

# 三种数值模式对长江上游面雨量预报能力的评估

向永龙<sup>1</sup> 邬昀<sup>2</sup> 孙士型<sup>1</sup> 范元月<sup>1</sup> 饶传新<sup>1</sup>

(1 宜昌市气象局, 宜昌 44300; 2 湖北省气象信息与技术保障中心, 武汉 430079)

**摘要:** 利用2007—2008年长江上游逐日面雨量实况和中国T213、日本JMH、德国GER三种数值模式降水预报格点资料, 采用TS评分方法, 检验三种数值模式对长江上游面雨量 $\geq 20\text{mm}$ 强降水的预报能力。检验结果显示, 日本JMH模式12~36h预报评分达38.5%; 中国T213模式为28.2%; 德国GER模式为26.9%。并且在降水落区进行定性评估的基础上, 建立了降水预报产品与流域面雨量实况的线性回归方程。

**关键词:** 长江上游, 面雨量, 数值预报

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2016.01.009

## Evaluation of Three Forecasting Models to Area Rainfall Prediction in Upstream of Yangtze River

Xiang Yonglong<sup>1</sup>, Wu Yun<sup>2</sup>, Sun Shixing<sup>1</sup>, Fan Yuanyue<sup>1</sup>, Rao Chuanxin<sup>1</sup>

(1 Yichang Meteorological Office of Hubei Province, Yichang 443000 2 Hubei Meteorological Information and Technical Support Center, Wuhan 430079)

**Abstract:** Using the daily area rainfall of observation and three forecasting models in the upper reaches of the Yangtze River from 2007 to 2008, based on TS scoring methods, the capability is inspected of the models to heavy prediction over the upper reaches of the Yangtze River. Test results show that the three models are of different precipitation forecasting capacity: the score of Japan's JMH Model is 38.5%; the score of China's T213 model is 28.2%; the score of Germany GER model is 26.9%. Based on the qualitative assessment of precipitation area, a linear regression equation is established for precipitation forecast products and the precipitation.

**Keywords:** upstream of Yangtze River, area rainfall, forecasting models

### 0 引言

长江上游是指宜昌南津关以上的广大地区, 流域面积约100万 $\text{km}^2$ , 多年平均径流量4510亿 $\text{m}^3$ , 年平均径流深约1000mm, 平均径流系数为0.51。若按其水文分区, 则可划分为金沙江、岷沱江、嘉陵江和乌江四大流域, 其中宜宾至宜昌统称为长江上游干流。为便于统计和预报分区, 又将其划分为宜宾至重庆、重庆至万州、万州至宜昌三个区段。

统计表明, 金沙江流域来水量占宜昌径流量的33%, 岷沱江为22%, 屏山—宜昌区间和嘉陵江各占16.4%和15.6%, 乌江为11%。因此, 长江上游流域降水是三峡水库入库流量的主要来源。三峡水库作为长江中下游防洪的关键性水库, 长江上游流域面雨量预报是水库防洪、运行调度的重要依据。其长江上游面雨量预报技术也越来越受到重视, 其中: 李才媛等采用统计模型方法建立了长江上游短期强降水预

报系统<sup>[1]</sup>, 陈静应用动态相似方法制作长江上游逐日降水量预报<sup>[2]</sup>, 李才媛等应用灰色预测模型预报长江上游流域面雨量<sup>[3-4]</sup>。但更多是应用数值模式产品与专业人员人工订正相结合的方法制作长江上游面雨量预报。目前, 各种数值模式描述的物理过程和前后处理、参数化方案及时空分辨率各不相同, 因而预报性能各有差异。为提高流域面雨量预报准确率, 发挥气象预报在水库运行调度中的作用, 有必要对数值模式降水产品的预报能力进行评估, 进而研究多模式综合集成预报方法<sup>[5-6]</sup>。

