

一次梅雨锋降水系统三维风场双、三雷达对比研究

周海光

王玉彬

(中国气象科学研究院,北京 100081)

(北京市气象局)

提 要

2002年,“我国重大气候和天气灾害的形成机理与预测理论研究”项目首次启用三多普勒天气雷达组网对暴雨系统进行同步观测,作者使用 MUSCAT 技术对 6 月 24 日梅雨锋雨带上的一个中 β 系统进行了双、三多普勒雷达三维风场对比分析,表明大气中低层辐合线是此次暴雨系统的一个重要特征。

关键词: 双多普勒雷达 三多普勒雷达 梅雨 三维风场 对比研究

引 言

多普勒天气雷达能够探测降水粒子的径向速度和反射率因子等信息,通过反演可获得大气三维风场,这在大气探测和中尺度气象研究中具有十分重要的理论和现实意义。

双(三)多普勒雷达同步探测可以明显提高三维风场的反演精度和可靠性,国外从 20 世纪 70 年代就开始用双(三)雷达研究强风暴和龙卷等灾害性天气,极大地提高了对中尺度系统三维动力结构的认识。Armijo^[1]从理论上给出了笛卡尔坐标系中用双(三)雷达联合反演三维风场的方程组;随后, Lhermitte 和 Miller 等先后提出并发展了双雷达“共面”扫描方法(COPLAN)^[2,3],但计算时需多次插值,降低了反演精度,而且最佳反演区域较小,实施这种技术也有一定难度。从上个世纪 70 年代末开始,先后发展了一系列基于变分法的双(三)雷达风场反演技术^[4-6],提高了反演精度。

Ray 等^[7]研究了多部天气雷达联合探测的布局和误差分布,三部雷达通过合理布局,比双雷达的最大优点是提高了反演精度,扩大最佳反演区域,并且提高系统稳定性;在国内,陶祖钰^[8]对单、双雷达反演误差进行了研究,张沛源等^[9]对三雷达联合探测的最佳布局进行了研究。

为了研究中尺度暴雨系统风场结构,2002 年“我国重大气候和天气灾害的形成机理与预测理论研究”项目在我国首次组织实施了三多普勒雷达同步观测,第一次获得了高时空分辨率的梅雨锋暴雨资料,对双、三雷达反演得到的三维风场进行对比研究,以便比较真实地反映暴雨系统的风场结构,具有非常重要的理论和实际意义,而且也有利于今后更好地开展双、三雷达组网观测。

1 MUSCAT 三维风场反演技术

本文使用地基 MUSCAT 技术反演三维风场,算法见文献[6]和[10],文献[10]的公式(3)中变量 p 取 3 就是三多普勒雷达三维风场反演系统。基于迭代法的反演技术精度较低,方程组存在病态,最佳反演区域很有限;MUSCAT 技术由于是一步完成三维风场的求解,比较成功地解决了迭代法的缺点,尤其是在迭代法求解失败的雷达基线区域^[6]。

2 资料

2002 年 6~7 月,本项目在安徽省设置了一个三多普勒雷达同步观测区,马鞍山(31.70°N、118.52°E)和无为(31.34°N、117.88°E)使用 3830 雷达,合肥(31.87°N、117.23°E)采用 Cinrad/SA 雷达,技术指标见文献[10]。需要指出,由于地理环境等因素的限制,这三部雷达并不是最佳布局布设。

雷达资料在进行风场反演之前,进行了质量控制预处理,包括去噪声、补缺测点、退模糊。

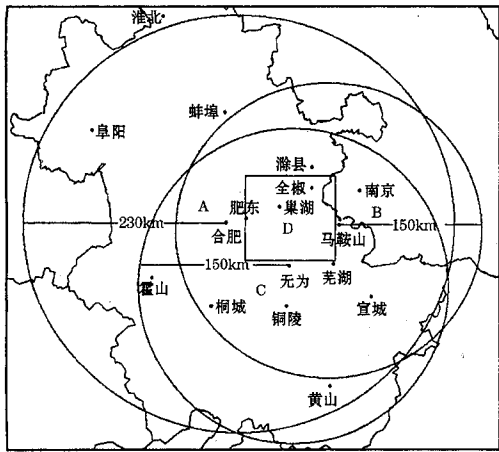


图1 合肥、马鞍山、无为三多普勒雷达同步探测和反演区域示意图

图1给出了合肥、马鞍山和无为三多普勒雷达同步体扫探测覆盖区和用于反演的区域,圆A、B、C分别表示三部雷达各自的探测区,矩形区域D是三维风场反演区域。D区左下角位于(31.35°N、117.54°E),向东为x轴正方向,向北为y轴正方向,垂直向上为z轴,空间范围90km×90km×12.5km,格距取1km×1km×0.5km,椭球Cressman插值函数^[11]的水平半径和垂直半径分别取2.5km和1.2km。

