

# 新一代天气雷达在临近预报和 灾害性天气警报中的应用

张沛源 杨洪平 胡绍萍

(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081)

**提 要:** 利用新一代天气雷达制作临近天气预报和灾害性天气警报,必须从天气雷达观测入手。需根据临近预报和灾害性天气警报需求制定观测方法。不同预报对象,要采取不同的雷达资料的数据处理方法,以便突出预报对象的回波特征。制作临近预报和灾害性天气警报的主要依据是雷达回波分析,掌握回波演变的全过程是雷达回波分析的基础,根据回波特征判断识别影响本地区的天气系统,通过回波分析判断回波的未来发展趋势。为了从回波上识别灾害性天气,需要建立各种灾害性天气的识别判据和方法。预报的主要方法是外推法,但预报结果还需要预报员根据预报经验最后作出预报结论。为了做好临近预报和灾害性天气警报,建立预报流程是非常重要的。

**关键词:** 临近预报 多普勒天气雷达 雷达回波

## Applications of New Generation Weather Radar to Nowcasting and Warning of Severe Weather

Zhang Peiyuan Yang Hongping Hu shaoping

(State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** Making nowcasting and severe weather warning by New Generation Weather Radar need to Start from radar observations. Different weather systems must to use different methods of radar observations. Different observation methods and different forecast objects must to use different process methods of radar data for stressing echo characters. Nowcasting and severe weather warning are produced on the basis of radar echo analyses. Radar echo analyses need to grasp whole process of echo evolutions. Synoptic systems of impacting local weather are resolved according to the echo analyses. Severe weathers are distinguished with

资助项目: 本文受国家自然科学基金项目(40375006)和武汉暴雨研究所开放基金课题(IHR20053)资助

收稿日期: 2007年9月20日; 修定稿日期: 2007年12月7日

echo characters, future development trends of echo are understood by echo evolutions.

For identified severe weathers with radar echos, signature recognitions and discerning means are built by the researches and the statistics of radar echoes. The main nowcasting method is the extrapolation, but the forecast experience is most important. The conclusion of the nowcasting is drawn by the forecasters based on their forecast experiences. Nowcasting technological processes needs to be formulated for better nowcasting and severe weather warning.

**Key Words:** nowcasting CINRAD radar echo

## 引 言

由 158 部大功率、高灵敏度、全相参多普勒天气雷达组成的我国新一代天气雷达网即将建成,新一代天气雷达从南到北、从东到西分布在全国各地,大大提高了我国对灾害性天气的监测能力。新一代天气雷达为临近天气预报和灾害性天气警报提供了重要的高质量的大气观测资料,它与其他大气观测系统一起能更加完整地给出大气状况的图像。因此充分地利用好新一代天气雷达探测数据,能提高灾害性天气的预报能力、气象服务能力和防灾减灾能力,使它在气象业务中发挥更大的作用。

新一代天气雷达由于它的大功率、高灵敏度和全相参性能,可大大提高雷达定量测量降水的可靠性。同时可探测降水的生消、降水的演变、降水的范围和强弱以及降水分布。定量测量降水是新一代天气雷达的重要任务之一。

新一代天气雷达可探测大气中的多种天气系统及其结构。锋面、槽线、台风、辐合带、飏线、中气旋、对流风暴等天气系统,尽管它们尺度不同,有大有小,新一代天气雷达都可以探测它们的生、消、移动、演变及其结构特征。同时新一代天气雷达还可以探测到多种天气现象及其强度、移动和演变过程。如龙卷、雷暴、冰雹、阵性降水、连续性降水、下击暴流和大风等。

正是由于新一代天气雷达具有以上探测

能力,因此在气象领域有多种用途。主要用于:

- a. 临近天气预报和灾害性天气警报
- b. 人工防雹作业指挥
- c. 人工增雨作业指挥
- d. 雷电监测及预报
- e. 定量测量降水及洪水预报
- f. 航空保障
- g. 数值预报
- h. 气象学和气候学研究

新一代天气雷达探测的基本数据是反射率因子、多普勒速度和速度谱宽。不同用途将采用不同的观测方法、数据处理方法和资料分析方法。本文主要介绍新一代天气雷达在临近天气预报和灾害性天气警报中的应用。

