

# 9012台风倒槽结构与暴雨中尺度系统

楼茂园

(浙江省杭州市气象台, 310008)

## 提 要

利用高空资料、地面资料和红外卫星云图资料,对发生在浙江中北部的9012台风倒槽暴雨的机制进行分析,揭示了该台风倒槽的结构和暴雨的环境场。并进一步研究了产生暴雨的中尺度暴雨云团及其周围的垂直气流分布与地面降水的对应关系。对暴雨云团所对应的高、中、低(地面)层系统亦进行了分析。

关键词: 台风倒槽 暴雨 中尺度系统

## 引 言

9012台风于8月20日14时在福建省仙游县登陆后,强度减弱为热带风暴。在此后的48小时内,一直回旋于福建和台湾海峡之间。浙江省的南部沿海和中北部地区,自8月19日20时—21日14时先后降了大暴雨。其中括苍山站8月19日20时—21日02时30小时的过程总降水量达236mm,杭州站8月21日02—14时12小时的降水量为70mm,富阳站8月21日02—08时6小时的降水量达75mm。

本文从每6小时的高空资料、每小时的地面资料和每3小时的红外卫星云图分析着手,分析了台风倒槽的结构,产生暴雨的环境场及成因机制,中尺度暴雨云团的垂直气流分布和系统等。

## 1 台风倒槽与产生浙江暴雨的云团

9012台风在福建省仙游县登陆后,浙江大部分地区处在台风倒槽附近。在其后的48小时内,台风倒槽少动。经分析,产生浙江暴雨的大尺度系统是台风倒槽(图略)。

从云图上看,20日14时,从浙江中南部沿海到台风中心有一条浓密的白亮云带(图

略)。此后,云带结构变得松散,南北分裂。20日20时在台风及其倒槽区相应有一片对流云团,其中在大约 $27.5^{\circ}$ — $30^{\circ}$ N,  $119^{\circ}$ — $122.5^{\circ}$ E区域内有一块云团(图1a中云团A),结构紧密,卷云罩白亮,边缘呈不规则形。这块云团正是造成括苍山附近暴雨区的中尺度云团。从这块暴雨云团外形上分析,该云团与Maddox<sup>[1]</sup>等所定义的MCC不十分相似。其后,热带风暴云系继续减弱,云团A面积变小且随倒槽风场向西北移动。到21日08时,云团移到杭州附近成为孤立对流云团(见图1b中“B”东边的一块)。这块云团正是造成杭州和富阳附近区域21日02—14时大暴雨的中尺度云团。同时,从云团A到云团B的演变和移动中造成了浙江中北部的暴雨区。由此可见,台风倒槽中造成浙江暴雨的是一个中尺度对流云团。

## 2 台风倒槽的结构及其对暴雨的作用

图2a、b分别为1990年8月20日20时和21日08时(浙江暴雨时期)的空间剖面图。由图可见,台风倒槽是一个比较浅薄的对流层中低层扰动,东南风与东北风的切变主要在400—500hPa以下,且扰动轴线随高度向北

\* 本文受浙江省自然科学基金资助。

倾。将图2a和2b作一比较发现,在12小时内,杭州700hPa东北风转为东南风,南京500hPa东北风也转为东南风,这说明850hPa以上层台风倒槽是西移的,而850hPa以下层是少动的,这与天气图也是一致的。此外,本次过程的台风倒槽在流场上从低层到中层气旋性曲率增大,在500hPa出现了中低涡。这与励申

申等<sup>[2]</sup>研究的一般台风倒槽槽底的南缩结构不完全一致。但从图中的锋区结构上看,也存在着类似励申研究的“二层锋区结构”,即从地面到对流层中层的南倾锋区和对流层中层到对流层顶的北倾锋区。这说明台风倒槽的这种“二层锋区结构”有一定的普遍性,该台风倒槽是一个具有温带性质的扰动。

