

区域雷达网同步观测对比分析^{* 1}

肖艳姣^{1,2} 刘黎平² 杨洪平¹

1 中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉, 430074

2 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京, 100081

摘 要

利用长江中游的合肥、宜昌、武汉、常德和长沙雷达周围的 1:25 万的地形高度数据得到各雷达的混合扫描仰角和等射束高度拼图。选用 2004 年 7 月 17—19 日 5 部雷达同步观测的雷达体扫资料, 分析了各雷达的最低扫描仰角; 在尽量排除地物杂波、波束阻挡、距离衰减和波束展宽等因素影响的情况下, 对比分析了 5 部雷达构成的有重叠覆盖区的 7 个雷达对的反射率因子差异。结果表明: (1) 对雷达最低扫描仰角进行分析可以检查雷达的仰角标定, 武汉和合肥雷达平均最低观测仰角比 VCP21 扫描方式规定的要低; (2) 用雷达对等距离线上的反射率垂直剖面可以分析雷达对同步观测的回波空间位置和强度差异, 常德雷达和其周围雷达同步观测的回波高度明显偏低; (3) 用雷达对等距离线上某高度的反射率因子曲线变化的一致程度可以分析雷达的方位标定, 这 5 部雷达没有明显的方位定标偏差; (4) 用雷达对等距离线上某高度的平均反射率因子差可以分析雷达对同步观测的系统观测差, 宜昌雷达和其周围的雷达相比, 观测的回波强度偏强, 而武汉和其周围的雷达相比, 观测的回波强度偏弱; (5) 反射率因子差的时间平均值随着反射率因子的大小变化而变化, 当观测的反射率因子越大时雷达对的反射率因子差的时间平均值也越大。

关键词: 区域雷达网, 同步观测, 反射率因子差, 对比分析。

1 引 言

新一代天气雷达有很高的时间和空间分辨率, 是实时测量降水和风的重要工具^[1-2]。随着新一代天气雷达网的部署, 发挥区域雷达网在联合监测天气中的作用已成为提高对中尺度天气系统的监测和预报能力的重要手段^[3]。目前国内有几种不同型号不同波长的新一代天气雷达, 每一部雷达在空间分辨率和回波功率探测方面都有固有的参数限定, 这些限定定义了系统的测量精度。新一代天气雷达的参数在建站时都经过了仔细的校准和标定, 在日常的运行中, 定时的或每经过一个体积扫描之后, 对影响雷达测量精度的各个参数进行一次自动校准和检测, 以确保雷达对降水目标的准确测量。然而, 在雷达业务运行期间, 一些雷达运行参数会因各种原因

偏离标定值, 从而引起降水目标的位置和强度测量误差。此外, 各部雷达(即使是同一型号)之间也会存在回波位置和强度的系统观测误差。这些观测误差会影响区域雷达网的三维拼图质量, 例如会导致反射率场的空间分布不连续。因此, 需要提出一种数值化分析方案, 统计分析区域雷达网同步观测时雷达对的回波强度和空间位置的观测差异, 为采取适当的方法避免、减轻和修正这些观测差异提供依据, 从而提高区域雷达组网拼图的质量。理论上的同步观测, 要求在没有电磁波衰减和波束展宽等因素的影响下, 不同雷达在同一时间对同一个降水粒子进行观测。然而, 这在实际操作中几乎是不可能的。由于降水系统在不断发展变化中, 其结构和位置在不断改变, 即使两部雷达同时开始立体扫描, 也不可能完全同时观测到空间中的同一降水粒子。尽

* 初稿时间: 2006 年 11 月 13 日; 修改稿时间: 2006 年 12 月 14 日。

资助课题: 武汉区域气象中心科技发展基金课题(QY-Z-200706)、国家重大基础研究项目(2004CB418305)和武汉暴雨研究所基本科研业务费专项(0602)。

作者简介: 肖艳姣, 主要从事雷达探测技术研究。E-mail: yanjiao.xiao@163.com

管做不到严格意义上的时间和空间同步,但也要尽量减小时间差和位置差。刘黎平^[5]对热带测雨卫星的星载雷达和地基雷达探测云回波的强度及结构误差进行过模拟分析;也通过比较分析两个地基多普勒雷达同步观测得到的 4 km 高度的同一区域的反射率因子概率分布来检查过两雷达同步观测时回波的位置和强度的差异^[6],该方法没有考虑回波离两个雷达的位置不同而引起的衰减和波束展宽的影响。史锐^[7]使用雷达对等距离线(与两个雷达的距离相等)上同一仰角的反射率因子差的平均和雷达对重叠观测区的 3 km 高度的反射率因子差的平均来统计雷达对同步观测的回波强度差异。该方法减轻了回波离两个雷达的位置不同而引起的衰减和波束展宽的影响,但是由于不同雷达站的天线海拔高度不一样,用同样的仰角观测得到的雷达等距离线上的回波实际上不在同一高度上。北欧对 20 部 C 波段雷达构成的雷达网进行了统一标定,其中使用最低仰角的雷达资料对各雷达对重叠观测区的回波强度以及最低仰角值的差异进行了统计分析,发现部分雷达在天线指向和强度方面有明显的问题^[8]。本文提出一种新的区域雷达网同步观测对比分析方法,该方法在尽量排除地物杂波、波束阻挡、距离衰减和波束展宽等因素影响的情况下,比较分析雷达对同步观测的反射率因子。该方法首先在对雷达反

