

文章编号:1004-9045(2008)04-0341-05

# 一次低涡东移引发的大暴雨过程诊断分析

王海东,李怀川,吴正可

(浙江省温州市气象局,温州 325027)

**摘要:**利用气象常规观测资料和 NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  格点再分析资料,对温州地区 2007 年梅汛期雨量最大的一次降水过程做了较为全面的分析。分析结果表明:低涡东移是造成这次局地大暴雨的直接原因;强降水往往发生在低涡移动的前部和右侧,大暴雨落区与水汽通量散度负中心有着较好的对应关系;并指出华南低涡在沿海地区和内陆地区产生强降水的水汽源地有所不同;此次局地大暴雨过程的水汽输送源地有两个,分别是南海和西太平洋;在沿海地区来自西太平洋的偏东气流对华南低涡暴雨有增幅作用;低涡前部中、低层强烈的上升气流为浙南沿海持续强降水的产生提供了十分有利的动力条件。

**关键词:**低涡;暴雨;中尺度系统;水汽通量

中图分类号:P458.1\*21.1

文献标识码:A

## 1 引言

低涡是我国最强烈的暴雨系统之一,就它所造成的暴雨天气的强度、频数和范围而言,可以说是仅次于台风及残余低压,重要性位居第二的暴雨系统<sup>[1]</sup>,诸多研究已经对华南低涡<sup>[2]</sup>和江淮梅雨锋低涡<sup>[3]</sup>的结构特征进行了详细的分析。温州地处浙江南部沿海,其纬度介于华南和长江中、下游之间,特殊的地理位置使得以上两种低涡都有可能对温州产生影响。本文讨论的低涡暴雨虽然发生在梅汛期,但从其结构特征和降水机制来看,它应属于华南低涡的一种。一些学者<sup>[2]</sup>对有、无暴雨的华南低涡的流场与降水分布进行了对比分析,并提出了华南低涡的流场结构特征和暴雨分布形式,还模拟出了低涡区内流场的物理模型<sup>[4]</sup>。在实际预报服务工作中,虽然有数值预报作为依据,但在低涡暴雨落区和总雨量的把握上仍有一定的难度,往往需要利用多普勒雷达的实时探测资料对预报产品进行不断的修正。为此,希望通过对 2007 年梅汛期低涡东移造成的温州局地大暴雨过程的细致分析,为今后低涡暴雨的短期预报提供一些参考依据。

## 2 大暴雨过程概况

2007 年 6 月 10—11 日,浙江南部地区普降暴雨,在靠近浙闽交界的沿海地区出现了大暴雨,其中金乡、渔寮和霞关三个自动观测站累计雨量超过 200 mm,是

温州地区 2007 年梅汛期最大的一次降水过程。如图 1 所示,降水时空分布极不均匀,沿海总降水量明显多于内陆,强降水主要出现在 11 日早晨前后,其中渔寮一小时最大雨量达到 46 mm。本次天气过程属于低涡东移形势下的次天气尺度(中- $\alpha$  尺度)雨带中的强降水,其中又夹杂着一些中- $\beta$  尺度云团的异常发展,在实际预报服务过程中有一定的难度。

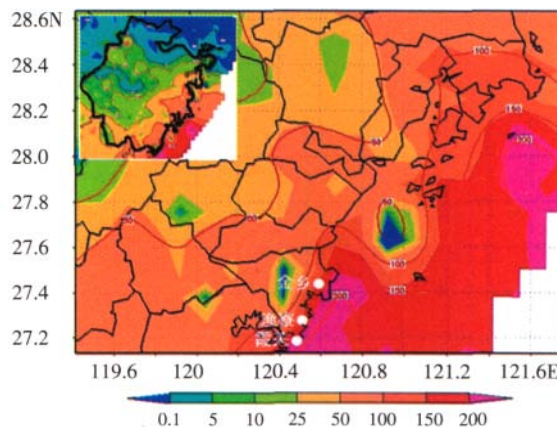


图 1 温州地区 2007 年 6 月 10 日 08 时至 12 日 08 时雨量(单位:mm)图

## 3 环流背景

### 3.1 形势场分析

500 hPa:6 月 10 日 20 时(北京时,下同)高空 500 hPa 西太平洋副热带高压强度偏弱、脊线位置偏南(图略);西风带槽、脊较活跃,我国大陆呈现典型的“北高南低”形势。位于我国东北上空的高压环流宽广,并在

