

# 全球变暖加速和气候极端化——2024年中国气候研究重大进展速评

王会军<sup>①\*</sup>, 孙建奇<sup>②</sup>, 陈活泼<sup>②</sup>, 马洁华<sup>②</sup>, 段明铿<sup>①</sup>

① 南京信息工程大学 气候系统预测与变化应对全国重点实验室, 江苏 南京 210044;

② 中国科学院 大气物理研究所 竺可桢-南森国际研究中心, 北京 100029

\* 联系人, E-mail: hjwang@nuist.edu.cn

2025-01-22 收稿, 2025-02-01 接受

国家自然科学基金基础科学中心项目(42088101)

**摘要** 全球气候正在加速变暖, 2023、2024年连续刷新历史高温纪录, 2024年较工业革命前升温达1.55℃。“全球沸腾时代”已至, 与之伴随的是极端天气事件频发, 2000—2019年气象灾害损失较之前20年翻倍。应对气候变化亟须科学突破, 国际学术界聚焦气候预测与极端事件等七大挑战。中国气候研究委员会作为中国-国际气候研究交流的桥梁, 评选出了2024年十大气候研究进展: 东北亚极端增温机制、气溶胶气候效应复杂性、全球降水变率增强、梅雨特征演变、降水系统扁平化、青藏高原水-热-碳耦合、北太平洋海温影响、大西洋-太平洋盐度差异、深时环流与ENSO、AI气候预测系统等。这些成果突显气候研究的前沿领域、跨学科性与社会价值。未来气候领域的研究热点将聚焦全球变暖加速、气候极端化、新北极和青藏高原新时代、气候系统多圈层耦合、气候系统预测与人工智能、气候变化风险与应对等方面, 以更好地为防灾减灾、应对气候变化风险、全球气候治理提供科学支撑。

## 关键词

全球变暖加速;  
气候极端化;  
新北极和青藏高原新时代;  
气候预测与AI

当前全球气候正在经历着以变暖为标志特征的趋势性变化, 自20世纪80年代开始全球变暖趋势显著, 近些年更是呈现出了变暖加速的特征, 2023年和2024年连续两次突破全球气温历史纪录(<https://wmo.int/>), 2024年相比于工业化革命之前的气温已经上升了1.55℃。联合国秘书长古特雷斯提出, 全球变暖时代已经结束, “全球沸腾时代”已经到来。随着气候变化的加剧, 极端天气气候事件的发生越来越频繁(IPCC, 2021), 气象灾害引起的损失也更为严重。据联合国减少灾害风险办公室(UNDRR)统计, 2000—2019年极端天气气候造成的经济损失相比上一个20年增长了约一倍。

有效应对气候变化和极端事件加剧的挑战, 需要气候变化科学的革命性进步。国际学术界的气候研究极为活跃, 若干具有里程碑意义的成果还受到

了诺贝尔奖等世界顶尖大奖的青睐。当然, 气候研究面临的挑战也是空前的, 世界气候研究计划就列出了包括极端事件和气候预测在内的七大科学挑战, 并设立了最新的战略计划和执行计划以期推进气候研究, 有效应对挑战。我国的气候研究紧跟时代步伐, 紧扣国家需求, 取得了大量国际顶级科研成果。

中国气候研究委员会(亦即: 世界气候研究计划中国国家委员会 CNC-WCRP (the China National Committee for the World Climate Research Programme))于1985年经当时的国家科委批准成立, 是世界上最早成立的WCRP (World Climate Research Programme) 国家委员会之一。它秉承“推动中国气候变化研究发展与进步, 提升中国气候变化研究国际地位”的宗旨, 大力推动国内外气候研

引用格式: 王会军, 孙建奇, 陈活泼, 等, 2025. 全球变暖加速和气候极端化——2024年中国气候研究重大进展速评[J]. 大气科学学报, 48(1): 1-7.

Wang H J, Sun J Q, Chen H P, et al., 2025. Global warming acceleration and climate extremization: comments on major climate research advances in China 2024[J]. Trans Atmos Sci, 48(1): 1-7. DOI: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20250122001. (in Chinese).

