

GRAPES 模式在淮河流域面雨量预报中的应用

朱红芳^{1,2} 王东勇² 朱鹏飞² 周 昆²

(1. 南京信息工程大学, 南京 210044; 2. 安徽省气象台)

提 要: 利用我国新一代数值预报模式 GRAPES 输出的降水预报, 制作了 2005 年 7—9 月淮河流域的面雨量预报, 并对其与预报员制作的面雨量预报和面雨量实况进行了对比分析。期间 7 月 4—11 日、7 月 27 日—8 月 4 日淮河流域分别出现了两段集中强降水时间, 给各地造成了严重的洪涝损失, 因此针对这两次强降水过程着重进行了分析和讨论, 同时进一步利用安徽省高密度自动雨量站资料对流域面雨量的估测和预报进行了初步研究。结果表明: 用 GRAPES 模式产品直接制作的淮河流域面雨量预报产品在实际工作中具有较高的参考价值; 高密度雨量站资料的使用有利于提高面雨量实况估测的精度, 更客观地检验面雨量预报产品。

关键词: GRAPES 面雨量预报 对比分析 高密度自动雨量站

Application of GRAPES Model to Area-rainfall Forecast in the Huaihe River Basin

Zhu Hongfang^{1,2} Wang Dongyong² Zhu Pengfei² Zhou Kun²

(1. Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044;
2. Anhui Meteorological Observatory)

Abstract: The Huaihe River Basin area-rainfall forecast, produced by using the output precipitation forecast of the new generation NWP model—GRAPES, is introduced. The testification with the observation and forecast of forecaster is also made. The comparison analysis between the two methods and discussions is focused on two periods when the heavy rainfall led to severe floods in the Huaihe River Basin. One of the periods is from 4 to 11 July 2005, the other from 27 July to 4 August, 2005. Furthermore, the research on the verification with the observation from rain gauges is also described. The results show that the GRAPES output precipitation forecast is suitable and efficient for making the basin area-rainfall forecast. And by using the high resolution rain gauges data, it is propitious to improve the precision of assessing the basin area-rainfall.

基金项目: 安徽省气象局科技带头人项目资金(编号 0504)、安徽省气象局面上项目资金(编号 0601)资助。

收稿日期: 2006 年 7 月 17 日; 修定稿日期: 2007 年 1 月 25 日

Key Words: GRAPES basin area-rainfall comparison analysis high resolution rain gauge observation net

引言

淮河干流发源于河南桐柏山,流经豫、皖、苏三省,全长 1000km,其河道上游落差大,中下游落差很小,部分河段还有倒比降,另外中游的许多河段河道弯曲狭窄,泄水不畅。淮河流域地处我国南北气候过渡带,降水时空分布很不均匀,复杂的气候条件和特殊的地理位置,决定了淮河流域是一个洪涝灾害频繁发生的地区,因此淮河流域面雨量的预报是一项十分重要的气象业务工作,是各级政府组织防汛抗洪和水库调度等决策的重要依据,也是气象部门拓展服务领域的新举措。

面雨量预报是当今气象部门努力研究的课题,气象工作者对此做了大量的工作,如姚学祥、徐晶^[1]等针对 2003 年梅雨期淮河流域大水提出了体积降水量的概念及其计算方法,并进行了流域体积降水量预报试验和预报结果的检验分析;徐晶和毕宝贵^[2-3]、周筱兰^[4]、董官臣^[5]和苗爱梅^[6]对面雨量的不同计算方案中均有分析和阐述;李才媛^[7]、熊秋芬^[8]等分别利用 T213、MAPS 模式产品进行面雨量预报,并对结果进行检验;方慈安等^[9]提出影响面雨量估测的主要差异来源于应用的雨量资料的多少,增加气象站之外的水文站资料的使用可大大提高估测水平。而目前安徽省的面雨量分析与预报方法尚存在不足,在日常的业务工作中没有可供直接参考的预报产品。随着数值天气预报技术的发展,研究数值预报产品的释用技术并将其应用到面雨量预报上成为必然,因此本文利用我国新一代数值预报模式 GRAPES 中输出的降水预报场,对 2005 年 7—9 月淮河流域

