

WMO登陆台风预报示范项目研究进展

雷小途 余晖

(中国气象局上海台风研究所, 上海 200030)

摘要: WMO登陆台风预报示范项目(2010—2015年)自2010年立项至今,已建成一个集当今世界主流台风主、客观预报产品及其性能评估的业务平台。项目通过开展台风预报评估,分析了当前世界上多类先进预报技术的台风路径、强度和降水预报能力,加深了对台风预报可信度的认识,并在台风预报检验新技术和台风集成预报新技术的研发、应用等方面取得了突破性进展,初步建立了涵盖确定性和集合预报的台风路径、强度和风雨预报性能评估技术体系,有效地推进了先进台风预报技术在台风预报业务中的展示和应用。

关键词: 台风, 预报, 评估, 示范

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.02.003

The Progress of WMO Typhoon Landfall Forecast Demonstration Project

Lei Xiaotu, Yu Hui

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

Abstract: The “WMO Typhoon Landfall Forecast Demonstration Project (WMO-TLFDP)” was started in May 2010, with an aim to improve the typhoon landfall forecast service for World Expo 2010 and enhance the ability of forecasters and decision-makers to effectively use products of the most advanced typhoon forecasting techniques in the world. The project continued after the World Expo 2010 and will end in 2015. Up to now, the project has set up a platform integrating the most advanced typhoon forecasting guidance in the world. The forecast guidance for typhoon track, intensity, and precipitation has been evaluated in both real-time and post-season manners, which helps in understanding the reliability of typhoon forecasts. Breakthroughs have been made in terms of new verification techniques for typhoon forecast and new consensus forecast techniques based on available guidance. An evaluation index system has been proposed covering the indices for both the deterministic and probabilistic typhoon forecasts. These efforts have effectively demonstrated and promoted the application of advanced typhoon forecasting techniques in operation.

Keywords: Typhoon, Forecast Demonstration, Forecast Evaluation, World EXPO 2010

0 项目简介

2010年5—10月,上海世博会成功举办。为了向此次活动提供世界上先进的登陆台风预报和预警服务,提升预报员和决策者有效使用先进台风预报技术和产品的能力,中国气象局华东区域气象中心于2009年10月向世界气象组织(WMO)提议设立“WMO登陆台风预报示范项目(WMO-TLFDP)”。该项建议于2009年11月得到正式采纳。

WMO-TLFDP由WMO世界天气研究计划(WWRP)、热带气旋计划(TCP)和公共天气服务计划(PWS)联合支持和指导,是WMO“上海多灾

种早期预警项目”的一个组成部分,牵头机构是中国气象局上海台风研究所、华东区域气象中心和WMO东京区域台风中心,参加机构有十个,包括中国气象局国家气象中心、广州热带海洋气象研究所、香港天文台、韩国气象厅等。

WMO-TLFDP旨在增强分析和认识登陆台风预报可信度的能力,评估先进的登陆台风预报技术对提高预报和服务能力的贡献及其社会和经济效益,增强上海多灾种早期预警系统的登陆台风预报能力,展示世界上先进的登陆台风预报技术,推进先进的登陆台风预报技术在WMO成员的业务转化和应用。自立项起,WMO-TLFDP就与THORPEX建立了密切的联系,并开展了台风路径和强度集合预报的评估和应用技术研究。

WMO-TLFDP的主要任务包括:(1)建立多机构登陆台风预报结果的实时收集和显示系统,包括台风路径、强度、风雨分布等;(2)研制和集成台风

收稿日期:2014年1月29日;修回日期:2014年9月15日
第一作者:雷小途(1968—), Email: leixt@mail.typhoon.gov.cn
资助信息:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006008, GYHY201406010);国家重点基础研究发展计划项目(2015CB452806)

