

江西“4.12”降雹过程的多普勒雷达资料分析

郭 艳

应冬梅 刘冬梅

(南京大学大气科学系,210093)

(江西省气象台)

提 要

通过分析江西省 2003 年 4 月 12 日降雹天气过程中,强对流天气发生前后的 CINRAD-SA 多普勒雷达资料的演变特征,归纳出强对流天气过程的相关特征,提出强对流天气临近预报的几个着眼点和指标。发现应用弓状回波、TBSS、“逆风区”、低层中尺度辐合线、垂直积分液态水含量(VIL)及冰雹指数的变化能有效地指导灾害性天气临近预报,并有一定的提前量。

关键词: 多普勒雷达 强对流 临近预报

引 言

强对流天气是江西省春夏季的主要灾害性天气。随着国民经济的快速发展,因突发性灾害天气造成的经济损失逐年增加,据 20 世纪 90 年代不完全统计,江西省每年因暴雨、洪涝、强对流、雷电灾害造成的经济损失平均达 100 多亿元。人民迫切要求气象部门提供可靠的强对流天气预报,尤其是几个小时之内的临近预报。由于多普勒天气雷达自身的特点,使其成为监测和预报强对流天气的有效工具。

早在上个世纪 60 年代,国外就开始了利用多普勒天气雷达监测和预报强对流天气方面的研究,并得到了许多有意义的结论。而

国内在这方面的研究还刚起步,很多工作有待于开展。

本文通过分析 2003 年 4 月 12 日江西省大范围强对流天气过程的南昌多普勒天气雷达资料,对利用多普勒雷达资料进行临近预报的着眼点和指标作了初步的探讨,提出弓状回波、TBSS、“逆风区”、低层中尺度辐合线、垂直积分液态水含量(VIL)及冰雹指数的变化等预报指标。

1 天气概况

2003 年 4 月 12 日 09:30~22:00,江西省出现了大范围的强对流天气过程,全省共出现 23 站次的强对流天气,其中冰雹 6 站次(其中最大冰雹直径达 30mm),雷雨大风 9 站

次(其中最大瞬时风速达 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), 出现 $\geq 30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的短时强降水 8 站次。受其影响, 全省有 17 个县市受灾, 上饶、鹰潭、赣州等地受灾较为严重, 据不完全统计, 因灾死亡 8 人, 伤病 569 人, 倒塌房屋 3265 间, 损坏房屋 34126 间, 农作物受灾 52748hm^2 , 直接经济损失 6.4 亿元。

这次强对流天气过程是受高空低槽和低层切变共同影响造成的, 高低层的配置如图 1 所示: 江南有倒槽发展, 高空低纬度有低槽东移, 是江西省典型的“暖区”强对流天气形势。此次强对流天气都发生在地面静止锋与 850hPa 切变线之间。

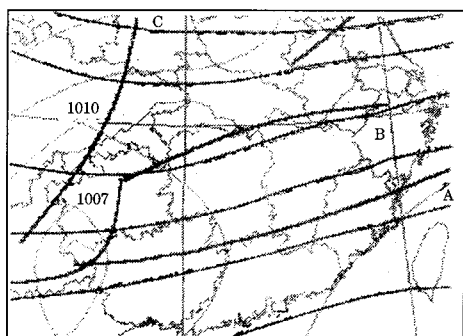


图 1 2003 年 4 月 12 日 08 时形势叠加图
粗实线 A 为地面静止锋, B 为 850hPa 切变线, C 为 500hPa 槽线; 细实线为地面等压线; 断线为 850hPa 等高线

2 雷达回波演变特征

经分析发现, 本次过程具有多单体风暴回波特征。同一时刻, 有的单体风暴新生, 有的单体风暴成熟, 也有单体风暴趋于消亡。有 7 个站先后两次出现灾害天气, 弋阳站更是同时出现雷雨大风和冰雹, 之后又遭受短时强降水的袭击(7~8 分钟下了 22.8mm), 这都是由于多单体风暴回波先后移近测站所致。另外一个特征是整个过程可分为两个明显的阶段: 第一阶段(09:30~12:00)为一般强对流天气阶段; 第二阶段(12:00~22:00)为剧烈强对流天气阶段, 弓状回波为其典型特征。图 2 是 2003 年 4 月 12 日多普勒雷达 PPI 图(见封三)。

