

槽线附近的中尺度结构特征 ——多普勒天气雷达风场资料分析

张沛源 陈荣林 葛润生

(气象科学研究院)

提 要

本文利用多普勒天气雷达资料,分析了槽线附近风场的中尺度结构特征。结果表明,在槽线附近存在有中尺度辐合区和辐散区,造成槽前层状云降水的不均匀性。槽线附近的近地面为冷平流,中层为暖平流,水平风的垂直切变在2.0—2.5km高度上,2.7km上空有微弱的上升气流,它的中尺度环流特征造成雨区向东北方移动。

一、引 言

多普勒天气雷达是一种有效的大气探测工具,它比常规天气雷达有着明显的优势。我国第一部多普勒天气雷达已在国家气象局气象科学研究院安装调试完毕。在试运行过程中,收集到了1988年6月7日槽前层状云降水过程的部份多普勒天气雷达回波资料,并配合713雷达观测资料以及地面、探空资料,对多普勒天气雷达风场资料的分析方法进行初步摸索。

多普勒天气雷达除了能获取回波强度资料外,还能获取多普勒速度和速度谱宽资料。所谓多普勒速度就是指实际风速在雷达波束上的投影,即:

$$V_k = \frac{\vec{V} \cdot \vec{R}}{R} \quad (1)$$

其中 V_k 为多普勒速度, \vec{V} 为实际风矢量, \vec{R} 为散射质点到雷达天线的径向矢量, R 为此矢量的模。因此多普勒速度分正速度和负速度。图1是多普勒天气雷达1988年6月7日

14时27分观测到的多普勒速度分布图。原图是伪彩色显示,不同颜色表示不同的多普勒速度值。为了印刷方便,我们按不同色彩的交界线描绘成了等值线图。

多普勒天气雷达的回波强度图和速度谱宽图,也是伪彩色显示。其速度谱宽的物理

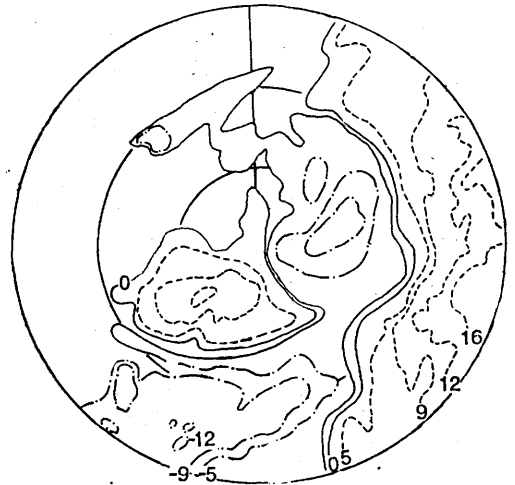


图1 多普勒速度显示

实线为零速度线;虚线为正速度(离开雷达的速度);点划线代表负速度(朝向雷达的速度)

意义,我们将在有关部份给予解释。

二、天气背景和雷达回波强度的演变

1988年6月7日08时,500hPa槽线位于河套、银川到四川西北部一线,700hPa从呼和浩特到辽宁的绥中为一横切变,槽线在河套到武都一线,地面在华北和陕西一带有一片雨区,北京处在雨区中。

从探空资料分析可知,北京上空除850hPa温度露点差为 4.0°C 外,其他各层(直到200hPa)温度露点差都小于 2.2°C ,500hPa温度露点差为零,大气处于饱和状态,说明整层湿度较大,中空有较厚的云层。从700hPa到400hPa层结稳定,温度递减率小于湿绝热递减率。 0°C 层在4000m。从700—200hPa为一致的偏西南气流,500hPa西南风速达 $32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,为典型的槽前层状云降水过程。

清晨713雷达观测,北京附近150km范围以内都是强度小于30dBz的回波。11时回波有所发展,西北方出现了30—40dBz的回波中心,回波顶高为8—10km, 0°C 层亮带位于4.2—4.5km之间(见图2)。14时回波开始减弱,20—30dBz的回波主要位于测站东方50—150km和南方80—180km处;15时整个回波东移,西半部50km以外的回波全部消失,20—30dBz回波主要集中在东南偏南50—100km和150—200km之间,说明高空槽线已靠近北京。17时大部回波消散,

