

童文雪,李刚,马旭林,等. 2013. 多普勒雷达径向速度退模糊的初步研究[J]. 大气科学学报,36(4):472-480.

Tong Wen-xue, Li Gang, Ma Xu-lin, et al. 2013. Preliminary study on Doppler velocity data quality control[J]. Trans Atmos Sci, 36(4):472-480. (in Chinese)

## 多普勒雷达径向速度退模糊的初步研究

童文雪,李刚,马旭林,何光鑫

(南京信息工程大学,江苏南京 210044)

**摘要:**基于雷达变分同化系统(Variational Doppler Radar Analysis System, VDRAS)中雷达速度退模糊方案的思想,建立了一个雷达径向速度退模糊的方案,用于我国多普勒雷达径向速度资料的质量控制,并对方案的质量控制效果进行了检验。该方案的优点是使用模式分析场得到的参考风在每个格点独立地进行退模糊,避免了径向速度大片区域被错误地退模糊,提高了准确度。方案主要包括三步:水平梯度检验、全局退模糊和局部退模糊。利用国家气象中心全球与区域一体化的同化与数值预报系统(Global and Regional Assimilation and Prediction Enhanced System, GRAPES)快速更新循环(Rapid Update Cycle, RUC)系统提供的3 h间隔的分析场资料对多个时次的雷达资料进行退模糊试验。结果表明,该方案能够有效地对模糊速度进行订正,剔除异常资料点,提高可直接用于变分同化的雷达径向风资料的质量,适合业务应用,为我国多普勒雷达资料的质量控制提供了一种新的有效方案。

**关键词:**多普勒天气雷达;径向速度;退模糊;质量控制

中图分类号:P406 文献标志码:A 文章编号:1674-7097(2013)04-0472-09

## Preliminary study on Doppler velocity data quality control

TONG Wen-xue, LI Gang, MA Xu-lin, HE Guang-xin

(Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Based on VDRAS velocity dealiasing technique, a Doppler velocity dealiasing algorithm is developed for the quality control of CINRAD Doppler radar velocity. The advantage of the algorithm is that it dealias Doppler velocity at each grid point independently by using reference wind obtained from GRAPES RUC analysis, so it reduces the risk of producing incorrectly dealiased velocity in large areas. The algorithm consists of three steps: horizontal shear preserving, global dealiasing, and local dealiasing. Then, the algorithm was tested with radar data obtained from CINRAD during June 2009. The results showed that the algorithm was effective in dealiasing aliased velocities, removing noises and improving the quality of radar observations. It can serve as an operational algorithm for CINRAD Doppler velocity quality control.

**Key words:** Doppler weather radar; radial velocity; dealiasing; quality control

## 0 引言

多普勒天气雷达是监测中小尺度天气系统发生、发展的有效探测设备,在气象领域应用广泛,特

别是应用于强对流灾害性天气的探测和临近预报。由于雷达观测资料具有很高的时间和空间分辨率,雷达资料同化在提高数值天气预报水平方面存在巨大的潜力(陈楠等,2009;马红等,2010;吴芳芳等,

收稿日期:2012-01-02;改回日期:2012-12-26

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2009CB421503);中国气象局气象探测中心招标项目;山西省气象局开放研究基金资助项目;江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

通信作者:童文雪,博士生,研究方向为气象资料同化, tongwenxue63@163.com.

2010)。近年来,随着数值预报资料同化技术的发展和我国新一代天气雷达网的建设,多普勒雷达资料越来越多地应用于资料同化当中,用来改善临近或短期数值预报系统的初始场质量(王庆华等,2009;智协飞等,2010)。

多普勒天气雷达提供反射率因子、径向速度和谱宽三种基数据。其中,在资料同化的应用中,长期存在的一个问题是径向速度的速度模糊现象。多普勒天气雷达是通过测量相继返回的脉冲对之间的位相差来确定目标物的径向速度。最大不模糊速度,即 Nyquist 速度( $V_N$ )的取值与雷达的脉冲重复频率(radar pulse repetition frequency,  $F_{PR}$ )以及波长  $\lambda$  有关,即  $V_N = \frac{\lambda \times F_{PR}}{4}$ ,并且其与最大不模糊距离  $r_{max}$

的关系是:  $r_{max} V_N = c\lambda/8$  (其中  $c$  为光速)。这两个变量之间存在相互依赖关系,需要进行权衡,为了获得合理的最大不模糊距离,最大不模糊速度的取值要受到约束;当真实的径向速度超过雷达的最大不模糊速度时,观测速度会发生模糊,因此在数值预报资料同化中有必要对径向速度进行质量控制,即速度退模糊。

近年来,国内外科学家针对速度退模糊问题提出了许多退模糊方案,这些退模糊的方法可以大致分为两类:连续性检验和参考检验。连续性检验最早是 Ray and Ziegler (1977) 提出的在径向方向上一维退模糊,适用的条件是大气流场在平均值附近均匀分布(或可以调整到均匀分布),并只适用于径向速度一次模糊的情况。Bergen and Brown (1980) 提出一种假定径向第一个距离库是准确无误的一维算法,但由于该假定条件实际上往往不能保证,尤其是飓风、锋面这类天气有很强的风切变区,因此质量控制的效果受到较大限制。随后 Merritt (1984) 又发展了在径向和方位方向进行的二维连续性检验,这个方法后来由 Bergen and Albers (1988) 扩展为三维算法,改善了退模糊的效果。这些方法均建立在连续性检验的基础上,在强切变区域容易产生问题,当模糊的资料与不模糊的资料混在一起时,会导致错误地退模糊。

