

WSR-88D 雷达降水产品的优化

邵玲玲 黄 炎

(上海中心气象台, 200030)

提 要

研究了 WSR-88D 降水处理系统的质量控制步骤, 并通过对降水预处理算法、降水率算法、降水累积算法、降水订正算法的深入了解, 根据本地区的地理、气候特征和本站的条件、业务需求等进行了各种降水可调参数的研究和设置, 以期获得可能的最好降水估测。该研究通过优化 WSR-88D 的降水产品, 改进了降水处理系统的降水测量精度, 对目前全国布网的新一代雷达应用有一定的参考应用价值。

关键词: 雷达 降水产品 优化

引 言

用雷达定量测量区域降水历来是雷达气象领域中的一个重要课题。近 20 多年来, 国内外对此已作了不少工作, 但由于国内雷达性能不稳定和定标所引起的各种测量误差等问题, 大多处于试验研究阶段, 真正能投入日常业务应用的并不多。上海引进的 WSR-88D 雷达(包括国产的 CINRAD-SA 雷达)配备了较完善的降水处理系统, 可以提供时间上连续、空间分辨率很高的资料, 并经过一系列质量控制步骤获得各种时空尺度的降水产品。我们通过深入研究该雷达的降水处理算法, 根据本地区的地理、气候特征和本站的条件、业务需求等进行了各种降水可调参数的

优化, 可为本地区的防汛减灾和水情预报提供可靠的雷达降水产品, 在实际应用中获得了较好的效果。

1 雷达降水处理系统

WSR-88D 多普勒天气雷达提供 5 种降水产品: OHP(一小时累积降水)、THP(三小时累积降水)、STP(风暴总降水)、USP(用户设置降水)、DPA(一小时降水数字矩阵), 这些产品在区域降水的预报中起到了很大的作用。

WSR-88D 的降水处理系统(PPS) 由降水预处理算法、降水率算法、降水累积算法、降水订正算法 4 个算法组成。通过这 4 个水文气象算法生成各种降水产品, 同时施加大

量的质量控制以期获得较好的降水估测。算法的基本原理是:把最低4个仰角的基本反射率扫描转换为一个最佳反射率的“混合扫描”,然后将混合扫描转换为降水率并用来计算体扫到体扫的累积降水量,在处理的过程中,算法提供多种可调参数。此外,算法还要进行遥测雨量计数据的自动校准^[1]。

2 降水算法的可调参数设置

WSR-88D的降水处理具有多项质量控制步骤,算法中很多可调参数都是高度灵活的,因此能生成较高质量的降水产品,关键是设置好算法中的各种可调参数。可根据本地的气候条件和天气系统规律及业务要求等,通过研究后进行调节,以获得较好的降水产品。

2.1 降水预处理算法

2.1.1 混合扫描的设置——修正波束高度随距离的变化

WSR-88D 雷达降水测量使用的反射率来自混合扫描探测,因此需要合理设置4个低仰角的组合和函盖距离。在离雷达2~27km的距离内用3.4°仰角的数据,可以有效避开近区的残留杂波干扰,27~41km用2.4°仰角,41~56km用1.5°仰角,在56km以远,采用双扫描(Bi-Scan)最大化方法,以减少远距离上波束衰减的影响,此技术选择最低2个仰角中较大的反射率(除非最低仰角在倾斜测试中被弃用)。在该处理中可以设置最小距离MNRBI和最大距离MXRBI两个参数以确定施加Bi-Scan的范围。MXRBI的设置一般采用最大程230km,而MNRBI的设置可以根据本地不同季节零度层亮带的位置来确定,以避免亮带引起的降水量高估。

