

中国气象局上海台风研究所

2016 年年报

2017 年 3 月



# 目 录

概述 .....	1
一、 科研工作进展 .....	4
二、 基础条件与科研能力建设.....	45
三、 野外科学试验 .....	47
四、 科研成果转化 .....	47
五、 论文发表情况 .....	47
六、 学术期刊 .....	48
七、 学术交流活动 .....	48
八、 科研合作情况 .....	49
九、 人才队伍与团队建设 .....	52
十、 党风廉政建设和科研文化建设.....	53
十一、 大事记 .....	41
附表：机构基本情况 .....	60



## 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：

按照《上海市气象局开展“两学一做”学习教育实施方案》文件的部署要求，台风所积极组织，由所党支部牵头，有计划、有成效地推动全所“两学一做”学习教育开展。以“两学一做”学习教育为契机，引领正确方向，发挥党员的模范作用，全力推进台风所中心工作水平的提高，为上海气象事业的创新大发展做出积极贡献。

**承担并完成中国气象局的业务工作：**《西北太平洋热带气旋年鉴》的整编，“上海台风数值预报模式系统”的业务运维并参加全国发报，“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，“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，“台风定位定强及预报性能评估业务系统”、“台风检索系统”、“中国台风网”及“台风论坛（中文）”等的运维。全球、西北太平洋及近岸港口海浪和风暴潮等数值预报系统已在台风所业务化运行多年，2016年已启动申请准入中国气象局的业务运行的相关工作。全年完成《台风活动专报》编写数十期，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。此外，协助中国气象学会台风专业委员会和全国台风海洋专家工作组，完成国家气候中心主编的《中国灾害性天气气候图集》中台风图集的制作；台风所编撰的《1981-2010 西北太平洋台风气候图集》的资料分析计算、制图、版式设计等均已完成，英文翻译和文字整理完成后将于 2017 年出版；并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“局修购小组”和观预处及计财处等的协助下，完成 2015 年修缮购置项目购置的微波辐射计、涡动通量仪、超声风速仪、波浪仪和大部分 GPS/MET 站的安装建设任务，完成了 2016 年修缮购置项目仪器（总价 360 万元）的购置任务，完成了 2017 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 1458 万元项目经费。此外，年内进一步加强了与浙闽等地的合作，“台风所温州实验室”已揭牌成立，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。

**重点科研项目进展顺利：**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 41 项（其中新立项 23 项，包括国家级项目 5 项，省部级项目 12 项），并特别加强了“973”及“行业专项”等重点科研项目的创新研究且进展顺利。年内共以第一作者（完成单位）发表论文 20 篇（SCIE 收录 10 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 3 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 18 人次、参加国内会议共 80 余人次、参加培训共 18 人次，外国专家来访 18 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 41 项（其中新立项 23 项，包括国家级项目 5 项，省部级项目 12 项），并特别加强了“973”及“行业专项”等重点科研项目的创新研究且进展顺利。

### （二）在研项目进展情况

2016 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——热带太平洋 - 印度洋增暖形态对西北太平洋（含南海）台风气候态长期演变的影响及其机理（已验收）

项目负责人：陈葆德；项目执行时间：2012 年 1 月 - 2016 年 8 月。

##### （1）热带气旋基本资料的整编技术沿革和均一性分析

Ying et al. (2014) 通过大量查阅相关档案，梳理了中国气象局热带气旋基本资料整编中的输入资料、分析技术和分析规则等的沿革，分析了与国际上其它几套资料的异同点，指出我国资料的特色，探讨了影响热带气旋资料均一性的若干关键问题（图 1），为热带气旋气候变化趋势的检测、趋势可靠性的评估和资料的均一化等提供了依据。

本文投稿美国气象学会 Journal of Atmospheric and Oceanic Technology，已经发表，曾获审稿人好评：

#### **Review of “An overview of the China Meteorological Administration Tropical Cyclone Database” by Ying et al.**

Reviewed by Ken Knapp (NCDC)

##### **Overview**

The authors provide an extremely valuable description of the CMA tropical cyclone (TC) database. At the outset, the authors show their understanding of other relevant datasets (IBTrACS) and the issues of the data quality. The authors then go on to describe the content and quality of the CMA TC database. While there are some details missing, I feel that this paper is of extreme importance to the TC community. This paper sets a standard of documentation that other TC agencies should provide alongside their TC best track data.



## (2) 西北太平洋热带气旋长期变化不确定性因素的分析

在以上对西北太平洋海域热带气旋资料的性能充分了解的基础上,分析指出导致西北太平洋热带气旋强度的长期变化趋势不确定性的首要原因是1987年前后从飞机探测资料到卫星Dvorak技术强度估计的切换。

对登陆我国的热带气旋来说,地基观测系统的飞速发展使得对登陆热带气旋的观测更为精细化,但同时也在登陆强度和登陆点定位中引入了观测站网加密导致的虚假变化信息,使得长期趋势的估计存在不确定性。

## (3) 西北太平洋热带气旋长期变化特征的分析

Ying et al. (2013)探讨了热带气旋移速的变化特征。本项工作使用了中国气象局、香港天文台、东京台风中心和美国联合台风警报中心4种热带气旋最佳路径资料集检测了1965-2011年间热带气旋(TC, 近中心最大风速 $\geq 17.2$  m/s)移速的变化。热带气旋的移速根据其生命史和每6小时强度的变化分4类(全生命史、加强、减弱和维持)进行统计。结果表明,减弱阶段的平均纬度比其它阶段均高,相应的移速也快。四种资料集均显示移速在热带气旋增强阶段有显著的减缓的趋势,但是各资料集在热带气旋减弱和维持阶段的移速变化趋势并不一致。根据对热带气旋移动的尺度分析,其移速可分为引导流作用和热带气旋动力漂移两个部分,本项工作分析指出:对多发生于热带内地区的加强阶段而言,引导流的影响对于移速的长期变化并没有显著的贡献,而动力漂移部分则有更为重要的作用;而对主要发生在热带外地区的减弱阶段而言,引导流的影响更为重要。目前文章正在整理当中。

## (4) 高分辨率区域气候模式热带气旋检测方案的研究和改进

从模式大气中检测热带气旋的方案是导致热带气旋气候变化模拟预估的不确定性的一个重要方面。CFSR再分析资料是高分辨率的海气耦合再分析资料,在再分析过程中,对热带气旋作了涡旋重定位处理。为了检验CFSR资料的性能并检验和改进热带气旋客观监测方案,本项工利用CFSR资料进行了热带气旋客观检测试验,分析结果表明,CFSR资料较好地提供了热带气旋活动的信息,但是其模式热带气旋和实际热带气旋在强度上仍有明显的差异(图1)。在此基础上,根据检测结果与实际观测的对比,也对热带气旋的客观检测方法进行了改进,为数值模拟和预估研究提供了有价值的参考。

#### (5) 区域气候模式在不同分辨率下对西北太平洋热带气旋生成气候特征的比较

利用 RegCM3 区域气候模式，试验研究了 15、30、45 和 60 km 四个分辨率下西北太平洋热带气旋的生成特征。结果表明，RegCM3 模式对西北太平洋热带气旋生成的模拟能力受分辨率的影响。分辨率的简单提高，并不一定会使模式的模拟能力有所改善。模式在 30 km 分辨率下对西北太平洋热带气旋生成频数及频数变化的模拟能力最强，在 30 km 分辨率下对西北太平洋热带气旋生成频数空间分布的模拟能力最强，在 15 km 分辨率下对西北太平洋热带气旋生成频数、频数空间分布及频数变化的模拟能力最弱。对比分析不同分辨率下热带气旋的生成过程表明，热带气旋生成前期， $\beta$  中尺度涡旋没有发生合并，对流层中低层水汽含量不足是导致模式在 15 km 分辨率下模拟热带气旋生成频数较差的主要原因。

#### (6) 当代气候及未来变暖背景下强台风高分辨数值模拟

利用一种在区域模式的初始场和边界场叠加气候变暖信息的方法研究变暖背景下台风强度和结构的变化。首先利用 CFSR 再分析资料 (Climate Forecast System Reanalysis Data) 驱动区域模式 WRF 模拟某个台风个例；然后将气候变暖的信息与驱动 WRF 模式积分的 CFSR 再分析资料进行累加构建新的驱动场，驱动 WRF 模式进行积分。对比两组试验台风强度和结构的异同，分析气候变暖对台风强度、结构的影响及机理。其中气候变暖的信息来自于 IPCC 发布的某个全球模式预估的 2050 年代 (2046 ~ 2055 年十年平均) 和该全球模式模拟的当代气候 (1996 年 ~ 2005 年十年平均) 的差值。

其中每个台风均做 4 组试验，选取了 22 个台风进行模拟，分析得到如下结论：

(1) WRF 模式模拟的 22 个台风的路径、强度变化均与观测比较一致，特别是模式内层 (水平分辨率为 3 公里) 模拟效果更好。

(2) 未来变暖背景下，若只有海温增暖，大气中其他要素保持不变，则模拟的 22 个台风均变强；若海温不变，大气中其他要素叠加气候变暖的信息，则模拟的 22 个台风均变弱；若海温和高空环流均累加变暖扰动，则 70% 的台风变强，20% 台风基本不变，10% 台风变弱 (图 2)；且进一步分析发现，主要是由于改变了高空温度场致使未来变暖背景下热力结构更为稳定导致了台风的变弱；未来变暖背景下高空湿度场的变化对台风强度影响不大。

### **(7) ERA-interim 全球再分析资料驱动 WRF 模式进行动力降尺度模拟**

为发展西北太平洋台风高分辨率动力降尺度数据集，利用再分析资料 ERA-interim 驱动高分辨区域气候模式 WRF 进行模拟。选取 2004 年进行试验，开展连续模拟积分，积分起始时间为 2004 年 5 月 1 日，积分结束时间为 2004 年 11 月 1 日，选取 5 月 1 日-10 月 31 日的结果进行分析。为得到更高分辨率的西北太平洋台风数据集，使用高分辨区域气候模式 WRF 对再分析资料 ERA-interim 进行动力降尺度。WRF 模式水平分辨率为 15 公里。选取 2004 年进行动力降尺度模拟试验。分析表明，WRF 模式刻画的 2004 年台风频数及位置与观测较为接近，为下一步利用 WRF 模式建立西北太平洋地区历史及未来预估的高分辨率动力降尺度数据集提供了信心。

### **(8) 海陆热力差异对热带气旋活动的调控**

热带气旋能量增长指数定量地界定了气候学意义上热带气旋活动的能量源区和能量汇区（图 3），从而将热带气旋的活动与地球气候系统的能量收支联系起来。文章也指出源区和汇区在物理性质上存在显著的差异，分析了热带气旋活动存在海域差异的本质原因，并探讨了海陆热力差异决定的对流加热与辐射冷却的变化对热带气旋季节变化的调控机理，揭示了热带气旋活动与地球气候系统各圈层的密切联系，指出副热带大陆-海域尺度的热力差异和热带地区纬向非对称的海洋热力状况及它们的变化是影响热带气旋活动区域和季节变化的根本原因。

### **(9) 印太海盆海洋的变化及其对西北太平洋热带气旋活动的影响**

印太海盆海-气耦合系统的变化具有复杂的特征，不仅在太平洋海域有东部型和中部型 ENSO，印度洋海域有 IOD 现象，而且 ENSO 和 IOD 两者之间也有紧密的联系（Yuan et al. 2013）。研究表明 ENSO 对西北太平洋的热带气旋活动有调制的作用；除此之外，印度洋的海温变化也有很好的相关。本项工作分析资料的不确定性对于研究印太海盆的海洋变化与西北太平洋热带气旋活动关系的影响，通过不同资料之间结果比较，辨析对西北太平洋热带气旋活动影响较为稳定的海温关键区。

初步的分布表明：西北太平洋的热带气旋活动与北太平洋中东部的海温有显著的正相关，与西北太平洋热带气旋主要源区的海温为显著的负相关（热带气旋活动导致海温下降），上述相关区因资料的来源不同而有所差异；此外，西北太平洋热带气旋活动印度洋海温的相关关系因资料的来源不同而差异显著（图 4）

。这说明 ENSO 对西北太平洋确实是存在明显的影响，而印度洋海温的作用值得探讨。图 5 给出了春夏秋三季的 SST 与局地 OLR 的相关。由图可见，春季印度洋热带赤道外的 OLR 与局地 SST 为负相关，说明海温偏高与对流活动加强相对应、而海温偏低与对流活动减弱相对应；而夏季和秋季，印度洋海温与其上空对流活动强弱没有明显的统计关系。也就是说，在印度洋大部地区，以下种可能性并存且相当：(1) 偏高海温的海温是因为晴空辐射所引起、偏低的海温是上空对流活动强盛的结果（如图 7b 南印度洋的正相关区），(2) 偏高的海温使得对流加强、偏低的海温使得对流活动减弱；这两种可能性在月尺度上并没有谁更占优势。因此，印度洋海温不能通过强迫大气对流进而影响西北太平洋热带气旋活动。

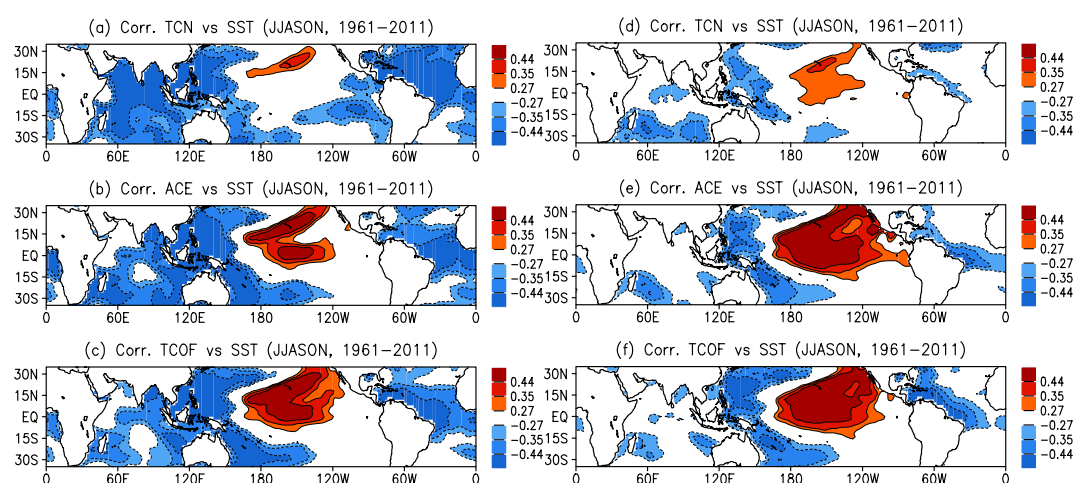


图 4 热带气旋活动参数（季节频数 TCN，累积能量指数 ACE，发生频次 TCOF）与海温的同期相关。(a)根据 CMA 资料；(b)根据 JTWC 资料。

### (10) 东印度洋海温对西北太平洋热带气旋生成的加强影响

前人系列的研究表明，东印度洋海温对西北太平洋热带气旋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（图 6）。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。

进一步研究表明，1970 年代末以前，东印度洋海温与赤道中太平洋海温呈正相关关系。后者在西北太平洋地区激发的大气环流异常与前者的影响是相反的，结果削弱了东印度洋海温对西北太平洋热带气旋生成的调控作用，使得二者在

