

# 新一代天气雷达体扫模式的比较分析

刘应军<sup>1,2</sup> 顾松山<sup>1</sup> 周雨华<sup>2</sup> 张深寿<sup>3</sup> 戴泽军<sup>2</sup>

(1. 南京信息工程大学, 210044; 2. 湖南省气象台; 3. 福建省龙岩市气象局)

**提 要:** 新一代天气雷达系统 (CINRAD SA) 中, 在应用各种气象算法识别强对流风暴时, 由于两种体扫模式 VCP11 和 VCP21 的差异, 导致其生成的产品有明显的不同。为了进一步说明两者之间的这种差别, 建立一个与 VCP21 基本相同的模式 VCP22, 并对 VCP11 与 VCP22/VCP21 生成的产品进行了比较分析; 结果表明: 在对流性不强的层状云降水天气过程中, 两种体扫模式下生成的产品基本上是一样的; 而在强对流天气过程中, 当距离小于 150km 时, VCP11 和 VCP21 的产品有较大差别, 这说明在较近距离出现强对流天气时, 应当使用 VCP11 模式而不是 VCP21 模式。

**关键词:** 新一代天气雷达 VCP11 VCP21/VCP22

## Comparison of CINRAD/SA Volume Coverage Patterns on Algorithms Output

Liu Yingjun<sup>1,2</sup> Gu Songshan<sup>1</sup> Zhou Yuhua<sup>2</sup> Zhang Shengshou<sup>3</sup> Dai Zejun<sup>2</sup>

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, 210044;

2. Hunan Province Meteorological Observatory; 3. Longyan Meteorological Office, Fujian Province)

**Abstract:** Two different Volume Coverage patterns are used for monitoring convective weather in CINRAD SA. Because of the difference in two VCPs, the products derived from base radar data through using meteorological algorithms are different, too. In order to explain it, a new Volume Coverage pattern (VCP22) is established and the products from VCP11 and VCP22 are compared. It shows that the products had the same values in shallow convection and different values in deep convection within the range of 150km. Therefore, it

is confirmed that VCP11-not VCP21-should be used when the deep convection is occurred within the range of 150km.

**Key Words:** CINRAD SA VCP11 VCP21/VCP22

## 引 言

新一代天气雷达体扫模式表提供两种：晴空模式和降水模式，降水模式包括 VCP11 和 VCP21；其中 VCP11 在 5 分钟内完成 14 个不同仰角的扫描，而 VCP21 是在 6 分钟内完成 9 个不同仰角的扫描；由于 VCP11 在垂直方向上有较多的采样层次，因而具有较高的辨别能力；而 VCP21 由于天线转速较慢，雷达采集的反射率因子和速度数据相对而言更为准确，并且其数据量较小，处理速度更快，资料保存更方便；由于具有这些优点，在实际观测中，一般较多使用 VCP21 模式，而 VCP11 使用很少，甚至没有使用。但 VCP11 由于速度快，只需 5 分钟，显然更有利于探测快速演变的强对流单体，并且就其生成的产品来看，VCP11 也更加准确。Witt<sup>[1]</sup>曾根据两部雷达分别采用 VCP11 和 VCP21 模式对同一风暴进行探测，其产品具有明显不同，他认为产生这种差别的主要原因是因为 VCP21 在垂直方向上采样较少，分辨率低，导致其产品较为粗糙。国外正在试验适合各种天气类型的新体扫模式，如探测强对流的 VCP Gamma 模式，其特点就是增加在垂直方向上中低层的采样层次；我国目前在这方面的试验还比较

少，只总结了一些灾害性天气如冰雹和暴雨的多普勒雷达资料概念模型<sup>[2,3]</sup>，但这些模型最适合哪样的体扫模式还没有进一步的对比研究。

用两部不同的 CINRAD SA 分别使用 VCP11 和 VCP21 去探测同一风暴，由于距离的影响，较难区分两种模式的差异；因此，本文试着对 VCP11 模式的基数据进行处理，去掉其中的 5 个仰角，使之成为与 VCP21 相类似的模式，称之为 VCP22<sup>[4]</sup>，通过对 VCP11 和 VCP22 产品的比较，得到两种产品的特点及差别，分析其产生差别的原因，从而说明 VCP11 和 VCP21 模式的不同特点，以及两种模式分别适应的天气类型；为今后试验适合我国天气特点的新的体扫模式提供有益的探索。

