

## 目 录

### 综合新闻

- LTO 尚晓东研究员荣获“全国模范退役军人”荣誉称号..... 1
- 蒋兴伟院士双聘研究员聘任仪式隆重举行..... 2
- 第二届“悦海”青年学术论坛顺利召开..... 3
- LTO 唐丹玲、王素芬参加第 26 届 PACON 大会..... 3
- 2019 年“蓝色海洋”大学生夏令营在穗开营..... 4

### 科研进展

- LTO 在近岸人为低氧区环境综合治理上取得重要进展..... 5
- 王春在研究员在 Climate Dynamics 发表三大洋相互作用综述论文... 6
- LTO 揭示 El Niño 振幅 1990s 末期减弱与北太平洋气候年代际变化的联系..... 7
- LTO 在西北太平洋冬季强台风与大气季节内振荡 (ISO) 的关系研究方面取得了新进展..... 8
- LTO 在强厄尔尼诺次年热带南印度洋增暖及其气候影响方面取得进展..... 10
- LTO 在南海内孤立波传播演变、台风激发近惯性振荡水平传播的研究上取得进展..... 12
- 孟加拉湾热带气旋对二氧化碳分压及海-气二氧化碳通量的影响方面研究取得新进展..... 13
- LTO 揭示深层混合对南海多层环流的影响..... 14
- 基于印太海洋模式的班达海环流结构动力学分析取得重要进展.... 16
- 海洋盐度预报东亚季风区夏季降水研究上取得进展..... 18
- 强热带风暴引起的非线性波-波相互作用研究取得新进展..... 19
- 赤道西太平洋水团之间的湍流混合方面研究取得新进展..... 20

综合新闻

## LTO 尚晓东研究员荣获“全国模范退役军人”荣誉称号

为发扬广大退役军人优良传统,进一步营造支持国防和军队改革、关心爱护退役军人的浓厚社会氛围,推动新时代退役军人工作创新发展,动员激励广大退役军人、广大退役军人事务工作者以优异成绩迎接新中国成立70周年,近日,中央退役军人事务工作领导小组组织开展了全国模范退役军人和全国退役军人工作模范单位、模范个人评选表彰活动。经过基层推荐、资格审查、中共广东省退役军人事务工作领导小组评审推荐、报中央退役军人事务工作领导小组确定等环节,LTO 尚晓东研究员获得“全国模范退役军人”荣誉称号。

据介绍,尚晓东2008年退役后,从一名武警部队教员成长为我国著名物理海洋学家。现为热带海洋环境国家重点实验室(中科院南海海洋所)研究员,博士生导师,入选中科院优秀人才项目,兼任国际杂志“Scientific Reports”编委,中国海洋学会海洋技术装备专业委员会委员等。他为习近平总书记2018年新年贺词中提到的国之利器“海翼”水下滑翔机研发传感器,使其“耳聪目明”;以实验证明了“湍流混合长”理论提出的浮力驱动的热量输运规律,澄清40多年的学术争论;发现并证明了全日内潮在其临界纬度由于参数化次调和不稳定引起的海洋混合机制,引领了该领域国际研究方向;首次估算了全球海洋中尺度涡能量的输送及生成和耗散,被国际顶级地球物理刊物《地球物理快报》评为当期和当年双亮点论文,对研究海洋物质能量输送及全球气候变化具有深远影响。他作为负责人之一建成我国首个深海多学科观测系统—西沙观测网,并取得重要科学发现,被评为2015年度中国海洋十大科技进展;研发出“东鲲”系列海洋观测设备,填补国内空白,为粤港澳大湾区建设做出贡献。主持国家级课题20余项,发表SCI论文50余篇,获国家发明专利4项,获2016年度国家海洋科学技术二等奖。曾获中科院优秀研究生指导教师、广州分院“优秀共产党员”等称号。

尚晓东研究员一直以军人标准严格要求自己,自觉强化“四个意识”、坚定“四个自信”、做到“两个维护”,积极适应改革开放时代大潮,投身新时代中国海洋科学伟大事业,为建设海洋强国、经略南海、建设海上丝路、粤港澳大湾区建设等重大战略贡献自身力量。



## 蒋兴伟院士双聘研究员聘任仪式隆重举行

8月26日,南海海洋研究所举行蒋兴伟院士双聘研究员聘任仪式,蒋兴伟院士在仪式上介绍了我国海洋卫星的主要情况,并深情回顾了与南海海洋所多年的合作关系,和与南海所一大批教师之间建立起来的深厚友谊。他表示,从此以后,对LTO的发展和进步就更多了一份责任和义务,争取共同在科研上取得突破。仪式后,蒋兴伟院士来到热带海洋环境国家重点实验室与实验室领导班子及科研骨干开展座谈会,对未来的合作作出展望。

\*蒋兴伟,中国工程院院士,国家卫星海洋应用中心主任,海洋卫星地面应用系统总设计师。蒋兴伟长期从事海洋卫星事业及其相关领域的研究,组建了国家卫星海洋应用中心,提出了我国海洋卫星系列化发展规划,推动了我国海洋系列卫星的发展进程,完成了海洋卫星地面应用系统建设,解决了卫星资料处理难题和海洋应用关键技术,引领了卫星遥感进入我国海洋主体业务中。主持完成了科技攻关、863计划、国防科技工业科研项目、载人航天工程民用遥感应用研究项目、高新技术卫星应用产业化项目、海洋公益性行业科研专项以及908专项、全球变化与海气相互作用专项等多个项目,曾获国家科技进步二等奖,部级特等奖、一等奖、二等奖等多个奖项。曾获得首届“海洋杰出青年”,国家中青年有突出贡献专家,中央国家机关五一劳动奖章、国务院政府特殊贡献津贴、全国优秀科技工作者、全国杰出专业技术人才、全国先进工作者和中国载人航天工程突出贡献者奖章等荣誉。



## 第二届“悦海”青年学术论坛顺利召开

7月25-27日，热带海洋环境国家重点实验室（LTO）青年委员会在广东清远顺利举办第二届“悦海”青年学术论坛。本届论坛邀请了来自北京师范大学、浙江海洋大学、自然资源部南海局南海环境监测中心、中山大学的专家教授做专题学术报告，分享各自最新研究成果。报告内容涵盖南海环流与中小尺度动力过程、热带海洋-大气过程与气候效应、热带海洋动力过程的环境效应等方向。论坛在轻松愉悦的氛围下进行，报告后大家踊跃提问、积极讨论，展现出了青年科学家间自由、开放、共享的良好学术氛围。

论坛结束后，LTO进行青年委员会换届选举。孙秀宝当选第三届LTO青年委员会召集人，徐驰、张莹、钱钰坤、耿兵绪、徐康、许洁馨、邢亚琳入选成员。



## LTO 唐丹玲、王素芬参加第 26 届 PACON 大会

7月16日至19日，第26届太平洋海洋科学和技术大会（PACON 2019）在俄罗斯海参崴远东联邦大学会议中心举行。中国科学院南海海洋研究所唐丹玲研究员、王素芬副研究员受邀参加会议。唐丹玲研究员主持了大会主题报告（Plenary）和海洋灾害（Ocean Hazards）论坛，并作为主讲嘉宾参加了 Plenary Discussion，还作为太平洋海洋科学技术学会（PACON-international）理事会前主席参加了 PACON 组委会会议。王素芬副研以墙报形式汇报了海洋生态遥感的最新研究进展。



## 2019 年“蓝色海洋”大学生夏令营在穗开营

7 月 16 日，中科院南海海洋所 2019 年“蓝色海洋”大学生夏令营开营，来自中山大学、中国海洋大学、山东大学、厦门大学、河海大学等 54 所高校的共 110 名学员参加。多年来，LTO 坚持参与，积极为夏令营贡献力量所能及的力量。以“筑梦深蓝、卓越自我”为主题的夏令营活动已成功举办八届，得到中国科学院的经费支持，受到广大师生的普遍欢迎和认可，致力于帮助青年学子加深对海洋领域科学研究的认识，推动我国海洋科学事业的发展，对实现中国梦、海洋梦具有重要的教育和示范意义。

