

连续冰雹天气的物理量场特征分析

杨晓霞 张爱华 贺业坤

(山东省气象台, 济南 250031)

提 要

对1997年4月28~29日山东连续两天出现大范围冰雹天气的天气系统和热力及动力场特征进行了分析。结果表明,这次连续性大范围冰雹天气过程是由冷性低涡影响产生的。冷锋触发对流不稳定能量释放,产生强对流。冰雹产生在中低层对流不稳定、高能舌和低层暖平流、高层冷平流以及低层辐合、高层辐散的上升运动区。对流有效位能和高层正涡度平流对冰雹的产生起主要作用。

关键词: 连续降雹 低涡 热力条件 动力条件

引 言

1997年4月28~29日,山东省受冷涡影响,连续两天出现了冰雹强对流天气。28日下午~夜间,鲁中山区北部的邹平、周村、

张店、益都和安丘5县出现了冰雹;29日傍晚~夜间,鲁北的惠民、北镇、高青、博兴、邹平、淄川、博山和鲁南的平阴、济宁、滕县等地出现了冰雹,冰雹分布如图1所示。

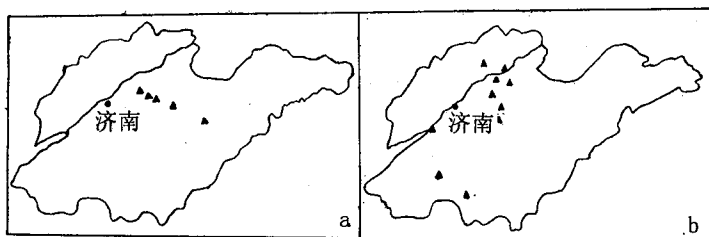


图1 1997年4月28日下午~夜间(a)和29日傍晚~夜间(b)的冰雹落区

本文对造成冰雹天气的天气系统、热力和动力场特征进行了对比分析,总结出产生这两场冰雹的异同点,为制作冰雹客观预报提供依据。

1 影响系统

1997年4月28日08时(北京时,下同)500hPa上51°N、120°E有一5280gpm的闭合低涡中心,低涡横槽直伸到贝加尔湖地区(图2a)。低涡南部低槽位于40~52°N、120°E附近,槽后45°N附近的西北气流达20~24m·s⁻¹。低于-32℃的冷中心位于槽后,槽后冷空气在西北气流引导下东移南下。

850hPa上低涡中心与500hPa低涡中心位置相同,两个横槽分别位于52°N和38°N;锋区在40~47°N、105~125°E范围内,强度为12℃·(7纬度)⁻¹。山东西部为高于16℃的暖中心,济南温度高达18℃。40°N以南、115°E以东为西~西南气流。地面冷锋落后于850hPa上38°N附近的横槽。14时,在冷锋前部生成1002.5hPa的闭合低压,中心位于天津(图略)。28日20时,500hPa低涡中心南移,冷空气南下。28日下午~夜间,受地面冷锋影响,在地面低压中心附近的鲁中山区北部出现强对流,5个县出现冰雹。

29日08时,500hPa低涡减弱成低槽,东移到35~45°N、115~125°E一带。850hPa上36°N以南、115°E附近仍为高于16℃的暖舌。山东地面上仍为弱低压控制。29日20时500hPa低槽减弱东移,西部横槽转竖南下,

到达40°N附近。地面上在37°N附近新生一冷锋(图2b)。29日傍晚~夜间,受横槽和地面冷锋影响,在地面低压中心的东北部,鲁北和鲁南地区产生强对流,10个县出现冰雹。

