

暴雨短时定量预报方法

杨育强 俞 铁

(浙江省湖州市气象台, 313000)

提 要

通过对天气雷达实时回波资料客观分析,定义回波强度梯度,对雷达回波随距离的衰减特征作了客观化订正,使探测资料更接近于实际;计算并组建了大量的天气物理学因子,选用常规数理统计模型,建立湖州 0~2 小时雨量预报模型,从而定量地作出超短时暴雨预报。

关键词: 雷达 超短时 暴雨 预报模型

引 言

湖州市地处太湖南岸及长江三角区的水网地带,地势呈西南高东北低,海拔高低相差达 1580 多米,主要河流有东、西两苕溪及运河,在江南梅汛期期间,由于降水集中,极易造成洪涝灾害,当梅汛期总降水量接近饱和程度或已发生水灾时,短时暴雨天气出现与否,对该市的防灾抗灾将起到至关重要的影响。然而以往梅汛期短时暴雨预报通常根据经验定性预报,虽有一定的准确率,但实时雨量难于预测,因此进行此项研究十分迫切。我们利用湖州 711 型雷达回波探测资料,作客观化

订正,并利用组建的各类预报因子,建立了 0~2 小时超短时雨量及暴雨预报模式。该模式准确地预报了 1997 年梅汛期“6.25”、“7.6”的强降水,同时对湖州该年“8.13”大暴雨作了准确预报,使用效果颇佳。

1 资料预处理

1.1 预报量资料的选取

通过对湖州 711 雷达站 1981~1990 年梅汛期(6 月上旬~7 月中旬)的资料普查,选取具有代表性的各类样本 30 个,其中 1 小时降水量 $R_1 \geq 10\text{mm}$ 的暴雨样本 11 个,2 小时降水量 $R_2 \geq 20\text{mm}$ 的暴雨样本 6 个,一般性

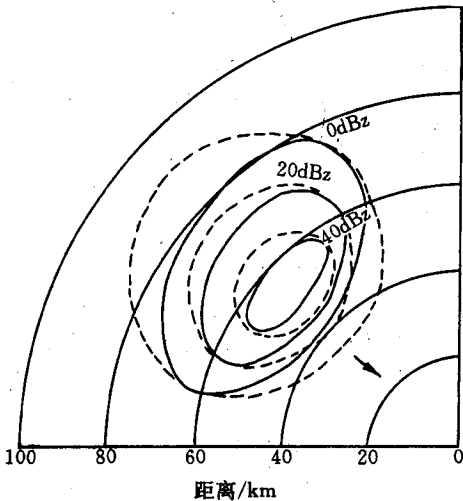
降水样本 13 个。预报量均以实际雨量参加运算。

1.2 雷达探测资料的选取

选用上游方向纵向截面的各级衰减资料,各高度层上游方向的各级衰减资料,高度剖面,回波性质,回波形状,回波方位,发展趋势,回波高度,移向移速等作为基本资料。

1.3 回波资料预处理

我们所用资料数据均是从历年回波照片中读取,因此存在着实测回波形态的失真现象,这主要由于雨滴对雷达电磁波具有吸收和散射作用及雷达回波随传播路径存在的距离衰减特性而造成,使得强回波中心明显偏向雷达站而造成回波形态的严重失真(参见附图中实线),这正是运用 711 雷达探测资料



附图 雷达探测回波区域图
实线为雷达探测回波范围
虚线为客观化模拟回波范围

来制作降水量定量预报的一个最大的难点。为解决这一难题,我们首先利用目标物的回波功率与距离的平方成反比的原理,对雷达回波进行距离订正,即利用衰减公式: $\Delta N = 20\lg(r_0/r)$, 将回波强度订正到特定的距离处(式中, ΔN 为强度订正值, r 为回波距离, r_0 为订正距离)。附图箭头方向为回波向测站

移动的方向,即 λ 坐标经向的反方向,我们根据中国气象局制订的 711 雷达回波强度全国通用表,将回波订正到 10km 处,这时 $r_0 = 10$ 。

在对回波作距离非线性订正的基础上,为了计算模拟出实际回波强度范围,首先我们定义回波强度梯度(G):

$$G = \partial N / \partial \lambda \quad (1)$$

由于各回波强度范围是经逐步衰减方式测得,因此将式(1)化简为:

$$G = \Delta N / \Delta \lambda \quad (2)$$

其中, N 为回波强度,单位为 dBz; λ 为距离因子,单位为 km。可见回波强度梯度 G 就是回波内单位距离强度的变化率。当 G 越大时,回波强度等值线分布越密集,回波强度坡度就越陡;反之 G 越小,回波结构松散,则回波强度坡度越小。