由于径向速度场本身不能有效的退模糊, Bergen and Brown (1980) 以及 Hennington (1981) 开始引入附加的环境风场信息。Eilts and Smith (1990) 提出使用环境探测或速度方位显示(velocity azimuth display, VAD) 风廓线(Browning and Waxler, 1968),在回波不多的扫描层上提供初始值。James

and Houze (2001) 在二维退模糊算法上增加了垂直仰角计算和时间检验,此方法还使用来自 VAD 风廓线或是环境探测信息来纠正余留的孤立回波。由于 VAD 廓线较容易获得,只需要径向速度就可以计算得到,因此大部分参考性检验算法使用 VAD 廓线。但是有时 VAD 风廓线并不可靠,特别是当观测的径向速度值存在模糊的时候。针对这个问题,Tabary et al. (2001) 和 Gong et al. (2003) 对传统的 VAD 方法进行改进,Gao et al. (2004) 提出使用梯度计算的梯度速度方位显示(gradient velocity—azimuth display, GVAD) 方法。

国内科学家对多普勒雷达速度退模糊方面也取得了诸多科研成果。陶祖钰(1992)、陶祖钰和石坚(1993)采用拉格朗日插值公式对雷达缺测点进行补缺测研究,并提出沿切线方向进行一维线性平滑可以消去速度脉动现象,并依据多普勒速度模糊在速度随方位角分布廓线(切向廓线)上的特征,提出了一种速度模糊的切向消除技术。周建芬等(1994)则利用变分原理对雷达径向速度资料进行预处理,数值试验表明可以有效地消除径向速度资料中的小尺度运动和噪音。白洁和陶祖钰(2000)为了满足 VAP 法反演风场的需要,提出一个二维区域滑动低通滤波方法对资料进行预处理,经过滤波后,中- $\beta$  尺度以上的风场信息相当完整的保留下来,滤掉了小尺度以下的速度脉动变化。刘淑媛等(2003)在陶祖钰和石坚(1993)速度模糊的切向消除技术的基础上提出了一种简易的多普勒雷达速度模糊切向纠正技术。梁海河等(2002)提出了“双径向—双切向”的速度扩展方法,并配合人机交互方法,表现出较好的退模糊效果,但由于需人为主观判断,限制了数值预报业务的应用能力。

最近, Lim and Sun (2010) 提出了一种针对雷达变分同化系统(Variational Doppler Radar Analysis System, VDRAS) (Sun and Crook, 1997, 1998) 的退模糊方案,使用 VDRAS 得到的三维风场作为参考风进行退模糊,有效地实现了对雷达径向速度的退模糊,明显提高质量控制的效果。本文在 VDRAS 退模糊方案的基础上,结合使用我国的全球与区域一体化的同化与数值预报系统(Global and Regional Assimilation and Prediction Enhanced System, RAPES) 快速更新循环(Rapid Update Cycle, RUC) 系统提供的 3 h 间隔的分析场资料,发展建立了针对我国多普勒雷达资料特点的退模糊方案。

# 1 质量控制方案

本文的雷达径向速度的质量控制方案包括预处理和退模糊两部分,主要计算流程如图 1 所示。预处理部分主要包括插值和剔除噪音两个步骤。插值的目的是把雷达资料转化为规则格点资料,方便与分析场格点资料进行比较。首先根据 Mohr and Vaughan(1979)提出的插值方法对雷达径向风进行插值,从原始极坐标系转化为三维笛卡尔坐标系,插值后资料格点水平分辨率为 1 km,垂直分辨率为 500 m。接下来的处理步骤,都是在已插值后的笛卡尔坐标系的资料上进行,将每个格点的径向风值记为  $V_r^{\text{obs}}$ 。

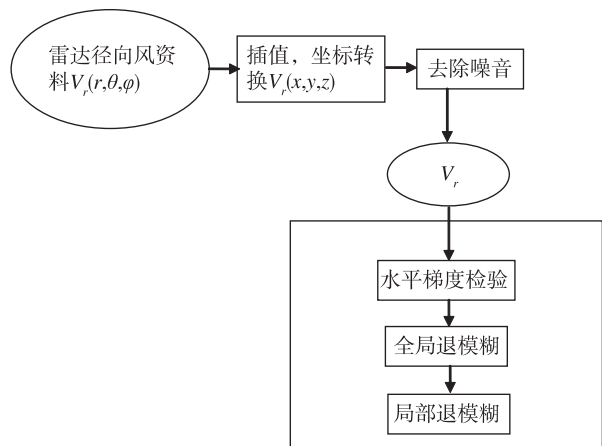


图 1 雷达观测资料径向速度的预处理和质量控制流程

Fig. 1 The flow chart of data preprocessing and quality control of Doppler velocity

原始雷达资料中包含一些噪音、孤立点和孤立区域。如果直接对包含这些噪音点、孤立区域的资料进行退模糊,不但会加大计算量,而且将会对后期的雷达资料同化效果产生负面影响。因此在实施退模糊方案之前,需要进行噪音剔除。噪音剔除主要包括三个方面:去除孤立点、地物杂波和噪音。首先去除孤立点,在  $3 \times 3$  格点窗口内,统计窗口中心点周围 8 个有值资料点的个数,如果有值资料点的个数少于 3 个,则剔除该窗口中心点。第二,去除地物杂波。地物杂波一般都有较高的反射率因子,在径向速度产品上的特征是一个接近零速度值的大片区域镶嵌着孤立的非零速度值。本文将反射率因子超过 60 dBz,且相应径向速度值小于 0.1 m/s 的孤立点认为是地物杂波,进行去除。第三,在  $3 \times 3$  格点窗口内计算局部方差,将局部方差超过  $\sigma^2$  (经验值,本文  $\sigma^2$  取值为  $100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ ) 的径向风资料点作为