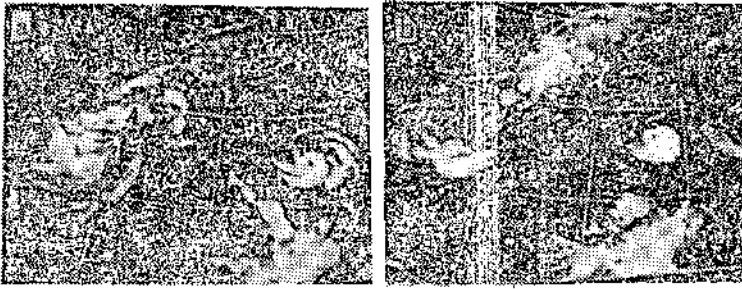


图1 GMS-4静止卫星红外照片  
a:20日20时,b:21日08时

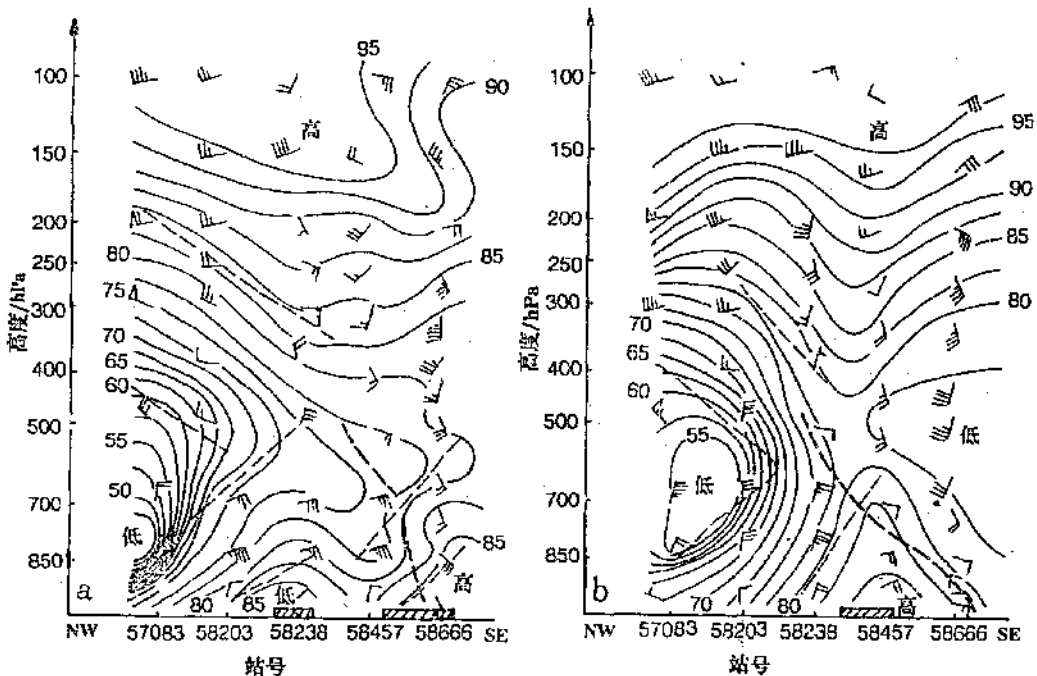


图2 郑州一大陈的台风倒槽空间剖面图

实线为 $\theta_{se}$ 线(单位:°C);粗虚线为台风倒槽的扰动轴线;  
相对平行细虚线为锋区;阴影区为剖面上暴雨区;a:20日20时 b:21日08时

从热力结构上看,在8月20日20时,台风倒槽西北方对流层中低层存在着一个 $\theta_{se}$ 的低值带。该低值带在西北边位置较低,约在850—700hPa之间,而东南边较高,在700—500hPa之间。因夏季地面温度很高,在增温增湿后, $\theta_{se}$ 增加,由此形成对流层中下部的位势不稳定( $\frac{\partial\theta_{se}}{\partial z} < 0$ )。在剖面的西北部虽然很强,由于没有释放它的扰动,因而没有对流天气发展。而在倒槽附近区,位势不稳定相对较弱,但受到倒槽扰动的抬升作用,位势不稳定释放,造成暴雨发展。8月21日08时,由于倒槽在中低层的西进活动,使杭州附近区域的位势不稳定释放而发生暴雨。

