



### 2 中尺度特征分析

(1)云图特征 由图 2<sup>[1]</sup>可见,9 日 20 时宜昌位于台风螺旋云系的外围,未有明显的对流云系。而到 22 时已出现明显的强对流云团,亮度达 C 等级,云顶高度达 13.5km,直到 10 日 02 时该对流云团才显出减弱之势。宜昌的局地特大暴雨正与这个对流云团的发展相对应。

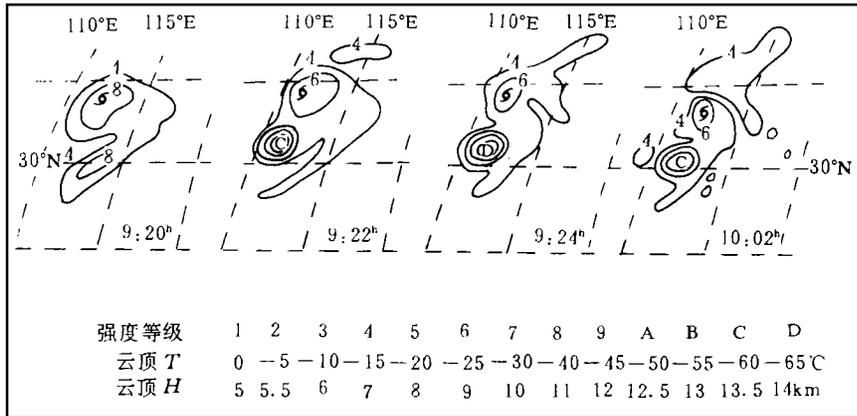


图 2 1988 年 8 月 9 日局地中尺度暴雨云团的 GMS-3 红外数字化云图  
宜昌位于(111°05'E,30°42'N)

Fig. 2 GMS-3 IR digitized cloud map for meso rainstorm cloud mass at Yichang (30°42'N,111°05'E) on August 9, 1988

(2)中尺度锋区特征 由图 3 可见,在暴雨发生前,江汉平原有一冷舌,鄂西为一暖区,在宜昌与江汉平原之间存在一条中尺度温度锋区。温度梯度最大处位于宜昌和当阳之间,强度为 7 C/45km。锋区宽度约 45km,长 100km,呈西北—东南走向。这个锋区在高空也有所表现,从 9 日 20 时宜昌 850~700hPa 高空风变化的热成风  $V_T$  特征(图 4)看,  $V_T$  走向也是呈西北—东南走向,且是暖平流。锋区的形成与台风的螺旋云系及降水区分布有关。从 9 日 11 时的数字化卫星云图(图略)可见,江汉平原为云雨区,而鄂西为晴空区,在太阳辐射作用下,鄂西白天气温比江汉平原高很多,这种温度锋区所驱动的垂直环流,到傍晚 20 时左右发展旺盛,从而触发了对流云团的发展。

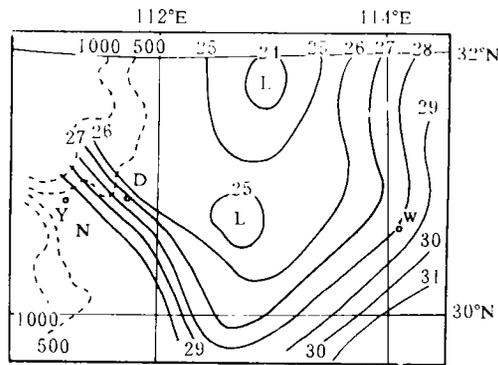


图 3 1988 年 8 月 9 日 12 时地面温度场(实线),  
地形等高线(点线),Y 为宜昌,D 为当阳  
Fig. 3 Surface temperature field (solid line)  
for 1200 BST August 9, 1988 with  
the terrain contours denoted by dotted lines.  
Y stands for Yichang and D for Dangyang

(3)地形特征与摩擦作用 宜昌位于长江三峡出口处,地形呈喇叭口状(图 3)。9 日 20 时宜昌为东风,有利于形成辐合上升运动。850hPa 高度以下宜昌均处于低压的正涡度区内,根据理论计算(见 3 诊断分析)也具有较强烈的上升运动。

