

我国台风业务现状及其关键技术

钱传海¹ 端义宏¹ 麻素红² 许映龙¹

(1 国家气象中心, 中国气象局, 北京 100081; 2 中国气象局数值预报中心, 北京 100081)

摘要: 近20年来, 随着气象观测技术的发展、计算机性能的提高以及数值预报模式的改进和升级, 尤其是资料同化技术的发展应用等, 数值模式的准确性越来越高, 预报时效越来越长, 预报指导产品也越来越丰富, 我国台风业务预报也因而得到了快速发展。近5年(2007—2011年)中央气象台24, 48, 72h台风路径预报误差平均值分别为114, 190, 287km, 预报准确率较20年前皆有了明显提高。虽然台风路径预报取得了长足进步, 但台风强度预报进展依然不大, 台风数值预报的核心技术与国际先进水平相比还有不小差距, 台风精细化风雨预报能力尚不能满足国家防台减灾的实际需求。回顾了国内外近20年、尤其是21世纪十余年来台风业务取得的主要进展、关键技术以及存在的不足, 并对今后我国台风业务发展进行了展望。

关键词: 台风, 业务预报, 关键技术

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.05.005

The Current Status and Future Development of China Operational Typhoon Forecasting and Its Key Technologies

Qian Chuanhai¹, Duan Yihong¹, Ma Suhong², Xu Yinglong¹

(1 National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

(2 Numerical Prediction Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: Due to the improvement in weather observation methods, numerical weather models, data assimilation technique and computation capability, in the past 20 years, numerical weather prediction (NWP) has greatly improved both in model performance such as model accuracy and valid time with increasing model productions. The NWP has effectively boosted the development of typhoon forecast in China. In the past 5 years (2007—2011), the mean typhoon track forecast errors in the National Meteorological Center (CMA) are 114 km, 190 km and 287 km for 24 hour, 48 hour and 72 hour forecasts, respectively. Now the 24 hour track forecast error is 100 km less than that 20 years ago. The capability of 48-hour/72-hour track forecast is respectively equivalent to that of 24-hour/48-hour track forecast 20 years ago. Although there is great improvement in typhoon track forecast, the intensity forecast still has no obvious improvement. Our core technology of numerical weather models still falls behind the international advanced technology, and the forecast capability still cannot meet the needs for typhoon disaster prevention and reduction. In this article, the main approach, key technology and shortage of typhoon forecast in the last 20 years especially after 21st century both at home and abroad are reviewed. Also the prospect of typhoon forecast in the coming 5~10 years is discussed.

Keywords: typhoon, operational forecast, key technologies

1 引言

台风是发生在热带洋面上的强烈气旋性涡旋, 也是夏秋季节我国东南沿海最主要的灾害性天气系统。我国是世界上受台风袭击最多的国家, 平均每年约有7个台风(包括热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风, 下同)登陆我国^[1], 沿海各省自南向北均可能受到台风的袭击和影响。台风登陆时常给

受影响地区带来强风、暴雨、风暴潮以及山洪、泥石流、山体滑坡等次生灾害, 造成严重的生命和财产损失。不过, 台风也有有利的一面, 台风降水是我国南方伏旱季节非常宝贵的水资源。据统计, 我国浙、闽及两广地区7, 8月的降水约有50%~70%来自于台风降水^[2]。台风降水可以缓解旱情, 增加江河湖泊及水库蓄水量, 具有重大社会效益。因此, 准确及时的台风路径、强度和风雨预报可以起到趋利避害的作用, 最大限度地减少台风灾害和损失。

我国各级气象部门一直致力于加强台风监测预警能力建设, 尤其是在近10年的气象现代化建设进程中, 在台风综合观测、资料传输及处理、数值预报

收稿日期: 2012年5月29日; 修回日期: 2012年7月6日
第一作者: 钱传海(1968—), Email: chqian@cma.gov.cn
资助信息: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目《台风登陆前后异常变化及机理研究》第三课题《台风登陆前后路径异常变化的机理研究》(2009CB421503)

技术及人才队伍建设等方面取得了快速发展,为台风业务能力的提升提供了多方位的支撑。以综合观测体系建设为例,目前我国已基本建成高时空分辨率的台风立体监测体系,自主研发的风云系列气象卫星、多普勒天气雷达观测网、高密度地面自动站、高空探测以及移动观测等能对台风开展全方位的实时监测,为台风业务和科研提供第一手资料。同时,我国的台风业务平台建设在近些年也取得了很大的进展。基于MICAPS 3.0的台风业务平台基本实现业务资料的快速获取、显示、加工、分析以及预报产品制作和分发,工作效率大大提高。为更好地适应气象现代化进程以及满足不断增长的台风监测预警服务需求,气象部门也与时俱进,不断修订和完善《台风业务和服务规定》,如扩充台风警戒区域、制定《热带气旋等级国家标准》^[3]和国家级台风预警等级标准、增加台风定位频次、延长台风预报时效等。正是这些方方面面的进步,促进了我国台风监测预警能力的提升。

