

宁波新一代天气雷达在人工增雨中的应用

朱龙彪¹ 何彩芬¹ 黄思源²

(1. 浙江省宁波市气象局, 315012; 2. 浙江省宁波市人工影响天气办公室)

提 要

用新一代天气雷达对 2003 年 8 月 11 日夜間一次雷雨过程进行跟踪观测,发现仰角为 0.5° 的平显图上强度为 30dBz 以上回波区的移向移速及其影响宽度与雷暴单体的雨量与雨强有较好的关系,OPH 与 VIL 产品配合使用可定出雨量中心。

关键词: 人工增雨 雷达回波 雨强 平均回波强度

引 言

在宁波 2003 年夏季的火箭人工增雨试验中,利用新一代天气雷达回波资料来指挥人工增雨作业点的选择与火箭发射时间的确定取得了非常好的效果。根据南方夏季对流云的人工增雨特点,本文分析了新一代天气雷达对 2003 年 8 月 11 日夜間的一次雷雨过程(以下简称 811 过程)的回波与 4 个测站的雨量实况,试图寻找对流性降水回波强度与雨强的 $Z-I$ 关系,并以此建立相应公式用来估算雨量,同时也寻找一些有效的雷达产品及指标用于指导人工增雨作业。

1 天气背景

由 2003 年 8 月 11 日 08 时的 500hPa 高空图可见(图略),11 日 08 时 500hPa 冷槽移到济南、徐州、南昌一线,杭州、上海、南京 24 小时变温为 $-1 \sim -3^{\circ}\text{C}$,宁波处在副热带高压边缘。20 时随着冷槽的进一步东移南压与副高南撤,地面冷锋移到杭州湾一线,受其影响,11 日夜間宁波地区普降强降雨。

2 雷雨回波的雨强估算

2003 年 8 月 11 日 20 时,在浙江绍兴北部和义乌一带分别有雷雨回波发展(图 1a, 见封三),中心强度 50dBz,发展初期的回波结构比较松散。尔后,绍兴北部的回波向南发展,而义乌一带的回波朝东北移动,21 时二块回波在绍兴南部合并,在此期间回波东移不明显(图 1b)。回波合并以后能量得到

补充结构变得紧密,处在回波前沿位置形成一块强度为 30dBz 以上的盾状回波,中心强度为 45dBz,轴向成 NW—SE 走向,长轴长度约 75km,宽度约 25km,面积约 1800km²(图 1c)。该回波在 500hPa 西南偏西气流引导下向 70° 方向移动,移速约 25km·h⁻¹。近 22 时,回波越过四明山区后开始影响宁波平原地区。雷雨区经过奉化、宁波、北仑等地,致使上述地区普降雷雨,各测站过程雨量在 10~26mm,其中奉化站 1 小时最大雨量为 26.2mm。24 时以后,回波主体移到宁波东部沿海并减弱(图 1d)。从上述回波演变图可见,30dBz 以上回波区在宁波境内经过的时间约 4 小时。根据回波形态与移向移速少变的特点,查阅对应时次的测站雨量即可计算出该雷雨回波的雨强。即:

$$\begin{aligned}\text{雷雨回波雨强} &= \frac{\text{测站雨量}}{\text{回波影响时间}} \\ &= \text{测站雨量} / (\text{回波影响宽度} / \text{回波移速})\end{aligned}\quad (1)$$

反之,若根据上游的实际雨强、回波移向移速及回波的影响宽度,则可预报出下游地区的雨量。但由于上游的雨强不一定能及时得到,下面根据新一代雷达观测到的回波平均强度与测站对应的雨量实况,再用 $Z-I$ 关系计算出所需要的雨强。由雷达反射率因子 Z 和降雨强度 I 的关系可知:

$$Z = AI^b \quad (2)$$

$$Z = 10^{Z_1/10} \quad (3)$$

式(2)中, Z 表示雷达反射率因子, I 表示降雨强度, A 、 b 为系数。根据国内雷达观测经验, 对流性降水 A 取 130, b 取 1.3, 式(3)中 Z_1 为雷达测得的回波强度, 用雷达测得的回波强度 Z' 代替 Z_1 , 由式(2)(3)求得:

