

许映龙,张玲,高拴柱. 我国台风预报业务的现状及思考[J]. 气象,2010,36(7):43-49.

我国台风预报业务的现状及思考^{* 1}

许映龙 张 玲 高拴柱

国家气象中心,北京 100081

提 要: 随着数值预报模式和技术以及综合探测体系的不断进步和完善,自 20 世纪 90 年代以来我国台风业务预报取得了长足的进步,特别是台风路径业务预报水平进展显著,目前基本达到国际先进水平。通过对我国及国际台风/飓风业务预报现状的回顾,分析了目前我国台风业务预报中存在的主要问题、业务预报难点和亟待解决的科学问题,同时展望了我国台风业务预报在全球气候变化条件下,以及日益增长的国家防灾减灾需求形势下所面临的挑战,并对我国台风业务预报的未来发展做出了一些粗浅的思考,提出了改进我国台风业务预报的相关建议措施。

关键词: 台风, 业务预报, 进展

The Advances and Discussions on China Operational Typhoon Forecasting

XU Yinglong ZHANG Ling GAO Shuanzhu

National Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract: With continuous progresses and improvements in NWP and integrated observation systems, China operational tropical cyclone forecasting has made considerable progresses since the nineties of last century. Operational tropical cyclone track forecasting especially has made a significant level of progress and reached the international advanced level. By reviewing and analyzing the current situation of national and international operational tropical cyclone forecasting, the main problems, operational forecasting difficulties and urgent scientific issues to be solved in current China operational typhoon forecasting are analyzed. Then an overview on the challenge of China operational typhoon forecasting under the global climate change and the growing demand in national disaster prevention and preparedness is made, some considerations about the development of China operational typhoon forecasting in the future are given, and finally some measures for improving China operational typhoon forecasting are proposed.

Key words: typhoon, operational forecasting, advances

引 言

我国是世界上少数几个受台风影响最严重的国家之一,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)在我国登陆,沿海各省自南向北从海南、广西、广东、台湾、福建、浙江、上海、江苏、山东、河北、天津一直到辽宁等省(市、自治区)均可能有台风登陆,其影响甚至可以

延伸到内陆省份。夏秋季节,台风是我国东南沿海最重要的灾害性天气系统,常给人民生命、国家财产和工农业生产等造成重大损失。据 1988—2008 年统计,我国每年因台风造成的直接经济损失高达 293.7 亿元人民币、死亡人数达 459 人、农作物受灾面积达 280.5 万 hm^2 、倒塌房屋达 30.9 万间。尤其是近年来,在全球变暖为主要特征的气候变化背景下,全球极端天气事件呈增多趋势,在我国以登陆台风为代表的极端天气事件也明显增多,具体表现为:

^{*} 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB421504)资助
2009 年 12 月 28 日收稿; 2010 年 3 月 22 日收修定稿
第一作者:许映龙,主要从事热带气旋路径和强度预报研究. Email: xuyi@cma.gov.cn

登陆台风的平均强度明显增强、强台风数量明显增多;台风登陆时间段更加集中,登陆季节较 50 年前缩短了近 1 个月。

由于台风灾害对经济社会发展的影响越来越大,台风防灾减灾工作受到各级政府和广大公众的高度关注。2006 年 2 月国务院发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要》将台风灾害列入影响国家公共安全的主要自然灾害之一,并明确提出要加强对台风监测预警关键技术的研究。2007 年 7 月国务院办公厅下发了 49 号文件,要求加强气象灾害防御工作,大力提高气象灾害监测预警水平,切实增强气象灾害应急处置能力。温家宝总理在中国气象局 2007 年呈报的《全球气候持续变暖背景下台风(飓风)的形势变化及我国应对策略的调整》上批示:中国气象局这份报告提出的问题值得重视,随着世界气候的变化,台风也出现了许多新的情况,防御台风的工作更为复杂。建议就此问题继续进行专题研究,并在科学分析的基础上提出更有超前性、针对性的应对方针和措施。

提高台风灾害的监测、预警服务水平,增强我国台风防御能力,最大限度地减轻台风灾害,关键是不断提高我国台风业务预报的准确率。本文首先将回顾我国及国际台风/飓风业务预报的现状,然后分析我国台风业务预报在全球气候变化条件下,以及日益增长的国家防灾减灾需求形势下所面临的挑战,进而对我国台风业务预报的未来发展做出了一些粗浅的思考,以期对提高我国台风业务预报水平有所裨益。