2.1.2 降水探测功能阈值的设置

降水算法软件中可设置3种降水类型。零类为无降水,天线以晴空模式进行体扫描,算法积累零降水。一类为明显降水,根据其

小面积高强度降水或大面积低强度降水的特性,一般设置降水率阈值RATE为4dBR(dBR=10lgR,R为降水率),即相当于30dBz的中等强度回波,面积阈值CLUTTER为10km²的降水面积加上额定的杂波面积,软件检测来自4个最低仰角的反射率数据,等于或超过此阈值时,如天线在晴空模式VCP工作,则自动切换到降水模式的VCP,执行降水算法。二类为轻微降水,根据其孤立的弱对流和低强度广阔降水的特性,一般设定降水率阈值为-2dBR,约为22dBz的弱回波,相当于0.6mm·h⁻¹的降水,面积阈值可设置得稍大一些,为20km²左右,天线可工作在降水和晴空二种VCP模式。一旦降水类型被确定,降水处理算法将整体运行,表1为降水探测阈值的设置。一类降水有优先权,在观测某些较弱的回波系统(如雪回波等)时,可以通过对一类降水增加额定杂波面积而对二类降水减少额定杂波面积,使阈值仅超过二类不超过一类,雷达可以运行在VCP31或VCP32,显示较低的反射率同时仍然生成降水产品。因此,在业务工作中可以根据探测到的面积和阈值面积之间的差异来确定额定杂波面积,以适应不同的观测需要^[2]。

表1 降水探测阈值的设置

PRECIPITATION DETECTION		PAGE 1 OF 1				
COMMAND:AD, ***** ,M, ***** ,P,						
FEEDBACK: OPER A/L 21						
(M)odify, {LINE#} (E)nd (C)ancel (D)elete, {LINE#}						
N	倾斜范围	降水率阈值 /dBR	额定杂波面积 /km ²	降水面积阈值 /km ²	降水类别	
1	0.0 2.0	-2.0	100	20	2	
2	0.0 4.0	4.0	150	10	1	
3	2.0 4.0	-2.0	80	20	2	

2.1.3 地物杂波的倾斜测试

地物杂波对降水测量影响较大,虽然在RDA已经进行了较有效的消除,但仍会有一些残留的杂波,在AP(波束的非正常传播)时

尤为明显,因此降水算法提供进一步的处理即倾斜测试。该技术规定从最低仰角到下一个较高仰角的回波减少百分率超过阈值时,则最低仰角的回波将不考虑应用于降水处理而用下一个较高仰角的资料。在倾斜测试处理中可以设置以下几个可调参数:

(1)MNECH:倾斜测试处理时最低仰角所需要最小面积阈值,降水回波面积小于该阈值则不做倾斜测试,这是考虑到太小的回波范围进行倾斜测试意义不大且增加工作量。可以取 $20\text{km} \times 30\text{km}$ 的回波范围,设置为 600km^2 。

(2)MNRAA:最小反射率阈值。为了提高处理效率,过滤较弱的回波,该阈值设置为 10dBz 左右,系统仅对超过阈值的回波进行倾斜测试处理。

(3)MXPCT:比较 0.5° 和下一个较高仰角 1.5° 时观测到的回波强度资料,所得到的回波范围减少百分率。根据本地的地物回波分布情况及 AP 的特性设置,其可调范围在 $25\% \sim 100\%$,上海雷达调整为 70% ,一般在山区或地物回波较多的测站,该值可设置的略大一些。

(4)倾斜测试的内距 IRTLT 和外距 OR-TLT:由于倾斜测试是在所设内外距之间进行,因此内外距的设置是根据本地最可能出现地物和 AP 的区域,我们设置为 40km 和 150km ,当地物抑制效果较差时,可以调整内距,以保证近距离的降水估测精度。

2.2 降水率算法的可调参数设置

2.2.1 从反射率到降水率的转换

降水率算法的输入值是由混合扫描所生成的每个 $1^\circ \times 1\text{km}$ 取样体积内的反射率值,再由反射率值根据 $Z = AI^b$ 关系转换成降水率,其中系数 A 的可调范围在 $30 \sim 3000$ 之间,系数 b 在 $1.0 \sim 2.5$ 之间,WSR-88D 的缺省关系为 $Z = 300I^{1.4}$ 。我们通过研究得到上海地区不同降水类型的对应 $Z-I$ 关系^[3],如

下所示:

稳定性降水: $A = 263, b = 1.26,$

对流性降水: $A = 200, b = 1.46,$

混合型降水: $A = 254, b = 1.33,$

在季节转变或预期降水型式变化之前,可以在 UCP 上把适当的转换关系置入算法系统中的 $Z-I$ 系数表,雷达在下一个体扫描开始时执行新的反射率到降水率转换关系。近几年的使用结果表明,分型 $Z-I$ 关系的应用提高了降水估测的精度^[3]。