## 1 新一代天气雷达在临近天气预报和灾害性天气警报中的观测方法

临近天气预报主要指 0~3 小时的天气预报。灾害性天气警报一般在 0~1 小时之内。美国发布的龙卷风警报平均提前量只有十几分钟。制作临近天气预报和发布灾害性天气警报的主要依据是天气雷达观测资料,其他资料由于时效和分辨率原因只能作为辅助。目前新一代天气雷达中的 CINRAD/SA 的速度和谱宽的分辨率为 250m。强度(反射率因子)的分辨率为 1km(计划提高到 250m)。一般 5 到 6 分钟做一个立体扫描。这样的时空分辨率,其他大气探测系统是无法达到的。

目前,我国新一代天气雷达业务观测采用美国 WSR-88D 的观测模式,即降水模式采用 VCP-11 或 VCP-21 观测模式,这两种模式都是立体扫描模式,仰角都是从  $0.5^\circ$  开始抬高到  $19.5^\circ$  结束。第一个仰角和第二个仰角都是扫二圈,一圈是专测强度,探测距离到 460km;第二圈是专测速度,探测距离在 140km 左右,通过退距离模糊处理,达到 230km。VCP-11 共有 14 个仰角,转 16 圈,用时在 5 分钟左右;VCP-21 只有 9 个仰角,转 11 圈,用时 6 分钟左右。VCP-21 比 VCP-11 转的圈数少,而用时比 VCP-11 长,其原因是 VCP-21 的积分次数比 VCP-11 多,因此 VCP-21 的数据质量比 VCP-11 高。晴空模式采用 VCP-31 或 VCP-32,这两种模式都是分 5 层(5 个不同仰角),VCP-31 转 7 圈(最低 2 层各扫 2 圈),VCP-32 转 8 圈(最低 3 层各扫 2 圈)。一般用 10 分钟左右。以上观测模式只是美国气象业务上采用的观测模式中的 4 种模式,不是美国气象业务上采用的全部模式。

由于我国的地形特征和天气特征与美国不同,采用以上观测模式已发现不少问题,如有的雷达采用以上扫描模式, $0.5^\circ$  和  $1.45^\circ$  的扫描基本上没有用,看到的大部是地物回波。不少高山站需要  $0^\circ$  或负仰角扫描才能抓到的低层天气系统,而采用上述观测模式后低层天气系统将监测不到了。另外,不少地区已发现采用目前的雷达软件系统冰雹的空报率高。

美国下一代天气雷达网在业务运行中已发现采用以上观测模式存在的问题,为此已对观测模式进行了不少改进。

### 1.1 美国观测模式的改进

(1) 临近天气预报和灾害性天气警报对观测方法是有要求的。雷达应观测到影响本地天气的天气过程,为此由于各地的地形不同,天气条件不同,观测方法应该有差异,就是同一雷达站,不同季节、不同天气下观测方法

也应该不同。

(2) 采用的观测方法应该能观测到天气系统的主要结构特征,以识别天气系统及所产生的天气现象特征,重点是及时识别出各种灾害性天气,如台风、锋面、飚线、中气旋等及其是否产生暴雨、冰雹、大风等灾害性天气。

(3) 采用的观测模式应该能观测到天气系统的演变特征,使观测员能抓着系统的生成、发展、消散全过程,为具体临近预报提供系统的移向、移速以及各种天气的强度和落区及未来发展趋势。尽量做到定点、定时、定量预报。

### 1.2 要增加的观测模式

(1) 不同地形条件下的雷达体扫的每层仰角应该有差异。有些山区雷达,采用  $0.5^\circ$ 、 $1.45^\circ$  观测时看到的大多是地物,对于这些站第一层的仰角应适当抬高。有些高山站的雷达第一层可以从  $0^\circ$  开始或从负仰角开始。

(2) 应增加 PPI 观测。各雷达站都有自己的最佳观测仰角。目前只能采用体扫模式,观测周期太长(5~10 分钟)。使用这种观测周期的资料有时难于对单体进行跟踪,更难于分析单体的合并和分裂。为了加快观测周期在必要时可进行 PPI 观测。这样可把观测周期提高到 30 秒。可分析研究单体的生消、合并和分裂等现象。