1 台风业务预报的进展

目前,我国初步建成了以气象卫星、多普勒天气雷达、地面自动气象观测站为基础的对台风进行全方位实时监测的综合探测体系。在台风监测预报服务中,借助于风云系列气象卫星获取的每 15 分钟一次的高质量卫星图像,不仅可以掌握台风的业务定位定强信息,而且还可以了解台风未来的动态和降雨信息;沿海多普勒天气雷达网获取的每 6 分钟一次的监测产品则为实时掌握台风定位及强度变化、降水强度和落区的实时监测以及临近预报提供了重要保障;而地面自动气象观测站获取的每 10 分钟一次的地面观测信息则使获取台风风雨影响和业务定位的准确监测信息成为可能,准确的风雨监测信息还可对雷达短时降雨预报进行验证,将其同化到数值预报模式中有助于改善台风数值预报的效果,提

高预报精度。

在积极推进气象综合探测体系建设的基础上,我国台风数值预报模式及技术也得到了极大的发展。目前,已经建成了国家级、区域气象中心和省级气象台站的台风数值预报业务体系,该体系由全球台风预报模式、区域台风预报模式^[1]、台风集成集成预报系统以及其他统计动力和中尺度模式所构成,主要包括国家气象中心全球台风路径数值预报系统(TMBJ-1)、国家气象中心全球台风路径集合预报系统、国家气象中心台风路径中期集成预报系统、上海台风研究所 GRAPES_TCM 热带气旋数值预报模式(SGTM)、上海台风研究所热带气旋数值预报模式(SHTM)、上海台风研究所西北太平洋热带气旋路径综合集成预报系统(STC)、广州热带海洋气象研究所南海区域热带气旋数值预报模式(GZTM)、沈阳大气环境研究所热带气旋数值预报模式(LNTCM)、江苏热带气旋路径概率圆决策预报系统(JSPC)、广西南海区热带气旋路径(强度)遗传神经网络预报系统(ANNGA)、国家气象中心和上海台风研究所联合开发的台风强度统计释用方法(STI)、上海台风研究所的西北太平洋台风强度气候持续性预报方法(TCSP)等。数值预报模式和其他统计动力客观预报模式的发展和改进,大大提高了我国台风业务的预报能力。

正是借助于现代气象综合探测体系的建设以及数值预报模式和技术的不进步和完善,自 20 世纪 90 年代以来我国台风业务预报取得了长足的进步,台风路径的综合预报误差呈现逐渐减小的趋势,路径综合预报误差基本与世界先进水平相当^[2-17](图 1)。2009 年中央气象台台风路径 24、48 和 72 小时综合预报误差分别为 119、205 和 299 km,其中 24 和 48 小时误差较 20 世纪 90 年代初减小了 50%,72 小时预报误差相当于 20 世纪 90 年代初的 48 小时预报水平。

但在台风强度预报方面,过去 20 多年来,与世界各大台风/飓风预报中心一样,我国台风强度业务预报进展非常缓慢,目前业务预报中广泛应用的方法主要是一些气候持续性方法和统计动力模式^[18],如国家气象中心和上海台风研究所联合开发的台风强度统计释用方法(STI)、上海台风研究所的西北太平洋台风强度气候持续性预报方法(TCSP)、广西南海区热带气旋强度遗传神经网络预报系统(ANNGA)、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

