

杨金红,吴蕾,李瑞义,等. 雷达监测产品在 2021 年强对流天气中的应用分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(2):93-97.

Yang Jinhong, Wu Lei, Li Ruiyi, et al. Application analysis of radar monitoring products in severe convective weather in 2021 [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(2): 93-97.

雷达监测产品在 2021 年强对流天气中的应用分析

杨金红¹, 吴 蕾¹, 李瑞义¹, 孟昭林¹, 姚 聘¹

(中国气象局气象探测中心, 北京 100081)

摘要: 利用雷达三维组网产品、雷达风场反演产品、冰雹识别组网产品、龙卷涡旋特征识别移动路径产品, 对 2021 年华东、华中、东北等地发生的 4 次强对流天气进行了应用分析。结果表明, 雷达三维组网产品完整地记录了涉及范围较广的 4-30 雷暴大风从初生到消亡整个发展演变过程, 该产品叠加地面单站大风、雷电活动情况更能直观地反映出雷暴、大风出现的范围和强度; 冰雹识别组网产品识别出的冰雹尺寸等参数与实况出现的情况基本相符; 雷达风场反演产品能很好地揭示龙卷的旋转程度; 经过质控后的龙卷涡旋特征产品一定程度上能够反映龙卷移动路径; 双偏振相关系数 CC 产品又为龙卷是否着地提供了很好的判断依据。

关键词: 雷达监测; 雷暴大风; 风场反演; 龙卷涡旋特征

中图分类号: P412.25

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.2.16

引言

中国气象局气象探测中心于 2018 年启动综合气象观测产品系统建设, 研发了多种类综合气象观测产品, 其中雷达三维组网产品、组网冰雹识别产品等经过近两年的修改完善, 在强对流监测、暴雨监测, 以及重大活动气象保障服务中发挥了重要作用。

目前国内外对雷暴大风、冰雹、龙卷发生机理做了许多统计或研究, 余蓉等^[1]对华北、华中、华东区域雷暴大风的分布及年代际变化进行详细分析, 初步讨论造成这种变化的可能原因。龙柯吉等^[2]对四川盆地出现雷暴、大风站点对应的雷达回波特征进行了统计分析, 并指出这些特征可对雷暴大风的预警提前 10min。丁青兰等^[3]总结了北京暖季雷暴大风的地理分布和气候概率, 以及柴东红等诸多学者^[4-7]对雷暴大风环境的天气气候学特征、时空分布变化、成因等进行分析和研究, 都提出了一些有意义的特征指标。李国翠等^[8]利用雷达三维拼图、地面灾害大风等数据, 并基于模糊逻辑法建立并识别大风的算法, 为预警大风出现的位置提供了基础。王福侠

等^[9]对多个出现雷暴大风个例回波特征进行统计分析, 得出雷暴大风预警的 3 个指标, 出现其中一个或多个特征均可发布雷暴大风预警。彭建东等^[10]、许云杰等^[11]、覃皓等^[12]基于单站雷达对冰雹的特征进行了分析, 提出了几个冰雹预警的关键性指标。

针对龙卷天气, 近年来随着雷达双偏振技术的升级, 对龙卷的观测与识别取得了显著进展^[13-15]。多地开展的 S 波段雷达与 X 波段雷达协同观测和精细化探测试验为龙卷等小尺度天气的捕捉提供了精细化探测手段, 相控阵天气雷达的出现, 更是将龙卷的捕捉、结构特征的显示向前迈进了一步^[16], 这些新技术、新试验在一定程度上能够提高龙卷的监测能力, 但都处于试验阶段。刘俊等^[17]为了支撑苏北龙卷监测网的建设, 研究了苏北龙卷雷达组网策略, 取得较好的效果。在龙卷分析与算法识别上, 大都仅限于 WSR-88D 算法, 其识别的虚警率较高, 中国气象局气象探测中心在原算法基础上做了些质控, 降低了虚警率, 研发了龙卷涡旋特征识别移动路径组网产品, 在 2021 年发生的两个龙卷监测中发挥了效益。

