

中国气象局上海台风研究所

2017 年年报

2018 年 3 月

目 录

概述	1
一、 科研工作进展	3
二、 基础条件与科研能力建设.....	37
三、 野外科学试验	37
四、 科研成果转化	37
五、 论文发表情况	38
六、 学术期刊	38
七、 学术交流活动	39
八、 科研合作情况	40
九、 人才队伍与团队建设	43
十、 党风廉政建设和科研文化建设.....	43
十一、 大事记	41
附表：机构基本情况	51

概述

在上海市气象局党组的正确领导下，在中国气象局科技与气候变化司及上海市气象局各职能处室和兄弟单位的指导和协助下，在台风所全所职工的共同努力下，台风所坚持“国内一流、国际有影响”的战略定位，开拓创新，致力于台风、海洋气象和区域数值预报等优势学科领域的应用基础及核心关键技术研究，不断提高服务国家防台减灾和上海气象现代化建设的科技支撑，已较好地完成了全年的工作任务、达到预期目标。现总结如下：

承担并完成中国气象局的业务工作：完成《西北太平洋热带气旋年鉴》的整编，承担“上海台风数值预报模式系统”的业务运维并参加全国发报，“承担华东区域数值预报模式系统”的业务运维及产品实时接入国家气象中心业务平台使用，承担“台风短期气候预测业务系统”的运维并多次参加国家气候中心关于汛期西北太平洋及影响中国台风的预测会商、上海局及华东区域的汛期短期气候预测会商，同时承担“台风定位定强及预报性能评估业务系统”、全球、西北太平洋及近岸港口海浪和风暴潮等数值预报系统、“台风检索系统”、“中国台风网”及“台风论坛（中文）”等的运维。全年完成《台风活动专报》编写十期，并应中国气象局台风及海洋气象预警中心的要求，年内参与其组织的全国台风专题会商若干次。完成并出版了《1981-2010 西北太平洋台风气候图集》；在台风灾情调查的基础上，开展台风气候预测和台风天气预报在巨灾保险中的应用研究。

科研基础条件得到进一步夯实：在局观预处及计财处等的协助下，完成2016年修缮购置项目的近海海上观测平台修缮建设、低空无人机探测系统建设和毫米波雷达系统加装天线罩的安装建设任务；

完成了 2017 年修缮购置项目 1 架高空无人机, 1 个机载云雷达, 1 套机载探空采集系统和 1 个机载摄像机共计 1250 万元购置任务; 完成了 2018 年上海台风研究所修缮购置项目调研、答辩、申报和评审, 申报项目经费 1300 万元。此外, 年内进一步加强了与浙闽等地的合作 “中国气象局上海台风研究所温州台风预报技术应用联合实验室” 已正式运行, 位于浙江台州的 “大陈岛台风科学试验基地” 和位于福建三沙的 “中国台风外场观测基地” 建设取得重要进展, 租赁的位于近海海上 100 米梯度塔也已投入应用, 为台风基础研究和模式发展奠定了更坚实的资料基础。

重点科研项目进展顺利: 台风所年内继续重点围绕台风强度变化、高分辨率数值预报模式及台风条件下海气相互作用等科学问题开展研究工作。全年在研项目共 52 项 (其中新立项 31 项, 包括国家级项目 4 项, 省部级项目 15 项)。年内共以第一作者 (通讯作者) 发表论文 24 篇 (SCIE 收录 9 篇)。

开放合作和对外影响稳步提升: 年内, 台风所主持召开国际学术交流会议 2 次、全国性学术会议 1 次、各类课题会若干次, 参加境外国际学术会议及访问交流共 24 人次、参加国内会议共 50 人次、参加培训共 9 人次, 外国专家来访 14 人次。

一、科研工作进展

（一）科研立项情况（见附表 8、9）

除国家自然科学基金项目外，台风所年内继续围绕台风强度变化、高分辨率数值预报模式及台风条件下海气相互作用等科学问题，全年在研项目共 52 项（其中新立项 31 项，包括国家级项目 4 项，省部级项目 15 项），“973”、国家重点专项及“行业专项”等重点科研项目且进展顺利。

（二）在研项目进展情况

2017 年，在台风预报关键技术研究、台风气候预测机理研究、台风灾害影响研究、高分辨率台风模式技术研究等方面取得了较大进展，其中国家级项目主要进展如下：

1、973 计划课题——台风强度和海洋环境的海气耦合预报关键技术（已验收）

项目负责人：雷小途；项目执行时间：2013 年 1 月-2017 年 8 月。

（1）台风探测技术及资料应用取得突破性进展

开展台风条件下的海气相互作用研究的一大难题是缺少台风过程中的海上直接观测资料。在台风狂风暴雨巨浪等极端天气情况下利用常规手段进行观测非常困难。为此，中国气象局上海台风研究所与中国航天科工集团四院联合设计和研发了火箭弹下投探测台风新技术，即利用火箭/导弹作为运载工具飞越台风，并多点下投气象探空仪。为了保持火箭弹的气动外形与硬件接口基本保持不变，研究团队将有效载荷换装为装填下投式探空仪与中继转发设备的载荷舱，并对制导稳定系统和飞行控制系统等进行了台风探测的适应性改造。该火箭系统由控制系统、发动机、弹体结构和遥测系统等构成，采用车载垂直发射方案。火箭系统成功解决了高效减速、探测仪防震和云层对卫星传输信号的衰减等一系列技术难点。火箭飞越台风的过程中，将搭载的多个探空仪下投至台风内部进行探测，并将探空仪测得的数据通过 GPS 和北斗卫星经中继实时传输至地面。与美国等开展的飞机台风观测相比，火

火箭台风下投探测的优势在于：飞行高度更高，可达台风环流的顶部 15 公里以上（可根据探测需要选用射程更高和更远的火箭弹）高空，其下投探空资料对台风垂直结构描述更加完整；火箭飞行速度更快，完成一次探测飞行只需 6 分钟，所测得的资料为气象意义上台风同一时刻的状态，而飞机探测通常耗时 2 小时以上。2015 年 10 月 3 日，对 1522 号台风“彩虹”成功实施了全球首次火箭弹下投探测试验，通过在台风不同区域投放多个下投式探空，获得了大量台风内部风、温、压、湿等气象要素的直接观测资料，对比“追风”车载 GPS 探空的风廓线资料，可见：台风低层的流入和高层流出及相应的低高空急流特征明显，且两者探测的风速相近。此次试验的成功，标志着快速、精准、同时获取海上台风多部位结构信息的探测技术取得重大突破（雷小途等，火箭弹下投探测台风气象参数新技术及初步试验，科学通报，2017 年；李永平，雷小途，围捕台风，科技纵览，2017，第 4 期）。对台风内部精细结构的直接观测资料分析，加深了对台风结构变化及其对路径和强度影响的机理认识。火箭探测等新型观测资料已被应用于台风的定强与结构分析中，修正了全球主要台风业务中心关于目标台风的定强结果。该项工作证明台风直接观测资料应用将有助于改进和解决海上台风的强度结构确定等重要科研业务难题。

（2）台风边界层物理过程研究取得高水平研究成果

利用沿海超声风温仪的观测资料对台风大气边界层湍流过程进行了深入研究。对于热带气旋近地层湍流能量串级演变研究，发现边界层底部存在湍流能量串级现象，并且在靠近内核处为从小尺度到大尺度的反向串级，而较远的外围主要是从大尺度向小尺度的能量耗散。这种台风边界层内核区域和外围区域湍流能量串级不同分布的特征尚属首次发现。审稿人高度评价此项研究：“The presented results are interesting and potentially valuable for understanding the energetics and intensification of tropical cyclones（相关结果很有意义并且有利于理解热带气旋增强和能量演化机制）”。利用沿海梯度观测塔资料分析了台风“凡亚比”与“鲇鱼”边界层内动量通量的垂向分布特征，并结合协谱、湍动能的收支状况分析了影响台风边界层动量交换的物理过程。发现：不同台风地面边界层大气动量通量垂直结构存在较大差异；湍流通量的迅速增大主要来自于尺度较小的湍流贡献，它以水平平流贡献为主。依据沿海梯度观测塔上的多层高频超声风速观测数据定量分析 1013 号“鲇鱼”台风低层大气边界层动量通量逆梯度输送的观测特征。结果表明：在台风环流中虽然动量通量总体上沿梯度方向输送，但也存在一定比例的

逆梯度输送的，其发生频次与离海面高度和台风环流的不同部位有关：通常越高逆梯度输送现象越明显；在台风内部核心区域逆梯度方向输送频次最多，其次是在台风登陆以后残余环流区，台风外围环流中最少；动量逆梯度输送与水平和垂直方向上湍流低频扰动之间的相干结构密切相关：通常情况下顺风与垂直方向扰动的反位相相干特征明显，则动量通量逆梯度输送出现较少；反之，当顺风方向扰动与垂直方向扰动出现同位相变化，则易出现动量通量逆梯度输送；湍流动量通量逆梯度输送期间水平和垂直扰动的平均空间尺度分别为 258m 和 35m，时间尺度分别为 123s 和 13s，它们比沿着梯度输送的空间和时间尺度约小 1—3 倍。利用沿海梯度观测塔超声风速仪观测数据，计算了向岸风条件下海面摩擦速度随风速的变化，结果表明当风垂直海岸，并且风速大于 22 m/s 时摩擦速度随风速而减小，它小于已有普遍引用文献结果的最小值 24m/s 饱和值。同样风速条件下，风向与海岸倾斜角度越大摩擦速度越小。采用 1 分钟平均风速计算摩擦速度比通常采用几分钟平均风速计算更加合理。通过对数值模式边界层高度参数化方案的改进，提高了对台风路径和强度预报准确性。主要通过考虑入流层物理特征并结合边界层普遍存在的卷涡特点，研究提出了边界层高度参数化的动力学新方法。它比原方案更为合理。差异最大值在陆地上和海上强对流区。通过改进边界层高度描述，改善不稳定能量分布以及对流的发展，进而改进降水模拟。改进了夜间陆上边界层高度、2m 温度过高的问题。改进后的边界层高度的刻画，可影响对流发展，改进台风路径、强度模拟。利用沿海梯度观测塔提供的三个登陆台风的四层超声风速仪观测数据，研究发现地面粗糙度对阵风因子随平均风速、观测高度以及阵风时距的变化有显著影响，但对不同阵风时距最大平均风速之间的转换系数影响较小。对于较大风速的离海风，阵风因子随平均风速的增加而增大，较低风速的离海风，其阵风因子随平均风速的增加而减小。复杂下垫面地形条件下 2 ~ 10 分钟的台风强度转换系数略小于世界气象组织（WMO）基于美国平坦地形下观测统计的推荐值。

（3）台风模式海气耦合物理过程的改进有效提高了台风预报准确性

对台风海气耦合模式进一步改进，在原有的 GRAPES-TCM 中尺度台风模式和 ECOM 海洋环流模式构成的台风海气耦合模式基础上，进一步建立了一个由 GRAPES-TCM 中尺度台风模式、ECOM 海洋环流模式和 WAVEWATCH III (WW3) 海浪模式构成的新的区域中尺度台风耦合模式系统。该“耦合模式”基于 OASIS 耦合器实现台风、大洋环流、海浪模式三者间的信息交换。台风模式通过表面风应力和

净热量通量强迫ECOM, 后者将动态的SST变化作用于台风模式。台风模式还通过表面风应力、摩擦速度强迫WW 3 作用于海表粗糙度变化, 而ECOM则提供给海浪模式基本的海洋状态。通过对大量台风个例的模拟和预报, 结果表明: 海洋模式可引起SST明显下降, 进而影响海-气热量通量, 导致TC强度减弱; 而海浪模式的引入主要引起海表粗糙度的变化, 改变海-气动量通量的交换, 进而影响TC的强度和结构。特别是通过采用分粒径段组合方式对海洋飞沫生成函数进行改进, 研究表明: 海气耦合模式中海洋飞沫主要通过改变海表面粗糙度与热通量而影响台风的强度与结构。应用改善后的台风海-气耦合方案, 数值模拟试验显示新方案可更好地模拟台风强度变化过程。海-气-浪耦合过程非常复杂, 气-浪耦合使热带气旋加强, 海-气耦合使热带气旋减弱, 海-气-浪耦合的结果接近海-气耦合。海浪的引入使海水上翻引起的混合加强, 导致海表降温更加明显。气-浪耦合加强海-气间热量交换, 而海-气耦合减弱海-气间热量交换, 海-气-浪耦合的结果取决于两者的平衡。海浪场的分布主要取决于风场的分布。另外, 混合层深度的增加使海表降温减弱, 但使深层海水降温增强, 上层海洋热量耗散加强, 有效波高增大。在海洋飞沫生成函数研究基础上, 形成一个新的海面拖曳系数 C_D 计算方案, 并通过海洋环流模式的数值模拟, 对比分析了台风条件下使用新的海面拖曳系数方案与模式原有Garratt (1977) 拖曳系数方案后上层海洋海温响应的差异, 结果表明: 1) 在低风速情况下, 考虑海洋飞沫因素的海面拖曳系数 C_D 与经典的Garratt (1977) 拖曳系数经验公式计算数值相近, 在台风高风速情景下, 考虑海洋飞沫因素后的 C_D 方案与经典的计算方案差别较大, 表现出随风速增长则趋缓, 约在最大风速为19 m/s附近达到饱和, 它略小于以往研究结果。随着风速进一步增大, C_D 数值逐渐减小, 它主要与高风速条件下海洋飞沫层的形成减小海面粗糙度有关。2) 对比数值模拟试验结果表明, 模式采用考虑海洋飞沫作用后新的海面拖曳系数计算方案, 减弱了大气对上层海洋的动力强迫, 通过与南海浮标列阵的观测比较, 表明采用新方案后模式能更好地反映台风条件下上层海洋的温度降温幅度、混合层加深幅度、温跃层强度减弱等上层海洋要素变化的观测特征。该研究结果对于深入认识海气动量交换过程的复杂性、优化台风海气耦合模式的耦合方案具有参考意义。

(4) 台风集合同化和集合预报技术的发展弥补了台风概率预报业务空白

将 EnKF-3DVAR 混合同化系统进行了业务测试，做实时资料同化和台风集合预报。系统采用冷启动的方式，背景场来自 NCEP-GFS 全球模式。台风初始化及预报步骤为：1) 利用 EnKF-3DVAR 混合同化系统同化常规及卫星等多源资料，对背景场进行更新得到分析场。在此过程中引入集合背景场提供的集合背景误差协方差，与 GSI 原静态背景场误差协方差构成混合的背景场误差协方差矩阵，其包含随流型变化 (flow-dependent) 的特性；2) 利用 ETKF 系统对集合背景扰动进行更新，得到分析扰动场；3) 将更新后的集合扰动与 1) 中得到的分析场相叠加，得到新的分析场集合成员；4) 将分析场及分析集合作为初始场，同时考虑物理参数化方案的不确定性做 21 个成员的集合预报。对 2016 年-2017 年的台风进行了实时准业务预报，系统覆盖范围为西北太平洋 $0 \sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $105 \sim 160^{\circ}\text{E}$ ，水平 274×226 格点，分辨率 27km。垂直方向 36 层，模式层顶高度为 20mb。20 个集合成员加一个控制预报。系统每日北京 08 时和 20 时起报两次，同化常规、非常规、卫星辐射率、MSLP 观测资料，实时提供台风预报产品。产品包含台风路径、大风、降水、形势场等的确定性预报和概率预报，并通过数值预报业务网站实时提供业务预报使用。首次基于福建和台湾海峡两岸共 7 部雷达资料，采用 3D-VAR 同化技术对台风 2009 “莫拉克” 进行数值预报研究。试验结果显示，经过四次雷达资料的循环同化后，台风涡旋初始位置、结构和水汽场分布都得到明显改进 (图 1)，经同化雷达反射率资料后，台风涡旋环流可从周边大气环境场中汲取更多的水汽，促进了台风雨带中对流的发展，使得台风尺度更大、强度更强。最终提高了后期台风路径和强度的预报准确性。