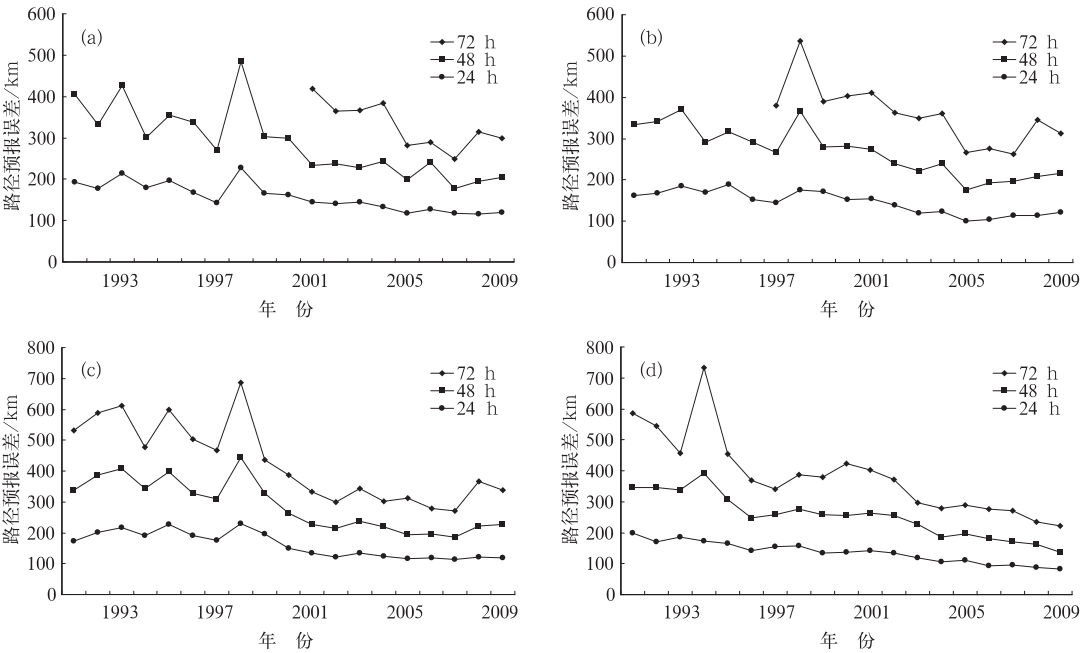


图 1 中日美三国 24、48 和 72 小时台风路径综合预报误差趋势比较(1991—2009 年,单位:km)

(a) 中央气象台; (b) 日本气象厅; (c) 美国联合台风警报中心; (d) 美国国家飓风中心(北大西洋)

Fig. 1 Comparison of 24, 48 and 72 h official tropical cyclone track prediction error trend among China, Japan and USA. (1991—2009, unit: km) (a) National Meteorological Center of China Meteorological Administration, (b) Japan Meteorological Agency, (c) Joint Typhoon Warning Center of USA (d) National Hurricane Center of USA (North Atlantic Basin)

计预报模式 (SHIFOR) 和飓风强度统计预报方案 (SHIPS) 等。虽然目前各国纷纷研发新一代的动力模式 (如 GFDL、GFS、NOGAPS 和 UKMET 等) 来改进台风强度业务预报, 但效果甚微。目前我国台

风强度业务预报与国外各预报中心误差基本相当^[2-17], 且各国基本处在同一水平, 24 小时预报误差一般为 $4 \sim 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、48 小时一般为 $6 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、72 小时一般在 $8 \sim 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 2)。就 2009

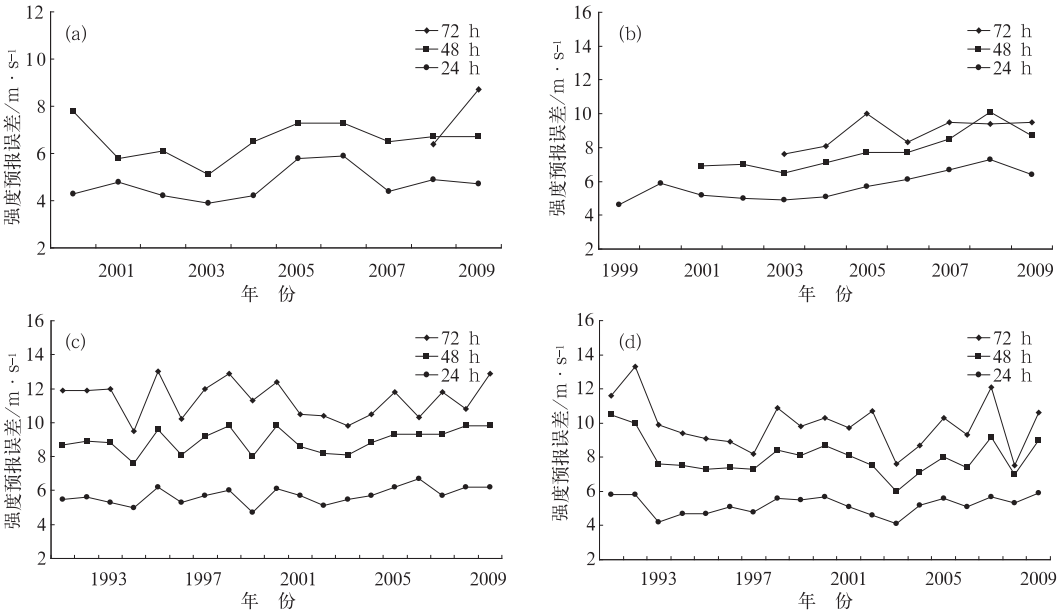


图 2 中日美三国 24、48 和 72 小时台风强度综合预报误差趋势比较(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (a) 中央气象台(2000—2009); (b) 日本气象厅(1999—2009); (c) 美国联合台风警报中心(1991—2009); (d) 美国国家飓风中心(北大西洋, 1991—2009)

