

积层混合性暴雨三维动力结构的 双多普勒雷达对比分析

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

对2002年7月22~23日长江中游的积层混合性暴雨的中尺度三维动力结构进行了双多普勒雷达对比观测分析,表明中低层切变线、中尺度辐合线和中尺度气旋是这次强降水的重要特征;不同反演算法得到的三维动力模型差别较大,必须引起重视。

关键词: 暴雨 三维动力结构 双多普勒天气雷达 反演

引 言

双多普勒天气雷达同步观测可以反演出高时空分辨率的三维风场,极大地提高了对中尺度系统三维动力结构的认识^[1,2]。由于客观条件限制,我国基于双雷达反演的暴雨高时空分辨率的三维中尺度动力结构的研究较少,我们曾对2001年长江下游的一次暴雨进行了三维风场的初步分析^[3]。但不同反演技术的结果差别较大^[4],目前,“我国重大气候和天气灾害的形成机理与预测理论研究”项目正在建立基于双多普勒雷达风场反演的中尺度暴雨三维动力结构模型,反演技术的选择,直接影响模型的正确与否,因此必须对不同方法进行对比分析。

1 反演技术

1.1 迭代反演

雷达探测的径向速度与笛卡尔坐标系的三维速度可用几何关系表示^[5],两部雷达可以得到两个方程,令这两个方程中的垂直速度 w 为零,求解水平速度分量 (u, v) ,然后由质量连续方程求解 w ,再将 w 代入几何关系方程求解 (u, v) ,再由连续方程求解 w ,如此循环直至前后两次计算的 w 残差达到极小,即认为得到反演结果,径向速度到反演网格点的转换通过三维 Cressman 插值^[6]完成。该方法(简称 IR)只能使用较低仰角的径向速度,否则粒子下落末速度的径向分量较大,降低反演精度;雷达基线附近误差大,不能反

演^[7];该法计算量小,算法简单。

1.2 MUSCAT 技术

IR 反演精度低,方程组存在病态,反演区域有限;地基 MUSCAT 技术^[3,6,7]可一步求解三维风场,且克服了 IR 的缺点,尤其是在 IR 求解失败的雷达基线区域^[7]。

2 反演区域示意图

图1是宜昌(30.70°N、111.30°E)、荆州(30.33°N、112.19°E)双多普勒雷达反演区域示意图,雷达基线长95.5km,荆州位于宜昌正东偏南25.7°,其中宜昌使用 Cinrad/SA 雷达,荆州布设3830 雷达。矩形abcd(简称A区)是两种算法对比区,矩形efgh(简称B

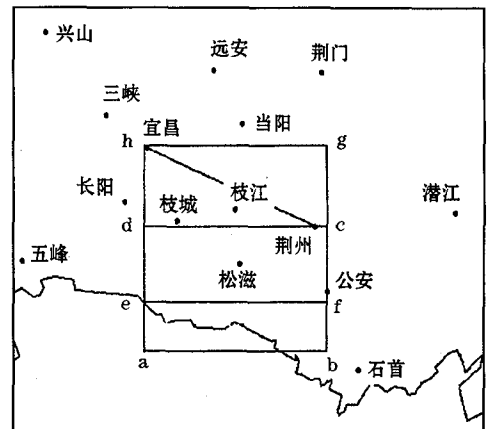


图1 宜昌、荆州双多普勒雷达反演区域图

区)是 MUSCAT 分析区,其左下角依次为(29.80°N、111.30°E)和(29.90°N、111.30°E),空间范围取 90km×60km×12.5km 和 90km×90km×12.5km,水平和垂直格距取 1km 和 0.5km,两种方案的三维 Cressman 插值函数水平和垂直半径均分别取 2.5km 和 1.2km。雷达资料在进行反演之前,进行了质量控制预处理。

3 天气背景

22日08时~23日08时,受高空低槽和中低层切变线的共同影响,在宜昌与荆州双雷达同步区内对流系统发生发展频繁,普降暴雨到大暴雨,强降水中心分别位于荆州(148.7mm)、枝城(114.3mm)和公安(93.9mm)。在卫星云图上,从长江流域一直伸展到日本上空的大范围降水云带上,从湖南省西北部不断有中小尺度的对流云团发展,并从宜昌与荆州之间沿着西南—东北路径移动。

4 三维风场对比

从雷达回波强度图演变过程来看,这是典型的积层混合型暴雨,中低层中尺度扰动触发了强对流活动,在层状云系内形成对流云,这些对流云降水在中尺度系统的组织下形成中尺度对流回波系统,与层状云系构成混合型降水,降水量较大,持续时间较长。

