

茅懋,戴建华,李佰平,等. 2016. 不同类型强对流预报产品的目标对象检验与分析评价. 气象,42(4):389-397.

# 不同类型强对流预报产品的目标对象检验与分析评价<sup>\*</sup>

茅 懋 戴建华 李佰平 张 欣

上海中心气象台,上海 200030

**提 要:** 针对强对流天气时空尺度小的特点、对其预报需要关注多种要素的需求,为了挖掘预报的潜在价值,设计了目标对象检验方法:首先,分别在预报和实况中识别出强度、面积符合一定匹配条件的目标对象单体(如对流单体、强天气落区等);然后,根据识别目标对象的面积、空间距离、形态进行预报和实况间的对象匹配;接着,对预报目标对象进行等级 TS 评分、等级面积大小、重心偏移、交叉相关、形状对比(轴向和椭圆率)等五项指标的检验;最后,依据用户评价偏好,采用加权平均方法给出总体检验评分和面积、位置、形状方面的评价信息。通过对中国气象局短临预报业务系统 SWAN 等业务系统的三类短临预报业务产品(REF、QPF、对流概率预报)的检验表明:该检验方法能够量化评价预报对象在面积、位置或强度等要素上的吻合程度及对应的偏差,给出导致常规检验评分(如 TS 评分)较低的原因,并综合这些要素给出针对用户的评价,为预报人员提供了更多有效的检验评估信息,实现对多种类型强对流预报产品的综合检验和评价。

**关键词:** 强对流, 目标对象, 检验

中图分类号: P456

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.04.001

## Object-Based Verification and Evaluation for Different Types of Severe Convection Forecasting Products

MAO Mao DAI Jianhua LI Baiping ZHANG Xin

Shanghai Central Meteorological Observatory, Shanghai 200030

**Abstract:** According to the characteristics of severe convective weather and the requirements to focus on various factors, object-based verification method is developed to find the potential value of forecasts. First of all, convection objects, such as convective cells and severe convective weather area, are identified in both forecasts and observations based on intensity and area which meet certain requirements. Then objects in the two datasets are matched according to the area, distance and morphology. After that, objects in forecasts are verified in five aspects, grade TS score, grade size, distance of center of gravity, cross-correlation and morphology (axial and ellipticity). Finally, based on the evaluation preference of users, verification scores by weighted average and evaluation for area, position and shape are provided. Three types of severe convection forecasting products, such as QPF, REF, or convection probability product of the Chinese Meteorological Administration (CMA) SWAN (Severe Weather Analysis and Nowcasting) system, are verified by this object-based method. This method can provide quantitative verification in coincidence and deviation for area, position or intensity. It also can explain why the regular verification scores (such as TS score) are low. Therefore, this method can provide more effective verification and evaluation

\* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006002)和上海市科学委员会科研计划项目(14231202400)共同资助

2015 年 6 月 18 日收稿; 2015 年 9 月 14 日收修定稿

第一作者:茅懋,主要从事短临天气预报业务与研究. Email:mao0104mao@sina.com

通信作者:戴建华,主要从事中尺度天气业务与研究. Email:djhnn@sina.com

information for forecasters, combined with above elements.

**Key words:** severe convection, object, verification

## 引 言

强对流天气破坏力极强,常伴有雷雨大风、冰雹、龙卷风、短时强降雨等灾害性天气,强对流天气发生于中小尺度天气系统,空间尺度小,生命史短,并带有明显的突发性,预报难度较大。

强对流天气预报的检验结果对于预报员合理应用预报产品有着重要的指导意义。常规的预报检验方法,如 TS 评分、ETS 评分、空报率、漏报率、命中率(Schaefer,1990)等评价技术或指标,从统计学角度对预报准确、空报、漏报站点数进行计算。然而,由于强对流天气尺度小、发生概率低、预报难度大,一些简单的偏差,如预报与实况的位置偏差,就可能导致评分异常低,即使是一个在强对流天气目标的面积大小、形状、强度等方面与实况非常吻合的预报;强对流天气预报中特别是短临预报中多关注一些对流系统目标,其形态和结构特征往往伴随着特定的天气,如飑线系统、超级单体等,而传统的检验对一些区域目标仅给出简单的对错评价,而忽略了目标的固有属性,尤其是空间特征属性(Ebert et al,2000;戴建华等,2013);传统的检验仅给出预报正确与否或者准确程度的评价,而缺乏一些包含导致误差原因的信息。因此,为了弥补传统检验技术不能有效地捕捉强对流天气预报中的一些重要信息的缺陷,需要寻找一种检验方法,既能够在用户可以忍受的范围内包容一些偏差,又能够反映用户关注的形态、结构(如对流单体形状、强度分布)等预报效果,给出综合的评价结果,可以帮助用户发现预报误差来源,提高应用效果。

