

一次早春中尺度天气过程的分析 and 预报

邓之瀛 杨美川 蒋乐贻 邹浩 程正欣*

(上海市气象科学研究所)

提 要

本文利用单站自记及常规资料,分析了1987年3月6日造成长江下游部分地区冰雹及大风的一次强对流天气过程。发现浙北及上海南部测站的气压自记曲线均出现4次明显的波动,转换到空间上为平均移速90km/h,具有重力波特征的4个雷暴高压。计算表明,大尺度场上深厚的西南风层,强垂直风切变,高层对流层风的非地转性及其导致的辐散增大, Rossby数 >0.45 可作为大尺度场的诊断判据。而由稠密地面测站网计算的辐合中心、总能量脊线、风向辐合线等强对流天气的落区及移向的短时预报,都具有重要参考价值。

1987年3月6日夜间,上海市南郊的金山、松江等6县的部分地区发生了一次早春季节罕见的强对流天气,系统所经之处,除强风(短时间阵风约11级,龙卷出现地区12级以上)和雷雨外,部分地区下了冰雹,松江县新浜乡出现了龙卷。

分析表明,该强对流天气是在有利的大尺度环流形势下,地面江淮气旋发展东移出海过程中,由在其锋面附近的稳定层结内发生的中尺度重力波所触发和组织的。

一、地面中尺度观测事实与分析

1. 天气实况

图1给出上海地区该次过程的天气实况,可见:

(1) 两条 $>10.0\text{mm}$ 的雷雨区呈东西向带状分布,分别位于上海的南部及北部,其中南雨带较强,在松江和南汇附近各有一个 $>20.0\text{mm}$ 的雨量中心。

(2) 雷雨大风及冰雹、龙卷镶嵌在南雨带的西半部,西起金山县枫围、沿浦江两岸向东北东方向伸展至闸港、下沙附近,整个大风、冰雹带在松江县新浜乡达最强,向东逐渐减弱。

2. 气压波动

分析单站气压曲线,发现该次过程影响

*陈其次、高泉平协助部分资料计算。

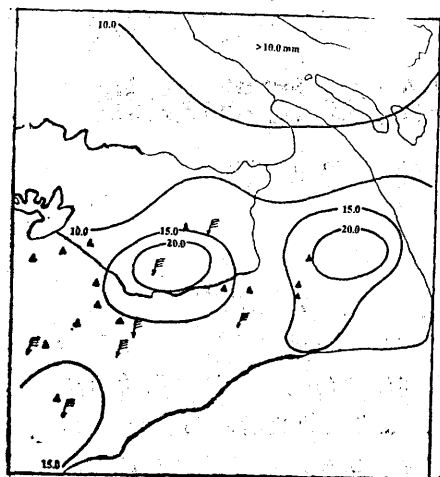


图1 上海地区1987年3月6日强对流天气实况
▲ 冰雹, ↓ 大风, 实线为等雨量线

时, 太湖南岸及上海南郊各测站气压曲线均呈高峰波动型(图2), 有4次主要的波峰活动, 其强度及峰点经过各测站的时间由附表给出。显见:

(1) 4次气压波峰活动的时间间隔平均为23分钟, 移速90km/h, 空间间距40km, 最强时南北宽约60km, 是为β中尺度系统。

(2) 各次气压波峰线均呈弧状, 其振幅在中段最强, 两端较弱。

分析表明, 该-β中尺度系统于3月6日下午在安徽宿松、枞阳附近生成东移, 沿途造成强烈不稳定天气, 根据单站气压曲线特征及峰点移经测站的时间等可以判定: 移经

附表 各次气压峰点经测站时间表

序号	站名 等级	嘉兴	金山	青浦	松江	奉贤	上海	龙华	南汇	川沙
		1	20:30	20:56		21:08	21:14			
1	2									
	3								21:44	
	4						21:20	21:27		21:45
2	1	21:05	21:30		21:37	21:45				
	2			21:36			21:47		22:15	
	3							21:50		
	4									22:15
3	1									
	2									
	3	21:25								
	4		21:55		22:00	22:05				
4	1									
	2	21:35								
	3		22:05							
	4				22:10	22:17				

