

文章编号:1004-9045(2007)03-0246-05

长江上游流域数值预报产品评价分析

罗剑琴, 孙士型, 陈少平, 田刚, 龙利民, 于大锋

(湖北省宜昌市气象局, 宜昌 443000)

摘要:使用宜昌市气象局研制的数值预报产品评价分析和客观订正系统,对 ECMWF、T213L31 模式分别进行预报误差分析和降水主要影响系统预报能力分析。结果表明:ECMWF 模式总体误差水平好于 T213L31 模式, T213L31 模式 24 h 的总体误差水平接近 ECMWF 72 h 预报; ECMWF、T213L31 对影响长江上游流域暴雨的主要天气系统有不同的预报能力, 使用宜昌市气象局所研制的订正系统可从一定程度上改善模式预报的输出结果。

关键词:长江上游; 数值预报模式; 预报误差; 预报能力; 订正场

中图分类号: P456.7 文献标识码: A

1 引言

随着长江三峡大型水利枢纽工程建设按照预定进程逐步实施,对气象保障服务的要求越来越高,尤其是对流域平均降水量即“面雨量”预报与服务已经成为一种客观的迫切需求^[1]。在实际的天气预报业务中,数值模式的预报产品对预报员有着较大的参考价值^[2]。但在我国很多地区,预报员仍习惯使用日本或德国数值预报模式的预报产品^[3]。不管是何种数值预报产品,特别是对天气要素的预报,无论是出现时间、空间分布和量值大小都不可避免地存在一定的误差^[4]。

长江三峡大型水利枢纽工程建在湖北宜昌,目前在宜昌市气象局应用的业务运行模式主要有 ECMWF、T213L31、德国模式、日本模式,其中以 ECMWF、T213L31 的应用几率最高。本文为与长江电力梯调通信中心合作项目研究内容,根据项目要求,主要针对 2004 年数值预报模式高度场预报进行分析。为了了解 ECMWF、T213L31 对影响长江上游流域降水的主要天气系统的预报能力,利用 ECMWF、T213L31 模式高度预报和客观分析场格点资料以及长江上游流域分区面雨量实况资料,在对影响长江上游流域暴雨的主要天气系统进行形势分类的基础上,使用宜昌市气象局研制的数值预报产品评价分析和客观订正系统^[5]对两种模式进行误差分析和降水主要影响系统预报能力分析。

2 资料来源及处理方法

参加评价分析的模式是 ECMWF、T213L31。实况

资料时间为 2004 年 1~12 月每日 20 时 ECMWF、T213L31 MICAPS 第三类产品数据(diamond 3)资料。其中,ECMWF 为 24~120 h 高度场预报; T213L31 为 24~72 h 高度场预报。与之对应的是长江上游各流域分区面雨量实况资料,该资料取自流域内气象站点。

在使用宜昌市气象局研制的数值预报产品评价分析和客观订正系统对上述两模式高度场进行误差分析时,采用的数学方法是计算总体均方根误差(R_{MSE})、总体相关系数(R)、持续性相关系数(R_p)和预报技巧得分(S_s)^[6]。 S_s 的数学表达式为

$$S_s = \frac{R - R_p}{1 - R_p} \quad (1)$$

通过计算得出各种统计参数,用以描述模式的高度预报误差。

一般而言,总体均方根误差表示预报区域的总体误差水平,其数值越大,表明误差越大;相关系数表示预报场与分析场的相关性;持续性相关系数表示分析场与初始场的相关性;预报技巧评分表示预报实际效果。若 S_s 为正且越大,表示数值预报越接近于实况值,高于持续性相关预报;相反,若 S_s 为负,表明预报能力差,尚不如持续性相关预报。

数值预报产品评价分析和客观订正系统除可提供两种模式的预报场误差外,还使用订正方法生成相应下一时段的误差修正场,结合模式的下时段预报场和修正场生成模式的订正场,系统采用滑动平均法和时空平滑法两种方案对模式误差进行订正。

