

彭涛,李俊,殷志远,等.基于集合降水预报产品的汛期洪水预报试验[J].暴雨灾害,2010,29(3):274-278

# 基于集合降水预报产品的汛期洪水预报试验

彭 涛,李 俊,殷志远,沈铁元,李武阶

(中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074)

摘要:为改善因水文模型中降水等输入信息的不确定性对确定性水文预报精度的严重影响,以湖北省漳河流域为例,将中尺度暴雨数值模式(AREM)集合降水预报产品输入到新安江水文模型中,对该流域 2008 年汛期一次典型的洪水过程进行预报测试。结果表明:基于集合数值预报产品的水文预报能在洪峰流量、峰现时间等水文预报要素上获取更多的预报信息,并将单一的确定性预报结果转化为可能发生范围的预报,提高了水文预报结果的可靠性。

关键词:降水集合预报;AREM 模式;水文集合预报;洪水预报;新安江模型

中图分类号:P338+.9 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2010)03-0274-05

## 1 引言

暴雨是我国的主要灾害性天气,其洪涝灾害常给国民经济建设和人民生命财产造成巨大损失。20 世纪 60 年代以来,随着雷达测雨、数值模式预报、水情自动化系统、计算机技术等新技术、新方法的应用,水文预报精度不断提高,预见期有所延长,这为开展防洪减灾决策气象服务提供了科学依据。在水文预报实践中,确定性水文预报的应用最为广泛。然而,对于突发性暴雨洪水,确定性水文预报往往不能为用户提供足够的预报精度和预见期,无法满足防洪减灾对风险信息的需求。水文预报的失真,其原因是多方面的,如理论上存在不足、水文模型有缺陷以及计算偏差等,但主要原因还是对水文预报固有的不确定性分析不足,其中之一就是水文模型降雨等输入信息的不确定性分析<sup>[1-2]</sup>。目前,随着短期降水集合预报技术的发展,国外水文预报领域已开始关注降水集合预报在水文预报中的应用,并对其寄予了很高期望<sup>[3-4]</sup>。降水集合预报产品较单一模式预报产品有较高的准确性以及较好的计算稳定性,因此在水文预报中引入集合预报的降水产品,并形成气象水文预报链,可以提高水文预报的精度和防洪决策调度的科学性。本文以湖北省漳河水库流域为例,基于 AREM 中尺度数值模式集合降水预报产品,输入新安江水文模型,对该流域 2008 年汛期典型洪水过程进行预报测试,以期揭示集合数值预报方法对水文预报精度的改进程度。

## 2 漳河流域概况

漳河发源于湖北省南漳县境内荆山南麓的三景庄,流经保康、远安、荆门、当阳等县(市),于当阳市两河口与西支沮河汇流,全长 202 km。流域为一长条形,自西北向东南倾斜,平均长约 100 km、宽约 30 km,流域面积 2 980 km<sup>2</sup>。漳河水库位于湖北省荆门市境内,漳河水库系拦截漳河及其支流而成,承雨面积 2 212 km<sup>2</sup>,总库容 20.35×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。该流域属长江中游亚热带季风气候区,多年平均降水量为 1 003.6 mm,降水年内分布极不均匀,主要集中在 5—9 月份,此集中期暴