从暴雨区上空气层的 $\theta_{se}$ 分布上看,由于对流层中低层等 $\theta_{se}$ 曲线上凸,高层等 $\theta_{se}$ 曲线下凹,外形上构成了“哑铃”形的结构。这是由于暴雨区内中低层有上升运动,绝热冷却使温度较周围低,而高层由于潜热释放,温度较周围高而产生的。有的研究<sup>[3]</sup>也指出在MCC系统中也有这种结构的存在。

### 3 位势不稳定变化与暴雨发生的环境场

台风倒槽的强迫作用是产生暴雨的一个有利的大尺度环境条件,但其中暴雨的产生还必须有合适的位势不稳定及其释放<sup>[4][5]</sup>。从图2可见,倒槽的西方对流层中下层存在强位势不稳定气层( $\frac{\partial\theta_{se}}{\partial z} < 0$ 或 $\frac{\partial\theta_{se}}{\partial p} > 0$ )。为考察暴雨区上空的位势不稳定的量值及其变化和位势不稳定气层厚度,计算对流有效位能(CAPE)和对流发展需克服的负浮能(CIN),其表达式为:

$$CAPE = \int_{LFC}^{EL} g \left( \frac{\theta_c - \theta_{env}}{\theta_{env}} \right) dz$$

$$CIN = - \int_z^{LFC} g \left( \frac{\theta_c - \theta_{env}}{\theta_{env}} \right) dz$$

式中 $\theta_c$ 为抬升气块的位温; $\theta_{env}$ 为环境温度; $LFC$ 为自由对流高度; $EL$ 为平衡高度; $Z$ 为抬升层的高度。

附表为杭州站20日20时—21日20时每6

小时探空的各时次从地面到700hPa抬升气层的CAPE和CIN表。从表中可见,暴雨前(20日20时)和暴雨后(21日14时),只有从地面抬升的空气是不稳定的。而暴雨期(21日02时和08时)从地面到700hPa空气抬升都是不稳定的,不稳定层明显增厚。这与倒槽在中低层的西移有关,也与21日02时以后,杭州上空由冷空气变为相对暖空气相一致。20日20时,虽从地面抬升有很强不稳定的能量,但因没有强迫作用,而没有对流发展。

附表 杭州站探空的各时次从地面到700hPa抬升气层的CAPE和CIN(单位: $m^2 \cdot s^{-2}$ )

时间	地面		850hPa		700hPa	
	气压	CAPE CIN	CAPE CIN	CAPE CIN		
20日20时	990	542.6 -1.7	稳定气层		稳定气层	
21日02时	988	416.7 -8.7	195.9	-15.6	125.0	-1.6
21日08时	987	696.4 -11.1	369.6	-11.7	81.1	-9.3
21日14时	989	747.6 -5.7	稳定气层		稳定气层	
21日20时	990	0.4 -11.3	1.9	-397.1	稳定气层	

### 4 中尺度暴雨云团及其周围的垂直气流分布

为研究台风倒槽内中尺度暴雨云团的结构,选取上海、大陈、衢州、安庆、南京和杭州站组成站网,采用三角形有限元分析方法计算三角形区内的物理量,计算出的量值代表其重心的量值。并采取不同测站间的组合,形成站网区多个三角形迭套计算,进而求得中尺度物理量的分布,其结果在计算区域内呈连续分布,因而是合理的。将地面到100hPa的10层物理量值绘制成图,为作图方便,选取5层于图中,且气流箭头只将具有代表性的5个三角形及中心杭州站附近的标出(见图3)。从图中可发现一个特征,即在该指定区域中,气柱内存在上升与下沉两支气流,且对流气层非常深厚。由于没有中小尺度探测资料,因而不能得到本例中尺度云团垂直运动的结构。从与地面雨区对应来看,强降雨区位于上升