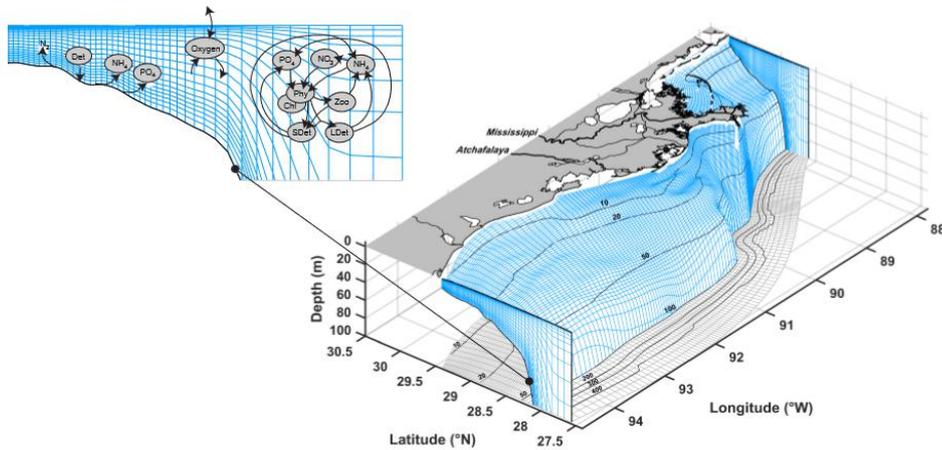


夏令营剪影

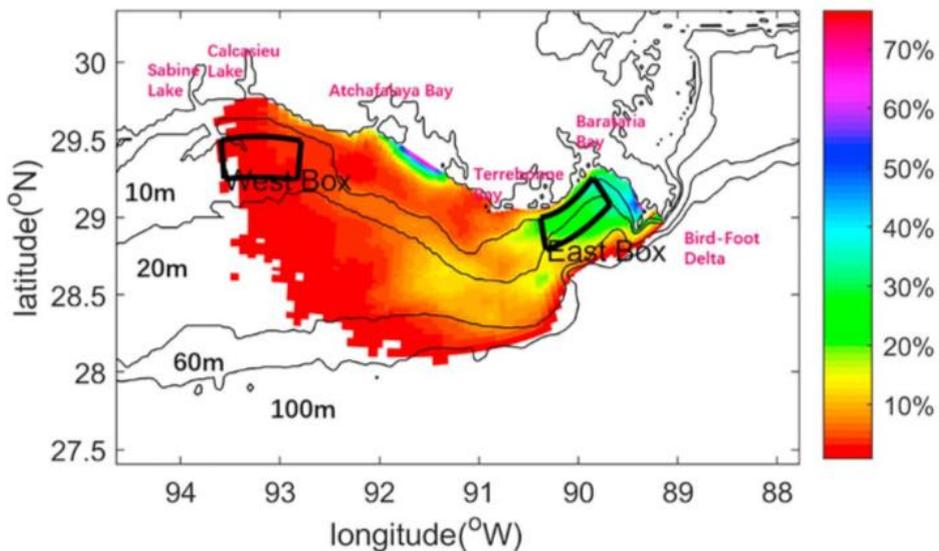
科研进展

LTO 在近岸人为低氧区环境综合治理上取得重要进展

近日，中科院南海所热带海洋环境国家重点实验室 (LTO) 冯洋研究员和薛惠洁研究员联合在生物地球化学领域顶级专业期刊 *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* (影响因子: 3.48) 上发表文章。提出墨西哥湾低氧区环境综合治理政策的新观点: 即目前走航观测得到的墨西哥湾低氧面积可能并非最大面积, 根据该面积制定的陆地氮源控制量可能不足以对低氧面积实施有效控制, 应以最大低氧面积作为指标来实施陆源氮排放控制。该研究成果受到两位匿名审稿专家的高度评价, 研究成果可期用于粤港澳大湾区, 为大湾区水环境可持续发展献计献策。



图一: ROMS 水动力-生物地化循环低氧耦合模型 (来源于 Fennel and Laurent et al. 2018 *Biogeosciences*)



图一: ROMS 水动力-生物地化循环低氧耦合模型 (来源于 Fennel and Laurent et al. 2018 *Biogeosciences*)

## 王春在研究员在 *Climate Dynamics* 发表三大洋相互作用综述论文

气候变化研究领域顶级学术期刊《*Climate Dynamics*》在线发表了三大洋相互作用及其对气候变化影响的综述性文章，文章作者是中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室（LTO）王春在研究员。

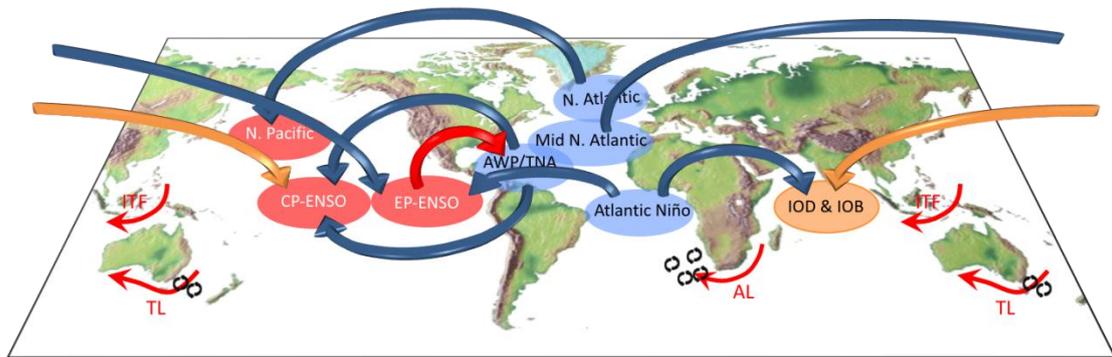
海洋-大气相互作用是全球和区域气候变化的重要驱动力。过去 20-30 年的研究表明，热带海洋-大气相互作用对全球天气和气候有着重要的调控作用。热带海洋上的海洋-大气相互作用形成了各种各样的气候模态，例如太平洋的厄尔尼诺-南方涛动和太平洋年代际振荡；印度洋的海盆模态和偶极子模态；大西洋的尼诺和多年代际振荡。然而，当前研究主要聚焦局地海洋-大气相互作用，这并不能系统和全面的解释各个关键气候模态的成因和变化的机制，这也直接限制了区域气候和全球气候预测准确性的提升。

当今科学界正逐渐认识到全球大洋间跨洋盆相互作用是气候变化的源动力，因此大洋间相互作用也成为了目前地球科学研究领域中的前沿和热点。全球三大洋（太平洋、印度洋和大西洋）又几乎包含了海洋中所有最关键的气候模态。王春在研究员的论文系统回顾和总结了迄今为止国内外三大洋相互作用的形成机理及其全球和区域气候效应的最新研究进展。

三大洋间的相互作用存在两种作用路径—“大气通道”和“海洋通道”。“大气通道”也称为“大气桥”，是指两个或多个距离遥远的气候模态通过大气途径的相互作用。太平洋的厄尔尼诺-南方涛动对印度洋和北大西洋海温的影响就是一个典型的“大气桥”过程。“海洋通道”过程则是三大洋通过海流、涡旋等水体交换进行的相互作用，代表性的例子有印度洋与太平洋间的印尼贯穿流

(Indonesian throughflow)、塔斯曼溢流 (Tasman leakage)，印度洋与大西洋间厄加勒斯溢流 (Agulhas Leakage) 等。太平洋的异常可以通过印尼贯穿流和塔斯曼溢流引起印度洋的变化，而印度洋的异常可以通过厄加勒斯溢流引起大西洋的变化。三个大洋之间通过“大气通道”和“海洋通道”两条路径进行复杂的物质和能量的交换，大洋间也通过这些相互作用调控各大洋的气候。

文章从全球视角出发，以“大气通道”和“海洋通道”为关键切入点，总结了三大洋相互作用影响气候变化的过程、路径及物理机制的研究成果，并凝练出未来科学上亟需解决的问题，也展望了未来三大洋相互作用研究的发展。文章也为未来气候变化研究提供了指引和新的思路。未来三大洋相互作用的持续研究，将有望提升现有短期气候预测和海洋环境预报的水平，并降低目前气候模式和海洋模式预估的不确定性，最终为中国妥善应对全球变化提供强有力的科技支撑。本研究由国家自然科学基金重点项目，中国科学院（百人计划、先导专项），广东省人才计划等共同资助完成。



