文章编号:1006 - 7639(2004) - 01 - 0044 - 05

一次连续性冰雹天气过程的诊断分析

王 璇[1],董安祥[2],沈治广[1]

(1. 甘肃省庆阳市气象局,甘肃 西峰 745000;2. 中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃 兰州 730020)

摘 要:对 2000 年秋季发生在甘肃庆阳的一次连续性冰雹天气过程进行了诊断分析。结果表明:这次冰雹天气过程是由于低层大气能量不断积累、低空切变线触发不稳定能量释放而产生的。冰雹出现在中低层对流不稳定和低层暖平流、高层冷平流以及低层辐合、高层辐散的上升运动区。冰雹落区与高低空温度平流和总温度平流的分布有着较好的对应关系。

关键词:冰雹;天气形势;热力条件;动力条件

中图分类号:P458.1 文献标识码:B

1 天气实况

2000 年 9 月 18 ~ 19 日,甘肃省庆阳市连续两天出现了冰雹天气,其中,18 日午后到夜间,镇原县西部降冰雹;19 日下午到傍晚,华池、合水、正宁 3 个县有 13 个乡镇遭受冰雹袭击,降雹持续时间 39min,受灾总面积 160km^2。降雹分布如图 1 所示。

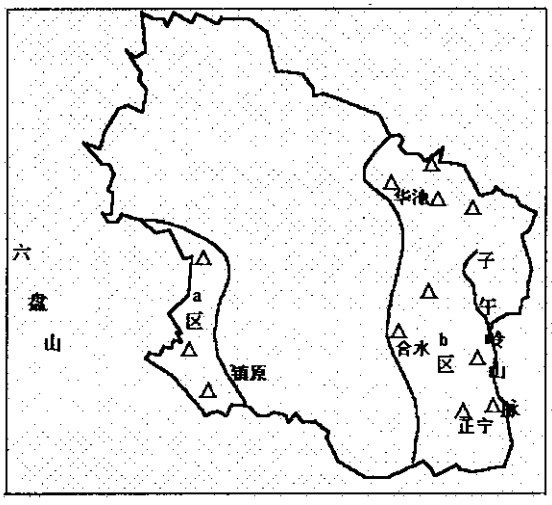

图 1 2000 年 9 月 18 日(a 区)和 19 日(b 区)的冰雹落区分布图

Fig. 1 The distribution of hail area on September 18, (area a) and 19 (area b), 2000

本文对造成冰雹天气的影响系统、热力和动力场特征进行了对比分析,为冰雹短时预报提供参考。

2 影响系统

2000 年 9 月 18 日 08 时 500hPa 图上,欧亚中高纬度为两脊一槽型(图 2a),贝加尔湖槽后有 -28℃的冷温度中心,槽后的冷空气沿巴尔喀什湖脊前的西北气流下滑,在银川、平凉一带形成冷涡,并有 -16℃冷温度中心。850 ~ 700hPa 在 30°N 以北、105°E 附近有东北西南向的切变,850hPa 从河套顶部到蒙古东北部有暖舌。19 日 08 时 500hPa 图上,西太平洋副热带高压西伸北抬,贝加尔湖低槽主力东移南压,在临河、延安、汉中一带形成低槽。700hPa 低空急流区位于郑州、邢台一线(中心最大风速 18m/s),在急流区左侧从包头越过陕晋边界到安康有一低槽。850hPa 贺兰山有 20℃暖温度中心,从内蒙古东北部经贺兰山到河套中部有"人"字型切变(图 2b)。18 ~ 19 日 14 时地面图上河套中部有切变线并有热低压发展。

综合上述,副热带高压西伸北抬、高空东移冷涡、槽后冷平流、700hPa 低空急流及 850hPa 切变线是造成 9 月 18 ~ 19 日连续冰雹天气过程的主要影响系统。

3 诊断分析

利用线性插值法对 9 月 18 日 08 时、20 时和 19 日 08 时的 850 ~ 300hPa 各标准层的高空资料进行

收稿日期:2004 - 02 - 06;改回日期:2004 - 03 - 17

基金项目:本文得到科技部 2002 年社会公益研究项目"西北地区人工防雹消雹技术"的资助

作者简介:王璇(1967—),男,甘肃省庆阳市人,工程师,从事天气预报工作. E - mail:qyqxjwangjin@sohu.com.