关系上呈现不显著的特征。1970年代末以后，东印度洋海温与赤道中太平洋海温的关系迅速减弱，而东印度洋暖海温范围迅速扩展，海温范围的扩展加强了东印度洋海温对西北太平洋地区大尺度环流的影响，进而加强了其对热带气旋生成的调控，从而使得这种影响变得更为显著。这一时期，东印度洋海温也与赤道东太平洋海温正相关，虽然后者对热带气旋生成的影响与东印度洋海温的影响是一致的，在一定程度上也加强了东印度洋海温的影响，但资料诊断和模式模拟均表明，后者的作用非常有限。

### **(11) 南北半球海温梯度对西北太平洋热带气旋生成频数年际变化的影响**

Zhan et al. (2013) 揭示了影响西北太平洋热带气旋生成频数的新因子：南北半球海温梯度（简称海温梯度）。这里海温梯度 (SSTG) 被定义为：西南太平洋 ( $40^{\circ}$ - $20^{\circ}$ S,  $160^{\circ}$ E- $170^{\circ}$ W) 和西北太平洋暖池 ( $0^{\circ}$ - $16^{\circ}$ N,  $125^{\circ}$ - $165^{\circ}$ E) 的海表温度之差。分析表明，3-7月逐月 SSTG 与台风季节西北太平洋热带气旋生成频数之间具有明显的反位相关关系，即 SSTG 正异常有利于西北太平洋热带气旋生成偏少，反之有利于其偏多。尤其是春季 SSTG，与热带气旋生成频数的相关可达-0.73，可以解释随后台风季节热带气旋生成频数总方差的近 53%，超过了 99% 的显著性水平（图 7）。

春季，海温梯度正异常激发了异常的跨赤道气压梯度，导致西太平洋地区低层出现了异常的向南越赤道气流和赤道东风。一方面，春季异常的赤道东风通过局地海气相互作用引起随后季节中太平洋变冷，另一方面中太平洋变冷后会进一步加强赤道东风。赤道风场和热力场的共同作用在西太平洋台风生成区域产生了异常的低层反气旋涡度、加大了垂直风切和减弱了西太平洋夏季风活动。结果，海温梯度正异常就极大地抑制了台风季节西北太平洋热带气旋的生成，反之亦然。

### **(12) 西北太平洋热带气旋对平流层-对流层交换的影响研究**

热带气旋作为强大的、有组织的对流系统在平流层-对流层交换 (STE) 中具有重要作用。Zhan and Wang (2012) 利用卫星资料和再分析资料系统评估了西北太平洋地区热带气旋对 STE 的影响和贡献。结果表明，热带气旋对 STE 有重要影响，台风眼墙区有利于对流层向平流层输送 (TST)，台风眼区则有利于平流层向对流层传输，总体贡献表现为 TST。Zhan and Wang (2012) 也评估了不同等级热带气旋对 STE 的影响大小和范围，平均而言，强热带气旋对 STE 的影响强度

更大范围更广，其影响范围可到达离热带气旋中心 1000km 范围，而弱热带气旋影响相对较小，其影响主要集中在热带气旋中心 500km 以内。

在西北太平洋大部分的影响区域，热带气旋引起的 TST 占总的 10% 以上，最高贡献可达 30% 左右，而对整个区域而言，热带气旋对 STE 的总体贡献大约为 5.6%，对进入到热带对流层顶层 (TTL) 最底层的贡献为 11%。在综合诊断分析和数值模拟分析之后，我们指出，热带气旋对 STE 的影响最可能是通过以下三种方式进行。通过对流云团直接将对流层空气及微量元素注射到平流层；其二是对流云团首先将大量的对流层空气输送到上对流层及对流层顶附近，继而通过大尺度缓慢上升运动进入到平流层；其三是通过对流层顶附近中小尺度的空气混合运动影响 STE。

### (13) ENSO 在高原积雪与西北太平洋热带气旋生成频数关系中的作用

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。本文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。

最近几十年，随着全球变暖的加剧，ENSO 与亚澳季风系统的联系更为密切，而 1990 年代初正好为 ENSO 从经典的东部型为主转为中部型为主的时期。本文进一步研究发现，中部型 ENSO 在加强冬季 TPSC 与 TCF 间关系起到了至关重要的作用。1993–2012 年间，冬季 TPSC 与中部型 ENSO 存在显著的负相关。在 TPSC

偏多年(少),中部型 ENSO 多为冷位相(暖位相),这种分布一方面加强了 TPSC 与纬向海陆热力差异继而与西北太平洋夏季风的联系,另一方面加强了 TPSC 对热带气旋生成相关的动力环境场的调控,因此在这一时段 TPSC 与 TCF 之间存在显著的相关。然而,在前一时段 TPSC 与 ENSO 的联系较弱,冬季 TPSC 对西北太平洋夏季风和台风生成区域动力场调控较弱,因而其与 TCF 之间的关系减弱。此外,通过动力诊断研究还进一步揭示,在 1993-2012 年中部型 ENSO 的作用主要是通过加强西北太平洋地区,尤其是中东部地区纬向风的正压能量转化来实现的。

#### (14) 西北太平洋台风生成频数和南北半球海温梯度年际关系的年代际变化

最近研究表明,春季西南太平洋(SWP;  $40^{\circ}$ - $20^{\circ}$ S,  $160^{\circ}$ E- $170^{\circ}$ W)和西太平洋暖池(WWP;  $0^{\circ}$ - $16^{\circ}$ N,  $125^{\circ}$ - $165^{\circ}$ 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。

进一步研究表明:前期(1951-1974 年) SSTG 与东部型 El Niño (EP 型)呈现显著的负相关关系,而后期(1979-2013 年)则与中部型 El Niño (CP 型)密切相关。对于前期而言,一方面,春季 EP SSTA 在赤道地区激发出的纬向风异常及西北太平洋台风主要生成区域激发的环流异常与 SSTG 的作用相反,从而抑制了 SSTG 对春季环流场的触发;另一方面,该时期从春季到夏季 SSTG 自身持续性迅速减弱,这进一步削弱了 SSTG 对夏季环流的调控,从而使得 SSTG 对台风季节台风生成频数的作用不显著。对于后期,夏季 CP SSTA 在西北太平洋台风生成区域激发的环流异常与 SSTG 的作用是一致的,且此时 SSTG 从春季到夏季具有很强的持续性,从而进一步加强了 SSTG 对 WNP TC 生成的影响。

#### (15) 不同影响因子在台风活动强度中的相对重要性

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,均方根误差从 0.68 降低到 0.56。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（图 8），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。

### （16）区域环流的变异对热带气旋活动的影响

热带气旋的活动与区域环流的关系十分密切。在东亚—西北太平洋地区，季风的活动和热带季风—暖海洋的特殊环境，对西北太平洋热带气旋的活动具有更为直接的影响。

由于热带气旋活动的季节跨度大，在整个季节中区域大气环流的基本流特征发生了数次变化（例如副热带高压的北跳和南落），我们针对盛夏—早秋热带气旋活动的主要季节，取不同阶段（6~7 月、7~8 月和 8~9 月）与主要的热带气旋活动期（7~9 月）进行对比，确定基本流的可能影响，最终选定 7~9 月进行分析。分析东亚—西北太平洋地区区域环流典型模态的同时，也分别对年际变化和年代际变化分量作同步的分析，分别建立了各典型模态与东亚—西北太平洋地区热带气旋活动的关系，确立用区域大气环流的变化来预测、评估热带气旋活动的可能性。同时，通过分析各典型模态与外强迫场的相关性，探讨气候变化对区域环流特征以及热带气旋活动的可能影响。

## 2、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

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

### （1）进一步开展台风野外探测试验

2016 年开展了对超强台风“尼伯特”（地点：福建霞浦三沙镇）、超强台风“莫兰蒂”（地点：福建石狮永宁镇）、超强台风“鲇鱼”（地点：福建霞浦三沙镇）和超强台风“莎莉嘉”（地点：海南万宁日月湾）共 4 个台风的追风观测，获得台风边界物理要素的宝贵资料，相关资料的分析和应用正在进行。



## (2) 应用火箭探测等观测资料改进台风定强与结构的分析

在西北太平洋台风业务中,海上台风强度和结构的精确确定一直是一个高度关注且存在争议的问题。出现这个问题主要原因在于长久以来一直缺乏对于海上台风内部结构的直接观测数据。2015年10月3-4日,1522号台风彩虹(Mujigae)登陆我国广东并造成相当大的灾害。本研究利用2015年亚太台风委员会“近海台风强度变化科学试验”(EXOTICCA)中远程火箭探测探空以及飞机探空资料,对“彩虹”在登陆前的强度和风圈结构进行讨论。经过多元资料的仔细比较和量化分析,本研究认为“彩虹”台风在登陆前阶段(即10月3日12时至10月4日00时,世界时)强度约为45-48m/s,七级和十级风圈结构分别为250公里和150公里。需要指出的是,本文对台风强度的估计更接近于中央台和香港天文台的业务估计结果,而强于日本东京台风中心;而风圈估计结果则与所有业务中心结构多不一致,这里确定的明显偏大。通过本文工作,证明台风直接观测资料应用将有助于解决海上台风的强度结构确定等重要科研业务难题,同时台风外场试验观测资料的应用价值也需要得到更广泛的应用。

## (3) 边界层高度参数化方案改进及其对台风路径和强度预报的作用

发展根据螺旋度梯度刻画边界层高度的新方案,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。

## (4) 台风海气动量交换物理过程的改进及上层海洋数值模拟的影响

不同的拖曳系数 $C_D$ 方案对海气相互作用计算结果有重要影响,以往研究多着重于研究改进的拖曳系数方案对台风的影响,至今关于不同风应力方案对上层海洋层结影响的数值模拟研究还不多,对此本文将应用段自强等(2016)考虑飞沫影响后新的拖曳系数参数化方案开展深入分析。另外,对于海洋数值模拟的观测验证是增强结论说服力的重要方面。以往由于受观测条件限制,台风影响下的海洋响应观测分析多采用单个浮标资料,因此无法认识同一时刻台风不同位置上的海洋响应。本工作利用了国家973项目“台风登陆前后异常变化及机理研究”在南海布设的强化观测阵列资料,可以弥补这方面的不足,而2014年“海鸥”台风恰好经过该浮标列阵中心,它为本文开展数值模拟的观测检验创造了有利条

件。

本项目“上层海洋对台风的响应和调制机理研究”在距离海南省三亚东南约300km的南海布设了由5个锚定浮标组成的十字形观测阵列。五个浮标的坐标分别为：B1(116° E, 19.675° N)、B2(115.4874° E, 18.16° N)、B3(116.3092° E, 18.3979° N)、B4(117.3094° E, 19.0962° N)和B5(116.9989° E, 17.6541° N)，具体见图2.6。观测要素包括常规气象要素、波浪观测以及海洋的温度、盐度、海流观测，海洋垂直分层精细，每个浮标的温盐探测有15层左右，最深可至2000m，上层加密。2014年第15号台风“海鸥”其中心恰好经过该浮标列阵（见图13），图中所标注时间为世界时（下同），经过浮标列阵时，近台风中心最大风速约38m/s，为台风级别。为本文开展高风速条件下模拟及观测分析创造了有利条件。

海面风场对上层海洋的准确模拟起十分重要的作用，为了验证用以强迫海洋模式的风场的准确性，这里应用南海强化观测阵列的五个浮标的观测风对相应位置上模式强迫风进行检验。结果表明模式所用风场的台风环流中心与观测的台风中心完全吻合。

图14给出2014年9月10日00时至9月19日00时整个台风影响期间南海强化观测阵列五个浮标的观测风速与相应位置上的模式强迫风速随时间变化。可以看到，尽管模式强迫风场无法描述观测风速中的高频变化部分，但两者总体变化趋势比较接近。定量计算表明，上述时段内五个浮标观测风速与模式风速的平均标准差为2.2m/s，进一步说明了模式强迫风场的准确性。

当风速较小的时(约风速 $<3$  m/s)，EXP2的拖曳系数 $C_D$ 略小于EXP1，当风速处于中等程度时(3 m/s  $<$  风速 $<12$  m/s)，EXP2的拖曳系数与EXP1的拖曳系数非常接近，都呈随风速线性增加的特征。随着风速加大，EXP1的 $C_D$ 继续随风速线性增大，但EXP2的 $C_D$ 增长则趋缓，风速越大，两者差别越大，饱和点约在19 m/s左右，当风速 $>19$  m/s时，EXP2的拖曳系数随风速呈下降趋势，它体现了高风速条件下海洋飞沫对于海面粗糙度的影响。由于浮标海域受台风大风影响时段较短，所用大风资料样本有限，关于 $C_D$ 在大风区的变化结论有待今后进一步验证。

主要通过5个浮标观测海温的比较，分析EXP1和EXP2不同拖曳系数方案

下模式模拟的海温与观测海温差异。

模式模拟的海温廓线与观测接近,包括对混合层和温跃层的刻画等。模式海洋和观测海洋对于台风的响应在混合层(约40米深)和温跃层上部(约150米深)比较明显,EXP2在混合层内的降温略小于EXP1。温跃层内温度变化则相对复杂些,通常而言,温跃层的温度会因为台风的搅拌和冷抽吸作用而降低,但是在B4浮标站,观测到温跃层内某些深度的海温有弱的升高现象,陈大可(2013)曾指出,其原因可能是由于台风对海洋混合层的搅拌,把较暖的混合层海水带入海洋次表层,即所谓的“热泵”现象。模拟的温度廓线在EXP1和EXP2的B4浮标处都出现所谓的“热泵”现象(见图2.12)。因此,模拟出“热泵”现象体现了模式对于台风影响下的上层海洋温度响应复杂性的模拟能力。

另外,模拟和观测都显示,5个浮标位置上,温跃层强度在台风前后都有减弱的现象,EXP1温跃层强度由9月12日的 $0.0535^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 减弱为9月17日的 $0.0530^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ,同时段EXP2温跃层强度则由 $0.0529^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 减弱为9月17日的 $0.0526^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。观测的温跃层强度由9月12日的 $0.0530^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 减弱为9月17日的 $0.0527^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ,因此,相比之下,台风影响前后EXP2的温跃层强度变化与观测更加接近些。

图16显示,模式模拟和观测的海温对于台风的响应到400米深处已非常小,5个浮标平均约 $0.31^{\circ}\text{C}$ ,EXP2中约 $0.33^{\circ}\text{C}$ ,EXP1中约 $0.35^{\circ}\text{C}$ ,因此,总体上由于EXP2的风应力小于EXP1的风应力,使EXP2的较深海洋处的海温响应也略偏小。

海洋在风应力驱动下可产生海流,EXP1和EXP2的不同风应力计算方案必然体现在海流的变化上。模式模拟的海流体现了台风气旋性环流作用下海流响应特征,在南海浮标阵列海域存在一个气旋性海洋环流,最大流速 $1.2\text{ m/s}$ 。比较3个浮标位置上的流速可知,模拟的流速与观测接近,EXP2比EXP1略偏小,两者相差 $0.06\text{ m/s}$ ,相比较而言,EXP2的结果与观测更接近些。

在前期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,它略小于以往大多数研究结果。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减小海面粗糙度有关。

②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,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、温跃层强度减弱和风驱海流等上层海洋要素变化的观测特征。本文的研究结果对于深入认识海气动量交换过程、优化台风海气耦合模式的耦合方案等具有参考意义。

