

杨明,王改利,刘黎平,等. 2013. 二维多途径多普勒雷达退速度模糊算法的改进及效果分析. 气象, 39(5):616-622.

# 二维多途径多普勒雷达退速度模糊算法 的改进及效果分析<sup>\* 1</sup>

杨 明<sup>1,2,3</sup> 王改利<sup>2</sup> 刘黎平<sup>2</sup> 仰美霖<sup>4</sup> 陈正旭<sup>1</sup>

1 浙江省气象信息网络中心, 杭州 310017

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 南京信息工程大学, 南京 210044

4 北京市气象局, 北京 100089

**提 要:** 对 Zhang Jian 提出的二维多途径自动退速度模糊方法进行了改进。原方法从弱风切变区确定一系列参考径向, 使用这些参考径向对其相邻库进行逐库连续性检测和模糊订正。由于中小尺度系统的扰动和孤立回波区的影响, 有时很难获得比较准确的供参考的相邻库, 这将对进一步的退速度模糊过程产生很大的影响。针对这个问题, 在连续性检测的过程中, 先确定疑似速度模糊边界, 然后识别出速度模糊边界和速度模糊区域。在模糊订正的过程中, 采用扩展邻域的方法, 扩大参考库的范围进行模糊订正。为了检验改进方法的性能, 采用大量的雷达体扫个例进行试验。结果表明, 该文的改进方法能够较准确地识别出速度模糊的边界和区域, 同时具有较好的退速度模糊效果。

**关键词:** 多普勒雷达, 退速度模糊, 速度模糊区域, 扩展邻域法

中图分类号: P412

文献标识码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.05.010

## Improvement of Automated 2D Multi-Pass Doppler Radar Velocity Dealiasing Algorithm and Its Effect Analysis

YANG Ming<sup>1,2,3</sup> WANG Gaili<sup>2</sup> LIU Liping<sup>2</sup> YANG Meilin<sup>4</sup> CHEN Zhengxu<sup>1</sup>

1 Zhejiang Meteorological Information Network Centre, Hangzhou 310017

2 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

3 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

4 Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089

**Abstract:** Zhang Jian's automated 2D multi-pass velocity dealiasing algorithm based on the horizontal continuity of velocity fields is improved in this paper. In Zhang Jian's method, a set of initial reference radials and gates are obtained by finding the weakest wind region, and then with these initial reference radials and gates, the continuities among adjacent gates are checked and the aliased velocity values are corrected. However, it is hard to precisely obtain reference radials and gates because real wind field is interfered by meso- or small-scale system, and isolated echo zone, which will influence the velocity dealiasing process greatly. Therefore, the improved algorithm is proposed for this problem. In the continuous detection processes, the aliased velocity suspected boundaries are determined, and then the aliased boundaries and velocity regions are identified. After that, an extend neighborhood scheme is applied to correct the aliased velocity gates in the aliased velocity region in the aliased velocity revision process. In addition, by lots of radar volume scan experiments, it is found that the discussed method is effective in velocity dealiasing,

\* 浙江省科技厅优先主题社会重点发展项目(2009C03008-2)资助

2012年3月6日收稿; 2012年12月20日收修定稿

第一作者: 杨明, 主要研究领域为雷达气象, 智能算法在气象上的应用. Email: yangmingstudy@126.com

which is significantly better than Zhang Jian's scheme and WSR-88D scheme.

**Key words:** Doppler radar, velocity dealiasing, velocity aliasing region, extend neighborhood scheme

## 引言

多普勒天气雷达探测到的径向速度信息广泛地应用于强对流天气的探测分析、诊断研究和短时临近预报等领域,具有重要的应用和研究价值(陈锋等,2012)。同时,多普勒天气雷达的径向速度模糊问题和退速度模糊方法,也成为多年来一直影响径向速度信息应用的棘手问题。

对退速度模糊方法的研究,各国学者提出了不少高效的退速度模糊方法。其中,大多数退速度模糊算法都是基于时空连续性原理。比较典型的有Ray等(1977)提出的沿径向的一维检测方法。Bergen等(1980)改进了一维检测方法,提出了沿着每根径向利用空间连续性去除单点模糊方法。Meritt(1984)提出了沿径向和切向进行检测的二维方法。Boren等(1986)和Bergen等(1988)对二维方法进行改进。Eilts等(1990)采用双径向方法进行二维退模糊处理。James等(2001)提出了沿径向、切向、仰角和时间的四维退速度模糊方法。Gong等(2003)提出了VADs方法。