三大洋相互作用过程示意图。“大气桥”过程用粗曲线箭头表示。单向曲线箭头表示单向影响过程。双向曲线箭头意味着两个气候模态可以相互影响。“海洋通道”是印尼贯穿流（ITF），塔斯曼溢流（TL），厄加勒斯溢流（AL），由红色箭头绘制和显示。AWP 和 TNA 分别代表大西洋暖池和热带北大西洋。

## LTO 揭示 El Niño 振幅 1990s 末期减弱与北太平洋气候年代际变化的联系

近日，中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室（LTO）王卫强团队揭示 El Niño 振幅 1990s 末期减弱与北太平洋气候年代际变化的联系。该研究相关成果由徐康博士等人发表在 International Journal of Climatology 上。

El Niño 是热带是热带海气耦合系统最突出的年际变率信号，但其本质属性（振幅、频率和类型）亦有明显的年代际变化特征。基于 Niño3.4 海表温度指数和 Bjerknes stability 指数变化，王卫强团队与合作者们发现 1980-1998 年和 1999-2014 年两个时间段 El Niño 振幅存在显著差异，其呈现出年代际变弱的特征（图 1）。统计结果表明，El Niño 振幅年代际变弱的主要原因是纬向风应力和低层风异常对纬向赤道海表温度异常（SSTA）梯度的响应减弱，而这种大气响应的减弱与热带海平面气压负异常明显向西扩展密切相关。这些热带年代际变化主要归因于北太平洋主要大气环流的年代际转变，即 20 世纪 90 年代后期阿留申低压（AL）模态被北太平洋振荡（NPO）模态所取代。此外，GDFL-CM3 耦合模式的长时间历史模拟揭示，AL 和 NPO 模态常常发生年代际交替，它们均是北太平洋大气环流的主要模态。当 NPO 模态占主导时，其将通过副热带东北太平洋区域的季节足迹机制对中太平洋 El Niño 的激发起到重要作用。因此，北太平洋大气环流由 AL 模态转变为 NPO 模态将导致热带地区海平面气压异常向西移动，并最终减弱大气对纬向 SSTA 梯度的响应。

该研究由中科院先导专项、多个国家自然科学基金项目、厦门大学访问学者基金、热带海洋环境国家重点实验室自主项目和中国气象科学研究院基本科研业务费专项等共同资助完成。

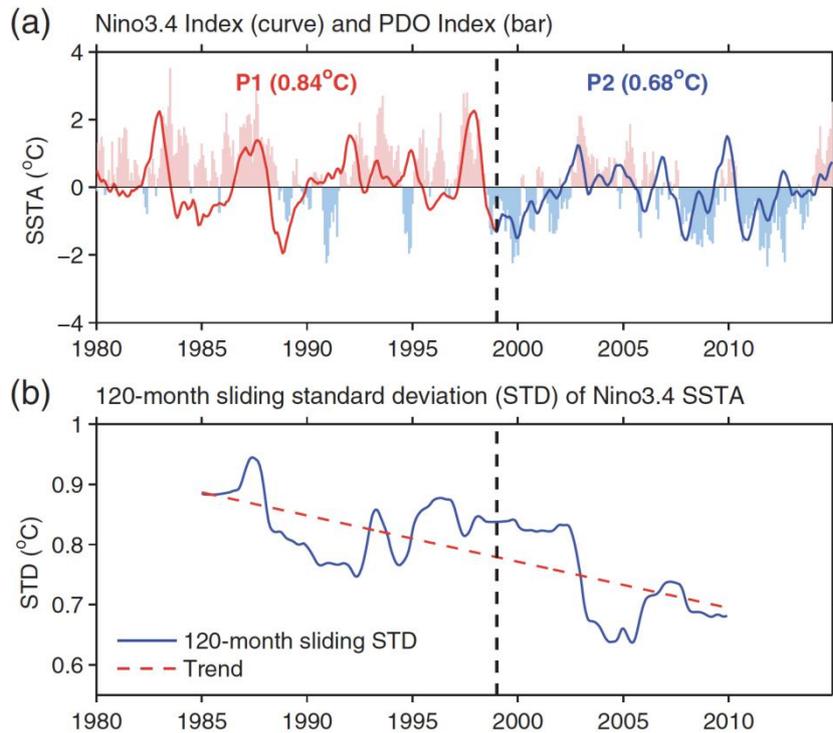


图 1 (a) Niño3.4 海表温度指数和 PDO 指数逐月时间序列, 红、蓝线分别表示前后两个阶段 (P1, 1980–1998, P2, 1999–2014); (b) Niño3.4 海表温度指数的 120 个月滑动标准差分布, 虚线表示其趋势

Xu, K., Wang, W., Liu, B., & Zhu, C. (2019). Weakening of the El Niño amplitude since the late 1990s and its link to decadal change in the North Pacific climate. *International Journal of Climatology*, 39(10), 4125–4138. <https://doi.org/10.1002/joc.6063>

## LTO 在西北太平洋冬季强台风与大气季节内振荡 (ISO) 的关系研究方面取得了新进展

近日, 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室 (LTO) 杜岩研究团队, 在西北太平洋冬季强台风与大气季节内振荡 (ISO) 的关系研究方面取得了新进展, 相关成果发表在国际学术期刊 *Climate Dynamics* 上。

西北太平洋是全球台风最为活跃的海域之一, 每年在西北太平洋生成的台风大约占全球的三分之一。台风的生成、发展通常会伴随着狂风、暴雨, 台风的登陆往往会带来严重的自然灾害, 造成经济损失甚至人员伤亡, 而强台风的影响更甚。所以对台风移动路径的研究尤为重要。台风的移动路径主要受到上空引导气流的影响, 在季节时间尺度上, ISO 通过改变大尺度环境引导气流进而影响台风的移动路径。

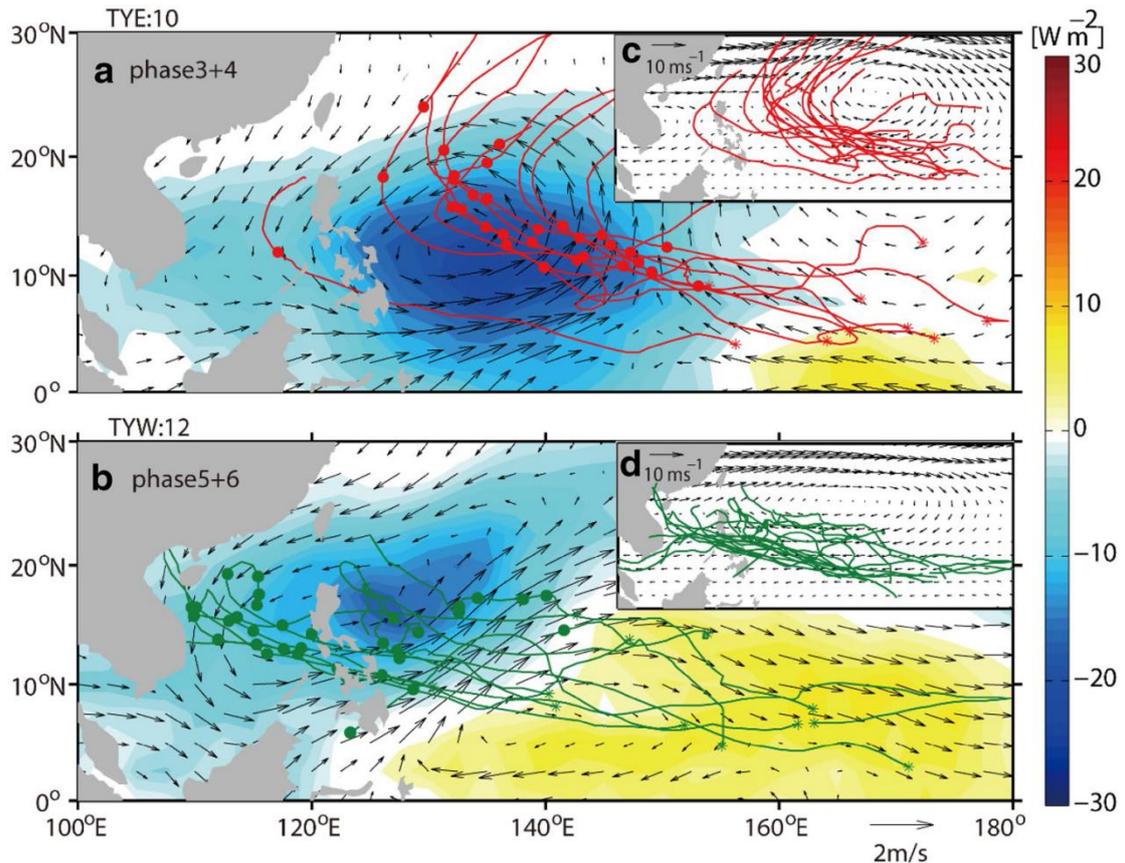
研究团队分析了 1979–2016 年西北太平洋冬季强台风的路径与 ISO 的关系, 发现西北太平洋冬季强台风路径的变化主要受到 ISO 中 12–25 天的振荡—大气准

