

文章编号: 2096-1618(2017)05-0487-05

# 一种改进的多普勒天气雷达下击暴流识别算法

杜牧云<sup>1</sup>, 余蓉<sup>2</sup>, 吴涛<sup>3</sup>, 唐巧珍<sup>4</sup>

(1. 中国气象局武汉暴雨研究所 暴雨监测预警湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430205; 2. 湖北省防雷中心, 湖北 武汉 430074; 3. 武汉中心气象台, 湖北 武汉 430074; 4. 宜昌市气象局, 湖北 宜昌 443000)

**摘要:**在下击暴流存在的显著速度场辐散特征的基础上,对旧的利用图像处理技术进行下击暴流识别的算法进行改进,设计一种更加高效的下击暴流识别算法,通过对比发现,新算法较之老算法具有更快的运算速度和更好的识别效果,更能满足未来的业务化需求。

**关键词:**信号与信息处理;雷达应用;多普勒天气雷达;下击暴流;识别算法

**中图分类号:**TN958

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2017.05.004

## 0 引言

下击暴流为雷暴天气中云中下沉气流猛烈冲击地面并扩散而引起的近地面短时强风的灾害现象。下击暴流作为一种灾害性大风,其危害与陆地龙卷相似,即当一股较冷的气流以飞快的速度穿过雷雨中心云层并下落到地面时,就会水平辐散开来,在地面引起剧烈大风。下击暴流的这种强下沉气流和下击暴流触地后形成的环状涡旋将引起两类不同的危害。其中,强下沉气流对飞机的安全起降影响巨大,使飞机在短时间内失去空速,从而造成飞机的意外失事。“下击暴流”的概念最早是由 Fujita<sup>[1]</sup>提出,他将能在近地面产生猛烈辐散风,且风速大于17.9 m/s的强烈下沉气流称为下击暴流。1975-1977年美国有4次飞行事故与下击暴流有关。除此之外,环状涡旋常导致翻船,1984年7月7日在美国田纳西河的一艘轮船的失事就是因此。2015年6月1日发生在长江湖北监利段的“东方之星”沉船事件,经调查组调查认定,正是由突发的下击暴流带来的强风导致这起震惊中外的灾害性事件,此次事故共造成442人死亡。下击暴流中尺度较小的微下击暴流(水平尺度<4 km)发生的频度很高<sup>[2-3]</sup>,如在雷雨天气时微下击暴流发生的概率可达60%~70%,因此对于雷暴多发地区,下击暴流是一种常见的天气现象。下击暴流在世界范围内已引起了大量工程结构物的破坏,尤其是输电线塔结构的倒塌,作为大型生命线工程,输电线结构的破坏将导致供电系统的瘫痪,甚至引发火灾等严重次生灾害,不仅造成重大的经济损失,而且其安全问题直接影响国家生产建设及人民生活秩序。

下击暴流因其具有尺度小,生命周期短,高移动性等特征,一直以来都是短时临近预报预警的难题,而多普勒天气雷达资料具有很高的时间分辨率和空间分辨率,因此也成为监测和预警下击暴流最有效的手段,这也是其他常规资料无可比拟的。目前,中国许多气象学者对下击暴流识别方面进行了研究,并取得了一定的成果。赵东彦等<sup>[4]</sup>对目前国内外利用多普勒天气雷达进行下击暴流研究的情况做了总结和阐述;陶岚等<sup>[5]</sup>通过反射率因子核心下降和低层速度场强辐散的雷达回波特征,开发一种自动识别下击暴流的算法,该算法能很好地识别静止型和移动型的低层辐散特征明显的下击暴流。杜牧云等<sup>[6]</sup>利用图像处理技术对下击暴流进行图像识别,取得了较好的识别效果。在已有研究的基础上,提出了一种改进的下击暴流识别算法,该算法拥有更加快捷的运算速度和更加显著的识别效果。

