亚太防台减灾中国主要贡献概述

矫梅燕¹, 雷小途^{2,3*}, 虞俊¹, 钱传海⁴

1. 中国气象局, 北京 100081;
2. 中国气象局上海台风研究所, 上海 200030;
3. 上海市气象局, 上海 200030;
4. 中国气象局国家气象中心台风与海洋气象预报中心, 北京 100081

* 联系人, E-mail: leixt@typhoon.org.cn

热带气旋(西北太平洋地区称为台风)位居全球十大自然灾害之首, 西北太平洋是台风活动最活跃的区域, 生成于此的台风年均约占全球的 1/3^[1]. 西北太平洋区域各国和地区饱受台风侵袭, 单个台风造成数十亿美元直接经济损失的例子时有发生, 因灾情严重而被除名(永久命名)的台风每年都有^[2]. 防台减灾受到亚太地区各国各地政府的共同关注, 技术交流和信息共享由来已久. 早在 1880 年, 上海徐家汇观象台便通过书信的方式与马尼拉等当时全球 54 个气象台建立了气象信息交换网络(各台回执收到资料后的明信片), 并据此于 1895 年绘制了首张东亚地区的地面天气图, 于 1920 年完成了西北太平洋 620 个台风路径图的整编. 此外, 徐家汇观象台于 1884 年创立的“风球旗语”台风预警体系, 受到国际气象组织(International Meteorological Organization, IMO)认可和推荐, 并在东亚沿海地区得到广泛应用(香港天文台自 1884 年开始使用直到 2002 年)^[3].

为加强亚太区域内各国和地区的台风联防合作、提高台风的监测和预报预警能力, 1968 年联合国亚洲及太平洋经济社会委员会(简称“亚太经社会”, U.N. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, UNESCAP)与世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)联合组建了亚太经社会/世界气象组织台风委员会(简称台风委员会, UNESCAP/WMO Typhoon Committee), 负责协调亚太区域防御台风灾害的计划和措施. 经过 50 年的发展, 台风委员会由成立之初的中国内地、中国香港、日本、韩国、老挝、菲律宾和泰国等 7 个会员发展到如今的 14 个会员(后期加入的会员包括: 马来西亚、柬埔寨、越南、朝鲜、中国澳门、新加坡和美国).

台风委员会自成立起, 每年召开一次工作年会(简称年会), 回顾和总结当前防台减灾工作进展、审议和决定下年度优先工作计划(Annual Operational Project, AOP). 为增强技术总结的专业性和 AOP 设计的科学性, 2004 年 11 月台风委员会在上海召开的第 37 次年会决定启动组织架构改革, 并设立气象工作组(Working Group on Meteorology,

雷小途 二级研究员, 上海市领军人才、国务院政府特殊津贴获得者. 先后任上海台风研究所所长和上海市气象局总工. 主要从事台风预报关键技术研究. 主持完成国家及省部级项目 10 余项、发表论文 100 余篇、获国家和省部级科技进步奖 6 次. 兼任中国气象学会台风委员会主任委员、亚太台风委员会气

象工作组主席、*Tropical Cyclone Research and Review* 主编.

WGM)、水文工作组(Working Group on Hydrology, WGH)、防灾减灾工作组(Working Group on Disaster Risk Reduce, WGDRR)、教育培训工作组(Training and Research Coordination Group, TRCG)和咨询工作组(Advisory Working Group, AWG). 为加强工作组间的技术合作与交流、充分酝酿 AOP 等重大事项以提高会议审议和决策效率, 台风委员会决定自 2006 年起在年会前召开综合研讨会(Integrated Workshops, IWS), 每次 IWS 会议均结合区域内防台减灾共性问题 and 国际台风界的热点确定一个主题, 并进行分组(气象、水文、防灾减灾组)交流和研讨, 据此设计下年度的 AOP 草案提交年会审议. 台风委员会还在 1998 年利用委员会的收入设立“台风委员会自然灾害预防奖”(UNESCAP/WMO Typhoon Committee Natural Disaster Prevention Award)以提高公众对台风防灾和备灾措施的认识. 2006 年召开的委员会第 39 次年会上决定更名为“金塔纳-防台减灾奖”(Roman L. Kintanar Award for Typhoon-related disaster mitigation)、奖金由金塔纳博士(WMO 前主席, 菲律宾大气地球物理和天文服务管理局前局长)设立的“金塔纳基金”资助(直到 2013 年后, 不再发放奖金), 以奖励在区域防台减灾领域做出突出贡献的会员相关机构(原则上每年 1 个, 最多不超过 2 个).

作为台风委员会的主要创始会员, 中国始终是推动区域防台减灾国际合作和台风委员会改革发展的重要力量,

在国际框架下促进会员的区域活动,并通过技术交流、培训项目、能力建设等方面对台风委员会作出突出贡献,最大程度减轻区域内台风相关灾害的社会、经济及环境的影响,受到台风委员会会员乃至国际社会的广泛好评和赞赏。本文对中国在亚太区域防台减灾的主要贡献作了概述,旨在宣传我国在国际防台减灾领域的成就和贡献、促进我国进一步深度参与国际台风事务、进一步扩大国际影响力和提高参与全球台风相关灾害的治理能力。

1 推进委员会的建设和区域合作

1.1 推进委员会的改革和发展(台风委员会创立以来)