客观分析，并插值到 0.5°×0.5°的网格点上，再利用差分方法进行热力和动力参数计算，计算范围为 25～55°N、80～120°E。庆阳市位于纬向格点 22～25、经向格点 54～58 这一矩形区域内。

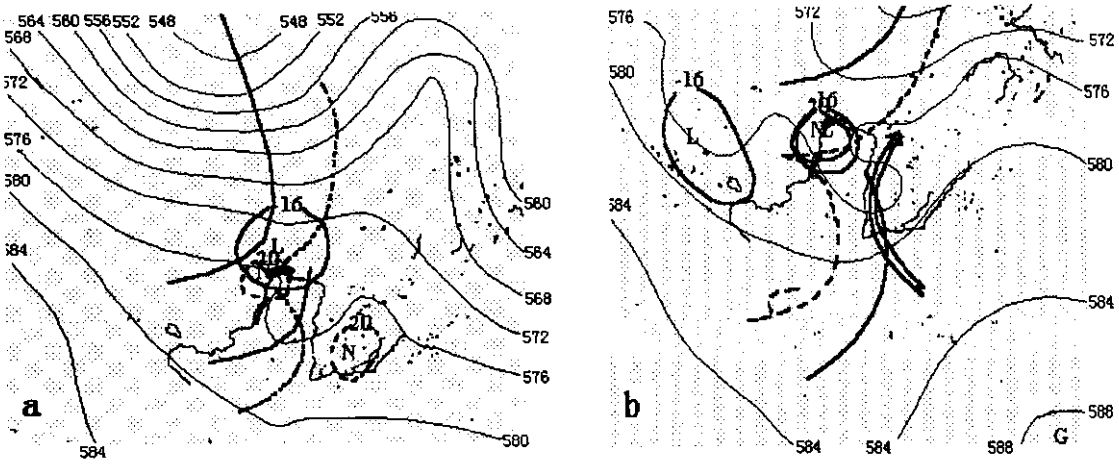

图 2　2000 年 9 月 18 日 08 时(a)和 19 日 08 时(b)500hPa 环流形势、高空冷涡、低槽(实线)、冷中心位置、850hPa 切变线(粗断线)、暖中心位置及 700hPa 低空急流(箭头线)

Fig. 2　500hPa circulation, cold eddy, trough－line(solid) and cold center, 850hPa shear line(crude dash) and warm center, 700hPa low level jet(arrow) at 08:00 on September 18(a) and September 19(b), 2000

3.1　水汽输送特征

分析 18 日 08 时和 19 日 08 时的水汽通量场表明(表 1)：850～300hPa 整层均表现为上干下湿，18 日镇原低层水汽较好；19 日宁县、正宁、华池低层水汽较好。另外，19 日 08 时 700hPa 低空急流区的左侧有一 $>6\times10^{-5}\cdot g\cdot cm^{-1}\cdot hPa^{-1}.s^{-1}$ 的水汽通量大值区(图略)。

分析 18～19 日各层水汽通量散度场发现(图略)，18日300hPa层以下为水汽通量辐合区，300hPa 层以上为水汽通量辐散区。19 日 700hPa 层以下为水汽通量辐合区，700hPa 层以上为水汽通量辐散区。这表明 19 日高空水汽抽吸作用强于 18 日。因此，19 日对流旺盛，降雹区域大，灾情严重。

表 1　2000 年 9 月 18 日 08 时～19 日 08 时庆阳各县(区)水汽通量(单位：$10^{-5}g\cdot cm^{-1}\cdot hPa^{-1}.s^{-1}$)

Tab. 1　The water vapour flux from 08:00 September 18 to 08:00 September 19, 2000 in Qingyang(Unit: $10^{-5}g\cdot cm^{-1}\cdot hPa^{-1}.s^{-1}$)

