

# 春季江南锋生结构的分析\*

杨运强

(中山大学气象系)

陈昆云 张伟文 韩来福 唐赋哲 莫志祥 胡绍纤

(华南静止锋科研协作区)

## 提 要

本文通过对一次典型的春季江南锋生的气象要素场的时空变化进行了分析,讨论了锋生过程的空间结构。结果指出:江南锋生是发生在对流层下部南支西风槽前,主要是通过低层辐合流场促使锋生区强烈的增温增湿来实现的。其中水汽输送对锋生过程有着十分重要的作用;有利的垂直环流又加速了锋生的作用。此外,还从流场和变压场论证了江南锋生之初具有暖锋性质。这种现象的揭露对春季江南锋生的分析和预报有所助益。

华南准静止锋是影响长江以南广大地区的重要天气系统之一,常可带来低温阴雨和暴雨天气过程。华南准静止锋多数是从北方南移减速演变而来的,但是还有一部分产生于江南当地。通常称前者为第一类,称后者为第二类静止锋。一般对于第一类静止锋较易掌握。而对于第二类静止锋,由于要考虑锋生问题,就不容易预报。本文试对华南第二类准静止锋的空间结构,对形成春季江南锋生的热力学和动力学条件进行分析,以便探讨它生成的物理机制。

## 一、华南第二类准静止锋的天气形势

我们规定,地面天气图上 $22^{\circ}$ — $30^{\circ}N$ 、 $105^{\circ}$ — $120^{\circ}E$ 范围内出现的新生锋面称为江南锋生。对1960—1977年3—4月历史天气图进行了普查,共订出了70次锋生过程,发现其中大多是出现在江南( $26^{\circ}$ — $30^{\circ}N$ )地区,共有49次(占70%);其次是在南岭( $24^{\circ}$ — $26^{\circ}N$ )地区有19次(占27%);而岭南( $24^{\circ}N$ 以南)地区最少,仅出现过2次(占3%弱)。从出现时间来看,三月(34次)和四月(36次)出现的次数最多,四月下旬以后明显减少。

在这70次锋生过程中:有48次(68%)是与气旋波相联系的;有18次(26%)是静止锋,属暖锋性质的有4次(占6%)。过去在天气图上人们没有分析单独暖锋,但单独暖锋确是存在的。

● 杨运强执笔

大多数江南新生锋面属于一种低层强度较弱的锋。锋区伸展高度一般都在800mb以下，有的甚至仅达900mb。锋面坡度较小，约为1/220—1/300左右。锋区内水平温度梯度不大，一般是1°—2°C/100km。

江南锋生经常与降水相伴发生，其中一半以上(57%)在锋生前先有雨区出现，锋生时出现雨区的有60次，占86%。

当江南锋生出现时，亚洲地区500mb中低纬度盛行平直西风环流。

在850mb图上，江南锋生可归纳为三种形势：1、鞍形场：这是由于我国西北冷高压和江南变性高压脊及东北低压(或槽)和西南低压(或槽)两高两低所构成的变形场形势，在长江中下游地区常有一东西向切变线。2、冷切变类：由大陆冷高压和入海高压脊在长江中下游构成的切变线。3、暖切变类：出现在入海高压脊后部气旋性弯曲处，切变线一般位于江淮一带，其南侧多为较强的西南风。锋区往往不够明显。

在地面天气图上，锋生通常是出现在江南至南岭一带的倒槽内。

## 二、江南锋生过程的结构分析

我们分析了15个锋生个例的结构，这里只举1972年3月13—14日江南锋生过程。

### 1、锋生过程概况

1972年3月13日08时，伴随上一次冷空气南侵时冷锋已远离出海。这时在华南上空保持一个浅薄的冷空气垫，其上迭置一层近于水平的动力性稳定层(逆温层)，500mb有一个南支小槽东移，地面倒槽发展。江南地区均已处于南支槽前，中低层较强的西南暖湿气流源源不断地向江南地区输送，促使这个地区迅速增温增湿(图1)。在14日地面西南倒槽内有新的锋面生成，同时锋线北侧有一片雨区(图2)。

