第 31 卷第 4 期
2003 年 8 月
气 象 科 技
METEOROLOGICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.31, No.4
Aug., 2003

灰色预测模型在长江上游流域面雨量预报中的应用

李才媛　顾永刚
(湖北省武汉中心气象台, 武汉　430074)

摘要　文章以数值预报产品为基础,用灰色关联度分析了不同数值预报产品降水量预报的可信程度,应用灰色预测方法建立了长江上游五大流域面雨量预报模型。2001 年和 2002 年 6～8 月投入业务运行,24h、48h 预报平均准确率分别达 84.5%和 83.2%。

关键词　数值预报产品　灰色预测　灰色关联度　面雨量预报

引言

长江三峡工程是我国迄今为止最宏伟的重大工程,其流域面平均雨量(简称面雨量)是洪水预报与水库调度中一个非常重要的参数,准确的流域面雨量预报,可为三峡工程建设、长江防汛抗洪等提供可靠的气象决策依据。

将灰色系统理论引用于气象学科,应用灰色预测方法制作了降水预报和温度预报[1～4]。在此项工作中,以 T106、T213、HLAFS、MAPS 等数值预报产品为基础,用灰色关联度[5]分析了预报因子与预报对象的相关程度,初步了解了不同数值预报产品的可信度。采用灰色系统理论的 GM(0, h) 模型,建立了长江上游五大流域面雨量预报方程。2001 年和 2002 年 6～8 月投入业务运行,24h、48h 预报平均准确率分别达 84.5%和 83.2%,为长江三峡二期工程提供了良好的气象保障服务。

1　有关说明

长江上游五大流域分别为岷沱江流域、嘉陵江流域、乌江流域、重庆到万县区间流域、万县到宜昌区间流域(图 1),总控制面积约为 45.6 万 km^2,区间范围大致为 99°～111.2°E、26°～35°N,分布在四川、贵州、湖北省及重庆市境内。

1.1　面雨量计算

五个流域共选取了 167 个气象站点,各流域站点数依次为 68、42、38、9 和 10。降水量资料时段为 08～08 时,面雨量(R_s)计算以各流域气象测站为基准,采用算术平均法[6],即:

$$R_s = \frac{1}{m}\sum_{1}^{m} R_i \tag{1}$$

其中, m 为某流域总气象测站数, R_i ($i = 1, 2, \cdots, m$) 为 i 测站降水量。

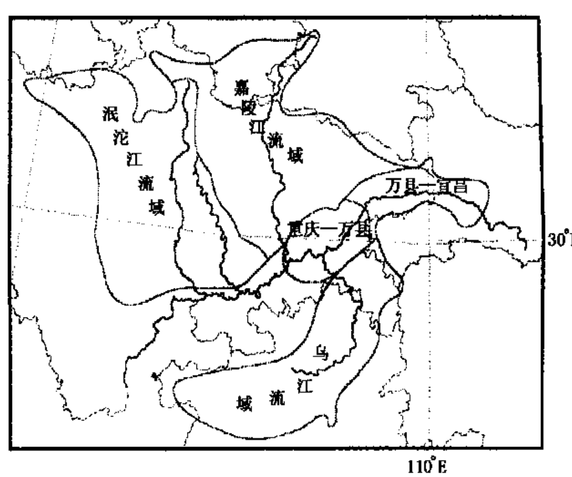

图 1　长江上游五大流域

1.2　数值预报产品

T106、T213 和 HLAFS 为北京数值预报产品,

中国气象局"三峡气象保障服务"项目资助
收稿日期:2002 年 11 月 1 日;定稿日期:2003 年 1 月 15 日
作者简介:李才媛,女,1956 年生,高级工程师,主要从事短期天气预报工作

格距分别为 1.875°×1.875°、1°×1°和 1°×1°。T213 为 T106 换代产品,2001 年底业务化接收资料。MAPS 为武汉区域中心细网格数值预报产品,格距 0.5°×0.5°。将各数值预报产品的降水预报场权重插值到气象测站,再计算面雨量,从而得到预报因子。

2 灰色关联度分析

关联度是分析系统中各因素关联程度的一种技术方法,或者说关联程度量化的方法。

设 $X_i(k), i = 1,2,\cdots,h$ 为 h 个预报因子;$Y(k)$ 为预报量,时间序列 $k = 1,2,\cdots,n$,用集合可表示为:

$$\{X_i(k)\} = \{X_i(1), X_i(2), \cdots, X_i(n)\}$$

$$\{Y(k)\} = \{Y(1), Y(2), \cdots, Y(n)\}$$

对于单位不同,或初值不同的数列作关联度分析时,为了便于比较,需进行无量纲化(标准化)处理。

标准化处理后,仍记为$\{X_i(k)\}$和$\{Y(k)\}$:

$$\{X_i(k)\} = \left| \frac{X_i(1)}{\overline{X_i}}, \frac{X_i(2)}{\overline{X_i}}, \cdots, \frac{X_i(n)}{\overline{X_i}} \right|$$

$$\{Y(k)\} = \left| \frac{Y(1)}{\overline{Y}}, \frac{Y(2)}{\overline{Y}}, \cdots, \frac{Y(n)}{\overline{Y}} \right|$$

