

三峡水库分流域面雨量预报检验系统研究

周英 袁久坤

(重庆市万州区气象局, 万州 404000)

摘要: 基于多种数值预报模式降水产品, 应用编程和文字表格处理工具、OLE自动化控制等方法, 采用距离平方反比格点插值、预报检验、权重平均、等值线分析和色斑图绘制等方法, 将三峡水库汇水流域的面雨量预报经面雨量实况检验, 以权重集合平均的方式形成面雨量预报的制作流程, 编制成三峡水库分流域面雨量预报检验系统, 实现三峡水库分流域面雨量预报产品自动化输出及自动评分检验等功能。系统有助于提高面雨量预报的准确性、客观性、及时性和精细化水平。

关键词: 三峡水库, 面雨量预报检验, 插值, 权重平均

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.06.010

Study on Area Rainfall Forecasting System of Three Gorges Reservoir by Watershed

Zhou Ying, Yuan Jiukun

(Chongqing Wanzhou Meteorological Service, Wanzhou 404000)

Abstract: Precipitation numerical forecast model based on a variety of products, application programming and word form processing tools OLE automation control methods, such as using inverse square lattice interpolation forecasting test of weighted average contour analysis and splash graph method, such as the Three Gorges Reservoir catchment basin surface rainfall forecast by the surface precipitation live test, with the weight set to make the surface precipitation forecast, the average surface rainfall forecast into the points of the three gorges reservoir basin inspection system, implement the points of the Three Gorges Reservoir basin surface rainfall forecast product output and automatic grading test automation, and other functions, improve the precision of surface rainfall forecast objectivity, timeliness and the level of refinement.

Keywords: Three Gorges area, rainfall prediction verification, interpolate method, weight average

0 引言

三峡水库-葛洲坝梯级电站扼控我国长江“黄金水道”。库区上游岷沱江、嘉陵江、乌江、川江、金沙江等流域以及水库下游地区, 频繁出现暴雨洪涝、高温干旱、滑坡泥石流等气象水文和地质灾害。保障三峡水库-葛洲坝梯级电站的科学、安全运行, 充分发挥三峡工程防洪、蓄水、抗旱、发电、通航、水资源调度等功能的综合效益有着十分重要的意义。

面雨量是指某一特定区域或流域的平均降水状况。开展面雨量计算和面雨量预报能更好地为组织防汛抗洪以及水库运行等决策提供重要的依据, 又可为水利部门的洪水预报提供非常重要的参数, 是气象与水利部门加强合作为防灾减灾和经济建设服务的一个

重要手段。1998年长江流域发生历史上罕见的洪涝灾害之后, 中国气象局加强了有关面雨量业务和服务工作。重庆、湖北等地气象部门也针对本地服务需求开展了面雨量预报技术的研究^[1-5], 徐晶等^[6]提出了七大江河流域面雨量计算方法及应用, 但目前尚无可进行业务推广应用的流域面雨量预报制作与检验评分系统。

本文主要研究三峡库区内主要汇水流域基于数值预报模式降水产品, 研发基于数值预报降水产品的三峡水库分流域面雨量预报检验系统, 为三峡水利枢纽的科学调度和安全防洪度汛提供更加精细准确的决策依据, 为长江黄金水道经济社会发展提供更加优质的气象保障服务。

1 资料与方法

1.1 三峡水库主要汇水流域分区

按照与三峡梯调中心所签订的服务合同, 将三峡库区主要汇水流域分为岷沱江、涪江、嘉陵江干流、渠江、乌江思南上、乌江思南下、长江宜宾一重庆、

收稿日期: 2020年8月28日; 修回日期: 2020年10月24日

第一作者: 周英(1972—), Email: 383891184@qq.com

通信作者: 袁久坤(1972—), Email: 123187447@qq.com

资助信息: 中国长江电力股份有限公司气象信息与预报服务项目

重庆一万州、万州一宜昌段等共9个流域分区。对应各分区，从MICAPS3系统获取所需的流域和站点地理信息资料。

1.2 雨量实况获取以及数据处理方法

面雨量实况以三峡梯调通信中心提供的面雨量为准（2015—2019年）。从各流域范围内的气象监测站点获取的数据计算的面雨量仅作参考。面雨量的计算采用算数平均法^[7]。

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n}, \quad (1)$$

其中： \bar{P} 为流域的面雨量，单位：mm； p_i 为流域内各雨量测站的同期降雨量，单位：mm； n 为雨量测站数。

系统开发的主要编程语言和工具包括Visual Studio 2015、Visual Basic 6，和气象要素等值线分析和色斑图绘制工具^[8]以及OLE自动化控制方法^[9]等。

