

东北冷涡的多普勒雷达资料特征分析^①刘 敏¹ 汤达章¹ 胡志群¹ 梁明珠¹ 王新国²

(1. 南京信息工程大学, 210044; 2. 吉林省气象台)

提 要

多普勒雷达探测东北冷涡具有一定的径向速度特征;应用蓝金(Rankine)模式进行数值模拟,结果表明,其模拟的多普勒速度分布特征与多普勒雷达实际探测冷涡的特征极其相似;根据多普勒径向速度特征确定冷涡中心,进而应用不同时刻资料确定冷涡的移动路径,对实际业务有很好的应用价值。

关键词: 东北冷涡 冷涡中心 多普勒径向速度 数值模拟 蓝金模式

引 言

目前对单多普勒雷达获取的径向速度场资料进行分析应用的方法,主要是观测某些典型流场在径向速度场上的特征,例如大尺度风向风速的垂直切变,锋面、切变线等风向风速的不连续面,与中小尺度天气系统密切相关的龙卷风、中尺度气旋、下击暴流、阵锋风等灾害性天气,都有其明确的速度特征。迄今为止,有关多普勒雷达探测大尺度旋转运动例如东北冷涡方面的论述还未见到。实践证明,多普勒天气雷达探测大尺度的旋转运动时,有明显的径向速度分布特征。如在探测东北冷涡的过程中,发现东北冷涡的多普勒正、负速度中心以及零速度线的分布特征与探测中小尺度气旋的特征相似,之所以出现这种多普勒径向速度特征,与东北冷涡气旋环流的分布特征是分不开的;对于类似东北冷涡这样的深厚系统来讲,气旋环流圈上的风速与气旋中心的距离即气旋半径 r 成反比,与垂直高度成正比,气旋中心处的风速为零^[1]。当气旋中心距雷达测站有一定的

距离时,其中一个距离气旋中心较近(风速较大)的环流圈进入雷达有效探测范围内并与雷达的扫描半径相切,在多普勒雷达速度图上表现为两个正、负速度中心,我们定义该环流圈为最大速度圆,其半径为 R 。从该环流圈向雷达测站方向移动,即远离气旋中心,气旋半径 r 变大,垂直高度减小,则气旋环流圈上的风速呈减小趋势。所以,在雷达有效探测范围内,气旋环流圈上的速度分布基本满足蓝金模式,即在 $r > R$ 的范围内速度与气旋半径成反比,在 $r = R$ 时,速度达到最大值。由于东北冷涡尺度较大,多普勒雷达只能探测到该系统的一部分,在 $r < R$ 的范围内,气旋环流绝大部分已超出雷达的有效探测范围,对该部分不作研究。本文尝试采用蓝金模式进行数值模拟,模拟结果证实,其模拟的多普勒速度分布特征与多普勒雷达实际探测冷涡的特征极其相似。模拟图像及实例分析说明,根据现有资料,本文采用蓝金模式进行的数值模拟结果与实际情况是相符合的,是有意义的。

① 国家自然科学基金 40475017 项目和江苏省科技厅 BS2003054 项目共同资助

东北冷涡是影响东北地区的主要天气系统之一,该系统在发展过程中能够造成强天气的发生。主要表现为局地暴雨、冰雹、飑线等。所以,应用多普勒雷达探测东北冷涡意义深远。

1 东北冷涡的流场及气压场特征

东北冷涡是在 500hPa 图上,30~60°N、115~140°E 范围内出现等高线闭合环流圈,且有冷中心或冷槽配合的低压系统。该系统出现时,地面常配合地面低压,700hPa、850hPa 一般有闭合等高线相匹配。冷涡天气一般发展比较深厚,向上可发展到 200hPa,向下到 850~700hPa,可近似看作轴对称气旋环流风场,具有明显的旋转特征^[3]。