收稿日期:2008-02-26;定稿日期:2008-06-23

基金项目:温州市科技计划项目(S20080014)资助

作者简介:王海东,男,1980 年生,助理工程师,主要从事短期天气预报研究。Email:haidong29294988@163.com

东移的过程中逐渐减弱;南支小槽已东移至江西省东部,浙江和福建两省高空均为槽前一致的西南气流,风速逐渐增大。另外,槽后的西北偏西气流与高压底部的偏东气流之间形成了一条长长的辐合线。

700 hPa:高空 500 hPa 南支小槽对应中层 700 hPa 在江西上空出现的 308 位势什米闭合环流;在浙闽交界上空形成西南偏南气流与偏东气流的暖锋式辐合与切变相结合的环流形势,切变线两侧的风向基本垂直、风速均 $\geq 12$  m/s。

850 hPa: 144 位势什米闭合环流东移至江西省上空,低涡前部的切变线北抬至福建中部,浙江南部沿海地区处在低涡移动前方左侧的偏东气流中。

地面形势:地面气压场比较清晰,高压中心出现在我国黄海,浙江省西南方向的低压倒槽不断东移,浙南、闽北处于倒槽右半部的东南气流中。

### 3.2 高、低空急流与切变线

如图 2 所示,10 日 20 时在高层 150 hPa 等压面上出现了中心风速 $\geq 30$  m/s 的高空急流,它从江西南部延伸至浙江中、北部,并呈反气旋式环流形势。同时在 700 hPa 等压面上出现了中心风速 $\geq 12$  m/s 的低空急流,它沿着海岸线由广东伸向福建中、北部,并呈气旋式环流形势。浙南和闽北此刻正处在高空急流入口区的右侧、低空急流中心的左前方,这种高、低空急流的配置非常有利于强降水的发生<sup>[9]</sup>。中、低层 700 hPa 和 850 hPa 的切变线在东移过程中缓慢北抬,10 日 20 时浙南、闽北地区已经处于两条切变线之间。低层 850 hPa 切变线两侧的偏南风 and 偏东风组成了暖锋式辐合与切变线相结合的结构,此次强降水落区主要发生在浙闽交界附近,这与文献[6]中提到的暴雨区往往落在此切变线北侧的观测事实相吻合。另外,研究表明<sup>[7]</sup>,中、低空西南风急流左侧是正涡度、层结不稳定和辐合对应的上升运动区,当高层有高空急流通过时往往会发生严重的对流性天气。这可以较好地解释 11 日凌晨在浙闽交界处出现中- $\beta$  尺度云团的异常发展。