登陆地点和时间、风雨分布的预报评估技术，并开展预报性能的评估；（3）对登陆台风预报进行综合分析，评估预报的可信度；（4）评估登陆台风预报的社会和经济效益。

WMO-TLFDP立项之初确定的研究周期是3年（2010—2012），WMO在评估其效果后于2012年决定再延续3年（2013—2015）。以下逐一介绍项目在培训研讨、资料收集与存储、台风预报评估、台风集成预报新技术、项目网站和效益评估等方面取得的进展。

1 培训研讨

WMO-TLFDP项目分别于2010和2012年各举办了一次台风预报培训研讨会，会议地点均在上海。第一次培训研讨会于2010年5月24—28日举行，旨在帮助华东区域的预报员熟悉计划在上海世博会期间引进的台风预报技术和产品。来自中国气象局、欧洲中期天气预报中心、香港天文台、日本气象厅、美国国家飓风中心等8个机构的11位专家给20多位培训学员进行了授课。第二次培训研讨会于2012年6月12—14日举行，来自WMO、日本气象厅、美国国家大气研究中心、中国香港天文台、国家气象中心、上海中心气象台和上海台风研究所等境内外机构的知名专家和各省局气象预报员共计70余名专家学者出席了会议。与会专家就WMO-TLFDP的应用与实践、上海台风早期预警系统及台风路径、强度、降水预报检验分析和效益评估等进行了介绍交流，探讨了针对路径突变集合预报产品的检验和诊断应用、集合离散度及概率预报等不确定性预报技术分析应用和如何为决策者提供基于集合预报信息的“解决方案”组合等关键科学问题。

2 资料收集与存储

项目收集的预报产品有：确定性的台风路径、强度和大风半径预报，路径和强度的集合预报，大风概率预报，风雨格点预报和模式预报的三维格点场。所涉及的预报方法既有综合预报，也有数值模式和统计预报，详细内容参见文献[1]。来自13家机构，包括欧洲中期天气预报中心、香港天文台、日本气象厅、美国联合台风警报中心、韩国气象厅、加拿大气象局、美国国家环境预报中心、美国国家飓风中心、WMO东京台风中心以及中国气象局国家气象中心、华东区域气象中心、广州热带海洋气象研究所和上海台风研究所。自2010年5月至今，西北太平洋所有台风的预报产品均存储在华东区域气象中心。

3 台风预报评估

2012年，项目开展了一次关于亚太区域台风预报评估业务现状的电子邮件调查^[2]，调查对象是亚太

台风委员会各成员、WMO东京区域台风中心和美国联合台风警报中心。调查结果表明，该区域各业务预报中心开展了大量台风预报评估工作，有些是独立实施，有些是通过国际合作开展，关注的重点是路径和强度的确定性预报。预报评估产品以多种形式提供给预报员参考，既有实时的也有季后的。概率预报的评估产品不多，台风风雨预报的评估也尚未受到足够的重视。

项目开展的台风预报评估工作包括实时和季后两大部分。实时评估的对象是确定性的台风路径和强度预报以及上海台风研究所区域模式WRF ADAS Real-time Modeling System (SMB-WARMS)的格点预报。路径预报的评估指标是距离误差、移向误差和移速误差，强度预报的评估指标是绝对误差和相对误差。项目引进了美国国家大气研究中心研发的模式评估系统MET对SMB-WARMS进行实时评估，评估内容包括降水、温度、风、位势高度、相对湿度等，评估指标除传统的命中率、误报率、均方根误差、相关系数、TS评分等之外，还应用了面向对象的诊断评估方法MODE。

季后的台风预报评估工作在路径、强度、登陆点和降水预报四个方面均取得了显著进展。

3.1 台风路径预报评估

对所有参加项目的综合预报、全球模式、区域模式、集成预报方法和集合预报系统的台风路径预报进行了评估，分析了距离误差的概率分布、区域分布、与台风初始状态和环境流等的关系等，并提出了相对误差比指标来分析不同方法台风移速和移向预报的相对能力^[3-5]。图1是两个全球模式ECMWF-IFS和NCEP-GFS在2010—2012年的预报距离误差分布^[6]，清楚地体现了NCEP-GFS在近几年的显著进步。系统性误差的分析表明，不少模式的预报位置较实况明显偏西。分析距离误差的区域分布特征，发现我国南海、台风生成区域以及台风转向后进入的高纬度区域的预报难度较大。项目引进了在我国台风预报评估业务中使用多年的综合评定指标AI^[7]，并在此基础上提出了一个新的台风路径预报评估指标—路径预报整体偏差TFID^[8]。试验表明，将TFID与常用的距离误差结合使用可以更加准确地识别好与不好的预报路径。

