

文章编号:1006-7639(2005)-01-0039-06

2003~2004 年强对流灾害性天气 多普勒天气雷达产品特征分析

徐阳春¹, 陆晓静^{1,2}, 沈阳¹, 穆建华¹

(1.宁夏气象台,宁夏 银川 750002;2.兰州大学大气科学学院,甘肃 兰州 730000)

摘 要:利用银川新一代天气雷达 2003~2004 年汛期监测到的 12 次强对流天气过程产品,主要包括:强度、速度、组合反射率、冰雹指数、风廓线、风暴追踪信息、垂直积分液态水含量、中尺度气旋等,特别是径向速度回波产品,根据产品图象特征,将其分为 3 类,分别从中尺度天气学原理等进行深入的综合分析,得出多普勒天气雷达的几种重要产品对强对流天气特别是冰雹天气的临近预报具有重要使用价值,同时与常规数字化天气雷达进行了对比分析。

关键词:多普勒天气雷达;产品;特征分析

中图分类号:TN958

文献标识码:A

引 言

新一代天气雷达(CINRAD/CD)有丰富的产品,性能优越,它除提供常规雷达的强度外,还能提供 78 种产品,尤其是多普勒速度产品,能更好地揭示中小尺度系统的物理空间结构和发生发展机理,为监测预警强对流天气提供更可靠的技术保障。

本文应用银川新一代天气雷达 2003~2004 年汛期监测到的 12 次完整强对流天气过程产品,总结分析归纳出新一代天气雷达产品在短时预报中的应用,以供借鉴。

1 天气概况

2003~2004 年汛期银川新一代天气雷达在 5~7 月共监测到 12 次强对流天气过程(表 1),其中有 9 次冰雹,3 次雷雨大风。冰雹过程降雹时间大都集中在 12:00~20:00 这一时段,由不同环流系统影响造成。其中受南下冷空气、东移冷空气偏南气流,残余冷空气影响的各有一次,受东移冷空气低值系统影响居多,共有 6 次,其余均为蒙古低涡,特别是 6 月 14 日和 7 月 13 日的冰雹天气是蒙古低涡和中

尺度系统结合的产物,是本汛期中降雹与受灾最严重的 2 次,观测到的冰雹直径 40 mm,降雹持续时间约 15 min,整个过程在发展移动传播过程中,持续时间达 9 h 之多。在移动过程中,吴忠、灵武、永宁、青铜峡等不同地方降了冰雹,同时还伴有雷雨及短时大风,给银川市和吴忠市农业生产及农业经济收入造成了严重的影响。在这 9 次强对流天气过程中,我们均利用银川新一代天气雷达产品做出了准确、及时的临近预报,其中预报时效最长的是 6 月 14 日冰雹天气,我们提前 2 h 做出预报,预报时效最短的是 7 月 16 日强雷阵雨大风天气提前 30 min 做出预报。总结这 2 a 强对流天气回波特征目的是为了能够更好地利用新一代天气雷达优越探测性能和预报产品,在预报强对流灾害性天气时,能够及早较准确地做出临近短时预报,尽量减少由于灾害性天气造成的损失。

2 径向速度回波产品的分析

多普勒天气雷达的径向速度回波产品反映了降水粒子群相对于雷达的平均径向速度。以下根据 12 次强对流天气过程多普勒径向速度回波特征,同

收稿日期:2004-09-16;改回日期:2004-12-21

基金项目:人事部留学人员择优资助项目,宁夏灾害性强对流短时预报监测方法研究,宁夏气象局短时(6h)降水分布研究项目共同资助

作者简介:徐阳春(1952-),男,宁夏永宁人,高级工程师,主要从事雷达气象短时预报工作。

表 1 宁夏中北部地区 2004 年夏季主要的强对流天气过程

Tab.1 The major severe convective weather events in north and middle region of Ningxia in summer in 2004