2、973计划课题——登陆台风灾害影响预（评）估方法研究

项目负责人：余晖；项目执行时间：2015年1月-2019年8月。

在登陆台风灾害的风险区划研究方面：开展了致灾因子，即台风暴雨和大风的气候特征分析，特别关注了台风极端大风和极端降水的分级占比特征；选取县级灾情质量较高的浙江省和福建省为研究区域，建立了台风致灾因子强度指数、承灾体脆弱性指数以及台风灾害综合风险指数，并在此基础上进行了风险区划；依据农田受淹光谱模拟实验及台风过境前后的 MODIS 反射率产品，构建了台风过境前后农作物生长的归一化植被指数时间序列，提出了农作物恢复生长指数，建立了农田受灾程度的半定量估算技术方案。

在地质灾害时空分布分析和区划方面:对降水诱发的地质灾害及台风诱发地质灾害的灾点进行了时空分布分析,完成了滑坡、泥石流的时空分布特征分析;根据地质灾点位置及台风降水分布情况的综合分析,将全国划分为的台风诱发地质灾害频发区及非频发区;完成了对台风诱发地质灾害的临界雨量、累计雨量、最大小时雨强等降水特征分析,得到了地质灾害发生的临界预警值,建立了地质灾害经验性预报模型,并进行了不确定性估计。

在城市登陆台风积涝和风灾风险的预评估技术研究方面:开展了台风随机强度和路径模拟技术研究,为基于台风风场模型的基本风速评估提供数据支持;对登陆台风海-陆条件下的拖曳系数进行了研究,建立了考虑地形影响的工程台风风场模型(STI-ETYM),并进一步开展了登陆台风风场降尺度技术研究,研制提出了登陆台风极端大风和极端降水的风险预估技术。

(1) 台风灾害综合风险指数研究

将浙江、福建省台风致灾因子综合强度指数和人口脆弱性指数进行标准化分析,并定义台风灾害综合风险指数 $R = \text{致灾因子风险指数 } I \times \text{脆弱性指数 } SoVI$ (图3左),得到了浙江、福建省台风灾害综合强度指数(图3右)。对比灾情分布状况,发现该指数能够较好的反映出浙江、福建省的台风灾情的分布状况,尤其是东南沿海岸线的区县,高低值中心对应较好,可供台风灾害风险区划参考。

(2) 基于地面高光谱实验和卫星遥感的台风过境耕地受淹面积估算与深度反演

台风带来的狂风暴雨使农田作物倒伏受淹,不能恢复正常生长导致减产甚至绝收。实现对台风后农田种植区域受灾信息的快速精准提取,成为当前亟待解决的问题。本研究依据农田受淹光谱模拟实验及台风过境前后的 MODIS 反射率产品,实现了2013年10月7日台风“菲特”登陆后,浙江省和上海市农田种植区域淹水深度及受灾面积提取。首先,进行了农田受淹模拟实验,通过控制农作物的生长状态(倒伏或直立)和淹水深度(0cm、10cm、20cm、30cm、40cm),模拟农田不同受淹环境,并利用地物波谱仪测得农田光谱反射率,通过分析不同光谱特征值如归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、增强植被指数(Enhanced Vegetation Index, EVI)、归一化水体指数(Normalized Difference Water Index, NDWI)、改良地表水指数(Modified Land Surface Water Index, MLSWI)等对水深的敏感性,建立了农田受淹水深地面估算线性模型。其次,实现了2013年10月12日研究区域全局500m分辨率农

田种植区域淹水深度反演（图 4）。将 20 个地面气象站点监测的台风过程累积降水量与站点附近 5 个像元内的农田种植区域水淹深度值进行对比分析，发现模型估算水深与实测累积降水量线性关系明显（ $R^2=0.59$ ），表明研究所建立的倒伏农田淹水深度模型精度可靠。最后，构建了台风过境前后农作物生长的 NDVI 时间序列，通过分析不同淹水深度对应的农作物恢复特征，提出了农作物恢复生长指数(Recovery Growth Index , RGI)，使农田受灾程度的半定量估算成为可能。

（3）台风和非台风地质灾害的对比分析及预测模型

对比分析台风和非台风降雨诱发地质灾害，发现：非台风降雨的当日雨量等级分布较为分散，在大部分雨量等级范围内均有不同次数的灾害发生；随着滑动天数向前持续增加，累积雨量的分布等级同时呈现带状缓慢增长，50mm 等级及以下的降水量随着累计天数向前增加收敛很快，可以为预报消空提供依据；台风诱发的地质灾害当日雨量及最大雨强均普遍高于非台风区域；在同样的降雨持续时间下，台风区域内的降水诱发地质灾害需要更大的平均雨强。

统计非台风区域内诱发地质灾害发生的临界雨量与累计雨量的关系，发现累计雨量超过 75mm 且临界雨量超过 10mm，或累计雨量超过 110mm，或临界雨量超过 80mm 是降雨诱发地质灾害的必要条件；台风区域内临界雨量大于 50mm 或累计雨量大于 128mm 是触发灾害发生的条件。累计雨量与临界雨量呈负相关变化；即当累计雨量（临界雨量）逐渐增大时，临界雨量（累计雨量）值逐渐减小。

（4）基于动力相似方法的台风降水超阈值风险分析技术研究

采用动力与统计相结合的方法，对热带气旋引起的降水进行超阈值风险概率预报方法的研究，回算并评估了 26 个在 2012 年至 2015 年间登陆中国的热带气旋（图 5）。此外，还对该预报方法的最佳相似成员数和有效概率阈值进行敏感性实验。实验结果显示，该预报方法具有一定的技巧，能准确预报多数产生极端降水的站点，但预报范围偏大。最佳相似成员数的敏感性实验表明，80%—100% 的相似成员数比率具有更优的预报效果；在最佳相似成员数为 80% 的基础上，有效概率阈值在 0%—2% 之间的预报效果最好。

（5）城市登陆台风风灾风险的预评估技术研究

采用蒙特卡洛-马尔科夫链，模拟TC完整生消过程。通过全路径概率模型，模拟了西北太平洋1000年内的TC。对比模拟结果与观测资料，如图5和图6所示，发现受到随机抽样的随机性影响，模拟1000年的年TC数量概率分布与观测资料存在一定区别，随着模拟年数的增加，模拟结果越来越符合历史年TC数的分布规律。与观测资料相比，模拟TC的路径和强度分布结果能较好地再现路径、强度的分布规律。

针对工程实践问题，初步完成了地形参数数据库建设，开展了考虑地形影响的降尺度技术应用研究，所提出的降尺度技术方案由于效率高，可实现大区域(省级)风场降尺度，并且对地形非常敏感，如图6和图7所示。

基于业务集合预报系统的台风路径、强度集合预报,利用Georgiou风场和考虑地形的工程台风风场模型STI-ETYM，研制登陆台风极端大风及其风险预估技术，建立了登陆台风极端大风及其风险评估流程。试验结果表明，考虑地形的工程台风风场模型STI-ETYM虽然在计算时间上略长于Georgiou风场，但因其考虑了精细地形的作用，风场更接近实际。

3、国家重点研发计划项目-新一代数值预报模式分辨率自适应物理过程的研究

项目负责人：陈葆德；项目执行时间：2016年12月-2019年11月。

(1) 利用 LES 分析副热带深对流过程

利用 LES 在温带局地强对流个例的研究，多分辨率敏感性试验(水平分辨率分别为 200m, 400m, 600m, 1km, 3km)和 LES 试验开展了高分辨率条件下次网格降水参数化诊断研究,该试验在 3 小时内再现了一个局地热泡逐步发展为一个强对流系统的过程。对该过程的对流以及云的分布特征的结果表明,相比热带地区准平衡的对流系统,虽然对流上升的强度,对流系统的尺度十分接近,但云中水凝物和质量通量的垂直分布与热带对流系统有显著差异。分辨率敏感想试验结果发现不同分辨率试验模拟的湿静力能和水凝物垂直分布要到 200-m 才能和 LES 试验一致。

利用这一模拟结果的大量资料,分析了该对流系统中的次网格云特征,发现模式分辨率提高,模式的平均次网格效应逐步减弱。证实了次网格湿静力能随次

网格云量的变化关系与模式分辨率无关,可利用 Arakawa and Wu (2013)的思路进行参数化;但同时,次网格质量通量不能代表全部次网格通量,因为云内不均一导致的传输项与质量通量项相当,该项并无很好的参数化方法,这是目前深对流参数面临的重大挑战。

(2) 边界层参数化方案在“灰色区域”尺度下的适用性评估

随着数值预报模式分辨率的提高,当模式网格距与含能湍流的长度尺度相当时,模式动力过程可解析一部分湍流运动,而剩余的湍流运动仍需参数化,此时便产生了湍流参数化的“灰色区域”问题。对传统的 PBL (Planetary Boundary Layer) 方案在“灰色区域”下的适用性评估,是改进 PBL 方案以使其能够适应分辨率变化的前提和基础。本研究基于干对流边界层的大涡模拟试验,比较了 WRF (Weather Research and Forecast Model) 模式中四种常用的边界层参数化方案 [YSU (Yonsei University)、MYJ (Mellor-Yamada-Janjic)、MYNN2.5 (Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino Level 2.5)、MYNN3)] 在“灰色区域”尺度下的表现。研究表明,混合层内总热通量对所使用的参数化方案和水平分辨率均不敏感。不同参数化方案中次网格与网格通量的比例表现出对水平网格距不同的依赖性。局地 PBL 方案 (MYJ、MYNN2.5) 在混合层内的平均位温随网格距减小而增大,次网格通量随网格距减小而减小,较参考湍流场对次网格通量有所低估。YSU 方案的非局地项几乎不随水平格距改变而变化,对次网格通量的表征并未表现出较强的分辨率依赖性,且过强的非局地次网格输送使混合层内温度层结呈弱稳定,抑制了可分辨湍流输送,不易于激发次级环流。MYNN3 方案的非局地次网格通量 (负梯度输送项) 随网格距减小而减小,使其对次网格通量的表征具有较好的分辨率依赖性。PBL 方案在“灰色区域”尺度下的适用性与具体分辨率有关。以分辨率 500 m 为例,四种 PBL 方案中不存在一种最佳方案,能对边界层的热力结构和湍流统计特征均有准确的描述。

(3) 对流尺度数值预报中的云物理初始化方法改进

通过在云初始化方案中增加由地表感热和潜热通量确定的对流尺度速度作为对流判据,同时增加层云云冰云水计算方案,改进云分析方法,并基于第 2 代华东快速更新循环同化模式预报系统,针对 2015 年 4 月 28 日华东强对流个例,进行对比试验,分析了改进的云初始化方案对云分析结果和模式预报效果的影响。试验表明:在云分析中增加对流判据,使得平均 40% 左右的云分析格点

判定为非对流格点，对流格点分布与正的感热通量分布相似，在陆地上有显著日变化。在对流和层云格点判定之后，增加层云云冰、云水计算方案分析层云格点，显著地减小了模式初始场的云冰、云水混合比，有效地减弱了模式积分初始阶段云冰、云水含量的剧烈调整，尤其是在陆地区域。采用改进的云初始化方案进行预报，可以减少模式前 1 小时和前 6 小时的降水强度；尤其在个例的循环试验中，强降水中心强度和面积的预报比原方案显著减弱。

2016 年 6 月 23 日江苏阜宁龙卷的高分辨快速更新同化预报与分析。基于 3 km 水平分辨率的第二代华东快速更新循环同化预报模式系统，对 2016 年 6 月 23 日江苏阜宁龙卷个例预报结果进行了分析，通过螺旋度的时间演变等讨论了龙卷母体—对流单体发展过程，并对比了有无同化的预报结果。结果表明，快速更新循环同化系统在阜宁附近模拟出了类似龙卷母体的涡旋结构，同时伴随有剧烈的上升运动，模拟的发生时间与发展过程与实况基本吻合。但模拟的涡旋发生在江苏阜宁北侧，与观测相比偏差 20 多公里，且最大地面风速较实况小。进一步分析表明，该对流单体从中层上升运动开始，随着上升区向上和向下发展，首先在中高空出现剧烈的上升运动， z 螺旋度增大，高层辐散加强， x 螺旋度增大，随后中低空的垂直运动也增强， y 螺旋度增大，低层辐合增强，最后随着高层辐散和垂直运动的减弱，低层涡旋减弱并消散。北京时间 14:00 没有进行观测资料同化预报结果中，在阜宁附近没有预报出类似的对流单体，表明逐小时循环同化对此次龙卷天气的模拟起着关键作用。利用快速更新循环同化的业务高分辨模式模拟出 2016 年 6 月 23 日江苏阜宁龙卷天气的发生发展过程，对短临业务预报来说意义重大。

4、公益性（气象）行业专项——台风极端降水的预报技术及其可信度研究

项目负责人：余晖；项目执行时间：2015年1月-2017年12月。

收集整理我国台风极端降水事件的雷达、卫星和地面自动站等观测资料，收集典型研究个例的再分析和数值模拟等资料，建立多源的我国台风极端降水事件资料库和资料查阅、调用平台；提出台风极端降水的明确定义，分析我国台风极端降水事件的时空分布特征，并开展台风极端降水的天气学背景分型研究，认识

极端降水发生时的台风位置、强度等本体特征、环境场特征和下垫面特征；对不同天气学流型背景下的台风极端降水事件开展高分辨率数值模拟，诊断分析台风极端降水的发生机理和关键影响因子，归纳提炼台风极端降水预报的物理概念模型；研制台风极端降水的概率预报及其可信度分析技术，开发台风极端降水预报和可信度分析业务系统并开展业务应用试验。

(1) 我国台风极端降水事件资料库和应用平台建设

完成我国台风极端降水事件资料库建设：根据项目主要研究内容，设计我国台风极端降水事件资料库，并完成资料入库。该数据库共包含 10 大类数据集（35 张表），含①台风路径强度、②台风大风、③台风降水（测站降水、格点降水及极端降水阈值和产品）、④台风预报资料库、⑤卫星观测资料、⑥台风雷达观测资料、⑦台风常规观测资料、⑧TC 模式及再分析资料、⑨台风野外特种观测及⑩元数据集。其中台风降水数据集中的极端降水阈值和产品是基于台风测站降水数据分析所获得的，含台风极端降水（日降水/过程降水/最大小时雨强）阈值（概率和重现期）及根据全国和单站阈值判别生成的极端降水产品。

