

强对流天气预报检验新方法在上海的应用尝试

戴建华¹ 茅懋¹ 邵玲玲¹ 李佳²

(1 上海中心气象台, 上海 200030; 2 中国气象局上海台风研究所, 上海 200030)

摘要: 为了弥补常规检验方法的不足, 挖掘预报的潜在价值, 基于强对流天气预报的特点、短临预报业务需求和效益评估用户调查, 采用对比预报与实际的强对流天气目标之强度、面积、空间距离、形态和相似度等评价指标, 建立包括格点型、站点型和概率型的强对流预报检验方法、预报检验指标调整与合成方法, 制定基于用户需求和倾向的强对流短临检验指标和标准, 尝试开发适合我国强对流预报预警发展的强对流短临预报新型检验业务产品, 实现对强对流短临预报的综合检验和评价。介绍了这一新尝试的设计和算法, 及其在上海的试验应用。

关键词: 强对流, 检验, 目标对象检验法

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.03.006

Applications of a New Verification Method for Severe Convection Forecasting and Nowcasting in Shanghai

Dai Jianhua¹, Mao Mao¹, Shao Lingling¹, Li Jia²

(1 Shanghai Central Meteorological Observatory, Shanghai 200030

2 Shanghai Typhoon Institute, China Meteorological Administration, Shanghai 200030)

Abstract: To compensate for the disadvantages of the conventional verification methods and find the potential value of forecasts, a new verification method is developed for severe convection forecasting and nowcasting. This method is based on the characteristics of severe convective weather, the requirements of the very short-term forecasting and nowcasting operations, and performance evaluation of user surveys. In the approach of the method, forecasts for severe convection are compared to the observations aiming at their differences in intensity, area, distance, morphology and similarity. Several verification methods have been adopted for grid-based, site-based, and probabilistic forecasts. A forecast adjustment and integration method is also developed based on preference and tendency of users, and some verification indices and standards have been established. A series of operational verification products of this new method are developed for the national severe convection forecasting operations. This paper describes the design of this new method and its algorithms, as well as its application in Shanghai.

Keywords: severe convection, verification, objective-based diagnostic evaluation

1 引言

作为灾害性天气的一种, 强对流天气对人民生命财产安全和社会经济生活的危害非常大, 也被社会公众给予了特别关注, 灾害性天气预报警报的关注度达到59.34%^[1]。近年来我国强对流天气预报业务发展迅猛, 2008年中国气象局成立强天气预报中心, 旨在提高强天气, 特别是强对流天气的预报能力, 中国气象局研发了灾害天气短临预报业务系统(SWAN), 2008年北京奥运会和2010年上海世博会期间, WMO

分别组织开展了短临预报(B08FDP)和短临预报服务(WENS)国际示范项目, 展示了国际上先进的短临预报技术和系统, 并侧重于如何更加贴近用户需求、更好地将预报技术和产品服务于用户。

对强对流天气预报的检验和评估非常重要, 第一可发现预报技术中的问题并促进其改进和完善, 第二还可以给出预报可适用性和不确定性, 作为用户的应用参考, 从而提高强对流天气业务预报能力和服务效益。另外, 强对流天气具有时空尺度小、生消演变快和发生概率小的特点, 常规天气的检验方法, 如TS(threat score)/CSI(critical success index)^[2]等评价技术或指标, 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, 对一些区域目标仅给出简单的对错评价, 掩盖了预报中的一些积极的信息^[3], 如图1中针对一个中尺度对流系统预

收稿日期: 2012年3月27日; 修回日期: 2012年4月15日

第一作者: 戴建华(1969—), Email: djhnn@sina.com

资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006002); 中国气象局业务建设项目“灾害天气短时临近预报预警业务系统(SWAN)版本升级建设”; 中国气象局创新团队“全国强对流预报专家团队”项目