$$I = (10^{0.1Z}/130)^{0.769} \quad (4)$$

把平均回波强度 $Z_{\text{平}}$ 代入上述公式计算, 如表 1 所示, 发现计算结果与实况雨强非常接近, 说明用平均回波强度 $Z_{\text{平}}$ 来估算雨强的方法是可行的。据此, 测站雨量可用下式来估算:

$$R_{\text{计}} = It = (10^{0.1Z}/130)^{0.769} t \quad (5)$$

式(5)中 $R_{\text{计}}$ 为计算雨量, t 为回波经过测站的时间。这里对影响奉化的雷雨回波与测站雨量进行对比分析, 图 2(见封三)是 8 月 11 日 22:06 分影响奉化站的回波剖面图, 由回波的垂直结构可见, 回波的高度 12km, 30dBz 回波高度有 9km, 在近地面大于等于 30dBz

的回波区域宽度为 26km, 回波平均强度 40dBz。3km 高度附近有 50dBz 的强悬挂回波, 表明此时该雷暴单体的上升气流很强, 回波仍处在发展旺盛期。根据当时回波移速 $25\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, 可推算出大于等于 30dBz 回波区经过奉化测站的时间 1.04 小时, 此间奉化站的实况雨量为 26.2mm, 由此可计算出处于近地面平均强度为 40dBz 的雷雨回波的雨强是 $25.2\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

表 1 对 8 月 11 日雷雨过程宁波境内 4 个最大降水量测站与对应的回波情况进行统计。由表可见, 影响宁波的回波比影响奉化的回波稍弱, 经计算得出宁波 0.5° 仰角的平均回波强度为 39.1dBz, 测到的宁波雨强也比奉化要小一些, 为 $23.0\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。这里还对影响北仑站和慈溪站的回波进行雨强计算, 分别为 $18.9\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $11.4\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。通过上述分析, 发现 30dBz 回波区域内平均回波强度越强, 雨强也越强。

表 1 8 月 11 日测站 1 小时最大雨量($R_{\text{计}}$)与对应的雷达回波与产品值

	H /km	Z_{max} /dBz	$H_{30\text{dBz}}$ /km	$W_{30\text{dBz}}$ /km	VIL /kg·m ⁻²	OPH /mm	$R_{\text{计}}$ /mm	$Z_{\text{平均}}$ /dBz	$I_{\text{计算}}$ /mm·h ⁻¹	$I_{\text{实际}}$ /mm·h ⁻¹
奉化	12	51	9	26	17	20.3	26.2	40.2	29.5	25.2
宁波	10	50	8	25	18	12.7	23.0	39.1	24.0	23.0
北仑	9	45	6	21	17	20.3	15.9	37.2	17.2	18.9
慈溪	7	40	6	22	10	12.7	10.0	33.0	8.2	11.4

注: $H_{30\text{dBz}}$: 30dBz 回波高度; $W_{30\text{dBz}}$: 30dBz 回波区经过测站的宽度; $R_{\text{计}}$: 过程雨量; $Z_{\text{平均}}$: 30dBz 回波区的平均回波强度; $I_{\text{计算}}$: 按公式(4)计算的雨强; $I_{\text{实际}}$: 实况雨量代入公式(1)计算的雨强。

那么强度在 30dBz 以下的雷雨回波雨强有多大? 图 3(见封三)对 8 月 11 日 22 时至 24 时影响奉化站的回波强度与对应的雨量进行对比。在 11 日 23~24 时和 11 日 24 时~12 日 01 时, 奉化站每小时雨量分别是 3.6mm 和 1.1mm, 从对应的影响回波来看, 在 11 日 23 时影响奉化站的回波强度为 15~25dBz 之间, 可见 30dBz 以下的雷雨回波所产生的雨强是较弱的。经过以上的对比可以看出, 雷雨强降水主要与 30dBz 以上的回波区相对应, 近地面回波越强, 对应的雨强也越强, 同时, 雨强还与强回波经过的时间有关, 强回波经过的时间越长, 则雨强也越强, 而 30dBz 以下的雷雨回波所产生的雨强是不

