

华南前汛期合成低涡风场的 结构特征

柳崇健、赵深铭

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文用合成分析法讨论了华南 1977 与 1979 年 5 至 6 月份加密观测期间九个低涡的风场特征,揭示了初夏典型的切变线低涡形势下锋前降水的一个可能的物理成因。

一、引 言

暴雨是在一定的大尺度环流背景下产生于气旋性天气尺度系统内部的中尺度现象,引起华南前汛期暴雨的天气系统主要是切变线及其上的低涡。关于低涡,特别是西南涡,我国气象工作者已进行过大量的研究。例如,文献[1]通过低涡的个例分析讨论了西南低涡的结构及低涡的降水与雨区特点。文献[1]与[2]还讨论了低涡的形成和发展问题,指出了高原摩擦阻力及散度变化在低涡形成发展中的重要作用。文献[3]则考虑了行星边界层中因内摩擦所导致的径向内流对低涡降水过程的作用,等等。

由于每年局地生成或从源地移出且在下游造成强烈降水的西南涡个数很少,同时低涡本身的尺度仅为 300—500 公里,因而仅仅利用目前的业务探测资料对低涡的结构作深入的分析研究是有困难的。为了克服观测资料的不足,我们采用合成分析方法,将 1977 及 1979 年 5 至 6 月加密观测期间所出现的九个引起强烈降水的低涡综合在一起,按计算格距为一个纬距的资料详细考察了合成低涡及其环境场的结构特征。

二、合成涡的结构特征

1. 分析实例的选定和资料处理

这次选作合成分析的九个低涡分别出现在 1977 年 5 月 29 至 31 日和 6 月 19 至 22 日,以及 1979 年 5 月 27 至 28 日和 6 月 11 日等时段内。除了一个低涡位置稍微偏南(中心位于 $24^{\circ}N$ 附近)外,其余均位于 25° — $29^{\circ}N$ 之间。它们大都形成于低层入海高压后部暖湿气流比较活跃的宽广低压带内;高空有比较强的辐散场,典型情形是处于北邻湾到中印半岛北部上空 200 毫巴反气旋中心向东伸出的脊线及其北侧的强辐散气流控制之

下,同时紧接下游的西风大槽又增大了该区域的辐散强度,从而给低层的低涡发展提供了极为有利的大尺度背景。如上所述,这些低涡均在移行过程中于华南地区引起了大一暴雨天气过程。

在具体资料合成过程中,我们首先把每一个低涡的探空资料以低涡中心为原点,以切变线为直角坐标系的横轴,将该低涡划分成四个象限,然后把这些低涡的原点和坐标轴迭在一起,同时将相应的探空资料按象限合成。图1是一张把九个低涡的探空资料综合在一起的850毫巴图,图中在直径500公里的低涡内约含100个探空资料,可见比单独一个低涡的资料要多好几倍。

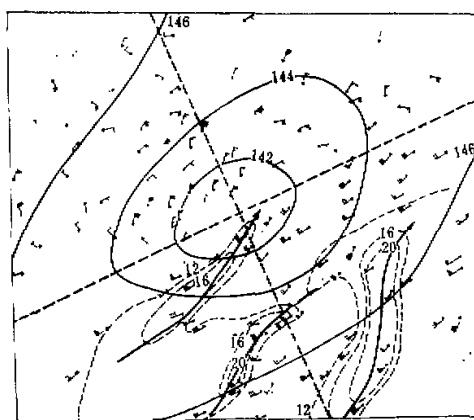


图1 850mb 合成涡图

实线为等高线(单位:位势什米),虚线为等风速线(单位:米/秒)。

2. 计算方案

为了得到低涡的垂直结构,我们分别用 ω 方程和O'Brien^[4]提出的修正连续方程积分方案计算了垂直运动,并取间隔为一个纬距的网格对合成低涡进行了诊断分析。与此同时,我们还将实测风分解为旋转与散度两部分,用以具体考察低涡的水平环流、垂直环流以及高低空的流入、流出情况。所用公式如下:

$$\frac{\partial^2 \chi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \chi}{\partial y^2} = D$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \zeta$$

由此算出速度势 χ 场和流函数 ϕ 场,然后再由

$$u_\chi = \frac{\partial \chi}{\partial x} \quad v_\chi = \frac{\partial \chi}{\partial y}$$

及

$$u_\phi = -\frac{\partial \phi}{\partial y} \quad v_\phi = \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