## 1 VCP11 模式基数据处理方法

表 1 所示，VCP11 和 VCP21 最低的 5 个仰角是相同的，在 VCP11 中去掉 5.25°、7.5°、8.7°、12.0°、16.7°这 5 个仰角的数据而保留剩下的 9 个仰角的数据，成为 VCP22 模式；对比 VCP21 与 VCP22，均为 9 个仰角，只有 3 个仰角不一样，差别分别为 0.2°、0.1°、0.6°，故可以认为 VCP22 近似等于 VCP21。

表 1 VCP11, VCP21 和 VCP22 三种体扫模式仰角的比较 (单位:°)

模式	仰角														
VCP11	0.5	1.45	2.4	3.35	4.3	5.25	6.2	7.5	8.7	10.0	12.0	14.0	16.7	19.5	
VCP22	0.5	1.45	2.4	3.35	4.3		6.2			10.0		14.0		19.5	
VCP21	0.5	1.45	2.4	3.35	4.3		6.0			9.9		14.6		19.5	

实际中,当雷达进行体扫的时候,由于前两个仰角均扫描了两次,故 VCP11 和 VCP21 的基数据实际上分别包括 16 个和 11 个仰角的数据,其中第一和第二个 ( $0.5^\circ$ ),第三和第四个仰角 ( $1.45^\circ$ ) 是相同的。基数据 VCP11 到 VCP22 的转换可以通过编程实现。

经过转换后的 VCP22 模式基数据需要在 CINRAD SA 系统中进行回放(方法同正常的基数据回放),请求的产品有回波顶高(产品号 41),VAD 风廓线(产品号 48),垂直液态水含量 VIL(产品号 57),剖面(产品号 50),组合反射率(产品号 37),弱回波区(产品号 53)等。

## 2 VCP11、VCP21 与 VCP22 三种模式在垂直方向上采样层次的比较

国外在试验新的体扫模式(如 VCP Gamma 和 Beta)时证实,雷达在垂直方向上采样层次较密集时,能探测到更多的风

暴,并且对同一风暴的连续跟踪时间较长,跟踪的连续性又使得气象算法能较好地识别目标物的特征<sup>[5]</sup>。图 1 为两种模式在垂直方向上采样的比较(假定雷达天线高度为零,福建长乐雷达天线海拔实际为 648m),在 70km 距离处,13km 高度以下,VCP11 采集的数据有 10 个,而 VCP21 仅 7 个,且 8km 以上只有 1 个;在 140km 处,高度约 16km 以下,两种模式采集的数据分别为 7 个和 6 个。

## 3 天气过程雷达资料说明

2004 年 5 月 1 日,受西南气流的影响,福建省中北部部分县市出现了一次强对流天气过程。刚开始时(15:30),在三明、龙岩的部分县市有对流性回波生成,随后,回波向偏东方向移动;至 18:30,回波移至永泰、闽清并发展为强雷暴,强度达 65dBz,高度 14km,给当地带来了冰雹大风等灾害性天气。长乐新一代天气雷达对整

