

数值模式产品在三峡库区面雨量估算中的释用研究

邬 昀

(湖北省气象信息与技术保障中心, 武汉 430074)

摘要:对 T213、JMA 和 GER3 种数值模式的强降水过程预报能力进行评估,并根据评估结果建立基于各种数值模式预报产品的面雨量预报集成模型。3 种数值模式中,对全流域强降水预报能力以 JMA 模式效果最优;各个模式在嘉陵江、乌江流域的评分相对较高,各流域面雨量预报值小于实况值的可能性较大;JMA 模式与降水实况间的相关性最好,GER 模式次之,T213 模式较差,且分区域表现差别较大。综合 3 种数值模式的效力,建立 3 种数值模式对长江上游流域面雨量的多元线性回归方程,得到面雨量集成预报模型。

关键词:三峡库区;面雨量;预报模型

中图分类号:P716 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-009X(2013)04-0030-06

Study on numerical model products in areal rainfall prediction of the Three Gorges Reservoir

Wu Yun

(Hubei Meteorological Information and Technical Support Center, Wuhan 430074)

Abstract: The forecast skill of heavy rainfall provided by T213, JMA and GER numerical models are evaluated. According to these results, the areal rainfall integrated model based on various numerical prediction products is built. The results are as follows the JMA model is the best in heavy rainfall forecast and each model over the Jialing River and the Wujiang Basin also performs well. The forecasting value of areal rainfall prediction is smaller than the real value. To the correlation coefficient, the JMA model is the best and the T213 is the worst and all are different from each basin. In order to exert the comprehensive effect, the multiple linear regression equation based on three numerical models for areal rainfall over the upper reaches of the Changjiang River is established. Then, the integrated prediction model is obtained.

Key words: Three Gorges Reservoir area; areal rainfall; prediction model

0 引言

在全球变暖和极端天气气候事件频发的气候背景下,三峡库区流域强降水天气过程引起了极

大的关注。同时,对库区水位和流量的预报提出了更高的要求,而水位和流量的预报又依赖于面雨量的估算和预报,所以准确的流域面雨量预报是提高极端天气气候事件决策服务质量、合理开

收稿日期:2012-01-14.

基金项目:国家科技支撑计划“我国主要极端天气气候事件及其重大灾害监测、检测和预测关键技术研究”项目第三课题(2007BAC29B03)“极端天气气候事件的数值模拟”资助。

作者简介:邬昀(1983-),男,硕士,工程师.主要从事应用气象研究.

发利用库区水资源的必要前提。三峡库区面雨量估算和预报方法研究自2000年以来受到了许多专家学者的关注^[1-4]。早在长江截流期间就有很多专家学者对三峡区间面雨量预报进行过较深入的研究^[5-7]。随着三峡大坝的建成、三峡库区局地气候效应的产生,针对气象部门业务常用的数值预报模式在长江上游各流域面雨量预报中的释用已逐步成为研究的焦点^[8-10]。气象部门所观测和预报的一般是作为站点位置函数的点雨量,而水文部门需要的则是流域范围内的面雨量,过去的做法是直接用品雨量来代表面雨量。由于降雨在水平方向上的高度不均匀性,点雨量并不能准确代表流域范围内的降水情况。如何通过观测到的点雨量来准确估算流域的平均降水量,就构成了流域面雨量估算的核心问题。

本文将重点就 T213、JMA、GER3 种数值预报模式的流域降水预报能力进行评估分析,并根据评估结果,在三峡库区各流域建立基于各种数值预报产品的、面雨量综合应用的集成预报模型,并进行相关研究,以期对水量预报的研究提供更精准的面雨量数据。

1 3种数值预报模式的预报能力分析

三峡库区所辖的分流域主要包括金沙江流域、岷沱江流域、嘉陵江流域、乌江流域、宜宾—重庆区段、重庆—万县区段、万县—宜昌区段。根据业务需要将三峡库区强降水过程标准定义为:

- (1) 日平均面雨量,岷沱江、嘉陵江、乌江、宜宾—重庆四个流域中任一个流域大于 30 mm;
- (2) 日平均面雨量,重庆—万县、万县—宜昌

两个区段中任一个区段大于 40 mm。(连续两天达到标准,合并记为一次过程。)

