

符娇兰,宗志平,代刊,等. 2014. 一种定量降水预报误差检验技术及其应用. 气象, 40(7):796-805.

# 一种定量降水预报误差检验技术及其应用<sup>\*</sup>

符娇兰<sup>1</sup> 宗志平<sup>1</sup> 代 刊<sup>1</sup> 张芳华<sup>1</sup> 高栋斌<sup>2</sup>

1 国家气象中心,北京 100081  
2 云南省勐海县气象局,勐海 666200

**提 要:** 面向对象检验技术是定量降水预报误差分析方法之一,通过对某一降水过程进行分离,实现对其落区、量级等预报误差的定量化分析。基于面向对象的检验方法和天气系统识别技术,本文利用实况观测资料、ECMWF 全球数值模式产品,以 2012 年汛期西南地区 5 个典型强降水天气过程作为检验对象,对其降水及天气尺度影响系统 1~10 d 模式预报误差进行了定量化分析。分析表明:在中短期时效内,模式均对西南地区雨带位置预报偏北、偏西,中期时效内偏差更显著,雨带主轴上 70% 以上的点预报较实况偏北在 2° 以内,偏西约 3° 以内;预报的大雨及以上量级降水量较实况偏弱;模式 1~2 d 预报的极值分布与实况较为接近,随着预报时效延长,预报的极值较实况明显偏小;模式预报的小雨及以下量级的降水范围较实况偏大,对大雨以上量级的降水范围较实况明显偏小。对于四川盆地而言,预报的切变线较零场偏西 0.5°~3°。低空急流预报偏西 0.5°~1.5°;低空急流强度预报偏差具有季节差异。

**关键词:** 面向对象, 定量降水预报检验, 系统识别, 西南地区, 欧洲中期天气预报中心细网格模式

**中图分类号:** P456      **文献标志码:** A      **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.07.003

## Application of a Verification Method on Bias Analysis of Quantitative Precipitation Forecasts

FU Jiaolan<sup>1</sup> ZONG Zhiping<sup>1</sup> DAI Kan<sup>1</sup> ZHANG Fanghua<sup>1</sup> GAO Dongbin<sup>2</sup>

1 National Meteorological Centre, Beijing 100081  
2 Menghai Meteorological Station of Yunnan, Menghai 666200

**Abstract:** Object-oriented verification method, which analyzes the bias of location, rain volume for a rainfall event, is one of the techniques for quantitative precipitation forecast verification. Based on the object-oriented verification method and weather system auto-identification technique, the errors of the quantitative precipitation forecast and synoptic scale system of high-resolution version of the ECMWF medium-range forecast model for 1–10 d of 5 typical severe rainfall cases over Southwest China in 2012 was determined. The results show that: The forecasted rainfall zone for all valid time is located west and north to the observed one, especially for the medium-range forecast. 70% points of the forecast rainfall belt over the rainfall axis lie in two degrees north and three degrees west of observed one. The forecasted rainfall intensity with amount larger than 25 mm/24 h is weaker than the observed. The distribution of forecasted extreme rainfall is almost the same as the observed in 24–48 h. However, with the valid time becoming longer, the extreme forecasted rainfall gets obviously weaker. Area of forecasted light rain is larger than the observed, but the area of rainfall more than 25 mm/24 h is smaller. For Sichuan Basin, the forecasted shear line is situated 0.5–3 degrees west to the analyzed one, and the forecasted low level jet (LLJ) is located 0.5–1.5 degree west. The intensity error of LLJ is different for different seasons.

<sup>\*</sup> 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306002)和中国气象局 2013 年预报员专项(CMAYBY2013-083)共同资助  
2013 年 05 月 22 日收稿; 2013 年 10 月 21 日收修定稿  
第一作者:符娇兰,主要从事灾害性天气诊断分析和预报技术研究. Email:bluelilyfly@163.com

**Key words:** object-oriented verification procedure, quantitative precipitation forecasts verification, system identification, Southwest China, high-resolution version of the ECMWF medium-range forecast model

## 引 言

数值预报模式是现代天气预报业务发展的基础技术支撑。随着数值预报技术的不断发展,天气预报准确率稳步提高,预报时效也在逐渐延长。然而,目前全球模式对中尺度天气系统、复杂天气过程,尤其是强降水预报,其预报技巧还有待提高,从而导致大雨及其以上量级降水的预报准确率提高缓慢。

评估模式预报误差是实现模式产品订正的基础。近年来,国际上模式检验订正技术得到快速发展,已从传统的检验评分(如 TS 评分、RMSE 分析)、主观检验(天气学检验),发展到了更能适应高分辨率模式误差评估的邻近点检验技术、尺度分解检验法、面向对象的检验技术、面向实体检验技术等空间检验方法(Gilleland et al, 2010)。传统的检验评分仅提供模式预报性能总的评价,对预报员分析具体天气过程的模式预报性能以及订正参考意义不大。然而,尽管如此这仍然是我国目前最常用的检验方法(梁红等, 2007; 周慧等, 2010; 尤凤春等, 2009)。此外,在日常预报业务中,预报员通过对预报场和观测场进行主观对比来分析雨带、天气系统等的位置与强度的预报误差(蔡芎宁, 2013; 王毅, 2012)。尽管天气学检验可以提供更多的信息量,但该方法工作量大,而且误差带有主观性且以定性为主。最近几年,我国也开始逐渐引入国外发展相对成熟的空间预报检验技术(孔荣等, 2010; 公颖, 2010; 刘凑华等, 2013)。虽然这些方法对定量降水预报的位置、强度以及不同尺度雨带预报误差进行了分析,但由于最终输出的检验结果仅为几个参数,对预报员在理解误差分布和在实际预报过程进行应用造成了不便。

尽管空间检验技术已发展出多种方法,但有些方法得到的检验结果对预报员的参考和应用价值并不高。Ebert 等(2000)指出基于格点场的常规误差分析不便于对单个降水事件的预报误差进行评估,并提出面向对象的降水预报误差分析方法,认为降水预报误差可分解为落区误差、强度误差以及内部结构误差。该方法不仅可以为预报员提供误差来源

