



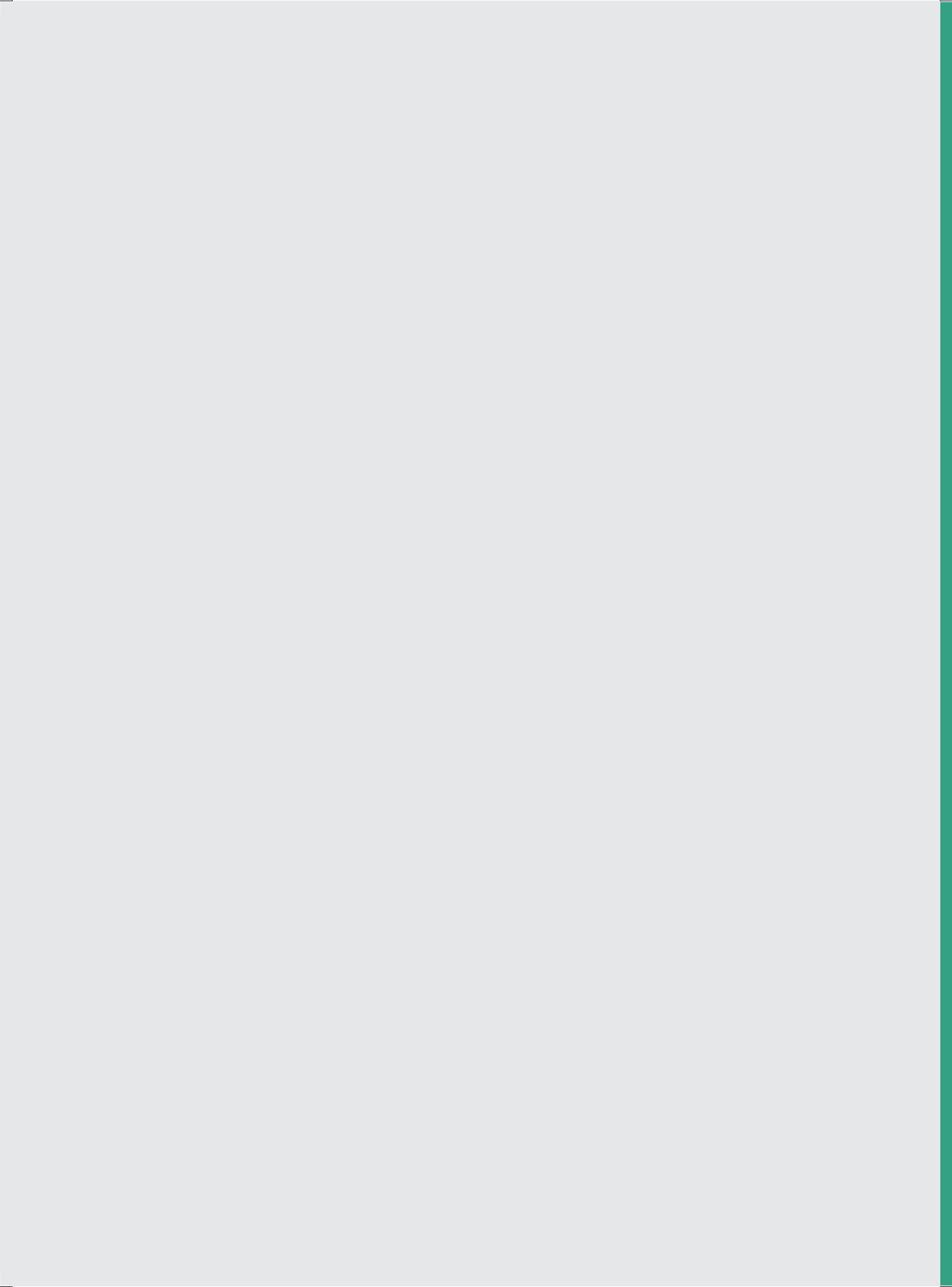
清华大学地球系统科学系
Department of Earth System Science, Tsinghua University

2024 年第一期 | 总第 62 期

清华大学地球系统科学系
工作动态

DEPARTMENT OF EARTH SYSTEM SCIENCE
TSINGHUA UNIVERSITY

自強不息 厚德載物



天行健，君子以自强不息！

地势坤，君子以厚德载物！

目录

CONTENTS

■ 头条新闻

- 2 清华大学地球系统科学系二〇二四年新年贺词
- 5 清华大学地学系关大博团队在气候变化背景下全球极端热浪事件的经济损失量化方面取得重大进展
- 8 清华大学地学系同丹课题组合作揭示中国煤电低碳转型路径不确定性对协同效益的影响
- 10 耦合器 C-Coupler3 入选 2023 年度“中国十大气象科技进展”

■ 科研进展

- 12 清华大学地学系黄文誉课题组提出基于深度学习的中国东南部冬季降水订正方案
- 14 清华大学地学系王焱课题组发现青藏高原植被生产力的增加趋势在 1990 年代末减弱
- 16 清华大学地学系阳坤课题组构建长时序均一化地表太阳辐射及辐射分量数据集
- 18 清华大学地学系李伟课题组发文揭示非洲中部地区植被碳储量变化的驱动机制
- 20 清华大学地学系卢麾课题组再度获得国家青藏高原科学数据中心 2023 年度十佳数据集奖

工作简讯

- 22 清华大学地球系统科学论坛举行
- 23 地学系分工会举行庆祝“三·八”国际妇女节系列活动
- 24 地学系党委召开 2023 年度党支部书记述职评议会
- 25 双碳目标下的可再生能源气象学研究与应用——记清华大学地学系午餐沙龙系列学术交流活动
- 26 基于神经算子的智能气象海洋模式探索——记清华大学地学系午餐沙龙系列学术交流活动

紫荆论坛

- 27 全球变化科学紫荆论坛一览

清华大学地球系统科学系 二〇二四年新年贺词

寒犹尽北峭，风渐向东生。值此 2024 年元旦到来之际，谨向清华大学地球系统科学系全体师生员工和全球校友及家人，向所有关心支持清华地学学科发展的各级领导和海内外各界朋友致以崇高的敬意、诚挚的问候和美好的祝福！

回望 2023 年，地学系深入学习贯彻党的二十大精神，扎实落实推进学校第十五次党代会作出的工作部署，坚持和加强党的全面领导，强化责任担当，聚焦立德树人和高质量发展，干事创业、积极作为，在人才培养、学术创新、合作交流等方面取得实效。

高质量教育体系发展实现突破。教育部批准清华大学新增大气科学类下的地球系统科学（理学）本科专业。完成教育部学位授权点周期性合格评估工作。刘竹教授开设的“可持续性科学”获评清华大学精品课程。王焱副教授开设的“研究生创新研究方法”获评清华大学课程思政示范课。俞乐副教授获大学生研究训练（SRT）计划优秀指导教师二等奖。编写了《研究生专业课程体系分析报告》，按照“基础理论课－专业基础课－专业课”基本架构梳理调整了每门课程的培养目标、教学安排、师资要求、课程思政等内容。新开设“大气化学”课程。

持续深化“地球系统科学”本科辅修专业建设，新增 3 门本科生通识课程。积极参与秀钟书院建设，多位教师担任致理、探微、行健和秀钟等书院本科生导师。制定《地学系教育教学奖励办法》，明确对于教材建设的激励奖励措施，已有 3 本教材与出版社签订出版合同。

高素质人才造就培养取得佳绩。卢麾教授获林枫辅导员奖（教师身份）。2019 级博士生雷天扬获清华大学特等奖学金（研究生）；2021 级博士生许娅威获清华大学“一二·九”辅导员郭明秋奖。2020 级博士生江锐捷获评北京市三好学生；2017 级博士生钱煜坤获评北京市优秀学生干部；2018 级博士生陶凤获评清华大学研究生“学术新秀”。地学系研团总支获清华大学院系研团工作进步奖；地研 21 班集体获清华大学研究生先进集体荣誉。深化研究生奖学金制度改革，贯彻“破五唯”精神，激励研究生勇于探索“科研无人区”，鼓励研究生开展交叉创新研究。做好毕业生就业引导工作，2023 年就业率达到 100%。

高层次人才队伍建设持续加强。卢麾、刘竹和刘利三位教师晋升长聘教授。关大博教授获聘“清华大学基础科学讲席教授”。两位教

师入选万人计划领军人才和青年长江学者。阳坤教授、张强教授、关大博教授和同丹助理教授入选 2023 年度科睿唯安“高被引科学家”。完善学术治理机制，加强学术共同体建设，理顺科学指导委员会与长聘教授委员会的职责和作用，完成生态学和大气科学两个学科方向学科带头人调整。充实了地学系党政班子，完成了系机关岗位调整和职工队伍优化。强化“鼓励原创、交叉合作、和而不同”与关心人才、尊重人才的学术氛围，有效稳定了骨干人才队伍。修订《地球系统科学系教师聘任管理办法》和教师岗位设置与人才招聘计划，2024 年教师岗位公开招聘信息已发布。

高精尖科技创新成果不断涌现。面向国家碳中和重大战略，强化有组织科研，在气候变化影响及应对、全球碳中和路径构建等领域持续开展多学科交叉攻关，取得一系列原创突破。地学系教师在《自然》和《科学》主刊上发表论文 3 篇，发表 SCI 和 SSCI 论文 230 余篇。

“大气成分变化驱动因素及环境健康效应”荣获教育部自然科学奖一等奖。发布《全球逐日二氧化碳排放报告 2023》和《2023 柳叶刀人群健康与气候变化倒计时报告》。持续推动地球系统模式建设，开发包含人类活动影响及碳循环模拟功能的 CIESM 2.0 版本，完成耦合器 C-Coupler3 升级。地球系统数值模拟教育部重点实验室召开学术年会，发布开放基金。东亚迁徙鸟类与栖息地生态学教育部野外科学观测研究站提升了观测与研究能力。清华大学（地学系）- 西安市勘察测绘院新型智能测绘

联合研究中心揭牌，“天洲工程”（地球陆地 - 海洋 - 大气超大型实验研究平台）原型机建设稳步推进。代表性成果包括：

1. 黄小猛教授、博士生陶凤以及康奈尔大学骆亦其教授组织的国际研究团队在生态学和计算机科学领域开展深度学科交叉，利用人工智能和数据同化技术揭示了微生物碳利用效率对全球土壤有机碳储量的决定性作用。成果以“微生物碳利用效率促进全球土壤碳储存”为题在《自然》期刊上发表。

2. 李伟副教授课题组联合国内外多所研究机构，揭示了全球大规模生物能源作物种植对全球陆地水循环的影响，并探究了不同种植策略通过生物地球物理作用对陆地降水和其他陆地水平衡分量的影响。成果以“大规模生物能源作物种植的气候反馈导致了陆地降水的增加”为题发表在《自然·通讯》期刊上。同时，利用高分辨率卫星观测数据量化分析了 1990-2010 年间人为导致的热带雨林退化的生物物理和生物地球化学效应。成果以“热带雨林退化的生物物理和生物地球化学升温效应”为题在《自然·地球科学》期刊上发表。

3. 张强教授和深圳国际研究生院郑博助理教授带领的国际研究团队研制了全球野火碳排放近实时量化追踪系统，反演量化了 2000-2021 年野火二氧化碳排放的时空格局，系统解析了北半球中高纬地区野火 2021 年创历史新高排放背后的驱动因素。该成果以“北半球中高纬地区野火 CO₂ 排放 2021 年创历史新高”为题在《科学》期刊上发表。

4. 关大博教授、同丹助理教授和张强教

授课题组基于自主研发的全球钢铁行业设施级碳排放数据库，详细剖析了全球钢铁行业碳排放特征，构建了全球钢铁行业逐厂级脱碳策略，提出了高度差异化的全球钢铁行业碳中和路径。相关成果分别以“全球钢铁厂二氧化碳排放与碳中和路径”和“全球钢铁行业工厂级脱碳策略”为题，以背靠背论文形式分别于《自然》和《自然－气候变化》在线发表。

5. 林光辉教授课题组通过对全球众多案例和文献数据的综合分析发现，在已破坏的红树林生境再造林相比于红树林造林本身可以带来更高的碳固存效益。研究成果以“修复红树林系统在减缓全球气候变化和碳吸收方面显著优于滩涂”为题在《自然·通讯》上发表。

