

北京地区强对流天气雷达回波特征^①

王 令 康玉霞 焦热光 卞素芬 丁青兰

(北京市气象局气象台, 100089)

提 要

通过近 2 年的观测,收集了一些新的、不同类型的强天气个例的回波资料。对其典型个例的分析可以得到北京地区的一些强天气的雷达回波特征。冰雹、雷雨大风回波高度高,达 12km,暴雨过程回波高度仅 7km;冰雹、雷雨大风这类强对流天气的雷达回波移动速度快,而局地暴雨的雷达回波移动速度缓慢。通过对多普勒径向速度图的分析,可以得出冰雹、雷雨大风与暴雨的动力结构有着明显的差异。地形的影响是显著的。

关键词: 多普勒径向速度 冰雹 飏线 暴雨

引 言

强天气主要是指冰雹、伴随雷雨出现的 $V \geq 17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风、每小时 $R \geq 30\text{mm}$ 的强降水天气。强天气一般具有时间、空间尺度小,突发性强的特点,是短时预报和防灾减灾的难点。北京是一个缺乏淡水资源的城市,因此如何利用空中水资源,增加降雨量,如何利用好暴雨期间的降水做好水库调度,是摆在我们面前的重要课题。多普勒天气雷达不仅提供云雨的强度、高度等参数,还能揭示云中流场的中小尺度结构,是监测、预报强天气的有力工具。有人曾利用 3824 C 波段多普勒雷达资料对北京的强天气进行过一些分析^[1,2]。

通过 3830C 波段多普勒雷达近 2 年的观测,收集了一些新的、不同类型的强天气个例的回波资料。对其中典型个例的分析可以得到北京地区的不同类型强天气的雷达回波特征。

1 2001.7.25 飏线

2001 年 7 月 25 日午后,北京地区北部出现了一次飏线天气过程,有 9 个站出现了大于 $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风。20:00~20:30 昌平区出现雷雨大风并有 6 个村出现了冰雹,冰

雹最大直径为 40mm,平谷、顺义、密云 3 站天气现象记录为飏。天气图上:25 日 20 时,500hPa 高空槽东移,北京处于槽线附近,副高西伸,使高空槽东移缓慢。地面冷锋逼近北京。从北京 08 时探空可知:850~300hPa 为不稳定层结,沙氏指数为 -2.5,到 20 时沙氏指数为 -8.8,不稳定面积增加,不稳定层结发展。

1.1 雷达回波强度特征

19:01,有一条东北—西南向的带状回波,从河北省张家口向北京方向移动,带前延庆—怀来之间有一对流回波群生成发展,如图 1a(封三)所示。19:30,该回波群移动缓慢,继续发展,回波强度达到 55dBz,顶高达 12km,西北方向的回波带逐渐向回波群靠近。19:46,延庆的回波群与回波带的北部合并加强,带的南部与北部断开减弱,如图 1b(封三)所示。19:51,强回波移到昌平境内,这时强中心范围变大,强度达到 60dBz。20:15,回波发展成为一条近南—北向的带,带的南端在昌平,向西折,呈东北—西南向的“弓”形体,由多个排列整齐的强中心组成,强度达到 65dBz,顶高 12km 以上。

20:17 对 339°方位强回波中心进行的

① 国家自然科学基金“40275001”项目和北京市科委“955410100”专题共同资助

RHI扫描出现了悬垂回波和“三体散射”回波^[3],它出现的时间和位置与昌平区的冰雹相对应如图2a(封三)所示,50dBz强中心的高度达到9km。20:30后带南段的强回波加快东移,强度减弱,带北段移速较慢,发展加强,20:45时形成了怀柔—朝阳的南—北向的带状回波。带上强中心强度60dBz,顶高仍在12km以上。20:57,回波强度减弱到50dBz,高度12km。这条回波带以 $50\sim 60\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度向东移动,21:50主体移出北京地区,如图1d、e(封三)所示。这条强回波带与大风、飊的出现时间和位置相对应。从20:15~21:06在带的南端与晴空区之间出现了窄带回波^[4]。20:34,2.5°仰角的PPI上的强中心前约2km处的窄带回波强度10dBz,长约60km,宽约4km,如图2c(封三)。它的长度、宽度和与带之间的距离随着带的移动不断变化^[5]。