与国外相比,我国在这方面的研究还比较少,比较有代表性的是:陶祖钰等(1993)依据多普勒速度模糊在切向廓线上的特征,提出了切向消除速度模糊的技术,还提出了通过切向廓线的拟合简谐曲线来检验速度模糊是否被消除的方法;梁海河等(2002)提出的对多普勒天气雷达风场信息进行预处理的“K-领域频数法”,并配合人机交互方法;刘淑媛等(2003)提出一种不需要先对模糊点集或非模糊点集进行识别的纠正速度折叠的简单方法。这些算法都表现出较好的退模糊效果。

Zhang等(2006)提出的二维多途径自动退模糊算法,能够得到更可靠的参考速度,能消除外在风场数据的依赖性,自动化程度高。仰美霖等(2011)也对该算法的应用和效果做了研究。二维多途径退速度模糊算法首先在仰角数据中寻找弱风切变区,确定一系列参考径向,然后从径向和切向对相邻库进行连续性检测和模糊订正。由于弱风切变区中速度一般不存在速度模糊,因此该算法可以较准确地在弱风切变区确定非模糊初始库集。但是二维多途径

自动退模糊算法也存在缺点,即在远离雷达的孤立回波区和回波边缘区,没有可供参考的相邻库或可参考相邻库少的情况下,在检测和退模糊的效果上算法还存在一定的误差。

经过对二维多途径自动退模糊算法的分析和讨论,本文对Zhang Jian提出的二维多途径自动退速度模糊方法的检测和退模糊方法进行了改进。通过连续性原理,采用“双切向-双径向”的方法搜索出速度模糊边界和速度模糊区域,最后采用扩展邻域的方法对速度模糊区域进行模糊订正。经验证,改进后的算法在退速度模糊时,能够较有效地扩展了原算法在径向和切向两个方向上的相邻库范围,同时,还可以有效地处理孤立回波区和回波边缘区的速度模糊,改善了退速度模糊的质量。本文的第二部分介绍了对算法的改进;第三部分采用台风和强对流风暴天气个例,对改进算法的性能进行检验,并与原算法和WSR-88D算法进行了对比和分析;第四部分,对本文的算法进行了讨论和总结。

## 1 退速度模糊算法

### 1.1 退速度模糊基本思路

多普勒天气雷达能够测得的最大径向速度称为最大可测速度,又称为Nyquist速度 $V_N$ 。最大可测速度通常限定在 $8\sim 32\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内,它一般与雷达波长 $\lambda$ 和脉冲重复频率 $f_{PR}$ 有关。如式(1)所示。

$$V_N = \pm \frac{\lambda f_{PR}}{4} \quad (1)$$

雷达可以正确测量的速度值范围是 $\pm V_N$ ,当目标物相对于雷达的运动速度超过 $\pm V_N$ 时,雷达错误地将目标物的速度表示成 $\pm V_N$ 范围内的值时,就会发生折叠现象,也称为速度模糊现象。观测得到的径向速度和实际的径向速度满足如下关系:

$$V_T = V_O \pm 2nV_N \quad (2)$$

其中, $V_T$ 表示实际的径向速度, $V_O$ 表示观测得到的径向速度, $n$ 为整数,表示模糊次数。

改进算法的主要思路;首先在某个仰角中逐根径向搜索,寻找零速度径向附近的弱风切变区,通过弱风切变区决定一组初始参考径向。位于弱风切变

区的每根径向上的每两个相邻距离库之间的径向速度差必须满足以下条件:

$$|V_i - V_{i-1}| < \alpha V_N \quad (3)$$

其中,  $V$  表示径向速度,  $i=1, 2, L, N$ ;  $V_i$  表示有效距离库,  $\alpha$  是一个可调整参数,  $\alpha V_N$  表示控制阈值。然后以这些初始径向作为参考, 从逆时针和顺时针两个方向, 根据式(3)的径向速度模糊判断条件, 对邻近有效库进行扩展连续性检测。在检测过程中, 先在切向上搜索疑似边界, 在径向上对速度模糊的速度库进行确认; 然后在径向上搜索疑似边界, 在切向上对疑似边界集中的正确的速度库进行排除, 留下速度模糊的边界速度库, 并作标记。通过连续性检测识别出的速度模糊边界, 对速度模糊区域作标记。最后, 采用扩展邻域的方法对速度模糊区域进行模糊订正。改进的退速度模糊算法主要包括以下五个步骤:

