

利用雷达回波三维拼图资料识别 雷暴大风统计研究^{*1}

李国翠¹ 刘黎平² 连志鸾¹ 周 森² 李 哲³
LI Guocui¹ LIU Liping² LIAN Zhiluan¹ ZHOU Miao² LI Zhe³

1. 河北省石家庄市气象局, 石家庄, 050081
2. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京, 100081
3. 河南省电力公司电力科学研究院, 郑州, 450052

1. *Shijiazhuang Meteorological Bureau Hebei Province, Shijiazhuang 050081, China*
2. *State Key Laboratory of Severe Weather Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China*
3. *Electric Power Research Institute, Henan Electric Power Company, Zhengzhou 450052, China*

2013-06-05 收稿, 2013-09-23 改回.

李国翠, 刘黎平, 连志鸾, 周森, 李哲. 2014. 利用雷达回波三维拼图资料识别雷暴大风统计研究. 气象学报, 72(1): 168-181

Li Guocui, Liu Liping, Lian Zhiluan, Zhou Miao, Li Zhe. 2014. Statistical study of the identification of thunderstorm gale based on the radar 3D mosaic data. *Acta Meteorologica Sinica*, 72(1): 168-181

Abstract Based on the radar mosaic 3D data, automatic weather stations observations and disaster wind data, twenty cases of thunderstorm gale from 2008 to 2012 in the Beijing-Tianjin-Hebei region are statistically analyzed to develop an automated detection of thunderstorm gale with the fuzzy logical based algorithm. The capability of the algorithm is examined. In the method, the six main radar identification indices of ground gale are given with the corresponding membership functions and weight coefficients determined. All the gale is tested and analyzed, including the three types of echo, i. e. the massive echo, banding echo and floccus echo. The results show that the massive echo is triggered by the strong storm monomer with strong echo, higher echo top, bigger vertical integrated liquid water content (VIL) value and faster moving speed, and in this case the gale occurs nearby the thunderstorm cell with the same route as that of the cell; the banding echo mainly contains the squall line and the bow echo with its length greater than the width and the impact range of strong wind located at the forefront of the band echo; the floccus echo generally refers to the mixed echo with large area layer echo embedded by the isolated massive echo, and the strong wind area situated around the storm monomer. The wind range for the three types identified is generally consistent with the real wind, and the hit rate of massive echo, banding echo and floccus echo is respectively 96.2%, 68.6% and 45.3% with the missing rate of respectively 3.8%, 31.4% and 54.7%. Lower omission rate of floccus echos gale is because of weak echo intensity and lower VIL and missing rate is caused by the sparse station distribution and algorithm. This also proved that the automatic identification method is efficiently and feasible, it has important practical guiding significance for an operational system in short-term forecasting and nowcast warning. The work also provides a foundation in warning the position of surface gale.

Key words Thunderstorm gale, Identification method, Radar mosaic data, Fuzzy-logical principle, Statistical study

摘 要 应用雷达回波三维组网拼图数据、加密自动站和地面灾害大风资料, 对 2008—2012 年京津冀地区 20 次区域性雷暴大风天气过程进行了统计。检验了基于模糊逻辑建立的利用回波强度识别大风的算法, 分析了大风出现的位置。该大风识

* 资助课题: 中国气象局“新一代天气雷达建设业务软件系统开发项目”、河南省电力公司电力科学研究院“雷达局部灾害性天气临近预警技术在电网的推广应用”项目、公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906011)、河北省气象局科研项目(13ky04、13ky24)、河北省气象局暴雨和强对流创新团队项目。

作者简介: 李国翠, 主要从事雷达、GPS 资料的天气应用。E-mail: liguocui@sina.com

别算法确定了雷暴大风的6个雷达识别指标及其对应的权重系数和不同季节的隶属函数。检验分析块状回波、带状回波和片状回波3类大风过程的识别效果,结果表明:块状回波类大风是由孤立的强单体风暴引发的,风暴单体具有回波强、回波顶高、垂直积分液态水含量大和移动快等特点,雷暴大风多出现在风暴单体附近且二者移动路径一致;带状回波的长度远大于宽度,主要包含飚线和弓状回波,大风影响范围广且多位于带状回波的前沿一带;片状回波多指大面积层云回波中镶嵌着强回波单体块的混合回波,对应出现的雷暴大风多位于风暴单体的周边区域。3类回波识别到的可能出现大风区域与实测大风范围基本吻合,块状、带状和片状3种类型的雷暴大风命中率分别为96.2%、68.6%和45.3%,漏报率分别为3.8%、31.4%和54.7%。由于垂直积分液态水含量偏低和回波强度弱,片状雷暴大风识别漏报相对较多;空报原因除了与测站分布稀疏有很大关系外,也与识别算法本身有关。识别检验证明雷暴大风综合识别方法是合理可靠、切实可行的,可以为雷暴大风的短时临近预警业务和系统开发提供技术支撑,这一工作也为进一步预警大风出现的位置提供了基础。

关键词 雷暴大风, 识别方法, 雷达拼图数据, 模糊逻辑, 统计分析

中图法分类号 P425.4⁺7 P415.2

1 引言

大风是中国主要的灾害性天气之一。雷暴大风突发性强且破坏力大,但防御时间短,常对工农业生产、交通运输和人民生活造成极大危害。相关雷暴大风方面的雷达研究已有很多。Johns等(1987)指出,弓形回波是产生地面非龙卷风害的典型回波结构;Darrah(1978)分析了强对流天气和回波顶的关系,认为冰雹比龙卷风的回波顶高,而雷暴大风回波顶高相对最低;俞小鼎等(2012)指出雷暴大风临近预报主要基于雷达回波特征,中层径向辐合和弓形回波有很好的指示作用;东高红等(2007)和刁秀广等(2009)指出垂直积分液态水含量是地面灾害性大风的预报指标;王凤娇等(2006)探讨了低层辐合带与飚线雷雨大风的关系;王珏等(2009)指出雷暴大风的主要速度特征是大风核、弓状回波后大风区或尾入流急流;廖玉芳等(2006)和周金莲等(2011)分别针对雷达回波特征和短时临近预报预警业务TITAN产品建立了雷暴大风的预报预警数学模型。上述研究针对的主要对象是单部多普勒雷达的二次产品,雷达指标读取主要依靠预报员主观定性识别,自动化程度低。另外,雷达径向速度产品具有探测范围小、距离折叠和速度模糊等局限性;而且用于预警雷暴大风的中层径向辐合特征多是通过剖面图识别的,自动识别难度大。迄今为止还没有查询到利用雷达拼图数据定量、自动识别雷暴大风的系统或方法。

李国翠等(2013)依据众多学者现有理论研究结果,初步发展了基于雷达组网数据的雷暴大风识别算法。并对产生雷暴大风的典型个例进行了效果检验,认为利用雷达回波识别对流性地面大风算法是

可行的,值得进一步研究。但在投入日常预报、预警业务之前,还有许多问题需要验证和解决。如:如何选择和调整最优的雷达识别指标、加权系数和识别判据阈值等?雷暴大风识别算法的可信度有多高?是否适用于不同季节和不同类型的所有雷暴大风?雷暴大风出现的位置与雷达回波和识别风暴单体的关系?等等。要解决这些问题,大量的个例统计分析和识别效果检验显得尤为重要。

基于以上原因,本研究应用新一代多普勒天气雷达基数据和地面加密自动站风场资料,利用中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室开发的三维组网拼图软件(肖艳姣等,2006;王红艳等,2009)和风暴单体识别和跟踪(SCIT)算法(杨吉等,2012),首先将雷达基数据转化为雷达回波拼图资料,进而对雷达三维组网拼图数据进行风暴单体自动识别和跟踪。确定了雷暴大风识别方程中的雷达识别指标、不同季节的隶属函数和对应的权重系数,对每次过程的识别效果进行了分类检验和统计分析,通过对雷达回波、大风实况和识别风暴单体位置的对比分析,得出了雷暴大风的易发区域。

2 资料选取和方法

京津冀地区雷暴大风多出现在每年的5—9月,且2008年之前有风向和风速观测的自动站很少。因此,样本资料时间选取2008—2012年的5—9月,影响区域为京津冀地区,样本选取日大风超过10个测站的所有区域性雷暴大风天气过程。雷达资料采用北京、天津、石家庄、秦皇岛、沧州、张北、承德和河南濮阳等8部多普勒新一代天气雷达(图1)基数据,水平分辨率为 $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$,时间分辨率为6 min;地面风资料采用京津冀地区加密自动站风场