射率资料进行杂波抑制的前提下把极坐标资料三维格点化^[3];其次对雷达最低扫描仰角进行分析,检查仰角标定;然后利用 1:25 万的 DEM(digital elevation model)数据和雷达站信息得到波束阻挡率,从而得到雷达混合扫描仰角和等射束高度;最后比较分析不受地形阻挡影响的雷达对等距离线上的反射率垂直剖面、水平剖面、反射率因子差的平均值和标准差以及反射率因子的相关系数等,检查雷达的方位标定以及雷达对的系统观测差。

2 资料来源和预处理

受高空槽、西南低涡和切变线的共同影响,2004 年 7 月 17—19 日位于长江中游的湖南、湖北、安徽出现了持续性暴雨天气过程。本文选用了这个时间段内的常德、长沙、宜昌、武汉和合肥的新一代天气雷达原始体扫资料,这 5 部雷达系统的主要参数见表 1。除了常德雷达型号是 CINRAD-SB 型外,其他 4 部雷达的型号都是 CINRAD-SA 型。收集的资料采取的扫描方式都是 VCP21,即 6 min 扫描 9 个仰角(0.5°、1.5°、2.4°、3.4°、4.3°、6.0°、9.9°、14.6°、19.5°)。地形高度数据来自国家测绘局的全国 1:25 万的 DEM 规则网格模型的 E00 格式资料,数据按经纬度格点存放,分辨率为 $0.0008333^\circ \times 0.0008333^\circ$ 。

表 1 雷达系统主要参数

Table 1 Major parameters of radar systems

雷达型号	合肥 CINRAD-SA	宜昌 CINRAD-SA	武汉 CINRAD-SA	常德 CINRAD-SB	长沙 CINRAD-SA
经度(°E)	117.2578	111.2958	114.3775	111.7144	113.0119
纬度(°N)	31.8669	30.7019	30.5167	29.1733	28.4600
高度(m)	165.5	203.4	135.7	586.3	640.3
波长(cm)	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
波束宽度(°)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
体扫仰角数	9	9	9	9	9
体扫时间(min)	6	6	6	6	6

雷达资料预处理包括杂波的识别和剔除以及极坐标资料三维格点化。本文首先借鉴 Zhang^[9]的方法,利用雷达反射率水平纹理、高度约束的垂直反射率因子差作为特征参数来识别和消除非气象回波;然后利用方位、斜距方向的最近邻居和垂直线性内插相结合的插值方法把极坐标系下的反射率资料插到笛卡尔坐标系下^[3]。DEM 数据的预处理主要是把在笛卡尔坐标系下以经纬度格点存放的 DEM 数据重绘到以雷

达为中心的极坐标系下,预处理后的 DEM 数据用于计算波束阻挡率和混合扫描仰角。

3 最低扫描仰角分析

虽然 5 部雷达扫描时都采用 VCP21 方式,其规定的最低扫描仰角为 0.5°,但当雷达天线用最低仰角以极坐标方式进行 360°方位扫描时,每个径向的仰角并不严格都是 0.5°,而是在不断的变化,而且

不同的雷达最低观测仰角差异可能还比较大,雷达原始体扫资料中记录了每个径向的仰角值。首先,对各部雷达多个观测时次的最低扫描仰角沿方位的变化进行了分析,没有发现在某个固定的方位区间存在一致性偏大或偏小的仰角值,而且仰角的方位脉动比较小,这说明雷达天线的底座没有向某个方向倾斜。其次,分析方位平均最低仰角随时间序列的变化。选取的体扫资料时间间隔为 6 min,时段分别为:合肥为 2004 年 7 月 17 日 00:04—23:51 UTC;宜昌为 2004 年 7 月 17 日 00:50 UTC—19 日 15:50 UTC;武汉为 2004 年 7 月 17 日 00:31 UTC—19 日 12:49 UTC;常德为 2004 年 7 月 17 日 00:36 UTC—18 日 14:42 UTC;长沙为 2004 年 7 月 17 日 08:56 UTC—19 日 02:09 UTC。分析结果表明:5 部雷达的方位平均最低仰角几乎都在其时间平均仰角值的 $\pm 0.01^\circ$ 之间脉动,但是每部雷达的方位平均最低仰角值的大小不一样,合肥的为 0.31° ,宜昌的为 0.51° ,武汉的为 0.43° ,常德的为 0.48° ,长沙的为 0.51° 。合肥的平均最低仰角比 VCP21 扫描方式规定的最低仰角 0.5° 低了 0.19° ,武汉的低了 0.07° 。对雷达最低扫描仰角进行分析有助于检查雷达系统的仰角标定,资料中记录的仰角值可能和雷达波束的实际指向仰角不一致。

4 混合扫描仰角和等射束高度拼图

雷达的探测能力不仅受雷达参数影响,而且还受到雷达站四周高大建筑物、地形(如山脉)的影响。在低仰角,雷达波束可能会被地形和建筑物部分或全部阻挡,如果不考虑阻挡,在反射率因子估计中会引入误差。对比分析雷达对同步观测的反射率因子时应剔除受到地物阻挡影响的数据。为此,我们需要使用 DEM 数据,通过积分障碍物阻挡区投影到方位和仰角方向的波束,计算波束内因地形阻挡而损失的功率比,即波束阻挡率,具体算法参见文献[10]。

所谓混合扫描仰角指的是波束阻挡率小于给定阈值(缺省阈值为 60%)并且波束下限高度与该距离库的地形高度之差大于给定阈值(缺省阈值为 150 m)的最低观测仰角。根据混合扫描仰角和标准大气下的雷达测高公式可以计算等射束高度(不受地形阻挡影响的情况下雷达波束轴线能到达的最低高度)。通过拼接来自多个雷达的等射束高度图可以得到区域雷达网的等射束高度拼图,其中最