本项目只对一个台风过程进行了数值模拟,由于浮标列阵海域受台风大风影响时段较短,所用大风资料样本有限,关于大风区考虑海洋飞沫作用后  $C_D$  的变化特征结论有待今后进一步验证和分析。

#### (5) 海气浪耦合模式对台风强度变化模拟能力检验

2016 年第 1601 号超强台风“尼伯特 (Nepartak)”是年登陆我国最强的初台风,其在 7 月 3 日由位于美国关岛以南的西北太平洋洋面的一个热带低压发展形成。形成后低压中心稳定向西偏北方向移动,移动速度快,强度爆发式增强,于 5 日 17 时增强为强台风,之后强度迅速增强,并于 20 时增强为超强台风,并于 6 日 11 时达到其生命史最大强度,近中心最大风速为  $68 \text{ m s}^{-1}$  (17 级),之后快速移向台湾海峡。台风“尼伯特”于 07 月 08 日 05 时 50 分以超强台风级在台湾台东太麻里乡沿海登陆,并于 07 月 09 日 13 时 45 分前后在福建泉州石狮市再次登陆。台风“尼伯特”具有强度高,风雨影响范围广、降雨强、灾情损失大等特点。尼伯特由于强度爆发性增强,因此在业务上模式预报难度很大,各家业务模式在 5 日 08 时起报对于强度最强时刻的预报误差可达 15-20m/s,强度预报误差较大,另外尼伯特台风迅速增强与海洋的热力状况密不可分,尼伯特生成时期正是厄尔尼诺结束后,西北太平洋海温迅速升高,目前已接近常年均值,且菲律宾以东洋面上有大范围暖水区,这为尼伯特的生成提供了很好的热力条件。尼伯特生成之时,西北太平洋高低空风向风速条件比较理想,为它的发展壮大提供了动力保障,因此本研究想探讨海洋及海浪飞沫在尼伯特迅速增强阶段的作用及验证模式对超强台风的预报能力。

本研究我们将海气浪耦合模式应用于台风“尼伯特”，通过不同数值试验的对比来研究海洋海浪对台风过程模拟的影响。第一组对比试验（EXP1-EXP3）为整体模拟结果比较。EXP1 为控制试验，海面动力学粗糙度由经典的 Charnock 关系计算得到，未考虑海洋及海浪飞沫对海面动力学粗糙度以及对海气感热、潜热通量的影响。EXP2 为考虑海浪飞沫作用后的模拟试验，EXP3 为考虑海洋及海浪共同作用后的模拟试验，各模拟实验的具体描述如表 3 所示。

大气模式初始场和侧边界采用美国预报中心（NCEP）全球模式（GFS）的间隔 6 小时、水平分辨率为 0.5 度的再分析资料，其积分时间段为 5 日 08 时至 8 日 08 时共计 72 小时。海洋模式的初始场由两步组成，首先用气候态的水位、流场、温度场和盐度场为基础，以多年月平均的表面风应力、热通量、蒸发和降水、侧边界和大洋环流为外强迫，经过 5a 长期积分后达到准平衡态。在此之后，以台风个例起报前一个月作为起始时间，以 NCEP 最终分析资料（Stunder, 1997；黄伟, 2014）每日 4 次的风应力、短波辐射、感热通量和水汽通量作为外强迫继续驱动海洋模式 1 个月形成最终的海洋初始场。

图 17 给出了对比实验（EXP1-EXP3）模拟的近中心最大风速（Maximum Wind Speed）的时间序列。从图中可以看出，在台风突然增强阶段，与控制试验相比，考虑海洋作用的强度模拟要优于单独考虑大气模式的结果，且单独考虑海浪作用的模拟结果与最佳路径结果最接近，表明海气耦合模式对超强台风尼伯特突然增强有一定的模拟能力。

台风移动路径通常主要由大尺度的环境流场控制，台风内部的下边界动力与热力条件对台风路径的影响较小。图 18 给出了台风“尼伯特”路径的模拟结果，可以看出各模拟实验模拟结果相近，模拟的台风路径相对于最佳路径有所偏北，移速略偏快。

台湾浮标距离台风中心近 7km 左右，尼伯特经过台湾浮标时引起的最强降温为 4°C 左右，图 19 为气浪耦合模式模拟的海表温差，最强降温也为 4°C 左右，与实况降温接近。

对于三个模拟试验，在考虑海洋飞沫的热交换作用以后，海气感热通量的计算结果增强。同时由图可以看出，考虑海洋飞沫热交换作用后的潜热通量计算结果也明显增强。对比可以发现，台风条件下海气热量交换以潜热通量为主，且单独海洋飞沫对潜热通量的影响也更大。

结果如下：①气浪耦合模式对台风尼伯特的迅速增强过程模拟较好，海浪的作用在超强台风阶段的作用更为明显，气浪耦合的结果更接近于实况，表明对超强台风有一定的模拟能力。②耦合模式对尼伯特的路径模拟接近于其他数值模式结果，在 5 日 08 时起报时比实况路径偏北，加入台风模型使得后期台风的移速变快。③过程中引起的海表降温在 5 度左右，接近于台湾浮标测出来的降温值。④气浪耦合过程中潜热通量和感热通量较其他试验大。

#### **(6) 基于混合资料同化的台风集合预报技术和业务系统**

在 2015 年工作基础上，本年度将 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  $274 \times 226$  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，以图片形式在上海数值预报网站上自动显示发布。

对 2016 年 7-10 月 1601-1622 共 22 个热带气旋准业务测试的结果进行了统计检验。图 20 和 21 分别是各个 TC 集合预报及所有 TC 统计平均的路径误差。24 小时路径误差约 65 公里，48 小时 125 公里，72 小时 230 公里。

对上海台风研究所 2015 年 10 月 3 日针对 1522 号“彩虹” (Mujiage) 台风开展的火箭下投式探空资料进行了数值同化和预报试验。将 3 日北京时 23 点的火箭探空资料利用 GSI 同化系统进行同化，做同化和不同化两组试验。同化后利用 WRF 模式进行 72 小时预报，模式水平方向分辨率为 9 公里，垂直 51 层。对比

控制试验，加入火箭探空资料后，对 Mujiage 台风的路径影响不显著，强度预报后期略有提高。试验结果有待进一步分析研究。

### (7) 应用示范平台的改进与使用

建立了项目示范应用平台，该平台能进行台风的实时监测分析和预报，展示项目的应用性成果。

开发和升级了集历史台风信息和当前台风实时信息基本查询、历史台风空间检索、历史台风风雨和环境场分析、台风气候统计分析等功能于一体的西北太平洋热带气旋检索和分析系统。系统建设内容包括：数据源建设及管理、系统平台多资料融合可视化、查询分析功能的扩展与增强和辅助设置功能。

近海及陆地的观测网中除了常规观测外，有多普勒雷达、风廓线雷达、梯度风塔、自动站、浮标、海上石油平台、移动多普勒雷达等，在本项目示范平台中增设的浮标、海岛站、平台观测，志愿船、及飞机探测等，都用于台风观测分析研究和定位定强。鉴于数据来源较多，数据格式及时空尺度有差异，对于每个数据台风定位定强的计算方法可有不同，建设了一个数据后期融合分析和台风定位定强综合系统。数据前端质量控制和融合放在数据处理和计算中心完成。

基于台风-海洋模式及多模式集合预报工具箱，对近年来台风强度预报进行检验，找出集合预报工具箱在台风强度预报中存在的系统性误差，并建立相应的订正方法；结合历史相似台风、相似天气形式信息等开发台风强度附加信度的确定性预报产品。开发超级集合预报产品、多确定性模式的预报产品应用。对不确定性进行评估，建立台风强度和台风路径预报的不确定性评估指数。除提供确定性路径预报结果外，还提供该预报结果的信度信息和概率预报产品，供预报员和用户参考。

由于数值模式涉及到的初始场、过程处理、动力系统内在的随机性，以及地面要素和天气现象的随机性，模式结果总是存在着误差。即使经过集合预报、多模式集成，某些内在的随机性仍无法完全避免。利用动力统计方法仍有可用之处的原因。应用卡尔曼滤波方法对模式结果进行随机性修正。

在台风生成的气候分析与预报的基础上；运用卫星数据、地基观测数据监测热带环流演变与热带对流活动；集合数值预报的结果，进行台风生成潜势分析预报。

通过雷达资料同化和常规资料同化结合，提高台风强度、路径和降水预报，

得到台风特征参数，包括台风的环境引导气流，流场非对称结构，降水非对称结构，垂直风切变，移动矢量，大风圈（十级风，七级风），台风强度。

利用集合预报技术、数值模式系统开发台风初生结构的概率预报技术，台风大风圈的概率预报产品，并基于集合预报技术开发基于集合预报产品的台风预警信号发布指导产品。

通过对台风实时数据的采集，对各发布中心的台风数据进行收集整理，报文解释转换，建立台风实时数据库及最佳路径台风历史数据库；具有多预报中心路径、强度、实况与预报实时信息，实时与历史常规观测和非常规观测，反演产品，预报产品，预报检验产品等多种观测反演产品显示与分析功能；可以实现预报预警产品交互式制作及发送等功能。

### 3、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-2016年12月。

#### （1）研究建立了我国台风风雨极值概率分布模型，提出了代表性区域的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

**我国台风风雨极值概率分布模型研究：**研究了多种概率分布模型对我国台风风雨极值的描述能力，发现生物种群增长模型可更好地模拟台风全过程极大风速、最大日降水量、过程降水量、1小时降水量的年极值概率分布，广义极值模型可很好地描述全国各测站台风日最大降水量和最大、极大风速的概率分布；应用极值理论方法，分析了影响上海台风事件的风险变化特征，发现降水极多年风险呈增加态势（图22），且未来仍有可能继续增加；极端大风事件（极大风速 $\geq 27\text{m/s}$ ）的发生概率呈波动式下降趋势，但未来可能反持续，即有增加的可能性。

**台风致灾因子强度指数研究：**基于1984-2013年资料，研究提出了台风风雨影响综合指数，将影响我国的台风分为5个等级（图23），即特重度、重度、中度、轻度、特轻度，称之为台风影响等级。据此定义的台风影响等级和根据灾情指数确定的台风灾害等级（特重灾、重灾、中灾、轻灾、无灾）相呼应，可作为台风灾害评估和预评估的客观指标之一；通过典型相关分析得到致灾因子强度指数中降水和大风的权重系数，提出了浙江省县级台风致灾因子强度指数。

**承灾体脆弱性指数研究：**基于我国第六次人口普查资料，从浙江人口脆弱性的29个指标中分析得到7个主要因子，在此基础上计算得到浙江省脆弱性指数分



布（图3左）。从图中可以看出，脆弱性较高的地区为浙江西南山区，这些地区经济较为落后、山地较多，易发生地质灾害，而沿海以及杭州、湖州等地区脆弱性较小，特别是在市辖区，虽然人口较多，但由于防灾减灾意识较强、房屋质量较高等因素，总体脆弱性较低。

**台风灾害综合风险指数研究：**将浙江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  $R = \text{致灾因子风险指数 } I \times \text{脆弱性指数 } SoVI$ ，得到了浙江省台风灾害综合强度指数（图24右）。对比灾情分布状况，发现该指数能够较好的反映出浙江台风灾情的分布状况，尤其是东南海岸线的区县，高低值中心对应较好，可供台风灾害风险区划参考。

**台风灾害的卫星遥感评估分析：**以台风过境前后多时相MODIS卫星数据和LandSat-8卫星数据为基础，分别针对“菲特”台风过境前后的福建省全省和“威马逊”台风过境前后的海南省临高县，对受灾耕地的光谱信息、特征指数等物理和生物参数进行了差异性研究，并借助台风期间地面气象站监测的降雨量数据，确立了一套受灾耕地的提取和评估方法（图25）。

**（2）开展了台风路径、强度和降水预报的不确定性研究，提出了业务数值/集合预报系统的预报偏差订正方案和概率预报方案**

**台风路径预报的不确定性和概率预报方案研究：**研究了台风路径集合预报各成员的短时效误差与长时效误差之间的相关性，提出了基于短时效偏差订正和成员筛选的多集合预报系统超级集成方案（图26），研究制定了用于描述台风路径预报不确定性的概率椭圆分析方案。评估表明，ECMWF和NCEP集合预报系统的超级集成预报效果最优，而ECMWF集合预报系统的70%概率椭圆在2014和2015年的命中率高达85-93%，可很好地用于描述路径预报的不确定性。

**台风强度预报的不确定性和概率预报方案研究：**对业务数值模式的台风强度预报能力进行了评估，发现预报误差不仅受到模式初始强度误差的显著影响，还与台风及其所处环境的初始状况有密切关系，包括初始强度、尺度、移速、环境气压、环境风切变、发展潜势等。根据这些因子与强度预报误差之间的相关性，提出了模式强度预报误差的预估方案。此外，还研制提出了台风强度气候持续性概率预报方案，并与ECMWF集合预报系统的强度概率预报性能进行了对比分析。

**台风降水预报的不确定性和偏差订正技术研究：**利用小时降水资料以及全球集合预报系统多成员的地面降水集合预报结果，分析了降水集合预报的降水量误

差和概率预报误差。结果表明，各中心降水集合预报都呈U型分布，随着预报时效增长，U型分布逐渐弱化。随着预报降水值增加，误差值增大且分布更分散。随着预报时效的增长和降水阈值的增大，各中心Brier评分均减小。采用贝叶斯平均模型提出了集合预报系统的地面降水预报订正方案，并对台风“尤特”、“潭美”和“天兔”进行了降水集合预报偏差订正试验。

**(3) 开展了台风大风灾害、城市积涝和滑坡泥石流模型研究，建立了代表性高层建筑区风环境评估模型和台风大风随机模拟模型，引进了上海暴雨内涝评估模型和滑坡泥石流物理模型**

**城市高层建筑区风环境评估模型研制：**研制完成了可用于上海陆家嘴金融区风环境评估的CFD模型，所建CFD模型采用非均匀网格，最小网格尺度在垂直方向为1m，水平方向为3m。采用该CFD模型分析得出了陆家嘴金融贸易区核心区域建筑群在不同风向条件下的10m高度风速比图（图28），可见该模型可较好地再现分离流、沟道效应、驻点效应和遮挡作用等引起的风速增速区和减速区。

**台风大风灾害风险评估模型研制：**采用蒙特卡洛随机抽样方法和我国台风年鉴资料，建立了台风全路径概率模拟模型，并实现了CE风场模型的4层矩形网格嵌套计算，最高分辨率2km，为后续开展台风大风灾害风险评估奠定了基础。1000年模拟结果表明（图29），所建台风全路径概率模拟模型能够较好地再现台风年频数、路径和强度分布规律。

**城市积涝风险评估模型研制：**引进了上海暴雨内涝评估模型SUM用于评估台风影响时上海城区积涝风险。该模型在对城市降雨径流过程进行估算的基础上，考虑城市排水、地形起伏以及建筑物分布对地表径流的影响，根据排水区块划分汇水区计算格网积水的空间分布及水深。图30是利用该模型模拟的台风菲特所致上海城区最大积水深度分布图。