Fig. 2 Comparison of 24, 48 and 72h official tropical cyclone intensity prediction error trend among China, Japan and USA. (Unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (a) National Meteorological Center of China Meteorological Administration (2000—2009), (b) Japan Meteorological Agency (1999—2009), (c) Joint Typhoon Warning Center of USA (1991—2009), (d) National Hurricane Center of USA (North Atlantic Basin, 1991—2009)

年来看,中央气象台 24、48 和 72 小时强度预报误差分别为 4.7、7.6 和 8.7 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;美国联合台风警报中心分别为 6.2、9.7 和 12.9 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;日本气象厅分别为 6.4、8.7 和 9.5 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;美国国家飓风中心分别为 5.9、9.0 和 10.6 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

在风雨预报方面,目前我国尚无有效的台风大风和暴雨客观预报方法可供业务预报应用,沿海各省根据自身的需要研制半理论半经验或诊断统计方法预报台风大风以及暴雨强度和落区。在飓风严重影响美国,则已建立了基于地基雷达、地面资料和地理信息系统(GIS)的实时地面分析和预警信息发布系统,同时开展运用卫星、地基和机载雷达等非常规探测技术对降水的估计研究以及不同微物理过程对降水的影响机理研究,并利用模式开展风雨业务预报。

2 存在的问题及面临的挑战

过去 20 多年来我国台风业务预报取得了长足的进步,但在很多方面与美国等少数发达国家相比仍存在一定的差距,尤其是对于异常台风的预报,包括路径异常、强度突变等预报误差还较大,风雨预报精细化程度低、准确率不高,台风业务预报的水平远不能满足防台抗台的现实需求^[19-20]。因此,从整体上提高我国台风业务的监测预报水平,仍是一项迫在眉睫的长远任务。

2.1 强度预报进展缓慢

由于观测资料缺乏,对台风结构的复杂性了解甚少,对台风强度变化的物理机制认识也不够深入,尤其是对台风强度变化所涉及的海气以及海陆气相互作用知之甚少,导致台风强度业务预报能力低下。与台风路径预报相比,过去 20 多年来,国内外各预报中心在台风强度业务预报方面进展非常缓慢,用于业务的客观预报方法也很少,为数甚少的统计或统计释用方法还不够成熟,预报精度较低,各国在强度预报业务中主要还沿用经验方法为主。因此,改进台风强度预报仍是各国台风业务预报未来面临的一项长期艰巨任务,为此必须进一步加强对台风内核结构的观测和认识,并以此为基础改进和发展数值模式。

2.2 风雨预报的精细化水平亟待提高

客观、精细量化的台风风雨预报对有效防台抗台起着至关重要的作用,尤其是台风登陆前的风雨短时临近预报,一方面沿海强风和强降水何时开始,决定着人员撤离和转移的时间,另一方面强风范围和强降水落区未来如何变化决定着人员撤离和转移的范围,而台风风雨短时临近预报业务目前尚未建立,风雨预报的精细化水平远不能满足防台抗台的现实需求。目前国内外主要致力于借助卫星、雷达等遥感手段对台风风雨的观测估计研究,同时结合地面观测与地理信息系统,在天气形势判断的基础上,利用诊断统计方法开展业务预报,尚缺乏有效的客观定量预报方法,利用数值模式进行台风风雨定量预报尚处于起步阶段。在业务预报中缺乏客观预报产品指导,尤其缺乏客观精细化的风雨预报产品,经验外推预报仍是业务预报的主要方法,预报时空精度差。