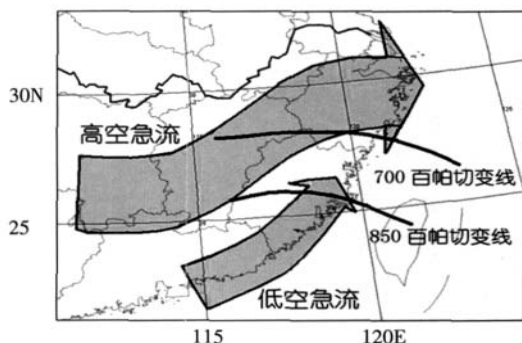


图 2 2007 年 6 月 10 日 20 时高、低空急流与中、低层切变线分布图

## 4 物理量场特征

### 4.1 水汽通量分析

大暴雨的产生必须要有十分充足的水汽来源<sup>[8]</sup>,10 日 14 时(图 3a)低层 850 hPa 水汽通量中心出现在我国南海海面,强度达  $22 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ;水汽通量大值区呈西南-东北向带状分布,其走向与该区域流场方向基本保持一致;此时浙江南部沿海水汽通量较弱,其中小值只有  $6 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。10 日 20 时(图 3b)水汽通量中心向东北方向移动至台湾海峡,中心强度略减弱;受低涡东北侧偏东气流的影响,此时水汽输送带在浙闽交界出现拐角,一条明显的“湿舌”由海上伸向陆地。11 日 02 时(图 3c)水汽通量大值中心继续移动至福建北部,中心强度为  $16 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,浙江南部正处于水汽通量大值带拐角处;伸向陆地的“湿舌”强度继续加强,在温州地区达到  $12 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ;资料表明,温州南部产生大暴雨的三个自动观测站正处在水汽通量等值线密集带,此处水汽通量梯度最大,而且是低涡区两支主要流入气流<sup>[9]</sup>—偏南气流与偏东气流的交汇处,结果表明强降水的落区不是水汽通量最大的中心值所在区域,而是水汽通量梯度较大的区域附近;高温高湿的偏南气流与来自西太平洋的偏东气流共同流入低涡区,可见水汽输送源地<sup>[10]</sup>有两个,分别是南海和西太平洋;来自西太平洋的偏东气流造成了低涡暴雨在我国东南沿海地区的增幅,这与发生在内陆的低涡暴雨有所差别,内陆的低涡暴雨的水汽源地一般在孟加拉湾或南海<sup>[11]</sup>。11 日 08 时(图 3d)海上水汽通量中心明显减弱,伸向陆地的部分强度依然维持,其中心已北移至温州中、北部,根据实际降水资料显示,此时温州南部地区降水已减弱,而温州北部地区正下着倾盆大雨。随着低涡的东移,海上强水汽通量中心逐渐消失,强降水也在 11 日上午趋于减弱,并出现间歇性停止。

通过比较垂直各层的水汽通量,发现水汽通量越到高层强度越小,例如:700 hPa 水汽通量在整个降水过程都较小,中心最大值在只有 850 hPa 水汽通量的四分之一左右,可见此次低涡东移强降水过程的水汽输送主要来自低层,中、高层对水汽输送的贡献不大。

### 4.2 水汽通量散度分析

大暴雨的产生还要有一个水汽积累的过程<sup>[12]</sup>,水汽必须在本地集中起来、水平辐合才能上升冷却凝结成雨。10 日 14 时(图 4a)水汽通量散度负值区出现在广东省东南部,中心强度达  $-60 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,此时浙江南部正处在中心值为  $50 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  的水汽通量散度正值区。水汽通量散度负中心与正中心