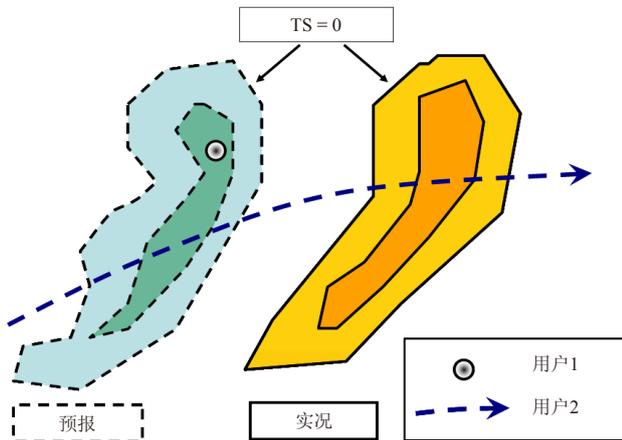


图1 强对流天气预报检验的需求

报的TS评分为0，而预报员却从中发现了诸多有价值的信息，如预报与实况在强度、大小、形态上比较接近，为潜在的中尺度对流系统的预报提供了非常有价值的信息；同时，不同用户的需求和评价也不尽相同，预报中潜在的一些重要信息可以用检验和评价指标来刻画和描述，对同一个客观预报的评价，不同用户的评价也截然不同，对于单点用户1而言并不满意，而对一个线用户2（如航空）而言，预报线路上出现中尺度对流系统则为一个非常好的预报。因此，建立能够挖掘预报潜在价值、适应不同用户使用倾向、实现主观和客观综合评价的强对流短临预报非常规检验新技术方法非常必要。

目前强对流天气预报常规检验技术主要存在以下问题：1) 预报业务系统中的检验模块局限于传统方法，比较单一，评分结果不能用于诊断误差的来源；2) 强对流天气发生概率低、尺度小，常规天气预报检验技术不能有效地刻画；3) 强对流预报新形式不断涌现，如潜势预报和临近预报、概率预报和确定性预报、落区预报和单站预报等，并提出了新要求；4) 目前强对流预报事后主观检验，不利于实时算法的及时调整、完善及用户使用；5) 强对流预报的检验、评估的标准没有考虑到使用者的使用用途和倾向，一些被常规检验技术（如TS）评价为0分的预报，也可能包含了重要的预报信息。

强对流天气预报检验技术的研发已经有多年的历史，20世纪70年代就已在欧美一些国家实现了业务运行，如美国国家天气局（NWS）已将预报检验技术用于强对流展望预报，对强对流等级预报和概率预报采用了与实况对比进行检验的方法。近年来，预报的空间检验技术方面有了新的发展，一些新的降水预报空间诊断技术不断涌现，如基于特征分析的检验技术将检验属性定义为目标^[3, 4]，分析误差大小和空间尺度

的尺度分解方法^[5]，以及在一定半径范围内相邻格点检验的相邻法^[6]。美国国家大气研究中心（NCAR）开发了目标动态检验评估法（MODE）^[4, 7-10]，提供更多的预报检验诊断信息，能从数值误差和其他误差中分离出落区误差等，包括尺度分离技术和目标检验技术，其中目标检验技术综合比较预报目标和观测目标的位置、面积、量级、强度和形状等，用来描述预报目标与观测目标之间的相似程度，避免了传统方法仅仅给出结论而无诊断信息的弊端，对强降水的检验表明降水预报能提供更多的信息给预报业务人员和用户。美国国家环境预报中心（NCEP）和NCAR共同开发了MET模式评价工具包，集成了世界上先进的模式检验技术，提供模式结果和站点观测、模式格点和格点观测等对比检验。在我国，现有强对流预报检验还主要沿用传统的空间检验方法，针对单站预报和格点预报产品，均采用预报事件与实况的对比，采用命中率（POD）、虚警率（FAR）、临界成功指数（CSI）、误差等评分来评价强对流预报。北京奥运会临近预报示范项目（B08FDP）中采用了尺度分解检验技术对降水进行了尝试^[11]。

本文设计了采用预报与实况对比的强度、面积、空间距离、形态、相似度和可靠度等评价指标，以实现强对流短临预报的综合检验和评价，同时介绍了针对强对流天气预报检验的一些新的尝试。

2 强对流天气检验基础信息的构建

一些研究已经采用经过验证的非常规观测资料作为预报产品检验的观测事实，如雷达资料^[12]。根据中国气象局的业务规范，确定需进行检验的强对流天气类型为已开展或将要开展的预报对象：短时强降水、强雷电、雷雨大风和冰雹。针对一些在业务规范中尚未明确等级的强对流天气（如强雷电活动），研究和设计适合检验业务的强对流天气等级标准和规范。