日 期	天 气 形 势	降雹暴时间 北京时)	最大直径 (mm)	降雹暴地点
2004 年 5 月 28 日	低值系统	19:00~29 日 05:00	大雨无雹	中宁、吴忠、青铜峡
2004 年 6 月 6 日	蒙古低涡	11:00~17:00	5.0	平罗、贺兰
2004 年 6 月 14 日	蒙古低涡	12:00~21:00	40	吴忠、灵武、永宁
2004 年 6 月 15 日	蒙古低涡	11:00~19:00	7.0	银川、永宁
2004 年 6 月 28 日	偏南气流	13:00~20:00	30	同心、韦州、西吉
2004 年 7 月 4 日	高原低值系统	12:00~18:00	5.0	同心、盐池
2004 年 7 月 13 日	南下冷空气	11:00~20:00	5.0	平罗、银川、永宁
2004 年 7 月 16 日	低值系统	15:00~19:00	强雷阵雨	灵武、银川
2004 年 7 月 17 日	低值系统	14:00~19:00	4.0	银川、中卫、石嘴山
2004 年 7 月 18 日	低值系统	13:00~20:00	6.0	中卫、六盘山
2004 年 7 月 25 日	低值系统	11:00~18:00	5.0	石炭井、吴忠
2004 年 8 月 3 日	残余冷空气	10:00~16:00	暴雨	中宁、吴忠、韦州

时应用中尺度天气学原理,分析总结造成灾害性天气的 3 类中尺度天气系统特征,以提高雷达产品在短时天气预报中的应用价值。

2.1 “逆风区”的回波分析

2004 年 6 月 6 日多普勒天气雷达在 0.5°仰角基本速度图上探测到一次逆风区结构^[1],在 201°,170 km 处,探测到负速度区有正速度存在(速度无模糊),最大负速度值为 17 m/s,被负速度区包围的最大正速度区值也为 18 m/s,逆风区的左侧为辐合区,右侧为辐散区,这种形势有利于中尺度垂直环流的形成,垂直环流有利于水汽的垂直输送,也有利于降水粒子的降落,此次天气以短时大风为主,并伴有中等强度降水及冰雹。逆风区形成的时间,持续面积范围基本和出现短时大风时间面积相吻合,这次短时强降水过程在所经之地大约维持时间均为 1 h 左右(图 1)。

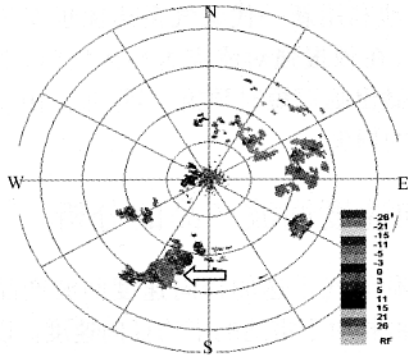


图 1 2004 年 6 月 6 日 13:21(SRW)图(仰角 0.5°,230 km 档)
Fig.1 SRW, June 6, 2004, 13:21(elevation:0.5°, range:230 km)

2.2 后部入流急流区域的强弱判断

有 2 次冰雹过程在径向速度场上表现有明显

地朝向雷达运动的径向速度,即后部入流区其速度最大值均为 25 m/s,7 月 13 日 13:14,25 m/s 的速度区出现在 30°,50 km 处,区域范围小,停留时间短,只被一个体扫扫描过程探测到,实况出现直径 6 mm 雹,6 月 6 日 13:21,25 m/s 的速度区出现在 201°、170 km 处,与 7 月 13 日 13:14,相比 25 m/s,区域范围大,停留时间长,连续 5 个体扫过程均探测到 25 m/s 速度区域,结果实况出现直径为 20 mm 冰雹,这说明同等强度径向速度,回波范围大的区域形成冰雹直径比范围小的区域形成冰雹直径大。

2.3 中尺度气旋强度判断

中尺度气旋常和强烈上升气流相伴,具有组合蓝金涡旋特征^[2],它在新一代天气雷达径向速度图上表现为一对最大正负速度中心组成的小尺度涡旋,能由切变尺度,垂直方向伸展和持续时间 3 个参数衡量中尺度气旋的强度,其中,切变尺度通常由旋转速度来估计。