3.2 台风强度预报评估

研究^[9-12]提出了等级评分等新的台风强度预报评估指标，并从相对误差分布、预报技巧、等级评分、趋势一致率、排序分析等多个方面评估了业务常用方法的强度预报能力。结果表明，大多数方法存在低估

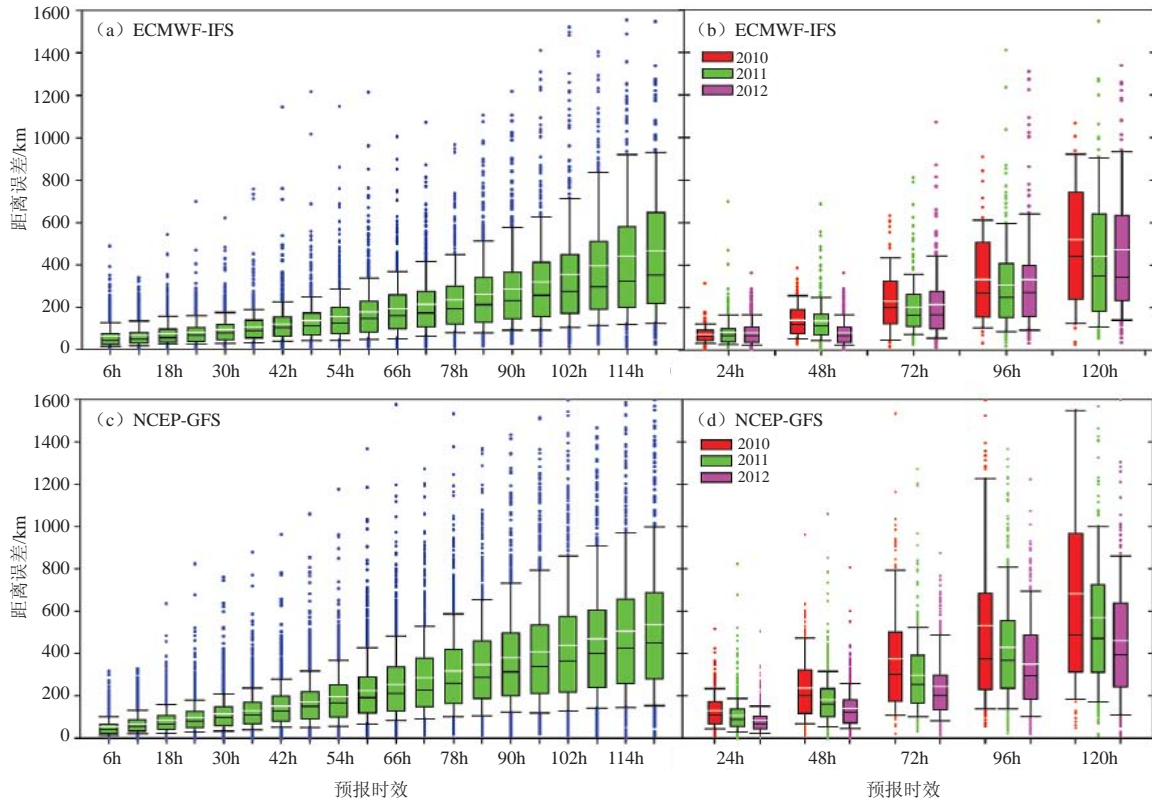


图1 2010—2012年全球模式ECMWF-IFS和NCEP-GFS的距离误差分布图^[6]
(a, c) 3年的总体误差分布; (b, d) 逐年的误差分布

台风强度的问题，所有方法对台风快速增强都没有预报能力，部分方法能够对快速减弱做出准确的预报；中国气象局、日本气象厅、欧洲中期天气预报中心等的气象模式已具备一定的台风强度预报能力，特别是对变化趋势和强度等级的预报在24h或36h以上时效要优于气候持续性方法；对不同初始强度的台风，各模式在不同时效的误差特性有所不同，且模式预报误差与初始强度误差呈显著正相关关系（图2）。对8个集合预报系统（NMC/CMA、STI/CMA、KMA、ECMWF、CMC、NCEP、JMA、TEPS、JMA_WEPS）的台风强度预报能力也进行了

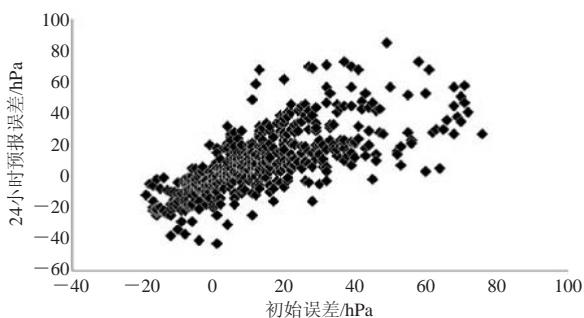


图2 日本气象厅全球模式台风中心最低气压的初始误差与24小时预报误差散点图^[12]。样本数为602