(4)宜昌上空存在中尺度降压系统 恩施、宜昌、武汉三个站自西到东,距离分别约为 200km 和 300km。以这三个站探空纪录作对比分析,可以发现一些中尺度特征。由表 1 可见,宜

昌上空 300hPa 以下均有较明显的降压,300hPa 为-10 位势米,其他两站均为增压;850hPa 为-21 位势米,降压也较明显。根据变压风原理,宜昌地区这样明显的降压有利于低层产生辐合上升运动,再与低层的中尺度锋区环流相结合,促进了对流云团的发展和特大暴雨的发生。

表 1 8 日 20 时至 9 日 20 时三个站各高度(hPa)24 小时变高,单位:gpm

Table 1 24-h altitude change from three stations

(value of 2000, August 9 minus that of 2000, August 8, 1988. Units: gpm)

	850	700	500	400	300	250
恩施	-2	-10	0	0	10	20
宜昌	-21	-15	-10	-20	-10	10
武汉	41	44	40	50	60	60

(5)宜昌附近低空存在中尺度风压场不平衡系统 由图 5 可见,850hPa 宜昌最低为 1444 位势米,但风场上却无低压环流反映,三个站都是一致的偏南风。可见宜昌附近上空一定存在中尺度风压场不平衡现象,它可能与宜昌上空存在中尺度降压系统有关。均有利于垂直运动的激发和发展。

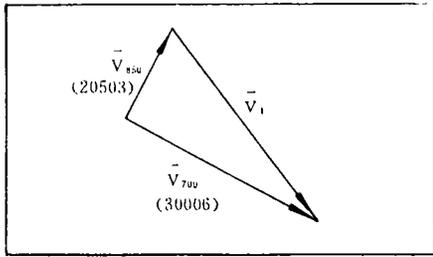


图 4 1988 年 8 月 9 日 20 时宜昌

850~700hPa 热成风  $V_T$

(括号内数字为风向风速电码值)

Fig. 4 Yichang 850 to 700 hPa thermal wind  $V_T$  for 2000 August 9, 1988 with the bracketed figures denoting values of Wind Code

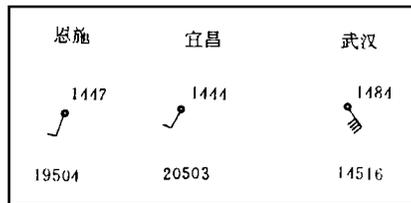


图 5 三个站 850hPa 高度和风场

风矢下数字为风向风速电码值

Fig. 5 850 hPa pressure height and windfield for the three stations with figures below the arrows coming from Wind Code

(6)宜昌低空存在中尺度高湿的近饱和层 由表 2 可见,700hPa 以下宜昌的比湿( $q$ )比邻近测站都大;500hPa 以下宜昌饱和差( $t - t_d$ )均小于 3℃,气柱中水汽接近饱和或已经饱和,水汽潜热的释放,为上升运动发展提供了热力因子。

(7)层结稳定度特征 图 6 为宜昌站 8 日 20 时~9 日 20 时三个时刻的  $\theta_w$  随高度分布曲线,在这段时间内自地面到 300hPa,  $\theta_w$  有增值现象,低层增值最大,地面增值达 13.9℃,850hPa 增值达 10.9℃,使 500hPa 以下层结出现很不稳定现象,为强对流发展提供了能量来源。根据  $\theta_w$  保守性特征,9 日 20 时地面层空气如果被抬升到自由对流高度(由表 1 数据可知宜昌自由对流高度是很低的),则空气块将会自动地沿着图 3 中的箭头方向垂直上升到与实线相交的 100hPa 附近,而在其他时刻,则均不可能到达如此高度。再由表 3500hPa 以下 24 小时变温( $\Delta T$ )和比湿( $\Delta q$ )来看,  $\theta_w$  增大是  $\Delta q$  增大的结果。而湿度增大的原因有两个,一是台风环流带来的水汽(这可图 1、图 2 得到证实)。二是宜昌附近低层存在中尺度锋区(图 3),锋区的热

力环流使近地层的水汽向上输送。

表 2 9 日 20 时三个站各高度(hPa)  $t - t_d$  (单位:  $^{\circ}\text{C}$ )、 $q$  (单位:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Table 2  $t - t_d$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) for a range of heights over the three stations for 2000, August 9, 1988.  $q$  is expressed in units of  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