在本资料库中，卫星、雷达及模式再分析资料集以标准化文件形式存放，数据库进行管理；其他资料皆以二维表（逐条记录）形式入库。

完成我国台风极端降水事件资料应用平台建设：以极端降水资料库为基础支撑，完成了基于 B/S 架构的台风极端降水科学数据共享平台方案设计及实施（访问地址：<http://10.228.34.9/STID/#>）。该平台主要包含①台风降水基本查询、②极端降水查询、③极端降水阈值查询、④极端降水台风查询和⑤极端降水台风事件共 5 大功能模块，可分别实现用户针对台风序编号、影响省区（或测站）、降水量（日雨量/过程雨量/最大小时雨强）指定值域范围或是否发生极端降水及极端降水台风查询（图 8），同时可对 1949 年以来台风引发的我国大陆各省区测站发生极端降水的阈值（概率或重现期）进行查询。

该平台对用户进行分级开放，分权限实现浏览、查询、下载等共享功能。

(2) 台风极端降水时空分布特征和天气学分型研究

利用上海台风研究所整编的台风最佳路径和台风日降水资料，建立了我国极端降水台风综合指数，依据该指数确定了影响我国的 57 个极端降水台风，并统计分析了这些台风个数及强度的月际分布特征和路径特点，探讨了造成极端台风降水的台风和极端降水台风二者的关系（图 9）。研究发现：极端降水台风在上

世纪 60-70 年代及 2000 年以后相对频发，70 年代平均综合指数最高。初步确定使用 JRA0.5 再分析资料进行后期的形势分析和因子分析。

在此基础上，利用上海台风研究所(《热带气旋年鉴》、《台风年鉴》)1981-2013 年的降水资料，使用百分比法研究了影响我国热带气旋极端降水的分布状况以及台风“菲特”所带来降水的极端特性，并进行台站资料极端降水重现期的计算。结果表明：我国热带气旋降水呈现出由沿海到内陆降水阈值和极端降水重现期逐渐减少的趋势。而台风“菲特”期间的过程降水量、日降水量、每小时降水雨强超过 1981-2010 年间 95%百分位数的站点数占总站点几乎覆盖了整个浙江、上海地区。相比较而言，“菲特”影响期间日降水量的极端特性最强，“菲特”台风带来的降水可称为极端降水。

极端降水台风综合指数已投入业务应用，可对每年每个登陆台风的降水极端性进行评估，并可通过“台风科学数据共享平台”进行查询。完成台风极端降水的概率预报技术研制：基于 1959-2012 年的历史台风路径和站点降水资料，对实时的台风进行季节、初始位置和路径方面的历史相似台风检索，得出所有相似台风造成降水超过某个阈值的概率。通过该产品与集合预报相关产品的对比，可望合理评估台风极端降水概率预报的可信度。

对华南近海回旋、华东登陆和进入东北的极端降水台风进行了形势特点和台风特性分析。发现对登陆华东北上的极端降水台风，地面倒槽向北的程度以及高空强辐散的叠加非常重要。而华南近海回旋的极端降水台风，其强度通常不到台风级别，期间整个南海都有热带云团活动，显示此类台风通常处在季风槽中。而进入东北的极端降水台风，其结构在华北区域时，通常还能保持很好的对称性。

基于集合预报产品，对影响台风降水预报的因子(路径和强度的预报准确性)进行了分析和对比。初步结果表明，单一的路径预报或强度预报的准确性，似乎不足以决定台风降水技巧。基于路径误差的不同，研究集合预报系统各成员的降水预报可信度。结果表明：对同一次预报中，路径误差较小的成员，其降水预报的技巧通常会更高。上述结果可用于评估降水预报的可信度。

开发了基于极端台风降水阈值和历史重现期的台风降水指导产品，并已投入业务应用。

(3) 台风极端降水的物理概念模型研究

区分台风强度、环境垂直风切变、移速、海岸线对登陆台风降水的影响：

着重探讨台风强度与登陆台风降水分布之间的关系，区分大尺度环境场、台风强度、移动、海陆差异对登陆台风降水的可能影响。利用 TRMM 卫星降水观测资料，对 2001-2015 年 133 个登陆中国台风开展强度与降水分布之间的关系研究，研究了台风强度与降水分布特征（包括降水率、降水面积、总降水）之间的关系。研究结果显示：登陆台风强度会明显影响降水的平均特征（包括平均降水强度、平均降水面积），登陆台风强度变化与台风降水变化也有一定关系。总体来说，登陆台风强度越强（弱），平均降水强度越大（小），平均降水面积亦越大（小）；登陆后台风的强度减弱越快，台风降水量减小越快。但进一步研究发现：台风强度与最大降水的落区与强度之间关系具有不确定性，强（弱）台风并非有最大（小）的降水过程；台风强度的快速增强亦不会明显伴随台风降水率的快速加大。而且在总降水中，快速增强（快速减弱）的台风具有更高的轴对称性（非对称性）降水。

对极值降水而言，登陆台风降水最大值往往位于顺风切及顺风切左侧方位。与海上台风不同的是，台风移向、移速、强度都不会明显影响登陆台风最大降水落区。但当环境垂直风切变减弱（从大于 7.5m/s 减小为小于 5m/s）时，最大降水位置发生气旋性旋转，从顺风切和台风离岸侧变为逆风切和台风向岸一侧，尤其是在台风外围及登陆时刻更为明显（图 10）。研究成果已发表于 *Journal of Applied Meteorology and Climatology*。

选取典型登陆台风“海棠”（2005）、“韦森特”（2012）、“菲特”（2013）、“麦德姆”（2014）开展个例研究。“海棠”（2005）登陆福建省期间，其路径两侧 24 小时内累积降水呈明显非对称分布特征，基于 WRF 模式模拟“海棠”，诊断分析表明：在台风路径右侧，强烈的上升运动，将条件性对称不稳定潜在的能量释放出来，同时将低层汇聚的充沛水汽向上层输送，并产生大量的凝结潜热释放，导致台风路径右侧强降水发生。正是由于台风路径两侧的水汽条件及供应、大气稳定度、大气强迫作用以及地形强迫作用所存在的差异，导致了台风路径两侧雨强差异形成。研究成果已在 *Advance in Atmospheric Sciences* 发表。

利用雷达观测还分析了 2012 年台风“韦森特”登陆前的快速加强过程。快速加强阶段，台风处于有利的海温条件和弱风切环境下，内核区深对流的面积快速增长，直至外围螺旋雨带闭合，形成双眼墙结构。

极端降水关键物理过程及影响因子——冷空气: 完成 2013 年“菲特”极端降水的诊断分析, 杭州湾地区的降水过程分为两阶段: 1) 登陆时, 由“菲特”雨带(包括内外雨带)产生; 2) 当“菲特”中心深入内陆后, 北方冷空气的南下与来自太平洋的偏东暖气气流相互作用产生的锋面降水。研究发现 1323 号台风“菲特”在上海地区引起的降水可分为两个阶段: 第一阶属于“菲特”台风的外雨带降水; 来自北方的冷空气南嵌入“菲特”残余环流与来自海上的暖湿空气之间, 切断暖湿空气对“菲特”的输送, 最终导致“菲特”的消亡, 与此同时干冷与暖湿空气的交汇产生沿岸锋雨带(coastal front-like rainband), 当它经过上海时产生第二阶段降水, 该研究成果已发表在 *Monthly Weather Review*。

极端降水关键物理过程——雨滴谱特征: 利用世博站雨滴谱对比分析了“菲特”两阶段的雨滴微物理特征: 1) 尽管前后两阶段降雨量几乎相等, 但“菲特”外雨带产生的第一阶段对流性降水时间短、降水率大、平均粒径小、浓度高; 2) Z-R 关系显示东亚地区的台风降水比飓风降水更强(两者相同的反射率条件下), 且在第一阶段, 外雨带对流性降水与层云降水的 Z-R 关系系数较为接近, 而第二阶段的对流与层云降水差别较大; 3) 进一步分析表明, 两阶段不同的降水微物理特征与两阶段不同的降水产生机制有关, 第一段是外雨带镶嵌在源自台风眼墙的高层云降水中, 而第二阶段降水开始于锋面性的对流降水, 浅云降水紧跟其后(是由减弱的对流演变而来), 已投稿 *JGR-Atmosphere*。

极端降水关键物理过程——微物理特征: 利用双偏振雷达数据分析了“妮妲”台风一条发展较为强盛的外围雨带的微物理特征。这条雨带给经过地区带来了较强的短时降水, 3 小时累积降水量大于 50 mm。对不同阶段对流单体双偏振量的合成统计和反演的粒子空间发生频率显示, 强降水主要发生在单体成熟期, 且冰相过程是粒子增长的主要途径。不同相态粒子相对于上升气流的空间分布具有系统性, 呈层状分布。其中, 凝华过程在零度层以上处处皆存在。而聚合过程集中在 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 随着对流发展增强, 其发生位置可能会被抬高。淞附过程形成的霰和冰雹通常只会出现在含有过冷水滴的上升气流内, 在成熟阶段, 霰和冰雹的发生频率最高。成熟阶段, 活跃的淞附过程形成更多 / 大的霰和雹粒子, 可能是引发地面强降水的主要原因。研究成果已投稿至 *Geophysical Research Letter*。

并利用南汇双偏振雷达分析了 2015 年台风“天鹅”影响上海期间强降水的

微物理特征，分析结果显示，“天鹅”台风在陆地上的降水粒子尺度小于海上，而粒子浓度大于海上的降水。降水强度无太大差别，但是陆地对流发展高度略高于海上。零度层以下，陆地上的降水粒子的反射率与差分反射率同时向地面增加，表明粒子以碰并增长过程为主。

(4) 台风极端降水的概率预报技术及其可信度研究

开展极端降水的敏感性实验——数值模式分辨率：以 WRF (V3.4) 模式作为试验模式，选取典型个例“威马逊”，开展对“威马逊”2个时段（7月15日12时-17日12时）（7月16日00时-18日00时）共40个成员的三重嵌套的积分预报实验；选取15、9与3km等三种水平分辨率，针对2014年超强台风“威马逊”（1409），开展了模式水平分辨率对“威马逊”降水影响的试验。

开展极端降水的敏感性实验——初始场雷达回波同化：基于海峡两岸7部雷达资料同化及敏感性试验结果，发现经过4次循环同化雷达径向风后，台风涡旋的位置与实况更为接近，模拟台风强度有一定的提高，但台风环流内的水汽场调整不明显，进而在后期模拟中，台风尺度更小，与实况不符，导致降水覆盖面和雨强比实况小。加入雷达放射率同化后，“莫拉克”台风环流内的水汽含量显著增加，进而明显改进了“莫拉克”的环流结构；根据粒子跟踪轨迹显示，“莫拉克”造成的台湾南部强降水的充足水汽主要由西南季风提供；“莫拉克”台风环流内的面积通量散度显示，雷达反射率同化所改进的台风环流从环境中汲取了更多的水汽，使得“莫拉克”降雨区更广，降水更强，进而改进两岸强降水的预报。该研究成果已发表在 *Journal of Meteorological Research*。

开展极端降水的敏感性实验——初始场扰动：利用上海台风研究所整编的1959-2012年台风最佳路径和台风日降水资料，采用百分位法确定了单站台风极端降水阈值。在此基础上，以2016年1号台风“尼伯特”为例，应用EC高分辨率模式开发基于历史极值的预报百分位产品，并对其进行检验，结果表明基于历史极值的预报百分位产品在一定程度上能够指示极端降水，且EC确定性模式的降水预报普遍偏高；基于EC集合预报、SMS-ENWARMs集合预报，开发不同阈值的日降水概率预报产品、突破历史极值95百分位的概率预报产品。

开展台风极端降水可信度依据的进一步研究，以“尼伯特”为例，分析EC集合预报51个成员的台风降水、路径、强度误差，初步结果表明台风降水的ETS评分与台风路径和中心气压的预报误差有一定的相关性，路径预报误差相关性更

高。

极端降水的可预报性 ——CRA 台风降水检验：热带气旋（TC）降水预报整体检验技术（CRA）已成为国际上的热点问题，但国际上的相关工作不多，而且我国在这一方向的研究尚处于起步阶段。利用 CRA（Contiguous Rain Area）降水检验方法，对澳大利亚地球系统模拟器（Australian Community Climate and Earth-System Simulator-Tropical Cyclone，简称 ACCESS-TC）的降水预报开展模式评估。CRA 降水检验方法跟传统检验方法（如 TS/ETS）不同，它可以更确切地了解数值模式对我国登陆台风降水的预报能力，并分析降水预报的误差来源。研究结果显示：登陆 24h 降水预报准确率最高，6、24、72h 降水预报时效性变差。其中、30mm、24h 的降水预报误差来源主要来自台风降水分布形态的误差，48、72h 的降水预报误差来源中，台风降水中心位置误差在增加，而对极端降水事件，如大于 250mm 的降水误差最主要来源为台风降水中心位置的偏差，其次为降水落区形态的误差（图 20）。因此，登陆台风降水结构与降水率仍是目前台风业务模式的预报难点。该研究成果已投稿至 Journal of Tropical Meteorology。

5、国家自然科学基金面上项目——海洋热状况与西北太平洋热带气旋活动年际关系的年代际跃变及机理（已结题）

项目负责人：占瑞芬；项目执行时间：2014年1月-2017年12月。

海洋热状况，作为最主要的大气下边界强迫源，对西北太平洋热带气旋（TC）季节活动具有极其重要的影响。本项目以海洋热状况与 TC 活动年际关系的年代际跃变作为切入点，通过资料分析、动力诊断和数值模拟相结合的方法，系统考察印度洋、太平洋和大西洋关键区海温因子与 TC 活动年际关系的年代际变化，揭示年代际跃变发生前后调控 TC 活动的大尺度局地热动力条件的主要特征，评估各海洋热状况因子（尤其是海表温度）在跃变后的相对贡献和协同作用，从而进一步揭示海洋热状况与 TC 活动的年际关系发生年代际跃变的动力学机理，并在此基础上，提出相应的物理概念模型，研制 TC 短期气候预测技术。截止 2017 年底共发表相关的研究论文 13 篇，其中 10 篇为 SCI 期刊收录，8 篇发表在美国高影响因子（ $IF \geq 4.0$ ）的权威学术刊物上（包括 JC, CD, GRL）。项

目不仅按预期目标完成研究任务，而且将项目研究成果进行转化，成功研制了西北太平洋 TC 季节活动的动力-统计预测技术。项目的主要研究成果归纳如下：1. 明确了年代际跃变前后西北太平洋热带气旋、海洋热状况自身没有明显的跃变，但局地热动力条件响应具有明显不同的特征；2. 利用回归分析和数值模拟，评估了各关键区海温在西北太平洋年际和年代际变化中的相对贡献和协同作用；3. 结合个例分析，研究了超强 El Niño 不同位相海洋热状况因子对西北太平洋 TC 活动的影响；4. 通过动力诊断和数值模拟，揭示了海洋热状况与 TC 活动的年际关系发生年代际跃变的内在物理机理；5. 基于上述理论研究，结合国内外最新研究成果，研制了新的台风动力-统计预测技术。本项目的研究成果不仅加深人们对西北太平洋 TC 活动影响机理的认识，也为提高 TC 短期气候预测水平和监测预报水平提供科学的理论依据。