回波强度梯度 G 的方向是由回波强中心辐射状指向回波外缘,在靠近测站的回波前缘处 $G^{(0)} > 0$,表明回波强度梯度的方向与坐标 λ 方向相反;而在回波后缘处 $G^{(1)} < 0$,该回波强度梯度的方向与坐标 λ 方向一致。

然后利用回波强度梯度 G 对回波资料进行客观化订正,步骤如下:

由于 0dBz 的基准回波同样存在着探测误差,因此我们利用衰减公式对 0dBz 回波作距离订正,求得其前后缘的实际分贝数分别为 $N_0^{(0)}$ 、 $N_0^{(1)}$;再将某一 N dBz 强度回波基于 0dBz 实测回波范围作 10km 处的强度订正,并计算出该回波强度的实际位置,订正公式为:

$$N^{(i)} = N - 20\lg(10/\lambda^{(i)}) \quad (3)$$

$$G^{(i)} = (N_0^{(i)} - N^{(i)}) / (\lambda_0^{(i)} - \lambda^{(i)}) \quad (4)$$

$$\lambda^{(i)} = \lambda^{(0)} - (N^{(i)} - N) / G^{(i)} \quad (5)$$

其中, N 为回波强度值,下标 0 为 0dBz 的基准回波,即 λ_0 为 0dBz 回波离本站的距离;上标 i 为 0 则表示回波前缘,为 1 时表示为回波后缘,因此当 i 为 0 时,上 3 式为回波强度

是 N 值时回波前缘的订正公式,其中 $N^{(0)}$ 表征强度为 N 值时回波前缘的强度订正值,即实际强度, $\lambda^{(0)}$ 为强度是 N 值时的回波离本站的实测距离; $\lambda'^{(0)}$ 则为订正后 N 强度回波前缘离本站的实际距离。

从式(3)中不难看出,当 N 强度回波距本站大于 10km 时,右式第二项为负值,这预示着回波的实测强度比实际强度偏小;反之回波距离小于 10km 时,右式第二项为正值,说明回波的实测强度比实际强度偏大,通过此式计算将完成回波的客观订正。

从式(4)、(5)可见,当实际强度 $N^{(0)}$ 比实测强度 N 大时,式(5)第二项为正值,则该强度的实际回波距离 $\lambda'^{(0)} < \lambda^{(0)}$,故回波前缘将前移,这意味着该强度回波对测站的影响时间比原先实测出现得早,此时两者的差值越大,回波前移量越大,反之差值越小,前移量越小。

当 i 为 1 时,式(3)~(5)为回波后缘的订正公式,与前缘订正公式相类似,当后缘实际强度 $N^{(1)} > N$ 时,式(5)中的第二项为正值,则 $\lambda'^{(1)} > \lambda^{(1)}$,这意味着该强度回波后缘将后退,说明受该强度回波区影响的结束时间将推迟,这时当 $N^{(1)}$ 与 N 的差值越大,回波后移量越大,反之差值越小,后移量越小。

最后同样利用式(3)~(5)将 0dBz 的基准回波范围作客观化订正,模拟出 0dBz 的实际回波范围:

$$\lambda'_0{}^{(0)} = \lambda_0^{(0)} - N_0^{(0)}/G^{(0)}$$

$$\lambda'_0{}^{(1)} = \lambda_0^{(1)} - N_0^{(1)}/G^{(1)}$$

其中 $\lambda'_0{}^{(0)}$ 、 $\lambda'_0{}^{(1)}$ 为 0dBz 回波订正后的前后缘位置。

以上各订正公式均适用于各档回波强度的订正处理,经以上订正公式处理后,所得数据则作为预报的基本资料,而这些资料亦已消除了因回波探测距离不同所受到的衰减程度不同而造成的回波特性变异现象。

通过以上客观化订正后,回波形态更接

近于实际回波状况分布(参见附图中虚线)。

2 预报因子组合技术

由雷达气象方程得知回波强度与降水强度 I 成正比,即:

$$Z = aI^b \quad (6)$$

式中 a, b 是系数。而可降水量 R 与 I 之间存在以下关系:

$$R = \sum I \Delta t \quad (7)$$

式中 Δt 是时间变量。

从式(6)、(7)可见,降水量的大小与回波强度、影响时间成正比,根据此原理我们进行了大量的因子组合。

2.1 回波总强度

雷达回波的范围大小、强度大小以及影响时间早迟或持续时间长短都将决定短时的降水量,而回波强度对降水量的贡献最大。我们采用了强度迭加原理定义综合回波强度因子 σ :

$$\sigma = \sum S_n \cdot \lg(Z)$$

其中, $Z = 2 \cdot 10^n$ 为反射因子^[1], $n = N/10$, N 为实际回波强度; S_n 为该回波的主轴长度。可见 σ 值的大小与回波强度和回波范围成正比,与各档回波强度的累加值相一致,故称之为综合回波强度。当回波强度越强,范围越广时, σ 值越大,则所引起的降水量越大。因此 σ 是表征短时降水量的一个极佳因子。我们又把综合回波强度因子从近地水平面一直延伸至各探测高度的回波水平剖面图,同样十分有效。

