

马中元,朱春巧,刘熙明,等. CINRAD 雷达数据质量控制方法初探[J]. 气象,2010,36(8):134-141.

CINRAD 雷达数据质量控制方法初探^{*}

马中元¹ 朱春巧² 刘熙明¹ 郭艳³ 俞炳⁴ 肖玉玲¹ 桂保玉¹ 林春¹

1 江西省气象科学研究所,南昌 330046

2 江西省大气探测技术中心,南昌 330001

3 江西省气象台,南昌 330046

4 江西省气象局,南昌 330046

提 要: 多普勒天气雷达数据质量控制是以提高短临预报产品质量和满足短临预报需要为目的。通过参考国内外雷达数据质量控制的研究成果,分析雷达数据杂波来源,对雷达数据质量控制处理方法进行了试验和探讨,结果表明:在雷达数据质量控制过程中,使用非雷达资料(云图、自记雨量和闪电数据)排除地物杂波,尤其是排除超折射杂波具有一定的优势和局限性。晴空区里使用云图特征来排除大范围超折射杂波效果较好;但有降水存在时,这种方法就受到限制或不适宜使用。较远距离孤立和离散噪声杂波采用统计“突变率”、两层仰角叠加分析和改进型中值滤波算法综合处理,逐步去除数据杂波;较近距离则采用多仰角变换方法(分段混扫)来去除数据杂波。通过分析,得出了地物回波与降水回波的识别特征,引进了包含利用“雷达对”资料、雷达相关产品资料和云图、自动雨量站等非雷达资料的数据互补理念。

关键词: 数据杂波,技术路线,识别特征,算法过滤,资料互补

Study on CINRAD Radar Data Quality Control Methods

MA Zhongyuan¹ ZHU Chunqiao² LIU Ximing¹ GUO Yan³

YU Bing⁴ XIAO Yuling¹ GUI Baoyu¹ LIN Chun¹

1 Meteorological Research Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330046

2 Atmospheric Sounding Technology Center of Jiangxi Province, Nanchang 330001

3 Jiangxi Provincial Meteorological Observatory, Nanchang 330046

4 Jiangxi Provincial Meteorological Bureau, Nanchang 330046

Abstract: Through the analysis of the radar data sources of clutter and the research results of radar data quality control at home and abroad, the processing method of radar data quality control has been tested and investigated. The results show that: (1) Doppler radar data quality control should use the transversal method to deal with different layer of data clutter, with the technical route of close distance transformation, long distance fold, algorithm to filter, and data complementation; (2) the identification feature is obtained from precipitation echo to ground clutter; (3) the isolated and scattering radar clutter in long distance is dealt with comprehensive methods such as mutation rate from statistics, overlying analysis of two-layer elevation angles, and improved median filter algorithm, to eliminate data clutter. However, the close radar clutter is dealt with an alternation method of poly-elevation angles to wipe off; (4) introduce the data complementary conception by using data of “radar pair”, radar production data and other ones including satellite image, automatic rainfall station.

Key words: data clutter, technical route, identifying characteristics, algorithm filter, data complementary

* 2010 年度国家自然科学基金项目(40965001),江西省自然科学基金计划项目(2009GZH0051),中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室重点基金项目(2009LASW-A02)和江西省气象局重点科研项目(JXQX2009Z04)共同资助

2009 年 6 月 5 日收稿; 2009 年 11 月 21 日收修定稿

第一作者:马中元,主要从事雷达探测技术与短临预报技术研究. Email:mazhongyuan@163.com

引言

新一代多普勒天气雷达回波图上的地物、超折射杂波和噪声杂波(统称为数据杂波)都是非降水回波,严重影响雷达测量降水的性能,雷达数据质量控制就是要去除这些数据杂波,保留降水回波,努力提高回波数据质量,以满足制作短临预报的需要。过滤算法不仅能清除一些数据杂波,而且对改善回波显示质量有一定帮助。对于天气尺度系统来讲,单部雷达受到地物遮挡角和探测距离等因素的限制,雷达探测性能会降低,如果使用多部雷达组网拼图,一方面雷达探测范围扩大了,另一方面还可以互相弥补地物遮挡角以及数据重叠区带来的影响,尤其是三维格点化拼图技术^[1-2],为雷达组网准确性奠定了基础。