以 2004 年 7 月 13 日天气过程为例,从连续演变的多普勒资料分析,10:47 在 1.5°仰角的基本速度图上,显示西北方向大约 80 km 处有条带状辐合线正在向偏东方向移动,并且风速逐渐减小;11:11,形成由正、负速度中心的小旋涡,到 12:50,回波显示最大旋转速度平均值为 15 m/s,核区直径 10 km,其零速度线走向基本与雷达径向垂直,两侧分别为正负速度中心形成的一对小涡旋,且负速度区距雷达测站远,正速度区距雷达测站近(图 2)。说明有辐合上升运动,沿 300°径向方向作垂直剖面;发现在 3~5 km 的高度上有垂直伸展厚度达 3 km 的辐合,这显示低层有深厚的辐合上升气流,同时连续 4 个体扫

都满足上述 2 个条件,此阶段是中尺度气旋强度最强的阶段,即成熟阶段,实况 13:50 在中尺度气旋附近开始降雹,冰雹直径达 40 mm,同时伴有短时雷雨大风。

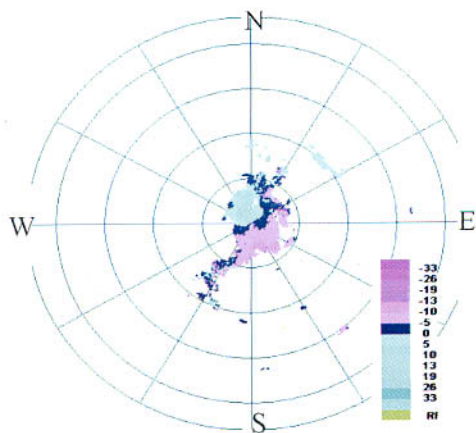


图 2 2004 年 7 月 13 日 13:14 V 图(仰角 1.5°, 230 km 档)

Fig.2 V, July 13, 2004, 13:14 (elevation: 0.5°, range:230 km)

统计表明,宁夏中北部地区 2004 年 12 次强对流天气雹暴过程,其中有 5 次是受不同强度中尺度气旋影响的结果。分析这 5 次天气过程,发现冰雹直径大小与中尺度气旋强度有很大关系。中尺度气旋发展越强,深厚辐合越强,上升速度越快,形成冰雹直径就越大。同时还发现与上升速度最强的核心区周围中等强度的上升气流区域大小有关,相等速度的上升气流核心区,在其周围中等强度区域较大的地方比中等强度区域较小的地方形成的冰雹直径大。

另外,我们也将速度图的中尺度气旋位置与实况冰雹出现的位置进行对比分析,发现冰雹基本都落在中尺度气旋位置附近或其移动路径上,且其成熟阶段与降雹时间基本相吻合。

综上所述,3 种不同类型的多普勒径向速度回波产品可以较好地分析判断冰雹、短时大风等灾害性天气。

(1)“逆风区”产生的短时大风等灾害性天气出现在逆风区范围内,由于 2003 年只探测到一次逆风区,实况为短时雷雨大风,以后随着资料的积累,再进一步加强细致的总结分析。

(2) 后部入流急流区域预示冰雹天气,区域大小与冰雹直径大小有直接关系,区域越大,形成的冰雹直径也越大。

(3) 中尺度气旋能够产生冰雹,雷雨及短时大风等灾害性天气。灾害性天气大多出现在中尺度气

旋附近或其移动路径上,中尺度气旋强弱与降冰雹的直径大小有关,中尺度气旋越强形成冰雹直径越大,降雹时间与中尺度气旋的成熟阶段基本一致(这里需要强调的是由于雷达取样体积随测距增加,故同等强度的中尺度气旋最大径向速度随最大探测距离增加而减小)。

3 多普勒天气雷达与常规天气雷达的对比分析

银川 2004 年汛期有 2 部天气雷达并行进行对比观测,一部为新一代天气雷达(CINRAD/CD),另一部为数字化常规天气雷达(713C),2 部雷达都位于区气象局院内,相距 150 m 左右,通过 2 部天气雷达对比分析,可以看出,多普勒天气雷达有很强的功能优势。

713C 型是经多次改进的数字化非相干天气雷达,可以用于确定回波的位置和强度等,提供的回波强度资料比较单一,仅能反映对流天气的现状,用它探讨中小尺度的细微结构,特别是风场结构和对预测未来天气变化比较困难。(CINRAD/CD)天气雷达是一种新型的全相干雷达,它以多普勒效应为基础,通过测定接收信号与发射信号频率的变化信息,强大的信息分析处理能力,还具有获取降水粒子的径向运动速度,并通过速度信息推断实际风速的分布和降水中特别是强对流降水中风场结构特征,为更精确预测对流性天气提供强大的技术支持。为强对流天气深入研究提供更可靠的依据,图 3 是多普勒天气雷达 2003 年 8 月 28 日的回波强度