层次/hPa	环县		镇原		西峰		庆城		华池		合水		宁县		正宁	
	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19
300	0.1	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
400	0.4	0.1	0.8	0.2	0.5	0.2	0.5	0.2	0.4	0.2	0.5	0.2	0.7	0.5	0.7	0.5
500	0.2	0.4	0.7	0.6	0.3	0.9	0.3	1.1	0.2	0.8	0.3	1.1	0.7	1.0	0.6	1.0
700	1.0	1.0	1.7	1.4	1.4	1.7	1.7	2.0	1.8	1.5	1.7	2.0	1.4	2.0	1.4	2.0
850	1.4	0.5	1.5	1.0	0.9	1.4	0.7	1.5	0.7	0.8	0.7	1.5	1.1	2.8	1.0	2.6

3.2　热力条件

3.2.1　静力总温度[1](Tm)分布特征

分析 18 日 08 时、20 时和 19 日 08 时 850～500hPa 各层的湿静力总温度(Tm)，发现随着高度的升高 Tm 逐渐减小，大气层处于不稳定状态。18 日 08 时，在 106°E、34.5°N 有 57℃ 的高能中心，高能区位于银川、六盘山区到合作一带，庆阳处于高能区的边缘。19 日 08 时高能区位于庆阳的东南部，即 107.5°E、34.5°N 附近。

为了表征对流不稳定状况和对流系统内中层下沉干冷空气的强度，引入位势不稳定能量指数[2](I_P)，I_P 表达式为：$I_P = Tm_{850} - Tm_{500}$。18 日 08 时，在蒙古磴口、陕西安康到彬县各有 +4℃ 和 +8℃ 的大值区，环县及镇原西部 $I_P>2$℃ (图 3a)；19 日 08 时，位于陕西安康 I_P 大值区向北扩展，蒙古磴口的大值区南压，使庆阳的 I_P 迅速增大，+4℃ 大值区位于合水到正宁北部(图 3b)，到 19 日 20 时，I_P 大值区位于华池、合水、正宁附近，中心值 >6℃ (图略)，从 18～19 日位势不稳定能量指数 I_P 的变化可以看出，大气处于位势不稳定状态，并经历了一个能量不断积累的变化过程，冰雹天气出现在位势不稳定能量指数 $I_P>2$℃ 的区域内。

3.2.2　气团指数(k)的变化特征

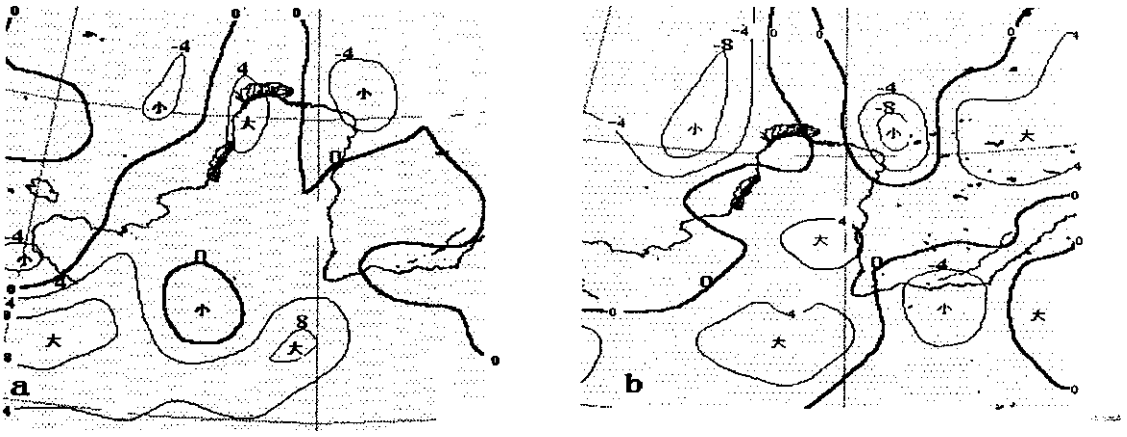

图 3 2000 年 9 月 18 日 08 时(a)和 19 日 08 时(b)位势不稳定能量指数 I_P 分布图

Fig. 3 The distribution of potential instability energy at 08:00 on September 18(a) and 19(b), 2000