本文主要利用中国气象局气象探测中心研发的

收稿日期: 2022-04-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1507303)

作者简介: 杨金红(1974—), 女, 高级工程师, 主要从事天气雷达数据处理、产品研发工作、产品中试等。E-mail: yangjh0407@163.com

雷达三维组网产品、雷达风场反演产品、冰雹识别组网产品、龙卷涡旋特征识别移动路径产品对 2021 年发生的 4 次强对流天气过程进行复盘分析,以便发现在强对流监测中雷达观测产品存在哪些短板,进一步完善雷达观测产品,更好地发挥雷达产品在强对流监测的应用效益。

1 雷达监测产品在“4·30”江苏雷暴大风、冰雹中的应用分析

受东北冷涡和高空冷空气的影响,2021 年 4 月 30 日 17:00—21:00,华东地区遭受雷暴大风、冰雹等强对流天气袭击,涉及山东、安徽、江苏、浙江等省份,其中江苏省大部分地区日极大风速达 8 级以上,南通沿海监测到 15 级的阵风。徐州、宿迁、连云港等 9 个市出现冰雹,其中宿迁和淮安局部地区最大冰雹直径 5cm,属于大冰雹。

中国气象局气象探测中心研发的雷达三维组网产品是基于全国业务运行 236 部雷达体扫基数据资料,经过一系列非降水回波质量控制后,通过格点插值将质控后的基数据从极坐标系转换为笛卡儿坐标系,形成全国 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 分辨率的三维网格组网数据,并实时地生成多种全国组网产品,产品时间分辨率 10min。该产品不同于目前业务上使用的基于雷达产品数据研发的拼图产品,它是基于雷达基数据的组网产品,包含的信息量更多些,另一方面,大多数质控算法是基于雷达基数据研发,而探测中心集成了多种质控算法于雷达三维组网产品上,从数据质量角度来看,三维组网产品的质量要好些。

1.1 雷达三维组网产品对冰雹监测分析

从 4 月 30 日 17:00—20:00 雷达三维组网产品叠加冰雹识别产品演变过程可看出,17:00,在江苏北部的徐州、宿迁一带有强对流回波发展,17:20 两个 60dBZ 的强回波中心生成,淮安市西北方向冰雹识别产品显示有冰雹发生,地面淮安五里镇、沐阳县吴集镇等多个乡镇出现冰雹,之后,回波快速地向东南方向移动,且强回波单体不断地加强,18:00 在淮安上空分裂成两个强对流单体,在 18:10 风暴单体演变成超级单体,最大回波强度达到 69dBZ,60dBZ 强回波顶高达到 8~9km 左右,表明对流发展旺盛,此时冰雹产品识别出强冰雹概率 96%,冰雹最大直径 58mm,而地面报告淮安市区、淮阴区、淮安区、涟水等地出现冰雹,最大直径 50mm。19:00 盐城、南通北部多地识别出有冰雹发生,识别出的最大冰雹直

径 24mm,灾情直报系统实况描述出现的冰雹最大直径约 20mm 左右。20:00 冰雹识别产品显示盐城东台市东部地区有冰雹发生,冰雹直径 25mm,地面报告冰雹直径 10~20mm。可见,雷达三维组网叠加冰雹识别产品能够连续揭示长时间序列的强对流天气过程,且冰雹尺寸识别接近地面报告实况。

