

长江流域多普勒雷达回波 强度资料对比分析^①

史 锐^{1,2} 程明虎² 崔哲虎² 王柏忠²

(1. 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871; 2. 中国气象科学研究院)

提 要

利用 2002 年夏季长江中下游外场试验中几对双多普勒天气雷达资料, 对比分析了同一时间、同一位置的 S 波段与 C 波段雷达的 CAPPI 和部分 PPI 回波强度资料。分析结果显示, 宜昌和荆州雷达回波强度统计分布一致性较好, 合肥、马鞍山、无为三部多普勒雷达回波强度统计分布一致性相对较差。回波强度资料的散点图表明, 不同雷达回波强度资料之间的相关性较低。另外进一步证实 C 波段雷达在大范围降水区域需要进行降水的衰减订正。

关键词: 天气雷达 回波强度 对比与质量分析

引 言

回波强度是天气雷达最基本、最直观、最重要的探测要素之一, 是识别判断各种灾害天气, 分析降水类型、强度和移动趋势的有力工具^[1]。随着雷达技术的发展, 探测要素越来越多, 与回波强度结合, 可更加全面、细致

地了解各种天气过程, 分析降水云体的内部结构等^[2]。我国现在已经及正在布设的 126 部新一代天气雷达主要用于对大范围降水的定量估测和三维降水云体回波强度以及风场信息的测量^[3], 因此分析这些雷达的强度资料并应用于定量估测降水是十分重要的。而

^① 本文受到国家重点基础研究发展规划项目(G1998040912)资助

用相邻站之间的资料进行对比,则是分析雷达资料质量的有效方法之一^[4]。早在20世纪70年代,葛润生等人^[5]在北京就做过X波段和C波段雷达测雨能力的比较试验。随着我国新一代雷达的布设,雷达设备方面有了相当大的改善,为了进行大范围降水的定量估测,对比分析雷达资料质量并对其中C波段雷达进行降水衰减订正,是十分必要的。由于S波段雷达降水衰减一般可忽略,对比S波段和C波段雷达的测雨能力,对C波段雷达的订正是一种非常有效的方法。

2002年6月与7月973中国暴雨外场试验(ChERES)继续在长江中下游的7省1市进行,获取了长江流域梅雨锋暴雨的资料。其中宜昌和荆州使用的多普勒天气雷达构成双多普勒天气雷达观测系统,合肥、马鞍山、无为雷达构成了叁个双多普勒天气雷达观测系统,正好可以进行S波段与C波段雷达的降水测量比较。试验期间长江梅雨期基本正常,雨量偏多,中、下游各有好几次加密观测的天气过程,得到了许多原始数据,为分析与研究提供了良好的基础。为了充分利用这些观测资料以及对我国新一代多普勒雷达的业务运行所获取的资料性能有所了解,本文初步分析上面提到的同步观测的双多普勒雷达资料。

1 雷达与资料

所选五部雷达都是我国的新一代天气雷达,具有较高的探测精度和较好的稳定度。合肥和宜昌是S波段,其它三部是C波段。其中无为雷达是2002年外场试验中新布设的,另外4部雷达都参加了2001年夏季的外场试验观测^[6]。合肥—马鞍山、马鞍山—无为、合肥—无为三者雷达之间的距离分别是120.4km、72.7km和83.0km,宜昌—荆州雷达之间的直线距离为95.4km。

为了使分析可靠性高,选择个例的原则是对比雷达同时开始体积扫描,回波范围大、

强度高,并且大部分回波在雷达探测的重叠区域。从2002年外场试验长江中、下游的几次强降水过程中,经过认真筛选,所选下游的个例时间为2002年6月21日05时00分和2002年6月24日03时03分左右,中游的个例时间为2002年6月24日00时44分和2002年7月23日05时00分左右。

