

雷达降水估测优化及其在暴雨预警中的应用

周文志¹ 王艳兰¹ 李耀先²

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

摘要 根据多普勒雷达反射率因子、自动站雨量资料, 运用降水算法、最优插值法、交叉相关法计算校正降水估测及预测产品, 经检验, 降水估测、预测产品能达到较高的准确率。将两种产品结合使用生成不同时间段的累积降水合成产品, 应用于 0604 号台风“碧利斯”及“070608、080612、080803”低槽(涡)及切变线强降水过程的临近预报服务中, 及时有效指导连续性大暴雨过程各级暴雨预警信号的发布。结果表明, 降水合成产品对暴雨预警信号的等级及发布时间的确定有较好的指导作用, 在没有安装自动雨量站的区域, 其指导作用更为重要。

关键词 多普勒雷达 降水估测与预测 暴雨预警信号

引言

台风及低涡切变暴雨是华南的主要暴雨类型, 在用常规资料对暴雨的探讨分析方面, 气象工作者作了较深入的分析研究, 如尹洁^[1]、周国莲等^[2]对台风及热带风暴暴雨进行了综合分析, 王莉萍^[3]、王繁强等^[4]对致洪暴雨进行动力学诊断与中尺度数值模拟。随着多普勒雷达资料的广泛应用, 人们在应用雷达资料研究暴雨的预警预报方面也作了一些尝试, 张信华^[5]、赵放等^[6]对闽北持续暴雨预报及台风预警进行了尝试, 何健等^[7]利用雷达回波与 GIS 技术反演面雨量研究, 杜惠良等^[8]利用图像分析法对台风 0~3 h 雨量等级预报作了尝试。本文利用多普勒雷达反射率因子等产品, 根据降水算法作过去几小时雨量累积估计, 并运用交叉相关法计算稳定性大面积强降水回波的平均移速, 从而计算未来 1~2 h 降水预测值, 两者结合使用合成最近 3 h 及 6 h 降水累积值, 进行强降水监测与预警, 为短时暴雨临近预报、预警信号的发布以及减灾防灾决策提供依据。

1 过去时段累积雨量估测

1.1 资料处理

将雷达二进制基数据文件中的基本反射率因子

值 $R_e(i, j)$ 读出, 由于地面降水量、降水范围与 1200 m 高度层降水回波相关性最大, 所以自内向外取一个近距离高仰角、远距离低仰角的本地混合扫描面^[9]的回波进行计算, 这样还消除了一些雷达站附近的地物强回波对降水预报的误差。使用极坐标-直角坐标转换公式(1)、(2)将极坐标数据进行转换, 对不在极坐标节点上的反射率格点值 $R_e(i, j)$ 利用双线性内插方法进行插值。

$$r = \sqrt{(i-300)^2 + (300-j)^2} \quad (1)$$

$$\varphi = \arctg |(i-300)/(300-j)| \quad (2)$$

其中 r 、 φ 分别为格点 (i, j) 的径向距离和方位角。进行笛卡尔坐标转换, 截取一个 600 km×600 km 格点资料场, 格距 1 km×1 km。用双线性内插值法处理后的笛卡尔坐标格点回波图, 回波边沿失真很少。

1.2 累积雨量估测算法

根据 $Z-Z_{dBz}$ 关系: $Z=10^{(Z_{dBz}/10)}$ 和默认的 $Z-I$ 关系: $Z=300I^{1.4}$, 得到任意点 (i, j) 某时刻 (t) 直接的反射率因子-雨强关系: $I(i, j, t) = e^{[(R_e(i, j, t)/10 \ln(10) - \ln(300))/1.4]}$ 。利用每 6 min 一个体扫得到本地混合扫描面反射率因子产品确定此时刻的雨强, 对连续多个体扫进行时间积分得到这一时段的累积降雨量估计, 再利用对应时段中每小时自动