(1) 跃变前后西北太平洋热带气旋、海洋热状况及局地热动力条件响应的主要特征

海洋热状况与西北太平洋热带气旋活动的长期关系:分时段将西北太平洋台风季节（6-10月）TC（热带风暴及以上级别）生成频数与全球SST求相关，发现二者关系在1970年代中后期有明显的跃变。1970年代末期以前，SST对热带气旋生成的影响都较弱且通过信度检验的区域呈零星分布，然而到了1970年代后期以后，这种影响开始变得显著，且显著相关的区域分布较为广泛，主要分布在中东太平洋、印度洋、西太暖池、澳大利亚东侧和大西洋。与前人提出的影响热带气旋活动的重要因子：ENSO（ENSO Modoki）、印度洋（东印度洋EIO）SST、太平洋南北半球海温梯度（SSTG，大致包括了西太平洋暖池热地区和澳大利亚东侧）较为一致。进一步，我们计算了上述4个SST因子与台风季节热带气旋生成频数的20年滑动相关。结果表明，SST因子与热带气旋生成的关系确实存在年代际跃变，且不同SST因子与热带气旋生成的关系发生跃变的时间较为接近。类似地，我们考察了全球SST与西北太平洋热带气旋活动强度（ACE，可综合表示热带气旋生成、生命史和强度）和天数的关系，发现：1）对于不同的热带气旋活动参数，海温关键区是不同的；2）毫无例外地，热带气旋强度和天数与关键区海温的相关都存在明显的跃变，但是跃变时间有所差异。因此，需要针对不同参数不同关键区进行分析。

跃变前后海洋热状况与西北太平洋热带气旋活动的主要特征：使用三套热带气旋最佳数据集、两套SST数据集(NOAA的ERSST资料和Hadley中心的SST资料)、两套大气再分析资料(NCEP/NCAR和ERA-Interim)系统考察了跃变前后海洋热状况、TC活动(包括生成频数、活动日数和ACE)及局地热动力条件响应的特征。结果表明,所有关键区海温在跃变前后均没有明显的跃变,而是呈现自身演变的特点,即呈现趋势变化(如EIO)、年代际变化(如大西洋海温NAT、西太暖池WWP和澳大利亚东侧海温SWP)或仅以年际变化为主(如SSTG, ENSO Modoki)。类似地,西北太平洋TC活动虽然存在明显的年际变化和年代际变化,但是在跃变前后也没有明显的跃变特征。然而,局地热动力条件在跃变前后对关键区海温的响应却呈现了明显的差异。这些表明,海洋热状况与西北太平洋热带气旋活动年际关系发生年代际跃变可能不是由自身演变出现跃变引起的,而是可能与其他因子的协同作用发生变化,从而使得局地热动力条件的响应发生变化有关。因此,关于这一议题,应重点关注不同关键区海温因子的相对贡献和协同作用。

(2) 各关键区海温在 TC 活动年际和年代际变化中的相对贡献和协同作用

各关键区海温在 TC 频数年际变化中的相对贡献和协同作用：西北太平洋 TC 生成频数具有重要的年际变化,研究表明,西北太平洋台风季节(6-10月)TC生成频数与全球SST在1970年代中后期有明显的跃变,因此使用三套热带气旋最佳数据集和NOAA的ERSST资料,利用回归分析和数值模拟重点评估了1980-2016年夏季东印度洋海温EIO、春季南北半球海温梯度SSTG和夏季ENSO Modoki(EMI)在台风季节西北太平洋TC生成频数年际变化中的作用。在这三个因子中,春季SSTG与TC生成频数的相关最高,达0.70,EIO次之,EMI略小但也超过0.60,这三个因子是印太地区影响TC生成最为重要的因子,其联合作用可以解释TC生成频数年际方差的近75%。从三者之间的相对独立性来看,EIO在影响TC生成中是相对独立的,但春季SSTG和EMI的影响并不独立,这主要是因为春季SSTG在跨季节影响TC活动时要通过海气相互作用影响EMI SST。进一步研究表明,在三个因子中,EIO的总体贡献最大,其贡献率高达60%以上,SSTG次之,达30%左右,EMI的贡献最小,不到10%。最后我们也利用数值模拟对不同年份三者之间的具体贡献做了验证。

各关键区海温在 TC 活动年际变化中的相对贡献和协同作用：累积气旋能量指数(ACE)综合考虑了热带气旋生成频数、生命史和强度,可以较好地表征热

带气旋活动。基于 1982-2010 年西北太平洋台风季节 ACE 与春夏季海温场及夏季垂直纬向风切变场的相关分布，确定了四个对 ACE 有显著影响的因子，分别为：赤道中东太平洋 Niño3.4 海温 (ENSO)、西南太平洋海温 (SWP SST)、南北半球海温梯度 (SSTG) 和赤道西太平洋垂直风切 (Ushear)。进一步, 利用逐步回归和交叉检验方法探讨了四个因子在季节 ACE 中的相对贡献。Ushear 是首个进入逐步回归中的因子, 模拟与观测的相关为-0.84, 均方根误差为 0.68, 表明其贡献是主要的。SSTG 是第二个引入逐步回归中的因子, 结果使得模型拟合率从 0.70 提高到 0.77。ENSO 和 SWP SST 分别是第三个、第四个引入的因子, 表明其作用相对于前两个因子而言是偏小的。尤其是 SWP SST 的引入, 基本上模型没有明显的改进, 这可能是因为 SWP SST 的信息已经部分地被 SSTG 所表达 (二者的相关高达 0.65)。此外, 从不同因子逐年贡献演变来看, 29 年中 16 年为 Ushear 贡献最大, 11 年为 SSTG 贡献最大, 仅有 2 年 ENSO 贡献最大。实际上, Ushear 与 ENSO 之间密切相关, 相关系数高达-0.79, 如果从 Ushear 中去掉 ENSO 的作用, 那么 Ushear 的贡献显著降低, 从这个意义上来说, ENSO 的作用仍然是显著的, 只是这种作用通过 Ushear 来起作用。

各关键区海温在强台风活动年代际变化中的相对贡献和协同作用: 利用美国 JTWC、中国气象局上海台风研究所和日本气象厅整理的 1977-2016 年热带气旋最佳数据集、英国 Hadley 中心 SST 资料和欧洲中心 ERA-Interim 再分析资料研究了西北太平洋地区强台风活动和强台风比率的长期变化。发现, 影响东亚沿岸的强台风存在明显增多的趋势, 同时西北太平洋西部地区 (140°E 以西) 强台风比率显著增加, 自 1977 年以来已增加近 1 倍, 东部地区 (140°E 以东) 强台风比率则没有明显变化。西部地区强台风比率显著增加主要与该地区强台风频数明显增多, 强度增强加快有关, 而这些都与 Mega-ENSO 引起的 MPI 增加密切相关; 而东部地区, 台风生成位置明显向西北方向移动, 而这些都与 Mega-ENSO 引起的该地区切变增强, 海平面气压升高, 相对涡度减小有关, 因此不利于强台风增多。进一步, 利用德国马普全球大气环流模式 ECHAM4.8 对 Mega-ENSO、热带印度洋和热带大西洋海温在其中的联合作用和相对贡献进行了评估, 研究表明, 三者基本上可以很好地解释与强台风活动有关的局地热动力场的趋势变化, 其中 Mega-ENSO 的作用是主要的, 印度洋 SST 次之, 大西洋 SST 作用最小。

(3) 超强 El Niño 发展年和衰减年海洋热状况因子对西北太平洋 TC 活动的影响个例研究

通过资料诊断和数值模拟研究了 3 个超强 El Niño 发展年 (1982, 1997 和 2015) 印度洋-太平洋海盆不同关键区海温因子对西北太平洋 TC 活动的影响。与前人研究类似, 超级 El Niño 年 TC 强度明显加强, 活动天数异常增多, 路径多为沿海转向, 登陆中国热带气旋偏少, 表明超级 El Niño 事件对热带气旋强度和路径具有绝对调控作用。然而, 不同超强 El Niño 年, 热带气旋生成频数和生成位置存在明显差异, 这些差异与印度洋-太平洋海盆不同关键区海温的作用有关, 即与赤道中东太平洋海温、东印度洋海温和南北半球海温梯度的联合作用有关。通过多元回归分析和敏感性试验, 发现超强 El Niño 发展年, 尽管赤道中东太平洋海温起着至关重要的作用, 但 TC 活动是超强 El Niño 事件、EIO SSTA 和春季 SSTG 共同作用的结果。2015 年, 东印度洋海温极端偏暖, 西北太平洋西部地区 (140°E 以西) 异常反气旋加强, 有利于热带气旋生成偏少。1982 年, 东印度海温和春季南北半球海温梯度负异常, 西北太平洋西部地区异常气旋和赤道垂直切变加强, 大尺度流场向涡动动能转换加强, 有利于热带气旋生成位置西移。

分析了两个超强 El Niño 衰减年 (1998 年和 2016 年) 西北太平洋 TC 活动出现显著差异的原因。前人研究表明, El Niño 衰减年西北太平洋 TC 生成频数偏少。1997/1998 和 2015/2016 年发生了历史上最强的两次 El Niño 事件, 但是在其衰减年 TC 活动却出现明显的差异。1998 年, TC 活动异常寂静: 1-6 月没有 TC 生成, 7-10 月也仅有 10 个 TC 生成, 因此该年成为有记录以来台风最不活跃的年份。然而, 对于 2016 年, 虽然 1-6 月西北太平洋也没有 TC 生成, 与 1998 年类似, 但是自 7 月以来 TC 活动却异常偏多。分析表明, 1998 年全年和 2016 年上半年 TC 生成偏少主要与超强 El Niño 事件引起的西太平洋异常反气旋偏强有关。而 2016 年下半年太平洋海温异常分布与 1998 年有明显差异。2016 年夏季西太异常反气旋减弱消失, 7-8 月西北太平洋主要受太平洋经向模 (PMM) 控制, 其上空为异常气旋和垂直风切减弱, 有利于 TC 生成; 9-10 月赤道西太平洋增暖和弱的 La Niño 事件联合作用, 加强了西太 TC 生成。

(4) 海洋热状况与 TC 活动的年际关系发生年代际跃变的内在物理机理

SSTG 与 TC 生成频数年际关系的年代际变化的内在物理机理: 最近研究表明, 春季西南太平洋 (SWP; $40^{\circ}\text{--}20^{\circ}\text{S}$, $160^{\circ}\text{E--}170^{\circ}\text{W}$) 和西太平洋暖池 (WWP; $0^{\circ}\text{--}16^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{--}165^{\circ}\text{E}$) 之间的海表面温度梯度 (SSTG) 是调控西北太平洋热带气旋 (WNP TC) 生成频数的一个新的重要因子, 将这个因子应用到实际台风业务预测中可以明显

提高预测效果。然而，分析 1951–2013 年 WNP TC 生成频数和 SSTG 之间年际关系的年代际变化发现，SSTG–WNP TC 的关系在 1970 年代中期存在明显的变化，即 1979 年以后二者显著的负相关关系在 1974 年以前是不显著的。

EIO 与 TC 生成频数年际关系的年代际变化的内在物理机理：前人一系列的研究表明，东印度洋海温对西北太平洋 TC 生成频数具有重要的影响。我们的工作指出，这种影响在 1970 年代末期之前是不显著的，仅仅在 1970 年代末之后才表现得显著。与前人研究一致，总的来说，东印度洋海温偏暖能够在西太平洋激发出暖的赤道开尔文波，引起西太平洋赤道附近低层辐合和赤道外热带气旋生成区域低层辐散；东印度洋暖海温也减弱了西北太平洋地区夏季季风槽活动，从而极大地抑制了西北太平洋地区热带气旋的生成。反之亦然。

ENSO 在高原积雪与 TC 生成频数关系发生年代际变化中的作用：已有研究表明，高原冬季积雪（TPSC）与随后台风季节西北太平洋热带气旋生成频数（TCF）之间具有典型的负相关。基于长时间观测资料对二者关系进行再探讨，发现两者的年际关系在 1990 年代初发生了跃变，即 1976–1992 年冬季 TPSC 与随后台风季节 TCF 之间的联系较弱，二者间的相关系数仅为 0.17；1993–2012 年冬季 TPSC 与 TCF 之间的相关明显加强，二者的相关系数达到 -0.60，通过了 99% 信度检验。TPSC–TCF 关系发生年代际变化与冬季 TPSC 对西北太平洋地区相关热动力场的调控发生变化有关。前一时期，冬季 TPSC 对西北太平洋地区大尺度环境场的调控较弱，从而与该地区 TCF 关系较弱；而在后一时期，前者对后者施加了显著的影响，当冬季 TPSC 异常偏多时，赤道西太平洋地区为显著的东风异常，西北太平洋季风槽偏弱，与此同时，西北太平洋台风生成区域为一强大的异常反气旋环流控制，涡动动能减少，海平面气压增加，对流层中层为大范围的湿度负异常和下沉运动。这种配置明显不利于热带气旋生成。反之亦然。这些环境场对该地区热带气旋的生成起到了关键的调控作用，因此改变了冬季 TPSC 与热带气旋生成的联系。

全球气候变化在年代际跃变中的作用：受全球变化的影响，西北太平洋地区与台风活动密切相关的热动力条件发生了明显的变化。研究表明，西北太平洋大部地区都存在明显增暖的趋势，尤其是 20°N 以北地区海洋增暖更为显著，这与台风最大潜势强度指数（MPI）的分布是一致的，有利于该地区 TC 生成和加强。

局地动力场的变化则有所差异。最近几十年，西北太平洋赤道地区低层东风加强，台风生成区域为一南北向的异常涡旋对，东部地区垂直切变明显增加，500hPa位势高度则在20°N以南和30°N以北是增加的，相应地中层为异常下沉运动，这些与Walker环流最近的增强密切相关。因此，西北太平洋台风活动是局地热力场和动力场相互作用的结果，在全球气候变化的背景下表现得更为复杂，这也是导致海洋热状况和TC活动年际关系发生年代际跃变的重要原因。

(5) 台风季节动力-统计预测新技术

基于本项目研究成果和国内外最新研究进展，利用观测资料和NCEP CFSv2模式的季节预报产品发展了一个西北太平洋台风季节ACE的混合动力-统计预测模式。该模式是依据1982-2010年观测的ACE指数和大尺度变量之间的统计关系建立的。根据交叉检验，在超前4-2个月（起报时间在1月-3月）时选择夏季ENSO和SWP SST作为预测因子，在超前1-0个月（起报时间在4-5月）时选择夏季U_{shear}和4月SST_G作为预测因子。评估结果表明，该动力-统计预测模式从1月开始就对台风季节ACE有较好的预测能力；从1月到5月，预报和观测ACE 29年的相关系数在0.58-0.81间波动，均方根误差为1.26-0.91。我们也使用2011-2013年CFSv2实时预报数据对该动力-统计模式进行检验，结果表明与英国统计模式和美国Kim等人发展的混合模式相比，该模式有更高的预报技巧和更长的起报时间。