我国各级政府也一直非常重视防台减灾工作,近些年来逐步制定并完善了台风灾害应急响应预案,基本实现了政府主导、部门联动、社会参与的防台机制。尤其在防台抗台的关键时刻,各级政府根据气象部门发出的台风预警信息和防台预案,及时组织台风影响地区群众防台减灾,转移、安置危险地区群众,极大地减少了台风造成的影响,取得了显著的社会效益和经济效益。

即便如此,还应清醒地认识到当前台风监测预警能力与社会防台减灾的实际需求之间的差距,尤其是台风风雨预报准确率和精细化水平,以及面对异常台风,包括路径突变和强度突变的台风时,预报服务能力的不足。本文首先回顾我国及国际台风业务现状,然后分析了存在的问题和面临的挑战,最后对我国台风业务今后5~10年的发展做了初步的展望,以期对提高我国台风监测预警服务能力有所裨益。

2 我国台风业务现状

2.1 台风业务布局及分工

在总结数十年来国内台风预报服务经验并借鉴国际成熟台风业务体系基础上,我国已初步形成了功能齐备、布局合理、分工明确的台风业务技术体系。国家级业务单位牵头、沿海区域气象中心及省(区、市)、地、县气象部门合力参与的台风监测、预警协作机制在每年汛期的台风预报服务中发挥了重要作用。

国家气象中心负责整个西北太平洋台风的编号以及台风定位、定强和预报业务,其责任区如图1所示,包括全国陆上和赤道以北、180°经线以西的西北太平洋和南海海域^[4]。此外,还承担对全国各级气

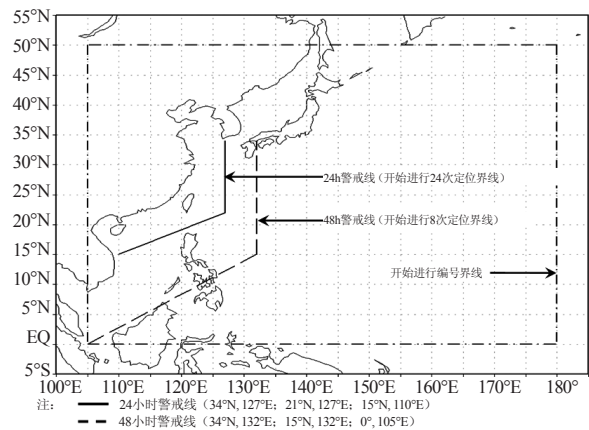


图1 国家气象中心台风编号、定位及警戒区图

象台站技术指导任务,对影响或登陆我国的台风根据相关规范及时发布台风预警,并适时组织由相关省(区、市)气象台参加的台风专题会商。当台风在我国沿海登陆时,国家气象中心与沿海相关省(区、市)气象台及时商定台风登陆时间、地点及强度,并在第一时间统一对外发布台风登陆信息。上海、广州等区域气象中心按分工除做好本责任区的台风预报服务外,要协助国家气象中心做好台风定位、定强和预报,并对区域中心下属省(区、市)气象台进行预报服务指导。沿海省(区、市)气象部门在做好台风预报服务的同时,有责任向国家气象中心和区域气象中心及时通报所观测到的对台风定位、定强及预报有重要参考价值的情报资料。地市级气象部门主要在上上级气象部门的指导下进一步细化制作本区域的台风预报服务工作,而县级气象部门主要根据上级气象部门的指导预报做好相关服务。

各级气象部门的联防协作一直是我国气象部门做好台风预报服务的一项重要措施。这种强化国家级业务单位的指导作用,逐级细化订正的台风业务布局和分工,提升了我国台风预报服务水平,并有力保证了气象部门台风预报的一致性和权威性,为国家防台减灾提供了重要的决策依据。

2.2 台风定位定强分析

台风定位定强是台风预报的基础,台风定位定强的准确性不仅会影响到台风路径和强度预报,也会影响到台风大风、暴雨甚至风暴潮预报的准确性。当然,由于台风所处的位置(远海、近海、沿岸)不一样,实施台风定位定强的方式或手段也有所不同。当台风位于远海时,由于洋面观测资料的匮乏,沿海雷达探测范围有限(最远可达460km),气象卫星就成为台风定位定强的最主要手段。目前世界上各主要台风预报中心(包括美国、中国和日本等)主要依据Dvorak技术来确定台风中心位置及强度^[5,6]。台风中

心主要依据卫星红外或可见光云型特征来确定，在经过卫星投影网格误差校正、卫星视觉误差校正和合理性验证后，最终确定台风中心所在经纬度。在台风发展初期或眼区不清楚时，通过极轨卫星获取的微波图像能为台风定位提供有益的补充。Dvorak技术除用于台风定位分析外，更多是用于台风强度分析，该方法是在1970年代经过多年热带气旋强度分析和飞机实际观测资料对比基础上，根据静止气象卫星在红外和可见光波段观测的台风不同阶段云型特征及其变化，然后通过设定一系列经验规则和约束条件而建立的热带气旋强度确定方法。Dvorak方法给出了根据当前台风云型特征得出的台风现实强度指数，然后根据经验关系，得到台风近中心最大风速，再根据风压关系确定台风中心海平面最低气压。当台风移入近海时，多普勒天气雷达由于在时间和空间分辨率上的优势，已成为近海台风监测的一个主要技术手段。一旦台风靠近沿海或登陆时，沿岸及海岛、船舶、石油平台等地面自动站为台风业务定位、定强和降水估测提供更准确的参考资料，更是成为确定台风登陆与否及具体登陆时间和强度的重要依据。

