经验交流

UHF多普勒风廓线雷达资料的初步分析和应用

顾映欣　　陶祖钰

（气象科学研究院）　　（北京大学）

提　要

本文通过1989年7月下旬和8月前半个月京津冀UHF多普勒风廓线雷达探测结果，介绍UHF雷达风廓线资料，并通过几个实例对资料进行初步的分析。

京津冀短时预报试验基地使用的UHF多普勒风廓线雷达(简称UHF风廓线雷达)，通过8×8m的天线阵发射的天顶距为15°的向北和向东的两个365MHz的波束，由于大气湍流微团散射产生的多普勒频移，而测得天顶附近风的u，v分量。测量的垂直范围为300—12000m。垂直方向上的分辨率为100m，风速的测量精度为3m·s^{-1}，风向为15°。UHF风廓线雷达可以每隔6—20分钟观测一次，因此，几乎可以得到单站风廓线的连续变化。所以，UHF风廓线雷达测得的风速资料可以用来分析常规天气资料中难以分析的大气水平运动在垂直方向上的细致结构，并根据其时间变化推测本站上空中尺度和次天气尺度系统的变化[1]。

1989年7月下旬和8月上半月试验期间，初次使用UHF风廓线雷达进行观测。观测的时间间隔最短为1小时。由于停电等原因并没有取得整个试验期间的逐时风廓线资料。尽管如此，仅就试验期间所得风廓线资料的初步分析，仍表明UHF风廓线雷达探测资料在短时预报中有着广阔的应用前景。

一、UHF雷达风廓线资料和分析方法

UHF风廓线雷达提供了每小时本站上空300—12000m间每隔100或300m的风向和风速。将此资料绘制成高度-时间（自右至左）剖面图，我们称为风廓线图。图1给出1989年8月9—10日的风廓线图。图1（上）的垂直范围为0—3km，用来分析低空风场的细致结构；图1（下）的垂直范围为0—10km，用来分析对流层的风场结构。

在风廓线图上可以分析等风速线，以了

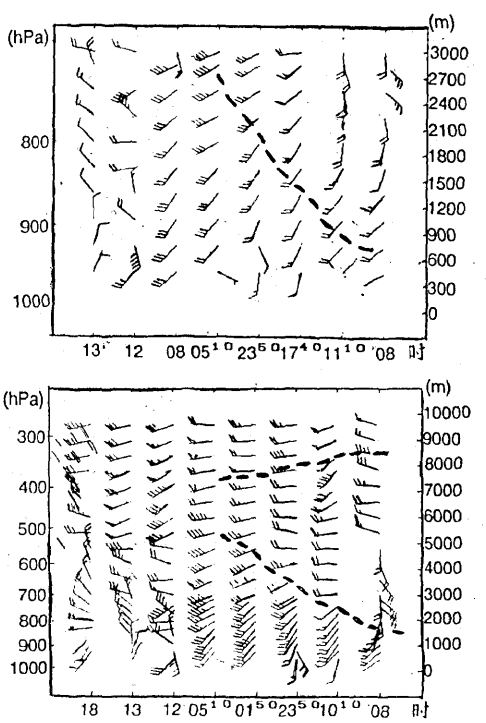


图1　1989年8月9—10日风廓线图

虚线为风向或风速不连续线，下同

解急流的强度、高度和厚度及其随时间的变化。此外，由于UHF雷达风廓线资料无论在时间还是垂直方向上都有较高的密度，因此，可以在风廓线图上分析风向和风速在时间和垂直方向上的不连续线，以及时了解天气系统的活动及大气垂直结构的变化。

以图1（上）为例，在9日11时600—900m高度上出现8m·s^{-1}的大风速中心。以后，此大风区逐渐增强、增厚、增高。在23时50分，1.8—2.1km高度上的风速达到12m·s^{-1}的低空急流强度。到10日05时10分，900m以上的风速都大于11m·s^{-1}，在3km高度上风速达16m·s^{-1}。在图1（下）的0—10km，受低空急流影响而成的偏南气流的增强、增厚和增高的连续过程表现得很直观和形象。如果把风速资料点绘成风速廓线图（图略），这一过程可以更确切地表示出来。