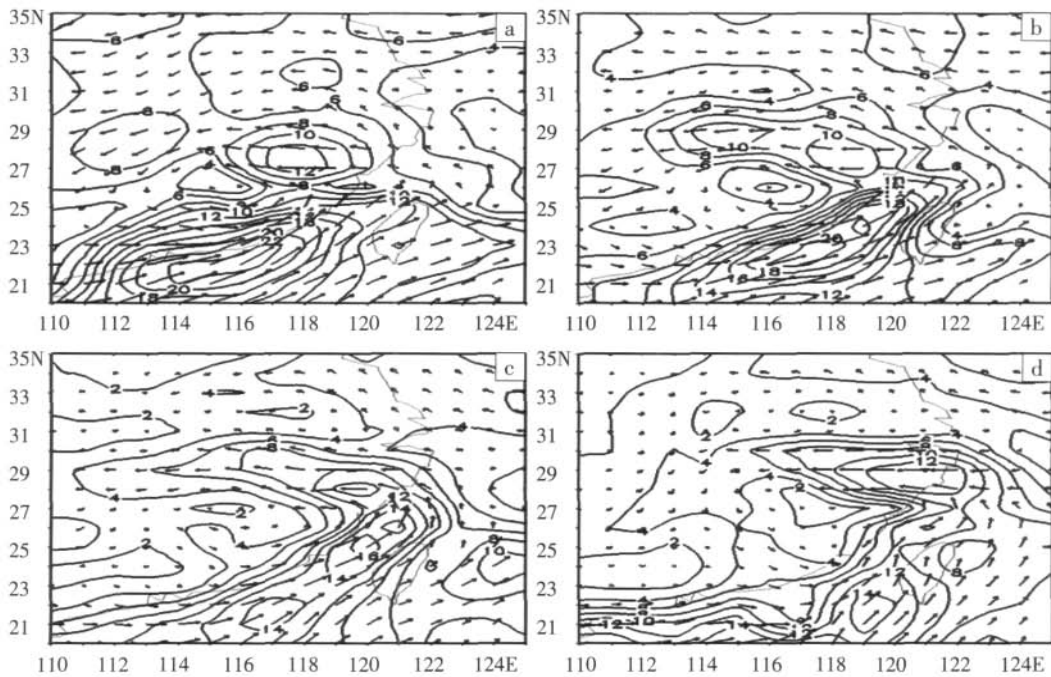


图 3 10 日 14 时(a)、20 时(b)和 11 日 02 时(c)、08 时(d)低层 850 hPa 水汽通量场(单位: $\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )和流场演变图

成对出现,负中心出现在低涡移动方向的右侧,而正中心则出现在低涡移动方向的左侧。10 日 20 时(图 4b)一对水汽辐合、辐散中心沿着海岸线不断向东北方向移动,负中心强度减弱为 $-30\times 10^{-6}\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,正中心仍维持 $40\times 10^{-6}\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。至 11 日 02 时(图 4c)负中心移至温州南部地区,中心强度增大为 $-40\times 10^{-6}\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,低层强水汽辐合为大暴雨

的产生提供了丰富的水汽条件。11 日 08 时(图 4d)负中心强度有所减弱,并分裂为海上、陆地两个中心,松散的结构预示着强降水即将结束。以上分析可知:温州南部强降水发生时正是低层水汽通量散度负中心经过之时,水汽通量散度负中心的位置与强降水落区对应关系较好;水汽通量散度的正、负中心总是成对出现,并伴随着低涡的整个生命周期。

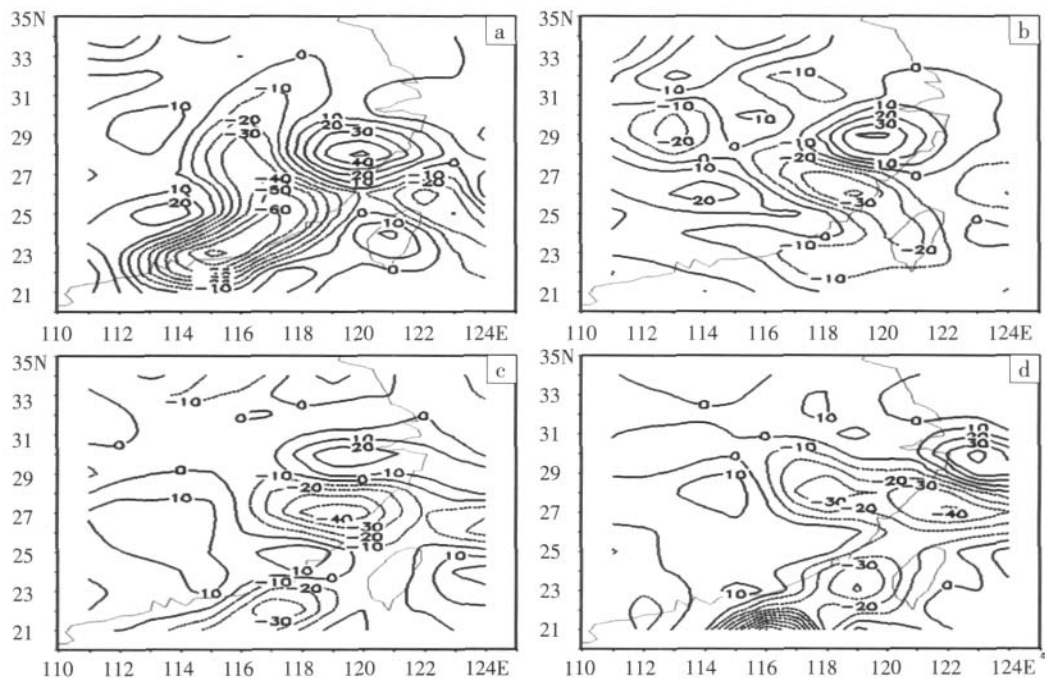


图 4 10 日 14 时(a)、20 时(b)和 11 日 02 时(c)、08 时(d)低层 850 hPa 水汽通量散度场(单位: $10^{-6}\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )演变图