目前我国已基本建成高时空分辨率的台风立体监测体系，能对台风开展全方位的实时监测，为台风业务和科研提供第一手资料。截至2012年3月，我国气象部门已建成各类自动气象站36181个，其中海洋（海岛、船舶、石油平台）站139个，浮标站18个。这些稠密的地面自动气象站每10min（甚至可密集到每5min，如广东等）采集风、雨及气压等信息，为做好台风监测奠定了基础。我国沿海已建成无缝隙的多普勒雷达站网，能每6min获取台风的实时监测信息，预报员不仅能及时确定近海台风中心位置，而且能通过多普勒雷达反演的风场和降雨等产品了解台风风雨分布特征并进行适当外推预报（图2）。气象卫星自1966年问世以来已成为全球热带气旋监测最有效的工具，我国自主研发的风云系列气象卫星在台风监测业务中发挥了重要作用。中国气象局从2007年汛期开

始启动了双星加密观测模式，每15min便能获取最新台风监测图像，提高了我国台风监测分析能力。同时，不断改进的卫星分析技术为台风定位和强度估计提供了行之有效的支撑，而且很多量化的卫星反演产品有助于了解台风结构及其变化，从而有利于提高台风分析预报水平。

目前我国台风平均定位误差在15~20km，定强误差在5m/s左右，基本达到当前国际先进水平^[2]。得益于台风综合监测技术的改进，从2006年开始，中央气象台将登陆台风定位和定强频次从原先的每3h提高到逐小时，对我国防台减灾工作起到了很好的作用。

2.3 台风业务预报

2.3.1 台风路径预报

台风路径、强度及风雨预报是防台减灾的关键。台风路径受台风内部结构和外部环境等诸多因素共同影响。在监测手段不多、对台风基础理论认知水平不高、数值模式准确性较差的年代，台风路径预报往往依赖于外推预报、相似预报或气候持续预报方法等。当前，随着台风探测手段日趋丰富、台风理论认知水平逐步提高、计算机性能和数值预报模式的快速发展，台风路径预报已由半经验半理论的定性预报方法，发展到以数值预报为基础，以人机交互处理系统为平台，综合应用多种资料和方法的预报技术路线。这些预报方法包括动力统计预报、动力释用预报、神经网络方法、多模式集成预报、（单一模式）集合预报、（多模式）超级集合预报等。正是由于方方面面的改进，近20年来，我国台风业务预报取得了持续而稳定的进步。台风业务预报时效也逐步延长，2001年之前中央气象台只发布24~48h时效的台风路径和强度预报，2001年开始将台风预报时效延长至72h，2009年延长至120h预报。台风路径预报准确率也不断提高，过去5年（2007—2011年）中央气象台24~72h台风路径预报误差平均值分别为114，190，287km（图3），其中24h路径预报误差和20年前相比减少了80~100km，48h路径预报准确率和20年前的24h预报

