

文章编号: 1004- 4574(2011) 03- 0163- 06

桂林地区短时暴雨自动监测预警系统研究

王艳兰¹, 孙莹¹, 熊文兵², 周文志¹, 郑传新¹

(1 桂林市气象局, 广西 桂林 541001; 2 广西区气象局, 广西 南宁 530022)

摘 要: 通过制作混合扫描面, 调整 Z-I 关系和自动站雨量校准等方法对多普勒天气雷达估测降水进行了优化, 使雷达估测降水误差明显减小。运用交叉相关法、降水算法对雷达反射率因子进行计算, 得到了未来 1~ 2 h 的定量预测降水。按照暴雨预警信号标准, 将估测降水与预测降水累加, 可及时获得暴雨预警信号信息, 自动生成暴雨预警信号等级分布图, 对达到预警信号标准的站点及时通过手机发布暴雨预警信号提示信息。结合多层次地理信息系统, 形成了集自动站资料查询、雷达降水监测、临近预测、暴雨预警功能为一体的桂林雷达定量降水监测预警平台, 为有效监测预警暴雨引发的山体滑坡、洪涝等气象灾害提供了客观定量依据。

关键词: 暴雨; 多普勒雷达; 自动监测; 预警信息

中图分类号: P457. 9

文献标志码: A

Research on auto monitoring and early warning system for short-time rainstorm in Guilin Region

WANG Yan-lan¹, SUN Ying¹, XIONG Wen-bing², ZHOU Wen-zhi¹, ZHENG Chuan-xin¹

(1 Guilin Meteorological Bureau, Guilin 541001, China; 2 Guangxi Meteorological Bureau, Nanning 530022, China)

Abstract By means of mixed scanned sector preparation, Z-I relationship adjustment as well as auto gauge rainfall calibration, the Doppler weather radar quantitative precipitation estimation (QPE) are optimized which can obviously decrease the QPE error. The radar quantitative precipitation forecast (QPF) ahead of 1- 2 h is calculated by performing cross correlation method to retrieve radar reflectivity. According to the standard of rainstorm prewarning sign (RPWS), QPE and QPF are accumulated to obtain RPWS information in time, and the distribution picture of RPWS creates automatically, the alarm message is released by mobile telephone as soon as RPWS reaches warning standard. Combining multilayer GIS, the flat of QPE monitoring and prewarning is constructed that includes auto station data inquiry, radar precipitation monitoring, nowcasting and rainstorm early warning, which can provide objectively quantitative basis to monitor and warn meteorological disaster such as landslide, flood, etc.

Key words rainstorm; Doppler radar; auto monitoring; warning information

处于广西东北部的桂林地区是广西暴雨中心之一, 暴雨活动往往造成河流洪水泛滥^[1]、山洪爆发^[2]、山体滑坡^[3]等气象灾害, 给人民生命财产造成严重损失。因此, 加强对暴雨进行监测预警研究, 及时准确地进行降雨量估测和预报对于科学指挥防汛抗洪、减轻气象灾害损失具有特别重要的意义。针对暴雨造成的气象灾害, 各地主要从短期日降水量对气象灾害监测预警方法进行研究^[4-5]。随着新一代多普勒天气雷达的

收稿日期: 2010- 03- 23 修回日期: 2011- 03- 21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40865001)、桂林市科技局项目 (20070216- 04)及广西气象局攻关项目 (QK200727)资助

作者简介: 王艳兰 (1967-), 女, 高级工程师, 主要从事多普勒天气雷达分析与应用研究。E-mail: wangyanlan@163.com

应用和中尺度气象自动站网络的建设,暴雨监测和预报能力有了较大提高,全国各省市相继开展灾害性天气短时临近预报系统的建设^[6],但到目前为止,在客观定量识别与自动预警方面的研究大都处于探索阶段,投入业务应用的文献还不多。桂林暴雨自动监测预警系统利用多普勒雷达及自动站资料,将估测降水与预测降水产品结合使用,同时将地理信息系统应用于监测预警平台中,实时定量监控强降水,自动发布暴雨预警信息,有效地提高了暴雨灾害天气的预警预报能力,达到了较好的服务效果。