3 天气形势与雷达回波演变

3.1 天气形势

6月23日20时~25日02时,本项目在长江下游进行了第二次加密观测(IOP),受冷空气南下和高空西南暖湿气流共同影响,23日08时~24日08时,安徽省中北部、苏南出现中到大雨,部分地区暴雨;24日08时,500hPa长江中下游地区受副高边缘一致的西南气流影响,700和850hPa的低空西南急流仍较强,急流轴位于南京、安庆到长沙一线;在卫星云图上,长江中下游东西走向的梅雨锋云带清晰,水汽通道完整,皖南和苏南仍有较强降水。

3.2 雷达回波演变

24日07:00较强回波带由西向东进入三雷达同步探测区,在移动过程中不断发展

加强,其上不断有强对流单体(>45dBz)生消,9:35同步区内回波逐渐减弱消散。

4 三维风场对比分析

对三部雷达分别匹配,组合成四种反演方案:合肥—马鞍山(下文简称HM)、合肥—无为(HW)、马鞍山—无为(MW)、合肥—马鞍山—无为(HMW),前三种是双雷达反演方案,第四种是三雷达反演方案。应该指出,在公共反演区域各种方案的误差分布是不一样的。

图2给出了用24日8:41~8:47雷达体扫资料反演得到的2.5km高度上的水平速度场和回波强度等值线图,西北气流和较强的西南暖湿气流在反演区中部汇合,形成一条自西向东的辐合线,其位置四种方案基本一致,HMW方案的水平速度场略显平滑;四种方案高空基本受西风气流控制;强回波带位于辐合带上,配置合理。从散度场来看,双雷达反演方案比三雷达的数值变化幅度较大,这与Ray等的结果相一致^[4]。

图3给出了沿x=40km的南北方向垂直剖面VW速度合成图和回波强度等值线图,四种方案虽然有一些细微的差别,但基本都清晰地揭示,低层是系统的入流区,高空是系统的出流区,在低层南北两支气流同时向y=40km附近涌入抬升(对应于图2辐合线),从高空流出,这种低层辐合、高空辐散的“抽吸”动力结构,形成比较强烈上升运动,有利于产生降水;HM方案y=60km的高层速度与其它三种方案有较明显的差别,这是由于反演误差与网格点同雷达的相对位置有关造成的;速度场与雷达回波也有较好的配置关系。

使用08:06~08:59其它时段资料反演得到的三维风场也有类似结果。综上所述:低层较强的西南暖湿气流与西北气流在反演区中部汇合,形成一条自西向东的中尺度辐合线,是这次降水的一个重要特征。

采用类似Ray等^[4]的方法,表1给出了反演区域所有网格点速度平均值,不同反演方案得到的水平速度比较接近,但垂直速度的差别比较大,这同Ray等^[4]的结论类似,使用多部雷达反演,可以提高反演精度,特别