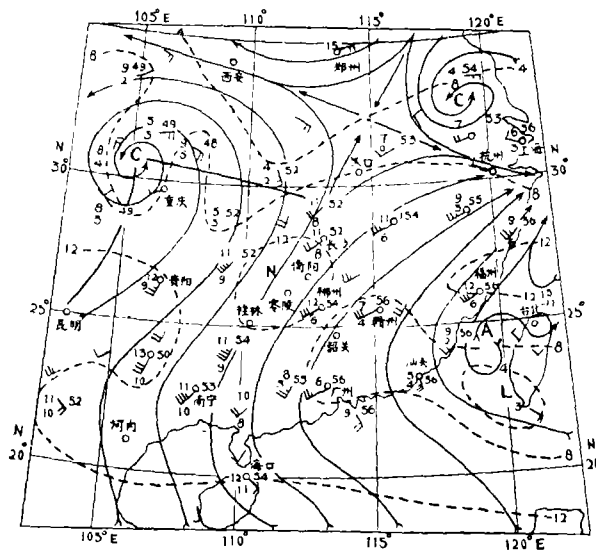


图1 1972年3月14日08时850mb流线和  $\frac{T}{T_d}$  场

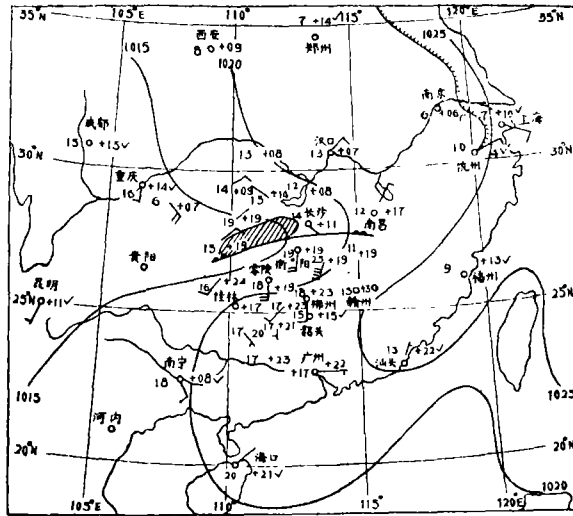


图2 1972年3月14日08时地面天气图

### 2、T场与 $\theta_{se}$ 场

在锋生前一天,13日08时太原—西沙岛垂直剖面图上(图3)从汉口到郴州南侧900mb以下有一宽广而不厚的冷空气垫,冷垫上空900—750mb之间横互着一层近似水平的动力性稳定层。

