

2008年7月4日北京一次大暴雨过程的 强对流分析

雷 蕾

(北京市气象台, 100089)

提 要: 利用 FY-2C 卫星 TBB 逐小时资料、北京南郊观象台 SA 雷达资料、BJ-ANC 系统的雷达强度立体拼图以及反演的 VDRAS 风场资料详细分析了 2008 年 7 月 4 日北京一次暴雨过程的强对流结构特征。结果表明: 边界层内西南风和东南风的辐合以及偏东风的加强促使此次对流的产生和发展; 3 个 MCS 的两次结合是对流系统显著增强的重要原因; 当对流系统东移后, 北京的特殊地形对气流的阻挡和抬升作用使对流系统在山前迅速发展增强为 MCC, 而对流系统的结合以及山前 MCC 的形成造成了本市两次小时雨强峰值达 70mm 以上的暴雨天气过程。

关键词: 暴雨 强对流 云顶亮温 回波强度 结构特征

引 言

夏季受西来高空槽以及副热带高压外围西南暖湿气流影响, 北京极易出现强对流天气而导致短时强降水的发生, 这种强对流天气时间短、但往往造成冰雹、泥石流、滑坡等比较大的灾害, 因此对于强天气的监测和预报成为眼前的重要问题。经验表明, 北京的雨季一般都出现在 7 月下旬到 8 月上旬^[1], 但是 2008 年北京的雨季却有所提前, 6 月份到 7 月上旬就表现出比常年偏多的降水, 并且多数是由午后对流发展造成的雷阵雨天气。此外, 北京地区强对流天气的发生受地形因素影响很大, 降水多出现在山前“热岛效应”显著的城区及其近平原地区^[2-3]。

为了做好奥运气象预报及气象服务保障工作, 北京市气象局组建了先进的中尺度探测网, 研发了精细化的短时临近预报、预警系

统, 这些在前期奥运演练以及 8—9 月奥运实战时期及时监视、预报强对流天气的发生、发展都起到了至关重要的作用。由于强对流系统的时空及其尺度变化的不确定性, 卫星和雷达等遥感手段便成为有效的探测手段, 卫星的高分辨率产品对对流云团的分析是暴雨分析中不可缺少的^[4-8]; 而为提高局地强对流天气的短时和临近预报能力, 国际上很早就利用天气雷达来探测和分析强天气的结构和演变特征^[9], 我国从 1990 年代末起布设新一代多普勒天气雷达网^[10], 新一代天气雷达因此也成为监测、分析强天气结构演变特征的最有效探测工具^[11-15]。本文就是利用高分辨率的遥感资料(包括 FY-2C 卫星的 TBB 资料、BJ-ANC 系统的雷达强度立体拼图资料(以及 VDRAS 反演风场资料)对 2008 年 7 月 4 日奥运前期北京的这次大暴雨过程的强对流形成及发展中的结构进行了细致的分析。

1 天气情况及灾情介绍

2008年7月4日傍晚到夜间北京市出现了大雨,部分地区出现暴雨。7月4日20时(北京时,下同)发布了暴雨黄色预警信号。截止到5日08时,城区平均降雨量为43mm,全市平均降雨量为34mm。暴雨区主要在中南部-城区-东北部一带。最大降雨出现在顺义的南法信,为138.7mm。

7月4日21时,首都机场东北方向出现大到暴雨,到21时30分,降雨量达到123mm,超过了首都机场的警戒线。机场80%的航班延误,部分航班取消。截至4日22时,北京首都国际机场东北方向降雨量达到130mm左右,首都机场航班延误已达95%。从机场高速到达机场的道路严重积水,道路拥堵。另外,崇文门大街雨水倒灌导致地铁5号线14站停运3小时。

2 天气背景形势

7月4日08时,500hPa中高纬贝加尔湖南部为明显的低压槽控制,北京市基本在弱脊的控制下但即将转入脊后的西南气流中。主槽前部在陕西与甘肃的交界地带还有一个清楚的小槽,未来这两个槽合并加强并且逐渐东移影响本市。700hPa和850hPa相对应,也是受槽的影响,并且从风场上看有明显的气旋式环流结构。从地面看,在7月4日08时北京已经处于辐合区的控制中。并且由于位置比较靠辐合区的底部,风场上看为比较明显的偏东风,空气湿度比较大,平原地区出现了轻雾(图略)。

3 降水实况

从此次暴雨过程降水的落区上来看(图1),7月4日15时至5日00时降水主要集中在平原地区,存在两个暴雨强中心,顺义有

一个125mm以上的强中心,房山与大兴交界存在一个90mm以上的强中心,其余大部分地区过程雨量也都在25mm以上。

从逐小时的降水强度演变情况看(图略),有两个峰值,分别出现在4日19—20时,顺义的李遂 $73\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,另一次是在4日21—22,大兴的北臧村 $71.6\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