2.1 强对流实况基础信息

基于雷电探测资料和/或雷达观测资料的强对流天气实况基础信息，与其他强对流观测信息一起，构建格点型和站点型强对流天气实况信息。

(1) 雷电实况。雷电活动要素作为天气实况是一项新的尝试，作为强对流天气的检验实况需要经过以下步骤构建和检验：一是通过雷电观测的闪电密度、电流强度的气候统计确定其初步等级阈值；二是通过闪电密度、电流强度等雷电要素与雷达观测的雷暴高度、强度结构等的关系，修改和细化雷电要素等级阈值；三是比较雷电灾害情况和人工观测的危险天气来修改和细化雷电要素等级阈值；四是根据各地气

候特点和雷电活动特征，建立不同区域各雷电要素的等级阈值。

(2) 短时强降水实况。一是采用传统的地面自动雨量站的站点雨量资料；二是新引进经过检验的雷达和雨量站观测融合的定量估测降水(QPE)，作为格点雨量/雨强预报的检验实况资料；三是根据强降水雨团的水平和结构特点的统计，用雷达资料与雨量站资料结合识别强降水(率)雨团，作为强降水雨团目标的实况信息。以上算法需要根据各地气候背景，统计得到相应的QPE算法和强雨团识别算法。

(3) 雷暴大风实况。一是采用传统的人工地面观测雷暴与大风结合识别的雷暴大风；二是自动站风观测与雷电观测结合识别的雷暴大风；三是采用经过检验的基于雷达资料的大风特征识别算法(如SWAN的单体VIL变化雷暴大风识别算法、下击暴流大风识别算法^[13]和阵风锋识别算法)和雷达产品(如龙卷涡旋特征(TVS)和中气旋(M)等)，作为雷暴大风观测的实况。

(4) 冰雹实况。一是采用常规人工观测、目击者观测的冰雹实况；二是根据统计和检验情况，调整新一代天气雷达冰雹识别算法，将达到一定评分指标的冰雹识别产品作为冰雹实况参考。

(5) 深厚对流区。采用雷达强回波与温度层结合的综合识别方法，识别包含空中大冰雹(如55dBZ达到-20℃层高度附近)的深厚对流区，以适应不同深厚对流预报(如强对流潜势预报落区)检验的需要。

2.2 强对流预报信息

将现有业务的强对流预报产品和未来业务中潜在的强对流预报产品进行分类，根据预报类型分为：格点型和站点型，确定性预报和概率预报，落区型与分等级型等。

3 强对流天气检验新技术的设计

3.1 格点型预报的检验技术

选取预报对象落区预报中的强度分布、区域面积、区域形态(长短轴、轴向)、区域重心位置以及相似度等诸多要素，与实况分布进行对比，并进行重心校正后的区域相似度分析(交叉相关)，采用加权法综合各项检验指标对总体检验的集合贡献，从而最终获取强对流对象落区预报的检验结果。具体的流程图如图2所示。

3.2 站点型预报的检验技术

针对某一站点或一定范围内时间序列的强对流预报对象，用发生在该站点或一定范围内的强对流对象

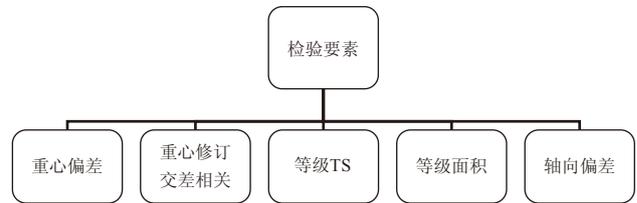


图2 强对流天气预报综合检验法

实况信息，对比预报中对象的强度差、时间差、距离等诸多要素，采用加权法综合各项检验指标对总体检验的集合贡献，从而最终获取站点型强对流预报的检验结果。

3.3 强天气单体预报的检验

采用目标跟随技术，检验强对流单体预报与实况位置的偏差，适用于强对流单体的路径预报。

3.4 概率预报产品的检验技术

对比空间位置一致的预报与观测的概率分布，用预报可靠度(reliability)来描述预报，并与气候概率分布进行对比，形成相对于气候概率的技巧评分。

4 针对不同类型强对流预报的检验指标

(1) 短时强降水预报。选取降水强度(一般选择小时降水量)作为主要检验指标，设置不同强度之间的关联度，配以强降水落区预报中的强度分布、区域面积、区域形态(长短轴、轴向)和区域重心位置等诸多要素，与实况降水分布进行对比，并进行重心校正后的区域相似度分析(交叉相关)，采用加权法综合各项检验指标对总体检验的集合贡献，最终获取强降水预报的检验结果。