双周振荡 (QBWO) 的影响。QBWO 通过影响台风的引导气流, 进而改变台风的移动路径。在 QBWO 的成熟阶段, 西北太平洋西部强对流诱导产生强烈的气旋式环流异常, 改变了大尺度背景引导气流, 使台风引导气流在西北太平洋中部和东部呈现反气旋结构, 进而引导台风转向。在 QBWO 的衰退阶段, 此时对流较弱且位置偏西, 很难改变整体大气环流结构, 所以台风继续西行。本研究探究了西北太平洋冬季台风的活动特征, 表明了西北太平洋冬季强台风路径的变异主要受 QBWO 的调制, 为提高台风预报能力提供了新的理论依据。文章第一作者是中国科学院南海海洋研究所博士研究生施燕萍, 通讯作者是中国科学院南海海洋研究所杜岩研究员。

该研究由中国科学院战略性先导科技专项和国家自然科学基金等共同资助。

论文链接:

Shi Y, Du Y, Chen Z, Wang C. Impact of the quasi-biweekly oscillation on the super typhoon tracks in winter over the western North Pacific. *Climate Dynamics*, 2019, 53: 793-804, <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04614-6>



QBWO 不同位相的对外长波辐射、850-hPa 风场以及台风路径 (Shi 等, 2019)

## LTO 在强厄尔尼诺次年热带南印度洋增暖及其气候影响方面取得进展

厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）是热带地区最强的年际变率，其动力学和气候影响一直是海洋和大气科学家们关注的焦点。中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室（LTO）的杜岩研究团队探究了强厄尔尼诺次年热带南印度洋增暖及其对印太地区春夏季气候的影响，相关成果由陈泽生博士等人发表在国际著名期刊《Journal of Climate》上。

研究表明，热带南印度洋增暖总是发生在强厄尔尼诺事件之后，影响着印太地区春夏气候（图 1a）。研究团队发现，热带东南印度洋增暖滞后西南印度洋增暖约一个季节（图 1d），海洋动力过程在联系两个子海区增暖中起重要作用。具体过程如下：在赤道印度洋以南，厄尔尼诺期间风应力异常驱动的海洋罗斯贝波有利于热带西南印度洋的增暖，而西传的海洋波动到达西边界后（图 1e），有一部分波动会反射成海洋开尔文波（图 1f），沿着赤道东传的开尔文波到达东边界后会加深该处温跃层，并有利于热带东南印度洋的增暖。

研究团队通过观测资料统计分析和数值试验，进一步揭示了热带西南和东南印度洋海温异常可引起相似的大气异常型，但其分布存在地理上的差异（图 1b, c）。对南海和东亚气候而言，热带东南印度洋的海温异常有更为直接的气候影响。热带东南印度洋增暖能引起经向大气环流异常，即东北印度洋有异常的下沉运动，东南印度洋有异常的上升运动。该局地经圈环流异常是春夏季热带东南印度洋调节南海甚至中国东部地区气候的重要途径。与此同时，对流层低层出现“C 型”的风场异常，即东北印度洋为异常东北风，东南印度洋为异常西北风。该反对称的大气环流型通过“风-蒸发-海温”机制也可维持夏季东北印度洋增暖。本研究丰富了 ENSO 影响热带印度洋及印度洋对邻近地区气候反馈的理论认识。

该研究由国家自然科学基金和广东省自然科学基金等共同资助完成。

论文链接：

Chen, Z., Y. Du, Z. Wen, R. Wu, and S-P. Xie, 2019: Evolution of South Tropical Indian Ocean Warming and the Climatic Impacts Following Strong El Niño Events, *J. Climate*, 32: 7329-7347.  
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0704.1>

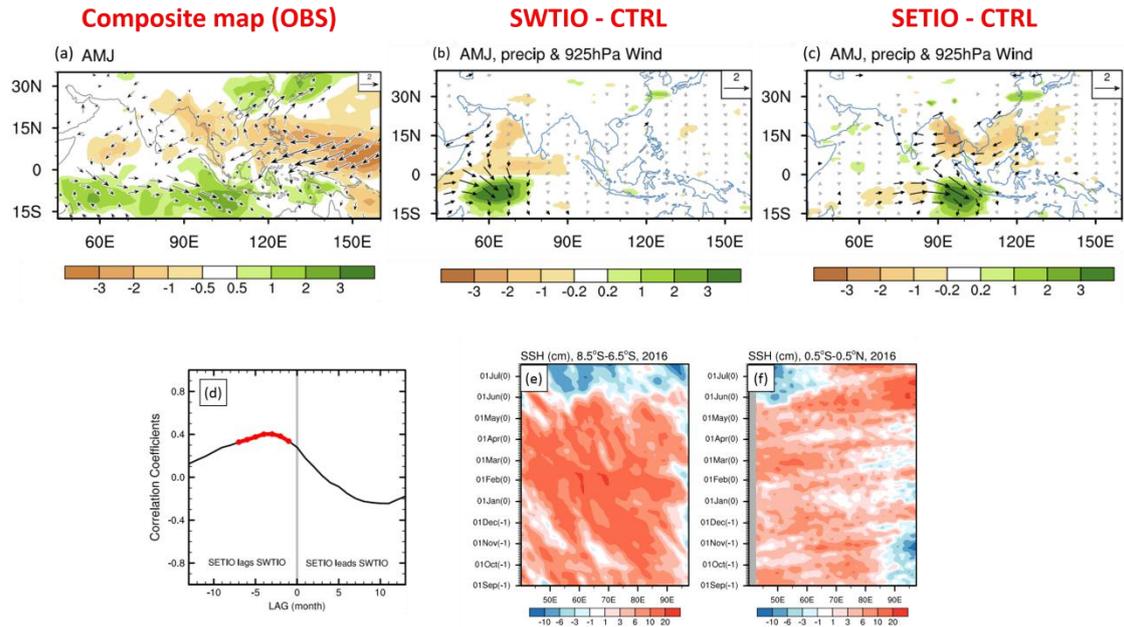


图 1 (a) 强厄尔尼诺次年 4-6 月低层风场和降水异常; (b) 热带西南印度洋增暖实验的模拟结果; (c) 热带东南印度洋增暖实验的模拟结果; (d) 热带南印度洋两个子海盆海温间的超前滞后关系; 2015-2016 年强厄尔尼诺事件期间沿着 (e) 热带南印度洋和 (f) 赤道的海平面高度异常随时间演变

## LTO 在南海内孤立波传播演变、台风激发近惯性振荡水平传播的研究

## 上取得进展

热带海洋环境国家重点实验室（LTO）蔡树群研究团队对南海北部陆架/陆坡区由隆起地形效应造成的跨海盆传播的内波孤立波向岸演变的变化规律进行了研究。该研究指出南海北部陆架/陆坡区隆起的地形效应会诱发跨海盆传播的内孤立波向岸演变特征及能量的异常改变，并对由隆起地形效应诱发的新波的生成机制做出了科学解释。该研究相关成果近期由谢皆烁等发表在 *Journal of Geophysical Research: Oceans* 上。