求出相应的散度风和旋转风。分析散度风和旋转风的流线能清楚简洁地表示出低涡两部分气流的性状。

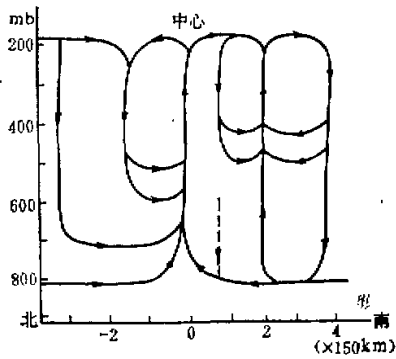


图2 合成涡的垂直环流剖面
水平格距约为150km。

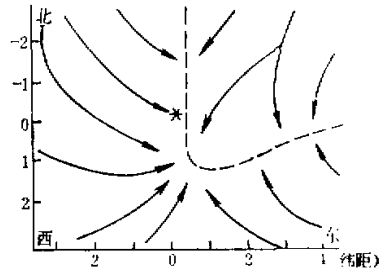


图3 500mb 散度风流线
* 号表示 850mb 上低涡中心位置

3. 合成涡的结构特征

a) 铅直环流结构

图2是合成涡的垂直环流剖面,它是沿大致跟850毫巴切变线正交的方向制作的。同一层次上两个格点间的间距约150公里。从图中可以看出,除了涡中心附近有一强度为 -12.6×10^{-3} 毫巴秒 $^{-1}$ (出现在500—600毫巴高度上)的上升运动外,中心南方200—300公里处另有一支上升气流存在,它的最大强度(-12.4×10^{-3} 毫巴秒 $^{-1}$)出现在400毫巴附近(相应较低层的500毫巴高度上有一强辐合带存在【参见图3】)。按 ω -方程的诊断分析可知,这两支上升气流与因凝结潜热释放所引起的垂直运动符合得很好,对600毫巴高度上出现的最大值,两者是非常接近的。

从图2还可以看出,以上述两支垂直上升气流为主体,在低涡及其附近的环境场内存在三个垂直环流圈。其中范围以图2北面的环流圈最大,它的上升支为上述涡中心附近

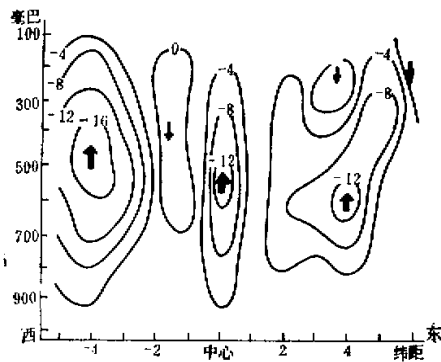


图4 沿切变线的垂直运动剖面

的垂直运动,而下沉气流主要由低涡西北方的下沉冷空气构成。结合辐散风流线(图略),可以看出近地面的空气直至 500 毫巴高度都是一致向中心内流的,另外两个尺度较小的垂直环流与低涡中心东南方的上升气流相联系,其中接近中心的下沉支中止于 500 毫巴,而另一下沉支则一直伸展到对流层下层,反映出低涡及其环境场垂直环流结构的复杂性。

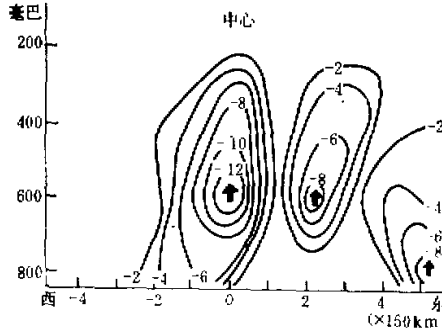


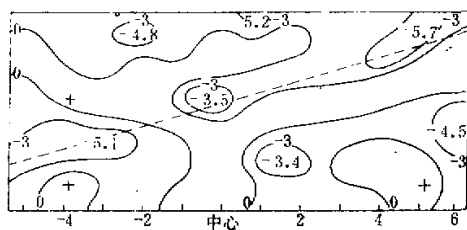
图 5 沿切变线潜热释放所引起的上升运动剖面(单位: 10^{-3} 毫巴/秒)

为了揭示低涡内部垂直运动随高度的分布情况,我们也沿合成涡 850 毫巴的切变线方向作了一个垂直剖面,如图 4 所示。从图 4 可以看出,整条切变线上空基本上均为上升运动,其间仅夹有极弱的下沉气流,而且范围亦很窄。除了图 2 所示低涡中心(中心是两图之交)的上升运动外,图 4 显示出切变线上空另有两个上升运动中心存在,其中西面那个强度较大($>18 \times 10^{-3}$ 毫巴秒 $^{-1}$),最大垂直速度出现在 400—500 毫巴之间;东面那个比西面的小,但最大垂直速度(13×10^{-3} 毫巴秒 $^{-1}$)还是较中心处的极值稍大(参见图 4)。诊断分析结果还指出(参见图 5),涡中心附近的上升运动与由水汽凝结潜热释放所造成的垂直速度的大小分布很符合;而切变线东段上空的上升运动除了凝结潜热的作用外,温度平流的水平分布对上升运动亦有显著贡献。但切变线西段的上升运动,主要由对流层低层切变线与槽线的动力辐合作用所造成,水汽辐合凝结的作用很小。这与低涡西部湿度较小有关,从该区 850, 700 及 500 毫巴温度露点差三层总和的分布(图略)可以看出这一点。