面雨量进行了计算,并与实况及预报员主观制作的面雨量预报进行了对比分析。同时进一步利用安徽省高密度自动雨量站资料对 2005 年 7 月 4—11 日、7 月 27 日—8 月 4 日淮河流域这两段集中强降水时间的流域面雨量估测和预报进行了初步研究。从而为流域内的防灾减灾、水资源开发利用和社会经济发展提供更优质的气象服务。

1 天气背景

2005 年 7—9 月淮河干流王家坝站共 4 次超警戒水位,其中 7 月 4—11 日、7 月 27 日—8 月 4 日淮河流域出现了两段集中强降水时间,出现了严重的暴雨洪涝。7 月 1 日—8 月 23 日的实时水位变化见图 1,其中淮河王家坝水位 7 月 11 日 06 时超过警戒水位(王家坝警戒水位 27.5m,保证水位 29.0m),此后继续上涨,于 7 月 13 日 07 时达到 2005 年最高水位 29.14m,超保证水位 0.14m。随后王家坝水位缓慢回落,7 月 16 日下降到警戒水位以下。

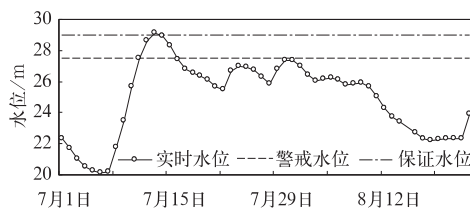


图1 王家坝站 7 月 1 日—8 月 23 日的实时水位变化图

2005 年 7 月初受西太平洋副热带高压控制,安徽省为晴热高温天气,4 日开始华北有弱冷空气南下,副热带高压减弱,华北雨带随低层切变线进入淮河流域中南部。淮河流域中南部 6—10 日连续 5 天出现大范围暴

雨,其中安徽省 6 日 30 个市县出现暴雨,暴雨范围为 2000 年汛期以来最大的一次,24 小时最大降雨量额为 201.8mm。11 日起雨带继续南压,淮河流域过程降水结束。7 月 4—11 日累计雨量:流域北部 0~100mm,流域中南部 100~550mm,其中河南的东部到安徽的沿淮淮北地区 300~550mm,涡阳最大为 545.2mm(见图 2)。由于安徽省淮北和沿淮地区持续暴雨,大部分县市出现了严重内涝。

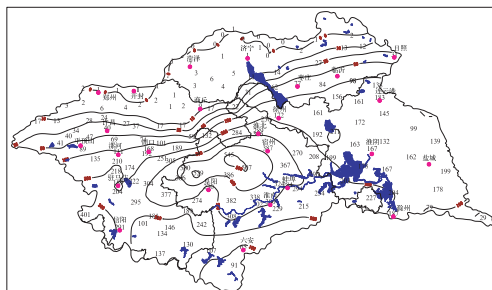


图 2 淮河流域 2005 年 7 月 4 日 08 时—11 日 08 时累计雨量(mm)

7 月下旬至 8 月初淮河流域再次出现两次强降水过程,导致安徽省北部地区重复受灾,内涝严重,再次造成损失。

2 GRAPES 模式简介

GRAPES 全球/区域同化预报模式是我国新一代数值预报模式,是由中国科学家自主研制的、1949 年以来最完整的气象数值预报模式。GRAPES 模式 2005 年初在安徽省气象台高性能计算机上移植成功,于 2005 年 5 月投入实际业务运行阶段。

安徽省气象局使用的高性能计算机是 IBMP690,配备了 32 个 CPU(1.7GHz Power4+),64G 内存。目前安徽省气象台使用的是 GRAPES 模式 2.1 版本,模式试验采用非静力方案,微物理过程采用 NCEP 3-class