6. 白玉琪教授团队联合中国科学院大气物理研究所李芳研究员团队，完成了 2021-2100 年期间野火排放的中国区域健康效应评估。研究结果揭示了未来不同时期野火排放导致中国人群健康风险的时空分布，成果以“2021 - 2100 年野火烟雾短期暴露引起的中国区域死亡风险预测：健康影响评估研究”为题在《柳叶刀·星球健康》发表。

高水平国际合作交流继续深化。推动学校建立与世界气象组织的合作关系并签署谅解备忘录，将围绕前瞻性科学研究、人才培养、师生交流等方面深化合作，提高气象、水文、环境及健康相关领域信息服务质量与可及性，共同应对快速增长和变化的社会需求。推动学校与英国埃克塞特大学续签联合培养博士生项目协议，建立与澳大利亚墨尔本大学的合作交流。

推荐清华大学名誉学衔专家 3 位，邀请外籍和港澳台专家短期来访 30 余人次，派出师生 146 人次。努力打造学术交流品牌，全年举办“全球变化科学紫荆论坛” 39 期，依托全球变化研究院创建新的“可再生能源科学沙龙” 学术交流平台。

新竹高于旧竹枝，全凭老干为扶持。我们深知，这些进步离不开徐冠华院士、郭华东院士等科学指导委员会成员、各级领导、海内外各界朋友、全球校友及家人的指导和帮助！再次向大家表示诚挚的感谢！希望继续得到大家更多的关怀和支持！

千淘万漉虽辛苦，吹尽狂沙始到金。展望 2024 年，我们将结合地学系实际，切实落实《清华大学全面贯彻落实党的二十大精神行动方案》要求，加快推进学校第十五次党代会工作部署，坚持把立德树人作为根本任务，把服务国家作为最高追求，把高质量学科建设作为发展根基，把深化改革开放作为强大动力，把加强党的建设作为坚强保证，乘势而上、奋发作为，为建设中国特色世界一流大学作出新的更大贡献。

祝愿大家在新的一年里祯祥吉祺，顺遂安康！

清华大学地球系统科学系

2024 年 1 月 1 日



清华大学地学系关大博团队在气候变化背景下 全球极端热浪事件的经济损失量化方面取得重大进展

作者 / 孙艺达

受全球变暖影响，极端热浪事件呈现频发、广发和强发趋势，严重影响人类健康和生产力。劳动者在高温环境下的出勤率和工作效率将会受到影响，降低其有效工作时长和生产率。随着全球价值链的协作日益紧密，受极端热浪事件影响地区产生的经济损失将通过供应链扩散到其他经济体，进而影响全球能源供应、产品生产及粮食安全。人力资本是经济发展的关键要素。因此，研究并量化气候变化背景下极端热浪事件通过影响劳动力及产业链而导致的经济损失，对于健康福祉、体面工作、经济增长、消除贫困等多重可持续发展目标的实现具有重大意义。

近日，清华大学地球系统科学系（以下简称“地学系”）关大博团队突破地球系统模式与社会

经济耦合的壁垒，通过构建“气候 - 健康 - 经济”子系统有机连接的交叉学科灾害足迹模型，在网格尺度对气候变化下的全球热浪健康风险及经济损失进行了评估。研究团队集成 14 组第六次国际耦合模式比较计划（CMIP6）气候情景数据集，量化了在未来不同共享社会经济发展路径（Shared Socioeconomic Pathways, SSP）下因气候变暖造成的生命健康损失（极端热浪导致的超额死亡人数的统计生命价值）、劳动生产率损失（高温暴露导致的劳动时间和生产力损失）和价值链中断损失（供给或需求失衡导致的生产停滞造成的损失）。研究通过深入剖析气候变化对全球价值链的影响机理，精准识别并重点分析了脆弱国家和关键产业的气候风险，为我国开展气候适应和风险防控提供了

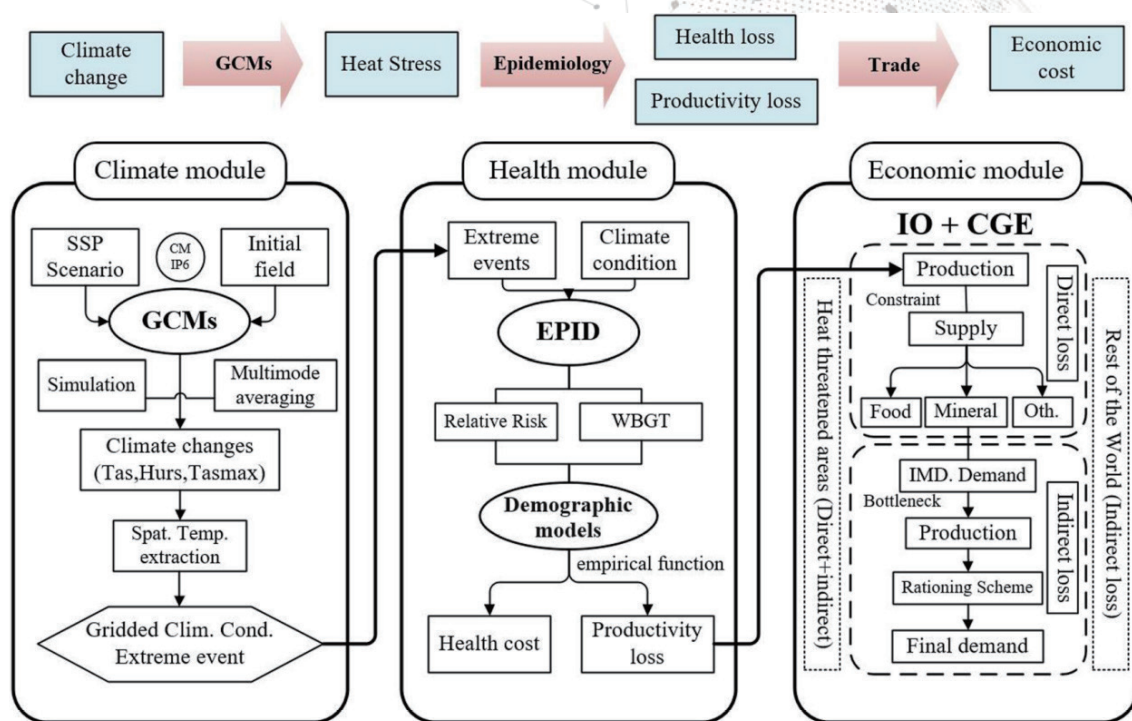


图 1. 地球系统模式（气候模式）与社会经济模式耦合机理框架。

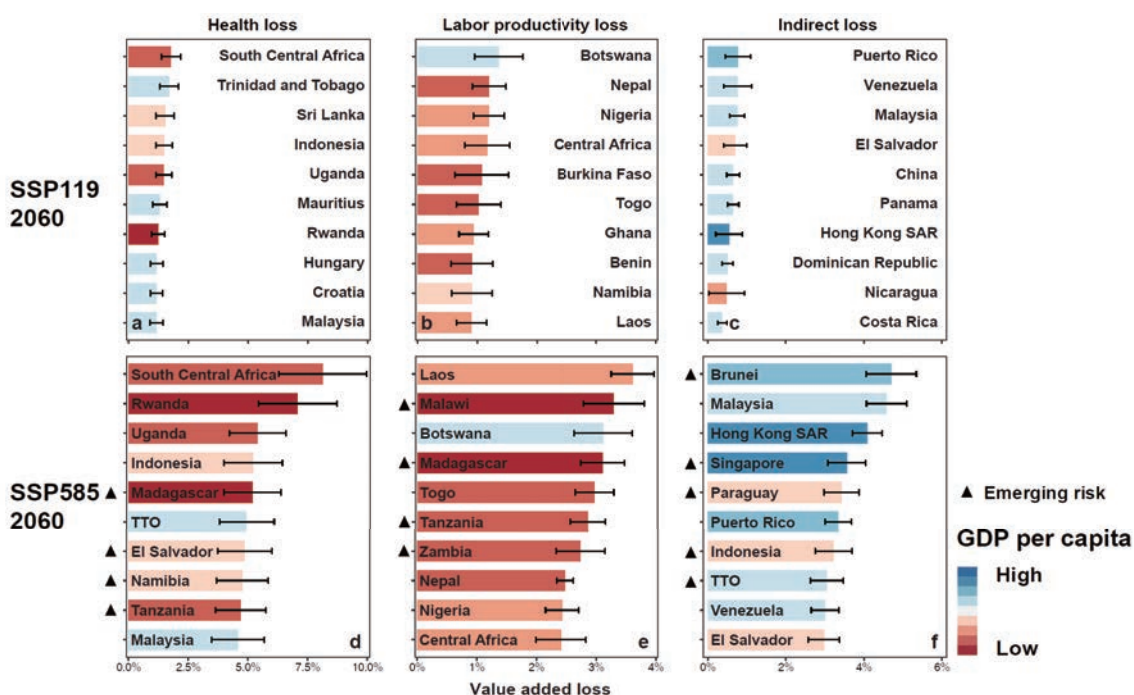


图 2. 气候变化情景下全球不同区域的“非平行”风险暴露。a-c, SSP119 情景下健康损失 (a), 劳动生产率损失 (b) 和间接损失 (c) 最严重的 10 个经济体。d-f 为 SSP585 情景。

决策参考，也为全球开展靶向性、协同性气候治理提供了科学依据。

研究从劳动健康、经济产业链等多重角度揭示了气候变暖经济成本将呈现指数增长的趋势。在气候变化背景下，全球每年与热浪相关的 GDP 损失将从 2030—2040 年的 0.3%~1.7% 增长至 2050—2060 年的 0.6%~4.6% (取决于不同的 SSP 路径)，包括生命健康损失 (37%~45%)、劳动生产率损失 (18%~37%) 和间接损失 (12%~43%)。热带地区中小型发展中经济体的经济损失最为严重，非洲中南部的生命健康损失高于全球均值 2.1 至 4.0 倍，西非和东南亚的劳动生产率损失高于全球均值 2.0 至 3.3 倍。而供应链中断的影响则更为广泛，对中国和美国等制造业大国的冲击显著，导致其经济损失分别上升约 2.7% 和 1.8%。

由于气候环境、人口动态、产业经济结构和国际贸易格局等多重因素的复杂影响，各区域的气候经济损失敏感性存在显著差异，且在 SSP119 至 SSP585 路径下均呈现“非平行增长”的特征，即大部分迅速上升的经济损失将由发展中经济体承担。例如，非洲的温室气体排放占全球比例不到 5%，但

包括卢旺达、赞比亚在内的六个国家在本世纪中叶的经济损失将排在全球前 10 位。马拉维和老挝等东非、东南亚国家对劳动生产率的损失较为敏感，预计 GDP 损失约为 2.7% 至 4.0%。在健康损失方面，安哥拉和卢旺达等国的 GDP 损失超过 5%。而间接损失在 SSP585 情景下传导更为广泛，对发达国家和发展中国家都产生显著影响。其中较为依赖国际贸易的中小型“半边陲经济体” (semi-periphery economies) 如文莱、委内瑞拉、印度尼西亚所受的间接损失较高，占 GDP 的 3.0~4.8%。

为进一步剖析全球经济体的关键产业损失格局和规律，研究使用机器学习方法对全球不同经济体的部门尺度经济损失进行了 K-means, K-prototype 和最大期望 (EM algorithm) 聚类分析。研究发现，各产业部门的经济损失格局随着纬度和价值链位置变化呈现“阶梯状”态势。各区域经济体可大致分为“低纬高危”、“中纬复合”、“中高纬潜在”、“高纬溢出”四大类型。例如，第一产业占比较高的亚非发展中国家大多属于“低纬高危”类型，农作物种植、建筑和采矿等部门直接暴露在室外超高温和日照环境下，受到的影响最大。中国、巴西、

印度等国则属于“中纬复合”类型。其中中国采掘业、钢铁行业和非金属制造业不仅位于升温显著区域，且由于从东南亚、非洲和南美洲进口大量上游初级产品，在直接减产和间接溢出复合冲击影响下的产业增加值预计损失约 4.6%~6.4%。

