

台风研究领域国际合作的实践

■ 唐碧 周晶 雷小途 汤杰

中国气象局上海台风研究所近十年来的国际合作实践，尤其是合作内容、合作方式及取得的主要成果，为我国科研机构开展国际合作交流、提高国际合作水平和效率提供了有益借鉴。

热带气旋（西北太平洋热带气旋称为台风）位居全球十大自然灾害之首，受到各国政府及科学家的广泛关注，世界气象组织（WMO）自1972年起专门设立热带气旋项目处（TCP），以加强全球范围内的台风科研及防台减灾国际合作。我国是受台风侵袭最频繁的国家之一，西北太平洋海域生成的台风中约有50%影响我国，台风灾害所带来的年均直接经济损失达数百亿元，《国家中长期科技发展纲要（2006—2020年）》将台风灾害列为影响我国国家公共安全的主要自然灾害之一。因此，如何充分利用全球台风科学研究成果，提高台风预报能力，减少台风造成的灾害损失，科学有效防御台风灾害是我国防台减灾亟需解决的问题，也是我国加强台风国际合作的必然要求。

上海自开埠以来，一直是我国对外开放和学术交流的前沿阵地。早在19世纪70年代，时任徐家汇观象台的能恩斯台长就十分重视气象情报的国际交换，并成功绘制了全球第一张东亚天气图、全世界第一张台风结构素描图（其眼结构特征与后来的卫星台风图像极为相像），还制作了西北太平洋地区第一份台风路径预报。上海台风研究所（简称“台风所”）自1978年成立以来，秉承了徐家汇观象台在国际合作方面的优良传统，始终积极参与台风领域的国际合作，特别是近十年来，承担了我国台风国际交流与合作的重任，在引进国际先进技术、促进我国台风科学研究、提升防台减灾关键技术研发、扩大我国在国际台风领域的影响力和话语权等方面均做出了重要贡献。

1 国际台风研究热点

近几十年来，随着卫星和雷达等资料的广泛应用，高分辨率数值模式预报能力的提高以及对热带气旋发生发展机制的深入理解，热带气旋路径预报水平已经逐步提高，而与之形成鲜明对比的是热带气旋强度预报水平却进步缓慢。究其原因之一，是由于针对热带气旋的观测资料（特别是在海洋上）相对匮

乏，导致无法清楚地认识热带气旋的发展演变过程。因此，近年来国内外开展了多个针对热带气旋大型外场观测试验，如美国多年来连续开展的TCM-90和Typhoon-90试验，RAINEX（Hurricane Rainband and Intensity Change Experiment），以及近年来以美国飓风研究中心（HRD）为核心针对飓风强度观测试验HIFX（Hurricane Intensity Forecasting Experiment）试验。THORPEX计划也针对西北太平洋台风开展了两季T-PARC（THORPEX-Pacific Asian Regional Campaign）试验，即TCS-08和TCS-10计划。中国台湾地区从2003年开始执行针对经过台湾岛附近区域的台风观测Dotstar（Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region）计划。

台风所作为我国唯一专门从事台风研究的国家公益性专业研究所，参与我国登陆台风科学试验（CLATEX），并且后续在“台风973”计划资助下开展了“影响登陆热带气旋强度的边界层主要物理过程特征观测试验”（TLAPFEX）。

2 主要合作形式及内容

近十几年来，上海市气象局与WMO、其他国家气象部门的国际合作活动日趋频繁。例如，上海市气象部门承担了WMO城市天气与气候服务综合示范项目（IUWCS）、登陆台风预报示范项目（TLFDP）、航空气象示范项目（AvRDP）、沿岸洪涝预报示范项目子项目（CIFDP-S）等四个示范项目。上海更加注重通过国际合作助推气象核心技术攻关，实现了区域高分辨率数值预报模式等重点领域的技术突破，在台风、海洋、卫星遥感以及交通、航空、健康等领域的气象应用技术水平得到了显著提高。

台风所是上海市气象局科技创新发展的重要主体，作为国家级台风科研机构，始终立足于国家和上海地方防灾减灾需求，围绕气象科技创新，在台风探测及预报技术、数值预报技术及海洋气象研究等方面

取得了一系列重大成果，这一方面为开展广泛的国际合作创造了有利条件，另一方面也受益于国际合作带来的帮助。

台风所的国际合作具有丰富的内容和广泛的代表性。近十年来，国际合作的形式主要包括参加国际会议及国际培训、组织国际学术研讨会、双边合作交流、高级研究人员互访与交流、承办国际期刊、联合开展项目合作研究等活动。内容主要包括台风观测研究、台风气候和气候变化、台风有效预报预警技术等国际台风热点问题。