雷达数据质量控制方法国内外研究了许多,例如:Kessinger 等^[3]基于模糊逻辑的雷达回波分类算法;Zhang 等^[4]基于雷达回波水平和垂直反射率结构的质量控制算法;Lakshmanan 等^[5]基于神经网络的雷达回波数据质量控制方法等等。在 WSR-88D RDA 处理中,雷达数据质量控制是通过杂波滤波器,根据径向速度场和谱宽数据为零值来抑制地物杂波的^[6]。江源等^[7]在基于模糊逻辑识别地物回波工作的基础上,得出不同回波识别特征,并利用这些特征有效地抑制了数据杂波。肖艳姣等^[8]在回波顶 ET 和垂直累积液态水 VIL 雷达产品算法基础上,提出了改进算法和对对比分析结果。张志强等^[9]指出在雷达组网过程中,参与组网的雷达在探测强度和定位上的差异将很大程度影响三维拼图的效果。万蓉等^[10]利用多普勒雷达速度资料检验三维中小尺度模式流场。这些算法与研究成果,为处理 CINRAD 雷达数据杂波和提高回波数据质量提供了理论依据。

本文在国内外雷达数据质量控制研究基础上,提出并试验了几种雷达数据质量控制的方法和实现质量控制的技术思路,试图对雷达数据质量的改善与提高有所借鉴。

1 雷达数据杂波来源与质量控制技术路线

1.1 雷达数据杂波来源

(1) 地物与超折射杂波

在雷达数据杂波中,近距离地物杂波(GC)位置基本上固定,比较好判断。超折射杂波(AP),一般发生在温度随高度升高而增加(逆温)或湿度随高度增加而迅速减少的大气层中,是由于雷达电磁波在传播中不断触及地面发生打水漂式传播,而使远处地物出现在屏幕上的现象,这种杂波随机性很大,有时超折射杂波还十分严重(图 1)。

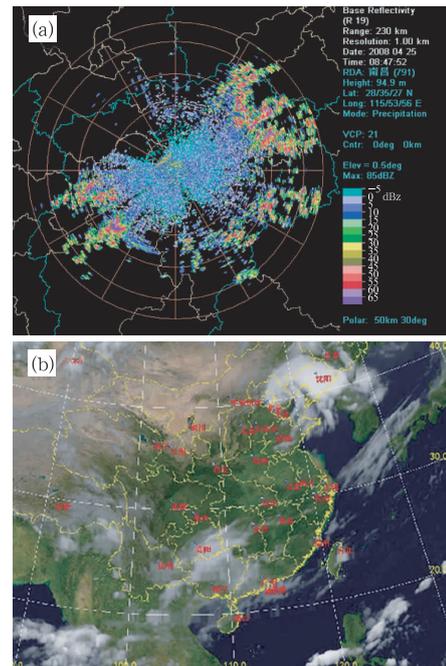


图 1 2008 年 4 月 25 日南昌雷达超折射杂波与卫星云图对比
(a)08:47:52 雷达回波(0.5° 230 km),
(b)09 时 FY-2C 云图

Fig. 1 Contrast to superrefraction clutter echo on Nanchang radar and satellite image of April 25, 2008.
(a) radar echo at 084752 LST (elevation 0.5° radius 230 km), (b) FY-2C satellite cloud picture at 0900 LST

2008 年 4 月 25 日 08:47,南昌雷达观测到十分强的超折射杂波,最大回波强度达到 85 dBz,回波水平梯度很大(图 1a)。抬高天线仰角 2.4°,超折射杂波大部分消失(图略)。09 时 FY-2C 云图上,江西境内没有积云团发展而只有淡弱的丝缕状高云存在(图 1b),在这种情况下,不可能出现强度达 85 dBz 的降水回波。因此,利用云图特征来排除超折射杂波是一种比较直观的方法,也是一种使用非雷达资料进行互补的方法。

在雷达数据质量控制过程中,使用非雷达资料(云图、自记雨量和闪电数据)排除地物杂波具有一定的优势和局限性。在雷达探测范围内晴空区里,

使用云图特征来排除地物杂波(尤其是大范围超折射杂波)效果较好;当有降水存在时,这种方法就受到限制不适宜使用。

(2) 孤立和离散噪声杂波

多普勒雷达回波中经常会出现许多孤立的小块杂波和离散的噪声杂波(包括极端值杂波),这些杂波不属于地物与超折射杂波,多由于飞机、鸟群、无线电频率等干扰造成的高斯噪声和脉冲噪声杂波。除此外,通过一些质量控制算法处理后,也会在屏幕上残留一些没有处理干净的杂波。因此,把这些孤立和离散的杂波统称为噪声杂波,需要专门针对这类噪声杂波选择合适的算法进行处理。