1.2 雷达回波径向风场特征

18:32,西北140km处有弱回波东移,其多普勒径向速度最大值为 $-24.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (方位 282° 、距离145km、高度6.2km),与其前方的回波之间有风速辐合。19:01,延庆回波群的多普勒径向风速度约 $-10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 小于西部回波的多普勒径向风速度,造成两部分回波移速不同,如图1f(见封三)所示。19:46,回波群与回波带的北部合并后形成了两个多普勒径向风速度的大风中心,一个为 $-24.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (方位 287° 、距离102km、高度4.6km),另一个中心为 $-24.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (方位 308° 、距离52km、高度2.4km),如图1g(封三)。20:01,多普勒径向风速度加大到 $-30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (方位 318° 、距离42km、高度1.1km)。20:15,强中心最大多普勒径向风速度为 $-27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (方位 332° 、距离25km、高度1.1km),大风中心之前为西南气流,大风与西南气流之间形成辐合区。20:38,出现西北、西南两个大风中心,多普勒径向风速度分别为 $+14.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (方位 55.5° 、距离23.5km、高度1.1km)和 $-20.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (方位 318.5° 、距离4.3km、高度0.2km)。20:46,随着飊线回波带的成熟,最大多普勒径向风

速度保持在 $26\sim 29\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,方位保持 $75^\circ\sim 90^\circ$ 之间向东移动,直至移出北京地区,如图1i、j(封三)所示。20:00左右,当多普勒径向风速加大到 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,对应于风切变最大的回波的南端,出现了冰雹云回波,在图2a(封三)上可以看到明显的悬垂回波和三体散射的火焰回波。在图2b(封三)中有一上升气流与穹窿回波对应,上升气流与西北方向来的冷空气在低层形成一个辐合区。由于三体散射和旁瓣假回波的缘故,回波的中高层受到“污染”,多普勒风场混乱。

在这次过程中还观测到了不易捕捉的窄带回波。20:34,对应于PPI(z)上的窄带回波,在PPI(V)上的“+”多普勒径向风区内有一条窄的“-”风区,形成“逆风”线。这条“逆风”线长30km,宽4.5km,多普勒径向风速为 $+2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。与另一段窄带回波对应,有一个比周围径向风速小的弱风区。如图1h(封三)所示。

1.3 特点

这次飊线过程是一次与冷锋相联系的中尺度天气过程,它属于离散区线型^[6]。回波带长100km,宽 $20\sim 30\text{ km}$,强度50dBz,高度12km,以 $50\sim 60\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度向东移动。在组织发展阶段,多普勒径向风场的大风中心从中空的6km逐渐下传到低空的1km左右。成熟阶段的飊线在东移过程中,回波强度、高度、尺度变化小,多普勒径向风变化也小。在强回波区附近有强风切变相对应。当多普勒径向风场的风切变加强时可以形成强的冰雹云,具有明显的雹云特征。与冰雹云回波相伴随的窄带回波,在风场中表现为风的不连续线。

2 2001.8.23 市区降雹

2001年8月23日的降雹过程主要集中在城区,正值北京举办第21届世界大学生运动会的期间。20时左右,狂风暴雨突袭先农坛体育场,并伴有冰雹,致使一场比赛被迫终止。城中、南部地区大范围降雹,目击者称冰雹有鸡蛋至2分硬币大小。城区自动雨量站显示,从20时至21时1小时内,天安门雨量为28.6mm,古观象台19.2mm,公主坟10.4mm。8月23日08:00天气图上,

500hPa 雅库次克和哈尔滨北为两个低压中心,地面有弱冷空气南下,北京在弱辐合带中。

2.1 雷达回波强度特征

下午 15:00, 雷达观测到北京西北方向 150km 处出现对流回波, 17:00 左右回波迅速增强南下, 18:28 在延庆盆地发展成为一条东北西南走向的长约 100km 的强回波带, 延庆有降雹。此后回波快速南下, 回波前沿的移动速度为 $60\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, 但下坡后强度有所减弱。19:40 到达本站, 天气现象为雷雨大风, 没有降雹, 其后回波继续向东南方向移动, 20:00 左右在城南地区回波加强产生冰雹, 21:30 以后变成层状云降水, 向东移动。

