

# 单多普勒天气雷达在暴雨 临近预报中的应用

刘 洪 恩

(北京市气象局, 100089)

## 提 要

利用 3824-C 单多普勒天气雷达资料, 分析了暴雨过程中的中尺度系统: 低空急流、暖平流、暖切变、冷切变、逆风区的雷达回波特征; 通过对它们的识别及与降水特征、暴雨落区的比较研究, 表明这些中尺度系统在暴雨的临近预报中都有明确的指示意义。

**关键词:** 多普勒天气雷达 中尺度系统识别 暴雨临近预报

## 引 言

多普勒天气雷达比常规数字天气雷达多一个直接测量径向速度的功能。径向速度场的分析和应用, 为暴雨、强对流天气的临近预报开辟了一个崭新的领域。

一次大暴雨常常是几场降水组成, 而每场降水都对应一个中尺度系统。但在确定的过程中, 尤其是北方暴雨, 往往只有 1~2 场降水占主导地位。因此, 在暴雨的临近预报中, 通常只要分析出影响某次暴雨过程 1~2 个主要的中尺度系统, 例如: 中尺度切变线、逆风区<sup>[1]</sup>、低空急流、冷、暖平流等, 就抓住了这场暴雨临近预报的主要方面。但在某些复杂的暴雨过程中, 也可以出现 2 个以上的中尺度系统的综合影响, 通过对它们的研究, 不仅可以揭示暴雨过程的中尺度特征, 而且为暴雨的临近预报提供依据。

## 1 低空急流

### 1.1 低空急流定义

陶诗言在《有关暴雨分析预报的一些问题》<sup>[2]</sup>的专题评论中指出: 暴雨区中的低空急流是一种中尺度现象。不要与在低压前面和副高的西北侧见到有低空急流出现相混淆。本文将暴雨区中的低空急流称为中尺度低空

急流, 以示与天气尺度的低空急流相区别。一个可供雷达探测分析参考的标准为: 急流中心的水平距离  $\geq 80\text{km}$ , 高度在  $3000\text{m}$  以下, 时间尺度  $\geq 2$  小时, 水平风速  $\geq 10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 风向一致的 low 空强风速区。这里时间尺度作为一个附加的条件, 主要是为了将低空急流与暖切变后的瞬时强风相区别。此外, 低空急流可以越过  $3000\text{m}$  高度与中空急流相衔接。

**1.2 实例:** 1997 年 7 月 31 日 20 点至 8 月 1 日 08 点暴雨~大暴雨

7 月 31 日 20:00,  $500\text{hPa}$  河套地区为一高空槽, 北京处于高空槽与副高之间较强的 SW 暖湿气流里;  $700$ 、 $850\text{hPa}$  北京西侧为 NE~SW 走向的切变线, 对应地面上为一穿过长春、北京、太原的准静止冷锋。受上述系统影响, 北京夜间~凌晨出现大范围的降水, 6 个测站, 霞云岭、怀柔、密云、古北口、顺义、平谷出现了暴雨~大暴雨, 降水量  $52\sim 115\text{mm}$ 。

### 1.3 PPI 和 VPPI 演变特征

7 月 31 日 20:00 至 24:00, 由局地生成的对流性回波, 逐步演变为水平尺度达  $280\text{km}$  的片絮状结构(见图 1)。这种结构从