(2) 雷暴大风。选取伴有雷暴的7级或以上的大风分级指标作为主要检验指标，采用格点型和站点型分别对雷暴大风的落区预报和站点预报进行检验评价。

(3) 强雷电活动。选取雷电密度(单位面积、单位时间的地闪次数)作为主要检验指标，分别采用格点型和/或站点型对相应的预报进行检验评价，对雷电密度的定量化，需要进行雷电密度与灾害性天气之间的分类关联统计。

(4) 冰雹。选取观测降雹作为主要检验指标，辅以实况分析的冰雹实况，分别采用格点型和/或站点型对相应的预报进行检验评价。

(5) 强对流天气预报产品。可以根据预报产品的类型选择适当的方法，根据用户使用倾向，设置各个单项的权重。

5 用户及其应用倾向调查与权重

社会调查表明，不同的用户对气象信息具有不同的价值取向^[1]，对气象信息的应用和评价往往建立在

表1 强对流天气潜势预报产品—预报业务人员调查表

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

表2 采用格点型目标检验的测试结果

要素与评分		情形编号								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
重心评分	重心距离	0.000	2.000	5.000	0.012	2.004	7.072	0.047	2.047	5.547
	评分 (0.2)	1.000	0.953	0.811	1.000	0.952	0.712	1.000	0.950	0.785
交叉相关 (0.2)		1.000	0.966	0.966	0.902	0.902	0.902	0.718	0.718	0.718
等级TS评分	0.0~9.9	1.000	0.096	0.000	0.385	0.090	0.000	0.134	0.161	0.000
	10.0~24.9	1.000	0.066	0.000	0.337	0.042	0.000	0.370	0.124	0.000
	25.0~49.9	1.000	0.000	0.000	0.608	0.000	0.000	0.257	0.000	0.000
	总评分 (0.2)	1.000	0.082	0.000	0.406	0.068	0.000	0.210	0.142	0.000
等级面积评分	0.0~9.9	1.000	1.000	1.000	0.638	0.638	0.639	1.000	1.000	1.000
	10.0~24.9	1.000	1.000	1.000	0.689	0.689	0.678	0.998	0.998	0.998
	25.0~49.9	1.000	1.000	1.000	0.608	0.608	0.648	0.988	0.988	0.988
	总评分 (0.2)	1.000	1.000	1.000	0.645	0.645	0.648	0.999	0.999	0.999
轴向评分 (0.2)		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
加权总评价		1.000	0.800	0.755	0.986	0.891	0.652	0.585	0.561	0.500

自身的应用基础上，因此，针对不同用户，对其应用倾向的基础调查非常重要。目前，强对流天气潜势预报产品的用户可以分为3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，用户对强对流天气潜势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。表1为针对业务预报人员的调查表样表。

6 算法测试

6.1 模拟资料

为了分别测试不同要素在预报检验与评价中的作用，针对预报目标的强度、面积、形态、重心位置、

相似度等要素，模拟设计了3个等级（以雷达反射率强度为例）预报与实况几种情形下，并采用格点型目标检验算法进行了测试。图3显示了情形1~9，实况场为实线，预报场为虚线，其中1，4，7中预报与实况的中心位置重合，2，5，8中预报与实况的中心存在一定距离偏差但有部分面积重合，3，6，9中距离偏差较大且无重合部分，另外1~3和7~9中预报与实况的强度和面积均相同，4~6为预报范围比实况小、强度分布一致，1~6预报与实况的形态一致，而7~9预报与实况的形态不一样，轴向相差90°。