定常(滑动平均)误差订正方法。令

$$(D_f^*)_{ij}^n = (D_f)_{ij}^n + E_{ij}^n \quad (2)$$

收稿日期:2006-12-19;定稿日期:2007-02-15

基金项目:长江电力梯调通信中心合作项目“长江上游流域降水的数值预报产品评价分析”资助

作者简介:罗剑琴,女,1963年生,高级工程师,主要从事天气预报技术和方法研究.E-mail:ydujq@163.com

$(D_f^*)_{ij}^n$ 为第 n 天的订正预报值, $(D_f)_{ij}^n$ 为第 n 天的格点预报值, E_{ij}^n 为第 n 天的格点预报平均误差。

时空平滑误差订正法:

$$(D_f^*)_{ij}^n = (D_f)_{ij}^n + (1 - \nabla^2) \left\{ \frac{\sum_{k=1}^n E_{ij}^k W_k}{\sum_{k=1}^n W_k} \right\} \quad (3)$$

其中, ∇ 由试验获取, 为平滑系数; W_k 为权重系数, 靠近预报时效权重应大一些, 取 $W_k = k/n$; ∇^2 为拉

普拉斯算子

$$\nabla^2 E_{ij} = E_{i+1,j} + E_{i-1,j} + E_{i,j+1} + E_{i,j-1} - 4E_{ij} \quad (4)$$

3 两种模式高度预报误差对比分析

为避免格点资料范围过大可能产生对统计结果的平滑, 经试验并考虑实际业务的需要, 选取 $95^\circ \sim 112.5^\circ E, 22.5^\circ \sim 37.5^\circ N$ 范围内 ECMWF、T213L31 高度场的格点资料, 计算各种误差统计参数; 同时计算订正后的各种误差统计参数, 订正方法中时间步长为 3 天, 平滑系数为 1.2。其结果见表 1。

表 1 ECMWF、T213L31 不同时段误差统计参数

模式	时段	滑动	R_{MSE}		R		R_p	S_s	
			订正前	订正后	订正前	订正后		订正前	订正后
ECMWF	24 h	滑动平均	0.677	0.557	0.992	0.991	0.924	0.853	0.849
		时空平滑	0.677	0.572	0.992	0.990	0.924	0.853	0.836
	48 h	滑动平均	0.857	0.835	0.983	0.978	0.927	0.729	0.672
		时空平滑	0.857	0.858	0.983	0.977	0.927	0.729	0.644
	72 h	滑动平均	1.075	1.103	0.974	0.966	0.928	0.549	0.443
		时空平滑	1.075	1.140	0.974	0.964	0.928	0.549	0.393
	96 h	滑动平均	1.306	1.391	0.962	0.951	0.926	0.320	0.204
		时空平滑	1.306	1.433	0.962	0.948	0.926	0.320	0.145
	120 h	滑动平均	1.566	1.684	0.950	0.932	0.924	0.107	-0.115
		时空平滑	1.566	1.727	0.950	0.928	0.924	0.107	-0.187
T213L31	24 h	滑动平均	1.095	0.878	0.967	0.976	0.915	0.399	0.624
		时空平滑	1.095	0.883	0.967	0.975	0.915	0.399	0.618
	48 h	滑动平均	1.502	1.325	0.938	0.945	0.911	0.096	0.282
		时空平滑	1.502	1.336	0.938	0.944	0.911	0.096	0.256
	72 h	滑动平均	1.773	1.783	0.920	0.920	0.915	-0.172	-0.106
		时空平滑	1.773	1.807	0.920	0.916	0.915	-0.172	-0.170
	96 h	滑动平均	1.805	1.953	0.884	0.885	0.918	-0.543	-0.292
		时空平滑	1.805	2.005	0.884	0.881	0.918	-0.543	-0.394
	120 h	滑动平均	2.034	2.265	0.858	0.877	0.912	-1.002	-0.711
		时空平滑	2.034	2.301	0.858	0.872	0.912	-1.002	-0.765