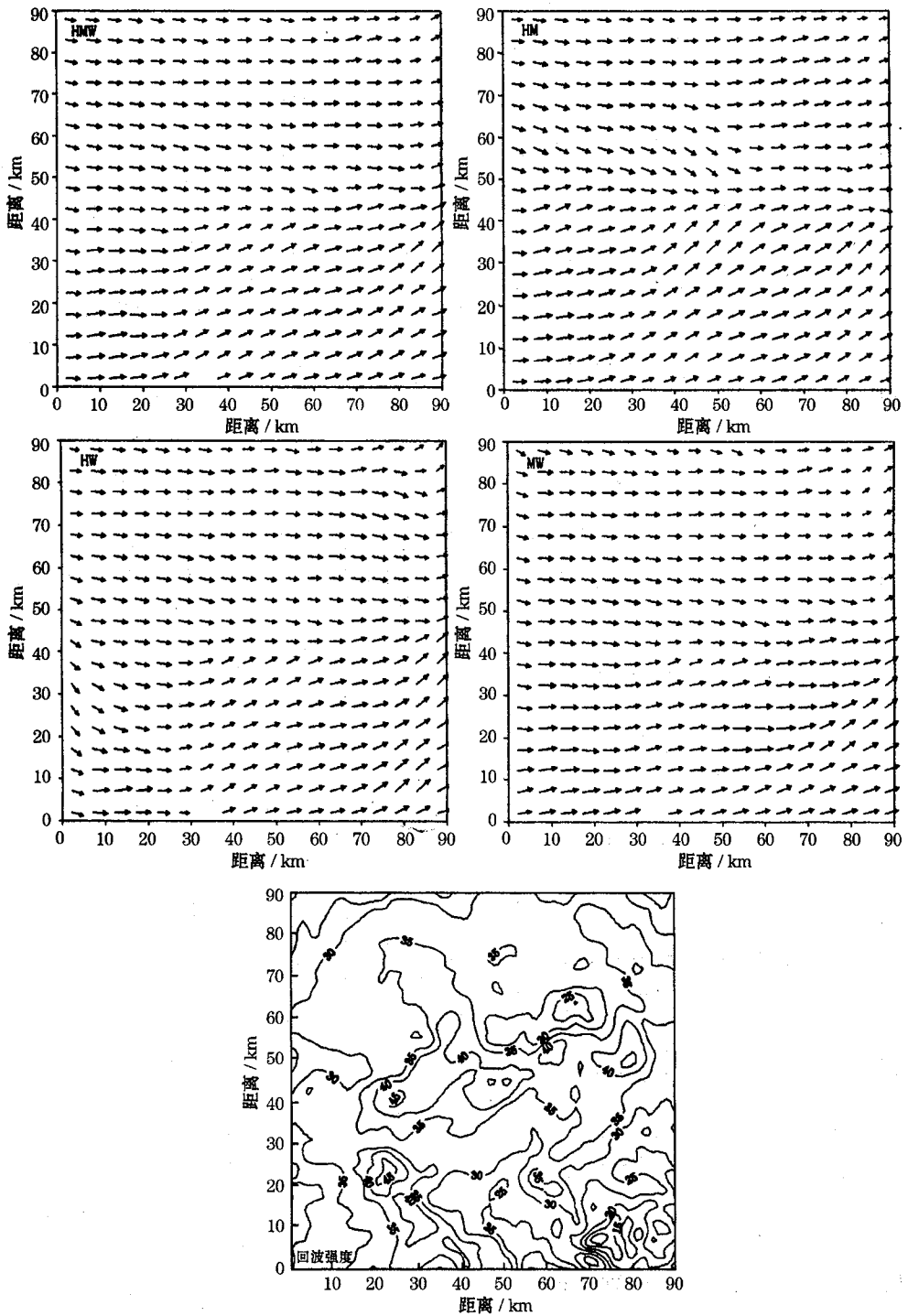


图2 6月24日8:41~8:47反演得到的2.5km高度的水平速度场和回波强度图

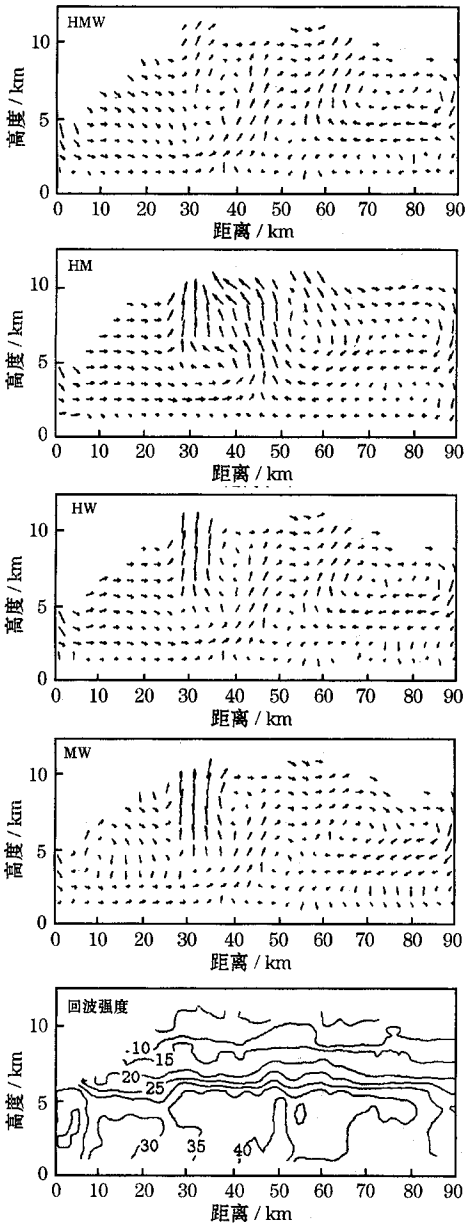


图3 6月24日8:41~8:47反演得到的VW速度合成图(x=40km)和回波强度图

是可以提高垂直速度的反演精度和水平散度的精度,自底向上积分连续方程在高层容易造成误差累计。

反演方案假定使用同一时刻的数据,而雷达完成一个体扫需要5~6min,这是误差的一个重要来源,如何改进雷达扫描策略和在反演中考虑时间变化,是今后重要的研究

课题。

表1 速度平均值(m·s⁻¹)