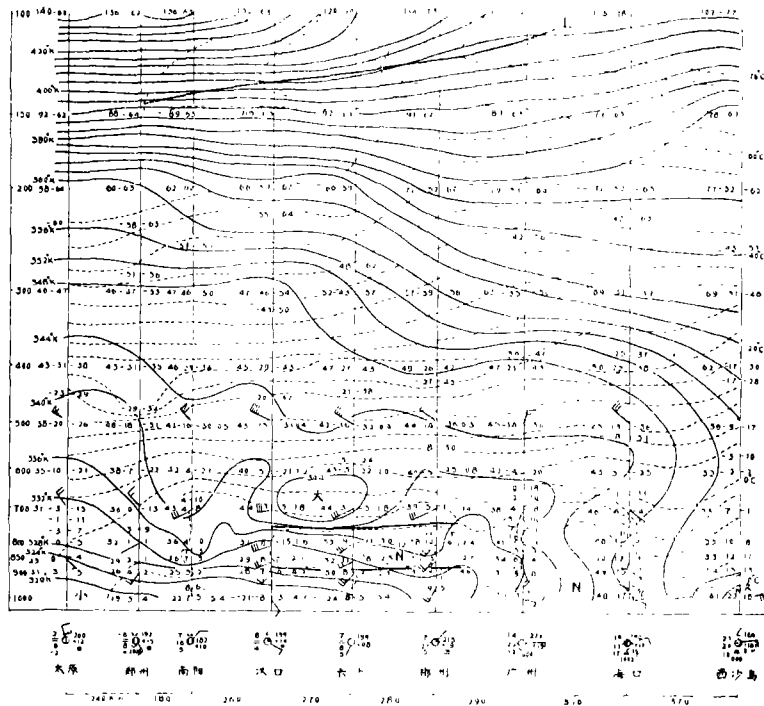


图3 1972年3月13日08时太原—西沙岛垂直剖面图

由于南支高空小槽东移，暖空气不断向北输送，江南地区南部中低层迅速增温增湿，结果在第二天14日08时破坏了低层冷垫，致使水平动力稳定层南段消失，北段向南倾斜着地，在长沙附近形成了新生的锋面(图4)。锋区从长沙向北向上伸展到南阳800mb上空。这就是原来的水平动力稳定层演变而成的锋区，是一种高度较低强度较弱的锋生现象。

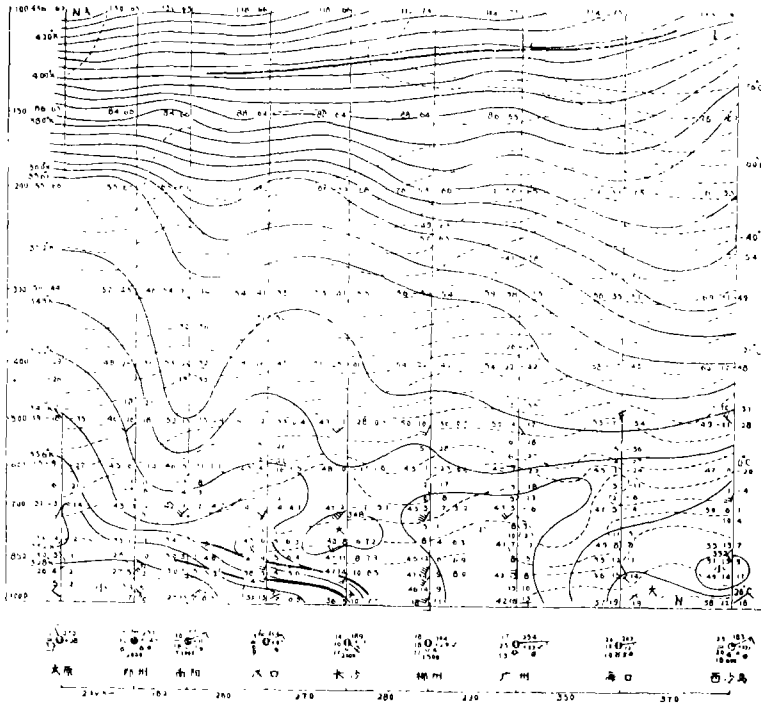


图4 1972年3月14日08时太原——西沙岛垂直剖面图

新生的锋区结构明显，锋区有明显的逆温层。

比较这两张剖面图，可以发现等 $\theta_{se}$ 线迅速加密的程度要比等 $T$ 线加密显著得多。由假相当位温

$$\theta_{se} = T \left( \frac{1000}{P} \right)^{\frac{AR}{c_p}} \exp \left( \frac{Lq}{C_p T_K} \right) \tag{1}$$

可以看出， $\theta_{se}$ 值既取决于 $T$ 值，同时也取决于 $q$ 值，锋生前增温增湿，大量水汽向锋生区集结，使得 $\theta_{se}$ 值增加特别快。可见水汽输送对江南锋生有着十分重要的作用。

### 3、湿度场

前已提到，江南地区新生的锋面是属于一种产生在低空较弱的锋面，当锋面刚生成时，锋区两侧常常缺乏较明显的温度不连续现象，有时甚至仅表现为风场切变的明显不连续，且常伴有雨区同时出现。此外，锋两侧的露点差比温度差更为清楚。这是因为水汽( $q$ )的输送和凝结过程对锋生有直接的影响。

我们通过分析温度( $T$ )和湿度( $q$ )在这次锋生过程中的演变情况(见表1)，

比较它们的增值过程，可见在低层 $\Delta q_2$ 来得快而且明显。

表1 锋生前和锋生时锋区附近(长沙) T、q 的演变

时间 项目 层次	7231308		7231408		$\Delta T = T_2 - T_1$	$\Delta q = q_2 - q_1$
	$T_1$	$q_1$	$T_2$	$q_2$		
850mb	11	2.5	11	7.9	0	5.4
900mb	8	2.3	14	8.5	6	6.2