近年来开始出现一些新型检验技术,主要有两类,一类是模糊检验方法(Ebert,2008;李佰平等,2016),通过将预报和实况在不同的空间尺度、时间尺度、强度尺度或者其他重要的属性方面进行模糊化处理,并不需要预报和实况在各种尺度上的严格对应;另一类是基于目标对象的,通过对降水落区进行识别,进而比较预报和实况的目标对象的空间属性(尤凤春等,2011;熊秋芬,2011;刘凑华等,2013;符娇兰等,2014)。国内外学者在降水预报空间诊断方面已经开展了一系列工作。如 Wernli 等(2008)

和公颖(2011)的 SAL 方法对雨带的预报从强度(amplitude,简称 A)、位置(location,简称 L)、结构(structure,简称 S)三个降水预报最关键的因素进行效果检验,对降水预报效果指示意义最大的为 L 值,L 值越小,预报效果好的可能性越大,A 值其次,S 值再次。美国 NCAR 开发了目标动态检验评估法(MODE)(Davis,2006a;2006b;尤凤春等,2009;2011),可以客观地对比分析预报和观测对象的位置、形状、方向和尺寸等相关属性,重点分析的是雨区整体降水的统计分布,而非特定区域降水量的检验。徐同等(2012)将 2004 年 Casati 提出的强度尺度检验技术,应用到上海区域中尺度模式的降水预报检验中。刘凑华等(2013)应用基于目标的降水检验方法,对 T639、ECMWF 和日本模式降水预报进行对比分析。

因此,为了捕捉强对流天气预报中常常关注的天气目标(如中尺度对流系统、对流风暴单体和对流落区等)的形态、结构(如强度分布)等特征,本文设计了目标对象检验方法,通过对比预报与实况相对应的目标对象的等级 TS 评分、等级面积评分、位置评分、交叉相关评分、形状评分等检验评价指标,对三类强对流预报产品(反射率因子预报 REF、定量降水预报 QPF、对流天气概率预报)进行检验分析,实现对强对流短临预报的精细检验和评价。

## 1 检验方法设计

### 1.1 检验流程

目标对象检验法分为两部分(图 1),一是识别匹配,一是检验评价。

识别匹配是为了分别在预报和实况中寻找给定阈值的关注对象,并根据相似的面积、位置和形状进行匹配。步骤如下:首先,将实况和预报的强对流资料处理成相同的检验范围和分辨率,用户根据自己的关注重点,筛选出大于一定强度量级的强对流目标对象,兼顾到实际业务中的运算速度,识别出大于一定面积的强对流目标对象,剔除零碎的小目标对象。然后,对预报识别对象进行搜索匹配,分别计算每个对象的面积格点数、重心位置、形态参数,采用

加权法综合三项评分指标,将预报目标对象与匹配得分最高的实况目标对象进行配对。

检验评价中分为两步:首先进行综合检验,即采用 TS 评分、面积大小、位置偏差、交叉相关、形状等指标对比相互匹配的预报和实况目标对象,并用加权法

综合各项评分指标对总体检验的集合贡献,从而最终获取强对流目标对象预报的检验结果。然后对检验结果进行评价,给出预报目标在面积、位置、形状三方面定量的评价,如“预报面积偏大 10%,重心偏东 8 km、偏北 12 km,长轴偏长 6%,椭圆率偏大 9%”。

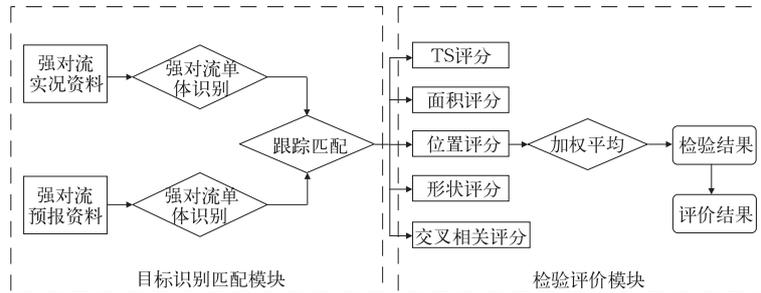


图 1 目标对象检验法流程图

Fig. 1 The flow chart of object-based verification method

### 1.2 评分方法

下面详细介绍五项评分指标的具体算法:

(1)TS 评分。保留最常用的传统 TS 评分作为综合检验标准之一,即  $Score_{TS}$ ,计算强对流目标对象每个等级的 TS 评分,再平均得到总的等级 TS 评分。

$$TS = \frac{NA}{NA + NB + NC}$$

其中  $NA$ 、 $NB$ 、 $NC$  定义见表 1。侧重于强对流天气点对点的检验,可以查看哪个等级的预报准确度最高。当  $TS=1$  时,预报与实况完全吻合,为最佳预报,当  $TS=0$  时,预报与实况没有一致之处。

表 1  $NA$ 、 $NB$ 、 $NC$  定义

实况	预报	
	有降水	无降水
有降水	$NA$	$NC$
无降水	$NB$	$ND$

(2)面积大小。分别计算相匹配的预报目标对象与实况目标对象的同一等级的有效面积(或格点数)  $N_{fcst}$ 、 $N_{obs}$ ,

$$Score_{Area} = \frac{1}{\left(2 \cdot \left| \frac{N_{fcst} - N_{obs}}{N_{obs}} \right| + 1\right)^{-1}}$$