	恩施		宜昌		武汉	
	$t - t_d$	$q$	$t - t_d$	$q$	$t - t_d$	$q$
地面	10.0	15.7	2.4	21.2	0.9	18.0
850	7.0	14.4	1.4	16.7	2.6	14.9
700	3.5	9.7	1.2	10.5	6.0	8.3
500	5.0	4.2	2.8	4.8	1.5	5.3
400	12.0	2.5	6.0	2.5	2.3	3.1
300	11.0	0.6	11.0	0.5	3.4	1.1

表 3 8 日 20 时至 9 日 20 时宜昌站各高度要素 24 小时变值

Table 3 24 h variation in height elements for Yichang (value of 2000, August 9 minus that of the hour of the previous day, 1988)

	地 面	850	700	500	400	300
$\Delta T$	-3.2	0.2	-0.4	-1.2	1.4	0.8
$\Delta q$	5.9	3.6	2.2	2.6	0.6	-0.2
$\Delta \theta_{se}$	13.9	10.9	6.1	7.1	4.1	0.7

### 3 诊断分析

本研究用平衡模式的  $\omega$  方程<sup>[2]</sup>

$$\begin{aligned} \nabla^2(\sigma\omega) + f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} &= f \frac{\partial}{\partial p} J(\psi, \eta) + \pi \nabla^2 J(\psi, \theta) \\ &- \frac{R}{c_p p} \nabla^2 \left( \frac{dQ}{dt} \right)_L - \frac{R}{c_p p} \nabla^2 \left( \frac{dQ}{dt} \right)_S \\ &+ f \frac{\partial}{\partial p} (\zeta \nabla^2 \chi) + f \frac{\partial}{\partial p} \left( \omega \frac{\partial}{\partial p} \nabla^2 \psi \right) \\ &- f \frac{\partial}{\partial p} \left( \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) + f \frac{\partial}{\partial p} (\nabla \omega \cdot \nabla \frac{\partial \psi}{\partial p}) \\ &+ f \frac{\partial}{\partial p} (\nabla \chi \cdot \nabla \eta) + \pi \nabla^2 (\nabla \chi \cdot \nabla \theta) \\ &- 2 \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial p} J \left( \frac{\partial \psi}{\partial x}, \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) - \beta \frac{\partial}{\partial p} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial \psi}{\partial t} \end{aligned}$$

作为诊断方程,取水平步长为 100km,垂直步长取 150hPa,水汽潜热计算采用文献[3]的方法。用 9 日 20 时探测资料计算了  $\omega$  及各强迫因子单独对  $\omega$  所起的作用。证明在台风低空趋于减弱之时,宜昌地区已由原来的下沉运动区转为上升区。

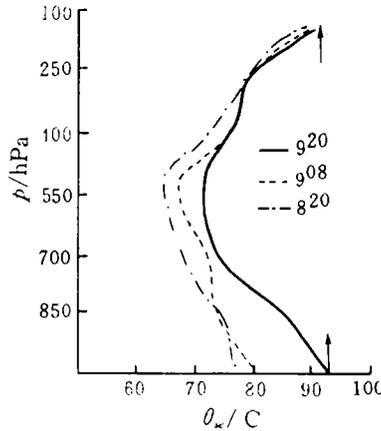


图 6 1988 年 8 月 8 日 20 时~9 日 20 时宜昌地区  $\theta_{se}$  随高度分布

Fig. 6 Curve of  $\theta_{se}$  varying as a function of altitude over Yichang for 2000 BST,

August 8 to the same time of the next, 1988

August 8 to the same time of the next, 1988

表 4 给出了由  $\omega$  方程计算出的具有较大值的几项结果。表中  $\omega$  为各强迫因子所引起的总的垂直速度,  $\omega_1$  为涡度平流因子引起的垂直速度,  $\omega_2$  为温度平流因子引起的垂直速度,  $\omega_3$  为水汽潜热因子引起的垂直速度,  $\omega_6$  为涡度垂直输送因子引起的垂直速度,  $\omega_f$  为地形和摩擦因子引起的垂直速度。