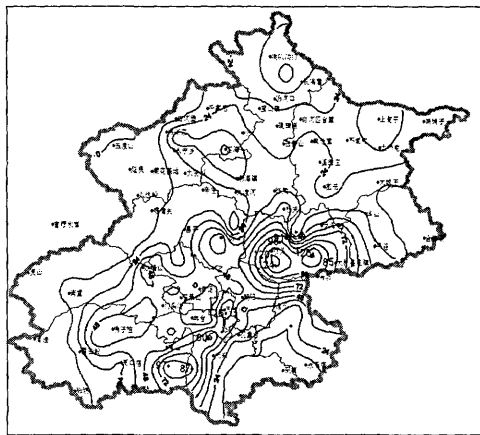


图1 2008年7月4日15时至5日08时
过程雨量(单位:mm)

4 对流云团的云顶亮温演变特征

从FY-2C卫星云图上看(图略):7月4日08时我国 20°N 以北活跃着两个系统,中高纬的高空槽云系十分清楚,另外长江流域以及青藏高原南部的对流也很旺盛。对北京有直接影响的高空槽云系发展十分不均匀,云顶高度差异比较大,在这种云系中,午后地表受太阳辐射加热作用极易出现强对流云团。高空槽云系移动过程中,云系后界的位置基本无变化,但在其前部($115^{\circ}\text{E}, 40^{\circ}\text{N}$)的地方中午时分开始不断的有小块的对流泡冒出来。这些对流泡直接造成了本市的雷阵雨天气,以下用FY-2C的云顶亮温资料进行详细分析其演变过程。

从FY-2C卫星逐小时云顶亮温(TBB, $0.1^{\circ}\times 0.1^{\circ}$)可以看出此次过程本市是受连续东移的3个对流系统(MCS)、两次相结合

所产生的暴雨天气。过程主要从4日15时持续到4日23时之后,长达8个多小时,云顶亮温低达 -65°C 以下(图2)。

4日15时(图2a),北京以北及以西地区已经开始有对流发展,但北部的对流系统比较偏北,西南部则已经开始有对流进入。16时(图2b),西南部的对流朝东北方向发展,而此时北部的对流也有向西南方向发展的趋势。17时(图2c),在本地有利条件下,这两个对流区已经结合并增强,形成一个带状的对流系统。冷云盖亮温达 -50°C 以下,对流系统的强度比前两个时次有明显的增强。这说明,分散对流系统之间的结合是有正反馈的作用,从而出现了更强的对流系统。18时(图2d),此对流有所减弱东移,主要影响北京北部以及东部地区,而此时,河北的南部(北京的西南部)又开始有对流出现,1小时内迅速向北发展,19时(图2e)已经接近北京的南缘。值得注意的是,原先已经东移的对流区又重新向西南伸展,再一次与西南部

的对流区合并,形成了比17时范围更大、更强的对流带。20时(图2f)低亮温区控制在本市的密云、顺义、平谷一带。21时,对流系统继续发展加强,云顶亮温达到 -66°C 以下,超强对流区(-60°C 以下)控制在本市的平原地区,并且在山前形成了很强的亮温梯度。21—22时(图2g~h),这个对流系统在山前继续发展增强形成MCC, -60°C 以下的冷云盖覆盖范围达 $(200\times 150)\text{km}^2$ 。23时(图2i)之后,此次对流活动才逐渐东移结束。

从TBB的逐时演变可以看出,分散对流系统之间的结合是形成更强对流的一个重要原因;另外,地形作用对强对流发展增强也有很重要的作用。此外,对应前面小时雨量的分析也可以看出,强对流系统的结合以及山前MCC的形成恰好对应了北京市2次小时雨强达70mm以上的暴雨天气。