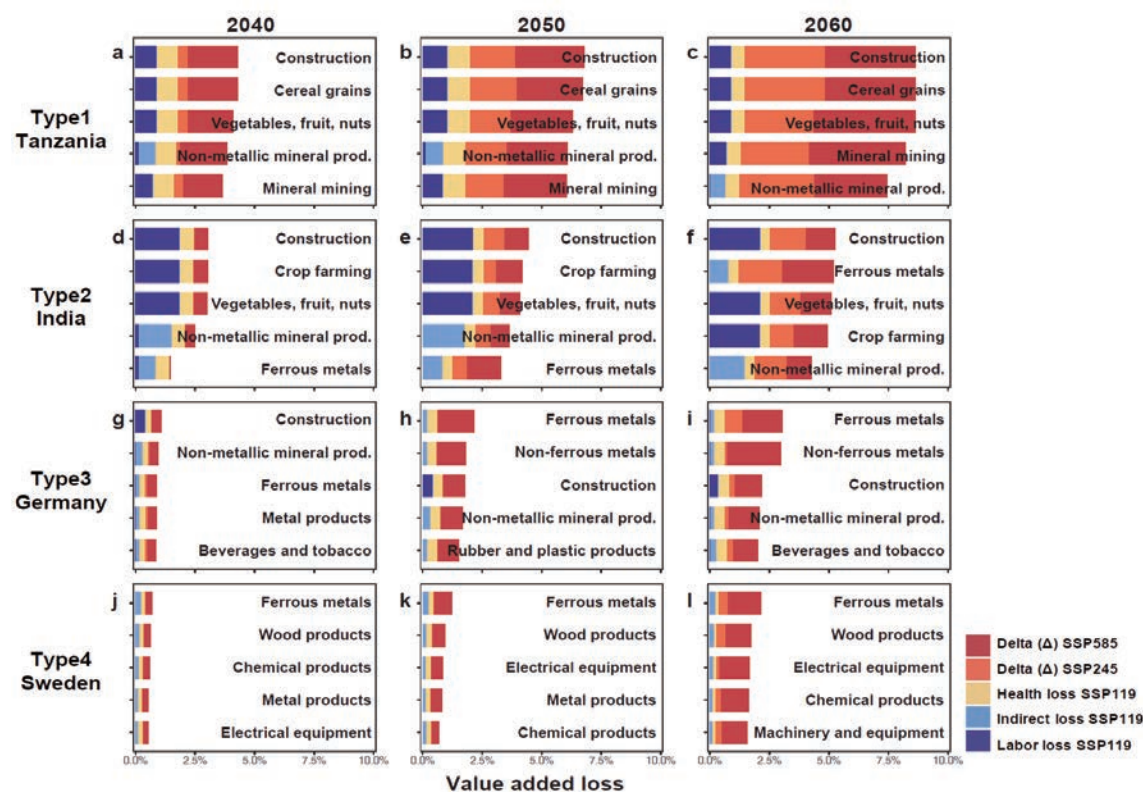
值得注意的是，极端热浪的负面影响往往呈现复杂、隐蔽特征且在全球供应链中循环迭代传导，在以往研究中难以准确定量。本研究所开发的气候灾害足迹模型通过产业链溯源追踪方法全球揭示了全球极端热浪导致健康损失的级联效应，强调了全球合作减缓并适应气候变化的必要性。例如，英国、德国、瑞典等中高纬欧洲国家通常被认为受气候变化影响较小，然而在供应链中多个节点（尤其是发展中国家）并行冲击下，电器、机械设备、化工产品等产业将遭受约 2%~3% 的间接经济损失。在 SSP585 情景下，由于从南美、东南亚和非洲进口的种植产品（棕榈油、大豆、咖啡、香料等）减少约 5% 至 8%，德国饮品和烟草产业的经济损失将增加六倍以上，占增加值的 2.0%；英国化工产品、电气制造业的增加值也将下降约 2.5%。因此，从全球价值

链视角出发建立气候变化损失损害基金，并对于关键脆弱性节点的气候韧性提供针对性和靶向性的技术支持，将带来全球尺度的正向经济收益。

相关研究成果以“全球价值链放大未来极端高温风险的经济成本”（Global supply chains amplify economic costs of future extreme heat risk）为题，近日发表于《自然》（Nature）期刊。

清华大学地学系 2021 级博士生孙艺达，浙江大学地球科学学院朱曙鹏研究员，伦敦国王学院王道平助理教授为论文共同第一作者，清华大学地学系关大博教授为论文通讯作者。论文合作者包括北京师范大学段建平教授，地学系卢麾教授、蔡闻佳教授、王勇副教授，南加州大学博士后尹皓，地学系博士生谭畅，滑铁卢大学博士后张灵蕊，北京理工大学赵梦真博士后，东南大学胡艺馨讲师，北京大学陶澍院士。研究得到了国家自然科学基金、国家重点研发计划项目、浙江大学百人计划启动基金等资助。

论文链接：<https://www.nature.com/articles/s41586-024-07147-z>



清华大学地学系同丹课题组合作揭示 中国煤电低碳转型路径不确定性对协同效益的影响

作者 / 严禧哲 同丹

电力是中国煤炭消费量最大的部门，排放大量二氧化碳和大气污染物。尽管落后产能淘汰、超低排放改造和节能降碳改造等一系列政策已大幅降低了煤电行业大气污染排放，但煤电污染排放导致的健康风险仍不容忽视，且二氧化碳排放一直处于高位。在碳中和与美丽中国目标下，推进煤电行业转型、推动煤电行业减污降碳协同治理迫在眉睫。目前已有研究从机组尺度出发设计了健康协同效益最优、资产搁浅最少的煤电退役路径，但现实的煤电退役可能受多因素影响，造成环境气候经济效益和成本偏离最优预期。

针对上述问题，清华大学地球系统科学系（以下简称“地学系”）同丹课题组建立了多目标下中国煤电退役策略不确定性分析框架，创新海量情景寻优技术，量化了中国多条煤电转型路径的成本效益，解析了路径扰动带来的成本效益不确定性，揭示了中国煤电低碳转型路径的不确定性可能带来气候、环境、健康效益和经济成本的差异以及与政策预期目标的偏离。成果以“成本效益不确定性可能会干扰中国煤电转型决策”（Cost-effectiveness uncertainty may bias the decision of coal power transitions in China）为题，于3月13日在《自然 -

通讯》（Nature Communications）在线发表。

为量化中国煤电转型不确定性的影响，研究团队通过耦合综合评估模型、大气化学伴随模式、暴露 - 响应方程和煤电转型成本效益评估方法，提出了面向多目标决策的中国煤电机组转型策略不确定性分析框架。基于该模型框架，从机组级煤电资产搁浅风险、碳减排效益和健康影响等异质性特征出发，设计多条靶向转型路径，定量表征了转型成本及气候、环境、健康效益及其不确定性，并通过多准则决策分析揭示了不确定性影响下中国煤电低碳转型效益与预期的偏离程度。

研究发现，现役煤电机组的碳排放和健康风险分布呈现显著异质性特征：近四分之一的碳排放由装机容量占比为10%的煤电机组引起，而占装机容量2%的煤电机组造成了煤电行业超过25%的健康风险，落实靶向退役策略有望在碳减排、保护人群健康等方面取得可观的效益。

研究进一步从煤电机组的异质性特征出发，从资产搁浅、碳减排、健康效益的多目标视角分析燃煤机组退役路径的差异性；通过开展万组退役路径的扰动模拟分析，发现不确定性可能延误退役政策首次获得正效益的时间节点，沿用当前的退役策略

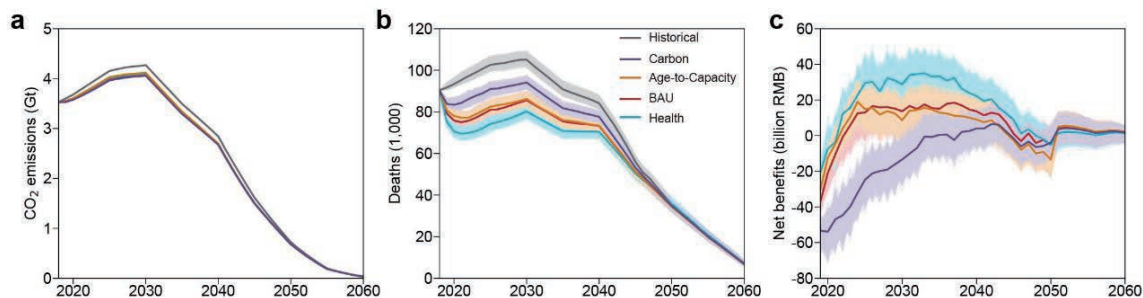


图 1. 煤电转型决策碳排放、健康损失与净效益的时序变化趋势及不确定性分布。

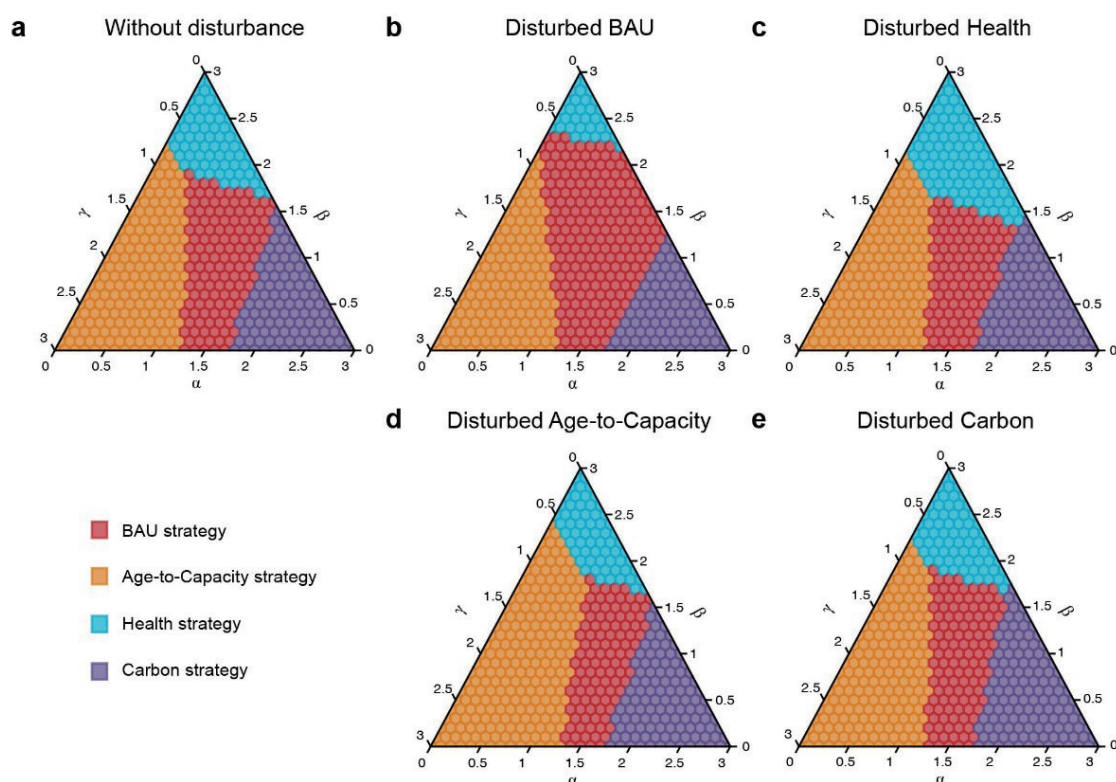


图 2. 政策执行不确定性对落实最适煤电转型决策的潜在干扰。

可能导致获得正效益的时间延迟六年（图 1）；任一退役政策的实施均存在一定程度的风险，并非所有策略都能保证 100% 累积净效益，特别是以碳减排、资产搁浅规避为首要目标的靶向退役策略和沿用当前的退役策略均有一定概率导致累积负效应。在政策执行不确定性的干扰下，即使严格根据政策目标设计煤电退役策略，仍有可能错过落实最适宜退役政策的机会（图 2）。研究表明，煤电退役应最大限度地减少政策执行干扰，降低负效应风险，同时按照靶向政策目标选取最适策略指导我国煤电机组有序低碳转型。

研究揭示了中国煤电低碳转型政策的不确定性以及新建产能的时空随机性对决策和效益的影响，表明了限制政策扰动和采用基于靶向政策目标的煤电转型策略对于煤电转型提质增效的重要意义。研究对碳中和与清洁空气协同治理路径制订提出了政策建议，即能源结构低碳化转型并非总能带来正向净效益，设计和实施相关能源政策时应加强顶层设计，始终坚持以整体战略目标为导向，减少能源政

策不确定性风险，推动电力系统低碳转型平稳过渡。

清华大学地学系博士生严禧哲为论文第一作者，清华大学地学系同丹助理教授和生态环境部环境规划院雷宇研究员为论文共同通讯作者。论文合作者包括清华大学地学系张强教授，清华大学环境学院教授、碳中和研究院院长贺克斌院士，中山大学陈绍晴教授，生态环境部环境规划院郑逸璇副研究员、陈楚楚助理研究员，清华大学环境学院博士后刘洋、毕业生施沁人（现为法国环境与气候科学实验室博士后），清华大学地学系毕业生程静（现为加州大学尔湾分校博士后）、博士研究生徐若翀、覃馨莹、郑栋升。研究得到了国家自然科学基金委、能源基金会、新基石科学基金会和清华大学自主科研计划的支持。