1.2 质量控制技术路线

“近距变换,远距叠加,算法过滤,资料互补”是处理数据杂波的技术路线。近距变换是近距离数据杂波采用多仰角数据变换方法(分段混扫);远距叠加是远距离数据杂波采用 2 个不同仰角叠加分析;算法过滤是采用几种算法过滤不同形式的数据杂波;资料互补是用邻站雷达资料弥补本站地物杂波区和静锥区回波,用云图、闪电和加密雨量站资料来区分地物杂波与降水回波并进行数据互补。

无论是地物、超折射杂波,还是噪声杂波,仅靠某一种算法来处理其效果始终不佳,尤其是超折射杂波(AP)出现的概率随机性大,使得单一种算法很难解决问题。因此,采用距离段扫描、改进的组合反射率因子算法、双层仰角逻辑对比、统计“突变率”和改进型中值滤波算法综合处理,逐步去除数据杂波。在处理数据杂波过程中,不强调用一种算法处理干净,而是在保留降水回波真实性的基础上再换种算法处理。在处理超折射杂波时,使用非雷达资料互补能起到较好作用。

2 雷达回波特征分析

雷达回波分为降水回波和非降水回波两种,其中降水回波从性质上可以分为:层状云降水回波和对流云降水回波。非降水回波是指包括地物、超折射杂波和噪声杂波在内的数据杂波。区分这些雷达回波特征,对雷达数据质量控制的处理十分重要。这些特征主要有 5 个方面:①回波强度;②回波顶高;③回波水平梯度;④回波水平范围;⑤回波径向速度^[5]。其中回波水平梯度是指回波中心到边缘的

距离,距离愈短,等值线愈密集,梯度愈大。

2.1 层状云回波

①回波强度弱,多数回波强度都在 15~35 dBz 之间;②回波顶高低,一般在 4 km 以下,且回波垂直结构梯度小;③回波水平梯度小,中心到边缘回波距离长,等值线疏散,中间明显有较宽过渡层;④回波范围较大,经常出现大范围片状和团絮状回波结构;⑤回波径向速度分布广,没有明显的中值(-10~10 m·s⁻¹之间)。

2.2 对流云回波

①回波强度较强,多数回波强度都在 35 dBz 以上;②回波顶高一般在 6 km 以上,且回波垂直结构梯度适中,有时回波发展旺盛时,回波顶高可达 18 km 以上;③回波水平梯度大,中心到边缘回波距离较短,等值线较密集,中间过渡层较窄,尤其是飑线和超级单体回波,靠强回波带和悬挂回波的一侧,回波水平梯度最大;④回波范围较小,单体明显,经常出现块状和带状回波结构,并伴随着强对流和强降水天气的出现;⑤回波径向速度分布广,没有明显的中值(-10~10 m·s⁻¹之间)。

2.3 数据杂波

①回波强度高,有时地物、超折射杂波强度超出雷达接收机灵敏度动态范围-10~70 dBz,经常达到 80 dBz 以上;②回波顶高低,一般在 2~3 km 以下,且回波垂直结构梯度大;③回波水平梯度大,地物杂波几乎没有中间过渡层;④回波个体小,如超折射杂波呈现单体群状,由孤立星点状单体组成,在大片超折射杂波群中,可以看出密密麻麻、星星点点的强单体回波;⑤回波径向速度中值接近零(-2~0 m·s⁻¹之间,中值-1 m·s⁻¹),中值速度谱宽比较窄(0~2 m·s⁻¹之间,中值 0.6 m·s⁻¹)。

综上所述,层状云、对流云降水回波和数据杂波是组成 CINRAD 雷达回波图像的基础,这些回波往往混合在一起,同时具有不同特征,使回波识别更趋复杂。因此,采用不同的算法综合识别这些特征成为解决数据质量控制的关键环节。

3 雷达数据质量控制算法

3.1 距离段扫描方式

距离段扫描方式的基本原理是按照距离不等分

成若干段,每段对应一个仰角,类似于 WSR-88D 降水算法中的混合扫描方式^[6]。

雷达数据质量控制程序处理过程中,按 3.3 km 波束中心高度和仰角,把距离段细分为 9 段(表 1)。可以看出:一是按照 VCP21 体扫模式(9 仰角/6 分钟)设计的,即 9 段对应 9 层仰角;二是在波束中心