2 东北冷涡的多普勒速度特征

吉林省现有两部多普勒雷达,通过近几年对东北冷涡的探测发现,东北冷涡常出现图 1 所示的多普勒速度特征。由于东北冷涡是一种大尺度的天气系统,当对这个旋转流场进行探测时,由于尺度较大,多普勒雷达只能探测到一种现象的一部分。因此,当冷涡中心距雷达测站有一定距离时,在多普勒速度图上,表现出多普勒速度正、负中心呈气旋式旋转而且呈方位对称分布(图 1,见封二)。零速度线在正、负速度之间近似为直线,多普勒速度正、负中心的连线与直线部分的零速度线垂直。这些特征与中小尺度气旋多普勒速度特征相近。

3 数值模拟

为了定量说明图 1 所示的多普勒速度图像特征确实是冷涡即大尺度气旋环流运动的一部分,我们采用数值模拟方式对其进行验证。

3.1 数值模拟基本原理

以雷达中心为坐标原点 O ,以正东为 x 轴的正向,正北为 y 轴的正向,气旋中心为 C ,设气旋某一环流圈与雷达某一探测距离圈相交于 A, B 两点(如图 2)。

下面以点 A 为例,推导 A 点处的径向速度。

由图 1,可以求得 C, A 两点的坐标为:

$$\begin{cases} c_x = d \sin \varphi \\ c_y = d \cos \varphi \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x = r \sin \theta \\ y = r \cos \theta \end{cases} \quad (2)$$

其中, d 为气旋中心与雷达中心的距离, φ 为 OC 与 y 轴的夹角, r 为距离圈半径, θ 为雷达波束 OA 与 y 轴的夹角。则 AC 与 x 轴的夹角为:

$$\Psi = \arctan \left(\frac{y - c_y}{x - c_x} \right) \quad (3)$$

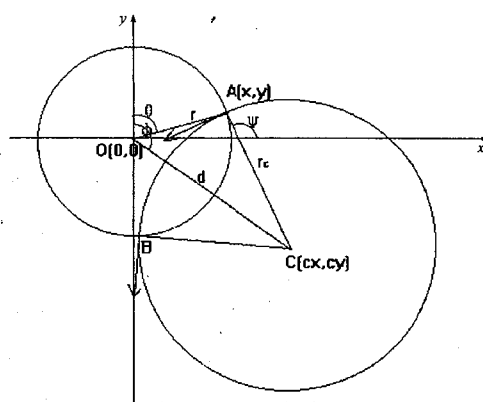


图 2 数值模拟示意图

A 点处的水平风速 V_h 由蓝金(Rankine)模式求得,当气旋环流半径 $r_c \leq R$ 时:

$$V_h = C_1 r_c \quad (4)$$

当 $r_c > R$ 时:

$$V_h = C_2 / r_c \quad (5)$$

其中: $r_c = \sqrt{(x - c_x)^2 + (y - c_y)^2}$

常数 C_1, C_2 由气旋最大旋转速度 $V_{\max}$ 及气旋的核半径 R 可以求得:

$$\begin{cases} C_1 = V_{\max} / R \\ C_2 = R V_{\max} \end{cases} \quad (6)$$

因此, A 点处的径向速度 V_r 为:

$$V_r = V_h \cos \alpha \cos(\theta - (\pi - \Psi)) - V_f \sin \alpha \quad (7)$$

其中 α 为雷达仰角, V_f 为垂直速度。

3.2 数值模拟结果

当雷达仰角较低时, 可以不考虑粒子垂直速度 V_f 的影响, 令 φ 分别等于 45° , 135° , 225° , 315° , $d = 180\text{km}$, $R = 140\text{km}$, $V_{\max} = 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 依据公式(7)得到的数值模拟图像如图3(见封二)所示。