1.2 雷达三维组网产品对雷暴与大风的监测分析

19:00 在冰雹发生区域的后方(图略),有一强对流单体在发展,在该对流单体移动的前方出现了弱阵风锋,到 19:50 该对流单体有所减弱,20:10 该对流单体与前方的强对流单体合并加强,触发了一条 200km 左右的阵风锋,之后阵风锋结构进一步加粗,横扫扬州、泰州、镇江、南通、常州一带,造成这些地区地面出现大范围大风天气,此阶段地面大风范围最广,风力最大,且大风区域出现在阵风锋前进方向的后方。据 30 日 16:00—22:00 江苏地面考核站出现大风站点的统计,受阵风锋的影响,在江苏省沿江及以北地区有 455 个站风速达到 8 级以上($17.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),20:46 江苏海区三友站监测到极大风速达到 $45.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。20:50 南通一带由阵风锋又触发生成了新的对流单体,导致南通多个地方出现大风、冰雹等强对流天气。一直到 22:00,大风开始减弱。

从 17:00—22:00 雷达三维组网产品叠加雷电活动演变情况看,雷电现象主要出现在 45dBZ 以上的回波处,回波强度越大,出现负闪的次数越多,且回波单体排列的越紧密或呈条形状时,雷电活动也较密集,而回波单体排列较分散,则雷电活动也较分散,且雷电活动最多的时间段出现在 17:30—19:00。统计 30 日 16:00—22:00 江苏省雷电活动,共出现 1194 次雷电活动,其中正闪 476 次,负闪 718 次,雷电活动较密集的时段出现在 18:00—20:00,三个时段分别为 345 次、553 次、222 次,表明雷电活动在 19:00 达到峰值。

2 雷达监测产品在龙卷监测中的应用分析

2.1 5 月 14 日江苏、武汉龙卷监测中的应用

5 月 14 日 19:00—21:00,江苏省苏州市吴江区盛泽镇、湖北省武汉市蔡甸区和经济开发区等地分别发生局地强对流灾害性天气并出现龙卷。

2.1.1 苏州龙卷雷达监测分析

从青浦雷达 1.5° 仰角基本反射率产品上看,在 19:00,江苏苏州吴江地区龙卷过程存在明显的钩状

回波(图略),从垂直剖面图可看出在距离雷达 22~30km 之间低层存在有界弱回波区,揭示此区域存在上升气流区,上升气流区的上部中高层回波悬垂结构特征明显,回波随高度向低层暖湿入流一侧倾斜。从放大的反射率因子图(略)可以看出钩状回波非常清晰,速度图上显示,在钩状回波附近出现了明显的中气旋。

从 1.5°仰角差分反射率图上看,对应钩状回波附近其差分反射率值在 0.2~0.8dBZ 之间,对应的相关系数值在 0.85 以下,最小相关系数在 0.5 左右,而其周围的相关系数值较高,形成一种明显的“盆地”现象,相比较而言,这种相关系数图上出现的“盆地”现象比差分反射率图上出现的“盆地”现象要明显得多,相关系数“盆地”现象的出现表明地面有龙卷发生,是由龙卷抽吸到空中的垃圾或碎屑造成的。

龙卷涡旋特征识别产品是龙卷探测算法的输出结果,识别出的龙卷涡旋信号表明此地有龙卷发生的可能。探测中心在原算法基础上做了一些改进并进行组网显示,形成龙卷涡旋特征识别移动路径组网产品。对于江苏苏州市吴江区“5·14”龙卷灾害,该产品显示至少有 3 部雷达先后 25 次监测到 TVS,常州雷达在 16:48—17:30 监测到 6 次,青浦雷达 17:12—18:36 监测到 7 次,杭州雷达 17:40—19:27 监测到 12 次,相关风暴由西向东偏南方向移动了约 122km。

雷达风场反演产品可以揭示龙卷的旋转程度,从青浦雷达与实况分析场融合反演的 2021 年 5 月 14 日 2km 高度和 1km 高度水平风场可以看到在 2km 高度上,在钩状回波及弱回波区处有明显的中气旋结构,且在其南侧有大于 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南急流。在 1km 高度,旋转特征不明显,但也存在气旋性环流,且有入流存在。在低层出现中气旋及气旋性环流,这为龙卷的发生提供了有利条件。