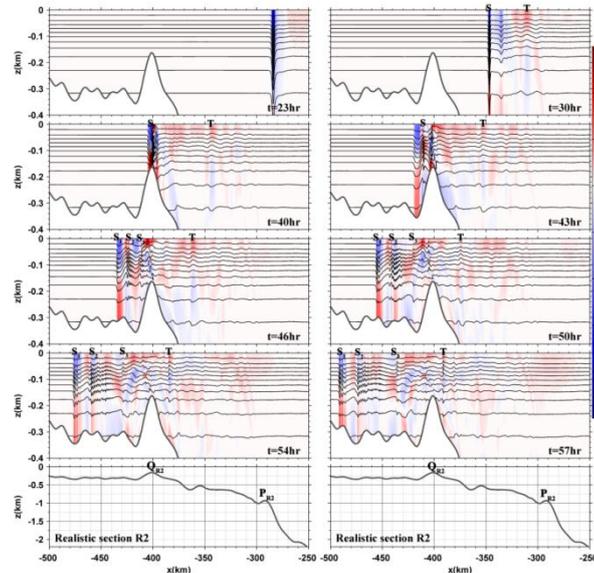


图 1 南海北部陆架/陆坡区沿典型断面传播的内波孤立波在跨越深海海盆后的演变结果（图中 S 及 T 等相关字母分别代表向岸内孤立波受陆架/陆坡区隆起地形 QR2 及 PR2 影响所诱发的新的内孤立波或波包）

此外，研究团队还与大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室宁德志教授合作，通过数值模拟研究了 2014 年台风海鸥过境后南海东北部近惯性振荡的水平变化，对台风激发的近惯性振荡水平变化的机理做出了科学解释。相关研究成果近期由许洁馨等发表在 *Continental Shelf Research* 上。

作者应用改进后的三维 Price-Weller-Pinkel 模型，首先模拟研究了近惯性振荡的结构特征，其模拟结果与实测资料比较一致，并揭示了台风所激发的近惯性振荡水平结构类似于一系列旋转椭圆，其中心与台风轨道平行，向西北方向传播（图 2）。之后，通过若干敏感性实验，研究了台风不同参数对近惯性振荡的影响，结果表明：随着最大风速半径的增加，近惯性振荡的影响范围变窄，而台风的最大风速和移动速度的增加往往会扩大其影响范围。其中台风的最大风速对近惯性动能的影响最大，而台风移动是近惯性振荡水平传播的主要原因。

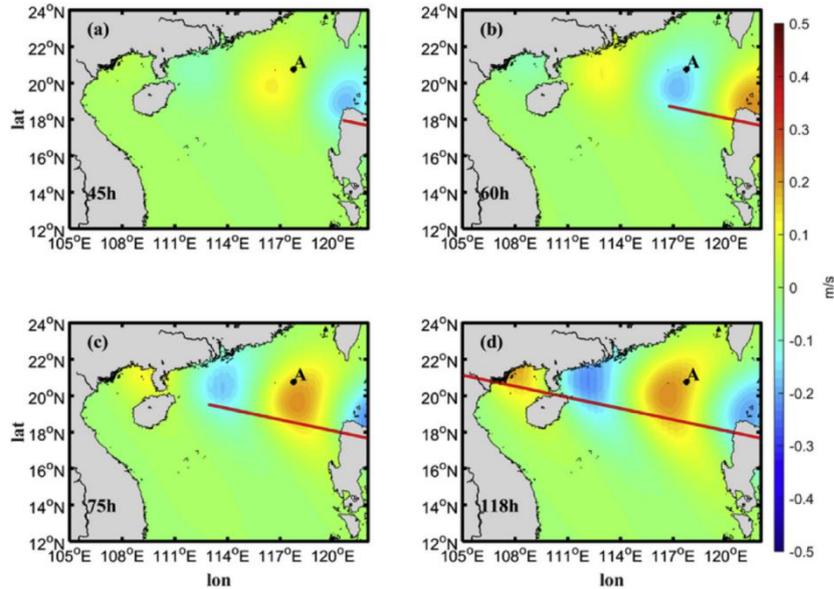


图 2 模拟得到的台风过境南海时引起的 4 个时刻的近惯性流速的水平分布(a)第 45 小时, (b) 第 60 小时, (c) 第 75 小时和(d) 第 118 小时 (其中红色线为台风移动路径, A 为实测锚定潜标位置)

上述研究由多个国家自然科学基金项目、中国科学院中年拔尖科学家人才项目及广州市珠江科技新星项目等共同资助完成。

## 孟加拉湾热带气旋对二氧化碳分压及海-气二氧化碳通量的影响方面

### 研究取得新进展

中科院南海所热带海洋环境国家重点实验室 (LTO) 叶海军博士等研究人员在孟加拉湾热带气旋对二氧化碳分压及海-气二氧化碳通量的影响方面取得新进展, 相关研究成果已发表在 *Journal of Geophysical Research: Oceans* 上。

热带气旋对海-气  $\text{CO}_2$  通量 ( $\text{FCO}_2$ ) 有显著影响。作为热带印度洋浮标阵列 (RAMA) 的一部分, 孟加拉湾海洋酸化 (BOBOA) 锚定浮标于 2013 年 11 月部署在  $15^\circ\text{N}$ ,  $90^\circ\text{E}$ 。研究人员利用 BOBOA 浮标 3 小时海-气  $\text{CO}_2$  分压 ( $\text{pCO}_2$ ) 和 RAMA 提供的气象和海洋物理数据, 分析了 5 个热带气旋 Huahud (2014 年 10 月)、Five (2014 年 11 月)、Kyant (2016 年 10 月)、Vardah (2016 年 12 月) 和 Roanu (2016 年 5 月) 对  $\text{pCO}_2$  及  $\text{FCO}_2$  的影响。研究发现, 夏季季风后期 (10-12 月) 海表面温度降低  $0.5^\circ\text{C}$ , 海表面  $\text{pCO}_2$  升高  $6.1 \mu\text{atm}$ , 夏季季风前期 (5 月) 海表面温度降低约  $1.0^\circ\text{C}$ , 海表面  $\text{pCO}_2$  降低约  $16.1 \mu\text{atm}$ 。分析发现, 夏季季风后期孟加拉湾较深的水温跃层 (70 m) 是导致热带气旋过后海表面温度降低较弱的原因, 而较深的障碍层 (40 m) 导致富含 DIC 的温跃层水混合至表层, 是引起海表面  $\text{pCO}_2$  升高的主要原因。夏季季风前期较浅的温跃层 (30 m) 和障碍层 (20 m) 导致气旋过后海表面温度降低和海表面  $\text{pCO}_2$  降低。在夏季季风后期  $\text{CO}_2$  过饱和 ( $\text{CO}_2$  从海洋流向大气) 海区, 热带气旋能够增加  $\text{FCO}_2$ ; 在  $\text{CO}_2$  未饱和海区, 热带气旋对  $\text{FCO}_2$  的作用较小。热带气旋的 “Wind-pmp” 作用引起海水混合和上升

流, 导致次表层水上涌至表层是导致这一现象的主要原因。估算了热带气旋对孟加拉湾海-气 CO<sub>2</sub> 通量的年贡献为 55±23%, 发现海表 pCO<sub>2</sub> 的变化与当地海域溶解无机碳和总碱度浓度的垂直变化密切相关。该研究首次详细分析了孟加拉湾海表二氧化碳分压及海-气二氧化碳通量对热带气旋的响应, 有助于理解热带气旋对海-气二氧化碳通量影响的区域性差异。

该研究由国家自然科学基金项目 (41806146, 41876136, 41430968)、21 世纪海上丝绸之路研究合作创新中心项目 (2015HS05)、卫星海洋环境动力学国家重点实验室开发基金 (0702) 等共同资助完成。