速度噪声点剔除。经过滤除噪音,雷达资料在保持主要风场信息的同时,去除了空间孤立点和孤立回波区域,有效减少了退模糊算法的计算量。

对格点化的雷达径向风资料预处理完成之后,即可进行退模糊质量控制,其中包括水平梯度检验、全局退模糊和局部退模糊。全局退模糊使用 GRAPES RUC 分析场风速资料作为参考风。GRAPES RUC 是国家气象中心准业务使用的中尺度数值天气预报系统,主要包括数值预报模式和为模式提供初始场的同化分析系统两部分,其短期预报结果(12 h 预报)更新频率快,准确性高。同化系统生成的分析场网格水平分辨率为  $0.15^\circ \times 0.15^\circ$ ,能够为退模糊算法提供较为精确的参考风。本文基于国家气象中心 GRAPES RUC 资料的退模糊算法方案为:

## 1) 水平梯度检验

水平梯度检验的目的是减小全局退模糊的误差。因为 GRAPES RUC 分析场资料水平分辨率在 15 km 左右,并不能保证每个格点的参考风都不包含误差。特别是在小尺度的对流区域,水平切变较大,中尺度数值模式很难正确分析。对 GRAPES RUC 分析资料的初步分析显示,GRAPES RUC 分析场资料难以很好地表现出小尺度扰动信息。因此,在进行全局退模糊之前,有必要先做水平梯度检验,来标识出小尺度的对流区域,以避免这些区域被不正确的退模糊。

首先将所有空间格点的标识值都记为 0,然后通过三个步骤的检验来进一步判断是否存在小尺度对流切变区域。第一步,标识出径向速度方向(即正或负值)改变的边界。如果两个相邻的格点径向速度值正负号不同,这两点的标识值各加 1。这些标识值为 1 的点形成正负速度的边界,这些边界包括对流切变区域边界,也包括模糊速度边界。第二步,依据经验值把对流切变区域边界和模糊速度边界区别开来。如果两个相邻格点的径向速度差异的绝对值小于 80% 的 Nyquist 速度,则判断为对流切变区域边界。使用这个标准来判断是因为真实的气象扰动造成的速度切变总是表现为空间相邻格点上径向速度存在一定的不连续,有时可以从正值逐渐变为负值,但真实切变产生的不连续相对较小,而模糊速度造成的虚假切变相对较大,其速度值差异大于 Nyquist 速度。经过第二步,模糊速度边界标识值仍为 1,对流切变区域边界标识值变为 2。第三步,判断切变区域的真实性。如果标识值为 2 的切

变区域的边界能够基本闭合围成一个小区域,或者标识值为2的边界与区域边界闭合成一个小区域,并且区域范围在50 km以内(经验值),则认为这片区域为真实的对流切变区域,并将格点标识值设置为3。标识值为3的区域不进行下面的全局退模糊,以避免引起虚假的全局退模糊信息。

### 2) 全局退模糊

全局退模糊是对雷达径向风资料整个回波区域进行检验和退模糊。具体做法是在每个格点上将径向速度值和分析场风场资料值进行比较,对模糊速度进行修正。因为是每个格点独立的检验,不会受周围资料点的影响,避免了大片区域被错误退模糊的情况。本文中使用 GRAPES RUC 分析场风速资料作为参考风。首先,将 GRAPES RUC 分析场的风速资料( $u, v, w$ )按照以下关系投影生成径向风(Sun and Crook, 2001):

$$V_r = \frac{x - x_0}{r}u + \frac{y - y_0}{r}v + \frac{z - z_0}{r}w. \quad (1)$$

其中: $r$ 是 GRAPES RUC 资料格点( $x, y, z$ )和雷达位置( $x_0, y_0, z_0$ )之间的距离。然后,对 RUC 分析场投影得到的径向风  $V_r$  代表网格细化后中心点的值进行双线性插值,即将 RUC 资料格点插值到笛卡尔坐标系的雷达径向速度资料格点(1 km × 1 km 格点),这样每一个雷达径向速度格点都对应一个由 RUC 分析场得到的参考风速,记为  $V^{\text{ref}}$ 。

真实的径向风  $U$  与观测值  $V^{\text{obs}}$  的关系如(2)式所示:

$$U = V^{\text{obs}} + 2kV_N, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2)$$

其中:

$$k = \text{NINT}[(V^{\text{ref}} - V^{\text{obs}})/V_N] \quad (3)$$

其中: $V^{\text{obs}}$ 是观测值; $V_N$ 是最大不模糊速度。 $V^{\text{ref}}$ 是来自 GRAPES RUC 分析场的参考风。NINT 函数返回值为四舍五入得到的整数。

全局退模糊是在每个点独立的进行,由  $V^{\text{ref}}$  可计算得到  $k$ ,然后用(2)式对可能模糊的速度值进行订正。

### 3) 局地退模糊

局地退模糊是根据连续性原则,在局部小范围内进行检验和修正。经过全局退模糊,存在模糊的区域大部分都得到订正,但是可能有个别格点存在模糊值,造成空间不连续。局地退模糊是进一步的检验与订正,同时起到平滑作用。局地退模糊与全局退模糊一样利用(2)、(3)两式进行检验订正,但在(3)式中所用的参考风  $V^{\text{ref}}$  不同。局地退模糊方

法是根据 Miller et al. (1986) 的方法思想,计算一个具体窗口内的平均速度作为参考风  $V^{\text{ref}}$ ,与窗口中心点进行比较,使用(2)、(3)式,进行退模糊。也就是说,每个窗口中心格点的径向速度资料值与该窗口的平均速度值进行比较,窗口依次移动,直到遍历整个回波区域。以上过程进行6次迭代,分别对应6个不同大小的窗口,分别是  $6 \times 6, 7 \times 7, 8 \times 8, 9 \times 9, 10 \times 10$  和  $15 \times 15$  格点窗口。窗口逐渐增大,因为小窗口更容易得到可靠的径向速度,小窗口经过退模糊之后的速度可以为大窗口提供更为可靠的参考风。计算窗口径向风平均值的前提条件是,窗口内有值资料格点个数应该超过总窗口格点数的80%。如果该条件不能满足,则窗口中心点不做处理。