比较图 3 与图 4, 水汽通量大值中心与水汽通量散度大值中心的移动方向基本相同, 但位置有所差异。水汽通量散度中心比水汽通量中心更靠近低涡的中心, 并且水汽通量散度中心一般出现在水汽通量等值线最密集的区域。以上说明此类低涡的强降水落区一般出现在低层水汽通量散度负值中心附近, 不是水汽通量大值中心区域, 这与文献[13]的分析有所不同; 而强水汽通量等值线最密集的地方往往是其水汽辐合最强的区域, 也就是强降水的主要落区。

### 4.3 垂直速度分析

前人通过对低涡中尺度结构特征的分析, 指出低涡是一个准圆形而非对称的中尺度对流系统<sup>[14]</sup>, 涡区内动量、上升运动等呈非对称分布<sup>[1]</sup>。图 5 是穿过低涡中心沿其移动方向(26.5°N 自西向东)的垂直速度  $\omega$  随高度变化的剖面图, 图 5a、b、c、d 分别代表该低涡的生成期、发展期、成熟期和消亡期。

由图可见, 发展成熟的低涡的结构特征(图 5c)为: 在水平方向上, 低涡中心前方 3 个纬距附近(约 330 km)为强盛的上升运动中心, 低涡中心及其后部均为水平气流或弱下沉气流, 可见低涡区并不是具有一致的低层辐合、高层辐散和整层均为上升气流的单一系统, 而是上升和下沉气流共存<sup>[3]</sup>。在垂直方向上, 最强的上升运动中心出现在中、低层 700—900 hPa; 上升气流延展至高层 200 hPa 以上, 由此可见此低涡是一个十分深厚的中尺度天气系统。低涡前部中、低层强烈的上升气流为浙南沿海持续强降水的产生提

供了十分有利的动力条件。

从低涡的发展演变看: 生成期的低涡(图 5a)垂直结构与文献[4]暴雨低涡区三维流场分布模型相似, 强上升运动中心存在于低涡的前部, 高空 300 hPa 附近存在 -1 pa/s 的上升速度中心; 并且上升气流向低涡中心的后部倾斜, 在低涡中心上空 700—900 hPa 出形成了速度为 -0.4 pa/s 弱上升气流。随着低涡的进一步发展(图 5b), 其前部上升速度中心强度增加到 -1.6 pa/s, 高度从 300 hPa 降低至 600 hPa 附近, 前期倾斜向低涡中心后部的上升气流逐渐消失。低涡发展成熟时(图 5c), 垂直上升速度中心强度继续增大到 -2.1 pa/s, 高度降低至低层 800 hPa 附近, 前期低涡中心的上升气流完全被水平气流和弱下沉气流取代。在低涡消亡阶段(图 5d), 垂直上升速度中心减弱为 -1.8 pa/s, 高度继续维持在低层, 但上升气流在中、高层向低涡移动的前方发生了明显的倾斜, 低涡中心上空重新出现了弱上升气流。综上所述, 低涡在生成到成熟的阶段, 强上升运动中心始终出现在低涡的前部, 而且高度由中、高层逐渐下降至低层 800 hPa 附近; 发展成熟的低涡前方 3 个纬距附近为强上升运动中心, 而且上升运动区几乎垂直地从低层延伸直 200 hPa, 这个时期是降雨强度最强的阶段; 当低涡前方的上升气流向低涡移动的前方发生明显的倾斜, 垂直上升速度逐渐减弱时, 低涡进入消亡期; 另外低涡中心上空的上升气流出现在低涡的生成和消亡阶段, 在低涡成熟阶段低涡中心上空一般为水平气流或弱下沉气流。