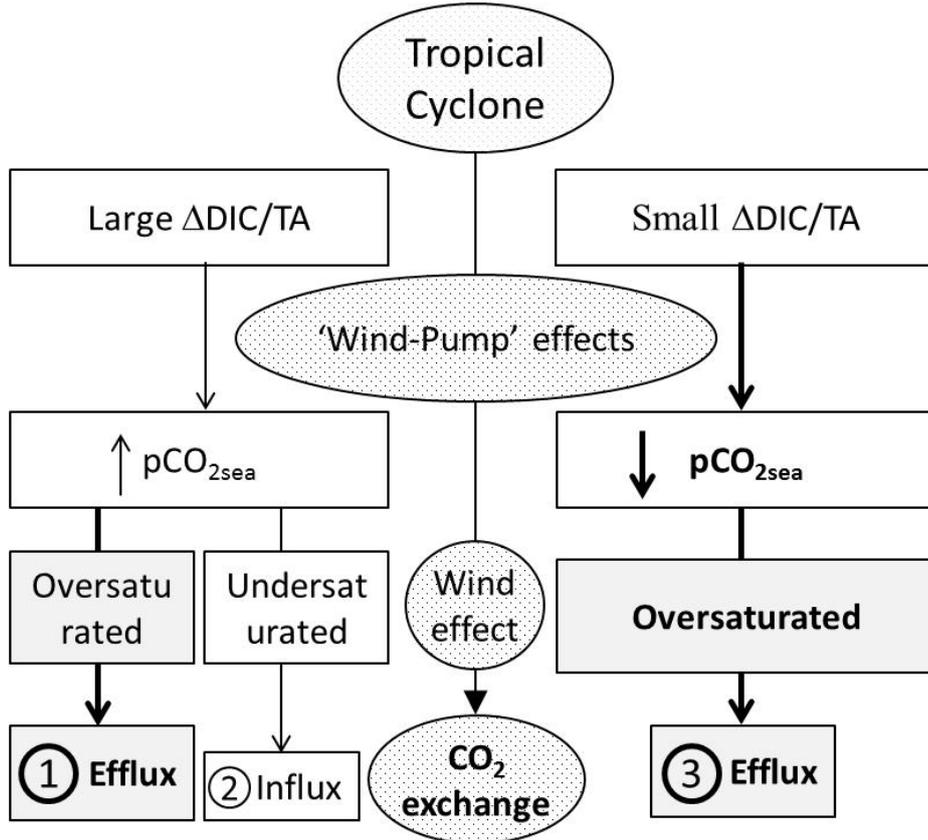


图 孟加拉湾热带气旋对海表 pCO<sub>2</sub> 及海气 CO<sub>2</sub> 通量影响机理图。TC=热带气旋; DIC=溶解无机碳; TA=总碱度。加粗字体和箭头表示影响显著。

### LTO 揭示深层混合对南海多层环流的影响

热带海洋环境国家重点实验室 (LTO) 薛惠洁团队在深层混合影响南海多层环流的研究中取得重要进展, 相应成果由全祺和薛惠洁发表于物理海洋学领域顶级专业期刊 *Journal of Physical Oceanography*。

海洋内部的跨等密度面混合对于维系大洋经向翻转环流以及相应的热量输运具有十分重要的作用。以往研究表明, 南海内部丰沛的内潮能量在复杂的地形区域发生耗散并引发强烈混合, 相应的跨等密度面扩散系数比相邻的太平洋大两个量级。然而南海内部的混合过程对南海环流的影响尚未得到深入的研究。薛惠洁团队基于理论模型, 利用一个四层海洋模式, 通过将深层混合参数化为南海中、深层之间的垂向交换速度 (entrainment/detrainment), 研究其对于南

海多层环流的影响。结果显示,在中、深层之间,由混合引起的上升通量至少需要达到 0.72Sv (等价的跨等密度面扩散系数为  $0.65 \times 10^{-3} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$  以及重力势能净输入率为 6.89GW),才能在南海深层形成气旋式环流。进一步研究发现,尽管南海潮致混合的强度大于形成深层气旋式环流所需的阈值,然而深层水平环流以及经向翻转环流的形态和演变还依赖于混合的时空变化。除了对深层环流具有显著影响,深层混合还可以增强中层环流并减弱上层环流,由层间垂向交换速度引起的涡管伸缩变化是产生这一影响的动力学成因。该研究成果对于定量评估深层混合对于南海多层环流的影响具有重要的参考价值。

该研究由国家自然科学基金面上项目 (编号: 41476013)、中科院战略先导专项 (编号: XDA10010304) 和中科院项目 (编号: ISEE2018PY05) 共同资助完成。

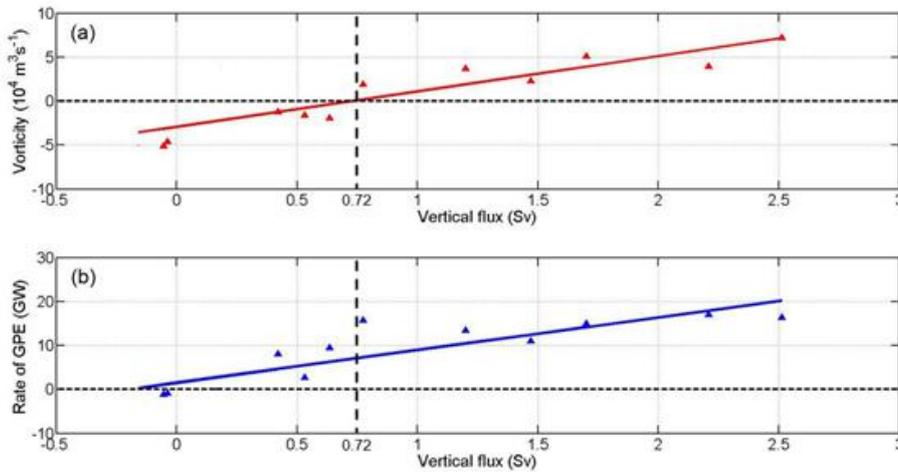


图 1 深层混合引起的上升通量与 (a) 深层环流涡度以及 (b) 相应重力势能转化率之间的对应关系。

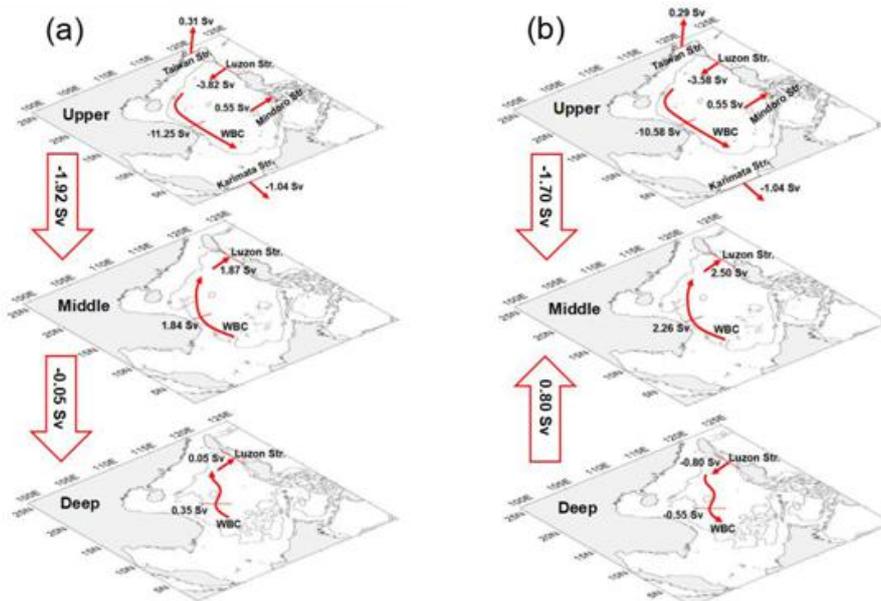


图 2 深层混合引起的上升通量为 (a) 0 和 (b) 1Sv 时南海各层西边界流和主要海峡的流量。

## 基于印太海洋模式的班达海环流结构动力学分析取得重要进展

热带海洋国家重点实验室薛惠洁研究团队关于印度尼西亚海的海洋环流以及动力机制的研究取得重要进展，推进了人们对印尼贯穿流（Indonesian Throughflow, ITF）以及印尼海局部环流的认识。相关研究成果由梁琳琳、薛惠洁、舒业强共同发表在《Journal of Geophysical Research: Oceans》上。