**滑坡泥石流风险评估模型研制：**选取典型个例莫拉克台风（图31），研究了不同雨量因子与地质灾害发生的关系；引入滑坡泥石流物理学模型TRIGRS，研究了滑坡泥石流模型的水土参数敏感性，发现当降雨总量和降雨类型保持不变，渗透系数越大，边坡发生失稳的时间越早；当降雨总量和渗透系数保持不变，雨型对边坡的状态具有很大的影响，渗透系数越大，雨型对边坡稳定性的影响也越显著；建立了GRAPES-RISLM滑坡集合预报系统。

## 5、公益性（气象）行业专项——近海及登陆台风强度变化科学试验预研究

项目负责人：雷小途；项目执行时间：2014年1月-2016年12月。

### (1) 台风结构和强度观测试验方案研究

**基于火箭的下投探空方案。**为获取台风的内部结构，特别是过台风中心的风温压湿等基本要素的垂直廓线，创新性地设计了利用火箭弹作为运载工具的“抛撒式”下投探空方案，将下投探空仪搭载至火箭弹上，利用车载火箭发射平台发射火箭，在火箭飞越台风的过程中多点“抛撒”探空舱，并利用“子母弹”技术“弹”出多个下投探空仪（每个探空舱可“弹射”出多个下投探空仪）。

**基于浮标阵列的海气通量探测方案。**为获取台风条件下的海气相互作用特征，普查了我国近海台风优势路径及强度变化多发区，设计了“守株待兔”式的在南海北部海域布设潜/浮标阵列的海气通量观测方案，阵列由5个潜/浮标组成，呈“十字型”分布，潜标重点观测台风条件下的海温海流及盐度等海洋特征要素，浮标主要观测海面的风温压湿等气象要素，阵列的潜/浮标观测资料均通过铱卫星实现准实时传输。

**基于无人飞机的边界层探测方案。**为获取台风边界层结构，设计了利用小型无人飞机在近地层（300-500m）对台风不同风圈进行探测的试验方案，即：在无人机上搭载风温压湿探测仪，将无人机自台风外围沿顺风方向逐渐“切入”台风7级和10级风圈，绕10级风圈飞行一周，再沿顺风方向逐渐“切出”并返回，全程巡航速度100-110km/h、飞行航时3-6小时，探测资料通过北斗卫星实现准实时传输。

**多源探测技术的协同观测方案。**基于气象业务观测网、近年建立的“追风”（车载观测）系统及新近研制成功的火箭抛撒和无人机探空等特点：FY卫星观测可定点加密至分钟级、无人机可在500m以下的近地层观测、火箭抛撒可在6分钟内完成多点“同时”下投探空、车载GPS可对登陆前后的台风进行“追风”升空探空，研制了针对近海台风强度和结构特征的协同观测方案，包括：实时试验区的设计、目标台风的遴选、观测设备的布设和观测项目的设置、南/东海外场观测实施、协同观测作业指挥系统（含指令及响应预案）及综合保障等。

**外场试验作业规范化流程：**由于台风登陆前往往路径变化多段，强度也经常会出现突变现象，而现有作业往往以相对较慢并且更复杂的地面机动为主，因此设立合理可靠的作业流程对于保障台风外场试验是必须的。因此2016年台风季

节中，开展了定期的目标台风讨论，便于试验各个环节把握台风动态、设立合理可行的试验方案与目标并提供可靠的试验保障。在试验结束后也开始对试验情况进行总结和分析，为后期外场试验提供明确经验。

## **(2) 目标台风观测试验（测试）**

**“追风”观测。**利用上海台风研究所的台风监测车，对2014、2015年和2016年“凤凰”、“灿鸿”、“苏迪罗”“彩虹”“尼伯特”“莫兰蒂”“莎莉嘉”“鲑鱼”等台风成功地实施了“追风”观测，获取了台风登陆或影响前后探空、边界层风廓线和雨滴谱等资料。

**边界层梯度观测。**利用沿岸（福建漳浦）100米梯度塔，获取登陆台风近地层的风场资料，分析揭示了在台风近地层存在从大尺度到小尺度（正向 direct cascade）串级和小尺度到大尺度（反向 inverse cascade）的两种湍流能量串级过程等特征：在台风内核区域，以反向串级（2维湍流）为主，而在外围区域以3维正向湍流串级为主。将有助于模式台风边界层参数化的方案改进。

**海气通量观测。**利用在南海北部海域布设的潜浮标阵列，成功捕获了2014年9号台风“威马逊”、15号台风“海鸥”过境前后的海-气边界层等结构。

**无人机观测。**对“晨鸟”小型无人飞机进行了弹射起飞的改造，并对2015年登陆华东的“灿鸿”台风，实施了低空（400米）飞行探测试验，获取了相关的观测资料。

**火箭下投探测初试。**2014年度完成了火箭抛撒技术的研发和设备的改装，遴选了海南文昌和浙江宁波附近两片试验区（海空域申请已获批），并于2015年对落入南海试验区的台风“彩虹”进行试验，成功地将4枚下投探空仪送入台风内核，获取了风温压湿的垂直廓线资料。同时，还进行了“追风”车、雷达及飞机（香港天文台）等的协同观测试验，效果良好。

**台风登陆过程中眼区结构变化：**2016年针对登陆过程中台风眼壁变化展开目标观测试验，其中在台风“莫兰蒂”和“莎莉嘉”登陆过程中均成功捕捉到台风眼壁（观测点距离台风登陆点均小于50公里，观测到最大风速均大于12级）。在两次台风试验中，主要展开了微波辐射计、气球探空、风廓线、雨滴谱等多项综合观测，数据质量良好，并成功观测到台风登陆过程中，台风中心区域边界层高度上出现多各小尺度强对流结构现象。

**短程探空火箭探空试验：**本年度项目单位协同江西9394厂在人影火箭基础

上研发了成本较低的短程台风探空火箭装备，并在 10 月“莎莉嘉”试验期间进行了初步测试。虽然作为一项新研发出来的试验性装备，火箭发射试验未获得成功。但此次测试试验确定和检验了火箭装备的长途运输、安全保障以及协同观测流程合理性。而在 11 月份在江西上饶召开的试验后技术研讨会发现了相关产品瓶颈和问题，预期将为未来的装备使用提供可靠技术保障。

### **(3) 亚太台风强度科学试验国际合作**

与香港天文台联合，成功策划了亚太经社理事会和世界气象组织（UNESCAP/WMO）台风委员会的国际合作项目“亚太近海台风强度变化科学试验（EXOTICCA）”。2015 年在上海顺利召开了项目组织委员会第一次会议，组建了项目科学指导委员会、外场观测及强度变化机理与模式改进等研究小组。项目由中国气象局和香港天文台联合牵头组织实施。2016 年 6 和 11 月份在上海召开两次项目会议，分别对年度台风季节试验方案规划以及台风试验期试验成果展开讨论。在此基础上，与香港天文台陈柏纬博士利用 2015 年台风观测数据，对“彩虹”台风登陆前强度和结构进行分析研究，相关研究内容已经成文待投。

## **6、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。

项目围绕既定目标，已在我国台风极端降水事件资料库建设、台风极端降水事件的时空分布特征和天气学分型研究、台风极端降水的动力预报可信度和概率预报技术研究等方面取得显著进展。截止 2016 年 10 月，项目共资助发表论文 9 篇（含录用待刊），投稿在审论文 2 篇，参加全国性会议交流 6 人次，参加国际会议交流 4 人次。

### **(1) 我国台风极端降水事件资料库和应用平台建设**

设计了台风极端降水多源资料的入库标准和存放形式，并完成了台风极端降水标准库的建设，包括台风降水（日降水/过程降水/小时雨强）极值（n 年一遇或百分比）阈值表及根据全国和各站点阈值生成的逐台风、逐站降水（日降水/过程降水/小时雨强）极值产品等。在此基础上，初步构建了基于 B/S 架构的台风极端降水科学数据共享平台。

### **(2) 台风极端降水时空分布特征和天气学分型研究**

利用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；使用百分比法研究了影响我国台风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（图 34），并进行了台站资料极端降水重现期的计算。

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，其结构通常还能保持很好的对称性。

### （3）台风极端降水的物理过程诊断分析和动力预报可信度研究

选取典型登陆台风开展了极端降水相关物理过程的诊断研究，结果表明：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出现差异；台风“菲特”登陆时，其内外雨带给杭州湾地区带来强降水，而当其中心深入内陆后，北方冷空气的南下与偏东暖湿气流相互作用产生了锋面强降水；台风“天鹅”在陆上的降水粒子尺度小于海上，而粒子浓度大于海上，在零度层以下，陆上降水粒子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；登陆台风的轴平均降水结构与台风强度密切相关，但在登陆过程中，极值降水的落区与强度和台风强度并无直接关系。

选取典型登陆台风开展了模式初始场和分辨率的敏感性试验研究，发现大尺度初始场的细微差异对“苏迪罗”台风极端降水强度和位置的模拟均会产生显著影响，而且降水强度越大，预报的不确定性也越大；模式对“威马逊”台风的格点分辨模拟降水随着水平分辨率的提高而更接近实况；同化雷达径向风对模式水汽场调整不明显，而同化雷达反射率后，“莫拉克”台风环流内的水汽含量显著增加，从而改善了台风环流结构的模拟。

### （4）台风极端降水的概率预报技术及其可信度研究

在单站台风极端降水阈值分析的基础上，应用 EC 高分辨率模式、集合预报产品和华东区域集合预报产品，初步开发了台风降水预报百分位产品，并开展了个例试验。个例检验结果表明，基于阈值分析的降水预报百分位产品在一定程度

上能够指示极端降水，而 EC 确定性模式的降水预报普遍存在高估现象。

基于 EC 集合预报产品，对影响台风降水预报的两个因子——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，且和路径预报误差的相关性更高。

## 8、国家自然科学基金面上项目——热带气旋强度变化的环境因子影响研究（结题）

项目负责人：曾智华；项目执行时间：2013年1月-2016年12月。

尽管热带气旋路径预报水平取得长足进步，然而热带气旋强度预报水平提高相当缓慢，目前热带气旋强度预报的最好业务工具依然是统计模式，迫切要求人们加强对导致热带气旋强度变化的物理过程的理解；人们已经认识到环境因子与热带气旋强度变化关系密切，但其机制依然不明。本项目旨在通过资料统计分析方法，研究环境因子热力作用和热力作用对热带气旋强度变化影响程度、相关性等并给出其合理的物理解释；通过理论研究方法和通过数值模式试验方法，改进我们现有关于环境因子热力和动力相互作用对 TC 强度变化影响问题的理解。本研究将有益于台风理论研究，而且可以为努力提高实际台风强度预报精度做贡献。

利用位于海岸的风塔提供的四层风速观测数据，经过系统和严格的数据质量控制，采用廓线法，研究了海上来风拖曳系数随风速的变化。给出不同时距最大平均风速之间的转换系数，从而在不同研究机构采用的表征登陆台风强度的 1 min、2 min 和 10 min 最大平均风速之间建立联系，并和 WMO 的推荐值进行比较。

运用 WRF 模式对 0907 号热带气旋“天鹅”进行 84 h 过程的数值模拟，研究海温的变化对“天鹅”登陆入海后强度变化的影响。北部湾较高的海温是造成“天鹅”入海后再增强的重要原因之一；在模式中提高（降低）海温时，使“天鹅”入海后中心西南侧的低层热量通量增强（减弱），表面风速随之加强（减弱），边界层入流和垂直上升运动相应增强（减弱），进而促进（抑制）整个气旋中心附近（特别是中心西南侧）对流发展，最后导致“天鹅”入海后强度的再增强。

对我国近海突然增强台风进行统计分析。结果表明，高海温、低风垂直切变环境下，台风强度突增明显，其比例占有所有突增台风总数的 71.4 %；当仅处于低海温环境下或仅处于高风垂直切变环境下，突然增强台风现象极少，比例都是所有

突增台风总数的 2.9%；但当高海温、高风垂直切变环境下，台风仍会出现突然增强现象，占有突增台风总数的 2.9%，在低海温、低风垂直切变极端环境下，不存在突然增强台风。

## 9、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

项目负责人：占瑞芬；项目执行时间：2014年1月-2017年12月。

2016年度，课题资助发表论文5篇，其中SCI论文3篇。此外，另有两篇论文在审稿中。课题资助参加国际学术会议1人次，出国1年访问1人次。

### (1) 研究了超级 El Niño 发展年（1982, 1997 和 2015）印度洋-太平洋海盆不同关键区海洋热状况因子对西北太平洋热带气旋活动的贡献

主要研究了3个超级 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热带气旋（TC）活动的贡献。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，不同超级 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。

### (2) 考察了年代际跃变后局地热动力条件的变化及与全球变化的关系

1980年代以后，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。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，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，在全球变化的背景下表现得更为复杂，这也是导致台风活动发生年代际跃变的主要原因。

### **(3) 揭示了年代际跃变后局地热动力条件变化对台风活动的影响**

#### **①对台风路径分布的影响**

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 1980-2016 年热带气旋最佳数据集、英国 Hadley 中心 SST 资料和美国 NCEP-NCAR 再分析资料分析了年代际跃变后局地热动力条件变化对台风路径分布的影响。结果表明，西北太平洋地区局地热力条件总的是有利于整个海盆热带气旋生成和加强，特别是对西太北部地区热带气旋生成更为有利；局地动力场也有利于西太北部热带气旋的生成。在二者的共同作用下，西太北部地区台风生成偏多，但是因为生成偏北，热带气旋加强的概率变小，因此总的是导致该地区弱台风偏多。在南部地区，局地动力场作用与热力场作用是相反的，而且其比热力场的作用更为显著，因此在南部地区二者的联合作用使得台风生成异常偏少但强台风偏多。

#### **②对热带气旋最大强度位置北移的影响**

已有研究表明，在几个主要海盆热带气旋生命史最大强度（LMI）的年平均位置在过去三十多年已经出现明显北移，尤其是在西北太平洋地区，这种北移最为显著（kossin et al. 2014; 2016）。我们对这一工作进行了再探讨，将热带气旋分为强台风（包括台风、强台风和超强台风等级）和弱台风（包括热带风暴和强热带风暴等级）两个等级，发现这种北移现象主要是由弱台风 LMI 的位置北移引起的（图 2）。自 1980 年以来，弱台风 LMI 的位置已经北移了大约 1 个纬度，超过了 95%信度检验，而强台风 LMI 的位置虽然也略有北移，但是数值很小且统计上是不显著的。进一步研究发现，弱台风在 LMI 位置北移中的作用主要是与台风生成频数和生成位置密切相关，而局地热动力场的联合作用在后者中扮演了至关重要的角色。

### **(4) 揭示了自 1970 年代末以来西北太平洋西部地区强台风比率显著增强**

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 1977-2015 年热带气旋最佳数据集、英国 Hadley 中心 SST 资料和美国 NCEP-NCAR 再分析资料研究了西北太平洋地区强台风比率。发现，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 20%, 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, 而这些都与局地热动力条件密切相关。进一步研究表明, 西部地区 MPI 增加趋势大, 切变减小, 高度场增加较小, 湿静力能垂直梯度大, 有利于强台风增多; 而东部地区, MPI 增加趋势大, 切变增强, 高度场增加较大, 湿静力能垂直梯度小, 不利于强台风增多。