评估^[13]，发现尽管存在分辨率普遍较低的问题，大部分系统对强度变化都有一定的预报能力，依据初始强度误差对预报结果进行简单的线性平移订正可明显改善集合预报在短时效的预报技巧（图3）。

3.3 登陆点预报评估

对台风登陆点预报的评估表明，2012年大部分综合预报方法的24h登陆点预报命中率达100%，且有20h以上的预报时效^[5]，较2010和2011年有显著进步^[3-4]。对登陆位置的24h预报，不同台风间差异很大，最小仅几千米，最大可达几百千米。

3.4 台风降水预报评估

对2010—2012年中国气象局、日本气象厅、欧洲中期天气预报中心等的气象模式进行了评估，评估指标包括均方根误差、平均误差、平均绝对误差、常用评分指标TS、ETS、POD、FAR和面向对象的诊断评估方法MODE^[14]等，分析对象是影响华东的台风。根据影响台风降水的环境系统差异进行了分类统计，包括西风槽型、季风环流型、复杂地形型等，并对2010年“圆规”、2012年“海葵”和2013年“菲特”3个台风进行了个例分析。结果表明，业务全球模式可较好地把握天气尺度的降水

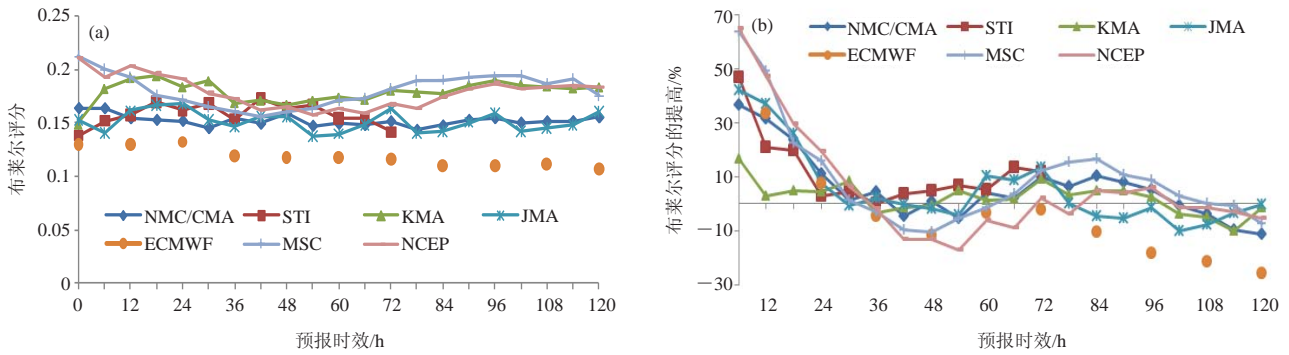


图3 (a) TIGGE集合预报系统台风强度预报的布莱尔评分; (b) 依据初始强度误差对预报结果进行线性平移订正后的布莱尔评分相对(a)的技巧(%)^[13]

