

长江三峡和荆江暴雨临近预报系统设计

杜秉玉 陈钟荣

(南京气象学院)

提 要

本文设计了一种暴雨临近预报系统,它以数字化雷达资料为主,用客观外推方法确定回波系统未来位置,用概念模式和预报员经验来修正回波系统未来的强度,得到准客观预报结果。

长江三峡和荆江暴雨临近预报系统(以下简称预报系统)是建立在武汉中心气象台的WSR—81S天气雷达基础上的,它以数字化雷达资料为主,对降水回波以4种客观外推方法进行外推并选择最优结果预报其未来位置,运用现有的一些关于暴雨的中尺度回波系统知识,如概念模式、统计特征等对系统未来的发展、演变作修正。系统中还设计有尽可能利用现有的其它各种预报产品,如数值预报产品、天气图预报产品以及预报员经验等的功能,来判断或修正外推预报结果。预报系统工作时,警戒雷达一旦发现降水回波,并确定它可能影响预报区时,预报系统即按图1的程序运行,从开始判断(阈值及其它)到最后显示或输出预报产品,全部能自动进行。在一些方法的联结部位,预报系统设计成人机对话方式,以便预报员能在关键时候运用他的判断进行干预。预报系统全部运行时间约6—8分钟。下面是预报系统的设计框图。

在计算机上实现降水的客观外推预报,比较全面的设计和论述要推K.A. Browning的弗朗梯尔新计划^[1]。按现有的对中尺度天气系统的认识,临近预报系统应该有它自己的特点,尤其需要能描述各种中尺度系统特征的资料^[2]。在降水的临近预报系统中,数字化雷达资料是最重要的资料之一,它既能提供降水分布、降水强度分布、移动、演变等许多最直观的资料,而且这种资料在时空上又几乎是连续的,是目前唯一能够随时获得的有关降水的各种实时讯息资料来源。

除了雷达资料外,我们在预报系统中设计了人机对话方式,用以从资料库或天气预报工作站直接获得或手工输入其它资料及其它预报产品,加上预报员经验。由于对雷达资料的解释仅适用于较短的时间,而一些中尺度天气系统的发展又很快,其物理过程也并不很清楚,经验证明,有时候预报员的直观判断往往能大大提高预报质量。

数字化雷达资料的客观外推是预报系统的关键工作之一,十几年来,国内外已经研

究出了不少外推方法^[3-6]。由于还没有一种普适于各种类型降水的客观外推方法，某些方法的准确程度也需要一定的条件，同时我们也缺少适用于我国的不同类型降水系统

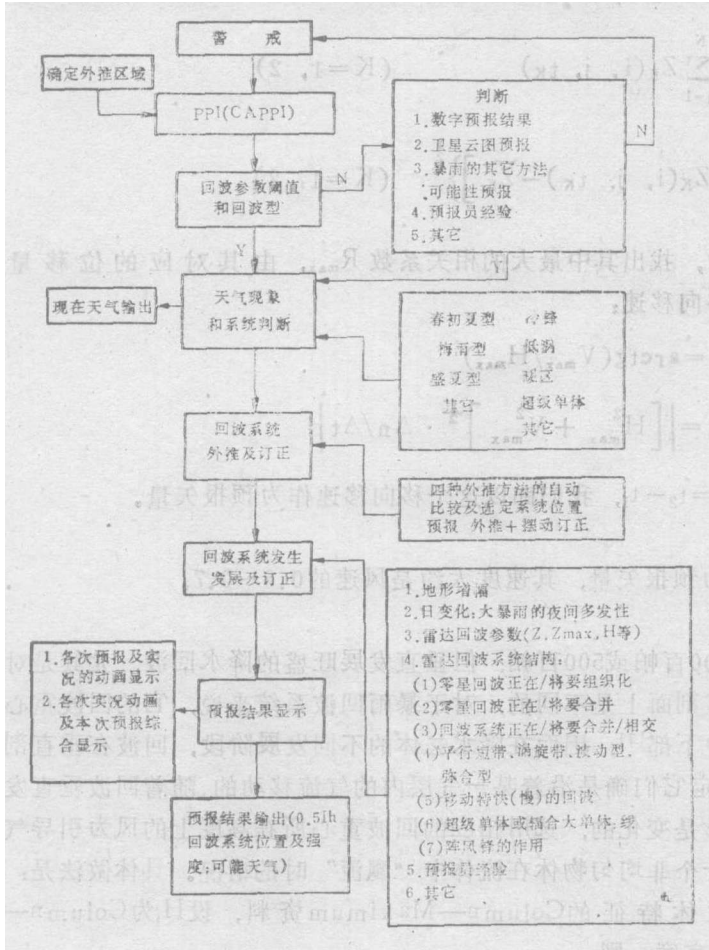


图1 暴雨临近预报系统设计图

的外推方法准确性的比较，所以在实际外推时很难事先确定用哪一种具体的方法比较合适，因而我们的预报系统选用了目前认为比较好的外推方法，即直接外推法、最大相关系数外推法和引导气流外推法，另外又设计了一种新的外推方法。

