

贵州省天气雷达人工数字化拼图 和定量测量降水系统

刘 俄 帅 军 季锦忠

吉志勇 吴光福

(贵州省气象局)

提 要

本文介绍了贵州省天气雷达回波人工数字化拼图、层状云回波Z-I关系式和雨强分布图以及计算机处理等技术。应用这些技术可将全省天气雷达探测到的回波信息快速集中,经微机处理后,输出具有一定定量测量降水和预报强对流天气的实况资料和预报产品。

一、引言

贵州省地处中低纬度的高原山区,强对流天气较多,受地理、地形影响,冰雹、暴雨、雷雨大风等灾害性天气的突发性和局地生的特点更为突出,常给国民经济造成较大的损失。根据全省拥有六部711雷达,一部713雷达以及现有计算机性能、通讯等实际条件,为了充分发挥雷达对强对流天气的监测作用和对降水定量探测能力,提出了现阶段711、713雷达组网的回波人工数字化综合图系统的设想。1986年初步拟定了实施方案,经一年多的研制,于1988年初开始将贵州省天气雷达回波人工数字化综合图系统投入业务试用。经过几年的应用改进和不断完善,该系统已基本达到了设计要求。

二、贵州省层状云回波的Z-I关系

我们搜集整理了贵州省天气雷达1975—

1987年计13年期间探测层状云回波各项技术参数及其地面水文、气象站自记降水资料(mm/hr)的7000多个数据,经过分析、整理,采用线性回归、平均校正因子等方法,利用APPLE-II型微机进行运算,得出了层状云回波的三种Z-I关系式,分别求出其均方根误差(JFG),再用优化处理法得出了全省、贵阳、凯里、毕节、兴义、都匀等711雷达站和遵义713雷达站探测层状云回波Z-I关系定量表达式和有关图表。根据全省层状云回波Z-I关系式和拼图资料,经长城-0520微机处理后,就能输出贵州层状云回波的两强分布图。

1. 回波参数和自记降水资料的选取原则

(1) 同一时段内对应地面有水文、气象站自动记录降水的回波资料。

(2) 形状为片或片絮状,性质为稳定性降水;PPI照片上所示面积尺度要求长大

于60km, 宽大于20km; 移速小于20km/hr, 高度小于5km的回波。

(3) 回波强中心与测站的距离, 713雷达小于100km, 711雷达小于50km。

(4) 在选无逐级衰减的回波资料时, 仅取距强中心附近20km以内的数据。

(5) 为了避免地物回波的干扰, 测站附近的回波照片数据中, 不含仰角小于0.5度的资料。

根据以上原则, 选取了436组711雷达层状云回波样本数据, 每组数据主要选用其中的距离 R_i (km), 中频衰减 N_i (dBz)及自记纸记录的降水量 I_i (mm/hr)。此外, 还选取了713雷达层状云回波样本数据90组, 每组主要用回波强度 Z_i (dBz)和 I_i 。

2. 计算结果及分析

(1) 线性回归法

据雷达反射因子 Z 与降水强度 I 的关系参数方程:

$$Z = AI^B \quad (1)$$

式中, A 、 B 值随时间、地点、降水类型的不同而变化, 将(1)式两边取对数再乘以10得:

$$10\lg Z = 10\lg A + B \times 10\lg I \quad (2)$$

显然, 这是以 $10\lg A$, $10\lg I$ 为变量的线性方程。根据711雷达各项参数值, 实测回波距离 R_i , 衰减量 N_i 等数据, 通过雷达气象方程可计算出反射因子 Z_i , 再利用实测雨强 I_i , 通过APPLE-II型微机, 采用线性回归方法即可求得(2)式的截距 $\lg A$ 和斜率 B , 对截距取反对数即得 A 值, 于是:

$$Z = 300I^{1.100} \quad (3)$$

利用713雷达站的实测数据, 类似上述方法, 可得:

$$Z = 214I^{1.57} \quad (4)$$

(2) 平均校正因子法

将711雷达实测反射因子 Z_i 值分别代入(4)式, 计算出雨强 I_{gk} :

$$I_{gk} = (Z/214)^{1/1.57} \quad (5)$$

利用实测 I_i 、 I_{gk} 值可分别求得平均校正因子 L_k :

$$L_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_i / I_{gk}) \quad (6)$$