采用算法计算后，得到了各种模拟情形下的评

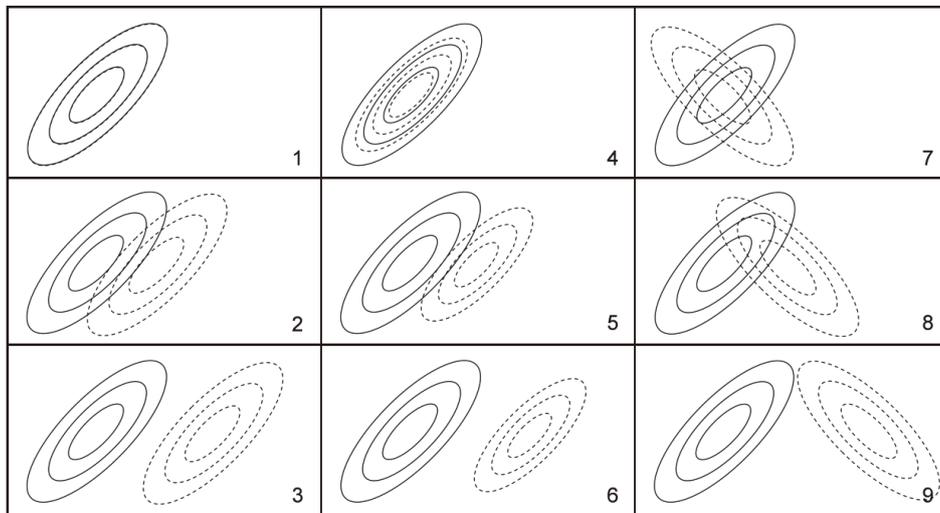


图3 模拟的实况（实线）与预报（虚线）的9种情形

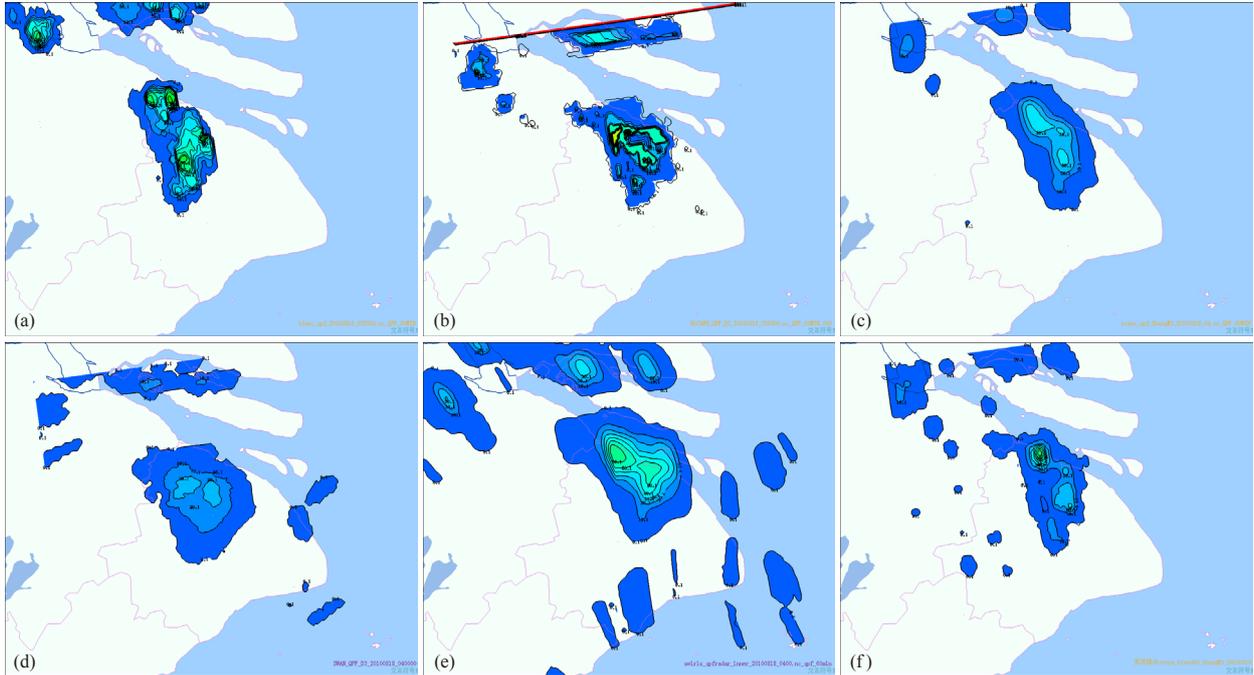


图4 2010年8月18日上海世博会临近预报服务(WENS)国际示范项目各家预报系统0~1h降水预报产品 (a) BJANC; (b) NoCAWS; (c) STEP; (d) SWAN; (e) SWIRLS; (f) 实况