资料(时间分辨率为 5 min)、大风灾害报告(瞬时极大风速 ≥ 17 m/s 的测站风速和出现时间)以及部分测站地面月报表。其中加密自动站包括国家级测站和区域级测站,近几年多要素加密自动站一直在加密布网中,因此每年的测站个数会有所不同。另外,北京和天津的地面风资料不全。

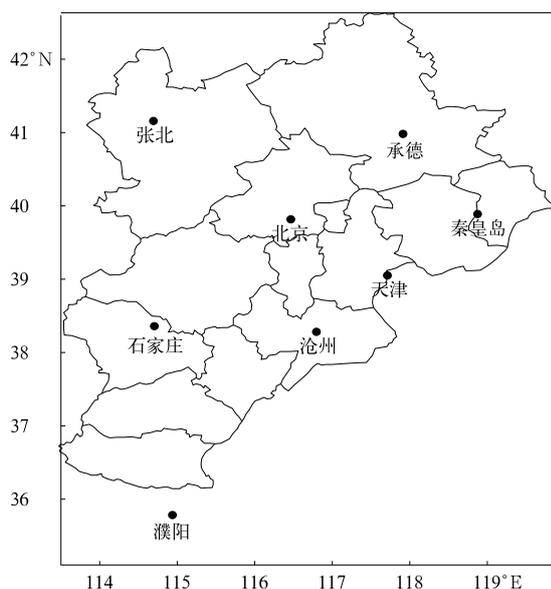


图 1 雷达组网站点分布

Fig. 1 Location of the networking radar stations in the Beijing-Tianjin-Hebei region

为统一标准,此处将风场资料划分为以下 3 个级别:(1)第一类为大风测站:风力等级超过 7 级的测站,包括瞬时极大风速 ≥ 17 m/s(大风灾害报告)或瞬时风速 ≥ 13.9 m/s 资料的综合;(2)第二类为强风测站,风力等级 5—6 级的测站,即瞬时风速 8—13.9 m/s,达不到灾害性大风标准但风速较大的测站;(3)所有风测站,主要目的是为了说明加密自动站的测站密度等分布情况。由于不同过程的测站分布不同,故将所有风测站叠加在底图上显示,而前两类测站的风向和风速用风矢表示。

利用中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室开发的三维组网拼图软件,将雷达基数据转化为雷达回波拼图资料。利用三维格点风暴单体识别和跟踪算法 SCIT,对风暴单体的各个参数进行识别和跟踪,确定每个体积扫描中所有风暴单体所在位置、底部和顶部高度、基于单体的垂直积分液态水含量(VIL)、强中心高度及强度等具体的风暴结构参数。采用模糊逻辑原理(Kessinger, et al, 2003; 江

源等, 2009; 刘黎平等, 2007),从雷达回波拼图资料中提取雷暴大风识别指标,确定每个识别指标对应的 0—1 取值范围的模糊逻辑隶属函数和权重系数,建立雷暴大风自动识别方法。

3 雷暴大风识别方法

3.1 识别判据

根据前期研究成果,影响雷暴大风的雷达参数主要有以下几种:(1)风暴最大反射率因子(MCR):指一个体积扫描中风暴不同高度投影反射率因子的最大值。其值越大,代表的粒子越大,产生的下沉气流也越强,是产生对流性地面大风的重要因子;(2)风暴最大垂直积分液态水含量(MVIL):定义为雷达能够探测到的大气单位面积柱体内的可降水质量之和。其值越大产生对流性地面大风的概率也就越大;(3)垂直积分液态水含量随时间变率(DVIL):是指相邻两个体积扫描之间的垂直积分液态水含量变化,其随时间变率(增大或减小)越大时,产生对流性地面大风的概率也就越大;(4)风暴体移动速度(SPEED):雷暴在成熟和减弱阶段因地面冷外流的影响风暴传播加快,使风暴移动加速,快速移动的回波对雷暴大风的产生非常有利;(5)回波顶高(ET):雷暴大风一般对应的回波顶较高,且初始回波出现在中高层的回波有利于产生雷暴大风;(6)垂直积分液态水含量密度(VILD):定义为垂直积分液态水含量与风暴高度(回波顶与回波底间高度的差值)之比(肖艳娇等, 2006),单位 g/m^3 。统计发现,其与雷暴大风成正相关关系;(7)风暴最大反射率因子下降高度(DCRH):指同一风暴单体强中心当前体积扫描的反射率因子高度与前一体积扫描反射率因子高度的差值。如果两个体积扫描周期内该下降高度超过一定阈值时,产生对流性大风的可能性会增大。除此之外,雷达速度图上的中层径向辐合(MARC)和大风速核、强度图上的弓形回波和阵风锋等特征也是雷暴大风的重要预警指标和回波形态。由于这些指标还不能实现自动识别,因此没列入。

统计结果发现,风暴最大反射率因子、最大垂直积分液态水含量、回波顶高、风暴体移动速度和垂直积分液态水含量密度与雷暴大风成正相关关系。垂直积分液态水含量随时间变率的突升或突降能很好地预示地面大风,因此在识别指标中选取其绝对值表示;风暴最大反射率因子下降高度的突降也可预

警雷暴大风,但统计得到的此类样本太少,不能真实反映对大风的贡献,因此本研究中暂时没对此指标进行提取。最终只选取前6个参数作为雷暴大风的雷达识别指标。

3.2 隶属函数

受强对流过程天气背景的影响,不同季节产生雷暴大风的各个雷达参数阈值也会有所不同。春秋季节干冷,雷暴大风要求的风暴最大反射率因子、最大垂直积分液态水含量和回波顶高的阈值较低;夏季湿热,这3个因子阈值较高。因此将此3个因子划分为夏季和春秋季节两类,并分别给出了每个识别指标的隶属函数取值;而风暴体移动速度、垂直积

分液态水含量随时间变率和垂直积分液态水含量密度由于季节变化不明显,没做具体细分。根据历史统计对不同季节的6个识别指标分别赋予下限和上限两个阈值,当识别指标低于阈值下限时,对应的隶属函数为0;当识别指标高于阈值上限时,对应的隶属函数为1;当识别指标介于阈值上、下限之间时,对应的隶属函数按线性插值计算。根据模糊逻辑原理,对选取的以上6个识别指标进行模糊化处理,计算得到识别指标介于0—1取值范围的模糊逻辑隶属函数。如此计算就可得到各识别指标对应的模糊逻辑隶属函数(图2)。