### 1 资料来源和方法

#### 1.1 资料来源

雨量实况来自于长江上游流域内已建的各个气象站点当日08—次日08时(北京时, 下同)的日雨量资料, 日面雨量取各站点日雨量的算术平均值。

数值模式降水预报产品则取自于MICAPS格点资料中的第四类数据, 以前一日20时为初时场。德国GER、JMH产品采用前一日20时的12h雨量预报, 由YYMMDD20.024+ YYMMDD20.036计算出未来

收稿日期: 2015年10月14日; 修回日期: 2016年1月20日  
第一作者: 向永龙(1957—), Email: 1093006787@qq.com  
通信作者: 邬昀(1983—) Email: 23481324@qq.com

24h雨量预报值; T213采用前一日20时的3h雨量预报: YYMMDD20.015+ YYMMDD20.018+ YYMMDD20.021+ YYMMDD20.024+ YYMMDD20.027+ YYMMDD20.030+ YYMMDD20.033+ YYMMDD20.036, 得到未来24h雨量。当部分时次预报结果原始资料缺失时, 采用前一日08时(+12)资料代替。

中国T213中期数值天气预报模式水平网格距 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ ; 德国GER中期数值预报模式水平网格距为 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ ; 日本JMH中期数值预报模式水平网格距为 $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ 。

数值模式流域面雨量采用FORTRAN语言进行计算, 调用该程序后在输入初始时刻的对话框中, 输入前一日20时(例如输入08062420表示08年6月24日20时初始场计算出25日08时—26日08时面雨量), 再由流域内各格点降水预报值的算术平均值, 计算出长江上游流域6个分区的24h面雨量<sup>[7-8]</sup>。

## 1.2 资料处理方法

设流域面雨量实况为 $y$ , 数值模式降水预报产品为 $x$ 。计算两组数据间的相关系数 $r$ :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

设有 $n$ 种预报方法, 对其预报对象得出预报结论为 $\{y_i\}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), 利用 $n$ 个历史样本, 按最小二乘法得到线性回归集成预报为:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i, \quad (2)$$

其中 $b_0$ 为预报对象的平均值,  $b_i$ 反映了预报因子的相

对重要性及它们的相互关系。

## 2 降水检验

### 2.1 TS评分

针对长江上游面雨量 $\geq 20\text{mm}$ 的强降水, 分别检验T213、JMH和GER数值模式的定性预报能力。只有当数值模式预报值和面雨量实况同时 $\geq 20\text{mm}$ , 则评为正确; 当数值模式预报值 $< 20\text{mm}$ , 而面雨量实况 $\geq 20\text{mm}$ , 则评为漏报; 当数值模式预报值 $\geq 20\text{mm}$ , 而面雨量实况 $< 20\text{mm}$ , 则评为空报。然后分流域评定其TS评分、偏差( $B$ )、空报率( $KO$ )、漏报率( $LO$ )和预报效率( $EH$ )。

$$\text{TS评分: } TS = NA / (NA + NB + NC),$$

$$\text{偏差: } B = (NA + NB) / (NA + NC),$$

$$\text{漏报率: } LO = NC / (NA + NC),$$

$$\text{空报率: } KO = NB / (NA + NB),$$

$$\text{预报效率: } EH = (NA + ND) / (NA + NB + NC + ND),$$

上式中,  $NA$ 代表模式预报正确的次数;  $NB$ 代表模式空报的次数;  $NC$ 代表漏报次数;  $ND$ 代表除预报正确、空报和漏报以外的样本数。

表1已经给出了三种数值模式降水预报产品的TS评分结果。对表1检验结果进行比较, 三种数值模式产品对全流域强降水预报的面雨量正确率有一定差别, 其中, JMH模式预报效果较好, 为38.5%; T213模式次之, 为28.2%; GER模式效果最差, 为26.9%。从流域分区TS评分结果分析看, 三种模式产品预报能力也不尽相同。JMH模式对嘉陵江、乌江流域、宜宾—重庆段和重庆—万州段的预报能力明显优于T213和GER模式; 而T213模式对万州—宜昌段强降