2.2.2 最大的封顶降水率

根据 $Z-I$ 关系计算,每个 Z 值都有一个降水率 I 相对应,但随着观测到的 Z 值增大到一定程度后,所转换的 I 值会不合理地急剧增大。如雷阵雨时, Z 值为 50dBz ,所对应的 I 值为 $70.6\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$,与实际状况较符合。当 Z 值为 60dBz 时,降水率 I 竟大到难以想象的 $341.6\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (混合型降水时还要大)。图 1 是我们统计的二种降水类型的 $Z-I$ 关系曲线,可以看到在低反射率区域,降水率随反射率缓慢增大,但当反射率增大到一定的转折区即拐点后,如混合型降水中, Z 值超过 $48 \sim 50\text{dBz}$ 区间,或雷阵雨中 Z 值超过 53dBz 左右时, I 值的变化就显示出合理的急速增大趋势。因此在实际工作中必须要根据当地的气候规律及天气系统设置一个

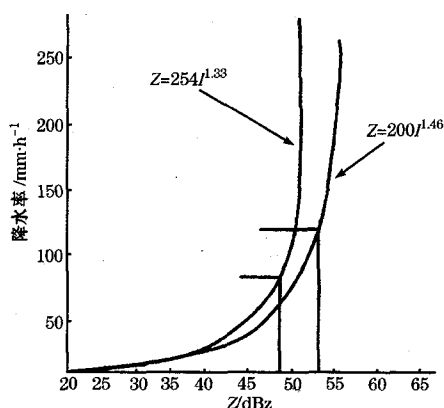


图 1 反射率和降水率的转换曲线

“可转换成降水率的最大 dBz 值”^[4],即确定允许转换成降水率的反射率值上界,称之为封顶反射率,用以避免旺盛发展的对流云中一些大的雹块(粒),造成 dBz 值过大而导致对降水估测的污染。在雷阵雨时,封顶反射率定在 53dBz。同理,在混合型降水中,定在 49dBz 比较合适,相应的最大可转换降水率分别为 $113.3\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $75.2\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

2.2.3 降水率的时间连续性测试

因为 AP、干扰或系统噪声、发射功率的降低等原因,都会引起降水回波不合理的增强或减弱,因此需要对回波进行时间连续性测试的质量控制,将不可靠的体扫资料去除。

(1) 首先设置时间连续性测试的两次扫描之间的间隔必须小于 MXTDF(15 分钟),因为时间间隔较长的两次体扫中的对流回波本身有时也会产生较大的降水率变化。

(2) 根据观测经验,直径在 15km 以下的对流单体生消演变频繁,初始期不考虑进行降水率变化的质量控制,所以可设置时间连续性测试的最小降水面积 MNART 为 200km^2 (约 $14\text{km}\times 14\text{km}$)。

(3) 根据本地条件和季节,设置 2 个时间连续性参数:在夏季或南方地区,对流发展比较旺盛,回波单体降水率的可允许变化率 PT1M1 可设置为 $30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,秋冬季节为 $25\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右;对半径为 230km 的整个观测范围内,总体降水率的可允许变化 PT1M2 为 $15\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 或 $20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,对于通过时间连续性测试的最大可允许回波面积的变化率为 $300\text{km}^2\cdot\text{h}^{-1}$,如果二个体扫描之间的变化超过以上阈值,该体扫描就作为不合理而抛弃不用。

2.3 降水累积算法的可调参数设置

WSR-88D 对降水资料进行逐个扫描的积累和每小时的积累,但有时会因为各种原因而缺失资料,在降水累积算法中对一些丢失降水率的扫描能进行内插补偿,但因为

两次正常的扫描之间,时间间隔增大时必然会增大降水估算的误差,据统计 15 分钟的时间间隔将平均导致 25% 的误差,而间隔时间越长误差越大^[4],因此需要进行此项质量控制。

(1) 根据不同季节降水系统的特性设定最大的内插时间间隔 MXTIN(见表 2),夏季的对流性降水生消演变较快,可以设置为 20 分钟,其他季节为 30 分钟,以避免时间间隔过长导致的降水估计误差。