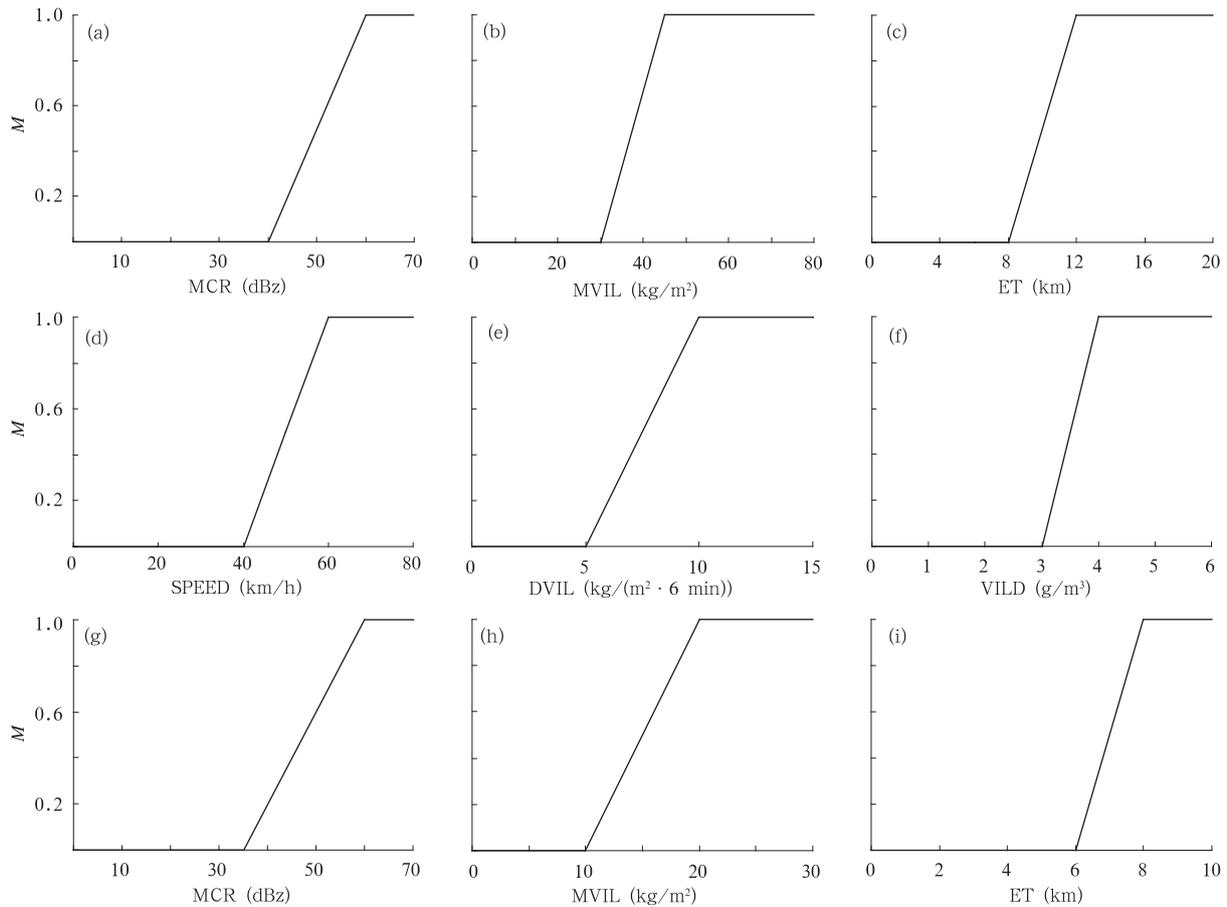


图2 不同季节雷暴大风的6个识别指标对应的隶属函数

(a、b、c. 夏季(6—8月)风暴最大反射率因子、最大垂直积分液态水含量和回波顶高, d、e、f. 风暴体移动速度、垂直积分液态水含量随时间变率和垂直积分液态水含量密度, g、h、i. 春末和秋初(5月和9月) 风暴最大反射率因子、最大垂直积分液态水含量和回波顶高)

Fig. 2 Membership functions of each identification index in the different seasons for the thunderstorm gale (a, b, c. MCR, MVIL and ET in summer (June to August), d, e, f. SPEED, DVIL and VILD, g, h, i. MCR, MVIL and ET in late spring and early autumn (May and September), respectively)

3.3 综合识别方程

根据各识别指标对雷暴大风贡献的大小,采用不等权重法建立了具有模糊逻辑的雷暴大风综合识别方程。其中风暴最大反射率因子、最大垂直积分液态水含量、回波顶高、风暴体移动速度、垂直积分液态水含量随时间变率和垂直积分液态水含量密度对应隶属函数的权重系数分别为 0.2、0.2、0.2、0.2、0.1 和 0.1,雷暴大风的综合识别判据(P)为

$$P = 0.2 \times \text{MCR} + 0.2 \times \text{MVIL} + 0.2 \times \text{ET} + 0.2 \times \text{SPEED} + 0.1 \times \text{DVIL} + 0.1 \times \text{VILD} \quad (1)$$

根据识别判据的大小,将雷暴大风出现的可能性分为 3 级:

(1) 当识别判据 $P < 0.4$ 时,出现雷暴大风的概率小;

(2) 当识别判据 $0.4 \leq P < 0.5$ 时,出现雷暴大风的概率大;

(3) 当识别判据 $P \geq 0.5$ 时,出现雷暴大风的概率很大。

为提高自动化程度和便于业务应用,每种类型和不同季节对应的大风识别判据阈值是相同的。根据上述思路和综合识别判据方程,在雷达每个体积扫描时次的雷达拼图中,每个被识别和跟踪到的雷暴单体都会对应一个综合识别判据,并由此可推断该单体可能产生雷暴大风概率的级别。

4 识别效果检验

4.1 识别标准

哪个风暴单体可能产生雷暴大风? 对应雷暴大风的概率有多大? 识别检验时,大风测站和风暴单体如何进行空间和时间上的对应? 为分析解决这个问题,首先需要确定风暴单体与对应风速估算问题。定义以下标准:(1)当识别判据小于判据阈值下限 0.4 时,取 $0.15^\circ \times 0.15^\circ$ 经纬度范围,在此矩形范围内的所有测站中,搜寻最近测站的风速作为风暴单体对应的风速;(2)分析空报情况:当识别判据大于判据阈值上限 0.4 时,选取 $0.3^\circ \times 0.3^\circ$ 经纬度范围,搜寻在此矩形范围内的瞬时风速最大的测站风速代替风暴单体的风速,时间可扩大到相邻的后 2 个体积扫描;(3)分析漏报情况:即当实况测站风速超过灾害性大风标准时,搜寻匹配对应的风暴单体。在当前体积扫描或前两个体积扫描的时段内,以 0.3°

$\times 0.3^\circ$ 作为经纬度范围,搜寻识别判据最大的风暴单体与大风测站对应。

4.2 数据及分类

统计京津冀地区 2008—2012 年 5—9 月雷暴大风天气过程,选取日大风出现站数大于 10 站的所有区域性雷暴大风天气过程。统计得到 20 次雷暴大风过程(表 1),累计大风测站样本 361 站次。

产生雷暴大风的雷达回波有多种类型。为全面分析雷暴大风识别方法的效果和可行性,对以上 20 次雷暴大风天气过程进行分类检验。首先按照反射率因子产品的回波形态,将雷达回波分为块状、带状和片状 3 种类型。其中块状回波为对流单体回波,多表现为孤立风暴单体块;带状回波属于对流性降水回波,回波的典型特点是长度远大于宽度,传播方向与回波带垂直,一般与飚线和弓形回波对应;片状回波多与大面积层状云降水回波相联,表现为层状云回波或积云层状云混合降水回波。通过对所有大风天气过程的回波分类,共得到块状回波 2 例,带状回波 8 例,片状回波 10 例。下面分别对每种类型回波的大风过程进行分类识别检验。

4.3 带状回波检验

4.3.1 典型个案

2011 年 6 月 7 日,除保定、沧州以外的河北省其他 9 个地(市)均出现雷暴大风天气过程。采用北京、天津、石家庄、张北、承德、秦皇岛和河南濮阳等 7 部多普勒天气雷达进行拼图,对 2011 年 6 月 7 日 15—22 时(北京时,下同)的雷达回波拼图数据进行风暴识别和跟踪。利用大风识别判据方程,定量计算所有 71 个体积扫描内被识别到的风暴单体的雷暴大风识别判据。

为分析雷暴大风出现位置与雷达回波的对应关系,绘制相邻最近时刻雷达回波、实况大风以及识别对流单体三者的叠加图(图 3)。图中所有风测站以小黑点表示,强风测站和大风测站用由风向杆和风羽组成的风矢表示;识别到的风暴单体分 $P < 0.4$ 、 $0.4 \leq P < 0.5$ 和 $P \geq 0.5$ 三种级别。

从雷达回波演变分析,影响此次大风天气过程的雷达回波范围大,跨北京、天津和整个河北省范围,只是在保定中部一带有断档;回波长度远大于宽度,属于东北—西南走向的带状回波;回波自西北向东南移动。通过分析每个体积扫描带状回波与地面实况大风位置对比看出,地面大风多出现在强风

表 1 京津冀地区雷暴大风天气过程

Table 1 The weather process of real thunderstorm gale in the Beijing-Tianjin-Hebei region

日期	时段	大风影响区域	回波类型
2008年5月3日	09—17时	北京、天津、邢台、邯郸、保定、衡水、沧州、廊坊、张家口	片状
2008年6月23日	15—20时	北京、天津、石家庄、保定、廊坊、沧州、衡水	带状
2008年6月25日	14—23时	石家庄、张家口、承德、邢台、邯郸、沧州	带状
2009年7月23日	14—21时	北京、天津、石家庄、保定、衡水、沧州、廊坊、张家口、承德、唐山、秦皇岛	带状
2009年7月24日	23—02时	邢台、邯郸	块状
2009年8月27日	16—20时	石家庄、邢台	块状
2010年6月17日	14—21时	天津、秦皇岛、唐山、沧州	片状
2010年7月31日	14—21时	石家庄、保定、邢台、邯郸	片状
2011年5月26日	13—21时	石家庄、邢台、保定、张家口、承德	片状
2011年5月30日	12—17时	保定、廊坊、张家口、承德、唐山	片状
2011年6月6日	14—19时	石家庄、邢台、邯郸、张家口	片状
2011年6月7日	16—21时	石家庄、邢台、邯郸、衡水、廊坊、张家口、承德、唐山、秦皇岛	带状
2011年6月23日	13—21时	北京、石家庄、保定、张家口、承德	带状
2011年7月26日	19—23时	石家庄、保定、衡水、沧州	带状
2011年8月9日	16—02时	石家庄、邢台、邯郸、保定、衡水、廊坊、承德	片状
2012年5月25日	13—19时	石家庄、保定、衡水、沧州、廊坊、张家口	片状
2012年6月9日	14—21时	石家庄、保定、沧州、廊坊、张家口、承德、唐山、秦皇岛	带状
2012年6月21日	15—20时	石家庄、邢台、邯郸、保定、廊坊、张家口	带状
2012年7月26日	15—19时	石家庄、邢台、衡水	片状
2012年9月27日	12时—17时30分	保定、衡水、沧州、张家口、唐山、秦皇岛	片状