#### (1) 寻找初始径向

在风向与径向垂直或接近垂直时, 径向速度为零或趋近于零, 因此在雷达径向速度为零附近, 速度是不会出现模糊的(张培昌等, 2000)。首先在弱风切变区内进行退模糊处理, 以获取初始参考库集, 选择一系列正确的径向或较正确的径向作为初始参考径向。

#### (2) 对初始径向进行退速度模糊

找到初始径向后, 按照 1.2 节介绍的扩展邻域退速度模糊策略对相邻的每两根径向从切向和径向上进行二维退模糊处理, 得到三根正确的初始参考径向。

#### (3) 从切向-径向上寻找速度模糊边界

从弱风切变区内得到的三根初始参考径向开始, 从顺时针和逆时针两个方向逐库进行连续性检测并寻找疑似速度模糊边界, 每个方向各转  $360^\circ$ 。这样能更好地处理切变区域周围的径向速度模糊, 同时能够检测到两个时针方向上的疑似速度模糊边界。在检测过程中, 采用扩展邻域的方法不断迭代搜索最邻近有效参考库。在沿切向找到疑似速度模糊边界以后, 按照 1.2 节介绍的识别速度模糊边界的方法, 沿径向从内向外, 去除疑似速度模糊边界集中的正确速度值, 保留速度模糊边界。

#### (4) 搜索速度模糊区域

从初始径向开始, 按照 1.2 节介绍的识别速度模糊区域的方法, 在切向上, 按顺时针和逆时针两个方向逐径向逐库搜索判断该库是否存在速度模糊区

域, 每个方向各转  $360^\circ$ 。再从径向上、从内向外进行同样的逐库搜索判断, 最后确定速度模糊区域。

#### (5) 采用扩展邻域的方法进行退速度模糊处理

在处理每根径向时, 分切向和径向两步进行处理, 首先, 沿切向退模糊处理。为了避免前期退模糊时的单库随机误差导致错误的退模糊, 取三根初始参考径向同一距离库上的速度平均值作为参考值。根据以下公式计算距离库径向速度平均值

$$V_M = \frac{1}{N} \sum_i V_i, \quad |V_i| < \beta V_N \quad (4)$$

其中,  $N$  表示径向上满足条件  $\pm \beta V_N$  的总库数,  $\beta$  是可调参数, 表示小径向速度值, 缺省值为 0.3。这三个库必须满足标志全部为 1(表示正确处理过的速度值的库)和任何相邻两点的径向速度差必须满足式(3)。然后按照 1.2 节介绍的扩展邻域退速度模糊策略, 对步骤(4)识别的速度模糊区域进行退速度模糊处理。

## 1.2 退速度模糊的关键技术

### 1.2.1 识别速度模糊边界和区域方法

采用了从切向和径向上分别搜索疑似速度模糊边界, 再从径向和切向上分别识别速度模糊边界, 最后从切向和径向上确定速度模糊区域的“双切向-双径向”的方法来识别速度模糊区域。

假设当前径向上距离库的径向速度值与前  $k$  个相邻有效径向上相应距离库的径向速度值满足

$$|V_{i,j} - V_{i-k,j}| > \alpha V_N \text{ 且 } V_{i,j} V_{i-k,j} < 0 \text{ 且 } F_{i-k,j} = 1, \quad k = \pm 1, \pm 2, L, \pm \beta \quad (5)$$

其中,  $k$  是整数, 表示从第  $i$  个径向开始, 向前或向后(顺时针或逆时针)的径向步长,  $\beta$  表示最大搜索距离阈值,  $F_{i-k,j}$  是第  $i-k$  径向上第  $j$  距离库的标志,  $F_{i-k,j} = 1$  表示第  $i-k$  径向上第  $j$  距离库是已经正确退速度模糊的距离库。