预报系统工作时，在屏幕上可能出现许多降水回波，而其中有些回波并不是我们所关心的，因而我们先设计了一个活动窗，仅将可能影响预报区的回波包括在这个窗内，这个窗口在设计中经过平移变换、放大缩小变换和旋转变换，工作时可用人机对话方式在计算机屏幕上任意设定。

四种客观外推方法的基本原理是：

1. 线性外推法

设在 t_1 和 t_2 时刻窗内回

波位置分别为 (X_{t_1}, Y_{t_1}) 和 (X_{t_2}, Y_{t_2}) ，则在 t_2 时刻预报矢量的大小和方向分别为

$$V = [(X_{t_2} - X_{t_1})^2 + (Y_{t_2} - Y_{t_1})^2]^{1/2}$$

$$D = \arctg[(Y_{t_2} - Y_{t_1}) / (X_{t_2} - X_{t_1})]$$

2. 最大相关系数法

选择两个不同时刻的回波图象($M \times N$ 个点)，假设整个回波具有一致的移动速度，将第一时刻的回波向任一方向移过一定的距离，然后计算与第二时刻回波块之间的相关系数。对不同的位移量，得到不同的相关系数

$$R(H, V) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left\{ [Z_1(i+H, j+V, t_1) - \bar{Z}_1] [Z_2(i, j, t_2) - \bar{Z}_2] \right\} / (D_{z1} \cdot D_{z2})$$

* 魏鸣、刘晓阳、杜秉玉，利用数字化雷达资料作降水短时客观外推预报，《利用雷达作短时天气预报》，气象出版社（待出版）

式中 H 、 V 分别为回波在 X 、 Y 方向的位移量, $Z_1(i, j, t_1)$ 和 $Z_2(i, j, t_2)$ 为 t_1 、 t_2 时刻的回波强度, \bar{Z}_1 、 \bar{Z}_2 表示 t_1 、 t_2 时刻回波强度平均值, D_{Z_1} 和 D_{Z_2} 为 $Z_K(K=1, 2)$ 的标准差

$$\bar{Z}_K = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Z_K(i, j, t_K) \quad (K=1, 2)$$

$$D_{Z_K} = \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [Z_K(i, j, t_K) - \bar{Z}_K]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (K=1, 2)$$

算出一系列的相关系数后, 找出其中最大的相关系数 R_{max} , 由其对应的位移量 H_{max} 和 V_{max} , 得到回波块的移向移速:

$$D = \arctg(V_{max}/H_{max})$$

$$V = \left[H_{max}^2 + V_{max}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \Delta n / \Delta t$$

式中 Δn 为网格间距, $\Delta t = t_2 - t_1$, 我们即以这个移向移速作为预报矢量。

3. 引导气流法

直接选用引导层气流作为预报矢量, 其速度大约是风速的0.6~0.7。

4. 改进的引导气流法

通常所谓的引导层常选700百帕或500百帕, 但垂直发展旺盛的降水回波, 尤其是对流回波, 其高度、强度在垂直剖面上是不同的, 对于暴雨回波系统来说, 它的回波重心较低, 强回波集中在云体的中下部^[7], 因而在降水云体的不同发展阶段, 回波在垂直剖面上的重心高度是不同的。假定它们确是沿着某一气层内的气流移动的, 随着回波垂直发展的不同, 这一引导层也应该是变化的, 选用相应的回波重心所在高度上的风为引导气流, 从道理上应该更符合于一个非均匀物体在流体中“飘流”时的情况。具体做法是: 使用WSR-81S雷达具有立体特征的Column—Maximum资料, 设 H_i 为Column—Maximum上回波单体的矩心高度, 则

$$H_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i$$

式中 N 为单体数, H_m 为矩心平均高度, 然后再在资料库(或输入的高空风资料)中找到 H_m 高度或最接近 H_m 高度上的风作为预报用的引导气流。为使这种高空风资料尽可能与回波区接近, 选用的引导气流可由回波区周围最近的三个探空站的风资料经空间插值获得。在作预报时, 预报位置由

$$\begin{cases} X_{t_2} = X_{t_1} + V \cdot \sin(D) \\ Y_{t_2} = Y_{t_1} + V \cdot \cos(D) \end{cases}$$

得到, 式中 (X_{t_2}, Y_{t_2}) 和 (X_{t_1}, Y_{t_1}) 分别为 t_2 、 t_1 时刻回波块的位置。如果天气雷达具有多普勒功能, 则可以直接使用当时获得的降水区的多普勒风资料。