式中, n 为样本总数(下同)。

由(6)式可知 $I \approx L_k I_k$, 代入(5)式可得:

$$Z = 214(L_k I_k)^{1.57} \quad (7)$$

这样便得出(3)、(4)、(7)式反映层状云回波 Z - I 关系的三种表达式。

(3) 优化处理

为得出适用于贵州省层状云回波的 Z - I 关系式, 将实测 Z_i 值分别代入(3)、(4)、(7)式, 计算雨强 I_{gk} 值。

$$I_{gzi} = (Z_i / 214)^{1/1.57} \quad (8)$$

$$I_{gfi} = (Z_i / 300)^{1/1.100} \quad (9)$$

$$I_{gki} = [Z_i / (214L_k^{1.57})]^{1/1.57} \quad (10)$$

式中, I_{gzi} 、 I_{gfi} 分别为遵义713雷达、各711雷达每次实测 Z_i 值计算出的雨强值, I_{gki} 是经平均校正因子法和实测值计算出的雨强值。

将 I_{gk} 和实测 I_i 分别代入均方根误差JFG和判别函数CTF式中:

$$JFG = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(I_i - I_{gk})^2}{n} \right]^{0.5} \quad (11)$$

$$CTF = \sum_{i=1}^n [(I_i - I_{gk})^2 + (I_i - I_{gk})] \quad (12)$$

表 1

参数	全省	贵阳	凯里	毕节	都匀	兴义
A_f	300.1	362.5	287.2	247.7	231.0	225.3
A_z	214.0	214.0	214.0	214.0	214.0	214.0
A_k	234.1	232.6	231.6	234.2	243.6	214.6
B_f	1.109	0.655	1.300	1.095	1.495	1.493
$B_{z..k}$	1.570	1.570	1.570	1.507	1.570	1.570
JFG_f	4.389	8.804	4.421	5.729	1.818	1.398
JFG_z	1.026	1.801	2.312	1.216	0.994	3.845
JFG_k	1.019	2.119	2.307	1.212	1.437	3.366
CTF_f	7341	2714	862.8	942.9	12.81	0.2160
CTF_z	420.3	150.5	222.5	39.33	4.842	0.1030
CTF_k	357.9	130.8	198.3	29.09	1.522	0.0947
L_k	1.059	1.055	1.051	1.044	1.100	1.002

表 2

地区	全省	贵阳	凯里	毕节	都匀	兴义	遵义
Z	234I ^{1.57}	233I ^{1.57}	232I ^{1.57}	234I ^{1.57}	249I ^{1.57}	215I ^{1.57}	214I ^{1.57}

经计算, 结果列于表 1。

表 1 结果表明, 用 (7) 式, 其判别函数 CTF_k 、均方根误差值都较小。经以上分析、计算, 得出贵州省和各地雷达回波 $Z-I$ 关系如表 2 所示。

通过对 1990 年试验中 6 次层状云回波雨强 ($I_{回}$) 分布情况和地面实测雨量 ($I_{地}$) 的对比, 可分析出: 统计站次 121 次中, $I_{地}$ 和 $I_{回}$ 一致的有 88 站次, 即准确率为 72.1%, 基本一致的 ($\pm 1\text{mm/hr}$ 内) 有 98 次, 即基本准确率为 79.5%; 有回波无降水的有 10 次, 占 8.3%; $I_{回} \sim 2.5\text{mm}$, $I_{地} > 2.5\text{mm}$ 的有 1 次, 占 0.8%。

