

2005年北京城区两次强冰雹天气的对比分析

王 华 孙继松 李 津

(北京市气象台, 100089)

提 要: 冰雹等强对流天气是北京夏季预报和服务的重点, 针对2005年发生在北京城区的两次强冰雹天气, 利用常规探测和自动站、雷达、风廓线等资料进行天气动力学和中尺度对比分析, 结果表明: 这两次冰雹天气在环流形势、局地气象条件和中尺度系统等方面有明显差异, 5月31日的高低空急流配置、能量和风的垂直切变等更有利于强雹暴的发生; 超级单体回波是5月31日北京城区降雹的直接影响系统, 6月7日为典型的飑线天气过程, 两次过程中雹云的发展演变、冰雹的落区与地面中尺度系统都有较好的对应; 造成5月31日城区降雹的对流系统为中- γ 尺度, 6月7日为中- β 尺度, 因此5月31日冰雹天气的预警难度较大, 今后需充分应用高时空分辨率的探测资料做好此类突发性天气的监测和临近预报。

关键词: 冰雹 急流 中尺度 辐合 切变 飑线

A Comparative Analysis on Two Severe Hail Events in Beijing Urban District in 2005

Wang Hua Sun Jisong Li Jin

(Beijing Meteorological Observatory, 100089)

Abstract: It is crucial to well forecast severe convective weather like hail and provide better service during summer in Beijing. Synoptic dynamics and mesoscale characteristics of two severe hailstorms are analyzed by using conventional observation and the data from automatic weather stations, Doppler radar and wind profiler, etc. Comparisons show that they differ greatly from each other on the circulation pattern, local weather condition and mesoscale system. The coupled upper and lower jet flows, energy condition and the vertical wind shear, conduced more to the occurrence of the May-31 hail event. It was under the direct influence of supercell structure. In contrast, the June-7 hail event developed from a typical squall-line. Evolvment of the two

资助项目:北京市科技计划项目“奥运会气象保障科学技术试验与研究”、中国气象局项目(CMATG2005Y03)、北京市优秀人才培养资助项目(2005ID0200802)和北京市气象局自建项目共同资助

收稿日期:2006年9月11日; 修定稿日期:2006年12月29日

hailstorms and areas of hail fall have good relations with their mesoscale systems. For the May-31 hail, the influencing system is on meso- γ -scale, while it is on meso- β -scale for the June-7 hail on. Warning and forecasting of the former hail event is relatively more difficult. To well monitor and nowcast these sudden events, full use of the high spatial and time resolution detection data is needed in future.

Key Words: hail jet flow mesoscale convergence wind shear squall-line

引 言

雹暴是北京地区夏季主要的灾害性天气之一,由于其具有破坏力大、局地性强的特点,给工农业生产、国防建设及人民生命财产带来严重危害。早在 1970 年代,雷雨顺等^[1]就对华北地区的冰雹天气进行了系统深入的研究。近年来,王笑芳、矫梅燕等^[2-4]开展了北京地区强对流天气的研究;孙继松等^[5]研究了地形热力和动力作用对冰雹等强对流天气的影响;杨晓霞等^[6]分析了华北南部冰雹天气的产生机制。上述研究成果对我们认识北京地区冰雹灾害的形成机理、寻找预报着眼点提供了较好的天气动力学基础。

但是类似冰雹事件的中小尺度灾害性天气仍是当前预报技术的难点。2005 年 5 月 31 日午后北京遭冰雹袭击,造成近 9 万人口受灾,直接经济损失 4000 余万元,14—15 时(北京时间,下同)罕见的冰雹突袭城区,受灾最为严重。时隔一周的 6 月 7 日,冰雹再度袭击北京北部和部分城区。据历史资料统计,北京的冰雹经常出现于山区,而这两次冰雹连续出现在城区,历史上十分少见,因此加强对这两次天气的分析研究工作非常必要。本文利用常规观测、雷达、风廓线和自动站等资料,对造成这两次北京城区降雹的环境场条件和中尺度过程进行对比分析,揭示引发

