

# 淮河流域致洪暴雨预警系统

黄 勇<sup>1,3</sup> 胡 雯<sup>2</sup> 张爱民<sup>3</sup> 郑媛媛<sup>3</sup>

- (1. 南京大学大气科学系, 210093; 2. 安徽省气象局;  
3. 安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室)

**提 要:** 介绍淮河流域暴雨预警系统和所采用的处理方法。该系统利用合肥 CINRAD 雷达体扫资料, 配合地面雨量观测资料, 采用最优判别系数法建立了适合淮河流域的  $Z-I$  关系, 用以估算每 6 分钟的降水量。此外系统还在区分 GMS-5 卫星云图上不同种类云系的基础上, 配合地面观测, 采用数理统计方法建立了淮河流域 GMS-5 卫星估算降水多通道经验公式。在 CINRAD 雷达和 GMS-5 卫星的雨量估算结果的基础上, 通过与站点观测雨量的对比分析, 利用数理统计方法对这两类估算雨量资料进行了集成。集成估算得到的雨量值较单独用 CINRAD 雷达或 GMS-5 卫星进行雨量估算的结果在精度上有所改进, 能更精确地对淮河流域雨量进行估算, 进而结合 HLAFS 数值预报产品进行致洪暴雨的预警。该系统在 2003 年汛期成功地对淮河流域出现的几次暴雨过程进行了预警, 汛期服务效果显著。

**关键词:** 致洪暴雨预警 CINRAD 雷达 GMS-5 卫星 HLAFS

## Flood-Causing Torrential Rain Forecasting and Warning System for Huaihe River

Huang Yong Hu Wen Zhang Aimin Zheng Yuanyuan

- (1. Department of Atmospheric Science, Nanjing University, 210093; 2. Anhui Meteorological Bureau;  
3. Anhui Laboratory for Atmospheric Science & Remote Sensing)

**Abstract:** The Flood-Causing Torrential Rain forecasting and warning system for Huaihe River and its method are introduced. Rainfall was estimated by using of satellite and CIN-

资助项目: 科技部社会公益类研究专项资金项目“基于 CINRAD 雷达和卫星的淮河流域致洪暴雨研究”

收稿日期: 2005 年 4 月 30 日; 修定稿日期: 2006 年 2 月 10 日

RAD-radar data. Furthermore, from GMS-5 Multi-Channel data, we developed the empirical formula of rainfall measurement using statistic method in Huaihe River field. And then, combining the HLAFS data, Flood-Causing Torrential Rain were forecasted and warned. The system was tested by the application of flood season in 2003 and good service effect was received.

**Key Words:** Flood-Causing Torrential Rain forecast and warn CINRAD GMS-5 HLAFS

## 引 言

淮河流域由于其特殊的地形条件,暴雨常造成严重的洪涝灾害,给国民经济和社会发展造成严重影响。因此,加强对淮河流域致洪暴雨的研究,及时准确地进行降雨量的估测和预报对于科学指挥防汛抗洪、减轻灾害损失具有特别重要的意义。

新一代S波段多普勒天气雷达(CINRAD)的业务应用,有利于提高暴雨监测和预报方面的能力<sup>[1-5]</sup>。GMS-5卫星作为国内气象台站普遍接收的一颗静止卫星,利用其对水量进行估算也得到了较大范围的业务应用<sup>[6-9]</sup>,但是在精度上与CINRAD雷达相比却有所逊色。但CINRAD雷达不能保证无时间限制的正常运行,在有效范围以外也不能对降水量进行估算,GMS-5卫星对降水的估测是一个较好的补充。在时间和空间上都保证了对降水量估算的完整性。为此,开发淮河流域致洪暴雨预警系统,结合这两种手段对淮河流域的降水进行估测,同时根据HLAFS数值预报产品,对未来淮河流域可能出现的致洪暴雨进行预警。

## 1 资料处理

由于资料所处坐标系的差异,在利用雷达资料前有必要对雷达估测数据进行重采样。系统采用间接法<sup>[10]</sup>进行雷达资料的重

采样,重采样后雷达估测数据的空间分辨率为 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 。

雷达资料重采样转换公式如下:

$$L = R_m \times \arccos[\cos W_0 \times \cos W_i \times \cos(G_i - G_0) + \sin W_0 \times \sin W_i] \quad (1)$$

$$C = \arccos[\sin W_i - \sin W_0 \times \cos(L/R_m) / \cos W_0 \times \sin(L/R_m)] \quad (2)$$

$G_0$ 、 $W_0$ 是合肥站点所在位置的经纬度。 $G_i$ 、 $W_i$ 是网格点的经纬度。 $L$ 是网格点到合肥站点的地面距离。 $C$ 是网格点的方位角。 $R_m$ 为地球半径取值6371km。

在利用历史资料进行统计回归计算集成参数时,为避免将实际观测雨量插值到网格点上的过程中引入误差,系统将雷达和卫星估算降水资料插值到观测站点上,使之与站点上实测雨量相对应。