表1 三种数值模式对2007—2008年长江上游各分区强降水的定性预报能力

Table 1 Qualitative forecasting ability of three kinds of numerical models for heavy rainfall in the upper reaches of the Yangtze River during 2007–2008

数值模式	检验项目	岷沱江	嘉陵江	乌江	宜宾—重庆	重庆—万州	万州—宜昌	流域合计
T213	正确率	0.167	0.400	0.200	0.000	0.231	0.500	0.282
	偏差	2.500	0.909	0.636	0.222	1.000	0.895	0.886
	漏报率	0.500	0.455	0.727	1.000	0.625	0.368	0.586
	空报率	0.800	0.400	0.571	1.000	0.625	0.294	0.532
	预报效率	0.783	0.804	0.739	0.761	0.565	0.739	0.732
JMH	正确率	0.200	0.500	0.643	0.389	0.316	0.286	0.385
	偏差	2.000	0.909	0.917	1.778	0.563	0.421	0.873
	漏报率	0.500	0.364	0.250	0.222	0.625	0.684	0.479
	空报率	0.750	0.300	0.182	0.563	0.333	0.250	0.403
	预报效率	0.826	0.848	0.891	0.761	0.717	0.674	0.786
GER	正确率	0.154	0.231	0.417	0.313	0.235	0.273	0.269
	偏差	2.750	0.455	0.417	1.333	0.750	0.474	0.761
	漏报率	0.500	0.727	0.583	0.444	0.667	0.684	0.627
	空报率	0.818	0.400	0.000	0.583	0.556	0.333	0.510
	预报效率	0.761	0.783	0.848	0.761	0.717	0.652	0.754

水的预报能力优于其他两种，但它对宜宾—重庆段强降水的预报能力最低。

对三种数值模式的漏报率进行统计，T213和GER对长江上游强降水的漏报率较高，分别为58.6%和62.9%；而JMH的漏报率较低，为47.9%，特别是对乌江和宜宾—重庆段强降水的漏报率仅为20%左右，说明JMH模式对乌江和宜宾—重庆段强降水有较好的预报能力。

统计三种数值模式的空报率，T213和GER对长江上游强降水的空报率较高，分别为53.2%和51.0%；JMH的空报率较低，为40.3%。三种模式对各分区强降水的表现各不相同，特别是JMH和GER模式对乌江强降水的空报率较低，仅为15%左右。当这两种数值模式同时预报乌江流域和长上干有强降水时，其可信度在60%左右。

## 2.2 总体相关性检验和单模式产品线性回归

TS评分仅仅对长江上游面雨量 $\geq 20\text{mm}$ 强降水的预报能力进行了检验，若评估这三种数值模式对一般降水的预报能力，还需进一步了解预报和实况间的相关性。检验中，采取不区分流域以增加样本数，将各流域分区的面雨量实况值与数值模式预报的降水量进行合并统计，分别计算得出三种数值模式降水预报值与降水实况值的相关系数。统计表明：JMH模式降水预报值与面雨量实况值相关性最高，其相关系数为0.4881；T213模式降水预报值与面雨量实况值的相关性次之，其相关系数为0.3394；GER模式降水预报值与面雨量实况值的相关性较低，其相关系数为0.3215。以上三种模式其相关系数均大于0.3，有一定的可信度。