冰雹天气的成因,为今后中小尺度灾害性天气的预报提供参考。

1 两次冰雹天气过程的主要特点

2005 年 5 月 31 日 13—20 时北京境内多次遭冰雹袭击,共有 10 个观测站点出现冰雹,个别伴有短时雷暴大风。其中 14—15 时冰雹自西向东横扫北京城区,南郊观象台最大雹块直径达 50mm,冰雹的最大平均重量为 37g,为历史罕见^①。一周后,6 月 7 日下午从北京的北部地区开始出现冰雹和雷暴大风天气,19—20 时西部城区出现冰雹,石景山雹块直径最大为 12mm,市区观测到雹的天气现象。对比发现这两次过程都在城区内降雹,具有突发性强的特点,但是 5 月 31 日的冰雹天气比 6 月 7 日的强度大、范围广。

2 大尺度环流形势特征

2.1 天气形势简析

这两次冰雹天气过程都是在欧亚范围环流经向度比较大,有高空冷涡配合的环流背景下产生的,但是冷涡的位置、主要影响系统以及地面形势有明显不同(图略)。5 月 31 日高空图上蒙古国东部为深厚的冷涡系统,北京处于该低涡南部的槽区内,对应地面图上有冷锋东移影响北京地区。6 月 7 日的高空低涡位置与 5 月 31 日相比明显偏北,

^① 这是气象站观测到的记录,据灾情报告中有更大者。

500hPa上低涡中心位于贝加尔湖北部,40°N沿低涡底部的偏西气流有低槽东移,主要的影响系统是850hPa位于内蒙古东部至河北的切变线,切变线南侧从北京到东北为一支偏南低空急流,地面图上北京处于低压前部的弱气压场中,但过程中有切变线系统移过北京。

2.2 急流在雹暴过程中的作用

Polston^[7]的分析表明,降雹一般发生在低空急流前部与高空急流垂直投影相交的区域。分析发现,降雹日08时北京上游都有中低空(500~850hPa)急流,南侧有高空(200hPa)急流,但是急流的空间配置不同。5月31日北京处于500hPa急流中心的前方,高空副热带急流出口区的左侧,正好位于两支急流轴垂直投影的相交点附近(图1a)。

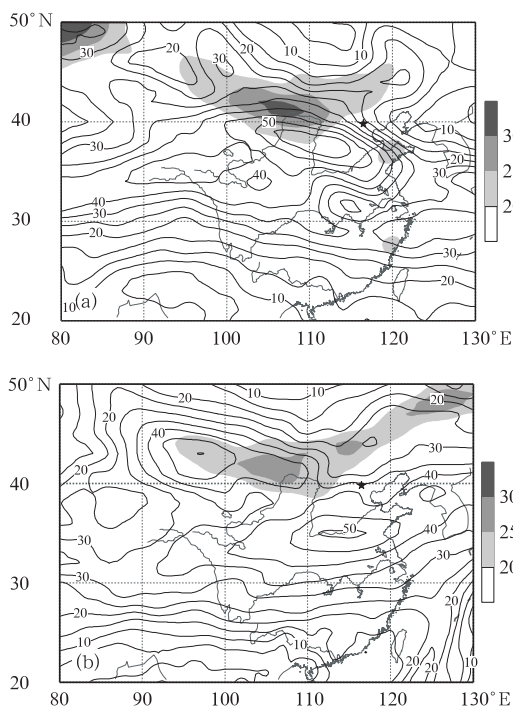


图1 2005年5月31日08时(a)和6月7日08时(b)急流分布图

等值线为200hPa全风速场,阴影部分为500hPa全风速 $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 区域

这种配置使北京高空形成强烈的水平辐散和对流层中层的正涡度平流输送,造成明显的上升运动,同时造成对流层中下层的温度差动平流(中层冷平流、低层暖平流),加强层结不稳定,从而具备形成雹暴的动力和热力条件。相对而言,6月7日500hPa急流轴位置略偏北,副热带急流轴偏南,北京位于这两支急流投影相交区的西北侧(图1b),对流层中层的冷平流和正涡度平流明显比5月31日弱,因此高低空的动力配置对冰雹的产生不及5月31日有利。

3 局地气象条件对比分析

3.1 对流有效位能(CAPE)和对流抑制能量(CIN)