年会是台风委员会的最高决策议事机构,涉及委员会发展、改革、战略目标、优先合作项目及经费使用计划等事项,均由参会会员在年会期间进行审议和讨论决定。综合研讨会则旨在为年会提供技术文本和方案。年会和综合研讨会由各会员轮流承办,是会员为台风委员会做出贡献的主要途径之一,也是宣传和充分展示会员防台减灾技术进步的重要平台。中国是台风委员会的主要贡献者,自台风委员会成立 50 年来(1968~2018 年),先后承办了 14 次年会和综合研讨会及台风委员会“台风转向和异常运动的特别试验”(special experiment concerning typhoon recurvature and unusual motion, SPECTRUM-90)项目第 2~3 次技术研讨会、“近海台风强度变化科学试验”(Experiment on typhoon intensity change in coastal area, EXOTICCA)项目组委会及技术研讨会、WGM 第 1 次工作年会等重要会议(表 1)^[4]。

其中,中国内地先后承办了台风委员会的第 18、25、37、44 次年会,中国香港承办了第 30 和 45 次年会,中国澳门承办了 27、33 和 40 次年会。这些年会极大地推动了台风委员会的发展及亚太地区防台减灾的共同进步。如 1997 年 11 月 25 日~12 月 1 日在中国香港召开的第 30 次年会,制定了采用具有亚洲风格的名字(各会员提供 10 个名字组成 140 个名字的列表)对西北太平洋(含南中国海)台风进行命名和除名的规则,以提高亚太地区民众对台风的警惕从而增强警报效果(1998 年 12 月 1~7 日在菲律宾马尼拉召开的 31 次年会批准并从 2000 年 1 月 1 日起执行)^[3],列表中共 30 个名称来自中国。2004 年 11 月 16~20 日在上海召开的第 37 次年会,中国气象局原副局长许小峰当选主席。年会建立了包括气象工作组(WGM)、水文工作组(WGH)、防灾减灾工作组(WGDRR)、教育培训工作组(TRCG)及咨询工作组(AWG)在内的完整的工作组体系,并审议了台风委员会主席和副主席、秘书处(Typhoon Committee Secretariat, TCS)举办地及秘书等的职责和产生方式(2013 年 1 月 29 日~2 月 1 日在香港召开的第 45 次年会进行了更新)。2012 年 2 月 6~11 日在杭州召开的第 44 次年会,中国气象局副局长矫梅燕当选主席。年会批准了新的台风委员会 5 年战略计划,启动了台风委员会新一轮制度建设和提质增效的改

表 1 1968~2018 年间中国承办的台风委员会重要会议

Table 1 Important meetings of Typhoon Committee hosted by China from 1968 to 2018

会议名称	地点	时间
第 18 次年会	北京	1985 年 10 月 8~14 日
SPECTRUM-90 项目 第 2 次研讨会	广州	1991 年 11 月 25~29 日
第 25 次年会	珠海	1992 年 12 月 8~14 日
SPECTRUM-90 项目 第 3 次研讨会	上海	1993 年 10 月 25~29 日
第 27 次年会	澳门	1994 年 12 月 6~12 日
第 30 次年会	香港	1997 年 11 月 25 日~12 月 1 日
第 33 次年会	澳门	2000 年 11 月 28 日~12 月 4 日
第 37 次年会	上海	2004 年 11 月 16~20 日
第 1 次综合研讨会	澳门	2006 年 9 月 4~8 日
第 40 次年会	澳门	2007 年 11 月 21~26 日
第 3 次综合研讨会	北京	2008 年 9 月 22~26 日
第 5 次综合研讨会	澳门	2010 年 9 月 6~10 日
第 44 次年会	杭州	2012 年 2 月 6~11 日
第 7 次综合研讨会	南京	2012 年 11 月 26~30 日
第 45 次年会	香港	2013 年 1 月 29 日~2 月 1 日
第 8 次综合研讨会	澳门	2013 年 12 月 2~6 日
EXOTICCA 启动暨组委会 会议	上海	2015 年 10 月 9 日
EXOTICCA 及 WMO 示范 项目联合研讨会	上海	2016 年 10 月 18~22 日
EXOTICCA 组委会第 2 次 会议	上海	2017 年 9 月 8 日
WGM 第 1 次工作年会	上海	2018 年 7 月 9 日

革,修订了台风委员会的《议事规则》,明确了主席或副主席离职及由于任何原因无法继续履职时由其所在的政府指定继任者,决定改进年会期间的文件格式并由 AWG 牵头审议委员会所有法律文本后将修改意见提交年会、要求秘书处每次在年会前一个月将所有文件上传至台风委员会的网站,推进了台风委员会组织架构和议事规则等的规范化、专业化发展。此外,中国专家全面参与各工作组的工作,并出任 WGM 组长(先后为中国气象局的王邦中和雷小途)、TRCG 组长(先后为香港天文台的 Edwin 和 T.C. Lee)、WGH 副组长(先后为水利部的刘志雨和侯爱中)。

2005 年 11 月 14~19 日在越南河内召开的第 38 次年会,决定自 2006 年起 TCS 将由中国澳门承办(2007 年 2 月 13 日完成了从菲律宾马尼拉至中国澳门的正式搬迁),承担 TCS 的办公条件及秘书薪资等支持。此后,台风委员会分别于 2009、2013 和 2018 年 3 度决定由中国澳门举办台风委员会的秘书处,目前为第 4 个周期(2019~2022 年)。秘书处常设秘书长、气象秘书、水文秘书、防灾减灾秘书及文秘和财务秘书共 6 人(均来自中国)。

台风委员会的主席和副主席是台风委员会的最高领导,由台风委员会的年会选举产生,候选人为各会员参加年会的代表团团长,任期1年,可以连任.中国内地代表团由中国气象局、水利部和民政部的专家组成,团长分别由中国气象局的分管副局长担任(1968~1990年为骆继宾、1991~1997年为颜宏、1998~2009年为李黄和许小峰、2010~2018年为矫梅燕)并带队参加年会.表2列出的是担任台风委员会主席和副主席的中国专家名单.