为提高预报准确率，根据公式(2)，建立T213、JMH、GER三种数值模式降水预报值(X)和面雨量实况值(Y)之间的线性回归方程进行检验，其回归方程为：

$$\text{T213模式: } Y=0.3075X+8.17,$$

$$\text{JMH模式: } Y=0.6078X+4.48,$$

$$\text{GER模式: } Y=0.3552X+8.55.$$

上述线性回归方程，已通过276个样本的订正检验，实际效果较好。在使用中，只需将三种数值模式面雨量预报值代入相应方程计算，即可投入业务应用，以提高预报准确率。

## 2.3 分区相关性检验和多元线性回归

比较降水实况和数值模式降水产品的相关性，可将流域内分区面雨量按升序排列，其分布曲线呈指数曲线，三种数值模式曲线分布仍呈上升趋势，但其拟

合状况并不理想(图略)。

检验三种数值模式产品与降水实况间的相关系数表明(表2)：JMH模式与实况的相关性最好，平均达0.599，但分区域时差别较大：乌江流域相关性为0.849，嘉陵江流域为0.770，重庆至万州段为0.250。GER模式与实况的相关性次之，平均为0.414；四川盆地、乌江和长上干的相关系数为0.5左右，而三峡区间相关系数最低，重庆—万州段的相关性最差，为0.051，基本没有什么参考价值。相对于其他两种模式，T213模式与实况的相关性较差，平均为0.322，四川盆地的相关系数在0.450左右，但宜宾—重庆段的相关系数仅为0.005，价值不大。

表2 长江上游分区面雨量实况与三种数值模式降水预报值的相关系数

Table 2 The correlation between the rainfall data in the upper reaches of the Yangtze River and the precipitation forecast values of three kinds of numerical models

模式	岷沱江	嘉陵江	乌江	宜重	重万	万宜	平均
T213	0.424	0.502	0.387	0.005	0.238	0.373	0.322
JMH	0.587	0.770	0.849	0.641	0.250	0.494	0.599
GER	0.496	0.462	0.560	0.522	0.051	0.396	0.414

工作中，为充分发挥三种数值模式的综合效力，可令流域面雨量预报值为(y)，则岷沱江流域面雨量预报值为 $y_1$ ；嘉陵江流域为 $y_2$ ；乌江流域为 $y_3$ ；宜宾至重庆段为 $y_4$ ；重庆至万州段为 $y_5$ ；万州至宜昌段为 $y_6$ 。则令前一天20时为初始场的T213模式12~36h的面雨量产品为 $x_1$ ；JMH模式12~36h面雨量产品为 $x_2$ ；GER模式12~36h的面雨量预报产品为 $x_3$ 。然后将历史样本依次代入方程进行回归计算，得出多元回归方程，见表3。

表3 T213、JMH和GER三种数值模式对长江上游流域面雨量的线性回归

Table 3 The linear regression equation of three kinds of numerical models to the rainfall in the upper reaches of the Yangtze River

流域	多元线性回归方程
岷沱江	$y_1 = -2.023 + 0.047x_1 + 0.452x_2 + 0.210x_3$
嘉陵江	$y_2 = -1.565 + 1.024x_2 - 0.015x_3$
乌江	$y_3 = -1.758 + 0.014x_1 + 0.84x_2 + 0.130x_3$
宜宾—重庆	$y_4 = 1.077 - 0.060x_1 + 0.503x_2 + 0.207x_3$
重庆—万州	$y_5 = 10.831 + 0.168x_1 + 0.239x_2 - 0.053x_3$
万州—宜昌	$y_6 = 6.406 + 0.177x_1 + 0.580x_2 + 0.155x_3$

## 3 应用多模式综合集成与人工订正方法开展面雨量预报效果

统计2007年汛期(5—9月)共发布长江上游面雨量预报153份(次)，实际长江上游六大流域(区间)出现1个或1个以上预报区域(区段)日面雨量

(08—次日08时)  $\geq 20\text{mm}$ 的强降水共38次, 除2007年7月23和28日强降水预报位置有偏差, 9月16日乌江、宜宾至重庆段强降水预报量级与实况有出入外, 其余35次均提前24h报出, 其中9次强降水预报量级较实况略偏小, 2次略偏大, 24次降水落区、量级预报与实况基本相符。面雨量预报准确率为56.8% (预报准确率 = 正确次数 / (预报次数 + 漏报次数))。