台风所先后选送188人次参加各类国际会议及培训（选派或自主参加系列性会议），其中包括参加国际飓风和气候变化会议、亚洲大洋洲地球物理协会（AOGS）—美国地球物理学会（AGU）联合年会、欧洲地球物理学会（EGU）年会、国际风工程会议、热带气旋国际研讨会（IWTC）、热带气旋登陆过程国际研讨会（IWTCLP）、美国气象学会年会（AMS），最佳路径资料整编会议（IBTrACS）和热带气旋的卫星资料应用国际研讨会（IWSATC）等，以及作为世界天气研究计划中尺度天气预报研究工作组（WGM—WFR/WWRP/WMO）专家、亚太经社理事会/世界气象组织（ESCAP/WMO）台风委员会（以下简称：亚太台风委员会）气象工作组组长与亚太台风委员会气候变化评估报告专家小组组长参加每年例行召开的亚太台风委员会届会、台风委员会综合研讨会及WMO世界天气研究计划中尺度天气预报研究工作组会议等。

台风所与全球顶尖的台风研究及业务机构建立了良好的合作关系，包括美国国家大气研究中心（NCAR）、美国国家环境预报中心（NCEP）/环境模式中心（EMC）、美国国家飓风研究中心（HRD）及美国国家海洋和大气管理局地球系统研究实验室（NOAA/ESRL）、美国夏威夷大学国际太平洋研究中心（IPRC）、美国犹他大学、韩国气象厅（KMA）、澳大利亚气象局天气与气候研究中心（CAWCR）以及欧洲中期天气预报中心（ECMWF）等。近十年来，共选派科研人员26人次赴上述国际台风研究及业务机构访问研究。同时邀请境外知名专家和学者来所访问交流，来访人次达108人次。通过与同行专家和学者的面对面交流，针对性地启发了全所人员、特别是青年科研人员的工作思路，从而促进青年科研人员的快速成长和进步。

台风所承担了多项双边合作项目，其中包括中韩、中美、中澳双边合作。尤其是自2008年起，中韩双边合作每年轮流在韩方、中方举办热带气旋联合研

讨会，至今已举办十届；自2013年起，中美双边合作和中澳双边合作每年均选派专家学者互访交流，开展台风观测研究、台风有效预报预警技术的合作研究。

台风所主办或承办国际及双边会议共18次，其中包括第二届国际热带气旋登陆过程研讨会、热带气旋国际学术研讨会、中韩热带气旋联合研讨会、WMO登陆台风预报示范项目培训班、两岸台风暴雨合作项目2010年学术交流研讨会、台风委员会气候变化评估报告专家组会议、台风数值预报技术重点实验室会议、区域高分辨率数值预报创新中心国际咨询委员会会议、近海台风强度变化科学试验会议、WMO世界天气研究计划登陆台风示范项目会议等。通过国际重大学术会议的组织工作，不断增强了台风所科研人员的对外交流能力和工作组织能力，从而有力提升了台风所在全球同行界的影响力，拓宽了与境外知名机构的合作空间与前景，为我国台风研究领域人才队伍的发展提供广阔的平台与良机。

3 主要合作成果

3.1 研发移植先进的台风模式与系统

台风所近年来多次选派科研人员赴HRD、NOAA/ESRL、NCEP/EMC及美国国家大气研究中心研究应用实验室（NCAR/RAL）进行了访问研究。

在HRD访问研究期间，台风所科研人员开展了台风边界层滚涡研究工作，在台风登陆过程中，地面边界层常伴有具有很强致灾能力的滚涡活动，并且台风内核区域以及滚涡活动区域的湍流通量是其他区域的3~7倍，该成果将被用于HRD专家参与开发的下一版本HWRf模式的湍流边界层参数化方案中。在NOAA/ESRL访问期间，科研人员开展了数值模式中云微物理过程中各种水凝物之间的转换过程的诊断研究，利用美国已有的工作成果，对WDM6方案和Morrison的2个双参数化方案的数浓度收支进行了诊断研究，并利用单柱的WRF模式进行了理想台风试验，为后续在台风所台风业务模式中应用双参数微物理过程打下扎实的理论基础，并开展了高分辨率条件下次网格降水参数化的研究，初步发展了一个考虑次网格降水深对流效应的方法，并应用于WSM6微物理过程中。在NCEP访问期间，与合作专家合作发展了一个利用卫星资料重构台风三维结构的新方案，构建的台风涡旋结构可以与目前的HWRf优化涡旋组合，通过理想试验发现新方案构建的台风涡旋具有更高的合理性，台风个例测试结果表明新方案能有效提高台风预报能力。在NCAR/RAL访问期间，继续开发了新的台风路径预报检验指标TFID（Typhoon Forecast Integral

