

暴雨低涡结构、成因及移动的初步探讨

寿绍文 励申申 王 信

(南京气象学院)

提 要

中尺度暴雨低涡主要位于800—700百帕等压面上,中心位于西南风和东北风急流之间,下方为反气旋环流,上方对流层高层亦为反气旋环流。低涡中心为下沉区,外围为上升带。暴雨低涡中心具有向着扰动场上的不稳定区移动的明显的倾向性。

一、分析方法

梅雨期间,长江流域常有切变线,并常有低涡沿切变线东移,造成长江中下游地区一次次的暴雨过程。为了研究低涡的中尺度结构,须将其从大尺度背景场中分离出来。尺度分离方法很多,我们采用了具有订正方案的高斯权重插值法以及由此构造出来的带通滤波方案。这种方法主要包括以下几个步骤:

首先,假定格点要素值是由影响半径内所有测站要素值的加权平均所决定的。设任意格点 (i, j) 上的要素值为 $F_0(i, j)$,则

$$F_0(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^K F(k) W_0(i, j, k)}{\sum_{k=1}^K W_0(i, j, k)} \quad (1)$$

其中,

$$W_0(i, j, k) = \exp(-r_{i, j, k}^2 / 4a) \quad (2)$$

$r_{i, j, k}$ 为格点 (i, j) 到 k 测站的距离。 K 为在影响半径范围内的总测站数, a =常数, $F(k)$ 为 k 站的要素值, W_0 为权重。

其次,用网格点的要素值来反算测站的要素值 $F_0(k)$,并由此而算得插值误差 $F_D(k)$,

$$F_D(k) = F(k) - F_0(k) = F(k) - \frac{\sum_{n=1}^4 F_0(i_n, j_n) W(i_n, j_n, k)}{\sum_{n=1}^4 W(i_n, j_n, k)} \quad (3)$$

其中 $W(i_n, j_n, k) = 1/r^2(i_n, j_n, k)$, (i_n, j_n) 为距测站 k 最近的4个格点的序号。

在求出测站上的插值误差后,算出格点上的插值修正量 $F_D(i, j)$

$$F_D(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^K F_D(k) W_D(i, j, k)}{\sum_{k=1}^K W_D(i, j, k)} \quad (4)$$

其中 $W_D(i, j, k) = \exp(-r^2_{i,j,k}/4as)$, s 为小于 1 的正数。修正后的格点要素值为

$$F(i, j) = F_0(i, j) + F_D(i, j) \quad (5)$$

上面(1)式的波长响应函数为

$$R_0(\lambda, \alpha) = \exp(-4\pi^2\alpha/\lambda^2) = R_0$$

(4)式的波长响应函数为

$$R_s(\lambda, s, \alpha) = \exp(-4\pi^2\alpha s/\lambda^2) = R_0^s$$

(5)式的波长响应函数为

$$R(\lambda, s, \alpha) = R_0 + R_0^s - R_0 R_0^s$$

以上各式中 λ 表示波长。

最后进行尺度分离, 方法是构造两个不同波长响应宽度的低通滤波。两个低通滤波场 F_1 和 F_2 决定带通滤波, 即

$$BF(i, j) = r[F_1(i, j) - F_2(i, j)]$$

响应函数为

$$BR(\lambda) = r[R_1(\lambda) - R_2(\lambda)]$$

其中 r 为 $[R_1(\lambda) - R_2(\lambda)]$ 的最大值的倒数。其目的是使 $BR(\lambda)$ 在最大响应波长 λ_{max} 处数值接近于 1。适当选为 α, s 值, 可得到所要求分离出的尺度 λ_{max} 来。本文所用的网格距为 100 千米, 垂直分辨率为 100 百帕, $a_1 = 5000$, $s_1 = 0.3$, $a_2 = 40000$, $s_2 = 0.4$ 。计算(1)、(4)式时, 影响半径取为 1000 千米, 计算(2)式时, 影响半径为 500 千米。带通滤波中取 $r = 1.25$ 。由滤波响应曲线图可知, 通过带通滤波, 700 千米波长的波保留了 70% 以上。所以直径为 400 千米左右的低涡有清楚的表现。实例分析表明, 这种滤波法比平滑滤波法有较好的效果, 对此我们将另文讨论^[1]。

二、暴雨过程概况

我们分析了 1984 年 6 月 13 日至 15 日发生在长江中下游地区的一次梅雨期暴雨过程。

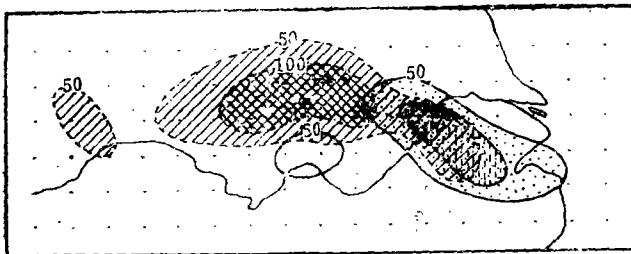


图1 1984年6月13日08时(虚线)及6月14日08时(实线)的24小时(08—08时)降水分布

在这次过程中, 13日的雨区主要位于湖北一带, 14日移到安徽、江苏和浙江一带(图1)。在常规天气图上, 沿长江为一切变线, 并有西南涡沿切变线东移, 它是造成长江中下游暴雨过程的主要系统。但是低涡范围较大, 暴雨区则相对较小, 两