此次过程先后受 3 个风暴系统影响(如图 2b), 分别记为 A、B、C; A 风暴发源地是萍乡, B 风暴发源地是长沙东部, C 风暴发源于

湖南的益阳以西。

2.1 第一阶段 A、B 多单体风暴回波演变特征

4 月 12 日 05:00 在长沙、萍乡、九江、抚州和上饶有多对流泡发展, 直径 $10\sim 20\text{km}$ 的小块状回波快速向东北方向移动, 移动过程中 A、B 两风暴不断发展、加强, 尤其 A 风暴在移动过程中不断与周围的小块回波聚合并。至 08:00, A 风暴发展成西南—东北向回波带(长约 150km , 宽约 $15\sim 20\text{km}$), 中心强度 $50\sim 55\text{dBz}$; 而 B 风暴则发展为块状, 中心强度 $45\sim 50\text{dBz}$ 。在造成贵溪和鹰潭短时强降水后, A 风暴于 10:40 前后减弱。而 B 风暴在造成奉新的短时强降水后继续加强, 至 11:27, 中心强度达 72dBz , 造成万年出现 $19\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的雷雨大风后减弱。

2.2 第二阶段 C 风暴的冰雹回波演变特征——弓状飚线回波

4 月 12 日 06:00, C 风暴初生时只有 10km , 中心强度 30dBz , 但它发展极其迅速, 至 09:08 已形成西南—东北向回波带(长约 200km , 宽约 50km), 中心强度 50dBz , 位于益阳、岳阳及咸阳一线; 而至 12:04 回波带已发展成长约 500km , 宽约 120km , 中心强度 68dBz , 顶高为 14km , 位于萍乡、万载、上高、奉新、安义、九江、大别山一线。C 风暴继续发展增强, 单体向东北方向移动, 整体缓慢南压。南昌站分别于 13:06 出现雷雨大风和 13:59 出现短时强降水, 并出现飚天气现象。13:53~14:45, 在强中心所经之处, 又出现 2 站次短时强降水和 3 站次雷雨大风。回波于 14:43 达到最强, 已形成典型的弓状特征(如图 3, 见封三)。在弓形回波的南端出现 79dBz 的反射率极值区, 弋阳位于极值区以东 10km 处, 15:00~15:20 强回波中心正面袭击弋阳、横峰和铅山, 3 站都出现冰雹。尔后回波带南段迅速发展, 影响抚州市和吉安市东部, 资溪和南丰出现雷雨大风, 永丰 17:07 出现冰雹。系统继续东移出境, 整个过程宣告结束。

C 风暴带在发展东移的过程中, 南面不断有小对流单体生成, 11:00 前后, 初步形成一强回波带, 11:40 后强回波带南段的小对

流单体开始合并增强,13:24 强回波带南段基本形成一窄带形单体回波,14:07 形成典型的弓状特征,即回波中心略向前凸,之后前凸趋于明显,且南端迅速加强,北端逐渐减弱,14:31 南端形成逗点状,14:43 南北两端已开始逐渐脱离断裂(如图4,见封三),14:43 达最强,14:49 开始拉直并迅速减弱,15:01 弓状回波北端完全消散。降雹发生在弓形特征减弱阶段。

3 超级单体风暴特征

图5(见封三)给出了降雹前后沿雹暴云移动方向的反射率垂直剖面图,由图可见回波墙、弱回波区和悬挂回波等超级单体风暴特征。14:31 雹云的最大回波强度已达74dBz,位于7km,至14:43 发展到最强,最大回波强度达77dBz,位于8km,之后迅速降低,15:01 最大回波强度(76dBz)已降到4km高度。

在15:00 地面首次记录冰雹,距最大回波强度的高度开始下降17分钟。

当风暴内有冰雹生成后,由于冰雹和地面的多次反射,在雷达回波图上可见类似细长钉子状的异常回波,出现在冰雹云中强回波区的后面,回波强度 ≤ 20 dBz,此异常回波称为TBSS。如图4所示,14:31 时风暴的高层(约8.5km)有显著的TBSS特征(符号“+”处),而14:43 便位于约7.2km高度,至14:49 已下降到低层约2.6km高度。

最早观测到明显的TBSS距地面首次记录冰雹约30分钟。

可见,TBSS回波可作为识别大冰雹的依据。而最大回波强度的高度和TBSS出现高度开始下降往往意味着冰雹即将降落。

4 雷达速度场分析

4.1 “逆风区”特征

分析低仰角的速度场发现,10:09 雷达站的西北部有大片的负速度区, $-21\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的区域在逐渐增大,到10:51,在这片负速度区内出现了一小块正速度区,并有明显的零速度线环绕,即出现了“逆风区”。“逆风区”的出现表明此处产生了强烈的辐合。而C风暴此时正处于这块逆风区内,之后它途经的南昌、余干、万年、横峰和弋阳各站在13:

59~15:48 都陆续出现了 $\geq 30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的短时强降水,奉新14:00 出现66mm/6h暴雨。从“逆风区”出现到暴雨时段的开始时间(12:59之前)约1h。

“逆风区”是暴雨识别和暴雨落区临近预报的有效判据。

4.2 低层中尺度辐合线

由低仰角风暴相对平均径向速度场可见(如图5,见封三),C风暴的演变过程中,低层中尺度辐合线对其发展加强具有很大的促进作用。

与弓形回波相对应的中尺度辐合线从12:40 初步形成后逐步加强,13:20 前后最强,之后风向辐合减弱,但风速辐合仍存在。而13:24 形成了弓形回波的锥形——窄带形单体回波,可见低层中尺度辐合线是弓形回波的促发原因。另一低层中尺度辐合线在14:10 前后形成并发展加强,14:55 后逐渐减弱。在这条中尺度辐合线的促发下,随着弓形回波的减弱,其南面的对流单体进一步合并增强,最后发展成一长约300km的蛇线回波(如图2f),造成赣中东部和闽西北大范围的强对流天气。

由此可见,根据速度场上低层中尺度辐合线这一特征,可以较早地得到对流风暴将发展加强的信息,从而提前预报出强对流天气。

4.3 极值区特征

13:48 波阳南部出现一个正速度大值区,极值速度 $\geq 21\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,范围约 10km^2 ,之后该速度大值区不断加强扩张,至14:00,其范围已扩大到约 30km^2 ,极值速度 $\geq 26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。对应的强度场(基本反射率)在13:48 之前对流云团结构较松散,呈絮状,没有明显的独立结构,但有合并的趋势,13:48 已经开始聚合在一起,中心强度68dBz,14:00 之前中心强度保持在67~69dBz。14:07,在正速度中心的南端出现了小块针尖形的速度模糊区,之后速度模糊区范围逐渐加大(如图5c,见封三)。对应的基本反射率极值也进一步增强至70 dBz以上,14:25~15:18 都基本维持在75dBz以上,最高达79dBz。由于距离模糊影响,15:18 以后的速度场资料无法

确定,但在 13:48~15:18 之间,基本反射率极值与平均径向速度极值明显地长时间相伴,并且回波极值区途经地(南昌、余干、金溪、万年、贵溪、弋阳、横峰、铅山)都出现了强对流天气现象,其中大部分站点出现了飑天气现象,横峰、铅山、弋阳三站还出现了冰雹天气。

5 雷达垂直积分液态水含量(VIL)分析

VIL 产品是判别强降水及其降水潜力、强对流天气造成的暴雨、暴雪和冰雹等灾害性天气的有效工具之一。

过程的强对流天气(除赣南的 2 站次冰

雹天气)分别由 6 个强对流风暴单体引起,由于其中 1 个资料不全,我们对其它 5 个单体的 VIL 值演变情况进行了分析。图 6 给出了这 5 个强对流风暴单体的 VIL 值随时间演变的趋势(09:38~10:51 间缺资料)。图 6 中 a 单体对应的强对流天气有 09:50 奉新的强降水和 11:34 万年的雷雨大风;b 单体在 13:00~16:00 之间造成途径地 5 站次强降水、6 站次雷雨大风和 3 站次冰雹天气;c 单体引起 15:56 南丰的雷雨大风;d 单体则导致 15:57 资溪强达 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的雷雨大风;e 单体对应的是 17:07 永丰的冰雹天气。