高度随仰角和距离(n mile)变化图上还可以看出(图略),这些距离段类似于 3.3 km 准等高 CAPPI;三是 6~9 段距离是在测站静锥区中,这段反射因子有一定失真,最好使用邻站雷达资料弥补;四是近距离(63 km 内)使用了 7 个仰角数据,146 km 外只有一个仰角。

表 1 3.3 km 波束中心高度与仰角、距离段对照表

Table 1 The contrast list for the height of 3.3 km of center beam, elevation and range segment

	9	8	7	6	5	4	3	2	1
距离/km	8~13	13~16	16~27	27~36	36~45	45~63	63~92	92~146	>146
仰角/°	19.5	14.6	9.9	6.0	4.3	3.35	2.4	1.45	0.5

使用距离段扫描方式处理地物杂波效果比较明显,结果很像 CAPPI 等高图,不需要插值计算,类似英国使用的由 4 个低仰角构成的“假 CAPPI 图”^[11]。距离段扫描方式不能完全过滤地物、超折射杂波,尤其是在 146 km 以外距离上有超折射杂波时,需要使用双仰角数据对比分析来确定回波性质。

距离段扫描方式处理地物杂波时另外一个问题是分段数据回波有“断层”。由于仰角的倾斜、分段距离的长短,以及回波强度随高度分布不匀的影响,处理后的反射率因子回波图像中有明显的“断层”,显示数据不够连续,并随仰角变换波束有一定的倾斜。因此,采用改进的组合仰角算法来解决这一问题,即选择 3.3 km 以上的仰角数据进行组合计算反射率。虽然与 0.5° 仰角的原始图像有明显差别,但可以看出爬线的高层回波范围与结构,显示效果

较好(图 2)。图中把小于 5 dBz 的回波屏蔽掉,主要是为了突出降水回波的特点,使用 300 km 档是为了更好反映回波全貌。

距离段扫描方式处理近距离地物杂波效果比较好,图 2a 中西北面 20~30 km 处的西山回波和南面 80~90 km 处的玉华山回波被明显去除(箭头所指处)。对远距离的超折射杂波则处理效果差,图 2b 中东南面的零散回波有大部分是杂波。图 2c 是经过双仰角数据对比分析的效果,可见大部分的杂波被去除。

双仰角数据对比分析实际上是进行逻辑运算值(“与”运算“&&”)操作,当上层仰角回波数据连续时就为“真”或“1”;仰角数据不连续时就为“假”或“0”。双仰角只要有一层逻辑运算值为“假”,就可以判断是要去除的超折射杂波。实践证明,这种方法

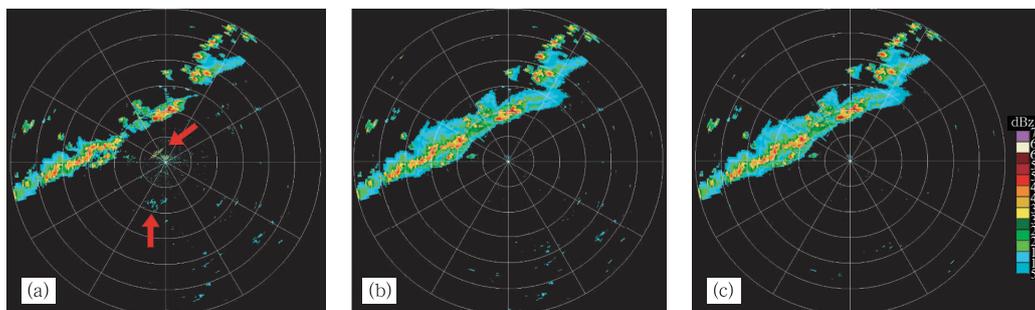


图 2 距离段扫描方式处理的回波图像效果图(300 km 距离档)

(a)0.5° 仰角原始图像; (b)改进的组合仰角处理效果; (c)双仰角数据对比分析效果

Fig. 2 Rendering of echo map with range bin scanning mode. The range is at 300 km

(a)Original picture at elevation 0.5°, (b)treatment effect of improved combination elevation,

(c)compared analysis effect of double elevation data

去除数据杂波有一定效果,但依然会有杂波残留。这些杂波在更高一层仰角上还保留痕迹,回波伸展高度很高,还有可能就是很小尺度的单体降水回波。当然,采用噪声过滤方法是去除这些小尺度单