1 优化降水估测产品

1.1 资料处理及降水基本计算方法简介

将雷达二进制基数据文件中的基本反射率因子读出,获取本地混合扫描面的反射率因子值,并转换为直角坐标数据,截取一个 600km × 600km 格点资料场,格距 1km × 1km。根据 $Z - dBz$ 关系: $Z = 10(dBz/10)$ 和本地的 $Z - I$ 关系,得到任意点某时刻的反射率因子 - 雨强关系: $I(i, j, t) = e^{(re(i, j, t) / 10 \times \ln(10) \times 1 n(a)) / b}$,对连续几个体积扫描进行时间积分得到累积降雨量估计,利用每小时自动站雨量资料作平均降水校正,得到订正后的降水累积估测产品。

1.2 估测降水优化方法

1.2.1 优化前雷达降水产品简介

桂林安装的是 WSR-98D 多普勒雷达,其降水产品仍沿用 88D 雷达默认的混合扫描面与原来统计的 $Z - I$ 关系。与平原地区不同,桂林雷达周围多山脉和建筑物,对雷达扫描面有较大影响,导致降水产品缺测面积较大,1 h、3 h 降水产品的可显示范围很小,约只占总面积的 2/5。另外,单一的 $Z - I$ 关系使降水估测产品误差较大,尤其是弱回波造成的小雨与强回波造成的大到暴雨的相对误差较大。因此原雷达 1 h、3 h 降水产品可应用性较差。

1.2.2 制作混合扫描面

经过对比检验,东面 10km 的尧山阻挡最严重,水平挡角宽达 32°,垂直方向挡住 4 个低仰角,其次是西北面一带的山群,挡角宽约为 15°,另外,雷达附近的几处固定地物对降水算法也有一定影响,受其干扰降水虚假加强。为了尽可能消除桂林地物对降水产品的影响,增大降水产品测量范围,根据桂林周围特殊的的地形重新制作一个混合扫描面如下:

半径: 0~ 10km, 仰角: 6.0°; 半径: 11~ 16km, 仰角: 4.3°;

半径: 17~ 22km, 仰角: 3.4°; 半径: 23~ 30km, 仰角: 2.4°;

半径: 31~ 50km, 仰角: 1.5°; 半径: 51~ 460km, 0.5°与 1.5°中反射率因子较大的仰角。并对 7 处固定地物(山脉)作了局地升高扫描面处理。新制作的混合扫描面基本消除东面、西北面、西南面的山脉阻挡对降水产品的影响。

1.2.3 调整 $Z - I$ 关系

利用最优化方法调整本地 $Z - I$ 关系,首先对雷达基本反射率数据进行质量控制,包括消除噪声等,然后用最优化方法对 $Z - I$ 关系的系数进行检验,用不同强度且回波强度较均匀的 1 h 降水来调整 $Z - I$ 关系中系数 a, b 取不同的 a, b 值代入算法,分别算出不同的 1 h 雨量格点或站点值,将计算得到的降水产品值与雨量计雨量值作判别函数 $(CTF = \min(\sum [(A_i - G_i)^2 + (A_i - G_i)])$ 及区域降水平均相对误差 $(\sum_{i=1}^N \frac{|A_i - G_i|}{G_i}) / N$, 平均绝对误差 $(\sum_{i=1}^N |A_i - G_i|) / N$ 分析。其中 A_i 表示雷达估测降水值, G_i 为相应点的雨量计测量值)。 $Z = aI^b$ 关系系数 a 的取值范围为 120 至 400, b 的取值范围为 1.0 至 2.0 共计算了弱、中等、强、较强等不同等级回波造成的小雨、中雨、大雨、暴雨等级的过程,经计算平均可得,本地化的 $Z - I$ 关系组如下: 20~ 27dBz $Z = 340I^{2.0}$; 28~ 35dBz $Z = 160I^{1.8}$; 36~ 42dBz $Z = 240I^{1.3}$; 43~ 50dBz $Z = 240I^{1.5}$; > 50dBz $Z = 250I^{1.6}$ 。