总的来说,低涡中心以西沿低层切变线上空是强烈的上升运动,而西北方则是下沉冷空气,这是典型的由于热力因素产生的直接环流;但低涡中心及其东部情况比较简单,那里基本上是一致的上升运动。下面的分析将进一步指出,低涡东部除切变线上有上升运动外,另外在切变线右前方对流层中层(500 毫巴)亦有一条辐合上升带存在;在初夏典型的切变线低涡形势下,地面准静止锋面南方经常出现所谓锋前降水,它们很可能与这条辐合带的存在密切相关,这个问题下面还要讨论。

b) 水平散度与涡度

由于风场满足质量连续方程,合成涡的散度场与计算的垂直运动^[4]分布有很好的对应关系。值得指出的是,结合图 3 的散度风场我们可以清楚看出,850 毫巴切变线东段上空 500 毫巴面上内流的辐合线处于切变线位置以南,那里正是造成锋前降水的另一支上升

图 6 800mb 散度分布(单位: 10^{-3} 秒^{-1})

气流的所在位置(参见图 2)。

事实上,从图 6 我们亦可以看出,800 毫巴除了沿切变线的强辐合带以外,切变线东段以南二至三个纬距处亦有强辐合中心存在,它们的位置与 500 毫巴内流辐合线的位置大体一致,反映出低涡东部切变线以南的那个辐合区比低涡中心附近的辐合区更为深厚,我们认为,这也是为什么最强暴雨区经常偏离低涡中心的主要物理原因之一。

低涡及其环境场内相对湿度随高度的分布比较凌乱(图略)。低涡中心附近的正涡度一直延伸到 300 毫巴以上;另外,850 毫巴低涡中心两侧一至两个纬距处各有一个强正涡度中心存在,强度大于 $12 \times 10^{-3} \text{ 秒}^{-1}$,它们的厚度非常浅薄,到 700 毫巴高度已变为孤立的负涡度区了。另一方面,与水平散度场对应(参见图 6),850 毫巴水平涡度场(图略)反映出低涡及其环境场内基本上以正涡度区为主,最强正涡度中心集中在切变线附近。切变线以南的区域,大体是每隔一至二个纬距相间出现正负相对涡度带,那是该区域风场不均匀的反映。

c) 水平风速

合成涡的水平风速分布比较复杂。850, 500 和 200 毫巴高度上实测风的辐散部分(500 毫巴散度风见图 3, 余略)反映出低涡上空高低层之间地转偏差的大小非常接近,但实测风的旋转部分却随高度显著增大(图略)。300 毫巴以上低涡北方有一支明显的西风急流存在;这支急流在水平风速的垂直剖面(图略)上亦可清楚看出。这里值得指出的是,合成涡速度势场的结果表明,在低层 850 毫巴切变线及地面准静止锋面以南的暖区上空(500 毫巴等压面上,参见图 3)另有一条风场辐合线存在,相应南北垂直环流剖面(图 2)上低涡中心以南有一个上升运动中心与之匹配。我们认为,这种对流层中层风场的强烈非地转特征的出现,是通常所观测到的初夏华南暖区暴雨降水现象的主要成因之一。

三、结 语

本文主要就华南汛期造成大暴雨降水过程的切变线低涡进行了天气学分析,特别是用加密资料对九个低涡作了合成分析,目的是为了在资料不足的情况下获得对这类西南低涡结构的初步认识。合成涡的风场分析表明,西南低涡内部的环流结构是相当复杂的,特别是当我们借助于速度势场的分析,发现低涡不但在对流层低层有强烈的辐合存在,另外在低涡南方对流层中层(500 毫巴)亦存在强烈的散度风辐合,这说明在分析强烈

天气系统时,利用速度势场来揭示非地转风是很有意义的。诚然,要对暴雨这种突发现象有比较深入的了解,仅有“静态”分析还不够。下一步我们准备借助其它一些分析手段来讨论切变线与低涡随时间的演变特征。

参 考 文 献

- [1] 孙淑清,华南地区低涡暴雨发生发展的研究,华南前汛期暴雨文集,气象出版社,149—156,1982.
- [2] 大气物理研究所模拟组,西南低涡的初步研究,大气科学,第2期,1976.
- [3] 杨大升,行星边界层对低涡降水过程的作用,暴雨文集,吉林人民出版社,47—57,1978.
- [4] O'Brien, J. J., Alternative Solutions to the classical vertical velocity problem, J. Appl. Meteor., 9, 147—203, 1970.

THE STRUCTURE CHARACTERISTIC OF COMPOSITE WIND FIELD IN VORTICES DURING PRE-FLOOD PERIOD IN SOUTH CHINA

Liu Chongjian Zhao Shenming

(Institute of Atmospheric Physics, Academia sinica)

Abstract

The wind field characteristic of nine vortices during the intensive observation period in May-June, 1977 and 1979 is analyzed with a composite method. A probable physical cause for the formation of pre-frontal precipitation in a typical vortex pattern developing on the early summer shear line is revealed and discussed.