计算每个等级的面积评分,再平均得到总的等级面积评分。等级面积评分  $Score_{Area}$  既作为目标对象匹配的因子之一,又作为综合检验的权重因子之一。

在检验中,  $\left| \frac{N_{fcst} - N_{obs}}{N_{obs}} \right|$  代表了两者目标对象范

围的大小差异,当两者目标对象范围一样大时,即  $N_{fcst}$  等于  $N_{obs}$  时,  $Score_{Area}$  为 1。  $Score_{Area}$  的大小客观反映了强对流目标对象的面积差异程度,差异越大,  $Score_{Area}$  越小,差异越小,  $Score_{Area}$  越大。

(3)位置偏差。分别计算预报目标对象与实况目标对象的重心,重心距离的评分  $Score_{GC}$  作为匹配及检验的权重因子之一。对于不同的检验范围,可以设置不同的最大容忍距离  $L_{max}$  和最佳距离  $L_{min}$ 。当预报对象与实况对象的重心距离  $L \geq L_{max}$  时,  $Score_{GC}=0$ ;当  $L_{min} < L < L_{max}$  时,  $Score_{GC}=1 - \frac{L - L_{min}}{L_{max} - L_{min}}$ ;当  $L \leq L_{min}$  时,  $Score_{GC}=1$ 。  $L_{min}$  的设置需要针对用户业务需要,如在上海地区应用时,考虑到上海南北向和东西向范围都是 110 km 左右,针对短期预报容忍最大的偏差  $L_{max}$  取 55 km,相应地在短临预报中  $L_{min}$  取 5.5 km。  $Score_{GC}$  的大小客观反映了强对流目标对象的位置偏离程度,位置偏离越远,  $Score_{GC}$  越小,位置越接近,  $Score_{GC}$  越大。

(4)交叉相关。采用一种改进后的交叉相关法 (COTREC)(陈雷等,2009)对比了预报产品与实况资料,是检验的权重因子之一。通过(3)找出预报目标对象与实况目标对象的重心位置,经过重心平移后再做相关检验,相关系数  $Score_R$  是不考虑位置偏差的相似度参数,能够更好地反映强对流预报对象与实况对象在内部结构上的相似程度。  $Score_R$  越大,两者的内部结构越相似,  $Score_R$  越小,两者内部结构差异越大。

(5)形状。形状因子主要考虑了对象的长短轴的尺度、比例和轴向。对于某个检验目标对象,提取边界点信息,通过重心的最长两个边界点连线即为长轴,通过重心且垂直于长轴的最短两个边界点连线即为短轴。分别找出预报目标对象与实况目标对象的长轴和短轴,计算长短轴的比例即椭圆率和长轴的轴向角度,即可分析强对流目标对象的大致形状。本地业务应用中,根据预报员的接受程度,当轴角差大于 $90^\circ$ 时轴向评分为0,轴角差小于 $10^\circ$ 时轴向评分为1,二者之间线性取值;椭圆率差值大于0.5时椭圆率评分为0,椭圆率差值小于0.1时椭圆率评分为1,二者之间线性取值。预报对象与实况对象的轴向评分和椭圆率评分共同构成形状参数 $ScoreShape$ ,是匹配及检验的权重因子之一。 $ScoreShape$ 越大,说明强对流预报目标对象形状越

接近实况。

### 1.3 匹配方法

目前,强对流天气预报产品的用户可以分为三大类:业务预报人员、专业用户和普通公众。以格点型产品为例,根据自身需求,用户对强对流天气预报产品的属性有自己的关注重点和评价标准,这些将决定综合评价预报产品各个属性时的权重(戴建华等,2013)。根据本地的业务预报人员的调查表样表(表2),预报员最关心强度和位置,其次是形态分布和面积。所以目标对象搜索匹配时,分别计算每个目标对象的面积评分 $ScoreArea$ 、位置评分 $ScoreGC$ 、形状评分 $ScoreShape$ ,三项权重分别为0.3、0.5、0.2,采用加权法综合三项检验指标得到匹配分数,取匹配分数最高的实际目标与预报目标进行配对。

表 2 强对流天气潜势预报产品—预报业务人员调查表

Table 2 The questionnaire of severe convective weather potential forecast for forecasters

用户基本信息	名称		业务层次			
	嘉定区气象台		地区级			
产品名称			强对流天气潜势预报产品			
关注要素	位置	面积	强度	分布	形态	合计
关注程度(0.0~1.0)	0.8	0.4	1.0	0.5	0.5	3.2
权重	0.250	0.125	0.313	0.156	0.156	1.000