等级标准: 15分钟内最大振幅A, 当 $A \geq 5.0\text{hPa}$: 第1级; $3.0\text{hPa} \leq A < 5.0\text{hPa}$: 第2级; $2.0 \leq A < 3.0\text{hPa}$: 第3级; $1.0\text{hPa} \leq A < 2.0\text{hPa}$: 第4级。

太湖时, 其主体分成两支, 其中南支在水陆交错的太湖南岸得到加强, 以后沿杭州湾北岸东移造成上海南郊的冰雹、大风、雷雨

带。4次波峰中以前两次最强, 后两次较弱。从第一波峰移动等时线图(图略)可以看出, 在其移动过程中, 一方面因消耗能

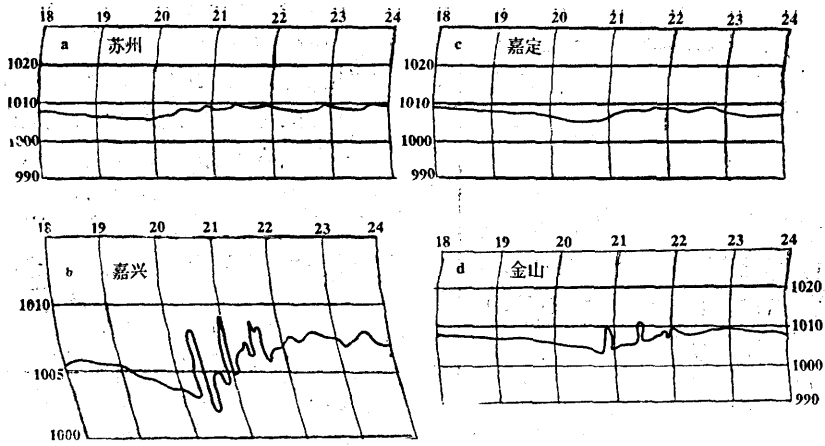


图2 1987年3月6日18—24时单站气压自记曲线

量而逐渐减弱，另一方面也由于波动触发强风暴的反馈作用，影响波动的振幅，改变波动的形状。

与此同时，在太湖北岸的另一分支也东移影响上海北部郊区，但移速偏慢且明显偏弱，所经测站的气压曲线均呈宽平头型（图2a、b）。主要有两次微弱的波峰，平均移速65km/h，造成上海地区 $>10.0\text{mm}$ 的北雷雨带。

气压曲线上的4次波峰转换到空间上，实际上就是4个雷暴高压，在各高压之间为前导或尾流低压（图3）。据灾情实况分析，高压内可能有多个（至少一个）下击暴流单体，过境时由于受下沉辐散气流影响，先转WNW风，与环境风场（NE风）构成风向辐合线，以触发下风方向不稳定能量的释放，生成新的对流系统。此时由于风向大致相反，故表现在测站上风力稍弱，加上不停地有系统东移，故偏西风短暂（如金山站20时出现WSW风 $25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，短时间即转NE风，高中心过境降压时，又转E—NE风，此时环境风场与之叠加，故各站10分钟平均最大风速均为NE大风（嘉善站瞬时阵风为NE风 $36\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ）。

3. 波动的重力波特征

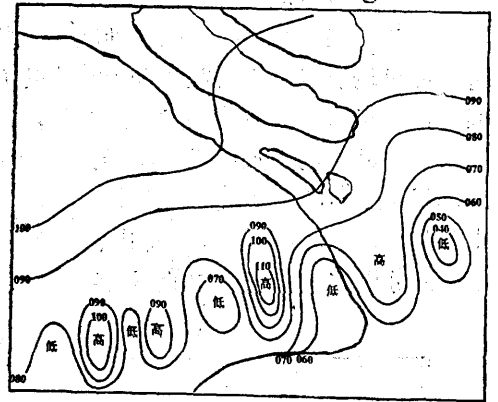


图3 经时空转换后的上海地区6日22时地面气压场

图4为6日21时经时空转换后的地面气压与散度的分布图。可以看到，在地面高压后部为 $12.05 \times 10^{-4}\text{s}^{-1}$ 的强辐散中心，而其前为 $-6.12 \times 10^{-4}\text{s}^{-1}$ 的辐合中心，其位相差为 $\pi/2$ ，地面正（负）涡度中心与气压场上高（低）中心基本重合，逐时地面气压扰动场同样具有上述特征（图略）。单站气压扰动量的时间曲线上升段与逐时雨量曲线的峰值相一致。可见该对流系统具有重力波的性质，上海地区南北两条雨带及南雨带内的强对流天气正是由该重力波触发并组织的。