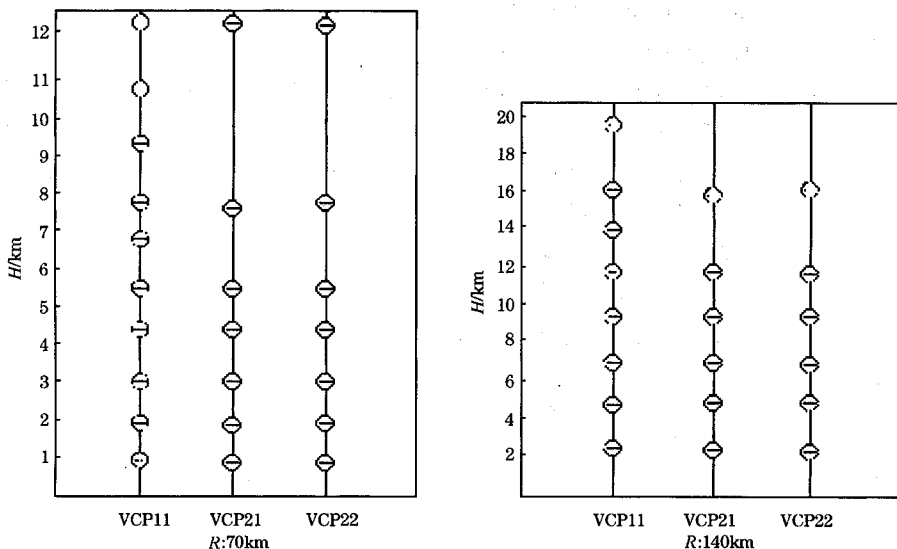


图 1 70km 和 140km 距离处 VCP11、VCP21 与 VCP22 在垂直方向上采样的比较

个天气演变的过程进行了跟踪观测。同月 12 日，受锋面的影响，福建南平、三明、福州等地区出现了一次强对流天气过程，19:00 回波在尤溪、闽清等地发展为强雷暴天气，强度 60dBz，高 13km，给当地带来了雷雨大风，局部产生了暴雨。

本文主要使用了这两次强对流天气过程 VCP11 模式的基数据资料，另外还有一些对流性不强的降水回波资料和层状云降水回波资料。VCP11 模式的基数据总共为 40 个。

#### 4 产品对比分析

本文比较的两种模式下的产品有组合反射率 (CR)、回波顶高 (ET)、垂直累积液态水含量 (VIL)、VAD 风廓线 (VWP) 等，均在 WSR-88D 系统中自动生成。在对流性不强的降水回波和层状云降水回波中，两种模式下产品几乎没有差别，这主要是因为回波的高度不高 (回波高度一般小于 8km)，此高度下两种模式下在垂直方向对降水的采样层次基本一样所致。故本文中比

较的均是较强的对流性回波的产品。

#### 4.1 组合反射率 (CR) 的比较

组合反射率产品显示的是所有仰角扫描中每一个格点在垂直方向上的最大反射率因子。

图 2 列出了在两种模式中的组合反射率因子的强度值；图 2a 说明了强度大于 30dBz 的回波单体在 VCP11 与 VCP22 模式下对应的值 (每一个点均为同一单体，下同)，图 2b 列出了两种模式中 CR 值的差异在不同距离处的情况，共比较了 180 个风暴单体 (包括同一单体不同时刻的产品，下同)；图 2a 中，两种模式下 VCP11 与 VCP22 的强度大多数相同，没有发现 VCP22 大于 VCP11 的情况，只有 15 个较近距离 (80km 以内) 单体的 VCP22 值小于 VCP11 值，其差别在 10dBz 以内 (图 2b)，究其原因，主要是因为这些风暴单体在垂直方向上的最大反射率因子值正好位于 VCP22 中所缺少的仰角 5.25°、7.5°、8.7°、12.0° 及 16.7° 中的一个所对应的高度。

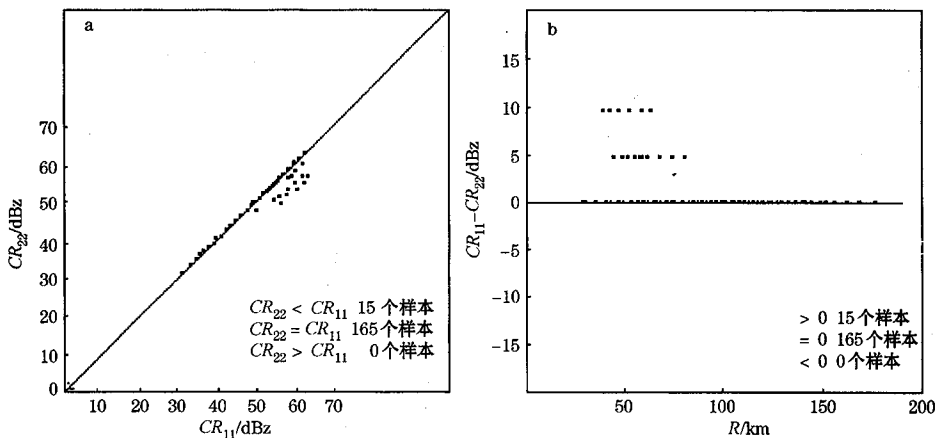


图 2 VCP11 和 VCP22 模式下组合反射率的比较

## 4.2 回波顶（回波大于 30dBz）高度的比较

在两次强对流风暴过程中，分别比较了强度大于 30dBz 的回波单体 180 个；在 VCP11 模式下，回波顶平均高度为 11.2km，而在 VCP22 中，平均高度为 10.3km。