气团指数(k)表征中低层大气层结的不稳定状况和低层大气的潮湿程度[2],其公式为:$k=(T_{850}-T_{500})+(T_d)_{850}-(T-T_d)_{700}$,分析庆阳市气团指数变化发现,18 日 08 时,k 指数为 24.6～30.7℃,大值区位于镇原西部,到 19 日 08 时,k 指数为 24.6～29.3℃,大值区位于华池、合水和正宁,但 k 指数较 18 日有所降低,这与 18 日午后的对流天气使部分能量释放有关。19 日 20 时,k 指数大值区仍位于合水、正宁,这说明冰雹发生期间,存在着不稳定能量的补偿,分析各个时次的 k 指数和总温度分布图(图略)得知,在 107°E、34.5°N 处存在 $k>32$℃ 的高能中心,强度逐日增强,高能中心与位势不稳定能量指数(I_P)的强中心相对应,并沿低空急流外围向西北方向扩展。逐步分析认为:由于高能中心位于低空急流右侧下沉气流区,能量只能在低层流场的作用下以平流的方式向其偏北方向输送,为连续性冰雹天气的产生不断进行能量补偿。

3.2.3 假相当位温(θ_{se})场分布特征

分析 18～19 日 08 时 850～500hPa 假相当位温(θ_{se})场发现(图略),θ_{se}大值中心同总温度高能区对应,庆阳市位于等 θ_{se}高能密集区的外围,并随着高度的升高 θ_{se}逐渐减小。

引入对流性不稳定指数[3] I_C,$I_C=(\theta_{se})_{850}-(\theta_{se})_{500}$。从 I_C 分布图(图略)上可以看出,I_C 的大值区同 I_P 的大值区相对应,大气处于对流不稳定状态。初步分析认为:一是降雹区 500hPa 有明显的冷平流,低层为暖平流,存在着上干冷下暖湿的层结结构;二是 14～17 日持续高温高湿天气,下垫面对低层空气加热作用明显,加之子午岭山脉的涡旋效应,十分有利于不稳定能量的产生和积累。

3.2.4 温度平流和总温度平流分布特征

温度平流不仅可以造成大气层结不稳定,而且可以促使垂直运动产生,它在强对流天气中起着重要作用[4]。分析 850～300hPa 温度平流和总温度平流场(图略)发现,在高空冷平流和低层暖平流、高空总温度平流负值区和低空总温度平流正值区相叠置的区域与冰雹落区有较好的对应关系。

分析温度平流场发现,18 日 08 时,850hPa 以下为暖平流,500～300hPa 为冷平流区,强度随高度的升高而逐渐增强,到 300hPa 已为大片的冷平流区,强中心位于镇原县的西部,中心最大值为 -10.2×10^{-5}℃·s^{-1},18 日午后到傍晚,镇原西部部分乡镇遭受冰雹袭击。19 日 08 时 850hPa 镇原西南部已转为弱冷平流区,而庆阳市的中、东部为暖平流区,华池西北部有 4×10^{-5}℃·s^{-1}的暖平流中心;700～500hPa 为冷平流区,冷平流强中心位于华池及其北部,尤以 500hPa 冷平流最强,为 -10.7×10^{-5}℃·s^{-1}。19 日午后到傍晚,华池、合水、正宁出现了强雷阵雨、冰雹天气,灾情严重。

分析庆阳总温度平流发现,18 日 08 时 850～700hPa 庆阳为正平流区,强正值区位于镇原县,其值为 3.7×10^{-5}℃·s^{-1},500～300hPa 为负平流区,强中心亦出现在镇原上空,其值为 -8.7×10^{-5}℃·s^{-1}。19 日 08 时,850hPa 庆阳的东部为正平流区、西部为负平流区,700～500hPa 是较强的负平流区,极值区位于 500hPa,冰雹出现在低层正平流区和高层负平流大值区相叠置的区域内。