则认为这两个相邻距离库之间存在较大的跳跃。第  $i$  径向上第  $j$  距离库为疑似速度模糊边界。

根据以上原理, 从初始参考径向开始, 在切向方向上, 按顺时针和逆时针两个方向分别进行逐根径向逐库搜索, 判断相邻库的速度值是否满足公式(5)的条件。每个方向各转  $360^\circ$ 。如果  $V_{i-k,j}$  是无效值, 在顺时针方向  $k$  递减, 在逆时针方向  $k$  递增, 直到找到满足公式(5)条件的相邻库的速度值, 并置该速度距离库的标志为 2(疑似速度模糊边界)。采用顺时针和逆时针双向搜索和判断, 可以同时检测到

两个时钟方向上的疑似速度模糊边界。搜索疑似速度模糊边界的过程如图 1 和图 2 所示。

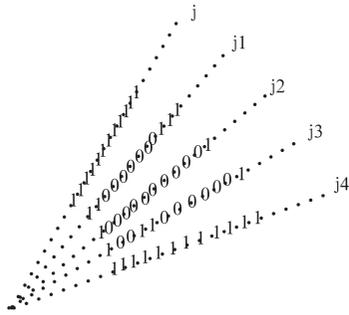


图 1 原始径向速度示意图

(在  $j, j_1, j_2, j_3$  和  $j_4$  径向上的“0”表示速度模糊值的库,“1”表示正确处理过的速度值的库,“2”表示疑似速度模糊边界的库)

Fig. 1 Illustration of the original radials

(Here the “0” points indicate aliased velocity gates in these radials ( $j, j_1, j_2, j_3$ , and  $j_4$ ); the “1” points indicate already dealiased velocity gates in these radials; the “2” points indicate aliased velocity boundary gates in these radials)

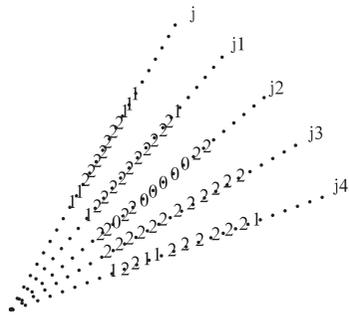


图 2 疑似速度模糊边界示意图(说明同图 1)

Fig. 2 Illustration of the aliased velocity boundary gates

(The explanation is the same as Fig. 1)

在径向上,从内向外对在疑似速度模糊边界集(标志为 2)中的正确速度值的距离库进行标志为 1,保留速度模糊的距离库边界。正确的速度值的距离库必须满足下列条件:

(1) 该库必须在搜索到的距离库边界集合中。

(2) 该库的参考库必须是正确处理过的库(标记为 1),而且在径线上的两侧必须至少各有两个库标记为 1,相邻两个库的速度差必须满足公式(3)。以保证能够获取正确的参考值。

(3) 该库的参考库不在搜索到的距离库边界集中,即  $V_{i-k,j} \notin BSet, k = \pm 1, \pm 2, L, \pm \beta$ ,其中,  $V_{i-k,j}$  表示参考库的速度值,  $BSet$  表示距离库边界集合。

通过上一轮从切向上和径向上确定的速度模糊边界(如图 3 所示),采用下面的方法来识别出速度模糊区域。

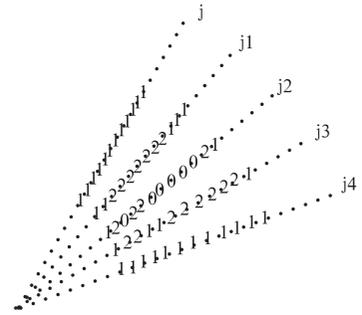


图 3 确定速度模糊边界示意图(说明同图 1)

Fig. 3 Illustration of the aliased velocity boundary gates

(The explanation is the same as Fig. 1)

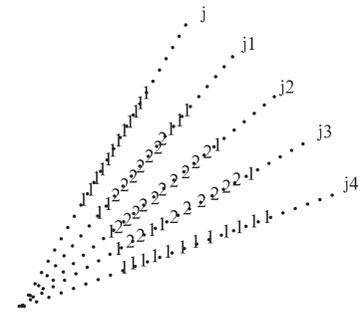


图 4 获得速度模糊区域的示意图(说明同图 1)

Fig. 4 Illustration of the obtained velocity

aliasing region gates

(The explanation is the same as Fig. 1)