分布,同时检验对象为连续的降水雨带,这与日常预报中进行定量降水预报的对象是一致的,因此该检验方法更能满足预报员对于模式定量降水预报误差认识的需要。但不足之处在于该方法并没有给出具体的雨带位置等误差值,从我们日常预报检验来看,雨带位置误差是最主要的误差之一,预报员如果能获取模式预报的雨带系统性偏差,那么就可以进行预报订正。因此,本文拟利用面向对象的检验思路,实现对具体降水过程的雨带位置、降水强度等误差进行定量分析,并对其产生误差的天气学成因进行可能的探讨。

西南地区地处青藏高原东麓,受高原复杂地形及上游观测资料稀少的影响,各家数值模式在该地区的预报系统性误差可能更显著。进入 2012 年主汛期以来,西南地区先后出现了 5 次较强的降水过程,分别为 7 月 2—4 日、7 月 6—7 日、7 月 20—22 日、8 月 30 日至 9 月 2 日、9 月 10—12 日,强降水主要位于四川盆地以及川西高原南部。尽管强降水并未带来较明显的灾害,但从主客观定量降水预报产品与实况降水分布的定性对比来看,预报存在一定的误差,尤其是大雨以上量级降水落区误差较明显。

利用面向对象的降水预报误差分析方法,本文将以上述 5 个强降水过程为例,阐述面对对象检验技术的实现过程,并对 2012 年西南地区降水落区及强度的数值模式预报误差进行量化分析。为了进一步分析数值模式降水预报误差形成的原因,利用天气系统识别技术对数值模式零场和预报场的直接影响系统进行识别,并对 700 hPa 切变线、低空急流等天气尺度/中尺度影响系统的预报误差进行分析。探索西南地区模式预报系统误差的可能分布特征,为预报员进行模式产品订正提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资 料

本文主要针对 ECMWF 全球细网格模式的预报误差进行分析,重点选取了 700 hPa 风场、24 h 累积降水量等要素,模式具体信息见表 1。降水实况

资料为全国 2400 多个站点的当天 08 时至次日 08 时 24 h 累积降水量。格点降水通过双线性插值方法插值到相应的站点上,而站点降水数据则利用中央气象台基于变分方法的客观分析技术(该方法利用变分思想将插值得到的格点场的准确性和平滑性设计成一个目标函数,通过求解目标函数最小值得到最优的插值格点场)插值到相应的模式格点场上。

表 1 ECMWF 细网格全球模式信息  
Table 1 Information of high-resolution version of the ECMWF medium-range forecast model

空间分辨率	时间分辨率	预报时效	
		风场	24 h 降水
0.25×0.25	24 h	10 d	9 d

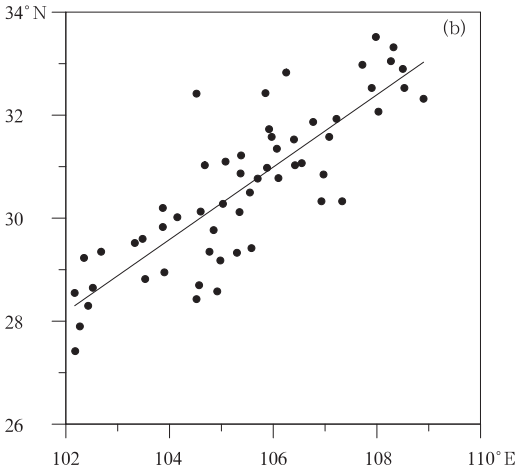
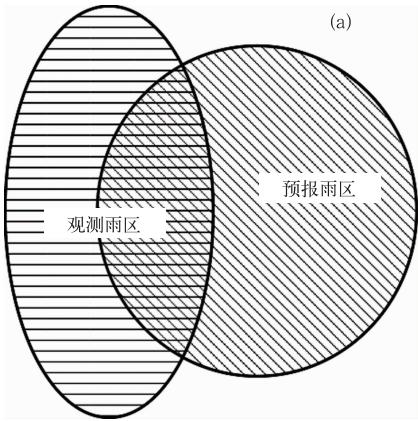


图 1 观测和预报的连续雨区示意图(a),雨带轴向示意图(b)  
(图 b 中圆点表示雨带上的观测站点,线条表示由线性拟合得到雨带轴线)

Fig. 1 Schematic illustration for (a) the forecasted and observed continuous rainfall area (CRA), (b) the axis of a CRA  
[The line is the linear fit for all stations (dots) in CRA]

80%百分位的所有降水量,通过对比分析模式与实况极值统计分布特征,估计中短期时效不同时效强降水预报误差。

1.3 切变线、低空急流识别技术及检验方法

张晓伟(2010)给出了基于 MICAPS 平台的风切变线的识别方法。通过分析,影响这 5 次降水过程的 700 hPa 切变线主要为东北—西南走向的冷式切变线(图 2),利用切变线识别方法将模式切变线在格点场上的经纬度记录下来,通过对比零场与 10 d 预报的切变线位置偏差来分析模式的预报误差。而对于低空急流,考虑到西南地区海拔较高,本文定

1.2 面向对象的降水预报误差分析方法

Ebert 等(2000)通过某一等雨量线定义一个连续降雨区(contiguous rain area,CRA)来实现对单个降水事件进行检验(图 1a)。本文利用 25 mm/24 h 等雨量线来分离西南地区(27°~34°N、102°~109°E)强降水区。在此基础上分析雨带轴向、雨强及降水极值分布等误差。雨带轴向通过线性拟合上述定义的强降水区的经纬度序列得到(图 1b),通过分析模式预报与实况雨轴距离得到落区误差。雨强为上述定义的强降水区的平均降水,通过分析雨强偏差(雨强偏差为模式降水与实况降水的比值)评估模式降水强度预报误差。降水极值则为强降水区≥

义 700 hPa 风速>8 m·s<sup>-1</sup>,且风向为 111.5°~247.5°之间的风为低空急流。重点分析低空急流覆盖面积以及低空急流西边界位置的预报误差。

2 西南地区强降水过程及主观预报检验

本文对 2012 年汛期西南地区强降水天气过程进行了普查,其中仅有 5 次为降水强度强、影响范围大的典型强降水过程。表 2 给出了所选取的 5 次强降水天气过程的相关信息。可以看出前 3 次降水过程为主汛期降水,而最后两次为华西秋雨季节的强