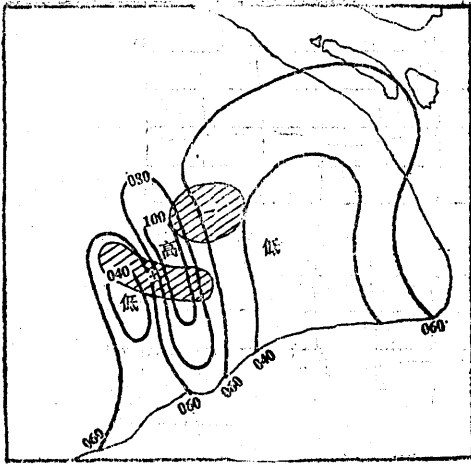


图4 3月6日21时地面气压与散度分布
阴影区分别为,中心数值为 $-6.12 \times 10^{-4} s^{-1}$ 的
辐合区和 $12.05 \times 10^{-4} s^{-1}$ 的辐散区

4. 滤波试验

利用上海、嘉兴、苏州三地区测站的逐时地面风场资料,取格距为20km的正方形网格,采用Barues带通滤波方案(1),可得到50—150km的中尺度扰动风场。分析14时扰动风场(图5)发现在苏州、昆山、宝山及吴江、嘉善、青浦、金山、奉贤、川沙一线分别有一条东西向的辐合线,其中南

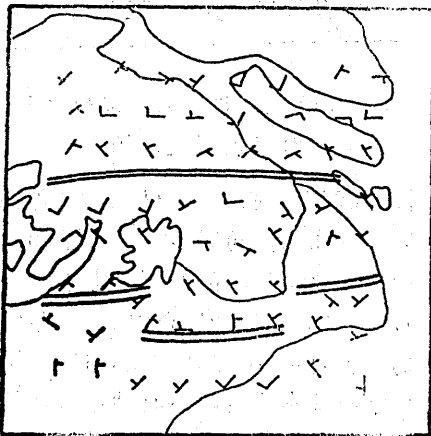


图5 6日14时带通滤波后的小尺度风场
(双线为辐合线)

辐合线断为三段,辐合线北侧有三个 $< -1.2 \times 10^{-4} s^{-1}$ 的辐合中心,6小时后的强对流天气就发生在辐合线西端辐合与正涡度叠置的苏州和嘉兴附近,新的系统生成后,沿该辐合线东移,造成前述的南北雨带及南雨带内的强对流天气。

二、系统发生的大尺度环流背景

1. 高层非平衡流场及强垂直风切变

图6为300hPa格点风场。可以看出,在安庆、上海一线为一支 $>60 m \cdot s^{-1}$ 的高空SW风急流,沿急流轴附近非地转SW风都在 $20 m \cdot s^{-1}$ 以上,显见,这里出现明显的非平衡流场。

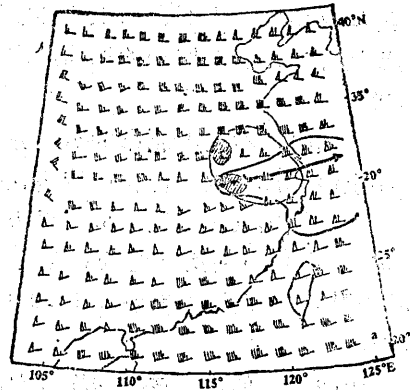


图6a 6日08时300hPa格点风场

粗实线为风速 $>60 m \cdot s^{-1}$ 范围;矢线为急流轴;细实线为中尺度重力波活动区;上、下阴影区分别为上、下午中尺度重力波源地

另外,从08时沿 $118^\circ E$ 的南北向剖面上(图略)可以看到在副热带急流轴下方,250—400hPa之间存在最强的垂直风切变。衢州、南京之间平均垂直切变值为 $11.69 \times 10^{-3} s^{-1}$ 。200—850hPa为 $7.0 \times 10^{-3} s^{-1}$ 都大于通常发生强对流天气的临界值(2)。这种高层非平衡风场及强垂直风切变是使平均动能转化为扰动动能,有利于重力波产生和发展的重要因素。