简单冰相方案,积云参数化采用 Kain-Fritsch (new Eta)方案。模式的背景场和侧边界使用的是国家气象中心 9210 下发的 T213 L31 预报场,其水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,时间间隔为 6 小时,垂直方向共 13 层,还加入常规地面、高空观测资料对初始场做一次三维变分。模式取安徽省及其邻近地区为计算区域,计算范围为: $25^\circ \sim 43^\circ \text{N}$ 、 $108^\circ \sim 126^\circ \text{E}$,水平分辨率为 $0.1125^\circ \times 0.1125^\circ$,共 164×164 个格点,每天输出每 3 小时间隔的温、压、湿、风和雨量的 72 小时预报。

3 淮河流域分区和面雨量的计算方法

淮河流域分为淮河水系和沂沭泗水系,预报面雨量分为 15 个预报子单元,其中淮河水系分为 10 个子单元,沂沭泗水系分为 5 个子单元。表 1 是各片的划分和代码以及包含的主要气象站点数。

表 1 淮河流域面雨量预报分区

	预报分区	流域代码	区域内站点数
1 区	淮河上游大坡岭至息县	DX	4
2 区	淮河上游息县到王家坝	XW	5
3 区	汝河及洪河上游	RH	7
4 区	史河流域	SH	4
5 区	颍河上游、周口以上	YZ	26
6 区	颍河中游、周口到阜阳段	YF	11
7 区	颍河及颍河下游、淮干	PX	4
8 区	涡河和淮河中游淮干	GH	20
9 区	蚌埠至洪泽湖、淮干中下游以及浍河流域	BH	20
10 区	洪泽湖以下、淮河下游	XY	19
11 区	沂河和沭河下游	SX	14
12 区	沭河上游	SS	2
13 区	沂河上游	YS	6
14 区	枣庄和徐州地区	ZX	8
15 区	南四湖区	NS	25

面雨量实况资料是利用全国 08—08 时雨量按中国气象局《全国七大江河流域面雨量预报业务暂行规定》进行计算得到的。面雨量预报资料的计算方案,是首先取出

GRAPES 模式的降水场预报,再对各片流域内所包含的网格点预报值作算术平均取得所在片的面雨量。各片包含的格点数见图 3。

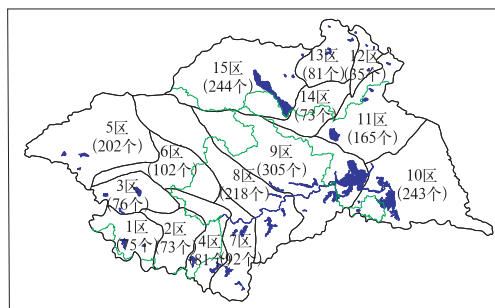


图3 淮河流域分区示意图和各区包含的降水场预报格点数

4 对比分析

4.1 三种统计指标的对比分析

对淮河流域境内的 15 个区域 2005 年 7—9 月的面雨量 24 小时预报资料和实况资料做误差分析,本文使用了 3 种统计评价指标。

$$(1) \text{ 平均绝对误差: } E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |R_{yb} - R_{shk}|,$$

式中 n 为统计样本总数(即总天数), R_{yb} 表示逐日面雨量预报值, R_{shk} 为逐日面雨量实况值。

(2) 相关系数:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \text{ 其中}$$

x_1, x_2, \dots, x_n 和 y_1, y_2, \dots, y_n 分别为各区 1, 2, \dots n 天的逐日面雨量预报值和实况值, \bar{x}, \bar{y} 是样本平均值。相关系数 $|r_{xy}|$ 越大,表示预报场 x 与实况场 y 的关系越密切,其预报水平越高。

(3) 模糊评分检验:为了较客观地评定面雨量预报,引入了中国气象局提供的模糊综合评分方法(中国气象局 2002 年 96 号文

件《关于下发全国七大江河流域面雨量预报业务暂行规定的通知》)。根据所给的条件,给每个对象赋予一个评判指标,称之为模糊评分。当空报和漏报时,模糊评分为 0,对某区域某等级的降雨预报的模糊评分公式如下: $MP(j, i) = 60 + 40 \times (1 - \frac{|F_i - O_i|}{\text{MAX}(j)})$,