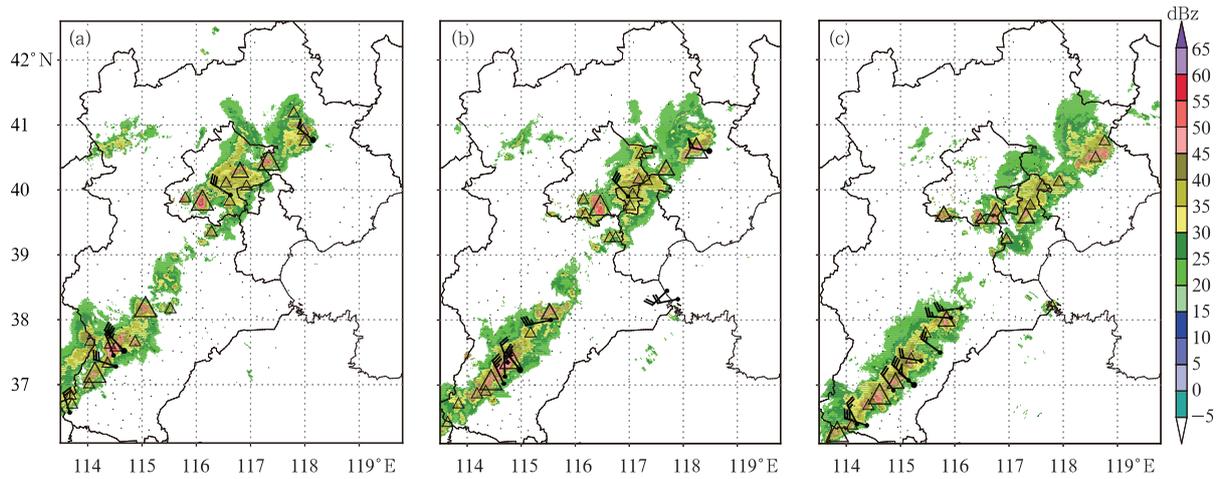


图 3 2011年6月7日18时(a)、18时30分(b)、19时(c)的雷达回波、被识别风暴单体和大风测站

(●:风测站, ●:强风测站, ●:大风测站;

△: $P < 0.4$ 风暴单体, △: $0.4 \leq P < 0.5$ 风暴单体, △: $P \geq 0.5$ 风暴单体)

Fig.3 Radar echoes, real thunderstorm gale and identified thunderstorm cells at 18:00 BT (a), 18:30 BT (b), 19:00 BT (c) 7 June 2011

(●: all wind station, ●: strong wind station, ●: gale station;

△: $P < 0.4$ thunderstorm, △: $0.4 \leq P < 0.5$ thunderstorm, △: $P \geq 0.5$ thunderstorm)

暴单体的附近或带状回波的前沿一带,地面大风风向大多为西北风,与风暴单体移向相同。以18时30分为例(图3b),此次体积扫描识别到可能出现雷暴大风的风暴单体5个,其中2个单体分别对应邢

台巨鹿 24 m/s 的西北风和承德宽城 20 m/s 的偏西风,识别判据分别为 0.64 和 0.50,对应出现大风的概率很大;2个单体与廊坊的大厂、邢台的任县和南和3个强风测站对应;1个单体没有观测到大风,其

余出现强风的测站也多有弱风暴单体对应。此次过程命中率为 80%，空报率 20%，无漏报。从大风测站和雷达回波的位置对应分析，两个大风测站均位于带状回波的前沿一带。

为检验雷暴大风识别范围和识别位置的对应情况，分别绘制了雷暴大风与雷达识别判据的空间分布和散点图(图 4)。根据判据阈值识别到的可能出现地面大风的风暴单体区域主要有两个：一个位于北京和河北省北部，即张家口、承德、秦皇岛一带；另一个位于河北省中南部，即保定南部、石家庄、衡水、邢台和邯郸一带；与实况大风空间分布区域基本一致。从雷达识别判据与瞬时风速对应的散点图可以看出，瞬时风速与识别判据呈正相关，二者的相关系数为 0.42。瞬时风速大于 10 m/s 的大风测站对应的风暴单体的识别判据值较高，识别判据超过 0.3 的风暴单体多对应着较大的风速。

空间分布图上大风测站与识别风暴单体无对应的以及散点图左上角区域可以反映漏报情况，散点图右下角的区域代表空报情况。可以看出，此次过程的漏报率相对较低，空报率高。分析漏报的原因主要有以下几点：(1) 风暴单体对应风速的估算有一定误差：某测站当连续几个体积扫描瞬时风速连续超过大风标准时，存在重复计数情况；(2) 识别范围的选取：由于不同类型回波产生雷暴大风的区域和远近有一定差别，程序判断识别到的对流单体存在

误判情况；(3) 与大风多发区域有一定关系。在空间分布图上位于邢台和邯郸两地区东部一带的大风没有对应风暴单体出现。经分析同时刻的对应关系看出，此区域大风出现在飚线带状回波的前沿一定距离，而且带状回波上被识别风暴单体的识别判据值大多低于大风阈值下限，因此没能被正确识别出来。究其原因：一方面是因为距离雷达中心远，观测到的回波强度偏弱；另外也与沙土地特殊地理环境导致的大风多发有关。空报的主要原因与加密自动站时空分布密度有关，一方面是测站空间分布稀疏，出现大风的位置可能没有测站分布；另一方面就是测站的时间分辨率不足，瞬时极大风速不能被捕捉到。此外，空报原因还与识别算法所选用的指标以及隶属函数本身有关。所选指标在统计意义上与大风均有一定的相关性，但对于不同类型的某个个例，不一定对应很好。比如：部分识别判据高的风暴单体对应的灾害天气以短时强降雨或冰雹为主，对应的风速不一定能达到灾害大风标准。

为减少程序估算误差，分析识别漏报原因，对本次过程的 43 次大风测站逐个进行识别判据和对应的识别指标(表略)分析，识别判据超过阈值的有 28 个测站，即大风命中率为 65.1%，漏报率为 34.9%。分析识别指标对大风的贡献率和回波特点，有 4 个测站回波强度低于识别指标的阈值下限，大风出现时未能识别到风暴单体，其余测站的风暴最大反射

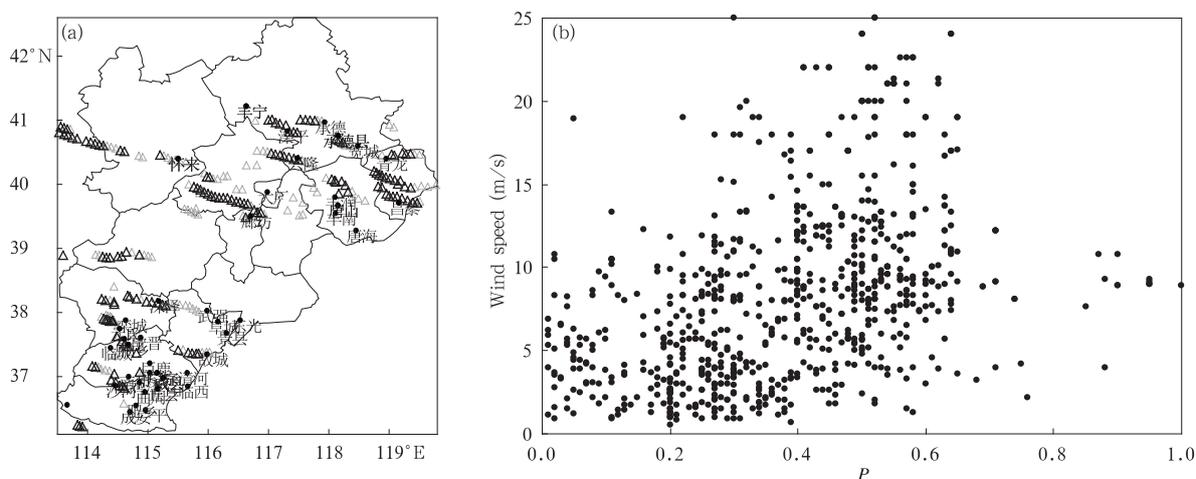


图 4 2011 年 6 月 7 日 15—22 时雷暴大风识别判据的空间分布(a)及其与瞬时风速的散点图(b)