1.2 促进区域合作(近10年)

中国积极参与并促进区域内的国际合作,主动承担区域内防台减灾相关技术的联合研究.近10年(2009~2018年,下同)以来,中国香港组织召开巡回技术研讨培训班(每4年1次),中国澳门协调专家组撰写区域台风气候变化评估报告.中国内地负责策划WGM的各项工作,在各会员的全力支持和配合下,在工作组全体专家的共同努力下,年均组织实施了10余项优先工作专项.内容涉及台风科学试验、台风监测预报关键技术、台风预报性能评估、成果转化及台风业务预报平台建设、台风短期气候预测及台风气候变化评估等领域,为台风委员会的战略计划制定、区域内各会员的防台减灾能力和国际影响力的提升发挥了积极作用^[5].

此外,中国内地近10年以来,还发起并牵头组织实施国际合作示范项目“WMO登陆台风预报示范项目”(typhoon landfall forecast demonstration project, TLFD)和“近海台风强度变化科学试验”(EXOTICCA),创办台风委员会的台风专业国际学术期刊 *Tropical Cyclone Research and Review*, 承办台风委员会的培训中心,牵头承担城市洪水预报及淹没图、防台减灾效益评估等WGH和WGDRR的多项优先工作专项(表3).为区域内的防台减灾国际合作、台风监测预报和防灾减灾关键技术联合研发及技术援助与业务培训等作出了重要贡献,受到国际社会的广泛好评,曾3次

获“金塔纳-防台减灾奖”(2004, 2012年两次授予国家气象中心、2014年授予上海台风研究所).

2 参与和发起台风外场观测科学试验

早在1982~1983年,台风委员会组织实施名为“台风业务试验(typhoon operational experiment, TOPEX)”的科学试验,包括气象和水文两部分,前者主要是通过加密观测组成区域性的台风实时分析-预报-警报系统,后者主要是利用现场实测洪水和风暴潮等资料对水文预报结果进行实际评估进而改进相关的模式预报能力.1990年,针对业务中对偏折和打转等台风异常路径的预报困难,国际台风界同时实施了3个观测研究计划,即TCM-90, TYPHOON-90和SPECTURM-90.其中,SPECTURM-90是由亚太台风委员会发起的科学试验,旨在通过收集覆盖台风路径的观测资料,研究弱环境引导气流或路径弯折时的台风路径特征及形成机理,以提高台风路径预报的精度.项目使用了包括卫星、多普勒天气雷达、风廓线雷达、地面观测站、观测船、浮标、海上石油平台和飞机下投探空等多种观测手段,对1990年8~9月间的西北太平洋目标台风Winona(9011), Yancy(9012), Abe(9015), Dot(9017), Ed(9018), Flo(9019)和Gene(9020)实施了加密观测,获得了大量的台风条件下大气风温湿垂直廓线等实测资料,随后的科学研究支撑了台风路径业务预报能力的提高.中国是TOPEX和SPECTURM的主要参与者.

随着卫星和数值模式等技术的进步,台风路径预报精度显著提高,但强度预报水平进展缓慢^[6,7].有鉴于此,2013年在香港召开的台风委员会第45次年会上,中国气象局(上海台风研究所)联合香港天文台提出实施针对亚太近海台风强度变化的科学试验(EXOTICCA)的建议,并于第46次年会(2014年2月,泰国曼谷)获得批准,第47次年会(2015年2月,泰国的UNESCAP总部)决定由中国内地和中国香港联合牵头实施该计划^[8].EXOTICCA项目实

表2 1968~2018年间出任台风委员会主席和副主席的中国专家

Table 2 Experts from China who served as chair and vice-chair of Typhoon Committee from 1968 to 2018

姓名	台风委员担任的职务(及年份)	工作单位
Gordon J. Bell	副主席(1971)、主席(1973, 1978)	香港天文台
Patrick Sham	主席(1979, 1982, 1986, 1989)、副主席(1988)	香港天文台
骆继宾	主席(1985, 1987)、副主席(1989, 1990)	中国气象局
颜宏	副主席(1992, 1997)	中国气象局
Hung Kwan Lam	副主席(1997, 1999, 2002)	香港天文台
Fong Soi Kun	主席(2000)	澳门地球物理暨气象局
许小峰	主席(2004)	中国气象局
Wong M.C.	副主席(2007)	香港天文台
矫梅燕	主席(2012)	中国气象局
Shun Chi-ming	副主席(2012)、主席(2013)	香港天文台

表 3 2009~2018 年间由中国内地牵头承担台风委员会的主要年度优先工作专项

Table 3 The major annual priority projects of Typhoon Committee lead by China mainland during 2009–2018