根据库区流域强降水定义标准统计出 2003~2007 年三峡库区汛期(4~9 月)强降水过程共 48 次,主要集中在 5~9 月。其中 6~7 月占一半以上,共 24 次达 54.5%,其中三峡库区重庆—万州及万州—宜昌流域为强降水多发区段,2003~2007 年 5 年中分别出现强降水过程 14 次和 17 次,平均每年出现近 3 次;岷沱江流域由于范围大,平均每年出现达标强降水过程仅近 1 次。

1.1 各数值预报产品 TS 检验评分

目前基层业务台站广泛使用 T213、JMA 和 GER3 种数值模式开展三峡库区面雨量的预报工作。将这 3 种模式对三峡库区面雨量 ≥ 20 mm 暴雨的定性预报能力进行统计检验,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)。

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

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

$$\text{漏报率: } LO = NC / (NA + NC);$$

$$\text{空报率: } KO = NB / (NA + NB);$$

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

其中 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、空报漏报以外的样本数。

表 1 给出了 T213、JMA 和 GER3 种数值模式降水预报产品的 TS 评分结果。由表 1 可见 3 种产品对全流域面雨量暴雨预报的正确率差别不大,其中 JMA 模式预报效果较好,达 38.5%;

表 1 2003~2007 年 3 种数值预报模式对三峡库区分区暴雨的定性预报能力

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
JMA	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

T213 模式次之,为 28.2%;GER 模式预报效果较差,为 26.9%。从流域分区 TS 评分结果分析,3 种模式产品的预报能力不尽相同。JMA 模式对嘉陵江流域、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—宜昌段暴雨的预报能力优于其它两种,但它对宜宾—重庆段暴雨的预报能力最低,11 次暴雨过程有 9 次漏报,2 次空报,无一次正确。

统计 3 种数值模式的漏报率,T213 和 GER 对三峡库区暴雨的漏报率较高,分别为 58.6%和 62.7%;JMA 的漏报率较低,为 47.9%,特别是对乌江和宜宾—重庆段暴雨的漏报率仅为 20%左右。而 T213 对乌江和宜宾—重庆段暴雨的漏报率近 95%,说明 JMA 模式对乌江和宜宾—重庆段暴雨有较好的预报能力。

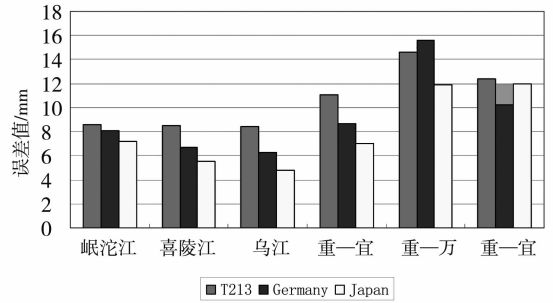
统计 3 种数值模式的空报率,T213 和 GER 对三峡库区暴雨的空报率较高,分别为 53.2%和 51.0%;JMA 的空报率较低,为 40.3%。3 种模式对各分区暴雨的表现各不相同,特别是 JMA 和 GER 模式对乌江暴雨的空报率较低,仅为 15%左右。当这两种数值模式同时预报乌江和宜宾—重庆段有暴雨时,其可信度在 80%左右。

1.2 各模式强降水过程预报强度误差分析

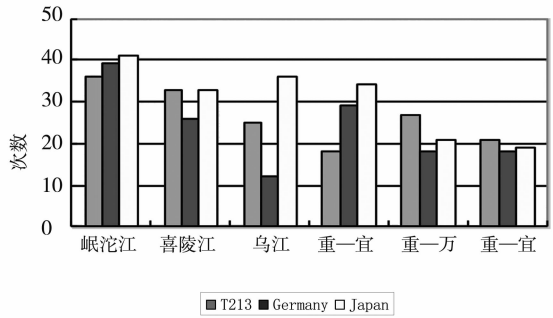
为了解目前日常业务预报中常用的 T213、GER、JMA 模式对强降水过程的预报能力,对各模式降水预报值分别进行绝对误差(预报值与实况值差值绝对值之和取平均)、偏大平均以及百分比、偏小平均以及百分比统计分析(表略)。分析表明:T213、GER、JMA 对流域强降水过程有一定预报能力。从误差分析结果看各模式的绝对误差在 4.8~15.6 mm 之间,T213 误差值最大,GER 模式次之,JMA 模式误差值最小,即 JMA 模式对流域强降水过程的预报能力最强。