根据风向或风速垂直梯度在时间或垂直方向上的不连续性，可以了解影响本站的天气系统及不同高度环流形势的差别。例如，从图1（下）中风向的转变，可以分析出低层（2—4km）在10日05—12时有槽过境，而高层（5km以上）的槽在13—18时过境。在相应的天气图上，8月10日08时，700hPa有一低槽正逼近北京，500hPa上锡林浩特—延安有一浅槽东移，到20时，700hPa、500hPa上的槽均已移过北京。可见，用风廓线图可以更确切地对影响本地的天气系统进行分析。根据风速垂直梯度的不连续性，在图1（下）中还可以分析出两个不连续层，它们将大气在垂直方向上分为3层。上面一层风速大于20m·s^{-1}，为高空急流活动的层次；中间为风速8m·s^{-1}左右的弱西风层；下面是以西南风为特征的低空急流活动层，风速为10—16m·s^{-1}。它表明北京上空上、中、下3层环流形势不同。从天气图上看确实存在3个不同层：8月9日20时，200hPa北京处在高空急流轴的边缘，风速达34m·s^{-1}；700hPa上，北京附近为风速均小于10m·s^{-1}的弱西风；而低层850hPa上北京附近则以西南风为主，风速大于8m·s^{-1}，且到8月10日08时，低层风速已超过10m·s^{-1}。

由于UHF风廓线雷达测风资料具有高的垂直分辨率，因此可以根据风廓线资料推算出温度平流随高度分布的详细结构，并可进一步判断本站上空大气静力稳定度的变化倾向。因为在热成风的假定下[2]，

$$\nabla T = \frac{Pf}{R}\vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}}{\partial P}$$

故

$$-\vec{V}\cdot\nabla T = -\frac{Pf}{R}\vec{V}\cdot\left(\vec{k}\times\frac{\partial \vec{V}}{\partial P}\right) \tag{1}$$

设在两等压面P_1和P_2（$P_1>P_2$）上，水平风速分别为V_1和V_2，风矢量方向为θ_1，θ_2，则（1）式可改写为：

$$-\vec{V}\cdot\nabla T \approx -\frac{\overline{P}f}{R}\left(\frac{\vec{V}_1+\vec{V}_2}{2}\right)\cdot\left(k\times\frac{\vec{V}_1-\vec{V}_2}{\Delta P}\right)$$

$$=\frac{\overline{P}f}{R\cdot\Delta P}V_1\cdot V_2 sin(\theta_1-\theta_2)$$

其中，$\Delta P = P_1 - P_2$，$\overline{P} = (P_1+P_2)/2$

由于实测资料中的噪音，使计算出的温度平流过大，需先对原始资料进行平滑。平滑的方法是，首先将各层风矢量$\vec{V}_i$分解为u_i，v_i分量（下标i表示高度的层次），设风矢量方向为θ_i，则：

$$u_i = V_i\cdot\cos\theta_i$$

$$v_i = V_i\cdot\sin\theta_i$$

然后利用三点线性平滑公式对u_i、v_i进行平滑处理，得到$\overline{u_i}$，$\overline{v_i}$。再从$\overline{u_i}$，$\overline{v_i}$求出平滑后的风矢量$\vec{V}_i$的大小$\overline{V_i}$和方向$\overline{\theta_i}$，即

$$\overline{V_i} = \left(\overline{u_i}^2+\overline{v_i}^2\right)^{1/2}$$

$$\overline{\theta_i} = arctg\frac{\overline{v_i}}{\overline{u_i}}$$

这样就可以从平滑后的风矢量的大小和方向求出温度平流。

图2为8月15日17时和19时的风廓线。图3为8月15日17时和19时的温度平流廓线图。从图2可见，17时1.5km以下的风向由SSE风向上顺时针转变为西风，而19时则为低空的北风向上逆时针转变为SW风。它说明低层由暖平流转变为冷平流。天气分析表明，在17时到19时之间，有一冷锋移过本站，计算出来的温度平流廓线（图3）表明，冷锋过境前1—2.5km之间有很强的暖平流，最大可达