专项名称	牵头单位	起止年	课题来源
科学试验			
近海台风强度变化科学试验(EXOTICCA)	中国气象局上海台风研究所、香港天文台	2014 至今	WGM、台风委员会交叉合作
监测预报预警技术			
多源可用资料在热带气旋强度分析中的应用	国家气象中心	2015 至今	WGM
南海台风预报模式及改进	中国气象局广州热带海洋气象研究所	2012 至今	WGM
高分辨率区域台风模式(GRAPES-TCM)	中国气象局上海台风研究所	2014~2016	WGM
台风早期预警系统	国家气象中心、日本东京台风中心	2010~2011	WGM
沿海多灾种早期预警系统的同步标准操作程序(SSOP)-I: 手册编写	水利部信息中心、台风委员会咨询工作组	2013~2015	WGH、台风委员会交叉合作
沿海多灾种早期预警系统的同步标准操作程序(SSOP)-II: 推广应用	水利部信息中心、台风委员会咨询工作组	2016~2018	WGH、台风委员会交叉合作
新安江模型在会员选定流域的推广应用	水利部信息中心	2013~2016	WGH
城市内涝管理系统(UFRM)	水利部信息中心	2011~2013	WGH
城市洪水预报和淹没测绘操作系统(OSUFFIM)-I: 研发	水利部信息中心、中山大学	2014~2017	WGH
城市洪水预报和淹没测绘操作系统(OSUFFIM)-II: 在会员中的推广应用	水利部信息中心、中山大学	2018 至今	WGH
检验评估			
登陆台风预报性能检验	中国气象局上海台风研究所	2010~2011	WGM
台风业务预报性能检验	中国气象局上海台风研究所	2012 至今	WGM
防御台风灾害的行为效益评估	中国气象局上海台风研究所	2015 至今	WGDRR
全球气候变化对亚太区域台风活动影响的评估(TC-AR1)	专家小组(中国内地、日本、美国、韩国、中国香港和澳门)	2009~2010	WGM
全球气候变化对亚太区域台风活动影响的评估(TC-AR2)	专家小组(中国内地、日本、美国、韩国、中国香港和澳门)	2011~2012	WGM
全球气候变化对亚太区域台风活动影响的评估(TC-AR3)	专家小组(中国内地、日本、美国、韩国、中国香港和澳门)	2013 至今	WGM
气候变化对区域内会员水资源利用的影响评估	水利部信息中心	2018 至今	WGH
交流平台及学术期刊			
亚太区域气象通信系统改进	国家气象信息中心	2009~2010	WGM
促进会员间预报员的讨论	国家气象中心	2009~2010	WGM
基于网络的台风论坛	中国气象局上海台风研究所	2010~2016	WGM
热带气旋分析与预测的交流讨论(CoDi)平台	国家气象中心、香港天文台	2017 至今	WGM
出版《热带气旋研究与评论》	中国气象局上海台风研究所	2012 至今	WGM
培训及客座研究			
防台减灾新技术培训	台风委员会培训中心(南京信息工程大学)	2012	台风委员会
台风业务预报培训	国家气象中心	2015 至今	TRCG
防台减灾奖学金访问研究计划	中国气象局上海台风研究所、国家气象中心	2009 至今	WGM
《热带气旋研究与评论》客座编辑	中国气象局上海台风研究所	2012 至今	WGM

施以来,在台风探测技术研制、台风外场观测和近海目标台风结构和强度变化特征(特别是台风条件下风随高度的变化、不同时距平均风速间的转换等)示范应用研究方面,

取得了较明显进展,如下所述。

(i) 新型探测技术研制。研发了利用火箭弹(导弹)作为运载工具的台风下投探测新系统,并于 2015 年 10 月实

施了全球首例试验,在超强台风“彩虹”(1523号)内核区(距台风中心约80 km)上空(约12 km)释放了4个下投探空设备,并成功获取了风、温、压、湿等垂直廓线的高质量资料^[9]。试验还表明,火箭弹的速度相对较快(从起飞到落地约6 min),是获取台风不同区域、同时刻(气象意义上)直接观测资料的有效手段,可在基于预报的目标敏感性观测中对时变的敏感区实施有效的目标观测。

(ii) 外场协同观测。利用“追风观测车”、低空无人机、海上搜救飞机、浮标阵和布设在沿岸的风廓线仪、微波辐射计、GPS自动探空仪及雨滴谱等观测仪器,对2014~2016年间的20余个目标台风实施了外场协同观测试验,获取了:“凤凰(1416)”、“灿鸿(1509)”、“苏迪罗(1513)”、“彩虹(1522)”、“尼伯特(1601)”、“莫兰蒂(1614)”、“鲇鱼(1617)”和“莎莉嘉(1621)”等台风登陆前后的探空、边界层风廓线和雨滴谱等直接观测资料;“威马逊(1409)”和“海鸥(1415)”台风经过浮标阵前后的海面风和表层流等海-气通量相关探测资料;“灿鸿(1509)”台风登陆过程边界层(400 m低空)结构的无人机探测资料;“彩虹(1522)”台风强度和内核结构的火箭弹(导弹)抛撒下投探空资料;“莲花(1501)”、“彩虹(1522)”、1604号台风“妮妲”和1608号台风“电母(1608)”等的飞机飞行观测资料。

(iii) 应用示范研究。基于外场观测资料,开展了“莫兰蒂”、“莎莉嘉”和“鲇鱼”等目标台风登陆过程中边界层结构(含边界层高度等)变化及近地层湍流动量垂直通量逆梯度输送等特征,重点分析了台风登陆前后风随高度变化、修订了台风不同时距风速间的转换关系,并在中国气象局(China Meteorological Administration, CMA)的最佳路径(best track)整编及Dvorak台风定强技术的改进等业务中得到直接应用。此外,外场观测资料还被直接同化至台风数值模式,试验结果表明对台风路径和强度的模拟预报均有正贡献^[10]。

3 大力推进台风监测预报预警关键技术研发

(i) 台风及时命名及多源直接观测资料在台风强度分析中的应用。南海地域狭窄,台风生成后的2~3 d内通常便可能登陆,有时台风命名的滞后会导致其后不足1 d即登陆的情况,给沿岸国家和地区的防台减灾造成时间上的被动。有鉴于此,CMA于2011年提出“加强南海台风及时命名”的问题,WGM在随后的历次年会和综合研讨会期间均进行了专题讨论,并先后设立特别工作组(Ad hoc和Taskforce,由来自中国内地、中国香港、日本、韩国和菲律宾的专家组成)。2012年特设专家组对中国气象局、日本气象厅在南海热带气旋定强(主要是热带低压(TD)升级为热带风暴(TS),即台风命名和编号)方面的差异进行了较细致的比较。2014年Taskforce专家组在香港召开专题讨论会,分析了中国气象