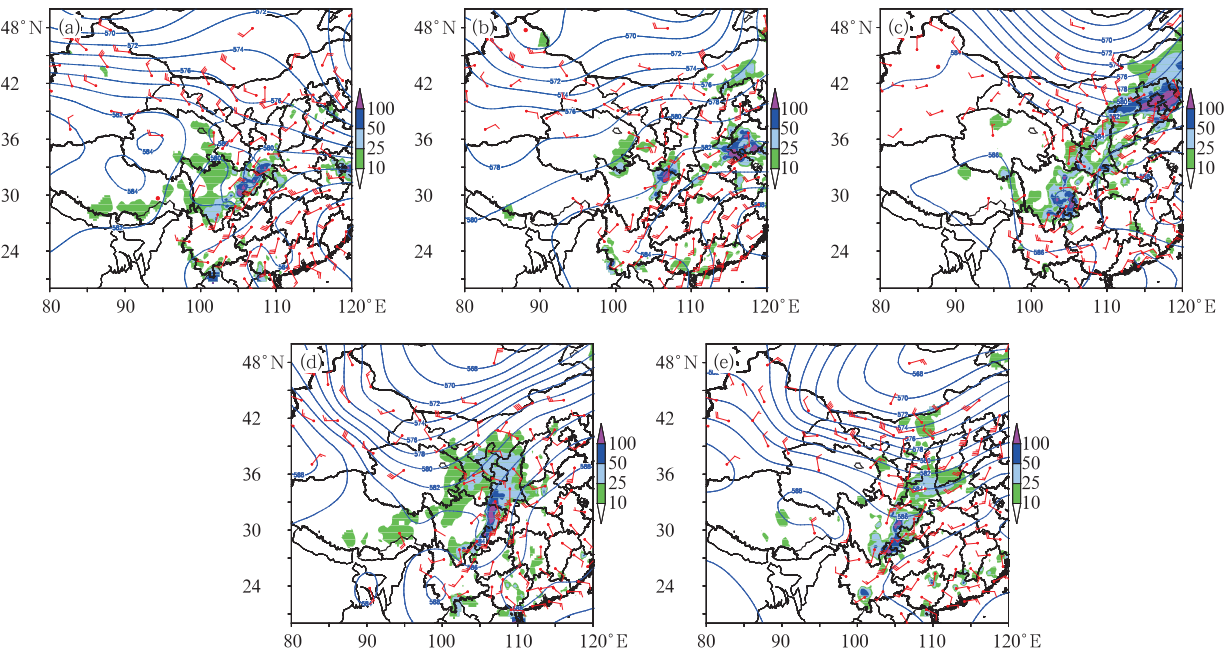


图 2 2012 年西南地区 5 次强降水过程实况 08 时 24 h 累积降水(阴影区,单位:mm)  
及前一天 20 时 500 hPa 位势高度场(线条,单位:dagpm)、700 hPa 风场  
(a)7 月 4 日,(b)7 月 8 日,(c)7 月 22 日,(d)9 月 1 日,(e)9 月 11 日

Fig. 2 The observed 24 h accumulated rainfall in southwest (shaded area, unit: mm) at 08:00 BT, geopotential height at 500 hPa (line, unit: dagpm), and wind vector at 700 hPa at 20:00 BT on the day before  
(a) 4 July, (b) 8 July, (c) 22 July, (d) 1 September and (e) 11 September 2012

表 2 2012 年汛期西南地区区域强降水个例信息  
Table 2 Information of the severe rainfall cases seen in Southwest China in the 2012 rainfall season

日期	直接影响系统				强降水特征		主观预报误差
	500 hPa	700 hPa	850 hPa	地面	最强时段	区域分布	
7 月 2—4 日	高原槽	切变线、低空急流	低涡	低压	3 日 08 时至 5 日 08 时	盆地中部和东北部、重庆出现暴雨与大暴雨(170 mm)	短期时效内逐渐向东调整,48~72 h 预报的雨带及强降水中心均预报偏西,24 h 预报效果较好
7 月 6—7 日	高原槽	切变线、低空急流	低涡	低压	7 日 08 时至 8 日 08 时	盆地中部和西北部出现暴雨到大暴雨(167 mm)	临近时效预报逐渐向强调整,预报雨带及强降水中心预报偏西,强度偏弱
7 月 20—22 日	低涡	西南低涡及切变线	西南涡	低压	20 日 08 时至 22 日 08 时	四川盆地中南部、川西高原南部出现暴雨,局部大暴雨(183 mm)	短期时效内逐渐向东调整,但预报的雨带及强降水中心均预报偏西
8 月 30 日至 9 月 2 日	高原槽	切变线、低空急流	西南涡及倒槽	低压槽	8 月 30 日 08 时至 9 月 1 日 08 时	四川盆地中东部、川西高原南部、重庆中西部出现暴雨到大暴雨(221 mm)	短期时效内逐渐向东、向南调整,但预报的雨带及强降水中心明显偏西偏北
9 月 10—12 日	高空槽	切变线、低空急流	西南涡	低压槽	9 月 10 日 08 时至 11 日 08 时	四川盆地中东部、重庆川西高原南部、云南北部等地出现暴雨到大暴雨(152 mm)	短期时效内有向东、向南调整的趋势,但预报的雨带及强降水中心明显偏北偏西

降水天气过程。从影响系统来看,这 5 次强降水天气过程均与副热带高压西侧西南暖湿气流有关,500 hPa 到地面分别都有天气尺度或中尺度影响系  
统,对流层中层以高空槽为主,而低层主要以低涡切变线为主,并伴有中尺度低空急流。强降水主要位于盆地的中东部和川西高原南部,从常规站点观测



的最强降水时段的 24 h 累积降水最大值均超过 150 mm,有些甚至超过了 200 mm。从中央气象台短期时效内主观定量降水预报与实况降水落区对比来看,各时效预报均较实况有不同程度的偏西或偏北。此外,预报员随预报时效临近,逐渐将雨区向东调整,但仍较实况偏西或偏北。总体而言,主观预报对雨强把握较好,说明预报员在模式雨强预报的基础上加以订正的效果较好。与此可见,对于西南地区强降水天气主要主观预报误差很有可能主要来自降水落区的偏差。