体回波的。

3.2 回波“突变率”算法

统计回波水平结构的“突变率”和分析回波垂直

高度来区分层状云回波、对流云回波和数据杂波。算法如下:①回波水平结构相邻点如果强度相同,突变率=0;如果强度发生变化(阈值 5 dBz),突变率+1;突变率 ≤ 3 的就是层状云回波,突变率 > 3 的就是对流云回波或数据杂波。②回波垂直高度结构 > 3 km 是降水回波, ≤ 3 km 是数据杂波。层状云回波高度有可能 ≤ 3 km,但突变率必须 ≤ 3 。

由此可见,当突变率 ≤ 3 时,无论高度 > 3 km,还是 ≤ 3 km 都是层状云回波;当突变率 > 3 时,如果高度 > 3 km 是对流云回波,高度 ≤ 3 km 是数据杂波。通过以上分析,得出以下 3 种组合:

(1) 层状云回波:突变率 ≤ 3 ,无论高度 > 3 km,还是 ≤ 3 km;

(2) 对流云回波:突变率 > 3 ,并且高度 > 3 km;

(3) 数据杂波:突变率 > 3 ,并且高度 ≤ 3 km。

回波“突变率”算法对确定回波性质,选取中值滤波窗口的大小十分有用。

3.3 改进的中值滤波算法

3.3.1 邻域平均法和百分比统计法

在 CINRAD 雷达回波中,通过距离段扫描方式

处理后会残留一些噪声杂波。去除噪声杂波常用的方法有:一是邻域平均法——即用一个矩形窗口在图像上滑动,把窗口中心对应的像素值修改为邻域窗口的代数平均值。二是百分比统计法——即在矩形窗口中直接统计像素点百分数,阈值缺省为 75%,小于 75%时将该像素置空,大于 75%时将保留原像素值。这两种方法的矩形窗口一般选择 5×5 或 3×3 像素矩阵。

3.3.2 改进的中值滤波算法

邻域平均法和百分比统计法有其缺陷,在去除噪声杂波同时也会损失矩形边界信息,为此,使用中值滤波算法^[12-13]能较好解决这个问题。这种算法的关键是窗口大小的选择,根据实践经验,矩形窗口选择 5×5 (或 3×3) 像素矩阵比较合适。由于 CINRAD 雷达回波图像的特殊性,一方面噪声杂波大多数都存在于非降水区中,不需考虑噪声杂波边界和颜色等复杂问题;另一方面在去除噪声杂波的同时还要保留强回波数据细节,以凸显强回波特征。因此,使用改进的中值滤波算法,即可以较好消除这些噪声杂波,增强回波的平滑度,又可以保留强回波中心特征(图 3)。

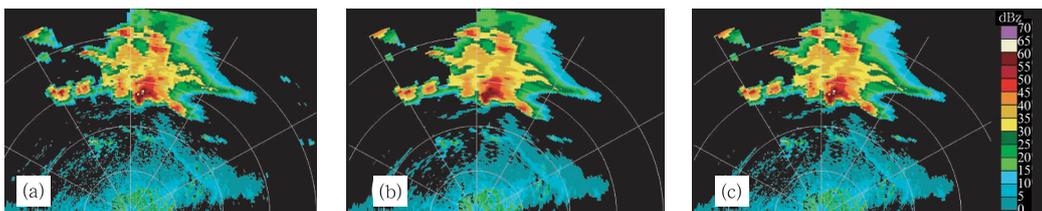


图 3 原始图像与中值滤波算法图像对比图(仰角 0.5° , 230 km)

(a) 原始图像; (b) 传统中值滤波; (SM) 图像; (c) 改进的中值滤波图像

Fig. 3 Comparison map of original image and image worked with median filtering algorithm.

The elevation is 0.5° and the range is 230 km

(a) Original picture, (b) traditional median filter picture, and (c) improved median filter picture

图 3a 是没有使用中值滤波的原始图像;图 3b 是使用传统中值滤波(SM)图像效果,虽然回波平滑许多,但强回波中心细节损失掉了;图 3c 是通过改进的中值滤波图像效果,保留了回波平滑度又使强回波中心细节凸显出来,与原始图像对比有较好的效果。中值滤波算法对一些零散的噪声杂波也有一定的过滤作用。

3.3.3 雷达掉线处理

CINRAD 雷达在体扫过程中会受到机械和软件等诸多因素的影响,如:天线转速不匀、角码发生变化、接收机模拟信号没有及时传到信号处理器、方位角出现四舍五入现象等,信号处理器得不到信号