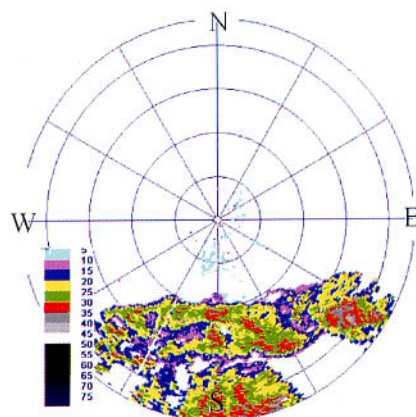


图 3 2003 年 8 月 28 日 09:00 R)

基本反射率图 1.5°仰角,230 km 档)

Fig.3 R, Aug 28, 2003, 09:00 (elevation:0.5°, range:230 km)

图,此图清楚反映了南面偏西方向已出现降水回波,通过径向速度风场分析表明,2 h 后降水回波将影响银川南大部地区。且西北方向还有辐合上升运动,并逐渐发展,会对本区中部地区造成影响,而利用 713C 天气雷达监测则很难做出这样较准确的预报。

与 713C 天气雷达相比,CINRAD/CD 天气雷达提供一套完整高效的自动标校系统,对每次体扫都自动标校,这使多普勒天气雷达产品更为精确,图 4A、B 是 2 部天气雷达在同一时刻用同一仰角(1.5°)探测所得图象产品,由图象产品可以看出,多普勒天气雷达探测云砧现象更为明显,云砧强度范围在 $15\sim 25$ dBz 之间,而常规数字化天气雷达一般是不容易探测到的,在实际工作中,我们利用 2 部天气雷达针对一次过程同时进行观测,对比分析发现 2 部雷达最强回波强度相差 $10\sim 15$ dBz 左右,参见图 5A、B 回归曲线图,可以看出,多普勒天气雷达灵敏度比 713C 数字化天气雷达高,技术参数更优。

同时新一代天气雷达能够提供同屏显示高、中、低不同仰角所得 PPI 产品的显示方式,这既方便预报员看不同仰角的产品配置情况,又方便查看同一时刻强度及其速度等其他产品的配置情况。我们可以分析其提供的各种产品演变特征,推断风暴三维结构,环境风的垂直切变,上升气流强弱及回波演变的不同阶段,预测未来强对流天气变化,而

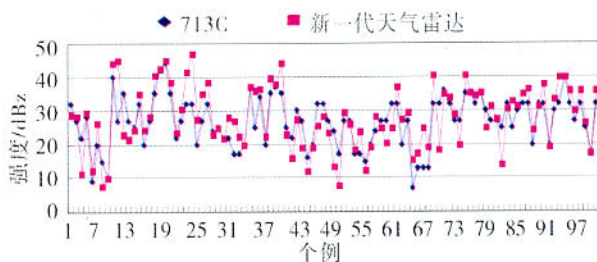


图 5A 回波强度对比图

Fig.5a The echo intensity comparison of 713C and new generation radar

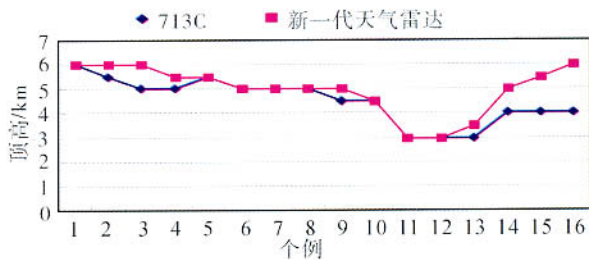


图 5B 回波高度对比图

Fig.5b The echo height comparison of 713C and new generation radar

713C 天气雷达不具备这些功能。

以上内容,分别阐述多普勒天气雷达径向速度与强度产品在灾害性天气中的分析应用,但是,在实际应用中,将其两者结合对预测对流性天气更有帮助。

4 其他产品

分析新一代天气雷达的其它一些产品还能获取更多有价值的信息,这对提高临近强对流天气预报同样具有很重要的意义。

4.1 冰雹指数产品(HI)