强的, 个例中小于 30dBz 的雷雨回波所产生的雨强还不足 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, 因此在宁波沿海地区进行人工增雨作业时, 选择低仰角(一般取 0.5° 仰角)的回波强度最好在 30dBz 或以上。

为了验证上述雨强公式是否具有普遍性, 对 2004 年 7 月 13 日和 7 月 14 日的两次强雷达过程进行了检验。7 月 13 日 14 时 05 分至 15 时, 奉化西坞下了 63.6mm 的雷阵雨, 根据当时的回波情况, 计算出平均回波强度为 45dBz, 由公式(4)得到雨强为 $68.3\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, 代入式(5)估算出雨量为 62.6mm, 与实况相差无几。7 月 14 日 15 时 35 分至 16 时 15 分, 慈溪庵东雨量站下了 52mm 的雷阵雨, 根据当时的回波情况, 计算出平均回

波强度为 46dBz,代入式(4)、(5)分别求得雨强和过程雨量为 $81.6\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 54.4mm ,与实况也是很接近。因此上述公式对宁波沿海地区夏季对流性降水估算雨强与雨量还是可行的。不过这里要强调的是,平均回波强度在 50dBz 以上,如冰雹等强对流天气,此公式还是有局限性的。

目前对于人工增雨效果的估算一直是个难题,如能根据增雨前的平均回波强度用上述公式估算出测站雨量,再与增雨后的实况雨量相比较,可以计算出人工增雨的效果参考值。这里引用低仰角的平均回波强度对预报雷暴云的雨强或过程雨量有较好的参考作用,对指导人工增雨作业有实际意义。

3 部分雷达产品分析

3.1 1 小时累计降水量(雷达产品号 OPH78)

该产品是新一代天气雷达根据观测到的回波强度经计算后自动生成的该地前 1 小时累计雨量。从图 4a(见封三)可以看出,在奉化以及四明山区东侧位置,8 月 11 日 23 时 56 分的 1 小时累计降水量是 $12.7\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,同时产品图上最大值 $R_{\max} = 20.3\text{mm}$,可以看出,在宁波地区该产品的大值中心与 30dBz 以上的强回波带位置相对应。由奉化站的实际雨强 $25.2\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 比较,OPH 图上的值要比雨量实况小,大的雨量中心与 OPH 图上最大值较为接近,表明 OPH 最大值对判断雨量中心值有一定的参考作用,但雨量中心的位置不能确定,可以通过雷达回波强中心对雨量中心进行定位。

3.2 垂直液态水含量(雷达产品号 VIL57)

该产品是反射率转换成垂直液态水含量的值,它对于判断气团潜在降水量有参考作用。图 5(见封三)是垂直液态水含量动态图,可以看出图中 VIL 的大值区与强回波带的移向基本是一致的,该产品的大值中心要比 OPH 的大值中心位置超前。表 1 列出了一些测站的 VIL 最大值与对应的雨量,可以看出奉化与鄞州 1 小时降水量在 $20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上,测站对应的 VIL 大值分别为 $18\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $17\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。慈溪 1 小时降水量相对较小,为 9.9mm ,该站对应的 VIL 值也相对

较低,为 $7\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。可见 VIL 的大值中心与强降水有较好的对应关系,811 个例中 VIL 出现 $15\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上的大值中心,测站有 $15\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上的雨强相对应。但由于样本数少,结论的正确性还有待于今后的工作中进一步检验。

4 结 语

(1)用上游地区 30dBz 以上回波区的平均回波强度、回波影响宽度、回波移速可大概估算出下游测站的雨量,根据人工增雨前的平均回波强度估算出测站雨量和增雨后的实况雨量,理论上可以得出人工增雨的效果,对指导人工增雨作业有一定的实际意义。

(2)对流性强降水主要出现在 30dBz 以上的回波区,该区域的平均回波强度愈强,雨强也愈强。经测算对流降水平均回波强度 40dBz 左右的雨强约是 $25\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。而 30dBz 以下的对流回波雨强较弱,一般在 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以下。因此火箭增雨时选择 30dBz 以上的回波区效果较好。