分情况(见表2)。各个评分项目分别为重心距离偏差评分、经过重心校正后交叉相关评分、各等级和总的TS评分、各等级和总面积偏差评分、轴向评分,并采用各单项评价的加权算术平均合成加权总评价,单项权重均为0.2。测试结果表明:情形1是完美预报(perfect forecast),各项评分均得满分1.0,总平均也为1.0;而情形3中,由于预报与实况落区存在一定偏差,没有重叠部分,其等级TS评分和总TS评分均为0,故在传统检验方法中该项预报将会判定为0分。然而,检验要素中交叉相关评价为0.966,等级面积、总面积评价、轴向评价均为1.0,可见该预报在反射率面积、形态、强度、分布的预报中均提供了非常有价值的信息,因此新检验技术的综合评价也达到了0.755分;情形2介于情形1和3之间,评价略高于情形3;情形4~6的预报范围均小于实况,除重心评分和轴向评分外,其他各单项指标均低于对应的情形1~3;相对于情形1~3,情形7~9的主要差异在预报落区的轴向与实况存在90°角度的偏差,故其轴向评价为0分,尽管等级面积与实况一致,轴向的偏差也导致交叉相关、TS评价低于情形1~3。

模拟各类情形测试结果表明,采用多项指标的综合评定方法则可以从预报中挖掘常规TS评分以外的几类重要信息;另外,可以根据用户对检验产品的使用倾向对权重组合进行调整,如用户关注强度,可以适当调高等级面积评价权重,若关注落区则调高等级面

积和重心评分的权重。

6.2 实际资料

对2010年上海世博会临近预报服务(WENS)国际示范项目中发生在上海的一次短时强降水天气的临近预报进行了检验。图4为WENS参加临近预报系统BJANC(a)、NoCAWS(b)、STEP(c)、SWAN(d)和SWIRLS(e)提供的0~1h降水预报(QPF)产品,(f)为实况。采用格点检验技术得到的各个要素评价和加权总评价见表3。

多要素综合评价中,各个要素的权重均设置为相同。多要素的综合评价,为预报人员提供了更多的信息。由于预报与实况关注对象的重心误差均小于最小允许误差值,表3中(b),(c)和(e)的重心评分均达0.999分,经过重心修订后的交叉相关评价则显示c预报与实况在细节分布上比较接近,等级TS评分更取决于预报与实况的重叠区,(b)和(c)更为接近,面积评分中(b)和(d)较接近,轴向中差异较小的是(c)和(e)。因此,通过该检验方法提供给

表3 采用格点型目标检验结果

要素和评分(权重)	(a) BJANC	(b) NoCAWS	(c) STEPS	(d) SWAN	(e) SWIRLS
重心评分(0.2)	0.926	0.999	0.999	0.975	0.999
交叉相关(0.2)	0.520	0.489	0.831	0.632	0.659
等级TS评分(0.2)	0.037	0.314	0.310	0.146	0.124
等级面积评分(0.2)	0.315	0.639	0.405	0.608	0.372
轴向评分(0.2)	0.913	0.817	0.890	0.705	0.796
加权总评价	0.542	0.652	0.687	0.613	0.590

用户的不但有综合评价,也有分项评价,对用户更好地用其所长。

7 算法发展与应用前景

根据强对流天气预报检验新尝试的技术路线,设计了实现的技术框架,主要包括六大部分:1) 检验基础信息;2) 检验技术方法;3) 分类检验指标;4) 需求检验技术;5) 检验指标调整;6) 检验模块产品开发。

模拟数据和实际个例测试表明:采用新型检验技术后,可以弥补常规检验技术的不足,挖掘出强对流预报产品中有价值的信息,既为用户提供了针对性强的客观检验信息,又为强对流预报产品开发提供了预报偏差的来源。该新检验技术适合于我国正在发展的强对流天气预报业务,其适应用户应用倾向和需求的特点,将丰富预报产品的针对性和专业性。

然而,本文仅仅构建了一种针对强对流天气的检验新尝试,强对流天气的复杂性还需要更多针对性的检验方案。另外,由于用户在应用倾向上的差异,需要进行用户需求分析和分类检验指标选择与调整,合成综合评价时,各项因子的权重需要针对用户需求进行评估与确定,如何分析这些关键因子和各自的权重比例仍是一个有待进一步研究的课题。