开发中采用距离平方反比插值法^[10]，即：

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2}}, \quad (2)$$

其中： n 为样点数目， z_i 为第 i 点的样点值， d_i 为第 i 个样点到插值点的距离， Z 为待估值。当样点与插值点重合时样点权重为1，其他点权重为0，插值点值等于样点值。

面雨量预报准确率的计算采用中值法，根据质量考核规定得出 S_{ij} （为第 i 分区第 j 次预报考核得分）； K_i 为参与计算的预报次数。分值越高，预报越接近于实况。

则设 T_i 为第 i 分区的面雨量预报准确率，计算公式为式（3）：

$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^n S_{ij}}{k_i} \times 100\% \quad (3)$$

2 数值预报模式降水产品（M3格式）^[11]

为提高降水时空预报精度，该系统主要应用细网格的欧洲中心数值预报模式（EC）、GRAPES_meso、Japan等数值预报模式格点降水产品。将格点降水预报产品用距离平方反比插值法插值到流域内相关站点。下面以EC为例进行介绍，其他数值预报模式与EC模式类似，只是格点间距有细微差别。

2.1 模式产品数据格式

采用MICAPS第4类数据格式，欧洲数值预报模式降水产品空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 格点间隔。

2.2 距离反比插值到站点

采用距离平方反比插值法。如典型的插值站点S落在A、B、C、D这4个预报格点内， R_a 、 R_b 、 R_c 、 R_d 为S点距A、B、C、D四格点的距离（图1），则插值点值为式（4）：

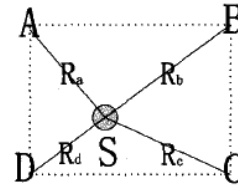


图1 预报站点（插值点）在数值预报格点的格子内
Fig. 1 Prediction stations (interpolation points) are within the lattice of numerical prediction points

$$Z_s = \frac{\frac{Z_d}{R_d^2}}{\frac{1}{R_d^2} + \frac{1}{R_c^2} + \frac{1}{R_b^2} + \frac{1}{R_a^2}} + \frac{\frac{Z_c}{R_c^2}}{\frac{1}{R_d^2} + \frac{1}{R_c^2} + \frac{1}{R_b^2} + \frac{1}{R_a^2}} + \frac{\frac{Z_b}{R_b^2}}{\frac{1}{R_d^2} + \frac{1}{R_c^2} + \frac{1}{R_b^2} + \frac{1}{R_a^2}} + \frac{\frac{Z_a}{R_a^2}}{\frac{1}{R_d^2} + \frac{1}{R_c^2} + \frac{1}{R_b^2} + \frac{1}{R_a^2}} \quad (4)$$

3 面雨量预报检验

3.1 制作前期检验时段的各降水产品的实况、预报评分表

根据三峡梯调通信中心系统数据库中提供的实况面雨量，按照服务技术合同考核办法中面雨量预报准确率计算方法，一模式一表分别计算出前期检验时段（一般为前一个月，根据梯调中心提供的面雨量实况数据时段而定）各数值预报模式降水产品的预报评分（表1）。

3.2 制作多模式降水产品的实况-预报综合检验表

根据各数值预报模式产品对各预报流域的检验统计，列出前期各预报流域与各数值预报降水产品的预报检验得分情况，作为后期各预报模式计算权重的依据（表2）^[12]。

3.3 制作多模式降水产品的实况-预报综合检验界面

应用Visual Basic控制office（Excel，Word），后台读取需要检验的前期（一般前一个月）各模式面雨量预报，按照服务技术合同考核办法中面雨量预报准确率计算方法，自动一模式一表分别计算出前期检验时段各数值预报模式降水产品的预报评分，并汇总到综合表，以便实际预报时调取检验信息作为各模式加权平均的依据。多模式降水产品的实况-预报综合检

表1 2020年4月28日数值预报模式(EC)降水产品的实况-预报评分表
Table 1 28 April 2020 numerical forecast model (EC) precipitation product fact-forecast rating sheet

站名	站号	14时	20时	02时	08时	日雨量/mm	预报值	强降水预报得分	基数	降水预报得分	基数
岷沱江区间	2400001	0.03	0.44	2.75	1.44	4.67	0-0	Na	0	100	1
嘉陵江涪江区间	2300100	0.22	0.56	0.12	0	0.9	0-0	Na	0	Na	0
嘉陵江干流区间	2300200	1	1.33	0.3	0.01	2.65	0-0	Na	0	100	1
嘉陵江渠江区间	2300300	0.56	2.6	1.54	0.1	4.73	0-0	Na	0	100	1
乌江思林以上区间	2600100	5.38	0.06	20.3	10.1	35.79	0-0	0	1	0	1
乌江思林以下区间	2600200	3.55	3.89	5.2	4.25	16.89	0-0	Na	0	0	1
屏~寸区间	2500001	0.19	0.4	7.84	5.93	14.36	0-0	Na	0	0	1
寸~万区间	2010001	1.22	2.52	1.43	1.93	7.11	0-0	Na	0	0	1
万宜区间	2020001	1.62	1.34	1.12	0.06	4.14	0-0	Na	0	100	1