从表 1 中可见, 24~120 h, ECMWF、T213L31 两种模式的均方根误差均逐渐加大, 表明其总体误差水平随预报时效延长而增加; 同时段比较, ECMWF 模式总体误差水平好于 T213L31 模式, T213L31 模式 24 h 的总体误差水平接近 ECMWF 72 h 预报, T213L31 模式 72 h 的总体误差水平大于 ECMWF 120 h 预报。

就相关系数和持续性相关系数而言, 两种模式预报场与分析场、分析场与初始场在各时段都有较高相关; 同时段比较, ECMWF 模式相关系数和持续性相关系数更高, 相关系数随预报时效延长而逐渐下降, 且 T213L31 模式下降更明显(图 1)。

在预报技巧评分上, 同时段进行比较, ECMWF 模式预报评分远高于 T213L31 模式, 其 72 h 预报评分接近 T213L31 模式 24 h 的水平, 后者直到 96 h 仍有

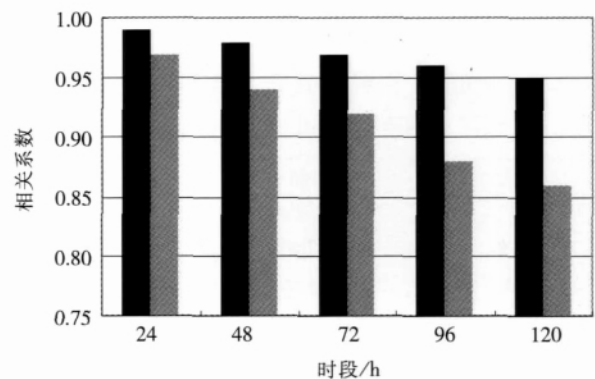


图 1 ECMWF(黑色)、T213L31(灰白色)相关系数直方图

比较高的评分(0.320), 在 120 h 仍有技巧(S_s 为正值), 而 T213L31 模式 48 h 预报技巧评分就较低(0.096), 72 h 预报技巧评分则为负值, 说明该模式在这个时段之

后预报能力不强, 低于持续性相关预报(图 2)。

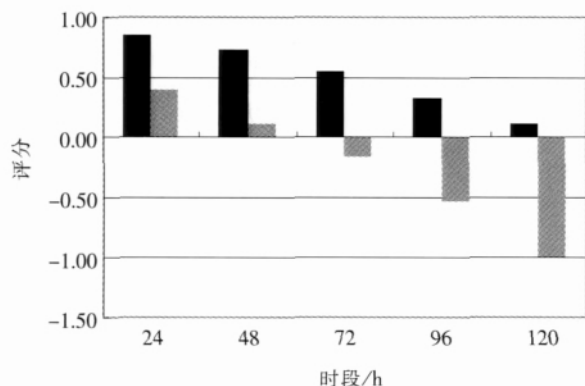
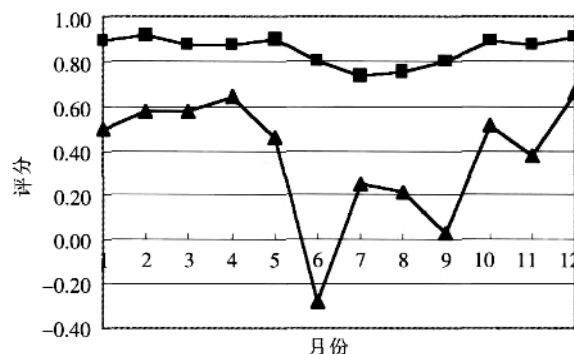


