·气象业务现代化·

利用雷达分层资料制作降水分布图

张沛源*
（气象科学研究院）

雷达定量测量降水正在向应用方面发展，国外随着雷达测量的定量化和计算机技术的发展，已部分投入业务使用，美国、日本、英国已取得一定成效。

我国在定量测量降水方面也做过不少研究和试验，有些地区还统计出一些可用的Z-R关系。但由于雷达定量化和数据处理还存在不少问题，因此尽管在单点降水测量方面取得了较好的结果，而在大面积降水分布测量方面还没有见到报道。随着我国气象雷达和微机的广泛应用，1985年气科院雷达组和水电部水调中心气象组一起，在使用雷达测量大面积降水分布方面做了一些尝试，本文介绍它的思路和方法及其使用效果。

一、雷达分层显示与雨强的关系

目前国产713雷达一般都配有视频积分器，可直接对回波进行分层显示。定标方法一般是把第一层和第二层之间的分界线定为20dBZ，每隔10dBZ分一层。如果Z-R关系采用$Z=200R^{1.6}$（其中Z为反射因子，单位为$mm^6\cdot m^{-3}$，R为雨强，单位为$mm\cdot hr^{-1}$）。

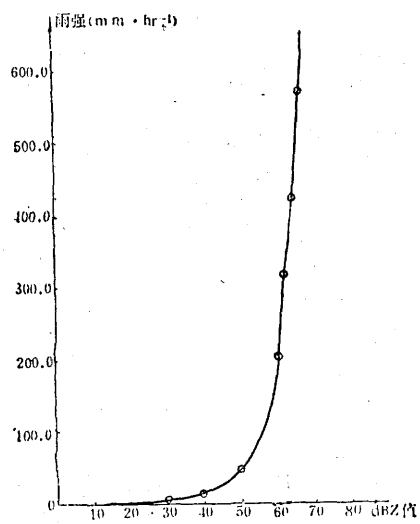


图1　dBZ值随雨强的变化规律

则dBZ与R之间的变化规律如图1。各层对应的雨强变化范围如附表。

附表　各层次相应的dBZ值和雨强值

层　次	对应的dBZ值	对应的雨强值（$mm\cdot hr^{-1}$）
1	20dBZ以下	0.6以下
2	20—30dBZ	0.6—2.7
3	30—40dBZ	2.7—11.5
4	40—50dBZ	11.5—48.7
5	50—60dBZ	48.7—205.3
6	60dBZ以上	205.3以上

从图1和附表可以看出，随着回波层次的增高，所表示的雨强变化范围迅速增大。这给利用分层显示资料制作降水分布图造成困难，因此我们采用以下计算方法来提高它的可靠性。

二、计算方法

1.网格选取

为了把分层显示图象转换成雨强分布图象，再转换成雨量分布图象，就要求在固定点上进行雨量计算，为此需要制定一个网格。考虑到降水单体的大小，同时又考虑到计算量问题，我们采用5km×5km的方格点阵。首先利用人工方法读出各个网格点上的层次数，然后通过双线性内插来确定每个网格点上的dBZ值。

* 参加本项试验工作的还有葛润生、蔡作金、余志敏、王慕维、江超伟、高玉春、朱小燕、林学范，以及水电部水调中心气象组的方勤生、张福元和徐志龙同志。

2.双线性内插方法

把网格点上的原始资料按顺序在x、y方向同时进行线性内插，将所得到的两个内插值的平均作为该点的估算值。这种方法称为双线性内插。

由于分层显示图象一般不可能在网格点上给出一个确定的dBZ值，而只能给出一个层次值，因此需要做一些必要的假定，才能进行内插计算。我们的做法是：

（1）在x（或y）方向上，如果网格点上的层次数是依次增加或减小时，分别在同一层内，按下面公式进行内插：

$$dBZ(p_{ji}) = D \pm \frac{10i}{n+1} \qquad (1)$$

其中D代表本层的最小dBZ值（当网格点上的层次数是依次增加时，这时等式右方取正号），若代表最大dBZ值（网格点上的层次数是依次减小时，这时等式右方取负号），n代表在这一层内所包含的网格点数；i表示格点在这一层内的序号；j表示格点在x轴（或y轴）上的序列号；p_{ji}代表格点；$dBZ(p_{ji})$代表p_{ji}点上的dBZ值。