(3) 应增加 RHI 观测。目前 CINRAD/SA、SB、CB 雷达都不能进行 RHI 扫描。只能用体扫资料制作任意垂直剖面。这样得到的垂直剖面说到底就是 9 条线(采用 VCP-21 观测资料)或 14 条线(采用 VCP-11 观测资料)。完全不能和 RHI 观测图像比较。一般 RHI 观测从  $0\sim 30^\circ$  扫描,可获取 300 个径向数据,300 和 14 相比,可知它们精细程度的差别是很大的,有人说雷达的波束宽度是  $1^\circ$ , $0.1^\circ$  获取一条径向数据没必要。这种看法是不对的。这一个  $0.1^\circ$  和那一个  $0.1^\circ$  是不同的。两两相

减有可能获取分辨率为 $0.1^\circ$ 的数据。

## 2 新一代天气雷达临近预报和灾害性天气警报的数据处理原则

### 2.1 回波分类

在临近预报过程中,首先要分清哪些是降水回波,哪些是晴空回波,哪些是地物回波,哪些是超折射回波、哪些是海浪回波等。回波的区分完全靠计算机完成就目前水平而言是不可能的。因此需要预报员在分析过程中,根据回波特征和经验自己进行区分。对一个没有观测经验的同志来说这是困难的。各种回波的主要特点如下:

a. 降水回波,一般呈片状,块状、带状等,移动有规律性,不同性质的降水,回波强度差异大,但一般都大于 $20\text{dBz}$ ,径向速度分布有规律。

b. 晴空回波,一般都分布在雷达周围,低仰角范围大些、高仰角范围小些。回波强度一般小于 $20\text{dBz}$ ,径向速度图清晰,正负速度分布较典型。有的雷达把晴空回波作为地物回波处理,这是不对的。晴空回波是一种很有用的回波,它不但能测出边界层的风速分布特征,而且还能给出边界层的层结结构。因此不能作为地物回波把它们滤除。

c. 地物回波,一部雷达周围的山脉和高层建筑阻挡,都可形成地物回波,有经验的雷达观测员一般都知道哪块是山的回波,哪块是建筑物的阻挡。地物回波一般与山脉走行和分布一致。回波强而梯度大,测到的径向速度一般很小,在 $1\sim 2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,甚至为零速度区。不同天气条件下强度会有变化,但不会移动。用RHI扫描很容易看到山峰,雷达测到的山峰高度一般都比实际高度高,其上部还常出现旁瓣回波(一种虚假回波)。

d. 海浪回波也是一种很有用的回波,用

此回波可估测海浪高度和海面风向风速,把它也做为一种地物回波滤除也是不对的。海浪回波一般在 $1.5^\circ$ 以下或负仰角下才能看到。回波强度与海浪高度成正相关。回波位置在海岸线以外,走向与海岸线一致。速度回波清晰,分布有规律。

e. 超折射回波是一种虚假回波,一般说来是由于大气层结原因,把远处的地物回波拉到了雷达观测范围之内。这种回波的强度梯度大、结构杂乱,对应的速度图更混乱,以杂波为主。抬高仰角后,超折射回波自然消失。

### 2.2 图像显示

当仰角不为 $0^\circ$ 时,扫描面是一个圆锥面,而显示是一个二维平面。分析员应牢记,在显示图像上,不同距离的回波,距地面的高度是不同的。把一个圆锥面作为一个二维平面,实际上把回波面积扩大化了,仰角越高则扩大效应越大。只有在 $0^\circ$ 仰角时,显示的面积才是真正的面积,当仰角是 $90^\circ$ 时,把一条线,显示成了一个面。扩大效应是无穷大。在分析时要有意识地把显示图像还原成真实图像。

### 2.3 坐标变换

雷达坐标与地理坐标的变换问题是一个重要问题。否则在预报中将造成预报地点的错误。在这里预报员应记注:

a. 雷达坐标的 $0^\circ\sim 180^\circ$ 是地理坐标的南、北,但 $90^\circ\sim 270^\circ$ 不是地理坐标的东、西。

b. 采用的背景地图要通过等距保角变换,才能与观测回波相匹配,否则将产生较大误差。

c. 不同观测仰角采用的背景图应该不同,不进行投影变换是不行的。

d. 在投影变换时,应考虑地球曲率,具体变换公式可参考文献[1]306-307页的变换公式。

### 3 新一代天气雷达临近预报与灾害性天气警报中的具体分析方法

天气雷达观测资料是制作临近预报与灾害性天气警报的主要依据。对雷达回波进行分析是关键环节。如何分析回波,从哪些方面入手才能使分析更接近大气的真实情况,是需要研究的问题。在回波分析中经验是十分重要的。掌握回波的演变全过程是回波分析的基础。因此从雷达观测范围出现回波开始,就要关注回波的发展、演变,维持和消散的全过程。密切跟踪回波演变,回波分析才有根据。对于降水回波来说,回波分析应从以下几个方面入手。