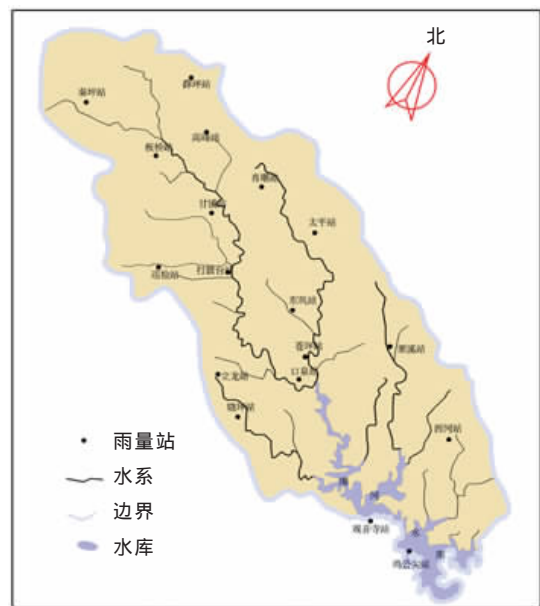


图 1 漳河流域概要及水文监测网站点分布图

收稿日期:2010-07-29;定稿日期:2010-09-02

资助项目:国家自然科学基金资助项目(40675070、50879061、51079099),公益性行业(气象)专项(GYHY200806002、GYHY200906019),湖北省科技攻关计划(2007AA301B57),暴雨研究开放基金(IHR2009G07、08),科研业务项目(1013、1014)

作者简介:彭涛,男,1980 年生,副研究员,主要从事水文气象预报研究。E-mail: pt\_mail@sohu.com

雨次数多、强度大,洪水陡涨陡落,汇流时间短。该流域内水文监测网分布均匀(图 1),且在宜昌、荆州天气雷达监测所及范围,这是开展短期洪水预报试验的有利条件。

### 3 数值模式集合预报试验

#### 3.1 数值模式的选取

中尺度暴雨数值模式(AREM)是中科院大气物理研究所、北京应用气象研究所和中国气象局武汉暴雨研究所在 REM 模式框架基础上发展而成,从 AremV2.1、AremV2.3 到目前的 AremV3.0,其模式分辨率、模式标准化、侧边界条件、模式物理参数化过程、模式初值方案等不断改进和完善<sup>[5-6]</sup>,且开发出与之配套的三维变分同化方案,形成具有较高分辨率并配有三维变分同化系统的中尺度暴雨数值预报模式系统。

多年的汛期预报试验结果表明,AREM 模式对我国南方汛期降水的时空分布有较强的预报能力,能较准确地给出华南前汛期雨带和梅雨期长江流域降水带分布,其主要降水中心位置及强度与实况接近,对降水发生、发展和结束时间也能很好地预报;模式能正确反映我国南方夏季降水的时空演变特征<sup>[6]</sup>。因此,本文选取 AremV3.0 作为集合预报试验的数值模式。

#### 3.2 试验方案与结果分析

选取 2008 年 7 月 21—23 日湖北省一次降水过程(以下简称“08.7”过程)进行数值模式集合预报试验。实况资料表明,21—23 日湖北普降大雨,48 h 内漳河流域累计降水达 150 mm,漳河水库水位 23 日晚骤然抬升 2 m 左右<sup>[7]</sup>。图 2 是此次过程漳河水库流域平均雨量(系指流域面平均雨量,下同)和平均水位时间变化图。

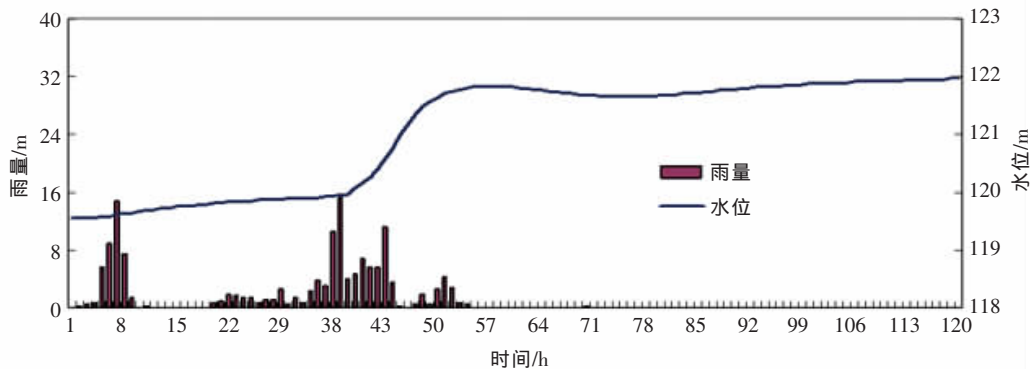


图 2 “08.7”过程漳河水库流域平均雨量和平均水位时间变化图

基于此次过程,在 AREM 集合预报试验中,首先将控制试验(CTL)预报的起始时间确定为 2008 年 7 月 22 日 08:00(北京时,下同),使用 NCEP 1°×1°间隔 6 h 的