## 2 速度退模糊试验

采用上述方法对天气个例中的雷达资料进行质量控制试验。因为在强对流引起的大风、暴雨天气中,多普勒雷达观测资料往往会难以避免的发生速度模糊现象,使用2009年6月两次强对流天气过程期间合肥、商丘和阜阳雷达站的观测资料进行径向速度退模糊试验。合肥和阜阳站雷达是 CINRAD/SA 型多普勒天气雷达,商丘站雷达属于 CINRAD/SB 型,体扫模式采用 VCP21 降水模式,每个体扫包括9层仰角,雷达原始观测资料径向速度距离库长为250 m,最大距离库数为920。试验的研究区域以雷达站为原点,水平范围300 km,垂直范围10 km。

2009年6月3—5日,安徽省大部分地区出现了大风、雷暴、冰雹等强对流天气。尤其是6月5日的强对流天气,其影响范围之广为历史罕见,全省有43个市、县出现超过8级的大风。合肥风力达8级,最大风力寿县风力达12级。使用2009年6月5日合肥雷达站12时27分(北京时间,下同)的观测资料进行径向速度退模糊试验(图2,为了直观地比较退模糊前、后的径向速度值,图2中都采用了同一色标表示。因此,色标的极值不代表最大不模糊速度值,而是扩展了的、比最大不模糊速度可能更大的值。雷达站位于图中原点位置。下同)。图2a是经插值后6 km高度的径向速度,图2b是没有做水平梯度检验直接应用全局退模糊得到的结果,可以看到,用矩形标出的区域是错误退模糊的。图2c是先做水平梯度检验,然后进行全局退模糊得到的结果,与图2b相对照,可看到对流区域的风场信息得以保持,但是圆圈中小部分区域没有退模糊。图2d是在

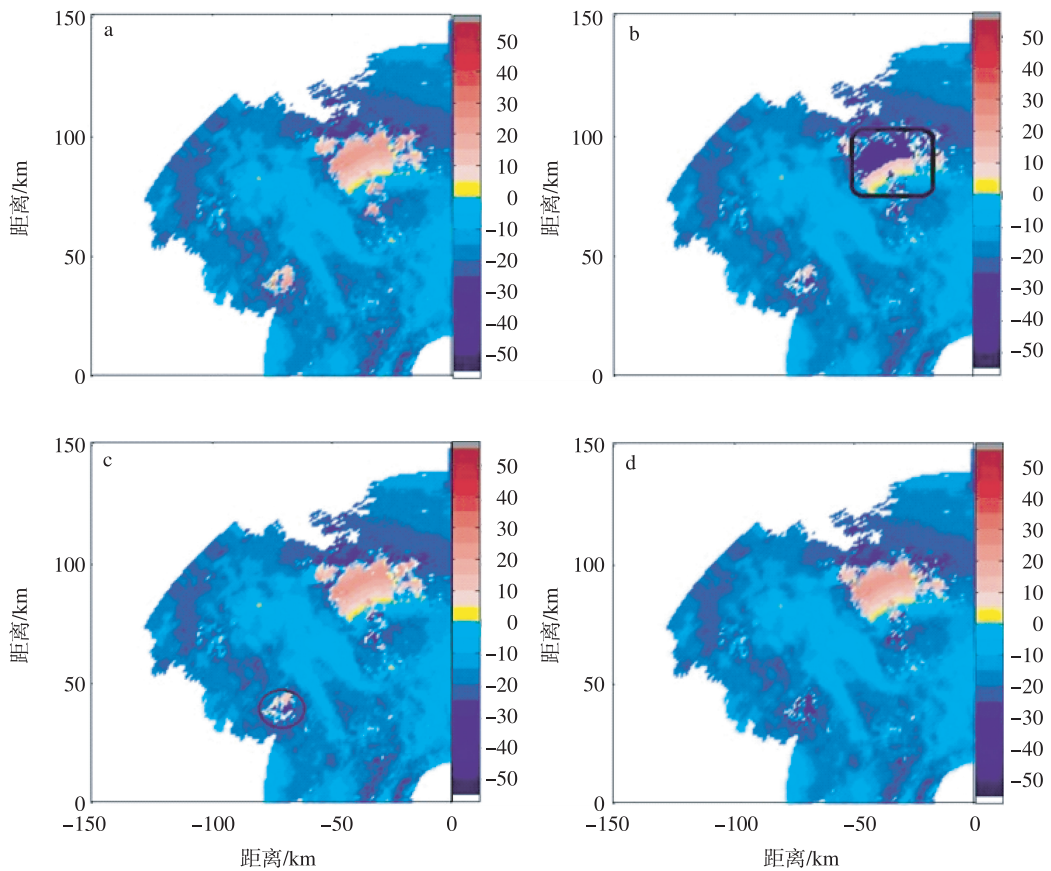


图 2 2009 年 6 月 5 日合肥雷达站 12 时 27 分的径向风分布(单位:m/s;图 b 中矩形表示没有做水平梯度检验而导致错误退模糊的区域,图 c 中圆圈表示由于没有做局部退模糊而保留的模糊区域)  
a. 观测资料经插值后 6 km 高度的径向速度;b. 直接进行全局退模糊;c. 水平梯度检验之后进行全局退模糊;d. 在 c 基础上再增加局部退模糊

Fig. 2 Radial velocities at 6 km height at 12:27 BST 5 June 2009 from Doppler weather radar sited in Hefei (units:m/s;the rectangle area in (b) is incorrectly dealiased due to lack of horizontal shear preserving;the circle area in (c) is aliased for lack of local dealiasing) a. interpolated raw radial velocities;b. dealiased radial velocities by global dealiasing only;c. dealiased radial velocities after adding horizontal gradient check;d. dealiased radial velocities after adding local dealiasing on (c)