3.3 动力条件分析

3.3.1 散度场分布特征

图 4、图 5 分别给出了 9 月 18 日 08 时和 19 日 08 时沿降雹区(100.1°E、37.9°N,110.1°E、34.3°N 和 105.9°E、40.0°N,108.9°E、34.2°N)西北东南向散度剖面图。不难看出 9 月 18 日 08 时,庆阳上空

(x 轴上的长线分别代表庆阳的左右边界在剖线上的投影)400hPa 层以下为强的辐合区，辐合中心位于六盘山上空的 500hPa，强度达 $-28.4\times10^{-5}s^{-1}$；

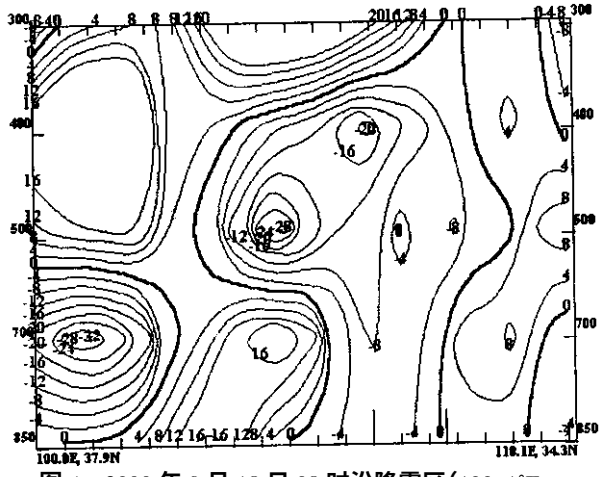

图 4　2000 年 9 月 18 日 08 时沿降雹区(100.1°E、37.9°N 到 110.1°E、34.3°N)西北东南向散度剖面图(横坐标长实线为庆阳市左右边界)

Fig. 4　The northwest－southeast orientational cross－sectio of divergence along the hail area(100.1°E、37.9°N to 110.1°E、34.3°N) at 08 00 on September 18, 2000 (The long－line at horozonal axis denoted the location of Qingyang)

气增强，产生冰雹。

9 月 19 日 08 时，700hPa 以下为辐合区，辐合中心位于 850hPa，强度达 $-17.3\times10^{-5}s^{-1}$；700～400hPa 层为辐散区，辐散中心位于 500hPa，强度达 $40.4\times10^{-5}s^{-1}$。由于高层辐散大于低层辐合，抽吸效应明显，冰雹出现在散度垂直梯度最大的地方。

3.3.2　垂直速度场分布特征和低空急流的作用

分析 18～19 日 08 时垂直速度场发现，18 日在 106°E 以东、35°N 以北 400hPa 层以下为气流上升区，强中心位于 500hPa，华池及其北部为强中心大值区，其值为 $-38.0\times10^{-5}hPa\cdot s^{-1}$，400hPa 层以上为气流下沉区，这种强烈的垂直交换与动量下传，使 700hPa 槽前有正涡度平流，产生了低空急流，从实测风和地转风随时间变化曲线看(图略)，19 日由于低空急流的发展，实测风明显大于地转风，使 500hPa 位于急流左前方的冷涡增强并不断向西旋转，到达子午岭山脉，由于地形的抬升作用，上升运动加强。