局和日本东京台风中心定强(编号)差别的可能原因:CMA晚于日本编号通常是因为CMA收到日本相关信息滞后3~6 h所致,而日本晚于CMA编号通常是因为日本未将CMA在南海近海获取的石油平台和浮标等资料纳入其业务定强的流程所致。分析中也发现,在实际业务中使用Dvorak技术确定台风CI指数和强度时,即便是同一幅卫星云图,不同机构分析所得的结果也都不尽相同(图1)。为此,WGM于2013年设立了Harmonization of Tropical Cyclone Intensity Analysis的项目,旨在系统地比较分析中国(CMA)、日本(RSMC Tokyo)、美国(联合台风预警中心-JTWC)、中国香港(HKO)在确定台风CI数和强度的差别及原因。

此外,随着各国沿海及海洋经济的发展,海岛气象观测站及海上浮标、海上石油平台、梯度观测塔、船舶走航及飞行探测科学试验等多源直接观测资料日渐丰富。然而,目前的台风业务定强(包括日本东京台风中心)仍主要依靠基于卫星云图的Dvorak技术,大量的多源直接观测资料因暂无法从WMO的GTS系统中实时获取等缘故,未在业务定强及预报中等到充分的应用。为此,WGM于2015年设立了关于多源非常规直接资料在台风强度分析中应用的预研项目,由中国气象局国家气象中心领衔,旨在研究如何将会员日愈丰富的非常规观测资料用于业务定强的可行性及技术途径和业务流程。至今,CMA已梳理了南海区域可用的各类地基观测站(含雷达)共223个,并通过2013~2016年间18个台风的个例分析,表明各类地基直接观测资料在台风强度及结构分析中十分有效,并在此基础上,初步设计了非常规的多源直接观测资料实时用于台风结构及强度变化分析业务的流程,待进一步完善后可供台风委员会修订《台风业务手册》时使用。

(ii) 南海台风数值模式系统的发展与改进。近年来,各国的台风数值模式发展进步显著,特别是美国的H-WRF和CMA的GRAPES-TCM,在防台减灾工作中发挥了不可或缺的重要贡献。南海岛屿众多,下垫面条件复杂,台风异常活动比例高、监测预报难度较大。为提高南海台风的业务监测预报能力,WGM自2012年起加强并设立了关于南海台风模式发展的AOP,由中国气象局广州热带海洋气象研究所(简称“广州热带所”)牵头组织实施。项目基于广州热带所发展的区域热带海洋气象模式(TRAMS),结合南海区域的台风科学试验观测资料进行了强风条件下模式非线性项和对流降水的计算方案、海表和台风边界层过程参数化方案等的改进,并将模式的水平分辨率由最初的36 km提升至目前的9 km,使模式对南海台风的预报能力得到明显提高(图2),其中台风路径预报的24 h平均误差降至约70 km(较10年前减小了约30%),预报效果优于欧洲中期数值预报中心(ECMWF)和美国NCEP(National Centers for Environmental Prediction)等全球模式。模式产品已通过英文网站实时共享,供委员会会员使用。

(iii) 城市及流域洪水早期预警技术的研发与推广

图1 中国气象局、日本东京台风中心、美国联合台风预警中心和中国香港在基于同一卫星云图(a)采用同样的 Dvorak 方法确定台风“海燕(1330)”于2013年11月7日23时登陆菲律宾后强度CI指数的差别(b)^[5]

Figure 1 Large difference (b) among RSMC-Tokyo, CMA, HKO and JTWC in CI numbers using the same satellite image (a) and Dvorak technique are found after Haiyan (1330) made landfall in the Philippines on 23UTC 7 November 2013^[5]

图2 TRAMS 模式的台风路径预报误差(km)^[5]

Figure 2 The track forecast error of TRAMS model (km)^[5]

用。亚太地区是登陆台风的高影响区，沿海城市内涝和流域山洪频发，加强对台风影响下城市内涝和流域洪水的早期预警和应对管理，是会员高度关注的问题之一。为应对“上海 2010 年世博会”等重大社会活动期间的台风等极端天气气候事件及其衍生灾害的影响，中国内地积极推动以气象灾害为主的多灾种早期预警系统，并于 2010 年起牵头承担 WMO 的多灾种早期预警示范项目，促进了区域内多灾种早期预警工作的开展。在此基础上，台风委员会于 2013 年启动“沿海多灾种早期预警系统的同步标准操作程度”(SSOP)，由水利部信息中心技术牵头，于 2015 年完成了规范化操作手册的编写，并于 2016~2018 年实施第 2 期

SSOP-II 项目，推进了规范化多灾种早期预警操作手册在区域内外(含东南亚和印度洋地区)的更广泛应用。

水利部信息中心在长期的研究积累基础上，研制了以新安江为代表的流域洪水预报系统，于 2013~2016 年间，牵头承担 WGH 的年度优先工作专项，并先后将“新安江模型”成功推广应用于马来西亚的 Segamat, Selangor 和 Dungun 等 3 个流域，取得了良好效果。2011~2013 年间将广州作为 5 个试点城市之一(其余为菲律宾马尼拉、越南河内、泰国合艾和马来西亚吉隆坡)，水利部信息中心与 WGM 合作开展“城市内涝管理系统(UFRM)”的研制，完成了《城市洪水风险管理指南》的编制。

此外,水利部信息中心还于2014年联合中山大学牵头完成“城市洪水早期预警和洪水淹没图实时分析系统(OSUFFIM)”的研发;于2016年在泰国、菲律宾、越南和老挝组织了典型城市现场调研,并已将流溪河模型(具有物理基础的分布式水文模型,主要用于洪水预报)应用于泰国合艾市的乌塔堡流域,还建立了OSUFFIM系统的英文版并编写了操作手册;自2017年OSUFFIM系统在泰国皇家灌溉厅(RID)安装运行,调研了马来西亚典型城市并开展了相关的技术研讨,发布了系统操作手册并组织召开项目总结会议和项目培训。

