

# 华北区域四部雷达探测强度与定位一致性分析

张志强<sup>1,2,3</sup> 刘黎平<sup>1</sup> 王红艳<sup>1</sup> 肖艳姣<sup>4</sup>

(1. 中国气象科学研究院, 国家灾害天气重点实验室, 北京 100081;  
2. 河北省生态环境检测重点实验室; 3. 成都信息工程学院; 4. 中国气象局武汉暴雨研究所)

**提 要:** 由中国气象科学研究院国家灾害天气重点实验室开发的新一代天气雷达3D组网拼图产品, 目前已经在北京、河北、广东等地投入业务试运行, 相对于单部雷达的体扫产品其覆盖范围更大, 使用更为方便, 它为新一代天气雷达资料的深度和广度应用以及与其他观测资料的融合提供了强有力的平台。但是在组网过程中, 参与组网的雷达在探测强度和定位上的差异将在很大程度上影响三维组网的效果。本文以北京、天津、张北、石家庄四部雷达为例, 对各个雷达在定位、回波强度上的一致性情况进行了分析。结果表明: 北京、石家庄、天津、张北雷达探测的回波位置非常一致, 在回波强度上相对于其他三部雷达, 张北雷达有明显的衰减。雷达定位与探测强度一致性分析为进一步提高华北区域三维组网的准确性和一致性提供了良好的支持。

**关键词:** 三维拼图 回波强度 雷达定位

## Analysis on the Consistency of Intensity and Positioning in Four Radars of North China

Zhang Zhiqiang<sup>1,2,3</sup> Liu Liping<sup>1</sup> Wang Hongyan<sup>1</sup> XiaoYanjiao<sup>4</sup>

(1. State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081;  
2. Hebei Key Laboratory of ecological environment monitoring;  
3. Chengdu University of Information Technology;  
4. Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration)

**Abstract:** The weather radar 3D mosaic products developed by State Key Laboratory of Severe Weather of Chinese Academy of Meteorological Sciences has put into the operational trail in Beijing, Hebei and Guangdong province. Compared with one single radar products, the 3D mosaic products have wider coverage in time and space, and they also have provided a powerful platform for application of weather radar products. But in the processing of radar 3D mosaic, the difference of intensity and positioning in different radar will greatly influence the effect of 3D mosaic. This article takes Beijing, Tianjin, Zhangbei, Shijiazhuang radar as

资助项目: 河北省生态环境监测实验室开放课题“华北区域新一代天气雷达三维数字组网及产品处理系统研制”

收稿日期: 2008年1月14日; 修定稿日期: 2008年5月20日

an example respectively, analyzes the intensity and localization uniformity among different radars. The result indicated that there is greatly consistency of detection position in four radars. Compared with Beijing, Shijiazhuang and Tianjin radars, the intensity has deep attenuation in Zhangbei radar. The analysis provided a good support for the further enhancement in the accuracy and uniformity of 3D mosaic.

**Key Words:** 3D mosaic intensity of radar echoes radar positioning

## 引 言

中国气象科学研究院国家灾害天气重点实验室开展的新一代天气雷达 3D 拼图工作,对相邻的多部多普勒雷达的体扫反射率资料,经过非气象杂波抑制等质量控制后内插到统一的笛卡尔坐标系下<sup>[1]</sup>,形成了空间分辨率均匀的 3-D 网格拼图(经度、纬度和高度坐标)数据,并生成了回波强度、回波顶高、组合反射率等多种产品。通过运行雷达三维组网软件,可以实时地对相邻几个雷达站的资料进行组网拼图,生成雷达三维组网产品。为新一代天气雷达资料的深度和广度应用以及和其它观测资料的融合提供了强有力的平台<sup>[2-4]</sup>。

目前,三维组网拼图系统已经在北京、河北、广东等地投入业务试运行,为了确保组网的质量,在组网之前,把各单站的体扫资料进行基于模糊算法的地物杂波滤除,很好地滤除了非气象杂波。但是还有很多因素会影响组网的效果。用于组网的多部雷达,其在探测强度和定位上存在的差异会很大程度上影响组网的质量。由于三维组网系统是先把各单站的三维体扫资料内插到笛卡尔坐标系下<sup>[1]</sup>,形成单站的三维格点资料,再把各个单站的三维格点资料进行组网,形成组网后更大区域的三维格点资料,因此各个雷达探测资料的一致性就成为需要讨论的问题。如果不同雷达对同一块回波在定位和强度上有很大偏差,势必会造成三维组网拼图在回波定位与强度上的偏