6、国家自然科学基金面上项目——热带气旋边界层湍流结构观测分析及其对热带气旋强度影响机制研究

项目负责人：汤杰；执行时间：2015年1月-2018年12月

(1) 台风登陆过程种边界层湍流扩散变化过程观测：收集整理我所100米高塔针对2010年三个登陆台风观测资料，分析了20赫兹高频资料对于热带风暴“狮子山”（1006）台风凡亚比（1011）和台风鲇鱼（1015）。研究中采用标准涡度相关法计算湍流动量通量，并且垂直涡扩散系数（ k_m ）和混合长度（ L_V ）用直接测量动量通量和平均风廓线估计。研究结果发现动量通量随风速的增加而增加，分析高塔四个观测层数据，将直接通量法计算的涡流扩散系数与用垂直涡流扩散系数作为摩擦速度和高度的线性函数的理论方法进行了比较。研究发现，在低

于60米一下的高度内，垂直动量扩散系数能够近似用理论法来解析，这就意味着本文中所研究的台风个例中近地层高度大约相当于60米。进一步研究还发现，在高塔各个高度上随风向不同：向岸风观测的湍流扩散系数显著大于与离岸风，约大20%。这表明，台风登陆过程中不同阶段应该采用不同的参数化方案。相关文章已经投稿 美国气象学会杂志：Journal of Atmospheric Science。

(2) 边界层参数化方案对于热带气旋模式改进比较：本文主要通过通过比较两类不同的边界层参数化方案HWRP模式中模拟热带气旋强度和结构的敏感性。方案1) GFS方案，使用K剖面法参数化的湍流通量，和方案2) MYJ方案是基于湍流动能(TKE)湍流封闭收支。通过基于这两个方案的HWRP理想模拟，结果表明，进过模拟热带气旋三天发生发展后，基于TKE方案的模拟结果气旋强度要比控制试验的气旋强度更强。通过对控制试验和敏感性试验的评估和比较，发现在敏感性试验中的风暴有一个更浅的边界层且伴随有较强的流入，因而导致更强大和更深入的上升气流区域最大风速半径向内收缩，较强的边界层辐合接近风暴中心，更多的对流爆发位于附近的RMW，和更高的涡度和惯性稳定在RMW。角动量收支分析表明，MYJ方案比在控制控制试验在边界层角动量收缩方面计算更强，而角动量的收缩被广泛认为与热带气旋增强直接相关。基于本文研究成果，可以认为在边界层方案中，需要耕读哦的考虑TKE方案，才能更好的刻画热带气旋快速增强过程。相关文章即将投稿 Advace in Atmospheric Science.

(3) 热带气旋外场数据处理系统：根据实际研究工作产生的问题，特别是外场试验采集的数据往往比较凌乱，不利于管理和分析，联合软件公司展开了台风外场观测数据处理系统软件的研制。软件采用Windows DOTNET FRAMWORK 4技术，按照插件的架构方式进行每个格式转换程序的集成。软件支持风廓线雷达，自动站，探空数据，雨滴谱，自动站，微波辐射数据等气象监测设备生成的监测文件(包括文本文件格式以及二进制文件格式)，统一转换成NetCDF(网络通用数据格式：Network Common Data Form)4标准格式，并提供NetCDF 4文件格式表格化查看以及标准作图工具，数据质量控制，数据抽取/合并以及保管。相关软件已经获得软件著作权，并在2017年外场试验中得以应用。

7、国家自然科学基金面上项目——中国热带气旋降水年际变化

的多尺度调制和机理研究

项目负责人：应明；执行时间：2015年1月-2018年12月

(1) 对热带气旋降水自身变化规律的分析：虽然热带气旋在其存续期间一直由降水，但是单个测站的降水并不是在其存续期间一直存在的。分析表明，单站降水多持续 23 天，95%的降水持续时间在 5 天以下，但是持续超过一周的降水也有；通过估计，热带气旋降水特征时间尺度主要为 23 天。因此而言，热带气旋降水具有很强的天气尺度特征，并且在季节尺度上将表现为强噪声影响。针对热带气旋降水量与所在测站与热带气旋中心的距离的关系进行分析，分析发现两者的关系受到热带气旋强度的影响；并且对不同等级的热带气旋，包含各自 75% 样本的概率椭圆及其中心存在较明显的差异，方差和均值齐性检验说明，不同等级之间存在显著的差异。因此，考虑热带气旋降水的变化规律，需要考虑热带气旋强度及测站距离的问题。

按照热带气旋影响时强度分组，分别分析了降水的变化趋势。由图可见，不同等级热带气旋最大日降水量的均值均有显著的下降趋势，而最大小时降水量均值则只有热带风暴（TS）等级有显著的下降趋势。而对于极端降水量（用 95%分位数表示）的变化，最大日降水量在热带风暴（TS）、台风（TY）和超强台风（SuperTY，图 1.3 中简称为 SuTY）有显著的下降趋势。

我们也按照观测站距离热带气旋中心的距离进行了分组（图略）分析，结果表明，在距离热带气旋中心 300km 以外（Rm1、Rm2、Ro1 和 Ro2）的最大日降水均值和极端降水量均有显著的下降趋势；而最大小时降水量则只有 300 公里以内均值和极端降水量有显著下降的趋势，此外距离热带气旋中心 500800km（Rm2）最大小时降水量的均值也有明显下降的趋势。此项结果很好地与去年我们针对热带气旋尺度特征的分析结果关联起来，我们将进一步探讨其中的物理规律。

此外，热带气旋降水自身的变化规律表明，热带气旋最大日降水量和最大小时降水量均存在显著的线性变化趋势。此趋势的存在，势必对其它尺度的变化产生影响。

(2) 探索基于高度非对称性非线性关系的预测建模方法：对于热带气旋季节降水量与海洋大气环境场之间正负位相影响因子截然不同的高度非线性和非对称性关系而言，常规使用的基于正态分布假定的回归模型并不适用于建模。我们的一种尝试，基于我国热带气旋季节降水 EOF 分析前两个优势模态构建的相

空间，对1981-2010年进行聚类分析。30年间，两次主导类型的迁移表现出年代际特征，这种规律可能是我们探索建模的一个方向。

(3)初步分析了年度热带气旋活动的特征:对比分析了2015-16年强El Nino事件和1997-98年强El Nino事件对于西北太平洋热带气旋活动的影响及其异同点。1998年热带气旋活动受到强烈抑制、而2016年在热带气旋主汛期期间异常活跃，最终全年生成频数与气候均值相当，两者的共同点是：由于强ElNino事件的影响，季节前期由于西北太平洋反气旋的控制使得热带气旋的活动受到很强的抑制，而主汛期期间，2016年的海温分布与1998年有明显的不同，2016年主汛期期间为弱的暖事件，太平洋经向模的正位相导致西太平洋地区出现有利的气旋性异常环流和负的垂直风切，与赤道西太平洋增暖的效应，共同造成了热带气旋的活跃。2017年共生成27个热带风暴及其以上强度的热带气旋。本年度热带气旋在7月份尤其活跃，共生成8个，达到了1950年以来的历史新高，另由于La Nina的影响1112月热带气旋生成也超过了气候均值。而在系统强度上，本年度达到台风等级的热带气旋在8、10和12月份均超过了气候均值，表现出明显的双月振荡特征。而登陆的热带气旋，除了朝鲜半岛以外，其它地区包括菲律宾、越南、我国和日本登陆热带风暴的数量均超过气候均值。热带气旋的降水和大风影响方面，我们收集的灾情资料表明，本年度影响最大的是强台风天鸽（Hato），风力14级，多地发生强降水，共造成148万人受灾，22人丧生，直接经济损失244亿元。强台风卡奴（Khanun）是另一个影响较大的热带气旋，带来很强的远距离降水，133万人受灾，直接经济损失22.7亿元。而检验两次强台风影响的预报效果，路径和强度的预报误差均较小，但是降水预报仍然有待于加强。

(4)台风降水资料基础性工作:结合每年《热带气旋年鉴》最新资料的基础上，结合中国气象局气象信息中心发布的地面气象站元数据v1.0版，对于我国热带气旋降水资料的均一性问题做了全面的统计和分析，确定了总计2500多个观测站的观测历史变迁（其中缺乏观测历史的52站，在第一阶段纳入降水资料库收集范围的1605站，第二阶段新增的544站，第三阶段新增的335站。其中在1960~2011年期间未曾间断观测的约为1372个测站。经过测站观测历史和降水数据库收录历史的筛选，原先降水序列的非均一性问题得到了较大的改善。尽可能消除非自然因素的影响有利于更好地抓住自然变率的特征。尝试了用美国气候预报模式的结果开展西北太平洋热带气旋活动指数的动力-统计季节预测研究，后报试验

表明：预报模型的效果比单纯采用统计方法建立的模型要更优，而且表现出更好的技巧。分析研究了热带气旋最大可能强度的变化特征，指出：自1980年以来，西北太平洋较弱的热带气旋系统，其生命史最大强度的平均位置有向极地移动的趋势，其与热带气旋降水季节变化之间关系的研究正在开展当中。热带气旋降水相关的气候图集正式出版：结合所在单位的工作安排，本项目参与完成了1981-2010年热带气旋降水及其相关气候特征的图集《西北太平洋热带气旋气候图集（1981-2010）》整编出版工作。7月初，该图集被选送参加“第28届国际制图大会”参展（全国仅3本），随后又获得科学技术部“国家科学技术著作出版基金”资助，由科学出版社正式出版中英文双语版。

8、国家自然科学基金面上项目——基于雷达、卫星资料的台风多尺度混合资料同化技术发展及应用研究

项目负责人：李泓；执行时间：2016年1月-2019年12月

2017年度主要实现了GSI同化系统对地基雷达径向风直接同化及反射率资料云分析同化功能，完成雷达同化个例试验；着手开展雷达反射率直接同化工作；利用OSE试验评价了极轨卫星微波资料对台风预报的贡献；对风云四号静止卫星高光谱反演温湿廓线资料进行了质量评估。

（1）雷达径向风资料同化：利用上年度开发的98D2GSI的雷达数据质量控制/格式转换接口程序，将业务98D雷达资料转换成GSI能够同化的BUFR格式，选取2017年6月10日的南京暴雨过程，进行了资料快速更新同化试验，试验区域见图1。同化资料包括区域内的探空资料、地面加密自动站资料和南京、商丘、郑州、上海、南通、盐城、徐州、淮安、连云港、泰州、合肥、蚌埠等22部雷达资料。采用WRF模式3.7.1版本，水平分辨率为3km，垂直51层，水平格点数为601*601，微物理方案采用Morrison方案，长波/短波方案选用CAM方案。陆面模式选用Noah方案，对应的边界层方案采用QNSE方案。同化试验从6月9日12时（UTC）开始，每隔1小时同化一次，在9日18时（UTC），完成7次循环周期之后，使用WRF模式进行12小时预报。进行了三组试验，第一组不同化任何资料（noDA），第二组同化雷达资料（Radar），包括径向风资料直接同化及反射率因子的复杂云分析水物质更新；第三组在第二组资料的基础上增加探空和地面站资料（Radar+Conv）。

从降雨量分布看，同化雷达资料能提高降水强度预报，在此基础上增加同化探空和加密自动站观测，能使降水雨带分布和强降水中心预报的准确性得到一定改善。

(2) 卫星AMSU 微波资料同化试验：利用GSI-hybrid 系统，通过OSE试验，评估AMSU 微波资料对台风预报的作用。控制试验同化常规PREPBUFR及卫星辐射率AMSU资料，对比试验则去除AMSU资料（仅同化PREPBUFR），然后进行72小时WRF模式预报。去除AMSU资料，同化后凤凰台风的初始位置偏东北，后期的预报路径较控制试验比实况更偏东，因此AMSU资料对同化、预报有正贡献作用。进一步的分析表明，加入AMSU资料有助于改善大尺度环境场，同化卫星资料后副高西伸加强，有利于引导台风路径向西，与实况更接近。

(3) FY-4反演资料质量评估：对台风数值预报而言，因广阔的洋面上缺乏常规的观测，模式初始化往往依靠对卫星资料的同化应用。FY-4静止卫星拥有稳定不变的视场，能够对东亚及西北太平洋地区实现每小时一次的连续观测，在台风的监测、预报方面具有很大的优势。对FY-4红外高光谱反演温湿廓线资料进行了质量评估。利用2017年12月20-27号FY4资料与NCEP GFS 分析场对比，图6是各层湿度场平均误差的区域分布，图7是温度场平均误差。可见，湿度资料在高层偏干和偏湿区域大体相当，而低层以偏湿为主；温度资料高层在西南和东北偏暖（对应湿度两个偏湿区域），低层700毫巴以偏冷为主，而850毫巴则以偏暖为主，且与湿度场也无对应关系。此外，建立了FY-4资料的BUFR格式转化和与GSI同化系统的接口模块，为下一步FY-4资料的同化奠定基础。

(4) 雷达反射率资料直接同化：着手开展雷达反射率资料直接同化工作。在GSI 系统中增加基于LIN 微物理方案的雷达反射率观测算子，利用此算子计算了背景场的模式模拟反射率，下一步将在此基础上开展雷达反射率资料的直接同化工作。

9、国家自然科学基金面上项目——热带气旋强度的可预报性研究

项目负责人：王晨稀；执行时间：2016年1月-2019年12月

开展了基于模式初始场不确定性的台风强度预报的不确定性研究以WRF

(V3.4) 模式作为试验模式, 利用一个初值扰动的20个成员的集合预报系统, 针对2014年超强台风“威马逊”(1409), 开展了基于模式初始场不确定性的台风强度预报的不确定性的试验与研究。

(1) 台风预报的不确定性: 以总能量差的均方根(RD-DTE)来表征集合预报的不确定性, RD-DTE越大, 预报的不确定性就越大。从初始时刻以及第12h、24h、36h与48h时的RD-DTE分布中可以看到, 台风预报的不确定性随预报时间而迅速增大, 初始时刻最大RD-DTE不足1, 第12h时增大到将近9, 第48h时则达到30以上; RD-DTE最大值分布于台风中心附近, 由中心向四周逐渐减小。台风预报的这种不确定性主要反映在台风强度的预报上, 不同成员间预报强度的差异随时间而增大, 尤其在24h后, 增大迅速, 预报第48h时, 20个成员间最低海平面气压的差异最大达到37hPa, 10m最大风速的差异最大达到14m/s; 对台风路径而言, 初始场的不确定性对路径预报没有明显影响, 所有成员的预报路径都非常接近观测路径, 第48h时几乎所有成员的路径预报误差都在100km以内。