2 对比分析

2.1 长江下游雷达PPI与CAPPI资料对比

为做PPI数据对比,本文选取两雷达连线的中点位置,以同一仰角取该点上空某处的回波强度。这样可以严格保证空间位置的一致,并且到达扫描点的两雷达扫描距离相等。

合肥雷达库长1000m,扫描半径为460km;马鞍山雷达库长300m,扫描半径为150km。无为雷达库长150m,扫描半径为150km。表1给出了合肥与马鞍山雷达、合肥与无为雷达连线中点位置上空同一仰角在两个个例时间三雷达所测的PPI的dBz值。因6月21日05时无为雷达在所选时间、位置上有扫描线缺测现象,无法列出与合肥雷达对应点的比较。为了使对应区域尽可能一致,马鞍山雷达的值采用了三点平均(扫描线上中点处及相邻两点的平均),即900m的长度取平均值;无为雷达的值采用了7点平均,即1050m的长度取平均值。

表1 同时刻、同位置的不同雷达PPI强度数据对比(单位: dBz)

	时间	仰角		
		0.5°	1.5°	2.4°
合肥	6月21日05时00分29秒	5.5	18.0	16.0
马鞍山 (3点平均)	6月21日05时01分04秒	10.5	10.13	16.13
合肥	6月24日03时03分39秒	28.5	29.0	29.0
马鞍山 (3点平均)	6月24日03时00分25秒	22.5	25.87	26.57
合肥	6月24日03时03分39秒	33.0	32.0	31.0
无为 (7点平均)	6月24日03时01分02秒	19.14	24.36	23.14

从表1中可以看出,合肥雷达与马鞍山、无为雷达的基数据有差别。合肥雷达的PPI强度数据在几个仰角上总体来说比马鞍山雷达的要大,比无为雷达的也要大,而且与无为的差别比与马鞍山的差别更大一点。

用CAPPI资料做出与表1同一时间三部雷达几乎在同一时刻的CAPPI 3km高度层上的回波强度图像(表1中无为雷达6月21日05时的体扫开始时间是00分16秒)。其扫描半径都是150km。从两组图像上可以清楚地看到,三幅图的形状和方位对应得很好,合肥雷达的回波在强度上最强,有好几块大于40dBz的回波区;马鞍山和无为雷达强度较接近,最强的回波绝大部分是在30~

40dBz(CAPPI图略)。

统计两部雷达重合区域中大于等于零回波的回波强度3km高度上相同强度数据的个数。两个个例有相同的变化,每张图中的两条曲线形状都很相似,但合肥曲线与马鞍山和无为曲线都有整体的偏差。这种偏差是从小回波到大回波都有的。马鞍山与无为曲线则吻合得比较好,两曲线的峰值略有一点差异,6月21日05时个例中马鞍山比无为大1dBz,6月24日03时个例中马鞍山比无为大2dBz。说明这两雷达观测资料的一致性较好。现给出6月21日05时相同强度数据的个数统计对比曲线图,见图1。

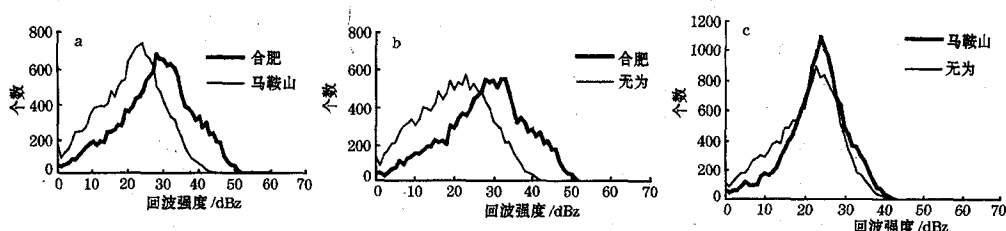


图1 2002年6月21日雷达重合区域相同强度数据的个数统计对比

合肥雷达时间(体扫开始时间)是05时00分29秒,马鞍山雷达时间是05时01分04秒,无为雷达时间是05时00分16秒。

表2给出了3km CAPPI层上合肥、马鞍山和无为雷达回波强度值在上述个例时间两两雷达重合区域强度差值的平均值。其中,A为合肥、马鞍山重合区,B为合肥、无为重合区,C为马鞍山、无为重合区的平均差值。从表2可以看出,合肥雷达的回波强度平均比马鞍山和无为雷达要大5~8dBz,而且这种差别在40dBz以上区域的回波中更大,达到了12~15dBz。在30dBz以下区域的回波中差别要小于整个重合区域差值的平均值。说明强度差不是均匀的,而是集中在大回波区域。刘黎平等人在^[5]在分析2001年雷达资料时指出,合肥与马鞍山雷达的回波强度相差11dBz,而且马鞍山雷达方位定位偏离7.0°,其原因可能是雷达在标定的计算中有误。