小值方法处理多雷达重叠覆盖区的等射束高度。图 1 给出了合肥、宜昌、武汉、常德和长沙等 5 部雷达的 VCP21 扫描方式下的 1—5 km 的等射束高度拼图,从图 1 可看出这 5 部雷达可构成有重叠覆盖区的 7 个雷达对。

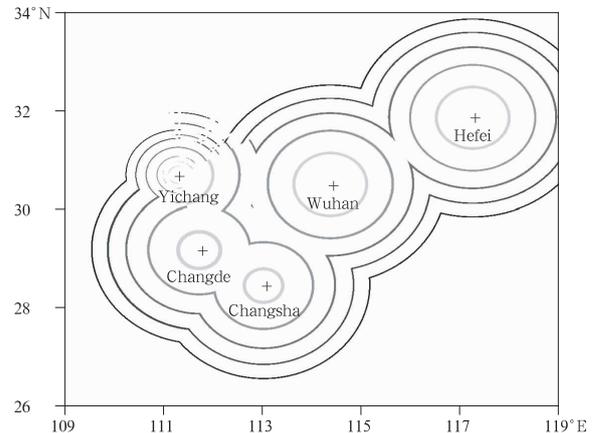


图 1 等射束高度拼图

Fig. 1 The mosaicked iso-beam height image

5 雷达对同步观测反射率因子对比分析

各个雷达站的海拔高度不一样,扫描仰角也不一样,即使两部雷达用相同仰角看相同斜距处的目标物的高度也不一样。为了尽量做到进行比较的两组反射率因子来自同一目标物,我们把极坐标系下的经杂波抑制后的雷达体扫数据进行插值处理形成统一笛卡尔坐标系下的三维格点数据。为了尽量减小距离衰减和波束展宽对两雷达同步观测差异的影响,我们选取雷达对重叠覆盖区的等距离(离两个雷达距离相等)线上的反射率因子进行比较。

5.1 雷达对等距离线上的反射率垂直剖面图比较

比较雷达对等距离线上的反射率垂直剖面可以分析两雷达同步观测的回波空间位置和强度的差异。反射率垂直剖面算法在垂直方向对反射率因子进行了线性内插,垂直格点分辨率为 100 m。我们分析了雷达对的多个等距离线上的反射率垂直剖面图,这儿只分别给出了 7 个雷达对的一个个例图(图 2),图 2a—g 分别为武汉-合肥、武汉-宜昌、武汉-长沙、武汉-常德、宜昌-常德、长沙-常德和宜昌-长沙雷达对的等距离线上的反射率垂直剖面图。表 2 列出了雷达对反射率垂直剖面图中对应的起始方位和斜距、结束方位和斜距、体扫开始时间、雷达对间距等