从图 2 可以看出,强降水落区与 700 hPa 切变线及低空急流位置配合较好,因此,降水落区偏差主要与上述系统的预报偏差有直接关系。在分析降水预报误差的基础上,进一步分析 700 hPa 切变线及低空急流的预报误差。

3 数值模式降水预报误差分析

从主观预报可以看出,对于这 5 次降水过程的强降水落区预报均存在不同程度的偏西或偏北。总体而言,EC 细网格全球模式在所有业务模式中预报性能相对较好,那么该模式各时效预报偏差如何。图 3 给出了 5 个个例实况降水与模式 1~9 d 天预报的暴雨以上量级降水落区。可以看出,不同时效预报的暴雨落区均较实况存在不同程度的偏西或偏北;同时,对于大部分个例,中期时效较短期时效偏西偏北的误差更明显。

为进一步分析降水落区预报定量化误差,本文对实况与预报雨带主轴的距离进行了分析。图 4a 给出了 7 日 4 日 08 时实况与各时效预报的雨带主

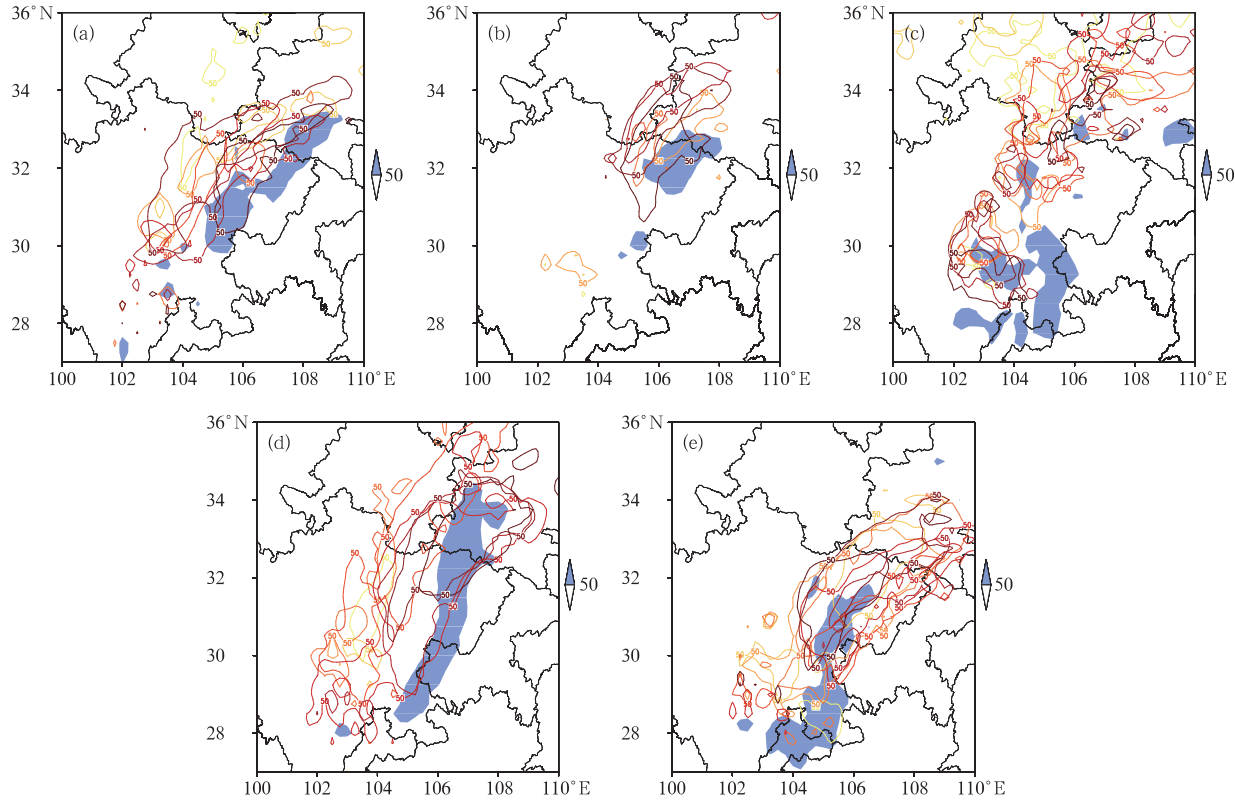


图 3 2012 年西南地区 5 次强降水过程实况及 1~9 d EC 细网格模式预报的 08 时 24 h 累积降水  
(a)7 月 4 日,(b)7 月 8 日,(c)7 月 22 日,(d)9 月 1 日,(e)9 月 11 日  
(浅阴影区表示实况降水>50 mm 的区域;等值线为模式预报,颜色越深越临近,时间间隔为 24 h)  
Fig. 3 The 24 h observed and forecast accumulated rainfall by high-resolution version of the ECMWF medium-range forecast model in 36 to 228 h valid time  
(a)4 July, (b)8 July, (c)22 July, (d) 1 September, and (e) 11 September 2012  
(The shaded area indicates the observed CRA with amount larger than 50 mm, and the contours represent the forecast ones, the darker the line color is the shorter the time is)

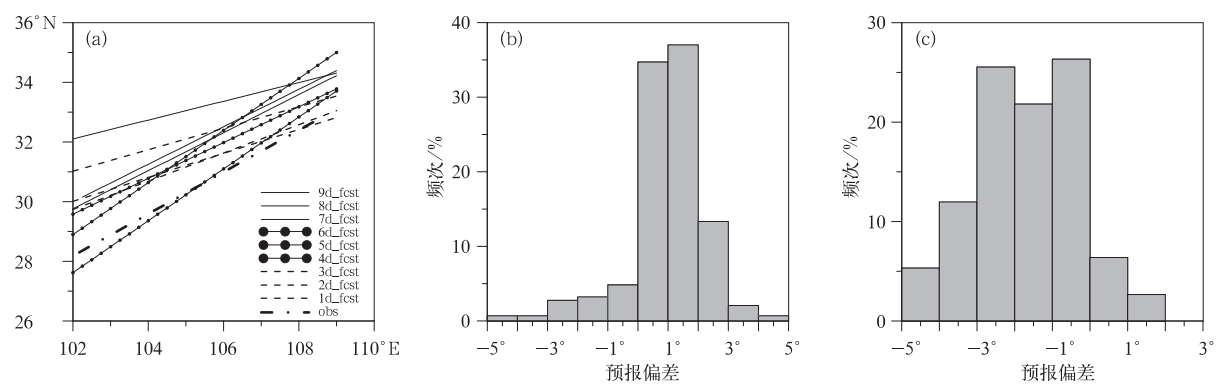


图 4 2012 年 7 月 4 日 08 时大雨以上量级降水雨带主轴实况与各时效预报(1~9 d)对比分析(a), 短期时效内 5 个个例同一经线上预报与实况的主轴纬度偏差(b), 经度偏差(c)