表2 2020年4月1日至30日多模式降水产品的实况-预报综合检验表
Table 2 Comprehensive fact-forecast test sheet for multi-mode precipitation products on April 1, 2020 solstice and 30

站名	站号	EC降水 检验得分	NCEP降水 检验得分	Japan降水 检验得分	GRAPES降水 检验得分	Germany降水 检验得分	CMA降水 检验得分
岷沱江区间	2400001	75	37.1	24.5	48.6	57.5	87.5
嘉陵江涪江区间	2300100	72.7	48.1	27.7	47.3	59.4	89.5
嘉陵江干流区间	2300200	73.8	48.6	27.8	43.8	56.3	86.3
嘉陵江渠江区间	2300300	67.1	45.1	28	38	51.5	82.2
乌江思林以上区间	2600100	58.1	47	29	38	48.9	79.5
乌江思林以下区间	2600200	56	49.9	31	37.4	45	81.3
屏~寸区间	2500001	53	49.6	30.2	36.7	46.5	80.7
寸~万区间	2010001	54.3	49.5	32.4	36.3	46.7	80.9
万宜区间	2020001	55.6	50.4	33.2	36.6	46.9	80.8

验界面如图2所示。

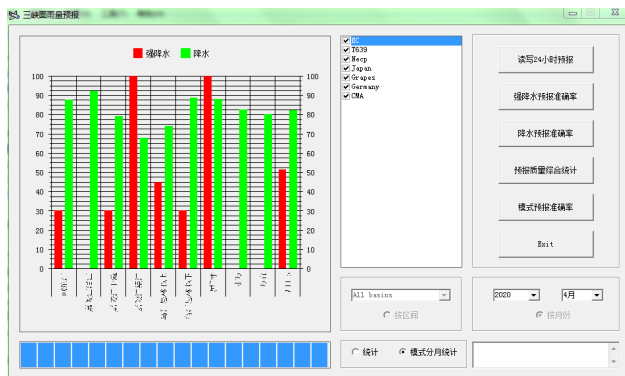


图2 多模式降水产品的实况-预报综合检验界面
Fig. 2 A reality-forecast comprehensive inspection interface for multi-mode precipitation products

3.4 多模式降水产品的实况-预报综合检验效果分析

分别统计了2015年以来的近5年各流域面雨量预报使用本系统(A1)和未使用本系统(A2)的预报检验质量以及制作预报所需的时间,并对预报检验质量做方差分析,对比检验其预报质量的稳定性(表3)。

从表3可看出,使用本预报检验系统后,面雨量

预报质量平均提高了5.4个百分点;方差分析可知,使用本预报检验系统做出的面雨量预报产品的准确率较不使用本预报检验系统做出的预报产品,预报质量稳定性明显更好;在产品制作时间上,不使用本预报检验系统,做一次预报至少需要1.5 h,而使用本预报检验系统,做一次预报仅需要接近0.5 h。无论预报平均质量还是质量的稳定性都有明显的提升,而制作预报所需制作时间则大幅减少。

表3 模式降水产品的实况-预报综合检验效果分析
Table 3 Analysis of the result of fact-forecast comprehensive test for model precipitation products

站名	A1质量 (平均)	A2质量 (平均)	A1质量 方差	A2质量 方差	A1时间 (平均)/min	A2时间 (平均)/min
岷沱江区间	55.2	47.4	19.7	185.3	3	10
嘉陵江涪江区间	57.0	50.8	33.0	71.7	3	10
嘉陵江干流区间	48.0	46.8	7.5	105.7	3	10
嘉陵江渠江区间	50.8	51.4	20.2	134.3	3	10
乌江思林以上区间	50.6	47.4	18.8	79.3	3	10
乌江思林以下区间	65.0	48.8	20.0	172.7	3	10
屏~寸区间	55.8	49.8	25.7	43.7	3	10
寸~万区间	61.4	54.2	70.8	80.2	3	10
万宜区间	58.0	57.2	29.0	120.7	3	10
合计	55.8	50.4	244.7	993.6	27	90

