

王海燕,田刚,徐卫立,等. ECMWF模式在长江上游流域调度关键期的预报检验评估[J]. 干旱气象,2017,35(1):142-147, [WANG Haiyan, TIAN Gang, XU Weili, et al. Evaluation and Inspection of ECMWF Model Forecast Product During Dispatch Key Periods in Upper Reaches of the Yangtze River Basin[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(1):142-147], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-01-0142

## ECMWF模式在长江上游流域 调度关键期的预报检验评估

王海燕<sup>1</sup>,田刚<sup>1</sup>,徐卫立<sup>2</sup>,金琪<sup>3</sup>,陈良华<sup>2</sup>,陈璇<sup>1</sup>

(1. 武汉中心气象台,湖北 武汉 430074;2. 三峡梯调通信中心,湖北 宜昌 443000;  
3. 湖北省气象信息与技术保障中心,湖北 武汉 430074)

**摘要:**普查2013—2014年发生在长江上游流域的强降水过程,采用天气学检验方法,基于ECMWF模式开展检验评估。结果表明:ECMWF模式预报强降水过程起止时间和暴雨以上量级落区均在蓄水期效果最好;预报中雨以上量级的落区在各关键期总体较好,但在横江、乌江、宜宾—重庆南部、重庆—万州南部、万州—宜昌等区间易局部漏报,应加强对上述区间模式降水产品的订正;预报影响降水过程的天气系统,3 d之内与实况偏差较小,4—7 d与实况偏差较大,需预报员发挥主观作用进行订正。

**关键词:**ECMWF模式;长江上游流域;降水预报;环流形势预报

**文章编号:**1006-7639(2017)-01-0142-06 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-01-0142

**中图分类号:**P456.7

**文献标识码:**A

### 引言

长江水患一直是影响长江流域发展的一大危害。1954年和1998年长江流域出现全流域性大洪水,其形成主要为上游来水所致<sup>[1-2]</sup>。2004年9月初,四川省东北部和重庆地区出现大范围的持续性暴雨和大暴雨天气过程,长江上游发生了有资料记载以来的秋季第三大洪水。2012年,长江先后出现5次洪峰,7月24日三峡入库流量达 $71\ 200\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,为建库以来最大洪峰,也是1981年以来的最大洪水。2016年7月以来,长江中下游降雨量与历史同期相比普遍偏多1~2倍,7月1日长江上游形成“长江1号”洪峰,7月3日长江中下游形成“长江2号”洪峰,为控制上游洪水对下游的影响,三峡水库通过采取防洪调度措施,拦蓄来水,减少下泄,避免了上下游洪水的叠加。精准预报始终是防洪调度的关键,不少学者从水文学角度出发,研究长江上游的洪水预报<sup>[3-7]</sup>。近年来,对长江上游致洪降雨形成的特定天气背景研究逐渐增多,如李才媛等<sup>[8]</sup>分析了产生长江上游3次大洪峰暴雨的天气系统,张萍

萍等<sup>[9]</sup>研究了长江上游与洞庭湖洪水遭遇天气概念模型,陈璇等<sup>[10]</sup>归纳了长江上游流域大洪水的天气分型,王晓玲等<sup>[11-12]</sup>开展了长江上游中小洪水的天气学特征研究。

以上研究多是从洪水形成的机理出发,当前数值预报技术是决定预报准确率的重要因素,也是气象预报现代化的重要标志,数值预报模式已成为预报领域不可替代的预报方法。国家气象中心对2011—2015年T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验表明<sup>[13-22]</sup>,ECMWF模式的预报效果最好,但与实况相比仍有偏差。本文基于ECMWF模式对2013—2014年长江上游的强降水过程进行检验评估,以期弥补长江上游数值预报产品评估检验的空白,为水文气象预报服务提供高质量的预报参考。