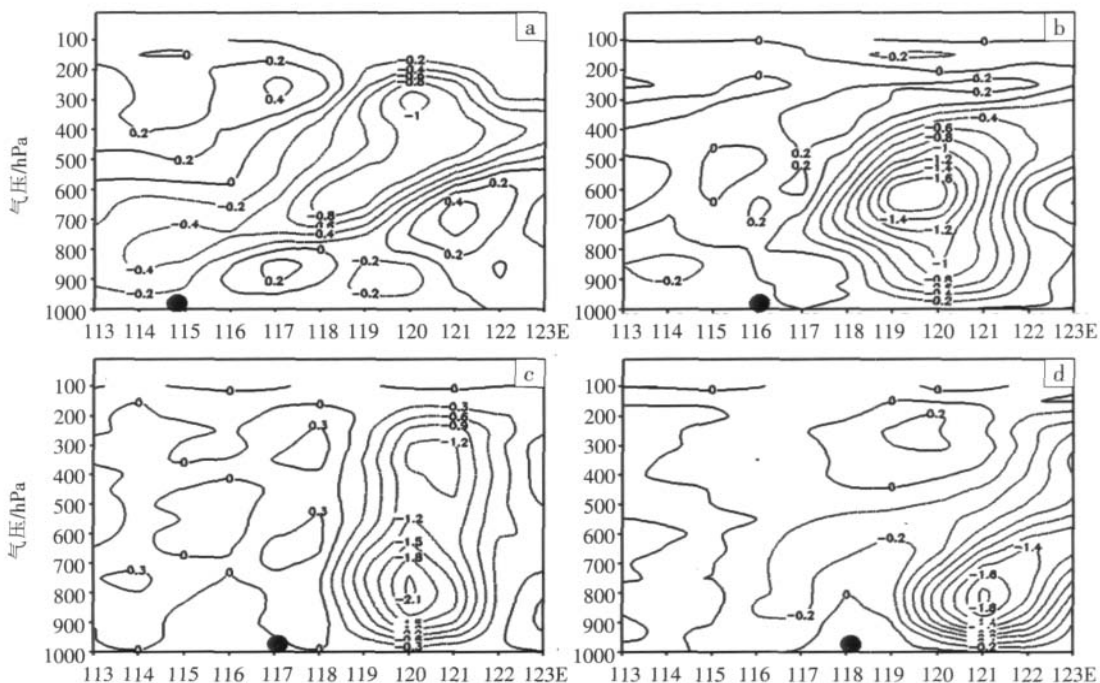


图 5 10 日 14 时(a)、20 时(b)和 11 日 02 时(c)、08 时(d)沿 26.5°N 垂直速度  $\omega$ (单位: pa/s) 垂直剖面图(图中黑色圆点表示低涡中心在地面的投影)

## 5 结论

(1)此次局地大暴雨天气过程是由低空低涡东移引起的,虽然发生在梅汛期,但此低涡应属于华南低涡的一种。

(2)强降水的落区与高、低空急流的配置和中、低层切变线的位置有着较好的对应关系。

(3)华南低涡在沿海和内陆地区的水汽输送源地有差异,内陆地区低涡暴雨的水汽一般来自孟加拉湾或我国南海;此次浙南沿海的低涡暴雨水汽输送源地有两个,分别是南海和西太平洋;来自西太平洋的偏东气流在沿海地区对华南低涡暴雨有增幅作用。

(4)低涡暴雨的水汽输送主要发生在低层 850 hPa,而中、高层水汽输送较弱。

(5)强降水往往发生在低涡移动的前部和右侧,大暴雨的落区与水汽通量散度负中心有着较好的对应关系;同时,水汽通量等值线最密集的区域往往是水汽辐合最强的区域,对应着水汽通量散度的负中心,也就是强降水的主要落区。