众所周知，ITF 通过印尼海内的众多复杂相连的海峡从太平洋进入到印度洋，是全球海洋热盐环流输送带的重要组成部分，印尼海衔接了印度洋和太平洋两大暖池，其重要性不言而喻。然而由于观测资料的缺乏，我们对于印尼海海洋环流的研究比较薄弱。薛惠洁研究团队基于 ROMS 发展了一套覆盖太平洋西部以及印度洋北部的高分辨率气候态海洋数值模式（western Pacific and northern Indian Oceans Model: PIOM）。通过量化对比模式结果与观测资料（MODIS、Argo、AVISO、以及 INSTANT 项目数据等），展示了该模式优越的性能，尤其对于 ITF 表现出相当好的模拟效果。该研究首次提出了班达海的三维环流结构：即表层（ $<500\text{m}$ ）气旋式，中层（ $500\text{--}2250\text{m}$ ）反气旋式以及底层气旋式环流形态。在此基础上，结合拉格朗日粒子追踪的方法，定量计算出不同路径的相对重要性；并结合位涡约束理论，分析了班达海产生三层环流结构的动力机理，发现位涡通量和风应力旋度为表层的气旋式结构的主要驱动因子，而正（负）位涡通量为中层（底层）的反气旋（气旋）的主要驱动因子。

该研究由国家自然科学基金（41476013），中国科学院战略性先导科技专项（XDA0010304）共同资助完成。

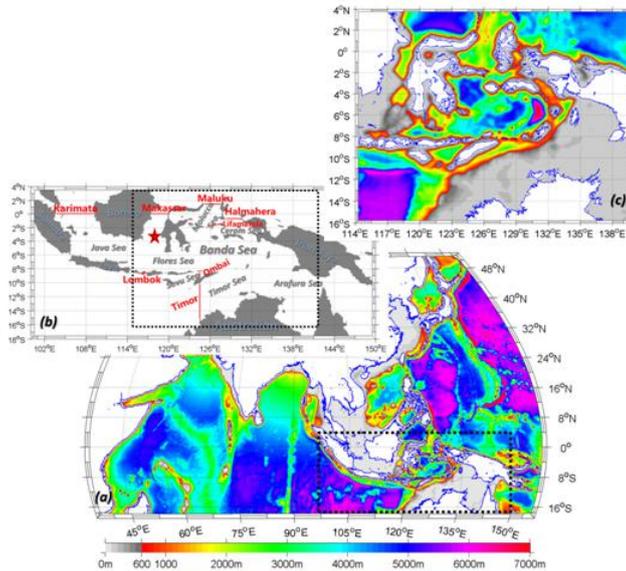


图 1. PIOM 模式区域地形 (a) 以及印尼海区地理位置信息 (b) 和放大地形 (c)

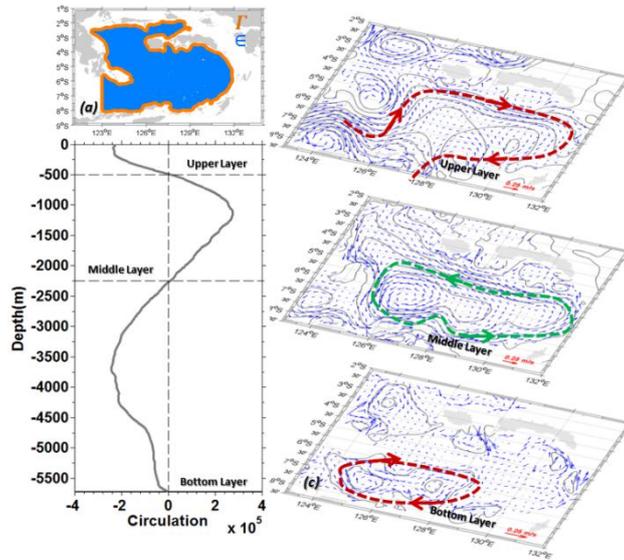
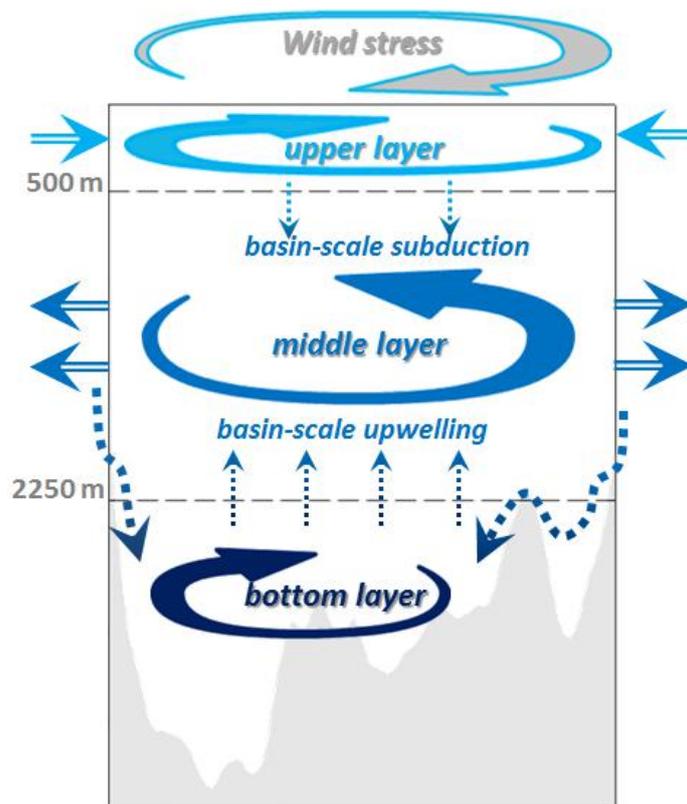


图 2. 班达海的涡度通量垂直结构 (左) 和班达海环流示意图 (右)



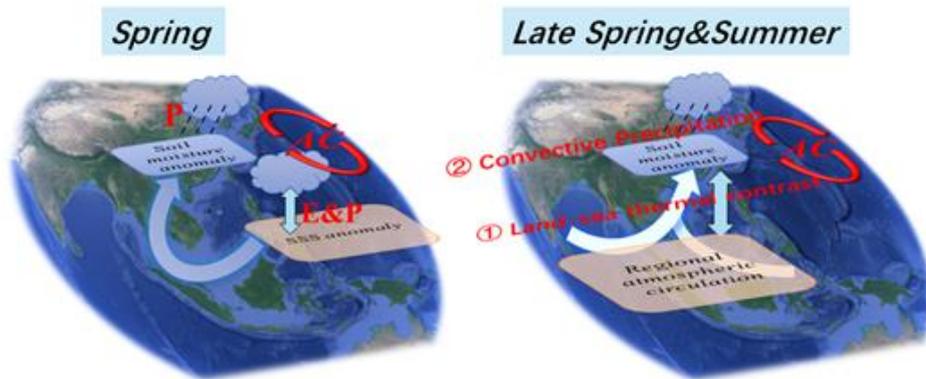
## 海洋盐度预报东亚季风区夏季降水研究上取得进展

热带海洋环境国家实验室 (LTO) 薛惠洁研究团队与中山大学大气科学学院的科学家合作, 探究热带西北太平洋 (TNWP) 春季海表盐度资料预报东亚季风区夏季降水的可行性, 推动海洋盐度与区域水循环联系的研究发展。相关研究成果近期由陈彪, 覃慧玲, 陈桂兴, 薛惠洁共同发表在气候变化研究领域期刊《Journal of Climate》上。

前人研究表明海洋是全球水汽蒸发的主要来源, 对于调节陆地降水具有重要作用。而海表盐度会随着海洋蒸发、降水不同而产生变化, 因此可用来表征全球/区域水汽的源和汇。东亚季风区涵括了我国东部、日本和朝鲜半岛等地, 是世界上最为著名的季风区, 每年夏季风活动会从海洋携带大量水汽至东亚季风区。而夏季风的异常活动极易造成局地的洪涝灾害, 给社会经济发展带来不利影响, 因此能否改善对东亚季风区夏季降水预报效果具有非常重要的社会和科学价值。

