

双多普勒雷达对淮河流域特大暴雨的风场反演^①

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

在 2003 年 6 月下旬至 7 月上旬梅雨期,淮河流域出现了持续强暴雨。7 月 4 日 08 时~5 日 08 时,安徽省部分地区出现特大暴雨,其中滁州 273.7mm;滁州 4 日 20 时~5 日 20 时日雨量为 351.7mm。使用 MUSCAT 技术对这次特大暴雨进行了双多普勒雷达三维风场反演,研究表明,中低层辐合线和中尺度气旋是造成此次暴雨的重要原因;辐合线造成低层水汽的大量集中也为其提供了有利的环境条件。

关键词: 特大暴雨 梅雨 三维风场 双多普勒雷达 风场反演

引 言

2003 年 6 月下旬至 7 月上旬梅雨期,淮河流域出现了持续强暴雨。”我国重大气候和天气灾害的形成机理与预测理论研究”项目在安徽省实施了双多普勒雷达同步观测,本文使用 7 月 5 日合肥和马鞍山雷达探测的特大暴雨的资料,用地基多部多普勒雷达综合和连续调整技术(MUSCAT)对其三维动力结构进行了反演研究。

双多普勒雷达联合探测可以反演得到较高精度的高时空分辨率的三维风场^[1],该项技术的应用,加深了对暴雨等灾害性天气的认识^[2];也常作为标准来检验单多普勒雷达风场反演精度。由于条件限制,国内在这方面的研究很少。最近,我们应用双、叁多普勒雷达三维风场反演技术,在使用双、叁多普勒雷达研究暴雨三维动力结构等方面做了一些研究^[3~9]。

1 地基 MUSCAT 三维风场反演技术

我们在文献[3]和[4]中给出了地基 MUSCAT 双、三多普勒雷达风场反演技术的说明。数值试验表明^[3],MUSCAT 具有较高的反演精度;对于双多普勒雷达风场迭代算法(风场直接合成法)而言,只有两部雷达波束夹角在 45°与 135°之间的区域反演误差较小,其它区域不能反演,反演区很有限,且反演精度较低^[5];MUSCAT 技术可以反演迭代算法不能反演的区域,便于全面分析系统结构,其最佳反演区比迭代算法的反演区要大得多^[8]。

2 双多普勒雷达同步探测

2003 年 6~7 月,本项目在安徽设置了一个双多普勒雷达同步探测区,这里的同步不是严格意义上的时间同步,参与同步观测的两部雷达以北京时间为参考时间,在整点时刻开始各自的体积扫描,由于两部雷达完成一个体扫所需的时间并不相同,因此有相当部分体扫资料采集时所处的时间段并不一

① 科技部 2002 年度科研院所社会公益研究专项资金项目“突发性强灾害天气预警系统的研制”资助(2002DIA20013)

致。合肥、马鞍山双多普勒雷达同步体扫描探测示意图见文献[6],规定向东为 x 轴正方向,向北为 y 轴正方向,垂直向上为 z 轴,水平和垂直格距分别取1km和0.5km,三维Cressman距离权重椭球插值函数^[3]的水平和垂直影响半径分别取2.5km和1.2km,反演区左下角为(31.65°N、117.8°E),反演区域为90km×90km×12.5km。

首先使用我们研制的软件系统^[6]对雷达资料进行了质量控制处理,然后使用MUSCAT技术进行三维风场反演。

3 雨情

受低槽和中低层切变线共同影响,7月4日08时~5日08时,安徽省出现暴雨,部分地区特大暴雨,其中滁州273.7mm,全椒114.7mm,图1是7月4日08时~5日08时24h雨量图(见封二)。滁州4日20时~5日20时日雨量为351.7mm,创7月历史极值。这次特大暴雨恰好位于双多普勒雷达同步探测区内,有利于研究其动力结构。

4 雷达回波演变

7月5日06:00合肥雷达观测到在肥东—全椒—滁州上空有带状较强回波(>40dBz),其上强对流单体活动非常频繁,强度达50dBz,强回波自西向东移动;08:38之后,强回波主要在全椒—滁州上空活动,生消频繁;强的对流单体嵌在雨带上,造成了局地强降水;13:00之后,回波基本消退;5日01:00~13:00地面有强降水。