过程, 尽管对降水的确切位置和量值的预报仍不十分准确, 例如“圆规”与其西侧冷空气之间的辐合所致降水^[15]。对于小尺度的极端降水过程, 全球模式目前几乎没有预报能力, 高分辨率区域模式的预报结果则具有一定的参考价值, 例如“圆规”与“狮子山”倒槽相互作用、“菲特”残余环流在上海引发的特大暴雨过程。图4是区域模式SMB-WARMS在2010年8月31日08时(北京时)起报的24h降水预报的MODE评估结果^[16], 此次降水过程是“圆规”台风与其西侧冷空气、南侧“狮子山”台风倒槽相互作用所致, 可见预

报降水的范围较观测明显偏大, 但预报降水区的走向与观测很一致。

通过以上调查分析和预报评估研究, 增进了我们对台风预报评估业务及研究现状的认识, 较为全面地展示了当今世界主流预报技术的台风预报能力和薄弱环节。项目以此为基础, 初步建立了涵盖确定性和集合预报的台风路径、强度和风雨预报性能评估技术体系, 并自2012年起据此进行亚太地区台风预报性能评估, 有关分析报告已成为ESCAP/WMO台风委员会确定年度工作计划的重要技术参考材料。

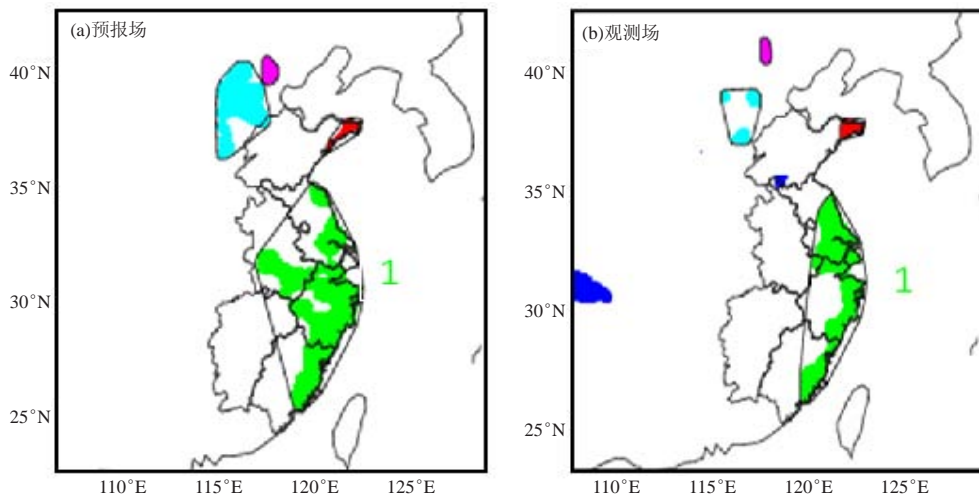


图4 区域模式SMB-WARMS在2010年8月31日08时(北京时)起报的24h降水预报的MODE评估结果 (黑色实线标出的是降水超过10mm的区域; 不同颜色表示不同的降水目标体, 降水目标体1的预报与观测面积比是1.49, 二者的质心距离是70km, 两区域走向的夹角是5.7°)^[16]

4 台风集成预报新技术

众所周知, 集成预报是提高天气预报准确率的一个有效手段, 在全球各台风业务中心的路径预报中已得到广泛应用^[2]。项目在这方面也做了一些有益的尝试, 创新性地提出了基于集合预报短时效误差的台风