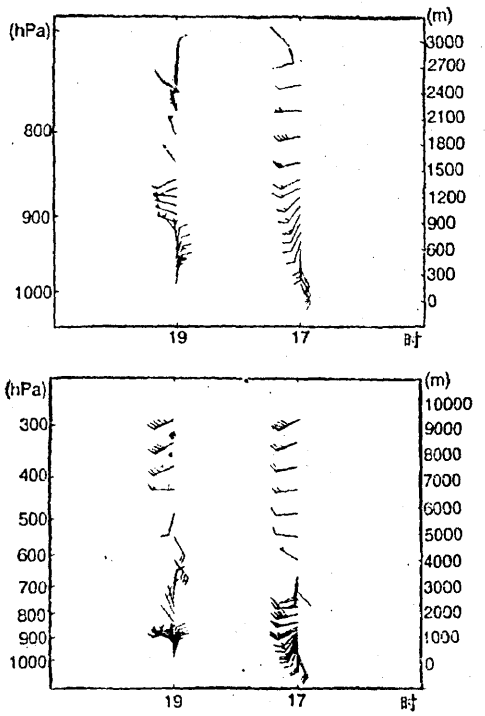


图 2　1989年8月15日17时和19时风廓线

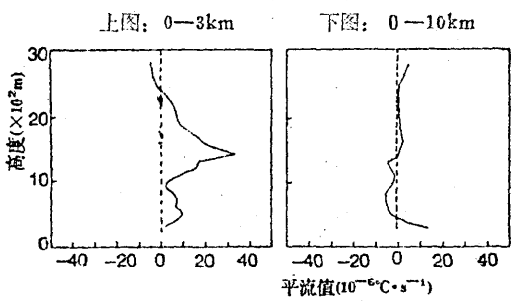


图 3　1989年8月15日17时(左)、19时(右)温度平流廓线

34×10^{-6}℃·s^{-1}，冷锋过境后，1.2km以下转变为微弱的冷平流，强度为-7×10^{-6}℃·s^{-1}。在图2上还可看到，17时4km高度上的NW风向上逆时针转变为SW风。它表明，高层有冷平流叠加在低空暖平流之上，本站上空静力稳定度有减小的趋势。相应的温度平流廓线（图3）2.5km以上为弱冷平流。此外，根据准地转理论，温度平流是造成大尺度垂直运动和天气系统发展的动力学因子之一，因此，由风廓线资料推算出来的温度平流也可作为诊断天气和形势演变的依据之一。

二、试验期间部分实例及分析

1989年7月下旬和8月上半月试验期间，北京地区共发生了三次重要的天气过程。下面分别就此三次过程介绍风廓线资料分析所得到的一些结果。

实例1：7月21—23日是试验期间唯一的一次暴雨过程。北京地区的降水主要发生在3个时段：21日下午；21日晚至22日上午；23日凌晨到上午。这次过程高空并无明显的长波槽活动。在500hPa及其以上，京津冀地区位于大陆副热带高压北侧的偏西或西北气流的控制下。从图4可见，这次降水过程与地面的暖切变线有关。但这条暖切变线在850hPa图上很不明显，仅表现为西太平洋副热带高压外围等高线略有气旋性弯曲。由于其强度很弱，尺度只有200—300km，一般难以分析出来。

在21日风廓线图（图5）上，可以分析出3—6km高度上存在一个十分显著的风向不连续层。不连续层以上为偏西风，以下为偏南风，它非常直观地显示出这次过程高空环流和低空环流的形势有重大差别，造成暴雨的天气系统主要是对流层下半部的系统。从08时20分的风廓线中可以看到，1.5km以下的风向有明显的偏东分量。它表明北京以南的行星边界层中存在暖切变线。从10—12