表2 合肥、马鞍山、无为雷达两两重合区域3km高度对应位置上CAPPI强度值比较(单位: dBz)

	6月21日05时			6月24日03时		
	A	B	C	A	B	C
全部重合区	7.07	8.31	2.69	5.1	7.94	0.67
Z _{合肥} > 40dBz的重合区	14.03	15.20		11.95	15.51	
Z _{合肥} < 30dBz的重合区	4.97	4.53		2.80	4.67	

且回波大于等于零的对应区域的强度值做点对点的散点图。选取的分别是两个个例时间同在3km高度的强度数值,两个个例时刻有非常相似的散点图(图略)。从几幅散点图可以看到,进行对比的两部雷达在同一高度的CAPPI数值定位上有些散,两者的相关性较差。

2.2 长江中游雷达PPI与CAPPI资料对比
与下游地区同样的方法进行PPI资料对比。宜昌雷达的数据格式同合肥雷达,荆

在每两部雷达的重合部分,取有回波值

州雷达 2002 年数据格式同无为雷达。表 3 给出了宜昌和荆州雷达连线中点位置上空同一仰角在 2002 年 7 月 23 日 05 时所测到的 PPI 数据。2002 年 6 月 24 日 00 时 44 分左右的宜昌和荆州雷达在 3 个仰角处都是无回波,因此没有列表。为了使对应区域尽可能一致,荆州雷达的值也采用了 7 点平均。

表 3 7 月 23 日同时刻、同位置的不同雷达 PPI 强度数据对比(单位: dBz)

仰角	宜昌 05 时 00 分 46 秒	荆州(7 点平均) 05 时 00 分 16 秒
0.5°	22.5	8.5*
1.5°	23.0	22.29
2.4°	21.0	20.57

*注:荆州雷达在此次仰角应为 0.5° 的扫描时实际仰角为 0°,因此与宜昌有很大误差。

从表 3 可以看出,除去实际仰角差别很大的一个点外,宜昌雷达与荆州雷达的 PPI 数据一致性很好,宜昌雷达的数据比荆州雷达的数据略大一点,差别很小。

同样也做出两个个例时间两部雷达几乎在同一时刻的 CAPPI 3km 高度回波强度图像。从图像上可以清楚地看到,两组图的形状、方位都对得得很好。6 月 24 日 00 时的图像强度也对应得非常好,仅在最强回波处宜昌比荆州要强一点、面积更大一点。而 7 月 23 日 05 时的两幅图则宜昌回波强度要比荆州明显大一些(CAPPI 图略)。

图 2、图 3 分别是不同个例时间两部雷达重合区域中大于等于零回波的 3km 高度 CAPPI 相同强度数据的个数统计。从这两张图上可以清楚地看到,每张图中的两条曲线形状都很相似,图 2 吻合得特别好;图 3 有一点偏差,宜昌略大一点,两曲线的峰值分别是 30dBz 和 24dBz,这可能与回波信号的涨落有关^[7]。

与表 2 的计算方法一致,表 4 给出了宜昌和荆州雷达 3km CAPPI 层上的回波强度在上万个例时间两部雷达重合区域强度差值的平均值。宜昌雷达的回波强度与荆州的基本一致,差别主要集中在 40dBz 以上的回波中,宜昌比荆州大了 6~8dBz。这个规律与长江下游安徽几部雷达的统计结果趋势上是