差,如何在组网前对不同雷达在强度和定位上的偏差进行分析,将其控制在一个比较小的范围内,就显得尤为重要。

本文以北京、天津、石家庄、张北四部雷达为例,通过选取相交的强回波区域,从定性和定量的角度,分析了几部雷达在探测强度与定位上的差异,形成了一种分析不同雷达探测强度与定位一致性的方法,从而为组网的准确性与一致性提供了良好的保证。

## 1 雷达定位一致性分析

### 1.1 定位一致性分析流程

参与组网的几部雷达,其定位的差异对组网的效果有很大的影响,所以在组网之前对雷达的定位一致性分析是极为必要的,定位一致性分析从定性和定量两个方面进行,以下是具体流程(如图 1 所示)。

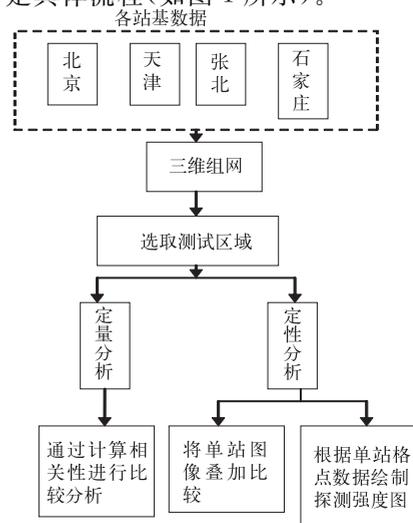


图 1 定位一致性分析流程图

(1) 对单站数据进行三维组网

(2) 根据组网产品,选取一块强回波区域,所选的回波区域应在四部雷达共同覆盖的范围内。

(3) 定性分析

通过运行三维组网程序,采用径向和方位上的最近邻居和垂直方向的线性内插相结合的方法(NVI方法)<sup>[1]</sup>把各单站的体扫资料内插到笛卡尔坐标系形成单站的三维格点资料,选取各个雷达都覆盖到的回波块,在经纬度网格上进行显示。通过显示,观察其回波块所在的区域,同时通过图像处理的方法,把不同雷达在同一高度的回波强度,进行叠加显示,观察回波区域重合的情况,从而定性判断不同雷达的定位一致性情况。

(4) 定量分析

对所选回波区域,选取一个雷达为中心,计算相邻两部雷达在同一区域的相关性。然后让其中一个雷达的回波区域向上下左右各偏离一定的距离,再计算其相关性。其相关性的计算按照如下式所示。

$$R = \frac{\sum_k Z_1(k) \times Z_2(k) - \frac{1}{N} \sum_k Z_1(k) \sum_k Z_2(k)}{\left[ \left( \sum_k Z_1^2(k) - N\bar{Z}_1^2 \right) \times \left( \sum_k Z_2^2(k) - N\bar{Z}_2^2 \right) \right]^{1/2}} \quad (1)$$

其中, $Z_1(k)$ 、 $Z_2(k)$ 为两个雷达在对应区域对应点的回波强度值, $N$ 为选定区域回波点数。通过计算出的相关值绘制出相关性随偏移量变化的曲线图,从而定量的分析出不同雷达的定位一致性情况。

## 1.2 华北区域四部雷达定位一致性分析结果

从2007年8月1日强降水过程中选取数个时次,进行分析。下面以19时30分数据为例,介绍分析过程。

### 1.2.1 定性分析结果

把同一时刻各单站体扫数据内插成单站的三维格点数据,在三维组网显示系统中绘

制各单站的格点数据(如图2,见彩页)

在北京,张北,天津,石家庄四部雷达所共同覆盖的区域内,经度范围在115.3~115.8°E,纬度范围在40.0~40.5°N之间,有一块强回波,由于回波在石家庄雷达的边缘,所以在石家庄雷达中只有这块强回波的一半,从四部雷达的单站三维格点显示中可以看出,这块强回波无论从大小还是形状上看都一致(如图2(a)(b)(c)(e)所示)。通过图像处理的方法,将四幅图像在同一幅图像上显示,可以看到四块回波很好地重叠在了一起。从以上的分析可以定性地看出,北京、天津、张北、石家庄四部雷达在回波定位上是基本一致的。

### 1.2.2 定量分析结果

对所选回波区域,以北京雷达为中心,计算其与相邻任意一部雷达在同一区域的相关性。然后让北京雷达的回波区域向不同方向各偏离一定的距离,再计算其相关性。从而绘制出相关性随偏移量变化的等值线图,如图3所示。