大气对流是对流有效位能(CAPE)向对流运动动能的转换,对流抑制能量(CIN)的强弱反映了对流层低层的气块参与对流的难

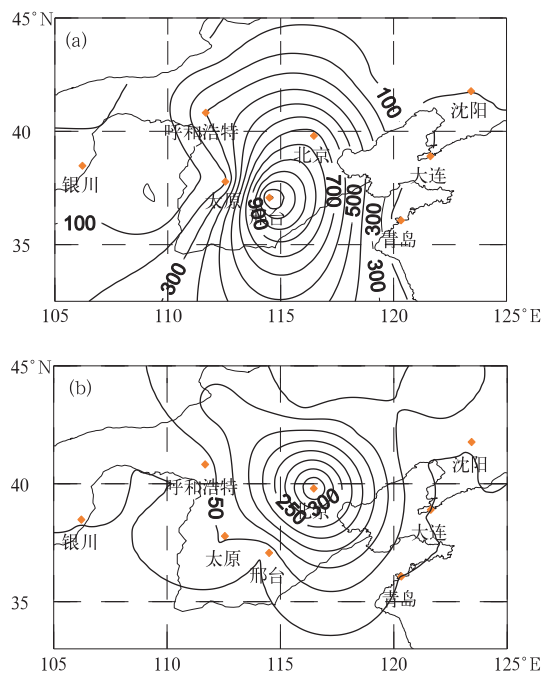


图2 2005年5月31日08时(a)和6月7日08时(b)CAPE分布(单位: $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)

易程度,这两个参量在近年的强对流天气预报中得到广泛的应用^[8-9]。运用强对流参数分析系统计算发现,降雹日08时北京均处于CAPE(图2)和CIN(图略)的高值区内,由于近地面层都存在逆温,有利于不稳定能量积聚,但是5月31日CAPE值达 $746.66 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著高于6月7日08时的 $468.82 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,说明5月31日的能量条件更有利于强回波的产生,因此降雹强度较大。

3.2 风的垂直切变

很多文献指出,在给定的大气热力条件下,环境风场的垂直切变特征对雷暴发生发展有重要的影响。从图3看出,两个冰雹日08时北京都存在环境风的垂直切变,但是垂直切变的强度不同。通气管指数 $I_{\text{通}} = (v_{300} - v_{850})^2 + (u_{300} - u_{850})^2$ 可以反映垂直风切变的强度^[10]。

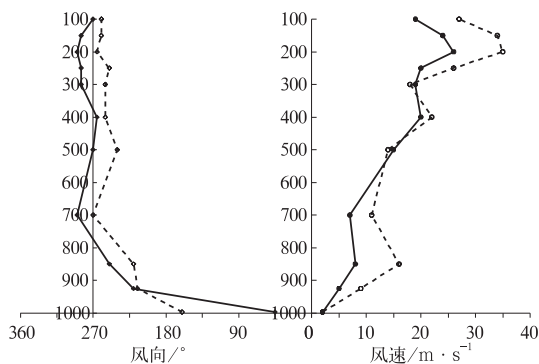


图3 北京测站2005年5月31日(实线)、6月7日(虚线)08时风的垂直分布

计算北京5月31日08时的通气管指数为 $175.8 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$,6月7日为 $108.3 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$,可见5月31日的垂直切变较强,尤其是低层700hPa以下风向随高度顺转显著,对流层中层(700~400hPa)风向逆转,风速随高度明显增大,说明低层有利于辐合上升运动,中层有较强的冷平流侵入,有利于促进中尺度天气系统的发展。而6月7日对流层中下层风的垂

直切变相对较弱,特别是中层的冷空气势力不强,因此降雹的强度不如5月31日。

3.3 0℃层和-20℃层高度

0℃层和-20℃层分别是云中冷暖云分界线高度和大水滴的自然冰化区下界,是表示雹云特征的重要参数。据统计,北京降雹日08时的0℃层高度一般在3300~4400gpm,-20℃层高度在6300~7600gpm。5月31日08时北京的0℃层和-20℃层高度分别为3583、6500gpm,6月7日08时分别为3685、6800gpm,都是适宜于雹云发生发展的高度。但是5月31日的0℃层高度距离地面较近,雹块的融化过程较短,降大雹块的可能性较大。

4 中尺度系统及其发展演变特征

4.1 雷达回波演变特征

根据北京气象局车道沟的多普勒雷达6分钟一次、扫描半径150km的回波图像分析发现:

(1) 5月31日造成城区冰雹的回波于12时在北京西部山区局地生成,生成后发展迅速。12:10该回波位于门头沟中部,水平尺度10km左右,强度50dBz。到13:01移至雷达测站正西约20km处开始发展增强后强度达到55dBz,直到13:51回波少动,造成门头沟测站出现冰雹。13:57该回波沿北京市区中轴线东移,到14:08回波强度为50dBz,移速为 $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。14:19回波到达市中心再次加强,范围扩大,14:31强度达到60dBz,回波顶高达到14km,14:42回波出现“V”形槽口,14:53达到最强,成为超级单体回波,水平尺度约30km。15时后回波向东偏南方向移动,16:23经通县移出北京。径向风场显示(图略)该回波14:02有弱的风向辐合,14:36辐合加强,14:53在南郊观象台附近形

成一个中气旋,14:59 最为明显。对应观象台于 14:54—14:59 降雹,雹块最大直径达 50mm。图 4 给出了 5 月 31 日 12 时至 16 时降雹回波演变示意图。

(2) 6 月 7 日的回波由河北北部以西北路径移入影响北京,为典型的飑线天气过程。该回波 16 时移入北京,首先影响北京北部,强度 50dBz。18:33 东南移至延庆昌平一带,表现为长约 300km,宽约 100km 的带状回波(图 5a),强度 55dBz,在回波带的西南端不断有新生回波,呈现出飑线回波特征,对应速度图上(图略)有冷空气插下,与回波前部的暖空气交汇,形成 2 个中气旋。19—20 时该回波带从西北向东南移至城区,19:30 强回波中心正位于西部城区上空(图 5b),强度 55dBz,回波顶高 12km 以上,速度图上对应中有中气旋和大风区,具有典型的冰雹云特征,

导致 19:30—19:37 城西的石景山、海淀、丰台等地出现冰雹和雷暴大风天气。

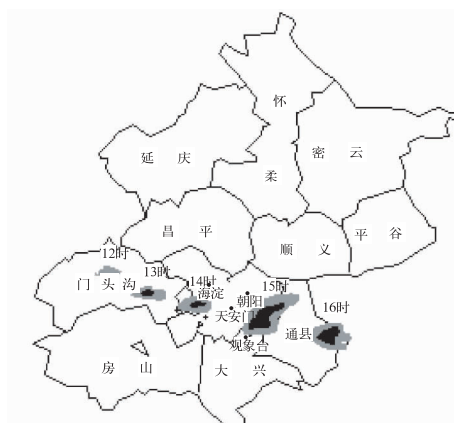


图 4 2005 年 5 月 31 日 12—16 时回波演变示意图

浅色区域为 30dBz,深色为 50dBz,
天安门所在区域为城区,下图同

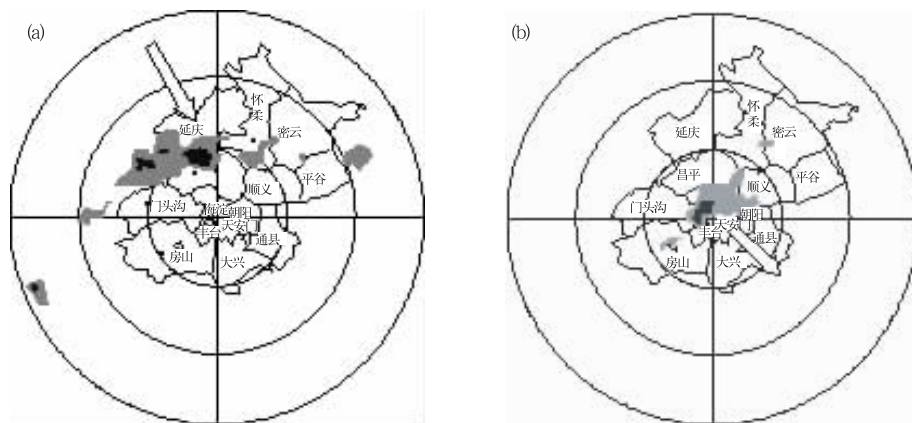


图 5 2005 年 6 月 7 日 18 时 33 分(a)和 6 月 7 日 19 时 30 分(b)回波强度示意图

4.2 垂直风廓线演变特征

从北京南郊观象台风廓线资料的演变可以看出,两次冰雹天气前后环境风场的时空变化特征明显不同。6 月 7 日降雹前北京 3000m 到地面一直维持西南风,存在低空和超低空急流,19 时在 2300~3500m、1000~1800m 出现明显的风向切变,19 时以后低空切变线逐渐向下传播(图 6),到达地面约经