### 1 资料和方法

#### 1.1 资料说明

(1)实况资料:2013—2014年全年长江上游流

收稿日期:2016-07-29;改回日期:2016-12-02

基金项目:长江电力股份有限公司项目“气象分析预测产品评价方法研究和软件开发”(2415020004)资助

作者简介:王海燕(1983-),女,硕士,高级工程师,主要从事天气预报分析研究. E-mail:whz427@126.com

域 287 个国家气象站逐 6 h 雨量、逐日雨量资料;长江上游流域逐日面雨量资料。

(2)数值模式降水资料:2013—2014 年 ECMWF 模式(以下简称 EC 模式)20:00 降水预报资料,预报时效为 12—18 h、18—24 h、24—30 h、30—36 h 和 12—36 h。水平分辨率为  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ,空间范围为  $0^{\circ}$ — $180^{\circ}$ E, $10^{\circ}$ S— $70^{\circ}$ N。

(3)数值模式环流形势资料:2013—2014 年 EC 模式 20:00 500 hPa 高度场、700 hPa 风场、海平面气压场资料,预报时效为 24—168 h,时间分辨率为 24 h。水平分辨率为  $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ ,空间范围为  $60^{\circ}$ E— $200^{\circ}$ E, $0^{\circ}$ — $90^{\circ}$ N。

## 1.2 降水过程普查

以长江上游 6 大流域(岷沱江、嘉陵江、乌江、宜宾—重庆、重庆—万州、万州—宜昌)、金沙江下游 5 个子流域(石鼓—攀枝花、攀枝花—华弹、华弹—屏山、雅砻江、横江)为研究对象(图 1)。根据国家水利部的相关文件《三峡—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程》\*,三峡水利枢纽的调度关键期分为消落期(6 月 10 日前)、汛期(6 月 10 日—8 月)和蓄水期(9—10 月)。

定义满足以下任一条件时,当日达到强降水标准: i) 6 月 10 日前,任一流域日面雨量  $\geq 25$  mm; ii) 6 月 10 日后,任一流域日面雨量  $\geq 35$  mm; iii) 2 个子流域日面雨量同时  $\geq 20$  mm。若 1 d 达到强降水标准,则记为一次强降水过程;若连续 2 d 以上达到强降水标准,则合并记为一次强降水过程。按照该标准,2013—2014 年长江上游强降水过程共有 36 例,其中消落期 10 例,汛期 20 例,蓄水期 6 例。

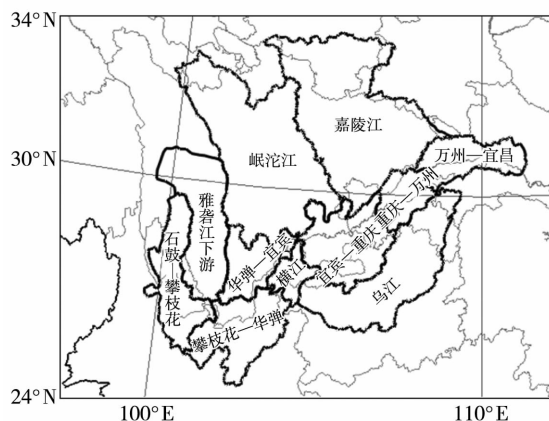


图 1 长江上游 11 个子流域

Fig. 1 Eleven sub basins in the upper reaches of the Yangtze River

\* 中国长江三峡集团公司 2015 年 9 月发布

## 1.3 天气学检验方法

(1)开始、结束时间检验:预报与实况偏差  $\leq 16$  h 视为预报与实况一致;预报与实况偏差  $> 16$  h 则视为预报偏早或偏晚。

(2)降水落区位置检验:预报与实况经向、纬向偏差  $\leq 10.5^{\circ}$  视为预报与实况一致;经向偏差  $> 10.5^{\circ}$  视为预报偏东或偏西;纬向偏差  $> 10.5^{\circ}$  则视为预报偏北或偏南。

(3)系统位置检验:预报与实况经向、纬向偏差  $\leq 11.25^{\circ}$  视为预报与实况一致;经向偏差  $> 11.25^{\circ}$  视为偏东或偏西;纬向偏差  $> 11.25^{\circ}$  视为偏北或偏南。