应当指出, 模拟图像是在无其它环境风干扰的前提下进行的。由图3可见, 模拟的多普勒速度图中的零速度线呈直线分布, 多普勒正、负速度中心呈方位对称, 正、负速度区分别分布在正负速度中心的同一侧, 负速度中心和负速度区在雷达探测方向的左侧, 正速度中心和正速度区在雷达探测方向的右侧, 而且两速度中心的连线与零速度线垂直。这种特征是由以下原因造成的: 当雷达天线射线与气旋核半径 r_c 组成的圆两侧相切时, 切点径向速度的绝对值最大, 为该气旋核半径上的旋转速度 $V_{\max}$ 。当切点的径向速度朝向雷达时, 为负速度中心; 相反, 当切点的径向速度远离雷达时, 为正速度中心。当雷达天线指向气旋中心时, 气旋中心速度为零, 其它环流圈上的速度与雷达径向垂直, 径向速度也为零。

根据以上的分析情况, 在实际的冷涡速度图中, 寻找两个速度中心的位置, 分别作两

条和这两速度中心所在径线的垂线, 两条垂线的交点即为冷涡中心, 或者正(负)中心的位置所在径向的垂线和零速度线呈直线分布的延长线的交点, 也可近似为冷涡中心。

4 模拟结果检验

对2003年8月6日、2004年7月5日吉林省白城市多普勒雷达探测到的冷涡资料进行分析, 通过确定冷涡中心的位置, 进而验证了模拟结果的正确性。

4.1 2003年8月6日个例分析

从图4(见封二)所示的多普勒速度图像中读取最大多普勒正、负速度中心。由测高公式可知, 这两个中心相应的高度为1500m左右, 处在850hPa等压面附近。通过这两个中心点 E 、 F 做垂直于雷达径线的垂线, 两垂线的交点即为冷涡中心, 即图4中 D 点。表1为依据上述方法, 对三个时刻实测多普勒速度资料确定的冷涡中心位置。另外, 由图4可以很容易计算得到冷涡气旋14时、16时及17时的核半径, 分别为140km、180km、163km, 冷涡中心距雷达站的距离分别为178km、225km、212km。

由于14时至17时无850hPa天气图资料, 所以, 采用地面天气图资料从侧面对数值的准确性进行验证。结果发现, 计算得到的中心位置较为准确, 与实际位置基本接近。

表1 2003年8月6日多普勒雷达探测到的850hPa冷涡中心位置

	14:03	16:03	17:00
多普勒雷达探测到的涡中心位置	44.265°N、124.298°E	44.265°N、125.213°E	44.588°N、125.191°E
地面天气图低压位置	44.333°N、124.45°E	/	44.75°N、125.17°E
差值	-0.068°N、-0.152°E	/	-0.162°N、0.021°E

4.2 2004年7月5日个例分析

2004年7月5日的多普勒速度图像如图5(见封二)所示。图中零速度线基本为直线、最大负速度区较为明显, 最大正速度区没有回波。经过天气图的验证, 该次过程确实为冷涡天气系统, 图中负速度中心所在高度

为1500m左右, 位于850hPa等压面附近。应用零速度线与经过负中心(或正中心)的雷达径向的垂线的交点, 确定出20时的冷涡中心为44.250°N、125.255°E。相应时刻850hPa图上气旋环流的中心为44.20°N、125.195°E, 两者十分接近, 误差仅为-0.05°

N, -0.06°E 。

5 讨论及结论

(1) 依据蓝金模式(核半径达百公里)进行数值模拟,模拟图像与实际探测到的冷涡的多普勒速度图像有非常好的近似,可见多普勒雷达能够探测到如东北冷涡这样的大尺度涡旋运动。

(2) 多普勒雷达探测东北冷涡有独特的径向速度特征。多普勒速度图中的零速度线呈直线分布,多普勒正、负速度中心呈方位对称,正、负速度区也分别分布在正负速度中心的同一侧,负速度中心和负速度区在雷达探测方向的左侧,正速度中心和正速度区在雷达探测方向的右侧,而且两速度中心的连线与零速度线垂直。