2.2 影响总时间 T

降水回波何时影响本市及持续时间长短与某一时间段的降水总量之间关系十分密切,而强回波的影响时间及持续时间对降水量的贡献更大,因此我们把影响时间 T 作为基本的普查因子,可表示为:

$$T = \begin{cases} t_0 - t & \text{当 } (\lambda^{(1)} - \lambda^{(0)})/V \geq t_0 - t \\ (\lambda^{(1)} - \lambda^{(0)})/V & \text{当 } (\lambda^{(1)} - \lambda^{(0)})/V < t_0 - t \end{cases} \quad (8)$$

式中, $t = \lambda^{(0)}/V$ 为回波即将影响本市的时间, 单位为小时, t_0 为预报时段, 例如 $t = 1$ 即为短时 1 小时降水量预报; V 是该回波的移动速度; $\lambda^{(0)}$ 、 $\lambda^{(1)}$ 分别为回波前缘和后缘离本站的距离。

显而易见, T 表示特定时段内回波造成湖州市降水的持续时间。该因子与回波强度相结合, 预示某一降水回波对该市可能产生的降水量, 此因子对制作短时降水量预报起着十分重要的作用。

2.3 其它探测因子

回波性质 我们把回波性质分成三种类型, 即: 对流性回波、混合型回波、稳定性降水回波, 并依次编码。其中对流性回波一般多产生阵性降水, 生命史较短, 顶高通常在 7km 以上; 稳定性降水回波范围较广, 回波边缘模糊, 结构比较均匀, 顶高约在 6km 左右; 混合型回波即处于对流性回波与稳定性降水回波之间, 既有一定数量的对流单体, 也有一定范围的层状稳定性降水, 江南的梅雨及春秋季节的连阴雨大多属于此类回波, 其顶高一般在 10km 以下。

回波性质不同, 产生的降水量也不同, 通常对流性回波降水量最大, 混合型回波次之, 而稳定性降水回波则最小。

除此之外, 当雷达高、平显为 (-2°) 时, 高显上零公里以下出现虚假回波, 平显上相应也出现虚假回波。当此现象一经出现则表明该处的降水强度已达相当的强度, 我们称之为伪雨帘, 其编码为 0, 这类回波在梅汛期暴雨时经常出现。

回波形状 我们把回波形状分为带状、块状、絮状、层(片)状四种形状, 并依次编码。其对应降水强度为带状、块状最大, 絮状次之, 层(片)状则最小。

回波的发展趋势及移向移速 回波的发展趋势和移向移速都是以雷达某一观测时次与前 15 分钟的对比观测分析所得。回波的移向、移速是指某一回波将影响下游的方向和

速度; 发展趋势是指雷达回波的强度、水平尺度、高度、形状、性质等变化的综合判断, 可分为发展、少变、减弱三种, 依次编码。

3 模型的建立

我们把 1 小时、2 小时内的实际降水量作为 Y 量, 把收集到的回波资料经技术处理后形成的因子库作为待选因子, 采用相关普查筛选录用因子, 并采用逐步回归统计模型建立了湖州市 1~2 小时的短时降雨定量预报模式, 根据实际计算所得的雨量值来判断是否达到短时暴雨标准。短时暴雨标准为: 1 小时雨量 $R_1 \geq 10\text{mm}$; 2 小时雨量 $R_2 \geq 20\text{mm}$ 。

3.1 相关普查筛选因子

我们采用相关普查筛选因子法, 在筛选过程中, 由于计算组合的因子中存在着许多独立性差的因子, 因此事先对待选因子进行检验, 以保证进入预报方程的因子具有一定的独立性, 从而确保预报方程的稳定性。

3.2 短时雨量预报

由表 1 可见:

a. 各回波强度值因子与降水量呈正相关, 说明回波强度越强, 回波高度越高越有利于降水。这类因子在短时雨量预报中占有很大的权重。

b. 各强度回波的前缘开始影响本站的时间因子与降水量呈反相关, 该值越小, 表明受该回波影响时间越早, 本站发生降水天气越早, 越有利于某时段内雨量的积累。

c. 各回波强度影响本站的总时间值以及各强度回波将对本站影响的时间迭加值因子与降水量呈正相关, 此类因子说明了回波将对本站影响的持续性程度, 持续时间越长, 雨量越大。

d. 从 1 小时降水量预报方程来看, 回波强度及高度因子所占比例最大, 尤其是 8km 高度处的回波强度对雨量贡献最大, 这说明回波应具有特定的高度, 也就是说短时 1 小