路径选择集成预报技术和基于误差预估的台风强度多模式集成预报技术, 切实推动了集合预报产品在我国台风业务预报中的定量应用。

4.1 基于集合预报的台风路径选择集成预报技术

通过对集合预报成员的短时效预报误差进行评

估，从中挑选出表现较好的成员进行长时效的预报集成（图5），提出了基于集合预报的台风路径选择集成预报方法^[17]。对4个全球集合预报系统进行应用试验的结果表明，如将该方法应用于ECMWF集合预报系统产品，所得台风路径预报的性能明显提高（72h误差从原来集合平均的230km缩小为207km），表现出很好的应用价值。该方法所提出的集合预报应用思路已自2012年起在中央气象台投入业务应用，为我国近两年台风路径预报准确率提高做出了重要贡献。需要注意的是，当模式预报的短时效误差趋势与长时效误差趋势不一致时，该项技术无法表现出对模式集合平均的优势。影响这种趋势一致性的因素主要包括：台风陆地相互作用、台风变性、台风路径突变、台风移速缓慢、台风初始强度弱且结构松散等。因此，集合预报产品在提升台风路径预报能力方面的作用仍有待进一步挖掘。

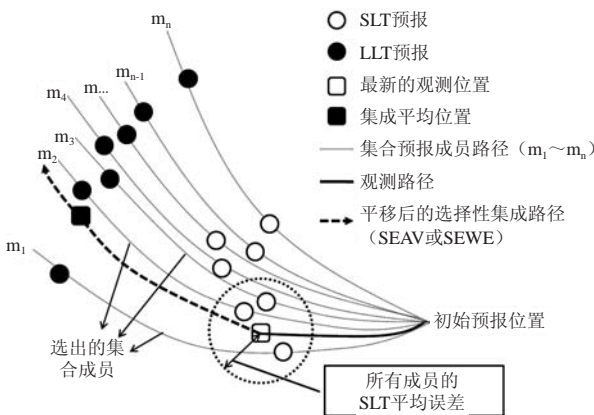


图5 基于集合预报的台风路径选择集成预报方法示意图^[17]

4.2 基于误差预估的台风强度多模式集成预报技术

常用的台风强度客观预报方法包括外推、统计和统计动力预报方法，或是以这些方法为基础的集成预报^[18]。项目对中国气象局、日本气象厅、欧洲中期天气预报中心等的多个业务数值模式的台风强度预报进行了分析，发现预报误差与台风及其所处环境的初始状况有密切关系，包括台风初始强度、尺度、移速、环境气压、环境风切变、洋面温度等。总体而言，模式对较弱的台风、尺度较大台风的预报性能相对强台风、小台风要好，环境气压强、洋面温度高时预报性能相对较差。利用这些因子建立了各模式强度预报误差的预估模型，并在此基础上建立了多模式集成预报方案^[12, 19]。独立样本检验表明，该方案具有相对气候持续性预报方法以及我国中央气象台综合预报的正技巧（图6）。这提出了一个模式台风强度预报的业务应用新思路，有望为提升台风强度预报能力提供有价