水汽通量散度

$$\nabla \cdot \vec{V}_q = \frac{\partial uq}{\partial x} + \frac{\partial vq}{\partial y} \quad (2)$$

表示在一定面积内经四个侧界水汽输送结果的水汽净辐散量。当 $\nabla \cdot \vec{V}_q < 0$ 有水汽净得，当 $\nabla \cdot \vec{V}_q > 0$ 则有水汽净失。通过对锋生过程中水汽通量散度的分析，可知，在锋生前对流层水汽通量辐合不强，锋生时对流层下部水汽通量辐合急剧增大，在900mb达最大值，水汽通量辐合增长过程是十分清楚的。锋生时水汽的辐合不仅是降水的有利条件，而且对 $\theta_{se}$ 密集起着特别重要的作用。又从(1)式可以推导出

$$\frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \approx \frac{\partial T}{\partial y} + 2.5 \frac{\partial q}{\partial y} \quad (3)$$

其中取 $\frac{T}{\theta_{se}} \approx \frac{T}{T_K} \approx 1$ 及 $\frac{L}{C_p} = 2.5$ 度。从(3)式可知，增加一个单位 $q$ 对 $\theta_{se}$ 沿某一方向加密的贡献要比增加一个单位 $T$ 对 $\theta_{se}$ 沿某一方向加密的贡献要大2.5倍。这说明水汽输送(或称它为湿度平流)对锋生过程有着十分重要的作用。

#### 4、水平流场、散度场和涡度场

锋生前13日08时850mb上空，江南地区有一大片较强的西南气流向长江中下游南侧输送，且与长江附近的东南或偏东气流辐合，并在长江中游南侧的江南地区构成一条东西向的切变线，促使这个地区大量的增温增湿，对江南锋生提供了有利的流场条件。随着过程的不断发展，暖湿平流不断向北输送，到了14日08时暖切变线又向北挺(图1)，在长沙、衡阳、郴州、零陵以及桂林一带有一个明显的暖中心出现，暖平流比前一天有了更为明显的加强，结果在切变线以南约250—300公里处的地面西南倒槽上产生了新生的锋面(图2)。根据锋面移动公式

$$C_f = - \frac{\frac{\partial p_1}{\partial t} - \frac{\partial p_2}{\partial t}}{\frac{\partial p_1}{\partial y} - \frac{\partial p_2}{\partial y}} \quad (4)$$

(式中 $C_f$ 是锋沿 $y$ 轴的移动速度,并取 $y$ 轴由暖指向冷一侧,附标“1”代表冷空气情况,附标“2”代表暖空气情况)来鉴别图2的实况,因有 $\frac{\partial p_1}{\partial y} > \frac{\partial p_2}{\partial y}$ 以及 $\frac{\partial p_1}{\partial t} < \frac{\partial p_2}{\partial t}$ ,便有 $C_f > 0$ 的结果。因此,从变压场的实况及暖平流的存在都证明了本次锋生过程是属于暖锋性质的。

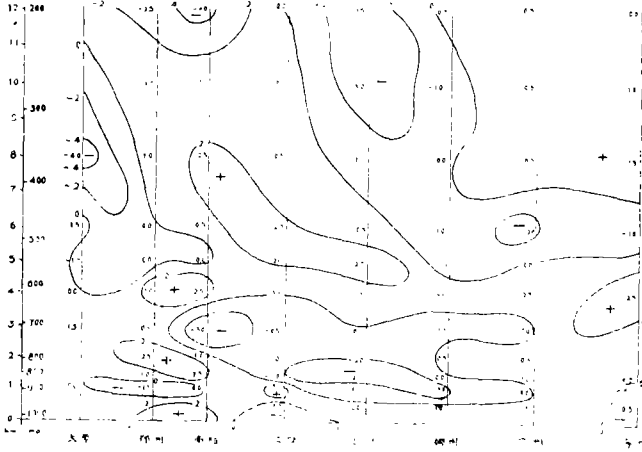


图5 1972年3月13日08时太原——海口散度的垂直剖面图(单位:  $10^{-5}$ 秒 $^{-1}$ )