2. 中低层位势不稳定层结和逆温

分析发现,从3月6日08—20时,高空强

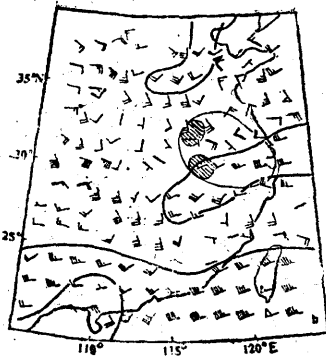


图6b 6日08时300hPa非地转格点风场
粗实线为风速 $\geq 1.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的非地转SW风区,其它同图6a

急流轴下方,从苏南到浙北都处于 $\theta_{se_{500}} - \theta_{se_{850}} < 0$ 的位势不稳定区域内,其中 < -5.0 的最不稳定区出现在 31°N 的锋面附近,这里又是低层850hPa下沉及锋面逆温区所在(图略),具有较大的静力稳定性,这种低层逆温既是一种抑制对流零星发展的“暖盖”,有利于不稳定能量的聚集,又为重力波的发生提供了有利的层结条件。

3. 下层辐合上层辐散的垂直流场

分析3月6日20时通过地面气旋中心的南北及东西向剖面(图略),可以看到,在 30°N — 33°N , 118°E — 122°E 重力波活动区内,600hPa以下为 $D < 0$ 的辐合上升区,其最大辐合中心出现在850hPa,为 $-10.0 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$,其上为辐散区,最大辐散中心在500hPa ($7.2 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$),高层250hPa南半部又转为辐合,至100hPa才转为辐散,显然这种上层辐散下层辐合的垂直流场有利于对流系统的发展。

08时及20时沿 118°E 过锋面低压中心的二维流场剖面上(图略),08时在地面静止锋以北 30°N — 35°N ,400hPa以下有一铅直环流, 32.5°N 以南为较一致的上升气流,以北为下沉气流,这里正是300hPa地转风急流的入口区,有利于对流系统的发生发展。20时该铅直环流分成南北两支,南支在 30°N — 33°N

之间700hPa以下,高度明显降低,来自南侧的暖湿气流沿锋面抬升,供应水汽和能量,北支在 34°N 以北400hPa以下,这时高空强风轴在250hPa的合肥附近,其南即为重力波活动区。

4. 环流形势

分析系统生成前6日08时的天气形势,可以看出该强对流天气发生在500hPa槽前深厚的强西南风层内,属春季强对流天气南支槽型^[3]。重力波活动区位于200hPa急流入口区右后侧,850hPa低空急流出口区左前侧,其东北侧为300hPa高度脊,而西北缘为高度场上气旋性曲率轴,南侧为地面上东西向倒槽静止锋(图7)。

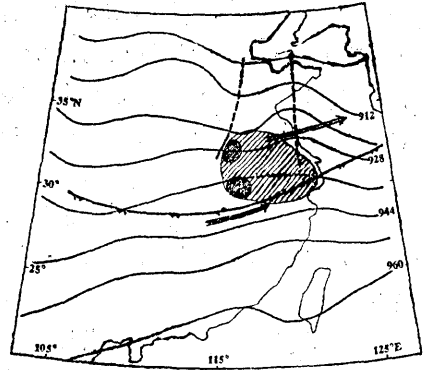


图7 3月6日03时300hPa高度场及其高低层系统的配置图

双线矢、实线矢分别为200hPa、850hPa急流轴线;
断线为300hPa脊线及气流曲率轴线;疏密阴影区分别为重力波活动区及其源地

三、预报着眼点

1. 中尺度重力波活动的大尺度诊断

理论研究、数值模拟和观测研究都证实,高层平流层非平衡气流及与急流有关的垂直风切变不稳定,两者都可能是中尺度重力波的生成机制。本文计算了该次个例高层300hPa非地转气流以及表征惯性作用大小,垂直风切变不稳定性的Rossby数^[4]

$$\left(= \frac{|d\vec{V}/dt|}{f|\vec{V}|} = \frac{|\vec{V} \cdot \nabla V|}{f|\vec{V}|} \right) \text{及} Ri \text{ 数} \left(= \frac{g}{\theta_{se}} \right.$$

$\left. \frac{\partial \theta_{se}}{\partial z} / \left(\left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right) \right)$ 计算结果由图6给出。