5 三维风场分析

此次特大暴雨过程中,双雷达有共同观测资料的时间在5日06时之后,我们对时间上匹配的资料进行三维风场反演。

08:38在全椒和滁州之间已经有一条东西走向的辐合线生成,图2给出了2.0km高度水平速度矢量图(见封二),图上叠加了回波强度,单位是dBz(以下各图同),图中A和B分别表示全椒和滁州。

全椒和滁州上空的低层存在较强的辐合线,辐合线以南是西南气流;以北气流分布略显复杂:其西侧为西北气流,其中部主要受北

风控制,东段西风分量逐渐加大,变为西北气流。总体来看,南北两支气流在这里汇合,潮湿的水汽被西南气流输送到这一区域,为这次特大暴雨的发展提供了极好的水汽条件,有利于触发和维持强降水。从2km高度的散度场来看(图略),滁州—全椒处在辐合区,底层辐合,高层辐散的动力配置有利于强对流系统的进一步发展。在全椒和滁州上空有较强回波带(大于40dBz),强回波呈东西走向,其上嵌有多个回波单体(大于45dBz),这条强回波带与风场辐合带之间有良好的对应关系。在辐合线的南部也有大于40dBz的强回波单体存在,呈西南—东北走向,与风场有比较一致的对应关系;低层持续的西南气流和西北气流造成粒子的集中和水凝物的不断累积,是这条回波带形成的原因,也是此次暴雨的雨元供应者。

2.5km高度层也有辐合线,其位置略偏东偏北;辐合线南侧为西南气流,同2km高度上的非常类似;辐合线北侧的气流分布特征与2km高度上的有一定差别,主要是中段北风分量不如低层明显。3km高度上的辐合线的位置更偏北偏东。4km高度及以上各层受西南气流控制,越往高层西风分量越占主导地位。4km高度以下各层的雷达回波的分布特征和形态与2km高度层比较类似。

后面相继时刻的风场表明,风场结构一直支撑着暴雨的发展。图3(见封二)给出了09时2.0km高度水平速度图。全椒和滁州上空的低层(2km)仍然存在较强的辐合线,南北两支气流在这里汇合。在全椒和滁州上空有较强回波,辐合线上的强回波带(大于40dBz)分裂为东西两个强回波单体,其东侧单体与辐合线南侧的强单体合并后呈东北—西南走向,与西南气流的方向基本一致;虽然地面出现较强降水,强回波带断裂,但低空仍有较强的回波存在,这与西南气流向滁州—全椒地区输送潮湿水汽造成水凝物的累积有直接关系,也使得暴雨能够维持。同样,在2.5km高度层也有辐合线,其位置略偏东偏北;4km高度及以上各层受西风控制(图

略)。

图4(见封二)给出了09:28的南北剖面 uv 速度合成图($x=44\text{km}$),南北两支气流在 $y=58\text{km}$ 附近的低空辐合抬升。潮湿气流从南部低层涌入,一支气流倾斜上升,另一支气流在高层向南流动,然后下沉,形成逆时针垂直环流,并将高空水平动量带到低层;在 y 为 $50\sim 60\text{km}$ 的低层较强回波处上升气流仍较强,表明强对流系统还会持续一段时间。

后续时刻的三维风场表明,低层依然有辐合线存在,位置变化不大,辐合线两侧气流的分布特征同前几个时刻比较类似;这种动力配置使得强降水持续发展。

图5(见封二)给出了10:43的 2.0km 高度上的水平速度,在全椒和滁州上空存在较强的辐合线,辐合线北侧的东北区域气流有一定的东风分量。在其东侧还有中尺度气旋(图中C),中尺度气旋具有抽吸作用,可以维持强对流系统。水平速度的辐合带上对应东西向的较强回波带,其上有多个较强回波单体。 2km 高度散度场上,滁州—全椒低层为辐合区。 2.5km 高度上的辐合线略偏东偏北。从 $y=50\text{km}$ 的东西剖面 uv 速度合成图(图6)(见封二)来看,以西风分量为主。

