

双基地多普勒雷达在云内风场探测中的应用研究

田 静 张庆阳

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

提 要

与双多普勒雷达联合观测相比,双基地多普勒雷达价格低廉,易于观测和维持,并且可以同时探测到不同方向的径向速度,利用它探测的资料可以很好地反演出风场的三维结构。但它的探测范围小,由于双基地多普勒雷达采用了低增益的天线系统,它易受到雷达波旁瓣和多次散射的影响;同时,它对频率的稳定要求更高,在时间同步等方面还有很多问题需要研究。双基地多普勒雷达技术是一种很有应用潜力的探测手段。

关键词: 双基地多普勒雷达系统 风场探测 风场反演

引 言

云和降水风场结构的探测对冰雹、暴雨等天气灾害的监测、云物理研究、人工影响天气等工作有重要意义。常规天气雷达只能探测到云和降水的反射率因子,不能获取到风场的信息。多普勒雷达可以探测到径向速度,这使实时探测云和降水的风场结构成为可能,为此,雷达气象专家发展了多种用单多普勒雷达资料反演风场的方法,如 VAD、VVP、散度-涡度法等方法^[1-3]。但不管那种方法,都必须人为加一定假设,从而使这些方法得到的风场结构与实际结果有一定的差异,这些方法的应用受到了一定的限制。为了获取多个方向的径向速度,利用两个或三个多普勒雷达进行同时观测,以探测两个方向或三个方向的径向速度,这样,与质量连续方程联立,就可以直接计算出三维风场结构。这种方法在中尺度探测的外场试验中得到了广泛的应用,取得了较满意的风场探测效果^[4]。但这种方法实现起来也有一定难度。首先,双多普勒雷达或三多普勒雷达同时观测花费很大,难以业务化,另外,双多普勒雷

达很难同时探测到散射体的不同方向的径向速度。严格讲,两个雷达探测的同一散射体的径向速度的时间有一定间隔。由于降水系统在这一时间间隔内会发生整体移动和发生结构的变化,这就必然会带来风场反演的误差。

另一种新的思路是在探测后向散射信号的同时,利用被动接收天线来接收侧向散射的信号,以达到探测不同方向多普勒速度的目的。早在 1972 年 Doviak 和 Weil 就使用了长基线高增益的接收天线系统来探测降水系统融化层的散射强度^[5]。1973 年 Crane 利用一个长基线的接收天线系统来探测接近前向散射方向的雷达散射信号的多普勒速度,这些资料用来研究风场的变化^[6]。比较实用的双基地多普勒雷达系统是 Warman 在 1992 年提出的,并制造了第一台样机^[7]。它采用短基线和低增益的工作方式,来接收整个体积扫描的侧向散射的多普勒速度。这一双基地多普勒雷达系统已在美国、日本等国家的外场试验研究中得到应用。双基地多普勒雷达采用接收侧向散射信号的方法来探测

不同方向的径向速度,已在反演云内风场方面取得了成功,为大气科学研究,航海、天气预报和数值模拟等领域提供了探测手段。双基地多普勒雷达系统是风场探测领域的一个新技术,与常规双多普勒雷达相比,它有很多优点,有很大的应用潜力。目前国内还没有这方面的研究,有关雷达厂家和研究部门已准备开展这一技术的调研和研究,与双线偏振雷达相同,双基地多普勒雷达也可能会在我国的气象研究和灾害性天气监测等领域得到应用。本文介绍双基地多普勒雷达系统的探测原理、特点以及在云和降水风场的中尺度结构探测等领域的应用研究,以供国内研究工作者参考。

1 双基地多普勒雷达系统的结构和特点

双基地多普勒雷达系统(Bistatic Multiple-Doppler Radar Network)是指由一个常规多普勒雷达和几个被动的,低增益非发射的雷达接收机共同构成的一个多普勒雷达系统。在这个系统中,几个接收机被放置在不同的地方,用来接收雷达波的侧向散射信号。当常规多普勒雷达发射的雷达波束遇到云和降水等散射体时,雷达信号向各个方向散射出去,常规雷达接收的是后向散射信号,而其它几个被动接收天线接收侧向散射信号,通过时间和频率的同步,就可以同时探测到几个方向的径向速度。图1给出了双基地多普