文章链接：<https://www.nature.com/articles/s41467-024-46549-5>

耦合器 C-Coupler3 入选 2023 年度 “中国十大气象科技进展”

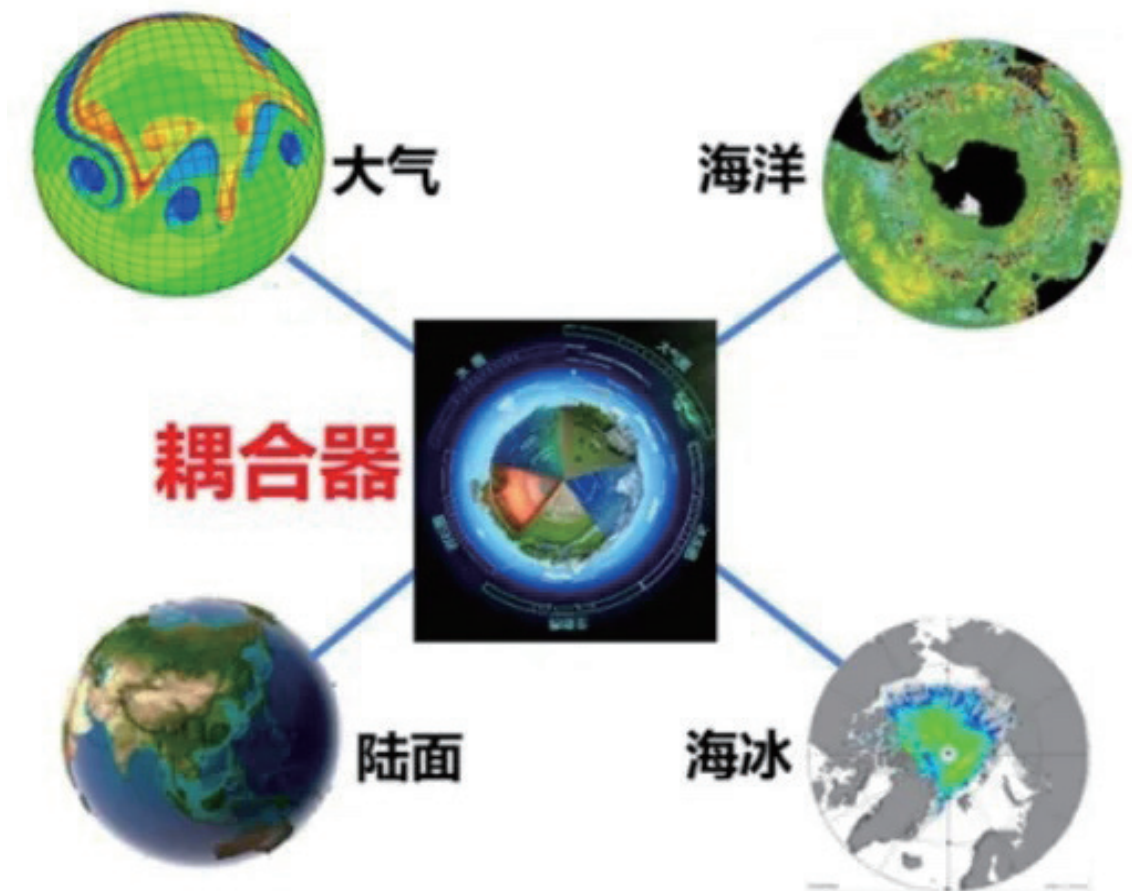
作者 / 刘利

3月28日,2023年度“中国十大气象科技进展”评选结果公布。清华大学地球系统科学系(以下简称“地学系”)刘利教授课题组领衔完成的成果“地球系统数值预报耦合器 C-Coupler3”入选。

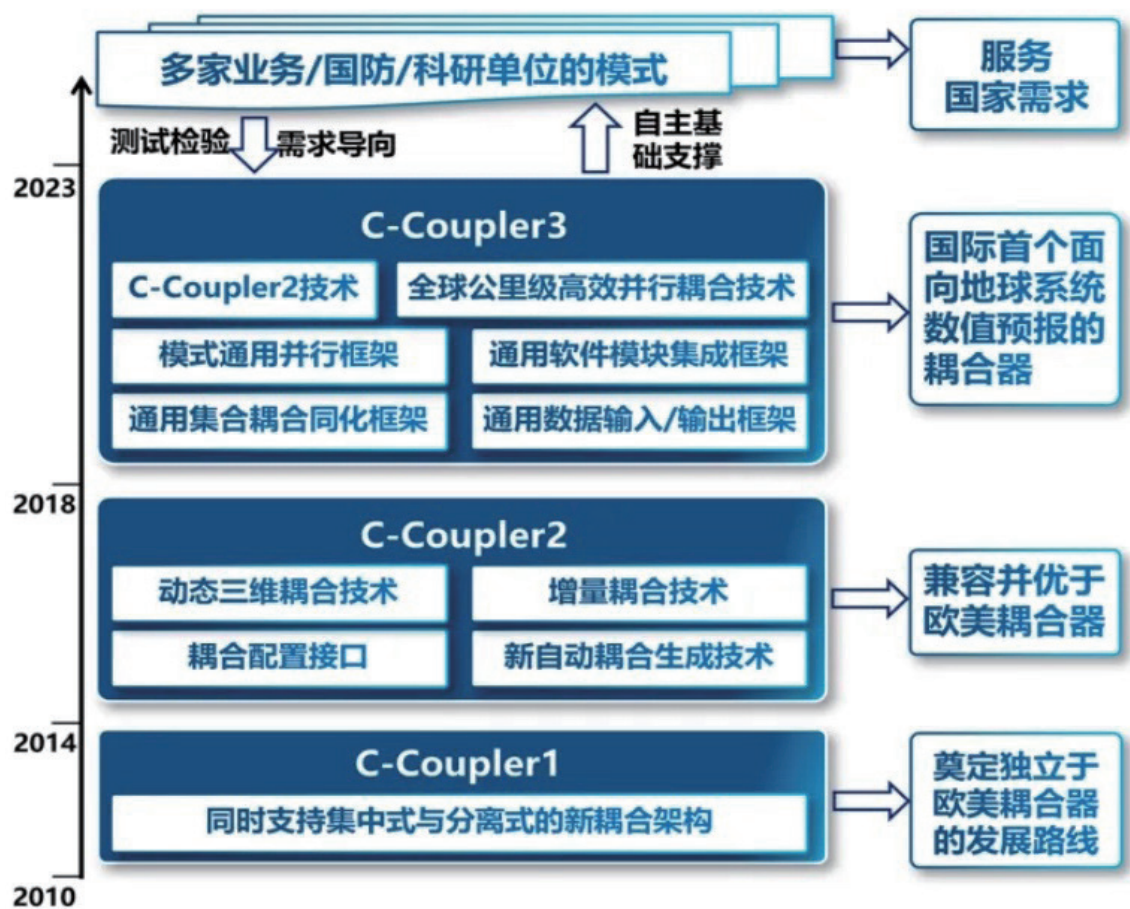
该评选活动由全国气象科教融合创新联盟牵头组织,旨在及时反映我国气象科技领域最新进展,宣传气象科技成果,引领气象科技创新,凝聚各方力量,加快推进气象科技能力现代化和社会服务现代化。来自气象部门、相关领域高校、科研院所和企业的多项科技成果参选,百余名领域专家参与投票评选。

耦合多圈层的地球系统模式是气候变化应对、防灾减灾等多领域的重要科技支撑。耦合器是支撑多圈层分量模式间相互作用与系统集成的公共基础平台。我国与欧美几乎同期启动模式研发,但耦合器研发比欧美晚了近20年。因此,实现耦合器的自主可控是地球系统科技自立自强的一项基本任务。

刘利课题组自2010年起自主研发耦合器 C-Coupler,历经十多年努力,完成了多个国产耦合器版本,使我国彻底摆脱模式基础支撑软件落后的局面。其中于2023年建成的地球系统数值预报耦合器 C-Coupler3 取得了全球公里级高效并行耦



地球系统模式模块化耦合架构



地球系统数值预报耦合器 C-Coupler3 及其持续发展历程

合、模式通用并行框架、通用软件模块集成框架、通用集合耦合同化框架和通用数据输入 / 输出框架等关键技术创新。专家组评价：该成果首次实现了耦合器与多种框架的一体化发展，各项新技术与耦合器整体在国际上均处于领先地位，对推动我国地球系统数值预报和相关业务的高水平科技自立自强具有重大意义。

国务院印发的《气象高质量发展纲要 (2022-2035 年)》明确指出，要加快发展自主可控的地球系统数值预报模式。C-Coupler3 已应用于我国地球系统数值预报的发展，为中国气象局下一代大气数值模式 (MCV 模式) 的高质量自主研发提供支撑，实现了该模式动力框架与物理参数化过程的模块化并行耦合、便捷高效的数据输入 / 输出和全球 / 区域不同类型网格下的一体化高效并行，取得了 10 万核高可扩展性，为构建将该模式作为大气分量的地球系统模式奠定基础。

C-Coupler3 正应用于 5 个国家重点研发计划项目耦合模式和同化系统的研发，支撑解放军某部队、自然资源部第一海洋研究所和国防科技大学等单位区域海气浪耦合系统的模块化耦合构建与快速启动，并为中国气象局、国家海洋环境预报中心、中国科学院大气物理研究所、中山大学、清华大学等单位已有耦合模式的升级奠定基础。

以 C-Coupler3 为代表的 C-Coupler 耦合器系列作为“十三五”以来我国基础研究取得的重大成果入选国家“十三五”科技创新成就展，被编入《中国基础研究发展报告 2022》，全书入选的成果不到 90 项，其中地学领域成果不到 20 项。

成果由地学系与清华大学计算机系共同完成，主要完成人包括刘利、孙超、于馨竹、杨广文、王斌、于灏和李锐喆。研究受到国家重点研发计划和国家自然科学基金资助。

清华大学地学系黄文誉课题组提出 基于深度学习的中国东南部冬季降水订正方案

作者 / 孙丹一

准确的降水预报，尤其是强降水预报，仍然是天气预报中的一大难题。强降水往往会带来洪水、城市内涝、暴雪等灾害性事件，因此提高降水特别是强降水的预报性能至关重要。当前降水数值预报仍然存在一定偏差，中国东南部地区冬季降水的预报性能远低于夏季。针对这一问题，清华大学地学系黄文誉副教授课题组提出了基于深度学习中国东南部冬季降水偏差订正方案，提高了降水和强降水预报性能。

本研究使用美国全球预报系统（Global forecast system，简称 GFS）预报资料作为输入，使用提前 24、48 和 72 小时的降水及其他 13 个相关变量作为神经网络的输入变量。降水观测数据为美国气候预测中心（Climate prediction center，简称 CPC）的融合卫星与地基观测的网格化产品。

将 CPC 降水插值到 GFS 上，统一分辨率为 0.25 度。偏差订正模型 DABU-Net 由 3 个模块组成（图 1），分别是数据增强（DA）模块、神经网络 BU-Net 模块以及后处理模块。数据增强主要使用了其他三个季节的样本作为冬季降水的增强样本集，以解决冬季降水分布不平衡导致的极端降水样本较少的问题。BU-Net 为添加了批归一化层的 U-Net，由下采样、上采样和跳跃链接组成，其编码器和解码器的组合能够从图像中很好地提取到不同尺度的空间特征。后处理主要是为了将与极端降水更密切相关的 TS 评分指标纳入到模型中来，进一步改进极端降水的预报。分别针对三个预报时效训练深度神经网络，并验证其在测试集上的模拟性能。