2.3 台风数值预报技术亟待提高

台风业务预报准确率的提高越来越依赖于数值预报技术的发展和改进,过去 20 多年来我国台风业务数值预报模式的预报能力取得了长足的进步,路径预报误差呈逐年减小的趋势,2007 年国家气象中心全球台风路径预报系统 24、48 和 72 小时预报误差分别为 118、200 和 271 km,达到历史最好水平,但 2008 年误差有较明显增大,与综合业务预报相似的是 24 和 48 小时误差较 20 世纪 90 年代初减小了近 50%,72 小时预报误差也相当于 20 世纪 90 年代初的 48 小时预报水平,而日本气象厅全球模式 24、48 和 72 小时路径预报误差分别为 114、196 和 247 km^[21-22],可见目前我国路径综合预报误差基本与世界先进水平相当(图 3),但在模式开发和数值预报关键技术等方面与国际先进水平相比仍有明显的差距,主要表现在:现有模式未根据影响我国台风的天气特点、下垫面特点等来确定物理过程的处理方法和参数的选取,导致模式物理过程和边界层参数化方案的针对性较弱;现有模式的台风初始场形成技术落后,尤其是卫星、雷达等非常规资料的融合应用能力薄弱,已有研究成果业务化程度低,且模式分辨率较低。这不仅影响了路径预报的精度,也大大降低了强度和风雨的预报能力和精细化水平。

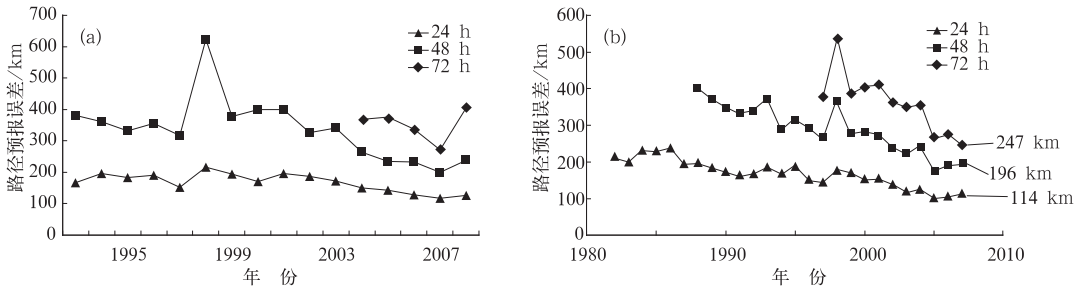


图 3 中日两国数值模式 24、48 和 72 小时台风路径预报误差趋势比较(单位:km)

(a) 国家气象中心(2004 年前为区域台风模式,2004—2008 年为全球模式系统);

(b) 日本气象厅全球模式(2007 年 11 月模式由 TL319 L40 升级到 TL959 L60,2008 年为模式试验运行年,无数据)

Fig. 3 Comparison of 24, 48 and 72 h numerical tropical cyclone track prediction error trend of China and Japan (unit: km)

(a) National Meteorological Center of China Meteorological Administration (regional typhoon model before 2004, global model from 2004 to 2008), (b) Global model of Japan Meteorological Agency (model upgraded from TL319 L40 to TL959 L60 in November 2007, no data in 2008)

3 相关建议措施

3.1 进一步加强台风相关理论和机理研究

目前,台风理论研究和业务预报还面临着许多困难和挑战,如针对台风路径、结构和强度的突变及台风暴雨的突然增幅等的预报,目前仍缺乏十分有效的方法。台风登陆前,其路径、强度和登陆预报是业务预报的重点,而目前由于缺乏登陆台风高时空分辨率的探测资料,造成对登陆台风路径、强度变化的机理认识不足,对登陆后台风路径变化规律及台风结构和强度变化的复杂性研究甚少、了解不深,限制了登陆台风路径、强度和风雨预报能力的进一步提高,因此需进一步加强台风外场观测试验,持续开展登陆台风相关科学问题研究,不断提高登陆台风路径、强度、结构和强降雨分布等相关物理机制的认识,以提高登陆台风业务预报精度。未来台风理论研究需在以下几个方面加强研究:

(1) 台风内部三维结构。台风的演变与其自身的结构密切相关。随着卫星、雷达等探测技术的进步,未来应揭示出台风内部更为细致的中、小尺度结构特征,包括台风边界层特征,这对提高台风的预报能力将会大有帮助。

(2) 台风路径及强度突变机理。关于台风路径突变已提出了若干理论,而数值预报对台风的奇异路径也有一定效果。相对而言,台风强度变化的预报比路径预报更加困难,且强度变化往往会导致路径的突变。目前关于台风强度突变的机理研究较少,今后亟待加强。