假设当前径向上距离库的径向速度值与前  $k$  个相邻有效径向上相应距离库的径向速度值满足

$$|V_{i,j} - V_{i-k,j}| < \alpha V_N \text{ 且 } V_{i,j} V_{i-k,j} > 0$$

$$\text{且 } F_{i-k,j} = 2, k = \pm 1, \pm 2, L, \pm \beta \quad (6)$$

其中,  $k$  是整数,表示从第  $i$  径向开始,向前或向后(顺时针或逆时针)的径向步长,  $\beta$  表示最大搜索距离阈值,  $F_{i-k,j}$  是第  $i-k$  径向上第  $j$  距离库的标志,  $F_{i-k,j} = 2$  表示第  $i-k$  径向上第  $j$  距离库是已经找到速度模糊的边界。则认为这两个相邻距离库之间存在相似性,即该径向的第  $j$  距离与第  $i-k$  径向上第  $j$  距离库属于同一区域。

从初始径向开始,按顺时针和逆时针两个方向逐根径向逐库搜索判断是否满足公式(6)的条件,识别出的速度模糊区域(标志为 2)的示意图如图 4 所示。

根据以上原理,与径向上搜索识别方法相似,再从切向上进行搜索识别。

### 1.2.2 扩展邻域退速度模糊方法

对于大部分的退速度模糊算法,大部分径向速度的连续区域都能得到很好的处理,但对于弱孤立回波区和离散的孤立回波区,由于没有可供参考的库,仍然未能得到有效的处理。下面我们讨论利用扩展邻域的方法进行退速度模糊。为了明确起见,给出了邻域距离库的概念:假设某根径向上的某个距离库为  $X_i$ ,邻域圆的半径为  $r$ ,则  $X_i$  的邻域  $N_r$  是一个以  $r$  为半径,以  $X_i$  为圆心的一个超邻域,在这个超邻域内的任一距离库  $X_j$  都称为  $X_i$  的邻域距离库。

根据连续性原理,我们假定风场相对孤立的回波区与其他邻近回波区存在彼此间的联系。在改进后的算法中,采用扩展邻域的方法进行退速度模糊处理。扩展邻域的主要思想是从弱风区的初始参考径向开始,根据正确的可供参考距离库和径向速度连续性的原理,将传统算法的四个方向(两个径向、两个切向)扩展到八个方向(两个径向、两个切向、以及对角线上的四个相邻库)搜索有效参考距离库。假设在第一层的八个方向没有搜索到有效参考距离库,则按八个方向码的顺序作为下一层搜索的中心库,进行第二层的有效距离库搜索。通过不断地扩展搜索,在其距离库邻域集中,找到有效的最近邻域距离库作为它的参考库,并进行退速度模糊处理。扩展邻域八方向码如图 5 所示。

在距离库邻域集中,以最近邻域距离库作为退速度模糊的参考库必须满足下列条件:

(1) 该库必须是正确处理过的库(标志为 1),且径向上的两侧必须至少有两个标志为 1 的库,且每相邻两库的径向速度差必须满足公式(3),以保证参考库位于连续区中间附近没有强辐合区,从而获得正确的参考值。

(2) 在相同距离的切向上,必须存在至少 3 个标志为 1 的连续库,且每相邻两库的径向速度差必须满足公式(3)。

(3) 径向上相邻两个库间的的径向速度差必须满足公式(3)。

满足以上三个条件,可以使得参考库具有可靠的径向速度值。以某距离库为中心,从上一根径向相同距离的库开始,八个方向上进行扩展搜索,使距离库邻域集不断扩大。考虑到径向速度连续性原则,搜索方向从切向到径向,从正向到对角线的顺序进行。一旦获取正确的参考值,则在径向上从该库

开始同时向内和向外逐库进行连续性检测和退速度模糊处理。

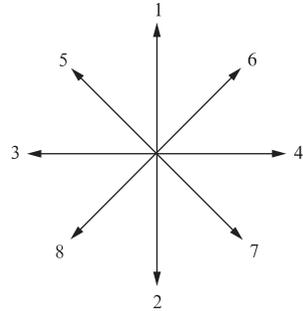


图 5 扩展邻域八方向码示意图

Fig. 5 Illustration of extended neighborhood eight-direction code

由于存在无效值库和距离折叠,从而导致传统方法无法继续退模糊,但扩展领域法克服了这个缺点,它将从下一个邻域距离库开始,继续在其领域进行搜索,并进行连续性检测和退模糊处理,这一过程不断重复直到所有径向都搜索完毕。