表 4 9 日 20 时宜昌各高度  $\omega$  值及各动力因子引起的  $\omega$  值, 单位:  $10^{-5}\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$

Table 4  $\omega$  values for a range of altitude in Yichang at 2000, August 9, 1988 and those associated with all dynamic factors. Units:  $10^{-5}\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$

	1000	850	700	550	400	250
$\omega$	-89.8	-1236.8	-1383.0	-720.9	-493.5	-132.9
$\omega_1$	0.0	-3.4	-28.0	-16.3	-5.3	6.4
$\omega_2$	0.0	-24.3	3.7	1.4	1.3	3.1
$\omega_3$	0.0	-1185.7	-1345.9	-694.3	-491.0	-144.4
$\omega_6$	0.0	-9.8	-38.3	-16.1	2.7	1.8
$\omega_f$	-89.8	-33.9	-8.6	-1.6	-0.2	0.0

由表 4 可见  $\omega$  均为负值, 700hPa 为  $-1383.0 \times 10^{-5}\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ , 已达中尺度上升强度, 其中水汽潜热释放因子所引起的上升速度  $\omega_3$  也达这个量级。这说明 9 日 20 时宜昌地区水汽潜热所含的不稳定能量已开始释放。此外, 具有动力学强迫抬升作用的地形与摩擦因子所引起的上升速度  $\omega_f$  在 850hPa 以下也起了重要作用, 达到  $-33.9 \times 10^{-5}\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ , 温度平流因子所引起的上升速度  $\omega_2$  在 850hPa 也达  $-24.3 \times 10^{-5}\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这说明在这次局地特大暴雨中, 地形与摩擦因子和低层的中尺度锋区中暖平流因子都起到同样重要的动力学抬升作用, 使水汽潜热所含的不稳定能量得以释放。涡度平流因子引起的上升速度  $\omega_1$  及涡度垂直输送因子引起的上升速度  $\omega_6$ , 在 700~550hPa 具有较大值, 这可能与前面分析的降压系统相关, 在对流层中部对对流云团向上发展起拉升作用, 使强对流运动得以向更高的高度发展, 出现特大的局地暴雨。

## 4 结 论

综合以上分析, 8807 号台风局地特大暴雨是由诸多因素在高低空相互配合、作用引起的。其机理是

- (1) 台风提供了特大暴雨所需的水汽。
- (2) 台风螺旋状云雨分布和太阳辐射不均, 使台风外围边缘地区出现中尺度锋区, 并由此形成宜昌地区极不稳定的大气层结并激发对流运动。
- (3) 宜昌局地地形和低压环流在摩擦因子作用下所引起的上升运动, 使宜昌成为对流云发展较有利的地点。
- (4) 高空存在中尺度降压、风压场不平衡系统、涡度平流及垂直输送因子, 都促使对流运动发展, 从而形成局地特大暴雨。

## 参 考 文 献

- 1 王崇州,邱爱武. 8807 号台风暴雨综合诊断分析. 1990 热带气象科学讨论会文集,北京:气象出版社,1992
- 2 王德翰,吴宝俊,徐文金等. 暴雨分析方法有关物理量的计算. 北京:气象出版社,1985
- 3 Terry C T, Thomas T W, Richard A A. An example of the initialization of the divergent wind component in a mesoscale numerical weather prediction model. *Mon Wea Rev*, 1981, 109, 77~95

## MESOSCALE ANALYSIS OF EXCEPTIONAL RAINSTORM EVENT AT YICHANG RESULTING FROM TYPHOON NO. 8807

Xǔ Wenjin

(Department of Meteorology, NIM, 210044, Nanjing, PRC)

**Abstract** The present paper is devoted to the causes of local severe rainstorm produced by Typhoon No. 8807. They are 1) abundant water carried by the storm; 2) highly unstable energy for and triggering to the rainfall offered by the low-level meso frontal zone in relation to the spiral-form cloud/rainfall sector of the typhoon and inhomogeneous solar radiation; 3) local topography and frictional factors responsible for the fact that Yichang is a preferred seat for convective cloud development; 4) upper-level meso pressure fall system and vorticity factor enhancing the growth of the cloud.

**Keywords** typhoon, rainstorm, mesoscale analysis