### 1.4 总体检验评分

针对匹配的预报目标对象和实况目标对象的总体检验采用权重法进行各项检验评分的合成, $Weight = R1 \cdot ScoreTS + R2 \cdot ScoreArea + R3 \cdot ScoreGC + R4 \cdot ScoreR + R5 \cdot ScoreShape$ 。鉴于等级面积评分和面积、强度有关,交叉相关与面积、强度、分布等均有关,本地业务中五项检验指标的权重 $R$ 均为0.2。根据预报员或用户的侧重点不同,可以设置不同的系数 $R$ 。根据不同类型的强对流天气,可以有不同的关注要点,也可以设置不同的权重 $R$ 来突出关注要点(表2),如用户关注强度,可以适当调高等级面积评分的权重,若关注落区位置则调高重心评分的权重。

### 1.5 用户评价

用户评价是根据面积大小、位置偏差、形状检验时的各个参数,得到定量的文字表述信息。例如,根据检验得到的面积格点数,判断预报面积比实况偏大还是偏小,以及偏差程度;根据强对流目标的重心位置,分析预报重心位置较实况偏向哪个方位,偏离多少千米;根据形态参数判断预报目标是什么形状,

当椭圆率 $\geq 5$ 时目标为线状, $\leq 2$ 时为块状,介于两者之间的为带状目标,给预报员直观形象的形状评价结果。

目标对象检验法,匹配时主要诊断面积、形状、位置三方面属性,主要包括面积大小、轴角偏差、椭圆比率、重心位置,和MODE类似,MODE主要诊断面积重叠比、轴角偏差、重心位置、边界最小距离。检验时,本方法考虑了等级TS、等级面积、位置、交叉相关、形状五项评分,MODE是对上述三方面对象属性的综合相似度评分。目标对象检验法保留传统的TS评分,能让预报员或用户直观对比传统方法与新方法的差异;交叉相关是不考虑位置偏差的相关系数,能直观表示目标对象内部结构上的相似程度,因而目标对象检验法采取了这五项评分。不同用户根据关注重点,设置各项系数时,只需要修改外部配置文件,方便易操作。最终目标对象检验法还可以提供量化的评价信息。

## 2 检验结果与分析

下面对三种类型强对流预报产品进行目标对象法检验分析。

## 2.1 雷达反射率因子预报检验

用目标对象检验法对2013年6月23日长三角地区发生的短时强降水过程中NoCAWS(上海市气象局短时临近预报预警系统)的雷达反射率因子1 h预报产品(REF)进行了检验。图2是2013年6月23日雷达反射率因子图(0.5°仰角),图2a为实况,图2b为对应时刻的预报图,可见对流系统为一“人”字形结构的中尺度对流系统。预报检验区域选为

30°~32.5°N、120.5°~123°E,即图中小长方形区域,选择了30 dBz作为对流目标对象的阈值,鉴于检验区域较小,分辨率较高(0.01°N×0.01°E),目标对象最少格点数为50。目标对象检验法在预报场中识别出4个目标对象,在实况场中识别出8个目标对象。针对4个预报目标对象,分别寻找匹配的实况目标对象,下面取影响范围较大的预报目标1和预报目标3为例,进行检验结果分析。

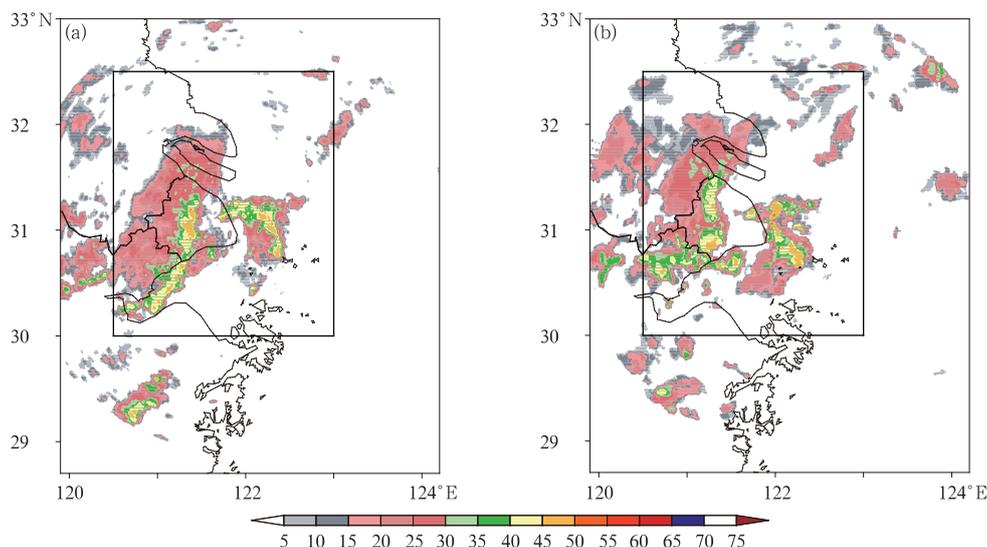


图2 2013年6月23日一次强对流过程的雷达反射率因子实况(a)与1 h反射率外推预报(b)(单位:dBz)

Fig. 2 The radar reflectivity (unit: dBz) observation (a) and 1 h extrapolation forecast (b) during a severe convective process on 23 June 2013