(2) 台风强度的变化: 选择第48h时20个成员中预报强度最强的成员11、强度最弱的成员2、以及强度居中的成员4, 对这3个成员的预报结果进行分析。从第12h、24h、36h与48h时, 成员11、成员4和成员2的海平面气压与10m水平风的分布中可以看到, 在预报的前24h, 3个成员间的强度差异极其有限, 第12h时, 成员4的强度是最强的, 到第24h时, 成员4的最大风速还有所减小, 成员11和成员2的强度略有增强; 在预报的后24h, 成员间的强度差异迅速增大, 成员11的强度快速增强, 成员2强度的增强相对平缓, 使得两者间的差异不断增大; 在各成员的10m最大风速随时间的演变图中可以更清晰地看到强度变化的这种特点, 同时可以发现, 成员11预报的10m最大风速和观测结果基本一致。

(3) 初始场的不确定性: 不同成员之间预报强度的差异源自于初始场的差异。初始时刻纬向风、温度与相对湿度的集合离散度随高度的分布以及成员11和成员4、成员11和成员2的差值随高度的分布可以看到, 总体而言, 初始时刻无论是水平风、温度还是相对湿度, 成员11和成员4或成员2的差值都大于集合离散度, 其中水平风的成员差值明显大于离散度, 但成员11和成员2的差值与成员11和成员4的差值在800hPa以上基本相同, 仅在低层, 前者明显大于后者; 对于温度和相对湿度, 在所有高度, 成员11和成员2的差值都大于成员11和成员4的差值, 尤其对于温度, 在700hPa以下, 两者相差极大。尽管成员差值大于集合离散度

，成员11和成员2的差值在某些高度还比较大，但与欧洲中期天气预报中心统计的观测误差比较可以发现，这些差值总体上比观测误差要小得多，都在观测误差的范围内。从初始时刻在700hPa、850hPa、900hPa和地表面，水汽混合比、温度和水平风的成员11和成员2、成员11和成员4的差值的水平分布中可以看到，无论是湿度、温度还是水平风，对不同高度而言，在900hPa的高度，成员11和成员2或成员4的差值都是最大的，700hPa以上，差值明显减小。图4中最值得关注的是湿度差值的分布，虽然成员11和成员2的差值与成员11和成员4的差值的差异在不同高度大致相同，但湿度差值的水平分布在不同高度差别极大，在850hPa及以下高度，两者湿度差值的水平分布差异显著，在700hPa及以上高度差异则并不明显；在地表面和低层，成员11和成员2的湿度正的高差值分布的区域正是台风将要途经的区域。

（4）对流不稳定：相当位温反映了大气的对流不稳定状况。从图5（第9h、21h、33h与45h时，成员11、成员4和成员2的900hPa相当位温与水平风以及700hPa垂直风的分布）中可以看到，3个成员的对流不稳定都随时间而增大，在预报的前24h，成员间的差异并不大，预报24h后差异逐渐增大，成员11的对流不稳定最大，对流发展最强盛，成员2的对流不稳定虽也增大，但是3个成员中最小的；上升运动伴随着对流不稳定的增大而增强，对流不稳定越大，上升运动往往越强，而且较强的上升运动分布于相当位温高值区的周边。降水的强弱反映了对流的强弱。从成员11、成员4和成员2在9-12h、21-24h、33-36h和45-48h的3h累积降水的分布中可以看到，对于9-12h和21-24h降水，3个成员间的差异较小，随着降水的增大，成员间的差异也逐渐增大，成员11的21-24h和33-36h降水明显大于成员4和成员2，成员2的降水是最小的，这一结果和图5结果完全吻合，对流强度随着对流不稳定的增大和上升运动的增强而增强，从而产生更多的降水。

（5）热通量与水汽通量：台风的发展和加强需要源源不断的水汽和热量的输送。从第12h、24h、36h与48h时，成员11、成员4和成员2的表面向上的热通量、水汽通量与10m水平风的分布中可以看到，3个成员的热通量和水汽通量都随时间而增大，预报24h前，3个成员间的差异并不明显，第12h时，成员4的热通量和水汽通量略大于成员11和成员2，第24h时，成员11略大于成员4和成员2，预报24h后，成员11的热通量和水汽通量都明显大于成员4和成员2，成员2是最小的，尤其是第48h时，差异显著。热通量和水汽通量的变化与对流的变化是一致的，进

而与台风强度的变化是相似的。

(6) 相关分析: 哪些因素与不同成员台风强度预报的差异是密切相关的? 针对影响台风发生发展的诸多要素, 对这些要素与强度进行相关分析。从第48h时的台风强度与各时刻的台风强度间的相关系数(a), 第48h时的台风强度与各时刻表面向上的热通量和水汽通量间的相关系数以及各时刻台风强度与热通量和水汽通量间的相关系数(b)中可以看到, 24h前预报的台风强度对最终的台风强度的影响有限, 尤其是10m风速, 当预报24h后, 相关系数逐渐增大至中等~强相关, 该时期的强弱决定了台风的最终强弱; 各时刻表面向上的热通量和水汽通量与该时刻的台风强度密切相关, 两者间的相关基本都达到了强相关; 同样, 24h前的热通量和水汽通量的强弱与最终的台风强弱的关联并不密切, 24h后则关联密切, 对于第48h时的区域平均的10m风速, 热通量和水汽通量与其的相关系数在预报30h后迅速增大至0.6以上。在诸多要素中, 热通量和水汽通量与台风强度间的相关是最强的。由于观测误差和分析误差的存在, 使得模式初始场与真值之间存在着偏差, 初始场的这种不确定性使得台风预报存在着不确定性; 台风预报的不确定性主要反映在台风强度的预报上, 随时间而增大, 尤其在预报24h后迅速增大, 第48h时, 强度预报的最大差异达到37hPa和14m/s; 导致强度预报差异的初始场差异总体上比观测误差要小得多, 初始场的最大差异也都在观测误差的范围内; 初始场上导致台风强度预报差异的关键因素在于低层湿度场与温度场的差异, 尤其是低层湿度场的差异, 这种差异不仅在于湿度大小的不同, 更在于分布的不同; 更高的湿度与温度意味着更大的对流不稳定, 伴随着更强的上升运动, 导致发生的对流更强, 产生更多的降水, 从而使得强度更强; 在发生更强对流的同时, 表面向上输送更多热量和水汽, 热通量与水汽通量和台风强度之间存在着非常强的正相关, 24h后的热通量与水汽通量的大小与台风的最终强弱关联密切; 无论是对流不稳定的演变, 还是热通量与水汽通量随的变化, 都与台风强度的变化是一致的。

10、国家自然科学基金面上项目——“灰色区域”尺度次网格云过程参数化的研究

项目负责人: 黄伟; 执行时间: 2016年1月-2019年12月

利用一个长江流域强降水个例（20160507-20160508）模拟结果，对数值模式对该次过程的降水模拟进行了评估，以理解模式中大尺度初始场误差和微物理过程不确定性对模式降水偏差的影响。3km 分辨率的模式结果表明，大尺度环境场的误差是造成该次降水预报失败的最重要原因；微物理过程造成的反馈则会造成主雨带偏强，这可通过 tuning 微物理过程的关键过程来缓解。我们通过人为降低模式微物理过程中的雪、霰的 sedimentation 项，成功改进了某一区域降水的预报。这意味着在大尺度场与实况接近时，可通过改进模式微物理过程中冰相粒子的分布来调整模式中的雨水。相关工作参加了欧洲地理联合会 2017 年届会。

在前人 CRM (cloud resolving model) 分析结果和前期 LES 模拟结果的基础上，我们基于次网格云量与对流效应的关系，以 NSAS 对流参数化方案为原型，初步发展了一个尺度自适应的对流参数化方案。该方案的次网格云量的计算完全遵照高分辨率模式的统计分析结果，参考欧中中心的卷入、卷出率，并利用云功函数计算 updraft 中速度，对流造成的对大尺度场的热力和水汽反馈具有尺度自适应特征。目前正利用该方案开展真实强天气个例的测试工作。

（三）本所在优势领域年度科研进展（按团队介绍）

1、台风预报理论及关键技术研究小组

（1）**台风特种探测资料质控技术和资料库**：收集了莫兰蒂等台风的多种资料，对莫兰蒂（1614）台风的基本特征进行了分析；并对莫兰蒂（1614）和莎莉嘉（1621）台风的雨滴谱质量控制方案进行了研究；完成了2014-2016年台风外场观测雨滴谱数据的整理和入库，分析了多种雨滴谱质量控制方案在台风条件下的适用性，探讨了强风条件下不同质控方案对雨强反演可能存在的偏差原因；建立了星载雷达与地基雷达资料的融合匹配方法，提出了组网地基雷达的一致性订正方案；对台风条件下超声风速仪的数据质量进行了分析，提出了丢失数据的蒙特-卡罗补齐方案；完成了台风特种探测资料库建设和共享平台设计。

（2）**台风边界层和云微物理过程**：利用台风特种探测资料，开展了台风强度和风圈结构分析，量化了台风登陆过程中边界层湍流摩擦效应增加的比例；利用历史飞机探测资料，构建了西北太平洋热带气旋风-压关系的新模型；利用双偏振雷达观测和反演产品，开展台风外雨带对流单体的微物理特征研究，分析了强降水发生的微物理机制；利用测风塔超声风速仪观测资料，研究了海岸线对海

-气动量通量交换的影响。

(3) 台风降水落区和强度的多尺度影响因素：利用再分析资料和最佳路径资料，开展了登陆台风降水落区和强度的多因素（强度、环境垂直风切变、移速、海岸线）影响研究；揭示了1998年和2016年西北太平洋台风活动显著差异的机理，提出了弱台风是控制台风最大强度位置北移的主要原因，发现近海强台风加强率存在明显增加的趋势；初步解析了台风季节降水除年际分量之外的变率，分析了它们的可能影响。

(4) 台风预报技术：研发了台风路径多模式集成预报新方案，已实现业务化运行；提出了台风极端降水的概率预报技术，已开展业务试验；研制了台风季节路径预测诊断产品，开展了台风季节路径预测技术的研究；开展了地形对台风降水的影响研究，探讨了12-36小时数值预报模式对台风降水预报的地形订正方法；对区域台风模式的降水预报进行了评估，提出了模式降水预报的主要难点。

(5) 台风模式技术研究和系统研发：基于模式初始场的不确定性，开展台风强度的可预报性和台风强度变化的动力过程研究；开展基于边界层过程的台风强度的可预报性研究；基于台风集合同化预报系统开展地基雷达径向风直接同化技术研究；开展晨昏轨道卫星对台风模式路径预报的影响性预研究；对基于上海区域高分辨率台风模式的涡旋初始化方案进行优化研发。

(6) 完成汛期台风业务值班工作机制，开展了局新大楼业务平台台风客观预报系统的运行、维护与检查工作，及时发现和解决了有关问题。参与服务口的应对媒体采访工作。总结以往台风汛期期间《台风专报》的成绩与不足，重点突出了《台风专报》针对性与科研性，力争既通过《台风专报》体现台风所研究成果（如台风预报可信度研究等），加强台风客观业务预报系统运行维护工作，具体落实和安排人员负责台风路径、强度客观预报方法的维护和后期开发、改进工作。

(7) 台风短期气候预测：完成3月台风活动预测和6月补充预测，多次参加全国、区域和上海局预测会商，并负责撰写台风专报2份。

(8) 完成并出版了《1981-2010 西北太平洋台风气候图集》。

(9) 完成了《热带气旋年鉴 2015》的整编出版任务；基本完成2016年西北太平洋热带气旋年鉴整编任务，通过国家气象信息中心收集2016年影响我国热带气旋的风和雨的资料，分析2016年台风影响时空范围，编写2016年西北太

平洋热带气旋活动的总体特征及每个热带气旋的活动特征（路径和强度），已完成 2016 年西北太平洋热带气旋年鉴的初稿，收集了 2017 年热带气旋的相关资料及完成最佳路径的初稿。

（10）台风灾情评估：开展了台风灾情及相关基础数据的收集，完成了温州市暴雨致灾预警等级显示系统的搭建及准业务运行，开展了台风极值大风概率预报技术研究及温州市台风致灾风险评估技术研究。

2、数值预报研究小组

（1）**区域高分辨率数值预报核心技术研发**：开展高分辨率条件下模式对流参数化的研究。发展了一个新的质量通量 scale-aware 的方案，并利用真实天气个例进行了初步测试；开展“灰色区域”尺度下三维次网格混合的参数化研究，在三维边界层湍流混合中加入了由 LES 资料分析诊断的非局地作用，并根据其随模式分辨率变化的函数，实现了模式次网格混合对分辨率自适应的突破；在边界层方案中实施了 EDMF 方案；开展云初始化方法改进技术研究，实施参数敏感性试验。

（2）**区域数值预报业务系统改善、优化和建设**：优化现有华东区域数值预报体系，规范业务流程管理、业务系统版本管理，建立针对业务系统研发的私有云数据库；针对第二代华东区域数值预报系统在业务中出现的降水雨量系统偏大偏强的系统误差，进行个例模拟试验，并以此为依据调试第三代中尺度预报系统；实现不同类型、不同型号雷达数据格式自动识别和读取。对 S 波段雷达反射率数据质量控制方案优化和质控方法研究；开展区域集合预报系统 EnWARMS-2nd SKEB 方案、SPPT 方案和 SPP 方案的试验；搭建完成 EnWARR 系统，提供逐小时的 1, 2, 3, 6 小时累计降水概率预报。完成了区域模式检验季报。

（3）**数值预报服务保障和汛期值班工作**：常态化开展多个业务系统的日常维护和运行保障工作，为全国数据共享的业务部门提供了业务支撑；高分辨率 EC 增加了华东区域能见度、累计降雪和对流有效位能三类产品。

3、海洋气象研究小组

（1）**进一步开展台风海气耦合模式的研究**：优化台风海气耦合模式边界层海气交换物理过程，特别是改进海洋飞沫对海气界面热量和动量交换的参数化表

示，开展台汛期台风个例的数值模拟试验等。

(2) 完成了新的风浪数值预报系统网格建立。

(3) 针对温州台风联合实验室，海洋气象数值预报产品已传送到温州市气象台，并针对温州海域进行了重新绘图显示。将台风所已有精细化海浪及风暴潮数值预报产品每天两次传送到温州市气象台，产品包括数据和图像两种文件，数据文件包括有效波高、波周期、波向、波长等要素，图像文件包括分 10 个区域显示的有效波高。完成了针对温州海域的数值预报业务系统及精细化风暴潮数值预报系统的移植。多方收集整理了更高分辨率的、更大范围的岸界和岛屿位置信息，并将收集到的多份资料融合分析整理，得到了更加精确的边界资料。针对温州市气象台的精细化需求，针对重点关注的海域及网格分辨率设置情况对计算区域内的岛屿进行筛选。

(四) 科研机制体制改革情况(本年度新增或修订的相关规章制度)