（2）在x（或y）方向上，如果某层的两边都是高值（或低值时），采用如下公式在这一层内进行内插：

$$dBZ(p_{ji}) = D \pm \frac{20i}{n+1} \quad (\text{当 } i \leqslant \frac{n+1}{2} \text{时}) \qquad (2)$$

$$dBZ(p_{ji}) = D \pm \frac{20(n+1-i)}{n+1} \quad (\text{当 } i > \frac{n+1}{2} \text{时}) \qquad (3)$$

如果两边都是高值时，D取这一层的最大值，对应后面取负号；如果两边都是低值时，D取这一层的最小值，对应后面取正号。其他符号含义同（1）式。

（3）如果一层包括的格点只有一个，则取这层dBZ的中值。

（4）第一层按10—20dBZ处理，第六层按60—70dBZ处理。

（5）无回波的格点以0代替。

（6）边线上的dBZ值仍按上述原则处理。

3.雨强计算

每个观测时刻各格点上的雨强值按以下公式进行计算：

$$R = 0.036510^{0.0625dBZ(p_j)} \quad (dBZ(p_j) > 0) \qquad (4)$$

当$dBZ(p_j) = 0$时，R取零值。

4.各格点上的降水量计算

给定时段以后，我们利用以下公式求算格点上的雨量值：

$$I = \frac{R_1}{2}(t_1 - T_0) + \sum_{i=1}^{N} \frac{(R_i + R_{i+1})}{2}(t_{i+1} - t_i) + \frac{R_N}{2}(T_e - t_N) \qquad (5)$$

其中T_0为降水开始时间；T_e为降水结束时间，$t_1, t_2 \cdots t_i \cdots t_N$是在$T_0$和$T_e$之间获取雷达分层资料的时间。$R_1, R_2 \cdots R_i \cdots R_N$为对应的雨强值。

如果降水开始和结束时间，在给定时段的外面，则采用以下公式进行计算：

$$I = R_1(t_1 - T_0) + \sum_{i=1}^{N} \frac{(R_i + R_{i+1})}{2}(t_{i+1} - t_i) + R_N(T_e - t_N) \qquad (6)$$

这时$t_1 \cdots\cdots t_N$应在T_0和T_e之间。

三、程序设计要点和框图

格点的原始层次值由人工读出，最后雨量等值线由人工描绘，其他工作全部由微机完成。进行程序设计，要点是：

1.编制数据输入文件，建立一个随机存取的数据文件，以便把所有原始格点层次值存入计算机。

2.编制数据调用文件，检查输入的原始数据是否有误。

3.编制主程序。图2是这个程序的框图。程序的关键段是双线性内插，这段程序要能识别在x和y方向上格点原始层次值的序

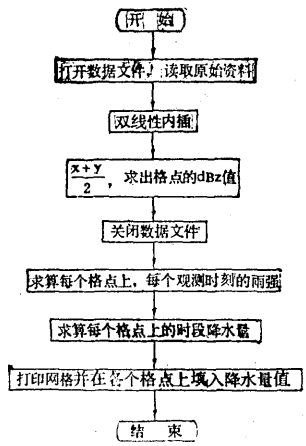


图 2　主程序框图

列结构特点，根据不同的序列结构特点，进行不同的内插处理。然后算出每个格点上，不同观测时刻的 dBZ 值。再进行雨强、降水量计算，最后按网格打印出降水量值。人们在这张打印纸上即可绘出降水分布图。