(●: 大风测站; △: $0.4 \leq P < 0.5$ 风暴单体; △: $P \geq 0.5$ 风暴单体)

Fig. 4 Comparison between the gale station and the identified thunderstorm cell from 15:00 to 22:00 BT 7 June 2011

(a. spatial distribution, b. scatter diagram between the identified criterion and the instantaneous wind speed;

●: gale station, △: $0.4 \leq P < 0.5$ thunderstorm cell, △: $P \geq 0.5$ thunderstorm cell)

率因子 35—60 dBz;除唐山和丰润外,其他大风测站的风暴最大垂直积分液态水含量普遍低于 30 kg/m^2 ,垂直积分液态水含量密度超过阈值下限的也仅有 4 站,说明垂直积分液态水含量值较小,对大风识别几乎没有贡献;除 7 个测站无观测外,79.1% 风暴移速超过 40 km/h ;81.4% 测站的回波顶高超过 8 km,说明此次飊线大风天气过程的典型特点是回波移速快,回波顶高,但对应的垂直积分液态水含量值普遍偏小。

4.3.2 总体识别

表 2 中列出的 8 次雷暴大风天气过程属于带状回波类。此类回波长宽比大,回波分布范围和大风影响区域广。利用回波识别方程,定量计算所有体积扫描内被识别到的风暴单体的大风识别判据,8 次过程的识别成功率均在 45% 以上,其中共 188 个测站监测到大风灾害,其中 129 个符合识别判据阈值标准,命中率为 68.6%,漏报率为 31.4%。

表 2 带状回波大风过程和识别准确率
Table 2 The gale process of banding echo and its accuracy rate of identification

时间	大风总数	识别站数	命中率
2008 年 6 月 23 日 15—20 时	23	15	78.3%
2008 年 6 月 25 日 14—23 时	25	15	60.0%
2009 年 7 月 23 日 14—21 时	32	25	78.1%
2011 年 6 月 7 日 16 时—21 时 30 分	43	28	65.1%
2011 年 6 月 23 日 13—21 时	13	10	76.9%
2011 年 7 月 26 日 19—23 时	19	18	94.7%
2012 年 6 月 9 日 14—21 时	20	9	45.0%
2012 年 6 月 21 日 15—20 时	13	9	69.2%
合计	188	129	68.6%

此类回波识别检验出的大风范围与实况风场基本吻合,同时刻识别到风暴单体位置与实况大风基本对应,风向多沿风暴单体移动路径;从地面大风站点分布与雷达回波特征对比看出,此类灾害性地面大风影响范围广,大风多出现在带状回波的前沿。

4.4 块状回波检验

4.4.1 典型个例

2009 年 8 月 27 日 16—20 时,河北省中南部的石家庄、邢台和衡水等地区先后遭遇突来强对流天气影响。16 个县级观测站风力超过 8 级,其中石家庄的晋州和辛集、衡水的枣强瞬时最大风力达 10 级 (25 m/s 以上),石家庄辛集和邢台宁晋等 7 县(市)

还伴有冰雹。由于出现大风的测站均处于石家庄多普勒雷达探测范围,故仅选取石家庄单部雷达基数据进行拼图分析和雷暴大风识别。基于此类回波呈孤立块状单体分布的特点,故重点从风暴单体跟踪、大风位置、移动路径以及雷暴大风的识别检验 4 个方面分析。

在所有被识别的风暴单体中,出现雷暴大风概率很大(识别判据 $P \geq 0.5$)的风暴单体共跟踪到 5 个。雷暴单体的起止时间、生命期、最大识别判据和对应出现的大风测站如表 3 所示。通过对以上 5 个风暴单体分析得出:①在被识别的风暴单体中,“风暴 1”生命期最短,维持时间不足 0.5 h,实况没监测到大风测站对应,但此风暴单体生命期内所有的识别判据均超过 0.5 且对应的回波强度也较强。根据预报经验产生地面大风的可能性很大,分析其原因可能与该风暴单体位于行唐北部山区,无实时风场观测有关系;②“风暴 2”共持续 25 个体积扫描,生命期超过 2.5 h。17 时—18 时 24 分大风识别判据持续高于 0.8,主要影响地区为石家庄中部和邢台东部,实况 9 县(市)监测到灾害性地面大风;③“风暴 3”位于保定南部到衡水西部一带,17 时—17 时 54 分大风判据超过 0.5。按照识别阈值分析,此时段出现地面大风的概率会很大,实况没有站点监测到大风出现。分析此时段回波变化看出,风暴单体回波的最大反射率因子普遍在 58 dBz 以上,且风暴已发展为超级单体风暴,远超过河北省大风的阈值标准,应该与此区域内无监测站对应有关;④在被识别的风暴单体中,“风暴 4”持续时间是最长的,生命期长达 3.3 h。从 16 时 48 分至 20 时共持续 33 个体积扫描,对应的识别判据最高达 0.88,石家庄东部和衡水西部 8 个县(市)出现的灾害性地面大风都是由其引起的;⑤“风暴 5”是 18 时 30 分开始位于石家庄西部山区原地新生发展的回波块,对应的最大判据值为 0.54 且仅维持 1 个体积扫描时间,对应的风暴单体强度相对最弱,无灾害性大风出现。从风暴单体的移动路径(图 5a)可以看出,这 5 个风暴单体的移动路径均为西北—东南走向且移速较快,与灾害性地面大风出现的走向和区域基本一致。

分析相邻最近时刻雷暴回波、被识别风暴单体和大风实况测站的位置对比可以看出,灾害性地面大风多出现在风暴单体附近且移动路径一致,风向多为风暴单体移动方向,以西北风或东北风为主,但

有时有不确定性。以 17 时 42 分为例(图 5b),此次体积扫描共识别到 3 个雷暴大风出现概率很大的风

暴单体,其中位于石家庄东南部的 2 个单体分别对应辛集 25 m/s 的西北风和赵县 16 m/s 的东北大

表 3 强风暴单体($P \geq 0.5$)的属性及对应出现的大风测站
Table 3 The identified thunderstorm ($P \geq 0.5$) and the real gale stations

风暴单体	起止时间	生命期体积扫描数 ($P \geq 0.5$ 体积扫描数)	最大识别判据 (出现时间)	大风测站 (时间,极大风速 m/s,判据值)
风暴 1	16 时—16 时 18 分	4(4)	0.81(16 时 06 分)	无 灵寿(16 时 29 分,18.0.70) 正定(16 时 58 分,16.0.68) 藁城(17 时 11—13 分,18.0.90) 栾城(17 时 15—21 分,21.0.90)
风暴 2	16 时 24 分—18 时 48 分	25(21)	0.96(17 时 48 分)	元氏(17 时 21—23 分,20.0.90) 高邑(17 时 36 分,17.0.90) 赵县(17 时 44 分,16.0.90) 宁晋(17 时 51 分,20.0.96) 巨鹿(18 时 32—39 分,19.0.69)
风暴 3	16 时 30 分—18 时 54 分	25(9)	0.77(17 时 12 分)	无 无极(17 时 03—06 分,18.0.69) 晋州(17 时 25—26 分,20.0.92) 晋州(17 时 30 分,25.0.91)
风暴 4	16 时 48 分—20 时	33(17)	0.88(17 时 54 分)	辛集(17 时 34—46 分,26.0.89) 冀州(18 时 34 分,17.0.57) 枣强(18 时 48 分,19.0.55) 枣强(19 时 08 分,27.0.66) 清河(19 时 41—52 分,17.0.53)
风暴 5	18 时 30 分—20 时	16(1)	0.54(18 时 36 分)	无