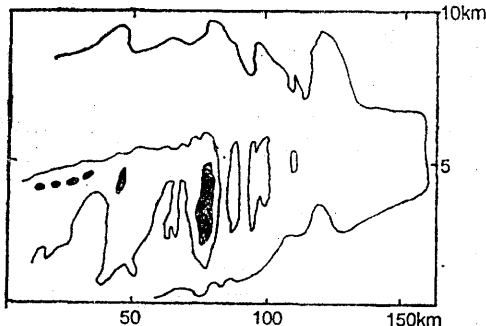


图2 1988年6月7日11时06分 357° RHI显示

说明槽线东移,北京已处槽后,仅在测站东南方仍维持几块弱回波。北京西郊713雷达站从07时47分到17时5分降雨量为11.5mm。

三、多普勒天气雷达风场资料分析

从天气雷达强度回波演变可知,14时北京地区已处于雨区后部,高空槽区附近,降水将趋于停止。利用多普勒雷达风场观测资料(见图1),可以分析出槽线附近的中尺度结构特征。

1. 中低空风向风速的垂直分布特征

(1) 径向环流特征

根据多普勒速度定义可知, 0° — 180° 轴向上的多普勒风速,就是实际风速在南北方向的分量,由于雷达观测时天线有一定的仰角,根据雷达测高公式,即:

$$h = h_0 + R \sin \alpha + R^2 \cos^2 \alpha \cdot \left(\frac{3}{8r} \right) \quad (2)$$

其中 h_0 为天线的海拔高度, α 为天线仰角, R 为雷达测得的斜距。根据不同 R 处的多普勒速度就可以得到径向风速随高度的分布。

图3就是利用上述方法,根据图1求得的槽线附近径向风速随高度的变化。从图上可以看出2km以下气流从北向南流动,有利于冷空气南下。2—4km之间气流从南向北流动,说明冷空气首先是从低层侵入的。

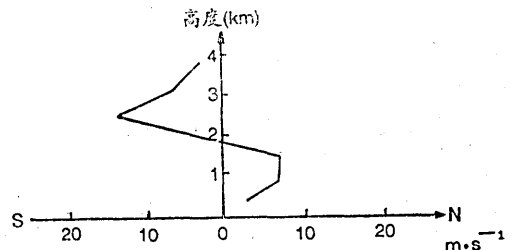


图3 径向速度分量随高度的分布图

(2) 纬向环流特征

同理,多普勒雷达在 270° — 90° 轴向上获得的风速资料,就是风的纬向分量。这次过程的纬向环流特征是,2km以下气流从东向西流动,2km以上气流从西向东流动,说

明低层存在偏东气流分量, 高层为偏西气流。

(3) 风速风向的垂直分布特征

利用简便的VAD分析方法⁽¹⁾, 即沿雷达显示器上的距标走一圈(定离开雷达的风为正, 朝向雷达的风为负), 查找其最大值和最小值以及最小值所在的方位 β , 则可确定各层的风速 V_h 和风向 θ 。

$$\left. \begin{aligned} V_h &= \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2 \cos \alpha} \\ \theta &= \beta \quad (V_{\min} \text{的方位}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

不同的距标线, 代表不同的高度, 由此求得的风向风速的垂直分布如图4。从图4可以看出, 槽线附近层状云降水后部的边界层内以偏东风为主, 从地面到2km高度, 风向从ESE转为NE, 说明近地面层有冷平流存在。风向转换层在2—2.25km之间, 2.5km处为SW风, 经WSW风, 到4km以上转为NW风, 这不但表明在这一层内存在有暖平流, 而且说明500hPa槽线这时已移过本站, 降水将趋于结束。

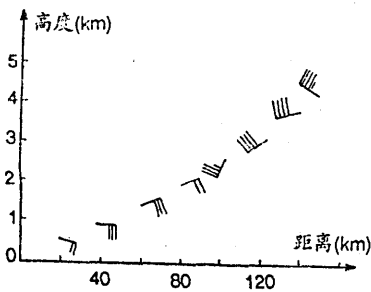


图4 水平风向风速随高度分布图

2. 中低层平均辐散辐合随高度的分布特征

当雷达天线仰角为 0° 时, 根据辐散辐合的定义⁽²⁾, 闭合曲线取以雷达为中心的圆, 则辐散辐合量 D 为:

$$D = \oint \vec{V} \cdot \frac{\vec{R}}{R} dl / \pi R^2 \quad (4)$$

式中, $\vec{V} \cdot \frac{\vec{R}}{R}$ 为雷达测得的多普勒速度 V_K ,

即径向速度。把沿圆周积分转换为沿方位角积分, 当方位角以弧度为单位时, 则有 $dl = R d\beta$, 则(4)式可写为:

$$\begin{aligned} D &= \oint V_K \cdot R d\beta / \pi R^2 = \\ &= \frac{1}{\pi R} \oint V_K(\beta) d\beta \end{aligned} \quad (5)$$