在北京雷达和张北、天津、石家庄雷达相关性变化图中可以看出,在回波不发生偏移的情况下即在图中中心点的位置其相关性是最大的,其值接近于1。当回波向周围任何一个方向偏移,其相关性都在逐渐减小,最后下降到一个很小的数值。通过相关性的计算,可以定量地说明北京雷达与张北、天津、石家庄雷达在定位上是一致的。

## 2 雷达探测强度一致性分析

### 2.1 探测强度一致性分析流程

在三维组网的过程中,首先是先将各个单站的体扫数据采用NVI方法<sup>[1]</sup>插值到三维格点上,形成单站的三维格点数据,再把各单站的三维格点数据进行组网形成三维组网

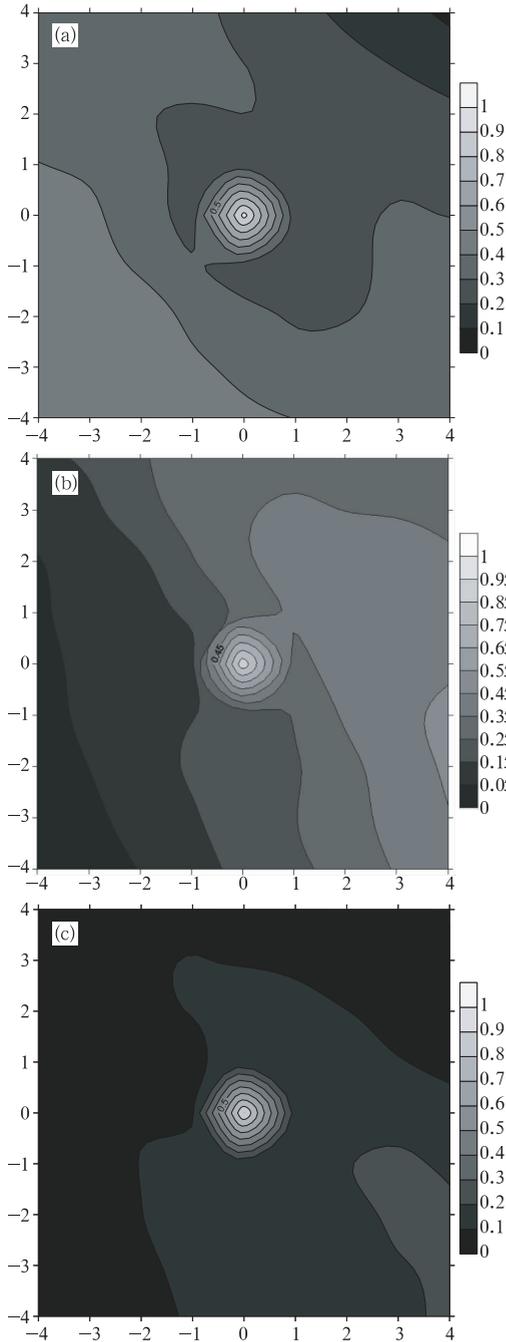


图 3 相关性曲线图  
 (a)北京与张北相关性随偏离变化  
 (b)北京与天津相关性随偏离变化  
 (c)北京与石家庄相关性沿横向偏离变化

产品。和雷达的定位一致性一样,不同雷达探测强度的差异,也将很大程度地影响组网

产品的各个点的回波强度值。探测强度一致性分析是在定位一致性分析的基础上进行的,只有两部雷达的定位一致,其探测强度的一致性分析才是有意义的。探测强度的一致性分析也是从定性和定量两个方面进行,以下是具体流程(如图 4 所示)。

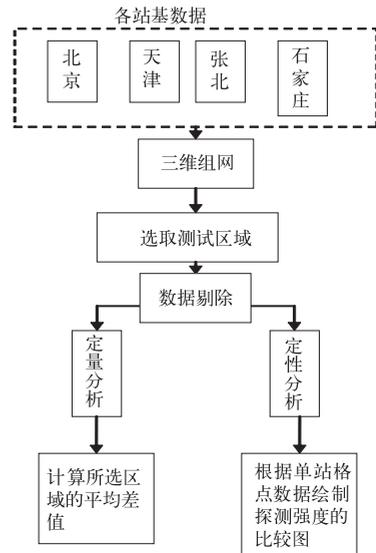


图 4 探测强度一致性分析流程图

- (1) 对单站数据进行三维组网
- (2) 根据组网产品,选取一块强回波区域,所选的回波区域应在四部雷达共同覆盖的范围内。

(3) 为了保证分析的准确性,从下面几个方面对所选区域的值进行过滤。首先把回波强度接近于 0 的值进行滤除,其次滤除那些接近于回波顶的回波强度值,最后对那些对应点回波强度相差过大(大于 20dBz)的突变值进行滤除。通过上面三点,可以很好的保证用于分析数据的准确性与一致性。