#### (5) 南海-西北太平洋地区低频振荡特征及其对 TC 群发过程的影响

根据中国气象局上海台风研究所整编的热带气旋最佳路径数据集, 以及定义的热带气旋 (TC) 群发标准, 分析了南海—西太平洋地区的低频振荡特征, 及其对 TC 群发活动的影响, 研究了 TC 群发与季风槽的关系。结果表明, 孟加拉湾—西太平洋的近赤道地区有两支主要的对流区, 分别位于南海—西太平洋地区和孟加拉湾东南部。10 ~ 20 d 大气准双周振荡 (Quasi-Biweekly Oscillation, QBWO) 周期是南海—西太平洋地区对流活动的主要周期, 大部分年份 QBWO 占原始序列的方差贡献达 20% 以上。QBWO 的强度具有明显的年际变化, 20 世纪 80 年代以前强度变化较大, 80 年代之后变化较小。根据定义的 TC 群发标准, 发现 1990 年 6—9 月西北太平洋地区共有 4 次 TC 群发过程, 都发生在低频对流活动的湿位相。分析对流活动干位相—湿位相—干位相的演变, 发现 TC 的群发期集中在湿位相, 湿位相期间大气低层为低频气旋性环流, 较强的正涡度有利于初始涡旋扰动的形成和发展, 为 TC 群发提供了有利的环流背景场。根据定义的季风槽强度指数, 发现季风槽强度与 TC 群发过程有很好的对应关系, 由于季风槽的活跃使得对流活动处于湿位相期, 同时季风槽区提供了有利的正涡度条件, 促使 TC 群发活动产生。

### 10、国家自然科学基金面上项目——对流层中层大气影响深对流发展的关键物理机制和参数化研究

项目负责人: 马雷鸣; 项目执行时间: 2015年1月-2018年12月。

2016年度, 项目按照年度计划继续深入研究了深对流发展对于边界层过程的响应, 研究了边界层高度的参数化改进对于台风深对流模拟的影响, 并基于雷达资料分析验证该参数化方案的合理性; 通过卫星资料反演台风非对称结构以改进台风强度分析, 为进一步进行参数化验证奠定基础; 就深对流的多层辐射传输过

程进行研究，研制了高精度的辐射参数化新算法。项目本年度发表2篇国外SCI论文，1篇论文被国外SCI期刊接收。

### **(1) 深对流发展对于边界层过程的响应和参数化研究**

本课题继续研究了深对流对于边界层高度的响应。边界层顶（以边界层高度表示）代表了边界层与对流层物质与能量交换的关键界面，对于对流层中层结构的变化和对流的进一步发展具有重要影响。基于WRF模式9KM分辨率网格，就典型登陆台风个例莫拉克（2009），设计了不同边界层高度参数化条件下的数值敏感性试验，试验结果表明，边界层高度的调整有利于改善对流的触发条件，进而改进对深对流发展过程，更好地描述台风雨带中超级对流单体发展。基于雷达资料的验证表明，与控制试验相比，基于改进的参数化方案模拟的台风切向平均的非对称结构与雷达反射率结构更为吻合。通过螺旋度定义边界层高度能够较好地刻画边界层湍流动能（TKE）的分布特点，进而改变对流层中层结构。新方案对于改变对流层中层的加热过程和湿度变化有明显作用。对表征深对流发展（超级单体）的指标（对流单体综合指数SCP）的诊断分析表明，新参数化方案明显改变了超级单体的不稳定能量和对流发展条件。多个例的检验表明，新的边界层高度参数化方案使得海上深对流区域的边界层高度升高，有利于能量的向上输送和热量交换。而这一结果也与台风强对流中心（眼壁）附近的较高的边界层高度相对应，结果比原方案更为合理。本研究成果由项目负责人作为第一作者在国际边界层权威SCI期刊Boundary Layer Meteorology发表一篇学术论文。

### **(2) 基于卫星红外亮温资料的台风深对流非对称结构和台风强度分析**

卫星红外亮温资料包含了台风深对流和强度的信息，如何从该资料中提取出台风对流非对称性和强度信息是进一步分析台风深对流的基础。这一关键信息不仅可以用于改进数值模式初始场，也能应用于对数值模拟结果的验证，确保项目研究结果的合理性。本项目创新性地将卫星资料与数理方法相结合，针对台风对流结构非对称特点，基于相关向量机和偏向角分布非均匀性判别方法从风云2C静止卫星红外亮温资料中尝试提取出深对流的非对称信息，进而表征台风强度。这种客观方法可望避免传统方法（如Dvorak方法）过度依赖主观经验的不足。选择了西北太平洋2005-2009年的22个台风个例来验证这一方法的可信度。结果表明，与传统的线性回归方法相比，新方法能够通过把台风非对称对流结构与强度建立联系进而改善对台风强度的分析。分析误差（3-10m/s）小于传统的线性方法

(15-29m/s)。由于强台风的深对流与弱台风相比有明显的组织性和规律性，本研究主要针对中等强度以上的台风进行研究。

### **(3) 雷达资料同化对于改进深对流模拟的影响研究**

为通过资料同化得到更好的模式初始场和深对流模拟结果，研究了同化海峡两岸多部多普勒雷达资料对于台风莫拉克（2009）深对流降水的影响。研究表明，雷达反射率同化对于模拟台风的湿度结构、深对流发展和强降水至关重要。研究同化影响机制发现，如不通过雷达反射率同化改进湿度的预报，可导致相对较干的对流层中层环境，进而抑制螺旋雨带的发展，进而形成相对较小的台风内核。另外，仅同化其中一部雷达资料由于不能完整刻画对流过程和结构，并不能模拟台风降水极值，易低估降水强度。基于更多敏感性试验和轨迹诊断试验的结果表明，通过同化关键区域的雷达资料不仅能够改善对台风本体湿度、风场等结构的刻画，而且能够作用于水汽输送对台风的影响。相关研究成果于本年度完成一篇论文，并投稿SCI期刊。

### **(4) 对流层中层结构对于登陆台风深对流和强降水的影响研究**

对台风菲特（2013）的深入分析研究表明，在台风登陆上海南部过程中，台风北侧环境垂直风切变作用下向外卷出的螺旋雨带以及海岸地形所导致的锋生云系对于台风强降水有重要影响。在降水之前，对流层中层的下沉运动和边界层增湿为深对流的迅速发展提供了适宜条件。而登陆之后，在对流层中层下部的干冷空气从北部卷入菲特台风的环流，抑制了台风内核降水的发展，并形成了冷空气的出流边界。宽广的暖湿气流从台风环流东侧与冷空气在降水区域汇合，导致了强降水的产生以及较大尺度气流的重新组织。基于降水区的轨迹分析表明，台风环流组织下的对流层中层湿位涡的不断卷入、台风环流东侧的暖湿入流、从中纬度西风槽中不断卷入的位涡等共同促进了新对流的产生和深对流的发展，进而导致降水发展。对流层中层以上相关系统的变化均与位涡的变化密切相关。

### **(5) 深对流条件下的辐射过程研究及其参数化方案改进**

深对流的辐射传输过程与浅对流有明显的不同。前者对流高度高，对云系辐射过程的刻画需要着重考虑处理云系多层叠加的问题。同时，即使在深对流各层云系平行的假设条件下，精确求解包含散射和吸收过程的辐射传输方程也非常困难。如目前常用的二流近似计算得到大气的透射率和反射率的相对误差高达15-20%。在深对流云情况下，二流近似方案对辐射通量和加热率的计算有更大误

差，尤其是云加热率的误差可高达12%，这不仅直接影响数值模式对温度场的模拟，而且云的加热率影响对流云的发展。对于台风深厚的对流云系统，二流近似方案引起的误差会更大。鉴于此，课题研究发展了四流累加辐射传输理论，并形成了四流离散纵标累加算法和四流球函数展开累加算法，进行了理想数值试验。结果表明，在两层大气情况下，两种方案的精度在各种太阳天顶角和光学厚度范围内进行了系统的比较。与单层的结果相类似，四流方案的计算精度要远远高于二流方案。理想试验表明，四流方案可以较好地描述深对流云辐射传输过程中多层大气的连接问题。综合比较四流方案和二流方案表明，四流方案的精确性显著高于二流方案。二流方案在计算云顶加热率时有高达6%的误差。使用四流方案后，这些误差则大大降低。本研究已撰写一篇论文，投稿SCI期刊。

## 11、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) 再分析资料研究强度结构特征

利用NCEP的CFSR 0.5°再分析资料和日本东京台风中心的最佳路径集，对西北太平洋和南海海域1979-2010年间的热带气旋温湿水平非对称和垂直非均匀结构等进行了合成和对比分析，结果表明：①热带气旋流场的非对称随着气旋增强逐渐趋于轴对称化，而外包区及外围区比湿场的非对称性逐渐增强。②热带气旋普遍具有“双暖心”的垂直非均匀分布结构特征；弱热带气旋的低层暖心相对较强而TY及以上强度的热带气旋高层暖心相对较强。③“暖心”的水平范围和形态随气旋的增强而扩大并更趋于轴对称，200hPa高度场上较弱的热带气旋暖心附近为弱高压中心、较强热带气旋暖心附近为一低压中心。④热带气旋的“湿心”主要位于700-850hPa的低层，湿心强度随着气旋强度等级增加而增强， $0.8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的比湿距平范围随TC强度增强而不断向高层延伸。⑤气旋不同区域的各个层次假相当位温，随气旋增强而增加，且各个强度级别的气旋不同区域增温速率均为内核区最大、外包区次之和外围区最小。

### (2) 利用下投式探空研究台风边界层眼区附近结构能量变化对于强度的影响

利用飓风探测资料，针对具有广泛影响力的2012年飓风“Sandy”（桑迪）的下投式探空、机载雷达以及飞行资料分析热带气旋变性过程中边界层尤其是内核

区域的边界层的能量和通量的变化展开分析, 结果发现, 这一研究成果为预报员和科研人员更科学全面的理解台风变性过程中强度变化机制提供定性判据和定量参考依据, 体现了科研与业务紧密结合的研究思路。相关文章审稿待投。

### **(3) 利用火箭探空资料与香港飞行探测资料讨论台风彩虹(1523)近地层风场结构与台风强度**

利用2015年10月上海台风研究所发射的火箭探空资料以及香港天文台飞行资料, 讨论2015年登陆我国广东的超强台风彩虹强度及风圈结构, 通过分析发现, 彩虹登陆前强度约在41M/S, 而七级和十级风圈分别约为260和160公里。这一结果为我国近海台风强度和风圈结构的确定提供量化思路, 也为边界层风场研究提供了坚实的资料保障。

## **12、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) 区域环流变化对热带气旋活动影响的分析**

在2015年研究的基础上, 继续深入分析了区域环流变化对热带气旋活动的影响。为了深入探讨区域环流因子对热带气旋降水影响的可能途径和影响机理, 我们拟从决定热带气旋降水结构的相关因素(尺度、强度和系统相互作用)着手, 逐个分析其气候的统计规律及其与热带气旋季节降水的关系。

首先, 我们对热带气旋的尺度特征作了分析。热带气旋的尺度是热带气旋密闭云区覆盖的范围、热带气旋自身强风大雨所及的范围。分析表明, 若以50 kts风圈表示热带气旋的尺度, 则尺度异常的热带气旋频数具有2~4年的显著周期, 且主周期具有年代际的差异, 尺度大的热带气旋活动可能与较长时间尺度的变化有关。此外, 异常大或异常小热带气旋的多发区也不相同。尺度大的热带气旋出现在150° E以西10°~30° N洋面的比例较高, 而尺度小的热带气旋在我国南海中北部、140° E与日界线之间的热带洋面和30° N以北洋面所占的比例较高。通常认为热带气旋在转向点附近尺度变大, 而斜压过程的参与也会使得热带气旋尺度比纯以对流潜热为主时更大(Brand and Guard, 1979; Merrill, 1984); 但我们得到的图说明, 在易受斜压过程影响的热带外地区尺度异常小的热带气旋也占有相当的比重。

分析不同区域尺度异常热带气旋发生频次的大尺度海气环境因子表明,热带气旋尺度异常除了分布具有区域性特点,受ENSO循环的影响与否也具有区域性特点。El Nino位相时,不仅西北太平洋西南部尺度异常大的热带气旋偏多(图1.2),热带西北太平洋东部尺度异常小的热带气旋也偏多;La Nina年相反。另一方面,我国南海尺度异常小的热带气旋频次的年际变化主要受局地海陆气耦合模态TBO的调控;而环境因子对西北太平洋30° N以北地区尺度异常小热带气旋频次的年际变化影响很小,这表明其可能更多地受内部动力学或天气尺度等高频过程的影响。以上各个区域不同的影响是否能在气候尺度上找到其规律,是我们将继续探讨的内容。

下一步,我们还将对热带气旋降水相关的强度特征作进一步的分析,然后分析强度和尺度两者协同影响与热带气旋降水量的关系,试图找到区域环流影响热带气旋季节降水量的可能途径。

## (2) 邻近海气系统的变化对热带气旋活动影响的分析

根据文献资料,太平洋和印度洋均可能对热带气旋的活动产生影响,而这一区域的季风也是全球最为显著的。在太平洋海域有东部型和中部型ENSO,印度洋海域有IOD现象,分隔印度洋和太平洋的海洋大陆是最为线性的TBO模态控制区域,并且,ENSO和IOD两者之间也有紧密的联系(Yuan et al. 2013)。第1部分的分析揭示了ENSO和TBO对热带气旋尺度的影响。这部分我们着重分析了海气耦合系统对西北太平洋热带气旋活动的影响。本部分主要分析资料的不确定性对于研究印太海盆的海洋变化与西北太平洋热带气旋活动关系的影响,通过不同资料之间结果比较,辨析对西北太平洋热带气旋活动影响较为稳定的海温关键区。

初步的分布表明:西北太平洋的热带气旋活动与北太平洋中东部的海温有显著的正相关,与西北太平洋热带气旋主要源区的海温为显著的负相关(热带气旋活动导致海温下降),上述相关区因资料的来源不同而有所差异;此外,西北太平洋热带气旋活动印度洋海温的相关关系因资料的来源不同而差异显著。这说明ENSO对西北太平洋确实是存在明显的影响,而印度洋海温的作用值得探讨。春季印度洋热带赤道外的OLR与局地SST为负相关,说明海温偏高与对流活动加强相对应、而海温偏低与对流活动减弱相对应;而夏季和秋季,印度洋海温与其上空对流活动强弱没有明显的统计关系。也就是说,在印度洋大部地区,以下种可能性并存且相当:①偏高海温的海温是因为晴空辐射所引起、偏低的海温是上空对

流活动强盛的结果, ②偏高的海温使得对流加强、偏低的海温使得对流活动减弱; 这两种可能性在月尺度上并没有谁更占优势。因此, 印度洋海温影响西北太平洋热带气旋活动的途径还需进一步深入探讨, 这也是我们计划继续深入研究的。

### (3) 热带气旋降水的气候图集整编

结合所在单位的工作安排, 本项目对1981-2010年热带气旋的降水特征进行了统计和整编, 所得的成果纳入《西北太平洋热带气旋气候图集(1981-2010)》当中, 作为第三部分《影响和登录我国的热带气旋》的重要章节。这些内容包括: 热带气旋影响的日数, 热带气旋引起的暴雨和大暴雨的年频次和月频次, 日降水量以及造成降水时测站与台风中心的距离和方位等, 共计60幅统计图表(部分图见附图3.1-3.3)。该图集计划于2017年出版由科学出版社, 将会标注本项目资助。