一致的,但数值上则要小好多。这显然是由于 C 波段雷达的降水衰减造成的^[8]。

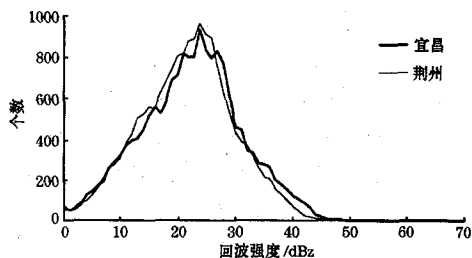


图 2 2002 年 6 月 24 日 00 时雷达重合区域相同强度数据的个数统计对比

宜昌雷达时间(体扫开始时间)是 00 时 44 分 40 秒,荆州雷达时间是 00 时 42 分 16 秒

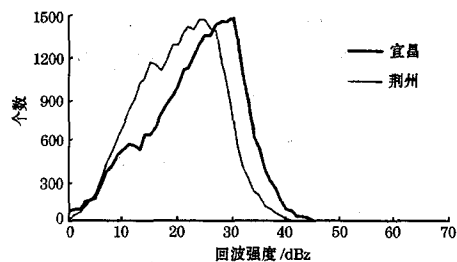


图 3 2002 年 7 月 23 日雷达重合区域相同强度数据的个数统计对比

宜昌雷达(体扫开始时间)是 05 时 00 分 46 秒,荆州雷达时间是 05 时 00 分 16 秒

表 4 宜昌与荆州雷达重合区域 3km 高度对应位置上 CAPPI 强度平均差值(单位: dBz)

	6 月 24 日 00 时	7 月 23 日 05 时
全部重合区	0.84	2.92
Z _{宜昌} > 40dBz 的重合区	7.99	5.85
Z _{宜昌} < 30dBz 的重合区	-0.07	2.34

选取与图 2、3 同一时间的 3km 高度强度数值进行对比。在每两部雷达的重合部分,与下游三部雷达同样的方法做点对点的散点图,两张图都很相似,只列出 6 月 24 日 00 时个例的,见图 4。宜昌和荆州雷达所对应资料的一致性相对要略好一点,相关性比安徽几部雷达高,但还是比较散。

2.3 讨论

从以上的数据分析中可以看出,PPI 和 CAPPI 的对比有同样的规律,都是长江中游的两部雷达统计分布一致性好些,长江下游的三部雷达统计分布一致性差些。CAPPI 的大量对比数据还分析出了 C 波段雷达的衰减情况。如果 C 波段雷达在大范围较强

降水区域进行合理的降水衰减订正^[8],将会更符合实际降水情况,从而提高估测降水的精度。

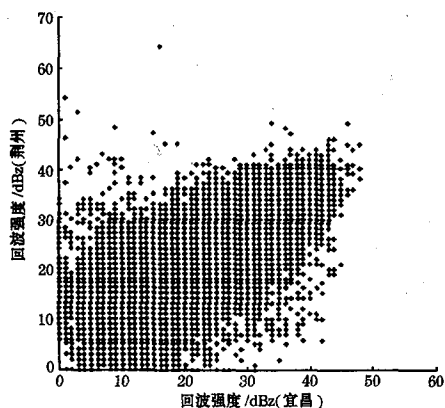


图4 dBz散点图

时间说明同图2

但是对于长江下游安徽的三部雷达来说,S波段和C波段雷达之间的数据差不完全是衰减造成的。比较表2和表4就可以明显地看出差别。安徽的S波段和C波段雷达之间回波强度差的平均值在两个个例中都比较大。为此,我们用几部雷达的基数据,显示成PPI图像。扫描时间同图1和图2,选取最低仰角 0.5° 。为使图像看得更清晰,合肥和宜昌雷达只显示可覆盖C波段雷达扫描范围的部分,图像显示的半径选为250 km。从这两组图上,可以看到与它们对应的3 km高度CAPPI图像类似的情况,即两个地区几部雷达的回波形状和方位对应得很好,合肥雷达与马鞍山和无为雷达比强度最强,而宜昌与荆州雷达回波相差不大,在回波最强处宜昌要略大一点。由于难以找到与对比雷达距离远近一样、回波强度又大、扫描时间又一致的个例,在这次的初步对比分析中,暂不做大量基数据数值分析。至于安徽三部多普勒雷达之间在所列两个个例时间的强度数值差异,在大回波处,C波段雷达有一定的衰减是可以肯定的,但还有一部分差值本文的分析很难说明原因,可能存在定标或其他