(3)OPH 的大值中心对实际雨量中心有较好的指示作用,但产品的 Max 值要比实测雨量中心值偏小。和 VIL 产品配合使用,可大致定出雨量中心。经初步统计,其大值中心与雨量中心的位置相对应, $15\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的 VIL 值能与 $15\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右的雨强相对应,也即 VIL 值对雨强有一定的指示意义。在选择人影作业地点时,最好选在 OPH 和 VIL 大值区的下游经过区域。

(4)上述结论是在对流性降水回波的基础上得出的,对于层状云降水和台风降水会有一定的差异。由于样本个数少,上述结论还有待于进一步检验。

参考文献

- 1 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学. 北京:气象出版社,2000:181.
- 2 俞小鼎,姚秀萍,熊延南等译. 新一代天气雷达原理与应用讲义. 北京:中国气象局培训中心,2000.
- 3 中国气象局科技发展司. 人工影响天气岗位培训教材. 北京:气象出版社,2003:35.
- 4 张国君,徐永胜,贾旋云等. 湖南夏秋季雨滴谱的 Z-I 关系分析. 气象,2002,增刊(28):56~57.

Application of Doppler Weather Radar to Rainfall Enhancement

Zhu Longbiao¹ He Caifen¹ Huang Siyuan²

(1. Ningbo Meteorological Observatory, Zhejiang Province 315012;

2. Weather Modification Office, Ningbo Meteorological Office)

Abstract

A thunderstorm on 11 August 2003 in Ningbo is analyzed with the NEXRAD, the movement and (the width of the area) passing areas with radar echo intensity more than 30dBz are well related to the storm precipitation and rainfall intensity, the products of OPH and VIL can help locate the center of the maximum precipitations.

Key Words: weather modification rainfall enhancement radar echo rainfall intensity echo intensity