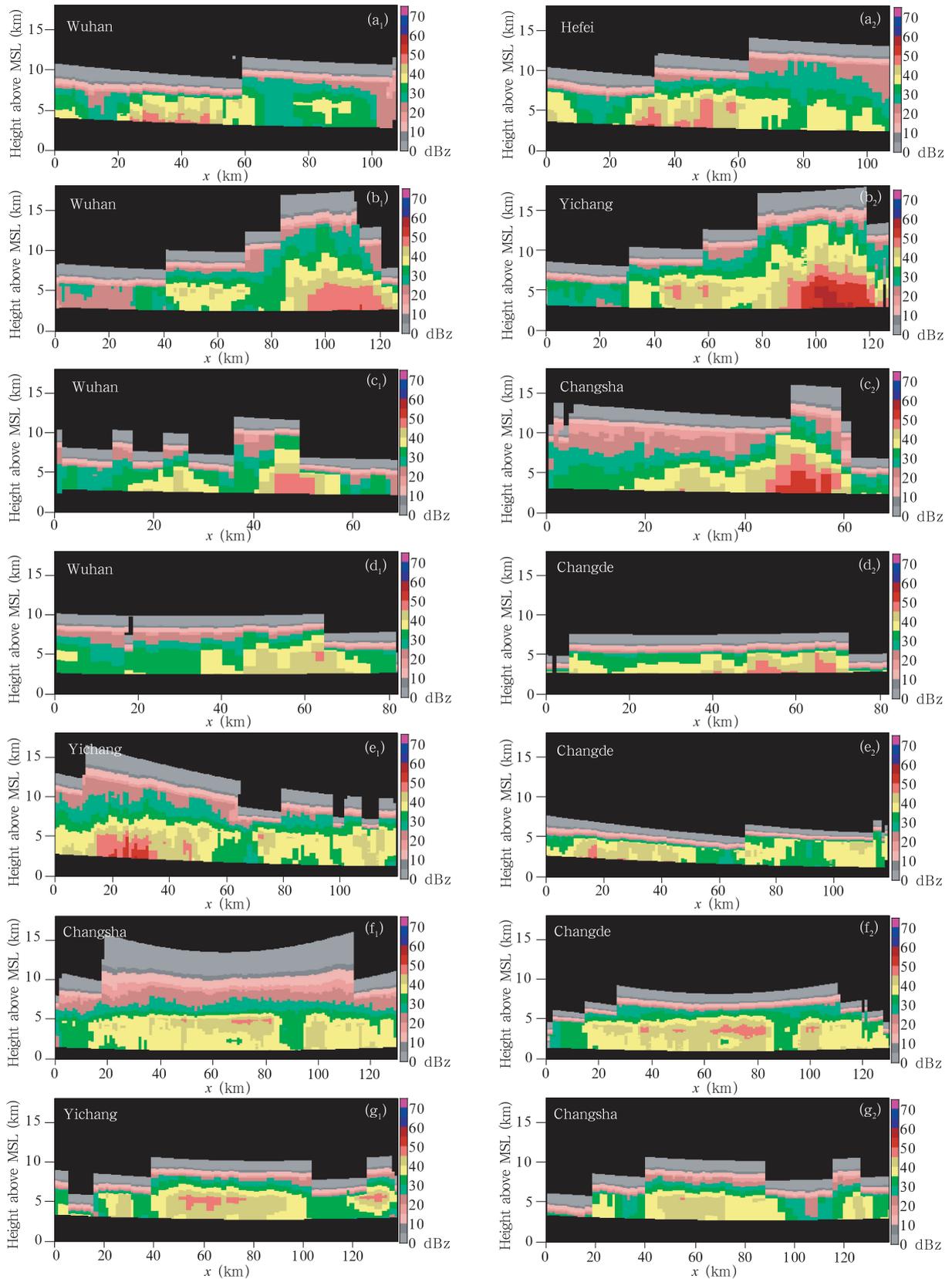


图2 雷达对等距离线上的反射率垂直剖面 (x轴表示离所选等距离线起点的距离)
Fig.2 Vertical cross sections of reflectivity on the selected equidistant line for radar-pairs
(x-axis: distance from the begin-point of the selected equidistant line)

表 2 所选雷达对等距离线上的反射率垂直剖面参数

Table 2 Parameters of vertical cross section of reflectivity on selected equidistant line for radar pairs

	开始方位和斜距 (°, km)	结束方位和斜距 (°, km)	体扫开始时间 (年-月-日 时:分:秒)	雷达对间距 (km)
武汉 合肥	(52.7, 158)	(20.7, 203)	2004-07-17 16:33:34	312.4
	(249.9, 158)	(281.7, 203)	2004-07-17 16:35:05	
武汉 宜昌	(301.3, 165)	(254.6, 157)	2004-07-17 10:57:46	295.6
	(66.7, 165)	(113.4, 157)	2004-07-17 10:59:09	
武汉 长沙	(245.9, 162)	(221.1, 134)	2004-07-18 19:36:51	264.1
	(354.1, 162)	(18.9, 134)	2004-07-18 19:38:36	
武汉 常德	(252.6, 152)	(221.7, 157)	2004-07-18 19:12:59	297.1
	(47.0, 152)	(77.9, 157)	2004-07-18 19:10:47	
宜昌 常德	(111.0, 153)	(161.5, 87)	2004-07-17 16:36:57	174.7
	(41.9, 153)	(350.8, 87)	2004-07-17 16:35:08	
长沙 常德	(343.3, 99)	(261.2, 99)	2004-07-17 23:12:46	149.2
	(80.9, 99)	(163.0, 99)	2004-07-17 23:11:43	
宜昌 长沙	(116.6, 172)	(165.8, 159)	2004-07-18 09:04:23	299.5
	(356.1, 172)	(306.8, 159)	2004-07-18 09:07:15	

参数。从图 2 中可看出武汉-合肥、武汉-宜昌、武汉-长沙、宜昌-长沙 4 个雷达对的反射率垂直剖面图中回波的水平垂直结构比较一致,但是武汉雷达比合肥、宜昌和长沙雷达观测的回波强度要弱一些,宜昌的比长沙和武汉的要强一些。由于实际观测中每个雷达的最低仰角不一样,所以雷达对反射率垂直剖面图中的最低回波高度不一样,最低仰角低的最低高度也低,例如合肥雷达比武汉雷达的平均最低观测仰角低 0.12° ,它观测的最低回波高度也比武汉雷达的低。武汉-常德、宜昌-常德、长沙-常德雷达对的反射率垂直剖面图中的回波在垂直结构上存在较大差异,常德雷达观测的回波高度比它周围 3 个雷达观测的都要低,在这次暴雨过程中,这种现象持续存在。检查常德雷达的各个观测仰角值也没有发现与 VCP21 扫描方式规定的仰角有多大差异。要弄清常德雷达观测回波高度偏低的原因需要对雷达系统进行认真检查。由于常德雷达与其他雷达探测的回波垂直结构存在较大的差异,它与其周围雷达构成的雷达对的同一高度的反射率因子实际上可能来自不同高度的目标物,因此,后面分析雷达对同一高度的反射率因子差时就不再考虑常德雷达。

5.2 雷达对等距离线上的反射率水平剖面比较

为了进一步比较雷达对同步观测的回波强度和方位位置差异,我们对图 2 中雷达对反射率垂直剖面中的某一高度的反射率因子进行了对比分析,在分析过程中只取反射率因子所在高度大于第 4 节中计算出来的等射束高度的点。计算了雷达对等距离

线上反射率因子差的平均值 D_Z 、标准差 σ_Z 和反射率因子的相关系数 ρ_Z 。

$$D_Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{1i} - Z_{2i}) \quad (1)$$

$$\sigma_Z = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (Z_{1i} - Z_{2i})^2 - nD_Z^2 \right]} \quad (2)$$

$$\rho_Z = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{1i}Z_{2i} - n\bar{Z}_1\bar{Z}_2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Z_{1i}^2 - n\bar{Z}_1^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Z_{2i}^2 - n\bar{Z}_2^2}} \quad (3)$$