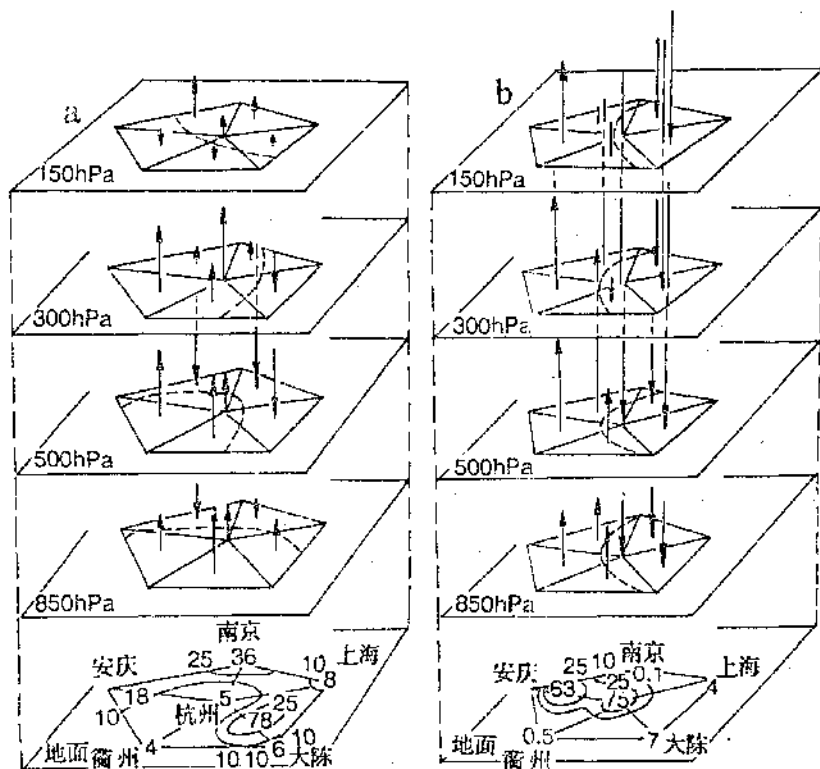


图3 暴雨云团及其周围的垂直气流分布图  
地面实线为前6小时雨量线,虚线为三角形网格迭套后每层上升  
与下沉气流的界线

a: 20日20时 b: 21日08时

与下沉气流的界面附近,且更接近下沉一方,而在整层强上升气流或强下沉气流区的雨量都偏小或无雨。

### 5 暴雨云团的高中低层系统

一般认为,高空辐散对中层低层气流的辐合抬升形成暴雨有重要的作用。在本次天气过程中发现300hPa有一弱的高压脊并有辐散气流(图略),图2中同样能看到300hPa附近有一高压脊。而从图4的流场上可清楚地看到,浙江暴雨区上空200hPa有一中 $\alpha$ 尺度的反气旋。图4a与图4b的对比分析可看出上海和大陈的风向变化,而这一变化说明20日20时—21日08时反气旋中心明显地向西北偏北方向移动。这与云图上(见图1)云团A向云团B的移动和演变是十分一致的。由此可

见,该暴雨云团的高层始终对应一个中 $\alpha$ 尺度的反气旋辐散场。

从8月21日08时的中层500hPa流场图(图5)上可清楚地发现,在杭州和富阳附近21日05时—09时的暴雨期,500hPa中层存在一个低涡。从低涡的涡度场上看,其中心涡度为 $10.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。而此时的热带风暴中心在该层上的涡度为 $11.9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。这反映中层低涡是很强烈的,说明中层低涡在本次台风倒槽暴雨过程中是一个不可忽视的中层系统。