再分析资料作为模式初始场和侧边界条件,无嵌套,模式分辨率为 37 km,积分时间 36 h。图 3 为控制预报试验 36 h 累积降水预报结果与实况降水对比分析图。

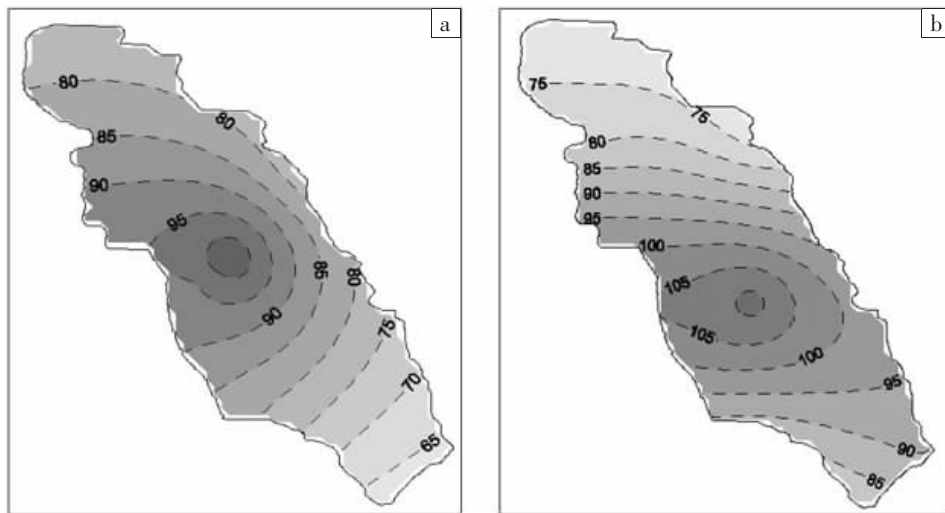


图 3 2008 年 7 月 22 日 08:00 起报的漳河流域未来 36 h 累积降雨量实况(a)与 CTL 方案预报(b)对比图(单位: mm)

从图 3 中可见,控制预报试验结果与实况在空间分布上较为一致;在降水强度上,控制预报试验相对

实况较强,降水中心略偏南。总体上,预报结果较为理想,可以用作洪水预报试验。

在控制试验预报的基础上,采用随机扰动方案,模式起报时间为 2008 年 7 月 22 日 08:00,预报时效 36 h,在控制预报分析场上对风场、温度场、水汽场和地面气压场进行随机扰动,扰动振幅分别取不同模式变量 12 h 的预报误差;然后,与不同随机数相乘得到不同的扰动场<sup>[8-9]</sup>。试验共产生 5 组扰动,在控制预报分析场上随机与扰动场结合形成 5 组预报试验,分别记为 N1、N2、N3、N4、N5 方案,包括控制试验预报一共为 6 个降水集合预报成员。具体扰动场生成方法为

$$P=S_c \times R_m \times R_a \quad (1)$$

式(1)中, $P$ 为随机扰动场, $S_c$ 为扰动振幅控制系数, $R_m$ 为 12 h 预报与分析场之间的均方误差, $R_a$ 为随机分布函数。

表 1 给出根据上述 6 个成员和集合平均预报结果所计算得到的漳河流域 7 月 22 日 08:00 未来 36 h 累积平均面雨量。计算结果显示,流域未来 36 h 可能降水范围为 59.02~105.14 mm,将出现较强降水过程;6 个成员中,试验方案 CTL、N2、N3 的预报结果接近实况,平均值也达到暴雨量级。将这些结果输入水文模型进行水文预报,可以计算相应洪峰流量以及洪峰到达时间,得到洪峰流量及洪峰到达时间可能发生的范围。这在一定程度上解决了单一预报结果的精度问题,将难以做到的精确预报转化为对可能发生范围的预报,更有利于制定相应的防洪减灾措施。