双雷达同步观测区22日11时地面开始出现降水,图2给出了由11:30~11:35资料用IR和MUSCAT反演得到的区域A的2.5km高度的水平速度场与回波强度等值线图,在反演区中部有一条气旋性切变线,这有利于水汽的辐合,为强降水的发展创造了条件,其位置两种算法基本一致;但有差别,MUSCAT风场比较光滑,这是由于引入的二阶微分算子可以滤去水平风场的小尺度变化,IR的水平速度数值变化幅度比MUSCAT略大一些。从计算的散度场来看,IR的数值变化幅度比MUSCAT大,IR的辐合与辐散均较MUSCAT偏强。两种方案的反演区高层均受较强的西南气流控制;两种方案其它时段的反演结果表明,这条切变线维持了较长时间,但其位置变化不大。

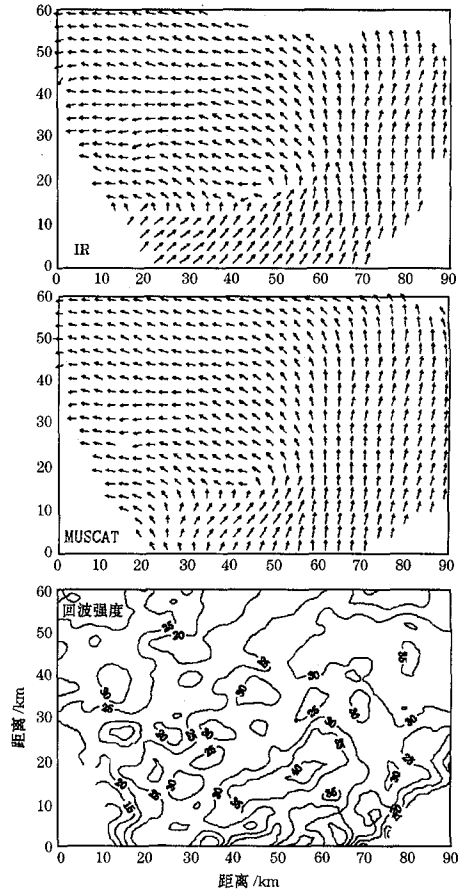


图2 A区11:30~11:35反演得到的2.5km高度水平速度场和回波强度图

图3是11:30~11:35沿 $x=18\text{km}$ 的南北方向垂直剖面VW速度合成图和回波强度等值线图,南部中低层是系统的入流区,北部是流出区,两种方案是一致的;在 $y=12\text{km}$ 附近的低层两种方案都显示有南北两支气流的辐合抬升,这就容易造成水汽的辐合;在10~40km处中低层的垂直环流两种方案基本类似,但IR的垂直分量更大一些;MUSCAT在50~60km处低层有一明显的垂直环流,在IR方案的相应位置并不明显;在高层,MUSCAT方案中以V分量为主,在IR中W分量偏大。综合回波强度的垂直剖面图来看,中层较强回波附近上升气流依然较强,这表明水汽将进一步辐合,向更有利于降水的方向发展。

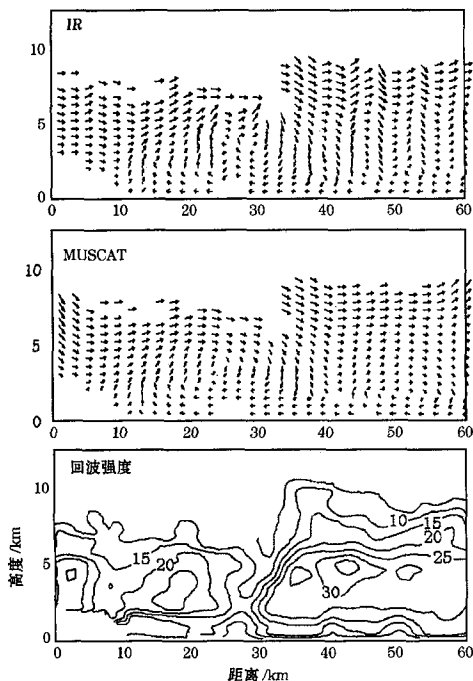


图3 A区 11:30~11:35 南北方向垂直剖面 VW 速度合成图($x=18\text{km}$) 和回波强度图

IR 算法得到的垂直速度变化幅度比 MUSCAT 大,高层这种趋势更加明显,这是由于 IR 采用自底向上直接积分连续方程求解 w ,误差累计向高层传播很快,Chong 等^[8]对此有详细的论述。正如我们在文献[9]中所指出的, w 的求解一直是双雷达反演中最难解决的方面之一,MUSCAT 引入了连续方程的二次平方项作为约束条件,使得上述问题得以改进;IR 采用迭代技术反演,也是造成上述差别的另一个重要原因^[10]。