## 2 欧洲模式降水预报评价检验

### 2.1 降水起止时间检验

基于 EC 模式前一日 20:00 预报 12—18 h、18—24 h、24—30 h、30—36 h 的降水产品和当日 08:00—14:00、14:00—20:00、20:00—次日 02:00、次日 02:00—08:00 的降水实况,检验该模式预报各关键期降水过程的起止时间,结果见图 2。可以看出:消落期 EC 模式预报降水过程起止时间的准确率占 80%,偏晚、偏早概率各占 10%;汛期准确率占 75%,偏差较大的概率占 15%,偏晚、偏早概率则各占 5%;蓄水期准确率最高,达 100%。

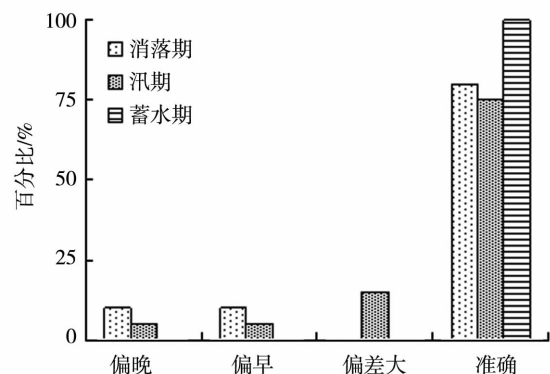


图 2 消落期、汛期、蓄水期 EC 模式预报降水起止时间检验

Fig. 2 Inspection of EC forecast result for the beginning and ending time of strong precipitation process in falling period, flood period and storage period

### 2.2 中雨以上落区检验

基于 EC 模式前一日 20:00 预报 12—36 h 的降水产品和当日 08:00—次日 08:00 的降水实况,对实况出现中雨以上量级的落区进行检验。当上游流域某区间出现中雨以上量级的降水,且 EC 模式预

报准确的次数超过 80%，则认为 EC 模式预报该区间准确，漏报的次数超过 20% 则视为漏报。图 3 是检验结果，可以看出：消落期，EC 模式预报准确的区域位于嘉陵江流域南部、宜宾—重庆、重庆—万州、乌江西段、石鼓—攀枝花南段、雅砻江下游南段、攀枝花—华弹、华弹—宜宾、横江，漏报的区域为岷沱江东南部、万州—宜昌、乌江东段；汛期，EC 模式预报准确的区域位于石鼓—攀枝花、雅砻江下游、华弹—宜宾、攀枝花—华弹南部、横江、乌江东部和南部、宜宾—重庆北部、重庆—万州北部、万州—宜昌

中西部、岷沱江和嘉陵江大部，漏报的区域为嘉陵江东南部、嘉陵江和岷沱江中部交界处、攀枝花—华弹北部、乌江北部、宜宾—重庆南部和重庆—万州南部；蓄水期，EC 模式预报准确的区域位于嘉陵江南部、岷沱江南部、雅砻江下游中南段、石鼓—攀枝花中南段、攀枝花—华弹、华弹—宜宾、宜宾—重庆北部、重庆—万州西北部、乌江中西部，漏报的区域为雅砻江下游北段和岷沱江中段、横江、宜宾—重庆南部、重庆—万州南部、万州—宜昌西段和乌江东段。

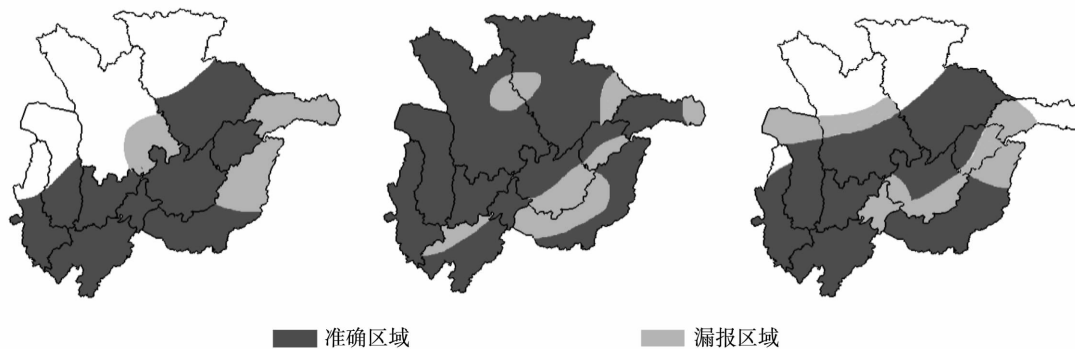


图 3 消落期(左)、汛期(中)、蓄水期(右)EC 模式预报中雨以上量级落区 12—36 h 检验结果

Fig. 3 Inspection of EC 12 - 36 h forecast result for moderate rain location in falling period (the left), flood period (the middle) and storage period (the right)