19:52 组合反射率图显示(图略), 本站东南方向的回波有发展, 强度 40dBz。20:11 的 14 个仰角立体扫描的单张 PPI 图显示, 本站东南 10km 附近出现一块强度为 55dBz 的回波, 并且在 15.0° 仰角上有钩状, 正是这块回波降了冰雹。由于雹云回波距离雷达站很近, 用高仰角的图像才能观测这块雹云的结构。从 20:18 的 RHI, 如图 3a(封三), 可见雹云回波已发展到 12km 以上, 回波顶部有旁瓣假回波, 大于 50dBz 强回波中心位于地面至 6 公里高度, 6~8km 高度上有悬垂回波。

2.2 雷达回波径向风场特征

18:56, 低层西北风速加大, 但受地形的影响, 山峡地区的低层西北风速比两侧大, 大风中心风速为 $-24.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 如图 4(封三)。东北方向的负风速区面积减小。到 19:20, 流场趋于稳定, 此时山峡峡口方向有一个明显的大风前沿, 高度 0.3km, 速度 $-17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 方位 345° 。冷空气从这里进入平原地区。同时可以见到西南方向回波的西南风速也加强, 1.9km 高度的风速为 $-24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 方位为 219° , 表明锋前暖湿气流源源不断向市区输送。此时本站附近东南开始出现弱的回波。可以认为这些回波是由于冷空气的激发, 平原地区暖湿空气抬升形成的^[7]。直至 19:52, 这种低空的西北风急流一直在维持, 范围不断扩大, 由于西北方向的冷空气的强

迫抬升作用, 使不稳定能量释放, 10 分钟之后生成一块冰雹云。20:11 的立体扫描 15° 的单张 PPI 径向速度图显示, 125° 、16km 处有一个 $+20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $-14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的辐散风速对。20:18 的 RHI(V) 对应有一股上升气流, 低层回波后部为下沉气流, 前部为上升气流, 是一辐合区, 高层有很强的辐散区, 如图 3b 所示。图 3b 中的上升气流与图 3a 的穹窿相对应。

2.3 地形影响

官厅水库山峡的地形作用积聚了西北方向吹来低空西北气流, 当其冲入平原后, 恰与西南气流汇合, 加之城市热岛的作用, 使回波带的南端局地加强, 产生冰雹天气, 山峡地区的冷空气通道在这次降雹过程中起了比较重要的作用。

2.4 特点

这次过程的特点是局地性强, 移动速度快, 变化突然, 有一多普勒径向速度大值区出现, 风切变加强后生成冰雹云。

3 2002.6.25 暴雨

2002 年 6 月 24 日 20 时~25 日 08 时, 北京市部分地区出现了暴雨和大暴雨。在这个时段中, 降水的空间、时间分布极不均匀。门头沟 12 小时雨量达到 158mm, 门头沟东侧相距 9km 的石景山降水 80mm, 门头沟西侧相距 35km 的斋堂站降水仅 0.1mm。门头沟站雨量在 25 日 00~01 时达到 41.9mm, 01~02 时达 46.1mm, 两小时集中降水 88mm。2002 年 6 月 24 日 20 时的天气图上: 500 hPa 河套为低槽区, 700hPa 北京在低涡后部, 850hPa 为西南风和东南风切变, 地面为低压系统。

3.1 雷达回波强度特征

6 月 24 日 21:30~23:30, 北京的西南方向有回波新生, 从几块 10dBz 的小单体发展成长约 100km, 宽约 20km 的回波带。回波带上的强中心强度为 45dBz, 高度为 7.5km, 位于雷达站西侧 10~20km 的门头沟, 如图 5a(封三)。23:58~25 日 01:58 回波带逐渐发展, 范围扩大, 东侧不断有 30dBz 以下的散乱回波向带内并入, 其路径是气旋状的, 如图 5c(封三)。回波带上的回波单体则沿着带向

北移动,23:58出现了“人”字形回波,在“人”字型回波的汇合点上强度达到45dBz以上,如图5b(封三)。从RHI(z)上可以看到回波的最强中心全部位于0.5km以下,顶高为7km,如图6(封三)。25日02时回波缓慢东移,强度略有减弱,02:30回波已减弱到40dBz,强中心也东移到雷达站西侧12~5km处如图5d(封三),门头沟的回波强度减弱到30dBz,顶高6km。