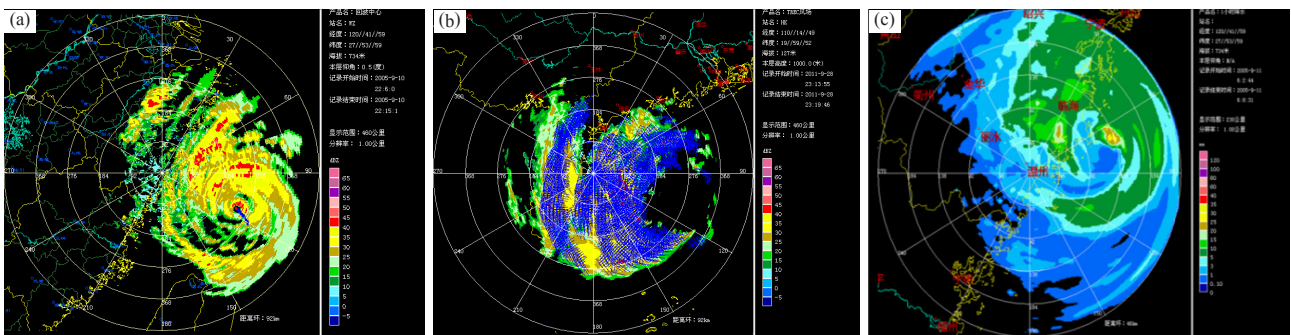


图2 雷达监测产品
(a) 台风定位，(b) 台风风场反演，(c) 台风降水率

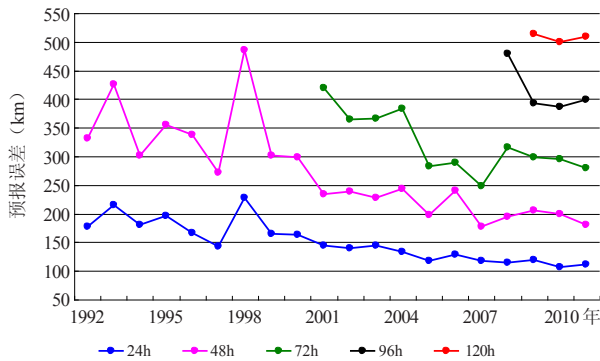


图3 1992—2011年中央气象台台风路径预报误差

准确率相当，而72h路径预报准确率甚至高于20世纪90年代初48h预报水平，目前我国台风路径预报准确率和国际先进水平基本相当^[7]。

2.3.2 台风强度预报

虽然过去20年世界各国在热带气旋路径预报方面取得了相当大的进展^[8, 9]，但强度预报仍是一个世界性的难题，各国在热带气旋强度预报方面进展非常缓慢。目前业务中广泛应用的还是一些气候持续性方法和统计动力模式，如美国联合台风警报中心的台风强度统计预报（STIPS）、美国国家飓风中心的飓风强度统计预报模式（SHIFOR）和飓风强度统计预报方案（SHIPS）等^[10]。我国台风强度预报方法包括气候持续方法、基于数值模式输出场的统计动力释用方法等，另外值得一提的是近几年广西壮族自治区气象局开发的基于遗传神经网络方法的台风强度客观预报方法，相比气候持续法有相当的正技巧。

目前我国台风强度预报水平与国外各预报中心基本相当，24h强度预报误差一般为4~6m/s，48h一般为6~10m/s，72h一般为8~12m/s^[7]。

2.3.3 台风风雨预报

台风路径和强度预报的准确性最终要体现在台风风雨预报的准确性上，因为登陆台风的强风和暴雨才是致灾的直接因素（虽然风暴潮和海浪也是致灾主要因子，但其不属于气象部门的业务范畴，本文不予讨论）。目前我国尚无有效的台风大风客观预报方法，实际业务中多根据预报员主观经验或概念模型，然后再基于台风登陆时的（预报）强度及局地地形等来判断受影响区域的大风级别。一般而言，台风强风的破坏多限于近海海域和沿海地区，而台风暴雨洪涝引起的灾害往往比台风大风更加严重，如1975年8月第3号超强台风Nina登陆福建晋江后继续深入内陆，其减弱后的残涡在河南驻马店林庄创下1062mm的我国大陆24h降雨量的历史纪录，称为“75·8”河南特大暴

雨，强降水致使汝河板桥和滚河石漫滩两座大型水库垮坝，26000余人死亡，经济损失达100亿元。因此台风定量降水估测（QPE）和定量降水预报（QPF）是台风业务的重要内容，也是国际热带气旋学界的热点问题。目前台风定量降水估测通常有两类方法，即基于单一观测资料估测（自动站、雷达或卫星）和两类资料混合使用（自动站和雷达、自动站和卫星）两大类^①。关于台风定量降水预报，目前依然是基于历史个例的统计学模型或基于数值模式物理量诊断指标方法（如“叠套法”、“配料法”等）发挥着重要作用^[11]，最新进展包括概率预报产品或多模式集成方法的开发和应用。另外，基于涡旋初始化方案、物理过程参数化方案、资料同化技术等数值预报技术发展，使得台风降水预报能力显著提高，尤其是雷达资料同化可显著提高模式对台风内核区域降水短期预报的能力。

2.4 台风数值预报技术

台风业务预报的核心支撑来自于数值预报。最近10年来，随着数值预报技术的发展，尤其是资料同化技术的发展应用以及计算机性能的快速提高，数值模式的准确性越来越高，预报时效越来越长，预报指导产品也越来越丰富。

国家气象中心台风数值预报的研发始于1992年“八五”期间。经过近20年的发展，国家气象中心的台风数值预报经历了从有限区模式到全球模式、OI最优插值到3DVAR变分、单一确定性预报到概率预报的升级^[12-14]。同时，台风涡旋初始化技术也由单纯的人造涡旋技术升级到较为复杂的涡旋初始化技术（包括初始涡旋生成技术、涡旋重定位技术、涡旋强度调整技术）。预报时效从发展初期的2d延长到目前的5d。目前，国家气象中心已建立了覆盖各种业务需求的台风数值预报系统（中尺度区域台风模式、中期全球模式台风预报系统和台风路径集合预报系统），可以为预报员提供较全面的技术支持。表1为国家气象中心台风数值预报系统发展历程。

表1 国家气象中心台风模式系统发展

年代	模式	同化	涡旋初始化
1996—2003	区域模式（HLAFS） 水平分辨率：0.46875°×0.46875° 垂直分辨率：15层	无	人造涡旋
2004—2005	T213 L31	OI	非对称人造涡旋
2006—	T213 L31	3DVAR	非对称人造涡旋 重定位 涡旋强度调整
2007—	台风集合预报 TC-EPS; T213 L31	3DVAR	非对称人造涡旋 重定位 涡旋强度调整
2011—	GRAPES-TYM 水平分辨率：0.15°×0.15° 垂直分辨率：31层	无	重定位 涡旋强度调整