问题,还需要从基数据做更多、更细致的分析工作(PPI图略)。

3 结 语

(1)长江中游的宜昌和荆州雷达回波强度统计分布一致性较好;而长江下游的合肥、马鞍山、无为三部多普勒雷达回波强度统计分布一致性差一些,S波段和C波段雷达存在整体性的差异,在本文的个例研究中难以确定出问题所在,可能是定标计算中有差异或其他问题。这需要用大量的基数据进行数值对比分析或其他方法来分析。

(2)不同雷达之间CAPPI回波强度资料点对点的散点图表明,不同雷达资料的相关性较低,这可能说明目前处理过的雷达资料存在一定的数据定位误差或其它原因,这些问题需要做进一步的研究。

(3)C波段雷达在大范围的降雨中有衰减问题,若用来定量估测降水需要进行降水的衰减订正。

参考文献

- 1 Cheng M. Estimation of precipitation using satellite, radar and rain gauge data. University of Bristol, 1994, 400.
- 2 Cheng Minghu and He Huizhong et al. Study of 1998 Heavy Rainfall over the Yangtze River Basin Using TRMM Data. *Advances in Atmospheric Sciences*. May 2001, 18: 387—396.
- 3 葛润生,朱晓燕,姜海燕. 提高多普勒天气雷达晴空探测能力的一种方法. *应用气象学报*, 2000, 11(3): 257—263.
- 4 刘志澄,李柏,翟武全. 新一代天气雷达系统环境及运行管理. 北京:气象出版社. 2002: 102—104.
- 5 葛润生,秦宏德,蔡作金等. 三、五公分雷达测雨能力的比较试验. *雷达气象文集*. 北京:中央气象局研究所, 1977: 111—125.
- 6 刘黎平,张沛源,梁海河等. 双多普勒雷达风场反演误差和质量控制. *应用气象学报*, 2003, 14(1): 17—29.
- 7 张培昌,杜秉玉,戴铁丕编著. *雷达气象学*. 北京:气象出版社, 2001: 150—176.
- 8 程明虎,史锐,徐慧. 5cm数字化雷达降水衰减订正. *科学通报*, 2000, 45(13): 1438—1441.

(下转第50页)

Quality Analysis of Echo Intensities from the Doppler Weather Radars in the Changjiang River Valley

Shi Rui^{1,2} Cheng Minghu² Cui Zhehu² Wang Baizhong²

(1. Atmospheric Sciences Department, Peking University, Beijing 100871,

2. Chinese Academy of Meteorological Sciences)

Abstract

The radar data, collected from the field experiment of the national fundamental program entitled 'Mechanism and predict theory of disastrous weather over China', in the middle and lower reaches of the Changjiang River in the summer of 2002, are analyzed by the inter-comparison of the PPI and CAPPI echo intensities nearly simultaneously detected by the different radars but covering the same region. Four cases for such inter-comparisons are given out. The first two cases were observed at 05:00 BJT on June 21st, and at 03:00 BJT on June 24, 2002 respectively, using the S-band radar in Hefei, and C-band radars in Maanshan and Wuwei, Anhui Province, the lower reach of the Changjiang River. The last two cases were observed at 00:00 BJT on June 24, and 05:00 BJT on July 23, 2002 respectively using the S-band radar in Yichang, and C-band radar in Jingzhou, the middle reach of the Changjiang River. Statistical distribution of the echo intensities in each inter-comparison has a good agreement between the radars in Yichang and Jingzhou, however, pronounced difference among the three radars deployed in the lower reach. This may indicate that problems may exist in their initial calibrations. The low correlation is evident from the scattergrams of echo intensities among different radar observations. It is concluded that the location scheme of these radar data needs to be improved. In addition, the research confirms that the precipitation attenuation correction is need for the precipitation intensity measurement if by C-band radar is used.

Key Words: Doppler wather radar echo intensity quality analysis