(4) 定性分析

通过对每个单站运行三维组网程序,把单站的体扫资料内插到笛卡尔坐标系形成单站的三维格点资料,选取各个雷达都覆盖到的回波块,对所选区域的回波值进行做图,横纵坐标分别是任意两部雷达的回波强度值。通过

分析回波值偏向雷达的位置,从而可以定性地分析两部雷达在探测强度的一致性情况。

### (5) 定量分析

通过计算任意两部雷达对应回波点差值

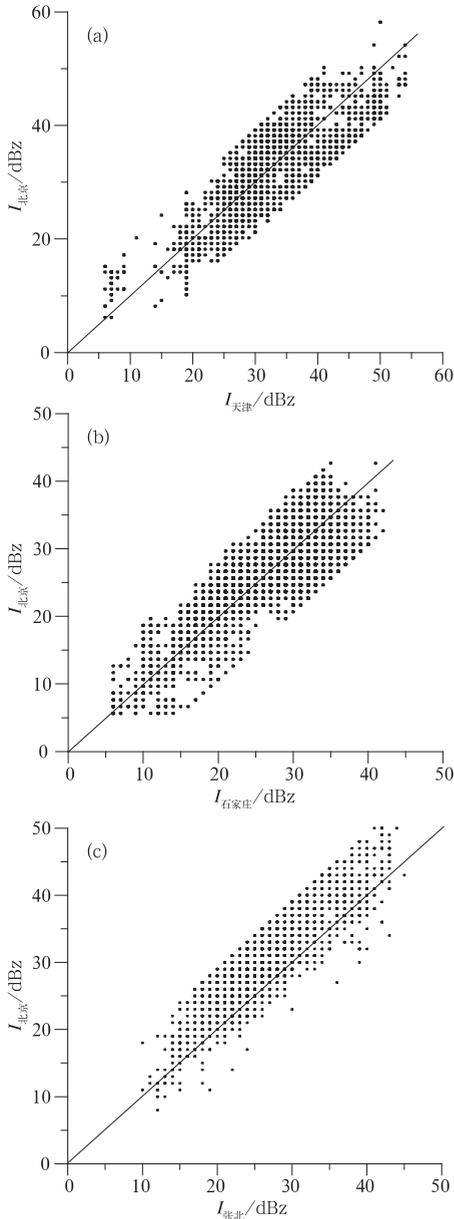


图 5 2007 年 8 月 1 日 19 时 30 分华北区域北京、天津、张北、石家庄四个区域 5km 高度任意两部雷达回波强度对比

- (a) 北京和天津雷达回波强度对比  
(b) 北京和石家庄雷达回波强度对比  
(c) 北京和张北雷达回波强度对比

的平均值,可以定量地分析出两部雷达在探测强度上的差异。

## 2.2 华北区域四部雷达定位一致性分析结果

同样在 2007 年 8 月 1 日强降水过程中选取数个时次,进行分析。下面以 19 时 30 分数据为例,介绍分析过程。

### 2.2.1 定性分析结果

在北京,张北,天津、石家庄四部雷达所共同覆盖的区域内,同样选取经度范围在  $115.3 \sim 115.8^\circ\text{E}$ , 纬度范围在  $40.0 \sim 40.5^\circ\text{N}$  之间的强回波,为了保证分析结果的准确性,首先对所选区域的回波值进行筛选,滤除回波强度较小,接近回波顶与对应回波强度值大于 15dBz 的值,对滤除后的数据做图,横纵坐标分别是任意两部雷达的回波强度值(如图 5 所示)。

在北京与天津,北京与石家庄强度对比图中,所有的点分布基本上都集中在中间区域,并没有明显的偏向其中一部雷达,说明北京,天津,石家庄三部雷达对回波强度的探测是基本一致的。在北京、张北强度对比图中,虽然回波也集中在中间区域,但是偏向北京雷达,可以定性的看出相对北京雷达,张北雷达有一定的衰减。通过对数据进一步的分析,发现在接近张北雷达的区域衰减很小,在较远的区域衰减较大,说明张北雷达的回波强度偏弱主要是由于降水的衰减造成的。