其中,$\overline{X_i} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} X_i(k)$, $\overline{Y} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} Y(k)$

$Y(k)$ 与 $X_i(k)$ 在第 k 点的关联系数为

$$G_i(k) = \frac{D_i(k)_{\min} + D_i(k)_{\max}}{D_i(k) + bD_i(k)_{\max}} \tag{2}$$

其中 $D_i(k) = |Y(k) - X_i(k)|$ 称为第 k 点 Y 与 X_i 的绝对差;$D_i(k)_{\min}$ 称为两极最小差;$D_i(k)_{\max}$ 则称为两极最大差。b 称为分辨系数,是 0 与 1 间的数,通常设 $b = 0.5$。

对于数据序列而言,Y 与 X_i 的关联度为

$$P_i = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} G_i(k) \tag{3}$$

P_i 越大,X_i 与 Y 的关联性越好,将 h 个 $P_i(i = 1,2,\cdots,h)$ 由大至小排列,得预报因子关联程度强、弱排序。b 的值只影响 P_i 本身的大小,不影响 h 个 P_i 的排列秩序。

将 2001 年 6~8 月参加建模的 T106、HLAFS、MAPS 24h、36h 和 48h 降水量预报场(计算为面雨量)与同期面雨量实况进行了关联度分析,平均结果为 MAPS 高于 T106 和 HLAFS,HLAFS 高于 T106(表 1)。在 2002 年正式业务运行前,用 T213、T106 产品 4~5 月的降水量资料与 4~5 月面雨量实况作了关联分析,从表 2 可看出 T213 产品明显高于 T106 产品,因此,2002 年建模因子由 T213 替换了 T106。

表 1 **2001 年 6~8 月 T106、HLAFS、MAPS 关联度**

	T106	HLAFS	MAPS
24h	0.607	0.775	0.754
36h	0.480	0.518	0.586
48h	0.324	0.409	0.511
平均	0.470	0.567	0.617

表 2 **2002 年 4~5 月 T106、T213 关联度**

	24h	36h	48h	60h	平均
T106	0.536	0.400	0.384	0.356	0.419
T213	0.793	0.690	0.586	0.552	0.655

3 建立灰色预测模型

预报因子序列为:

$$\{X_i(k)\} = \{X_1(k), X_2(k), \cdots, X_h(k)\}$$

对预报量序列 $\{Y(k)\}$ 与预报因子序列 $\{X_i(k)\}(i = 1,2,\cdots,h)$ 作一阶累加生成,即:

$$Y^{(1)}(k) = \sum_{j=1}^{k} Y(j) \tag{4}$$

$$X_i^{(1)}(k) = \sum_{j=1}^{k} X_i(j) \tag{5}$$

则灰色预测 GM(0,h) 模型为:

$$\hat{Y}^{(1)}(k) = A_0 + \sum_{i=1}^{h} B_i X_i^{(1)}(k) \tag{6}$$

式中 A_0、B_i 为待辨识参数,其值可由最小二乘法求得:$X_i^{(1)}(k)$、$\hat{Y}^{(1)}(k)$ 为预测值生成数。

对 $\hat{Y}^{(1)}(k)$ 需作累减还原处理,即令:

$$\hat{Y}(k) = \hat{Y}^{(1)}(k) - \hat{Y}^{(1)}(k-1) \tag{7}$$

可得预测值序列$\{\hat{Y}(k)\}$。

4 业务运行

4.1 预报量及预报因子

预报量 Y 分别为五流域面雨量,预报时效为 24h 和 48h。收集积累 5 月份五流域面雨量实况资料,建立预报量数据库。

24h 预报因子 X_i 为 T106 产品(2002 年为 T213)、HLAFS 和 MAPS 产品 24h、36h 降水量预告

场(计算为五流域面雨量),即取式(6)中 $h=6$。48h 预报因子为这几种数值预报产品的 48h、60h 降水量预告场,$h=5$(HLAFS 无 60h 预告场资料)。通过 5 月份逐日资料积累,完成前期样本资料的收集工作,建立预报因子数据库。