而出现掉线,即沿径线某一方位角上的所有距离库数据丢失,雷达回波图上呈现很窄放射状扇形空区。如果掉线只有 1° 方位角,处理算法比较简单,就是把相邻的径线数据填补扇形空区即可。但连续出现多根掉线的算法就不是那么简单了,采用 5×5 中值滤波算法可以较好解决(图 4)。

图 4a 回波出现单根掉线现象(黑色放射线状),东面、东南、西南各方向都有,但可以看出线状很窄;图 4b 使用相邻径线数据填补方法进行填补,效果可以;图 4c 回波正北连续出现 2 根掉线现象(小图是 2.4° 仰角);图 4d 是使用中值滤波算法进行修复的效果,掉线基本看不出来。

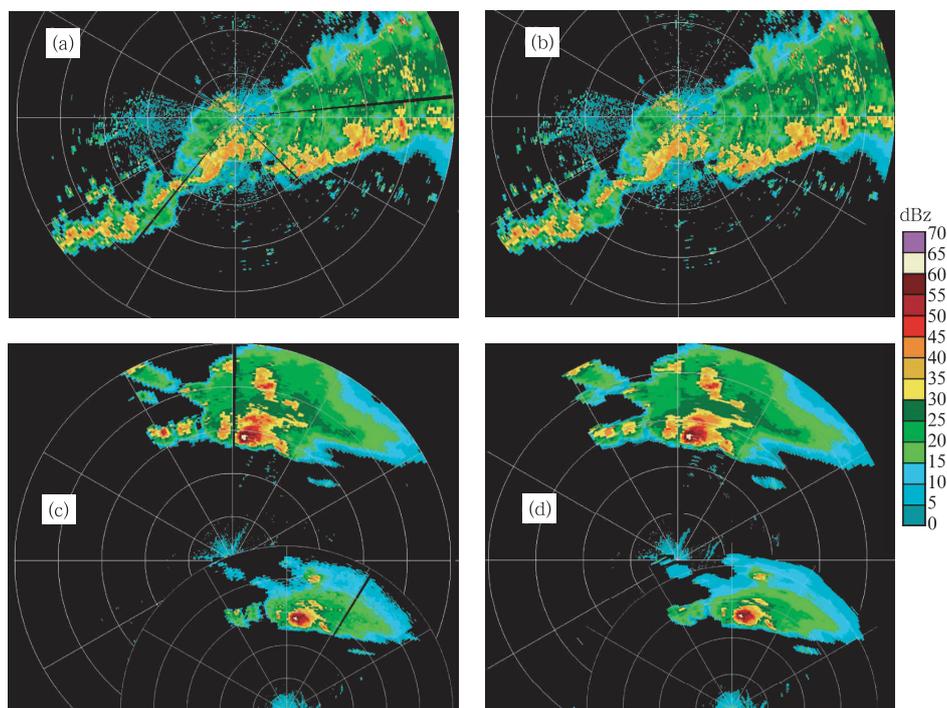


图 4 雷达数据掉线相邻填补法和中值滤波法补线效果图

(a)有掉线回波; (b)相邻填补法处理效果(仰角 0.5°, 230 km);
(c)有掉线回波; (d)中值滤波法处理效果(仰角 1.5°和 2.4°, 230 km)

Fig. 4 Rendering of images respectively filled in vacant region by the way of adjacent region and median filtering algorithm filling

(a) Echo with one scanning line threw, (b) treatment effect with border-filled method at elevation 0.5° and radius 230 km, (c) echo with some scanning lines threw, and (d) treatment effect of median filter (elevation 1.5° and 2.4°, radius 230 km)

掉线属于正常情况, 几乎所有雷达体扫基数据文件中都有可能掉线, 且掉线根数的多少、掉线出现的方位和出现的仰角层数等都随机性很大。

4 综合资料的互补

4.1 “雷达对”资料互补

在不考虑波束阻挡的影响, 以 200 km 半径为基准, 江西 5 部雷达有效探测范围构成 8 个“雷达对”^[14](图 5)。其中①南昌—九江直线距离 100 km; ②吉安—赣州直线距离 130 km; ③上饶—南昌直线距离 200 km 为主要的“雷达对”。其他公共重叠区还构成 5 个“雷达对”, ①南昌—吉安(180 km); ②南昌—赣州(320 km); ③九江—上饶(230 km); ④九江—吉安(310 km); ⑤吉安—上饶(330 km)。8 个“雷达对”为资料互补创造了条件。