站雨量资料作最优插值订正,得到订正后的降水累积估测产品。

2 未来 1~2 h 降水预测

2.1 交叉相关法计算大面积降水回波平均移速

将第 1 时刻取得的回波图像,向任一方向移过

$$R_{(p,q)} = \frac{\{\sum_i \sum_j [R_e(i+p,j+q,t+\Delta t) - \bar{R}_e(t+\Delta t)][R_e(i,j,t) - \bar{R}_e(t)]\}}{\{\sum_i \sum_j [R_e(i+p,j+q,t+\Delta t) - \bar{R}_e(t+\Delta t)]^2 \sum_i \sum_j [R_e(i,j,t) - \bar{R}_e(t)]^2\}^{\frac{1}{2}}}$$

(3)

$R_e(i,j,t)$ 为 t 时刻(前第 4 个体扫的时间)横坐标为 i 纵坐标为 j 的网格上反射率因子分布值,在 $t+\Delta t$ 时刻(最近一个体扫的时间)为 $R_e(i,j,t+\Delta t)$ 。把后者看作是前者在 i 方向移动 p ,在 j 方向移动 q ,就可以求出间隔 Δt 时间的两个回波相关系数。根据算法的假设和要求,计算大面积稳定性降水回波的移速是可行的,计算 5 次过程回波的整体移速与目测法估出实况回波的移速接近。

2.2 未来 1~2 h 降水算法

2.2.1 资料范围选取与预测降水算法

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,桂林 13 个县位于以桂林为中心 200 km×200 km 范围内,据统计,影响桂林辖区降水回波的移动速度绝大多数在 65 km/h 以下,所以对于桂林市区域内的任一站点,计算未来 1~2 h 雨量所用到的格点都在有效范围内,因此该站点计算的预报降水量是可靠的。

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(4)进行计算:

$$R_R(i_1,j_1) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n R_h(i_k,j_k)$$

(4)

其中 n 为格点上游沿 x 轴方向总格点数;由 $v\cos\theta$ 取整得到, θ 为风向与 x 轴的夹角, v 为回波移速, $1/n$ 表示 x 轴方向一个格距所经历的时间, $R_R(i_1,j_1)$ 为格点未来 1 h 降水总量(mm); $R_h(i_k,j_k)$ 为上游各格点的雨强(mm/h),它由该格点的反射率因子值决定,经过反复试验,由于使用默认的 $Z-I$ 关系时,只有中等回波造成的小到中雨降水过程相对误差较小,对弱回波造成的小雨或强回波造成的大到暴雨降水过程及混合型回波造成的降水过程预测误

一定的距离,计算此图像与第 2 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,直到找出极大值 $R_{\max}$ 为止。计算公式如下:

差明显增大,所以在预测降水时,按不同强度的 dBz 分级统计得到的 I 等级对应关系(表略)计算每一格点未来 1~2 h 的累积雨量。

2.2.2 估测、预测降水产品误差初步检验

降水估测产品与实况站点雨量值之间存在着一定的误差,但降水分布范围、强降水区及强降水中心都能较好的所映出来,经过雨量站校正后,区域降水平均相对误差可降至 28% 以下^[9]。对于大面积稳定性降水过程,应用 $Z_{\text{dBz}}-I$ 等级关系参与计算的未来 1~2 h 雨量预报产品能达到较好的预测效果,尤其是 1 h 以内的预测产品与实况场比较吻合,量级大小基本一致。对估测预测累积降水的误差用 2006~2008 年 4 次暴雨过程共 8 个不同时段进行初步检验,得到较好的累积降水估测预测效果,估测预测累积雨量与自动站实况雨量误差见表 1,平均相对误差为 37.7%,平均绝对误差为 6.2 mm,对于暴雨过程来说,误差较小。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 1。