历了 1 小时,20 时以后 500m 以下转为偏北风,但是 500~3000m 转回西南风(图略),因此可以推断这次冰雹过程是在低空切变线系统的影响下产生的。

分析 5 月 31 日的风廓线资料(图 6)发现,强对流天气发生前 1000m 以下为东南风,以上为偏南风,但是 13 时开始北京上空 3000m 附近经过一次明显的波动(13 时到 15 时 30 分),表明对流层中层有冷空气侵入。中

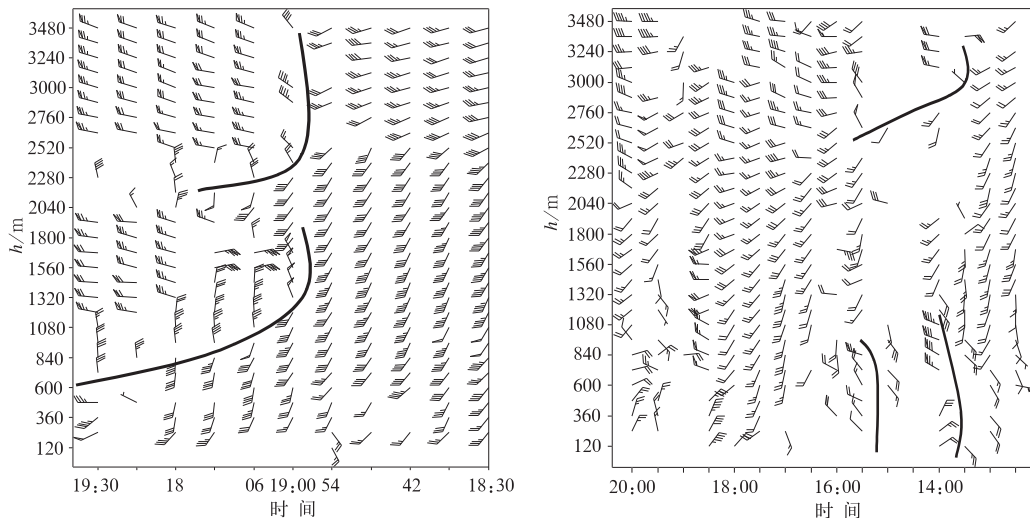


图 6 2005 年 6 月 7 日(a)和 5 月 31 日(b)北京观象台风廓线

层的干冷空气与低层暖湿空气所形成的温度差动平流加剧了环境场的位势不稳定,触发了不稳定能量的释放,促使强对流云发展,回波增强,从而也促进了水汽凝结和雹块的形成。同时观象台的边界层风向在此期间也出现了多次转变,而 1000~2000m 高度基本维持偏南风,表明这次冰雹天气还可能与边界层过程有关。

4.3 地面要素的中尺度特征

利用北京自动站网每小时的加密资料,通过计算空间距平和客观插值的方法对地面温压湿风等气象要素进行中尺度分析,结合单站要素变化,揭示两次冰雹天气的中尺度扰动过程。

4.3.1 5 月 31 日

5 月 31 日北京城区发生冰雹天气前后地面一直处于大范围的偏南气流中,但是受下垫面的影响,风场中出现了中小尺度的扰动。由于边界层的东南风在西部山区迎风坡的强迫抬升作用和山区的热力效应,中午 12 时在西部山区有对流云生成。13 时除了西部山区的气流辐合,在城区内东西向中轴线