使用本地化的 $Z - I$ 关系组后,估测降水误差明显减小,特别是对于大雨以上强降水过程。如 2008 年 11 月 7 日 02- 03 时暴雨过程(图略),默认 $Z - I$ 关系使估测雨量明显偏大,组合系数估测雨量与实况比较接近,前者平均相对误差为 73%,后者为 47%,前者平均绝对误差为 19mm,后者为 12mm。

1 2 4 自动站雨量校正

目前利用雨量计较为常用的雷达估测降水校准算法有平均校准法、变分校准法、卡尔曼滤波校准法、最优插值校准法等。经检验, 平均校正法是一种减少总体误差的较好的方法, 但它会对降水较明显的峰值区的轮廓有所掩盖。如利用平均校准法对一次小到中雨降水过程进行补充校正后, 相对误差由原来的 55.4% 下降到 35.9%。

2 临近预测降水产品计算

2 1 计算方法

2 1 1 交叉相关法计算大面积降水回波平均移速

交叉相关算法是跟踪算法之一, 具体方法: 将第一时刻取得的回波图像, 向任一方向移过一定的距离, 然后计算此图像与第二时刻图像之间的交叉相关系数 R 。对于不同的移动位置, 会得到不同的相关系数值, 直到找到极大值 R_{\max} 为止。计算公式如下:

$$R_{(p, q)} = \frac{\left\{ \sum_i \sum_j [\text{Re}(i+p, j+q, t+\Delta t) - \overline{\text{Re}(t+\Delta t)}] [\text{Re}(i, j, t) - \overline{\text{Re}(t)}] \right\}}{\left\{ \sum_i \sum_j [\text{Re}(i+p, j+q, t+\Delta t) - \overline{\text{Re}(t+\Delta t)}]^2 \sum_i \sum_j [\text{Re}(i, j, t) - \overline{\text{Re}(t)}]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

根据交叉相关算法的假设和要求, 计算出的大面积稳定性降水回波的移速与目测法估出的实况回波的移速接近。

2 1 2 未来 1~2 h 降水算法

对资料的范围作有效格点场的选取, 多普勒雷达对反射率因子产品的最大可测距离为 460 km, 有效扫描半径为 230 km 左右, 我们选取以雷达为中心的 600 km × 600 km 格点区, 都在可测距离范围内; 桂林市 13 个县位于以桂林为中心 200 km × 200 km 范围内, 据统计, 影响桂林地区的降水回波的移动速度大多在 65 km/h 以下, 所以对于该区域内的任一站点, 未来 1~2 h 将影响它的上游回波的格点都在距离它 130 km 范围内, 再与各该县距雷达的最大距离 (100 km) 相加, 也在 230 km 以内, 即用于 1~2 h 雨量计算的所有格点的回波都在有效范围内, 计算出来的预测雨量也是可靠的。计算 200 km × 200 km 区域内任一格点的 1 h 降水量, 可以分解为该格点上游各格点上的降水强度与一个格距降水时间的乘积的累积值, 任意格点 (i_1, j_1) 的 1 h 雨量利用公式 (2) 进行计算:

$$\text{RR}(i_1, j_1) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \text{Rh}(i_k, j_k) \quad (2)$$

式中: n 为格点上游沿 X 方向的总格点数: 由 $v \cos \theta$ 取整得到, θ 为风向与 x 轴的夹角, v 为回波移速, $\text{RR}(i_1, j_1)$ 为格点未来 1 h 降水总量; $\text{Rh}(i_k, j_k)$ 为上游各格点的降雨强度, 它由反射率因子通过组合 $Z-I$ 关系得到。实际应用时可按需要得到未来 30 min, 1 h, 2 h 等不同时效的临近预报定量降水产品, 经检验, 预测降水随着回波变化加快, 时效增长, 误差明显加大, 对于较稳定的大范围降水回波, 时效在 2 h 内临近预报产品仍有较好的参考价值。