再从8月21日08时的地面中分析(图6)可以发现,在浙江西北部地区有一中高压,并有冷中心配合;从雨区上看,这一冷性中高压正好对应降水区(降水区图中未表示),这是由下沉气流一方的降水所形成的冷堆。在冷中

高压东侧有密集等  $\theta_{se}$  线,以杭州附近为最密,锋区前方有飑锋,在飑锋前有一类似飑线的飑锋前中低压,并配置一个暖中心。与图3b比较,该暖性低压正好位于下沉运动区。Richard 和 William<sup>[6]</sup>在研究美国中纬度飑线时得出:飑线前中低压是由云砧下方下沉运动绝热增温形成的。本次过程的现象与他们的结论相符。

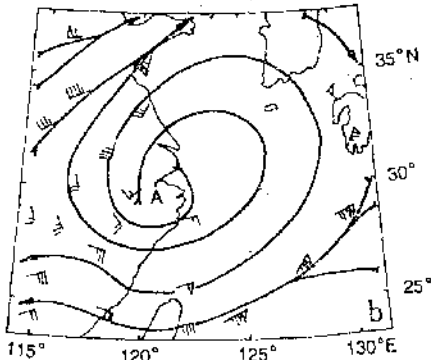
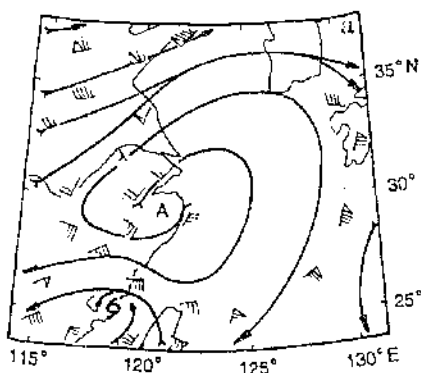