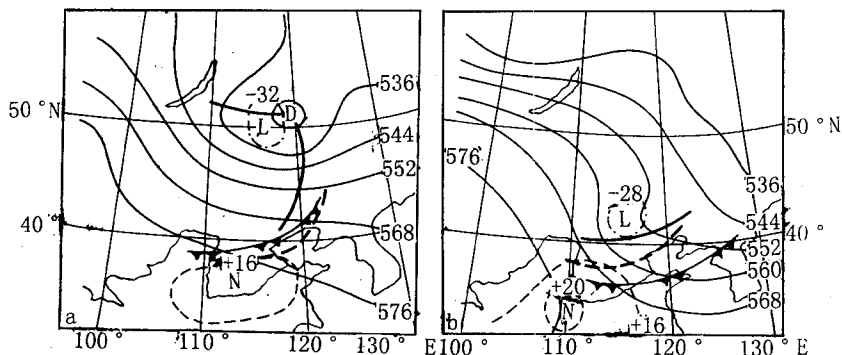


图2 1997年4月28日08时(a)和29日20时(b)500hPa环流形势、冷中心位置、850hPa横槽(粗断线)、暖中心位置及地面冷锋

由上述分析可见,28日受冷涡影响,29日为低涡横槽影响,地面上均有冷锋和锋前热低压相配合。

2 热力条件分析

2.1 对流有效位能(CAPE)特征

气块受外力抬升,当气块的重力小于外部浮力时,一部分位能有可能转换为动能,这部分位能叫做有效位能。由此可以引入“对流有效位能CAPE”的概念^[1]。

CAPE越大越有利于对流发展^[2]。计算分析27~30日30~45°N、110~125°E区域内1°×1°经纬度网格点上的对流有效位能(CAPE)发现,27日20时,高能中心在110°E以西,28日08时在鲁北(37°N、117°E)形成322.7J·kg⁻¹的能量中心。20时,中心值增大到1575.4J·kg⁻¹(图3)。28日下午~夜间,冰雹产生在对流有效位能的高能中心附近。29日08时,对流有效位能已被释放,29日傍晚~夜间的冰雹产生在对流有效位能为零的区域。由此可见,28日强对流是由对流有效位能释放产生的,29日在对流有效位能已全部被释放的情况下,受横槽影响也产生了强对流。为了弄清29日产生冰雹天气

的大气能量场特征,我们对大气湿静力能的分布进行了分析。

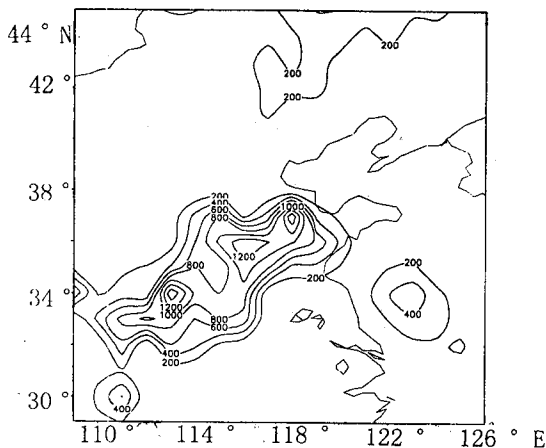


图3 1997年4月28日20时对流有效位能分布图(单位:J·kg⁻¹)

2.2 湿静力总温度(T_m)分布特征

分析850~500hPa各层的湿静力总温度(T_m)^[3]发现,1997年4月28日08时850hPa以下,从渤海到山东中部为大于46℃的高能舌区(图略),20时,700hPa以下在山东北部(37~40°N)形成东西向的能量

锋区(图4a),在锋区南部的鲁北地区(36~37°N)为较强的高能舌区,850hPa以下总温度大于54℃。28日下午~夜间在高能舌区产生冰雹天气。

29日08时,锋区减弱、总温度减少,低层仍为高能舌区。29日20时,700hPa以下在山东西部有一小于40℃的低能舌从北向

南伸展、直达35°N以南地区,这说明有干冷空气南下。低能舌的东北部,西北~东南向的高能舌仍然控制鲁北和鲁东南地区(图4b)。29日傍晚~夜间,在鲁北高能舌区产生冰雹。由此可见,28日和29日的冰雹均产生在湿静力能的高能舌区,虽然29日的对流有效位能为零,但是湿静力能还较高。

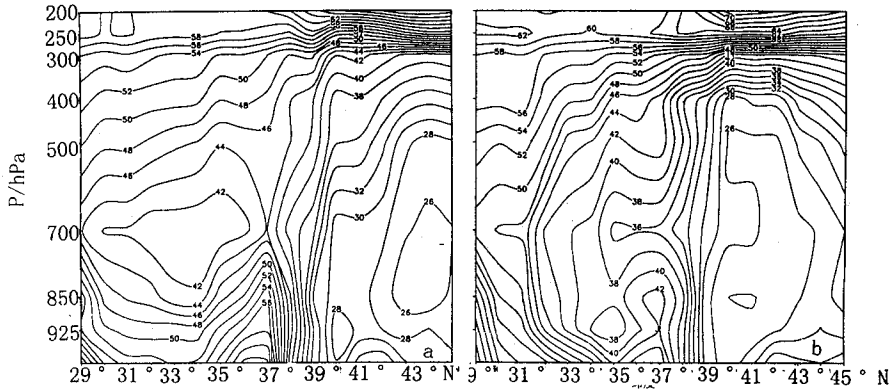


图4 1997年4月28日20时(a)、29日20时(b)沿118°E湿静力能总温度在空间剖面(单位:℃)

2.3 大气垂直不稳定特征

θ_{se} 的垂直分布可以反映大气的对流不稳定性。从表1中可以看到,27日20时~30日08时,700hPa以下雹区上空 θ_{se} 随高度减少,大气呈对流不稳定状态。28日20时最不