## 1 下击暴流特征分析

下击暴流在强度回波图上的显著特征是出现“弓”形回波。有时中空微下击暴流可能出现在一条明显的回波带前方,这条明显的回波带强度约为10 dBZ,称为阵风锋。下击暴流的速度场特征为径向速度辐散,其特点是沿雷达扫描径线方向出现一对速度值大致相同而符号相反的径向速度,而且是靠近雷达一侧为负速度极值中心(即向雷达径向速度),远离雷达一侧为正速度极值中心(即远离雷达的径向速度),两个径向速度极值中心的距离长短大致可以判断下击暴流范围大小与强度大小。微下击暴流两个径向速度极值中心的距离越短,极值差越大,下击暴流越强。其中,径向速度辐散特征在下击暴流从中空下击触地的演变过程中逐渐明显。

收稿日期:2017-05-08

基金项目:国家气象行业专项资助项目(GYHY201306008);湖北省气象局科技发展基金资助项目(2015Q04)



像识别算法的参数设置。

表 1 改进下击暴流识别算法相关的阈值参数					
反射率因子/dBZ	间距/km	速度/(m/s)	速度差/(m/s)	方位夹角/°	最小相邻径向数
20	5	10	35	10	3

3 算法检验

利用 2006–2013 年收集的多次下击暴流过程的雷达资料对改进的下击暴流识别算法的实际效果进行检验。在此仅选取其中两次具有代表性的过程做简要分析,并针对之前的下击暴流图像识别算法做对比分析。其中,雷达都是 S 波段多普勒天气雷达(CINRAD-SA),雷达反射率因子和径向速度的距离库长分别为 1000 m和250 m。

3.1 个例分析

2006 年 6 月 10 日 15 时 30 分至 17 时(北京时,下同),一场伴随着 9 级雷雨大风的强降水袭击南昌。图 5 为当天 16 时 50 分的雷达 0.5°仰角下反射率因子和径向速度的 PPI 图(距离圈间隔为 50 km,每个径向射线间隔 30°,雷达位于图的正中间),图中圆圈标示区域即为识别的下击暴流区域(下同)。

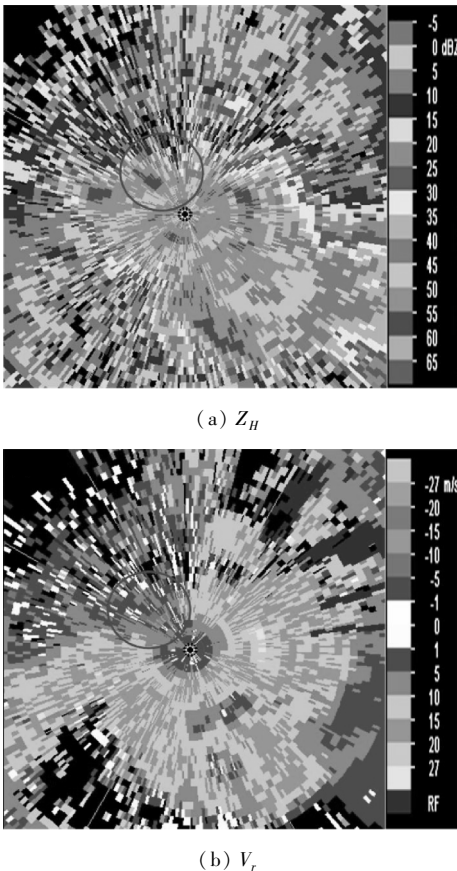


图 3 2006 年 6 月 10 日 16 时 50 分 0.5°仰角雷达 PPI 图

从图 3 可以清楚地看到,圆圈标示区域呈现出明显的正负速度对特征,即近地面辐散流场特征,且正负速度对基本在同一径向方向上,结构非常对称,新算法通过径向速度对的检索和匹配成功地识别该下击暴流区域,识别效果令人满意。