为了加快促进中央财政科研项目资金管理等改革新政策和新举措在台风所能够切实得以贯彻落实，根据《关于进一步完善中央财政科研项目资金管理等政策的若干意见》(中办发〔2016〕50号)、《财政部 科技部 教育部 发展改革委关于进一步做好中央财政科研项目资金管理等政策贯彻落实工作的通知》(财科教〔2017〕6号)及《中共中国气象局党组印发〈关于增强气象人才科技创新活力的若干意见〉的通知》(中气党发〔2017〕25号)等文件精神，结合单位实际，台风所 2017 年按要求先后正式出台了一系列相关管理办法，具体包括：《中国气象局上海台风研究所研究生管理办法》、《中国气象局上海台风研究所中央财政科研项目资金管理办法》、《中国气象局上海台风研究所科研项目管理办法》、《中国气象局上海台风研究所财务报销与结算管理办法》等。新出台的各项管理办法，已在一定程度上调动了全所科技人员的积极性，为形成支持人才发展和科技创新营造了良好的氛围。与此同时，台风所于 8 月前在全所范围开展办法详细解读的工作，确保各项管理办法在后续工作中能够进一步得到有效执行。

二、基础条件与科研能力建设

（一）修购专项建设情况

1、完成 2016 年修购购置项目近海海上观测平台修缮建设，低空无人机探测系统建设和毫米波雷达系统加装天线罩的安装建设任务；

2、完成了 2017 年修购购置项目 1 架高空无人机，1 个机载云雷达，1 套机载探空采集系统和 1 个机载摄像机 1250 万元购置任务；

3、完成了 2018 年上海台风研究所修购购置项目调研、答辩、申报和评审，申报项目经费 1300 万元。

（二）其他建设情况(实验室建设、共建共享建设等)

1、2017 年 10 月 26 日-27 日，中国气象局台风数值预报技术重点实验室举办“Joint Meeting of the 3rd meeting of the International Advisory Committee of Innovation Center of Regional High-Resolution NWP & the 5th Annual Meeting of the Scientific Steering Committee of the Key Laboratory of TC NWP”，邀请了美国、欧洲、韩国等气象学术机构的数值预报专家就数值预报进行了交流，会议还邀请了国家级和区域级数值模式技术骨干共同参加，面对面交流技术进展和研发内容，了解模式应用情况，共享国际专家咨询优质资源。

2、为了有效汇聚资源，推进成果共享，华东区域气象中心于 2014 年起设立了华东区域合作基金，台风所主持完成中国气象局华东区域气象中心项目申报受理平台系统的开发。系统依托于华东区域气象科技资源共享服务平台，提供华东区域气象部门内区域中心、各省及地区（市）级各单位在线组织本单位各类科研业务项目的申报发布、审核受理、评审立项等管理与服务的功能。截至 2017 年底，该项目已完成所有既定目标，部分功能如科技统计及项目申报模块已推广运行，其余模块也将逐步推广试用。

三、野外科学试验

依托国家 973 项目课题“台风强度和海洋环境的海气耦合预报关键技术”、行业专项“近海及登陆台风强度变化科学试验预研究”及基本科研业务专项，在台风杜苏芮影响期间（9 月 11 日-15 日），基于台风所移动观测平台，对无人机

台风探测的可行性及数据可靠性进行了比对验证。试验得到了多组比对数据，为进一步开展台风风雨条件下无人机观测提供了基础。

四、科研成果转化

本年度共有 1 项科研项目进行成果转化并完成成果登记。（见附表 11）

五、论文发表情况

年内共以第一作者（通讯作者）发表论文 24 篇（SCIE 收录 9 篇）。（见附表 12）

六、学术期刊

截至 2017 年底，TCRR 共出版 18 期 102 篇文章，作者来自 13 个国家和地区，其中三分之二为国际作者。我们坚持严格的同行评审，国际审稿人保持在三分之二以上。所有已发表的文章可从网站免费下载，读者来自 100 多个国家和地区，其中美国读者最多，占 51%。全文下载率也稳步增长，2017 年全年的下载量超过 33000 篇次。

在 2017 年亚太台风委员会奖学金计划的支持下，泰国和越南的两位访问编辑至设于上海台风研究所的编辑部工作一周，在沪期间，他们向 100 多位专家学者发送了约稿信，并分别提交了 2 篇文章/摘要，同时审稿 4 篇。

2017 年，编辑部成员参加中国气象学会年会，租赁展台对 TCRR 进行宣传；并参加了全国热带气旋科学讨论会、亚太台风委员会第 12 次综合研讨会及第 4 届 WMO 登陆热带气旋研讨会等国内外会议，通过张贴海报、发放宣传材料等方式，向专家进行宣传约稿，收获颇丰。同时借助亚太台风委员会平台，召开了第二届国际编委会，主要对 2018 年为庆祝亚太台风委员会成立 50 周年出版专刊事宜进行了详细的讨论及规划。

目前，TCRR 被收录于中国知识基础设施工程（CNKI）数据库以及新兴资源引文索引（ESCI，和 SCI 一样，同属于科睿唯安）。该索引收录的全部都是同行评审的高质量期刊，在某区域内具有重要性且在新兴的科学领域（即已有的期刊未能很好覆盖的领域）内具有一定代表性。

2017 年 9 月，与 Elsevier（由科爱公司代表）签署合作协议，今后 TCRR，作为开放获取（OA）期刊，将被收录于 ScienceDirect 平台，与 Elsevier 的 2500 本期刊、12000 本书以及 11000 多媒体共享数据库。

七、学术交流活动的

（一）学术委员会发挥作用情况

2017 年 2 月 17 日，上海台风研究所第三届学术咨询委员会第一次会议在上海召开。会议由台风所学术委员会主任、中国气象科学研究院陈联寿院士主持，参加会议的专家委员有南京信息工程大学王会军院士、邹晓蕾教授、南京大学谈哲敏教授、王元教授、中国科学院大气物理研究所陈洪滨研究员、中国气象科学研究院端义宏研究员、国家气象中心毕宝贵正研、沈学顺正研、解放军理工大学费建芳教授、华东师范大学束炯教授。上海市气象局局长陈振林到会致词并为委员会主任及专家委员颁发了聘书。台风所全体职工参加了此次会议。

委员会专家首先听取了台风所近年来总体工作进展及在数值预报、海洋气象、台风资料整编、国际合作交流等方面进展情况与未来发展计划。下午，委员会专家继续听取了台风所 2017 年拟申报的国家重大专项及自然科学基金课题等情况报告。

在听取报告基础上，委员会专家对台风所在目标定位、学科发展、机构规模、人才培养、合作交流等各层面的工作发展提出了几点指导建议，第一应进一步凝练工作目标，坚持特色和品牌；第二要重视台风理论研究和台风模式发展；第三要加大海洋气象学科发展，加强海气相互作用及海洋气象模式的发展；第四要继续加强与国内高校及科研机构的合作交流，加快人才培养和引进。并对台风所拟申请项目的立项意义和研究内容等给予了指导意见。

（二）主办学术会议情况

年内，台风所主持召开国际学术交流会议 2 次、全国性学术会议 1 次、各类课题会若干次。

（三）国内外专家来访（见附表 13）

本年度，共有 27 人次国内外专家来访，分别来自美国夏威夷大学、澳大利亚气象局、美国飓风中心、德国慕尼黑大学、中科院南海海洋研究所、国家气象中心等相关科研业务机构或高校。

（四）参加国内外学术交流（见附表 14）

本年度，台风所科研人员参加境外国际学术会议及访问交流共 24 人次、参加国内会议共 50 人次、参加培训共 9 人次。

八、科研合作情况

（一）国际合作情况

继续参与 WMO-中尺度专家工作组的工作，继续策划并组织 ESCAP/WMO 台风委员会气象工作组的相关工作，组织完成国际合作项目“近海台风强度变化科学试验”和国际学术期刊《Tropical Cyclone Research and Review》等项目，参与中国气象局“台风国家报告”的编撰，并启动了“WMO 登陆台风预报示范项目（第三期）”和“WMO 台风预报性能评估中心申请”等工作，扩大国际影响力。

（1）中美热带气旋外场观测试验方面，2017 年 6 月 15-25 日，NOAA/大西洋海洋气象实验室（AOML）/飓风研究中心（HRD）的 Xuejin Zhang 和 Sim Aberson 访问了中国气象局上海台风研究所（STI），期间做了讲座并就近期登陆中国的热带气旋观测以及下投式探空资历分析技术等开展了合作研究。NOAA/AOML/HRD 的 Jun Zhang、Frank Marks 与 CMA 上海台风研究所的汤杰、雷小途合作编写一篇名为《登陆期间热带气旋边界层垂直涡流扩散率和混合长度的观测估算》的论文，文中分析了位于中国东南沿海的近岸仪表塔收集的近地面数

据，该沿海地区于 2010 年受到热带风暴狮子山、台风凡亚比和台风鲇鱼的影响。STI 与 HRD 联合成功申请了“政府间国际科技创新合作”重点专项“热带气旋边界层大风结构观测研究”双方牵头人分别为汤杰博士和 Jun Zhang 博士。

(2) 中韩热带气旋研究合作方面，2017 年 5 月 16-17 日，第十届中韩热带气旋联合研讨会在上海顺利召开。会议由中国气象局与韩国气象厅联合主办，由上海市气象局和中国气象局上海台风研究所承办。上海市气象局局长陈振林博士出席本次会议并致欢迎辞，韩国气象厅国家台风中心主任全映信

(CHUN Youngsin) 博士致开幕词，中国气象科学研究院陈联寿院士到会指导。中韩热带气旋联合研讨会是中韩双边合作计划框架下的系列性会议，自 2008 年起每年召开一期，由中国气象局与韩国气象厅轮流在本国召集举办。本届会议为期 2 天，围绕热带气旋观测研究、预报技术、大风与降水、海气相互作用等主题，共组织来自中韩两国气象部门与复旦大学、解放军理工大学、浙江师范大学、武汉理工大学等高校近 40 名专家和学者就各自在台风研究和预报领域的新进展进行了交流与研讨，有效推进了中韩双边交流计划的实施。

(3) WMO 登陆台风示范项目 (WMO-TLFDP) 立项之初确定的研究周期是三年 (2010-2012)，至今已开展第三期 (2016-2018) 研究。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。

(4) 亚太台风委员会工作方面，受中国气象局指派，台风所与香港天文台紧密合作，于 2013 年策划了“近海台风强度变化科学试验 (EXOTICCA)”项目，旨在提高近海台风定强和强度变化预报能力，并于 2014 年第 46 次届会上获得批准，2015 年召开了第一次项目组委员会会议。2017 年 9 月 7 日至 8 日，联合国亚太经社会 (ESCAP) / 世界气象组织 (WMO) 台风委员会 (以下简称“台风委员会”) “近海台风强度变化科学试验 (EXOTICCA)”项目组织委员会第二次会议在上海市气象局顺利召开。会议由中国气象局上海台风研究所主办，台风委员会秘书处协办，EXOTICCA 项目组委员会副主席、台风委员会咨询工作组主席、香港天文台助理台长 Edwin Lai 主持。项目组委员会的组长、副组长及主要成员和来自中国 (气象局，航天科工集团)、中国香港、泰国、越南、马来西亚、美国等台风

委员会成员国（地区）及台风委员会秘书处的相关台风与观测技术领域的专家学者等近 20 人出席了会议，就项目进展及最新台风观测技术等进行了深入交流和研讨，并进一步明确了下一阶段的工作任务及实施计划。会上，台风委员会气象工作组主席、上海市气象局总工程师、上海台风研究所所长雷小途呼吁更多的台风委员会成员加入该项目，进行更为广泛的国际合作，共同推进亚太地区台风的定强及强度变化的预报能力。

台风所科研人员还参加了亚太台风委员会第 49 次届会，亚太台风委员会第 12 次综合研讨会等台风委员会相关会议。

（二）国内合作情况

与浙江省温州市气象局联合建设的“上海台风研究所温州台风预报技术应用研究联合实验室”已于 2016 年 12 月揭牌成立，有望打通台风所科技成果（业务产品和系统）转化至防台减灾一线业务单位应用的通路，并将有利于台风所的业务技术研究专家及时了解系统的性能和发现实际业务应用中的科学问题进而促进重大科研课题的设计。通过一年的努力，原定目标已经达成，成果丰硕。下一步要推进科研成果落地，“小题”要“大做”，要将从科研到业务到服务转化的每一步走踏实，同时进一步理顺实验室运作机制，充分调动合作成员的积极性。

位于浙江台州的“大陈岛台风科学试验基地”和位于福建三沙的“中国台风外场观测基地”建设取得重要进展（已启动基建工程的招投标程序），租赁的位于近海海上 100 米梯度塔也已投入应用，为台风基础研究和模式发展奠定了更坚实的资料基础。

（三）与省所合作情况

通过华东台风综合观测基地建设、行业专项及华东区域科技项目，与福建省气象科学研究所、山东省气象科学研究所及安徽省气象科学研究所建立了合作关系。

九、人才队伍与团队建设（见附表 2，附表 5）

年内，我所共有 5 名职工攻读在职博士学位，1 名职工攻读在职硕士学位。台风理论及预报技术研究室陈国民、数值预报技术研究室李佳、台风信息室张帅攻读南京信息工程大学博士学位；台风理论及预报技术研究室吴丹、数值预报技术研究室骆婧瑶攻读南京大学博士学位；办公室周磊攻读北京师范大学硕士学位。

年内，4 名科研人员应明、黄伟、占瑞芬、汤杰获得研究员任职资格。

年内，共有 8 名硕士研究生在所学习，其中 6 人为台风所招收的研究生，2 人为与成都信息工程大学合作指导的研究生；年内，其中 5 名已顺利毕业。

（一）科研人才队伍建设（见附表 2）

（二）科研创新团队建设（见附表 5）

十、党风廉政建设和科研文化建设

2017 年期间，台风所党支部积极发挥政治核心作用，以邓小平理论、“三个代表”重要思想、科学发展观、习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，紧紧围绕党和国家工作大局，围绕上海市气象局和上海台风研究所的中心工作要求，带领全所党员干部认真履行党章和党规，加强党的建设，履行职责，落实全面从严治党主体责任，在党支部充分营造全员学习、终身学习的良好氛围。继续弘扬“厚德勤学、研精究实”的所训精神，将所训引领作为党支部工作法，以学习型党支部示范建设为良好契机，充分结合“两学一做”学习教育常态化制度化工作的要求，不断创新工作方法，提高管理水平，全面推动学习型单位的建设，有力促进全所党建工作与中心业务工作齐发展，为国家防灾减灾科技发展做积极贡献。

1、党建工作有计划有考核。学习型党支部建设年度工作计划和考核管理办法，建立党员活动考勤制度，强化党员的组织意识和纪律意识，提高党员的思想认识和觉悟水平，为党支部发挥战斗堡垒作用和党员发挥先锋模范作用打好牢固基础。

2、稳步推进读书系列活动。结合学习型党支部建设、“两学一做”学习教育常态化制度化工作要求，台风所党支部自 2016 年以来，组织全所党员职工持续

开展了一系列读书活动。继 2016 年推出“读无用书、做有用事”活动后，2017 年，党支部进一步构思，组织全所党员职工继续推出了“读万卷书、行万里路”的活动。读书系列活动的开展，是为了激发党员职工培养博览群书、读书明智的好习惯，培养踏实做人做事的好品格，同时也激励大家在埋头读书和踏实做事的同时，还要不忘初心，坚定理想信念，做有追求的新时代气象科技工作者。