预报目标1与实况目标3最匹配,正好对应“人”字形回波的“撇”的部分(图3)。预报目标1与实况目标3的检验结果(表3)表明,30.0~49.9和50.0~75.0 dBz的等级TS评分仅为0.26和0,面积评分分别是0.77和0.58,等级TS总评分是0.13,等级面积总评分是0.67,位置评分0.78,交叉相关评分0.37,形状评分0.50,检验总评分0.49。预报目标1的重心位于31.10°N、121.14°E,实况目标3的重心位于31.02°N、121.26°E,两者之间存在15 km左右的偏差;同时,实况的强回波南北分布比较均匀,而预报目标的强回波集中在31°N附近,目标整体偏北,可见位置偏差和强度偏差是导致等级TS评分较低的主要原因。一般而言,这部分类似“锢囚形状”的回波一般向偏东或东南偏东方向移动(Blanchard, 1990; 易笑园等, 2011; 孙健等, 2004),



图3 2013年6月23日强对流过程网页版目标对象识别图

(红色:预报目标,绿色:实况目标)

Fig. 3 The objects identified in both forecasts (red) and observations (green) on web during the severe convective process on 23 June 2013

而本次预报的回波移速又略偏慢,最终导致预报目标重心位置偏西、偏北 15 km 左右。然而,该预报在以下几方面还是对预报员有一定的参考价值。首先,在面积方面,30.0~49.9 和 50.0~75.0 dBz 面积评分达到了 0.77 和 0.58,目标范围大小预报还是可以参考的;在形状方面,预报目标的长轴比实况目标的短,但短轴比实况更短,所以长短轴比例比实况目标大,长轴方向预报评分较高(0.64),从图 3 也可以直观看出“人”字形回波的“撇”主体的部分重合率较高。预报目标椭圆率是 2.87,由此判断目标为带状。综上给出评价信息“预报目标总面积偏大 15%,预报重心位置偏西 12 km、偏北 9 km,预报目标椭圆率偏大 28%,长轴偏短 7%,带状目标”。

预报目标 3 与实况目标 6 最匹配,对应“人”字形回波的“捺”的部分(图 3)。预报目标 3 与实况目标 6 的检验结果(表 3)显示,30.0~49.9 和 50.0~75.0 dBz 的等级 TS 评分是 0.19 和 0.01,面积评分分别是 0.8 和 0.47,等级 TS 总评分是 0.1,等级面

积总评分是 0.63,位置评分 0.77,交叉相关评分 0.35,形状评分 0.46,检验总评分 0.46。同样地,不同强度等级的 TS 评分较低,对应的面积评分较高。预报目标 3 的重心位于 30.95°N、122.13°E,实况目标 5 的重心位于 31.10°N、122.15°E,这部分回波一般向东北偏东方向移动,预报目标落区位于实况目标的西南侧,预报目标重心位置偏西、偏南,两者相差 15 km 左右,结合预报目标 1 的位置偏差可以发现,整体回波位置都偏西,预报移速偏慢,单独的预报目标还有南北不同的位置差异,位置、强度偏差是导致 TS 评分低的主要原因。预报目标 3 的长轴比实况目标的长,长短轴比例比实况目标大,长轴方向预报评分较高,椭圆率是 1.75。但是目标的面积预报、长短轴比例(椭圆率评分 0.51)还是有效的。综上给出评价信息“预报目标总面积偏小 13%,预报重心位置偏西 3 km、偏南 15 km,预报目标椭圆率偏大 16%,长轴偏长 17%,块状目标”。

表 3 2013 年 6 月 23 日强对流过程的目标对象检验结果

Table 3 Object-based verification of severe convective process on 23 June 2013

检验项目	预报目标 1 和实况目标 3	预报目标 3 和实况目标 6
等级 TS 评分	30.0~49.9 dBz	0.2572
	50.0~75.0 dBz	0.0000
	总评分	0.1286
等级面积评分	30.0~49.9 dBz	0.7717
	50.0~75.0 dBz	0.5756
	总评分	0.6736
位置评分	0.7797	0.7737
交叉相关评分	0.3702	0.3513
形状评分	椭圆率评分	0.3621
	长轴方向评分	0.6352
	总评分	0.4987
检验总评分	0.4902	0.4631
面积评价	预报目标总面积偏大 15%	预报目标总面积偏小 13%
位置评价	预报重心位置偏西 12 km、偏北 9 km	预报重心位置偏西 3 km、偏南 15 km
形状评价	预报目标椭圆率偏大 28%, 长轴偏短 7%,带状目标	预报目标椭圆率偏大 16%, 长轴偏长 17%,块状目标

## 2.2 定量降水预报(QPF)预报检验

除了对流系统外,强降水落区也可以采用目标对象检验法进行检验与评价。2014 年 7 月 30 日苏皖地区有一次飚线大风短时强降水过程,下面用中国气象局短临预报业务系统 SWAN 的 1 h 定量降水预报(QPF)产品和定量降水估测(QPE)产品分