## 13、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

2016年度主要完成了地基雷达资料前处理、质量控制及资料与GSI同化系统的接口模块, 利用WRF/GSI云分辨尺度系统(3km)对雷达数据进行了同化测试, 开展了台风个例同化试验, 对结果进行了分析。

### (1) 雷达资料处理、质控及与GSI接口模块

利用美国俄克拉哈马大学开发的ARPS模式的雷达基数据前处理程序88D2ARPS进行去除速度模糊、距离折叠、杂波等质量控制, 改写了88D2ARPS程序以便输出文件能接入后续的接口模块; 开发了对质控后的雷达径向风数据和VAD数据进行格式、坐标转换的程序和两个接口模块, 将每个仰角上的径向风数据和VAD风的ARPS格式数据写成GSI同化所需的BUFR格式, 得到BUFR格式的雷达径向风和雷达VAD文件。

### (2) 雷达资料同化测试

对2016年9月14日20时广州、韶关、阳江、梅州、汕头、深圳、建阳、龙岩、福州、厦门、南昌、九江13部雷达S波段的多普勒雷达资料进行测试。首先将雷达基数据资料放入质控模块, 生成88d2arps.Z\*.hdf radv3d0000文件; 然后进入格式转换模块buf\_r\_encode\_12rwbufr及buf\_r\_encode\_vadprofile, 生成



12rwbufr和vadbufr文件；最后将上述文件放到GSI的RUN目录下，提交GSI同化程序。GSI程序正常结束，察看LOG输出文件stdout，发现雷达资料已经被同化，生成了雷达同化诊断文件fort.209。表明从雷达基数据到雷达资料质控再到GSI同化的流程已全部跑通。

### (3) 台风个例试验

取2016年对福建造成严重影响的1614号台风“莫兰蒂”做个例试验。“莫兰蒂”于9月15日凌晨3时登陆福建厦门，登陆时为强台风级别。同化试验取为14日20时，即台风登陆前7小时，此时沿海多部雷达的资料覆盖范围已触及台风本体。

使用WRF ARW 3.3版，水平分辨率3KM，范围（113.5° E-122.5° E, 21° -29° N）。同化系统为GSI，分别采用3DVAR和Hybrid两种同化方法在14日20时同化上述13部雷达资料的径向风资料，背景场为NCEP 20点的分析场。同化完成后，分别对同化/不同化的场进行12小时预报。Hybrid方法混合权重全部给集合背景误差协方差。对试验结果做进一步分析。在台风涡旋中心北侧较远的地区，分析增量为负，有利于加强北侧的东风，这里的同化效果是好的；但是涡旋中心附近北侧增量却为正而南侧为负，与台风本身的环流结构相反，对台风起削弱作用。在Hybrid试验中，这种与台风环流相反的分析增量还导致了台风结构的破坏，北面出现一个小的涡旋中心。说明台风涡旋周围雷达资料的同化效果是负的，初始时刻对台风强度的削弱和对涡旋结构的破坏是导致后期强度预报变差的主要原因。雷达资料同化后模式纬向风U的分析增量（阴影）、分析场海平面气压（等值线）和风矢量（左：3DVAR试验；右：Hybrid试验）温度场与风场的结论类似，径向风的同化也是负效果。

以上分析可知，同化后的增量削弱了原有台风环流，说明我们生成的雷达径向风数据存在问题，可能是格式转换中出现的错误，也可能是质控时速度退模糊处理得不彻底，具体原因需要进一步细致分析。

## 14、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

### (1) 模式水平分辨率对“威马逊”台风强度与结构的影响

以WRF (V3.4) 模式作为试验模式，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”，开展了模式水平分辨率对“威马逊”强度与结构的影响的试验。

#### ①对路径的影响

三种水平分辨率下的模拟路径的差异主要在移速上，15km分辨率时“威马逊”移动最快，3km时移动最慢，与实况比较，三条模拟路径都非常接近观测路径，其中9km分辨率时最接近实况，因而水平分辨率的变化对“威马逊”路径基本没有影响。

#### ②对强度的影响

从“威马逊”观测的与不同水平分辨率模拟的最低海平面气压随时间的演变中可见，“威马逊”强度对于水平分辨率的变化非常敏感，模拟强度随着分辨率的提高而增强，当分辨率从9km提高至3km时，强度的增强更为明显。当模式内区采用KF方案时，将分辨率从15km提高至9km再到3km，模拟的“威马逊”最强强度（最低海平面气压）从922hPa变化至920hPa再到913hPa，但3km分辨率模拟的最强强度与观测的最强强度888hPa比较仍然偏弱，此外达到最强强度的时间也早于实况，15km和9km时达到最强强度的时间与观测较为一致，但模拟的最强强度比观测偏弱更多。当内区不采用对流参数化方法时，3km和9km分辨率模拟的“威马逊”强度的差异非常大，3km时的模拟强度虽弱于采用KF方案时的模拟强度，但还比较接近，9km时则远弱于采用KF方案时的模拟强度，模式分辨率对强度的影响非常大。

#### ③对结构的影响

“威马逊”结构对于水平分辨率的变化同样非常敏感。从三种水平分辨率模拟的“威马逊”轴对称的10m水平切向风随时间的演变中可以看到，随着分辨率的提高，最大风半径和各级大风半径都逐渐减小，使得眼墙厚度减小，眼墙区域的风变大，从9km到3km，这样的变化更为显著。随着分辨率的提高，尤其从9km提高到3km，模拟的涡旋结构从松散变得非常紧密，涡旋尺度大幅减小，强度大幅增强。从三种水平分辨率模拟的第48h的过“威马逊”中心的温度距平与比湿的垂直剖面图中可以看到，随着分辨率的提高，位于“威马逊”中高层的暖区逐渐向内收缩变得狭窄，暖心强度增强，眼墙区域与眼区的湿度差异增大，眼墙区域的湿度大于眼区的湿度。“威马逊”暖心的变化与其强度的变化是一致的，暖心和强度都随着分辨率的提高而增强。

三种水平分辨率模拟的“威马逊”轴对称的12h时间平均的水平切向风半径-高度剖面图显示,水平切向风随高度而减小,随着水平分辨率的提高,强风区向上伸展至更高的高度;无论强风区还是风速较小的区域,它们的径向宽度都随着分辨率的提高而减小;最大风半径的垂直廓线随高度向外倾斜,随着分辨率的提高,垂直廓线的倾斜度逐渐减小。随着分辨率的提高,上升运动增强且集中于更狭窄更深厚的区域,眼墙随高度向外的倾向度减小,眼墙区域与相临区域的相当位温的差异增大。当分辨率从9km提高到3km时,“威马逊”结构的变化比分辨率从15km提高到9km时的变化大得多。

当模式内区不采用对流参数化方法时,水平分辨率的变化所导致的“威马逊”强度和结构的变化与采用KF对流方案时的变化是相似的,所不同的是,无对流参数化方法时的变化明显大于采用KF方案时的变化,因为9km分辨率下无对流参数化方法时的“威马逊”强度远弱于采用KF方案时的强度。

#### ④小结

模式水平分辨率对“威马逊”强度与结构有非常大的影响。随着水平分辨率的提高,涡旋逐渐向中心收缩,涡旋结构由松散变得紧密而深厚,眼墙厚度和眼墙随高度向外的倾向度都减小,沿眼墙的上升运动增强,将更多的湿热气团从边界层输送至高层,使眼墙区域的对流活动增强,暖心强度随之增强。随着眼墙厚度的减小,眼墙区域的气压梯度力增大,使眼墙区域的风增大;眼墙区域的温度梯度也随着暖心的增强和眼墙厚度的减小而增大,使涡旋环流增强;上升运动的增强使表面气压下降更多,表面风变得更大;这些都使得“威马逊”强度更强。试验结果表明,对于热带气旋强度的预报和模拟,要得到与观测较为接近的结果,模式的水平分辨率至少需要达到3km,这与目前关于强度预报的认识是一致的。

### (2) 模式水平分辨率对“威马逊”台风降水的影响

以WRF(V3.4)模式作为试验模式,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”,开展了模式水平分辨率对“威马逊”降水影响的试验。

#### ①对路径和强度的影响

水平分辨率的变化对“威马逊”路径基本没有影响,不同分辨率的模拟路径都非常接近实况。“威马逊”强度对于水平分辨率的变化非常敏感,模拟强度随着分辨率的提高而增强,当分辨率从9km提高至3km时,强度的增强更为明显。

## ②对降水的影响

### a、累积降水

从“威马逊”84h累积降水的观测值与在三种水平分辨率下的模拟值中可以看到，不同水平分辨率模拟的雨带形状、分布区域大致相同，与观测结果也基本一致；15km分辨率时，强降水主要集中于“威马逊”行进路径及其周边区域，随着分辨率的提高，强降水逐渐向周围扩展，强降水区域的分布更为分散；3km分辨率模拟的降水分布最接近实况。

### b、6h降水

从“威马逊”6h降水的观测值与在三种水平分辨率下的模拟值中可以发现，水平分辨率越低，强降水越集中，随着分辨率的提高，强降水的分布逐渐分散，3km分辨率时，强降水区域呈现为逗号型；较低分辨率时，强降水的集中使模拟结果与实况相差较大，当分辨率提高至3km时，强降水的分散形成多个强降水区域，这样的分布形势与观测显示的降水分布形势较为相似。

### c、1h降水

从“威马逊”1h降水的观测值与在三种水平分辨率下的模拟值中可以更清楚地看到随着水平分辨率的提高“威马逊”降水由集中到分散的特点，分辨率越高，降水的逗号型分布越明显，逗号尾巴上的降水越大，三种分辨率中3km时的降水分布与观测结果的相似度是最高的。当分辨率从15km提高至9km再至3km，1h发生25mm以上降水的区域范围从“威马逊”周边大致200km的范围，扩大至约300km的范围，再扩大至300km以外的区域。

### d、相对湿度与风

“威马逊”水汽的分布与降水的分布相似，随着水平分辨率的提高，水汽的分布由集中于“威马逊”中心及其周边区域而向四周逐渐扩散，垂直方向上，更多的水汽分布于对流层中低层，尤其是中层；不同分辨率时“威马逊”的上升运动相差极大，分辨率越高，上升运动越强，3km时的上升运动远远强于15和9km时的上升运动，同时，分辨率越高，最强上升运动所在的高度越低。不同分辨率时“威马逊”水汽分布的差异和垂直运动的差异与“威马逊”降水的差异是密切相关的。

## ③无对流参数化时对降水的影响

当模式内区不采用对流参数化方法时，水平分辨率9km和3km模拟的降水分布

与采用KF对流参数化方案时的降水分布具有相同的特点，即3km分辨率时强降水的分布范围比9km时更广，3km时的降水分布总体上比9km时更接近观测；不同之处在于，两种分辨率模拟的降水都小于采用KF方案时的降水，两种分辨率时模拟降水的差异也小于采用KF方案时两者间的差异。

#### ④小结

模式水平分辨率对“威马逊”降水有非常大的影响。随着分辨率的提高，“威马逊”水汽的分布由集中到分散，同时上升运动增强，当分辨率提高至3km时，上升运动变得极强，分布更广的水汽与更强的上升运动使得更多降水发生在更广的区域内，从而使得强降水的分布更为分散，这样的分布形势更接近观测。由此可见，对于台风强降水的模拟，要获得较好的模拟效果，模式需要有足够高的分辨率。三种分辨率中3km分辨率的模拟结果虽然最接近观测，但模拟降水与观测间仍有较大的差异。

### 15、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

(1) 以一个中纬度局地强对流为例，设计了水平、垂直分辨率均为100m的大涡模拟试验，该试验在3小时内再现了一个局地热泡逐步发展为一个中纬度强对流系统过程。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。

(2) 多分辨率敏感性试验(水平分辨率分别为200m, 400m, 600m, 1km, 3km)和LES试验的对比结果表明,1km以上水平分辨率可模拟出接近标准试验的云中垂直速度, 600 m及以上水平分辨率对云水(冰)的分布和标准试验接近。而对于浅对流云,不确定性显著增大,要直接模拟出接近标准试验的云中垂直速度和水凝物,400 m是必须的。

(3) 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。进一步分析发现深对流系统中,不但需考虑对流引起的质量通量, updraft中局地垂直扩散对次网格传输的贡献与质量通量相当,深对流中的这一项需在下一代的对流参数化方案中

加以考虑。

#### （四）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）开展近海及登陆台风强度变化科学试验预研究；开展台风极端降水的预报技术及其可信度研究；开展登陆台风灾害影响预（评）估方法研究；开展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；开展热带气旋边界层精细结构及动力学过程观测分析研究开展近海热带气旋风-压关系的动力学研究；开展中国热带气旋降水年际变化的多尺度调制和机理研究；开展登陆台湾台风降水结构特征分析等基础及应用研究工作；开展基于多通道卫星云图融合的热带气旋定位算法研究等。

（2）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。继续完善台风路径概率预报等业务系统，改进，并维护其在汛期的正常运行。移植 WIPS 等业务预报方法到虚拟资源。

（3）负责完成 2015 年西北太平洋精度评定工作，并形成技术报告，完成台风国家报告的上海部分内容。

（4）台风探测方面：分别在 7 月 7-11 日、9 月 13-19 日、9 月 26-29 日和 10 月 16-19 日在福建三沙、晋江、三沙和海南万宁对尼伯特、莫兰蒂、鲇鱼和莎莉嘉台风进行了观测试验，获取了多组探空数据和风廓线、雨滴谱等资料。

（5）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。

（6）完成国家气候中心主编的《中国灾害性天气气候图集》中台风图集的制作和台风所《西北太平洋热带气旋气候图集》中登陆台风图集的制作，完成了《1981-2010 西北太平洋台风气候图集》的资料分析计算、制图、版式设计都完成，处于检查核对校验，英文翻译、文字整理阶段。

(7) 巨灾保险: 开展台风气候预测和台风天气预报在巨灾保险中应用的项目。

(8) 台风年鉴: 完成了《热带气旋年鉴 2014》的整编出版任务; 基本完成 2015 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 2015 年影响我国热带气旋的风和雨的资料, 分析 2015 年台风影响时空范围, 编写 2015 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 2015 年西北太平洋热带气旋年鉴的初稿。收集了 2016 年热带气旋的相关资料及完成最佳路径的确定: 收集了 2016 年热带气旋路径、灾情等相关资料, 确定 2016 年西北太平洋热带气旋最佳路径。

(9) 台风业务系统维护和开发工作: 台风年鉴辅助系统在年鉴整编开始使用; 台风警报信息处理与发布系统维护, 不定期对系统进行改进和完善, 编写实时监控程序通报系统异常以便及时处理; 完成全年台风警报信息的收集分析处理入库发布任务; 完成西北太平洋热带气旋数据库更新维护(2014-2015 入库); 完成台风预警中心模式等收备系统、卫星云图显示备份系统维护。