#### 3.1 根据回波特征,分清回波的降水性质

一般说来,层状云降水回波不会出现灾害性天气,对流云降水回波常会造成雷暴、大风、冰雹和局地暴雨天气,混合性降水回波常常会造成暴雨、大暴雨。

#### 3.2 应掌握回波的三维空间结构

首先从 PPI 上看它的准水平二维结构。从整个画面的形态上回波可分为片状回波、带状回波、平行短带回波、人字形回波、涡旋状回波等等。从局部(小范围)形态上又可分出钩状回波、弓状回波等。从结构特征上可分为层状云结构、对流云结构,层状云结构中常有零度层亮带,对流云结构中又可分单体、多单体、超级单体,超级单体中又有穹隆、回波墙、悬挂回波等结构特征。除了这些定性分析外,在数字化时代更应该注重定量分析回波强度、回波梯度、各种强度的回波面积及其分布特征。再从 RHI 或体扫资料上看它的垂直结构特征。如各种强度的回波顶高、回波强度的垂直梯度及其分布特征。最大回波强度的所在高度、各种回波强度的垂直厚度、穹隆顶的高度、零度

层亮带的高度等等。同时还要分析径向速度的三维空间结构特征,从而分析风场的垂直分布、风场的结构特征以及中尺度气旋、龙卷涡旋等等。相关径向速度的分析方法,请参阅文献[2-4]。

#### 3.3 根据回波特征判断识别影响本地的天气系统

判断识别天气系统,应从几个方面考虑。首先应根据回波特征以及天气图、卫星云图,判断已经进入雷达观测范围的回波是由哪一种天气系统造成的。如冷锋、静止锋、气旋、高空槽线、切变线、副高边缘、台风等。在此基础上,根据回波特征判断目前本站处于天气系统的哪个部位,锋前、锋中还是锋后,槽前还是槽后,是处在气团边缘还是处在气团内部等等。然后再分析在这种天气系统的这个部位上存在有哪种中尺度系统,这些中尺度系统已产生和将产生哪种灾害性天气。

#### 3.4 分析回波的未来发展趋势

为了做好预报,总体上可以把回波分为初生阶段、发展阶段、维持阶段和消散阶段。回波的总体生消是和天气系统相关的。回波的总体生消与单体的生消概念不同。例如在一条带状回波中有的单体处于初生阶段,有的单体处在发展阶段,有的单体可能已处于消散阶段。而带状回波本身可处于维持阶段,甚至发展阶段。通过分析,一般说来可以判断目前回波处在哪个发展阶段,在对当前回波结构有了较清晰的认识,并对产生回波的天气系统有所了解的基础上,判断未来的发展趋势是不难的。

#### 3.5 进一步分析回波的移速、移向、移动路径以及分裂合并的可能性

首先需要明确的是在同一张回波图上,不同位置的回波,回波的移动速度和移动方向可

以不同。有时移动方向可以相反,这块回波向南移,那块回波向北移。因此分析回波的移动速度和移动方向需要分区进行。移动路径的分析重点是强单体。预报时,回波的分裂和合并是需要重点考虑的。往往会这样,一条带状回波移过来了,快接近预报区时,它会断裂开,一段从预报区的东边移过,一段从预报区西边移过,就是对预报区无影响,使你的预报失败。有时看起来是两条带,在移动过程中两条带会汇合交汇,产生强烈天气,再一次使预报失效。在这里经验是很重要的。需要预报员经常总结分析,积累预报经验。

### 3.6 分析过程应注意的问题

(1) 目前新一代天气雷达中有很多产品,但分析的重点是根据基数据显示出的强度、速度和谱宽图,也就是基本产品,对于其他各种产品只能作为参考,不能为依据。预报结论还要根据对观测资料的分析结果确定。