究的交流与合作,已经成为国际-国内气候变化研究紧密联系的重要桥梁和纽带。中国气候研究委员会组织专家推荐和严格评审,遴选出了2024年度中国气候研究重大进展,具体如下:

1) 东北亚过渡带年代际极端增温特征及成因(完成人:陈文、蔡晴宇、陈尚锋、朴金玲、马天娇。Cai et al., 2024)。一句话点评:揭示了20世纪80年代以来东北亚气候过渡带的大幅增温由外强迫和气候系统内部变率(太平洋和大西洋年代际振荡)协同影响导致。

2) 气溶胶吸收性与下垫面反照率变化导致的气溶胶气候效应(完成人:赵传峰、陈安南、杨以坤、张昊天、李杰峰。Chen et al., 2024)。一句话点评:结合多源资料揭示了近20年地表反照率对气溶胶直接辐射效应的影响,从而展示了量化气溶胶直接辐射效应的复杂性。

3) 人类活动导致过去百年来全球降水更多变(完成人:张文霞、周天军、武培立。Zhang W et al., 2024)。一句话点评:利用最为丰富的数据展示了全球降水不同时间尺度变率的增强。

4) 梅雨不霉、烟雨不再(完成人:尹志聪、周波涛、陈活泼、宋晓蕾、蒋文好、王会军。Yin et al., 2024)。一句话点评:首次构建了三维指数刻画传统梅雨,并发现传统梅雨之烟雨和霉雨特征由于全球变暖而渐行渐远。

5) 过去20年全球降水系统形态趋于扁平化(完成人:张彦、王开存。Zhang and Wang, 2024)。一句话点评:过去20年,全球范围内的降水系统空间形态由于大气稳定性增强和水汽输送的增加而趋于扁平化(表现为垂直发展受限、水平扩展增强的趋势)。

6) 青藏高原陆面水-热-碳耦合过程及其变化的关键机制(完成人:孟宪红、陈昊、王少影、邓明珊、盛丹睿、李照国、张宇、舒乐乐、赵林、尚伦宇、安颖颖、吕世华。Deng et al., 2024; Meng et al., 2024; Sheng et al., 2024; Wang et al., 2024)。一句话点评:利用青藏高原站点观测数据揭示了地表水-热-碳耦合的关键特征与机制。

7) ENSO 与非 ENSO 背景下中纬度北太平洋海温异常对夏季气候的影响(完成人:陶凌峰、杨修群、孙旭光、房佳蓓、孙林元、蔡丹苹、周波涛、陈海山。Tao et al., 2024a, 2024b)。一句话点评:揭示了(无论 ENSO 事件是否发生)中纬度北太平洋海温异常对随后夏季气候都具有显著影响。

8) 发现大西洋-太平洋盐度差异加强趋势(完成人:李元龙、路颖、林鹏飞、成里京、刘海龙、王凡。Lu Y et al., 2024)。一句话点评:通过分析0~2000 m 海洋观测数据揭示了过去半个世纪海水盐度总体上在大西洋上升而太平洋下降的事实。

9) 深时大洋环流和 ENSO(完成人:胡永云、李想、袁帅、刘永岗、杨军、聂绩。Li et al., 2024; Yuan et al., 2024)。一句话点评:利用耦合气候模式模拟深时北大西洋径向翻转流和 ENSO,展示了两者变化过程与机制的丰富图像。

10) 人工智能全球次季节-季节气候预测系统的研制与应用(完成人:陆波、李昊、陈磊、仲晓辉、吴捷、周辰光、巢清尘、吴力波、漆远、赵春燕、辛昱杭。Lu B et al., 2024)。一句话点评:构建了融入物理信息的全球次季节-季节气候预测人工智能大模型。

中国气候研究委员会评选出的2024年度重大研究进展突显了气候研究的挑战性、前沿性、复杂性和重大经济与社会价值,覆盖地球气候系统研究的多个领域,并且大多数成果都是多人、多家单位合作完成,成果的学术价值、国际影响力都是顶尖的,非常令人振奋。同时,研究成果对于构建更好的预报预测手段以支撑高效防灾减灾具有重要价值。