① 陈联寿. 第七届国际热带气旋科学大会（IWTC-VII）总结

近年来上海台风研究所和广州热带海洋气象研究所也相继开发了各具特色的区域台风模式，为实时业务提供了较好支撑。上海台风研究所于2004年基于我国多尺度的同化与数值预报系统GRAPES开发了GRAPES-TCM模式，并在过去几年不断予以改进和优化，目前GRAPES-TCM模式的水平分辨率提高到 $0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$ ，并引入了基于水汽平流决定对流触发条件的Kain-Fritsch对流参数化方案等，促进了GRAPES-TCM模式性能的稳步提高^[15, 16]。广州热带海洋气象研究所也基于GRAPES模式框架开发了中国南海台风模式，在模式预报初值形成中采用了GFDL的台风重定位方案、日本的BOGUS模型方案以及三维变分（Grapes_3dv）同化等，对南海台风的预报有较好的指示意义。

2.5 台风灾害评估

台风灾害评估在制定防灾减灾策略、评价防灾减灾效益和制定社会发展规划中起着重要作用。近年来台风灾害评估越来越受到国际社会的重视，第七届国际热带气旋科学大会（IWTC-VII）首次将热带气旋风险评估（Risk Assessment）列入会议议题^①。近些年国家气象中心、上海台风研究所、浙江省气象局等相继开展了台风灾害评估业务（试验）和台风风险区划研究。这些方法虽然不尽相同，但大多基于当前台风特征参数（如台风路径、最大强度、最大风速半径、移动速度等）以及台风历史灾害数据库和承灾体数据库，考虑通货膨胀、人口增长以及社会经济发展等因素，对灾害损失进行归一化处理，然后开展风险评估。

3 存在的问题

过去20年来，我国在台风监测体系、数值模式发展及业务服务能力方面虽有了很大提高，但目前台风预报（含路径、强度、风、雨等）的准确性和精细化程度，与不断增长的防台减灾的服务需求仍有较大差

距，尤其面对异常台风，包括路径突变和强度突变的台风时，预报服务能力更显不足。另外，在数值模式核心技术研发以及台风外场观测试验的针对性和科学性方面和世界先进国家相比仍有很大差距。

3.1 台风预报准确性和精细化程度有待提高

就西北太平洋台风而言，国家气象中心台风路径预报水平和国际先进水平（日本气象厅、美国联合台风警报中心等）基本相当，但若和美国国家飓风中心的北大西洋飓风路径预报水平相比，则有不小的差距，过去5年（2007—2011年）北大西洋飓风24h平均预报误差约为90km，而我国对西北太平洋台风24h预报误差为114km。特别是对一些复杂路径的台风，其预报准确性更差，如2008年的强台风“风神”、2010年超强台风“鲑鱼”、2011年超强台风“梅花”等，中央气象台对其路径预报误差都非常大，出现明显的左偏或右偏，尤其是台风登陆点的预报出现较大误差（图4）。另外，对于近海强度突变的台风预报准确性也有待提高。台风路径预报的偏差必然会导致台风登陆地点预报出现较大的不确定性（登陆地点预报范围过大或左右摇摆），同时也导致风雨预报出现偏差，这就会使得有的地方过度防御，有的地方防御不足，从而影响防台工作成效。

防台工作最为关键的是台风登陆前后数小时内风雨强度及落区预报，因此登陆台风精细化风雨预报显得至关重要。但目前我国台风降水的准确性和精细化水平都不高，对台风过程降水总量预报尚可，但对于强降水发生的具体时段、降水强度、降水落区、持续时间等的预报能力还很不够。另外，对于台风远距离暴雨虽有定性的认识，但在具体量级预报上还有欠缺。

3.2 对数值模式的依赖性越来越大

如前所述，数值模式的发展为台风业务预报的进步做出了巨大的贡献，预报员正是站在数值预报这

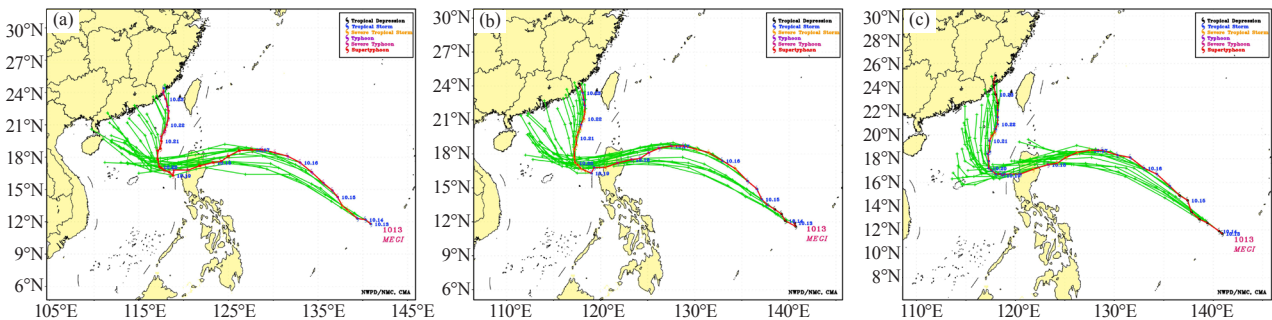


图4 2010年超强台风“鲑鱼”实况路径及预报（红线为实况路径，绿线为预报）
（a）中央气象台，（b）美国联合台风预警中心，（c）日本气象厅

① 陈联寿. 第七届国际热带气旋科学大会（IWTC-VII）总结

一“巨人”肩膀上使得台风路径预报稳步提高。当前预报员越来越相信数值预报,甚至依赖于数值预报,尤其是那些公认的一贯表现较好的数值模式(如ECMWF)。然而,再好的数值模式也不能解决所有的问题,有时也会出现较大的偏差。当所信赖的模式出现偏差时,预报员由于缺乏对模式的订正能力,往往也就跟着出错。如前面所述的“风神”、“鲇鱼”、“梅花”多是由于ECMWF等数值预报出现较大的不确定性或系统性偏差,导致预报员对台风路径和登陆点的预报出现较大误差,引起较大的社会反响。