(3) 本文对多普勒速度图像具有对称结构的东北冷涡进行了研究,具有非对称结构的东北冷涡的多普勒速度图像特征尚未观测到,这方面的工作有待进一步的研究。

(4) 应用多普勒天气雷达探测东北冷涡,有一定的实用价值。对该系统连续观测,

能确定冷涡的中心位置变化,从而得到冷涡的移动路径,还可以获得核半径及旋转速度变化等方面的情况。从而判断冷涡增强、减弱、发展、消散演变趋势,对预报有一定的指导意义。限于篇幅,这一方面的详细分析,将另文发表。

参考文献

- 1 朱乾根,林锦瑞等.天气学原理和方法.北京:气象出版社.
- 2 胡明宝,高太长,汤达章.多普勒天气雷达资料分析与应用.北京:解放军出版社.
- 3 孙力,王琪,唐晓玲.暴雨类冷涡与非暴雨类冷涡的合成对比分析.气象,1995,21(3):7~8.
- 4 夏文梅,张亚萍,汤达章等.暴雨多普勒天气雷达资料的分析.南京气象学院学报,2002,25(6):788~793.
- 5 钟卓约,帅方红.9914号台风多普勒雷达资料分析.气象,27(7):41~42.
- 6 刘峰,王明钧.应用多普勒雷达对9710号台风进行定位跟踪.广东气象,1999,增刊:46~47.
- 7 孙力,郑秀雅,王琪.东北冷涡的时空分布特征及其与东亚大型环流间的关系.应用气象学报,1994,5(3):297~298.

Analysis of Doppler Radar Data Characteristic of Northeast Cold Vortex

Liu Min¹ Tang Dazhang¹ Hu Zhiqun¹ Liang Mingzhu¹ Wang Xinguo²

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2. The Meteorological Observatory of Jilin Province)

Abstract

Some obvious characters of Doppler radial velocity are found when Doppler radar detected the northeast cold vortex. It is simulated with the Rankine model. The result shows that the numerical model image of the northeast cold vortex is very similar to that of the Doppler radar. It is useful for forecaster that the center of the northeast cold vortex and its moving pathway will be identified according to the Doppler velocity.

Key Words: northeast cold vortex Doppler radial velocity Rankine model

《东北冷涡的多普勒雷达资料特征分析》附图

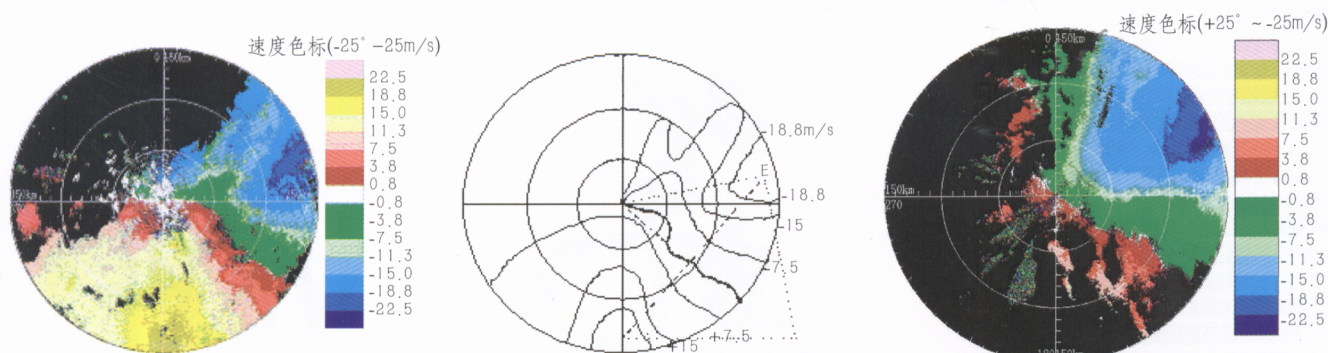


图1 2003年8月6日17时白城市冷涡速度图(仰角0.5度)

图4 冷涡中心的确定(仰角0.5度) 圈距50km

图5 2004年7月5日16时冷涡速度图(仰角0.5度)