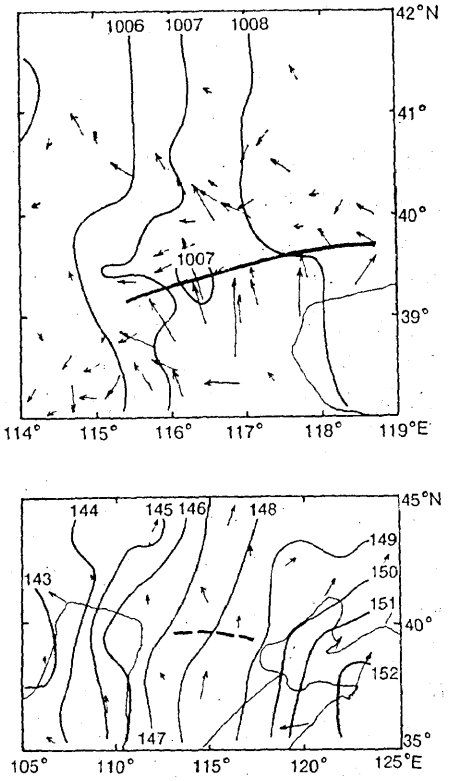


图 4　1989年7月21日08时地面图(上)和850hPa天气图(下)

矢量长度：1纬距相当于风速分别为10m·s⁻¹和15m·s⁻¹

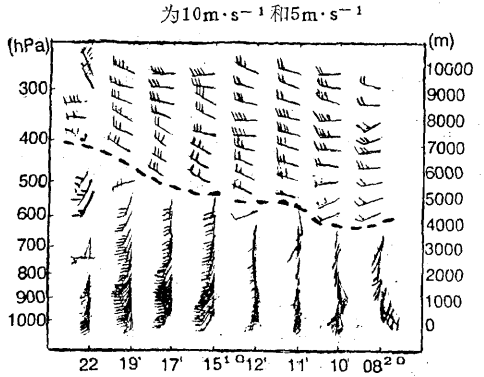


图 5　1989年7月21日0—10km风廓线图

时行星边界层的东南风逐渐转为偏南风，且降水明显增强表明，暖切变线正在北移，逐渐逼近本站。到15时10分，行星边界层中的风向全部转为西南风，同时降水也明显减弱，表明此时暖切变线已转移本站。由此可见，时间和空间分辨率都较高的UHF雷达风廓线资料，揭示了这次降水过程是与仅存在于行星边界层中的暖性切变线相联系的。在常规天气图上把它分析出来并监视其变化是非常困难的。

值得注意的是，在21日下午暖切变移过本站以后，风廓线表明低空偏南气流仍继续增强。在17时左右偏南风风速达到14m·s⁻¹，厚度从3km增大到4km，表明降水的环流形势不但没有减弱反而向更有利于降水的方向发展，虽然此时降水已明显减弱。19时，1km以下的风向又由SW转变为SE，说明本站将受到第三次暖切变的影响，降水将再度加强。从北京地区多站雨量累计值随时间变化曲线（图略）可见，21日晚至22日上午，出现了本次降水过程中最大的降水，其中，21日晚22时1小时降水量，霞云岭为50.2mm，昌平为50.8mm。由于停电，没有测得22日的风廓线，不能揭示第二次暖切变移过本站和第三次暖切变开始影响本站的时间。从23日风廓线图（图6）上可以看到，

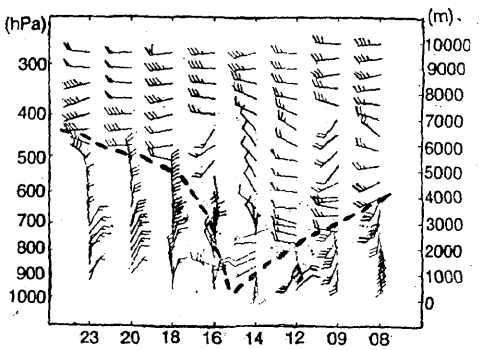


图 6　1989年7月23日0—10km风廓线

08时2km以下的风向为东南偏南，表明本站仍位于暖切变前。低空急流厚度已下降到3km左右，09时低层风向转为SW，暖切变已移过本站，降水天气过程行将结束。09时以后，低空急流的厚度继续下降，12时急流高度下降到2km左右。到14时，低空偏南风仅存在于1km以下，风力也减小到4m·s⁻¹，16时低层偏南风层次消失转为偏北风，以后北风层次增厚，反映了这次降水过程已经结