其中 Z_1 和 Z_2 分别为雷达对等距离线上的反射率因子,单位 dBz, n 为雷达对等距离线上的有效像素点数, \bar{Z}_1 和 \bar{Z}_2 分别为雷达对等距离线上的有效反射率因子的平均值。平均值是随机变量概率密度曲线重心的位置,随机变量围绕平均值取值。标准差表征随机变量分布的离散程度,标准差越大分布越不集中。相关系数表征两组随机变量变化趋势的一致程度,相关系数越大表明其变化趋势越一致。图 3 中的左图给出了雷达对 4 km 或 5 km 高度等距离线上的反射率因子对比图,其中武汉-合肥雷达对取 5 km 高度,其他雷达对取 4 km 高度。从图中可看出武汉-合肥雷达对的反射率因子曲线变化趋势是比较一致的,其他 3 个雷达对的反射率因子曲线的变化有一定相位差异。但是在武汉-宜昌、武汉-长沙和宜昌-长沙雷达对中分别把武汉雷达资料逆时针旋转 1° 和 0.6° ,把宜昌雷达资料逆时针旋转 1.1° 后,雷达对的反射率因子曲线的变化趋势变得比较一致。图 3 中的右图给出了经方位调整后的 3 个雷

达对的反射率因子曲线。表 3 给出了 4 个雷达对的 D_z 、 σ_z 和 ρ_z 以及经方位调整后的 3 个雷达对的 D_z 、 σ_z 和 ρ_z ，从表中可看出，经方位调整后的雷达对反射率因子之间的相关系数变大了，反射率因子差的平均值变大了，标准差变小了。分析多个时次雷达对的同一高度等距离线上的反射率因子后，发现为了让雷达对反射率因子的变化趋势趋于一致，把

某一雷达资料进行方位调整的幅度并不一样，并且需要调整的幅度也不大，这说明雷达对同步观测时等距离线上的回波位置差异不是因雷达的方位标定误差引起，而是因雷达对观测同一目标的时间不严格同步而引起的与降水目标移动速度有关的位置偏移以及插值处理等原因所导致。

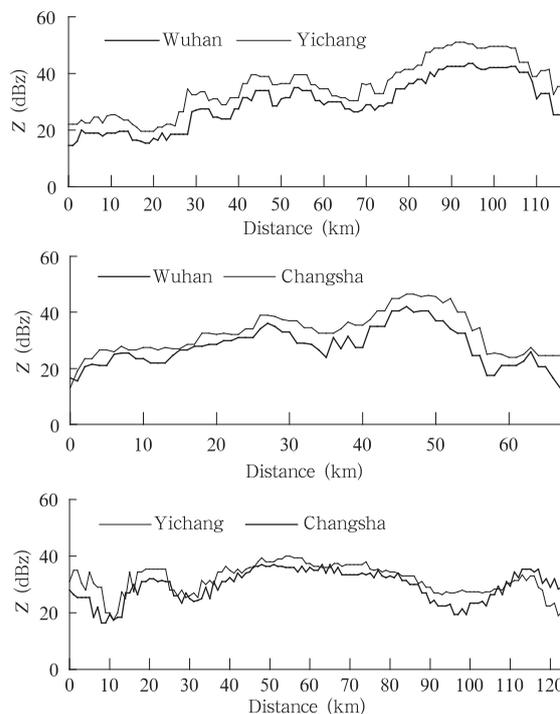
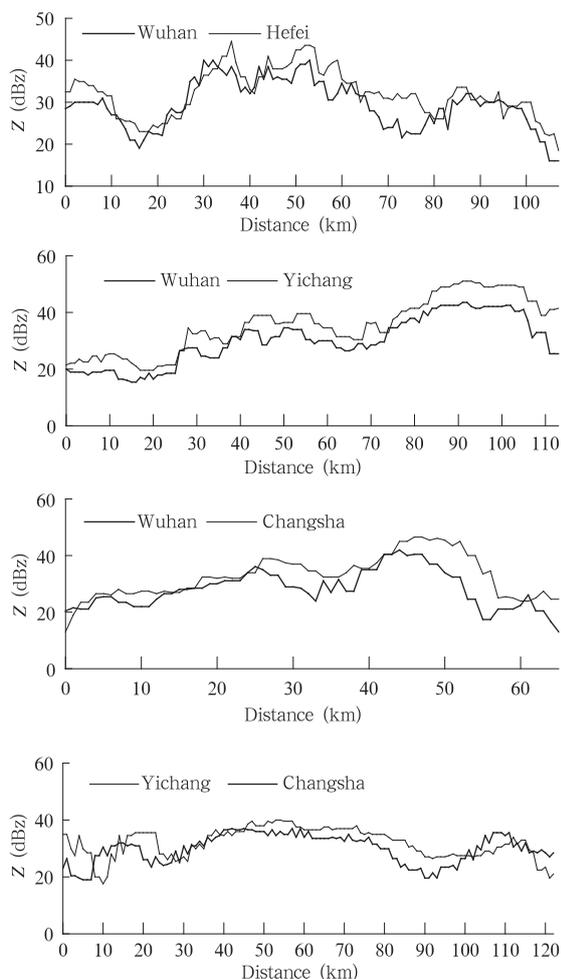


图 3 所选雷达对等距离线上的反射率因子
(x 轴表示离所选等距离线起点的距离。
左图:方位调整前;右图:方位调整后)

Fig. 3 Reflectivities on the selected equidistant line for radar-pairs (x -axis: distance from the begin-point of the selected equidistant line. left: before adjusting azimuth; right: after adjusting azimuth)

表 3 雷达对等距离线上的反射率因子的 D_z 、 σ_z 和 ρ_z

Table 3 D_z 、 σ_z and ρ_z of reflectivities on the selected equidistant line for radar-pairs