### 2.3 暴雨以上落区检验

基于 EC 模式前一日 20:00 预报 12—36 h 的降水产品和当日 08:00—次日 08:00 的降水实况，对实况出现暴雨以上量级的落区进行检验。当上游流域出现暴雨以上量级的降水，若 EC 模式预报的暴雨落区与实况经、纬向偏差  $\leq 10.51^\circ$ ，则视为预报与实况一致；若 EC 模式没有预报暴雨，则视为漏报。图 4 是检验结果，可以看出 EC 模式预报暴雨落区的一致率在蓄水期最高为 73%，其次在汛期为 39%，最低在消落期为 9%；漏报率在汛期和蓄水期最低，都是 9%，在消落期最高为 27%。这说明 EC 模式在蓄水期预报暴雨以上量级的落区与实况最为接近。

进一步比较 EC 模式预报暴雨以上的落区和实况落区，若经、纬向偏差  $> 10.51^\circ$  则视为预报偏东或偏西、偏北或偏南，结果见图 5。消落期，EC 预报暴雨以上落区较实况偏西、偏西北、偏西南的概率共有 54%；汛期，较实况偏西、偏西北的概率共有 30%，偏北、偏东北的概率共有 21%；蓄水期，较实况偏东北的概率为 18%。说明 EC 模式预报暴雨落区在消落期易偏西，在汛期易偏西或偏北，在蓄水期易偏北。

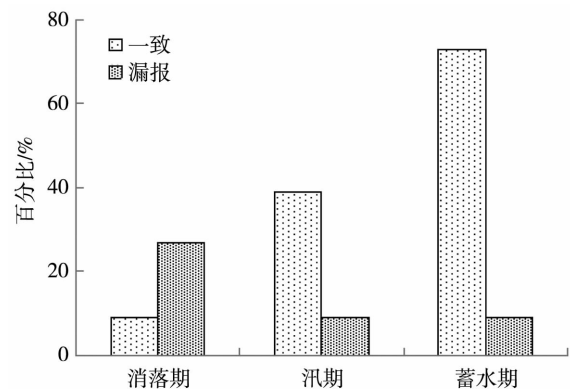


图 4 EC 模式预报暴雨以上量级落区 12—36 h 检验结果

Fig. 4 Consistent rate and missing rate of EC 12 - 36 h forecast for strong precipitation location