在南北剖面 uv 速度合成图($x=48\text{km}$)上,南北两支气流在 $y=50\text{km}$ 附近的低空辐合抬升。在低层,南部充沛的水汽被西南气流不断地输送到暴雨中心区,在中部附近低层形成了较强回波单体;从速度场上来看,中部($50\sim 60\text{km}$)有一支垂直环流,下沉气流可以把高空水平动量带到地面,在低空加强了与暖空气的辐合作用,这就更强烈地把暖空气上抬,这样可以再触发强对流系统;在暴雨系统的北部气流倾斜上升,从高空辐散流出,是系统的出流区。较强回波处的上升气流依然比较旺盛,这预示强降水还会持续一段时间。

11:56在滁州—全椒 2km 高度上仍有辐合线存在,位置变化不大;在滁州附近的中尺度气旋对维持强对流天气具有重要作用。

12:23的 2km 高层上的辐合线北抬;

2.5km 高度上辐合线北抬到滁州以北,滁州—全椒上空以西风为主,南风分量较弱,辐合线北部气流的北风分量减小,上升气流减弱;全椒和滁州上空的東西向的强回波带也随之分裂减弱;14:00之后辐合线消失,降水基本停止。

6 结 论

(1)此次局地特大暴雨是由中尺度系统引起的;在强降水时段,低空的中尺度辐合线和中尺度气旋等中尺度扰动对暴雨的持续和进一步发展具有重要作用;辐合线造成低层水汽的大量集中为系统提供了有利的条件;随着辐合线的北抬和强度减弱,强降水也趋于减弱;较强回波带与辐合线有比较一致的对应;

(2)以往的研究表明,梅雨锋暴雨系统与中尺度系统活动密切相关,但多是从数值模拟的角度分析的,本文首次从基于观测事实的双多普勒雷达三维风场的角度给予了验证和深化。

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 彭治班,刘健文,郭虎,等.国外强对流天气的应用研究.北京:气象出版社,2001:414.
- 3 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.
- 4 周海光.多普勒天气雷达三维风场反演技术和雨暴三维动力结构的研究.南京气象学院[博士论文]. 2003: 149.
- 5 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.
- 6 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.
- 7 周海光,王玉彬.一次梅雨锋降水系统三维风场双、三雷达对比研究. *气象*, 2003, 29(5): 13—17.
- 8 周海光,王玉彬.积层混合性暴雨三维动力结构的双多普勒雷达对比分析. *气象*, 2003, 29(8): 13—15.
- 9 Zhou Haiguang, Wang Yubin, Zhang Peiyuan. A software system for retrieving 3-D wind fields from Dual-Doppler radar and the 3-D wind structure of heavy rain. *Proceedings of the international symposium on climate changes (ISCC)* (31 March-3 April 2003). WMO/TD-NO. 1172: 290—293.

On 3-D Wind Structure of a Heavy Rain in Huaihe River Basin in 2003 MeiYu Period by Dual-Doppler Radar

Zhou Haiguang

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Wang Yubin

(Beijing Meteorological Bureau)

Abstract

The heavy rainfall existed for a long time in the Jianghuai area in 2003 Meiyu period resulted in a flood. A heavy rain occurred in the Dual-Doppler coverage, up to 351.7mm rainfall in 24h from 20:00 on July 4 to 20:00 on July 5 in Chuzhou, Anhui Province.

The three-dimensional wind of the heavy rain were retrieved by MUSCAT (multiple-Doppler synthesis and continuity adjustment technique) using the dual-Doppler radar volume scan data. It showed that the convergence line and the meso-cyclone at the low level play an important role in this heavy rain event. The vertical circulation is also clear in the event.

Key Words: heavy rain MeiYu three-dimensional wind dual-Doppler radar wind retrieve