当每 10° 取一个值时, (5)式可写为:

$$D = \frac{1}{18R} \sum_{i=1}^{36} V_i(\beta) \quad (6)$$

当雷达天线的仰角不为零时, 同理可推导出来水平辐散辐合量

$$D = (\oint V_K d\beta - \oint V_w \sin \alpha d\beta) / \pi R \cos^2 \alpha \quad (7)$$

其中 V_w 为垂直速度。

当每 10° 取一个值时, (7)式可写为:

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{18R \cos^2 \alpha} \sum_{i=1}^{36} V_{K_i} - \\ &\quad \frac{\sin \alpha}{18R \cos^2 \alpha} \sum_{i=1}^{36} V_{w_i} \end{aligned} \quad (8)$$

本次过程由于 $\alpha = 1.1^\circ$, 因此可采用(6)式计算, 其辐散辐合量随高度的分布如图5。从图5可以看出, 1.5km以下为辐散层, 1.5—2.7km之间为辐合层, 3km以上又转为辐散层。由此可知在2.7km上下有弱的上升气流。从地面到4km上空之间, 总的辐散量为 $22.56 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 说明槽附近降水区的中下层以下沉气流为主。

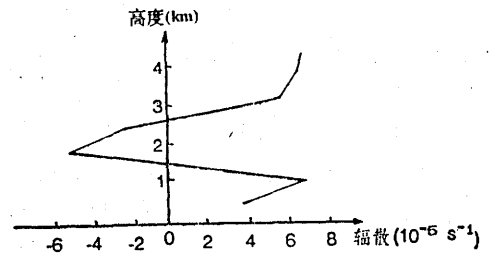


图5 辐散辐合随高度的变化图

3. 局部流场特征分析

多普勒雷达测出的是径向速度分布。如何利用径向速度分布画出流场图, 是流场分析的关键, 为此需要首先找出径向速度分布

的特征区域或奇异线、奇异点,然后根据典型流场的径向速度分布,同时考虑零速度线的走向,正负速度极值的位置和梯度大小,来勾画流场图。在本过程中,径向速度分布的主要特征有:

(1) 沿83km距离圈,从10°—150°为正负交界的辐散型零速度线,其典型流场为图6形式。

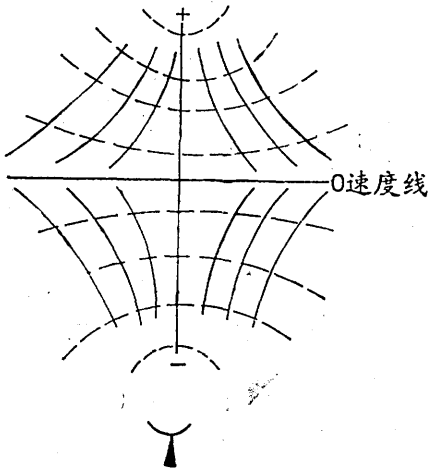


图6 辐散式零速度线示意图

(2) 沿60km距离圈,从135°—240°为正负交界的辐合型零速度线,其典型流场同图6,只是把正速度区改为负速度区,负速度区改为正速度区,流线方向相反。

(3) 沿20km距离圈,从320°—30°之间为正负交界的辐合型零速度线。

(4) 在150°的径向上,从0—60km为正负交界的气旋式零速度区,其典型流场为图7形式。

(5) 在160°径向上,从120—150km为正负交界的反气旋式零速度区,其典型流场只是把图7中的正负号的位置交换一下,环流方向改为顺时针。

(6) 在方位30°方向,从0—30km也为反气旋式零速度区。

根据以上特征,勾画出图8形式的流场。从图上可以看出,在150°、50km处有辐合。对照14时北京区域天气图可知,仅在

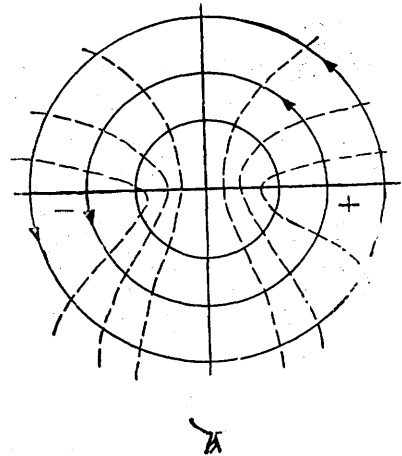


图7 气旋式零速度线示意图

这一带有阵性降水,其他各地仍是连续性降水。说明用多普勒雷达径向风速分析图分析出的辐合区具有一定的真实性。从图上还可以看出,东北方有大片辐散区,预示着这一带的降水将停止。