稳定, $\Delta\theta_{se(700-地)}$ 达到-18.5℃,其次是29日20时, $\Delta\theta_{se(700-地)}$ 为-8.8℃。28日和29日傍晚~夜间都有强对流产生,冰雹产生在700hPa以下 $\Delta\theta_{se(700-地)}$ 小于-8.0℃的不稳定大气中。

表1 1997年4月27日20时~30日08时雹区上空 θ_{se} 和温度平流

层次/hPa	$\theta_{se}/\text{℃}$						温度平流/ $10^{-5}\text{℃}\cdot\text{s}^{-1}$					
	27日		28日		29日		27日		28日		29日	
	20时	08时	20时	08时	20时	08时	20时	08时	20时	08时	20时	08时
100	141.6	141.6	137.9	137.6	133.0	136.3	0	-3.3	-2.7	6.4	39.5	1.2
150	101.2	101.8	97.7	99.4	101.8	101.5	-2.3	0.5	4.4	-13.6	3.7	-40.6
200	69.3	70.3	65.8	67.1	67.4	76.9	-52.3	-70.1	22.8	67.6	42.7	-89.0
250	55.6	49.7	57.0	56.3	65.6	64.3	-7.5	-7.9	-42.3	-23.7	41.6	-50.9
300	49.6	47.6	53.7	50.8	56.8	53.2	-4.7	1.8	-28.9	-27.9	-13.9	-28.5
400	44.3	44.8	50.4	50.1	45.2	47.1	-10.3	4.8	4.2	9.6	-36.0	18.0
500	39.7	45.3	47.5	51.2	45.5	41.6	-4.2	7.0	-5.0	-14.5	-22.2	46.5
700	36.7	40.0	46.1	41.3	36.4	33.7	7.6	-3.2	0.1	-1.6	-5.2	-3.0
850	44.6	41.4	59.8	42.5	44.8	36.4	14.4	16.9	5.7	-7.5	-4.0	-9.1
925	43.5	48.8	62.3	45.4	44.2	37.5	0.0	21.4	4.4	0.1	6.9	-2.1
地面	43.8	48.0	64.6	45.4	45.2	38.0	-8.2	-4.9	16.8	1.4	4.5	-1.5

温度平流不仅可以造成大气层结不稳定,而且可以产生垂直运动,它在强对流天气

中起着重要作用。分析温度平流发现,在未来雹区上空(表1),28日08时,925~850hPa

为暖平流,925hPa上的暖平流达到 $21.4 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$,700hPa上为弱的冷平流,大气中低层向层结不稳定发展。28日20时,500hPa上有冷平流侵入,地面~850hPa都为较强的暖平流,28日下午~夜间在低层暖平流和高层冷平流区产生冰雹强对流天气。29日08时,冷空气已侵入到850hPa,地面~925hPa仍为暖平流。29日20时,地面~925hPa暖平流增大,高层850~300hPa冷平流也加强,29日傍晚~夜间在高层冷平流和低层暖平流相叠置的区域产生冰雹。30日08时,冷空气已侵入低层,700hPa以下都为冷平流,大气趋于层结稳定,冰雹天气结束。28日和29日的冰雹强对流均产生在低层暖平

流和高层冷平流相叠置的区域。

3 动力场特征

3.1 散度场和垂直速度场特征

分析散度场分布发现,4月28日08时,鲁北700hPa以下为辐合区,700~250hPa为辐散区。20时,低层辐合加强,925hPa辐合最强,中心值为 $-64.8 \times 10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$;700hPa上有一辐散中心与之相对应,中心值为 $15.6 \times 10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在高层辐散、低层辐合区,整层都为上升运动,400hPa上升运动最强,中心值为 $-9 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ (图略)。28日下午~夜间冰雹产生于低层辐合、高层辐散的上升运动区(图5)。29日08时,山东西部850hPa以下转为辐散,山东为下沉运动,10

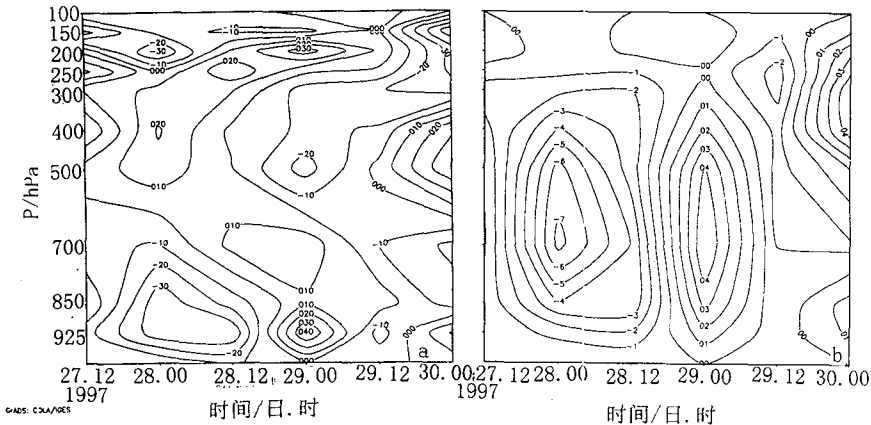


图5 雹区上空散度(a,单位: $10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$)、垂直速度(b,单位: $10^{-3} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)的时间空间剖面