冰雹指数产品的基本思路是寻找冻结层之上的高反射率^[3],统计冰雹指数产品预报中,预报有冰雹的信息与宁夏川区实况降雹记录进行对比分析,发现多普勒天气雷达报对 7 次,空报 2 次,无漏报现象。

7 次冰雹的预报落区与实况基本一致,但是在预报时效上有所区别,如:6 月 14 日由南向北移动的冰雹落区,提前 2 h 就已预报出来,6 月 6 日局地生成的冰雹,预报冰雹的时间与实况出现的时间相比提前 30 min,以上说明冰雹指数产品在预报冰雹中有很好的指示作用,具有非常重要的参考价值。图 6 是 6 月 14 日降雹过程中 13:41 显示的冰雹指数产品。冰雹指数产品显现的时间,基本与降雹时间相符。

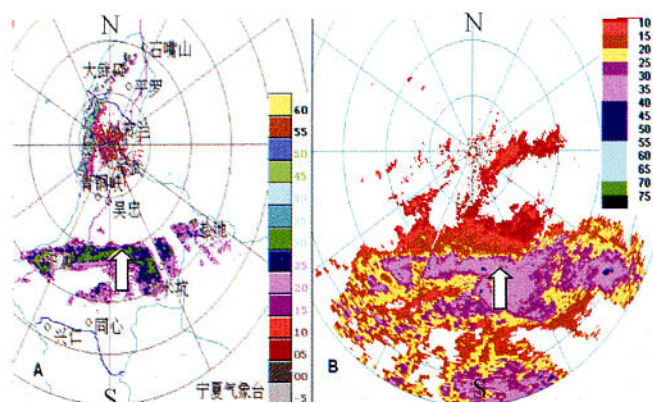


图 4 A) 2003 年 8 月 28 日 09:15 713C) 强度图
(1.5° 仰角, 250 km 档);

(B) 2003 年 8 月 28 日 09:15 714CDN) 强度图
(1.5° 仰角, 230 km)

Fig.4(a) R of 713C, August 28, 2003, 09:15
(elevation: 1.5° , range: 250 km);
(b) R of 714CDN, August 28, 2003, 09:15
(elevation: 1.5° , range: 230 km)

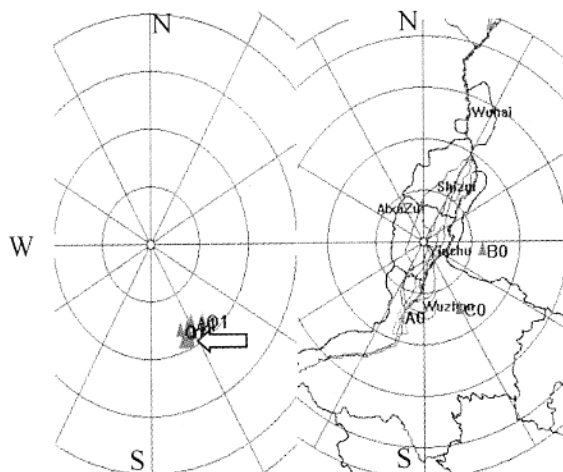


图6 2004年6月14日13:41 HI图 仰角0.5°,230 km档)
Fig.6 HI, July 14, 2004, 13:41 (elevation: 1.5°, range:230 km)

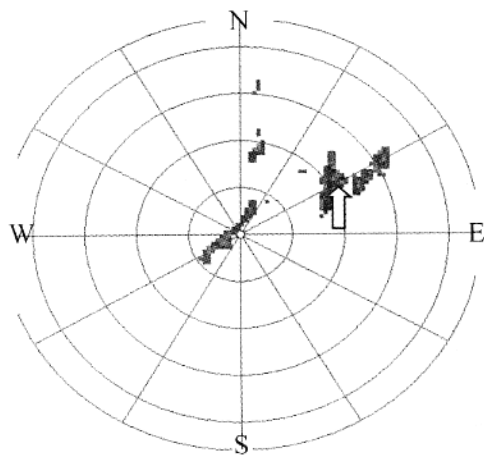


图7 2004年6月15日13:15VIL图(230 km档)
Fig.7 VIL, June 15, 2004(range:230 km)