DABU-Net 将 GFS 三个预报时效的降水相对于 CPC 的 RMSE 从 1.73、1.96 和 2.19 mm/

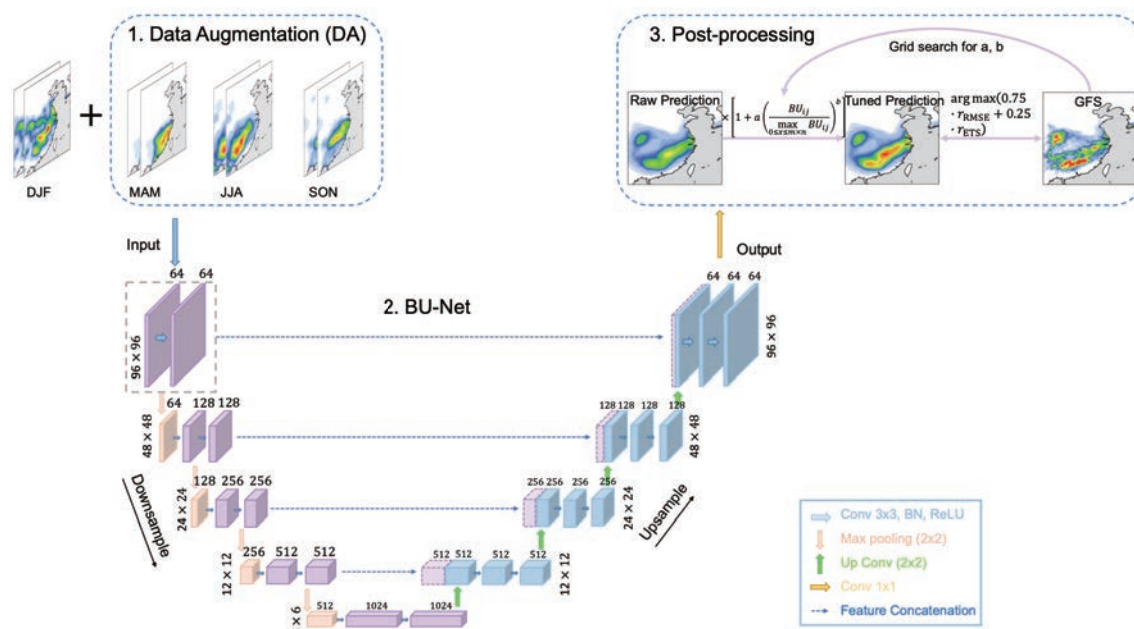


图 1. DABU-Net 降水偏差订正模型。

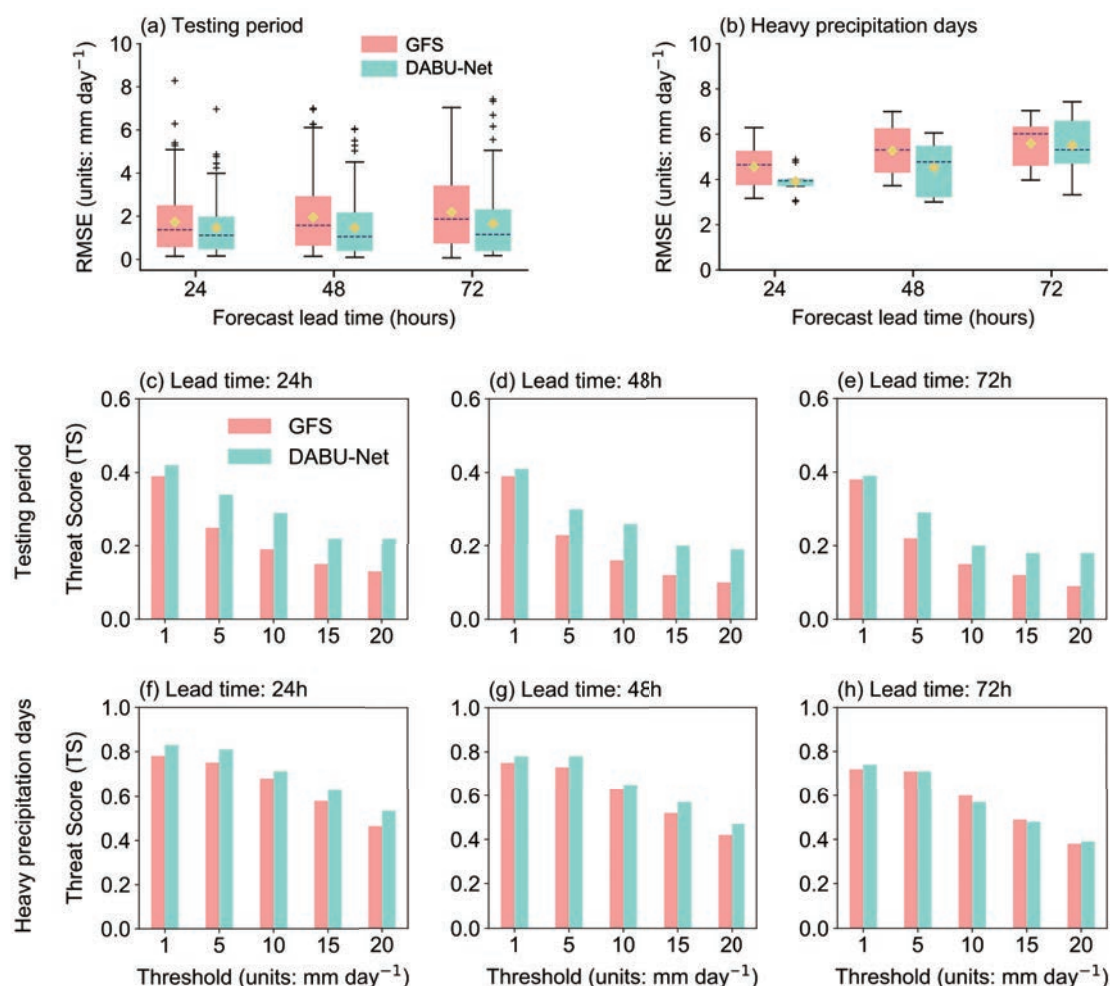


图 2. 偏差订正前后的误差分布图

day 降低至 1.40、1.47 和 1.70 mm/day，分别降低了 19.08%、25.00% 和 22.37%，并且在三个预报时效，TS 评分分别增加了 42.44%、50.95% 和 43.56%。对于 20mm/day 以上的强降水，DABU-Net 订正后的 TS 评分相比于 GFS 分别增加了 69.23%、90% 和 100%，证明了其对强降水的预报性能（图 2）。使用 DABU-Net 订正后的降水误差在整个区域内明显降低了。在 24h 预报中，降水的 RMSE 最大位于湖南和广西两省，均高于 5mm/day，订正之后降低至 3.5mm/day。对于 2021–2022 年冬季平均降水量超过 5mm/day 的强降水日，GFS 提前 3 个预报时效的 RMSE 分别从 4.56、5.27 和 5.59 mm/day 降低至 3.91、4.52 和 5.50 mm/day，降低了 14.25%、14.23% 和 1.61%，超过 20mm/day 的 TS 评分分别增加了

15.22%、11.90% 和 2.63%，证实 DABU-Net 对于提前 48 小时的强降水具有较好预报能力。因此，基于深度神经网络的中国东南部冬季降水预报方法是非常有效的。

相关研究以“深度学习改进 GFS 中国东南部冬季降水预报”（Deep Learning Improves GFS Wintertime Precipitation Forecast Over Southeastern China）为题在《地球物理研究通讯》（Geophysical Research Letters）发表。清华大学地学系 2019 级博士生孙丹一为第一作者，导师黄文誉为通讯作者，合作者来自于清华大学地学系和南京信息工程大学。

论文链接：<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2023GL104406>

清华大学地学系王焱课题组发现 青藏高原植被生产力的增加趋势在 1990 年代末减弱

作者 / 任扬帆

植被冠层通过光合作用从大气中吸收固定 CO_2 ，形成总初级生产力（Gross primary productivity, GPP），这一过程对于实现陆地生态系统固碳及“碳中和”目标起到重要作用。GPP 的变化受到冠层结构（如植被覆盖度）和冠层生理属性的共同调节。青藏高原受气候变化影响较为敏感。然而，目前的研究尚不清楚冠层结构和生理属性的变化如何协同影响青藏高原植被生产力的变化趋势。针对这一问题，清华大学地学系王焱副教授课题组利用课题组开发的普适性植被生产力模型 Pmodel（Productivity model）模拟了青藏高原植被生产力，发现其增加趋势在上世纪九十年代末减弱，并进一

步定量解析了冠层结构与生理属性变化对植被生产力长期趋势的影响。相关研究以“青藏高原植被生产力的增加趋势在 1990 年代末减弱”（Vegetation productivity slowdown on the Tibetan Plateau around the late 1990s）为题发表在国际学术期刊《地球物理研究通讯》（Geophysical Research Letters）上。

研究首先评估了 Pmodel 在对青藏高原植被生产力的模拟效果（图 1）。通过与位于青藏高原不同植被类型的九个通量站点 GPP 观测数据对比，发现 Pmodel 在无需调参的情况下即能够很好地模拟通量站 GPP 的变化。模拟的 GPP 解释了观测 GPP 变化的 84%，RMSE 和 NSE 分别为 0.89 和 $0.71 \text{ g C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 。

1982 年至 2015 年的模拟结果显示，青藏高原植被生产力的增加趋势在 1998 年后逐渐减弱（图 2）。1982 至 1998 年，青藏高原约 90% 区域的 GPP 呈增加趋势，但增加趋势在 1998 年之后有所放缓。与前一时期相比，72% 的区域增长趋势减缓，其中约四分之一区域 GPP 的变化趋势从增加转变为减少。

研究发现，由环境改变引起的冠层结构变化对青藏高原 GPP 增加趋势减缓的贡献远超过冠层生理属性的影响（图 3）。研究认为，植被覆盖度等结构属性影响冠层吸收光合有效辐射的比例，而生理属性决定了冠层吸收全部光合有效辐射的最大潜在光合速率，二者均受到环境条件的影响并共同调节冠层 GPP。冠层结构变化引起的 GPP 增加趋势减弱主要受到升温减弱和大气干燥度增强的影响，自 1998 年之后，尽管 CO_2 施肥效应在增强，但升

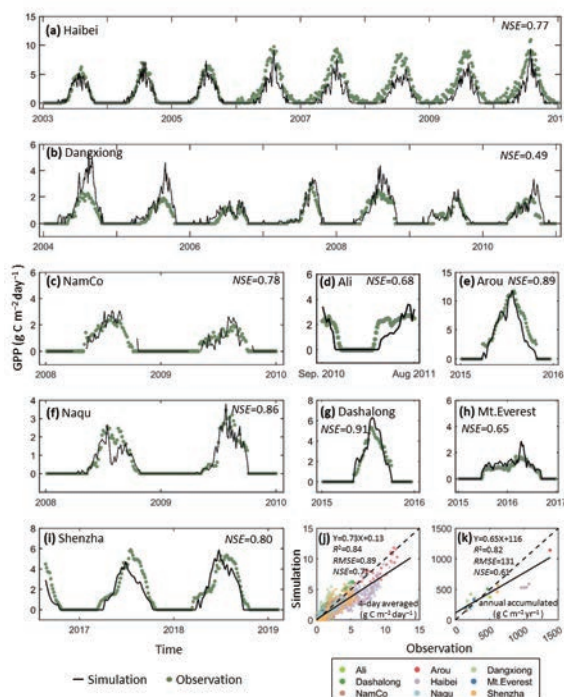


图 1. Pmodel 模拟 GPP 与观测 GPP 在青藏高原九个通量站点的比较。(a-i) 9 个站点观测年份的 GPP 时间序列。(j-k) 9 个站点模拟 GPP 与观测 GPP 的 4 天平均值和年平均值的散点图。