图 2c 图的基础上增加局部退模糊,即应用整个退模糊算法得到的最终结果,与图 2c 相比,可见图示圆圈中的模糊速度已经得到订正。图 2c 与图 2d 的不同体现了局部退模糊的作用,对于一些较小范围的模糊区域全局退模糊可能不能完全退模糊,需要局部退模糊进一步检验和修正。

在 2009 年 6 月 5 日合肥雷达站 13 时 14 分的径向速度退模糊试验中(图 3),进行退模糊之前 5.5 km 高度的径向速度资料如图 3a 所示,在雷达(即图中原点)以北方向 40~70 km 的区域中存在小片的红色(风向是远离雷达方向)区域,且风速值较大,与周围环境风场(图 3a 中蓝色的区域)方向相反,是典型的模糊速度区域。图 3b 表现出退模糊算法的效果,图 3b 中所画风场为 GRAPES RUC 分

析资料相应高度(500 hPa)风场,是偏北风,可见图 3b 是得到正确退模糊的结果,图 3a 中的模糊速度区域被完全退模糊,风场变得连续。

图 4 所使用的资料与图 3 相同,为 2009 年 6 月 5 日合肥站 13 时 14 分的雷达资料,但表现的是 8.5 km 高度上退模糊效果。退模糊之前径向速度资料中存在若干小片风速值较大的红色区域(图 4a),与周围环境风场方向相反,是模糊速度区域。图 4b 是退模糊之后的结果,图 4b 中所画风场为 GRAPES RUC 分析资料相应高度(300 hPa)风场,为偏北风,即朝向雷达的方向,所以图中区域的径向速度值应该为负值,可见图 4b 是得到正确退模糊的结果。

合肥雷达站另一时次的观测资料的退模糊试验(图 5)也进一步表现出该质量控制方案的效果,特

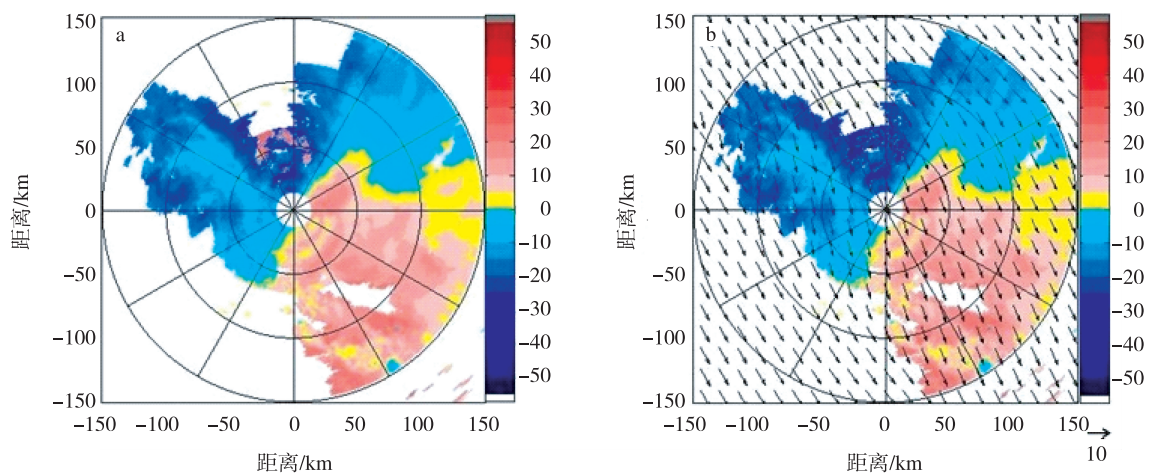


图3 2009年6月5日合肥雷达站13时14分的径向风分布(单位:m/s) a. 观测资料经插值后5.5 km高度的径向风;b. 退模糊后的径向风(箭头表示500 hPa的风场,单位:m/s)

Fig. 3 Radial velocities at 5.5 km height at 13:14 BST 5 June 2009 from Doppler weather radar sited in Hefei (units: m/s) a. interpolated raw radial velocities; b. dealiased radial velocities (the wind vectors at 500 hPa are drawn, units: m/s)

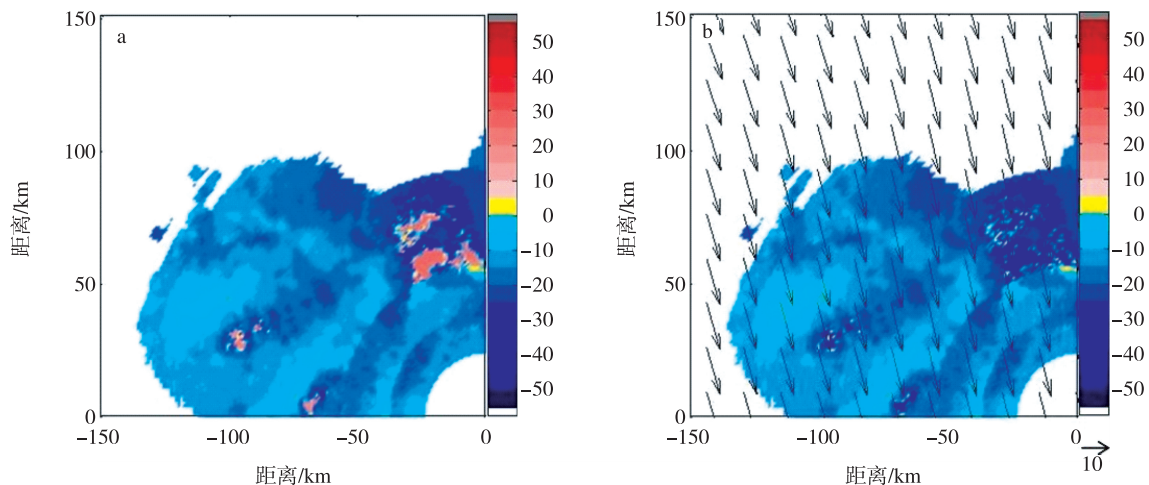


图4 2009年6月5日合肥雷达站13时14分的径向风分布(单位:m/s) a. 观测资料经插值后8.5 km高度的径向风;b. 退模糊后的径向风(箭头表示300 hPa的风场,单位:m/s)