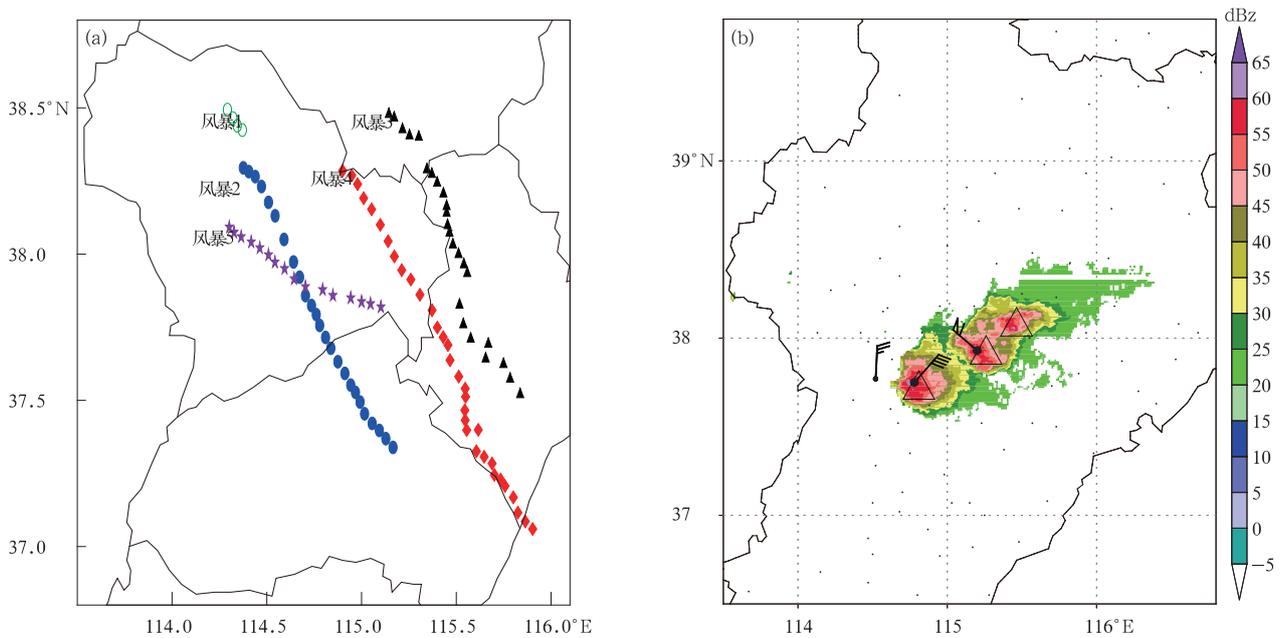


图 5 2009 年 8 月 27 日风暴单体

(a. 移动路径, b. 17 时 42 分雷达回波、被识别风暴单体和大风测站; ●: 风测站, ●: 强风测站, ●: 大风测站; △: $P \geq 0.5$ 风暴单体)

Fig. 5 Identified thunderstorm cells during 27 August 2009

(a. moving path, b. radar echo, gale station and identified thunderstorm at 17:42 BT;

●: all wind station, ●: strong wind station, ●: gale station; △: $P \geq 0.5$ thunderstorm)

风,且大风出现在风暴单体的移动路径附近。

以“风暴 2”单体为例,分析风暴单体各识别指标随时间的变化趋势(图 6)可以看出,实况大风出现的大部分时段内,风暴最大反射率因子、最大垂直积分液态水含量、回波顶高、风暴体移动速度和垂直积分液态水含量密度 5 个识别指标维持高值,与大风成明显的正相关。其中风暴最大反射率因子始终位于 50 dBz 以上,但最大垂直积分液态水含量起伏变化大,垂直积分液态水含量随时间变率的变化不

连续,但其变化的异常点(突升或突降)能代表大风出现。

分析雷暴大风与雷达识别判据的空间分布和散点图(图 7)可以看出,根据阈值识别的大风区域与实况吻合,雷达识别判据与瞬时风速成正相关。瞬时风速超过 10 m/s 的测站对应的识别判据普遍超过 0.4,识别判据超过 0.4 的风暴单体也多数对应着大的风速,识别效果很好。少数空报测站主要原因是加密自动站的布网稀疏限制。

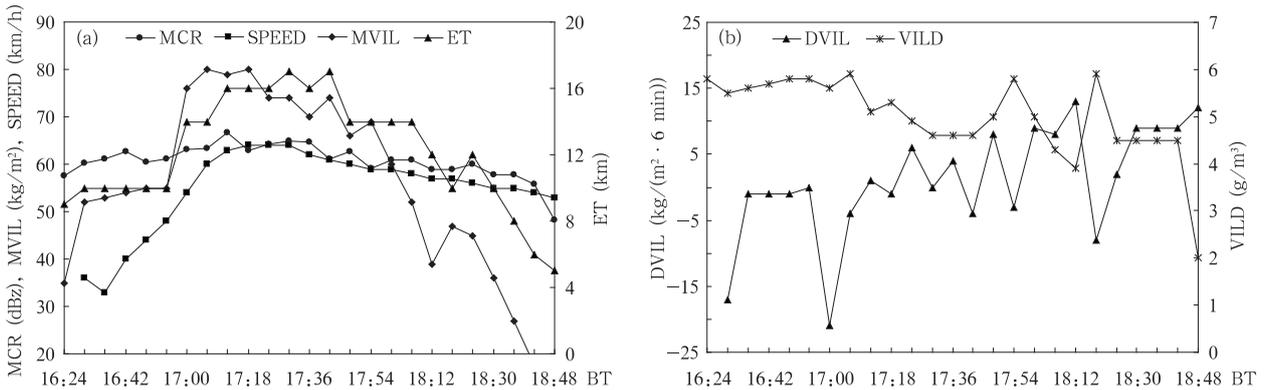


图 6 2009 年 8 月 27 日 16 时 24 分—18 时 48 分“风暴 2”单体识别指标的变化

- (a. 风暴最大反射率因子、最大垂直积分液态水含量、回波顶高和风暴体移动速度,
- b. 垂直积分液态水含量随时间的变率和垂直积分液态水含量密度)

Fig. 6 Temporal variations of the gale criterion of “Thunderstorm 2” from 16:24 to 18:48 BT 27 August 2009

- (a. MCR, MVIL, ET and SPEED, b. DVIL and VILD)

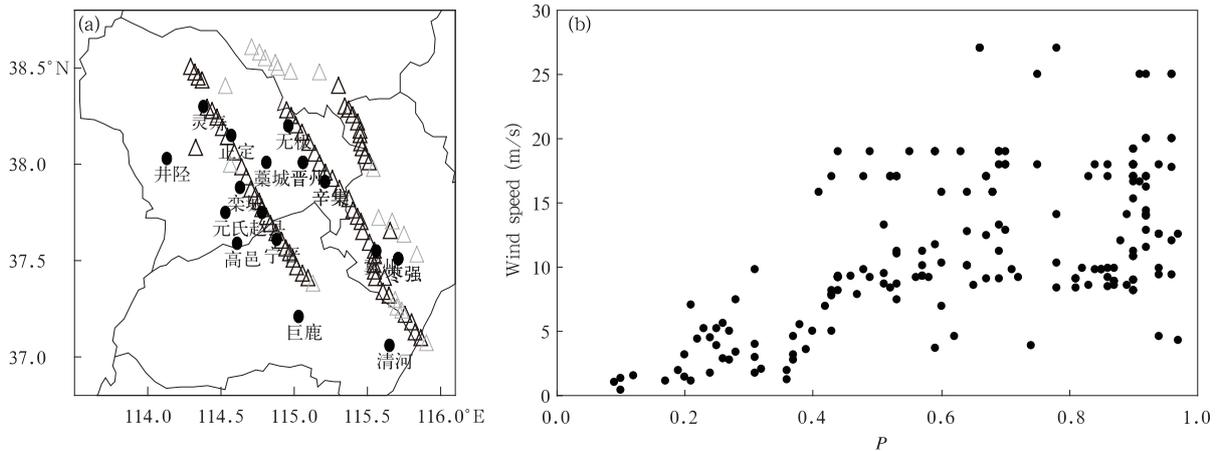


图 7 2009 年 8 月 27 日 16—20 时雷暴大风识别

- (a. 大风识别检验, b. 识别判据与瞬时风速散点图; ●: 实况大风测站, △: $0.4 \leq P < 0.5$ 风暴单体, △: $P \geq 0.5$ 风暴单体)

Fig. 7 Comparison between the gale station and the identified thunderstorm cell

from 16:00 to 20:00 BT 27 August 2009

- (a. gale station and identification thunderstorm, b. scatter diagram between the identified criterion and instantaneous wind speed; ●: gale station, △: $0.4 \leq P < 0.5$ thunderstorm cell, △: $P \geq 0.5$ thunderstorm cell)

此次强对流天气过程中,实况监测到 19 个测站伴有灾害性短时大风出现,其中 18 个大风测站对应被识别出的风暴单体,且计算到的大风判据均在 0.5 以上。这些大风都是由“风暴 2”和“风暴 4”块状单体移动引起的,且大多数超过超级单体风暴标准。除此之外,井陘测站的 16 时 41 分的大风没被算法识别出来。从 16 时 36 分反射率因子强度图(图略)可以看出,该大风是由“风暴 2”(识别指标 0.60)前方的近东—西走向的阵风锋触发的。综上所述,所有出现灾害性地面大风的测站中,除井陘测站未被识别出外,其余大风均被正确识别,大风识别的命中率为 94.7%,且识别判据均超过 0.5。