《宁波新一代天气雷达在人工增雨中的应用》附图

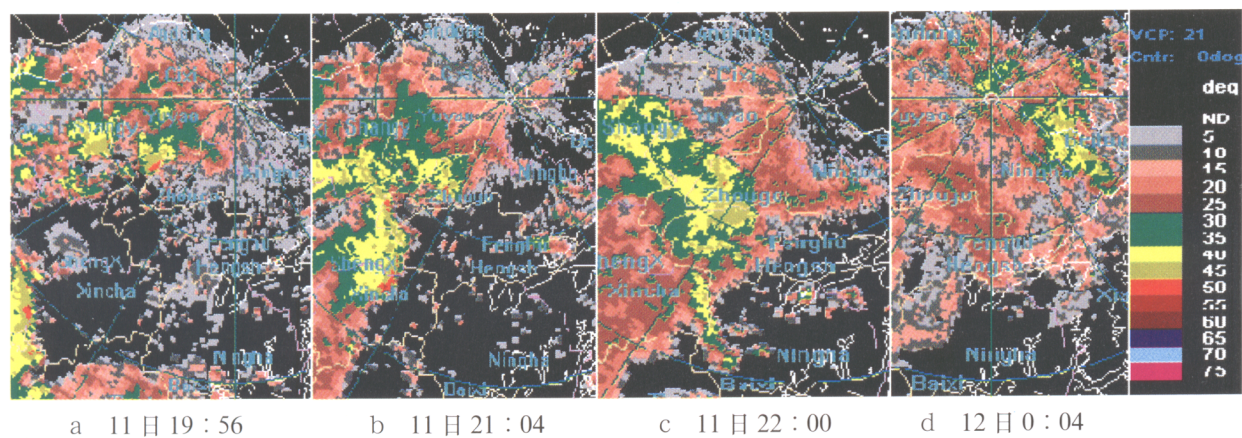


图1 宁波多普勒雷达0.5°仰角反射率因子图

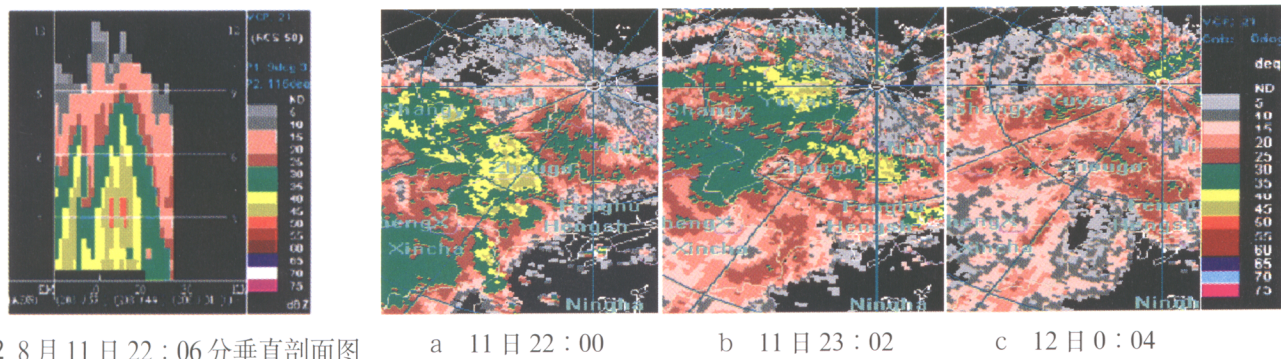


图3 8.11雷雨过程奉化多普勒雷达0.5°仰角反射率因子图

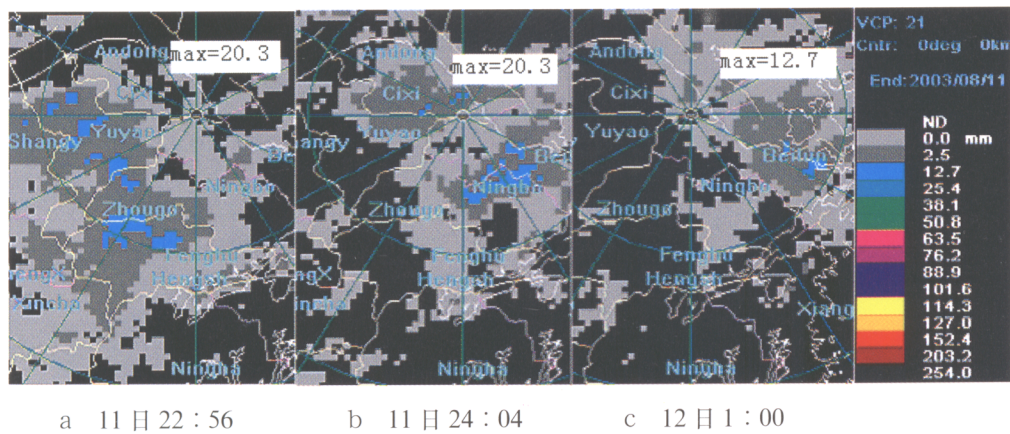


图4 8.11雷雨过程1小时累计雨量

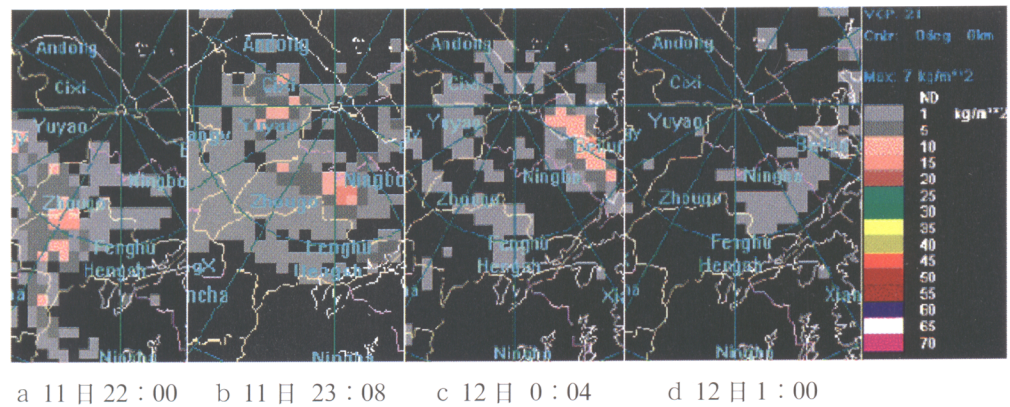


图5 垂直积分液态水含量