图4 200hPa 中尺度流场图  
a: 20日20时,台风符号为9012号热带风暴  
b: 21日08时,高层已无热带风暴环流

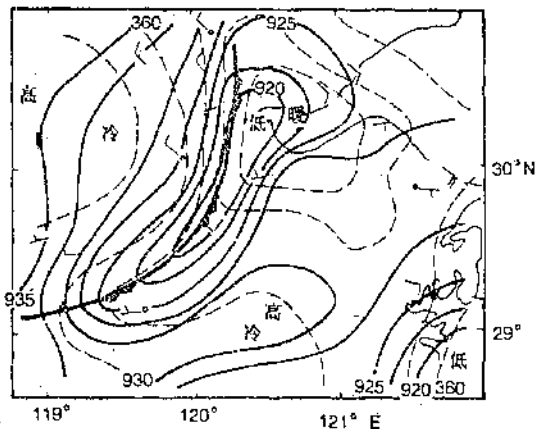


图6 1990年8月21日08时地面中分析图  
实线为海平面气压等值线;  
虚线为等  $\theta_{se}$ (单位:K)线;锋面符号为飑锋

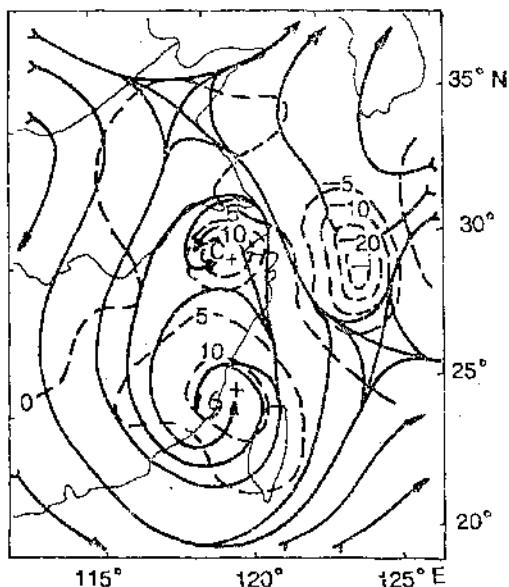


图5 1990年8月21日08时500hPa 流场图  
虚线为涡度场

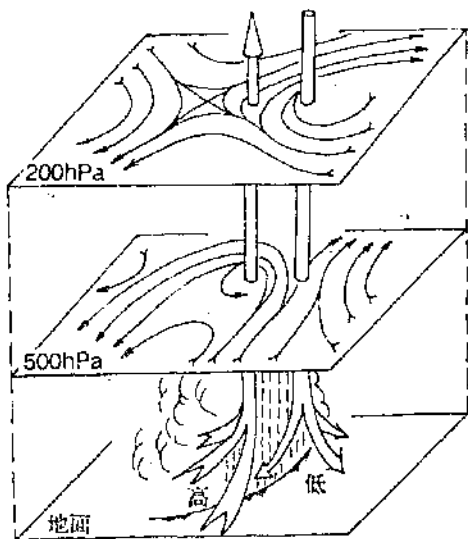


图7 暴雨云团的三维模型示意图  
地面锋面符号为暴雨前缘的飑锋;  
上升和下沉气流箭头间虚线为降水

## 6 暴雨云团的三维模型探讨

根据卫星云图的暴雨云团特征、暴雨云团及其周围的垂直气流分布以及其对应的高中低(地面)层系统,绘成图7,以反映暴雨云团的三维特征。由于8月21日08时的资料较详,图7在参照20日20时的三维特征的同时基本反映了21日08时的暴雨云团三维特征。从气流分布上看,云团中的上升气流主要来自西南方,高层及气旋辐散气流使气流上冲,中层低涡对此起了加强作用。经订正的运动学方法计算,500hPa的垂直速度达 $-8.3 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。而东侧下沉气流很可能是类似于飑线前的干热下沉气流。在对照文献<sup>[4]</sup>中成熟的MCC及其附近的三维环流模式时,更可发现两者有十分类同的特征,因而具有探讨价值。

## 7 结 语

7.1 9012台风倒槽是一个较浅薄的对流层中低层扰动,其扰动轴线向西北倾。倒槽西方中低层有强的位势不稳定,倒槽区附近有深

厚的位势不稳定,位势不稳定的释放主要是由于台风倒槽的强迫作用,因而台风倒槽暴雨的发生与倒槽两侧不同性质的冷暖空气的共同作用有关。

7.2 具体产生浙江中北部暴雨的是一个中尺度对流云团,云团中存在上升-下沉气流耦,上升气流有高层辐散场抽吸、中层低涡配合产生。暴雨区位于上升-下沉气流间的下沉区一方。地面暴雨区前缘有飑锋,并有飑锋前暖性中低压配合。

## 参考文献

- 1 Madjex, R. A., Bull. Amer. Meteor. Soc., 61, 1374-1387(1980).
- 2 谢世俊、佟瑞焕,袭击江东的一次中尺度对流复合体过程,中国气象学会学术会议,论文摘要第二十号,30-31.
- 3 斯公望,暴雨和强对流环流系统,北京:气象出版社,1988,15-32,198-213.
- 4 章海、林必元,中尺度暴雨分析和预报,北京:气象出版社,1988,80-85.
- 5 Richard, H. J., William, A. G. The Wake Structure of an intense midlatitude squall in OK PRE - STORM. Preprints, Anu. conf. 88' AMS, 229-231.

# An Analysis of the Structure of the North-Permanent Trough of Typhoon 9012 and Mesoscale Systems of the Heavy Rain

Lou Maoyuan

(Hangzhou Meteorological Observatory, 310008)

## Abstract

The mechanism of the heavy rain occurred in the central and northern areas of Zhejiang Province, caused by the trough north of Typhoon 9021, has been investigated. The structure of the trough is analysed. Furthermore, the vertical velocity distribution around the cluster and the association with the heavy rain areas have been discussed. Finally, the mesoscale weather systems, from the ground to the upper level, around the cloud cluster have been also studied.

**Key Words:** typhoon heavy rain mesoscale system