结合这十项重要研究进展成果和本文作者研判,当前和未来气候研究的热点和重点主要包括全球变暖加速等若干项(图1)。



图1 当前和未来气候研究的热点和重点

Fig.1 Current and emerging hotspots and priorities in climate research

## 1 气候变暖加速

2023、2024年连续两年的气温新纪录以及“全

球沸腾时代”的到来,频繁而高强度的高温热浪席卷全球,海洋热浪也愈演愈烈。从科学研究方面来看,非常需要深入理解全球加速变暖的过程与成因,各类人为排放和温室气体变化、全球大气污染治理、火山活动、天文因素、气候系统自然变率等在加速变暖中的角色和协同作用都需要深入研究。这些问题的深入研究和谜底揭示可以帮助我们预测未来全球升温幅度和速度。如果按照近15年的升温速度,全球升温 $2^{\circ}\text{C}$ 的阈值很快(21世纪中叶?)就会突破,结果就是一系列迅猛的灾害性突变将会上演。

目前科学家们已通过研究识别了16个气候“临界点(tipping points)”,据信已有9个被激活,包括:北极海冰、格陵兰冰盖、北方针叶林、永久冻土、大西洋经向翻转环流、亚马孙雨林、暖水珊瑚、西南极冰盖、东南极部分地区冰盖。气候变化已变得不可逆转。随着气候变暖加速,需要特别关注各类“临界点”,加强研究,加紧研究制定气候变化减缓和适应的全球与区域策略。

## 2 气候极端性加剧

总体来看,气候极端性加剧已经在多个方面都有明显表现,包括气温的极端化、降水与水文的极端化、极端事件复合性加剧、短时局地强对流加剧等。气候极端化是全球加速变暖时代的最明显特征。

高温热浪频发、强度越来越大,在一些区域引发严重野火,并对人体健康造成极大影响。我国东部2020—2023年连续3 a冬季发生极端冷暖转换,即在一个冬季内发生剧烈的气温变化。虽然该冬季平均气温未出现显著异常,但是前冬、后冬气温之间的极端冷暖转换对于采暖需求、人类健康和农业生产都带来了极大影响。变暖背景下超级寒潮事件频现,带来极大影响。全球变暖带来了降水增强(Chen and Sun, 2017; Yin et al., 2024; Zhang G Q et al., 2024),极端强降水事件频发,例如,2020年我国发生了“超级暴力梅”,梅雨季持续时间长,降雨量大并且致灾严重;2021年河南强降水事件和2023年京津冀强降水事件中都有突破历史记录情况发生,并导致重大人员伤亡和财产损失。2023年11月东北发生的暴雪事件中,大风降温幅度强,降雪量达到了特大暴雪的量级,导致的坍塌事故造成了人员死亡和受伤,还压塌了蔬菜大棚和牛羊棚舍,造成了牲畜死亡和农牧民的重大经济损失。高温干旱复合事件和高温高湿复合事件大幅度增加,2022年夏季的高温干旱影响范围极大、高热事件持续时间长,

并引发了链式灾害。短时局地强对流也有加剧趋势,2023年江苏省多地突发龙卷风,损坏了大量的建筑房屋,造成了严重的财产损失和人员伤亡。

极端化的气候事件还会严重影响水力、风光发电的稳定性和潜能,同时使得能源基础设施面临损坏风险。城市洪涝、海水侵蚀,给城市基础设施及居民生活带来严重威胁。公路、铁路等基础设施,港口、码头以及海岸地区建筑、土地将面临严重威胁。咸潮入侵影响内陆淡水水源,对三大河口影响显著,威胁沿海城市群供水安全。

气候极端化还会对人居环境造成更大的破坏,严重危害人群健康。世界卫生组织把全球变暖列为第一健康威胁,非适宜气温增加中暑、热射病患风险,还加剧了心血管、呼吸、泌尿和神经系统等疾病风险。海陆复合灾害还可能加重人员伤亡和财产损失风险。

气候极端化是气候变化研究的最重要课题之一,涉及不同圈层间的耦合、不同时间尺度过程的相互作用、自然变化和人类活动影响的协同、地球系统数值模拟等多个重大课题。

## 3 新北极与青藏高原新时代

北极对全球变暖的响应非常剧烈,格陵兰冰川迅速融化,北冰洋海冰覆盖范围和海冰厚度大幅减少、季节-年际变异加剧,北极上空的大气环流变异强烈。这些变化不但对北极区域环境带来巨大改变,也使得北极成为驱动北半球乃至全球气候变异的重要角色而被赋予“新北极”定位。实际上,近年来欧亚大陆和我国的诸多极端气候和天气事件都存在着北极的影响,包括:重大旱涝事件、沙尘暴事件、严重野火事件、强烈寒潮事件等(Yin et al., 2022; Xu et al., 2023; Yin et al., 2023)。未来一定要大力加强北极研究,把北极和北半球中高纬相关过程驱动全球气候、天气异常的过程和机制弄得更清晰、更系统。