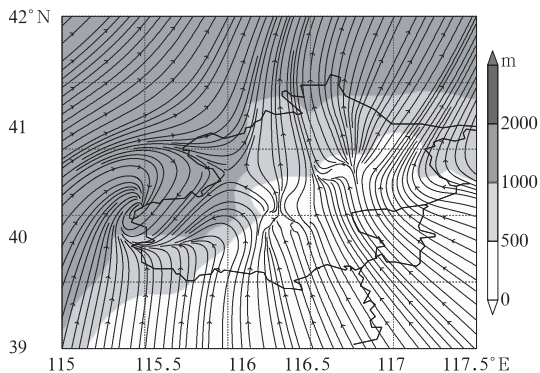


图 7 2005 年 5 月 31 日 13 时北京地区地面流场
(注:流线分析应在同一水平面上进行,故叠加阴影区为地形高度以供参考,下图同)

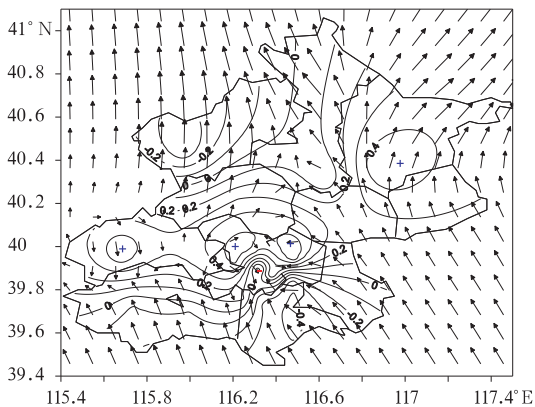


图 8 2005 年 5 月 31 日 14 时北京地区地面气压距平、风场

附近也出现弱的气流辐合(图7),同时两侧温压梯度加大(图略)。到14时(图8)城区内气压北高南低,石景山和朝阳附近各有一高压中心,低压中心位于天安门附近,对应风场中城区中轴线处于西北风、东北风和偏南风的气流辐合处,其南北两侧温差达 5°C 。西部山区移出的对流回波在中轴线上辐合系统的组织下沿中轴线东移,到达城区气流辐合中心时回波进一步发展加强,使南郊观象台出现较大雹块。

4.3.2 6月7日

6月7日16时之前北京地面为偏南气流,16时开始西北方向有回波移入北部山区,17时地面流场从河北西北部到北京北部有一东北风和偏南风的中尺度辐合线,长约200km,辐合中心位于河北山区(图9)。此后辐合线向东南移动,对应雷达回波南压并有所加强,在北京北部形成长约300km、宽约100km的飚线回波带(图5a),首先造成北部地区的强对流天气。到19时飚线呈东北—西南向,移至昌平与城区交界处(图10),气象要素梯度显著,城区处于高温低压低湿中心,与北部温差达 15°C ,气压差5hPa。风场上飚线后部的偏北风明显加大,西部城区处于偏南与偏北气流的辐合中心,因此对流活动剧烈,出现了冰雹和雷暴大风天气。