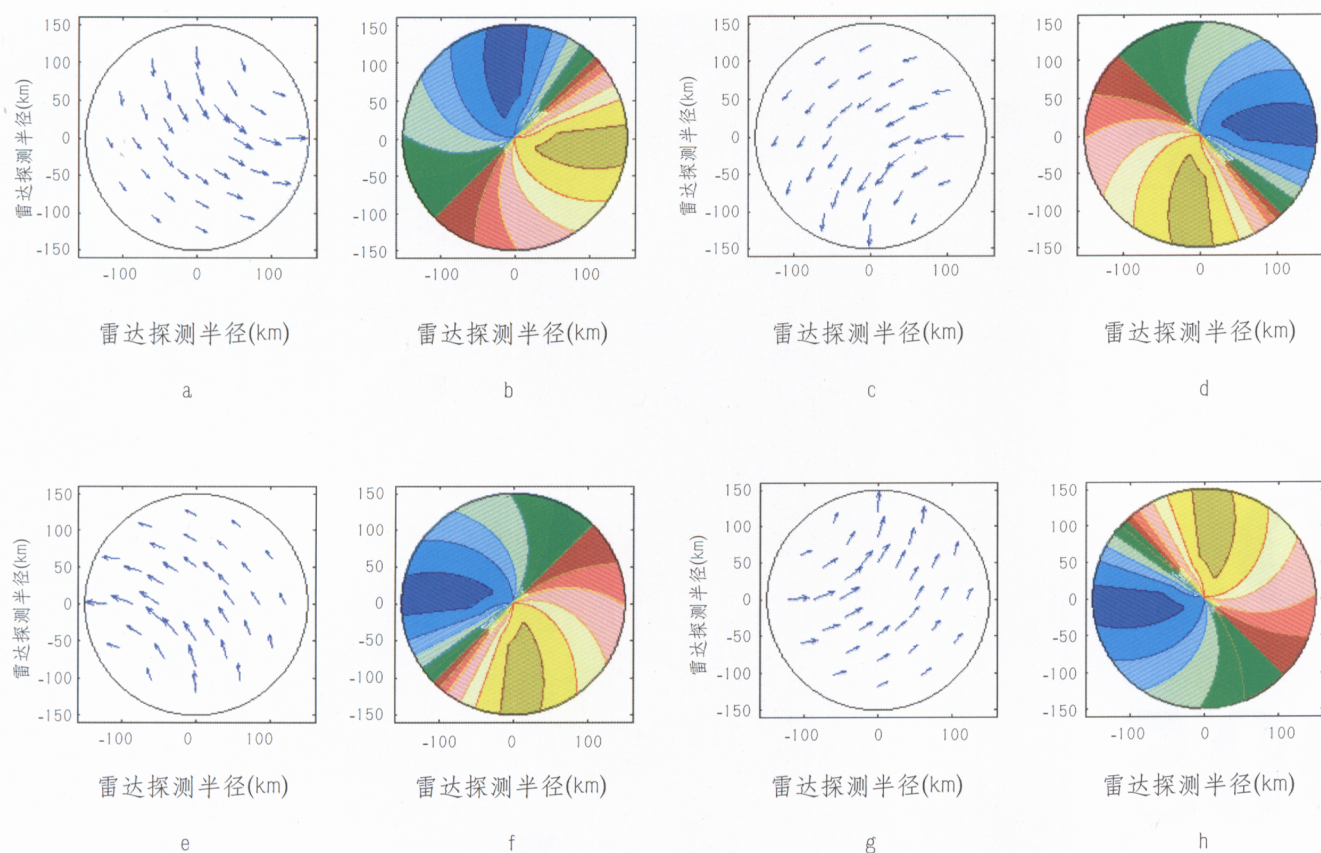


图3 数值模拟图

a、c、e、g为数值模拟流场分布, φ 角分别为 45° 、 135° 、 225° 、 315° , 其中箭头的长度正比于风速, b、d、f、h分别为相应的多普勒速度图