者对应关系不十分密切。为了表现与降水密切对应的中尺度系统的结构，我们用上述客观分析及尺度分离方案对各层要素场作了尺度分离。结果在平滑场上低层为一沿长江流域由西向东伸展的槽，形势稳定。在扰动场上则有500千米尺度的中- α 尺度低涡，在850—700百帕等压面上沿长江流域由西向东传播。暴雨区与中尺度低涡配合较为密切，100毫米/24小时的暴雨区主要位于低涡南侧(图2)。这种中尺度低涡我们称其为“暴雨低涡”。本文的目的是对这种低涡的三维结构及其可能的成因和影响其移动的因子作一初步探讨。

三、暴雨低涡的结构

这里主要分析了6月14日08时暴雨低涡处于比较强盛时的情况。此时暴雨低涡位于长江入海口附近，并有向东南方移动的趋势(图2)。取 α 轴沿低涡的移向(约指向 130°)， β 轴垂直于低涡移向，并令 α - β 坐标系原点位于低涡中心。在 α - β 坐标系中，低涡在各层的流场结构如图3所示。由图3可见下列主要特征：(1)低涡中心主要位于800—700百帕等压面上，在涡的两侧各有一支强风带。在低涡前进方向左侧的急流核，位于低涡的左后象限；在低涡前进方向右侧的急流核，位于低涡的右后象限。低涡中心位于两支急流之间。暴雨带则位于低涡前进方向右前及右后象限。(2)在700百帕低涡中心的正下方，在1000百帕等压面上，呈现反气旋环流，而在反气旋前方则为气旋性环流，并有一辐合线。(3)在700百帕低涡中心上方，500百帕等压面上为一低槽。在300百帕等压面上，低涡上方转变成反气旋环流。而沿1000百帕辐合线上空则呈现为明显的辐散，辐散区外则为明显的辐合区。

图4(a)、(b)分别表示900百帕及700百帕等压面上的垂直速度分布。在700百帕上，低涡中心所在处是一个下沉中心。中心外围则为一上升运动带。在900百帕上，垂直运动的分布与700百帕相似，只是上升或下沉运动的强度都没有700百帕的强度大。在700百帕的比湿分布图上(图4c)低涡

