

## 2025 年度海南省科学技术奖提名公示内容

公示单位：海南热带海洋学院 填表日期：2026 年 2 月 1 日

项目名称	热带水循环未来变化的动力框架及其与多尺度气候变异的交互调控
提名奖项及等级	海南省自然科学奖/一等奖
提名者	海南省教育厅
项目简介（1200 字以内）	<p>全球变暖背景下，热带作为“气候发动机”，其水循环变化深刻影响全球气候。然而，当前气候模式对降水、环流及云反馈的预估存在巨大不确定性，严重制约了气候变化的科学决策。本项目围绕全球变暖下热带水循环响应的核心不确定性，创新性地构建了水循环变化的动力框架，并探讨了其与多尺度气候变异的相互关系。聚焦“动力机制—碳移除效应—多尺度气候内部变异调制—云反馈观测约束”四位一体的研究主线，取得系统性突破。</p> <p>本项目取得系列原创性成果：（1）提出“层结变化的气候平流”新机制，阐明热带平均增暖如何通过增强大气静力稳定性，产生与气候态热驱动相反的绝热强迫，从而系统性减弱热带大尺度环流，包括副热带高压随全球变暖而减弱。（2）凝练“暖者更湿”规律，指出区域降水变化主要由 SST 增暖相对于热带平均的离差所控制，该机制解释了模式间降水预估不确定性的 1/3 以上，统一解释了热带气旋强度增加、移速减缓等观测现象。（3）将此规律拓展至云和水汽，揭示海洋增暖控制气候要素百分比变化而约束辐射反馈，强调水循环要素的百分比变化，提出“暖者更高”新规律。首次明确了海表增暖形态对全球云辐射反馈不确定性的反馈，并设计二级涌现约束方法，成功降低这一不确定性。（4）评估了气候变化与气候变异的双向调控之机制与影响。气候变化通过改变水汽与大气环流，增强了太平洋与印度洋的年际变异、调制了全球季风特征；与此同时，年代际至年际气候变异（如 IPO、ENSO）调节长期水循环趋势，调制了全球增暖的步伐。（5）开发无人机组智能云观测系统研究云对海洋增暖的响应，在探云技术方面取得基本原理突破。运用人工智能视觉技术，开发了新的探云系统，成功获取对流云三维风速的立体结构，实现对云反馈关键过程的</p>

	<p>高精度验证与约束。</p> <p>热带水循环特别是云动力学及其辐射反馈的深入了解，以及针对云观测技术的研发，是解决海洋科学“卡脖子”问题的突破口。在基础科学研究方面，本项目总结出热带气候变化及其相关辐射反馈的理论框架，提出百分比变化规律作为海温形态的关键控制因子，可以深切促进热带水循环变化的理解与量化，并为水汽和云辐射反馈提供切实有效的涌现约束，降低气候预估不确定性并增进其可靠性。在应用技术角度，本项目开发的无人机组立体视觉探云系统，为研究云热动力学提供了崭新的途径，有望借此突破天气预报与气候预估水平的瓶颈。</p> <p>本项目相关研究成果发表于 <i>Nature Geoscience</i>、<i>Annual Review of Earth and Planetary Sciences</i>、<i>npj Climate and Atmospheric Science</i>、<i>Journal of Climate</i>、<i>Climate Dynamics</i> 等顶级期刊及国内发明专利。核心成果被 IPCC AR5 和 AR6 报告多次采纳。国际同行高度评价，如英国 Hadley Centre 的 Chadwick 研究员在其 <i>J. Climate</i> 论文中用 1/3 篇幅介绍 MASC 机制；IPCC AR6 明确肯定“SST 格局演变是驱动区域水循环变化的关键”。相关诊断框架和方法已被美、韩、印度等多国广泛应用，彰显了本工作的引领性与国际影响力。</p> <p>综上，本项目不仅深化了对热带水循环基本规律的认识，更与我国战略发展规划和国家需求高度契合，为精准预估未来气候变化提供坚实的理论基础与技术支撑。</p>
提名书 相关内容	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 马建*, Chadwick, R., Seo, K. H. 董昌明, 黄刚, Foltz, G. R., Jiang, J. H. (2018). Responses of the tropical atmospheric circulation to climate change and connection to the hydrological cycle. <i>Annual Review of Earth and Planetary Sciences</i>, 46, 549-580. DOI:10.1146/annurev-earth-082517-010102</li> <li>2. 何超, 吴波, 邹立维, 周天军*. (2017). Responses of the summertime subtropical anticyclones to global warming. <i>Journal of Climate</i>, 30, 6465-6479. DOI:10.1175/JCLI-D-16-0529.s1</li> <li>3. 徐一丹, 李建平*, 付昊桓. (2022). The role of sea surface temperature variability in changes to global surface air temperature related to two periods of warming slowdown since 1940. <i>Climate Dynamics</i>, 59, 499-517. DOI:10.1007/s00382-022-06139-x</li> <li>4. 屈侠, 黄刚*. (2023). The primary factors influencing the cooling effect of carbon dioxide removal. <i>npj Climate and Atmospheric Science</i></li> </ol>