	D_z (dB)	σ_z (dB)	ρ_z	
武汉-合肥	-2.6	3.2	0.85	
武汉-宜昌	方位调整前	-5.0	2.5	0.97
	方位调整后	-5.8	2.2	0.97
武汉-长沙	方位调整前	-3.5	3.1	0.90
	方位调整后	-4.7	2.7	0.93
宜昌-长沙	方位调整前	1.7	4.5	0.61
	方位调整后	2.0	3.7	0.80

5.3 雷达对等距离线上的平均反射率因子差的时间变化

为了进一步统计雷达对的系统观测差，我们分析了雷达对 4 km 或 5 km 高度(武汉-合肥、宜昌-长沙雷达对取 5 km 高度，其他雷达对取 4 km 高度)等距离线上的反射率因子差的 D_z 、 σ_z 和反射率因子的 ρ_z 随时间的变化。为了排除奇异点的影响，要求用来比较的 2 个反射率因子的差不能大于 10 dBz，并且在计算过程中去掉了小于 10 dBz 的弱回波。

武汉-合肥雷达对选取的资料时段为 2004 年 7 月 17 日 15:00—24:00 UTC,武汉-宜昌雷达对的为 2004 年 7 月 17 日 06:00—24:00 UTC,武汉-长沙雷达对的为 2004 年 7 月 18 日 08:00—24:00 UTC,宜昌-长沙雷达对的为 2004 年 7 月 17 日 15:00—24:00 UTC。图 4 给出了 4 个雷达对给定高度等距离线上的 D_z 和 σ_z 随时间的变化图,图 5 给出了相关系数 ρ_z 随时间的变化图。由于雷达对同步观测的时间和空间不严格同步以及波束传播、衰减等因素的影响, D_z 、 σ_z 和 ρ_z 随时间并不是一成不变的,

而是在一定的范围内波动。从图 4 中可看出,武汉雷达与合肥、宜昌、长沙雷达同步观测的 D_z 几乎都小于 0,而宜昌雷达与武汉、长沙雷达的几乎都大于 0,这说明武汉与其周围雷达同步观测时的回波强度偏弱,宜昌与其周围雷达同步观测时的回波强度偏强。武汉-合肥、武汉-宜昌雷达对的 D_z 随时间在 2—4 dB 之间变化,武汉-长沙、宜昌-长沙雷达对的在 2—6 dB 之间变化。从图 5 中可看出所有雷达对反射率因子的相关系数都比较大,但是也有个别时次的相关系数比较小。表 4 给出了 4 个雷达对的

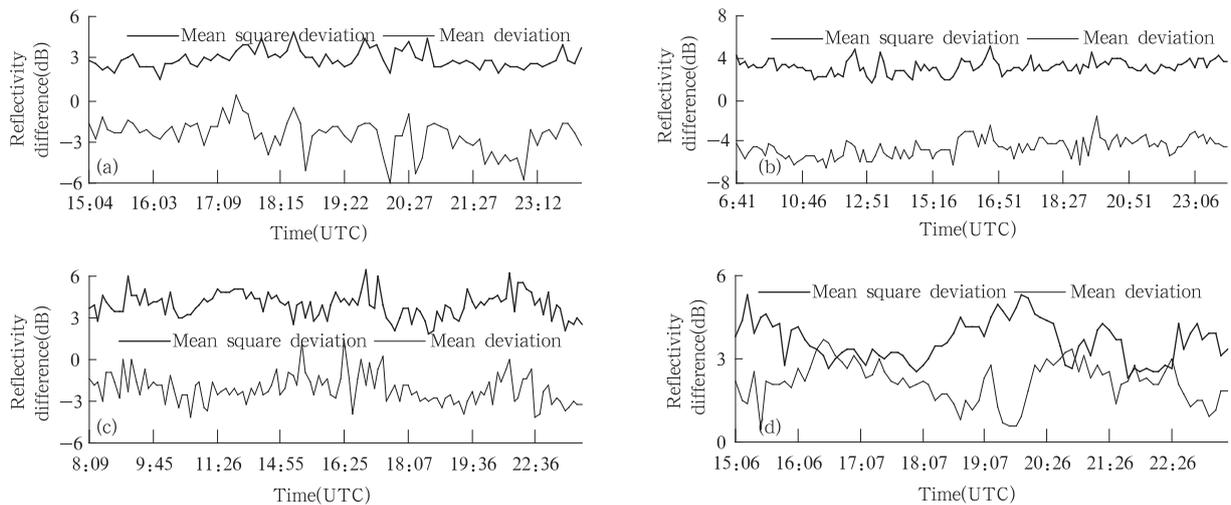


图 4 雷达对等距离线上的平均反射率因子差随时间的演变

(a. 武汉-合肥, b. 武汉-宜昌, c. 武汉-长沙, d. 宜昌-长沙)

Fig. 4 Time-variation of the average of reflectivity differences on equidistant line for radar-pairs

(a. Wuhan-Hefei, b. Wuhan-Yichang, c. Wuhan-Changsha, d. Yichang-Changsha)