表 1 漳河流域 2008 年 7 月 22 日 08:00 起未来 36 h 降水( $R_{36}$ )实况以及集合预报结果统计表

累积降水	实况	集合预报方案						
		CTL	N1	N2	N3	N4	N5	平均
$R_{36}/\text{mm}$	99.97	104.67	68.02	94.02	105.14	59.02	70.85	83.62

## 4 水文集合预报试验

### 4.1 水文模型的选取

根据试验流域湿润性气候特点,本文选择在国内、外水文预报工作中得到较好应用的新安江模型作为流域水文预报模型<sup>[10-13]</sup>。该模型应用了蓄满产流与马斯京根汇流概念,有分单元、分水源、分汇流阶段的特点,结构简单,参数较少,各参数具有明确的物理意义,计算精度较高。模型通过将全流域分成多个单元流域,在每一个单元流域内,降水经过蒸散发的消耗后,以蓄满产流的方式经产流量水源划分后对各单元流域进行产汇流计算,得出单元流域的出口流量过程;再进行出口以下的河道洪水演算,将各个单元流域的出流过程相加,求得流域的总出流过程。

### 4.2 洪水预报结果评定指标

根据《水文情报预报规范》<sup>[14]</sup>,对洪水试验预报结

果,采用洪峰相对误差和峰现时差两项指标来评定。

#### (1) 洪峰相对误差( $DQ_m$ )

$$DQ_m = |Q_{obv} - Q_{cal}| / Q_{obv} \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中, $Q_{obv}$ 为实际观测流量; $Q_{cal}$ 为模拟计算流量。当模拟计算洪峰相对误差 $\leq 20\%$ 时,即认定该场洪水预报合格<sup>[14]</sup>。

#### (2) 峰现时差( $DT$ )

$$DT = |T_{Q_{计}} - T_{Q_{实}}| \leq 3 \quad (3)$$

式(3)中, $T_{Q_{计}}$ 为预报洪峰流量峰现时间; $T_{Q_{实}}$ 为实测洪峰流量峰现时间。水文业务中常将 3 h 作为峰现时间预报许可误差<sup>[14]</sup>。

## 4.3 试验方案及结果分析

针对上述典型的洪水过程,以 2008 年 7 月 22 日 08 时作为洪水预报初始时刻,该时刻(前 24 h)观测降水作为水文模型初始降水,首先输入 36 h 实况降水进行洪水预报试验,得到实况降水条件下的入库洪水流量过程曲线(图 4),用以与输入模式集合预报产品条件下的入库洪水流量过程曲线进行对比分析;然后,根据 AREM 模式集合预报产品结果(即 CTL、N1、N2、N3、N4、N5 预报结果),分别提取漳河流域未来 36 h 逐时降水预报结果,输入新安江水文模型进行洪水预报试验,其洪水过程曲线如图 5 所示;对预报结果,采用洪峰相对误差及峰现时差对试验结果进行评定,其结果见表 2。