号的稳定,增加GPS信号接收系统,主动雷达和侧向信号接收天线利用GPS信号并通过电话和其他通信手段来保证时间同步。被动接收天线采用了低增益天线,它可以接收很大范围的信号,在工作期间,天线保持不动。图2给出了双基地多普勒雷达的工作示意图。值得注意的是:侧向接收天线的空间分辨率是可以变化的,而且最大不模糊多普勒速度也随回波的位置的改变而改变。

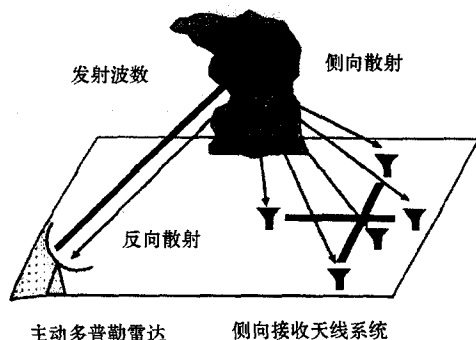


图2 双基地多普勒雷达工作示意图

双基地多普勒雷达系统与单站多普勒雷达比较有许多优点,由于双基地多普勒雷达系统可以同时探测不同方向的径向速度,对降水系统可以进行迅速扫描,这样就减少多部雷达在扫描过程中降水系统演变造成的风场探测的误差。在观测时,双基地多普勒雷达系统中的被动接收机不需要高压发射设备或大型转换天线,一般不需要操作人员,易于操作和维护。双基地多普勒雷达另一个突出的特点是它的价格便宜,在双基地多普勒雷达系统中,只需要一个价格较高的多普勒雷达发射机和几个价格很低的被动接收机,在首次投资中和以后的操作运行中,侧向接收天线的购置费和维护费用还不到常规多普勒雷达1/30。所以,与单站多普勒雷达比较,双基地多普勒雷达系统更具有优势。

不过,双基地多普勒雷达系统也有它的缺点,由于它采用了低增益的接收天线系统,它的探测范围和探测降水系统的强度受到了很大的限制,一般来讲,它只能收到30km范

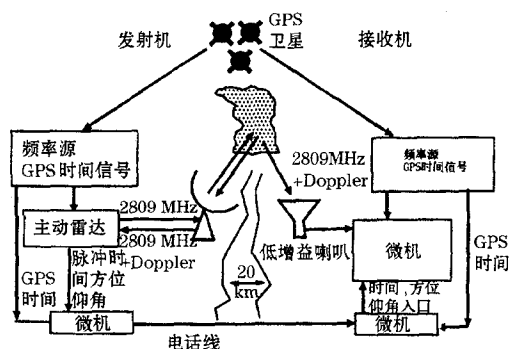


图1 双基地多普勒雷达结构示意图

雷雷达结构示意图:在主动发射的多普勒雷达系统上对频率发生器进行改造,以保证信

围内的雷达波的侧向散射信号,而且不能探测到弱的降水系统的回波。还有,低增益天线可以同时接收到不同方向的雷达散射信号,这样就很容易受到雷达旁瓣和多次散射的影响。另外,与单站常规多普勒雷达相比,它的距离分辨率因回波的位置不同而发生变化,它探测风场的误差比较大。由于双基地多普勒雷达系统具有费用很低的突出优点,通过使用多个被动接收机减少操作中的误差,也是行之有效的方法。比如,在飞机场,装置双基地多普勒雷达系统可以反演三维风矢量。

2 双基地多普勒雷达系统在风场反演中的应用

自从1992年Joshua Wurman提出双基地多普勒雷达设想以来,该技术逐步用于降水系统风场结构的外场试验和反演工作。如位于美国科罗拉多的国家大气研究中心的气象学家们在Boulder这个地方成功地用双基地多普勒雷达系统对三维风场进行了反演,获得了天气变化的数据,其中包括低反射率层状云降雪的数据,几个对流单体的数据和一个冰雹云数据,获得了比较满意的结果。这表明双基地多普勒雷达技术是可行的和适用的^[8]。