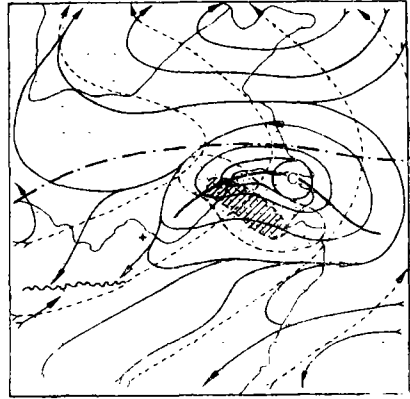


图2 1984年6月14日08时700百帕等压面上的平滑流场(虚线)和扰动流场(实线)。阴影区为13日08时至14日08时的24小时降水量 > 50毫米的范围

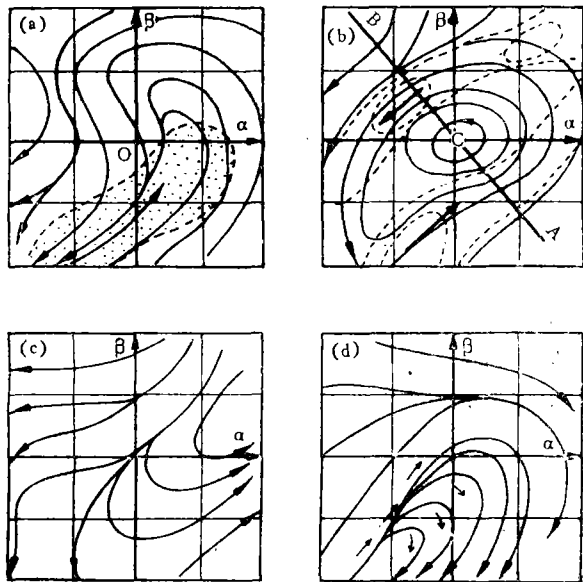


图3 1000、700、500及300百帕等压面上的扰动流场图，阴影区为主要降水区，水平格距为160千米

中心正处在湿度梯度很大的地区。前方和后方分别为湿和干的中心。

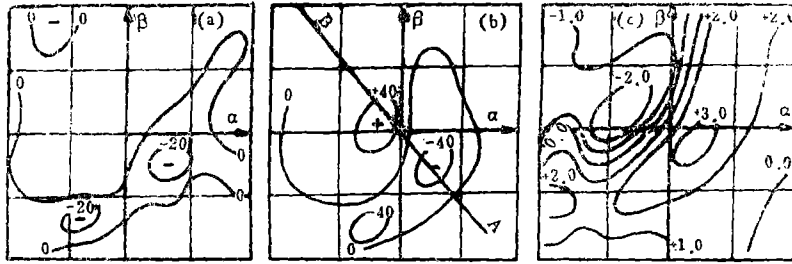


图4 (a)、(b)分别为900及700百帕等压面上的扰动垂直速度分布
(单位: $\times 10^{-4}$ 百帕·秒 $^{-1}$); (c)为700百帕等压面上的扰动比湿分布
(单位: 克·千克 $^{-1}$, 格子格距均为160千米)

从上述分析可见,暴雨低涡是发生在低层辐合、高层辐散的对流带后方对流层中低层的一个中尺度气旋性涡旋。为了更清楚地显示暴雨低涡的垂直结构,我们作了沿 119°E 经线的剖面图(略)。 119°E 经线与 α 轴的交角约为 130° ,所以剖线沿图3或图4中所示的AB线方向。从扰动垂直速度剖面图(图略)可见,低涡前方为上升运动,后方为下沉运动。从扰动温度剖面图可见,低涡的下方,对流层低层为冷空气,上方500百帕为暖中心,更上层(200百帕以上)则为冷中心。

四、暴雨低涡的成因及移动

此次暴雨过程中,沿长江流域的江淮切变线以及平滑场上由西向东伸展的槽一直保持稳定形势。暴雨低涡则伴随降水区移动。从上面关于暴雨低涡结构的分析可见,低涡前部是一个带状的辐合上升区,有些类似于具有尾随层状云区的飑线的结构。在具有宽阔尾随层状云区的中纬度飑线的层状云区中,存在一个中低层的低涡,其成因之一可归因于在飑线对流部分前后两侧的两支相对入流,即由前向后的入流和由后向前的入流之间的强烈切变^[2]。从图3可见,如果我们考虑低涡的移动速度,则在涡的前部有相对入流,它从涡的前部进入低涡,并上升向后流去。在涡的后部也有相对入流,它逐渐下沉,并在低层从后方流出系统。这种相对气流结构与飑线系统中的情况类似。因此可以认为,暴雨低涡与飑线后部的中、低层低涡在成因上也有一定的相似性。另外,暴雨低涡后部的入流是干、冷的,这种温湿特征与飑线后部的干冷入流相似。一般认为降水物在融化层融化以及在干冷气流中蒸发使空气降温,从而使中层等压面下降,可能是造成飑线后部低涡的原因之一。在本例中,低涡形成的高度(850—700百帕)正是在 0°C 层(融化层)附近,以及低涡后部入流的干冷特性,说明降水物融化及蒸发同样也可能是暴雨低涡形成的机制之一。

以上我们用客观的插值及尺度分离方法,将暴雨低涡从大尺度场中分离出来,并讨论了它的三维结构。又从暴雨低涡与一类飑线在结构上的某些相似性,引出了关于暴雨低涡成因的一些讨论。又从暴雨低涡的移动规律进一步说明暴雨低涡可能是对流降水系统的产物。以上的分析只使用了常规观测网的资料,因此所得到的结果有待于用加密观测网的资料验证。关于暴雨低涡成因的讨论则主要是一些推论。关于暴雨低涡移动指向不稳定区的这一规律也有待于更多实例的证实。因此这里只是一个初步的探讨。

参 考 文 献

- [1] 寿绍文、Houze, R. A. Jr., 一条具有宽阔尾随层状区的中纬度飑线的结构, 南京气象学院学报, 1989, No. 2.
- [2] 寿绍文、励申申, 一次强飑线过程的时间剖面分析, 气象科学, 1988年, 第2期。
- [3] Ogura, Y. and Liou, M-T, J.A.S., Vol.37, 553—567, 1980.
- [4] Houze and Rappaport, J.A.S., Vol.41, No.4, 553—574, 1984.
- [5] 王 斌、Orlanski, Mon. Wea. Rev., Vol.115, 1987, No.7, 1370—1393.
- [7] Gamache, J.F. and R.A. Houze, Jr., 1982, Mon. Wea. Rev., Vol.110, 118—135.

A PRELIMINARY STUDY OF THE CAUSE, STRUCTURE AND MOVEMENT OF THE HEAVY RAIN VORTEX

Shou Shaowen Li Shenshen Wang Xin

ABSTRACT

The mesoscale heavy rain vortex is mainly located on the 800-700 hPa isobaric surface with its center between the southwest and northeast jets and an anticyclonic circulation in both its lower part and the upper troposphere. The center of the vortex is a descending area and its rim an ascending band. It is found that the heavy rain vortex center has an obvious tendency to move toward the unstable area of the disturbanc field.