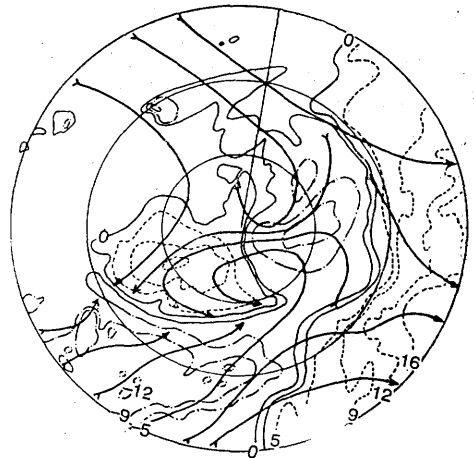


图8 流场分析图(说明见图1)

4. 谱宽特征分析

多普勒速度谱宽的物理意义是

$$W = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_{K_i} - \bar{V}_K)^2} / U \quad (9)$$

其中 U 是最大不模糊速度, \bar{V}_K 是径向速度的平均速度, V_{K_i} 是瞬时径向速度。速度谱宽实时显示的彩色标尺的最大值代表 U ,显示值是 $W \cdot U$,其单位是 $m \cdot s^{-1}$,也就是速度离

散情况的均方差, 即:

$$U_w = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_{K_i} - V_K)^2} \quad (10)$$

14时27分多普勒天气雷达观测发现: 在辐散型和辐合型正负速度交界面上, 速度平均值在零附近, 而谱宽却高达9—14m·s⁻¹。在气旋式和反气旋式零速度区上没有这种现象, 其他各处的谱宽一般都小于5m·s⁻¹。说明在正负速度辐散型和辐合型交界处的零速度线附近有很强烈的动量交换。这种交换发生在水平风速垂直切变层内, 而且在空间有一定的分布。这次过程的分布特点是, 40°—120°方向上的交换层, 在1.9—2.5km高度上; 130°—140°之间无交换层; 140°—170°交换层抬高到3.1—3.5km; 在170°附近交换层有断裂, 并迅速下降到1.4—1.9km, 然后缓慢上升, 到240°又回升到1.9—2.5km。

四、小结

从以上分析可以看出:

1. 槽附近存在有明显的中尺度结构, 具有中尺度辐合区和辐散区。
2. 槽附近1.5km以下为辐散层, 1.5—

2.7km之间为辐合层, 2.7km以上又是辐散层。由此可知在2.7km附近仍存在着微弱的上升气流。

3. 2.0km以下为冷平流, 2.5—4km为暖平流, 水平风的垂直切变在2.0—2.5km之间, 它对槽附近均匀降水有重要作用。在这一层内上下动量交换, 这种交换过程很可能激发出波动, 引起前方降水的波动。一方面它可以把雨区前部低层内的水汽, 通过低层的偏东的风速分量输送到锋面上抬升, 再通过上空的偏西分量, 重新把这部分水汽送回雨区上空, 提高了层状云的降水效率。另一方面, 通过低层的偏北的风速分量使冷空气南下, 又通过上空的偏南分量, 使雨区不断向东北方向移动。

4. 从以上分析可以看出多普勒天气雷达在中尺度探测中将会起到重要作用。

参 考 文 献

- [1] Lhermitte, R. and Atlas, D. (1961) Precipitation motion by Pulse Doppler Radar. Proc 9th Weather Radar conf. Kansas, P.128 (455)
- [2] 杨大升, 动力气象学, 气象出版社。

The characters of mesoscale structures near the trough line—analysis of Doppler wind measurements

Zhang Peiyuan Chen Ronglin Ge Runsheng
(Academy of Meteorological Science)

Abstract

In this paper, the characters of mesoscale structures near the trough line are analysed based on the wind data of Doppler weather radar. It is shown that there are mesoscale divergence and convergence regions existing near the trough line, thus causing the uneven distribution of precipitation. A cold advection occurs in the boundary layer near to the ground while a warm advection forming at the level between 2.5km and 5.0km. The vertical wind shear appears at the 2.0—2.5km high level and the weak updraft at 2.7km high level. The precipitation area moves northeastward, due to the influence of the mesoscale circulation.