(图 a 点划线表示实况,虚线表示 1~3 d,点线表示 4~6 d,实线表示 7~9 d)

Fig. 4 (a) The observed and 36—228 h forecast rainfall axis of CRA with amount larger than 25 mm/24 h, (b) the histogram of location forecast error in latitude (b) and in longitude (c) of the rainfall axis for all the five cases in short-range forecast

(In Fig. a, the dash-dot line, dashed line, dotted line, and solid line represent the observed, 1—3 d, 4—6 d, and 7—9 d forecast rainfall axis, respectively)

轴的空间分布。通过对 5 个个例雨带主轴所有经线上预报与实况的纬向距离或纬线上二者之间的经向距离进行统计分布发现,雨带主轴 90% 以上的点模式预报较实况偏北、偏西,其中 70% 以上预报较实况偏北在 2° 以内(图 4b),偏西约 3° 以内(图 4c)。

从 5 个个例大雨以上雨区的平均降水强度实况与预报及随时效变化可以看出(图 5a),95% 以上的预报较实况偏弱,且随预报时效延长偏弱更趋明显。其中 70% 以上模式预报平均雨强为实况的 60%~90%(图 5b)。

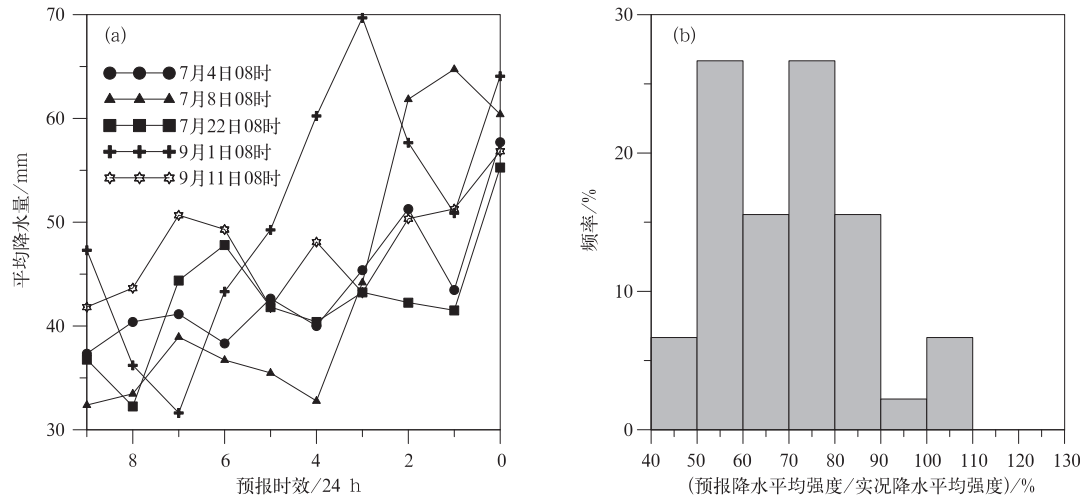


图 5 5 个个例实况与各时效(1~9 d)预报的平均降水强度(>25 mm 以上雨区的平均雨量,单位:mm)序列(a), 所有降水个例的预报偏差(b, 单位:100%)

Fig. 5 (a) The time series of mean rainfall intensity for the CRA with amount larger than 25 mm/24 h of observation and 36—228 h forecast for the five cases, (b) the histogram of forecast intensity error

一次降水过程的雨量极值大小往往决定着是否会引发次生灾害,因此一次降水过程的最大降水量是预报员在制作预报时最为关注的问题之一。通常

来讲,模式预报的最大降水量较实况偏弱。然而对于西南地区是否也存在类似的系统性误差。图 6 给出了 5 个个例实况与模式预报大于 80% 百分位所

有降水量的分布,可以看出 36 h 预报的极值分布与实况基本一致,二者均认为 60%左右降水量在 80~120 mm 之间,同时对于 200 mm 以上的降水,模式也有体现(图 6a 和 6b)。60 h 预报的极值分布也与

之类似(图略)。随着预报时效的延长,模式预报的极值逐渐减小。第九天预报的极值分布表明,模式预报的 60%集中在 40~80 mm,较实况明显偏弱 50%~70%左右(图 6c)。

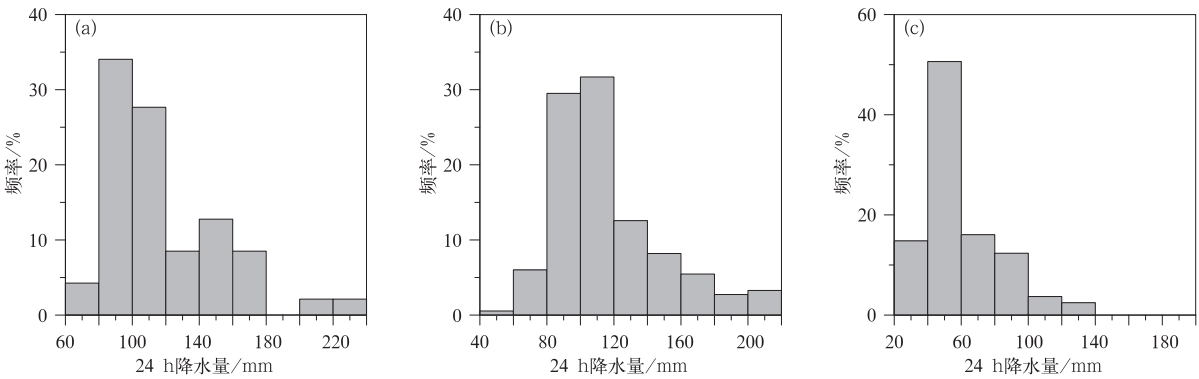


图 6 大雨及以上量级雨区内大于 80%百分位的所有降水量的统计分布特征  
(a)实况,(b)36 h 预报,(d)228 h 预报

Fig. 6 The histogram of rainfall larger than 80% percentile in CRA with amount larger than 25 mm/24 h for 5 the cases  
(a) the observed, (b) 36 h forecast, (c) 228 h forecast