3、认真落实组织生活制度。根据台风所成立纪念日（1978 年 9 月 20 日），台风所党支部确定了每月 20 日为支部党员活动日。充分结合好党日活动的优良氛围，党支部带动全体党员认真落实“三会一课”等组织生活制度，全力贯彻执行党的路线、方针、政策和决定。

4、大力丰富学习形式。通过组织党员干部“听”（听专家讲十九大报告、讲习总书记的治国理念）、“看”（集体收看改革开放宣传专题片、看文化展览）、“访”（与两学一做共建支部互访交流）、“讲”（支部书记讲党课，普通党员结合自身实际讲党课）、“行”（参观南湖红船和革命纪念馆，参观党风廉政教育基地，在时间与空间的跨越中追寻红色信念）、“谈”（党员座谈关于榜样、关于十九大报告的学习体会）、“写”（优秀青年党员撰写深度好文，弘扬传播进步思想）、“测”（积极参加十九大知识知多少的测试活动）、“创”（争创党员示范岗和党员先锋岗，青年党员主动报名参与争创）等一系列形式丰富多样的党建活动，有效发挥党组织的政治核心作用，发挥党支部的战斗堡垒作用，发挥党员的先锋模范作用，在推动台风所党建工作发展的同时，有力促进台风所中心业务工作水平共同提高，以青年党员为主要成员的台风野外观测青年突击队获得上海市五四青年奖章集体荣誉称号。

十一、 大事记

- 1 月 3 日，台风所召开了 2016 年度全所职工工作总结大会，并邀请人事处领导到会指导。
- 1 月 9-12 日，台风室汤杰副研究员赴北京参加中国气象科学研究院 2016 年度年会，并作题为“Horizontal Transition of Turbulent Cascade in the Near-surface Layer of Tropical Cyclones”的报告。

- 1月13日，台风所召开了2016年度党员领导干部专题民主生活会。所领导班子全体成员参加了会议，所各科室主任、党支部委员、工会主席、团支部委员及部分职工代表列席参加。
- 2017年2月13日，台风所党支部来到共建结对单位徐汇区龙漕居委会开展了社区文明共建活动。
- 2月16日，上海台风研究所温州台风预报技术应用联合实验室在上海召开2017年第一次工作研讨会，联合实验室领导及相关管理人员、联合创新团队全体成员参加会议。
- 2月17日，上海台风研究所第三届学术咨询委员会第一次会议在上海召开。
- 2月21-24日，台风所所长雷小途研究员、台风室陈国民副研究员赴日本横滨参加亚太台风委员会第49次届会并分别做题为“亚太近海台风强度变化科学试验（EXOTICCA）进展”和“2016年西北太平洋台风预报性能分析”的报告。
- 3月9-10日，台风所所长雷小途研究员、陈国民副研究员、白莉娜副研究员赴福建厦门参加第八届全国台风及海洋专家工作组第三次会议，并分别作题为“第49届台风委员会会议综述”、“WMO登陆台风预报示范项目进展”、“2016年西北太平洋热带气旋定位和预报精度评定”和“2016年热带气旋定位定强审定”的报告。
- 3月14-16日，数值室许晓林赴福建国网电力科学研究院参加强台风环境配电网风涝灾害预警及应急复电关键技术研究及示范应用启动会，并作题为“台风风雨预报技术水平及应用现状”的报告。
- 3月27-31日，台风所所长雷小途研究员、气候室陈佩燕副研究员、海洋室段自强副研究员赴浙江舟山参加第25届太平洋海洋科学技术大会，并分别作题为“The Progress of Experiment on Typhoon Intensity Change in Coastal Area”、“A Preliminary Study of the Economic Benefit of Improving Track and Intensity Forecasts of Landfalling Tropical Cyclones”和“On Tropical Cyclone Intensity Forecast Using Different Sea Spray Scheme in Regional Atmosphere-Wave Coupled Model”的报告。

- 4月7日下午，台风所党支部组织党员和职工赴上海龙华烈士陵园开展了祭扫革命英烈的纪念活动。
- 4月10日，数值室谭燕副研究员赴北京参加2017年集合预报用户研讨会并作题为“华东区域集合预报应用现状”的报告。
- 4月13日下午，市局机关党办组织召开了学习型党支部建设专题会，局党组成员、纪检组长袁招洪主持会议，局机关党办的领导及我所党支部委员参加了会议。
- 4月23-28日，台风所数值室黄伟副研究员、张旭副研究员赴奥地利参加2017年欧洲地球科学联合会(EGU)年会，并分别作题为“An Investigation of Microphysical Feedback on Flow Dynamics in a Heavy Rainfall Event”和“A Three-Dimensional Scale-adaptive Turbulent Kinetic Energy Model in ARW-WRF Model”的报告。
- 4月25日下午，为推动“一学一做”学习教育深入开展，并深入学习总书记讲话，做合格共青团员，台风所团支部与气科所、信息中心团支部联合，组织三家单位团员、团干开展了“怎样做一名合格团员”专题团课，由上海市气象局团委书记顾赛燕为与会学习的团员、团干们上了专题团课。
- 5月5日下午，台风所邀请上海市市政规划设计研究员研发中心副主任、教授级高级工程师孙文州作了题为“海绵城市道路建设相关技术”的讲座。
- 5月7-12日，台风室陈国民副研究员赴德国柏林参加第7届WMO检验方法研讨会，并作了题为“Tropical cyclone forecast performance over the western North Pacific in recent years”的报告。
- 5月16-17日，第十届中韩热带气旋联合研讨会在上海顺利召开。会议由中国气象局与韩国气象厅联合主办，由上海市气象局和中国气象局上海台风研究所承办。上海市气象局局长陈振林博士出席本次会议并致欢迎辞，韩国气象厅国家台风中心主任全映信(CHUN Youngsin)博士致开幕词，中国气象科学研究院陈联寿院士到会指导。
- 5月18-19日，美国夏威夷大学王玉清教授应邀来台风所开展台风动力学方面的讲座，我所科研人员及台风创新团队成员参加了此次讲座。王玉清教授作了题为“台风最大可能强度”及“台风内核动力学”的讲座，系统对比和

分析了 Holland 和 Emanuel 的台风最大可能强度模型,并结合平衡动力学和非平衡动力学理论解释了台风增强的原因及可能发展达到的最大强度。

- 5月22-24日,台风所所长雷小途研究员带队一行5人参加国家级科研院所学术交流会,并分别由雷小途、余晖、汤杰、于润玲、许晓林作了题为“上海台风所近5年主要科技进展情况”、“热带气旋强度分析和预报技术新进展”、“Horizontal Transition of Turbulent Cascade in the Near-Surface Layer of Tropical Cyclones”、“上海台风所海洋气象数值预报技术研究与应用”和“上海区域高分辨率数值预报简介”的报告。
- 5月23-24日,台风所副所长王晓峰副研究员和数值室张蕾副研究员赴北京参加多源资料同化应用技术研讨会,并由张蕾作了题为“华东区域高分辨率数值模式资料同化应用现状和存在问题”的报告。
- 5月30日-6月2日,气候室陈佩燕副研究员赴韩国蔚山参加了亚太台风委员会减灾组会议,并作了题为“Introduction of Main Progresses and Plans about AOP4”的报告。
- 6月13-14日,上海市气象局台风科技创新团队2017年度第二次工作研讨会成功召开。会议中,台风科技创新团队成员结合各自任务,介绍了工作进展和下一步工作计划,并围绕团队发展方向和合作交流等展开了热烈的讨论。
- 6月15日上午,台风所党支部书记、所长雷小途同志和支部副书记钟颖旻同志与所支部全体党员赴松江方塔园廉政教育基地进行了参观学习。
- 应我所汤杰博士邀请,美国大西洋海洋气象实验室飓风研究中心(NOAA/AOML/HRD) Sim Aberson 博士和 Xuejin Zhang 博士分别于6月19日至25日和6月22日至7月1日期间到台风所进行学术交流和客座访问研究。Sim Aberson 博士是 HRD 负责下投式探空资料处理、应用和热带气旋动力学研究的资深研究员, Xuejin Zhang 博士是 HWRF 模式核心研发专家,具有非常丰富的热带气旋数值模式研发经验。
- 7月6日,上海市市政规划设计研究院举办了防汛防灾专题讲座,特邀我所李永平博士作了题为“上海气象灾害特点及今年汛期预测”的报告。
- 为推进上海台风研究所温州台风预报技术应用联合实验室创新团队工作进展,学习借鉴上海气象局在海洋气象预报业务方面的经验和平台建设思

路，7月19-21日，温州气象局总工郑峰一行7人到上海台风研究所和上海海洋气象台考察调研。

- 7月25日，上海市气象局台风科技创新团队组织召开了2016年超强台风莫兰蒂专题讨论会。会议回顾了超强台风莫兰蒂的活动特点，讨论了应用外场观测试验资料和卫星遥感观测资料开展其精细结构分析的思路和初步结果，并交流了高分辨率数值模拟研究、雷达资料分析应用等方面的心得体会。
- 8月25日，上海台风研究所党支部组织所内全体党员开展8月党日活动，活动内容包括集中观看学习电视专题片《将改革进行到底》第一集《时代之问》，学习贯彻习总书记7.26重要讲话精神。
- 为积极实践学习型党组织创建促进学习型单位建设的工作，努力为全所党员和职工营造学习新知识新技能的良好氛围，8月30日上午，“彩云天气”联合创始人苑明理先生受邀来到台风所，为我所的党员和职工作了题为“机器学习与短临预报——在彩云天气的实践”的讲座报告。
- 9月21-23日，台风所所长雷小途研究员赴香港参加第十届热带气象研究工作组会议及热带气象研讨会，并作题为“WMO 登陆台风预报示范项目（WMO-TLFDP）”的最新进展的报告。
- 9月26-30日。台风室喻自风副研究员、数值室王晨稀副研究员、办公室王栋梁副研究员和周磊一行4人赴郑州参加2017年气象学会年会，并由喻自风和王晨稀分别作了题为“我国登陆台风降水最大降水落区特征及其机理研究”和“基于随机全倾向扰动的台风路径集合预报试验”的报告。
- 9月28日下午，上海台风研究所党支部组织全体党员开展了“立足岗位建新功、实干迎接十九大”的主题党日活动。活动特邀局党组成员、纪检组长袁招洪与会指导，对我所“两学一做”学习教育常态化制度化工作及学习型党组织建设如何促进单位中心业务工作更好发展等提出了建议和要求。
- 10月11-14日，气候室方平治副研究员与博士后汤胜茗赴厦门参加第二届海峡气象科技研讨会，并由汤胜茗博士作了题“风场降尺度技术研究和应用——以“莫兰蒂“台风为例”的报告。

- 10月29-11月4日，台风室鲍旭炜副研究员赴北京参加海峡两岸项目讨论和合作研讨会，并作了题为“台风“莫拉克”（2009）过台湾岛激发副中心的新机制”的报告。
- 10月26至27日，上海市气象局台风科技创新团队2017年度工作总结暨专家咨询会议在上海召开。会议特别邀请了美国夏威夷大学、香港城市大学、南京大学、中国科技大学、中国科学院国家空间科学中心、华东师范大学、中科院大气物理研究所、上海中心气象台、华东师范大学、上海市气象局等机构的专家出席。
- 10月20-24日，台风所副所长余晖研究员赴瑞士日内瓦参加“天气、气候、水和环境无缝隙研究科学峰会”和第17次届会（CAS-17）。
- 为欢庆党的十九大胜利召开，10月25日下午，台风所党支部联合信息中心党支部，共同组织开展了一次学习十九大精神的专题党日活动，特邀复旦大学政治学专家李威利博士做专题讲座，为两支部党员同志解读习近平总书记的治国理政新理念。
- 10月29-11月4日，台风所台风室汤杰副研究员、期刊编辑部王栋梁、周磊赴韩国参加台风委员会第12次综合研讨会，并分别作题为“Preliminary evaluation of the first rocket deployed dropsonde observations in STY Mujigae (2015)”、“Progress Report on Benefit evaluation of Typhoon Disaster Prevention and Preparedness 及 Report on TCRR Progress”和“Summary of TCRR Action Plan”的报告。
- 11月9-13日，台风室汤杰副研究员赴海南海口参加南海风云论坛并作了题为“基于多源资料分析1522号台风“彩虹”登陆前阶段的强度及风圈”的报告。
- 11月10-13日，博士后汤胜茗赴北京参加2017公共安全科学技术学会学术年会并作了题为“风场降尺度技术研究和应用”的报告。
- 11月20日，根据市级机关党工委及局机关党委的有关工作要求，上海台风研究所党支部组织全所党员干部踏上红色之旅，来到革命圣地嘉兴南湖，开展了“感悟红船精神、重温入党誓词”主题党日及“保持初心本色、强化使命担当”的专题组织生活会。

- 11月23-25日，台风室汤杰副研究员一行7人赴浙江余姚参加了菲特等登陆台风边界层过程和极端降水观测研究讨论会，并分别由汤杰、鲍旭炜、汤胜茗作了题为“台风所观测现状介绍”、“‘菲特’台风(2013)强降水发生机制的诊断研究”和“Research and application of wind field downscaling technique”的报告。
- 应我所汤杰博士邀请，德国慕尼黑大学 Roger Smith 教授与 Gerard Kilroy 博士在11月19-30日期间到台风所进行学术交流和客座访问研究。
- 12月，经过三轮激烈角逐，我所汤杰副研究员主持申请的“热带气旋边界层大风结构观测研究”项目获得2017年国家重点研发计划“政府间科技合作项目”重点专项批准，项目资助金额为310万元。
- 12月5-7日“第4届WMO热带气旋登陆过程国际研讨会”在中国澳门召开，我所喻自凤副研究员、汤胜茗博士及周 参加会议。
- 12月8日-9日，由台风所主持承担的国家自然科学基金面上项目“海洋热状况与西北太平洋热带气旋活动年际关系的年代际跃变及机理研究”2017年学术讨论会暨项目结题会在上海顺利召开。
- 12月13-15日，第18届全国热带气旋科学讨论会在浙江温州召开，来自全国各科研业务单位、高等院校以及港、澳、台等地的120多位代表参加了此次会议。
- 12月15日，继第十八届全国热带气旋科学讨论会在洞头胜利闭幕后，中国气象局上海台风研究所温州台风预报技术应用联合实验室成员马不停蹄赶赴温州市气象局参加2017年度工作总结会。
- 12月18日，南京大学大气科学学院王元教授来所讲座，讲座内容关于自然基金的申报。
- 12月26日，上海市气象局局长董熔与上海市气象局总工雷小途率局办公室、科技处等职能处室主要负责人一行来到台风所调研。

附表：机构基本情况

附表1 单位领导任职情况

附表2 本年度人员总体情况

附表3 本年度硕士或副研以上人员调动情况

附表4 经费总体情况

附表5 科研创新团队

附表6 参加学术组织情况

附表7 学术委员会情况

附表8 在研项目

附表9 新立项目

附表10 获奖情况

附表11 本年度科研成果转化应用统计表

附表12 本年度发表学术论文

附表13 外单位人员来所交流情况

附表14 本所对外交流情况