## 2 效果分析

为了检验改进算法的性能,在本节中,首先介绍了检验数据样本选取,然后讨论了改进算法的效果,最后,通过与其他通用二维退速度模糊算法进行比较分析,如 Zhang 等(2006)的二维多途径退速度模糊算法和 WSR-88D 算法,表明了改进算法具有较好的性能。

### 2.1 检验数据样本

试验分别选取了台风个例以及强对流风暴个例作为算法的检验数据。这是因为:一方面,台风风速大,容易出现速度模糊的径向速度,且国内特别是广东、浙江、福建等沿海地区受台风影响较为严重,更好地处理台风雷达径向速度资料,对分析研究台风有很重要的意义。另一方面,对流性天气过程中多有离散的、孤立的对流单体回波,这样退速度模糊的难度相应就会增加。如果对于这样的回波单体改进后的算法能够有较好的退速度模糊效果,那在一定程度上能说明改进算法的有效性与准确率。

试验选取的台风资料是 2008 年 9 月 24 日在广东省电白县陈村镇沿海登陆的台风黑格比阳江站和广州站资料,2005 年 9 月 11 日在浙江省台州市路

桥区金清镇登陆的台风卡努温州站资料。此外,采用的对流性天气过程雷达体扫基数据资料是 2005 年 3 月 22 日广东飚线天气过程广州站资料。

### 2.2 速度模糊区域和退速度模糊效果及分析

图 6 是 2005 年 9 月 11 日 03:01 台风卡努温州站的径向速度资料。可以看出,第一层仰角(仰角为  $0.5^\circ$ )上的速度场数据经过原算法退速度模糊后效

果较好(图 6c 所示),但在离散的孤立的对流单体回波区有些距离库没有被正确处理,而改进后的算法能够较精确地找到模糊区域(图 6d 中径向速度成块白色区域)。

在速度场不连续,存在离散的孤立回波区(包括弱孤立回波区)且有较为严重的距离折叠的情况下,通常退速度模糊算法往往会失效(图 6b 所示)。对于这样的速度场,原算法处理效果不明显(图 6c 所示)。