在数值预报整体水平越来越高的今天,预报员如何驾驭数值预报,如何在数值预报基础上做加法,而不是成为数值预报的奴隶,是预报员必须思考的问题,也是必须面临的挑战。

3.3 针对性的台风外场观测与国外相比有很大差距

目前我国已初步建成了以气象卫星、多普勒天气雷达、高空观测、地面自动气象观测站为基础的台风综合观测体系,但在台风外场观测技术和能力方面,尤其是在常规观测资料稀缺的海洋上空对台风实施飞机观测方面和先进国家/地区有很大差距。国际上开展台风飞机观测已有近70年历史,作为一个移动观测平台,台风飞机观测所获得的宝贵的现场观测资料,不仅极大地丰富和修正了先前对于台风动力学、热力学、台风结构及其变化、台风与其环境场相互作用等的描述和理解,同时对提高台风路径、强度和风雨预报起了至关重要的作用。20世纪90年代初美国科学家曾评估了西北太平洋台风飞机观测资料对美国联合台风预警中心台风路径预报误差的影响,其结论是,增加台风飞机观测资料后,24,48和72h台风路径预报误差比没有飞机观测时分别减少10%,17%和20%^[17]。目前美国和我国台湾地区已实时开展台风飞机观测试验和业务,在台风监测预警和防灾减灾中发挥了巨大作用。近年来我国大陆气象部门只针对有限台风个例开展了非常简单的飞机观测试验,所取得的科学成果和经验还非常有限,尚不能为一线业务提供有效支撑。

3.4 数值预报技术的差距

我国台风业务数值模式在过去20多年里取得了长足发展,特别是2006年国家气象中心基于3维变分系统开发了涡旋初始化方案,使得全球模式(T213)的台风路径预报误差明显减小。2008年起T213台风模式投入业务应用,并建立了基于T213全球模式的台风路径集合预报系统,同时上海台风研究所和广州热带海洋气象研究所也相继开发了基于区域GRAPES模式的台风数值预报系统并形成业务能力。但整体来

讲,我国在台风模式发展,尤其是模式关键技术方面与国际先进水平相比仍有明显的差距,除了模式物理过程和边界层参数化方案外,台风涡旋初始形成技术(Bogus技术)相对落后,卫星和雷达等非常规资料同化应用能力更显薄弱。

另外,从2009年开始,我国的数值预报模式发展重点转移到GRAPES系统。经过近几年的不断努力,GRAPES-GFS模式系统的预报能力得到了进一步改进,但与T213和T639的全球台风模式相比仍存在较大差距,暂时还无法替代T213和T639全球模式系统。因此,如若维持现有的发展状态,我国的全球台风路径数值预报的水平与先进国家之间的差距可能会在未来几年内进一步拉大。

4 我国台风业务展望

提高台风路径、强度及风雨预报准确性和精细化水平,其最终目的是为了满足不同国家防台减灾的科学化和精细化需求。在美国,(单个)飓风警报所覆盖的海岸线长度平均为555km,而实际遭受飓风强度风力袭击的海岸线平均来说少于185km,所以美国的飓风警报所覆盖区域有三分之二(约370km海岸线)属于“过度预警”^[18,19]。NOAA曾在1997年12月召开过一次登陆飓风研讨会,与会人员有NHC的预报员和各级飓风应急管理部的官员,大家的共识之一就是要减少“过度预警”比率,他们希望将这个比率由当时的3:1减少到未来的2:1^[19],也就是将“过度预警”海岸线长度由370km减少至185km。我国发布台风预警的方式和美国不尽相同,但同样存在过度预警的现象,这势必会导致社会防御成本的增加。过度预警会造成不必要的人口转移,久而久之公众会有怨言,并对气象部门的公信力产生怀疑,使得社会防台效果大打折扣。

中国气象局的“十二五”规划对台风路径预报提出了非常具体的量化指标,即台风路径24h预报误差由当前的115km左右减小到100km以内。而美国制定的规划则相当“激进”,NOAA计划到2020年将当前1~5d的飓风路径预报误差减少50%,亦即其24h飓风路径预报误差约为50km,这将是一件极富挑战性的任务。

4.1 进一步加强台风相关理论和机理研究

当前我国台风业务预报还存在诸多难点问题,如台风的生成预报、台风结构和强度突变、台风路径的异常偏折、台风暴雨异常增幅、台风不同象限大风半径客观估测、台风与季风槽或西风带系统的相互作用,多台风相互作用等。关于这些问题的研究虽有所涉及但并不透彻,现在依然给业务预报和防台工作带来较大的困扰或不确定性,为此必须进一步加强登