2009 年 6 月 29 日下午,由东北冷涡甩出的冷空气与青岛市上空的暖空气相互交汇,引发青岛市出现强对流天气,从下午 2 时左右开始,青岛市自北向南依次出现了降水过程,并伴有剧烈阵风。不少地方还出现了冰雹,下午 6 时许,暴雨突袭市区,局部地区也下起了冰雹,这次强对流天气过程给多个区域造成了严重的经济损失。图 4 即为 2009 年 6 月 29 日 17 时 17 分雷达 0.5°仰角下反射率因子和径向速度的 PPI 图(雷达位于图的右下角)。

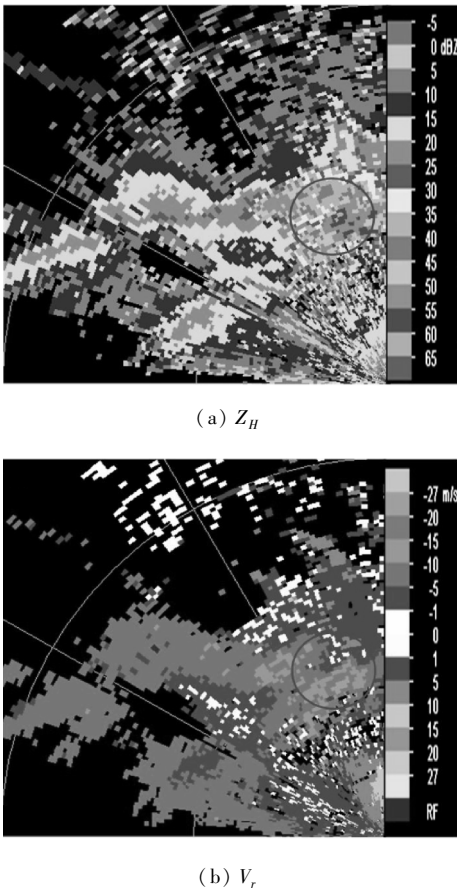


图 4 2009 年 6 月 29 日 17 时 17 分 0.5°仰角雷达 PPI 图

由图 4 发现,圆圈标示区域虽也呈现出正负速度对的特征,但是受环境风场的影响,负速度的速度模值远大于正速度的速度模值,且正负速度对也不在同一径向上,而是存在一定的夹角。正是存在这种速度“不匹配”的情况,旧算法在第一次速度匹配时未能识别出该正速度区,需要进行二次匹配。而新算法依旧能通过检测和匹配径向速度辐散段信息成功识别下击



暴流区域,且运算耗时更短,识别效果明显优于旧算法。用该新算法对其他过程资料进行分析识别也可以得到较满意的识别效果(图略)。

3.2 对比分析

选择 2006–2013 年发生在湖北、江西、山东的 7 次下击暴流过程共计 211 个时次的雷达数据资料作为测试样本对两种算法的识别效果进行对比分析,并通过计算命中率、虚警率和临界成功指数<sup>[11]</sup>对新旧两种下击暴流识别算法的识别效果进行量化对比,对比结果详见表 2。其中:

表 2 两种下击暴流识别算法的识别效果对比

	样本数	正确数	空报数	漏报数	POD/%	FAR/%	CSI/%	平均耗时/ms
旧算法	211	26	25	6	81.3	14.0	45.6	75.41
新算法	211	29	10	3	90.6	5.6	69.1	65.38

由表 2 可见,新、旧两种算法都有不错的识别成功率,成功识别下击暴流的比例都超过了 80 %,但相较之下,新算法的命中率 POD 达到了 90.6 %,仍高于旧算法;与此同时,新算法还有效降低了空报率,其虚假警报率 FAR 从 14.0 % 降低到了 5.6 %,临界成功率 CSI 则由 45.6 % 提高到 69.1 %;除此之外,新算法的运算效率更高,其平均耗时仅为旧算法的 86.7 %,且从实际运算情况来看,对于存在大面积回波的个例,新算法在运算速度方面的提升更加明显。综上所述,新算法比旧算法在识别效果和运算速度方面都有所提高,更能满足未来的业务化运行需求。