(2) 利用前人总结出的一些概念模型进行分析时,必须严格。应着重分析这些概念模型的物理含义。不能有二义性。尤其形态学上的特征不能乱用。例如钩状回波,这个人看着像钩状回波,那个人看着不像钩状回波,这种模棱两可的判断最好不用。钩状回波反映的关键物理概念是上升气流,因此在分析时,必须证明那里存在上升气流,才能说是钩状回波。凡是同一名称,多种定义的更不要用。总之,在数字化时代,早期采用的形态学上一些分析方法应该提升到定量分析上来。

(3) 不要看到带状回波,就说是飑线。产生带状回波的天气系统很多,如锋面、切变线,都能产生带状回波。因此在分析回波时,一定要严格按照定义确定回波类型。

(4) 弱回波区、悬挂回波和回波墙,这是布朗宁提出的一种超级单体结构模型中的三个组成部分。不是各自独立的,而是三位一体

的在同一个单体中的不同部位的名称。不能把它们分割出来。布朗宁的这一模型是根据 RHI 观测图像提出的,不能在 PPI 上说这也是弱回波区,那也是弱回波区,这是超级单体,那也是超级单体。建议参看参考文献[5-7]。

(5) 雷达回波分析时,应考虑雷达的工作波长。如在 3 公分天气雷达观测中,提出的“V 型缺口”概念。是识别雹云的一个重要指标,这是由于在强单体中,X 波段电磁波的衰减严重,而造成的“V 型缺口”。到 S 波段天气雷达上仍提“V 型缺口”,就有些欠妥。在 S 波段天气雷达观测到的“三体散射特征”,对 X 波段天气雷达就不适用。

(6) 多普勒天气雷达观测的径向速度,只是风速在电磁波传播方向的一个投影。只是风的一个分量。利用这一个分量去推断大气三维运动,从理论上讲,解不是惟一的。因此在分析中应特别慎重,尤其对重大天气,应该有其他证据。如龙卷,就要调查地面上是否有人看到漏斗云。下击暴流就要调查一下地面上是否有辐散状的风场结构。不能凭主观判断就说这里有龙卷,那里有下击暴流。

## 4 根据新一代天气雷达观测资料识别灾害性天气的方法

我国的主要灾害性天气是暴雨、台风,另外是冰雹和大风。美国的主要灾害性天气是龙卷,已建成的下一代天气雷达网的一个重要目的是监测和预报龙卷。与之相应的美国 WSR-88D 下一代天气雷达中的应用气象产品主要是针对强对流天气,专门有龙卷识别产品,但有关暴雨的识别产品基本欠缺。我国 CINRAD 新一代天气雷达的应用产品软件包基本是从 WSR-88D 下一代天气雷达的软件包移植过来的。缺少暴雨识别和分析产品,因此需要做更多工作。

#### 4.1 暴雨识别方法

暴雨是我国的主要灾害性天气,有局地暴雨、连续性暴雨、台风暴雨等。产生暴雨的天气系统也是多种多样的,暴雨一直是预报中的难题。天气学中对暴雨的定义是某地24小时内降水量大于或等于50.0mm。由此可知暴雨的定义有三个概念,一个是时间,一个是雨量,一个是地点。而雷达观测到的回波强度只与降雨的瞬时量(即雨强)呈函数关系,对某一具体地点来说,雨强的时间积分才是雨量。因此暴雨可以定义为某地24小时的雨强积分大于或等于50mm,进一步通过函数代换,暴雨还可以定义为某地以回波强度为自变量的函数(雨强)的24小时积分等于或大于50mm。因此单从回波强度不能识别暴雨。目前识别暴雨的方法有三种:

(1) 通过雷达的定量估测降水来识别暴雨区,一般使用天气雷达的1小时、2小时或3小时累积降水产品图。最好用地面雨量校准站资料进行校准。我们讲的暴雨是指地面降水。而天气雷达观测一般难于观测到近地层的回波强度,能观测到低空的回波强度就算不错了。

(2) 用暴雨识别方程识别暴雨。通过定量采集回波特征参数,如最大回波强度,30dBz回波面积,回波顶高、径向风切变、切向风切变等,然后通过统计的方法建立暴雨识别方程。利用该方程识别暴雨。