Fig. 4 Radial velocities at 8.5 km height at 13:14 BST 5 June 2009 from Doppler weather radar sited in Hefei (units: m/s) a. interpolated raw radial velocities; b. dealiased radial velocities (the wind vectors at 300 hPa are drawn, units: m/s)

别突出了全局退模糊的作用。图5a是2009年6月14日09时25分雷达观测资料经插值后在7.5 km高度的径向风资料,图中最下方边缘区域的深蓝色部分与周围风场空间不连续,且切变较大,是明显的速度模糊区域,图5b是只进行第三步局部退模糊的效果,模糊速度区域只有少量资料点被退模糊,而下方较大的连续的模糊速度区域没有得到订正,图5c是应用退模糊算法得到的结果,与图5a相对比,速度模糊区域被完全退模糊。图5b、c两图的差异表现出全局退模糊的必要性,因为局部退模糊是按照

空间连续性原则进行的小范围退模糊,对于图5a中模糊速度区域出现在边缘的情况,由于周围缺少足够的回波作为参照,且模糊速度区域本身较为连续,所以局部退模糊的效果有限。而全局退模糊是在每个格点单独进行的,不受周围格点的影响,在缺少回波的情况下也能有效地退模糊。

2009年6月3日下午至次日凌晨,山西、河南及苏、皖局部地区先后出现了雷暴、大风、冰雹等强对流天气,其中河南省商丘地区出现了飚线过程,所经之处出现雷暴大风、短时强降雨等气象灾害。据

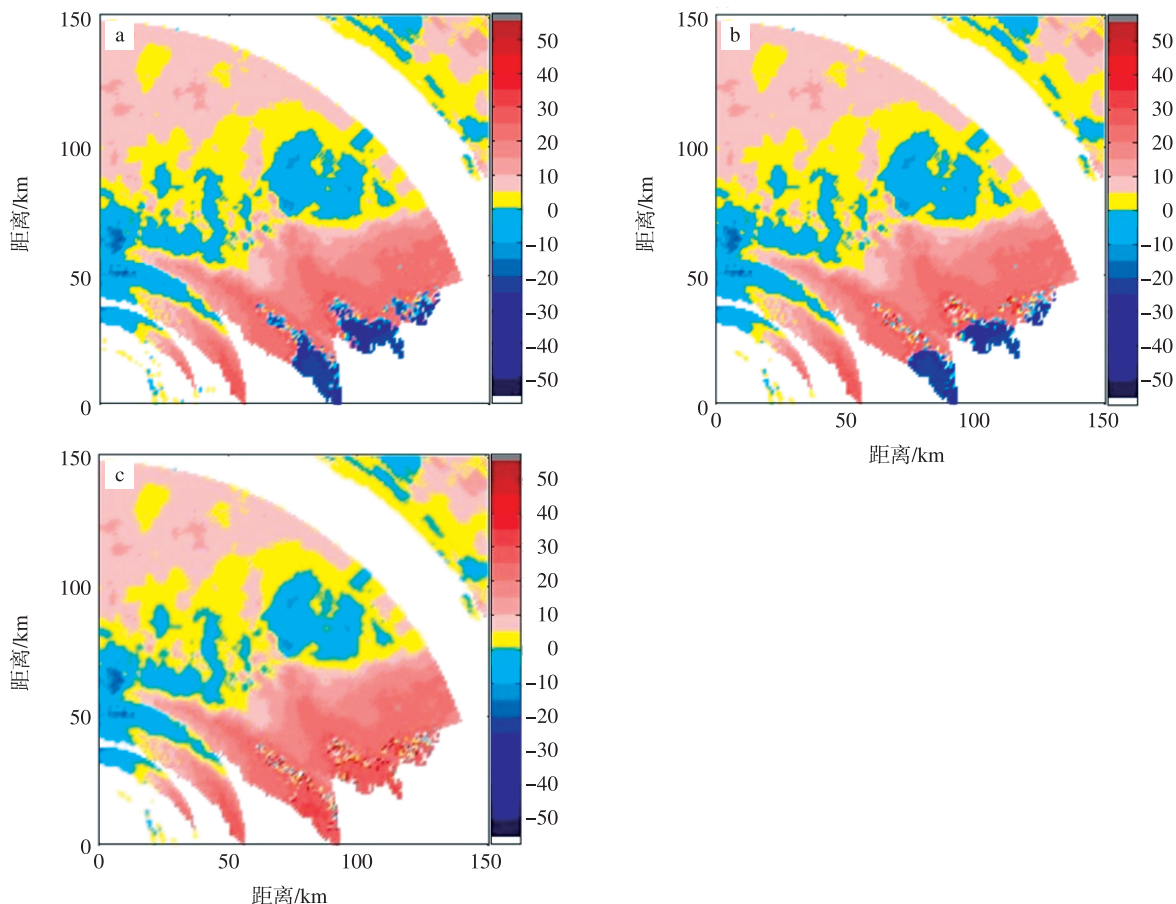


图 5 2009 年 6 月 14 日合肥站 09 时 25 分的雷达径向风分布(单位:m/s) a. 观测资料经插值后 7.5 km 高度的径向风;b. 只进行局部退模糊;c. 应用退模糊算法得到的径向风

Fig. 5 Radial velocities at 7.5 km height at 09:25 BST 14 June 2009 from Doppler weather radar sited in Hefei (units:m/s) a. interpolated raw radial velocities;b. dealiased radial velocities after local dealiasing only;c. dealiased radial velocities based on the dealiasing algorithm