4.2 垂直积分液态水含量产品 VIL)

垂直积分液态水含量产品 (VIL) 是估算云底上部单位面积上悬挂的可降水质量,其计算公式:

$$VIL = \sum 3.44 \times 10^3 [(Z_i + Z_{i+1})/2] \Delta h^{[3]}$$

式中 VIL 的单位是 kg/m^2 , Z_i 和 Z_{i+1} 是雷达采集层的下层和上层雷达反射率因子。 Δh 是 Z_i 和 Z_{i+1} 层之间的垂直厚度,单位为 m。

宁夏中北部地区 2004 年 9 次冰雹天气过程中,该产品值每次都 $>20 \text{ kg/m}^2$,其中 6 月 14 日,它的最大值达到 45 kg/m^2 ,而 7 月 16 日雷雨大风天气的 VIL 产品最大值是 19 kg/m^2 ,值越大相对应的冰雹直径越大,根据微波散射理论,由于云中冰雹尺度较水滴来的大。还受其它因素的影响,故冰雹后向散射能力更强,也就是说探测到有冰雹时,雷达反射率因子显著增强,使得液态累积水含量的产品值增加,探测到大冰雹时,液态累积水含量值将明显增加。图 7 是 6 月 15 日降雹天气的液态积分水含量产品实况图,含水量达 31 kg/m^2 ,所以液态积分水含量产品对预警监测冰雹,特别是大冰雹有很好的指示作用。

另外,回波顶、风廓线、弱回波区等产品在分析强对流天气时,也可获得一些有用的信息,在实践中,我们也可以根据各种产品的生成原理及其每种产品的特点配合使用。

5 结 论

(1) 多普勒天气雷达有丰富的产品,它信息量大、种类多、精度高,为预测强对流天气,特别是灾害性天气内部的风场提供可靠的信息,在短时临近预报中,发挥重要作用,但是在应用多普勒天气雷达产品时,一定要注意各种产品的生成原理、产品算法特点,同时要注意分析同一产品不同仰角配置情况,以及各种产品之间的相互关系和探测特点。

(2) 分析 3 类径向速度回波产品发现,中尺度气旋能够产生冰雹、雷雨及短时大风等强对流灾害性天气,灾害性天气大多出现在中尺度气旋附近或其移动路径上,中尺度气旋强弱与冰雹直径大小有关,中尺度气旋越强,形成冰雹直径越大,降雪时间与中尺度气旋成熟阶段基本相吻合,逆风区产生的短时大风等灾害性天气出现在逆风区范围内,后部入流急流区域预示有冰雹天气,区域越大,形成冰雹直径也越大。

(3) 综合分析应用上述各种产品,能够较准确地判断临近强对流天气的性质及落区,也为人工影响天气实时进行增雨防雹作业提供可靠依据。

参考文献:

- [1] 张沛源,陈荣林.多普勒速度图上的暴雨判据研究[J].应用气象学报,1995,3:373-378.
- [2] 中国气象局培训中心.新一代天气雷达讲义[M].2003.368-376.
- [3] 胡明宝,汤达章.多普勒天气雷达资料分析与应用[M].北京:解放军出版社,2000.235-248.

Analysis of Doppler Radar Products Features of Severe Convective Events in Ningxia in 2003 and 2004

XU Yang-chun¹, LU Xiao-jing^{1,2}, SHEN Yang¹, MU Jian-hua¹

(1.Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan 750002, China; 2. Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Using the new generation weather radar(CINRAD) data including echo intensity, velocity, composite reflectivity, hail index, profile, storm tracing information, VIL and meso-cyclone, 12 severe convective weather events occurred in 2003 and 2004 in Ningxia were studied. According to image characteristics, radial velocity products were classified as 3 types, and were analyzed respectively from meso-scale synoptic principle. Results show that the products of CINRAD are useful to forecast severe convective events, especially hail. Meanwhile, the comparison analysis was given also between CINRAD and routine weather radar in this paper.

Keywords: Doppler weather radar; products; feature analysis