三、天气雷达回波人工数字综合图 的计算机处理

1. 定量化及其数字处理

(1) 回波高度订正

由于各雷达站天线海拔高度 H_0 不一致, 必须在拼图时进行回波顶高和一般高度的订正。设 H_i 为雷达观测回波的高度, H 为回波的真实海拔高度, 则

$$H = H_0 + H_i \quad (13)$$

(2) 距离订正

由于 713 雷达有距离订正装置, 而 711 雷达无此装置, 为了在同一底图上拼制 711、713 雷达回波的强度, 必须对回波进行订正。

由雷达气象方程可得雷达最小可测降水回波强度 Z_{min} ,

$$Z_{min} = 1024 \ln 2 \lambda^2 P_{rmin} r^2 / (\pi^3 C K^2 \cdot P_i^2 G_i^2 \tau \cdot \theta \cdot \phi) \quad (14)$$

式中各符号意义见文献 [4]。

根据雷达有关参数, 由 (14) 式可分别计算 711、713 雷达的 Z_{min} :

$$Z_{min711} = 4.1 \times 10^{-3} r^2 \quad (15)$$

$$Z_{min713} = 8.7 \times 10^{-4} r^2 \quad (16)$$

以上两式是以雷达出厂标称值计算的, 如雷达参数变化, 用后面所述方法进行订正。因 713 雷达采用以 200km 处的 Z_{min} 为基值, 在综合图中, $Z_{min711} = Z_{min713}$ 时, 可以计算出 711 雷达距离订正的基值 r' , 如雷达参数是标称值时,

$$r' = 92.1\text{km}$$

当 Z 值用 dBz 表示时, 对于 711 雷达, 用 92.1km 处的最小可测回波强度 Z_{min} 作为基值, 以便于计算, 则任意距离 r 的最小可测回波强度

$$Z'_{min711} = -23.9 + 20 \lg r \quad (17)$$

(3) 雷达参数变化后的订正

如雷达参数变化时, 参照文献 [4] 中 (32) 式, 可得订正后的最小可测回波强度

$$Z_{min711订} = -23.9 + 20 \lg r + 2 \Delta \lambda + \Delta P_{rmin} - \Delta P_i - 2 \Delta G_i - \Delta \tau - \Delta \theta - \Delta \phi \quad (18)$$

由于一个格距在微机 CRT 屏幕 x 向有 12 个, y 向有 7 个象点, 每个象点的实际距离 x 向为 1.25km, y 向为 3km, 在求回波强度及雨强分布时, 必须对距离 r 进行有关计算。

$$r^2 = (|12H - x_i| - 6)^2 \times 1.25^2 + (|7L - y_i| - 3.5)^2 \times 9 \quad (19)$$

式中, H 、 L 为回波在微机网格图中的行、列数, x_i 、 y_i 为相应雷达站的象点坐标值 (见表 3)。

表 3

	贵阳	遵义	毕节	凯里	兴义	铜仁	都匀
x_i	324	341	211	424	177	520	389
y_i	116	76	89	116	171	74	129

通过以上订正,由711、713雷达组网的人工数字化综合图中的回波参数,雨强分布就有了较好的一致性。拼图中的711雷达回波强度 Z 可由(20)式求出,雨强 I 可由前述 $Z-I$ 关系求出。