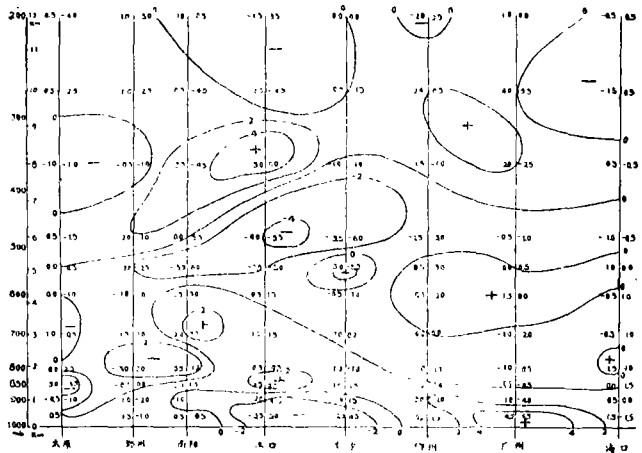


图6 1972年3月14日08时太原——海口散度的垂直剖面图(单位:  $10^{-5}$ 秒 $^{-1}$ )

根据这次锋生过程的散度垂直剖面(图5和图6)分析可知,13日在锋生区长沙附近是接近零值辐合区的边缘,900mb以下有一个微弱辐散区,往上900—700mb首先出现辐合区,辐合中心在850mb附近,14日锋生时,辐合中心稍有下降和加强,850mb以下是辐合区,说明低层辐合的明显加强,对低层新的锋面的产生具有重大意义。

由锋生公式

$$F = \frac{d}{dt} \frac{\partial \theta}{\partial y} = - \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial y} - \frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial p} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{d \theta}{dt} \quad (5)$$

当水平流场辐合时,有  $\frac{\partial v}{\partial y} < 0$ , 又锋生区附近应有  $\frac{\partial \theta}{\partial y} < 0$ , 因而有  $F = -\frac{d}{dt} \frac{\partial \theta}{\partial y} < 0$ , 可见水平辐合流场对这次锋生过程起着十分有利的作用, 而且通常也是锋生的一个主导因子。

实践表明, 江南锋生时, 在长江流域对流层中低层常出现水平风场辐合, 这种低层水平辐合过程不断促使水平温度梯度加大, 等  $\theta_{se}$  线向锋生区密集, 结果造成江南锋生。春季江南地区经常出现水平辐合流场, 这就是为什么江南多锋生的主要原因。

江南锋生区在 850mb 上空对应有一条切变线, 地面的锋生线一般是在切变线南侧。如图 1 和图 2 所示。

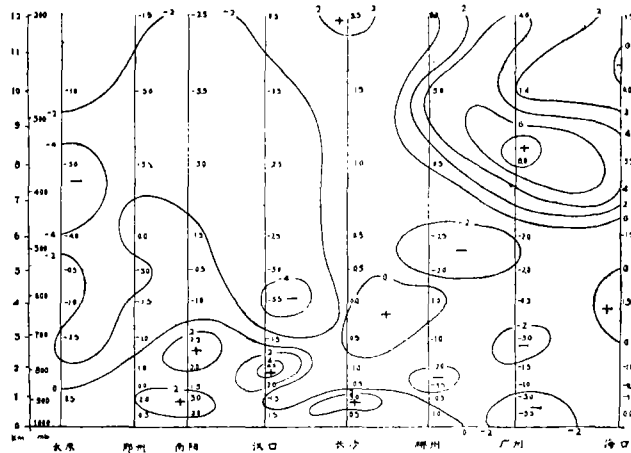


图 7 1972年3月13日08时太原——海口相对涡度的垂直剖面图 (单位:  $10^{-5} \text{秒}^{-1}$ )