陆台风相关科学问题的研究, 不断提高台风路径、强度、结构变化和风雨分布等相关物理机制的认识, 深入了解不同尺度系统和不同纬度系统的相互作用对台风的影响, 研究不同下垫面对台风结构、强度及运动的影响, 并将这些研究成果投入业务应用, 为实际业务提供扎实的科技支撑。

4.2 继续加强预报方法研究和应用

预报员要想在数值预报基础上做加法, 而不被数值预报牵着鼻子走, 就必须加强对数值预报模式性能和产品的深刻了解, 进而加强预报方法的研发、应用和改进。台风强度客观预报方法的研究和应用已是成功的范例, 近些年来集成/集合预报方法在改进台风路径、强度和降水预报方面已经显示出了优势。现在数值模式的时效越来越长, 分辨率也越来越高, 产品越来越丰富, 如能充分利用这些有效信息来进一步改进和优化已有的预报方法, 特别是加强集合预报产品的应用开发工作, 充分挖掘集合预报产品的“有用信息”, 必将进一步提高我国台风预报水平。

4.3 加强台风定强技术研究

Dvorak技术虽早已被世界气象组织推荐使用, 并已被世界各主要台风预报中心广泛采用, 然而该方法有其局限性, 它依赖于预报员对当前台风云型结构分析(如弯曲云带型、切变型、眼型、中心密闭云区型、嵌入中心型等), 因而会带来主观性差异。另外, 对小型台风和快速增强或减弱台风, Dvorak方法所确定的台风强度误差较大。为消除主观性差异, 美国业务科技人员对Dvorak技术进行了改进, 研发了客观Dvorak技术(ODT)和改进后的客观Dvorak技术(ADT), 同时应用飞机观测资料和极轨卫星反演的洋面风场对强度估测结果进行订正, 而我国在这方面还有很大差距。

另外, 台风定强涉及的另一问题就是台风的风压关系。目前美国联合台风预警中心和日本东京台风专业气象中心业务上所用的台风风压关系, 是在众多个例统计分析基础上, 分别建立的台风中心海平面最低气压与1和10min平均最大持续风速的关系。我国目前台风业务中应用的风压关系主要参照美国, 也就是1min平均最大持续风速的风压关系, 而我国现行地面观测规范和热带气旋等级标准(GB/T19201—2006)对热带气旋强度的表述均为2min平均的最大持续风速。现在观测手段越来越丰富, 观测精度也越来越高, 用于模拟研究的手段也越来越多, 特别是高分辨率的数值模式的性能也越来越好, 因此确有必要对目前我国台风业务中的风压关系进行重新审定和研究, 更好地满足我国台风业务和服务的需求。

4.4 逐步开展我国的台风飞机观测试验

开展热带气旋飞机观测不仅有助于提高对热带气旋运动、结构及其变化等的理解, 同时早已被证明是提高热带气旋路径和强度预报行之有效的手段。为了降低飞行成本、提高飞机观测效率, 国际上正发展台风目标观测或适应性观测技术^[20, 21], 而应用无人机开展台风观测也正逐步兴起, 如NASA在其组织实施的HS3(Hurricane and Severe Storm Sentinel)项目中, 计划于2012—2014年间应用两架“全球鹰”无人机针对12个或更多飓风开展长航时飞机观测, 可以预见有人机和无人机相结合开展热带气旋飞机观测将成为一种趋势。在进一步完善我国现有综合观测体系建设的同时, 若能多部门联动, 同时学习国际上台风飞机观测的先进技术和经验, 逐步开展我国大陆的台风飞机观测试验, 必将有效提高我国科研和业务人员对台风运动和结构等的认知能力, 进一步提高台风路径、强度及风雨等预报水平, 从而更有效减轻台风灾害。

4.5 继续加强台风数值模式发展

数值预报技术的发展和改进是提高台风业务预报准确率的基础, 必须持续加强数值预报技术的研发、改进、应用和升级工作, 尤其是高分辨率的海-陆-气耦合的台风数值预报模式。除加强模式整体框架、物理过程、边界层参数化方案等的研究和改进外, 重点还应加强涡旋初始化技术和重定位技术的改进以及资料同化技术的改进和应用, 最终形成具有可持续发展、比较完善的我国台风数值预报业务体系, 为我国台风业务预报准确率的提高提供有力的技术支持。