19 日低空急流的主要作用是造成很强的暖湿气流，加强了层结的不稳定度和低层的扰动，有利于触发不稳定能量的释放[5]，产生强对流性天气。

3.3.3　涡度平流特征

400hPa 层以上为辐散区，虽然高空辐散小于低空辐合，但由于六盘山主体的抬升作用，使气流过山后，在其下游(镇原西部)上空出现上升运动，对流性天

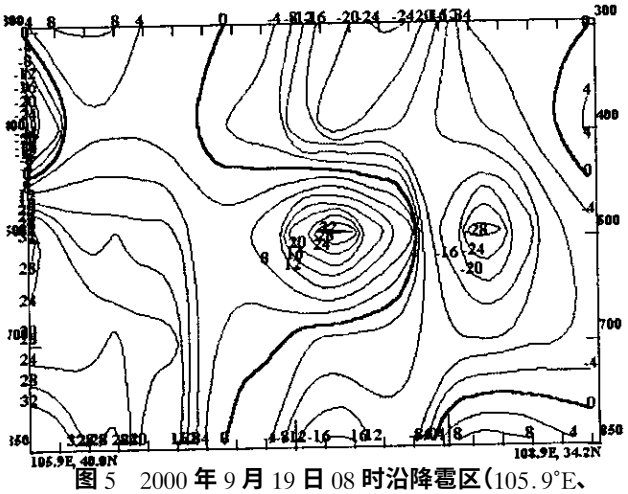

图 5　2000 年 9 月 19 日 08 时沿降雹区(105.9°E、40.0°N、到 108.9°E、34.2°N)西北东南向散度剖面图(横坐标长实线为庆阳市左右边界)

Fig. 5　The northwest－southeast orientational cross－sectio of divergence along the hail area(100.1°E、37.9°N to 110.1°E、34.3°N) at 08 00 on September 19, 2000 (The long－line at horozonal axis denoted the location of Qingyang)

高空正涡度平流是促使地面低压发展的动力因子。强雷暴天气往往是由地面中低压发展以及高层辐散加强所引起的。在 500hPa 槽前有正涡度平流，低层有暖舌，地面为高温区，如果高空还有加强的辐散场，则垂直上升运动便会加强[6]。分析涡度平流可知，18～19 日 08 时，500hPa 以上均为正涡度平流区，正涡度平流中心分别 400hPa 和 300hPa。高层正涡度平流诱发高层辐散，抽吸作用使低层辐合产生上升运动，形成强对流。

4　结　语

4.1　这次连续性冰雹天气是由副热带高压西伸北抬、高空冷涡、低空和地面切变线的共同作用下产生的。低空急流造成很强的暖湿气流，加强了层结的不稳定度和低层的扰动，触发了不稳定能量的释放。

4.2　这次连续性冰雹天气产生在静力总温度高能区、大气层结呈现出不稳定状态。位势不稳定能量指数(I_P)、气团指数(k)和对流不稳定指数(I_C)对大气层结的稳定度具有较好的预报能力。冰雹出现在 $I_C>2$ 以及高层冷平流和低层暖平流相叠加的区域内。

4.3　高空总温度平流负大值区和低层总温度平流

正大值区相重叠的区域往往是冰雹多发区。

4.4 在低层辐合、高层辐散的上升运动区，对流发展，不稳定能量释放，产生冰雹。

4.5 地形和局地热力抬升作用，可以触发不稳定能量释放，发展对流天气。

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[J]. 航空气象科技，1988，(2)：8－10.

[2] 中国气象局人工影响天气办公室，中国气象局科技教育司编印. 人工防雹指导手册[M]. 北京：气象气象出版社，1994. 49－51.

[3] 董晓敏，田盛培. 天气诊断分析方法简介[M]. 北京：气象出版社，1986. 15－16.

[4] 杨晓霞，张爱华，贺业坤. 连续冰雹天气的物理量场特征分析[J]. 气象，2000，26(4)：50－54.

[5] 朱乾根，林锦瑞，寿绍文，等. 天气学原理和方法[M]. 北京：气象出版社，1992. 610－611.

[6] 朱乾根，林锦瑞，寿绍文，等. 天气学原理和方法[M]. 北京：气象出版社，1992. 608－609.

The Diagnostic Analysis of a Continuous Hail Process

WANG Jin[1]，DONG An－xiang[2]，SHEN Zhi－guang[1]

(1. Qingyang Meteorological Bureau，Gansu Xifeng 745000，China；2. Institute of Arid Meteorology，CMA，Lanzhou 730020，China)

Abstract：In this paper，a continuous hail process，which occurred at Qingyang in Gansu province in fall in 2000，was diagnosed. The results showed that the process was happened by the reasons of atmosphere energy accumulating continuously and unstable energy releasing touched off by shear line in lower level. Hail occurred in the ascending motion area which had convective instability at middle－lower level，warm advection at lower level，cold advection at higher level，convergence at lower level and divergence at higher level. The hail area was correlated well to the distribution of temperature advection.

Key words：hail；influencing system；thermal condition；dynamic condition