鉴于此, 该研究团队利用 EN4 盐度数据、CPC 降水数据等资料, 通过分析发现在 1980-2017 年期间, TNWP 春季海表盐度与东亚季风区夏季降水存在密切联系。春季期间, TNWP 上空出现异常的大气反气旋环流, 导致该海区的蒸发和水汽辐散增强, 海表盐度升高。而东亚季风区水汽辐合和土壤湿度随之增加。这种海洋-陆地的水汽输送模态会从春季持续至夏季, 并对东亚季风区的夏季降水产生重要影响。此外, 东亚季风区春季土壤湿度的变化也会通过对地表热状况和降水系统的调节来进一步影响该地区的夏季降水。而这个海-陆-气耦合过程可提前被 TNWP 春季海表盐度进行表征。最后, 该研究团队还利用机器学习中的随机森林回归方法对 TNWP 海表盐度预报效果进行评估, 研究发现相较于几个重要的气候因子 (ENSO, IOD 等), TNWP 春季海表盐度能够提供较好的东亚季风区夏季降水预报效果。因此, 海表盐度能够在未来为全球水循环观测和东亚季风区降水预报提供帮助。

该研究由中科院先导专项 (XDA10010304), 国家自然科学基金 (41575068, 41775085) 等项目共同资助完成。



春夏季期间海-陆-气耦合过程概念示意图

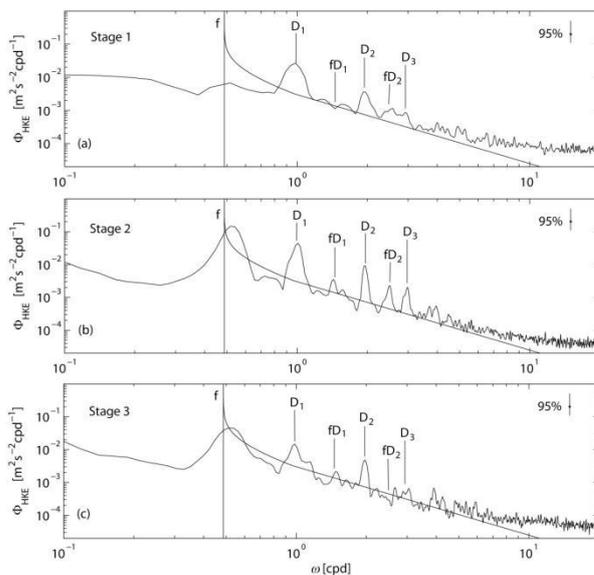
## 强热带风暴引起的非线性波-波相互作用研究取得新进展

中科院南海所热带海洋环境国家重点实验室 (LTO) 湍流与海洋混合学科组梁长荣博士等研究人员在强热带风暴引起的非线性波-波相互作用方面取得新进展, 相关研究成果近期已发表在 *Journal of Geophysical Research: Oceans* 上。

热带风暴是海洋内部能量的重要来源, 对海洋内波之间的非线性相互作用起到重要的影响。研究人员利用位于南海西部锚定潜标数据研究了强热带风暴灿都引起的非线性波-波相互作用, 在灿都到来之前, 内波场主要由半日潮 ( $D_2$ ) 和全日潮 ( $D_1$ ) 占主导, 近惯性内波 ( $f$ ) 非常弱; 在灿都到来期间, 内波场不仅存在强半日潮和全日潮, 同时也出现了强近惯性内波和更高谐次内波 ( $2f = f + f$ 、 $fD_2 = f + D_2$  和  $D_3 = D_1 + D_2$ )。通过剪切谱和旋转系数分析表明这些内波具有强剪切并且偏向顺时针旋转, 其旋转系数远远大于理论值, 这些内波特征与非线性相互作用形成的内波特征是一致的, 这表明强热带风暴期间出现的高谐次内波是非线性相互作用形成的。进一步的双相干谱分析表明由灿都引起的近惯性内波发生了自相互作用 ( $f + f = 2f$ ) 并与半日潮发生了非线性相互作用 ( $f + D_2 = fD_2$ ), 同时灿都还激发了半日潮和全日潮之间的非线性相互作用 ( $D_1 + D_2 = D_3$ ), 这些非线性相互作用产生了  $2f$ 、 $fD_2$  和  $D_3$  内波。研究结果深化了对强热带风暴引起的非线性波-波相互作用的理解。

该研究由国家自然科学基金、热带海洋学国家重点实验室自主项目等共同资助完成。

Liang, C. R., G. Y. Chen, X. D. Shang, X. H. Xie, and D. X. Wang (2019), Observation of Enhanced Nonlinear Interactions After Severe Tropical Storm Chanchu (2004) in the Western South China Sea, *J Geophys Res-Oceans*, 124(6), 3837-3848, doi:10.1029/2018JC014839.



强热带风暴灿都到来之前 (a)、到来期间 (b) 和到来之后 (c) 的平均动能谱 (48-152m)。光滑的曲线为 GM 内波模型的理论谱, 右上角的竖线表示平均动能谱 95%的置信度。

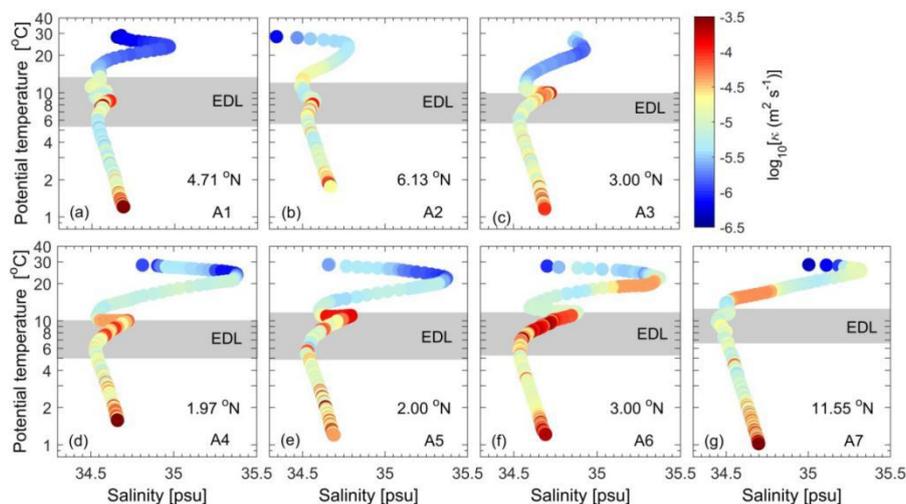
## 赤道西太平洋水团之间的湍流混合方面研究取得新进展

中科院南海所热带海洋环境国家重点实验室（LTO）湍流与海洋混合学科组梁长荣博士等研究人员在赤道西太平洋水团之间的湍流混合方面取得新进展，相关研究成果近期已发表在 *Journal of Geophysical Research: Oceans* 上。

动量和热量的垂向混合对海洋动力学至关重要，它影响着海洋的状态及海洋与大气的相互作用，为了准确模拟和预测全球气候和海洋环流，海洋模型必须正确地表示垂向扩散率在海洋中的大小与分布。研究人员利用赤道西太平洋的全水深湍流微结构剖面观测资料研究了赤道西太平洋水团之间的垂向混合，研究发现在赤道西太平洋温跃层之下存在一层强垂向混合的水体，这一层水体的垂向扩散率范围在  $5 \times 10^{-6}$  至  $5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  之间，比波-波相互作用理论 ( $5 \times 10^{-7}$ – $5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) 预测的高 1-2 个数量级。这些增强的垂向扩散率与南太平洋热带水密切相关，南太平洋热带水从南太平洋入侵到北太平洋并与局地的水团相互作用，大大减弱了水体的层结，这使得剪切很容易在水体中引起剪切不稳定，从而产生很强的垂向混合。这种增强的垂向混合从赤道延伸到  $10^\circ\text{N}$ ，占据了 250–750 m 之间的水体，对赤道海洋动力学起到重要作用。

该研究由国家自然科学基金、南方海洋科学与工程广东省实验室（广州）人才团队引进重大专项、热带海洋学国家重点实验室自主项目等共同资助完成。

Liang, C. R., Shang, X. D., Qi, Y. F., Chen, G. Y., & Yu, L. H. (2019). Enhanced diapycnal mixing between water masses in the western equatorial pacific. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124. <https://doi.org/10.1029/2019JC015463>



垂向扩散率在温-盐空间的分布图，上混合层以及受上混合层影响的数据已被排除，灰色阴影表示垂向扩散率增强的水层（EDL）。