(6)发展成熟的低涡是一个深厚的准圆形非对称的中尺度天气系统,强上升气流一般出现在低涡中心前方 3 个纬距附近的中、低层(700—900 hPa),低涡中心和后部一般为水平气流或弱下沉气流。

(7)低涡在生成到成熟的阶段,强上升运动中心始终出现在低涡的前部,而且高度由中、高层逐渐下降至低层(800 hPa);当低涡前方的上升气流向低涡移动的前方发生明显的倾斜、垂直上升速度逐渐减弱时,低涡进入消亡期。

## 参考文献:

- [1] 陈忠明, 闵文彬, 崔春光. 西南低涡研究的一些新进展[J]. 高原气象, 2004, 23(增刊): 1-5.
- [2] 韦统建. 华南低涡内部流场与降水分布[J]. 热带气象学报, 1993, 9(4): 351-357.
- [3] 韦统建, 薛建军. 影响江淮地区的西南涡中尺度结构特征[J]. 高原气象, 1996, 15(4): 456-463.
- [4] 韦统建. 一次西南低涡流场中的分析[J]. 气象科学, 1988, 3: 64-71.
- [5] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 274-279.
- [6] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 330-335.
- [7] 邹惠峰, 高坤. 一次低涡东移机制的分析[J]. 浙江大学学报, 2002, 29(6): 707-711.
- [8] 徐双柱, 邹立维. 一次梅雨期暴雨的中尺度数值模拟分析[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(1): 17-23.
- [9] 寿绍文, 励申申, 王信. 暴雨低涡结构成因及移动的初步探讨[J]. 南京气象学院学报, 1990, 13(4): 535-539.
- [10] 江虹. 2003 年淮河暴雨期大气水汽输送特征及成因分析[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(2): 118-124.
- [11] 黄东林, 周伟灿, 薛荣康. 西南低涡东移对华南暴雨增幅的动力机制分析[J]. 广西气象, 2006, 27(4): 30-33.
- [12] 苏俊辉, 徐榛莲. 2002 年 6 月 9 日汉中区域性暴雨过程分析 [J]. 气象, 2003, 29(4): 53-57.
- [13] 郭荣芬, 鲁亚斌. “2002.6.30”滇中低涡暴雨的中尺度分析[J]. 气象, 2003, 29(2): 29-33.
- [14] 李跃清, 蒋兴文. 1998 年夏季长江上游暴雨过程的水汽输送特征[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(1): 35-39.
- [15] 俞樟孝, 翟国庆, 王泽厚. 浙江暴雨过程的中尺度低压[J]. 大气科学, 1989, 13(2): 185-192.
- [16] 邹波, 陈忠明. 一次西南低涡发生发展的中尺度诊断[J]. 高原气象, 1993, 19(2): 141-149.

## Diagnostic Analysis of Heavy Rain Caused by a Low Vortex

WANG Hai-dong, LI Huai-chuan, WU Zheng-ke

(Wenzhou Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Wenzhou 325027)

**Abstract:** An event with the maximum precipitation in the Meiyu period of WenZhou in 2007 is generally analyzed based on the conventional observation data and the  $1^\circ \times 1^\circ$  NCEP/NCAR reanalysis data. The moving vortex is the efficient reason for causing the local heavy rain. It is hard to forecast the area, the intensity and the total precipitation of the heavy rain caused by a vortex in practice. By analyzing the pattern development, the influencing system and the physical parameter field, some forecasts respect of heavy rain caused by a vortex and the characteristics of the physical parameter are summarized, it is found that the heavy rain usually occurs in front and the right area of the vortex, there are corresponding relationship between the area of the heavy rain and negative center of the moisture flux divergence. It is also found that the moisture of the heavy rain happened in costal area and inland area is derived from different places, the South China Sea and the North Pacific Ocean are the two moisture sources of the heavy rain. The heavy rain caused by the vortex is reinforced by the easterly airflow which comes from the North Pacific Ocean. As the dynamical condition, the strong upward current in middle-level and low-level layer in front of the vortex is in favor of the persistent heavy rain in the costal area of south ZheJiang .

**Key words:** Vortex; Heavy rain; Mesoscale system; Moisture flux