<<双多普勒雷达对淮河流域特大暴雨的风场反演>>附图

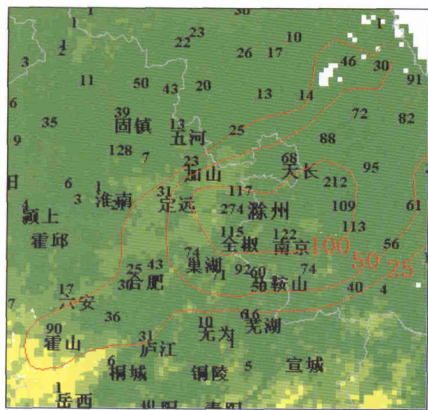


图 1 2003 年 7 月 4 日 08 时~5 日 08 时雨量图

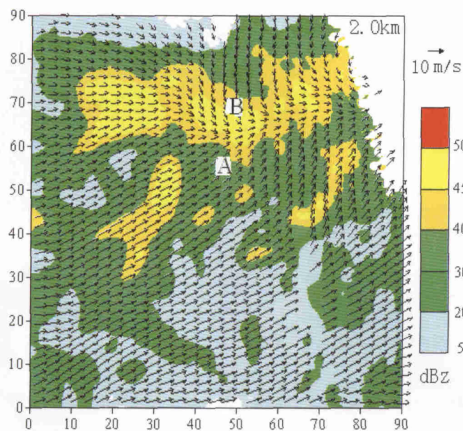


图 2 2003 年 7 月 5 日 08 时 38 分 2.0km 高度
水平速度场

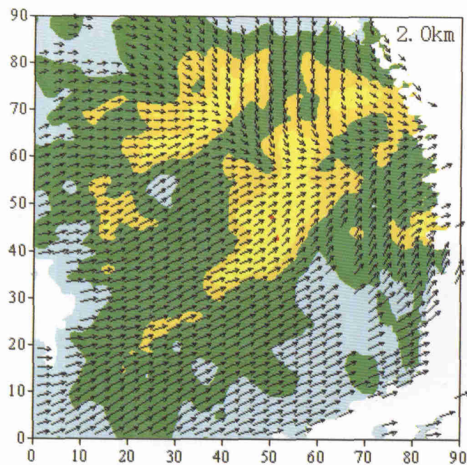


图 3 2003 年 7 月 5 日 09 时 00 分 2.0km 高度
水平速度场

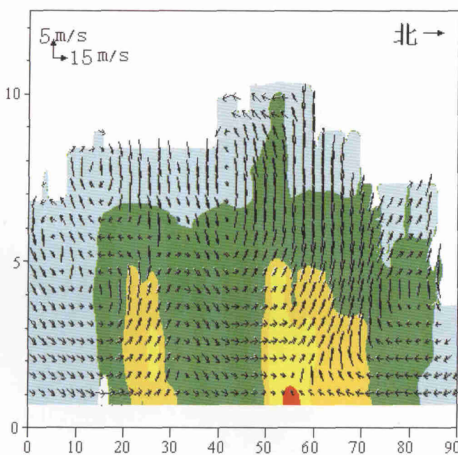


图 4 2003 年 7 月 5 日 09 时 28 分南北方向
垂直剖面 VW 速度合成图

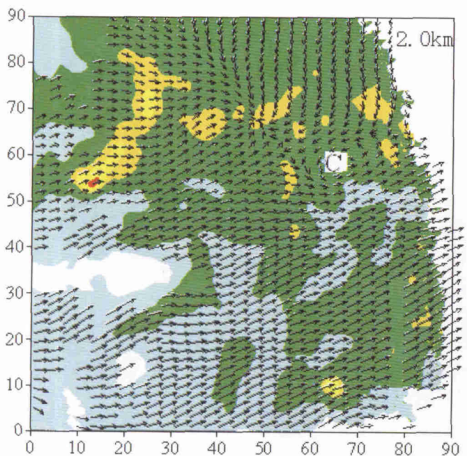


图 5 2003 年 7 月 5 日 10 时 43 分 2.0km
高度水平速度场

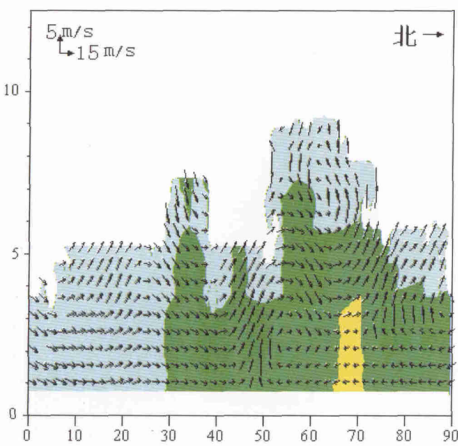


图 6 2003 年 7 月 5 日 10 时 43 分南北方向
垂直剖面 VW 速度合成图