图 4 是使用 MUSCAT 由 22 日 16:19~16:24 得到的 B 区 3.0km 高度水平速度场,在雷达基线附近上空有明显的辐合线,两支气流在这里汇合,低层水汽辐合非常有利于强对流天气的发生和发展;由于 IR 在基线附近区域不能反演,这些细微的结构无法反映。

5 结论

使用双多普勒雷达的暴雨资料,对两种反演方法进行了对比,表明:

(1) IR 对反演区的要求比较苛刻,雷达

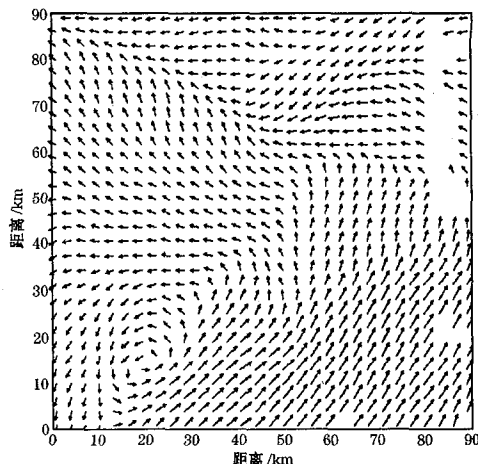


图4 B区 16:19~16:24 反演得到的 3.0km 高度水平速度场

基线附近的区域不能反演,最佳反演区域较小;MUSCAT 采用变分技术,一步完成三维风场的求解,解决了 IR 和基于 IR 的其它算法的病态,最大的优点是可以反演 IR 求解失败的部分区域,便于全面分析三维结构;在公共反演区,两者结果比较类似,但 IR 数值偏大,尤其是垂直速度,MUSCAT 引入了质量连续方程的二次平方项作为约束条件,使得积分连续方程所造成的误差累积得到改善。

(2) 这是一次积层混合型暴雨,中低层切变线、中尺度辐合线和中尺度气旋等中尺度扰动是造成此类强降水的重要原因。

参考文献

- 1 Lemaitre Y, G Scialom, P Ameyenc. A cold frontal rain-band observed during the LANDS-FRONTES 84 experiment; mesoscale and small-scale structure inferred from dual-Doppler radar analysis. *J. Atmos. Sci.*, 1989, 46: 2215—2235.
- 2 Dowell, D. C., H. B. Bluestein. The Arcadia, Oklahoma, storm of 17 may 1981: analysis of a supercell during tornado-genesis. *Mon Wea Rev.*, 1997, 125: 2562—2582.
- 3 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.
- 4 Chong M, Campos C. Extended overdetermined dual-Doppler formalism in synthesizing air-borne Doppler radar data. *J Atmos Oceanic Tech*, 1996, 13(3): 581—597.

(下转第 38 页)

(上接第 15 页)

- 5 Armijo L. A theory for the determination of wind and precipitation velocities with Doppler radar. *J. Atmos. Sci.*, 1969, 26: 570—573.
- 6 周海光, 张沛源. 笛卡尔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.
- 7 Chong M, O Bousquet. On the application of MUSCAT to a ground-based dual-Doppler radar system. *Mete atmos phys.* 2001, 78: 133—139.
- 8 Chong M, Tesud J. Three-dimensional wind field analysis from dual-Doppler radar data Part III: The boundary condition: an optimum determination based on a variational concept. *J Climate Appl Meteorol*, 1983, 22(7): 1204—1215.
- 9 周海光. 多普勒天气雷达风场反演技术研究进展. *地球科学进展*, 2002, 17(3): 384—390.
- 10 O Bousquet, Chong M. A multiple-Doppler synthesis and continuity adjustment technique (MUSCAT) to recover wind components from Doppler radar measurement. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 1998, 13: 343—359.
- 11 张培昌, 杜乘玉, 戴铁丕. *雷达气象学*. 北京: 气象出版社, 2001: 511.

Comparative Study on Tri-Dimensional Wind of Heavy Rain with Different Dual-Doppler Radar Retrieval Technology

Zhou Haiguang

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Wang Yubin

(Beijing Meteorological Bureau)

Abstract

Based on dual-Doppler radar data, the tri-dimensional wind of the heavy rain on 22 July 2002 is retrieved with iterative technology and MUSCAT technology. The major characteristics of the event are the wind shear, meso-scale convergence line and the meso-scale cyclone at the low-level. The detailed feature of three-dimensional wind field from two methods are significantly different.

Key Words: heavy rain tri-dimensional wind field Dual-Doppler weather radar retrieval