## 2 降水量的估算

鉴于雷达和卫星在分辨率上的不一致性,为了保持雷达在估测降水分辨率上的优势,系统将卫星估测数据进行插值,从而达到与雷达估测的分辨率一致。

考虑到关心的重点是致洪暴雨,因此在集成时为简化运算,当雷达估测雨量小于10mm时,不进行集成运算而简单地用雷达或者卫星估测的雨量作为集成雨量。从历史资料(2000—2002年合肥CINRAD雷达和GMS-5降水量估算资料)统计得:雨量小于10mm时,雷达估测雨量总体平均误差

为 0.6，而卫星估测雨量的总体平均误差为 0.8。雷达估算精度高于卫星估算的精度，因此在小于 10mm 时选用雷达估测雨量作为集成的雨量。

当只有一种估测雨量（雷达估测降水或者是卫星估测降水）时，不进行集成运算，而仅仅用这种估测雨量作为集成雨量。

当雷达估测雨量大于 10mm 时，集成区域任一计算点  $(x, y)$  的实际雨量  $R(x, y)$  可以由该计算点的雷达估测方法确定的估值  $r_1(x, y)$  和卫星估测方法确定的估值  $r_2(x, y)$  通过线性组合获得，即有：

$$R(x, y, t) = a_0 + a_1 r_1(x, y, t) + a_2 r_2(x, y, t)$$

其中  $a_0$  是常数， $a_1$  和  $a_2$  分别是  $r_1(x, y)$  和  $r_2(x, y)$  的系数，通过对历史资料的最小二乘法线性拟和，得出参数  $a_0$ 、 $a_1$  和  $a_2$ 。

通过以上分析，总体集成公式如下：

$$R(x, y, t) = r_1(x, y, t)$$

$$r_1(x, y, t) < 10\text{mm 或没有卫星资料}$$

$$R(x, y, t) = r_2(x, y, t)$$

$$\text{没有雷达资料}$$

$$R(x, y, t) = a_0 + a_1 r_1(x, y, t) +$$

$$a_2 r_2(x, y, t) \quad \text{其它}$$

3 致洪暴雨预警标准

根据历史案例分析，以王家坝水位作为参考系较好。通常将能使王家坝水位达到警戒水位（28.0m）以上的降水，称为淮河流域致洪暴雨。我们经对 1950 年以来淮河致洪暴雨的研究证实，淮河致洪暴雨一般是连

续 3 天以上的降水过程，当 3 天累计降水量的区域平均值大于 100mm，王家坝水位将达到警戒水位。因此，可以通过估算 72 小时面雨量平均值是否达到 100mm 来对淮河流域是否出现洪灾进行预警。

4 个例分析

在回归计算上述方程的 3 个参数时，所用的资料有三类：雷达估测的降水量、卫星估测的降水量以及实测的雨量，时间为 2000 年 6 月 2 日、3 日、21 日、27 日和 7 月 12—14 日。表 1 给出各类估测降水量的比较。从表 1 可以看出集成的结果明显有所改进，相对误差有所减小。对于面上的误差而言，集成估测的最好，其次是雷达估测，最差的是卫星估测（说明：2002 年 7 月 23 日过程中不满足集成条件样本没有利用拟和参数进行集成运算）。

表 2 为 2002 年 6 月 23 日 03 时（北京时）降水估算个例，从表中 17 个站集成雨量与实况雨量相比可以看出：实况雨量小于 1mm 的站点共有 7 个，而集成估算雨量中与之相对应的 7 个站点中有 6 个点的雨量小于 1mm，仅有一个站点雨量大于 1mm。对于雨量大于 10mm 的情况，实际观测有 4 个站点雨量满足条件。但是相对应的集成估算的结果中仅有两个大于 10mm。这主要是由于另两个与实际雨量差异较大的站点雷达估算的结果，亦差异较大没能满足大于 10mm 的条件，系统没有对其进行集成运算而是仅仅用雷达雨量替代之。误差主要来源于雷达

表 1 站点上的 1 小时降水相对误差对比

降水过程	雷达（CINRAD）估测	卫星（GMS-5）估测	集成（Consensus）估测
2002 年 6 月 22 日过程	0.413	0.680	0.408
2002 年 7 月 22 日过程	0.407	0.691	0.404
2002 年 7 月 23 日过程	0.310	0.543	0.310

估算降水的误差。从满足集成运算条件的两站点的集成结果来看,估算结果与实际观测结果相接近,相对误差分别为 0.065 和 0.319。此外,还可以看出对于那些雨量介于 1mm 与 10mm 之间的站点来说,估算结果与实际观测结果差异不大。