图 2 ECMWF(黑色)、T213L31(灰白色)技巧评分直方图

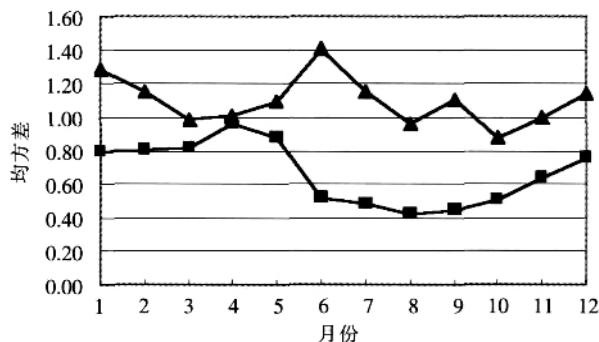
从订正情况分析, ECMWF、T213L31 订正后的均方根误差在 24~48 h 时段都有较大改善。其中, ECMWF 均方根误差降低 1.6%~16.5%, T213L31 降低 11.0%~19.8%, 时效越近, 改善越明显, 在 72 h 时段, 两个模式订正后均方根误差无明显改善, 而在 96 h 后, 已无改善。原因在于该时段本身已经大于订正方法所取时间步长, 超出其平滑能力, 订正结果无法改善, 如果延长时步长, 则可能会影响预报员所关心时效(如 24~48 h)的订正结果, 除非模式输出相当平稳。试验表明, 对模式的订正, 应当根据业务需求和模式情况选取合理的时间步长和平滑系数, 即订正过程力求在时空上协调。

对于相关系数和预报技巧评分的订正, 两种模式存在很大区别, T213L31 订正后这 2 个统计参数值提高更明显。总体上看, T213L31 的订正效果较 ECMWF 的好。在预报能力方面, T213L31 的可订正余地更大。ECMWF、T213L31 模式 24 h 预报逐月技巧评分也有所不同(图 3a)。ECMWF 的各月评分均高于 T213L31 的, 且各月评分变化相对不大, 6~9 月评分略低, 其它月份略高; T213L31 逐月技巧评分整体低于 ECMWF, 且变幅较大, 与 ECMWF 类似, 6~9 月评分较低, 6 月最差。由此可见, 两种模式在主要汛期的预报评分低

于非汛期。其它时段技巧评分的逐月分布也基本类似。另外, 从 ECMWF、T213L31 模式 24 h 预报逐月均方根误差来看(图 3b), ECMWF 各月的均方根误差均低于 T213L31 的, 6~10 月误差较小, 而 T213L31 的均方根误差变化较为复杂。



(a) 24 h 预报技巧评分



(b) 24 h 预报均方根误差

图 3 ECMWF(■)、T213L31(▲)逐月预报技巧评分与均方根误差

4 对降水主要影响系统预报能力的分析

在对影响长江上游流域暴雨的主要天气系统进行分类的基础上, 选取 20 时 ECMWF、T213L31 高度场资料即 MICAPS 第三类产品数据(diamond 3), 其中 ECMWF 为初始场及 24~120 h 高度场预报, T213L31 为初始场及 24~72 h 高度场预报。采用天气学方法, 分别统计分析各时段两种模式对主要天气系统的预报能力, 其结果见表 2。

表 2 ECMWF、T213L31 对主要天气系统的预报能力评价

模式	时段	中高纬长波系统位置	中纬短波槽		南支低值系统		副热带高压		热带系统
			位置	强度*	位置	强度	位置	强度	
ECMWF	24 h	正确	正确	偏弱 1	正确	偏弱 1	正确	正确	正确
	48 h	正确	正确	偏弱 1-5	正确	偏弱 1-3	正确	正确	偏慢 2 经距
	72 h	正确	正确	偏弱 1-9	正确	偏弱 1-3	正确	正确	偏慢 2-3 经距
	96 h	稍有偏差	偏慢	偏弱 2-20	稍有偏差	偏弱 1-4	正确	略强	偏慢 2-3 经距
	120 h	不稳定	不稳定	偏弱 2-20	不稳定	偏弱 1-4	正确	略强	偏慢 2-3 经距
T213L31	24 h	正确	正确	偏强 1-5	正确	偏强 1-3	不稳定	偏弱	
	48 h	基本正确	不稳定	偏强 3-9	正确	偏强 1-5	不稳定	偏弱	
	72 h	不稳定	不稳定	偏弱 1-9	正确	偏强 2-5	不稳定	偏弱	偏慢 1-5 经距