统计2008年汛期(5—9月)共发布长江上游面雨量预报153份(次), 实际长江上游流域出现1个或1个以上预报区域(区段)日面雨量(08—次日08时)  $\geq 20\text{mm}$ 的强降水共24次, 面雨量预报准确率为51.1%。表4是2007年汛期长江上游流域面雨量部分落区、量级预报与实况。

表4 2007年5—9月长江上游部分时段面雨量预报效果检验(单位: mm)

Table 4 May–September monthly rainfall forecast over the upper reaches of the Yangtze River in 2007 (unit: mm)

时段	项目	岷沱江	嘉陵江	乌江	宜重段	重万段	万宜段
5月30日08时—5月31日08时	实况	2.6	22.6	0.1	7.0	5.0	23.3
	24h预报	15~25	15~25	1~5	10~15	10~20	15~25
6月8日08时—6月9日08时	实况	5.6	16.7	20.6	12.4	24.9	11.6
	24h预报	10~20	5~10	20~30	15~25	15~25	5~10
6月18日08时—6月19日08时	实况	1.1	5.3	4.6	8.0	30.7	49.9
	24h预报	1~5	15~25	10~20	5~10	25~35	25~35
7月9日08时—7月10日08时	实况	11.8	1.8	24.2	29.0	10.6	15.5
	24h预报	0	0	15~25	20~30	15~25	10~20
7月18日08时—7月19日08时	实况	14.2	19.6	3.6	25.9	27.4	18.1
	24h预报	10~20	25~35	0	15~25	25~35	10~20
7月29日08时—7月30日08时	实况	0.2	6.1	34.9	10.1	20.9	39.4
	24h预报	0	5~10	15~25	10~20	15~25	25~35
8月31日08时—9月1日08时	实况	14.4	17.2	18.9	7.7	22.8	27.5
	24h预报	10~20	15~25	15~25	15~25	25~35	35~45

#### 4 结论

1) 采用TS评分方法, 用T213、JMH、GER三种数值模式对长江上游面雨量预报能力进行评估: JMH模式预报效果为38.5%; T213模式为28.2%; GER模式为26.9%。

2) 检验三种数值模式预报产品与流域分区降水实况间的相关系数表明: JMH模式与实况相关性最好, 平均达0.599; GER模式次之, 为0.414; T213模式较差, 为0.322。尽管三种模式对流域分区的相关性表现不同, 差别很大, 但只要区别对待, 仍具有一定借鉴意义。

3) 三种数值模式对长江上游流域暴雨落区的分布形态、中心位置和强度预报有一定参考价值。实际工作中, 如果专业技术人员通过对其预报结果进行综

合评估, 并根据天气形势的变化进行人工订正, 对提高长江上游流域面雨量预报准确率会大有帮助。

#### 参考文献

- [1] 李才媛, 王仁乔, 王丽, 等. 长江上游流域短期强降水面雨量预报系统. 气象, 2003, 29(3): 34-37.
- [2] 陈静. 动态相似方法在长江上游逐日降水预报中的应用. 气象, 2000, 26(6): 40-47.
- [3] 李才媛, 顾永刚. 灰色预测模型在长江上游流域面雨量预报中的应用. 气象科技, 2003, 31(4): 223-230.
- [4] 王丽, 王仁乔, 金琪. 应用综合统计方法预报长江上游短期强降水面雨量. 气象, 2003, 29(3): 23-26.
- [5] 罗剑琴, 孙士型, 陈少平, 等. 长江上游流域数值预报产品评价分析. 暴雨灾害, 2007, 26(3): 246-250.
- [6] 何光碧, 陈静, 肖玉华, 等. AREM数值模式对2005年汛期四川的降水预报. 气象, 2006, 32(7): 64-71.
- [7] 郭昀, 陈海山. 基于数值模式产品的三峡库区水量预报初步研究. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [8] 孙士型, 范元月, 张小培, 等. 三种数值模式对长江上游面雨量预报能力评估//湖北省气象学会. 湖北省气象学会学术年会学术论文详细文摘汇集. 武汉: 湖北省气象学会, 2008.