3.2 多普勒径向风场特征

6月24日21:30~23:30,多普勒径向风场中“0”径向风速线呈东—西向横放的“S”型,近地面的东南风偏南风分量较大,最大多普勒径向风速中心风速为 $-11\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,方位 130° ,高度0.5km,如图5e(封三)。23:58~25日01:58,东南风的大风中心不断加强,而东南风多普勒径向最大风速中心保持在0.5km以下,最大径向风速中心风速为 $-12.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,方位 110° ,高度0.4km,如图5g(封三),如图6b(封三)。“0”多普勒径向风速线逆时针转动,东南风的偏东分量增加,与回波带近于垂直,加大了对回波带上暖湿气流的输送。门头沟附近“0”径向风速线的锐角折角与“人”字型回波的汇合点对应,说明这里是西南和东南两支气流的辐合点,如图5f(封三)。从02:15以后“0”多普勒径向风速线折角变得平缓,低层东南风的风向顺时针转动,回波的上层逐渐由西南风转为偏西风,风速较小,最大多普勒径向风速中心风速为 $-11.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,方位 110° ,高度0.5km如图5h(封三)。

3.3 地形影响

24日23时~25日02时,降水在北京西侧10~20km的范围内形成一个约 70km^2 大值区,它的形成除了降水的天气条件外,与这一带的地形有密切的关系。

通过雷达回波的动态变化可以看出:由于北京东北、北、西三面是山,东南部是平原的特殊地形作用,西南方向的回波沿西部山前向北抬,当东南风加大时,在西部山区的山前形成较强的回波,造成海淀、门头沟、石景山、房山、丰台等站大于50mm的暴雨。特别是门头沟站,位于雷达站 268° 、20km处,东

边有永定河自北向南流过,九龙山(858m)在它的西面和北面,形成一个喇叭口地形。开口对着东南方向,东南风在这里堆积抬升,使这里的降水强度比其他站更大。东南气流被山脉抬升的现象可从图6c、d(封三)看出。

另外,由于“北京湾”的作用^[8],低层东南气流遇到山地后,除了向上抬升的作用,还对气流产生阻碍作用,造成山前的涡流,当东南风增大、山南侧的正涡度增加。降水持续阶段回波带的东侧不断有回波向带内并入,其路径是气旋状旋转的,恰好与这一涡度的存在相一致。

3.4 特点

强降水回波带稳定少动,持续时间长。回波高度只有7km。有“人”字形回波特征。强降水与东南风超低空急流相联系,位于急流轴前端。急流轴的高度仅0.5km。

4 雷达回波特征对比

4.1 雷达回波强度对比

冰雹、雷雨大风、强降水的回波强度都达到45dBz以上,具有很强的强度。在RHI图像上冰雹、雷雨大风回波高度高,2001.7.25飊线过程回波高度12km,2001.8.23市区降雹过程回波高度达12km以上,2002.6.25暴雨过程回波高度仅7km;强降水回波的强中心集中在云体的下层,而冰雹云具有一些特殊结构,如2001.7.25和2001.8.23的冰雹云单体都可以看到悬垂回波,旁瓣假回波,40dBz以上的强回波位于地面到8km的高度。

冰雹、雷雨大风这类强天气的雷达回波移动速度快,2001.7.25飊线过程以每小时50~60km的速度向东移动,2001.8.23市区降雹过程,回波前沿的移动速度为每小时60km。而局地暴雨的雷达回波移动速度缓慢,2002.6.25暴雨过程强降水回波带稳定少动,持续时间长。

4.2 多普勒径向速度场对比

高低空多普勒径向风的速度和方向配置是造成强天气的动力原因^[7]。2001.7.25和2001.8.23过程都与西北方向的大风相联系,最大多普勒径向风速在 $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之上;当出现冰雹云时,PPI(V)图上都存在多普勒径