值的参考依据。

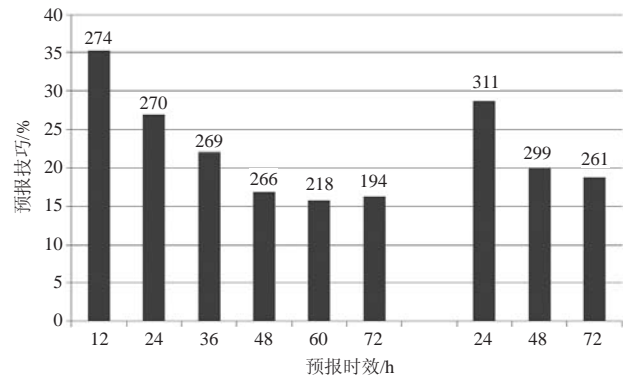


图6 多模式集成预报方案相对气候持续性预报方法（左）以及我国中央气象台综合预报（右）的预报技巧。立柱上方为2011年独立检验样本数

5 项目网站和效益评估

WMO-TLFD项目收集的台风预报资料和产品在2010年上海世博会期间通过华东区域气象中心的业务网站提供给预报员使用，英文版的项目网站则于2011年7月正式开通，网址是<http://tlfdp.typhoon.gov.cn>。该网站向公众提供项目基本信息，并向注册用户提供服务项目收集或制作的台风预报资料和产品，包括实时监测信息、路径、强度和风雨预报信息、模式格点预报场、路径和强度实时评估结果等。

WMO-TLFD项目的实施为2010年上海世博会期间气象服务的顺利开展提供了强有力的支撑。为定量评估项目效益，更好地了解用户需求，在2012年4—6月期间对公众、专业用户和预报员开展了书面问卷调查。对调查问卷的统计表明^[20]，台风预警信息的公众关注度相当高，有超过80%的公众认为天气预报和台风预警是准确并且在进步的，大多数用户（70%）希望得到确定性预报而非概率预报。调查还表明用户对影响预报的需求很高。这些调查结果在一定程度上为台风预报和服务指出了未来可能的发展方向。

6 结语

WMO-TLFD项目（2010—2015年）自2010年实施至今，已建立了集当今世界主流台风客观预报产品及其预报性能的业务平台。项目通过开展台风预报评估，分析了当前世界上多类先进预报技术的台风路径、强度和降水预报能力，加深了对台风预报可信度的认识，并在台风预报检验新技术和台风集成预报新技术的研发、应用等方面取得了突破性进展，项目所取得的成果已开始在我国日常业务预报和服务工作中发挥重要作用，有效地推进了先进台风预报技术在台风预报业务中的展示和应用。

项目初步建立的涵盖确定性和集合预报的台风预报性能评估技术体系, 及据此进行的亚太地区台风预报性能分析评估和撰写的分析报告, 自2012年起成为ESCAP/WMO台风委员会确定年度工作计划的重要技术参考材料, 推动该区域的台风预报性能评估业务踏上了一个新台阶。项目将继续与WMO相关的技术专家组和示范项目合作, 进一步完善台风路径、强度和风雨分布预报性能评估技术体系, 研发台风生成、变性和台风大风半径等结构特征量预报的性能评估技术, 以期更有效地推进亚太地区台风客观预报技术的改进和成果的业务转化。

鉴于目前实时预报中的海量预报信息及其性能相对优劣的不确定性, 项目还将在性能评估的基础上, 研发基于可预报性和不确定性分析的预报可信度预估技术, 以期为预报员和决策者提供“最佳选择”依据。