参考文献

- [1] 许小峰,等. 气象服务效益评价理论与分析研究. 北京: 气象出版社, 2009.
- [2] Schaefer J T. The critical success index as an indicator of warning skill. *Wea Forecasting*, 1990, 5: 570-575.
- [3] Ebert E E, McBride J L. Verification of precipitation in weather systems: Determination of systematic errors. *J Hydrol*, 2000, 239: 179-202.
- [4] Davis C A, Brown B G, Bullock R G. Object-based verification of precipitation forecasts. Part I: Methods and application to mesoscale rain areas. *Mon Wea Rev*, 2006, 134: 1772-1784.
- [5] Casati B, Ross G, Stephenson D B. A new intensity-scale approach for the verification of spatial precipitation forecasts. *Meteor Appl*, 2004, 11: 141-154.
- [6] Ebert E E. Neighborhood verification: A strategy for rewarding close forecasts. *Wea Forecasting*, 2009, 24: 1498-1510.
- [7] Brown B G, Bullock R R, David C A, et al. New verification approaches for convective weather forecasts. 11th Conf Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, 4-8 Oct 2004, Hyannis, MA.
- [8] Davis C A, Brown B G, Bullock R G. Object-based verification of precipitation forecasts. Part II: Application to convective rain systems. *Mon Wea Rev*, 2006, 134: 1785-1795.
- [9] Michaels A C, Fox N I, Lack S A, Wikle C K. Cell identification and verification of QPF ensembles using shape analysis techniques. *J Hydrol*, 2007, 343: 105-116.
- [10] Lack S A, Limpert G L, Fox N I. An object-oriented multiscale verification scheme. *Wea Forecasting*, 2010, 25: 79-92.
- [11] 孔荣, 王建捷, 梁丰, 等. 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*, 2010, 21(5): 535-544.
- [12] May P T, Lane T P. A method for using radar data to test cloud resolving models. *Met Apps*, 2009, 16: 425-432.
- [13] 陶岚, 戴建华. 下击暴流自动识别算法研究. *高原气象*, 2011, 30(3): 784-793.

会议信息

- ◆ 2013年欧空局GNSS国际夏季学校 (ESA INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL ON GNSS 2013), 2013年7月15—25日, 瑞士, 达沃斯 (<http://www.congrexprojects.com/13m07>)
- ◆ 第四届全国大气边界层物理和大气化学学术研讨会暨2013年LAPC年会, 2013年8月9—11日, 重庆 (<http://www.lapc.ac.cn>)
- ◆ 第一届海峡两岸海岸科学与可持续发展学术研讨会, 2013年8月29—31日, 烟台 (<http://cssd2013yic.csp.escience.cn/>)
- ◆ 土壤结构及其在生态系统中的功能学术会议 (Soil Structure and its Functions on Ecosystem), 2013年9月8—10日, 南宁 (<http://soilstructure.csp.escience.cn>)
- ◆ 第13届EMS年会暨第11届欧洲应用气象会议 (ECAM) (13th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM)), 2013年9月9—13日, 英国, 里丁 (<http://www.ems2013.net/>)
- ◆ 第四届IAEE亚洲大会 (4th IAEE Asian conference), 2013年9月19—21日, 北京 (<http://iaeeasia.csp.escience.cn/>)
- ◆ 模拟大气和海洋流学术会议 (Modelling Atmospheric and Oceanic Flows: insights from laboratory experiments and numerical simulations), 2013年9月24—26日, 德国, 柏林 (<http://euromech552.mi.fu-berlin.de/>)
- ◆ 第六届WMO数据同化学术会议 (Sixth WMO Data Assimilation Symposium), 2013年10月7—11日, 美国, 马里兰 (<http://www.ncep.noaa.gov/events/2013/wmo6da/>)
- ◆ 第38届NOAA气候诊断和预测学术会议 (NOAA's 38th Climate Diagnostics and Prediction Workshop), 2013年10月21—24日, 美国, 马里兰 (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/outreach/CDPW38.shtml>)
- ◆ 第二届全国激光雷达大会, 2013年10月25—26日, 北京 (<http://www.lidar2013.org/>)
- ◆ 区域气候国际会议—CORDEX 2013 (International CORDEX Conference on Regional Climate), 2013年11月4—7日, 比利时, 布鲁塞尔 (<http://cordex2013.wcrp-climate.org>)
- ◆ 第一届COSPAR研讨会议-能力建设学术会——环境监测地球观测数据的大气校正 (Capacity Building Workshop: Atmospheric Correction of Earth Observation Data for Environmental Monitoring), 2013年11月4—8日, 泰国, 曼谷 (http://cospar2013.gistda.or.th/content2.php?slug=building_workshop)
- ◆ 第十三届SCOSTEP日地物理学术会 (SCOSTEP's 13th Quadrennial Symposium on Solar-Terrestrial Physics), 2014年10月12—17日, 西安 (<http://stp13.csp.escience.cn/>)