$$Z = Z_{m+n711订} + N \quad (20)$$

式中 N 为711雷达的中频衰减值。

2. 系统软件

为便于开发和利用,满足天气预报的要求,软件中的大部分程序设计为通用程序,用人机对话方式改变某些参数以改进综合图的分辨率和时效。综合图的输出格式设计采用直观形式。

综合图的计算机程序能将全省各雷达站发来的电报进行收集、编辑、量化拼图、雨强分布图处理。能显示(含动画显示),

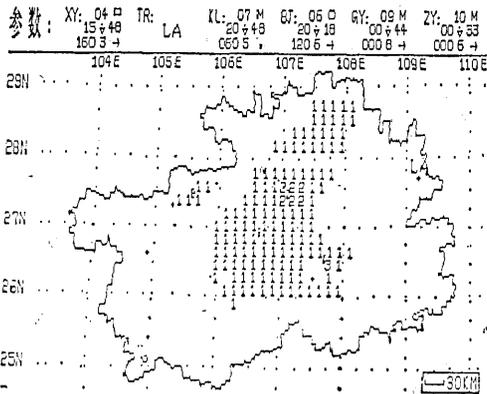


图1 贵州省雷达回波人工数字化拼图实例

贵州地区雨强分布图(1:1-2.49 2:2.5-22.9 3:23)1988年06月25日18时00分

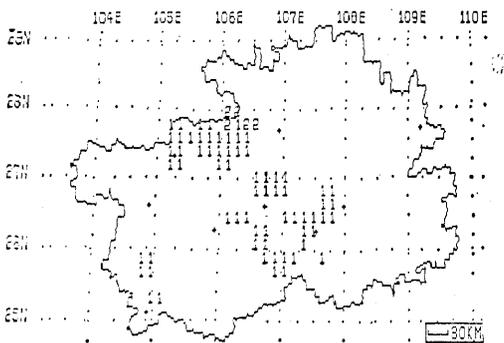


图2 贵州省1988年6月25日18时00分雨强分布图

存贮和打印回波强度分布(位置、强度)、强中心顶高度,一般回波高度、性质、形状结构、移向移速,演变趋势等回波参数,并按照一定的模式输出全省雷达回波拼图和层状回波雨强分布图(图1、2)。

(1) 系统流程

系统流程框图见图3。

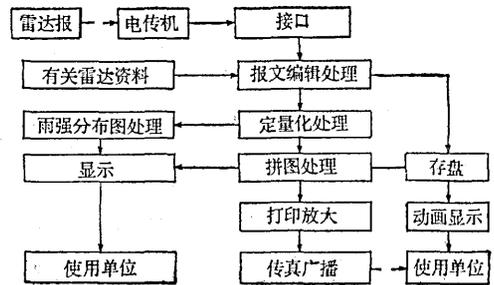


图3

(2) 系统软件及其功能

- 管理程序:启动系统,并根据不同要求,调用协调各子程序工作。
- 收报及报文处理程序:可接收雷达报文,进行排错和规格化预处理。
- 背景程序:能给出贵州省地图边界廓线,经纬线网格度数,图形比例尺和各地区的坐标位置。
- 拼图程序:可拼制全省回波人工数字化综合图、层状云回波雨强分布图。
- 动画显示程序:根据需要,对相邻时次的回波图、雨强分布图进行动画显示。
- 打印放大程序:根据需要,输出各种规格的拼图产品。

四、结语

贵州省天气雷达回波人工数字化综合图系统,提供了全省各天气雷达有效探测范围图和雷达电码。雷达探测电码通过接口输入,经微机处理后,一分钟内即可显示,15分钟内就可打印出具有一定客观定量能力的回波人工数字化拼图,并可直接发送到各地、县气象站,大大提高了时效和精确度。

该系统制作的层状云回波 $Z-I$ 关系及其雨强分布图,使贵州省定量测量降水工作向前进了一步。目前全省雨量站之间距离一般有几十公里,降水区的雨强分布又不均匀,雨量站测量雨强的代表性不是很好,且受通信条件限制,及时性较差。雷达回波拼图和雨强分布图能较迅速地获得全省区域大面积降水的定量资料。

致谢:陈良栋教授、汤达章副教授、李良骥和赵恕高工、省气象局和气象台负责同志对本课题进行了指导,佐经纯、杨光明、陈传智以及贵阳、遵义、毕节、凯里、兴义、铜仁和都匀等天气雷达站的同志参加了部分资料的搜集、统计、试验工作,在此一并致谢。

微机显示的拼图、雨强分布图,各雷达站拍来的报文均可存贮和调用,并进行动画显示。该系统定量性较强且直观好用。

参 考 文 献

- (1) 薛震刚、蔡启铭、徐宝祥,数字化3cm天气雷达定量测量降水的结果和讨论,高原气象,1988年,第7卷,第4期,P.330—334。
- (2) Battan,L.J, Radar observation of the atmosphere, the University of Chicago Press, Chicago and London,1973。
- (3) 范鸣玉等编,最优化技术基础,清华大学出版社,1982年。
- (4) 中央气象局,713天气雷达观测使用技术,1981年,P.25。