表 2 降水累积算法可调参数设置

ACCUMULATION PRECIPITATION ALGORITHM		PAGE 1 OF 1					
COMMAND: AD, ****, M, ****, HY, AC							
FEEDBACK:		OPER A/L 21					
(M)odify (E)nd (C)ancel							
ITEM	TIMRS	MXTIN	MNTIP	THRLI	ENGAG	MPAC	MXHAC
CURRENT	60	30	54	400	0	400	800
MIN	45	15	0	50	0	50	50
MAX	60	60	60	800	59	400	1600
Abbr	escription						Units
TIMRS	-	重新积累降水的时间阈值					MIN
MXTIN	-	最大的内插时间间隔阈值					MIN
MNTIP	-	最小累积时间阈值					MIN
THRLI	-	正点每小时最大降水量阈值					MM
ENGAG	-	每小时雨量计累积的终止时间					MIN
MPAC	-	扫描之间最大累积降水量阈值					MM
MXHAC	-	一小时内最大降水量阈值					MM

(2) 在中断的时间里,用最后一次正常体扫描和中断后第一次正常体扫描值进行平均,再对时间积分。如中断时间大于 MXTIN 值时,积累算法继续使用最后一次好的扫描降水率追加 10(15)分钟,而中断的后 10(15)分钟,采用中断之后第一个体扫描的降水率,在 2 个体扫描之间超过的时间里即为资料丢失,丢失时间超过 6 分钟,即中断时间超过 26(36)分钟时,则每小时的降水积累不进行估算,1 小时降水产品将不生成,但仍生成风暴总降水量产品。

(3) MNTIP 为最小累积时间,在初始降水或降水资料中断后需要累积的时间,在该时间的资料积累后才能获得降水产品,为了

一小时降水产品的精确度,一般设置为54分钟。当急需降水产品时,也可调小该阈值以尽快获得降水产品,但此时获得的降水产品误差较大,仅能提供参考。

(4) THRLI(正点每小时最大降水量阈值)、MXPAC(从当前扫描到上一个扫描之间最大累积降水量阈值)、MXHAC(一小时内最大降水量阈值)三个参数的设置是为了避免降水的高估。由于降水率转换的参数“最大封顶降水率”一般设置在53dBz,其最大的累积阈值不超过 $150\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,而这三个阈值的默认值均在 $400\text{mm}\sim 800\text{mm}$ 之间,并且有重复设置之嫌,因此意义不大。

2.4 降水订正算法的可调参数设置

为了订正非典型的Z-I关系和不正确的硬件定标,WSR-88D雷达提供雨量计订正功能(上海雷达目前未配雨量计,只能利用自动雨量站的资料进行人工订正),可利用多达30个遥测雨量计数据的自动校准。即通过雨量计测值与雷达估测值来计算一个偏差系数,来调整雷达测量降水率的估计值。该方法采用卡尔曼滤波计算调整偏差,其偏差是可得到的雨量计数目的函数。

(1) 设置雨量计累积阈值 THGAC。将太小的雨量计测值和雷达差异数据删除,以避免较大的误差。其选择范围在 $0.1\sim 25.4\text{mm}$ 之间,一般选择 0.6mm ,相当于弱回波降水,即 0.6mm 以上才计算偏差。

(2) 雨量计和雷达差异数据阈值 GAD-SC。差异太大(2倍以上)的数据抛弃,以保证订正的可靠性。

(3) 过大的雨量计累积降水阈值 MX-GAC。太大的降水是不可信的,需要设置一个上限。

3 优化的产品和检验结果

经过产品优化处理后,在雷达上输出由分型Z-I关系估算的降水产品,其16个雨量等级,也根据上海实际降水情况作了调整,从

最小的 $>0.0\text{mm}$ 到 $100\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,层次间隔随雨量的增加而增大,既照顾到较轻微的降水,在雨量图上有一定的层次,同时也考虑到强降水的显示。雨量图的分辨率为 $2\text{km}\times 1^\circ$,所以可得出分辨率较高的区域雨量分布情况。我们对几次过程作了雷达估测雨量和稠密自动雨量站网的实测雨量的对比分析,其效果基本上还是令人满意的。