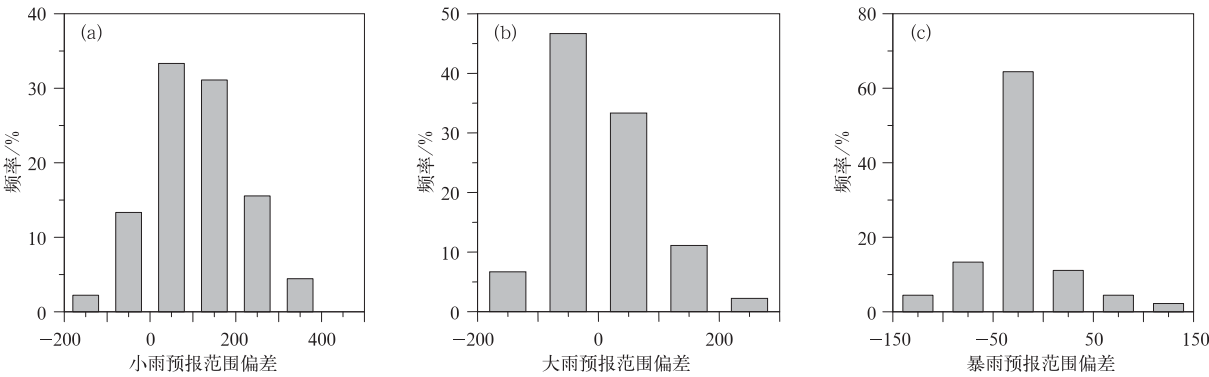


图 7 西南地区(27°~34°N、102°~109°E)小雨(a)、大雨(b)、暴雨(c)雨区覆盖范围(格点数)预报偏差(格点数)  
(负值表示预报较实况范围偏小,反之为正)

Fig. 7 The histogram of area (the number of covered grids) difference between the forecast and observed light rain (a), heavy rain (b), torrential rain (c) in Southwest China (27°—34°N,102°—109°E)  
(The negative and positive values indicate that the forecast area is smaller and larger than the observed, respectively)

以上主要针对大雨以上连续雨区的预报误差进行了分析,接下来进一步分析西南地区降水区域预报偏差,重点分析不同量级雨区覆盖范围的偏差。通过分析发现,中雨以下量级预报范围较实况范围偏大(图 7a),大雨预报正负偏差概率相当(图 7b),而 80%以上预报的暴雨及其以上量级降水范围较实况偏小(图 7c)。从暴雨预报范围随预报时效变化来看,随时效延长预报的范围逐渐偏小(图略)。

因此预报员在使用 EC 细网格模式的时候,对于中雨及其以下量级降水的预报范围要往偏小范围订正,而对于暴雨及以上量级的预报范围可往大进行订正。

4 切变线、低空急流预报误差分析

降水落区分布往往与天气尺度影响系统直接相

关,因此降水落区预报误差是由天气系统的预报偏差所造成的。通过天气系统识别技术将模式零场与预报的切变线位置标识出来,从而可以实现对切变线预报偏差的定量化分析。图 8a 为 7 月 3 日 20 时模式零场与各时效预报的切变线位置分布,对比发现,各时效预报的切变线均较零场存在不同程度的

偏西,总体而言,短期时效内预报误差相对偏小,7 d 以后预报偏差显著,其他个例也有类似的预报误差(图略)。通过对沿 32°N 纬线模式各时效预报与零场东西方向的偏差统计分析表明(图 8b),对于 5 个个例绝大部分预报时效预报切变线较零场偏西 0.5~3°,这与降水落区预报误差较为类似。

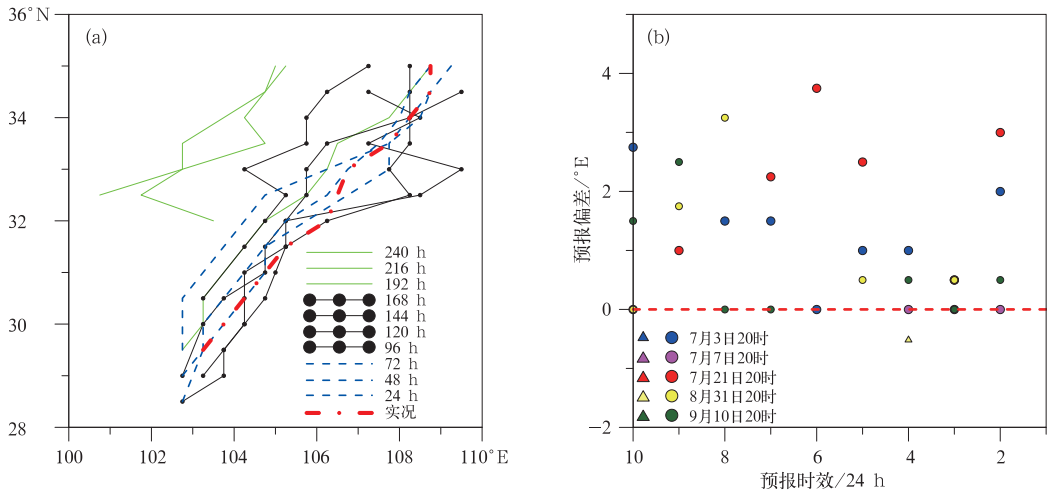


图 8 2012 年 7 月 3 日 20 时,西南地区(25°~35°N、100°~110°E)范围内识别出的冷式切变线预报与零场对比分析(a), 5 个个例冷式切变线 32°N 的预报偏差(零场-预报)(b)