4 开展预报性能检验及效益评估

(i) 台风预报性能评估。随着台风预报科技支撑的不断增加,应用于实际业务预报的产品日渐增多,但良莠不齐,常给预报员及决策者在有限的业务时效内做出选择和判断造成严重干扰,了解和掌握各预报方法的系统性误差(性能)无疑具有重要的业务实用价值。另一方面,性能评估信息可供方法研制者进行有针对性的改进研发,从而不断推动相关技术的业务应用,有利于科学问题的发现并促进台风学科的发展。有鉴于此,WGM自2010年设立“登陆台风预报性能检验”(于2012年起改为台风业务预报性能检验)项目,由中国气象局上海台风研究所(STI/CMA)牵头组织实施。项目结合WMO登陆台风预报示范项目(TLFDP),与WMO预报评估专家组合作,研究建立了较完备的台风预报性能评估指标体系,评估指标和技术被WMO相关技术手册收录(http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/WWRP2009-1_web_CD.pdf)。

在此基础上,对西北太平洋(含南海)地区的各类台风主客观预报方法的性能进行实时评估,并通过WMO-TLFDP网站实时共享。形成的台风预报性能分析评估年度报告,自2013年起提交台风委员会的年度会议并做大会报告,已成为台风委员会制定战略计划和年度优先工作计划的重要参考依据,并受到WMO的高度关注,STI/CMA申请成为WMO台风预报性能评估牵头中心(Lead Center for Tropical Cyclone Forecast Verification, LC-TCFV)的工作也已取得阶段性成果。

(ii) 台风预报效益评估。预报精度是制约防台减灾效果的关键环节之一。然而,预报精度的提高对于减轻台风灾害的效益到底如何则不得而知。有鉴于此,2015年起,中国气象局上海台风研究所牵头承担WGDRR的年度优先工作计划项目,开展台风预报的防台减灾效益评估研究,包括:对台风降水和大风与台风综合灾情指数的关系研究,分析了台风路径和强度预报误差与台风灾情减小间的关系。

以中国内地为例,项目组对台风路径和强度预报的效益(减少直接经济损失)进行了初步的评估,结果表明:当前,对于中国内地近海及登陆台风的24 h预报,路径预报

误差每减小1 km约能减少因台风造成的直接经济损失1亿元人民币,强度误差每减小1 m/s约能减少4亿元人民币的直接经济损失。

由于业务需要,马来西亚于2018年继续通过奖学金计划派出专家赴沪进行了为期一个月的访问研究。完成一期台风预报与服务效益评估问卷调查,于2019年提交防台减灾效益评估报告。项目组将继续与会员合作,通过分析台风(路径、强度和风雨分布)预报误差与台风灾害的关系来评估国家台风预报精度提高的减损效益,并尝试开展“投入/减损”比的分析评估研究,为会员及台风委员会制定战略计划提供可量化的参考依据。

(iii) 台风气候变化评估。随着IPCC评估报告的影响不断扩大,全球变暖背景下的台风是否增多增强等受到国际社会的广泛关注,科学界对此仍远未达成共识。作为权威的区域国际合作官方组织的台风委员会,理应发出自己的声音。为此,WGM自2009年设立“全球气候变化对亚太区域台风活动影响的评估”(assessment report on the impact of climate change on tropical cyclone in Typhoon Committee region)项目,并组建了由中国内地、日本、韩国、美国、中国香港科学家组成的编写小组(上海台风研究所的专家任组长,澳门地球物理暨气象局的专家任联络员)。已分别于2010和2013年,以台风委员会的名义发布了第一、第二份评估报告(TC-AR1, TC-AR2)。有别于IPCC评估报告仅依据已发表的论文进行评述不同,台风委员会的评估报告包括了各会员的业务分析结果,特别是台风对会员的风雨潮灾等影响,并分析了不同机构的最佳数据集在台风定位定强上的差异及其对评估结论的影响,主要结论已在台风委员会的专业学术期刊*Tropical Cyclone Research and Review*发表并被IPCC-AR5引用,极大地提高了台风委员会的影响力,也在WMO产生较好的影响^[11,12]。第3次评估报告(TC-AR3)已于2014年启动,目前已拟定了报告的编写计划和报告提纲、收集了相关领域的科研论文及委员会各成员以本地语言发表的论文、完成了相关章节的初稿。2018年12月在中国澳门召开了编写专家组会议,最终的TC-AR3报告将于2020年召开的台风委员会第52次年会上发布。

水利部还于2018年起,联合南京水利科学研究院承担了WGH的年度优先工作计划“气候变化对台风委员会成员干旱趋势的影响”项目,主要内容为将南京水利科学研究院的相关研究拓展到台风委员会会员,提示气候变化条件下的干旱发展趋势。

5 搭建交流平台并开展区域培训等

(i) 搭建台风业务交流平台。台风委员会十分重视会员间(特别是预报业务人员)的交流与互动,中国气象局(国家气象信息中心)曾于2009年承担委员会关于亚太区域气象通信系统改进的项目,国家气象中心则在会员间的预

报员互动及业务会商等方面做了大量有成效的工作。自 2013 年与越南等会员建立了登陆台风预报意见交流机制,国家气象中心通过电子邮件及时向越南提供“海燕”台风的逐时定位及强度信息,协助越南国家水文和气象局台风预报及灾害影响评估、动员社会力量进行有效防御、应对媒体等工作;2018 年建立了中国气象局与香港天文台、澳门地球物理暨气象局间的实时可视会商机制。