(3) 根据暴雨结构特征识别暴雨

a. 逆风区:这是多普勒天气雷达的速度图上发现的暴雨的风场结构特征。利用该特征,识别和预报暴雨的准确率可达75%,一般有2小时的提前量<sup>[8-9]</sup>,因此也可作为预报指标。

b. 混合性降水回波常常产生暴雨、连续性暴雨和大暴雨。最典型的混合性降水回波是梅雨锋天气造成的。混合性降水回波的主

要特点是回波面积大。回波单体的强度一般在35~55dBz之间。比对流性降水的回波强度弱,比层状云降水回波的强度强。在这些单体中常常有产生暴雨的单体,产生暴雨单体的主要特征是回波强度一般大于40dBz,稳定少动,常维持1~3个小时,回波顶高一般在8~12km。从多普勒速度图上在相应的位置上往往可分析出中尺度气旋或中尺度切变。另外在混合性降水回波中也常可以发现某一区域内,不断有单体产生并沿着大体相同的路径移动,而且这些单体要比其他单体发展旺盛,回波顶高比其他单体高2~3km,单体经过的区域雨势增大。一个单体、一个单体移过本地,有种夸大的形容称它为“列车效应”,造成暴雨、甚至连续性暴雨和大暴雨。

c. 在对流性降水回波中,也有可能产生暴雨。关键是把雹暴和雨暴分开。一般说来雨暴的回波强度在45~55dBz之间,回波顶高在10~14km,强回波中心在5km以下,相应速度图上有切变或中尺度气旋,关键是稳定少动,移动缓慢。另外要特别关注单体合并现象,以及两条带状回波在移动过程的交汇。出现以上情况,一般会产生暴雨或大暴雨。

#### 4.2 台风识别方法

使用雷达回波图像识别台风是很直观的,一般台风眼(无回波)清晰可见,看不到台风眼时,螺旋雨带也很明显,在多普勒速度图上,正负强速度中心显著,多普勒速度分布基本符合兰金复合涡旋的多普勒速度分布。有关其他问题在预报一节再重点说明。

#### 4.3 冰雹识别方法

我国很多地方都有自己的一套冰雹识别方法。尤其在人工防雹作业中,各地都有一套行之有效的识别经验。雹云观测我国已有

悠久历史,雷达观测也从 711、713、714 雷达观测发展到多普勒天气雷达观测。我国雷达的雹云观测大多数采用 RHI 扫描方式,很多雹云的识别指标以及雹云的结构特征,尤其是流场特征是从 RHI 扫描资料上总结出来的。雹云的结构是复杂的<sup>[10]</sup>,也不是某一种模型能全部概括的<sup>[11-13]</sup>。而且不同地区、不同季节都有很大差异。但有一个共同特点是强回波中心在 5km 以上,尤其是 9~12km 处的回波强度及其强度的垂直梯度大。速度图上有明显的零速度线,水平切变和垂直切变都很明显。

#### 4.4 大风识别方法

直观的大风识别可以从径向速度图上看,只要径向速度大于  $16\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  的,肯定有大风。但我们说的大风是地面附近的大风,而新一代天气雷达径向速度图上观测到的大风,不见得在地面上,因此还需要进一步修正。除此之外,大风识别还有以下方法:通过识别飏线识别大风;通过回波移动速度识别大风;通过识别产生大风的天气系统识别大风,如下击暴流、台风等。

### 5 新一代天气雷达临近预报预警方法

通过回波分析,预报员已经对当前的天气状况有了清晰的了解,在此基础上,才能制做临近预报和发布灾害性天气警报。目前常用的预报方法有以下几种。

#### 5.1 外推法

外推法是最常用的一种临近预报方法,由于中小天气变化的复杂性和非线性,使用该方法时,要随时进行订正。客观的外推法,一般采用交叉相关法。通过计算各个区域的移向移速进行线性外推。在此基础上预报员应根据经验进行修订,如判断单体的生、消、移动的

转向,移速的变化以及回波的断裂、合并等。这些非线性及复杂性需要预报员进一步考虑。经验是重要的。分析是修订的依据。

#### 5.2 相似法

该方法需要积累大量的历史观测资料。根据当前回波演变特征及移动规律,从历史资料中查找相似的个例,根据历史个例的实际演变情况进行预报。

#### 5.3 台风的预报

用雷达资料开展台风预报首先要根据观测到的回波确定台风的位置(一般根据回波上直观看到的台风眼及螺旋雨带确定台风眼的具体位置)和强度(一般根据回波强度、回波面积及风速大小)以及移向移速。同时要确定当前台风的暴雨区、大风区。主要预报台风未来的移向、移速、强度变化、登陆地点及暴雨区、大风区的影响范围。