3 预警信息产品

3 1 强降水预警信号标准

根据广西壮族自治区暴雨预警信号标准: 6 h 内降雨量达 50 mm 以上, 或者已达 50 mm 以上且降雨可能持续, 应发布暴雨黄色预警信号; 3 h 内降雨量达 50 mm 以上, 或者已达 50 mm 以上且降雨可能持续, 应发布暴雨橙色预警信号; 3 h 内降雨量达 100 mm 以上, 或者已达 100 mm 以上且降雨可能持续, 应发布暴雨红色预警信号。

3 2 估测降水预警信号监测

根据新的 1 h, 3 h 及 6 h 雨量分布图, 按照广西暴雨预警信号标准, 自动生成暴雨预警信号等级分布图。图 1(a) 是动态监测过程中 2008 年 6 月 12 日 20 时监测到的短时暴雨预警信号分布图, 其分辨率可以精确到每 1 km, 共出现了黄色、橙色和红色 3 种预警信号, 短时暴雨主要发生在中南部, 出现了多处 3 h 降水达到

100 mm 以上的红色预警地点,最大的出现在桂林与柳州的交界处,也就是永福与柳城县之间,与 20 时前 6 h 估测雨量分布图 (1(b)) 中的强降雨中心基本一致。

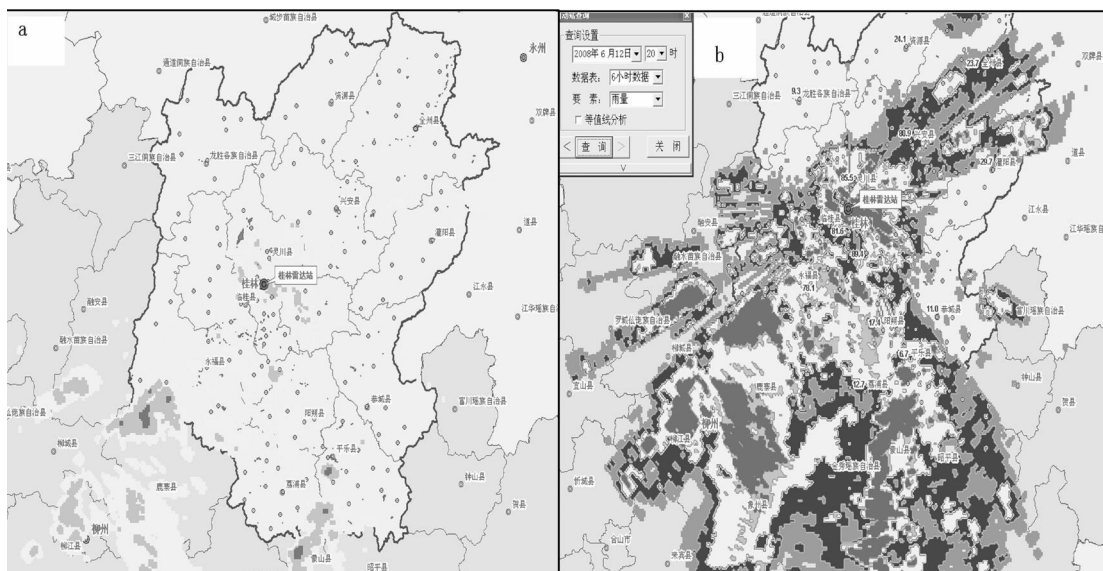


图 1 2008 年 6 月 12 日 20 时 6 小时估测降水与暴雨预警信号分布图

Fig 1 Distribution of early warning signal of precipitation and rainstorm for June 12, 2008 estimated 6 h ahead