(图 a 点划线表示实况、虚线表示 1~3 d、点线表示 4~7 d、实线表示 8~10 d,图 b 中三角形表示的值<0,圆圈表示的值≥0)

Fig. 8 (a) The analyzed and 24–240 h forecast shear lines in Southwest China (25°–35°N, 100°–110°E) at 20:00 BT 3 July 2012, (b) the forecast location error in longitude at 32°N of shear line (the analyzed subtracts from the forecast) for all the 5 cases

(In Fig. a, the dash-dot line, dashed line, dotted line, and solid line represent the observed, 1–3 d, 4–7 d, and 8–10 d forecast shear line, respectively)

从图 2 可以看出,对于西南地区 5 个强降水个例,700 hPa 几乎都存在中尺度低空急流。西南/东南风急流为强降水提供了较好的水汽、能量以及动力条件,通常夏季强降水位于切变线与低空急流左前侧之间。因此,分析低空急流预报偏差有利于分析降水落区及强度预报偏差产生的原因。本文对大于 8 m·s<sup>-1</sup> 的西南风/东南风西边界位置作为低空急流西界,通过分析其西界的预报误差来分析低空急流位置预报偏差。图 9a 为 7 月 3 日 20 时低空急流西边界零场与时效预报位置分布,其预报误差与切变线误差基本一致,各时效预报均较零场偏西,且提前 7 d 以上的预报偏西更为明显。对 4 个个例经过 30°N 纬线的低空急流预报偏差综合来看,绝大多数预报较实况偏西 0.5°~1.5°,且随预报时效延长,提前 7 d 以内预报偏差相对较为稳定,而 7 d 以后预报偏差明显偏大(图 9b)。

图 9c 给出了低空急流最大风速,即急流强度预报误差。从 5 个个例预报误差分布来看,主汛期模式预报低空急流核较零场偏强 1~4 m·s<sup>-1</sup>,总体而言,随预报时效延长偏强更明显,而进入华西秋雨季节,预报较零场明显偏弱(1~6 m·s<sup>-1</sup>),随时效延长偏弱的误差显著增加。从图 9d 可以看出,对于低空急流覆盖面积预报误差与急流核误差有类似特征,华西秋雨季节预报的低空急流尺度较零场偏小,而主汛期预报尺度较零场偏大,且随预报时效延长,均表现出预报误差的增大。EC 细网格模式对主汛期阶段降水过程的中雨和大雨预报范围偏大更明显(图略),有可能与急流预报偏强有着直接关系。通过这 5 个个例对低空急流预报强度偏差来看,尽管不同季节预报低空急流位置偏差较为一致,但对于强度预报偏差很有可能存在一定的季节差异,而这种季节差异是否具有一定的普适性,还需要通过更

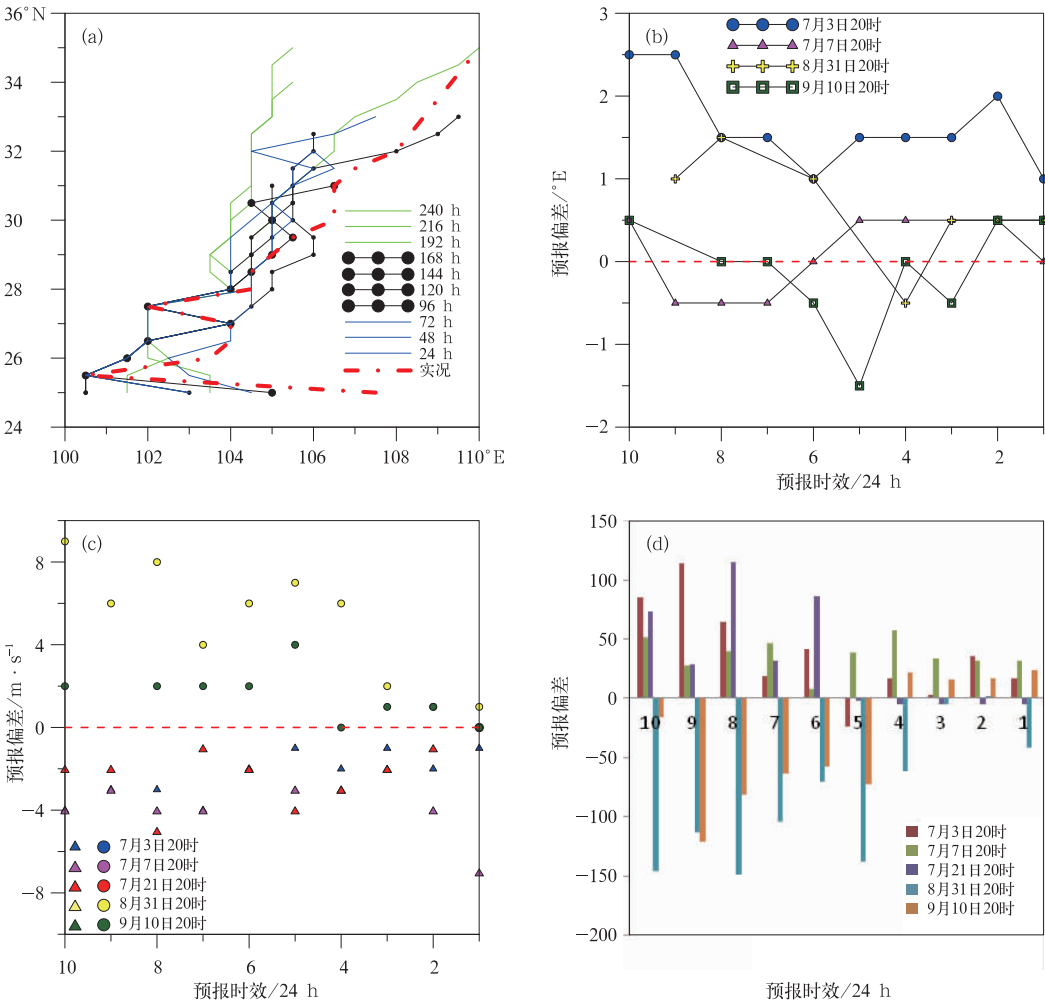


图 9 2012 年 7 月 3 日 20 时,西南地区(25°~35°N、100°~110°E)范围内大于  $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  低空急流西边界  
预报与零场对比分析(a),30°N 低空急流西边界 1~10 d 的预报偏差(单位:°,零场-预报)(b),  
低空急流强度(最大风速,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )1~10 d 的预报偏差(零场-预报)(c),  
低空急流覆盖面积 1~10 d 的预报偏差(预报-零场)(d)