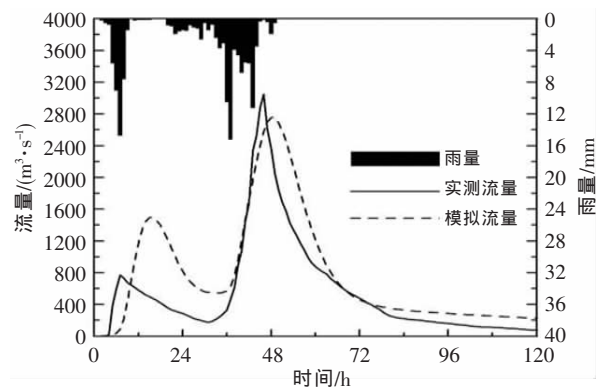


图 4 “08.7”过程漳河流域实况降水条件下的洪水流量过程曲线

表 2 “08.7”过程不同试验方案降水预报结果下的洪水预报评定

预报时刻	实测洪峰/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	试验方案	模拟洪峰/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	相对误差/%	峰现时差/h
7 月 22 日 08:00	3050	实况	2755	9.67	2
		CTL	2927	4.03	2
		N1	1761	42.26	3
		N2	2571	15.70	2
		N3	2944	3.48	2
		N4	1491	51.11	3
		N5	1849	39.38	3