参考文献

- [1] 薛建军, 李佳英, 张立生, 等. 我国台风灾害特征及风险防范策略. 气象与减灾研究, 2012, 35(1): 59-64.
- [2] 陈联寿, 端义宏, 宋丽莉, 等. 台风灾害及其预报. 北京: 气象出版社, 2012.
- [3] 钱传海, 高拴柱, 许映龙, 等. 热带气旋等级国家标准GB/T 19201—2006, 2006.
- [4] 中国气象局. 台风业务和服务规定(第4次修订版). 2012.
- [5] Dvorak V. Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery. Mon Wea Rev, 1975, 103: 420-430.
- [6] 刘喆, 王新, 李万彪, 等. Dvorak技术估测热带气旋强度研究进展. 气象科技, 2007, 35(4): 453-457.
- [7] 许映龙, 张玲, 高拴柱. 我国台风业务预报的现状及其思考. 气象, 2010, 36(7): 43-49.
- [8] Wu C C, Lin P H, Aberson S, et al. Dropwindsonde observations for typhoon surveillance near the Taiwan region (DOTSTAR): An overview. Bull Amer Meteor Soc, 2005, 86: 787-790.
- [9] Chan S T. Tropical Cyclone Operational Warning Strategies (IWTC-7). 2010. http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/tmr/otherfileformats/documents/4_3.pdf.
- [10] Cangialosi J P, Franklin J L. 2010 National Hurricane Center Forecast Verification Report. 2011. <http://www.nhc.noaa.gov/verification/pdfs/verification2010.pdf>.
- [11] 张小玲, 陶诗言, 孙建华. 基于“配料”的暴雨预报. 大气科学, 2010, 34(4): 754-766.
- [12] 王诗文, 李建军. 台风路径实时预报的初步试验. 应用气象学报, 1994, 5(4): 462-469.

- [13] 瞿安祥, 麻素红, Liu Q F, 等. 全球数值模式中的台风初始化I: 方案设计. 气象学报, 2009, 67(5): 716-726.
- [14] 瞿安祥, 麻素红, 李娟, 等. 全球数值模式中的台风初始化II: 业务应用. 气象学报, 2009, 67(5): 727-735.
- [15] 马雷鸣. 基于海平面气压动力反演的台风涡旋初始化方法. 气象学报, 2011, 69(6): 978-989.
- [16] Ma L M, Tan Z M. Tropical Cyclone Initialization with Dynamical Retrieval from a modified UWPBL model. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2010, 88: 827-846.
- [17] Gray W M, Neumann C, Tsui T. Assessment of the Role of Aircraft Reconnaissance on Tropical Cyclone Analysis and Forecasting. Bull Amer Meteor Soc, 1991, 72: 1867-1883.
- [18] Burpee R W, Franklin J L, Lord S J, et al. The impact of Omega dropwindsonde on operational hurricane track forecast models. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77: 925-933.
- [19] Aberson S D, Franklin J L. 1999. Impact on hurricane track and intensity forecasts of GPS dropwindsonde observation from the first-season flight of the NOAA Gulfstream-IV jet aircraft. Bull Amer Meteor Soc, 80: 421-427.
- [20] Wu C C, Chou K H, Lin P H, et al. The impact of dropwindsonde data on typhoon track forecasts in DOTSTAR. Weather Forecasting, 2007, 22: 1157-1176.
- [21] Aberson S D. Targeted observations to improve operational tropical cyclone track forecast guidance. Mon Wea Rev, 2003, 131: 1613-1628.

编辑走台站：云南大关站

本刊编辑部

昭通，地处乌蒙大地腹心，金沙江蜿蜒北绕，从这里滚滚东去。2012年8月中旬，借参加和报道东南亚天气气候学术会议之便，《气象科技进展》编辑部走访了云南省昭通市大关县气象局，亲身感受到这里的复杂地势和气象条件对当地生活的重要影响，也体会到这里的气象人因人手紧张而整天忙碌的辛苦并快乐着的滋味。

云南省昭通市大关县位于云南省东北部，地处四川盆地向云贵高原的过渡地带，历来为川滇交通要道，秦开“五尺道”通“西南夷”就经过这里。大关境内险关重叠，关镇坚固，“大关”因此而得名。云贵高原的重要天气系统——“昆明准静止锋”正好位于昭通一带，导致该地气候复杂多变，干旱、暴雨、冰雹、大风、低温冷害、冰凌雪灾、滑坡和泥石流等气象灾害及次生灾害频发，自古就有“无灾不成年”的说法。

大关县气象站建于1958年，1989年迁至现址，属国家一般气象站。尽管同基本气象站相比，大关气象站的观测任务相对较少，但是因为大关特殊的地形地貌和频繁发生的气象灾害，准确的天气预测预报在工农业生产、减灾防灾中显得十分重要。

烟草是整个云南的经济支柱，烟草种植业不无例外地在大关农业中占据了举足轻重的地位。针对烤烟种植，大关气象局承担着非常重要的增雨防雹工作，防雹减灾是目前当地气象事业的关键组成部分。1996年大关开始人工增雨防雹工作，现有4个防雹炮点，防雹期为每年的5—9月，由昭通市局自主开发的业务

软件在跟踪冰雹云位于防雹炮点的位置时起到关键作用。由于大关县多高山深谷，而通往分布在不同乡镇的人工防雹炮点的道路险要，交通尤为不便，特别是在5—9月的多雨季节，地质灾害高发，当温源伟副局长介绍到去炮点作业的道路的艰险时，我们尽管没有身临其境，也能体会到其中的辛苦。

就在本文落笔时，2012年9月7日，昭通市发生了地震，大关县是重灾区之一，在通过各种渠道进行了慰问了大关同行后，我们的脑海中，时常出现他们震后在受灾严重的部分乡镇展开气象应急服务忙碌的身影！