(图 a 红色实线为零场、蓝色为 1~3 d 预报、黑色为 4~7 d、绿色为 8~10 d,图 c 中三角形表示的值 $<0$ ,圆形表示的值 $\geq 0$ )  
Fig. 9 (a) The analyzed and 24—240 h forecasted west boundary of LLJ in Southwest China (25°—35°N,100°—110°E)  
at 20:00 BT 3 July 2012, (b) the forecast location error in longitude at 30°N of the west boundary  
(the analyzed subtracts from the forecasted), (b) the forecast intensity difference (the maximum speed,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  
and (d) the area difference of LLJ between the analyzed and 1—10 d forecasted for all the 5 cases  
(In Fig. a, the dash-dot line, dashed line, dotted line, and solid line represent the observed, 1—3 d, 4—7 d, and  
8—10 d forecast shear line, respectively; triangle indicates the value $<0$ ; circular is the value $\geq 0$ )

多的个例进行统计分析。

5 结论与讨论

利用面对对象的降水检验方法和天气系统识别技术,本文对西南地区具有相似环流背景的 5 个强降水个例 ECMWF 细网格全球模式预报的降水落区、强度等的误差进行了量化分析。为分析降水

预报误差形成的原因,进一步评估了其天气尺度影响系统(700 hPa 切变线、低空急流)的预报偏差。分析表明:利用该检验技术可以较好地实现对降水过程的降水落区、强度等误差的统计分析,从而为预报员提供认识模式误差的科学依据,具体结论如下:  
(1)对于受副热带高压和西风带短波槽影响的西南地区强降水天气过程,其强降水落区,无论是主观预报、还是 ECMWF 细网格全球模式客观预报,



不同时效预报均较实况雨区预报偏西或偏北,且中期时效较短时期效偏西、偏北更明显。雨带主轴70%以上的点预报较实况偏北在 $2^{\circ}$ 以内,偏西约 $3^{\circ}$ 以内。

(2)而对于其降水强度预报,模式预报的平均雨强较实况偏弱,且随预报时效延长偏弱更趋明显,70%以上模式预报平均雨强为实况的60%~90%。1~2 d预报的极值分布与实况基本一致,随着预报时效的延长,模式预报的极值逐渐减小。中期时效(7~9 d)预报的极值较实况明显偏弱50%~70%左右。此外,模式对西南地区小雨及其以下量级降水预报较实况范围偏大,大雨以上量级预报范围偏小。

(3)模式预报切变线及低空急流不同时效均较零场偏西。对于四川盆地此类降水过程而言,预报的切变线较零场偏西 $0.5^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 。低空急流预报偏西 $0.5^{\circ}\sim 1.5^{\circ}$ 。中期时效内预报偏差更大。

(4)不同于急流位置预报偏差的一致性,低空急流强度预报误差具有一定的季节性。华西秋雨季节模式预报低空急流偏弱,而主汛期模式预报急流偏强,且随时效延长偏差更显著。

本文利用空间检验技术,实现了对西南地区2012年汛期典型强降水个例降水落区和强度等预报误差的定量化和统计分析,其误差特征与预报员的主观检验结果较为一致,因此未来可以利用此方法对不同区域、不同季节和环流背景下的降水过程的预报误差进行类似分析。通过中央气象台日常数值模式天气学检验业务近几年的分析结果可以看出,模式预报误差在不同区域、不同季节以及不同环流背景下的误差不尽相同,例如,对于华南前汛期的强降水事件,模式预报的降水量通常较实况偏弱,而在主汛期,有相当一部分个例,模式预报的江淮流域雨带较实况偏北。为了进一步认识模式降水预报误差的分布特征,首先需要对近几年典型的强降水个

例,按照不同区域、季节以及环流背景,利用空间检验技术对模式预报的雨带位置偏差、强度误差等进行量化检验,并对其误差分布进行统计分析,从而形成典型强降水历史个例的量化误差库,为预报员了解模式误差提供参考。与此同时,空间检验技术也可用于日常业务降水预报误差分析,通过对不同区域降水雨带的分离,从而可以实现实时对不同降水雨带的位置误差、降水强度等的量化误差分析,从而为预报员提供实时的模式预报误差,这将为其实时雨带位置和降水强度订正提供有价值的信息。

## 参考文献

- 蔡宁宁. 2013. 2012年9—11月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验. 气象, 39(2): 253-258.
- 公颖. 2010. SAL定量降水预报检验方法的解释与应用. 暴雨灾害, 29(2): 153-159.
- 孔荣, 王建捷, 梁丰, 等. 2010. 尺度分解技术在定量降水临近预报检验中的应用. 应用气象学报, 21(5): 535-544.
- 梁红, 王元, 钱昊, 等. 2007. 欧洲ECWMF模式与我国T213模式夏季预报能力的对比分析检验. 气象科学, 27(3): 253-258.
- 刘凑华, 牛若芸. 2013. 基于目标的降水检验方法及应用. 气象, 39(6): 681-690.
- 王毅. 2012. 2011年12月至2012年2月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验. 气象, 38(5): 629-634.
- 尤凤春, 魏东, 王雨. 2009. 北京奥运期间多模式降水检验及集成试验. 气象, 35(11): 3-8.
- 张晓伟. 2010. 基于MICAPS平台的风切变线的识别与应用. 武汉理工大学, 1-58.
- 周慧, 崔应杰, 胡江凯, 等. 2010. T639模式对2008年长江流域重大灾害性降水天气过程预报性能的检验分析. 气象, 36(9): 60-67.
- Ebert E E, McBride J L. 2000. Verification of precipitation in weather systems: Determination of systematic errors. J Hydrology, 239, 179-202.
- Gilleland E, Ahijevych D A, Brown B G, et al. 2010. Verifying forecasts spatially. Bull Amer Meteor Soc, 91(10): 1365-1373.