式中 i 表示第 i 个流域, j 表示预报等级, $|F_i - O_i|$ 为等级误差, $\text{MAX}(j)$ 为最大等级误差。其中第一项是有雨预报正确的基础分,规定为 60 分;第二项是强度(等级)预报的加权分。根据误差大小计算的模糊评分,表征预报贴近实况的程度,分值越高,预报越接近于实况。

$$MP(i) = \frac{1}{n} \left[\sum_{j=1}^N MP(j, i) \right] \text{ 为第 } i \text{ 个流}$$

域面雨量在所有量级的平均模糊评分, N 为降水等级总数,这里将降水分为 0.0~3.0、3.0~10.0、10.0~20.0、20.0~30.0、30.0~60.0、60.0~120.0mm 和 120.0mm 以上共计 7 个等级。

使用这 3 种统计评价指标,本文用淮河流域境内的 15 个区域 2005 年 7—9 月 GRAPES 与预报员的 24 小时面雨量预报资料和实况资料做了误差分析,结果见图 4。由图 4 可见,2005 年 7—9 月淮河流域的实际面雨量预报中,用 GRAPES 模式制作的面雨量预报产品对大部分区域的 24 小时预报绝对误差要低于预报员的预报,且相关系数、模糊评分 MP 也优于预报员的预报,部分区域的模糊评分 MP 远高于预报人员的预报,因而具有较高的预报参考价值。

表 2 为 7 月 3—11 日、7 月 27 日—8 月 4 日淮河流域两段集中强降水时间内各区的平均绝对误差和模糊评分 MP 。由表 2 也可得出与上述类似的结论:GRAPES 模式产品加工的面雨量预报对大部分区域 24 小时预报绝对误差要低于预报员的预报,且模糊评

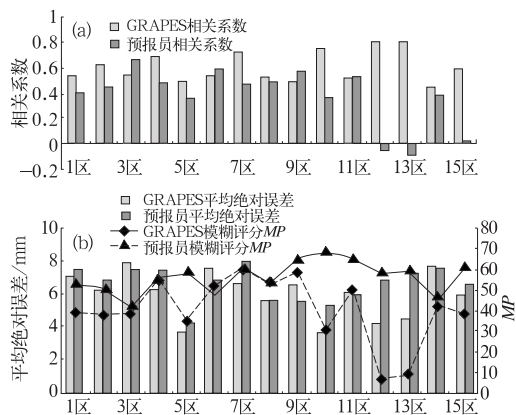


图 4 2005 年 7—9 月各区的 GRAPES 与预报员面雨量 24 小时预报的统计指标

表 2 2005 年 7 月 3—11 日各区的 GRAPES 与预报员面雨量 24 小时预报的统计指标

	7 月 3 日 08 时—12 日 08 时				7 月 27 日 08 时—8 月 5 日 08 时			
	GRAPES 面雨量预报		预报员面雨量预报		GRAPES 面雨量预报		预报员面雨量预报	
	平均绝对误差/mm	模糊评分MP	平均绝对误差/mm	模糊评分MP	平均绝对误差/mm	模糊评分MP	平均绝对误差/mm	模糊评分MP
1 区	22.96	58.14	27.67	49.43	1.38	66.67	2.71	71.00
2 区	11.55	48.83	12.33	55.00	17.03	42.50	15.29	47.50
3 区	10.42	66.67	15.22	64.83	10.50	62.17	10.89	50.50
4 区	13.59	58.14	13.44	60.43	13.93	56.00	16.43	48.00
5 区	2.49	72.29	4.78	64.29	2.58	80.00	8.14	50.60
6 区	16.60	57.00	19.11	63.71	10.47	53.33	13.57	45.50
7 区	15.14	55.14	11.22	62.00	19.12	58.00	17.57	54.00
8 区	13.70	54.29	13.89	52.00	13.24	53.83	13.29	52.83
9 区	12.89	68.38	17.11	51.63	17.55	55.71	10.29	60.00
10 区	6.48	75.00	15.33	23.75	11.44	60.00	8.14	62.17
11 区	12.26	64.33	13.67	52.67	26.97	48.33	14.00	55.50
12 区	4.37	66.67	7.22	22.00	7.83	60.00	12.43	19.00
13 区	2.20	60.00	2.78	44.33	6.32	56.67	9.71	21.67
14 区	7.98	65.40	11.89	53.20	19.27	49.57	7.43	68.14
15 区	1.44	84.00	2.22	53.40	8.81	53.33	5.29	58.33