2.1.2 武汉龙卷雷达监测分析

5 月 14 日 20:24 武汉雷达基本反射率因子上显示,风暴单体此时已演变成超级风暴单体,反射率因子达到 60dBZ,风暴前进方向的前方出现窄带回波阵风锋,出现大风天气,20:30 阵风锋结构更加明显(图略),风暴达到最强盛阶段,最大反射率因子达到 64dBZ,出现了钩状回波,55dBZ 的回波高度达到 12km,可见,存在旺盛的上升气流,此时在径向速度图上出现了速度模糊。20:36 回波的强度开始略微

减弱,钩状回波仍维持,20:54 从垂直剖面图(略)可以看出在距离雷达 20km 附近存在弱回波区,上升气流区的悬垂结构较明显。从径向速度场也可以看出钩状回波附近存在着中气旋,最大旋转速度 $20.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,距地约 0.9km。在径向速度的垂直剖面图上也表明系统底部辐合、中高空辐散明显。

在龙卷涡旋特征识别移动路径组网产品上,武汉天气雷达在 19:48 和 20:36 监测到 2 次相应龙卷涡旋特征 TVS,具体移动路径及发生时间(图略)。地面实况报告在 21:00 武汉开发区突发龙卷风和强降雨。可见,龙卷涡旋特征识别移动路径产品对龙卷的预警具有一定的指示意义。

2.2 8 月 25 日辽宁葫芦岛龙卷监测中的应用

受高空冷涡配合低空急流影响,2021 年 8 月 25 日辽宁渤海湾、辽河平原出现大范围雷暴大风和强对流天气,16:00 左右葫芦岛市龙港地区望海寺出现龙卷风天气。

营口双偏振雷达单站监测产品显示,8 月 25 日 15:35 左右,辽宁葫芦岛龙港地区附近有强对流回波在发展,最大回波强度达 60dBZ,之后回波逐渐向东北方向移动,16:00 出现了两条阵风锋(图略),地面出现大风,在 1.5°仰角上,出现了明显的旁瓣回波,地面有冰雹出现,16:12 龙港地区附近已无较强的雷达回波,葫芦岛东北部回波强度减弱至 30~35dBZ,但两条阵风锋的长度更长,结构更加紧密清晰。16:00 的径向速度图显示葫芦岛地区有中气旋存在。从这些分析中可知,地面出现大风、冰雹等强对流天气,但还无从判断有龙卷发生。从营口双偏振雷达相关系数产品上看(图略),在钩状回波处的相关系数在 0.5 以下,比周围相关系数值要低很多,形成了明显的相关系数“盆地”现象,表明确有龙卷风发生。

3 结论

通过以上对 2021 年发生的冰雹、雷暴大风、龙卷等 4 个强对流天气过程的监测分析,得出如下结论:

(1)江苏“4·30”雷暴大风、冰雹过程涉及范围广、强度大,从山东境内一直向偏南方向移动发展,历经江苏大部分地区,在 19 时就出现出流边界一直到 22 时基本结束。雷达三维组网产品、冰雹识别组网产品、以及叠加地面单站大风和雷电产品可以完整地记录雷暴天气整个发展演变过程,相比于单站雷达探测出流边界阵风锋信息量要丰富些。

(2)冰雹识别组网产品能较好地识别出冰雹发

生区域,但在冰雹尺寸上识别结果略高于实际发生情况,这也验证了冰雹识别算法在强冰雹天气情况下的准确性,为下一步冰雹识别算法的中试评估做好铺垫,以便更好地改进冰雹识别算法。

(3)经过质量控制后的龙卷涡旋特征移动路径产品在龙卷的监测中给出了很好的指示,在一定程度上能够为龙卷的预警、灾调提供依据。双偏振雷达相关系数出现的“盆地”现象为识别龙卷的发生更往前迈进了一步。

(4)雷达三维反演风场产品可以很好地揭示龙卷的旋转程度,这在江苏吴江区龙卷的发生过程中得到了很好的验证。

参考文献:

- [1] 余蓉,张小玲,李国平,等.1971-2000年我国东部地区雷暴、冰雹、雷暴大风发生频率的变化[J].气象,2012,38(10):1207-1216.
- [2] 龙柯吉,康岚,罗辉,等.四川盆地雷暴大风雷达回波特征统计分析[J].气象,2020,46(2):212-222.
- [3] 丁青兰,王令,陈明轩,等.近12年北京暖季对流天气的气候特征[J].暴雨灾害,2007,26(2):144-148.
- [4] 柴东红,杨晓亮,吴紫煜,等.京津冀地区雷暴大风天气的统计分析[J].暴雨灾害,2017,36(3):193-199.
- [5] 许霖,姚蓉,王晓雷,等.湖南省雷暴大风的时空分布和变化特征[J].高原气象,2017,36(4):993-1000.
- [6] 农孟松,翟丽萍,屈梅芳,等.两种雷暴大风的结构特征及其环境条件对比分析[J].气象研究与应用,2019,40(2):1-6.
- [7] 黄嘉浩,汤中明,欧坚莲,等.2019年“6.11”广西雷暴大风天气成因分析[J].气象研究与应用,2020,41(2):75-79.
- [8] 李国翠,刘黎平,连志鸾,等.利用雷达回波三维拼图资料识别雷暴大风统计研究[J].气象学报,2014,72(1):168-181.
- [9] 王福侠,俞小鼎,裴宇杰,等.河北省雷暴大风的雷达回波特征及预报关键点[J].应用气象学报,2016,27(3):342-351.
- [10] 彭建东,张丽凡,黄待静,等.闽北春季冰雹 CINRAD 雷达产品特征分析[J].气象研究与应用,2018,39(3):48-52.
- [11] 许云杰,梁依玲,张丁丁,等.2018年5月7日来宾强冰雹雷达特征分析[J].气象研究与应用,2019,40(3):52-55.
- [12] 覃皓,农孟松,赖珍权,等.2020年“1·24”广西大范围冰雹天气过程分析[J].气象研究与应用,2021,42(1):107-112.
- [13] 陈海涛,张晶,姚文,等.辽宁营口2019-08-16龙卷过程双偏振雷达特征分析[J].陕西气象,2020(6):9-14.
- [14] 李昭春,朱君鉴,张持岸等.海南屯昌儋州台风雨带龙卷双偏振雷达探测分析[J].气象,2021,47(9):1086-1098.
- [15] 项阳,吴林林.一次超级单体龙卷双偏振多普勒天气雷达分析[J].气象科技,2021,49(4):579-588.
- [16] Zhang Y, Bai L Q, Mang Z Y, et al. Rapid-Scan and Polarimetric Phased-Array Radar Observations of a Tornado in the Pearl River Estuary[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2021, 27(1):81-86.
- [17] 刘俊,周红根,刘新安等.江苏北部龙卷雷达组网探测策略[J].气象科技,2021,49(2):157-165.

Application analysis of radar monitoring products in severe convective weather in 2021

Yang Jinhong, Wu Lei, Li Ruiyi, Mong Zhaolin, Yao Dan

(Meteorological Observation Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Using radar three-dimensional networking products, radar wind field inversion products, hail identification networking products, and tornado vortex feature identification moving path products, the application analysis of four severe convective weather in East China in 2021 was carried out. The results show that the radar 3D networking product completely records the whole development and evolution process of the thunderstorm gale on April 30 from birth to extinction. The product can more visually reflect the scope and intensity of thunderstorms and gales by superimposing the gales and lightning activities of a single ground station. The hail size and other parameters identified by the hail identification networking product are basically consistent with the actual situation. Radar wind field inversion products can well reveal the rotation degree of tornado. The tornado vortex characteristic products after quality control can reflect the tornado movement path to a certain extent. The dual polarization correlation coefficient CC product also provides a good basis for judging whether the tornado is on the ground.

Key words: radar monitoring; thunderstorm and gale; wind field inversion; tornado vortex characteristics