4.4.2 总体识别

2009 年 7 月 23 日夜間出现在京广铁路邢台段沿线的大风也属于此类,过程中 7 个测站的大风均被正确识别出来。在两次过程中共监测到 26 个大风灾害报,对应单体风暴的 6 个识别判据值普遍较高,其中 25 个符合识别判据阈值标准,命中率达 96.2%。

此类灾害性大风天气过程是由强块状单体风暴引发的,风暴单体具有回波强度大、垂直积分液态水含量及其密度值高、移动快等特点。识别到的风暴单体路径呈直线分布,灾害性地面大风多出现在风

暴单体移动路径附近;风向大多沿风暴单体移动方向,但有不稳定性。此类大风的识别判据值高,对应的识别正确率高。

4.5 片状回波检验

4.5.1 典型个例

2012 年 5 月 25 日下午河北省中部的石家庄、保定、衡水和沧州一带出现雷暴短时大风天气。采用北京、天津、石家庄、张家口、承德、唐山和沧州 7 部雷达进行拼图,对 13—19 时的雷达回波拼图数据进行风暴识别和跟踪。利用回波识别判据方程,定量计算所有体积扫描被识别到的风暴单体的大风识别判据。

此次雷暴大风天气过程中,雷达回波以层状云降水回波为主,中间镶嵌着小块状的积云回波。从大风实测和被识别的空间分布和识别判据与瞬时风速的散点图(图 8)分析,此次过程被识别的大部分风暴单体识别判据在 0.4 以下,对应的瞬时风速在 10 m/s 以下。出现大风概率大的风暴单体位于石家庄、衡水到沧州三个地区的北部一带,其余区域的识别判据值偏小。散点图左上角区域表示测站风速大但对应识别判据小的情况,此范围内的大风属于漏报。除了与 4.3.3 节中所述的站点有一定对应关系外,与识别指标本身也有很大关系,表 4 列出了此

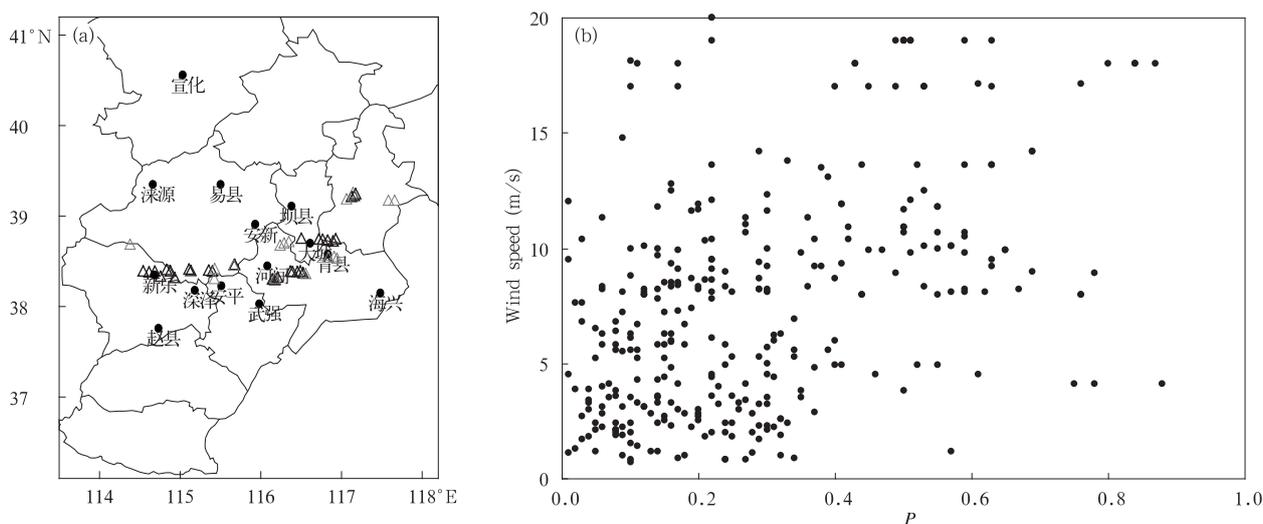


图 8 2012 年 5 月 25 日 15—22 时雷暴大风识别

(a. 大风识别检验, b. 识别判据与瞬时风速散点图;

●: 大风测站, △: $0.4 \leq P < 0.5$ 风暴单体, △: $P \geq 0.5$ 风暴单体)

Fig. 8 Comparison between the gale station and the identified thunderstorm cell from 15:00 to 22:00 BT 25 May 2012

(a. gale station and identified thunderstorm, b. scatter diagram between the identified criterion and the instantaneous wind speed;

●: gale station, △: $0.4 \leq P < 0.5$ thunderstorm cell, △: $P \geq 0.5$ thunderstorm cell)

表4 2012年5月25日地面大风测站与对应风暴单体识别指标

Table 4 The gale station and the corresponding index to the identified thunderstorm cell on 25 May 2012

时刻	站名	极大风速 (m/s)	识别 判据	风暴最 大反射 率因子 (dBz)	最大垂直 积分液态 水含量 (kg/m ²)	垂直积分液 态水含量随 时间的变率 (kg/(m ² ·6 min))	风暴体移 动速度 (km/h)	回波顶高 (km)	垂直积分 液态水含 量密度 (g/m ³)
13时53分	宣化	17	无						
14时04分	涞源	19	0.22	37.0	1	4	70	5	1.0
15时08分	易县	17	0.10	40.6	2	0	44	4	1.0
15时19分	新乐	18	0.84	58.4	33	-3	64	10	3.4
15时51分	深泽	19	0.50	55.8	15	1	16	8	2.1
16时04分	安新	17	无						
16时14分	坝县	18	无						
16时20分	安平	17	0.49	52.4	11	-5	69	7	1.8
16时27分	赵县	20	0.10	45.4	4	0	24	4	1.3
16时34分	河间	19	0.51	45.6	8	-5	61	9	1.3
16时48分	青县	18	0.57	53.6	13	-10	89	7	3.3
16时47分	大城	17	0.53	50.6	12	-2	53	8	2.0
16时56分	武强	18	0.43	54.4	11	6	5	8	2.8
18时20分	海兴	21	0.33	48.0	5	-4	68	5	1.7

次过程大风测站的出现时间、极大风速以及对应的风暴单体判据和识别指标,共有14个测站监测到灾害大风报。

可以看出,所有测站的瞬时极大风速为17—21 m/s。当宣化、安新和坝县3个测站出现大风时,对应的回波强度弱,最大反射率因子值低于风暴单体最低阈值,没有风暴单体被识别出来;涞源、易县、赵县和海兴4站对应的回波强度为35—50 dBz,垂直积分液态水含量和回波顶高分别低于10 kg/m²和6 km,最大垂直积分液态水含量、垂直积分液态水含量随时间的变率、回波顶高和垂直积分液态水含量密度普遍低于阈值下限。虽然有风暴单体被识别出,但对应计算得到的隶属函数对综合识别没有贡献,致使综合识别判据值均小于0.4,出现大风的可能性被划分在“出现大风概率小”级别。其余7个测站得到的综合识别判据大于0.4,出现大风的概率大或很大,属于正确识别的测站。亦即大风命中率为50%。

4.5.2 总体识别

此类回波多表现为层积混合云降水回波,有时以层状云为主,有时以积状云为主。此类回波分布范围广,但回波强度相比前两类要弱,大风影响区域分散。由于瞬时极大风速小,影响时间短,造成的危害相对也轻。表5给出的10次天气过程属于此种类型。从雷达回波识别数据看,实况监测到大风的148个测站中,被成功识别的占45.3%。

表5 片状回波识别准确率

Table 5 The gale process of floccus echo and its accuracy rate

日期	大风 总数	识别 站数	命中率
2008年5月3日09—17时	26	11	42.3%
2010年6月17日14—21时	10	6	60.0%
2010年7月31日14—21时	11	0	0.0%
2011年5月26日13—21时	11	4	36.4%
2011年5月30日12—17时	11	4	36.4%
2011年6月6日14—19时	16	9	56.3%
2011年8月9日16时—10日02时	14	8	57.1%
2012年5月25日13—19时	14	7	50.0%
2012年7月26日15—19时	20	11	55.0%
2012年9月27日12时—17时30分	15	7	46.7%
合计	148	67	45.3%