#### 5.4 经验预报

在有些情况下根据经验进行预报是非常重要的。尤其是系统的生消、强度的变化以及系统的断裂、合并和转向。

#### 5.5 降水的定量估测及预报

降水的定量估测及预报,目前有两套系统可以借鉴,一套系统是李柏、杨洪平、刘晓阳等人完成的黄淮雷达定量测量降水和预报系统。该系统已获中国气象局科技进步二等奖(2005 年度)。另一套系统是程明虎、张亚萍等人在以上系统的基础上和水文模式相结合通过雷达资料进一步开展流域的径流预报<sup>[14]</sup>。

#### 5.6 通过同化雷达资料利用中尺度数值模式开展数值临近预报

这方面的工作目前是国际气象领域的一



个研究热点,我国也做过大量研究<sup>[15-18]</sup>。估计2~3年内有望在业务上应用。但是数值预报结果,只能供预报员参考,最后仍需预报员做决策。

## 6 建立临近预报和灾害性天气警报流程

临近预报和灾害性天气警报应该和短期预报一样,建立自己的预报流程。预报流程中应该明确地规定第一步干什么,第二步干什么,什么时候看天气图,什么时候看卫星云图,什么时候看雷达图,在什么情况下雷达应该采用什么观测模式,什么时候分析什么内容,什么时候应对灾害性天气进行识别,如何识别,如何配合天气图来分析雷达回波,如何配合卫星云图来分析雷达回波演变等等。流程应尽量详细,并在业务应用中不断补充完善。

## 参考文献

- [1] Richard J. Doviak and Dusan S. Zrnic, Doppler Radar and Weather Observations[M]. Second Edition Academic press, Inc. 306-307, 1993.
- [2] 张沛源,陈荣林,葛润生. 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[J]. 气象, 1991, 17(4): 9-13.
- [3] 中国气象科学研究院雷达组. 多普勒风速图分析指南[1], 1990: 1-28.
- [4] Rodger A. Brown AND Vincent T. wood, A Guide for Interpreting Doppler Velocity Patterns, R400-DV-101 Prepared for the NEXRAD Joint System Program Office. 1987: 1-51.
- [5] Browning K. A and Ludlam F. H. Airflow in convection storm[J]. Q. J. Roy. Meteor. Soc., 1962: 88, 117-135.
- [6] Browning K. A and Foote G. B. Airflow and hail growth in supercell storms and some implications for hail suppression[J]. Q. J. Roy. Meteor. Soc., 1976: 102, 499-533.
- [7] WMO, Report of the Meeting of Experts on the Dynamic of Hailstorms and Related Uncertainties of Hail Suppression [R], Geneva, 2-6 February, 1981: 1-22.
- [8] 张沛源,余志敏,王慕维. 多普勒天气雷达资料在强天气短时预报中的应用[C]. 第十一届亚运会气象保障研究论文集,北京:气象出版社,1992: 68-74.
- [9] 张沛源,陈荣林. 多普勒速度图上的暴雨判据研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(3): 373-378.
- [10] 张沛源. 飏线雹暴不同发展阶段的垂直流场特征[J]. 高原气象, 1983, 2(3): 40-48.
- [11] 张沛源. 悬挂回波与下沉气流[J]. 气象科学技术集刊, 1985, (9): 56-62.
- [12] 张沛源,陈荣林. 华北地区降雹单体的雷达回波统计特征[C]. 京津冀中尺度气象试验基地文集, 1989: 198-203.
- [13] 张沛源,陈荣林. 降雹单体的雷达回波概念模式[C]. 京津冀中尺度气象试验基地文集, 1989: 190-197.
- [14] 张亚萍. 利用新一代天气雷达观测资料制作流域径流预报的研究[D]. 2007.
- [15] 李柏. 多普勒天气雷达资料分析及同化在暴雨中尺度天气系统数值模拟中的应用研究[D]. 2005.
- [16] 杨艳蓉,李柏,张沛源. 多普勒雷达资料四维变分同化[J]. 应用气象学报, 2004, 15(1): 95-110.
- [17] 杨艳蓉,张沛源,胡绍萍. 多普勒雷达 PPI 资料在数值模式 MM5 中的应用[J]. 气象, 2005, 31(4): 44-47.
- [18] 顾建峰. 多普勒雷达资料三维变分直接同化方法研究[D]. 2006.