别作为预报场和实况场(图 4),通过目标对象检验法进行分析。检验区域选为 30°~34°N、115°~120°E,筛选出 $\geq 20$  mm 的强降水目标,由于检验范围较大,分辨率较高(0.01°N $\times$ 0.01°E),目标最少格点数选为 100,预报场识别出 4 个目标,实况场识别出 3 个目标(图 5)。影响范围最大的预报目标 1 与实况目标 2 最匹配,下面进行检验结果分析。

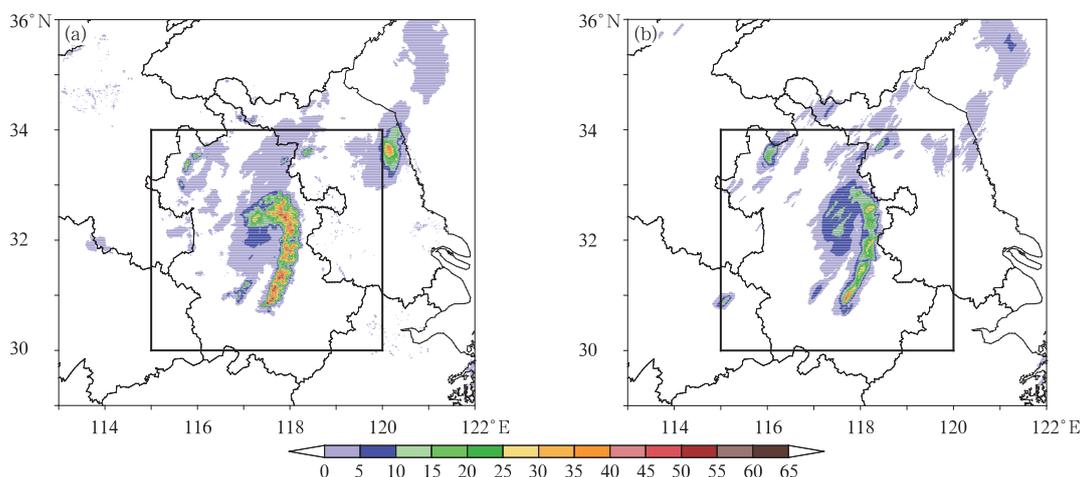


图 4 2014 年 7 月 30 日 QPE(a)和 QPF(b)图(单位:mm)

Fig. 4 The QPE (a) and QPF (b) (unit: mm) on 30 July 2014



图 5 2014 年 7 月 30 日短时强降水过程 SWAN 版目标对象识别图

(红色:预报目标,蓝色:实况目标)

Fig. 5 The objects identified in both forecasts (red) and observations (blue) in SWAN during short-term heavy rain on 30 July 2014

从预报目标 1 与实况目标 2 的检验结果(表 4)可以看出,由于面积偏小和位置偏差等原因,20.0~29.9 和 30.0~49.9 mm 等级的 TS 评分都较低,但面积评分分别是 0.89 和 0.39,20.0~29.9 mm 的预报范围大小比较接近实况,30.0~49.9 mm 预报面积明显偏小。50.0 mm 以上的等级预报漏报, QPE 强度远远大于 QPF 强度,TS 评分和面积评分都是 0。这次过程 20.0~49.9 mm 的 QPF 产品有一定的指导意义,但是 50.0 mm 以上的 QPF 漏报,强度越强,QPF 越容易偏弱,与其他地区的 SWAN 评估结论一致(吕晓娜等,2013)。预报目标 1 的重心位于 31.21°N、117.89°E,实况目标 1 的重心位于 31.18°N、117.73°E,预报目标重心位置偏东、偏北,二者相差 16 km 左右,位置预报较好,重心评分为

0.76。预报目标的长短轴比例比实况目标小,长轴比实况短,长轴方向预报评分较高,椭圆率是 5.23。综上得到评价结果“预报目标总面积偏小 54%,预报重心位置偏东 15 km、偏北 5 km,预报目标椭圆率偏小 53%,长轴偏短 2%,线状目标”,目标对象检验法能较好地判断强对流目标的形态,给预报员提供直观的信息。

表 4 2014 年 7 月 30 日短时强降水过程的目标检验结果  
Table 4 Object-based verification of short-term heavy rain on 30 July 2014

检验项目		预报目标 1 和实况目标 2
等级 TS 评分	20.0~29.9 mm	0.1126
	30.0~49.9 mm	0.0418
	50.0 mm 以上	0
总评分		0.0515
等级面积评分	20.0~29.9 mm	0.8936
	30.0~49.9 mm	0.3890
	50.0 mm 以上	0
总评分		0.4275
位置评分		0.7633
交叉相关评分		0.2504
椭圆率评分		0
形状评分	长轴方向评分	0.9890
	总评分	0.4945
检验总评分		0.6088
面积评价	预报目标总面积偏小 54%	
位置评价	预报重心位置偏东 15 km、偏北 5 km	
形状评价	预报目标椭圆率偏小 53%,长轴偏短 2%,线状目标	