1995年加拿大McGill大学与美国的克罗拉多大学和美国国家大气研究中心(NCAR)合作进行了双基地多普勒雷达网的观测试验,取得了较满意的结果^[9]。在这次雷达观测中,McGill大学的S波段多普勒雷达放置于Montreal市区西边30km以外,两个接收机分别被放在Montreal岛的南部和西北部。他们利用这一资料和数值模拟的方法研究了雷达旁瓣对双基地多普勒雷达探测结果的影响。观测结果和模拟结果均表明:雷达旁瓣对雷达探测结果的影响是不可低估的。用最小的旁瓣的发射天线可以取得较好的数据结果;而使用许多接收机也能部分解决数据质量的问题,因为被旁瓣影响的区域可以使用其他的接收机的探测结果。

1997年5月30日,Oklahoma大学的Shinsuke Satoh和Joshua Wurman利用风场合成方法对在Kansas进行的双基地多普勒雷达网的观测试验资料进行了分析^[10]。这次试验是地气交换研究(CASES-97)的一部分,由一部NCAR Spol雷达和三个接收机组成。合成风场的精度受以下三个参数的影响:散射角度、速度增大因子和NCP(Normalized coherent power)。散射角度对三维风场反演精度影响最大。三维风场反演的结果显示:这些参数控制着风矢量的准确性。在试验中他们还使用其他观测数据来检验和改进风场合成法。

加拿大McGill大学利用McGill/OU双基地多普勒雷达网和风廓线仪从三个不同的视角对云和降水内部三维风场结构进行了观测,详细分析了1997年5月26日的一个个例。他们用多普勒速度资料和风廓线仪等资料反演了3D风场、压力和温度扰动,这些结果用于诊断、临时预报和模拟初值化^[11]。在资料分析中,他们使用了Alain Protat等人在1999年提出的变分方法,将模式方程作为强约束,而将雷达的探测结果作为弱约束,以使反演的风场严格遵从模式的方程,并减小雷达的测量误差对反演结果的影响。利用这种方法他们在 $30\text{km} \times 30\text{km} \times 12\text{km}$ 的范围内对风场的直角坐标的三个分量进行了分析,水平和垂直格距为1km和0.5km。另外,他们还将双基地多普勒雷达资料和风廓线仪资料结合起来,以进一步改善风场的反演。这次试验表明:反演的垂直速度有一定的改进,在确定了垂直速度场为零的高度后,Alain Protat等人提出的变分方法不管从上向下积分还是从下往上积分,垂直速度的反演都很有效,但如果因缺少雷达反射率因子资料等原因,使这一垂直速度为零的高度不能很好的确定,风场的反演结果将受到很大的影响。

Alain Protat等人在1999年用变分方法从双基地多普勒雷达系统探测的资料中反演了三维风场,效果很好^[12]。这个双基地多普

勒雷达系统是由 S 波束的天气雷达和处于另一地方的两个被动的、非扫描的雷达接收机共同组成。为了减少误差,这种方法使用了三个接收机的多普勒天气雷达速度作为弱约束,使用连续方程作为强约束,两个平行的风分量被变分控制。这个双基地多普勒雷达系统的独有特点就是每个接收机都可以收到所有的多普勒雷达的速度数据,减少了气流变化产生的垂直风分量。

