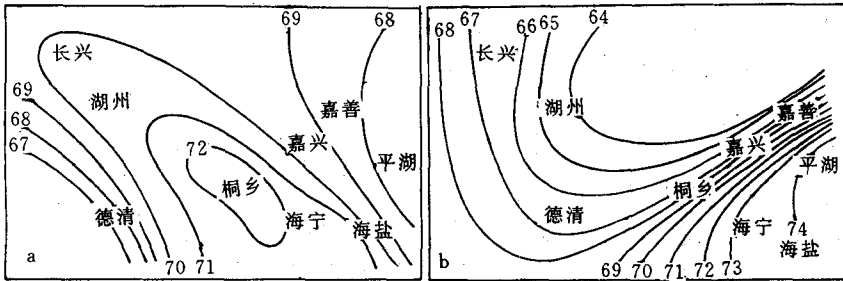


图 3 1997 年 8 月 13 日 08 时(a)和 14 时(b)地面湿静力能量分布

我们又把  $T_e$  和  $E$  的地面资料沿强降水路径作了时间剖面图,从能量和水汽的时间分布上分析暴雨发生前后物理量变化特点,以便利用地面物理量要素的变化规律来摸索暴雨发生的起报时间。从图 4a、b 中我们可以发现  $T_e$  和  $E$  时间分布的一个共同特点,从 8 月 12 日 14 时到 13 日 14 时自西北的长兴向东南的平湖有一个最大值中心移动过程,而在这之前和之后都没有能量和水汽压的高值出现,这从降水预报角度考虑十分有意义,能量有个逐渐增长累积等待释放的前期过程,长兴在 12 日 14 时出现能量和水汽压的高值对于 13 日 08 时发生暴雨、大暴雨的强风暴云系发展有着明显的预示作用,而 13 日 14 时在平湖、海宁、海盐出现高值中心也同样预示着该地区将有一次强暴云系发展的过程,这跟 20 时前后发生的大暴雨、特大暴雨过程相一致。

从地面资料的分析中,我们发现气压、温度的分辨率较差,在这样小的区域内,各站点的时间变化和水平差异不大,较难于暴雨的落区落时预报,而用地面湿能就能较好地作出空间和时间分析,对暴雨环境场的物理特征有着明显的放大作用。通过对地面能量、水汽的时空分析,我们可以从中获得一些预报信息,首先暴雨容易发生于能量和水汽积贮较多的、 $T_e$  和  $E$  明显上升的地区,一旦高能高湿值开始下降,表明高能高湿气团受到扰动被抬升到高空,能量和水汽的释放形式很大的可能就是暴雨的发生。且暴雨容易发生于能量锋区靠高值的一侧,当能量等值线越密集时,发生暴雨的可能性越大,尤其是有高能脊或高能舌产生时,暴雨就可能落在该高能脊或高能舌区<sup>[3]</sup>。

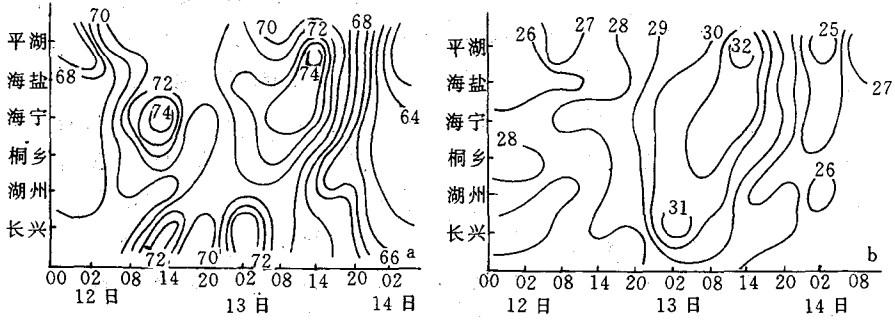


图4 1997年8月12~14日沿暴雨路径所作的 $T_e$ 时间剖面(a)和 $E$ 时间剖面(b)

#### 4 高空物理量场的分布

虽然这次暴雨过程从空间和时间分布上表现为中小尺度的特征,但是从大尺度的物理量计算分析中,我们也能从中获得大尺度暴雨环境场物理特征,图5a、b、c分别为13日08时700hPa的涡度场、垂直速度和水汽通量散度场分布图(散度场分布特征与水汽通量散度场基本一致)。由图5a可见,在九江附近有一个 $4 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 的正涡度中心,而苏北则为一个 $-8 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ 的负涡度中心,一

条强的涡度梯度带,横穿了皖南地区和杭嘉湖地区,在前面的讨论中我们已知低涡中心在13日这一天自西向东横穿了杭嘉湖地区,在13日20时的700hPa涡度分布图(图略)上,正涡度中心已移到长江口和钱塘江口之间的海面。从图5a、b对比中,我们看到位于九江的正涡度中心,其东南侧的浙闽两省之间有一个 $\omega$ 中心值为 $-48 \times 10^{-4} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的强上升运动区,该上升区从闽北一直延伸到杭嘉湖地区,而正涡度中心西侧的九江与汉