参考文献

- [1] Tang X, Lei X T, Yu H, et al. Progress report of the WMO Typhoon Landfall Forecast Demonstration Project (WMO-TLFDP). WMO Workshop and Training Course on Operational Tropical Cyclone Forecast, Shanghai, China. 12-14 June, 2012.
- [2] Yu H, Chan S T, Brown B, et al. Operational tropical cyclone forecast verification practice in the western North Pacific region. Tropical Cyclone Res Rev, 2012, 1(3): 361-372.
- [3] 汤杰, 陈国民, 余晖. 2010年西北太平洋台风预报精度评定及分析. 气象, 2011, 37(10): 1320-1328.
- [4] 陈国民, 汤杰, 曾智华. 2011年西北太平洋台风预报精度评定及分析. 气象, 2012, 38(10): 1196-1204.
- [5] 陈国民, 余晖, 曹庆. 2012年西北太平洋台风预报精度评定及分析. 气象, 2013, 38(10): 1350-1358.
- [6] Chen G M, Yu H, Cao Q, et al. The performance of global models in TC track forecasting over the western North Pacific from 2010 to 2012. Tropical Cyclone Res Rev, 2013, 2(3): 149-158.
- [7] 李建平, 史久恩. 热带气旋路径预报评估方法研究-II. 多因子综合评价方法. 大气科学研究与应用, 1997, 12(1): 1-7.
- [8] Yu H, Chen G M, Brown B. A new verification measure for tropical cyclone track forecasts and its experimental application. Tropical Cyclone Res Rev, 2013, 2(4): 185-195.
- [9] Chen C Z, Yu J H, Li Q Q. Western North Pacific tropical cyclone intensity guidance evaluations using an alternative verification technique. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2011, 4(3): 151-156.
- [10] Chen C Z, Li Q Q, Yu J H. Evaluating the performance of western North Pacific tropical cyclone intensity guidance. Part I: Basic characteristics. Tropical Cyclone Res Rev, 2012, 1(3): 340-352.
- [11] Li Q Q, Chen C Z, Yu J H. Evaluating the performance of western North Pacific tropical cyclone intensity guidance. Part II: Intensity forecast accuracy in different life stages. Tropical Cyclone Res Rev, 2012, 1(4): 458-468.
- [12] Yu H, Chen P Y, Li Q Q, et al. Current capability of operational numerical models in predicting tropical cyclone intensity in Western North Pacific. Wea Forecasting, 2013, 28: 353-367.
- [13] Chen P Y, Yu H, Li Q Q, et al. Current capability of operational numerical models in tropical cyclone intensity predictions over the Western North Pacific. WMO Workshop and Training Course on Operational Tropical Cyclone Forecast, Shanghai, China. 12-14 June, 2012.
- [14] Davis C, Brown B G, Bullock R. Object-based verification of precipitation forecasts. Part I: Methods and application to mesoscale rain areas. Mon Wea Rev, 2006, 134: 1772-1784.
- [15] 漆梁波, 曹晓岗. 双台风形势下上海地区一次暴雨过程的预报分析和对比. 热带气象学报, 2013, 29(2): 177-188.
- [16] Tang X, Lei X T, Yu H. WMO Typhoon Landfall Forecast Demonstration Project (WMO-TLFDP) - concept and progress. Tropical Cyclone Res Rev, 2012, 1: 89-96.
- [17] Qi L B, Yu H, Chen P Y. Selective ensemble mean technique for tropical cyclone track forecast by using ensemble prediction systems. Quart J Royal Meteorol Soc, 2014, 140: 805.
- [18] 陈联寿, 端义宏, 宋丽莉, 等. 台风预报及其灾害. 北京: 气象出版社, 2012.
- [19] 余晖, 陈国民, 万日金. 数值模式的热带气旋强度预报订正及其集成应用. 气象学报, 2015. 待刊.
- [20] Xu M, Mi W H. The progress of the benefit assessment. WMO Workshop and Training Course on Operational Tropical Cyclone Forecast, Shanghai, China. 12-14 June, 2012.

新版“奇台气象”微信公众平台开发完成

■ 简咏梅 梁炳新



农业气象模块主界面

2014年5月, 新疆奇台县气象局开通“奇台气象”微信公众号, 并于当年11月完成新版微信互动平台的开发, 为公众提供了方便快捷的气象服务。该平台包含“天气”、“预报”、“农业气象”三个模块。其中, 在“天气”模块中可以查看最新的天气实况、指数预报, 自动气象站温度、风向风速、降水数据; “预报”模块可以查看未来三天天气预报、天气预警; “农业气象”模块可以查看农气预报、农气建议、三农资讯、气象科普知识、天气雷达图、卫星云图, 还可以上报灾情、发布供求信息。用户只要关注该微信公众账号, 就可以接收到持续更新的文字、图片、语音和视频等多种形式的权威气象服务产品。

奇台作为农业大县, 不仅为当地群众提供了基本气象信息, 也为农业用户、气象专业人士设计了专业、高端的气象服务产品模块, 有力提升了奇台县公共气象的服务能力。

(奇台县气象局)