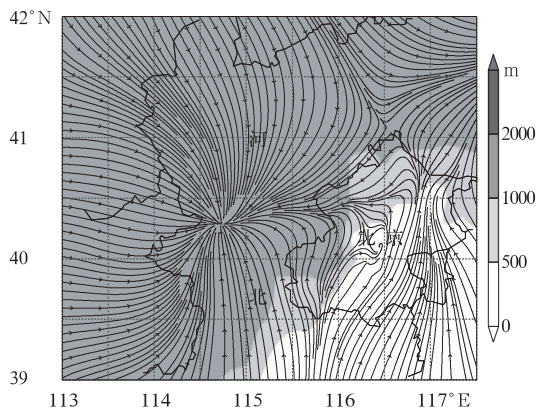


图9 2005年6月7日17时华北区域地面流场

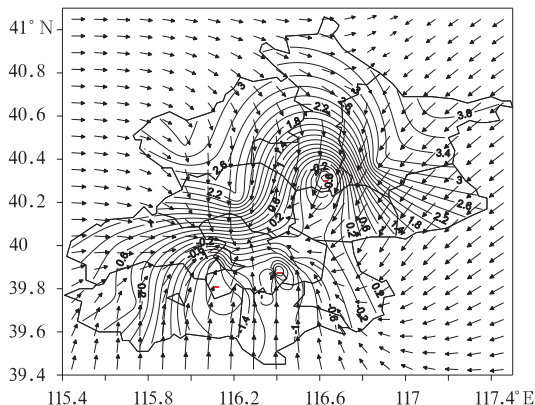


图10 2005年6月7日19时北京地区地面
气压距平场、风场

随着飚线的南移,城区自西北向东南出现风向突变、风力突增的飚线天气。

4.4 中尺度系统的对比分析

通过上述分析可以看出,5月31日的雹云由局地生成,在城区增强后水平尺度有30km左右,6月7日的飚线长约300km;5月31日地面中尺度系统位于城区中轴线附近,长约几十公里,而6月7日的辐合系统长度有200km左右,影响到整个北京;6月7日飚线附近的气象要素梯度比5月31日大得多,系统过境后气压涌升,气温骤降,风向突变,而5月31日城区冰雹前后气压(14—15时)变化不大,之后继续下降,气温明显下降但很快回升(图略)。从雷达回波、地面中尺度系统及要素变化综合分析表明:造成城区这两次冰雹天气的对流系统尺度不同,5月31日的尺度相对较小为中- γ 尺度,6月7日则为典型的中- β 尺度。

5 小结与讨论

(1) 两次冰雹天气都是在高空冷涡环流背景下产生的,北京都具备雹暴发生发展的局地气象条件,但是5月31日冷涡的位置、

高低空急流的配置、能量、风的垂直切变和 0°C 层高度等环境场条件更有利于强雹暴和大雹块的形成。

(2) 5 月 31 日的雹云是由于山区的动力和热力作用从北京西部山区局地生成,在对流层中层冷空气的触发下得到发展,在城市边界层辐合线系统的组织下进一步增强,以超级单体形式影响城区;6 月 7 日的雹云则是在低空切变线系统的影响下由河北北部以常见的西北路径移入北京,雷达图上表现为自西北向东南移动的带状回波,为典型的飏线天气过程。

(3) 两次过程中雹云的演变、冰雹的落区与地面中尺度系统都有较好的对应,因此以自动站加密观测为基础的地面中尺度分析在强对流天气的短时临近预警中具有一定的指示意义。

(4) 造成北京城区这两次冰雹天气的对流系统尺度明显不同,5 月 31 日的尺度较小,属于中- γ 尺度,6 月 7 日则为典型的中- β 尺度。

以上分析可以看出,6 月 7 日雹云的影响路径和中尺度系统都比较典型,北京市气象台利用雷达探测对这次冰雹天气提前 2 小时发布了预警信号,服务效果较好。但是 5 月 31 日的雹云生成源地比较少见,生成后尺度小发展快,未预报出,说明这类由局地引发的强对流天气预报存在很大困难,必须充分

利用雷达、自动站、风廓线以及闪电定位等高时空分辨率的探测资料,进行实时监测和跟踪,做好临近预报,为防灾减灾提供准确优质的服务。

致谢: 本文得到吴宝俊老师的精心指导,在此深表谢意!

参考文献

- [1] 雷雨顺,吴宝俊,吴正华. 冰雹概论[M]. 北京:科学出版社,1978:56-110.
- [2] 王笑芳,丁一汇. 北京地区强对流天气短时预报方法的研究[J]. 大气科学,1994,18(2):173-183.
- [3] 矫梅燕,毕宝贵. 夏季北京地区强地形雨中尺度结构分析[J]. 气象,2005,31(6):9-14.
- [4] 郭金兰,刘凤辉,杜辉,等. 一次地形作用产生的强降雨过程分析[J]. 气象,2004,30(7):12-17.
- [5] 孙继松,石增云,王令. 地形对夏季冰雹事件时空分布的影响研究[J]. 气候与环境研究,2006,11(1):39-46.
- [6] 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.
- [7] Polston K. L. . Synoptic patterns and environmental conditions associated with very large hail events[C]. Preprints, 18 th conf. On Severe Local Storms, 1996:349-356.
- [8] 李耀东. 埃玛图微机制作及对流有效位能的计算[J]. 气象,1998,24(5):24-28.
- [9] 赵秀英,彭治班,吴宝俊,等. 下沉对流有效位能[J]. 气象,2000,26(6):1,66.
- [10] 刘健文,郭虎,李耀东,等. 天气分析预报物理量计算基础[M]. 北京:气象出版社,2005:117-119.