4.2 业务运行

从数据库中提取前期时间序列长度为 n 的预报因子和预报量样本资料(5 月份资料),由式(4)、(5)、(6)、(7)计算,得出两个时段、五个流域面雨量预报值。样本长度采用有限记忆法[2],即每增加一天新资料,就删除样本第一天资料,保持样本长度为一个定数。根据经验[2~3],取样本长度为 30 天左右即可。在此项工作中,取定数 n 为 31 天。

根据项目组要求,主汛期每天 07:30 之前所有预报结论送武汉区域网,通过网络传输,发往有关单位和部门,供有关领导和预报员使用。

4.3 预报评分

2001 年和 2002 年 6~8 月五流域预测模型逐日业务运行,评分标准由项目组制定(表 3),表 3 中实况等级、预报等级均具体划分为:等级 1:0~4.9mm;等级 2:5.0~14.9mm;等级 3:15~29.9mm;等级 4:30~49.9mm;等级 5:$R \geqslant 50$mm。

表 4 为 2001 年和 2002 年 6~8 月五大流域面雨量预报评分结果。从表中可看出,所有评分都在 77%以上,24h、48h 预报平均准确率分别达 84.5%和 83.2%;48h 评分虽低于 24h 评分,但差别并不大,表明随着数值预报产品 48h 预报场精度的提高,48h 解释应用水平已接近 24h。

表 3 三峡工程气象保障服务系统评定标准 %

	预报等级 1	预报等级 2	预报等级 3	预报等级 4	预报等级 5
实况等级 1	100	60	20	0	0
实况等级 2	60	100	60	20	0
实况等级 3	0	60	100	80	40
实况等级 4	0	20	60	100	80
实况等级 5	0	0	20	80	100

表 5 为 2001 年、2002 年北京数值预报产品、武汉 MAPS 产品和灰色预测模型面雨量预报平均评分情况。可看出,经过灰色预测模型再加工,面雨量预报准确率 2001 年提高 2.8%~3.3%、2002 年提高 1.0%~4.2%。

表 4 2001 年和 2002 年 6~8 月五大流域面雨量预报评分 %

		岷沱江	嘉陵江	乌江	重庆到万县	万县到宜昌	平均
2001 年	24h	90.9	84.2	82.5	89.5	87.4	86.9
	48h	88.1	82.8	84.2	92.3	86.0	86.7
2002 年	24h	81.4	87.2	81.0	79.7	81.4	82.1
	48h	77.9	87.2	77.9	78.3	77.2	79.7

表 5 2001 年和 2002 年面雨量预报评分比较 %

	北京产品	MAPS 产品	灰色预测
2001 年	83.5	84.0	86.8
2002 年	76.7	79.9	80.9

5 结语

(1)应用灰色预测方法制作五大流域面雨量预报,通过 2001 年、2002 年 6~8 月业务运行,24h、48h 预报平均准确率分别达 84.5%和 83.2%,为长江三峡二期工程提供了良好的气象保障服务。

(2)灰色预测方法不需要长的历史资料,计算简便,尤其是资料逐日更新,不随季节变化,能适应数值预报产品更新换代快的变化。用 T213 产品替代 T106 资料,并没有增加工作量,正是受惠于灰色预测方法这一特点。

(3)通过灰色关联分析,了解了不同数值预报产品降水预报的可信程度,有利于预报员参考使用。

(4)用灰色预测模型对多种数值预报产品进行解释应用,提高了预报准确率。

(5)应用灰色预测模型制作流域面雨量预报,实践证明是可行的,但需进一步深入研究,提高预报准确率。

参考文献

1 邓聚龙.灰色控制系统.武汉:华中工学院出版社,1985.1-10
2 涂松柏,李才媛.灰色动力模型在天气预报中的应用.大气科学,1990,14(2):188-192
3 李才媛.湖北省梅雨期分级降水预报试验.气象,1996,22(1):49-52
4 李才媛.灰色预测方法在制作 3~5 天中期温度预报中的应用.湖北气象,2000,(2):8-9
5 邓聚龙.灰色预测方法与决策.武汉:华中工学院出版社,1986.103-108
6 秦承平,居志刚.清江和长江上游干支流域面雨量计算方法及其应用.湖北气象,1999,(4):16-18

(下转第 230 页)

(上接第 225 页)

Application of Grey Forecasting Model to Area Rainfall Prediction in Upstream of Changjiang River

Li Caiyuan　Gu Yonggang

(Wuhan Central Weather Service , Wuhan 430074 , China)

Abstract : Based on the numerical forecast products , the reliability of numerical rainfall forecast products is analyzed by using the grey relational grade and the area rainfall prediction models are established with the grey forecasting methods for five areas in upstream of the Changjiang River . In 2001 and 2002 , the grey forecasting method performed well in the operational forecasting practice in summer .

Key words : numerical forecasting products , grey forecasting , grey relational grade , area rainfall prediction