3.5 面雨量预报制作界面

在图3的界面上，应用Visual Basic 6编程控制office（Excel，Word），后台读取前期预报检验信息（Excel表）计算各模式权重，计算制作各预报模式降水产品的流域面雨量并根据计算的权重加权平均，按照分区面雨量预报用语要求自动制作待发布的流域分区面雨量预报。同时可根据服务对象需求，输出以流域站点降水量绘制的散点等值线色斑图、以流域封闭区间方式绘制的面雨量等级色斑图等预报产品。

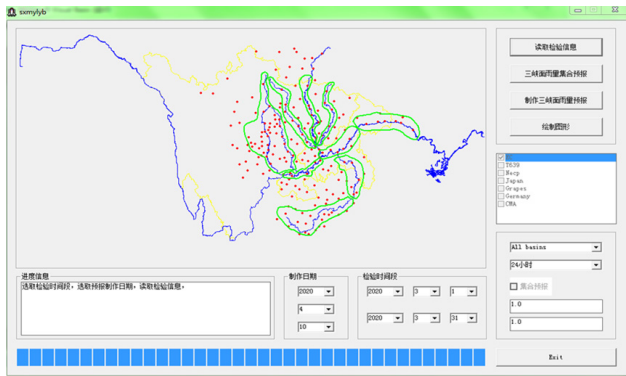


图3 流域面雨量预报制作界面

Fig. 3 Watershed surface rainfall forecast production interface

4 结论

本系统实现了基于数值预报模式降水产品的三峡水库面雨量预报的自动评分检验、以权重集合平均的方式自动制作面雨量预报、面雨量预报检验的表格和文档产品自动化输出等功能。同时能根据需求输出以流域站点降水量绘制的散点等值线色斑图、以流域封闭区间方式绘制的面雨量等级色斑图等预报产品。经实际应用检验，该系统能快速有效地实现三峡水库分流域面雨量预报的自动化制作，提高面雨量预报的准确性、稳定性、及时性和精细化水平。

1) 检验证明，应用本预报检验系统制作面雨量预报较人工分析计算制作，自动化程度高，制作时间短，在所需资料齐全的情况下，一个流域平均几分钟

就可以制作出基于数种数值预报模式降水产品的面雨量预报，较纯人工制作减少1 h左右，大大减轻了人工预报劳动强度，给预报员留出更多的形势预报分析时间。

2) 应用本预报检验系统有利于对面雨量预报进行持续的检验，提高了面雨量预报的准确率，近5年内的平均预报质量提高了5.4个百分点。

3) 应用本预报检验系统制作面雨量预报有较好的客观稳定性，较好地避免了完全由人工制作难以避免的主观性影响。

4) 应用本预报检验系统制作面雨量预报可以文字表格、等值线色斑图、格点文件等方式发布，提高了服务产品的多样化和精细化水平。

5) 本系统在数值预报模式对面雨量的预报检验数据存储处理上采用了开放性的Excel表格方式，能较方便地增减数值预报模式种类，适应不同模式产品的格式变化，实用性较好。

参考文献

- [1] 周杰, 刘晓冉, 康俊. 基于FloodArea的三峡库区小流域山洪面雨量分析. 气象科技, 2019, 47(4): 697-704.
- [2] 陈艳英, 高阳华, 游扬声, 等. 面雨量空间扩展估算法. 气象科技, 2010, 38(1): 9-14.
- [3] 周国兵. 三峡库区流域面雨量预报模糊检验. 气象科技, 2005, 33(2): 120-123.
- [4] 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): 223-225.
- [5] 方慈安, 潘志祥, 叶成志, 等. 几种流域面雨量计算方法的比较. 气象, 2003, 29(7): 23-26.
- [6] 徐晶, 林建, 姚学祥, 等. 七大江河流域面雨量计算方法及应用. 气象, 2001, 27(11): 13-16.
- [7] 孙佳, 何丙辉. 流域面雨量计算方法探讨. 水土保持应用技术, 2007, 1: 42-45.
- [8] 江剑霞, 刘少华, 严汉英. VB环境下不规则三角网的算法设计与实现. 四川测绘, 2006, 29(2): 64-67.
- [9] 钟颖, 汪秉文. 基于VB的OLE自动化编程技术及其应用. 信息技术, 2002, (5): 7-8.
- [10] 张金鑫, 马国忠. 利用距离平方反比算法对格点数值预报产品进行插值. 黑龙江气象, 2011, 28(4): 22-23.
- [11] 尹恒, 杜良敏, 胡永光, 等. 细网格数值模式产品在水文气象服务中的应用. 气象科技进展, 2017, 7(1): 155-158.
- [12] 熊伟, 汪超, 周明飞, 等. 多种数值预报产品在贵州定量降水预报中的检验. 贵州气象, 2013, 37(4): 15-18.