上海台风研究所于 2009 年牵头承担 WGM“基于网络的台风论坛”(Web-based Typhoon Forum, WTF)项目,旨在为建立会员间台风监测预报信息的实时交流机制。项目实施以来,已搭建起了实时信息交换、历史信息检索和针对业务问题进行实时讨论的平台,共有来自 11 个会员的 65 名代表注册使用。自 2017 年,与位于秘书处的台风委员会网站建立了链接,并向公众开放。此外,为进一步完善和拓展会员间的实时交流渠道, HKO 与 CMA 联合于 2017 年搭建了基于移动互联网的台风信息实时交流平台“collaborative discussion(CoDi) platform on tropical cyclone analysis and forecast”,使预报员间的交流更为便捷。2018 年起, WTF 与 CoDi 平台合并。

此外,国家气象中心和上海台风研究所还通过设立奖学金访问计划、设置 *Tropical Cyclone Research and Review* 学术期刊客座编辑等方式,资助东南亚地区的会员来华进行台风业务预报培训和短期客座访问研究。中国气象局还与南京信息工程大学联合,依托 2012 年设立的台风委员会培训中心,开展了 11 期防台减灾新技术专题培训(学员共计 318 人)。这些培训,在为相关会员提供技术援助的同时,也扩大了我国防台减灾技术和产品的辐射力及国际影响力。

(ii) 创办专业学术期刊。众所周知,台风位居全球十大自然灾害之首,为更好、更全面、更及时地发表台风各相关领域的科学研究和业务技术开发的进展,促进科技成果的业务转化和亚太及全球台风灾害联防,中国气象局(上海台风研究所)与台风委员会秘书处紧密合作,经过 2 年多的策划,于 2012 年创办了亚太台风委员会的国际学术期刊《热带气旋研究与评论》(*Tropical Cyclone Research and Review, TCRR*)。编辑部设在 STI/CMA,并设置了客座编辑制度,即由台风委员会和 STI/CMA 共同资助,从台风委员会会员推荐的专家中遴选,择优邀请其赴编辑部进行客座并承担相应的编辑工作,至今已有 12 位来自韩国、泰国、菲律宾、美国、越南和老挝等会员的专家应邀来访并分别进行了为期一周的客座编辑工作,既提高了期刊的编审质量,又扩大了上海台风研究所及中国内地在台风科学

研究领域的国际影响。

TCRR 自创刊以来,始终坚持国际一流期刊的高标准,坚持编委会、审稿专家和作者的国际化,至今已发表 100 多篇高水平的台风专业研究论文,受到 WMO, ESCAP 等的好评和国际台风界的广泛关注,美国和澳大利亚等国的作者和读者群也不断增加(美国的全文下载数超过总量的 50%)。继中国知网(CNKI)将其收录至期刊全文数据库后,中国科爱公司与编辑部于 2017 年签署 *TCRR* 推介合作协议,同年 *TCRR* 成为“新兴资源引用索引”(Emerging Sources Citation Index, ESCI)的源刊。为纪念台风委员会成立 50 周年, *TCRR* 在 2018 年出版特刊,其中第一期特刊已于 2018 年 2 月在越南召开的委员会第 50 次会议上发布。目前,由中国承办的 *TCRR* 正逐渐成为亚太乃至全球范围内有影响力的台风专业学术期刊。

6 结语

1968 年成立的亚太经社会/世界气象组织台风委员会,搭建了会员间技术合作与交流的平台,中国是台风委员会的创始会员之一,始终积极推动台风委员会的改革与发展、运行机制、技术交流与培训等各方面的工作,并依托气象等工作组,为区域内防台减灾关键技术的进步和台风监测预报预警能力提升做出了重要贡献。特别是近 10 年(2009~2018 年)以来,创新性地发展了火箭弹下投探空等台风直接探测新技术,并使基于预报的敏感性观测成为可能;组织实施了台风强度变化的科学试验,开展了基于多源观测资料的台风结构和强度变化的分析研究,促进了台风学科和台风定强等基础业务的发展;高分辨率台风模式及集合预报等关键技术研究取得新的显著进展,业务平台的建设促进了最新研究成果的业务应用和技术培训,台风预报误差普遍较 10 年前减小了 30% 以上,近 3 年中央气象台的 24 h 台风路径预报误差已降至 70 km 左右(处于国际最好水平);南海热带气旋强度分析及命名问题的讨论,推进了台风生成预报的进步,使区域内的台风预报时效显著延长,为业务防台减灾决策赢得了宝贵的时间;台风气候变化评估报告的权威发布和专业学术期刊的创办,极大提升了我国及台风委员会的国际影响力。

展望未来,中国气象局正大力推进的 WMO 热带气旋预报检验中心和 UNESCAP/WMO 台风研究中心等的建设,必将成为中国进一步提升国际影响力并为委员会做出更大贡献的新抓手。

致谢

感谢气象、水文和防灾减灾等各工作组的所有联络人和各优先工作专项负责人(特别是中国气象局上海台风研究所的周鼎、王栋梁、陈国民、余晖、应明、赵兵科、曾智华、汤杰、鲁小琴、李永平,国家气象中心的王晴、向纯怡、董林,广州热带海洋气象研究所的陈子通等)的共同努力;感谢世界气象组织热带气旋处(WMO TCP)、世界气象组织亚洲和西南太平洋区域办公室(WMO RAP)、委员会秘书处、委员会所有会员,特别是中国气象局(国

际司、预报司、上海台风研究所、国家气象中心、广州热带海洋气象研究所)和水利部信息中心及应急管理部国家减灾中心等对台风委员会各项工作的大力支持;感谢国家重点研发计划(2018YFC1506400)和全球变化与海气相互作用项目(GASI-IPOVAI-04)资助.