图 3 显示了回波顶高 ( $H$ ) 在 VCP11 与 VCP22 模式下对应的值及其差别。图 3a 中，有 96 个单体高度相同，84 个单体

VCP22 值小于 VCP11 值，没有发现 VCP22 值大于 VCP11 值的情况，VCP22 值小于 VCP11 的情况同样可由 VCP22 中缺少的仰角来说明，当回波顶部位于 VCP22 中缺少的仰角所对应的高度上时，VCP22 值小于 VCP11；图 3b 为两种模式下回波顶高差 ( $H_{11} - H_{22}$ ) 在不同距离处的分布，差值较密集区在 30~150km 的范围内，当距离大于 150km 时，差值为零，由图 1 可知 150 km 以上距离处的回波高度均在  $5^\circ$  仰角范围之下，此时两种模式扫描仰角完全一样。

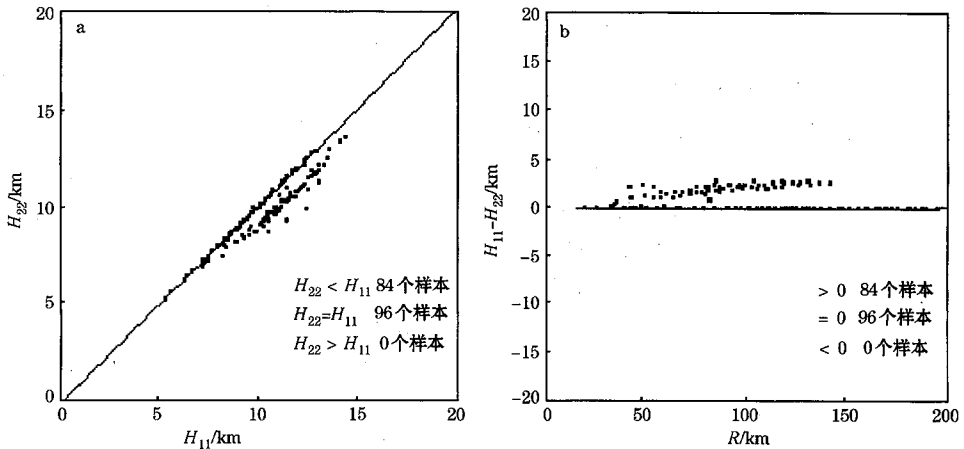


图 3 VCP11 和 VCP22 两种模式下回波顶高的比较

图 3 还可看出两种模式下大部分高度不相同的样本点分布在一个近似的直线段上，究其原因，这也是由于 VCP22 模式所缺少的仰角造成的；表 1 可看出 VCP22 所缺的仰角对应 VCP11 中最近的仰角之差有： $0.95/1.3^\circ$ ， $2.0^\circ$ ， $2.5/2.7/2.8^\circ$ ，图 3b 中  $H$  的差值好象是一个随距离而变化的函数，由雷达测高公式分析，这跟前两个仰角差  $0.95/1.3^\circ$  及  $2.0^\circ$  有关。

## 4.3 垂直累积液态水含量 VIL 的比较

关于垂直液态水含量 VIL 的应用，国

内外均进行了很多的研究；潘江等<sup>[6]</sup>研究了利用 VIL 在降水估测方面的应用；王炜等<sup>[7]</sup>利用 VIL 预测冰雹；杨引明<sup>[8]</sup>提出的冰雹概率指数预报中也用到了 VIL；在短时预报中 VIL 是一个很重要的参数，其值越高，出现灾害性天气的可能性越大。