3 3 预测降水配合估测降水监测发布预警信号

将未来 1~ 2 h 预测降水与过去 1~ 6 h 估测降水结合使用,可定量计算过去 2 h 与未来 1 h 各格点的 3 h 累积雨量,或过去 4 h 与未来 2 h 的各格点的 6 h 累积雨量等,为提前发布暴雨预警信息提供客观定量依据。如 2006 年 7 月 15 日 19 时利用雷达资料计算过去 2 h 雨量估测与未来 1 h 预测雨量的累积图中,南部暴雨范围明显增大,其中阳朔 57mm、恭城 20mm、平乐 68mm、荔浦 34mm,与 17- 20 时自动站实况累积雨量对比,合成雨量图上强降雨中心分布及量级大小与实况基本一致,阳朔为 59mm、恭城 18mm、平乐 75mm、荔浦 33mm。

4 预警系统平台特点介绍

将具有各级地名及地理边界的地理信息系统应用于分辨率 1km × 1km 的雷达降水产品显示中,动态监测雨量变化,每 6 min 一次自动合成短时暴雨预警信号等级分布图,对达到暴雨预警信号标准的站点通过手机自动向预报员发布暴雨预警信号提示信息,并将自动站监测资料查询功能集于一体,形成桂林雷达定量降水监测预警系统平台,从而有效监测预警短时暴雨的发生。

平台以菜单的形式实现四大功能: (1) 自动站资料查询: 可以快速查询自动站数据库中任意时刻(段)雨量、气温资料,并可对要素值进行等值线分析、彩色填充。(2) 定量降水实时监测: 每 6 min 一次生成实时雷达回波、1 h 3 h 6 h 估测降水、短时暴雨预警信号分布图。(3) 定量降水临近预测: 每 6 min 一次生成未来 1 小时雷达回波预报、未来 1 h 2 h 临近预测降水分布图(如图 2), 并可将各自动站点预测雨量值分县用表格形式按雨量从大到小排序显示。(4) 暴雨预警信号监测及发布: 每 6 min 一次自动生成实时暴雨预警信号分布图,及时了解突发性、持续性强降水分布情况;将降水估测与预测产品进行滚动累加,得到最近 3 h 或 6 h 雨量临近预报合成产品,对于达到暴雨预警信号的站点,通过手机自动发布暴雨预警信号提示信息。如: 2008 年 11 月 7 日 5 时 20 分发布短信为“暴雨黄色预警 03 至 06 时冠岩 50 mm 金鸡河水库 57 mm”,实况这两个站 7 日 06 时达到相应预警信号标准,整个过程自动监控执行。

5 应用实例及效果检验

用雷达估测预测累积产品资料对 2006- 2008 年中的 4 次暴雨过程共 8 个不同时段进行试应用(如表

1), 得到较好的累积降水估测预测效果, 用估测预测累积雨量与自动站实况雨量进行误差计算, 平均相对误差为 37.7%, 平均绝对误差为 6.24 mm, 对于暴雨过程来说, 都达到了较小的误差值。其中前 2 h 估测与后 1 h 预测得到的 3 h 累积降水与实况雨量对比如图 3 所示, 降水分布趋势及中心值都有较好的对应。



图 2 2008 年 11 月 7 日 7 时未来 2 h 雨量预测 (色标值) 与过去 3 h 自动站雨量 (数值)

Fig 2 Rainfall in past 3 h from auto station (numerical values) and in future 2 h from prediction (colour sign) for 2008-11-07 T₀ 7:00

表 1 20060715、20070607-09、20080612、20080803 四次暴雨过程中的误差检验

Table 1 Error check of 4 rainstorms on 20060715, 20070607-20070609, 20080612 and 20080803

过程分类	平均绝对误差 <i>h</i> mm	平均相对误差 %
前 2 h 估测与后 1 h 预测 (4 次)	4.796	38.7
前 5 h 估测与后 1 h 预测 (4 次)	7.706	36.8
前两类 8 次过程	6.243	37.7