3 双基地多普勒雷达技术在中国暴雨观测中的应用

暴雨是我国主要的天气灾害,它给国民经济和人们生活 and 生命财产造成了重大损失,973 项目“我国重大气象灾害的形成机理和预测理论研究”于 2001 年和 2002 年 6 月 10 日~7 月 20 日在长江中游和下游开展了梅雨锋暴雨的中尺度结构的观测试验研究,主要利用地面和高空加密观测、多普勒天气雷达、卫星、GPS、边界层观测等手段探测强暴雨的中尺度三维结构。三维风场探测主要依靠合肥、马鞍山配对的双多普勒雷达及宜昌、荆州双多普勒雷达系统。这是我国第一次开展双多普勒天气雷达观测和资料分析,对暴雨三维结构的研究有重要意义。该项目与日本气候变化研究所、北海道大学、名古屋大学等单位合作,在苏州地区开展暴雨中 γ 尺度结构的观测。日方主要观测仪器包括安装在东山、吴县、周庄的 3 部 X 波段多普勒天气雷达,吴县、周庄的 2 个侧向接收天线系统及在东山的 1 部风廓线仪。3 部多普勒雷达之间的距离在 30km 左右,东山的主动多普勒雷达和两个侧向接收天线构成双基地多普勒雷达系统,三者的距离也为 30km 左右,来探测中 γ 尺度系统风场的三维结构,这为我们开展双基地多普勒雷达探测技术以及在暴雨探测中的应用研究提供了条件。日方在 2001 年 6 月 10 日~7 月 20 日的外场试验中成功获取到如 6 月 22~24 日苏州地区的暴雨过程、6 月 27 日的暴雨过程等双基地多普勒雷达观测资料,这些双基地多普勒雷达资

料将与双多普勒雷达资料进行对比分析,主要目的是研究暴雨的三维风场结构,并且研究双基地多普勒雷达探测的理论和方法。目前,资料的处理和分析工作正在进行中。

致谢: 本文在收集材料、撰写过程中得到了刘黎平研究员的指导,特此致谢!

参考文献

- 1 Browning K. A. and Wexler R. The determination of kinetic properties of a wind field using Doppler radar. *J. Appl. Meteor.* 1968, 7:105-113.
- 2 Waldteufel P. and Corbin H. On analysis of single-Doppler radar data, *J. Appl. Meteor.*, 1979:532-542.
- 3 姜海燕. 一种新的单多普勒雷达的反演技术, 中国气象科学研究院硕士论文, 1994.
- 4 Joshua wurman. Vector winds from a single-transmitter bistatic dual-Doppler radar network. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1994, 6, 75(6):983-994.
- 5 Doviak, R.J., and C.M. Weil. Bistatic radar detection of the melting layer. *J. Appl. Meteor.*, 1972: 11, 1012-1016.
- 6 Crane, R.K. . Analysis of Data from the Avon - to - Westford Experiment, Tech. Report 498. Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, 1973:45.
- 7 Joshua Wurman. Stanley Heckman and Dennis Boccippio. A bistatic Multiple-Doppler Radar Network. *J. Appl. Meteor.* 1993, 32(7-12): 1802-1814.
- 8 Joshua Wurman. Vector winds from a single-transmitter bistatic dual-Doppler radar network., *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1994, 6, 75(6):983-994.
- 9 Ramon de Elia and Isztar Zawadzki. Side lobe contamination in bistatic radars. 29th International Conference on Radar Meteorology, 1999.
- 10 Shinsuke Satoh and Joshua Wurman. Accuracy of composite wind fields derived from a bistatic multiple-Doppler radar network. 29th International Conference on Radar Meteorology, 1999.
- 11 Pascal Guillemette and Isztar Zawadzki. Integration of UHF profiler information with bistatic measurements. 29th International Conference on Radar Meteorology, 1999.
- 12 Protat, A. and I. Zawadzki. A variational method for real-time retrieval of three-dimensional wind field from multiple-Doppler bistatic radar network data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1999, 16(4): 432-449.

(下转第 22 页)

Application of Bistatic Doppler Weather Radar to Wind Observation in Precipitation Systems

Tian Jing Zhang Qingyang

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 100081)

Abstract

The concept of bistatic Doppler weather radar and its application to wind observation in precipitation systems are introduced. The bistatic radar can measure the radial velocities in different directions simultaneously with less expense and maintenance. The data from bistatic radar can be used in analyzing the three-dimension wind in precipitation system. But the bistatic radar has a short range coverage and is sensitive to contamination from transmitter sidelobes and secondary scattering from weather echoes due to the passive and low-gain antenna. In addition, the radar needs rigid frequency and time coherences. The bistatic radar technology is a potential tool in meteorology.

Key Words: bistatic Doppler weather radar wind observation radial velocity