为分析此类回波的大风识别效果及其对应原因,对所有148个测站的识别判据和相应的各个识别指标进行分析。发现81个没被正确识别的大风测站中,有34个测站回波强度低于风暴单体最低阈值标准,根本就没能被识别出;剩余47个测站对应被识别的风暴单体的识别判据值低于0.4,对应的识别指标中,最大垂直积分液态水含量普遍低于阈值下限,而回波顶高、垂直积分液态水含量随时间的变率、风暴体移动速度和垂直积分液态水含量密度低于阈值的分别占42.6%、55.3%、51.1%和80.8%。说明垂直积分液态水含量值偏低是没被识别的主要因素。另外,在一些个例中,阵风锋与主体

回波的叠加导致的大风也容易被漏报,如2010年7月31日、2011年5月26日和2011年8月9日。

从回波的结构分析,此类回波中包含有以层云为主的混合云回波,该类回波强度较弱,大风识别准确率偏低,如2008年5月3日、2010年7月31日、2011年5月30日、2012年5月25日;另一类是以积云为主的混合云回波,如2010年6月6日、2012年7月26日;还有就是积云回波发展在层云的前沿或后面,如2011年8月9日、2012年9月27日和2010年6月17日。后两类回波识别准确率略高。

此类回波多表现为层积混合云降水回波,回波强度相比前两类要弱,造成的大风瞬时极大风速小。此类回波的识别命中率为45.3%,其余出现漏报的大风测站中,42%测站回波强度弱,没被识别出风暴单体;其余被识别出风暴单体的测站中,最大垂直积分液态水含量普遍低于阈值下限,回波顶高和风暴体移动速度有将近一半低于阈值上限。说明垂直积分液态水含量低和回波强度弱是识别出现漏报的主要因素。

5 总结与讨论

应用雷达回波三维组网拼图数据、加密自动站和地面灾害大风资料,对2008—2012年京津冀地区20次区域性雷暴大风天气过程进行相关统计分析。在确定雷暴大风识别指标和综合识别方程的基础上,对每次过程进行了识别效果检验和分析。

(1) 确定了雷暴大风的6个雷达识别指标:风暴最大反射率因子、风暴最大垂直积分液态水含量、垂直积分液态水含量随时间的变率、风暴体移动速度、回波顶高和垂直积分液态水含量密度。在统计分析基础上,给出了不同季节各识别指标对应的隶属函数。根据对雷暴大风贡献的大小,采用不等权重法建立了具有模糊逻辑的雷暴大风综合识别方法。

(2) 为了对不同类型的雷暴大风天气过程进行全面的识别效果检验,将回波类型分为块状回波、带状回波和片状回波3种类型。块状回波类大风是由孤立的强单体风暴引发的,风暴单体具有回波强、回波顶高、垂直积分液态水含量大和移动快速等特点;带状回波的长度远大于宽度,主要包含飚线和弓状

回波;片状回波多指大面积层云回波中镶嵌着强回波单体块的混合回波。

(3) 通过对3类大风过程的识别检验分析,结果表明:3类回波类型识别到的可能出现大风区域与实测大风范围基本吻合,块状、带状和片状3种类型的雷暴大风命中率分别为96.2%、68.6%和45.3%,漏报率分别为3.8%、31.4%和54.7%。块状回波雷暴大风多出现在风暴单体附近且二者移动路径一致;带状回波大风影响范围广且多位于带状回波的前沿一带;片状回波对应出现的雷暴大风多位于风暴单体的周边区域。由于垂直积分液态水含量偏低和回波强度弱,片状雷暴大风识别漏报相对较多;空报原因与测站分布稀疏和识别算法本身有关。以上结论证明雷暴大风综合识别方法是合理可靠、切实可行的,可以为雷暴大风的短时临近预警业务和系统开发提供支持。

另外,本研究所的雷暴大风识别是建立在雷暴单体识别和跟踪的基础上,因此在没有识别和跟踪到风暴单体的区域产生的大风是没法识别出的。径向速度场中与雷暴大风密切相关的中层径向辐合和大风速核等特征以及反射率因子中的弓形回波和阵风锋等回波形态,也还没有实现自动化识别,这些还有待于后续研究工作中进一步补充和完善。

参考文献

- 刁秀广,张新华,朱君鉴. 2009. CINRAD/SA 雷达风暴趋势产品在冰雹和大风预警中的应用. 气象科技, 37(2): 230-233
- 东高红,吴涛. 2007. 垂直积分液态水含量在地面大风预报中的应用. 气象科技, 35(6): 877-881
- 江源,刘黎平,庄薇. 2009. 多普勒天气雷达地物回波特征及其识别方法改进. 应用气象学报, 20(2): 203-213
- 李国翠,刘黎平,张秉祥等. 2013. 基于雷达三维组网数据的对流性地面大风自动识别. 气象学报, 71(6): 1160-1171
- 廖玉芳,潘志祥,郭庆. 2006. 基于单多普勒天气雷达产品的强对流天气预报预警方法. 气象科学, 26(5): 564-571
- 刘黎平,吴林林,杨引明. 2007. 基于模糊逻辑的分步式超折射地物回波识别方法的建立和效果分析. 气象学报, 65(2): 252-260
- 王凤娇,吴书君,郑宝枝等. 2006. 多普勒雷达资料在雷雨大风临近预报中的应用. 山东气象, 26(4): 15-23
- 王红艳,刘黎平,王改利等. 2009. 多普勒天气雷达三维数字组网系统开发及应用. 应用气象学报, 20(2): 214-224
- 王珏,张家国,王佑兵等. 2009. 鄂东地区雷雨大风多普勒天气雷达回波特征. 暴雨灾害, 28(2): 143-146

肖艳娇,刘黎平. 2006. 新一代天气雷达网资料的三维格点化及拼图方法研究. 气象学报, 64(5):647-656

杨吉,刘黎平,李国平等. 2012. 基于雷达回波拼图资料的风暴单体和中尺度对流系统识别、跟踪及预报技术. 气象学报, 70(6):1347-1355

俞小鼎,周小刚,王秀明. 2012. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展. 气象学报, 70(3):311-337

周金莲,魏鸣,吴涛等. 2011. 对流性大风天气的多普勒雷达资料识别方法研究//2011年第二十八届中国气象学会年会论文集. 北

京:中国气象学会

Darrah R P. 1978. On the relationship of severe weather to radar tops. Mon Wea Rev, 106(9):1332-1339

Johns R H, Hirt W D. 1987. Derechos: Widespread convectively induced windstorms. Wea Forecasting, 2(1):32-49

Kessinger C, Ellis S, Vanandel J, et al. 2003. The AP Clutter Mitigation scheme for the WSR-88D 2003//Preprints, 31st Conference on Radar Meteorology. Seattle Washington: Amer Meteor Soc, 526-529

欢迎订阅 2014 年度《气象学报》

《气象学报》中文版创刊于1925年,是由中国气象局主管,中国气象学会主办的全国性大气科学学术期刊,主要刊载有关大气科学及其交叉科学研究的具有创新性的论文;国内外大气科学发展动态的综合评述;新观点、新理论、新技术、新方法的介绍;研究工作简报及重要学术活动报道;优秀大气科学专著的评价以及有关本刊论文的学术讨论等。

《气象学报》中文版2003年和2005年连续两次荣获中华人民共和国新闻出版总署颁发的第二届、第三届“国家期刊奖百种重点学术期刊”奖;2003—2007、2009年被中国科学技术信息研究所评为“百种中国杰出学术期刊”;2007—2011年获得中国科学技术协会精品科技期刊工程项目的资助,2008、2011年《气象学报》(中文版)被评选为“中国精品科技期刊”;2012、2013年获评“中国最具国际影响力学术期刊”;2013年入选国家新闻出版广电总局“百强科技期刊”。

《气象学报》为大气科学研究提供了学术交流平台,一直致力于推动中国大气科学基础研究和理论研究的发展,服务于中国气象现代化建设事业。作者和读者对象主要为从事气象、海洋、地理、环境、地球物理、天文、空间及生态等学科的科研人员、高校师生。

《气象学报》中文版为双月刊,国内外发行。
2014年全年共6期,定价240元/年。

邮发代号: 2-368(国内) BM329(国际)
通讯地址: 北京市中关村南大街46号 中国气象学会《气象学报》编辑部
邮政编码: 100081
联系电话: 010-68406942, 68408571(传真)
邮 箱: cmsqxxb@263.net; qxxb@cms1924.org
期刊主页: http://www.cmsjournal.net/qxxb_cn
开户银行: 北京建行白石桥支行
户 名: 中国气象学会
帐 号: 11001028600059261046

《气象学报》2014年征订回执单

年 月 日

订户单位全称				经手人	
订户详细地址				邮政编码	
刊物名称	全年订价	订阅份数	总金额	(订户单位盖章)	
《气象学报》中文版	240.00元				
总金额(大写)	仟 佰 拾 元 角 分				
说明:此联与汇款凭证一起报销有效。					