## 3 欧洲模式环流形势预报评价检验

### 3.1 消落期影响系统位置检验

进一步分析各关键期强降水过程的主要影响系统，检验 EC 模式预报影响系统位置的准确率。因长江上游地势较高，故文中所指的切变线和低涡均位于 700 hPa。

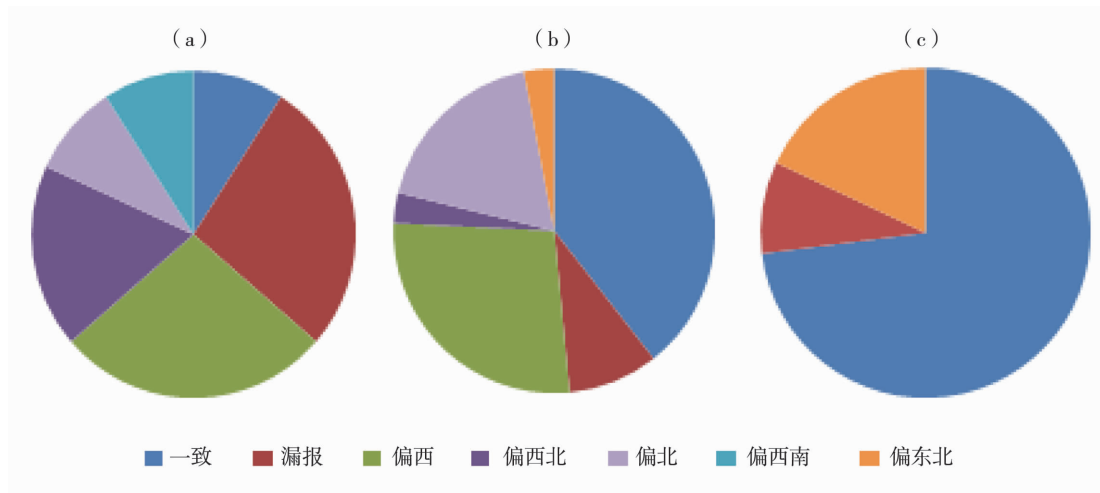


图 5 EC 模式预报暴雨以上量级落区方位 12—36 h 检验

(a)消落期,(b)汛期,(c)蓄水期

Fig. 5 Location inspection of EC 12 - 36 h forecast for strong precipitation area in falling period (a) , flood period (b) and storage period (c)

如表 1 所示,消落期,强降水过程的主要影响系统是低槽、切变线、低涡和地面系统。检验 EC 模式预报影响系统的位置准确率,取准确率超过 50% 为可信,超过 75% 为可用(可以当实况用)。从图 6 可见,消落期 EC 模式预报影响系统在 72 h 内基本可信,其中预报高空槽和地面系统可用,但要注意 72 h 对切变线的预报。

表 1 消落期强降水过程主要影响系统出现次数及百分比

Tab. 1 Occurrence frequency and percentage of main impact systems on strong rainfall process in falling period

统计量	影响系统			
	低槽	切变线	低涡	地面系统
次数/次	10	10	5	5
百分比/%	100	100	50	50

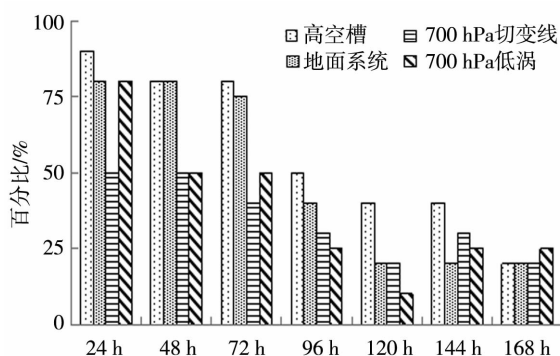


图 6 消落期 EC 模式预报强降水影响系统位置准确率

Fig. 6 Location inspection of EC forecast for impact systems in falling period

### 3.2 汛期影响系统位置检验

汛期,强降水过程的主要影响系统是低槽、副高、切变线、低涡和地面系统(表 2)。从图 7 可以看出,EC 模式预报切变线和低涡,96 h 内可信;预报地面系统,72 h 内可信;预报高空槽,48 h 内可信;预报副高,24 h 内可信。

表 2 汛期强降水过程主要影响系统出现次数及百分比

Tab. 2 Occurrence frequency and percentage of main impact systems on strong rainfall process in flood period

统计量	影响系统				
	低槽	副高	切变线	低涡	地面系统
次数/次	19	13	18	7	13
百分比/%	95	65	90	35	65

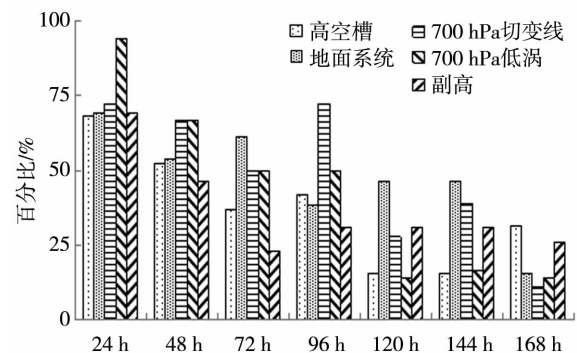


图 7 汛期 EC 模式预报强降水影响系统位置准确率

Fig. 7 Location inspection of EC forecast for impact systems in flood period

### 3.3 蓄水期影响系统位置检验

蓄水期,强降水过程的主要影响系统是低槽、副高、切变线和地面系统(表3)。从图8可以看出,蓄水期EC模式预报影响系统在72 h内基本可信,但需注意72 h对地面系统的预报。预报高空槽,96 h内可信,72 h内可用;预报副高和700 hPa切变线,72 h内可信;预报地面系统,48 h内可信。