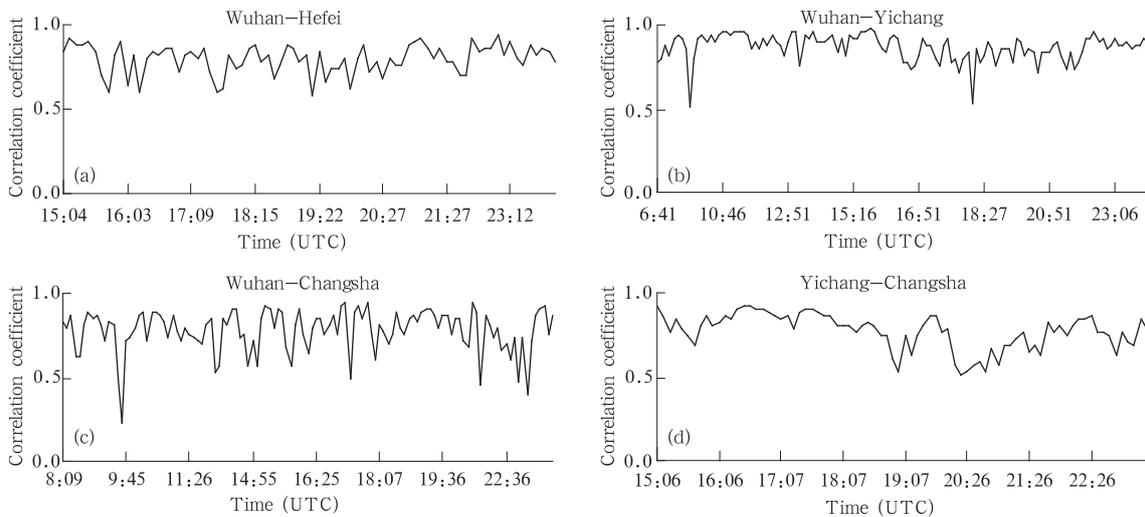


图 5 雷达对等距离线上的反射率因子相关系数随时间的演变

(a. 武汉-合肥, b. 武汉-宜昌, c. 武汉-长沙, d. 宜昌-长沙)

Fig. 5 Time-variation of correlation coefficient of reflectivities on equidistant line for radar-pairs

(a. Wuhan-Hefei, b. Wuhan-Yichang, c. Wuhan-Changsha, d. Yichang-Changsha)

D_z 、 σ_z 和 ρ_z 在所选时段内的平均值,从表中可看出武汉雷达比合肥雷达同步观测的回波强度平均弱 2.4 dBz,比宜昌雷达的弱 4.6 dBz,比长沙雷达的弱 2.4 dBz;宜昌雷达比武汉雷达同步观测的回波强度平均强 4.6 dBz,比长沙雷达的强 2.1 dBz。武汉-合肥、武汉-长沙雷达对的平均反射率因子差的差别很小,如果以合肥、长沙雷达的观测为基准,那么武汉雷达就有-2.4 dB 左右的系统观测差,而宜昌雷达有 2.4 dB 左右的系统观测差。为了检查各雷达对的反射率因子差是否随反射率因子的大小变化,我们把雷达对中的其中一个雷达的反射率因子分成 10—20 dBz、20—30 dBz、30—40 dBz、 ≥ 40 dBz 等 4 个等级,然后分别计算位于这 4 个等级内的雷达对反射率因子差的平均值。表 5 给出了分等级的雷达对反射率因子差的平均值,从表中可看出反射率因子差的时间平均值随着反射率因子的大小变化而变化,当反射率因子越大时雷达对的反射率因子差的时间平均值也越大。

表 4 雷达对等距离线上的反射率因子的 D_z 、 σ_z 和 ρ_z 的时间平均值

Table 4 Time-mean D_z , σ_z and ρ_z of reflectivities on the equidistant line for radar-pairs

	武汉-合肥	武汉-宜昌	武汉-长沙	宜昌-长沙
D_z (dB)	-2.4	-4.6	-2.4	2.1
σ_z (dB)	3.0	3.1	3.9	3.6
ρ_z	0.79	0.86	0.78	0.77

表 5 雷达对等距离线上的分级反射率因子的 σ_z 的时间平均值

Table 5 Time-mean σ_z of classified reflectivities on the equidistant line for radar-pairs

	武汉-合肥	武汉-宜昌	武汉-长沙	宜昌-长沙
10—20 dBz	-0.8	-1.1	0.2	0.1
20—30 dBz	-2.2	-3.1	-1.6	0.7
30—40 dBz	-3.1	-4.6	-2.7	3.2
≥ 40 dBz	-5.6	-5.8	-4.3	5.0

6 结 论

利用长江中游的合肥、宜昌、武汉、常德和长沙雷达周围的 1:25 万的 DEM 数据得到区域雷达网的等射束高度拼图。选用 2004 年 7 月 17—19 日 5 部雷达同步观测的雷达体扫资料,分析了各雷达的最低扫描仰角;在尽量排除地物杂波、波束阻挡、距离衰减和波束展宽等因素影响的情况下,对比分析

了 5 部雷达构成的有重叠覆盖区的 7 个雷达对的反射率因子差异,得到如下一些结论:

(1) 对雷达最低扫描仰角进行分析可以检查雷达仰角的标定,武汉和合肥雷达平均最低观测仰角比 VCP21 扫描方式规定的要低;

(2) 用雷达对等距离线上的反射率垂直剖面可以分析雷达对同步观测的回波空间位置和强度的差异,常德雷达和其周围 3 部雷达型号不一样,同步观测时,它观测的回波高度明显偏低,具体原因需要对雷达系统进行检查;

(3) 用雷达对等距离线上某高度的反射率因子曲线变化的一致程度可以分析雷达的方位定标,这 5 部雷达没有明显的方位标定偏差。由于时间和空间的不严格同步以及波束传播、距离衰减等因素的影响,雷达对同步观测时等距离线上的反射率因子曲线变化不完全一致,但是平均相关系数都在 0.77 以上。反射率因子差的平均值、标准差和 2 组反射率因子的相关系数都是随时间波动的;