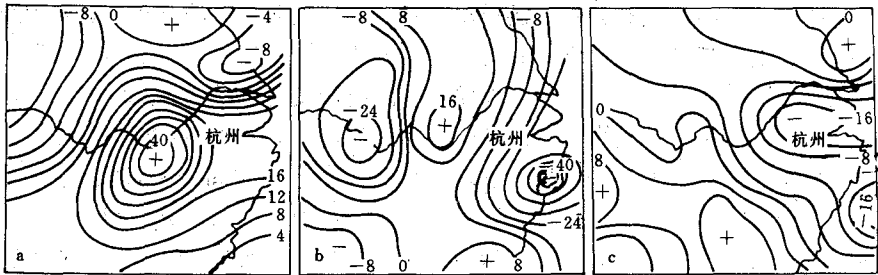


图5 1997年8月13日08时700hPa 涡度场(a,单位: $10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$ )、垂直速度(b,单位: $10^{-4} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )和水汽通量散度场(c,单位: $10^{-6} \cdot \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

口之间,则为一个 $\omega$ 值达 $16 \times 10^{-4} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的下沉气流区,在九江与衢州之间形成一条南北走向的垂直速度强梯度带。随着低涡北抬东移,13日20时垂直速度分布图上,杭嘉湖地区已经成为下沉运动区, $\omega$ 中心值达 $32 \times 10^{-4} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,与降水过程结束相一致。在图

5c上,浙赣两省大部地区和苏北均为水汽辐散区,而从杭嘉湖地区到安徽、河南这一带上为一条水汽通量散度的负值区,其最大负中心在杭嘉湖,达 $-16 \times 10^{-6} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ,在安庆到杭州一线和沿长江南岸形成了两条水汽通量散度等值线密集带,在这条强

梯度带的北侧,水汽通量散度图上,杭嘉湖地区为  $8 \times 10^{-6} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ,已转为水汽辐散区。从上述的动力场分析中,我们可以得出这样一些结论:大暴雨容易发生于中低空涡度梯度最大处的正涡度一侧;从垂直速度场分布看,容易发生在  $\omega$  强梯度带靠强上升运动区负值中心一侧;从水汽通量散度场分布上,发现强暴雨又容易发生在水汽通量散度梯度最大区域的负值区一侧,水汽辐合最强的区域,随着中低空水汽辐合区的逐渐填塞转为辐散场,暴雨过程也很快结束。

在大尺度环流触发中小尺度系统的强对流发展中,垂直气柱层结潜在不稳定性的形成和发展也是十分重要的,从8月12日08时(图略)和13日08时(图6)两天  $K$  指数图的对比分析中,我们看到12日08时南昌到射阳之间有一条从郑州伸向大陈的  $K$  指数强梯度带,在江西、福建  $K$  指数值高达  $39.7^\circ\text{C}$ ,而苏北地区则低至  $-12.9^\circ\text{C}$ 。随着低涡北抬,南支急流向北发展,整个  $K$  值强梯度带也向北推进,8月13日08时射阳的  $K$  值低值中心已降到  $-15.9^\circ\text{C}$ ,杭州已由  $23.9^\circ\text{C}$  升高到  $35.5^\circ\text{C}$ ,上海和杭州之间由原来的  $K$  值低值区成了高值区,也就是说杭嘉湖地区在12日

还是层结稳定区,而从13日08时起已发展为层结不稳定区,该地区以北的地带已成为层结不稳定度强梯度带。分析表明,暴雨发生区为层结不稳定度梯度最大区内,尤其是由原稳定区发展成不稳定层结的区域,这一动态分析对于建立预报着眼点是十分有益的。

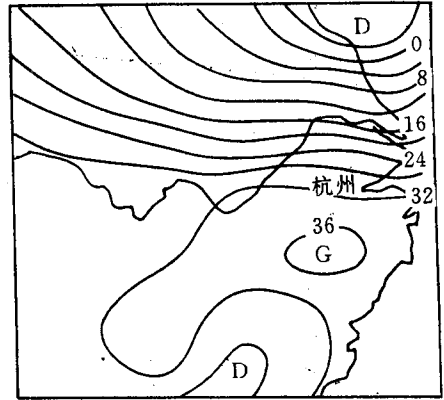


图6 1997年8月13日08时  $K$  指数分布

#### 参考文献

- 1 翟国庆等. 华东飑线过程中的地面中尺度物理特征. 大气科学, 1991, 6(3): 63~68.
- 2 李法然等. 湿静力能在暴雨落区预报中的应用. 浙江气象科技, 1983, (2): 18~21.
- 3 雷雨顺. 能量天气学. 北京: 气象出版社, 1986.

## An Analysis of Heavy Torrential Rain Generated by Southwest China Vortex in Hangjahu Area

Li Faran Zhu Hong

(Huzhou Meteorological Office, zhejiang Province 313000)

#### Abstract

The process of heavy torrential rain in 13 August 1997 was analysed. The results revealed various features of environmental physics field before heavy torrential rain appearance. It is found that the strong gradient of physics field has an important effect both on the occurrence and the development of heavy torrential rain, it also provides the evidence to the forecasts of the rainfall area about the formation, the development and the movement of the strong gradient belt of physics field.

**Key Words:** heavy torrential rain low-vortice shear strong gradient belt of physics field