4 结束语

以下击暴流的地面辐散流场特征为基础,直接从雷达径向速度的分布特征出发,提出了一种改进的多普勒天气雷达下击暴流识别算法。由多次下击暴流过程实测资料的检验结果可知,新算法相较于旧算法具有更快的运算速度和更好的识别效果。由于目前算法测试多以 CINRAD SA 雷达资料为主,且实际测试的雷达数据量还较少,还有待做进一步的批量试验,以检验该算法的稳定性,且继续优化算法代码以进一步提高运算速度,以期能投入到实际的业务运行中。

参考文献:

[1] Fujita T T. Manual of downburst identification for

$$\text{命中率 } POD = \frac{n_1}{N} \tag{1}$$
$$\text{虚警率 } FAR = \frac{n_2}{n} \tag{2}$$
$$\text{临界成功指数 } CSI = \frac{n_1}{N + n_2} \tag{3}$$

式中, $N$  为雷达探测到下击暴流特征的样本数量, $N=32$ ; $n_1$  为识别下击暴流的样本数, $n_2$  为识别有下击暴流实际却无下击暴流的样本数, $n$  为识别有下击暴流的样本数。

Project NIMROD [ Z ]. University of Chicago, 1978:104–112.

[2] Fujita T T, Tornadoes and downburst in the context of generalized planetary scales [ J ]. J Atmos Sci, 1981, 38:1511–1534.

[3] Fujita T T, The Downburst: Microburst and Macroburst. University of Chicago, 1985:122–130.

[4] 赵东彦, 白洁. 多普勒天气雷达识别和预警下击暴流 [ J ]. 气象科技, 2007, 35 ( 5 ): 631–636.

[5] 陶岚, 戴建华. 下击暴流自动识别算法研究 [ J ]. 高原气象, 2011, 30 ( 3 ): 784–797.

[6] 杜牧云, 肖艳娇, 吴涛. 多普勒天气雷下击暴流图像识别 [ J ]. 气象科技, 2015, 43 ( 3 ): 368–372.

[7] Fujita T T. Objectives, operation, and results of Project NIMROD [ C ]. 11th Conference on Severe Local Storms, AMS, 1979:259–266.

[8] Hjelmfelt M R. Structure and life cycle of microburst outflows observed in Colorado [ J ]. Journal of Applied Meteorology, 1988, 27:900–927.

[9] Potts R. Microburst precursors observed with Doppler radar [ C ]. 24th Conference on Radar Meteorology, AMS, 1989:158–162.

[10] Wilson J W, Roberts R D, Kessinger C, et al. Microburst wind structure and evaluation of Doppler radar for airport wind shear detection [ J ]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 1984, 23:898–915.

- [11] 余蓉,杜牧云,杜九三,等. 基于多对流参数的  
武汉地区雷电活动预报方法研究[J]. 气象科  
技,2016,44(2):269-274.

## An Improved Method of Downburst Recognition based on WSR-88D Doppler Weather Radar

DU Mu-yun<sup>1</sup>, YU Rong<sup>2</sup>, WU Tao<sup>3</sup>, TANG Qiao-zhen<sup>4</sup>

(1. Hubei Key Laboratory for Heavy Rain Monitoring and Warning Research, Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, Wuhan 430205, China; 2. Hubei Lightning Protection Center, Wuhan 430074, China; 3. Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074, China; 4. Yichang Meteorological Bureau, Yichang 443000, China)

**Abstract:** According to the significant low-level divergence characteristic in the flow field of a downburst, an more efficient method of downburst recognition using Doppler radar data is developed by improving the old image recognition algorithm. Through the comparison, it is found that the new algorithm has faster arithmetic speed and better identification effect in contrast to the old algorithm. Moreover, the new algorithm is more suitable for the future business requirements.

**Keywords:** signal and information processing; radar application; doppler weather radar; downburst; recognition algorithm