	<p>Science, 6, 215. DOI:10.1038/s41612-023-00547-4.</p> <p>5. 胡开明, 黄刚*, 黄平, Kosaka, Y., 谢尚平. (2021). Intensification of El Niño-induced atmospheric anomalies under greenhouse warming. <i>Nature Geoscience</i>, 14(6), 377–382. DOI:10.1038/s41561-021-00730-3</p> <p>6. 孙启伟*, 杜岩, 谢尚平, 张玉红, 王闵杨, Kosaka, Y. (2021). Sea surface salinity change since 1950: Internal variability versus anthropogenic forcing. <i>Journal of Climate</i>, 34, 1305-1319. DOI:10.1175/JCLI-D-20-0331.1</p> <p>7. 马建, 曾铮, 魏照宇, 周磊, 张寅丁. 基于多无人机和机器视觉的云观测系统及方法. ZL 202011261879.7. 专利权人: 上海交通大学. 授权公告日: 2022 年 5 月 6 日. 授权公告号:CN112347956B</p> <p>8. 张学峰*, 张绍晴, 刘征宇, 吴新荣, 韩桂军. (2016). Correction of biased climate simulated by biased physics through parameter estimation in an intermediate coupled model. <i>Climate Dynamics</i>, 47, 1899–1912. DOI:10.1007/s00382-015-2939-9</p>
<p><b>主要完成人 (排序、工作单位和 贡献)</b></p>	<p>1. 马建, 海南热带海洋学院 作为项目核心理论构建者, 原创性提出了“层结变化的气候平流”(MASC)与“暖者更湿”动力框架, 并开发了无人机探云新技术, 为项目奠定了理论基础。</p> <p>2. 黄刚, 中国科学院大气物理研究所 阐明了水汽-温度非线性反馈如何放大 ENSO 驱动的热带湿度、高层温度、环流及降水变异, 为理解“多尺度气候变异与热带水循环的交互调控”提供了关键的物理理论支撑和新的约束框架。</p> <p>3. 李建平, 中国海洋大学 系统揭示了 20 世纪两次全球变暖间歇期中海表温度变异对地表气温趋势放缓的主导作用及其年代际差异, 为项目理解“多尺度气候变异如何调制热带水循环长期趋势”提供了重要的机制解释。</p> <p>4. 胡开明, 首都师范大学 创新性地提出水汽对温度的非线性响应是驱动 ENSO 遥相关及极端气候事件增多的关键物理过程, 为理解多尺度气候变异与热带水循环的交互调控提供了重要理论支撑。</p> <p>5. 屈侠, 中国科学院大气物理研究所 聚焦碳中和气候响应, 首次量化揭示海洋垂直热交换是导致 CO<sub>2</sub> 移除情景下地表降温幅度不确定性的主控因子, 为完成《巴黎协定》目标的碳移除路径提供了关键科学依据。</p> <p>6. 何超, 暨南大学</p>

	<p>系统揭示了全球变暖下副热带高压减弱的规律及其广泛气候效应，其成果被 IPCC AR6 及多项国际权威研究引用，为理解大尺度环流变异在水循环与气候系统中的调控作用提供理论支撑。</p> <p>7. 孙启伟，南方海洋科学与工程广东省实验室（广州） 阐释并量化了水循环/海表盐度内部变异对区域长期趋势的贡献，修正了 IPCC 关于全球水循环增强的评估结果，有助于提高预测盐度/水循环未来变化的准确性。</p> <p>8. 张学峰，海南热带海洋学院 通过耦合模式参数估计技术，有效约束和校正气候模式中因物理过程缺陷所导致的系统性偏差，从而提升气候变异模拟精度。</p>
<p><b>主要完成单位 (排序和贡献)</b></p>	<p>1. 海南热带海洋学院 团队原创性提出“层结变化气候平流”动力框架并发展无人机探云观测新技术，同时开发耦合模式参数估计技术以降低模拟偏差，为项目构建了核心理论与方法基础。</p> <p>2. 中国科学院大气物理研究所 在碳中和气候响应与多尺度反馈机制两方面做出贡献，既量化了海洋垂直过程对碳移除降温不确定性的主导作用，也阐明了水汽-温度非线性反馈对 ENSO 变异的放大作用，为气候预测提供了关键约束。</p> <p>3. 中国海洋大学 在年代际变异调制长期趋势的机制研究上贡献突出，为理解气候变异如何调制长期趋势提供了重要的时间尺度案例。</p> <p>4. 首都师范大学 在机制诊断层面取得突破，提出水汽对温度的非线性响应是驱动 ENSO 遥相关及极端事件增多的关键，为理解多尺度气候变异与热带水循环的交互调控提供了重要理论支撑。</p> <p>5. 暨南大学 在大尺度环流变异及其气候效应方面取得系统成果，为理解环流变化在水循环中的调控作用提供了观测与理论支撑。</p> <p>6. 南方海洋科学与工程广东省实验室（广州） 在水循环长期趋势的归因与修正方面做出贡献，修正了全球政府间气候变化专门委员会（IPCC）关于全球水循环增强的评估。</p>

说明：涉及国外的人和组织科学技术合作奖可不用公示，其余奖项必须公示至少  
7 日。