就流域而言,各模式在岷沱江、嘉陵江、乌江流域的预报误差值相对较小,绝对误差平均一般在 8 mm 以下。三峡区段的预报误差值较大,绝对误差平均一般在 12 mm 以上,见图 1(a)。误差计算结果与分区有一定关系,如重—宜误差水平要小于细分后的重—万、万—宜,细分后的重—万、万—宜各自强降水样本数增加,而重—宜流域范围大,无论预报与实况都有平滑的影响导致误差值相对小。图 1(b)反映了各个模式在不同流域的降水偏差趋势,从图中可以看出模式在岷沱

江、嘉陵江降水预报偏大的次数相对较多,一般在 25 次以上占 54%(2007 年强降水过程样本 46 个)。而在三峡区段各模式强降水过程预报偏小次数较多,几率较大。



(a) 各模式误差对比直方图



(b) 各模式预报偏大次数直方图

图 1 各模式强降水预报强度误差分析

1.3 各模式强降水过程预报能力分析

为了解各模式强降水过程预报能力,对降水过程样本资料进行强降水预报评分,评定方法按现行三峡气象服务业务规定,强降水评定标准采用预报应用单位三峡梯调中心面雨量短期预报标准,当预报或实况一项出现 20 mm 以上时,才参与评定,预报或实况均小于 20 mm 不予评定,空报和漏报均计 0 分,评分=总分/评定次数(现行业务要求三峡各流域主观预报评分必须在 0.3 以上)。

从评分结果看,JMA 模式在各个流域的评分平均最高, $F_{平均} = 0.328$,达到现行业务主观预报评分要求;其次为 GER 模式, $F_{平均} = 0.225$;T213 评分相对较低为 $F_{平均} = 0.177$ 。但 T213 对万—宜区段评分较高,说明该模式在三峡区段东段的预报能力较强。总体来说,各个模式在嘉陵江、乌江流域的评分相对较高。由于评定方法按三峡气象服务业务要求设计,对强降水过程针对性强,空、漏报统计十分严格,从统计结果看,各个模式均有相当多的空漏报次数。相对而言,模式在岷沱江漏报次数较少,而三峡区段西段的漏报很多,

空报很少,嘉陵江、乌江空报亦较少;乌江流域漏报多于空报,在实际业务工作中值得注意。GER 模式因格点数(格距原因)或资料处理方法的问题有时表现为严重漏报(虚假漏报),事实上考虑上述原因对相邻格点值内差后预报效果很好,使用时必须考虑内差。

与误差计算结果类似,空漏报结果也与分区有关,重一宜区段因范围大,无论预报与实况都有平滑的影响,有时容易表现为空报,如 2008-06-08 重一宜区段面雨量 12.4 mm,GER 与 JMA 分别报 61 mm、24 mm,按评定办法属于空报,但三峡区段西段重一万区段实况出现暴雨(32.5 mm)模式预报结果很好,西段面雨量仅 9.6 mm。2008-06-29 亦是同样情况,重一宜区段面雨量为 8.8 mm,西段实况面雨量为 20.0 mm,所以使用时应注意。

2 三峡库区各流域面雨量预报值与实测值之间的对比分析

综合前阶段的分析结果可知,各数值预报模式对三峡库区各流域的预报能力不同。比较而言,JMA 模式更适合嘉陵江流域、乌江流域、重一宜区段和重一万区段预报,岷沱江流域采用 GER 模式预报效果更佳,T213 预报虽然效果相对较低,但是在万一宜区段评分较高。现利用各流域相对应的预报能力最强的数值预报模式对该流域 2004~2009 年汛期(6~9 月)进行面雨量预报,得到三峡库区各流域 2004~2009 年汛期面雨量预报值。收集整理 2004~2009 年汛期三峡库区各流域面雨量实况值数据,将预报值和实况值进行对比分析,如图 2 所示。