统计,河南东北部 15 个县市出现了 8 级以上大风,其中最大的风力在宁陵和永城,达到了阵风 11 级。此次强对流过程是商丘有气象记录以来最为严重的大风、雷电、暴雨自然灾害。图 6 所用资料是 2009 年 6 月 3 日 13 时 39 分商丘雷达站径向速度资料,图 6a 是没有经过退模糊算法处理的径向速度分布,图中左上角的红色(风向是远离雷达方向)区域中包含小部分深蓝色(风向是朝向雷达方向)模糊速度区域,图 6b 是应用退模糊算法处理后得到的结果,图中所画风场为 GRAPES RUC 分析资料相应高度(850 hPa)风场,在左上角区域,风场是西北风,是远离雷达的方向,速度值应该为正值,与图 6a 相对比,可见模糊速度已得到订正。

图 7 为 2009 年 6 月 5 日强对流天气中阜阳站雷达径向速度退模糊试验,进行退模糊处理之前,在图 7a 中可看到存在蓝色斑点的模糊速度,应用退模糊算法处理后,模糊速度得到订正(图 7b),与风场

方向一致。

### 3 结论

在 VDRAS 多普勒雷达速度退模糊方案的基础上,针对我国多普勒雷达资料及 GRAPES RUC 系统的分析资料及其特点,发展建立了一个能够有效实现径向速度退模糊的质量控制方案,以用于我国多普勒雷达径向风资料的质量控制,为我国多普勒雷达资料的同化、改进短时临近数值预报的质量提供了一种新的可能。方案的优点在于使用模式分析场得到的参考风在每个格点独立的进行退模糊,避免了径向速度大片区域被错误地退模糊。方案主要包括三步:水平梯度检验、全局退模糊和局部退模糊。经过多个雷达资料个例的试验及分析,结果表明,该方案能够有效地对模糊速度进行订正,保持正确的观测信息,去除异常点,从而改善用于同化的雷达资料的质量,为我国多普勒雷达径向风资料的质

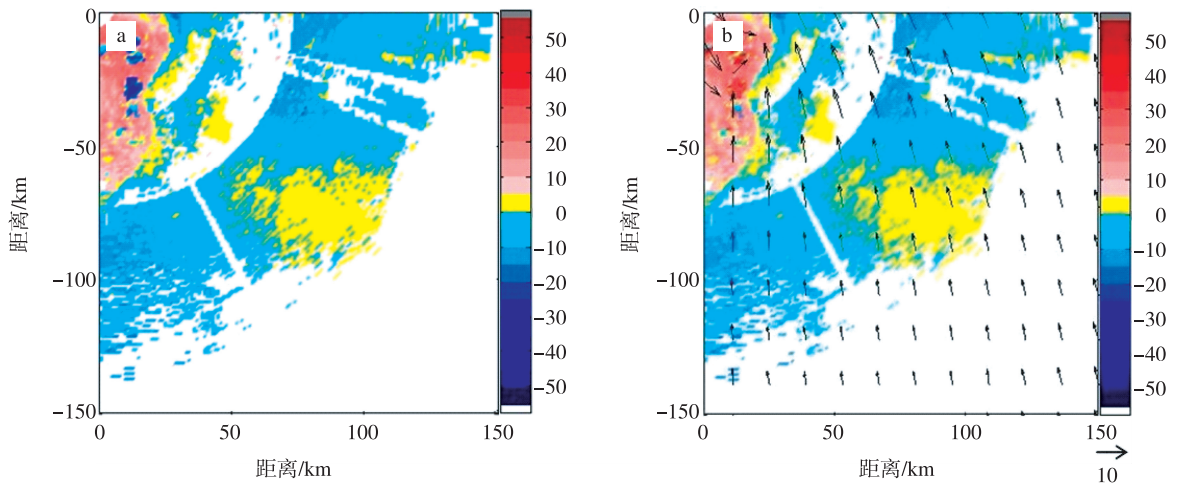


图6 2009年6月3日商丘站13时39分的雷达径向风分布(单位:m/s) a. 观测资料经插值后2 km高度的径向风;b. 退模糊后的径向风(箭头表示850 hPa的风场,单位:m/s)

Fig. 6 Radial velocities at 2 km height at 13:39 BST 3 June 2009 from Doppler weather radar sited in Shangqiu (units: m/s) a. interpolated raw radial velocities; b. dealiased radial velocities (the wind vectors at 850 hPa are drawn, units: m/s)

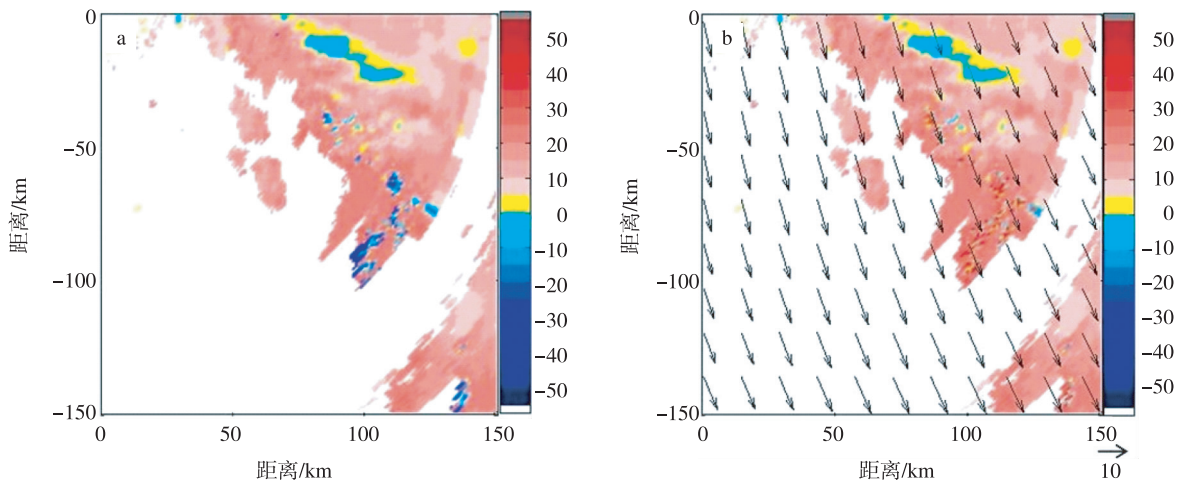


图7 2009年6月5日阜阳站11时48分的雷达径向风分布(单位:m/s) a. 观测资料经插值后5.5 km高度的径向风;b. 退模糊后的径向风(箭头表示500 hPa的风场,单位:m/s)