Deviation), TFID台风路径预报检验指标旨在检验台风路径预报与实际台风路径整体偏差情况, 把该指标结合原路径误差指标使用, 能更加准确的评判某次台风路径预报的“优”与“劣”, 计划将该检验指标移植到新版的MET-TC中去。

3.2 联合开展项目研究并发表高质量的研究论文

近十年来, 台风所与美国科研业务机构合作密切, 联合申请并获资助项目共四项, 分别是WMO示范项目“WMO Landfall Typhoon Forecast Demonstration Project”、亚太台风委员会项目“近海台风强度变化科学试验”、国家自然科学基金项目海外及港澳学者合作研究基金“热带气旋边界层精细结构及动力学过程观测分析研究”及政府间国际合作项目“新一代数值预报模式分辨率自适应物理过程的研究”, 并分别取得了重大进展。在此基础上, 通过赴境外访问交流, 上海台风所与境外专家学者联合发表SCI论文30余篇, 内容涉及台风观测研究、台风气候和气候变化、台风有效预报预警技术等国际热点。

WMO登陆台风预报示范项目(网址: <http://tlfdp.typhoon.gov.cn/>)自2010年立项至今已第三期(图1), 已建成了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。该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, 已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。



图1 WMO登陆台风预报示范项目网站

“近海台风强度变化科学试验(EXOTICCA)”项目于2014年正式立项(图2), 受中国气象局指

派, 该项目由台风所与香港天文台联合开展, 该项目旨在提高近海台风定强和强度预报能力。项目实施以来, 台风所使用移动GPS探空等设备对所有登陆华东的台风进行了“追风”观测, 并依托其他国家级项目与海洋部门合作在南海北部布设浮标阵列并成功捕获了超强台风“威马逊”和强台风“海鸥”的海气边界层通量观测资料, 并与相关单位合作研制了火箭弹等新型台风探测系统, 于2015年10月在海南成功实施了全球首例火箭弹探测台风的科学试验。香港天文台则使用搜救飞机进行了台风的飞行探测试验, 并于2016年尝试了飞机下投探空试验获得成功。

Footprints of EXOTICCA :

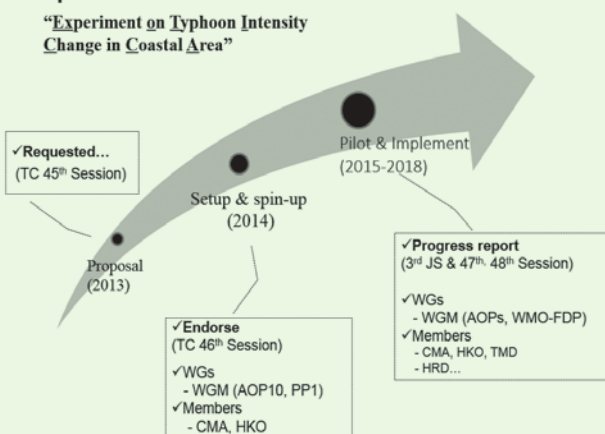


图2 台风委员会近海台风强度变化科学试验项目路线图

新一代数值预报模式分辨率自适应物理过程的研究项目于2017年正式立项, 是国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项, 该项目依托上海市气象局数值预报创新中心, 与NOAA/ESRL开展合作研究, 发展适用于高分辨率的分辨率自适应的物理过程方案, 包括分辨率自适应的云物理方案、次网格混合(包括边界层混合)过程和云-辐射相互作用; 各主要物理过程的定量预报不确定性所需的随机物理过程模拟及总体物理过程包的研发。目标是发展一个统一的包含湍流参数化方案, 次网格对流云参数化、微物理过程等物理过程及其相互作用的一致性方案, 为发展公里级高分辨率天气预报业务模式提供物理过程方面的理论依据和实践基础。

此外, 台风所科研人员参与编写的气候变化评估报告, 2010年以台风委员会的名义发布的第一份评估报告等在WMO产生较好影响。自2011年起, WGM组织了第2次评估报告的撰写, 成立了由台风所专家任组长的撰写专家组, 于2013年在台风委员会第45次届会上发布了第二份评估报告, 其中2012年在《热带气旋研究与评论》上发表的2篇相关论文被IPCC第五次

评估报告 (AR5) 引用, 极大地提高了台风委员会的影响力。第3次评估报告已于2014年启动, 并且仍由台风所的专家任组长, 有效提升了台风所在国际台风界的影响力, 报告将于2017—2018年IPCC第六次评估报告 (AR6) 之前发布。