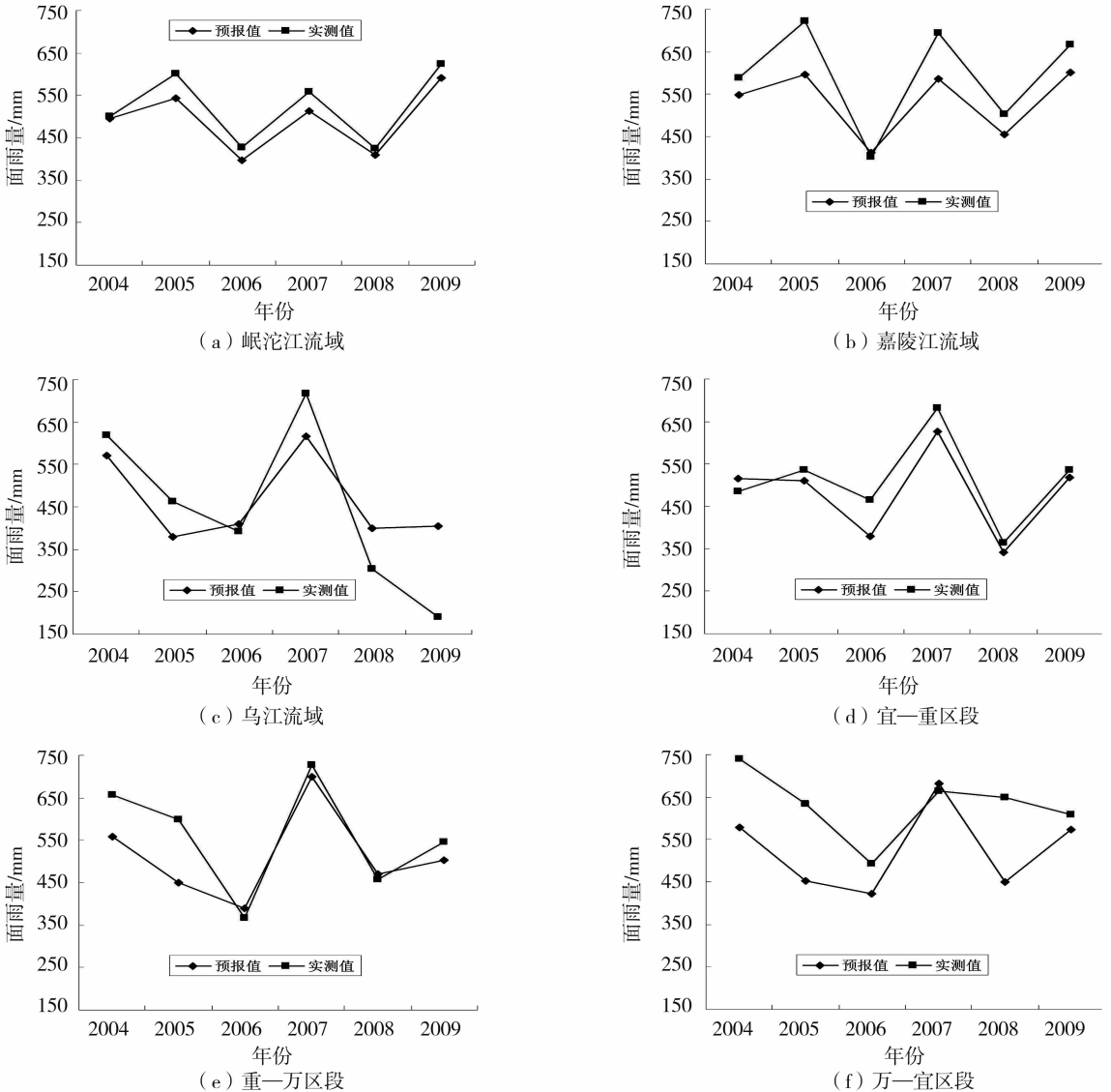


图 2 2004~2009 年汛期三峡库区各流域面雨量预报值与实况值对比分析图

对于岷沱江流域和嘉陵江流域而言,6年期间预报值均小于实测值,但是大致变化趋势是较为一致的,对于岷沱江流域而言,2004年和2008年的预测值和实测值基本吻合,每年二者的差距也较小,嘉陵江流域的预报值在2006年和实测值较吻合,但是总体预报水平较岷沱江流域而言较差。而乌江流域、宜一重区段、重一万区段、万宜区段的预报效果不尽如人意,预报稳定性较差,相比较而言,宜一重区段的预报效果在后期有所改观,预报值和实测值虽然仍有一定的差距,但是吻合度越来越高。除了乌江流域在2008年和2009年预报值远高于实测值,在其他流域其他年份基本都是低于实况值的。综合对比分析结果可知,三峡库区各流域面雨量预报所得到的预报值小于实况值的可能性达到92%,所以在水量预报研究中就必须考虑到面雨量预报值偏小对水量预报的影响。通过对汛期6~9月共122天的面雨量预报值(日面雨量预报误差<1mm认为准确)进行统计,2004~2009年三峡库区各流域的面雨量预报准确率为79%,为后期的水量预报研究提供了坚实的数据依据。

3 三峡库区各流域面雨量预报模型研制

3.1 各数值预报产品总体相关性检验和一元线性回归

利用TS评分以及误差检验对长江上游面雨量≥20mm暴雨的定性预报能力进行统计检验,为了评估3种数值模式对一般降水的预报能力,需要进一步了解预报和实况间的相关性。检验中不区分流域,以增加样本数量,将各流域分区的面雨量实况与数值模式预报降水量合并统计,分别计算出3种数值模式降水预报值与降水实况的相

关系数。并建立了3种数值模式降水预报值(x)和面雨量预报值(y)间的线性回归方程,如表2所示。

表2 3种数值模式降水预报值与降水实况的相关系数及其对面雨量预报值的线性回归

模式	相关系数	一元线性回归方程
T213	0.339 4	$y=0.307 5 x+8.17$
JMA	0.488 1	$y=0.607 8 x+4.48$
GER	0.321 5	$y=0.355 2 x+8.55$