推荐阅读文献

- 1 Chen L S, Ding Y H. Introduction on the Typhoon Activities in the Western Pacific (in Chinese). Beijing: Science Press, 1979. 25–30 [陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论. 北京: 科学出版社, 1979. 25–30]
- 2 Lei X T, Zhou X. Summary of retired typhoon within the western North Pacific Ocean. *Trop Cyclone Res Rev*, 2012, 1: 23–32
- 3 Lei X T, Overview of the development history of China's typhoon research and operational work in the past century (in Chinese). *Sci Sin Terr*, 2019, doi: 10.1360/N072018-00176 [雷小途. 中国台风科研业务百年发展历程概述. 中国科学: 地球科学, 2019, doi: 10.1360/N072018-00176]
- 4 Liu J P, Yu J X. The chronicle of events of the ESCAP/WMO Typhoon Committee from 1968–2017. *Trop Cyclone Res Rev*, 2018, 7: 70–81
- 5 Lei X T, Fong C, Malano V B, et al. Overview on the progress of working group on meteorology of ESCAP/WMO Typhoon Committee in the recent 10 years. *Trop Cyclone Res Rev*, 2019, 8: 90–100
- 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. *Trop Cyclone Res Rev*, 2013, 2: 149–158
- 7 Elsberry R L, Lambert T D B, Boothe M A. Accuracy of Atlantic and Eastern North Pacific tropical cyclone intensity forecast guidance. *Weather Forecast*, 2007, 22: 747–762
- 8 Lei X T, Wong W K, Fong C. A challenge of the experiment on typhoon intensity change in coastal area. *Trop Cyclone Res Rev*, 2017, 6: 94–97
- 9 Lei X T, Lei M, Zhao B K, et al. New technology and experiment of rocket dropsondes for typhoon observation (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2017, 62: 3789–3796 [雷小途, 雷明, 赵兵科, 等. 火箭下投探测台风气象参数新技术及初步试验. 科学通报, 2017, 62: 3789–3796]
- 10 Zhou L, Chen D K, Lei X T, et al. Progress and perspective on interactions between ocean and typhoon (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2019, 64: 60–72 [周磊, 陈大可, 雷小途, 等. 海洋与台风相互作用研究进展. 科学通报, 2019, 64: 60–72]
- 11 Lee T C, Knutson T R, Kamahori H, et al. Impacts of climate change on tropical cyclones in the western North Pacific basin. Part I: Past observations. *Trop Cyclone Res Rev*, 2012, 1: 213–230
- 12 Ying M, Knutson T R, Kamahori H, et al. Impacts of climate change on tropical cyclones in the western North Pacific basin. Part II: Late twenty-first century projections. *Trop Cyclone Res Rev*, 2012, 1: 231–241

Summary for “亚太防台减灾中国主要贡献概述”

Overview of the Chinese contributions on typhoon-related disaster reduction for Asia-Pacific region

Meiyan Jiao¹, Xiaotu Lei^{2,3*}, Jun Yu¹ & Chuanhai Qian⁴

¹ China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;

² Shanghai Typhoon Institute of China Meteorological Administration, Shanghai 200030, China;

³ Shanghai Meteorological Service, Shanghai 200030, China;

⁴ Typhoon and Marine Weather Forecast Center of National Meteorological Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

* Corresponding author, E-mail: leixt@typhoon.org.cn

The Northwest Pacific has the highest typhoon activity in the world, and is also one of the areas suffering the most severe typhoon disasters. In 1968, the U.N. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UNESCAP) and the World Meteorological Organization (WMO) jointly established the UNESCAP/WMO Typhoon Committee. The Committee seeks to strengthen cooperation in joint prevention against typhoons among countries in the region and to improve the capability of typhoon monitoring, forecasting, and early warning systems. As one of the founding members of the UNESCAP/WMO Typhoon Committee, China has played an indispensable role in international cooperation in typhoon disaster prevention and mitigation and the development of the Committee in the Asia-Pacific region. This paper briefly summarizes China's great contributions to the reform of the Typhoon Committee, typhoon naming rules, promotion of information sharing, and research and development of key technologies for typhoon monitoring, forecasting, and joint disaster prevention regionally. Especially in the past ten years (2009–2018), hosting the work of the Working Group on Meteorology of UNESCAP/WMO Typhoon Committee, remarkable progress has been made in the fields of typhoon observation, scientific research, typhoon intensity analysis, development of the typhoon numerical prediction model system, coastal multi-disaster early warning standard operation procedure (SSOP), objective analysis of typhoon forecasting performance, benefit assessment of typhoon disaster prevention and mitigation, impact assessment of global climate change on typhoon activities, and so on. Initiated the international cooperation experiment of typhoon intensity change in coastal area (EXOTICCA), developed a new technique for typhoon observation that is based on dropsondes launched by long-distance rockets instead of research aircraft, and was successfully launched for the first time in the world into an offshore strong typhoon Mujigae (2015). To promote the technical cooperation and exchange of typhoon disaster prevention and mitigation regionally, China has established a discussion platform for real-time exchanges among typhoon forecasters and a professional international academic journal on typhoons under the name of UNESCAP/WMO Typhoon Committee, the *Tropical Cyclone Research and Review*, the only one academic journal of UNESCAP/WMO Typhoon Committee. This paper promotes China's deep participation in international typhoon affairs, expanding international influence, and improvement of participation in global typhoon related disaster control.

tropical cyclone, UNESCAP/WMO Typhoon Committee, typhoon-related disaster, prevention and mitigation, Asia-Pacific region

doi: 10.1360/TB-2019-0397