(10) 完成中国台风网改版建设及台风所所网改版建设, 继续开展区域共享平台建设, 完成项目申报模块, 项目经费监管模块正在建设中。

## 2、数值预报研究小组

### (1) 加强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湿过程研究, 利用大涡模拟(LES)分析中纬度对流过程的对流以及云的分布特征, 进而基于大涡模拟结果, 评估不同分辨率条件下次网格云效应; 开展“灰色区域”尺度下三维次网格混合的参数化研究, 实现模式次网格混合对分辨率自适应的突破, 使得 3dTKE 方案适用于中尺度天气模拟, 为 1km 模式湍流与边界层过程的合理参数化奠定了基础; 对华东区域数值预报模式 9km 和快速更新同化系统 3km 的边界层混合过程进行了评估和分析, 在 9km 模式边界层方案中增加 top-down mixing, 分析其对模式大雾预报的作用; 在 3km 模式中对对比了 YSU 方案和 MYJ 方案的不同影响, 评估了边界层混合过程的强弱和对降水效率的影响; 开展多尺度同化试验, 通过对比高原外场试验的探空观测和欧洲中心模式资料, 验证了外场数据的可靠性, 进而利用 GSI 同化系统进行了考虑不同天气尺度系统的多尺度同化试验, 为物理过程研发提供大尺度强迫场。

### (2) 建立高分辨率数值模式中试基地, 开展国内外同类模式业务运行和测试

开展 GSI 和 ADAS 平行对比试验。基于中尺度数值预报模式 WRF 和 GSI 3DVAR 资料同化系统，建立了一套中尺度数值预报模式系统，除资料同化系统（GSI）与 WARMS V2.0 使用的 ADAS 不同之外，系统其它设置与 WARMS V2.0 相同。使用该系统对 2015 年 7 月 1 日-31 日每日 08 时进行了批量数值试验，结果表明，基于 GSI 的降水预报效果与基于 ADAS 的预报评分结果相当，无显著差异。

### （3）高分辨率新版 GRAPES-TCM 优化和业务运行

针对新版 GRAPES-TCM 模式小雨预报偏多的情况做进一步改进和优化，调整了物理参数化过程，更换了高分辨率模式地形静态资料。完成 2015 年 7-8 月对比实验，结果表明模式优化后各量级降水评分均有明显提高，尤其是小雨量级。该模式在汛期进行了实时业务运行，运行情况稳定良好，在台风路径和强度预报上具有一定优势。

### （4）探索数值预报解释应用在统一云平台上开发和运行的机制，建设数值预报应用云平台

完成数值预报格点数据的全国共享服务；租用云资源，实现华东模式数据上云测试，完成云平台整体设计、系统云基础设施服务租用，完成基础系统平台各系统的实现并上线运行。目前，数值预报专业云平台系统第一版的开发基本完成，实现云平台在公有云上的部署，完成国家级、华北、华东、华南四个中心的数值预报业务模式格点资料实时上云，为全国省级气象部门提供数据服务，实现精细化格点数据的精准读取。

### （5）全力以赴做好数值预报服务保障和汛期值班工作

全年常态化开展多个业务系统的日常维护和运行保障工作，区域 9km 数值预报系统故障率维持在 1% 以下，为全国数据共享的业务部门提供了强有力的业务支撑；组建了精细化格点应用的工作群，及时回复和交流其他业务部门在使用共享格点预报数据的方面的问题和建议。研发了针对杭州地区的高分辨率数值预报诊断等特色产品，通过云平台传输精细化格点数据，为 G20 杭州峰会的精细化格点数据服务奠定了坚实的基础。更新了汛期数值预报业务值班流程和后台技术支持人员责任制度；6-9 月参加汛期业务值班，为梅雨、强对流、台风，尤其是莫兰蒂台风等重大影响天气提供了准确、及时的数值预报保障。

## 3、海洋气象研究小组



(1) 推行“全员值班制”，组建台风（含海洋）及区域数值预报两个值班团队，对汛期的台风和全年影响上海及华东地区的重要天气过程（含 G20 杭州峰会等重大气象服务保障）进行客观预报业务值守，通过云平台传输精细化格点数据。此外，全年运行维护的客观业务系统主要有：“上海台风预警中心业务网”、“区域数值预报业务系统”和“海洋气象业务系统”及业务产品网站等的运行维护，相应产品供全局并通过区域共享网等途径供华东区域内外相关业务单位免费使用。此外，积极参加上海局汛期及重要天气过程和重大气象保障服务的专题天气会商、台风及灾害风险评估等的专家解读，并协助我局参与国家气象局的台风等专题会商（含提供 PPT 等相关材料）、协助撰写“华东重要天气专报”等决策服务材料。

(2) 开展基于集合最优插值方法的海洋资料同化方案研究；开展台风海气耦合模式的优化与数值模拟研究；对台风-海洋环流-海浪模式构成的海-气耦合模式进行大样本预报试验，特别是对发展的包括海洋飞沫影响的新的海-气耦合方案进行测试，效果良好。

(3) 负责上海台风所温州实验室运行与合作研究，台风所海洋气象海浪与风暴潮数值预报产品已在温州气象台得到初步的推广应用。目前正在与温州气象局开展多方面的科研和业务应用合作，双方多次互访洽谈合作事项。

(4) 维护现有的风浪、风暴潮等海洋数值预报业务预报系统正常运行。

(五) 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）

为深化科技体制改革，按照《中共中央办公厅 国务院办公厅印发〈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）的要求，2016年度台风所制订了《中国气象局上海台风研究所会议费管理办法（试行）》及《中国气象局上海台风研究所差旅费管理办法》。此外，根据实际工作需要制订了《中国气象局上海台风研究所合同管理实施细则》。

## 二、基础条件与科研能力建设

### （一）修购专项建设情况

(1) 完成 2015 年修缮购置项目微波辐射计、涡动通量仪、超声风温仪、波浪仪和大部分 GPS/MET 站的安装建设任务；

(2) 完成了 2016 年修缮购置项目 360 万元购置任务；

(3) 完成了 2017 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 1458 万元项目经费。

## (二) 其他建设情况(实验室建设、共建共享建设等)

1、2016 年 10 月 31-11 月 1 日，美国国家大气研究中心 (NCAR) 的 Jimmy Dudhia 等 8 名国外专家来沪指导数值预报技术，并于 10 月 31-11 月 1 日参加了中国气象局台风数值预报技术重点实验室 2016 年学术委员会会议暨区域高分辨率数值预报创新中心国际咨询委员会会议。此外，各位专家还参加了数值预报创新中心各团队的讨论会，对数值预报创新中心具体工作进行了交流和指导。

中国气象局台风数值预报技术重点实验室 2016 年学术委员会会议暨区域高分辨率数值预报创新中心国际咨询委员会与会人员 50 余人，分别是实验室学术委员会、创新中心国际咨询委员会成员，创新中心管委会成员和创新中心研发团队成员。专家们一致认为上海在高分辨率数值预报核心技术研发方面取得了突破，尤其是在高分辨率物理过程、灰色地带的参数化研究、化学天气模式、海洋模式研发等方面达到了国际先进水平。

此次来沪的美国专家均为美国下一代全球数值预报模式系统研发团队负责人和骨干成员，据国外专家介绍，目前传统物理过程当中的很多假定已经不适应区域数值预报模式向高分辨率的发展，因此当前亟需突破传统的假定，使改进后的物理过程能够适应从几百米到几公里的网格距。上海高分辨率数值预报创新中心的研究方向正走在这一热点研究前沿，研究发展了一种全新的基于完整三维湍流动能预报方程的参数化方案，该方案实现了模式分辨率的自适应。美国下一代全球数值预报模式系统已考虑将引进这项核心技术来取代传统一维边界层方案。

权威专家们还就上海高分辨率数值预报创新中心下一步发展计划进行了深入研讨，并提出了一系列指导性意见和建议，包括进一步加强与国际一流数值预报机构的合作，继续深入推进物理过程、灰色地带参数化等核心技术研发，同时新的研发过程中加强平行试验；通过互访、培训等方式，加强新一代年轻科研

技术力量的培养；加快计算资源的整合，尽快增强计算能力；以及提高预报员对模式产品的应用能力等。

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，台风所主持承担了“华东区域气象科技资源共享服务平台建设”。该项目于2015年1月正式启动实施，是2015年度上海市气象局重点工作之一。项目开发旨在建成中国气象局华东区域气象中心气象科技资源共享服务平台，实现科研动态信息发布、项目与论文成果等信息检索查询、项目申报评审、成果转化推介、科技数据与设备资源共享、项目经费实时监控管理等功能，达到区域气象科技资源共享互惠及高效管理的目标。

### 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，完成包括火箭和飞机等多源探测手段的台风协同探测方案的设计并进行了实地观测试验测试(年内分别于7月7-11日、9月13-19日、9月26-29日和10月16-19日在福建三沙、晋江、三沙和海南万宁对尼伯特、莫兰蒂、鲇鱼和莎莉嘉台风进行了观测试验)，获取了多组探空数据和风廓线、雨滴谱等资料。

### 四、科研成果转化

本年度共有4项科研项目进行成果转化并完成成果登记。(见附表10)

### 五、论文发表情况

年内共以第一作者(完成单位)发表论文20篇(SCIE收录10篇)。(见附表11)

## 六、学术期刊

2016年，TCRR共出版3期14篇文章。截止2016年底，TCRR的作者来自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，国际审稿人也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52%。全文下载率也稳步增长，2016年全年的下载量超过26000篇次。

为了充分发挥编委会专家的影响力与积极性，2016年对编委会进行了扩充。在明确编委职责及权利的基础上，新增了10位分别来自美国、澳大利亚、印度以及中国的国际编委。

2016年，在亚太台风委员会奖学金计划的支持下，有两位访问编辑到访，分别是来自美国夏威夷大学的CHEN Yi-Leng博士以及来自泰国气象局的Kamol P. na Sakolnakhon博士。他们同时参加了第一届TCRR国际编委会议。本次会议于2016年10月21日在上海召开，共有15位参会代表，包括WMO代表、主编、副主编、国际编委顾问、国际编委、访问编辑及编辑部成员。会议在Johnny Chan教授的主持下，就如何提升期刊国际影响力以及扩大稿源等问题进行了讨论。

## 七、学术交流活动的

### （一）学术委员会发挥作用情况

本年度，学术委员会成员通过现场指导、参加会议、通讯咨询等方式，对推动台风所各项工作的向前发展发挥了重要作用，为台风所深入明确的科研创新方向和目标起到积极的指导意义。学术委员会主任陈联寿院士多次来所指导工作，对亚太台风委员会学术期刊等国际学术交流活动给予直接指导并主动参与其中部分工作。计划于2017年进行对学术委员会成员进行调整并将于2017年召开第三届学术委员会第一次会议。

### （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3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 18 人次、参加国内会议共 80 余人次、参加培训共 18 人次，国内外专家来访 17 人次，分别来自美国 NOAA、德国慕尼黑大学、美国佛罗里达国际大学等。

### （三）国内外专家来访（见附表 12）

本年度，共有 15 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、中国气象科学研究院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 13）

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 18 人次、参加国内会议共 80 余人次、参加培训共 18 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》等年度优先工作项目，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，与 WMO-南京培训中心联合举办“台风预报技术培训班”，扩大国际影响力。

（1）中美热带气旋外场观测试验方面，汤杰于 2016 年 4 月 17 日 - 4 月 23 日赴波多黎各参加了美国气象学会第 32 届飓风及热带气象会议，并在会上作了口头报告，主要介绍了 2015 年我国开展火箭探测台风相关试验及后续规划情况。此报告引起了台风观测领域多名专家广泛兴趣，与会专家就资料有效性、可用性和准确度，火箭可行性以及后续试验计划，探空数据廓线对于台风内在结构探测特点等提出多个问题，并形成较为热烈的讨论。会后，包括美国气象学会会士 Mark Powell 等多名与会专家在会议间歇期对火箭探空技术、南海台风试验及后续计划等咨询，并针对我国后续台风试验的合作可能性进行了讨论。中美数值模

拟和资料同化技术方面，中国气象局台风数值预报技术重点实验室于2016年10月31-1日在上海成功召开了2016年学术委员会会议暨区域高分辨率数值预报创新中心国际咨询委员会。会议围绕高分辨率台风模式关键技术研究、区域高分辨率数值预报进展、创新中心定位及未来发展方向等进行了深入探讨。张旭于2015年12月12日-2016年7月12日赴美国国家海洋和气象管理局（NOAA）地球系统研究实验室（ESRL）进行了为期7个月的学术访问。针对目前台风业务工作中的技术难题（三维湍流混合方案（3dTKE）、高分辨率模式一体化的物理过程）进行了深入的研究。

（2）中澳热带气旋合作方面，2016年10月17-21日，澳大利亚气象局天气与气候研究中心 Noel Davidson 教授到上海台风研究所进行了学术交流访问。喻自凤 2015年11月24日-2016年2月22日赴澳大利亚气象局访问，与澳大利亚气象局高影响天气工作组的成员合作开展了“登陆台风降水预报的 CRA（Contiguous Rain Areas）方法检验”及“台风强度与登陆台风降水之间的关系”两方面的研究

（3）中韩热带气旋研究合作方面，2016年5月15-20日，上海台风研究所、国家气象中心台风和海洋气象预报中心、上海海洋气象台组团赴韩国参加了中-韩双边台风学术交流活动。双方交流了近年来各自在台风领域取得的最新科研成果及业务进展，并就双方关心的台风外场观测、高分辨率台风数值模式、台风灾情防范及预估等进行了深入探讨，就进一步发挥中-韩台风学术交流平台的作用达成了共识。

（4）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），至今已实施完成第二期（2013-2015），WMO 在评估其效果后决定开展第三期（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。

2016年10月17-21日，世界天气研究计划（WWRP）热带气象研究工作组（WGTRM）第16次会议暨登陆台风预报示范项目研讨会在上海成功召开。本次研讨会由世界气象组织、中国气象科学研究院主办，由上海市气象局、中国气象局上海台风研究所协办。上海市气象局陈振林局长出席会议并为大会致辞。来自 WMO

、美国海军研究生院、美国国家海洋与大气管理局、菲律宾气象局、澳大利亚气象局、中国香港天文台、韩国国家气象科学研究所、印度气象学会、香港城市大学、首尔国立大学、中国气象科学研究院、南京大学、国家气象中心和上海台风研究所等机构的知名专家共计 40 余人出席会议。与会专家就 WMO 登陆台风示范项目的应用与实践、近海台风强度变化科学试验项目进展、WMO 中国南方季风暴雨试验项目等进行了介绍交流，充分肯定了项目实施取得的各项成绩，并就项目组下一阶段工作计划等内容进行了讨论。

(5) 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。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，依托“海洋-台风 973”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“海欧”的海气边界层通量观测资料，依托行业专项等与相关单位合作研制了火箭弹等新型台风探测系统，并于 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。应亚太台风委员会第 48 次届会的要求，项目组起草了成员国参与项目的“TERMS and CONDITION”，并在本次亚太台风委员会综合研讨会上进行了讨论，亚太台风委员会秘书处将协助进一步征集意见和修改完善后提交下次届会审定。同时，我所也一如既往地承担着亚太台风委员会台风预报检验及《热带气旋研究与评论》期刊奖学金计划，接待了来自朝鲜、美国、泰国专家的访问。

(6) 中尺度工作组：余晖于 2016 年 7 月 30-31 日赴香港参加了世界气象组织世界天气研究计划临近预报和中尺度研究工作组会议 (WWRP)。会议讨论了 WMO 临近预报技术手册的编写进展，还就 WWRP 的 2016-2023 战略计划进行了专门的讨论。