采用“雷达对”资料互补可以有效去除头顶静锥区的影响, 同时利用邻近“雷达对”资料的公共重叠

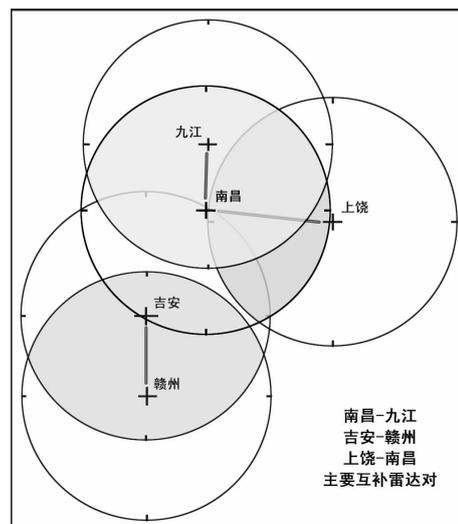


图 5 南昌、九江、吉安、赣州和上饶“雷达对”示意图

Fig. 5 Sketch maps with “radar pair” character of Nanchang, Jiujiang, Ji’an, Ganzhou and Shangrao radars

区, 可以弥补本站数据杂波、遮挡区和 150 km 外的回波区数据。

测站的遮挡角图对地物、超折射杂波的去除和雷达有效探测范围的了解有较好的帮助。图6是南昌、九江、吉安和赣州雷达 0.5° 仰角近物遮挡角和频率干扰遮挡角示意图,在本站近物遮挡角和频率干扰遮挡角区域,尽可能使用邻站雷达资料来填补。

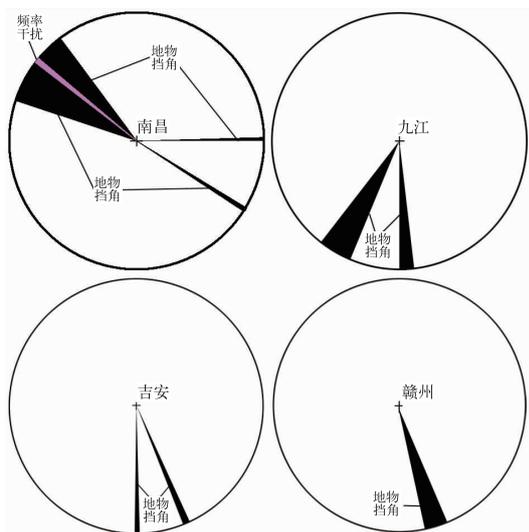


图6 南昌、九江、吉安、赣州雷达 0.5° 近物遮挡角和频率干扰遮挡角示意图

Fig. 6 Sketch maps showing adjacent and frequency disturbance corner on the elevation of 0.5° of Nanchang, Jiujiang, Ji'an and Ganzhou radars

4.2 雷达相关产品的资料互补

地物、超折射杂波的高度较低,可以使用回波顶高ET产品进行对比,以3 km高度为标准,ET小于3 km置空。1小时降水量OHP可以与反射率因子R进行对比,OHP为0处, $R > 25$ dBz置空。

4.3 非雷达资料互补

将云图、闪电、加密雨量资料处理成与雷达坐标比例相对应的资料,雷达数据质量自动控制处理时先调用这些外部资料进行分析。闪电和雨量可以得到与雷达实时同步资料,云图则要使用FY-2C、FY-2D间隔15分钟的资料。对于晴空超折射杂波的排除,使用这些资料十分有效。例如:云图相应位置上没有积雨云,雷达上回波就是超折射杂波;地面雨量为0,相应位置上的回波就不是降水回波等等。

当雷达探测范围内出现降水时,一方面非雷达资料的使用受到限制;另一方面在这种情况下,超折射杂波会由于出现降水而明显减少。因此,非雷达资料的使用主要针对晴空区超折射杂波的排除。

5 结语与讨论

雷达数据质量控制首先要掌握数据杂波的来源、形成原因等要素,了解数据杂波与降水回波的不同特征,然后重点从几个方面去处理。雷达数据质量控制算法包含的内容很多,因为地物、超折射杂波的复杂性,很难用单一算法全部解决问题。