7月31日23:00维持到次日06:00。对应这个片絮状结构回波的中尺度系统为低空急流,典型图例见图2。

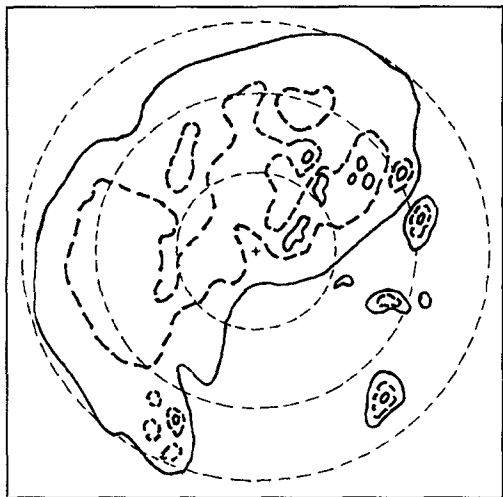


图1 1997年8月1日02:08 PPI 2.5°

回波强度从外向内实、虚线相间分别为0dBZ、20dBZ、40dBZ;距离间隔每圈40km

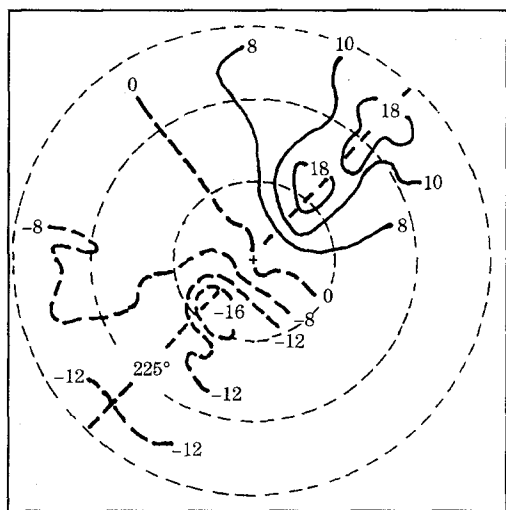


图2 1997年8月1日02:08 VPPI 2.5°

中尺度低空急流

负多普勒速度表示向着雷达,正多普勒速度表示离开雷达;长虚线表示急流方向;距离间隔每圈40km

#### 1.4 低空急流的识别

所谓低空急流风场是指风向一致,而风速不均匀,并有一个或几个最大风速中心的流场。可以证明:当急流中心处的向径和风向平行时,即急流中心也是多普勒速度的极值中心,其多普勒速度图象的特征和均匀流场相同;根据均匀风场中最大径向速度中心就是最大水平风速中心的特点,可以把低空急流识别出来。

图2表明:多普勒速度图象的特征为均匀流场。分析时略去零线的小的波动,可以认为是一条直线,与通过其速度中心处的向径(45°或225°)近似垂直,即该向径与水平风向平行;图中径向速度有3个大值中心,也就是急流中心,急流方向从负中心指向正中心。图中表明:急流为SW气流,约为225°,最大风速为16~18m·s<sup>-1</sup>。根据高度、仰角、斜距之间的关系,计算出低空急流的高度为1.3~3km。如果考虑测站附近零线的小的波动,其特征为反S型,说明近地面有冷平流(偏北风)过测站。但总体来看,测站上空为SW气流,且为低空急流。

图3是用VAD<sup>[3]</sup>技术反演的风向、风速随时间的垂直变化。可以看到SW低空急流大致是在00:17建立的,持续到07:01,大约持续7小时;随着时间的推移,低空急流被冷气团抬升并增强,急流的高度变化在600~3500m,与中空急流相衔接。

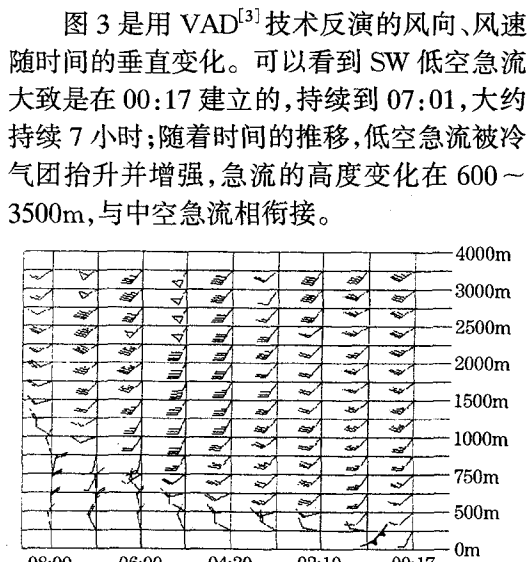


图3 1997年8月1日00:00~08:00风向、风速时间垂直变化(时间序列从右向左)