## (二) 国内合作情况

继续与中国航天科工集团、“9394”公司及南京航空航天大学等合作，完成

低成本可业务化探测台风的“火箭探测系统”和“低空无人机探测系统”等的研制，2017年将投入业务化测试，可望进一步拓展台风直接观测、定位定强、机理及预报关键技术研究的手段（第一手观测资料的保障）。经过近1年的筹备，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”已于年内揭牌成立，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。此外，积极参与上海局组织的“区域科技协同创新”工作，承担的“区域气象科技资源共享服务平台建设”等协同创新项目取得显著进展，并正在区域内试用。

年内进一步加强了与浙闽等地的合作，“台风所温州实验室”已揭牌成立，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、江苏省气象科学研究所、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名考取并攻读在职博士学位，1名考取并攻读在职硕士学位。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，共有 12 名硕士研究生在所学习，其中 6 人为台风所招收的研究生，5 人为与成都信息工程大学合作指导的研究生；1 人为与华东师范大学合作指导的研究生；年内，其中 4 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

### （一）“两学一做”学习教育

按照局党组的统一部署和要求，由党支部牵头，及时制定了《上海台风研究所开展“两学一做”学习教育实施细则》及《上海台风研究所“两学一做”学习教育计划表》。实施细则对学习教育的目的要求、活动内容、具体措施和组织领导等进行了有条理的细化，计划表对学习教育各时间节点的重点工作内容、人员参加范围和具体责任分工做出了周密安排，确保了全所“两学一做”学习教育的顺利开展和实施。

学习教育中，支部共制定 1 份学习教育实施细则及 1 份学习教育计划，主要负责人上专题党课 1 次，普通党员结合自身工作学习情况上党课 1 次，邀请资深老党员专题讲座 1 次，召开组织生活会 9 次，开展参观学习活动 2 次，建立共建支部 1 家，开展共建活动 2 次，撰写阶段进展总结报告 3 篇，发布宣传报道 7 篇。由于所领导班子高度重视、所党支部组织周密，以“两学一做”学习教育为契机，全所党员积极参与，认真学习党章党规，学习习近平总书记系列重要讲话，能够按照党员标准审视自己、改进自己，把学习教育与日常工作、支部建设结合起来，将个人成长融入单位发展大蓝图，激发创新意识和拼搏精神，正确处理学习和实践的关系，避免形式主义，立足本职岗位，把学习教育融汇到日常工作之中，切实达到了学以致用效果。

### （二）学习型党支部示范建设

根据《关于印发示范党支部建设实施意见的通知》（沪气机党发〔2016〕12 号）文件精神，台风所主动落实，制定了建设方案，积极推进学习型党组织建设的各项工作，在全体党员中大力营造和形成重视学习、崇尚学习、坚持学习的浓

厚氛围，牢固确立党组织全员学习、党员终身学习的理念，提升党员的党性修养，发挥党员的模范作用，使党组织的创造力、凝聚力、战斗力不断增强。

通过创新学习型党支部建设的方法，坚持将有效的传统学习方法与富有时代特点的新型学习方法相结合，不断创新学习方法，进一步增强学习效果。通过完善学习型党支部建设的途径，运用好各种形式的主题学习教育活动和党员干部喜闻乐见的学习手段，不断拓宽学习途径，丰富完善学习抓手。通过拓展学习型党支部建设的阵地，利用发挥好各级组织部门和院校机构开展的培训以及互联网新媒体等学习平台，不断拓展学习阵地，促进学习资源共享。通过健全学习型党支部建设的制度，及时制定好学习型组织建设的工作方案，明确学习教育的指导思想、基本原则、主要内容和措施方法等要求，不断健全学习制度，确保学习型党支部建设的科学化、制度化和规范化。

### **（三）党风廉政建设**

围绕“学习贯彻《准则》和《条例》”的党风廉政宣传月活动的主题，所领导班子高度重视，大力推进党风廉政建设工作深入开展。

结合“两学一做”学习教育，号召党员干部和职工群众结合工作实际，深入学习领会习近平总书记系列讲话精神和国务院关于党风廉政建设及反腐工作的重要文件精神，认真贯彻落实党风廉政建设“两个责任”，严格贯彻落实中央八项规定精神，牢固反腐倡廉的思想与意识，推进全所党风廉政建设，牢固建立起“互廉网”，建立强大的政治思想保障。

结合党风廉政建设的工作要求，为确保廉政建设有章可循、有据可依，落实贯彻党风廉政建设的精神要求，不断完善廉政制度建设，细化规章制度，以有利于助推单位管理的制度化和规范化，有利于领导干部加强廉洁自律，有利于领导干部接受职工群众监督，有利于形成自上而下廉洁奉公的良好风气，从而有效构建起职工监督党风廉政建设的平台，共同构筑起坚实的反腐围墙。

### **（四）党、工、团三位一体联动作用**

在党支部的核心领导下，积极发挥工会和团支部的作用，共同围绕全所台风科研业务开展服务大局和队伍建设各项工作，充分调动党员干部、职工群众和团员青年积极性，展现奋发向上的精神风貌。

团支部积极发挥党的助手和后备军作用，在党支部的指导下，年初团支部顺利完成了换届选举的工作，进一步充实了团支部委员会的力量，调动了团员青年

的主观能动性，使团支部在学习型党支部建设、党建创新、文明单位创建、青年志愿服务等工作中发挥了重要作用。

所工会充分发挥职工群众大家庭的作用，通过组织开展各类文体竞赛、慰问一线工作人员及探访在职生育生病职工等活动，提升干部职工的归属感与幸福感。秉承多年工作传统，主动关心离退休老同志的生活，组织离退休老同志集体活动，主动做好春节探望及探访生病住院老同志的工作，确保每一位老同志都能时刻感受到组织的温暖和后辈的关爱，以期老同志们在安享晚年的同时继续发挥余热，关注和支持台风所的建设，积极为台风所的发展建言献策，为台风所的壮大成长共聚正能量。

### **（五）文明单位创建**

按照上海市气象局文明行业、文明单位创建规划和工作要求，台风所党支部按照既定的 2015-2016 年度上海市文明单位创建工作规划，积极发挥示范引领作用，履行文明单位关爱社会的义务和责任，组织开展社区共建帮扶传统活动及气象科普推广活动，先后深入不同共建结对单位，为社区特困居民和高龄孤老送去了关爱与慰问，受到了结对社区居民的广泛赞誉，增强了全所党员与职工的社会责任感，提升了时代气象人的新形象，为上海气象文明行业及文明单位的创建工作起到了较好的推动作用。

### **（六）党组织建设**

为不断推进“两学一做”学习教育活动的深入开展，提高基层党组织的凝聚力、战斗力和创造力，充分发挥基层党组织的政治核心作用和战斗堡垒作用，根据《中国共产党章程》、《中国共产党党和国家机关基层组织工作条例》、《中国共产党基层组织选举工作暂行条例》等有关规定，经局直属机关党委批复同意，我所党支部于 2016 年 12 月完成了新一届支委会的换届选举工作。新一届支委由 7 名委员组成，其中 5 名委员均在 35 周岁以下，充满了青春与活力。

结合“两学一做”学习教育，支部还于 2016 年期间顺利完成了党员关系排查、党费收缴情况检查等工作。

### **（七）党建工作创新做法**

#### **（1）学习方法创新**

在学习党支部建设中，将有效的传统学习方法与富有时代特点的新型学习方法相结合，不断创新学习方法，进一步增强学习效果。设立读书角，鼓励捐书换

书，推荐网络视听资源，在支部推动开展“读无用书、做有用事”及“每天读1小时书、每月读1本书”的学习活动，为党员职工创造良好阅读环境，通过微信等新时代媒体平台开展互动，交流心得体会，共同培养良好的学习习惯和学习能力，不断拓宽眼界思路，提高个人修养，提高党性修养。

### **（2）活动形式创新**

在党建活动组织中，以党员干部喜闻乐见的手段，开展创意丰富的党建活动。围绕2016年奥运会举办召开之际，组织支部党员开展上海体育学院沙滩排球运动队的调研学习活动。通过组织与运动员之间真实对抗比赛的活动形式，面对面与运动员互动交流，加深对奥运精神的认识和理解，以号召党员学习运动员拼搏进取、为祖国争光的奋斗精神，激发更饱满热情投入到本职工作。

### **（3）基层党建创新**

在基层党建创新中，为创新基层党建方式，探索区域化党建、团建的有效途径和方法，实现“优势互补、资源共享、取长补短、共同提高”，结合“两学一做”学习教育和学习型党支部试点建设等具体工作，台风所党支部与上海市市政规划设计研究院规交所党支部正式结对共建。双方“结对共建”，拟通过联合学习讨论、互派专家指导、实地参观调研、联合组织技能培训、联合开展文体活动、联合推动公益志愿服务等多种共建方法，建立起互帮、互学、互助、互促、共进的有效机制，共享党建资源，实现双方之间的互动，不断拓展党建领域，创新党建方式，切实将共建工作落到实处，并有力促进各自中心业务工作水平的更快提高。

## **十一、大事记**

- 1月4日，台风所组织全体职工开展2015年度年终考核。
- 2月1日，2月2日，台风所赴结对共建单位开展春节探访慰问活动。
- 2月22-25日，台风所雷小途博士一行2人赴美国夏威夷参加第48次台风委员会届会，并作报告。
- 2015年11月24日-2016年2月22日，台风所喻自风博士赴澳大利亚气象局与Noel Davidson博士等开展了登陆台风降水预报的CRA（Contiguous

Rain Areas) 方法检验”及“台风强度与登陆台风降水之间的关系”两方面的研究工作。

- 3月13-16日, 台风所雷小途所长一行六人赴台州市气象局、温州市气象局调研交流。所内相关台风观测、台风理论研究、台风预报技术及台风海洋气象的专家参加了此行调研交流。
- 3月17-18日, 台风所所长雷小途博士一行4人赴广州参加第八届全国台风及海洋气象专家工作组第二次会议。
- 4月7日, 台风所党支部组织党员和职工开展清明祭扫革命英烈活动。
- 4月15日, 台风所组织召开“两学一做”学习教育动员大会。
- 4月17-23日, 台风所汤杰博士赴波多黎各参加AMS第32届飓风及热带气象会议, 并作了报告。
- 4月17-23日, 台风所陈葆德博士和王晓峰博士赴奥地利参加欧洲地球科学联盟(EGU)2016年度大会, 并分别作报告。
- 4月18日, 上海市气象局领导赴台风所检查汛期准备工作。
- 5月3日, 台风所邀请资深体育外交专家魏纪中先生到所“我的中国梦”专题讲座。
- 5月15-20日, 台风所余晖博士等一行4人赴韩国参加第九届中韩热带气旋国际研讨会, 并分别作报告。
- 5月24-26日, 台风所雷小途博士赴台湾参加2016年亚太经合组织台风研讨会(APEC Typhoon Symposium, 简称 APTS)暨台风与社会研究中心(APEC Research Center for Typhoon and Society, 简称 ACTS)科学指导委员会年会, 并作报告。
- 5月26-27日, 国家973计划课题“登陆台风灾害影响预(评)估方法研究”进展交流会在温州召开。
- 5月25-27日, 台风所陈葆德博士应邀参加第四届下一代数值预报模式国际研讨会。
- 6月1日, 局党组成员、纪检组长袁招洪来台风所调研指导学习型党支部建设工作。
- 6月20-24日, 台风所张旭博士参加美国气象学会边界层与湍流论坛2016年度大会并作报告。

- 6月23日，台风所与气科所两支部联合组织党员上“两学一做”学习教育专题党课。
- 7月1日，台风所党支部与上海市市政规划研究院规划交通党支部签订了共建协议书，为创新探索跨行业基层支部合作共建迈出了一大步。
- 7月1日，上海市气象局召开“两优一先”表彰大会暨“两学一做”学习教育交流会，台风所党支部获先进党支部称号，台风所党支部副书记钟颖获优秀党务工作者称号，台风所党员张帅、唐碧获优秀党员称号。
- 7月11日上午，南京信息工程大学大气科学学院一行10名大学一年级本科生来到台风所开展社会实践。
- 2015年12月12日-2016年7月12日，台风所张旭博士赴美国国家海洋和气象管理局（NOAA）地球系统研究实验室（ESRL）进行了为期7个月的适用于下一代数值天气预报模式的物理参数化方案研究的工作访问。
- 7月13日—7月19日，南京信息工程大学滨江学院围绕“万千气象看人生”暑期社会实践上海小分队来到中国气象局上海台风研究所开展为期一周的实践活动。
- 7月22-23日，台风所陈葆德博士赴香港参加WMO航空研究和项目(AvRDP)科学指导委员会会议
- 7月30-31日，台风所余晖博士赴香港参加世界气象组织世界天气研究计划临近预报和中尺度天气预报研究工作组会议。
- 8月23日，按照“两学一做”学习教育计划，台风所党支部组织开展了普通党员讲党课的活动。支部普通党员张帅同志以“不忘初心、脚踏实地”为题为支部党员上了生动一课。
- 9月21日，为丰富和拓展“两学一做”学习教育及学习型党支部建设等学习内容和形式，教育引导全所党员、团员青年和职工立足岗位做贡献，台风所党支部、工会与团支部共同联合组织了赴上海沙滩排球运动队参观学习的活动。
- 10月1日起，台风所占瑞芬博士赴美国夏威夷大学国际太平洋研究中心进行为期1年的热带气旋气候变率和短期气候预测技术研究的工作访问。
- 10月17-21日，世界天气研究计划（WWRP）热带气象研究工作组（WGTMR）第16次会议暨登陆台风预报示范项目研讨会在上海成功召开。本次研讨会由世界

气象组织、中国气象科学研究院主办，由上海市气象局、中国气象局上海台风研究所协办。上海市气象局陈振林局长出席会议并为大会致辞。

- 10月24日-26日，台风所张旭博士赴韩国参加2016年全球数值预报系统国际研讨会，并作报告。
- 10月24-28日，台风所雷小途博士和应明博士赴菲律宾参加世界气象组织台风委员会第十一届综合研讨会，并作报告。
- 10月29日-11月2日，9位来自欧、美、韩等世界一流数值预报研究机构的负责人、资深科学家，对上海高分辨率数值预报创新中心和台风数值预报重点实验室过去一年的工作进展进行了初步评估，并对下一步工作提出了指导性意见。
- 11月2日起，台风所黄伟博士赴美国进行为期3个月的关于大涡模拟研究的工作访问。
- 11月3日，台州市气象局冯坚局长一行六人来访台风所进行调研座谈。
- 12月8日，上海台风研究所组织召开了上海市气象局台风科技创新团队成立启动会。上海市气象局总工程师、上海台风研究所所长雷小途、上海市气象局人事处王岩副处长及科技处相关人员出席会议。
- 12月15日，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揭牌暨工作交流会在温州市气象局举行。来自中国气象科学研究院、上海台风研究所、浙江省气象台、福建省气象台的六名联合实验室咨询委员会专家，上海台风所和温州局联合创新团队成员以及温州市县局代表共60余人参加会议。
- 12月23日，台风所党支部组织全体党员召开了支委会的换届选举大会。根据选举结果，雷小途、钟颖旻、唐碧、陈国民、陆逸、周磊、徐同等7人当选为新一届支部委员。

## 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 本年度科研成果转化应用统计表

附表11 本年度发表学术论文

附表12 外单位人员来所交流情况

附表13 本所对外交流情况