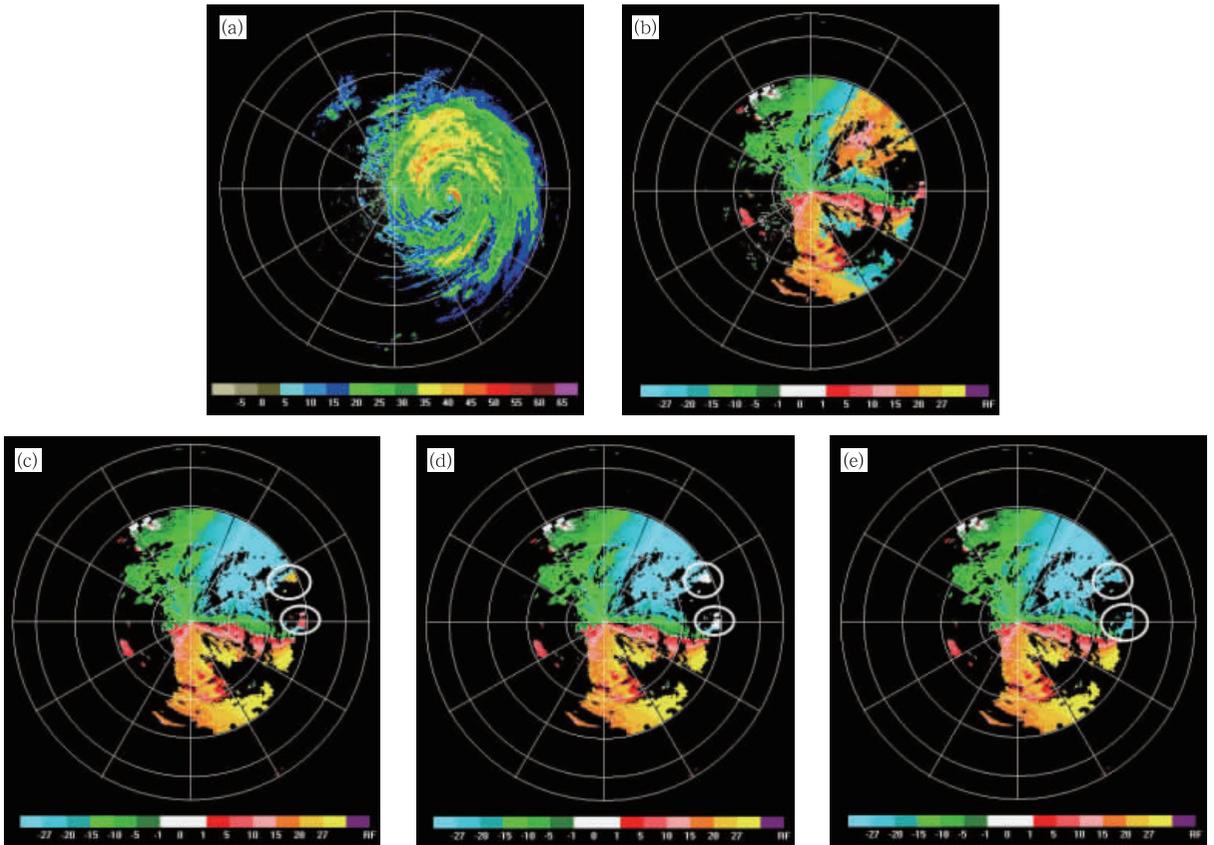


图 6 2005 年 9 月 11 日 03:01 台风卡努温州站  $0.5^\circ$  仰角层上的雷达径向速度资料

(a)原始雷达强度场,(b)原始径向速度,(c)Zhang Jian 算法的退速度模糊效果,

(d)改进算法识别出还存在速度模糊区域的效果,(e)改进算法的退速度模糊效果

(最大不模糊速度为  $26.84 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其中白色圆环内表示的是 Zhang Jian 算法没有正确处理的速度模糊区域)

Fig. 6 Radial velocity field observed by Wenzhou Radar on  $0.5^\circ$  tilt at 03:01 BT 11 September 2005

(a) the associated base reflectivity, (b) raw, (c) dealiased using the Zhang Jian's algorithm, (d) identify the aliased velocity regions using the improved algorithm, (e) dealiased using the improved algorithm

(The Nyquist velocity for this case is  $26.84 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , white block shows the radial velocity is identified by the improved algorithm, white circles indicate areas of aliased velocity)

相反,改进后的算法采用扩展邻域的方法对速度模糊区域进行模糊订正的策略,从切向、径向和以其为中心的对角线八个方向进行退速度模糊处理。改进后的算法在退速度模糊时,还能够有效地消除了传统算法对径向和切向两个方向上数据的依赖,同时,还可以有效地处理离散的孤立的回波区和弱

孤立的回波区,很好地改善了退速度模糊的质量。如图 6e 所示,除了少量被距离扩展区包围的区域以外,改进算法有更好的退速度模糊效果。

为了进一步验证改进算法在速度模糊区域识别和退速度模糊上的效果,采用了检验样本数据中的三个雷达站中存在速度模糊的雷达体扫基数据,共 120

个仰角资料,进行试验统计分析。改进算法识别速度模糊区域的正确率高达 97.78%。结果表明:改进后的算法能够较精确地识别出速度模糊区域。

经过个例分析,改进算法在处理台风及对流性天气过程径向速度模糊方面效果较好,不仅能有效地处理连续性风场的径向速度模糊,而且当速度场存在大量的数据缺失、不连续性以及距离折叠尤其是孤立的、离散的强对流回波单体时,同样有较好的退速度模糊效果。表 1 给出了改进后的算法、原算法以及 WSR-88D 算法对这些存在速度模糊的体扫基数据共 120 个仰角层的退速度模糊处理结果。

表 1 三种算法的退速度模糊准确率(单位:%)

Table 1 The accuracy of velocity dealiasing using the three algorithms (unit: %)

	WSR-88D 算法	Zhang Jian 算法	本文算法
准确率	82.22%	91.93%	93.13%

改进算法对三个雷达站的存在速度模糊的体扫基数据共计 120 个仰角进行了分析,正确率为 93.13%。该方法主要采用修正距离库的方法确定速度模糊边界。当某仰角上在切向上存在孤立的离散的回波单体,而径向上内侧方向没有参考的正确距离库时,该方法不能正确修正其正确速度值的距离库边界,导致了识别区域正确率的下降和退速度模糊正确率的下降。