此外,从图3还可以得到更细致的信息:在8月1日01:13地面上有冷切变过测站,事实上在地面01:13有一准静止冷锋锋线摆过测站;前面分析的低空急流是在这个地面锋线的上空,由它引发的降水处于地面冷锋的后部。

### 1.5 低空急流与暴雨落区临近预报

低空急流是产生这场暴雨的主要中尺度系统。降水的分布基本是沿低空急流轴线展开,且较大的降水中心和大暴雨中心是在急流中心附近。可以解释为水汽沿急流方向,向其中心加速输送的结果;从而为暴雨中心落区的临近预报提供一种思路。在这个例子中,以低空急流出现的时间和急流中心出现的位置为依据,那么,暴雨中心落区临近预报的时效为0~7小时。

## 2 逆风区

### 2.1 实例 1998年7月23日20:00至24日08:00暴雨~大暴雨概况

23日20:00,500hPa高空槽已移到北京西侧,850hPa北京处于等高线气旋式曲率大的区域,地面处于河套东部东移的雨区中。受其影响,当日夜间北京大部分地区出现了暴雨,其中怀柔、顺义、朝阳三个区县出现了短时大暴雨,在21:00~23:00,2小时累积降水量为115~133mm。

23日20:00至次日03:00,由于局地强对流天气的发展,PPI强度场呈现典型的混合性降水特征。即在层状云降水的基础上叠加了强对流降水(图略)。

### 2.2 VPPI速度场特征

与上述短时强降水相对对应的中尺度系统称之为逆风区,见图4。短时大暴雨就出现在逆风区前沿、径向速度辐合最大的区域。所谓逆风区,即在径向速度负速度区包含着正速度区,或在正速度区中包含着负速度区,这两者之间有一个零速度过渡带。它们之间谁包含谁,受当地环境风、天线仰角的高低等因素的影响。由于缺乏相应的地面上水平风观测资料,现在还很难确定它的中尺度系统的性质。但可以认为:逆风区是中尺度辐合辐散共轭系统风场在多普勒速度图上的表现形式。它可以作为短时暴雨预报的一个判据。张沛源等人利用1989~1992年22个逆风区资料统计的结果,用于降水量大于25mm短时暴雨临近预报的准确率为96%。

需要指出:逆风区不是暴雨区中特有的

中尺度现象,在强对流天气中,也同样会出现。但它更多地指示着短时局地强降水。

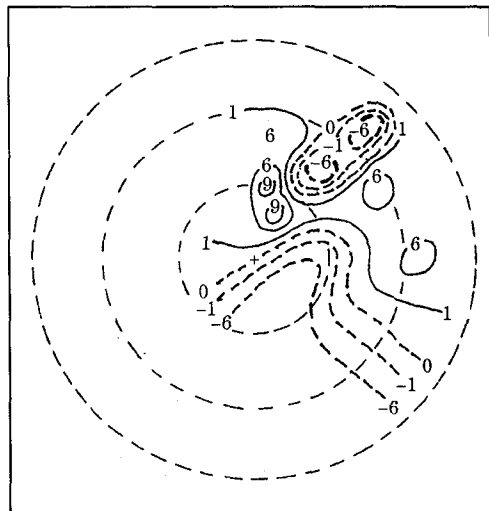


图4 1998年7月23日22:04 VPPI 2.5°逆风区  
(说明同图2)

## 3 暖平流、暖切变、低空急流、冷切变

某些暴雨过程(例如低涡降水)可以有2个以上的中尺度系统,它们对降水的作用是综合的。暖平流、暖切变、低空急流、冷切变交替出现,增加了分析这类暴雨过程的复杂性。但是,一旦这些中尺度系统被识别,暴雨临近预报的细节就揭示得越充分。