在两种模式下所比较的 160 个风暴单体的 VIL 产品中，有 86 个的值相同，31 个 VCP11 的 VIL 值大于 VCP22，43 个 VCP11 的 VIL 值小于 VCP22（图 4），之所以出现 VCP22 的 VIL 值大于 VCP11，其算法及计算公式<sup>[9]</sup>可以说明，VIL 是由液态含水量在垂直方向上进行积分得到的，而液

态含水量仅取决于回波强度，实际的计算与体扫模式的层数有关；当风暴在垂直方向上的最强回波反射率因子刚好位于 VCP22 模式所对应的仰角上时（仰角大于  $5^\circ$ ），此时 VCP22 的  $VIL$  值大于 VCP11 的  $VIL$  值。

图 4a 中可以看出，VCP22 值大于 VCP11 基本都是在  $VIL$  较大（大于 40

$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ）时出现，VCP22 值小于 VCP11 却是在  $VIL$  值较小（小于  $20\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ）时出现，而在  $20 \sim 40\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  的范围内两种模式的值基本相等，可见，VCP22 的  $VIL$  脉动大于 VCP11 的  $VIL$  脉动；两种模式中的  $VIL$  值差别多在  $10\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  以下，在距离大于 150km 时  $VIL$  值都相等（图 4b）。

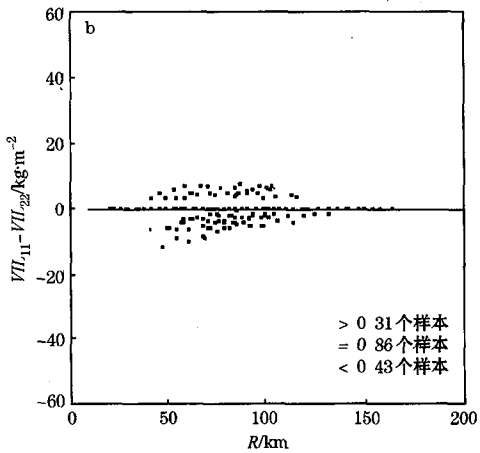
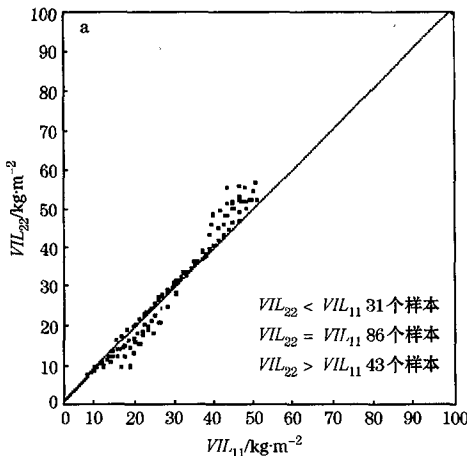


图 4 VCP11 和 VCP22 模式下垂直累积液态水含量  $VIL$  的比较

#### 4.4 VAD 风廓线的比较

对一个给定仰角的 PPI 扫描得到的全方位多普勒速度图，用 VAD 反演方法，可以获得雷达上空水平风的垂直分布<sup>[10]</sup>。对于一个给定的 VCP 体扫模式，应用 VAD 算法，可以得到垂直方向上风速风向的风廓线图。CINRAD SA 算法对需要的每个高度，选择适当的仰角，使得该仰角与给定高度相交点对应的斜距最接近 30km (16.2nm)，即一个 VAD 距离。

由 VAD 算法可知，VCP11 与 VCP22 中相同的仰角对应的高度的风速风向全部相同。只有 VCP22 中相比 VCP11 所缺少的仰角对应的高度才有可能不一样。

在所比较的 230 个 VAD 产品中，风向 (DIR) 差别较小，基本在  $10^\circ$  以内（图 5a），

且分布在 7、9、11km 三个高度（图 5b），此即 VCP22 模式中所缺少的三个仰角  $5.25^\circ$ 、 $7.5^\circ$ 、 $8.7^\circ$  所对应的高度，但  $12.0^\circ$  和  $16.7^\circ$  对应的高度的风向差别不明显。风速跟风向一样，也出现在上述三个仰角对应的高度，其中大小差别在  $4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  以内（图略）。