300hPa非地转风场图6b上,在江苏及安徽南部有一流向低压区的 $>18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的非地转西南风区,该区中部恰好位于 $>60\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的实测西南风入口区(图6a)附近。这种气流的非平衡状况导致北侧辐散增大和Rossby数 >0.45 。可以认为满足上述三项指标的叠置区附近,气流是非地转的,将出现地转调整并产生重力波,这与Koch通过9次个例分析所得出的判据类同(4)。

另外,考虑垂直风切变不稳定对重力波生成的作用,还可用Ri数来诊断。计算表明在 33°N 以南为一片 $Ri < 1/4$ 的区域,其负值区恰与上述气流非平衡区叠置,数小时后,就在非平衡区域内有重力波生成并发展。

诚然,通过足够多的个例的诊断,就有希望利用大尺度常规资料对中尺度重力波的活动作出预告。

2. 用于短时预报的几条指标

在分析大尺度非平衡气流的基础上,除利用高分辨率的卫星、雷达资料进行追踪外,还可借助较密地面测站的每小时资料,对强对流天气进行短时预测,下面给出本次个例中可用于预报的一些前期信息。

(1) 小尺度场上的辐合中心一般可提前数小时出现,且未来的强天气就出现在辐合中心附近。如本个例中,14时在金山、嘉兴一带出现辐合中心,16时其值达 $-8.05 \times 10^{-4}\text{s}^{-1}$,以后虽稍减弱,但仍为辐合中心所在。至过程发生前的1小时又增强,7小时后的强对流天气就首先出现在该辐合中心附近(图略)。

(2) 每小时的总温度与 θ_{se} 分布类同(图略)。本个例中08时起至对流天气发

生,其高值中心一直维持在浙江嘉兴附近,

脊线指向ENE方向。 $\left. \frac{\partial T_t}{\partial s} \right|_{\max} = 1.26^\circ\text{C}$

$\cdot\text{km}^{-1}$ 。7小时后的强对流天气就首先出现在大值中心附近,并沿14时脊线方向传播。

(3) 每小时流场图上,杭州湾北岸的金山卫与金山、奉贤之间一直维持一条SW与NE风的辐合线。此即气旋暖锋的位置所在,可以认为辐合线的长时间稳定少动是对流天气出现的明显征兆。

(4) 滤波后扰动风场上两条辐合线的位置和走向与6小时后对流系统的移向基本一致,具有明显的预报意义。

(5) 由上海单站探空资料计算的SWEAT指数。6日08时为158.0644,6日20时为309.7512,根据一般经验,当SWEAT >300 时就有强对流天气威胁。虽预报时效较短,但在短时预报中仍然是有意义的。

其它诸如单站 θ_{se} 廓线的鼻状特征,冷暖平流的垂直分布,各项稳定度指标如K指数等也都具有一定的预报价值。

参考文献

- (1) Barnes, S.L., Mesoscale objective map analysis using weighted time-series observation. NOAA Technical Memorandum ERLNSSL-62, 1973.
- (2) 杨国祥, 中小尺度天气学, 气象出版社, 1983.
- (3) 杨国祥, 舒慈勋, 雷暴发生的大尺度环境条件, 华东中尺度天气试验文集, 1985.
- (4) S.E.Koch, Toward operational forecasting and detection of weather producing gravity waves. 中尺度天气和预报译文集, 气象出版社, 1988 (即将出版)。

(下转第34页)

Preliminary study of a mesosynoptic case in early spring

Deng Zhiying Yang Meichuan Jiang Leyi Zou Hao Cheng Zhengxin

(Shanghai Institute of Meteorology)

Abstract

In this paper, a severe convective system causing hail and gale over some areas of the lower reaches of the Yangtze River on Mar. 3, 1987 is analysed. It has been found that there are four obvious undulations on the barograph trace at the stations of the south suburbs of Shanghai and the northern Zhejiang, which are corresponding to four mesohighs with the characteristics of the gravitational wave at an average speed of 90 km/h by means of a time-to-space conversion.

Calculation shows that a deep SW wind layer, strong vertical wind shear, ageostrophic properties in the upper troposphere and Rossby number over 0.45 can be regarded as some diagnostic criteria of the large scale field. moreover, computed convergence center, ridge line of the total energy, convergence line etc. may be significant for nowcastings of the location and direction of the moving severe convective system by use of the data from the denser surface network.