### 3.1 实例:1996年8月4日20点至8月5日20点暴雨~大暴雨概况

受高空槽前暖湿气流和700、850hPa低涡、小槽影响,北京地区4日20:00~5日20:00出现大范围暴雨(图略)。

### 3.2 PPI雷达回波演变特征

图5给出了PPI雷达回波的演变过程。图5a表明,北京的SW方在切变线暖区不断有分散的阵性降水回波产生,且在5日00:08合并成片絮状结构,在500hPa引导气流作用下,以 $20\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度向NE方向移动(见图5a、b、c)。这是影响北京地区降水的第一个雨团;在5日03:00~11:06,回波的演变特征重复上述过程,通过云的合并使回波的片絮状结构维持、降水区扩大、雨强再次增大(见图5d、5e)。这期间700、850hPa低

涡正影响北京;12:06 开始,北京的 SW 方没有新的回波并入,并开始偏向 E 移(见图 5f),说明槽后冷空气已影响北京。14:45 片絮状结构解体,17:14 降水基本结构。这次暴雨的特点是:降水持续时间长;有单个大暴

雨中心; $\geq 10\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$  强降水集中在两个时段;第一时段在 5 日 00:00~02:00,发生在第一雨团扫过北京时;第二时段在 06:00~13:00,主要发生在第二雨团的准稳定阶段。这第二个雨团对这次降水过程贡献最大。

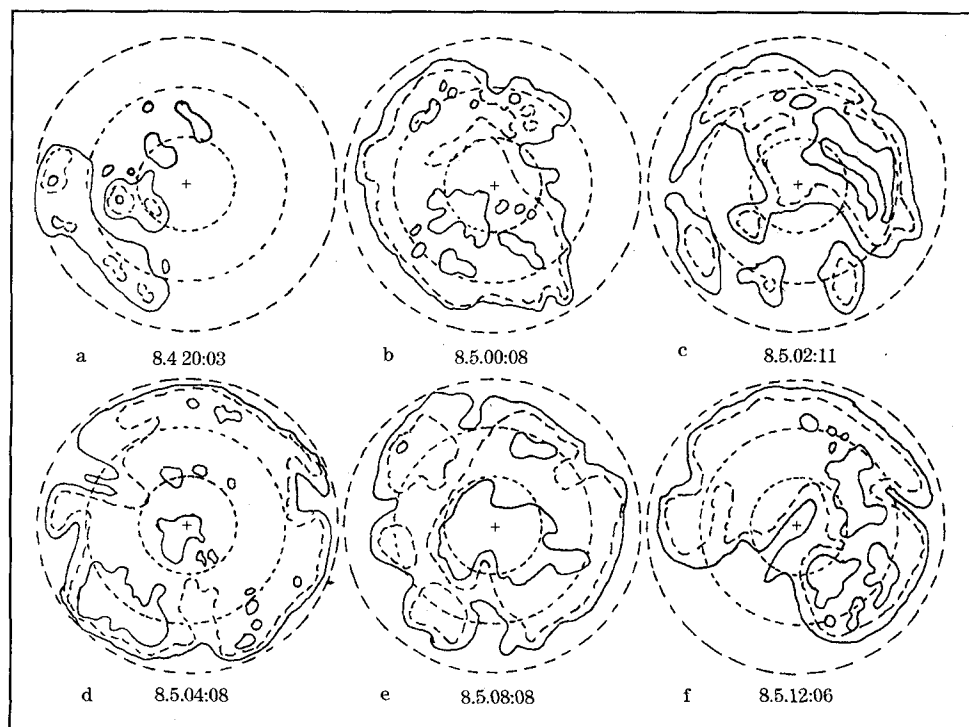


图5 1996年8月4日20:00~5日15:00 PPI 历史演变图

### 3.3 VPPI 径向速度场

#### 3.3.1 持续暖平流

VPPI 径向速度图上一个显著的特征就是低层持续的暖平流。从 4 日 23:13~5 日 10:08, VPPI 径向速度图上都可以很容易地识别出来。图 6 给出了 VPPI 径向速度的代表图例,在径向速度图上识别暖平流是很容易的。如图 6a、b 所示,当低层暖平流过测站且近地面风速很小时,可见到速度零线呈 S 型结构,且通过测站,这表明风向随高度顺转。很显然,这是暖平流的特征,与均匀风场中风随高度顺转的模拟多普勒速度图像类似。