此外, 由于回波系统的自身演变及受到环境影响(地形、环境促发等), 中尺度系统

的空间分布、走向等均可能发生变化，这在回波系统动态图上经常表现为系统走向常有摆动，因此在各个时段的回波系统位置经外推后还要作所谓摆动订正。

预报系统在外推时，四种外推方法同时使用，在每次预报时先对前一时刻各种方法外推的结果用实况进行检验，选择误差最小的一种方法供下次预报用。这种做法的依据是：对一次降水过程的预报，前一时刻效果最好的方法在以后使用时也可能是最好的方法。当然，这在天气系统演变出现大的转折时，某次预报可能有较大的误差，但这种误差随即可由下次预报给以纠正，同时预报系统随中尺度降水系统的演变作修正时，还可应用概念模式等其它知识加以考虑。

降水回波的位置经客观外推后，还要对它的发展演变趋势进行考虑，即用预计的变化来修正实况外推。可以用来作这种修正的有：系统本身演变、环境场的变化、系统之间及系统与环境场之间的相互作用等。在我们的预报系统中，已经考虑的修正有：地形对暴雨的影响、暴雨的日变化、雷达回波参数的变化趋势、回波系统结构特征及一些概念模式、降水系统间的相互作用、降水系统冷出流边界与环境场的作用、预报员经验等，如图 1 所示。事实上，这种修正目前还比较困难，主要由于我们对许多降水系统的演变规律以及它与环境场的相互作用机制等还不十分清楚，有些规律还不能量化，很难作出十分确切的描述。例如，对于典型的中尺度对流系统生命周期的时间过程^{[8], [9]}，描述它的各种物理量演变曲线什么时刻发生转折？各种雷达回波参数怎样演变等等。所以有时还不得不借助预报员的经验，凭预报员直觉去判断它将出现何种变化。预报系统在处理这些修正时，有些影响因素可以事先存入计算机或资料库，有些则在当时由人机对话方式输入。而一些回波参数变化等能量化的，则尽可能由计算机去做。例如

$$Z_3(i, j, t_3) = Z_2(i, j, t_2) + R_z(t_3 - t_2)$$

式中 Z_3 和 Z_2 为 t_3 、 t_2 时刻的回波强度， $R_z = (\bar{Z}_2 - \bar{Z}_1) / (t_2 - t_1)$ 为变化率。

这里，预报系统并不强调全部自动进行的理由是有些工作还不可能全部自动，使用的 IBM 机型也不可能提供很大的内存和足够多的时间去自动识别和处理这些回波图象和过程。

预报系统已经能够正常运行，但准确率提高还有待于在实践中积累资料、积累经验、引进其它方面的研究成果，并修正一些设计参数，使系统更符合长江三峡和荆江地区暴雨的实际物理过程。

预报系统的研制是在 75—09—02—34 专题的支持下完成的。

参 考 文 献

- [1] Browning, K. A. (1979), The FRONTIERS plan: a strategy for using radar and satellite imagery for very-short-range precipitation forecasting, *Met. Mag.* 102.
- [2] Beran, D.W. 和 A.E. MacDonald, 周凤仙等译, 甚短期数据系统的设计, 现时预报, 气象出版社, 1986.
- [3] Wilk, K.E and K.C. Gray (1970). Processing and analysis techniques used with the NSSL weather radar system, 14th Radar Met. Conf..

- [4] Zittel, W.D. (1976), Computer applications and techniques for storm tracking and warning, Preprints 17th Radar Met. Conf.,
- [5] Austin, G.L. and A. Bellon (1974), The use of digital weather records for short-term precipitation forecasting, Q.J.R. Met. Soc., 100.
- [6] Tatehira, R., Sato, H. and Makino, Y. (1976), Short-term forecasting of digitised echo pattern, J. Met. Res., Japan met. Agency, 28.
- [7] 杜秉玉等, 江淮地区梅雨期暴雨的降水机制分析, 南京气象学院学报, 1981, 第二期.
- [8] Zipser, E.J., 用中尺度对流系统生命周期的概念模式来改善甚短期预报, 同[5].
- [9] 杨国祥, 华东对流性天气的分析预报, 气象出版社, 1985, p.107—116.

DESIGN OF A NOWCASTING SYSTEM FOR HEAVY RAIN IN THE THREE-GORGE AND JINGJIANG AREAS

Du Bingyu Chen Zhongrong

ABSTRACT

A nowcasting system for heavy rain is designed mainly based on the digitized radar data. By using objective extrapolation for determining the future location of the echo system and using the concept model along with the forecaster's experience for revising its future intensity quasi-objective forecasting results are obtained.