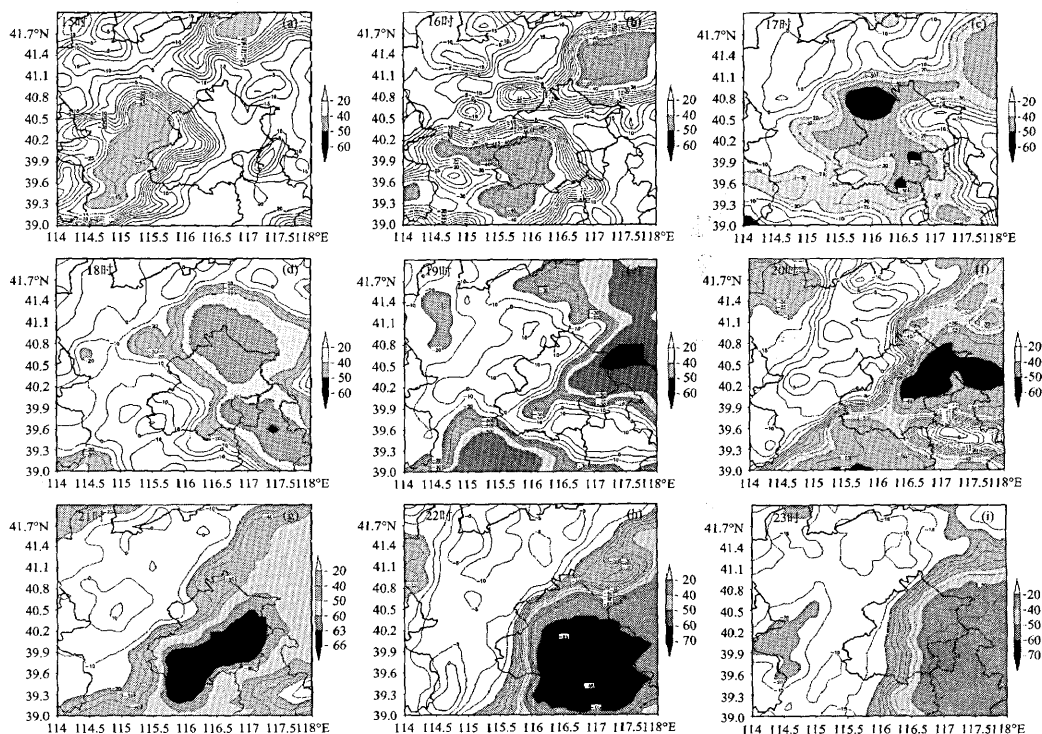


图2 2008年7月24日15—23时FY-2C卫星逐小时T_{BB}($0.1^{\circ}\times 0.1^{\circ}$)

5 强对流的回波以及风场特征

从雷达观测来看,7月4日15时之前北京的西部已经有与高空槽云系前部的对流云团相对应的强降水回波向北京市方向移动,但在还没有进入北京市的时候,顺义与朝阳的交界地区15:30左右就已经局地新生出块状对流降水回波(图3a,见彩图第7页), 1.5° 仰角的径向速度场表现为从低层到高层都是一致的偏南风。此时云图上还没有看到任何对流云团出现,这说明对流的新生是近地面层因素在起作用。从BJ-ANC系统VRDAS反演的风场可以看到边界层内(0.5625km)存在西南与东南两支气流的辐合,回波起始就出现在有明显风场辐合的地方(图3a,见彩图第7页)。从与地形垂直的剖面可以看出(图3b,见彩图第7页),新生的这一小块回波发展很快,短时间已经达到7km高度,强度达50dBz,并且强中心的高度已经伸展到了5km高度,是显著的暴雨降水回波^[12]。

地形作用对回波的增强有显著的作用,从VDRAS反演的垂直风场可以看出(图3b,见彩图第7页),在山前低层风场遇山阻挡,爬坡比较明显,而在对流区低层已经出现很明显的上升气流。20分钟后,此处的对流范围和强度明显有所加强,但是从剖面结构看到实际上原来的对流柱已经开始减弱塌陷,而其西部受地形影响气流抬升的地方出现了新生对流单体,上下层范围都很窄,低层有明显的上升区,高层的气流比较弱,还没有形成出流,表明这是刚发展起来的对流(图3c,见彩图第7页)。16时05分,这个单体的下层已经基本受下沉气流的控制,而且高层向后方的出流也很明显,垂直风切变很大,已经不利于单体的发展,单体从生成到消亡时间仅有短短的15分钟左右。

16时23分(图3d,见彩图第7页),在原来对流的南部、城区北面又出现了新的对流

发展,对应 T_{BB} 表明,此时已经开始受西来的对流云团的影响,虽然其主体还偏西,但是 T_{BB} 前部的梯度已经非常大。沿着气流的方向剖面可以看到(图3e,见彩图第7页),西南与东南风的辐合抬升作用很显著,南部的对流处于新生阶段,为一致的上升气流,而北部的对流显然已经处于成熟阶段,底层既有上升运动,也已经出现了下沉气流。

16时47分,虽然从VDRAS反演的低层风场上与前一时次没有很明显的差异,但是从TBB的图上已经可以看到位于北部的对流区有一个向西南伸展并且将与西南部的对流合并的趋势,因此,在雷达回波上又观测到在这两个对流单体向东北方向的沿线上(密云境内)又有新生块状对流单体出现(图3f,见彩图第7页)。

此后在山前不断有新生小块对流出现并发展,其可能原因是低层的西南风以及东南风的显著增强造成的,并且从剖面的流场上(图略)看各个对流单体之间有相互促进的关系,也就是说,邻近单体的出流一定程度上促使了旁侧单体的对流加强。