* 强度单位为位势什米(dagpm)

分析结果表明,ECMWF 24 h 500 hPa 高度预报场对长江上游流域暴雨的主要天气系统,如中高纬长波系统(巴尔喀什湖暖脊、蒙古或新西伯利亚低槽),中纬短波槽,南支低值系统(高原低槽、印缅低槽),副热带高压以及热带系统,均有很强的预报能力,除副高外围面积有时略偏大,各主要天气系统的位置、强度预报场与分析场基本吻合,高度误差一般在1位势什米左右。可见,ECMWF 24 h 500 hPa 高度预报场一般基本无须订正就可直接用于预报。但分析中ECMWF 24 h 500 hPa 高度预报也偶有例外情况。如2004年9月3-5日连续暴雨过程,主要影响系统是大陆高压急剧减弱变化,9月1日20时至2日20时大陆上为块状高压,3日20时大陆高压减弱,长江上游已处588线外围;但ECMWF 24 h 500 hPa 高度预报及订正场未能报出,预报588线偏西至90°E;4日20时大陆上已不见588线,预报及订正场大陆上仍预报有范围较小的588环流。这次过程中,ECMWF对大陆高压减弱趋势报出,但强度偏大,时间上也较实况偏晚1天,这是ECMWF 24 h 500 hPa 高度预报少有的例外。

ECMWF 48 h 500 hPa 高度预报对长江上游流域暴雨的主要天气系统仍有很强的预报能力,与ECMWF 24 h 预报类似,副高外围面积有时略偏大,各主要天气系统的位置、强度预报场与分析场基本吻合,高度误差较ECMWF 24 h 略加大,南支低值系统一般在1-3位势什米,中纬短波槽误差略大(在1-5位势什米);热带系统偏慢2个经度。ECMWF 48 h 500 hPa 高度预报场一般也无须订正。

在72-96 h 预报时段,ECMWF 500 hPa 高度预报场对主要天气系统仍有预报能力,系统位置基本准确,南北支低值系统预报偶有偏慢,高度误差较ECMWF 48 h 略加大,特别是中纬短波槽误差较大,有时偏弱2-20位势什米;热带系统偏慢2-3个经度。

与上述预报时段相比较,ECMWF 120 h 500 hPa 高度预报场预报不够稳定,对基本影响系统有时可报出,但无论位置或强度均存在较大的偏差。总体上,ECMWF 120 h 500 hPa 高度预报场可作参考,但需要订正后使用。

对于T213L31模式,24 h 500 hPa 高度预报场对影响长江上游流域暴雨的主要天气系统,如中高纬长波系统(巴尔喀什湖暖脊、蒙古或新西伯利亚低槽),中纬短波槽,南支低值系统(高原低槽、印缅低槽),均有较强预报能力,主要天气系统的位置预报场与分析场基本吻合,强度预报偏差也不大(较ECMWF 500 hPa 高度预报场偏差略大),对南支低值系统预报略偏强。值得注意的是,T213L31模式对热带系统特别是副热

带高压的预报不稳定,其预报多偏弱。

T213L31模式48 h 500 hPa 高度预报场对影响长江上游流域暴雨的主要影响系统,如中高纬长波系统、中纬短波槽、南支低值系统,有一定的预报能力,系统位置预报基本正确,偶有偏慢;强度预报,南、北支低值系统预报略偏强(如7月16日河套南部报出一低涡,实况为低槽),且误差较24 h的更大,南支槽可达1-5位势什米,中纬短波槽可达2-7位势什米。从个例分析来看,中低纬整体高度场偏低明显,副热带高压预报显著偏弱,外围偏弱可达1-3位势什米。