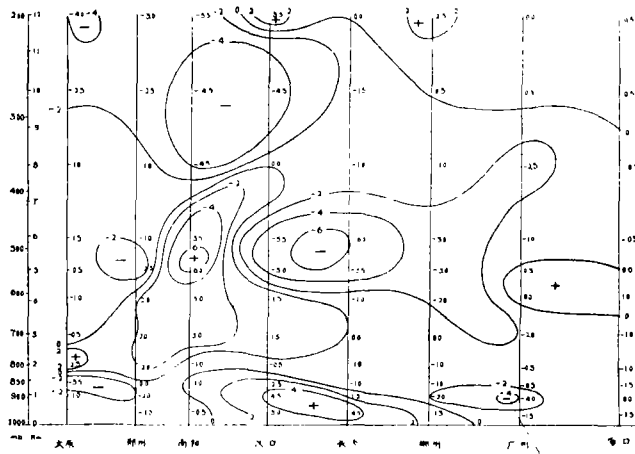


图 8 1972年3月14日08时太原——海口相对涡度的垂直剖面图 (单位:  $10^{-5} \text{秒}^{-1}$ )

图 7 和图 8 是本过程的相对涡度垂直剖面图, 它们与上述的散度场配合得很好。锋生前长沙附近 850mb 以下有一正涡度中心, 到了 14 日亦有明显的加大。按涡度方程

$$\nabla_2 \cdot \vec{V} = -\frac{1}{f + \zeta} \left( \frac{\partial \zeta}{\partial t} + V \frac{\partial \zeta}{\partial s} + \beta v \right) \quad (6)$$

从本过程中，低层有  $\frac{\partial \zeta}{\partial t} > 0$ ，涡度的局地变化有利于水平辐合，从而也有利于锋生；而在江南地区低层又有较强的暖平流向北输送，应有  $\beta > 0$ ，因而纬度变化因子亦有利于水平辐合，从而亦有利于锋生。假如把大气低层的高度场近似地看作同心圆及涡度分布又近似于高度分布，则可以粗略地认为涡度平流对辐散及锋生的作用是微小的。

此外，低层有  $\frac{\partial \zeta}{\partial t} > 0$ ，即反映了低空涡度的局地变化是有利于气旋性环流发展的，这亦说明了为什么在锋生后12小时，即14日20时在江南新生的锋面上发展成为气旋波的原因。顺便指出，由于江南地区处于青藏高原东侧背风坡的南侧，这种特殊的有利于  $\frac{\partial \zeta}{\partial t} > 0$  的地理位置，亦是江南锋生多与气旋波相联系的另一个重要原因。

### 5、垂直运动场

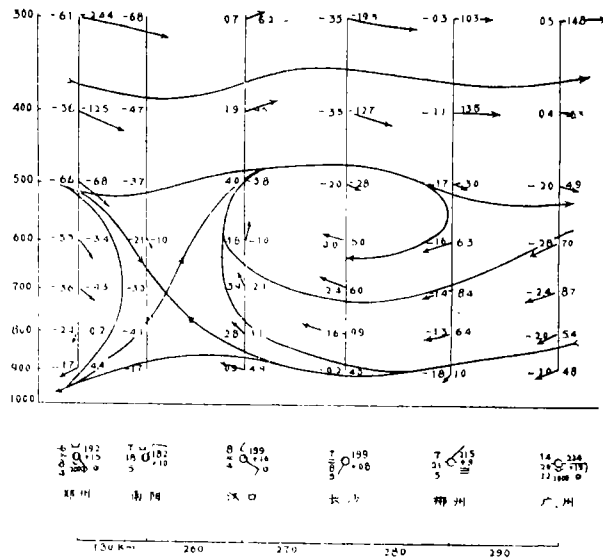


图9 1972年3月13日08时郑州——广州垂直环流图

我们对7个典型锋生个例作了垂直环流场的计算。锋生前在锋生地区南侧（郴州）上空有下沉运动（图9），这种下沉气流有时可达400mb以上，而这时锋生区北侧有时出现弱的下沉气流（长沙以北），有时是弱的上升气流。考虑（5）式右边第二项，江南地区有  $\frac{\partial \omega}{\partial y} < 0$  及  $\frac{\partial \theta}{\partial p} < 0$ ，则有  $F < 0$ ，亦即是有利于锋生的垂直环流。这种垂直运动一方面使锋生区产生水平温度梯度，另一方面也是促使水平稳定层发生变化—断裂、南段消失、北段倾斜着地锋生的原因之一。