向风的西北风和西南风的强风切变, RHI (V)上可以根据多普勒径向风分析出上升气流和低层辐合、高层辐散结构。2002.6.25暴雨过程中,强降水与东南风超低空急流相联系,高低空为西南风与东南风的切变,强降水位于东南风超低空急流轴前端,急流轴的高度仅0.5km,多普勒径向风速 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,远小于雷雨大风和冰雹的过程的西北风风速,它的风切变是西南风与东南风的切变。

一些特殊形状的回波对应着特定的流场:冰雹云的悬垂回波、穹窿与上升气流相对应;2002.6.25暴雨过程中的“人”字形回波与西南气流和东南气流的汇合有关。

4.3 地形影响

地形在冰雹、雷雨大风及暴雨过程中都有明显影响。北京东北、北、西三面是山、东南部是平原的特殊地形,2002.6.25暴雨过程中西南方向的回波沿西部山前向北抬,当东南风加大时,地形使气流抬升,在西部山区的山前形成较强的回波,造成山前暴雨。2001.7.25与2001.8.23受到的地形影响相类似,当西北气流冲下山坡时,风速加大,辐合加强,产生冰雹天气,地形影响使气流下山加速。

5 结束语

通过对三次较为典型的强天气雷达回波

的分析,可以得到雷达回波强度和速度场的一些共性和不同点,为监测和预报强天气工作中区分不同强天气,提高预报准确率提供可资参考的依据。多普勒径向速度场的分布还能够提供给我们分析冰雹及暴雨产生的原因。但由于个例较少,单部雷达探测的局限性,诸如径向风场与实际风场之间的不确定性,使得对强天气雷达回波的认识还是很不夠的,需要搜集更多的资料,进一步分析研究,加深对北京地区强天气的认识。

参考文献

- 1 俞莲芬,陈大任.一次暴雨过程多普勒天气雷达风场资料分析.气象,1997,23(2): 25~28.
- 2 刘洪恩.微下击暴流的特征及其数值模拟.气象学报,2001,59(2):183~195.
- 3 中国气象局培训中心.新一代天气雷达讲义(培训教材).北京:2000:234.
- 4 《大气科学词典》编委会.大气科学词典.北京:气象出版社,1994:764.
- 5 王令,康玉霞,张蕾等.一次飑线过程的多普勒雷达回波分析.北京气象学院学报,2002,1: 48~51.
- 6 张培昌,杜秉玉,戴铁丕.雷达气象学.北京:气象出版社,2000:280~283,420~426.
- 7 陆汉城等.中尺度天气原理和预报.北京:气象出版社,2000:43~47.
- 8 北京市气象局气候资料室.北京气候志.北京:北京出版社,1987:48~58.

Radar Echo Features of Severe Weather in Beijing

Wang Ling Kang Yuxia Jiao Reguang Bian Sufen Ding Qinglan

(Beijing Meteorological Observatory, 100089)

Abstract

Based on two-year radar data of severe weather in Beijing, echo characteristics of severe storm are studied. The echo top of severe storms such as hailstorms and thunderstorms accompanied by gale is higher than that of heavy rain, the former is up to 12km. However, the latter is only 7km. Comparing with local heavy rain, the movement of radar echoes of hailstorms and thunderstorms is rapid. Based on analyzing the radial velocity, it is concluded that the dynamic structure of hailstorms and thunderstorms is quite different from that of the heavy rain. Moreover, the influence of topography is also very significant.