### 2.3 对流天气概率预报检验应用

在更长预报时效的强对流天气预报中,用目标

对象检验法对华东地区 24 h 强对流天气落区概率预报进行了检验和评价。2013 年 7 月 30 日,华东地区多地发生了局地大暴雨并伴随 8~10 级雷雨大风的强对流过程。实况数据是基于 ADTD 闪电的格点型对流分析产品,格点分辨率与预报数据一致,都是  $0.5^{\circ}\text{N}\times 0.5^{\circ}\text{E}$ ,检验区域选为  $27^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$ 、 $115^{\circ}$

$\sim 123^{\circ}\text{E}$ ,根据预报员经验选择了对流概率  $\geq 40\%$  作为筛选对流概率目标的阈值(图 6),由于检验范围较大,分辨率较低,目标最少格点数选为 1,预报场识别出 5 个目标,实况场识别出 3 个目标(图 7)。影响范围最大的预报目标 2 与实况目标 2 最匹配,下面进行检验结果分析。

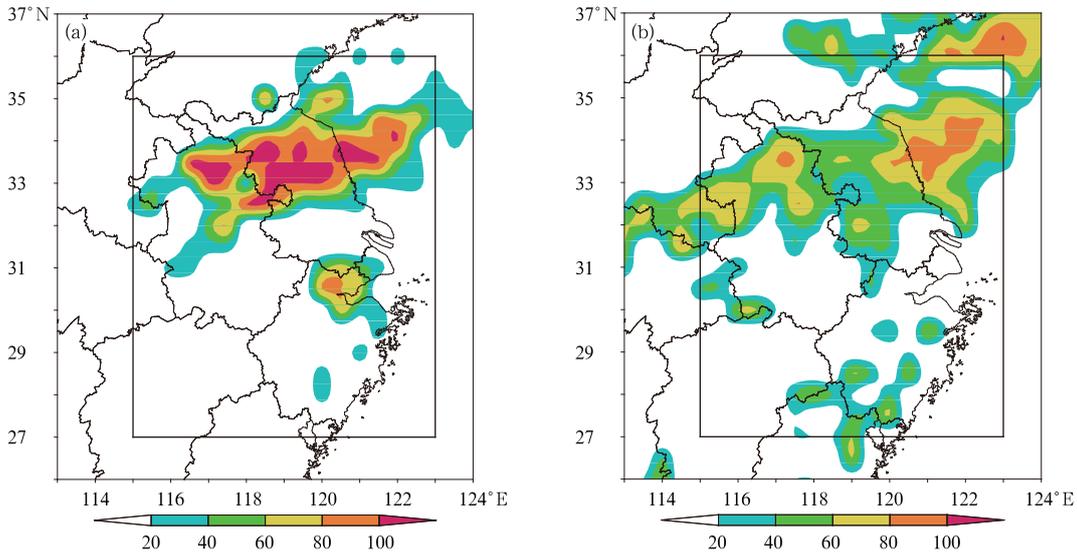


图 6 2013 年 7 月 30 日华东地区对流概率图(单位:%)

(a)7 月 30 日 08 时至 31 日 08 时实况,(b)7 月 30 日 08 时起报的 24 h 预报  
Fig. 6 Convection probability (unit: %) between 08:00 BT 30 July 2013 and 08:00 BT 31 July 2013 (a) in East China and convection probability forecast (unit: %) initiating at 08:00 BT 30 July 2013 (b)



图 7 2013 年 7 月 30 日华东地区对流概率的目标识别图

(红色:预报目标,蓝色:实况目标)

Fig. 7 The objects identified in both forecasts (red) and observations (blue) of convection probability in East China on 30 July 2013

表 5 2013 年 7 月 30 日华东地区对流概率预报的目标检验结果

Table 5 Object-based verification of convection probability on 30 July 2013

检验项目	预报目标 2 和实况目标 2
等级 TS 评分	
40.0%~59.9%	0
60.0%~79.9%	0
80.0%	0.2927
总评分	0.0976
等级面积评分	
40.0%~59.9%	0.3585
60.0%~79.9%	0.3617
80.0%	0.6327
总评分	0.4509
位置评分	0.4057
交叉相关评分	0.5617
椭圆率评分	0
形状评分	
长轴方向评分	0.6910
总评分	0.3455
检验总评分	0.3723
面积评价	预报目标总面积偏大 52%
位置评价	预报重心位置偏东 31 km、偏北 15 km
形状评价	预报目标椭圆率偏小 59%,长轴偏长 41%,块状目标

从预报目标2与实况目标2的检验结果(表5)可以看出,由于对流预报面积明显偏大、落区位置有明显偏差,40%~60%、60%~80%等级的TS评分都是0,但等级面积评分都达到0.3以上,尤其是80%概率以上的面积评分较高,对流概率越大,面积预报越好。预报目标重心33.61°N、119.64°E,实况目标重心33.48°N、119.36°E,重心偏东偏北34 km,对于市级预报这个位置误差偏大,但对于省级预报员可以接受。预报目标的长短轴比例(1.67)比实况目标(2.96)小,长轴方向预报评分0.69,椭圆率评分为0,由于预报的南北范围预报偏大,短轴比实况明显偏长,目标识别为块状,与实况带状目标有差异。