(3) 多尺度天气系统和不同纬度环流的相互作用对台风的影响。关于不同尺度系统和不同纬度环流的相互作用对台风影响的研究目前主要还停留在现象分析上,其物理过程和机理需要做进一步的探讨。

3.2 进一步加强台风预警技术的研发力度

进一步加强数值预报模式的改进工作以及研发新一代数值预报模式和集合或集成预报系统是当前我国台风研究与业务工作中所面临的当务之急,而可能解决这一问题的关键是各种非常规探测技术和手段在台风业务预报中的研究与应用。因此必须开展和加强将高分辨率的卫星、雷达等非常规资料用于反演台风精细结构的研究和业务工作,研究和开发形成高质量的台风模式初始场的技术,其重点是提高台风数值预报精度,使得台风路径和强度预报误差不断减小,同时进一步提高大风及其半径预报、台风警报信息发布和定量降雨预报的时效和精度。在台风路径方面,将主要集中于以下投式探空仪为基础的适应性观测对数值模式的改进以及路径集合或集成预报技术;在台风强度方面,主要集中于高分辨率海—陆—气耦合台风模式的研发、数值预报产品的动力统计释用技术以及近海台风强度突变的预报方法;在台风影响方面,主要着力建立和完善基于卫星、雷达等多源资料的台风精细化风雨信息获取技术,建立基于地理信息系统(GIS)的台风风雨实时监测和短时临近预报系统。而以上几方面的核心是做好以下几项关键技术的研发:

* 台风客观定量分析和同化分析技术;

- * 台风客观预报业务方法和技术;
- * 台风业务数值预报方法和技术,尤其是高分辨率海—陆—气耦合台风数值预报技术研究和模式开发;
- * 台风近海强度和路径突变的物理机制及其预报方法;
- * 台风路径和强度集合或集成预报技术和方法;
- * 台风风雨短时临近预报技术和方法;
- * 台风次生及衍生灾害预报技术和方法。

3.3 加强台风灾害风险管理和评估体系建设

由于台风灾害牵涉面广,涉及多种相关学科的交叉以及减灾决策和防范意识等社会问题,加之目前在台风灾情资料的及时完整获取方面仍存在相当大的困难,因此加强台风灾害风险管理和评估体系建设仍是一项十分艰巨而长期的任务。而现有的评估方法多为经验性或者半定量的简单评估方法,且评估指标的选取以及指标的灾害等级的确定也都是建立在经验基础之上^[23],同时由卫星遥感等先进手段获取的灾情信息未能得到及时分析并充分利用,加之台风预警信息的精细化和定量化水平也在很大程度上制约着台风灾害评估的合理性水平。因此如何在改进现有台风预警水平的前提下,结合防汛设施、城乡建筑性状和抗风能力、人口密度以及经济发展水平等因素建立行之有效的台风灾害评估方法,来估计台风灾害的可能程度并提出相应的减灾措施,无疑对台风预警有效性的充分发挥具有十分重要的作用。现阶段台风灾害风险管理和评估体系建设的主要任务可以归纳如下:

- * 灾情资料库的建立;
- * 台风灾害形成规律的研究;
- * 灾区的人口密度、经济发达程度及防灾抗灾能力分析;
- * 灾害损失评估方法研究;
- * 台风灾害多灾种的综合评估;
- * 预测价值的检验;
- * 灾害风险管理及防御对策。

3.4 加强 GIS 等技术在气象服务中的应用,更好地改进预报质量和服务效果

随着地理信息系统(GIS)的迅速发展,它在防灾减灾中的作用日益显现,目前我国已发展了以

SuperMap GIS 为主体的大型地理信息系统软件,并在防汛抗旱、地震、森林防火、环境保护、地质灾害、疾病预防控制等诸多领域均得到了成功的应用。但在如何结合其他信息技术,更有效地利用地理信息系统技术在防台抗台中发挥其提供空间数据处理、分析、发布和决策支持功能的优势,提升防灾减灾信息化建设的水平和功效等方面,仍然存在许多空白的领域,尤其是在台风基础数据库的建设方面。因此必须研发具有自主知识产权的地理信息系统软件平台,并结合台风灾害的特点和台风数值预报模式的开发和不断改进,形成专业的台风信息服务系统。

3.5 加强台风监测预警技术的国际交流与合作

鉴于台风对全球人类社会经济影响的普遍性,因此加强台风及相关灾害的实时监测和预报信息的国际交换与共享,开展热带气旋监测与预报技术及相关防灾减灾管理经验的国际交流与合作,无疑对提高台风业务预报质量和防灾减灾具有重要作用。