表3 蓄水期强降水过程主要影响系统出现次数及百分比

Tab.3 Occurrence frequency and percentage of main impact systems on strong rainfall process in storage period

统计量	影响系统			
	低槽	副高	切变线	地面系统
次数/次	6	5	6	6
百分比/%	100	83.3	100	100

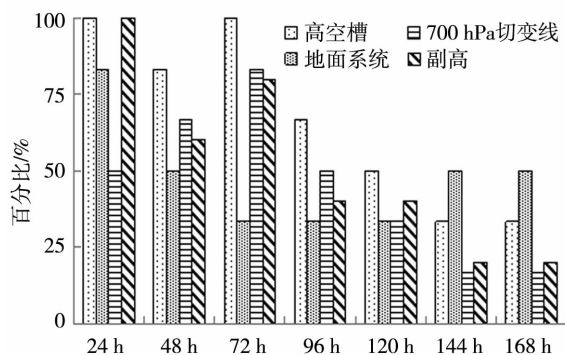


图8 蓄水期EC模式预报强降水影响系统位置准确率

Fig.8 Location inspection of EC forecast for impact systems on strong rainfall process in storage period

比较各关键期影响系统位置的准确率,可以看出,随预报时效的延长,准确率都有逐渐降低的趋势。汛期和蓄水期的下降规律没有消落期明显,主要是因为汛期和蓄水期,强降水主要受副高的北跳南落、西进东退及其外围低槽活动的影响,而台风一般发生在夏秋之间,副高和台风的博弈加大了模式预报的不稳定性,降低了模式预报天气系统的准确率。此时,需要预报员结合自身经验,发挥主观作用进行订正。

进一步分析发现,EC模式预报影响系统位置准确率在蓄水期较高,尤其24 h预报4个影响系统都可信,3个影响系统可用,其中预报高空槽和副高的位置准确率达到100%,因此该模式在蓄水期预报暴雨以上量级落区效果最好。

## 4 小结

(1)EC模式预报强降水过程起止时间的准确率,蓄水期最高,其次为消落期和汛期。

(2)对中雨以上量级的落区检验表明,EC模式总体准确率超过80%,但在降水多发区易漏报局部强降水,漏报点多位于横江、乌江,宜宾—重庆南部、重庆—万州南部、万州—宜昌等区间。在实际预报过程中,预报员可在上述区域对EC模式降水产品进行订正。

(3)对暴雨以上量级的落区检验表明,EC模式在蓄水期预报效果最好,其次是汛期、消落期。

(4)对影响系统位置的检验表明,有过程时,EC模式3 d之内可用,预报影响系统与实况偏差较小,4—7 d预报影响系统的位置与实况相比偏差较大,但仍可以反映出降水过程,需要预报员结合归纳总结的模式预报特点,发挥主观作用进行订正。

本文从天气学角度出发,探讨了EC模式在长江上游流域预报降水和天气系统的规律特点,为客观、主观预报提供有效订正的依据,然而由于数值模式具有一定的复杂性,后期还需通过深入研究进一步开展科学的检验评估,从而提高长江上游流域强降水预报能力,为长江上游水利枢纽联合调度和水资源开发利用提供气象服务技术支撑。