锋生时(图10)沿着锋生区有上升气流,有时可达 $7.0\text{cm/s}$ ,地面锋生线的南侧为下沉气流,锋面北侧冷区为弱的上升气流。

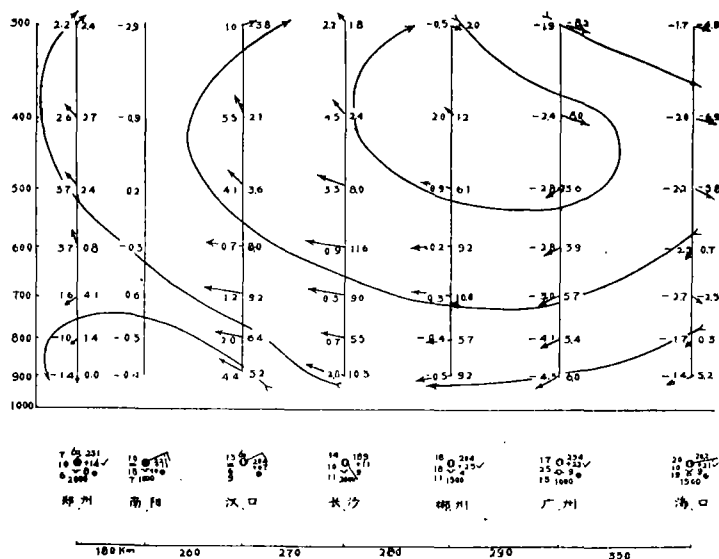


图10 1972年3月14日08时郑州——海口垂直环流图

### 三、 结 束 语

1、江南锋生多数发生在对流层下部,锋区一般在 $850\text{mb}$ 以下, $850\text{mb}$ 以上锋区就不明显。天气系统、等 $T$ 线密集带或风向的切变线也只有在 $850\text{mb}$ 上比较清楚,在 $700\text{mb}$ 和 $500\text{mb}$ 上往往就找不出踪迹。

2、在锋生过程前, $500$ 或 $700\text{mb}$ 有南支西风低槽东移,江南处于槽前西南气流中,低空 $850\text{mb}$ 上有辐合流场形成,有大量暖湿气流向辐合区汇合,形成切变线。在切变线北侧偏北气流较弱,辐合线上有时也可分析出短时的暖锋线出来。因此我们认为江南锋生在初生之时是多具暖锋性质的。在实际天气分析中,定为静止锋或冷锋是不适宜的。暖锋生成以后,往往很快有冷空气进入辐合区后部,常可发展成为气旋波。

3、从锋区结构及各要素场变化看,春季江南锋生主要是通过中低层有利的水平辐合流场所产生的暖湿平流向锋生区辐合,强烈的增温增湿过程促使等 $\theta_{se}$ 线迅速向锋生区集结。其中水汽输送所引起的增湿过程对锋生起着十分重要的作用。此外,有利的垂直运动又起了加速江南锋生的作用。散度场和涡度场的结构和演变也对锋面和气旋波的产生提供了十分有利条件。

## On the Structure of the Frontogenesis over Southern region of the Yangtze in Spring

*Yang yunqiang    Chen Kunyun    Zhang Weiwen  
Han Laifu    Tang Fuzhe    Mo Zhixiang    Hu shaoxian*

### ABSTRACT

By the analysis of time and space variation of the meteorological elements in the course of a typical frontogenesis over Southern region of the Yangtze in spring, the essay surveys the space structure and characteristics of this frontogenesis process. It is found that the frontogenesis appears in the lower troposphere in front of the trough-line within the southern branch of the westerlies. The maintenance of the frontogenesis chiefly depends upon the horizontal convergence field of the flow in the lower troposphere and therein, the moisture transport plays an important role in this process. The advantageous vertical circulation accelerates the frontogenesis. Besides, based on the analyzed results of the fields of the flow and the pressure tendency, at the beginning of the process, there appears in front a warm condition. These results may help to analysis and prediction of the frontogenesis.