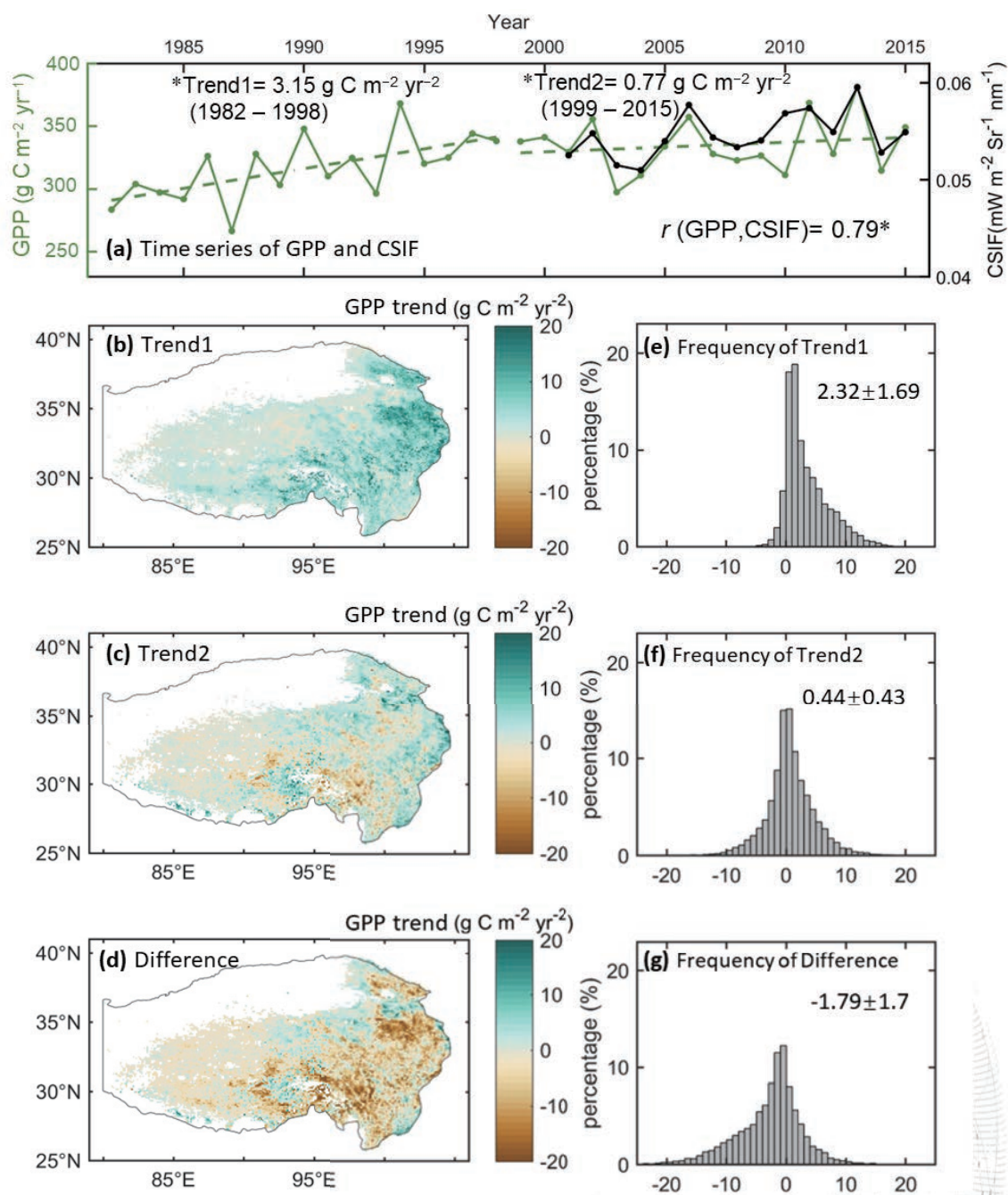


图 2.1982 至 2015 年青藏高原 GPP 的变化趋势。Trend1 为 1982-1998 年的变化趋势，Trend2 为 1999-2015 年的变化趋势，Difference 表示 Trend2 减 Trend1。

温速率的减弱以及大气干燥度的增加对变绿趋势产生了明显的抑制效应，进一步减弱了植被生产力的增加趋势。研究强调了青藏高原高寒生态系统植被生产力和冠层绿度之间的耦合作用，进一步揭示了青藏高原气候-碳反馈的关系。

清华大学地学系 2021 级博士生任扬航为论文

第一作者，导师王焱副教授为通讯作者，阳坤教授、李伟副教授为共同作者。该研究受到了国家自然科学基金等项目的支持，合作者包括来自中科院青藏所、海南大学等单位的研究人员。

文章链接：<https://doi.org/10.1029/2023GL103865>

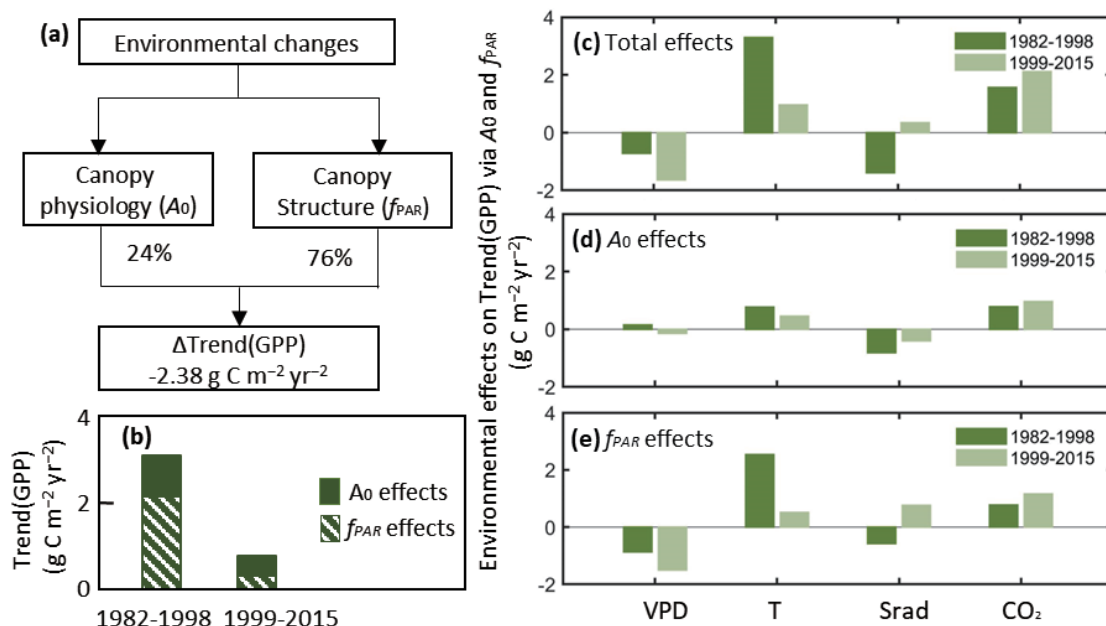


图 3. 青藏高原植被生产力增加趋势减缓的归因。 A_0 effect 表示环境通过改变冠层生理属性对 GPP 的影响， f_{PAR} effect 表示环境通过改变冠层结构对 GPP 的影响，total effect 则为环境作用到二者对 GPP 的总影响。

清华大学地学系阳坤课题组 构建长时序均一化地表太阳辐射及辐射分量数据集

作者 / 邵长坤

太阳能产业快速发展对高质量的太阳辐射数据（包括总辐射数据和直射、散射分量数据）提出了很高要求。卫星遥感数据反演是获取总辐射数据的主要手段，但由于卫星更替和技术迭代导致时序存在不均一性，反演结果难以反映辐射变化的长期趋势。此外，由于缺少地表观测，难以构建稳健的直射和散射辐射分量估算模型即高质量的格点数据集。针对以上问题，清华大学地学系阳坤教授课题组构建了全球长时序（1983–2018）高时空分辨率（10km，3h）均一化太阳总辐射数据集和中国区域长时序（1983–2018）高分辨率（10km）逐日辐射分量数据集。

对于总辐射数据，基于 ISCCP 卫星云资料反演的 ISCCP-ITP 总辐射数据集时空分辨率高，且在 2000 年后能很好地反映辐射变化，但在 2000 年前与 GEBA（Global Energy Balance Archive，全球能量平衡归档）的地表观测数据（图 1 黑线）相比有所高估（图 1 蓝线）。ERA5 再分析辐射数据质量相对均一，其变化趋势（图 1 绿线）与观测（图 1 黑线）较为接近，但明显高估。根据以上分析，本研究使用深度学习算法 Unet，利用均一的再分析数据 ERA5 作为桥梁，对 ISCCP-ITP 卫星反演数据进行均一化，消除了其在 1983–1999 年对辐射的系统高估（图 1 红线）。均一化后的数据集

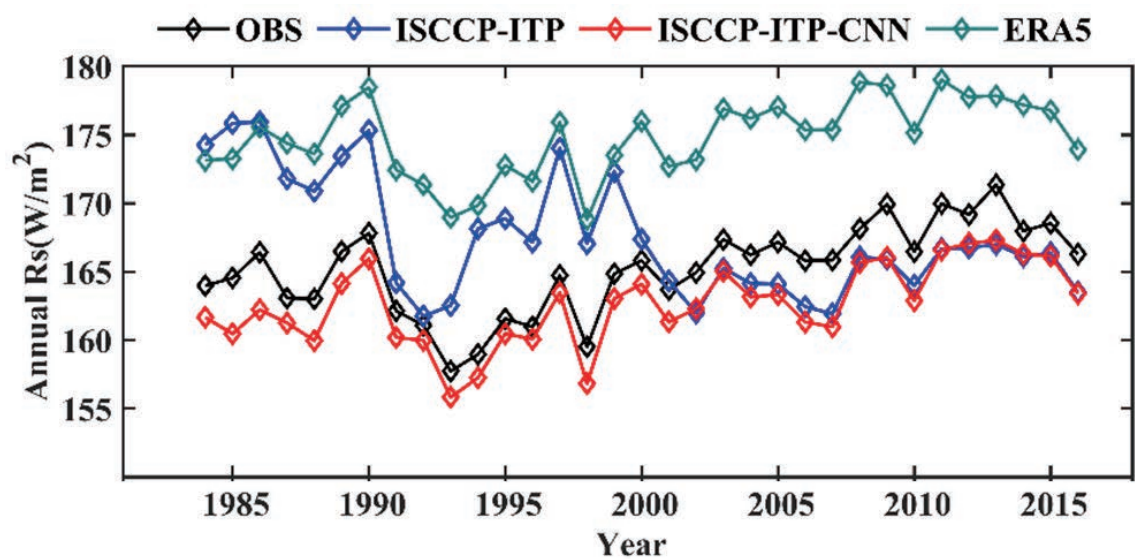


图 1.GEBA 全球辐射站观测年平均辐射（黑线）和对应格点卫星遥感产品 ISCCP-ITP（蓝线）、均一化数据 ISCCP-ITP-CNN（红线）以及 ERA5 再分析数据集的比较。

ISCCP-ITP-CNN 在全球各个主要区域的辐射变化趋势均与地表观测接近，相较于国际主流辐射数据集在精度上具有明显优势（图 2）。

对于辐射分量数据，目前主流的辐射估算方法都是经验方法，需要大量的辐射分量观测真值对模

型进行拟合或者训练，但中国十分缺乏辐射分量观测数据。本研究转而使用气象局广泛观测的日照时数，基于参数化方案估算辐射分量数据，增强了训练数据。由于估算的辐射分量数据量庞大，数据质量随时间变化平稳，且误差在空间上存在一定的随机性，因此该数据可作为数据增强的数据源。基于该数据集，本研究使用 LightGBM 模型构建了辐射分量的估算模型，在中国和全球站点分别进行了独立验证，进而构建了中国区域的逐日太阳辐射数据集。使用中国气象局的辐射观测对辐射分量的评估表明，日平均散射和直射辐射的均方根误差分别为 21.3 和 32.8 W/m²（图 3a 和 3b），月平均散射和直射辐射的 RMSE 分别为 10.5 和 18.6 W/m²（图 3c 和 3d），其精度显著优于国际主流卫星和再分析数据集，与基于地表辐射分量观测为基础构建的数据集相比也表现出了明显优势，证明了本研究采用的数据增强策略的有效性。

相关研究发表在 Renewable and Sustainable Energy Reviews 和 Journal of Remote Sensing 期刊上。清华大学地学系 2020 级博士生邵长坤为论文的第一作者，地学系阳坤教授为论文的通讯作者，合作者还包括中国科学院青藏高原研究所唐文君研究员和清华大学地学系部分师生。研究得到了国家自然科学基金项目的支持。

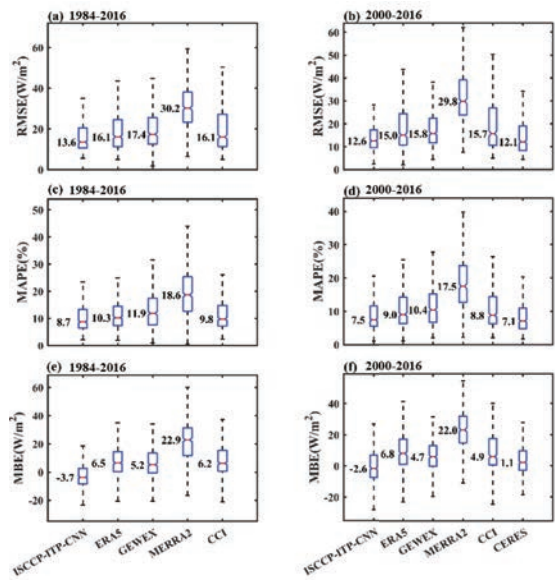


图 2. 基于 1984-2016 年间 GEBA 月平均辐射观测数据对新数据 ISCCP-ITP-CNN、再分析资料 ERA5 和 MERRA2、卫星遥感产品 GEWEX- SRB (GEWEX)、Cloud_CCI (CCI) 和 CERES-EBAF (CERES) 数据的误差评估，左列是 1984-2016 年的数据评估结果，右列是 2000-2016 年的评估结果。其中，RMSE、MAPE 和 MBE 分别代表均方根误差、平均绝对百分比误差和平均偏差，箱线图左侧的数字代表中位数。