表 1 2006(0715)、2007(0607-09)、2008(0612)、2008(0803) 4 次暴雨过程中的误差检验

过程分类	平均绝对 误差/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

3 估测预测合成产品在台风及低涡切变暴雨预警信号中的应用

3.1 台风暴雨及低涡、切变暴雨过程概况

2006 年 7 月中旬受第 04 号强热带风暴“碧利斯”的影响,广西大部分地区出现大暴雨过程,桂林南部县出现连续性大暴雨过程,其中 16 日平乐县出

06071517-20、07060710-13、08061209-12、08080304-07 4次暴雨过程估测预测雨量与实况雨量对比

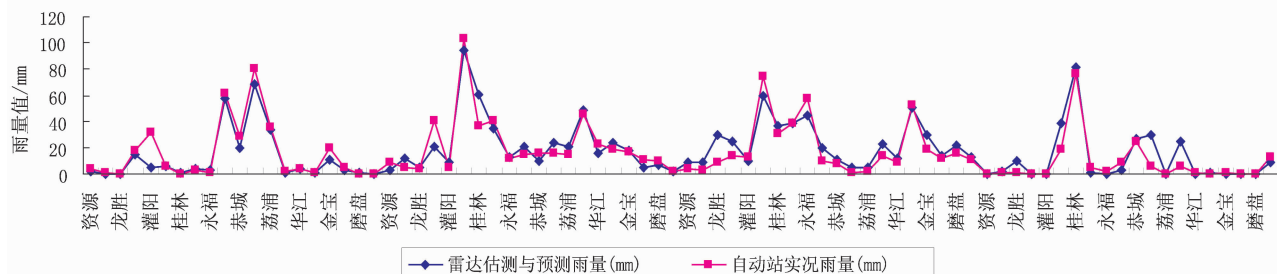


图1 4次暴雨过程的雷达前2 h估测与后1 h预测累积雨量与实况雨量对比

现的特大暴雨,造成50年一遇的洪涝灾害。2007年6月6~9日,受高空槽、中低层西南低涡切变及地面静止锋东南移影响,桂林市出现连续强降水过程,累积雨量达200 mm以上的有5站,7日20:00,漓江超警戒水位1.31 m,湘江超警戒水位3.69 m。2008年6月11~12日受500 hPa高原槽东移、850 hPa低涡切变线影响,桂林市出现特大暴雨过程,漓江超警戒水位0.91 m,下游的桂江平乐站超警戒水位6.6 m。2008年8月3日早晨,受两高之间加深的低涡切变影响,桂林市区出现局地大暴雨,内涝严重。

3.2 合成产品在暴雨预警信号中的应用

利用雷达资料作过去1 h、2 h、3 h和6 h雨量实况估计,可及时了解突发性、持续性强降水分布情况。将雨量估测与预测算法联合应用,对过去1~6 h与未来1~2 h雨量进行滚动累积,得到最近3 h或6 h累积雨量,客观指导达到暴雨以上的站点发布暴雨预警信号。

合成产品的应用:2006年7月15日16:00~18:00 3 h的降水估测产品中,南部平乐县出现暴雨区,当时平乐自动站3 h雨量实况为56.3 mm,与实况雨量60.7 mm相差较小;16:00~22:00,南部持续暴雨,在6 h累积降水估测产品中,南部出现50 mm以上降水的范围扩大,其中平乐到阳朔一带出现了100 mm以上的大暴雨区域,当时南部县自动雨量站对应时段的6 h的雨量实况为:阳朔75.6 mm、恭城32.8 mm、平乐114.5 mm、荔浦55.5 mm,说明雷达估测降水能较好地反映强降水范围与中心,可用于指导县、乡(镇)、屯的暴雨预警信号发布。结合雨量计实况与估测降水分布图,平乐、阳朔及荔浦县分别于18:00、22:00先后发布了暴雨橙色、暴雨黄色预警信号。2008年8月3日06:00,用

前1 h估测降水与后1 h预测降水所作的2 h合成产品显示,桂林市区达到81 mm,及时发布暴雨橙色预警信号,06:00~07:00实况为76 mm(图2,见图版)。

2007年6月7日12:00计算前2 h与后1 h雨量合成图如图3(见图版),可以看到灵川、桂林一带出现暴雨区,其中灵川94.4 mm,桂林60.1 mm,桂林、灵川于12:00发布暴雨橙色预警信号,比平常提前1 h发出预警,灵川、桂林10:00~13:00 3 h雨量实况分别为93 mm、64 mm。