Fig. 7 Radial velocities at 5.5 km height at 11:48 BST 5 June 2009 from Doppler weather radar sited in Fuyang (units: m/s) a. interpolated raw radial velocities; b. dealiased radial velocities (the wind vectors at 500 hPa are drawn, units: m/s)

量控制提供了一种有效的选择。但是,由于本文只是对速度退模糊方案结合有限的雷达资料进行了初步研究,同时受 GRAPES RUC 系统提供分析资料存在误差的影响,因此,该方案以及效果的检验尚存在一些不完善之处,有待于做进一步的深入研究,以真正满足雷达径向风资料同化的需要。

## 参考文献:

白洁,陶祖钰. 2000. 多普勒雷达风场反演 VAD 方法的资料预处理 [J]. 应用气象学报, 11(1): 21-26.

陈楠,徐芬,顾松山,等. 2009. 多普勒天气雷达径向速度产品在预报中的应用[J]. 气象科学, 29(3): 421-426.

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[J]. 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[J]. 应用气象学报, 14(5): 111-116.

马红,郑翔飏,胡勇,等. 2010. 一次西南涡引发 MCC 暴雨的卫星云图和多普勒雷达特征分析[J]. 大气科学学报, 33(6): 688-696.

陶祖钰. 1992. 从单 Doppler 速度场反演风矢量场的 VAP 方法[J]. 气象学报, 50(1): 81-90.

陶祖钰,石坚. 1993. 多普勒速度模糊的切向消除技术[J]. 应用气象



- 学报,4(2):145-153.
- 王庆华,张京英,吴君.2009.多普勒雷达资料在 MM5 模式中的应用[J].气象科学,29(1):102-105.
- 吴芳芳,俞小鼎,王慧,等.2010.一次强降水超级单体风暴多普勒天气雷达特征[J].大气科学学报,33(3):285-298.
- 智协飞,高洁,张小玲.2010.多普勒雷达资料在中尺度模式短时预报中的应用[J].气象科学,30(2):143-150.
- 周建芬,周文贤,曾西平.1994.多普勒雷达径向速度资料的预处理方法[J].南京气象学院学报,17(2):213-218.
- Bergen D W, Brown R C. 1980. Interactive radar velocity unfolding [C]//Conference on radar meteorology. Miami: Amer Meteor Soc:278-283.
- Bergen W R, Albers S C. 1988. Two and three-dimensional dealiasing of Doppler radar velocities [J]. J Atmos Oceanic Technol, 5 ( 2 ) : 305-319.
- Browning K A, Waxler R. 1968. The determination of kinematic properties of a wind field using Doppler radar [J]. J Appl Meteor, 7(1): 105-113.
- Eilts M D, Smith S D. 1990. Efficient dealiasing of Doppler velocities using local environment constraints [J]. J Atmos Oceanic Technol, 7 ( 1 ) : 118-128.
- Gao J, Droegemeier K K, Gong J, et al. 2004. A method for retrieving mean horizontal wind profiles from single-Doppler radar observations contaminated by aliasing [J]. Mon Wea Rev, 132 ( 6 ) : 1399-1409.
- Gong J, Wang L, Xu Q. 2003. A three-step dealiasing method for Doppler velocity data quality control [J]. J Atmos Oceanic Technol, 20(12):1738-1748.
- Hennington L. 1981. Reducing the effects of Doppler radar ambiguities [J]. J Appl Meteor, 20(12):1543-1546.
- James C N, Houze R A. 2001. A real-time four dimensional Doppler dealiasing scheme [J]. J Atmos Oceanic Technol, 18 ( 10 ) : 1674-1683.
- Lim E, Sun J. 2010. A velocity dealiasing technique using rapidly updated analysis from a four-dimensional variational Doppler radar data assimilation system [J]. J Atmos Oceanic Technol, 27 ( 7 ) : 1140-1152.
- Merritt M W. 1984. Automatic velocity dealiasing for real-time applications [C]//Conference on radar meteorology. Zurich: Amer Meteor Soc:528-533.
- Miller J, Mohr C G, Weinheimer A J. 1986. The simple rectification to Cartesian space of folded radial velocities from Doppler radar sampling [J]. J Atmos Oceanic Technol, 3(1):162-174.
- Mohr C G, Vaughan R L. 1979. An economical procedure for Cartesian interpolation and display of reflectivity factor data in three-dimensional space [J]. J Appl Meteor, 18(5):661-670.
- Ray P, Ziegler C. 1977. Dealiasing first moment Doppler estimates [J]. J Appl Meteor, 16(5):563-564.
- Sun J, Crook N A. 1997. Dynamic and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint: Model development and simulated data experiments [J]. J Atmos Sci, 54(12):1642-1661.
- Sun J, Crook N A. 1998. Dynamic and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint. II: Retrieval experiments of an observed Florida convective storm [J]. J Atmos Sci, 55(5):835-852.
- Sun J, Crook N A. 2001. Real-time low-level wind and temperature analysis using single WSR-88D data [J]. Wea Forecasting, 16(1): 117-132.
- Tabary P, Scialom G, Germann U. 2001. Real-time retrieval of the wind from aliased velocities measured by Doppler radars [J]. J Atmos Oceanic Technol, 18(6):875-882.

(责任编辑:张福颖)