四、试验结果

我们利用1984年 8 月 9 日0^{59}、1^{59}、2^{24}、2^{49}、3^{37}、3^{49}、4^{32} 时共七张 1.5°PPI 回波分层照片，在 26250km² 的面积上制作了 1ʰ—5ʰ 的降水分布图。格点间隔是 5km，总格点数是1116个。通过以上方法得到图 3 中的降水分布情况。由方勤生同志收集地面水文、气象站获得的降水自记资料，整理绘制出图 4 降水分布图。从这两张图比较可以看出，使用雷达分层资料做出的降水分布图，基本上可以反映出降水的分布趋势，以及暴雨区和降水中心的所在位置。只不过降水中心的个数比地面资料分析得到的多一些，靠近雷达附近的差别大一些。

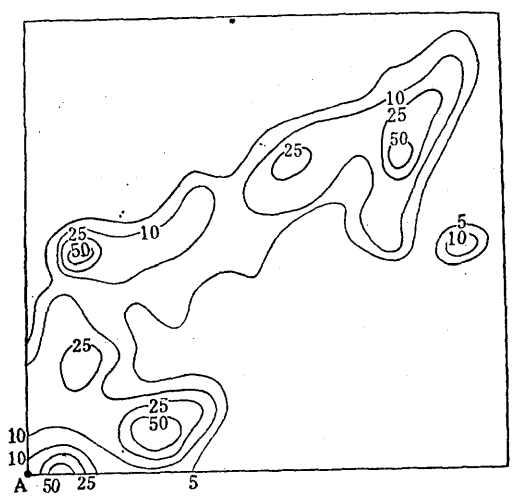


图3　天气雷达测出的雨量分布图　单位：mm
（A处为雷达所在位置）

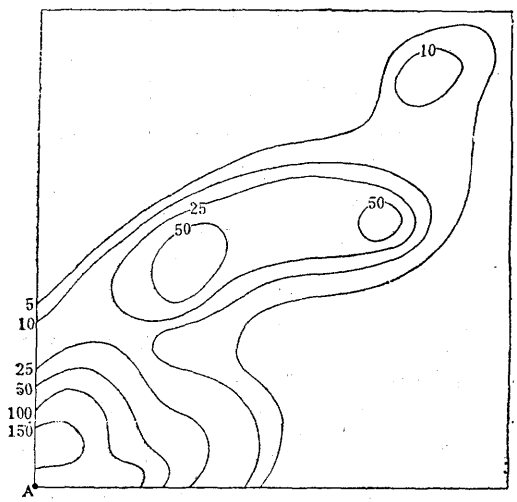


图4　地面资料绘制的雨量分布图　单位：mm
（A点为雷达所在位置）

五、讨　论

1. 由于地面站的密度有限，因此使用雷达分层资料得出的降水中心比地面资料分析得到的多是可理解的。

2. 由于地物阻挡和多次反射影响，使得靠近雷达站附近的分层资料不可靠，因此靠近雷达站附近的资料最好不用。一般略去以雷达为圆心，半径为 20km 范围内的资料。

3. 由于雷达分层资料没有给出具体dBZ值，而且在高层次内雨强变化范围很大，由此得到的最大雨量值是不准确的。可能与实际值有较大的偏差。

4. 实验使用的资料偏少，相邻两次观测的间隔时间偏长，为了提高结果的可靠性，最好相邻两次观测间隔时间不要超过 12 分钟。

5. 为了提高计算降水的精度，分层定标的取值应改变一下，如果第一层取 40dBZ 以下，第二层取 40—50dBZ，第三层取 50—55dBZ，第四层取 55—58dBZ，第五层取

58—60dBZ，第六层取 60dBZ 以上，效果会更好一些。

6.本方法未考虑回波移动对降水的影响，这是应该改进的。

7.在与地面资料比较时，未进行坐标变换，这是不足的地方。

8.本方法通过改进，可直接用于与计算机联机的数字化雷达上。