在72 h 预报时段,T213L31模式对南支低槽位置的预报基本正确,其它系统位置预报不甚稳定;强度上,南支低槽预报继续偏强(1-5位势什米),副热带高压预报偏差较大,外围明显偏小,副热带高压西伸至大陆部分偏差可达2-4位势什米。此外,中高纬短波槽预报有时偏慢2-4经距。

T213L31模式预报南支低槽多偏强,南亚高压和副热带高压预报多偏弱,中低纬可能存在整体高度场偏低,造成中低纬高值系统偏弱、低值系统偏强。此外,各时段副热带高压预报特别是588位势什米外围线预报较ECMWF的差,对副高预报能力明显偏弱。

比较而言,ECMWF对影响长江上游流域暴雨主要天气系统(位置以及强度)的预报能力均较T213L31强,特别是对副高的预报能力明显好于T213L31;其可用时效长于T213L31约1.5-2天。值得注意的是,T213L31对地形影响最大的南支低值系统有一定预报能力,但在该区域低值系统预报有时呈偏强趋势,这与通常数值预报产品对系统的强度预报偏弱并不一致。

5 订正场分析

分析2004年两种模式的订正场资料可知,由滑动平均法和时空平滑法两种方案得出的结果差别不大,说明两种模式的平均误差分布可能是定常的,移动性不明显。

对于ECMWF模式,24-72 h 高度预报两个订正场基本重合,且接近于预报场;在96-120 h 时段订正场好于预报场,更接近于分析场,订正效果较好,特别是对高原低值系统和副高预报的订正。因此,由于ECMWF模式可用时效相对较长,在其可用时效内,基本无须做大的订正,而在其较长时效的预报中,订正场有较大参考价值。如2004年5月29日120 h 预报,对南支槽订正非常好,几乎与分析场重合。