Key Words: Doppler radial velocity hailstone squall-line heavy rain

《北京地区强对流天气雷达回波特征》附图

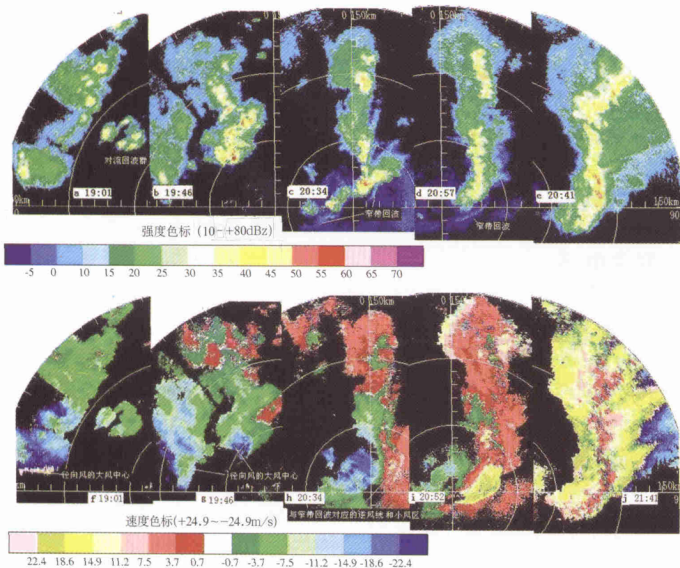


图1 2001年7月25日雷达回波特征

PPI(Z), PPI(V)天线仰角2.5度, 半径150km, 距离圈为30km间距

仰角2.5°PPI(V)

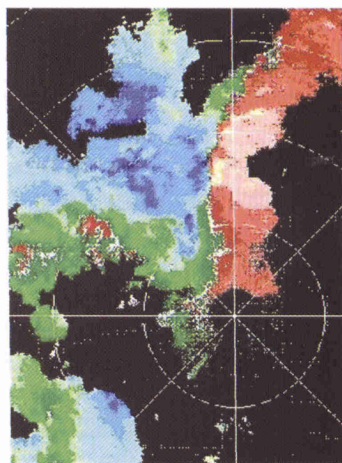


图4 2001年8月23日18:56径向风场

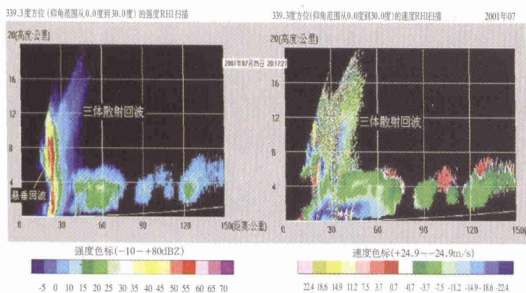


图2 2001年7月25日20:17的RHI, 方位339度

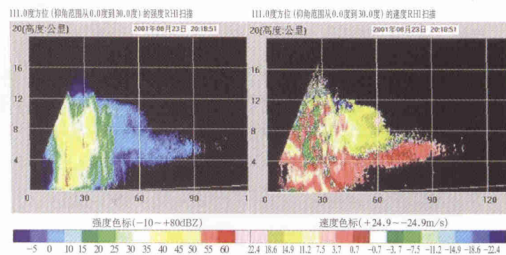


图3 2001年8月23日20:18(北京时)RHI, 方位111.0度

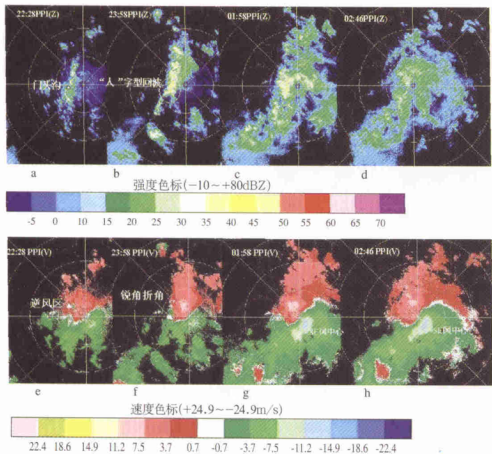


图5 2002年6月24日雷达回波特征PPI(Z), PPI(V)

天线仰角2.5度, 距离圈为30km间距

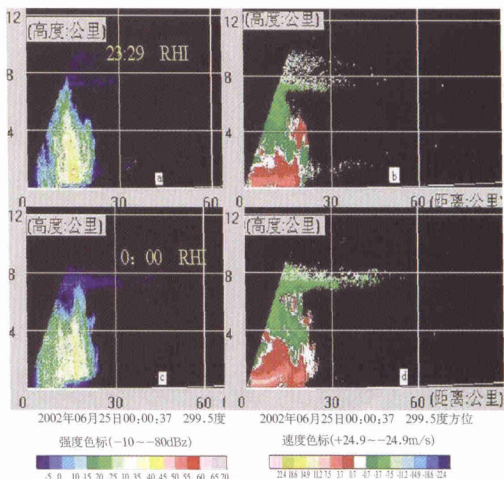


图6 2002年6月24日23时29分、25日00时00分的RHI(Z), RHI(V)