小时内无对流发展。29日20时,925hPa上黄河以北地区(38°N 、 118°E)形成较强的辐合中心,中心值为 $-48.6 \times 10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$,400hPa上有辐散中心相对应,中心值为 $37.1 \times 10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在高层辐散、低层辐合的区域,又有上升运动发展,29日夜间产生了冰雹天气。两次冰雹均产生在低层辐合、高层辐散的上升运动区。

3.2 涡度平流特征

高空正涡度平流是促使地面低压发展的动力因子。地面低压发展必伴有上升运动及

高层辐散、低层辐合^[4]。分析涡度平流可见(表2),28日08时,鲁北上空500hPa以上大部分为负涡度平流。20时,对流发展期间,300hPa以下转为正涡度平流,平流值较小。29日08时,500hPa以上,鲁北转为较强的正涡度平流,20时,正涡度平流加强,300hPa上正涡度平流中心值最大,达 $269.5 \times 10^{-10} \cdot \text{s}^{-2}$ 。在高层强烈的正涡度平流作用下,高层辐散抽吸作用使低层辐合,产生上升运动。触发低层对流发展,产生冰雹。由此可见,28日高层正涡度平流较小,主要由低层辐合产

生的上升运动触发不稳定能量释放产生强对流;29日高层正涡度平流较强,产生高层辐散,辐散抽吸作用产生上升运动,对流发展,产生冰雹。

表2 1997年4月27日20时~30日08时雹区上空涡度平流/ $10^{-10} \cdot s^{-2}$

层次/hPa	27日	28日		29日		30日
	08时	08时	20时	08时	20时	08时
100	8.2	5.8	7.3	10.2	16.7	0.8
150	-125.0	20.4	2.2	24.9	31.1	-97.9
200	3.7	-85.3	-9.8	8.9	56.0	9.7
250	-67.7	-65.4	-10.3	78.4	162.4	128.3
300	-73.0	-40.1	-2.9	78.0	269.5	-137.3
400	-78.9	-51.8	29.9	65.6	73.8	-76.9
500	-56.7	-15.3	18.6	44.9	-6.0	-74.9
700	-13.9	11.7	15.1	-3.3	11.1	-22.1
850	-5.4	6.5	11.3	-11.4	8.0	-6.2
925	-13.3	9.3	16.7	-2.1	1.7	-0.8
地面	-4.8	-8.1	0.3	1.4	-0.7	-0.6

4 结语

(1)这次连续性冰雹天气是由500hPa冷性低涡影响产生的,第一场冰雹产生在500hPa低涡中心的西南部,第二场冰雹则是在500hPa低涡横槽转竖过程中产生的;地面上都有冷锋和热低压相配合。

(2)这两次冰雹天气都是产生在湿静力能的高能舌区、700hPa以下大气层结不稳定以及高层冷平流和低层暖平流相配合的区域。

(3)在低层辐合、高层辐散的上升运动

区,对流发展,对流不稳定能量释放,产生冰雹强对流。

参考文献

- 1 吴宝俊. 对流天气分析预报中引入的几个新参数. 航空气象科技, 1988, (2): 8~10.
- 2 斯公望, 楼茂园. 83413富阳县局地大冰雹过程的成因分析. 气象, 1990, 16(6): 39~43.
- 3 杨晓霞等. 一次大暴雨天气过程的能量分析. 气象, 1997, 23(8): 43~45.
- 4 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 1981: 92~94.

The Physical Features of A Continued Hail Shooting Weather Process

Yang Xiaoxia Zhang Aihua He Yekun

(Meteorological Observatory of Shandong Province, Jinan 250031)

Abstract

The weather system, thermal and dynamical features of the continued hail shooting weather process over a large area in Shandong Province on 28-29 April 1997 were analyzed. It is shown that the continued hail shooting process is caused by a cold vortex. The cold front triggered off convective instability energy and a stronger convection produced. Hail shooting located in the area with convective instability, high energy tongue at the middle-low level, warm advection and convergence in low level and cold advection and divergence at the high level, and ascending motion. CAPE and stronger positive vorticity advection affected importantly the hail shooting.

Key Words: continued hail shooting cold vortex thermal condition dynamical feature