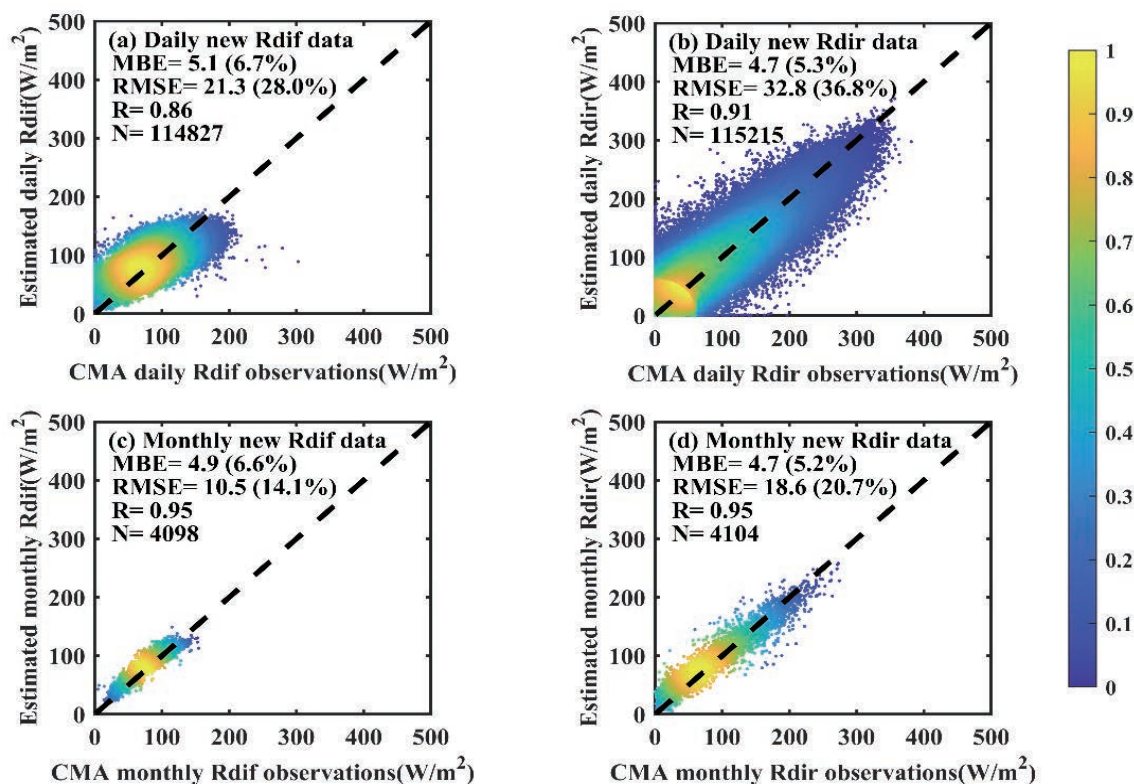


图 3. 本研究发展的逐日 (a) 散射辐射和 (b) 直射辐射和月平均的 (c) 散射辐射和 (d) 直射辐射与中国气象局站点观测比较的散点图和误差。图中 MBE、RMSE、R 和 N 分别代表平均偏差、均方根误差、相关系数和散点个数, 括号中的百分数为相对误差, 评估时段为 1994–2015 年。

论文信息:

Shao, C., Yang, K., Tang, W. et al. (2022). Convolutional neural network-based homogenization for constructing a long-term global surface solar radiation dataset. Renewable and Sustainable Energy Reviews,

169, 112952.

Shao, C., Yang, K., Jiang, Y. et al. (2024). Data augmentation-based estimation of solar radiation components without referring to local ground truth in China. Journal of Remote Sensing, 4, 0111.

清华大学地学系李伟课题组发文 揭示非洲中部地区植被碳储量变化的驱动机制

作者 / 赵哲

非洲中部地区拥有世界第二大的热带雨林和大面积的热带稀树草原, 在陆地生态系统碳循环中起到重要的作用。过去几十年间, 该地区的森林砍伐

和退化产生了大量碳排放, 但同时植被生长和恢复会产生碳吸收, 因此该地区的碳循环动态变化一直是领域内的研究热点。然而, 由于缺乏扰动的大范

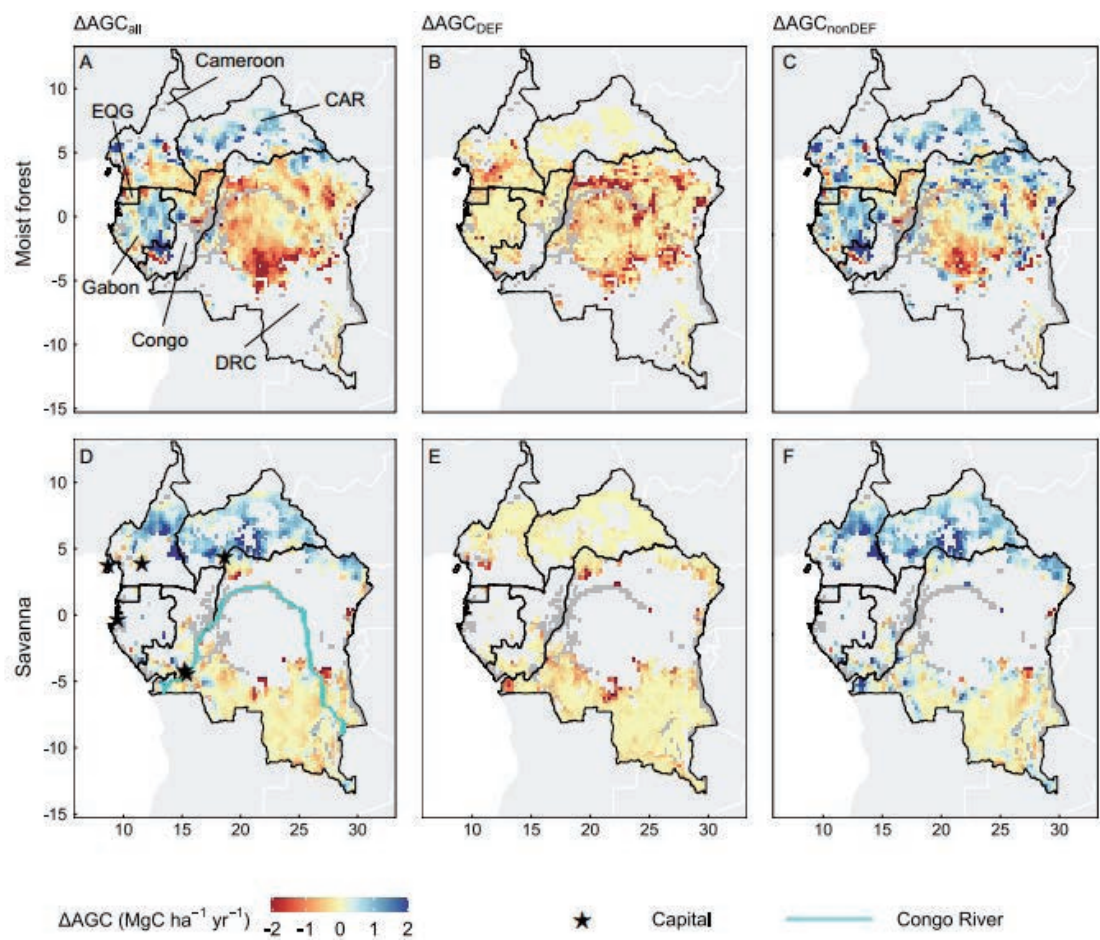


图 1.2010–2019 年间非洲中部地区植被地上碳储量变化。(A–C) 为湿森林，(D–F) 为热带稀树草原。(A, D) 为总地上碳储量动态，(B, E) 为森林损失所致地上碳储量损失，(C, F) 为非森林损失所致地上碳储量动态。

围长期直接观测数据与植被生物量碳的时间序列数据，自然及人为因素对非洲中部地区植被碳储量变化的驱动机制尚不明确。

清华大学地学系李伟副教授课题组联合国内外多所研究机构，针对非洲中部地区植被地上碳储量的时空变化及其驱动因素展开研究。研究首先结合 L 波段微波遥感植被光学深度数据 (L-VOD) 和多套植被地上生物量密度参考数据，估算了该地区六国 (喀麦隆、中非共和国、刚果民主共和国、赤道几内亚、加蓬、刚果共和国) 的植被地上碳储量变化，并进一步利用机器学习算法解析了气候变量、人为变量和土壤变量对碳储量变化的重要性和影响方式。研究发现，研究区域的植被在 2010–2019 年间为 14.6 TgC yr⁻¹ 的净碳汇，其中森林砍伐造成的碳排放为 102.2 TgC yr⁻¹，植被生长和恢复造成的碳

增加为 116.9 TgC yr⁻¹。北部热带稀树草原的碳增加幅度较大。在去除森林砍伐的影响后，研究发现影响非洲中部地区植被碳储量变化最重要的驱动因素是气候变量，其次是人为变量，而土壤变量的影响最小。研究成果对未来森林管理和保护政策的制定、平衡自然保护与社会经济发展以及应对全球气候变化有重要科学意义。

上述成果近日以 “Central African biomass carbon losses and gains during 2010–2019” 为题在 One Earth 上发表。清华大学地学系博士生赵哲为论文第一作者，李伟副教授为论文通讯作者。合作者包括法国气候与环境科学实验室 (LSCE) 的 Philippe Ciais 教授和徐伊迪博士，波尔多大学的 Jean-Pierre Wigneron 教授、李小军博士和王梦佳博士，Gamma Remote Sensing 的

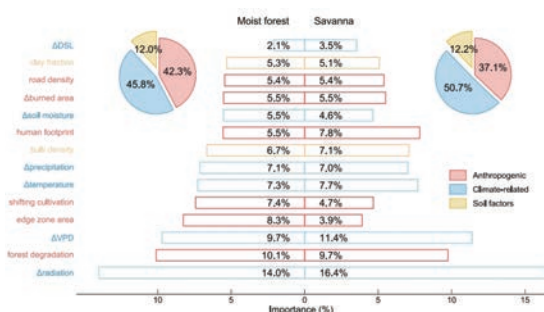


图 2. 不同植被类型中的各驱动因素在梯度提升模型中的贡献占比。

Maurizio Santoro 博士，哥本哈根大学的 Martin Brandt 教授、Rasmus Fensholt 教授，苏黎世联邦理工学院的 Fritz Kleinschroth 教授，利兹大学

的 Simon L. Lewis 教授，法国进化与生物多样性实验室的 Jerome Chave 研究员，北亚利桑那大学的 Nadine Laporte 教授，国际林业研究中心 (CIFOR) 的 Denis Jean Sonwa 研究员，美国国家航空航天局喷气推进实验室的 Sassan S. Saatchi 研究员，西南大学的樊磊教授，德国马克斯普朗克生物地球化学研究所的杨卉博士，清华大学地学系博士生朱磊和何家莹博士。该研究得到了云南省西南联合研究生院科技专项、国家自然科学基金、国家重点研发计划项目等支持。

全文链接: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.01.021>

清华大学地学系卢麾课题组再度获得国家青藏高原科学数据中心 2023 年度十佳数据集奖

作者 / 卢麾

近日，国家青藏高原科学数据中心 2023 年工作会在北京召开。清华大学地学系卢麾教授课题组发布的“基于 AMSR-E 和 AMSR2 数据的全球长时序日尺度土壤水分数据集（2002–2022）”获评“2023 年度十佳数据集”奖。

卢麾教授及其团队长期致力于陆地水循环遥感监测与模拟的研究。团队构建了基于辐射传输机理和机器学习方法的土壤水分反演算法，生产了基于 AMSR-E 和 AMSR2 数据的全球长时序日尺度土壤水分数据集（2002–2022）。该数据集提供 20 年（2002/07/27 ~ 2022/08/31）的全球连续一致的地表土壤水分信息，时间分辨率为逐日，空间分辨率为 36 km。随着 AMSR2 的持续在轨观测以及后续计划发射的 AMSR3 任务，该数据集是可延长的，可为气候变化研究、极端事件识别和年代际变化分



获奖奖杯



颁奖现场，图中右二为卢麾教授。

析等研究提供支持。自数据集发布以来，累计访问量 17,931 次，下载量 2,199 次。

该数据产品曾在 2022 年首届优秀共享开放遥感数据评选中获评“十大最具价值数据集”。此次再度获奖，表明该数据集进一步得到了国内外地学领域同行的广泛认可和使用。据悉，卢麾教授团队近期将把该数据集更新到 2023 年底，并将和青藏高原科学数据中心开展紧密合作，逐步实现产品的准实时更新。

国家青藏高原科学数据中心报道：

<https://www.tpdc.ac.cn/zh-hans/news/552acd36-6da3-4054-a12e-fcd029992e84>

首届优秀共享开放遥感数据集获奖报道：

<https://www.dess.tsinghua.edu.cn/info/1080/5538.htm>

文章信息：

Yao, P.P., Lu, H., Shi, J.C., Zhao, T.J., Yang K., Cosh, M.H., Gianotti, D.J.S., & Entekhabi, D. (2021). A long term global daily soil moisture dataset derived from AMSR-E

and AMSR2 (2002–2019). *Scientific Data*, 8, 143 (2021).