综上所述,本文提出的改进算法在识别速度模糊边界及其区域和退速度模糊两个方面表现得较好。改进后的算法在退速度模糊时,还能够有效地扩展了在径向和切向两个方向上相邻库的范围,能够较精确地识别出速度模糊区域和较有效地进行退速度模糊处理。同时,还可以有效地处理孤立回波区和弱孤立回波区,较好地改善了退速度模糊的质量。

### 3 结 论

在多普勒天气雷达的径向速度信息的研究中,退速度模糊的方法是一项非常重要的研究内容。文中对 Zhang 等(2006)的二维多途径退速度模糊算法和风场信息进行了分析和研究,采用识别速度模糊边界及其区域的方法和扩展邻域退速度的方法对其进行了改进。改进后的算法有两个特点:(1)在不需要人工干预的情况下,改进后的算法针对不同的径向速度信息,能够较精确地识别速度模糊的边界及其区域;(2)在退速度模糊的过程中,通过扩展邻

域的方法从切向、径向和以其为中心的八个扩展邻域方向进行退速度模糊,从而保证了对孤立的、离散的强对流回波单体的有效退速度模糊处理。

利用广州、阳江和温州的新一代天气雷达原始台风和对流风暴个例资料,分析了改进算法与 Zhang 等(2006)算法和目前国内业务上常用的 WSR-88D 算法的差异,通过讨论和资料分析结果表明本文介绍的识别速度模糊边界及区域的方法和扩展邻域退速度模糊的方法,能够较好地扩展了连续性检测的参考邻近库,提高了退速度模糊的效果。

### 参考文献

- 陈锋,冀春晓,董美莹,等. 2012. 雷达径向风速同化对台风麦莎模拟的影响. 气象, 38(10):1170-1181.
- 梁海河,张沛源,葛润生. 2002. 多普勒天气雷达风场退模糊方法的研究. 应用气象学报, 13(5):591-599.
- 刘淑媛,王洪庆,陶祖钰,等. 2003. 一种简易的多普勒雷达速度模糊纠正技术. 应用气象学报, 14(5):111-118.
- 陶祖钰. 1993. 多普勒速度模糊的切向消除技术. 应用气象学报, 4(2):145-153.
- 仰美霖,刘黎平,苏德斌,等. 2011. 二维多途径退速度模糊算法的应用及效果研究. 气象, 37(2):203-212.
- 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 2000. 雷达气象学. 北京:气象出版社, 249-252.
- Bargen D W, Brown R C. 1980. Interaction radar velocity unfolding. The 19th Conference on Radar Meteorology, Miami Beach, FL, American Meteorological Society, Boston, 278-283.
- Bergen W R, Albers S C. 1988. Two- and three-dimensional dealiasing of Doppler radar velocities. J Atmos Oce Tech, 5: 305-319.
- Boren T A, Cruz J R, Zrnice D. 1986. An artificial intelligence approach to doppler weather radar velocity dealiasing. Conference on Radar Meteorology 23rd, Snowmass CO, American Meteorological Society, Boston, 107-110.
- Eilts M D, Smith S D. 1990. Efficient dealiasing of Doppler velocities using local environment constraints. J Atmos Oce Tech, 7: 118-128.
- Gong J D, Wang L L, Xu Q. 2003. A three-step dealiasing method for Doppler velocity data quality control. J Atmos Oce Tech, 20:1738-1748.
- James C N, Jr R A H. 2001. A real-time four-dimensional Doppler dealiasing scheme. J Atmos Oce Tech, 18:1674-1683.
- Merritt M W. 1984. Automatic velocity dealiasing for real-time applications. Conference on Radar Meteorology 22nd, Zurich, Switzerland, American Meteorological Society, Boston, 528-533.
- Ray P S, Conrad Ziegler. 1977. Dealiasing first-moment Doppler estimates. J Appl Meteor, 16(5): 563-564.
- Zhang J, Wang S. 2006. An automated 2D multipass Doppler radar velocity dealiasing scheme. J Atmos Oce Tech, 23:1239-1248.