为进一步了解降雨强度中等但降水时间长而造成的暴雨,用过去5 h与未来1 h合成雨量,如2006年7月16日08:00的6 h合成雨量图中,除前面不断用3 h合成雨量图发现的阳朔、平乐达到50 mm以上外,在6 h合成图上荔浦出现50 mm以上,达到暴雨黄色预警信号标准,市气象局08:00通知荔浦县及时发布了暴雨黄色预警信号,比平常提前了1 h发出,荔浦03:00~09:00雨量实况为53 mm。2008年6月12日07:00,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07:00前后相继发布暴雨预警信号。到11:00,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75 mm和58 mm,两县及时更新暴雨预警信号。

4 结论

(1) 利用雷达反射率因子资料可任意计算出过去连续几个小时的降水值,得到累积降水估测值分布图,经检验,降水估测与实况误差较小,可应用于强降水灾害性天气特别是边远山区突发性暴雨的预警防灾服务工作中。

(2) 用交叉相关法计算大面积稳定性降水回波的移速,根据外推法累积格点上游回波计算未来 1~2 h 的雨量,应用于大范围稳定性降水的短时临近预报业务中。

(3) 将降水估测与预测产品结合使用,合成最近 3 h、6 h 等不同时段的降水累积滚动预报,应用于暴雨监测预警工作中,及时发布暴雨预警信号,收到良好的预警效果,为各级政府部门抗洪抢险工作提供了决策依据。

参考文献

[1] 尹洁,王欢,陈建萍,等. 强热带风暴碧利斯造成华南持续大暴雨成因分析[J]. 气象科技,2008,31(1):63-68.
[2] 周国莲,鲁亚斌,张腾飞,等. 一次孟加拉湾风暴影响下云南持

续性暴雨天气诊断分析[J]. 气象科技,2006,34(3):280-285.
[3] 王莉萍,枕桐立,崔晓东,等. 一次冷涡暴雨的中尺度对流云团分析及数值模拟研究[J]. 气象科技,2006,34(1):22-28.
[4] 王繁强,周阿舒,李业明,等. 一次特大暴雨过程的数值模拟试验[J]. 气象科技,2005,33(5):408-412.
[5] 张信华,郑琳,徐跃勤,等. 多普勒雷达资料在闽北持续性暴雨预报中的应用[J]. 气象科技,2007,35(增刊):74-78.
[6] 赵放,冀春晓,钟建锋. CINRAD-SA 雷达在正面登陆台风预警中的应用[J]. 气象,2006,32(2):46-51.
[7] 何健,王春林,毛夏,等. 利用雷达回波与 GIS 技术反演面雨量研究[J]. 气象科技,2006,34(3):336-339.
[8] 杜惠良,腾卫平. 利用雷达作台风 0~3h 雨量等级预报[J]. 南京气象学院学报,1996,19(4):473-477.
[9] 王艳兰,汤达章,周文志,等. 多普勒雷达降水产品优化[J]. 气象研究与应用,2007,28(1):41-44.

Application of Radar-Predicted/Estimated Precipitation Products in Rainstorm Warning

Zhou Wenzhi¹ Wang Yanlan¹ Li Yiaoxian²

(1 Guilin Meteorological Bureau, Guangxi Autonomous Region, Ginlin 541001;
2 Guangxi Autonomous Regional Meteorological Bureau, Nanning 530022)

Abstract: Based on the Doppler radar basic reflectivity and rain gauge data, the estimated and predicted precipitation products are produced by means of the precipitation algorithm, the optimal interpolation method, and the cross-correlation method. The verification indicates that the estimated and predicted rainfall is more accurate. With the two kinds of precipitation products, the accumulated precipitation products for different periods were generated and applied in the nowcasting services of the typhoon Bilis (200604), and some other severe rainfall events (070608, 080612 and 200803) induced by low-pressure vortex shears. On the basis of the accumulated precipitation products, the yellow and orange rainstorm warnings were issued on these processes timely and effectively. The results show that the accumulated precipitation products play an important role in determining the grades and the issuing time of warning on continuous heavy precipitation processes. In the region without automatic meteorological stations, the significance is even more prominent.