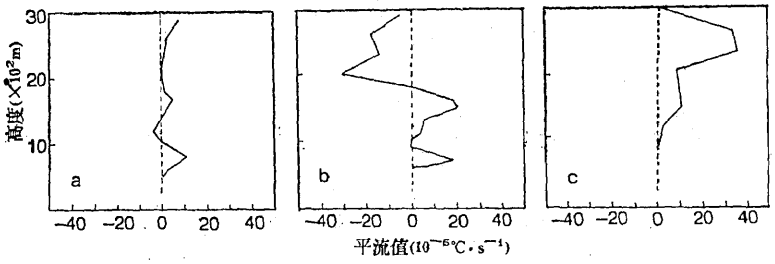


图7　1989年7月21日08时(a)、19时(b)和23日09时(c)平流廓线

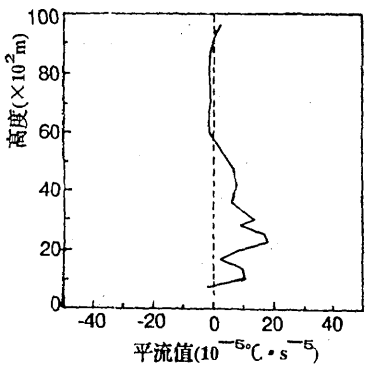


图8　1989年8月9日23时50分温度平流廓线

束。从850hPa天气图可以看出，由于河套低涡东移降水结束，试验区转入槽后的偏北气流控制。

图7给出了根据21日08时和19时、23日09时风廓线计算出来的温度平流的垂直廓线。从图中可见，在3个强降水时段前，低层都是暖平流。这一事实表明，UHF雷达风廓线的分析，还可以在某种程序上揭示形成强降水的动力学原因。

实例2：试验期中，第2次较大降水过程是8月10日西风槽引起的中—大雨过程。在图1的风廓线图中已看到，西风槽过境前低层西南风急流增强、增厚的过程，并在降水前夕达到最强。这可能反映了低空急流逐渐北上接近本站，使本站处于急流中心前方的风速辐合区，从而产生较强的降水。

本次过程前24小时中，风廓线图还显示出温度平流有规律的变化。在9日中午至晚上，低层由冷平流转变为暖平流，且厚度逐渐增加，24时左右达到6km(图8)。它可能反映了降水前暖湿空气的北上过程，为产生较强降水提供了必要的水汽条件。10日05时以后，暖平流逐渐减弱，到13时7km以下已变为冷平流。

另一个值得指出的现象是，9日24时的风廓线中表现出低空强暖平流之上6km高空存在弱冷平流，反映了降水前大气静力稳定度正在减小，使这次西风槽降水具有明显的对流性。

实例3：8月15日冷锋降水过程，由于没有取得UHF雷达测风的完整资料，无法对此过程进行详细分析。但是，从前面已给出的15日17时和19时风廓线（图2)和由此计算出来的温度平流廓线(图3)可以看到，这次冷锋过程在风廓线图上已清楚的反映出来。并且，冷锋过境前温度平流的垂直分析使大气层结趋于稳定，有利于产生对流性降水。

三、小结

尽管单部UHF风廓线雷达只能提供局地的垂直风廓线，但是，UHF风廓线雷达测风资料在时间和垂直方向上具有很高的分辨率，通过对风廓线的连续分析，可为短时天气预报及时提供以下几方面的信息：

1．对风廓线在垂直方向上不连续性分析，可揭示大气多层垂直结构，这对了解影响系统所在的层次及厚度是有帮助的。

2．风廓线的连续分析，可揭示次天气尺度系统（如低空急流和暖切变等）的存在及其影响过程。这对短时预报具有特别重要的意义。

3．从风廓线资料计算出的温度平流及其垂直分布廓线，可提供关于大气静力稳定度倾向和大尺度垂直运动的动力学机制的信息，这对预报对流性天气和区域性降水都是有帮助的。

参考文献

〔1〕 J.A. Angustine, E. J. Zipser, 风廓线仪在中尺度试验中的应用，气象科技，1989年第2期。

〔2〕 廖洞贤、王两铭，数值天气预报原理及其应用，气象出版社 .1986。