3.3 大力培养台风科学领域的高端人才

近十年来, 台风所共有多人赴美进行一年期的工作访问, 中长期的访问研究更有利提高台风所科研人员的业务科研能力, 加快了青年科研人员快速成长为科研骨干或学术带头人的脚步。由台风所承担的WMO登陆台风预报示范项目分别于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, 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10多位专家给培训学员进行了授课, 与会专家就WMO登陆台风预报示范项目的应用与实践、上海台风早期预警系统及台风路径、强度、降水预报检验分析应用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。此外, 台风所还执行了亚太台风委员会奖学金计划, 对获得奖学金的来自朝鲜、越南、泰国等国的台风科研人员进行辅助培训, 为亚太台风委员会事务作出贡献。

3.4 编辑出版了台风委员会期刊 *Tropical Cyclone Research and Review*

由亚太经社会/世界气象组织 (ESCAP/WMO) 台风委员会以及台风所联合主办的季刊 *Tropical Cyclone Research and Review* (图3, 网址: <http://tcrr.typhoon.gov.cn>) 创刊于2012年2月, 是目前国际上唯一专注发表台风相关论文的英文学术期刊, 由亚太台风委员会气象工作组组长雷小途研究员与台风委员会秘书长 Jixin Yu 先生担任主编, 编委会由来自中国、美国、韩国、马来西亚、泰国、越南、日本等14个台风委员会成员国的40位专家组成, 国际编委占85%。内容涉及台风强度及结构、历史台风回顾、台风业务预报方法评估、台风引发

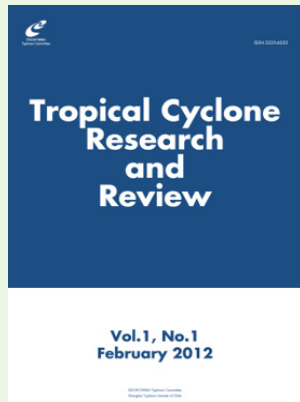


图3 *Tropical Cyclone Research and Review* (TCRR) 创刊号

的风暴潮与洪水、台风气候、台风相关的风险管理、台风实际业务介绍、台风形成、台风降水以及有关台风的项目介绍等各个方面。至今已出版发行18期, 是台风所在国际台风防灾减灾方面作出的贡献之一。2014年, 台风所荣获UNESCAP/WMO台风委员会颁发的“金塔纳减灾奖”。通过承担该刊物的编辑、出版等工作, 必将能够为进一步提升台风所的国际知名度与影响力创造更多良机。

4 结语

本文主要介绍了台风所近十年通过承担国际合作项目、参与国际组织及相关专家组、邀请境外专家来访交流和委派科研人员出访合作交流等方式在台风观测研究、台风气候和气候变化、台风有效预报预警技术等国际台风热点研究领域开展的国际交流及取得的成果, 包括促进双边及多边合作, 提升我国台风领域的科研业务能力, 扩大我国科研机构的国际影响力, 培养具有国际视眼的科技人才等。

目前国家各类政策越来越有利于国际合作, 我们应更加强国际合作, 充分发挥上海台风所主持的中美、中韩、中澳等双边合作项目的的作用, 加强“内联外合”, 发起并组织实施有影响力的国际合作项目, 为保障和维护我国海洋权益, 为“海上丝绸之路”等国家战略提供应有的气象保障。

致谢: 本文由国家自然科学基金项目 (41528501) 和“全球变化与海气相互作用”专项国际合作项目 (GASI-IPOVAI-04) 共同资助。

深入阅读

- Elsberry R L. 1990. International Experiments to Study Tropical Cyclones in the Western North Pacific. *Bull Amer Meteor Soc*, 71: 1305-1316.
- WMO/WWRP/JWGFVR. Verification Methods for Tropical Cyclone Forecasts, 2013, 7.
- 陈联寿. 2004. CLATEX 计划及登陆台风研究进展. 中国气象学会 2004年年会.
- 陈联寿, 孟智勇. 2010. 我国热带气旋研究十年进展. *大气科学*, 25(3): 420-432.
- 端义宏, 余晖, 伍荣生. 2005. 热带气旋强度变化研究进展. *气象学报*, 63(5): 636-645.
- 雷小途, 余晖. 2015. WMO登陆台风预报示范项目研究进展. *气象科技进展*, 5(2): 18-23.
- 汤杰. 2016. 赴美国飓风研究中心客座研究总结. *气象科技合作动态*, 增刊1: 26-32.
- 唐碧, 李泓, 陈佩燕, 等. 2015. 第8届中韩热带气旋联合研讨会简介. *气象科技合作动态*, 增刊: 15-20.

(作者单位: 中国气象局上海台风研究所)