采用改进的距离段扫描方式、回波“突变率”过滤算法、中值滤波算法来处理雷达数据杂波,基本上能解决数据杂波中大部分问题,使雷达回波图显得“干净”些。这几种算法是在前人研究的基础上经过改进而实现的。例如:距离段扫描方式是根据WSR-88D降水算法中的混合扫描方式而演变过来的,不同点是降水算法只用了4层仰角分4段数据,距离段扫描方式则使用了9层仰角9段数据及改进的组合反射率因子算法,使用了双仰角数据逻辑运算值(“与”运算“&&”)分析判断远处超折射杂波。回波“突变率”过滤算法是根据降水回波和数据杂波的特点,从回波水平与垂直结构上进行分析,具有较强的回波分类辨别能力,对于自适应窗口大小的选择十分有用。中值滤波算法是引进了数字图像处理噪声杂波的算法,对提高回波图像的平滑度、填补部分“掉线”数据有所帮助,对孤立零散的数据杂波还有较好的过滤作用。为保留强回波中心数据的真实性,凸显强回波,对传统中值滤波(SM)算法进行了改进,结果表明,改进的中值滤波算法对强回波中心数据有较高的保真度。

综合资料的互补是雷达数据质量控制中引进的一个新理念,采用“雷达对”资料与雷达遮挡角资料、雷达相关产品资料和非雷达资料来排除数据杂波,有时候这种方法的效果更直接,尤其是解决大晴天出现超折射杂波时效果明显。

尽管有许多种处理地物、超折射杂波和噪声杂波的方法,但总会留下遗憾,尤其是在处理一些莫名其妙的杂波和时有时无的频率干扰时,情况更复杂。

多部雷达的统一授时和同步观测技术环节^[15-17],对雷达数据质量的影响很大。在多部雷达组网拼图过程中,雷达取样时间不同往往影响到雷达数据反演的可靠性,造成以拼图资料为主题的客观短临预报精度的偏差。因此,实现多部雷达统一授时和同步观测,发挥雷达组网合力也是提高雷达数据质量的另一种有效途径。

参考文献

- [1] 肖艳姣,刘黎平. 新一代天气雷达网资料的三维格点化及拼图方法研究[J]. 气象学报,2006,64(5):647-657.
- [2] 张志强,刘黎平,谢明元,等. CINRAD 三维拼图产品显示系统[J]. 气象,2007,33(9):19-24.
- [3] Kessinger C, Ellis S, Van Andel J. The radar echo classifier: A fuzzy logic algorithm for the WSR-88D [C]//3th conference on artificial applications to the environmental science. AMS Long Beach, CA, 2003.
- [4] Zhang J, Wang S, Clarke B. WSR-88D reflectivity quality control using horizontal and vertical reflectivity structure [C]//11th conference on aviation, range and aerospace meteorology. Hyannis, 2004:54.
- [5] Lakshmanan V, Fritz A, Smith T, et al. An automated technique to quality control radar[J]. Applied Meteorology (on review), 2005.
- [6] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2006:314.
- [7] 江源,刘黎平,庄薇. 多普勒天气雷达地物回波特征及其识别方法改进[J]. 应用气象学报,2009,20(2):203-213.
- [8] 肖艳姣,马中元,李中华. 改进的雷达回波顶高、垂直积分液态水含量及其密度算法[J]. 暴雨灾害,2009,28(3):210-214.
- [9] 张志强,刘黎平,王红艳,等. 华北区域四部雷达探测强度与定位一致性分析[J]. 气象,2008,34(9):22-27.
- [10] 万蓉,郑国光,王斌,等. 利用多普勒雷达速度资料检验三维中小尺度模式流场[J]. 气象,2009,35(9):3-8.
- [11] K A 布朗宁[英]. 现时预报(中译本)[M]. 北京:气象出版社,1986:260.
- [12] Smolka B, Szczepanski M, Plataniotis K N, et al. On the fast modified vector median filter [C]. Proceeding of IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Toronto, 2001:13-16.
- [13] 郁伯康,郁梅. 彩色图像滤波的新方法[J]. 电子科技大学学报,1999,2:14-19.
- [14] 肖艳姣,刘黎平,杨洪平. 区域雷达网同步观测对比分析[M]. 北京:气象出版社,2008:142-152.
- [15] 马中元,朱春巧,傅敏宁,等. 多普勒天气雷达的统一授时和同步观测初探[J]. 气象与减灾研究,2008,31(3):63-66.
- [16] 马中元,朱春巧,陈云辉,等. CINRAD 雷达同步观测技术思路与实践[J]. 气象水文海洋仪器,2009,26(4):1-6.
- [17] 马中元,朱春巧,潘江平,等. GPS-Net 授时系统在气象业务中的应用[J]. 气象,2010,36(4):132-136.