预报目标4和5都是局地发展的对流天气,预报目标4和5都与实况目标3最匹配,实况天气发生在浙北,预报在浙江中部,因为位置偏差太大,这类天气的概率预报传统检验评分和目标检验评分都很低。

### 3 结论和讨论

针对强对流天气预报的特点,本文设计了针对目标对象检验方法,通过目标识别和目标匹配选择预报与实况中与对流系统有关的目标对象,然后对比预报与实况的强度、面积、空间距离、形态、相似度等,对相匹配的强对流目标进行检验,最后,根据用户使用倾向设置的各个检验指标的权重,加权得到综合评价结果,从而实现强对流目标的综合检验和评价。

采用目标对象检验法对SWAN的QPF、No-CAWS的REF和对流概率预报这三类强对流业务产品进行了检验,在丰富了检验指标的同时还量化地发现了这些产品存在的一些误差原因,例如REF和QPF产品由于面积、位置、强度等原因,容易造成传统评分(TS评分)低,对流概率产品预报面积往往偏大很多等。

综上所述,目标对象检验法不仅给出面积、位置和形状评价,提供了更多的评价指标来剖析各类强对流天气预报的性能,为预报员提供量化直观的检验和评价结果,挖掘更多有用的空间特征信息。同时,还通过这些指标进一步可以分析产生偏差的可能原因,为强对流预报产品开发和用户分析了面积、位置或强度等引起传统评分(TS评分)较低的原因。

今后,该检验方法还可以拓展运用到其他强对流天气预报产品,例如雷电密度(单位面积、单位时间的地闪次数)、雷暴大风、冰雹的预报检验,以及预

警信号的分析应用,针对不同类型强对流预报的检验指标仍需要大量的样本积累和试验。目前针对强对流目标只开展了水平尺度的检验,垂直方向的要素检验值得进一步探索,才能更加全面地分析强对流目标特点。

### 参考文献

- 陈雷,戴建华,陶岚. 2009. 一种改进后的交叉相关法(COTREC)在降水临近预报中的应用. 热带气象学报, 25(1): 117-122.
- 戴建华,茅懋,邵玲玲,等. 2013. 强对流天气预报检验新方法在上海的应用尝试. 气象科技进展, 3(3): 40-45.
- 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.
- 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.
- 李佰平,戴建华,张欣,等. 2016. 三类强对流天气临近预报的模糊检验试验与对比. 气象, 42(2): 129-143.
- 刘凌华,牛若芸. 2013. 基于目标的降水检验方法及应用. 气象, 39(6): 681-690.
- 吕晓娜,牛淑贞,袁春风,等. 2013. SWAN中定量降水估测和预报产品的检验与误差分析. 暴雨灾害, 32(2): 142-150.
- 孙健,刘淑媛,陶祖钰,等. 2004. 1998年6月8—9日香港特大暴雨中尺度对流系统分析. 大气科学, 28(5): 713-721.
- 熊秋芬. 2011. GRAPES\_Meso模式的降水格点检验和站点检验分析. 气象, 37(2): 185-193.
- 徐同,戴建华,李佳,等. 2012. 强度尺度方法在模式定量降水预报检验中的应用. 气象与环境科学, 35(1): 1-7.
- 易笑园,李泽椿,姚学祥,等. 2011. 一个锢囚状中尺度对流系统的多尺度结构分析. 气象学报, 69(2): 249-262.
- 尤凤春,王国荣,郭锐,等. 2011. MODE方法在降水预报检验中的应用分析. 气象, 37(12): 1498-1503.
- 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.
- Blanchard D O. 1990. Mesoscale convective patterns of the Southern High Plain. Bull Amer Meteor Soc, 71(7): 994-1005.
- Davis C A, Brown B G, Bullock R G. 2006a. Object-based verification of precipitation forecasts, Part I: Methodology and application to mesoscale rain areas. Mon Wea Rev, 134: 1772-1784.
- Davis, C A, Brown B G, Bullock R G. 2006b. Object-based verification of precipitation forecasts, Part II: Application to convective rain systems. Mon Wea Rev, 134: 1785-1795.
- Ebert E E, McBride J L. 2000. Verification of precipitation in weather systems: Determination of systematic errors. J Hydrol, 239: 179-202.
- Ebert E E. 2008. Fuzzy verification of high-resolution gridded forecasts: a review and proposed framework. Meteor Appl, 15: 51-64.
- Schaefer J T. 1990. The critical success index as an indicator of warning skill. Wea Forecasting, 5: 570-575.
- Wernli H, Marcus Paulat, Martin Hagen, et al. 2008. SAL—a novel quality measure for the verification of quantitative precipitation forecasts. Mon Wea Rev, 136: 4470-4487.