2001年8月9日受静止锋和切变线的影响,上海地区上午9时起对流云发展,随之在中心城区降了一场雨势非常集中的大暴雨,11~12时自动雨量站记录到市区多处出现1小时50mm以上的雨量。分析雷达探测的1小时雨量图(图略)和雨量站的实测记录可见:(1)雷达OHP图和实测雨量的分布基本一致,市中心区所有50mm以上的雨量站都位于OHP图中1.50~2.00英寸(约合37.5~50mm)的降水区内,随着OHP等级向外围递减,实测雨量也逐步减小。(2)实测雨量值50mm以上的区域,在雷达OHP图上雨量等级只有37.5~50mm,比实测雨量小1个等级;而实测雨量小于20mm时,基本上都落在OHP上相应的等级范围内,即雷达测量与实际降水相一致。(3)分析雷达对50mm以上强降雨区低估的原因:在这次降水过程中,被雷达低估的雨量站大都出现了10分钟20mm以上的雨强,按此雨强则1小时累积雨量在120mm以上,超过了雷达封顶反射率53dBz时的最大降水阈值113.3mm,因此在部分探测时次中雷达必然产生低估,使得1小时累计降水也随之偏小。在另一个检验个例7月6日过程中,14~15时1小时雨量最大的嘉定娄塘为53.5mm,但该时段内的10分钟最大雨强都不超过17.5mm,所以雷达并没有产生低估。看来今后在遇到短时强度极大的集中降水而又没有降雹可能时,最好能在雷达降水处理系统中放宽封顶反射率的设定到54或55dBz,这样探测效果会更

好。

4 几点体会

(1) WSR-88D 雷达提供了较好的降水处理系统,可以在该系统算法和软件的基础上进行改进和完善,没有必要重新进行雷达降水系统的研制。

(2) 只有在熟悉了解降水处理系统的算法、产品以及各种质量控制步骤,并对本地区历史资料的统计研究后才能进行产品的优化,提高雷达的降水估测能力。

(3) 在降水处理系统的参数中,有些是基本固定的,在系统安装好后即无须修改;有些是相对固定的,一旦确定后,要在研究的基础上由系统管理员才能进行修改;有些是要根据天气系统和环境条件的不同每天或随时进行调整的,预报员需要熟悉这部分参数^[5,6]。

(4) 在对 WSR-88D 降水系统各种降水阈值的设置研究中,发现有些可调参数的作用互相重复,有些参数的物理意义又互相矛盾,需要仔细研究,予以区别对待,方能达到

优化降水产品的目的。

(5) 预报员在使用 WSR-88D 雷达降水产品时,应考虑到还存在着的一些问题^[3],如雷达测量与地面实测的空间不一致性等造成的误差,这是今后系统应进一步优化的方面。

参考文献

- 1 OTB, OSF. WSR-88D OPERATIONS COURSE, 1997, 5:193—196.
- 2 R. C. Shedd et al. Sectorized Hybrid Scan Strategy of the NEXRAD Precipitation Processing System, International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, 1989.
- 3 邵玲玲等. 雷达估测降水中的 Z-I 关系研究. 大气科学研究与应用(二十三), 北京:气象出版社, 2002. 10.
- 4 OTB. WSR-88D Hydrometeorological Precipitation Processing, Hydromet Workbook, 1990, 5:15—17.
- 5 OTB, OSF. WSR-88D Control Course: Unit Control Position (UCP) and Operating System, Version 9707; 107—133.
- 6 OTB, OSF. WSR-88D Operation Training: Principal User Processor (PUP) Group, 1996. 9; JS2-3-27.

Optimization of the WSR-88D Precipitation Product

Shao Lingling Huang Yan

(Shanghai Meteorological Center, 200030)

Abstract

The quality control step of precipitation processing system of the WSR-88D, and deeply knowledge of the precipitation preprocessing algorithm, precipitation rate algorithm, precipitation accumulation algorithm and precipitation adjustment algorithm are studied. The study and setting of varieties of precipitation adaptable parameters are made based on the geography and climate of Shanghai region, the station condition and operation, so as to expect to get the best precipitation estimation. With the optimization of the WSR-88D precipitation product, the precipitation estimation accuracy of the system has been improved. It can give some useful reference to the CINRAD installing throughout the country.

Key Words: radar precipitation product optimization