表 2 2002 年 6 月 23 日 03 时(北京时)站点雨量对照表

站号	经度	纬度	集成雨量 /mm	实况雨量 /mm
58118	116.53	33.28	2.60	1.40
58122	116.98	33.63	3.50	1.50
58125	117.55	33.55	4.70	6.90
58127	117.20	32.97	17.26	16.20
58128	117.32	33.30	5.10	0.00
58129	117.88	33.13	7.50	18.80
58202	115.58	32.63	3.90	4.40
58203	115.82	32.92	3.80	3.40
58210	116.22	32.57	5.90	14.60
58214	116.28	32.33	0.80	0.50
58215	116.78	32.55	6.00	3.00
58220	117.16	32.47	0.70	0.30
58221	117.38	32.95	30.11	44.20
58223	117.98	32.78	0.00	0.00
58225	117.67	32.53	0.30	0.00
58306	115.88	31.68	0.00	0.00
58331	116.50	31.90	0.00	0.00

## 5 淮河流域致洪暴雨预警系统

利用雷达每 6 分钟间隔的体扫资料,采用最优判别系数法建立的  $Z-I$  关系<sup>[11]</sup>来估算每 6 分钟的降水量。通过逐次累加得到每小时的雷达估算降水量。由卫星接收处理系统获取间隔约 1 小时的卫星资料经过定位以及可见光波段的太阳高度角订正后,利用经验公式<sup>[12]</sup>进行 1 小时降水量估算。在得到雷达与卫星 1 小时估算雨量的基础上,根据由历史资料统计得到的三者之间的统计关系式(该统计关系式可以根据历史样本量的增加而改变,即根据历史资料重新计算参数)来计算一小时集成雨量。进一步通过对降水

量的累加得到一定时段内的总降水量。

在 HLAFS 数值预报产品释用方面,采用多因子综合指数法对 HLAFS 产品进行分析,通过对历史个例的回归分析建立综合指数与雨量的统计方程<sup>[13]</sup>,从而实现对降水量的预报。

在得到一定时段内的总降水量以及降水预报的基础上,累加 72 小时淮河流域总降水量预报。从而根据致洪暴雨标准来进行致洪暴雨预警。

## 6 结 语

在暴雨监测方面,相对于卫星观测而言,CINRAD 雷达具有较高的精度和空间分辨率。但是,单部 CINRAD 雷达的观测范围有限,并且不能保证无时间限制的运行。在单部 CINRAD 雷达的观测范围外以及出现故障时,利用气象卫星资料进行暴雨的监测是一种较好的补充。本系统充分考虑了这一点,综合利用两类遥感资料进行淮河流域致洪暴雨的监测。在此基础上结合数值预报产品的释用进行致洪暴雨预警。

但是,由于目前在业务应用中使用的卫星为 FY-2B/C 和 GOES-9,系统中针对 GMS-5 卫星资料的一些雨量计算参数在 FY-2B/C 和 GOES-9 卫星资料上的应用需要进行一定量的修正。因此,系统在卫星降水估算的实际应用中尚存在一定的缺陷。但是,这不影响系统的正常运行,在 2003 年的淮河流域出现的致洪暴雨期间,系统得到了较好的应用,对淮河流域出现的几次致洪暴雨进行了预警。

## 参考文献

- 郭林,陈礼斌,施碧霞等. 闽南地区短时区域暴雨的天气及多普勒雷达资料概念模型 [J]. 气象, 2003, 29 (5): 41-45.

- 2 刘洪恩. 单多普勒天气雷达在暴雨临近预报中的应用 [J]. 气象, 2003, 27 (12): 17-22.
- 3 周海光, 王玉彬. 双多普勒雷达对淮河流域特大暴雨的风场反演 [J]. 气象, 2004, 30 (2): 17-20.
- 4 肖艳姣, 张家国, 万蓉等. 切变线暴雨中尺度系统的多普勒雷达资料分析 [J]. 气象, 2005, 31 (2): 35-38.
- 5 黄小玉, 顾松山, 周雨华等. 岳阳市特大暴雨雷达产品分析及预报服务 [J]. 气象, 2005, 31 (3): 73-76.
- 6 刘权, 王忠静, 张文哲. 气象卫星遥感技术在暴雨预报中的应用研究 [J]. 水文, 2005, 25 (2): 1-3.
- 7 郑峰. 一次热带风暴外围特大暴雨分析 [J]. 气象, 2005, 31 (4): 77-80.
- 8 刘文, 龚佃利, 赵玉金等. GMS 气象卫星在暴雨灾害遥感监测中的应用 [J]. 国土资源遥感, 2004, (4): 14-16.
- 9 刘文, 赵玉金, 张善君. GMS 卫星遥感资料监测暴雨技术 [J]. 气象, 2003, 29 (3): 49-53.
- 10 朱述龙, 张占睦. 遥感图象获取与分析 [M]. 北京: 科学出版社, 120-122.
- 11 郑媛媛, 谢亦峰, 吴林林等. 淮河流域雨季多普勒雷达几种定量估测降水方法比较试验 [M]. 大气科学发展战略文集, 2002, 351-354.
- 12 郑兰芝, 孔庆欣, 吴文玉等. 用 GMS-5 卫星资料反演估算淮河流域致洪暴雨面雨量 [G]. 大气科学发展战略文集, 2002, 346-350.
- 13 陈焱, 王兴荣, 刘忠平等. 用相对时段累积因子预报累计降水的初步探讨 [J]. 气象科学, 2002, 22 (3): 356-36.