结果表明:JMA模式降水预报值与降水面雨量实况的相关性最高,其相关系数为0.488 1;T213模式降水预报值与降水面雨量实况的相关性较高,其相关系数为0.339 4;GER模式降水预报值与降水面雨量实况的相关性较低,其相关系数为0.321 5。所得3个线性回归方程经过276个样本的订正检验,使用过程中,将3种数值模式的面雨量预报值代入相应方程计算后投入业务应用,可提高预报的正确率。

3.2 各数值预报产品分区相关性检验和多元线性回归

对3种数值模式产品与降水实况间的相关系数进行检验,见表3。结果表明:JMA模式与实况的相关性最好,平均达0.599,但分区域表现差别较大,乌江流域的相关性为0.849,嘉陵江流域为0.77,重庆至万州段相关性较差,仅为0.25;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在0.5左右,而三峡区间的相关系数最低,重庆至万州段的相关性最差,仅为0.051,说明其预报结果没有参考价值;T213模式与实况的相关性比较差,平均为0.322,四川盆地的相关系数在0.45左右,但宜宾至重庆段的相关系数仅为0.005。

表3 长江上游各区段面雨量实况与3种数值模式降水预报值的相关系数

模式	岷沱江	嘉陵江	乌江	宜一重	重一万	万宜	平均
T213	0.424	0.502	0.387	0.005	0.238	0.373	0.322
JMA	0.587	0.77	0.849	0.641	0.25	0.494	0.599
GER	0.496	0.462	0.56	0.522	0.051	0.396	0.414

为了发挥3种数值模式的综合效力,令流域面雨量为预报量为 y 。其中,岷沱江流域面雨量为 y_1 ;嘉陵江面雨量为 y_2 ;乌江面雨量为 y_3 ;宜宾一重庆段面雨量为 y_4 ;重庆一万州段面雨量为 y_5 ;万州一宜昌段面雨量为 y_6 。从前一天20:00为初始场的T213模式12~36h的面雨量产品为

x_1 ;JMA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 。将历史样本带入方程进行回归计算,得出的多元回归方程依次如下:

$$y_1 = -2.023 + 0.047x_1 + 0.452x_2 + 0.210x_3$$

$$y_2 = -1.565 + 1.024x_2 - 0.015x_3$$

$$y_3 = -1.758 + 0.014x_1 + 0.84x_2 + 0.130x_3$$

$$y_4 = 1.077 - 0.060x_1 + 0.503x_2 + 0.207x_3$$

$$y_5 = 10.831 + 0.168x_1 + 0.239x_2 - 0.053x_3$$

$$y_6 = 6.406 + 0.177x_1 + 0.580x_2 + 0.155x_3$$

4 结束语

本文以 T213、JMA、GER 降水数值预报产品为基础,对从 TS 评分、偏差、漏报率、空报率、预报效率、预报强度误差方面对其降水过程面雨量预报能力进行评估,并根据评估结果,建立各种气象数值预报产品的综合应用集成预报模型,以 08:00—08:00 面雨量为预报量,以各种预报产品的面雨量结果作因子,分析预报量与预报因子的相关度,采取多元回归统计方法,建立综合预报方程,形成三峡库区各流域面雨量预报模型,主要得出以下结论:

(1) 三峡库区的强降水过程主要出现在 5~9 月,三峡库区重庆—万州及万州—宜昌流域强降水多发。JMA 模式在各个流域的评分平均最高, $F_{\text{平均}} = 0.328$,达到现行业务主观预报评分要求,其次为 GER 模式 $F_{\text{平均}} = 0.225$,T213 评分相对较低为 $F_{\text{平均}} = 0.177$,但 T213 万—宜区段评分较高,说明该模式在三峡区段东段的预报能力较强。总体来说,各个模式在嘉陵江、乌江流域的评分相对较高。

(2) 三峡库区各流域面雨量预报所得到的预报值小于实况值的可能性达到 92%。通过对汛期 6~9 月共 122 天的面雨量预报值(日面雨量预报误差 $< 1 \text{ mm}$ 认为准确)进行统计,2004~2009 年三峡库区各流域的面雨量预报准确率为 79%。

(3) 建立了 3 种数值模式降水预报值 x 和面雨量预报 y 间的线性回归方程,对 3 种数值模式

产品与降水实况间的相关系数进行检验,结果显示 JMA 模式与实况的相关性最好,GER 模式与实况的相关性次之,T213 模式与实况的相关性较差,且分区域表现差别较大,最后利用 3 种数值模式结果建立了对长江上游流域面雨量预报的多元线性回归方程,为三峡库区流域面雨量预报模型的研制提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 周国兵. 三峡库区流域面雨量预报模糊检验[J]. 气象科技, 2005, 33(2): 120-123.
- [2] 罗剑琴, 毛以伟, 饶传新, 等. 三种数值预报产品在清江流域面雨量预报中的释用[J]. 湖北气象, 1999(2): 29-32.
- [3] 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[J]. 气象, 2003, 29(3): 34-37.
- [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[J]. 气象科技, 2003, 31(4): 223-225.
- [5] 袁雅鸣, 李春龙. 三峡明渠截流期短期降雨预报实践[J]. 人民长江, 2003, 29(3): 66-70.
- [6] 万汉生, 沈滢英. 长江三峡明渠截流期长期水文气象预报实践[J]. 人民长江, 2003, 29(S): 62-73.
- [7] 王船海, 郭丽君, 芮孝芳, 等. 三峡区间入库洪水实时预报系统研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(6): 677-681.
- [8] 居志刚, 熊红梅, 汪应琼, 等. T213 降水产品在长江上游五流域面雨量预报中的应用分析[J]. 湖北气象, 2004(1): 14-16.
- [9] 王仁乔, 李武阶. 日本降水预告的客观订正及三峡区间面雨量的估算[J]. 空军气象学院学报, 1996, 17(2): 175-180.
- [10] 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.

(上接 29 页)

上复现的压力值(单位:Pa)。

将各压力点允许误差值的计算结果汇总在表 4 中。

5 结束语

从表 4 可以看出,FPG 与 PG7607 比对,在每一压力点上,两活塞误差的绝对值皆小于 $MPEV$,

表明 FPG 在表压模式下不确定度指标可靠。

参考文献:

- [1] PierreDelajoud. MartinGirard. 用于微小表压和绝压计量测试的力平衡式活塞压力计[C]. 北京:2001 全国压力计量测试技术年会论文集. 2001.
- [2] JJF 1033—2008 计量标准考核规范[S].