时雨量在很大程度上取决于回波的强弱;而时间因子次之,特别是40~50dBz的回波影响本市的持续时间对雨量累计影响稍大。

e. 从两小时降水量预报方程而言,更侧

重于回波的影响时间长短,有关时间因子占方程总因子数的一半以上,尤其是强回波影响的持续性,这在梅汛期短时暴雨预报中尤为重要。

表1 短时雨量预报模型因子参数

1小时雨量预报模型				2小时雨量预报模型			
序号	因子特征	方程系数	相关系数	序号	因子特征	方程系数	相关系数
1	平均高度	0.4802	0.666	1	长轴30dBz强度范围	0.00174	0.668
2	长轴20dBz强度前缘影响时间	-5.7489	-0.220	2	长轴50dBz强度影响总时间	18.06148	0.219
3	长轴50dBz强度前缘影响总时间	27.66926	0.413	3	长轴影响时间迭加值	0.21567	0.315
4	8km高度回波总强度	0.002272	0.470	4	4km高度0dBz强度前缘影响时间	-5.61636	-0.218
5	8km高度20dBz强度范围	0.01379	0.500	5	4km高度各档回波影响时间迭加值	0.11557	0.277
6	8km30dBz强度范围	0.00518	0.731	6	8km高度0dBz强度范围	0.0205	0.634
7	8km高度40dBz强度影响总时间	6.06129	0.450	7	8km高度40dBz强度影响总时间	13.41802	0.335
8	0dBz高度	0.39553	0.504	8	40dBz高度	0.385	0.495
9	40dBz高度	0.41386	0.719				
方程常数为-3.43416 方程复相关系数为0.922				方程常数为3.62225 方程复相关系数为0.900			

3.3 实际业务使用

我们将建立的0~2小时雨量预报模型于1997年梅汛期投入业务使用发现,该模型

预报稳定,对短时暴雨的敏感性强。在梅汛期的两个集中降雨时段中,较准确地预报了各主要强降水时段的雨量(表2)。

表2 1997年预报模型实际使用情况

预报时间	1小时雨量/mm			2小时雨量/mm		
	定量预报	实况	误差	定量预报	实况	误差
1997.6.7 14:20	0.4	2.5	-2.1	10.2	3.0	+7.2
1997.6.25 8:25	9.6	7.9	+1.7	9.6	8.3	+1.3
1997.7.6 9:30	9.9	9.8	+0.1	9.9	9.8	+0.1
1997.7.8 8:30	3.0	2.5	+0.5	6.4	4.0	+2.4
1997.7.16 16:45	5.5	4.0	+1.5	5.5	4.0	+1.5
1997.8.13 10:10	20.7	29.3	-8.6	47.4	58.0	-10.6

4 讨论

通过对短时1、2小时雨量预报的研究,进一步了解了雷达回波与降水量之间的相互关系,掌握了引起短时暴雨的回波特性,所组建的预报模型具有客观、定量、预报稳定性好的特点。同时有以下方面有待改进:

4.1 由于湖州台711型探测雷达设备较为落后,探测资料均为模拟信号,所获取的观测资料需人工读取,因此资料选取的人为性较大,存在一定的误差。另外,该雷达波长相对较短,其穿透力弱,回波信号衰减明显,这在一定程度上影响方程的预报精度。倘若该预报模型建立在数字化雷达探测资料上,那么

其定量预报更为精确。

4.2 我们所建立的预报模型仅在湖州测站,预报的雨量仅为本站的雨量;而对责任区内其它地区,如湖州下属的长兴、德清、安吉三县尚未建立单点雨量预报模型,这需要在以后的工作中加以完善。

参考文献

- 1 南气院大气探测教研组. 雷达气象学,北京:气象出版社,1982版.
- 2 陈良栋. 天气雷达资料的分析与应用. 北京:气象出版社,1991.
- 3 浙江省湖州市气象台强对流研制组. 湖州市雷达0~2小时强对流天气预报系统. 浙中北强对流天气文集三,1993.

The Quantitative Forecasting Method of Short-term Rainstorm

Yang Yuqiang Yu Tie

(Huzhou Meteorological Office, Zhejiang Province 313000)

Abstract

Based on the objective analyses of real-time echo data of weather radar, the echo intensity gradient was defined, and the correction to the feature of radar echo attenuation with distance was given to make the detecting data more actual. A lot of weather physical factors were selected and calculated, combining with a routine mathematic statistics model, the 0~2 hour precipitation forecasting model was developed. Thus, the super short-term quantitative rainstorm prediction was given.

Key Words: radar echo super short-term rainstorm forecasting model