4.2 高密度自动雨量站资料与实况面雨量资料的比较

目前实际面雨量的估测是以现有的气象台站分布出发,全国七大江河流域面雨量计算统一采用泰森多边形法。在台站数不变化的情况下,泰森多边形法从实际运行情况看较方便,使用效果也较好。而 2005 年安徽省

分 MP 优于预报员的预报。因此在 2005 年淮河大洪水的实际面雨量预报中 GRAPES 模式制作的面雨量预报产品具有较高的预报准确率。

由于 GRAPES 模式每天输出的是 3 小时间隔的预报产品,因而可以制作出 0~6 小时、6~12 小时等较高时间分辨率的面雨量预报产品,在防汛关键时期为政府部门提供更及时、准确、精细的面雨量预报,满足社会需求。目前面雨量实况的估测以及预报员的面雨量预报仅有 24 小时时段的,因此文中未对 GRAPES 模式 6 小时的面雨量预报作具体的对比分析。

高时空密度的自动雨量监测站网已经形成,已布设自动雨量站、自动气象站 911 个。为探讨增加自动雨量站雨量资料后,对淮河流域雨量的估测和预报有无影响,本文选取第 7 区(完全位于安徽省内),对 7 月 3—11 日、7 月 27 日—8 月 4 日这两段时间分别用高密度自动雨量站资料和常规气象站资料,均使用泰森多边形法计算得到的面雨量实况进行

了对比分析。2005 年 7 月 3—11 日用不同雨量资料计算得出的 GRAPES、预报员 24

小时预报的平均绝对误差、相关系数、模糊评分 MP 见表 3、图 5。

表 3 第 7 区 2005 年 7 月 3—11 日用不同雨量资料计算的各统计指标的对比分析

	GRAPES 面雨量预报			预报员面雨量预报			区域内的气象站点数 (个)
	平均绝对误差/mm	相关系数	模糊评分 MP	平均绝对误差/mm	相关系数	模糊评分 MP	
常规气象站	15.14	0.69	55.14	11.22	0.83	62.00	4
高密度雨量站	10.20	0.80	73.33	9.52	0.77	66.67	65

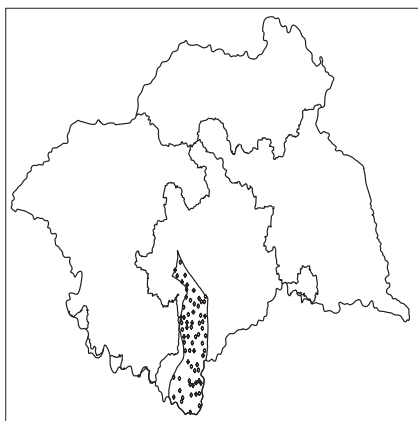


图 5 第 7 区常规气象站(◆点)和高密度雨量站(◇点)的分布

由上表可见,由于常规气象站分布的不均匀以及区域内雨量站数的不同(见图 5),使得在加入了高密度雨量站资料后,GRAPES 模式 24 小时预报的平均绝对误差下降,相关系数、模糊评分 MP 均明显提高,并优于预报员的预报。为进一步进行分析,绘制出 2005 年 7 月 3—11 日逐日的 GRAPES 预报、预报员预报和面雨量实况曲线变化图,由图 6 可见,与用高密度雨量站资料计算出的实况面雨量进行对比,则 GRAPES 模式面雨量预报对 7 月 7—11 日这次过程的开始、强降水出现的时间以及结束都与实况一致,但总体量级偏小。