相对而言,T213L31的订正效果更为显著,在其24 h 预报时段对副高的预报中即可考虑使用订正场,这与该模式对副高的预报能力有一定关系;同样,在

其它时段,对高原低值系统和副高预报的订正也相当好。如 2004 年 7 月 13 日 20 时 72 h 预报副高偏弱,

未报出 592 位势什米,6 月 14 日 20 时 72 h 预报偏弱,订正场均给出很好订正(图 4)。

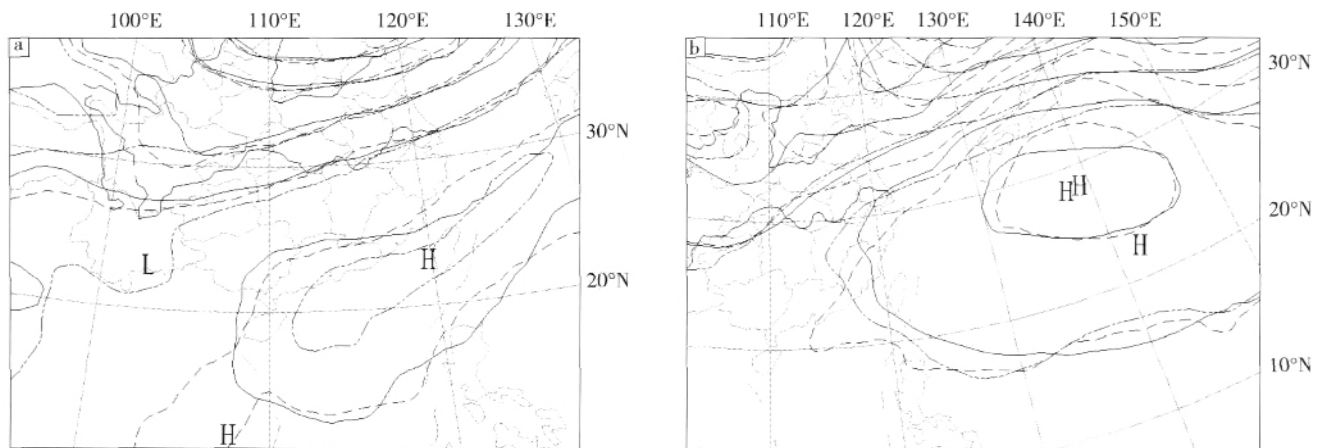


图 4 T213L31 2004 年 7 月 13 日 20 时(a)、6 月 14 日 20 时(b)72 h 预报及订正
- - - - 预报; - · - · 时空平滑订正; — 高度分析

6 结论

(1)ECMWF 与 T213L31 在其可预报时效内,对影响长江上游流域暴雨的中高纬长波系统(巴尔喀什湖暖脊、蒙古或新西伯利亚低槽),中纬短波槽,南支低值系统(高原低槽、印缅低槽),均有较强的预报能力。

(2)与 ECMWF 相比,T213L31 存在明显差距,特别是对副高的预报能力明显不如 ECMWF,其可用时效比 ECMWF 约短 1.5~2 天;经天气学检验,该模式预报还存在系统性偏差,如对南支低值系统预报略偏强,南亚高压和副热带高压预报多偏弱。

(3)使用宜昌市气象局研制的数值预报产品评价分析和客观订正系统,可从一定程度上改善模式输出结果。总体上,T213L31 的订正效果较 ECMWF 的好,可订正余地更大。特别是对高原低值系统和副高预报的订正效果很好,在其 24 h 预报时段对副高的预报

中即可考虑使用订正场,这与 T213L31 对副高的预报能力有一定关系;同样,在其它时段,对高原低值系统和副高预报的订正也相当好。

参考文献:

- [1] 付晓辉,肖稳安,龙利民,等.数值预报产品在长江干流段面雨量概率预报中的释用[J].长江流域资源与环境,2006,15(4):537-540.
- [2] 顾永刚,王丽,徐双柱.2005 年夏季华中地区四种数值预报模式的预报效果评估[J].湖北气象,2006,25(2):13-16.
- [3] 王雨.2004 年主汛期各种数值预报模式定量降水预报评估[J].应用气象学报,2006,17(3):316-323.
- [4] 张建海,诸晓明.数值预报产品和客观预报方法预报能力检验[J].气象,2006,32(2):58-63.
- [5] 田刚,陈少平,于大峰.数值预报产品评价分析和客观订正系统的设计和应用[C]//中国气象学会.2005 年年会论文集.北京:气象出版社,2005.
- [6] 蒋国荣,沙文钰.中期数值天然预报的误差订正方法探讨.气象科学,1998,19(4):381-387.

Forecasting Quality Evaluation and Objective Calibration of Numerical Weather Forecasting Products for Rainfall Forecast of the Upper Reaches of the Yangtze River

LUO Jian-qin, TIAN Gang, CHEN Shao-pin, SUN Shi-xing, LONG Li-mi, YU Da-feng
(Yichang Meteorological Bureau of Hubei Province, Yichang 443000)

Abstract: Using the forecasting quality evaluation and objective calibration system of Numerical Weather Forecasting Products developed by Yichang Meteorological Bureau, the forecasting error and the forecasting quality of ECMWF and of T213L31 are respectively analyzed. The results indicate that the forecasting error of ECMWF model is less than that of T213L31 model and the error degree of 24 h forecasting of T213L31 is close to that of 72 h forecasting of ECMWF model. T213 model and ECMWF model show different performance of prediction on the systems of the rainfall in the upper reaches of the Yangtze River. Moreover, it is proved that the forecasting quality of NWP can be improved by the objective calibration system.

Key words: The upper reaches of the Yangtze River; NWP model; Error analysis; Error correction