| 项目 | 反演方案 | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| | HM | HW | MW | HMW |
| \bar{u} | 16.43 | 15.90 | 15.48 | 16.00 |
| \bar{v} | 1.51 | 1.47 | 1.54 | 1.47 |
| w_+ | 0.95 | 0.70 | 0.92 | 0.65 |
| w_- | -1.71 | -1.94 | -2.15 | -1.75 |
| $ \bar{w} $ | 2.66 | 2.64 | 3.07 | 2.40 |

5 结论

使用三部雷达同步观测到的梅雨锋暴雨资料,对双、三多普勒雷达三维风场进行了对比研究,结果表明:

(1)四种方案总的反演结果基本一致,但有差异;

(2)双多普勒雷达和三多普勒雷达反演得到的水平速度比较接近,但垂直速度差别较大,这同理论上的分析结果是一致的;三多普勒雷达反演得到的风场精度较高,可以作为标准检验双多普勒雷达风场反演结果;

(3)综合各种反演方案,中低层辐合线是此次暴雨的一个重要特征,低层辐合、高层辐散的动力配置,也有利于暴雨的发生。

参考文献

- 1 Armijo L. A theory for the determination of wind and precipitation velocities with Doppler radar. *J. Atmos. Sci.*, 1969, 26: 570—573.
- 2 Lhermitte R M, Miller L J. Doppler radar methodology for the observation of convective storms. 14th Radar Meteorology Conference. American: American Meteor Society, 1970. 133—138.
- 3 Miller L J, Strauch R G. A dual-Doppler radar method for the determination of wind velocities within precipitating weather systems. *Remote Sense Environ*, 1974, 3(4): 219—235.
- 4 Ray P S, Ziegler C L, Bumgarner W, et al. Single- and multiple-Doppler radar observations of tornadic storms. *Mon Wea Rev*, 1980, 108(10): 1607—1625.
- 5 Scialom G., Y. Lemaire. A new analysis for the retrieval of three-dimensional mesoscale wind fields from multiple Doppler radar. *J Atmos Oceanic Tech*, 1990, 7: 640—665.
- 6 Chong M, O Bousquet. On the application of MUSCAT to a ground-based dual-Doppler radar system. *Meteo atmos phys*. 2001, 78: 133—139.
- 7 Ray P S, Wagner K K, Johnson K W, et al. Triple-Doppler

- observations of a convective storm. *J Appl Meteorol*, 1978, 17(8):1201—1212.
- 8 Tao Zuyu. Error comparison of wind field retrieval from single and dual Doppler radar observations. *Acta Meteorol Sinc*. 1994, 8:337—345.
- 9 张沛源,何平,宋春梅等.三部多普勒天气雷达联合测量大气风场的误差分布及最佳布局研究. *气象学报*, 1998, 56(1):96—103.
- 10 周海光,王玉彬.多部多普勒雷达同步探测三维风场反演系统. *气象*, 2002, 28(9):7—11.
- 11 周海光,张沛源.笛卡儿坐标系的双多普勒天气雷达三维风场反演技术. *气象学报*. 2002, 60(5):585—593.

Contrastive Study on Three-Dimensional Wind Field of Mei-yu Precipitation using Dual- and Triple-Doppler Radar

Zhou Haiguang

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Wang Yubin

(Beijing Meteorological Bureau)

Abstract

Triple-Doppler radar is used to investigate China Mei-yu in 2002 in "973" key project——China Heavy Rain Experiment and Study. Three-dimensional winds of the Mei-yu precipitation on 24 June are analyzed using dual- and triple- Doppler radar data retrieved by multiple-Doppler synthesis and continuity adjustment technique (MUSCAT) technology. The convergence line at the low level plays an important role in the rains.

Key Words: Dual-Doppler weather radar triple-Doppler radar Mei-yu 3-D wind field contrastive study