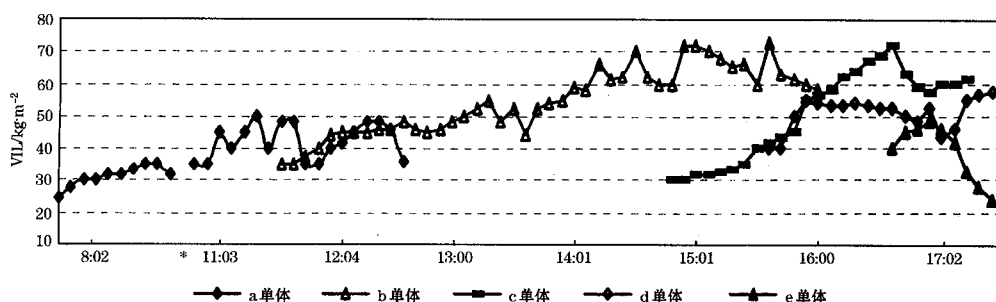


图 6 5 个强对流风暴单体的 VIL 值随时间演变趋势

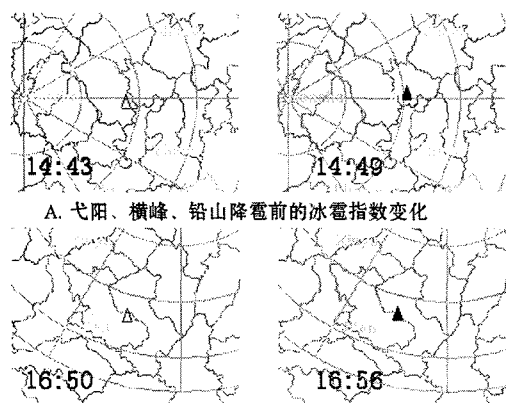
从图中可见,各强对流单体的最大 VIL 值都 $\geq 45\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。a 单体的强降水发生在 $\text{VIL} \geq 30\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 期间,雷雨大风出现在 $\text{VIL} \geq 45\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 期间。b 单体造成的强降水天气发生在单体生命期的各个阶段,而雷雨大风则出现在单体的发展期和成熟期(15:00 之前),在衰减期出现降雹,并且降雹前的 VIL 有明显的跃增,14:07 雹云的 VIL 值就开始从 $45 \sim 50\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 增至 $60\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,继而至 $65\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,在 14:31~15:36 增至 $70\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,最大极值达 $72\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,VIL 值的跃增可以反映冰雹粒子在生长区碰并增长的事实,其水汽来自低层的向上输送,说明雹云已处于酝酿之中。c 单体和 d 单体引起大风时都处于 $\text{VIL} \geq 45\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 期间。e 单体导致了冰雹天气,但其最大 VIL 值仅 $48\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,不过有一点与 b 单体相似,即降雹前 VIL 有明显的跃增,而降雹发生在单体的衰减期。b、c、d 单体在移出江西省后侵入闽西北,VIL 仍维持较大值,因此还进一步引发了闽西北大范围的强对流天气。

综上所述,①强对流风暴的最大 VIL 值都 $\geq 45\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。②产生短时强降水的 VIL 小于雷雨大风和降雹的 VIL,一般产生短时强降水的 $\text{VIL} \geq 30\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,而产生雷雨大风和冰雹的 $\text{VIL} \geq 45\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。较小的 VIL 就能引发强降水,可能是由于降水是一个过程量,它不仅与单体的降水强度有关,还与降水的持续时间有关。③雷雨大风一般出现在单体的发展期和成熟期,而降雹往往发生在衰减期。④降雹前 VIL 有明显的跃增。

6 冰雹指数(HI)

在这次冰雹天气过程中,冰雹指数产品对降雹的预报指示作用表现得非常突出。在南昌多普勒雷达的有效探测范围内出现的降雹天气现象,它都给出了“肯定”指数。图 7 给出了 4 月 12 日弋阳、横峰及铅山(陆续在 15:00、15:12 及 15:20 降雹)和永丰(17:07)降雹前的冰雹指数变化情况。由图可见,降雹前冰雹指数都出现了一个从“可能”到“肯定”的跃变,而正是这个跃变预示着即将降雹。“肯定”指数的预报提前量超过了

10min。



A. 弋阳、横峰、铅山降雹前的冰雹指数变化

B. 永丰降雹前的冰雹指数变化

图7 降雹过程的冰雹指数变化

(空心三角表示可能;实心三角表示肯定)

7 结 语

(1)本次灾害天气过程是受多风暴影响所致,A、B风暴造成一般的灾害性天气,而C风暴形成了飑线并产生了严重冰雹天气。C风暴的强盛阶段出现了弓状回波特征,在弓状回波南端出现反射率极值,17分钟后地面出现冰雹大风天气。

(2)只要发现超级单体风暴特征,就可以确定未来将会发生强对流天气,甚至会出现冰雹天气。反射率剖面图上最强回波高度、TBSS出现高度的降低,预示着冰雹即将降落,先兆时间达10~30分钟。