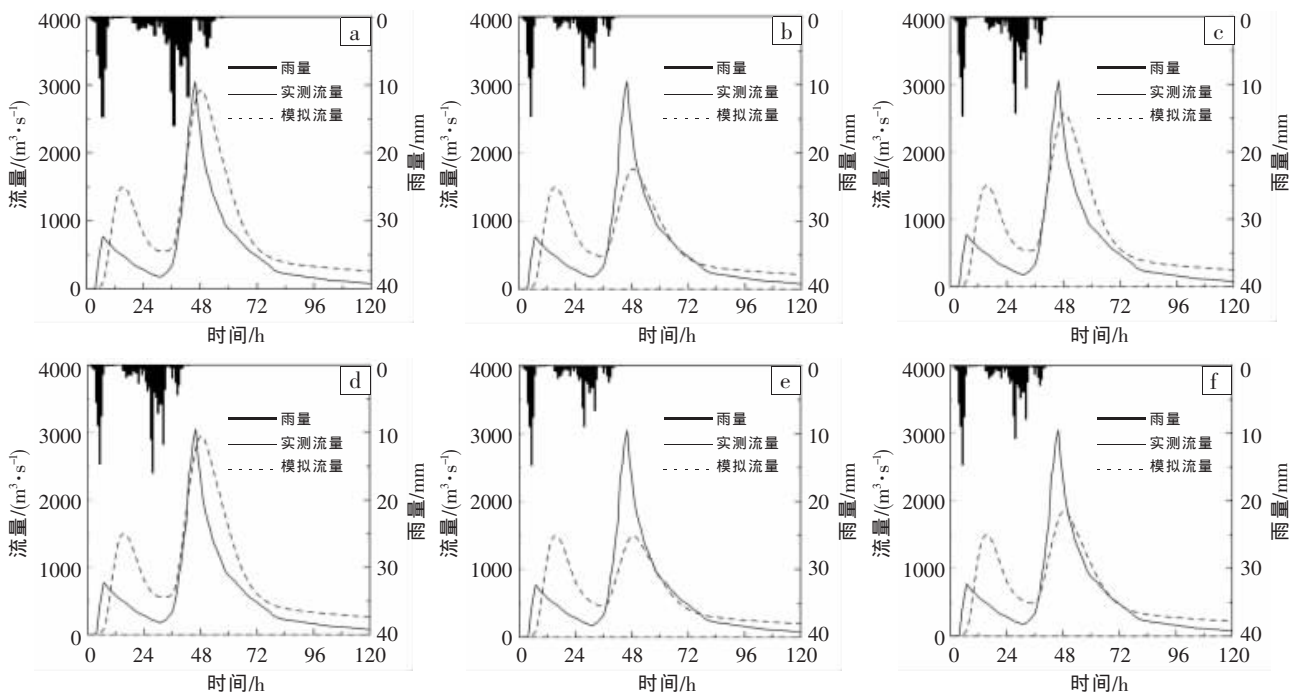


图5 “08.7”过程集合数值预报成员 CTL(a)、N1(b)、N2(c)、N3(d)、N4(e)、N5(f)降水预报结果下的漳河水库洪水流量过程曲线

从图5中可见,输入CTL、N2、N3成员降水预报结果计算所得到的洪水流量过程曲线与实况较为一致(图5a、c、d),而输入N1、N4、N5成员降水预报结果计算所得到的洪水流量过程曲线与实况存在较大误差(图5b、e、f)。其主要原因在于CTL、N2、N3成员降水预报结果与实况降水接近,误差约为5%,而N1、N4、N5成员降水预报结果虽达到暴雨量级,但与实况降水相比仍有一定差距(约30~40 mm),误差约为30~40%。从表2中可知,将流域未来36 h实况降水输入水文模型所计算得到的洪峰流量为 $2\ 755\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ,相对误差为9.67%,而将AREM模式集合预报产品结果输入水文模型所计算得到的洪峰流量范围为 $1\ 491\sim 2\ 944\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ,相对误差范围为51.11%~3.48%,预报最大值与实况相差无几。根据洪峰相对误差这一评定指标,6个成员中水文预报结果中3个合格,这说明水文预报的可靠度有了进一步提高。

从图5中所显示的降水分布可见,未来36 h各成员所预报的雨强趋势较为一致,洪峰峰现时差均在许可误差3 h之内(表2),总体上,输入CTL、N2、N3成员降水预报结果计算所得到的洪峰峰现时差(2 h)优于输入N1、N4、N5成员降水预报结果所得到的洪峰峰现时差(3 h)。究其原因,CTL、N2、N3成员所预报的降水与实况接近,且雨强较N1、N4、N5成员降水预报结果要大,致使洪峰提前到达,接近实际洪峰峰现时间。

## 5 结论与讨论

降水是洪水预报中最重要的信息之一,然而降水

等输入信息的不确定性严重影响了确定性水文预报的精度。降水集合预报可为水文预报提供多种定量预报产品,有助于丰富水文预报信息。本文以湖北省漳河流域2008年汛期洪水过程为例,将AREM模式降水集合预报结果输入水文模型,开展集合数值预报产品水文模式汛期洪水预报应用试验,其结论如下:

(1)降水集合预报产品运用到水文预报中,能提供比确定性预报更多的降水预报信息,可以丰富水文模型输入信息,从而计算得到流域洪峰流量以及洪峰到达时间可能发生的范围,从一定程度上解决了单一预报结果的精度问题,将难以做到的精确预报转化为对可能发生的概率预报,能更好满足防洪减灾对风险信息的需求。

(2)水文预报结果,因水文模型本身缺陷以及参数不确定等因素,即使在输入实况降水的条件下与实际洪水过程仍存在一定差距,而基于集合预报产品的水文预报可将长期以来单一确定的水文预报结果转化为可供选择、参考的概率水文预报,并可在一定程度上弥补单一确定性水文预报的不足,增强水文预报的可靠性。