### 参考文献

- [1] 沈滢英,姜彤,吴宜进. 1998年长江流域暴雨洪水环流背景分析[J]. 自然灾害学报,2000,9(1):7-12.
- [2] 郁淑华. 长江上游暴雨对1998年长江洪峰影响的分析[J]. 气象,2000,26(1):56-57.
- [3] 李武阶,王继竹,郭英莲,等. 金沙江中下游流域面雨量特征分析[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(6):846-853.
- [4] 曾小凡,叶磊,翟建青,等. 嘉陵江流域极端降水变化及其对水文过程影响的初步研究[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(S1):159-164.
- [5] 张世明,王晓凤,张亮. 长江上游寸滩站2010年“7.19”洪水预报分析[J]. 人民长江,2010,42(6):25-26.
- [6] 肖中,赵东,曹磊. 长江上游“10.7”洪水及寸滩站水位流量关系分析[J]. 人民长江,2010,41(21):39-41.
- [7] 王俊超,彭涛,王丽娟. 基于Micaps3.1的中小流域降水与水文精细化预报平台设计与开发[J]. 干旱气象,2015,33(4):702-710.
- [8] 李才媛,王海燕,郭英莲,等. 三峡水库上游流域大洪峰暴雨天气系统分析[J]. 灾害学,2012,27(2):7-12.
- [9] 张萍萍,董良鹏,陈璇,等. 不同关键期长江上游与洞庭湖洪水遭遇过程气候特征对比[J]. 干旱气象,2016,34(3):465-471.
- [10] 陈璇,张萍萍,田刚,等. 长江上游流域大洪水天气分型特征分析[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(12):2142-2152.
- [11] 王晓玲,李银娥,陈晨,等. 长江上游中小洪水月分布特征及天

- 气成因[J]. 干旱气象,2015,33(6):1000-1009.
- [12] 王海燕,李波,李子进,等. 长江上游中小洪水天气学分型及特征[J]. 暴雨灾害,2015,34(4):293-301.
- [13] 蒋星,蔡芎宁. 2011年6-8月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象,2011,37(11):1448-1452.
- [14] 符娇兰. 2011年9-11月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象,2012,38(2):238-243.
- [15] 蔡芎宁. 2012年9-11月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象,2013,39(2):253-258.
- [16] 刘凑华,赵晓琳. 2012年12月至2013年2月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象,2013,39(5):653-658.
- [17] 张博,李勇. 2013年6-8月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象,2013,39(11):1514-1520.
- [18] 刘一. 2013年9-11月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象,2014,40(2):247-252.
- [19] 刘为一. 2014年3-5月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象,2014,40(8):1019-1025.
- [20] 张峰. 2014年6-8月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象,2014,40(11):1414-1421.
- [21] 尹姗. 2015年6-8月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象,2015,41(11):1417-1424.
- [22] 张峰. 2015年9-11月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象,2016,42(2):246-253.

## Evaluation and Inspection of ECMWF Model Forecast Product During Dispatch Key Periods in Upper Reaches of the Yangtze River Basin

WANG Haiyan<sup>1</sup>, TIAN Gang<sup>1</sup>, XU Weili<sup>2</sup>, JIN Qi<sup>3</sup>, CHEN Lianghua<sup>2</sup>, CHEN Xuan<sup>1</sup>

(1. Wuhan Center Meteorological Observatory, Wuhan 430074, China; 2. Three Gorges Cascade Dispatch & Communication Center, Yichang 443000, China; 3. Hubei Meteorological Information and Technology Support Center, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Based on daily area rainfall data, the heavy precipitation processes from 2013 to 2014 were found. Secondly, by using weather testing method, the inspection and evaluation of ECMWF model forecast product at reservoir dispatch key periods in the upper reaches of the Yangtze River basin were carried out. Results show that the forecast for the beginning and ending time of strong precipitation process and the forecast for rainstorm area were best in storage period. The forecast for moderate rain area was generally good in all key periods, but it was easy to miss report in sub basins such as Hengjiang, Wujiang, Yibin - Chongqing South, Chongqing - Wanzhou South and Wanzhou - Yichang. So, the correction of rainfall product in above ranges should be enhanced. The inspection of ECMWF circulation forecast showed that the deviation of weather system prediction was small within 3 days and large in 4 - 7 days, forecasters should expand on subjective initiative to model correcting.

**Key words:** ECMWF model; upper reaches of the Yangtze River basin; precipitation forecast; circulation forecast