(4) 用雷达对等距离线上某高度的平均反射率因子差可以分析雷达对同步观测的系统观测差,宜昌雷达和其周围的雷达相比观测的回波强度偏强,而武汉和其周围的雷达相比观测的回波强度偏弱;

(5) 雷达对等距离线上的反射率因子差的时间平均值随着反射率因子的大小变化而变化,当反射率因子越大时,雷达对的反射率因子差的时间平均值也越大。

参考文献

- [1] Serafin R J, Wilson J W. Operational weather radar in the United States; Progress and opportunity. Bull Amer Meteor Soc, 2000, 81:501-518
- [2] 郑媛媛,俞小鼎,方口等. 一次典型超级单体风暴的多普勒天气雷达观测分析. 气象学报, 2004, 62(3):317-328
- [3] 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. 气象学报, 2006, 64(5):647-657
- [4] Divjak M, Berre P Le, Bizic D, et al. Radar data quality-ensuring procedures at European weather radar stations. 1999, OPERA/WD/9/1999, EUMETNET OPERA Programme
- [5] 刘黎平. 热带测雨卫星的星载雷达和地基雷达探测云回波强度及结构误差的模拟分析. 气象学报, 2002, 60(5):668-674
- [6] 刘黎平,张沛源,梁海河等. 双多普勒雷达风场反演误差和资料的质量控制. 应用气象学报, 2003, 14(1):17-29
- [7] 史锐,程明虎,崔哲虎等. 长江流域多普勒雷达回波强度资料对比分析. 气象, 2004, 30(11):27-31
- [8] Huuskonen A. Final report on the nordrad quality-assurance project, Tech. rep., Finnish Meteorological Institute, P. O.

Box 503, FIN 00101Helsinki, Finland, 2002

Aerospace Meteorology, AMS, 2004, P5.4

[9] Zhang J, Wang S, Clarke B. WSR-88D reflectivity quality control using horizontal and vertical reflectivity structure. Preprints, the 11th Conference on Aviation, Range, and

[10] 张亚萍, 刘均, 夏文梅等. 雷达定量估测区域降水波束阻挡系数的计算. 南京气象学院学报, 2002, 25(5): 640-647

A CONTRAST ANALYSIS OF SYNCHRONOUS OBSERVATIONS FROM REGIONAL RADAR NETWORK

Xiao Yanjiao^{1,2} Liu Liping² Yang Hongping¹

¹ Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, Wuhan 430074

² State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

Abstract

On the basis of the 1:250000 DEM(digital elevation model) data and station information of Hefei, Wuhan, Yichang, Changde and Changsha weather radars and radar beam pattern (or power density function), the beam blockage coefficients is calculated. A beam bottom clearance of 150 m or more and an occultation of less than 60% are used to define a hybrid elevation angle which is used for calculating iso-beam height based on radar altimetry. After iso-beam heights from individual radars are remapped onto the Cartesian grid, they are combined to produce a mosaic iso-beam height image. 7 radar pairs are composed, which have common covering area at 4 km height. The lowest scanning elevation angles of the 5 radars are analyzed using the radar raw data on 17—19, July 2004, the results show that the mean lowest elevation angles of Hefei and Wuhan radars are respectively 0.19° and 0.07° lower than 0.5°, the regulation of VCP21, and the others have no great difference. And then, after distance attenuation, and terrain obstruct and clutter are eliminated, the reflectivity difference of radar pair on the equidistant line are analyzed when they simultaneously observe. Because of different height above sea level of radar antenna, the objects' height at the same slant range with same elevation angle are dissimilar between radar pairs. In order that two contrast reflectivities come from same object more possible, the radar volume scan data are remapped onto 3D Cartesian grid, and for abating the attenuation influence, the reflectivities on equidistant line are selected, and for mitigating beam blockage and clutter, when the mean reflectivity difference between radar pair at same distance from two radars are calculated, only these points are considered whose height is higher than iso-beam height, viz. which are not blocked completely. Whereby, the following results can be approached: (1) Lowest scanning elevation angles can be used to examine the calibration of radar elevation angle. (2) Vertical cross sections of reflectivity on equidistant lines for radar pairs can be used to analyze the deviation of echo's position and intensity from radar-pair. Echo's vertical structures appear large differences on equidistant lines when Changde radar simultaneously observes with other adjacent 3 radars, its echo height is obviously lower. Nevertheless, the others' horizontal and vertical echoes are consistent well. (3) Reflectivity on equidistant line at same height from radar-pairs can be used to examine the calibration of radar azimuth. Because of undemanding space-time synchronization as well as the effects of atmospheric refraction and distance attenuation, the reflectivity variation trends of paired radars on the equidistant line at same height are incompletely consistent, and the mean and standard deviation of reflectivity differences between paired radars on equidistant line at same height change along with time, and so does correlation coefficient of reflectivities of radar pairs. (4) Wuhan radar's echo intensities are 2.4 dBz weaker than that of Hefei radar, 4.6 dBz lower than Yichang, 2.4 dBz lower than Changsha when it observes simultaneously with the others around. Yichang's is averagely 4.6 dBz stronger than Wuhan and 2.1 dBz stronger than Changsha. The variations are small between Wuhan and Hefei, and Wuhan and Changsha radars. Assumed the criterion based on Hefei and Changsha radars, Wuhan is about -2.4 dB system observation error, and Yichang about 2.4 dB.

Key words: Regional radar network, Synchronization observation, Reflectivity, Contrast analysis.