(3)“逆风区”是暴雨识别和暴雨落区临近预报的有效判据。

(4)低层中尺度辐合线对对流的发展具有促进作用,中尺度辐合线形成后,对流将进一步强烈发展。因此从速度场上可更早地得到对流风暴将发展加强的信息,从而提前预报出强对流天气,对这次强对流天气,速度场的先兆时间达30分至1小时。

(5)飑线回波具有反射率极值和径向速度极值长时间相伴的特点,这可作为识别飑线的一个重要指标。

(6)强对流风暴的最大VIL值都 $\geq 45 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$;产生短时强降水的VIL小于雷雨大风和降雹的VIL,一般产生短时强降水的 $\text{VIL} \geq 30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,而产生雷雨大风和冰雹的 $\text{VIL} \geq 45 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$;雷雨大风一般出现在单体的发展期和成熟期,而降雹往往发生在衰减期;降雹前VIL有明显的跃增。

(7)本过程中,冰雹指数产品对降雹的预警很有效。

以上的结论只是对单一强对流个例的分析结果,是否普遍适用,还有待于进一步研究和验证。

参考文献

- 1 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学. 北京:气象出版社,2001.
- 2 总参气象局. 多普勒天气雷达资料分析与应用. 北京:解放军出版社,2000.
- 3 张沛源,陈荣林. 多普勒速度图上的暴雨判据研究. 应用气象学报,1995,6(3):373~376.
- 4 许爱华,张瑛,刘献耀. 江西“暖区”强对流天气的热力和动力条件诊断分析. 气象,2001,27(5):30~34.

Doppler Radar Data Analysis of “4.12” Hail Event in Jiangxi Province

Guo Yan¹ Ying Dongmei² Liu Dongmei²

(1. Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University 210093

2. Meteorological Observatory of Jiangxi Province)

Abstract

By using the Doppler radar data of the hail event April 12, 2003 in Jiangxi province, the development characteristics of severe convection weather are analyzed and several respects and indexes are put forward about nowcasting of severe convection weather. It's concluded that the bow echo, TBSS, adverse wind regions, low-layer mesoscale convergence line, VIL and the change of hail index can be used for nowcasting of convective weather.

Key Words: Doppler radar severe convection nowcasting

《江西“4.12”降雹过程的多普勒雷达资料分析》附图

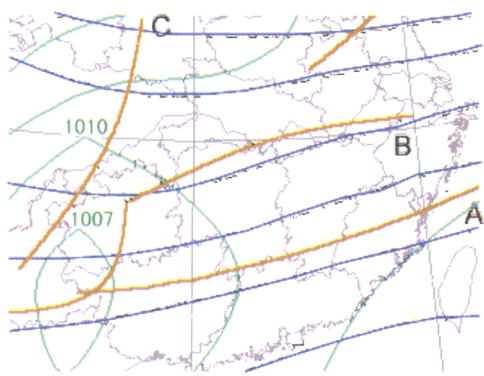


图 1 12 日 08 时形势叠加图

褐色线 A 为地面静止锋，B 为 850 hPa 切变线，C 为 500 hPa 槽线；绿色线为地面等压线；蓝色线为 850 hPa 等高线

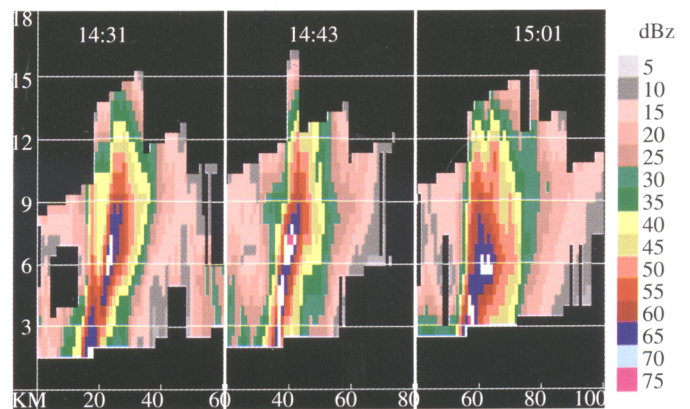


图 3 降雹前后的反射率剖面图

(起点为 99°/100 km，终点为 98°/200 km)