本文在基于集合降水预报产品的汛期洪水预报试验过程中,仅对一次洪水过程进行了降水集合预报产品初步应用试验,其结果显示降水集合预报产品运用于水文预报能提高水文预报的可靠性,但还需要进一步通过批量试验加以验证。此外,如何调整才能将天气集合预报系统成功地耦合到水文预报系统等问题也有待进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 张洪刚,郭生练,何新林,等.水文预报不确定性的研究进展与展望[J].石河子大学学报(自然科学版),2006,24(1):15-21.
- [2] Krzysztofowicz R. The case for probabilistic forecasting in hydrology [J]. J Hydrol, 2001, 249(1-4): 2-9.
- [3] 李俊,廖移山,张兵,等.集合数值预报方法在山洪预报中的初步应用[J].高原气象,2007,26(4):854-961.
- [4] 李岩,胡军,王金星,等.河流集合预报方法(ESP)在水资源中长期预测中的应用研究[J].水文,2008,28(1):25-30.
- [5] 宇如聪,薛纪善,徐幼平,等.AREMS 中尺度暴雨数值预报模式系统[M].北京:气象出版社,2004:2-4.
- [6] Cui Chun-guang, Li Jun, Shi Yan. Development and application of the advanced regional eta coordinate numerical heavy rain prediction model system in china [J]. Advances in Geosciences, 2007(6): 23-33
- [7] 陈正洪,李兰,刘敏,等.湖北省 2008 年 7 月 20—23 日暴雨洪涝特征及灾害影响[J].暴雨灾害,2009,28(4):345-348.
- [8] 李俊,王明欢,公颖,等.AREM 短期集合预报系统及其降水预报检验[J].暴雨灾害,2010,29(1):30-37.
- [9] 李俊,杜钧,王明欢,等.中尺度暴雨集合预报系统研发中的初值扰动试验[J].高原气象,2009,28(6):1365-1375.
- [10] 赵人俊.流域水文模拟[M].北京:水利电力出版社,1984:5-8.
- [11] 赵人俊,王佩兰.新安江模型参数的分析[J].水文,1988, 8(6):2-9.
- [12] PengTao, Song Xing-yuan, Shen Tie-yuan. The Application of Radar Quantitative Precipitation Estimation in Flood Forecasting during Flood Season [A] // The Proceedings of the 4th International Yellow River Forum on Ecological Civilization and River Ethics [C]. Zhengzhou:Yellow River Conservancy Press, 2010, 309-314.
- [13] 朱求安,张万昌.新安江模型在汉江江口流域的应用及适应性分析[J].水资源与水工程学报,2004,15(3):19-23.
- [14] SL25-2000.水文情报预报规范[S].北京:中华人民共和国水利部, 2000:18-22.

## Preliminary Experiment on Flood Forecast in Flood Season Based on Ensemble Precipitation Prediction Products

PENG Tao, LI Jun, YIN Zhi-yuan, SHEN Tie-yuan, LI Wu-jie

(Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

**Abstract:** In order to reduce the unfavourable influence on hydrological forecast precisions owing to the uncertainty of information, such as rain, putting into hydrological model, the paper describes a forecast research taking an information of the ensemble precipitation forecast product from AREM model about the flood process in flood season in the Zhanghe basin in Hubei province in 2008 as an input to the Xin'anjiang hydrological model and making a forecast test in the above area. The results show that more hydrological forecast information on flood peak runoff and flood peak happening time could be gotten and the sole definite forecast result could be transformed to the possible scope forecast by hydrological forecast based on precipitation ensemble prediction, thus the reliability of forecast result could be improved.

**Key words:** Precipitation ensemble prediction; AREM model; Hydrological ensemble prediction; Flood forecast; Xin'anjiang model

(上接第 273 页)

## Study on a Disaster Risk Prediction Method for Regional Heavy Rain Events based on Euclidean Distance Function

SHAO Mo-lan<sup>1</sup>, ZHANG ning<sup>1</sup>, YUE Yang<sup>2</sup>, MENG Ying-jie<sup>1</sup>, ZHANG Ping-ping<sup>1</sup>, XIE Ping<sup>1</sup>

(1.Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074; 2.Science and  
Technology Division of Hubei Meteorological Bureau, Wuhan 430074)

**Abstract:** The cases of torrential rain were chosen based on the history data of heavy rain disasters in Hubei Province. The probability density function of the normal distribution, the interval movement method and the Euclidean Distance Function were used to establish the model for the strength degree of regional heavy rain and the possible loss risk prediction of disaster month by month from May to September in Hubei province. The application results show that the risk-estimated accuracy for the strength degree of regional heavy rain, the population affected by disasters and crop area affected by disasters is up to 66.7%, 62.5% and 55.6% respectively, and the risk-estimated accuracy for direct economic loss is slightly worse according to the model.

**Key words:** Heavy rainfall disaster; strength degree; Risk prediction; Euclidean Distance Function