06071517-20、07060710-13、08061209-12、08080304-07 四次暴雨过程估测预测雨量与实况雨量对比

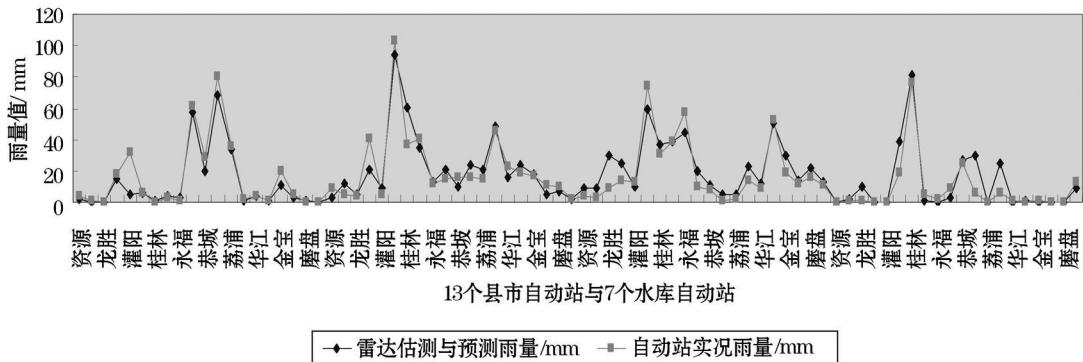


图 3 2006-2008 年 4 次暴雨过程的 3 h 估测预测降水与实况 3 h 雨量对比

Fig 3 Comparison between predicted and measured 3 h rainfall in 13 rainstorms from 2006 to 2008

2008 年 6 月 11-12 日受西风槽低涡切变南压影响, 形成特大暴雨, 漓江超警戒水位 0.91 m, 下游的桂林江平乐站超警戒水位 6.6 m。2008 年 6 月 12 日 7 时, 前 5 h 与未来 1 h 合成降水产品显示, 中部县的灵川、桂林、临桂、永福一带出现 40~60 mm 降水, 实况出现 50~83 mm 降水, 各县 7 时前后相继发布暴雨预警信

号。到 11 时,中部县降水加大,3 h 降水合成产品显示,灵川、永福达到暴雨,实况为灵川 75mm、永福 58mm,两县及时更新暴雨预警信号。

2008 年 8 月 3 日早晨,受两高之间加深的低涡切变的影响,桂林市出现局地大暴雨,引起严重的局地内涝。8 月 3 日 6 时,两小时合成产品显示,桂林市达到 81 mm,桂林发布暴雨橙色预警信号,实况 6–7 时达到 76 mm。

6 结语

暴雨监测预警系统研究主要得到如下结论 ①按照桂林地形制作共包括 10 个面的本地雷达混合扫描面,按照回波强度分级调整 Z–I 关系,得到桂林共 5 级的 Z–I 关系组,有效优化了雷达估测降水产品。②用高分辨率雷达数据计算未来 1~2 小时预测雨量,并与估测降水结合使用,为提前发布暴雨预警信号提供客观定量依据。③将具有各级地名及边界的地理信息系统应用于多普勒天气雷达估测预测降水产品中,结合自动站资料开发雷达定量降水监测预警系统平台,自动生成暴雨预警信号分布图,实时监测预警强降水,通过手机自动向预报员发布暴雨预警信号提示信息。

参考文献:

- [1] 冯强,王昂生,李吉顺. 我国降水的时空变化与暴雨洪涝灾害 [J]. 自然灾害学报, 1998, 7(1): 87–92.
- [2] 高煜中,邢俊江,王春丽,等. 暴雨山洪灾害成因及预报方法 [J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 65–70.
- [3] 魏丽,陈双溪,吴涛. 江暴雨型地质灾害的调查与对策研究 [J]. 自然灾害学报, 2006, 13(1): 151–153.
- [4] 陈豫英,赵光平,王红英,等. 宁夏地质灾害气象预报预警研究 [J]. 自然灾害学报, 2006, 17(3): 81–86.
- [5] 景学义,王开宇,贾艳辉,等. 哈尔滨市地质灾害气象诱因分析及监测预警 [J]. 自然灾害学报, 2008, 17(1): 139–142.
- [6] 黄勇,胡雯,张爱民,等. 淮河流域致洪暴雨预警系统 [J]. 气象, 2006, 32(5): 105–109.