在19时24分雷达 2.4° 仰角的径向风速场(图3i,见彩图第7页)可以看到风场的中尺度气旋结构,这正对应顺义小时雨量的峰值时刻;另外,低层偏东风的加强也是回波将发展增强的一个信号。从19时29分的雷达回波(图3g,见彩图第7页)可以看到,低层东南风比前几个时次有了显著的加强,而在风场辐合地区的回波也出现了显著增强。从剖面(沿垂直于地形)看到(图3h,见彩图第7页),此时此刻顺义的雷暴单体垂直发展到17km,强度达60dBz以上,低层的偏东风非常大,上升运动也较之前有明显增强,并且其西侧比较高的层次上不断有环境空气的夹卷进入雷暴中,高空出流也比较大,雷暴从上到下是一个倾斜的结构。

21时之后,本市北部的回波减弱,变成普通的阵性降水回波,而强回波中心主要集中在本市的南部房山、大兴地区(图略)。从

雷达 2.4°仰角的径向风速场(图 3j, 见彩图第 7 页)上看表现为明显的辐合存在,造成了 21 时至 22 时这个区域的短时强降水。22 时之后,回波主体向东北方向移动,整个强降水过程也随之逐渐结束。

6 结语

(1)本次暴雨过程是高空槽与西南暖湿气流共同作用的结果。午后在高空槽云系中形成并发展的对流云团直接导致了强降水的发生。

(2)从 TBB 的逐小时演变分析发现,三个对流系统的两次结合促使了更强对流的出现;而对流系统的每一次结合都导致了局地雨强的瞬时增强。

(3)雷达回波上的块状对流先于对流云团出现,其原因可能是边界层内西南风和东南风的辐合作用造成的。并且偏南风的加强形成了更强的抬升作用,促使山前多个对流单体产生。山前线状排列的多个单体之间也有很明显的相互作用,旁侧单体的出流一定程度上促使了相邻单体的对流发展。

(4)从雷达的风场上看,回波单体发展增强以及瞬时雨强显著增强伴随着中尺度气旋、风场辐合区的存在以及低层偏东风的显著加强。

致谢:BJ-ANC 系统为本文提供了宝贵的雷达资料,在此表示诚挚的感谢!

参考文献

- [1] 华北暴雨编写组. 华北暴雨[M]. 气象出版社, 1994.
- [2] 吴正华, 陈明轩. 京津冀地区夏季(6—8 月)短历时

降水气候分析[M]. 中国气象局北京城市研究所/中国气象学会城市气象委员会/美国国家大气研究中心(NCAR)编. 北京:气象出版社, 2004:264-269.

- [3] 孙继松, 舒文军. 北京城市热岛效应对冬夏季降水的影响研究[J]. 大气科学, 2007, 3, 31(2).
- [4] Robert F. Adler, Michael J. Markus, Douglas D. Fenn. Detection of Severe Midwest Thunderstorms Using Geosynchronous Satellite Data[J]. Monthly Weather Review, 1985, 113:769-781.
- [5] David E. Pitts, Warner K. Reeser, Maury A. Mendlowitz. Equivalent Blackbody Temperature of the Top of a Severe storm[J]. Journal of Applied Meteorology, 1975, 14:609-618.
- [6] Robert F. Adler, Douglas D. Fenn. Thunderstorm Intensity as Determined from Satellite Data[J]. Journal of Applied Meteorology, 1979, 18:502-517.
- [7] 刘健, 张文建, 朱元竞, 等. 中尺度强暴雨云团云特征的多种卫星资料综合分析[J]. 应用气象学报, 2007, 4, 18(2)
- [8] 王莉萍, 沈桐立, 崔晓东, 等. 一次冷涡暴雨的中尺度对流云团分析及数值模拟研究[J]. 气象科技, 2006, 2, 34(1)
- [9] Battan L. J. Radar Observation of the Atmosphere[J]. The University of Chicago Press, 1973.
- [10] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 新一代天气雷达原理和应用讲义[M]. 北京:中国气象局培训中心, 2004
- [11] 陈明轩, 俞小鼎, 谭晓光, 等. 北京 2004 年“7.10”突发性对流强降水的雷达回波特征分析[J]. 应用气象学报, 2006, 17(3):
- [12] 王令, 康玉霞, 焦热光, 等. 北京地区强对流天气雷达回波特征[J]. 气象, 30(7), 31-35.
- [13] 王改利, 刘黎平, 阮征. 多普勒雷达资料在暴雨临近预报中的应用[J]. 应用气象学报, 2007, 18(3):
- [14] 姚叶青, 俞小鼎, 张义军, 等. 一次典型飑线过程多普勒天气雷达资料分析[J]. 高原气象, 2008, 27(2):
- [15] 苗爱梅, 安炜, 刘月丽, 等. 春季一次暴雪过程的多普勒雷达动力学诊断[J]. 气象, 2007, 33(2):