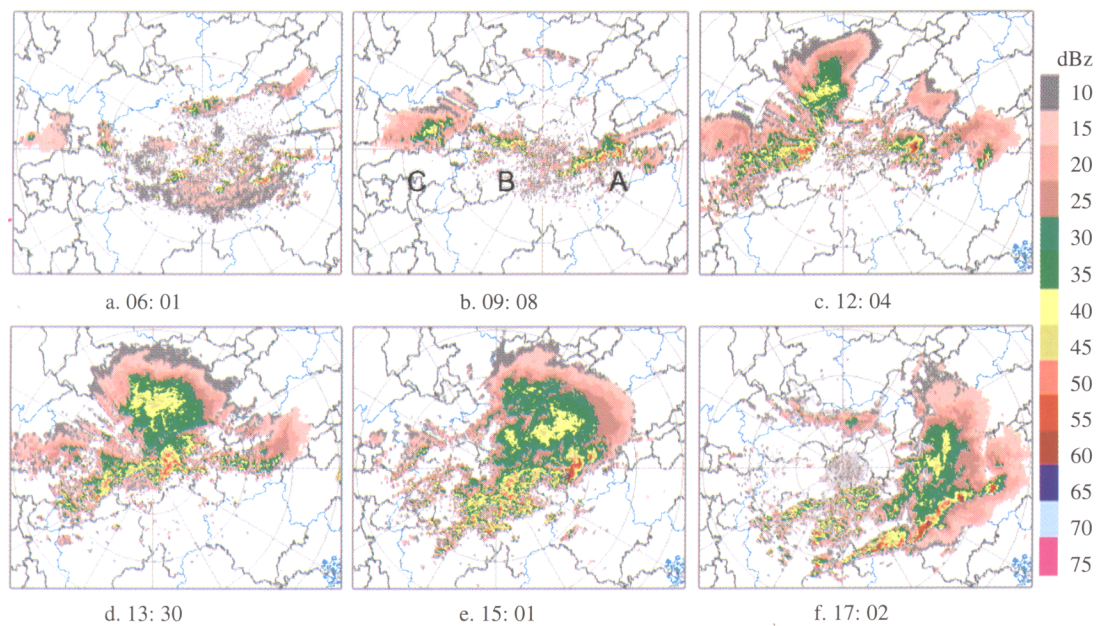


图 2 强度场演变图（距离圈间隔为 100 km）

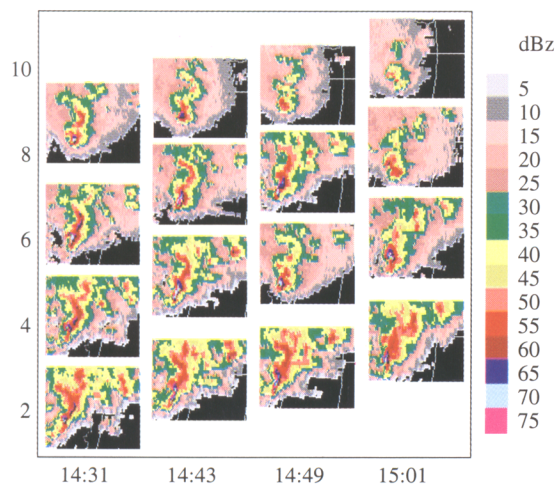


图 4 降雹前后的反射率图

(纵坐标为回波强中心所在高度)

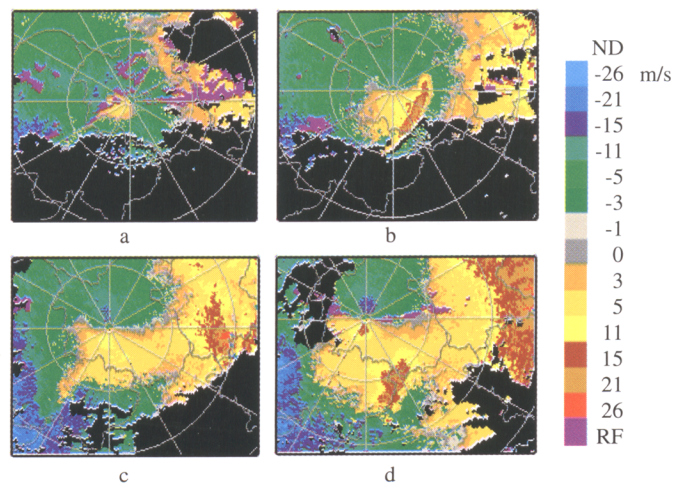


图 5 SRM 产品上的中尺度辐合线

a. 12:40 b. 13:18 c. 14:13 d. 14:55