参考文献

- [1] 马雷鸣,李佳,黄伟,等. 2007 年国内台风模式路径预报效果评估[J]. 气象,2008, 34(10): 74-80.
- [2] 许映龙,刘震坤,董林,等. 2002 年西北太平洋和南海热带气旋路径主客观预报评价[J]. 气象,2005, 31(6): 43-46.
- [3] 中国气象局. 2003-2006 年热带气旋年鉴[CD]. 上海台风研究所制作,2010.
- [4] 李佳,余晖,应明,等. 2007 年西北太平洋热带气旋定位和预报精度评定[J]. 气象,2009, 35(2): 101-105.
- [5] 中国气象局. 2008 年热带气旋年鉴[CD]. 上海台风研究所, 2010.
- [6] 占瑞芬. 2009 年热带气旋定位和预报精度评定及业务预报方法审定[C]// 第六届全国台风及海洋气象专家工作组第四次会议交流材料. 广西北海:中国气象局预报与网络司, 2010.
- [7] Japan Meteorological Agency. Annual Reports on Activities of RSMC Tokyo Typhoon Center [OL]. 2009, <http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/annual-report.html>.
- [8] Japan Meteorological Agency. Activities of RSMC Tokyo Typhoon Center in 2009 [OL]. 2010, <http://www.typhooncommittee.org/42nd/activities.html>.
- [9] Japan Meteorological Agency. Activities of RSMC Tokyo Typhoon Center in 2008 [CD]. Chiang Mai Thailand: Presentations of 41st Session of ESCAP/WMO Typhoon Committee, 2009.
- [10] Joint Typhoon Warning Center. Annual Tropical Cyclone Re-

- ports [OL]. 2009, <http://www.usno.navy.mil/JTWC/annual-tropical-cyclone-reports>.
- [11] National Hurricane Center. National Hurricane Center Forecast Verification [OL]. 2009, <http://www.nhc.noaa.gov/verification/verify5.shtml>.
- [12] James L. Franklin. National Hurricane Center 2009 Forecast Verification [OL]. 2010, http://www.ofcm.gov/ihc10/linking_file_ihc10.htm.
- [13] James Franklin. National Hurricane Center 2008 Forecast Verification [OL]. 2009, http://www.nhc.boulder.noaa.gov/verification/pdfs/Verification_2008.pdf.
- [14] James L. Franklin. National Hurricane Center 2007 Forecast Verification [OL]. 2008, http://www.nhc.boulder.noaa.gov/verification/pdfs/Verification_2008.pdf.
- [15] Ed Fukada. Joint Typhoon Warning Center 2009 Year in Review [OL]. 2010, http://www.ofcm.gov/ihc10/linking_file_ihc10.htm.
- [16] Bob Falvey. Joint Typhoon Warning Center 2008 Year in Review [OL]. 2009, http://www.ofcm.gov/ihc09/linking_file_ihc09.htm.
- [17] Bob Falvey. Joint Typhoon Warning Center 2007 Year in Review [OL]. 2008, http://www.ofcm.gov/ihc08/linking_file_ihc08.htm.
- [18] 胡春梅,余晖,陈佩燕. 西北太平洋热带气旋强度统计释用预报方法研究[J]. 气象,2006,32(8):64-69.
- [19] 赵生才. 香山科学会议学术讨论会综述:登陆台风的科学问题及防灾减灾对策 [OL]. 2006, http://www.sciei.com/news/edu/Report/200607/news_7281.html.
- [20] 姚学祥,高拴柱,麻素红. 我国台风业务的问题与对策[C]//第十三届全国热带气旋科学讨论会论文集. 浙江岱山:中国气象学会第25届理事会台风委员会和天气与极地气象学委员会,2004.
- [21] Hiroto Kitagawa, T Komori, H Mino, et al. JMA Global NWP Model and its Perspectives [OL]. 2008, http://swio2008.univ-reunion.fr/ressources/Presentations/Kitagawa/JMA_NWP_Models.ppt.
- [22] Japan Meteorological Agency. Improvement of JMA's Tropical Cyclone Track Forecasts [OL]. 2008, <http://www.jma.go.jp/jma/en/News/TCForecast.pdf>.
- [23] 王秀荣,王维国,马清云. 台风灾害综合等级评估模型及应用[J]. 气象,2010,36(1):66-71.