#### 5 小结

通过比较组合反射率、回波顶高、垂直液态水含量  $VIL$ 、VAD 风廓线，可以得到以下结果：

(1) 在较远的距离（150km 以上），两种模式 VCP11 与 VCP21/VCP22 的产品实际上是一样的。

(2) 在对流性不强的天气过程中（回波

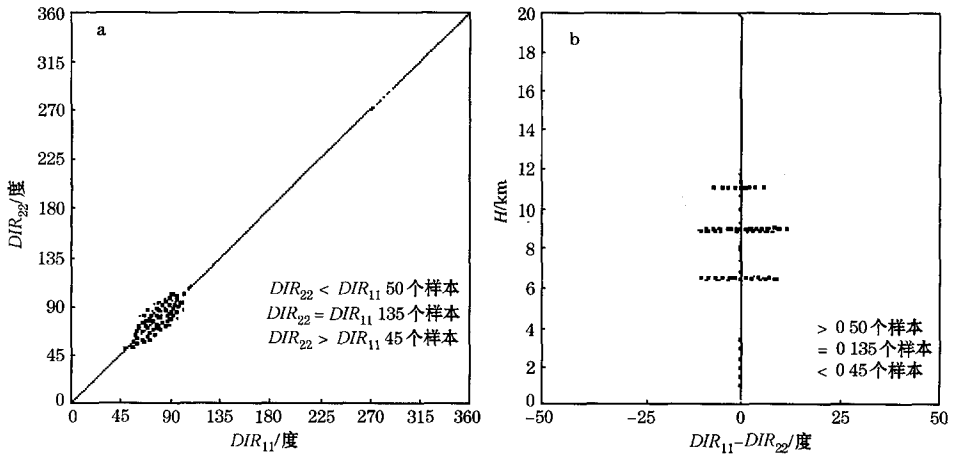


图5 VCP11和VCP22两种模式下VAD风廓线风向的比较

高度小于8km),两种模式的产品也基本一样。

(3)在较近距离(150km以内)的强对流天气中,两种模式的产品差别较大,特别是回波顶高和VIL等重要参数,在VCP21模式下容易引起漏报或空报,此时应当使用VCP11模式。

(4)体扫模式VCP11与VCP21是否完全符合当地的实际天气情况,还有待在观测中作进一步的对比验证;就福建省长乐新一代天气雷达而言,在对台风进行探测时,这些模式都有一些不足的地方,故提出新的VCP模式使之更好地符合当地的天气特点也很有必要,需要更深入的研究。

## 参考文献

- 1 Witt, A., Variations in algorithm output for the same storm viewed by different WSR-88Ds. preprints, 28th Conf. on Radar Meteorology, Austin, TX, Amer. Meteor. Soc, 1997: 497-498.
- 2 陈秋萍,傅伟辉,吴木贵. 闽中北冰雹概念模型. 气象, 2004, 30(6): 48-51.
- 3 郭林,陈礼斌,施碧霞. 闽南地区短时区域暴雨的天气及多普勒雷达资料概念模型. 气象, 2003, 29(5): 41-45.
- 4 Rodger A. Brown, Janelle M. Janish, Vincent T. Wood. Impact of WSR-88D scanning strategies on severe storm algorithms [J]. Weather And Forecasting, 2000, 15(2): 90-102.
- 5 Rodger A. Brown and Vincent T. wood. Improved WSR-88D scanning strategies for convective storms. Weather and Forecasting, 2000, 15(4): 208-220.
- 6 潘江,张培昌. 利用垂直累积液态水估测降水. 南京气象学院学报, 2000, (1): 89-91.
- 7 王炜,贾惠珍. 用雷达垂直累积液态水预测冰雹. 气象, 2002, 28(1): 47-48.
- 8 杨引明. WSR-88D多普勒天气雷达冰雹探测算法及评价. 气象, 1999, 25(5): 39-43.
- 9 胡胜. 多普勒天气雷达产品软件的开发与设计. 南京气象学院硕士毕业论文, 2000, 37-39.
- 10 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学. 北京: 气象出版社, 2001: 243-246.