Key words: Doppler radar, precipitation estimation and prediction, rainstorms warning

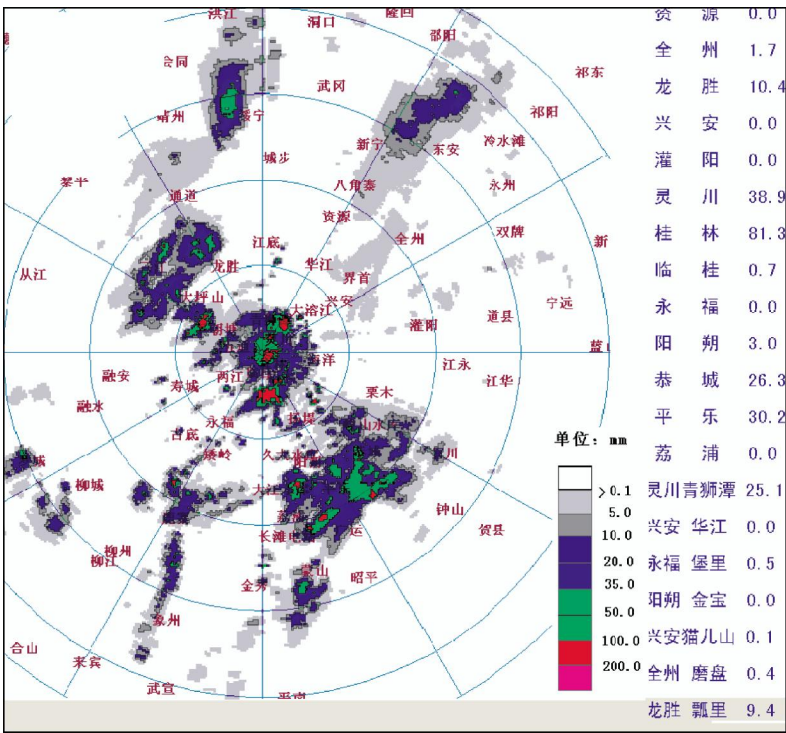


图 2 2008 年 8 月 3 日 06:00 雷达前 1 h 估测与后 1 h 预测累积雨量

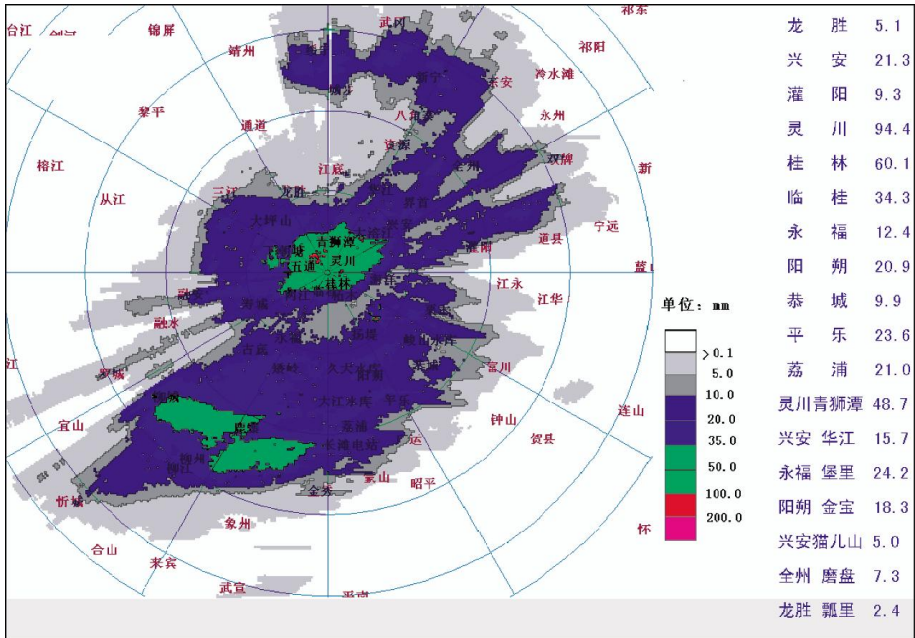


图 3 2007 年 6 月 7 日 12:00 雷达前 2 h 估测与后 1 h 预测累积雨量