分别使用 2005 年 7 月 27 日—8 月 4 日常规气象站、高密度雨量站雨量资料,对计算

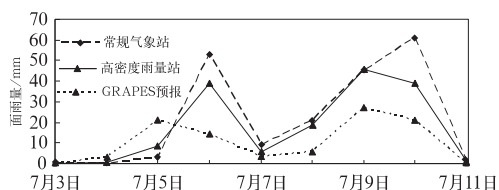


图 6 第 7 区逐日的面雨量实况和 GRAPES 模式面雨量预报

得出的 GRAPES、预报员 24 小时预报的平均绝对误差、相关系数、模糊评分 MP 进行分析(图、表略),可知在加入了高密度雨量站资料后,GRAPES 模式 24 小时预报的平均绝对误差减小,模糊评分 MP 明显提高。

分析原因可知,流域内的一部分区域所包括的常规气象测站非常稀少且分布不均匀,如 1~4 区、7 区、12~14 区只有 2~7 个测站。测站稀少就不能全面反映区域内面上的降水状况,同时降水又是一个不连续量,尤其是夏季强降水具有局地性,测站稀少则点雨量无法代表面雨量,这些都造成对面雨量实况的估测存在较大的计算误差。用这些不真实的面雨量实况估测值来检验各种预报产品,必然导致面雨量预报精度的误差较大。而如果流域内的高密度雨量站数量众多,站网密度大,分布比较均匀,则对这些数量众多的实测雨量进行计算,就可以逼近实际面雨量,得到一个精度高的面雨量实况估测值,用它来检验我们的预报,其可信度会更高。

5 结论和讨论

(1) 利用 GRAPES 模式输出的格点雨量场来制作淮河流域面雨量预报,在淮河流域的实际面雨量预报中具有较好的参考价值。另外高密度雨量站资料的使用有利于提高对流域面雨量实况估测的精度,更客观的检验面雨量预报产品。

(2) GRAPES 模式产品是每隔 3 小时输出,因此可以提供高精细时间分辨率的面雨量预报产品,在防洪关键时刻提供预报人员参考。

(3) 文中仅对 2005 年 7—9 月的 GRAPES 模式预报产品和一个子区域高密度雨量站资料进行了对比分析,得到了一些有价值的参考依据。但由于统计时间长度有限,因此仍需作进一步深入研究和检验。

参考文献

- [1] 姚学祥,徐晶. 2003 年淮河流域大水期间体积降水量的研究[J]. 气象学报,2004,62(6):803-813.
- [2] 徐晶,林建,姚学祥,等. 七大江河流域面雨量计算方法及应用[J]. 气象,2001,27(11):13-16.
- [3] 毕宝贵,徐晶,林建. 面雨量计算方法及其在海河流域的应用[J]. 气象,2003,29(8):39-42.
- [4] 周筱兰,张礼平,王仁乔,等. 应用最优化订正法制作长江上游面雨量预报[J]. 气象,2003,29(3):31-33.
- [5] 董官臣,冶林茂,符长锋. 面雨量在天气预报中的应用[J]. 气象,2000,26(1):9-13.
- [6] 苗爱梅,郭玉玺,武捷,等. 山西省主要河流流域面雨量预报业务流程[J]. 气象,2004,30(9):24-27.
- [7] 李才媛,宋清翠,金琪. 短期强降水面雨量预报与 T213 产品的天气学释用[J]. 气象,2003,29(3):27-31.
- [8] 熊秋芬,王丽,郑启松,等. 三峡区间面雨量预报方法及其预报试验[J]. 气象,2000,26(10):19-23.
- [9] 方慈安,潘志祥,叶成志,等. 几种流域面雨量计算方法的比较[J]. 气象,2003,29(7):23-26.