#### 3.3.2 垂直风切变

从图 6 可以进一步分析垂直风切变。图

6a 表明,低空为 SE 急流、风向  $133^\circ$  中心的风速为  $14\sim 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,高度为  $600\sim 2000\text{m}$ 。图 6b 的径向速度场较为复杂,从图中不但可以看到 SE 低空急流在此刻的减弱,而且可以看到较高层另一支 SSW 气流,风向  $195^\circ$ ,中心处的风速为  $14\sim 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,高度为  $1400\sim 3000\text{m}$ 。在图 7 中可以看到,这仅仅是暖切变后面的瞬时强风,但在这张图上,这两支气流已构成明显的风的垂直切变。

#### 3.4 时间垂直剖面图中的中尺度系统

风速、风向随时间的垂直变化能直观地反应冷、暖平流、低空急流、暖切变、冷切变等中尺度系统的局地变化,有了它可以不必逐个分析 VPPI 图。图 7 是由 VAD 技术反演的风的垂直变化。由图 7 可见:

第一,暖平流。从8月4日20:00~5日10:08,高度300~3000m,除04:00外,风向随高度顺转,为持续的暖平流,长达14个小时。

第二,低空急流振荡。 $\geq 10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强风速反复出现在两个时段:第一时段为8月4日20:03~5日00:08;第二时段为8月5日05:13~07:08。从风速变化的情况来看,SE低空急流出现了从增强到减弱的振荡过程。

第三,暖切变。第一个暖切变出现在8

月5日03:13~04:09,6000~500m,大约从500hPa~地面;第二个暖切变出现在5000~1500m,大约从500~850hPa。

第四,冷切变。8月5日10:08~12:06冷切变首先是从低层、高度在1000~500m过测站,冷空气是从NE方向过来的;紧接着冷切变从5000~1000m,大约500~850hPa较高层次过测站,冷空气是从中层NW方向过来的。自12:06以后北京上空完全由冷气团控制。