### 2.2.2 定量分析结果

对任意两部雷达,把所选时刻对应区域所有对应的值取差值,再取平均,再把多个时刻的平均值取平均(如图 6 所示)。

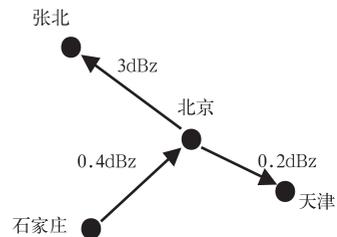


图 6 2007 年 8 月 1 日华北区域北京、天津、张北任意两部雷达在所选区域强度差值平均值

北京、天津、石家庄三部雷达,在对回波强度的探测过程中,其之间差值平均值都在一个很小的范围内,进一步说明其对同一回波的强度探测是基本一致的,但是相对于其他三部雷达,张北雷达有一定的衰减。

### 3 小结

参与组网的不同雷达其在探测强度和定位上的差异将很大影响三维组网的效果,本文以华北区域北京、天津、张北、石家庄四部雷达为例,从定性和定量的角度对其雷达定位与探测强度的一致性进行了分析,形成了一种分析不同雷达探测强度与定位一致性的方法。

(1) 雷达定位一致性的分析,通过三维组网拼图产品,在几部雷达相交的区域内选定一块强回波,确定回波的位置。把单部雷达的体扫资料,采用 NVI 方法<sup>[1]</sup>插值到三维网格中,在其格点产品中确定强回波的位置,判断几部雷达回波位置是否一致。进而通过图像处理的方法将单部雷达的格点数据进行叠加显示,分析强回波区域的重叠情况,从而定性地得出不同雷达的定位一致性情况。在此基础上,通过不同雷达与中心雷达在所选区域及偏差区域的相关系数,进而绘制出相关系数随偏移的变化曲线,可以定量地分析出不同雷达在定位的一致性情况。

(2) 雷达探测强度一致性分析,通过三维组网产品,在几部雷达相交的区域内选定一块强回波,在单部雷达的三维格点数据中,提取出这块强回波的数据,首先对回波数据进行筛选,滤除接近回波顶与回波差异较大的数据,然后通过绘制任意两部雷达的强度比较图,可以定性地看出两部雷达探测强度的一致性情况。计算对应的回波差值平均值,从而从定量的角度得出不同雷达在抽样区域的探测一致性情况。

通过对不同雷达在探测强度和定位一致性分析,为雷达三维组网的准确性奠定了基础,同时也为三维组网效果检验及误差分析提供了一种很好的方法。

### 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] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社, 2001:280-334.
- [3] Atlas D. Radar in Meteorology[M]. Amer Meteor Soc, 1990:806.
- [4] Serafin R J, Wilson J W. Operational weather radar in the United States: Progress and opportunity[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2000, 81:501-518.
- [5] 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.

# 张志强等：华北区域四部雷达探测强度与定位一致性分析

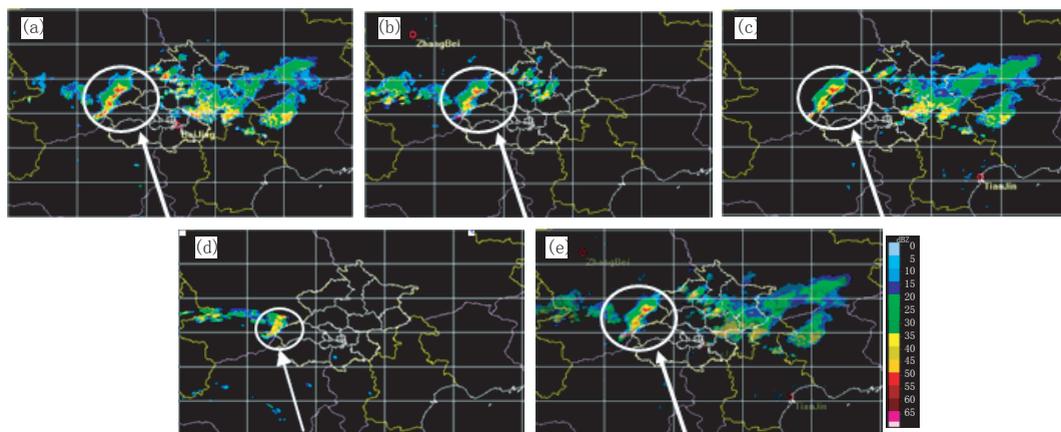


图2 2007年8月1日19时30分华北区域北京、天津、张北三个区域5km高度上单站回波强度三维格点数据显示

(a) 北京雷达 (b) 张北雷达 (c) 天津雷达 (d) 石家庄雷达 (e) 四幅图叠加在一张图上显示效果