数据链接：

<https://data.tpdc.ac.cn/zh-hans/data/c26201fc-526c-465d-bae7-5f02fa49d738/>

扫描下方二维码可直接免费下载数据



清华大学地球系统科学论坛举行

作者 / 姚松坤

2024年1月20日-21日，为促进地球系统科学领域的交流研讨，为海内外青年人才搭建高水平的交流平台，清华大学地球系统科学系、清华大学全球变化研究院以线上线下相结合的方式举办了“地球系统科学论坛”活动。地学系系主任罗勇，党委书记耿睿等系领导出席了此次论坛活动。论坛由学科带头人张强教授、徐冰教授主持。

此次论坛自2023年12月发布报名通知以来，受到了麻省理工学院、慕尼黑技术大学、柏林工业大学、清华大学、美国橡树岭国家实验室、中国科学院等百余所国内外知名高校和研究机构青年学者的广泛关注，经地球系统科学论坛组委会专家遴选，共选出17名国内外优秀青年学者作为报告人受邀参加本次论坛。

罗勇首先代表地学系向参会嘉宾表示热烈欢迎，并从清华地学系的发展历程、学科建设、师资队伍、科学研究、研究成果、重点实验项目建设等方面介绍了清华大学地学系。

17名国内外优秀青年学者分别围绕生态方向和大气方向作报告，并回答了专家和教师的提问。与会人员围绕中国基础研究的创新问题展开探讨，在场专家激励青年学者扎根地球科学系统研究，敢于挑战权威，为维护地球生态环境安全与人类可持续发展做出贡献。

此次“地球系统科学论坛”是2024年地学系举办的首场重要学术活动。未来，地学系将继续发挥“地球系统科学论坛”的品牌优势，为促进地球系统科学快速发展和有组织地开展实施发挥积极作用。



罗勇致辞



论坛现场

地学系分工会举行庆祝“三·八”国际妇女节系列活动

作者 / 地学系分工会

为庆祝第 114 个“三·八”国际妇女节，地学系分工会开展了以“巾帼新姿 巧手匠心”为主题的手工包 DIY 活动和“健康相伴，美丽相随”为主题的女性健康讲座。地学系党委书记耿睿出席系列活动，向辛勤工作的女老师们致以诚挚问候和良好祝愿。

3 月 7 日下午，地学系分工会组织女教职工开展了以“巾帼新姿 巧手匠心”为主题的手工包 DIY 活动。近 30 位女教职工参加了活动。

活动中，工作坊的老师介绍了口金包、水桶包的起源、寓意和制作工艺，并详细讲解了制作过程和缝纫针法。女教职工挑选了各自喜欢的样式和花色后，立即投入到制作中。经过两个多小时的努力，一个个国风古韵的精美作品得以完成。现场欢声笑语不断，大家一边制作，一边分享制作心得。

此外，为缓解工作中的压力，地学系分工会于 3 月 11 日下午还组织了女教工前往圆明园公园健步

走，大家在和煦的春光中享受健康运动带来的喜悦。

地学系分工会不仅关心女教职工的心理健康，也关注她们的身体健康。3 月 12 日下午，地学系分工会又组织了“健康相伴，美丽相随”为主题的女性健康讲座，特邀清华大学第一附属医院妇科主任医师刘运铎科普宫颈癌的相关健康知识。刘主任从国家癌症中心数据统计为切入点，围绕宫颈癌的传播途径、病因、预防措施、筛查及疫苗接种等方面进行了深入讲解。随后，大家对关切的问题做了进一步交流。通过本次讲座，女教工们纷纷表示受益匪浅，对自身健康有了更全面的认识。

“三八”国际妇女节系列活动的开展，不仅增添了节日的欢乐氛围，增强了团队凝聚力，也丰富了女性教职工的文化生活。大家在紧张繁忙的工作之余能够有所放松，以更加饱满的热情投入到工作中去。希望地学系的女教职工在未来的生活里眼里有光，心中有爱，目光所及，皆是美好。



健康讲座现场



参加活动的女教职员工合影



工作坊老师介绍国风包的发展历史



手工包 DIY 作品展示

地学系党委召开 2023 年度党支部书记述职评议会

作者 / 陈亚微

3月8日，清华大学地球系统科学系党委（简称“地学系党委”）在蒙民伟科技大楼南楼S818会议室召开2023年度党支部书记述职评议会。系党委书记耿睿、系主任罗勇、党委副书记卢麾、系党委委员、教职工党支部书记、研究生党支部书记、师生代表20余人出席会议并参与测评。校党委研工部副部长唐啸参加会议。会议由卢麾主持。

会上，9位师生党支部书记重点围绕学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想等，对2023年工作情况、主题教育查摆问题整改落实情况、目前存在的不足和今后努力方向进行了汇报。系党委委员对各党支部书记的工作逐一点评，高度肯定取得的成绩，并对未来工作提出建议。

罗勇在点评中对各位党支部书记未来工作方向

提出建议。他表示，各党支部书记要主动对标《清华大学全面贯彻落实党的二十大精神行动方案》，继续深入思考研讨，结合地球系统科学的专业特色以及各支部特点开展工作。希望各师生党支部不断探索创新，进一步团结和凝聚师生，在服务学生学业发展、毕业就业和加强骨干教师党员发展方面取得更大成效。

耿睿在总结中对各位党支部书记过去一年的工作表达了感谢，她表示地学学科特点鲜明，地学系师生富有朝气，党支部工作有特色有成效。希望各位党支部书记发挥先锋模范作用，严格要求自己，不断增强政治意识、提升斗争本领，坚持群众路线，更好地团结支委，带领广大党员和群众，在高质量党建引领高质量发展方面做出更多的贡献。



会议现场

清华大学地学系 午餐沙龙系列报道 ●●●

双碳目标下的可再生能源气象学研究与应用 ——记清华大学地学系午餐沙龙系列学术交流活动

作者 / 路雯 姚松坤

3月7日中午，清华大学地学系在蒙民伟科技大楼 S927 举办了 2024 年春季学期第一期午餐沙龙学术交流活动。本期活动邀请了地学系系主任罗勇教授作为主讲人。他结合地学系专业特色，紧紧围绕习近平总书记在中共中央政治局第十二次集体学习上的讲话精神，作了题为“双碳目标下的可再生能源气象学研究与应用”的报告。

罗勇从可再生能源气象学定义出发，分析了中国风能太阳能开发利用现状与趋势，结合国家“双碳”目标提出了学科发展新任务、关键科学问题。他还对双碳目标下的可再生能源气象学研究与应用

进行了分析，回顾了地学系在风光资源宏观评估、风电场和光伏电站微观选址，发电量预报以及风电场智能提质增效等方面的科研攻关进展。

罗勇表示，地学系要响应国家战略需要，在支撑高比例可再生能源电力系统的大气科学研究与应用方面深耕细耘，为推动我国新型电力系统高质量发展，为中国式现代化建设提供安全可靠的能源保障，为共建清洁美丽世界作出清华地学系应有的贡献。

分享结束后，与会教师就如何更好地开展可再生能源研究展开了热烈的讨论。



午餐会现场

基于神经算子的智能气象海洋模式探索 ——记清华大学地学系午餐沙龙系列学术交流活动

作者 / 姚松坤

3月21日中午，清华大学地学系在蒙民伟科技大楼 S927 举办了 2024 年春季学期第二期午餐沙龙学术交流活动。本期活动邀请了地学系黄小猛教授作为主讲人，作了题为“基于神经算子的智能气象海洋模式探索”的报告。

黄小猛从数据驱动的智能模式在气象海洋预报中的发展演变作为切入点，全面梳理了当前智能模式技术的最新进展和未来发展趋势。他的报告涵盖了多个领域的最新研究成果，包括 FourCastNet、盘古天气、GraphCast、VIT-KNO、Climax、风鸟、伏羲以及 AI-GOMS 等，为我们呈现了一个全景式的智能模式发展图景。在报告中，黄小猛提及了数据驱动的智能模式在气象海洋预报中的初见成效，探讨了以物理学为基础的机器学习方法，介绍了基于图神经网络的自回归模型在气象海洋预报中的优势，讲解了神经算子的理论基础及其在智能模式发

展中的作用。他指出，神经算子为智能模式的发展提供了理论支撑，并通过具体案例展示了神经算子在不同方程中的应用效果。

作为智能海洋大模型 AI-GOMS 的研发团队，黄小猛重点介绍了这一模型的核心架构及其在海洋预报领域的重要性和潜力。详细解释了模型中的关键技术，如 MAE 掩码自编码、傅里叶频域变换等，以及这些技术在提高模型预报精度和效率方面的作用。通过这些技术的应用，AI-GOMS 能够更准确地模拟海洋系统的复杂动态过程，为海洋预报提供更可靠的支持。AI-GOMS 代表了智能模式在海洋预报中的最新成果，是对海洋领域模式预报的一次革命性尝试。

分享结束后，与会教师针对神经算子在气象和海洋领域的应用展开了热烈的讨论。



全球变化科学紫荆论坛一览

2024 年 序号	总第 期数	报告时间	报告题目	主讲人	主讲人单位
1	441	2024.1.11	先立后破 实现双碳目标	刘燕华	中国科学院地理科学与资源研究所
2	442	2024.3.25	生态系统碳汇计量监测方法与实践	张小全	大自然保护协会
3	443	2024.3.25	Sectoral action for Nature: a critical global movement for realizing a nature positive global economy	Dr. Zhu Chunquan	World Economic Forum
4	444	2024.3.29	大气水汽输送、水文气象极端事件与水资源可持续性	香港科技大学	陆荫茜
5	445	2024.3.29	亚洲季风次季节特征讨论	香港科技大学	代伦
6	446	2024.4.7	Current sources and sinks of carbon dioxide and emissions mitigation in the context of the Paris Agreement	Pierre Friedlingstein	University of Exeter, UK
7	447	2024.4.8	邻体相互作用对树木生长的影响	唐志尧	北京大学
8	448	2024.4.9	产甲烷古菌的环境适应机制及其生态重要性	东秀珠	中国科学院微生物研究所
9	449	2024.4.9	Scaling of Extreme Precipitation Intensity with Local Temperature: Characterization, Causes, and Relevance to Climate Change	Guiling Wang	康涅狄格大学
10	450	2024.4.22	农业碳汇的概念、碳计量和监测方法以及面临的挑战与机遇	马文林	北京建筑大学





清华大学地球系统科学系

主办：清华大学地球系统科学系 / 全球变化研究院办公室
主编：罗勇 张强
编辑：王佳音
设计：智达设计
电话 / 传真：（010）62772750 / 62797284
电子邮件：dess@mail.tsinghua.edu.cn
办公地址：北京市海淀区清华大学蒙民伟科技大楼 801、803、805 室
邮编：100084

Producer:Department of Earth System Science,Tsinghua University/Institute for
Global Change Studies,Tsinghua University
Editor-in-chief:Luo Yong,Zhang Qiang
Editors:Wang jiyin
Tel/Fax:（010）62772750 / 62797284
Email:dess@mail.tsinghua.edu.cn
Address:S801,S803,S805,Mengminwei Science and Technology Building
Zip code:100084