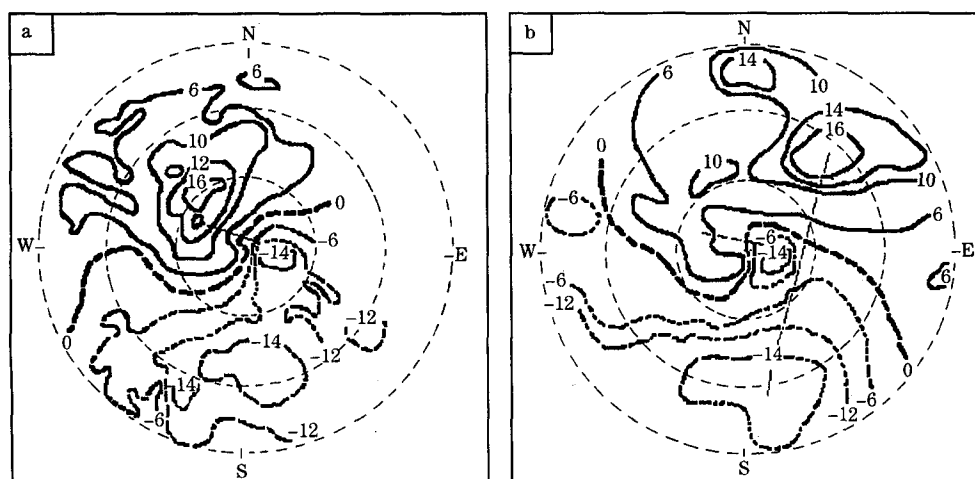


图6 1996年8月4日~5日VPPI代表图例

说明:a图4日23:13 2.5°;b图5日04:02 1.5°;其它说明同图3

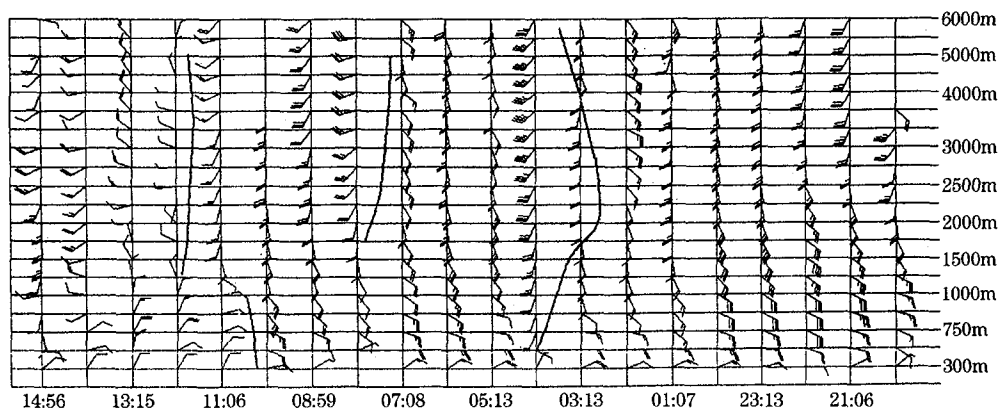


图7 1996年8月4日20:00~5日15:00风向风速时间垂直变化(时间序列从右向左)

### 3.5 中尺度系统与降水之间的关系

第一,这次暴雨持续时间长,与暖平流的

关系最为密切;暖平流持续14小时,而北京半数以上有降水的测站持续时间为16小时。

当然降水得以延续,特别是第二个雨团的强降水还和两个暖切变和一个冷切变中尺度系统先后过境有关。

第二,低空急流中心位置附近(略偏左侧),同样指示着暴雨的中心。此外,两段 SE 低空急流结束的时间,即低空急流发展到最盛并转变为较弱的气流时,却是两段强降水开始的时间;这在很大程度上反映了低空急流的振荡与强降水之间的关系。

第三,暖切变对强降水有 0~3 小时的预报时效;高层冷切变过后 1 小时强降水停止,以后转为气团内部弱的降水。

#### 4 结论

暴雨区中的低空急流、暖平流、暖切变、冷切变、逆风区等是中尺度现象。多普勒雷

达的 VPPI 径向速度场能够很好地显示其特征;而由 VAD 技术反演的风的垂直廓线是研究中尺度系统的重要补充工具,它能更直观地显示上述中尺度系统的局地演变特征;大范围暴雨更多地表现为上述中尺度系统的综合作用;暴雨区中所有的中尺度系统在暴雨的临近预报中都有明确的指示作用。

#### 参考文献

- 1 张培源等.多普勒图上的暴雨判据研究.应用气象学报, 1995,6(3):373~377.
- 2 陶诗言.有关暴雨分析预报的一些问题.大气科学, 1977,1(1):64~72.
- 3 Browning, K. A. and R. Wexler. The determination of Kinematic Properties of a wind field Doppler radar. J. Appl. Meteor. 1968,7:105~113.

## Application of A Single Doppler Weather Radar to Nowcasting of Rainstorms

Liu Hong'en

(Beijing Meteorological Bureau, 100089)

#### Abstract

Based on the data by a single Doppler weather radar 3824-C, the characteristics of the echo of mesoscale systems, including low-jet, warm advection, warm shear, cold shear and contrary wind area during a rainstorm are analyzed. It shows that these mesoscale systems are obvious signals for rainstorm feature.

**Key Words:** Doppler weather radar mesoscale system nowcasting of rainstorm