青藏高原也是气候变化的高度敏感区,高原冰川加速融化、高原区域湖泊面积、水深和湖泊数量都在大幅增加(Liu and Chen, 2022; Zhang G Q et al., 2024),冻土融化也在加速。青藏高原对北半球和全球大气环流及天气气候有着越来越大的影响力(Zhang D P et al., 2024)。特别需要深化对青藏高原复杂的陆表过程和高原大气环流变异过程的研究,重视高原大气环流与印度洋、太平洋海温相互作用过程和机制、高原陆-气变异对东亚及北半球大气

环流影响以及预报预测研究。

## 4 三大洋互动导演海气异常和极端事件

太平洋有 ENSO 现象,对全球气候有重要影响。ENSO 还会对全球其他海区海气过程有显著影响;当然,印度洋和大西洋也有重要的变异模态(印度洋偶极子、大西洋尼诺等)。三大洋还存在着长期变化的模态(北大西洋年代际振荡、北太平洋年代际振荡等)并影响全球气候。

重大气候异常事件往往和三大洋的异常变化有关,例如:2021年4月中旬我国的强沙尘暴事件就和北冰洋海冰异常、大西洋海温异常以及热带太平洋和印度洋海温异常有关(Yin et al.,2022),它们之间的协同影响导致了本次沙尘暴源区(蒙古国乌兰察布区域)前期冬春降水偏少和气温异常演变,随着强蒙古气旋的发生,大量的沙尘被卷起并输送到我国,形成了一次超强的沙尘暴过程。2020年夏季我国的暴力梅雨事件造成了严重的洪涝灾害,也和三大洋以及北极的异常演变有关,青藏高原上空大气环流异常起到了重要的桥梁作用。当然,三大洋之间的海气异常过程也有着较为紧密而复杂的相互作用。

## 5 气候研究需博今通古

气候变化涉及多个时间尺度,要研究年代际及以上时间尺度的变化就受到器测记录时间短的严重制约。因此,现代气候研究必然需要借助古气候研究;实际上,古气候研究的最终目的也是服务于理解现代气候变化。博今不通古,就不能很好认识现代气候变化的原理;博古不通今,古气候研究就失去了基础和目标。古今气候研究必然需要融合,特别需要从多个方面开展古今研究的融合(王会军,2022),聚焦过去典型时段、关键时间变率、重大气候和环境事件、气候和环境变化的驱动力以及地球系统模式的模拟偏差等,对于深入认识大幅度气候变化与极端事件的驱动因子及机制、年代际和百年际时间尺度气候变动(如:太平洋年代际振荡 PDO、北大西洋多年代际振荡 AMO)过程与机理、人类活动和自然变化的量化影响、模式的模拟偏差及改进策略等具有重大价值。

## 6 气候系统预测与 AI

气候系统预测是气候研究的重要目标,涉及气

候系统变异和可预测性的众多方面,是极具挑战性的重大课题。对此,由国家自然科学基金委员会资助的气候系统预测研究基础科学中心作了深入、系统的探索,并取得多项重要的突破性成果(Wang et al.,2022;王会军等,2024)。

大数据时代的来临促进了人工智能技术的发展和应用,在气候研究领域的应用也是快速而多维的(Lu B et al.,2024),尤其体现在不同时间尺度的气候预测上,包括延伸期预测、季节-年际气候预测以及年代际及以上尺度的气候预测和预估。这次重大气候研究进展成果之一就是人工智能技术在延伸期预测方面应用的一个范例。此外,人工智能技术还在数据构建、动力模式的次网格作用表达、预报预测误差订正等方面展现了潜力。

人工智能技术也面临着透明性和可解释性差的问题,因此人们已经开发了一些可解释人工智能方法,为人工智能技术的进一步应用开拓了空间。特别是物理模型和人工智能模型的融合将为各个时间尺度的气候预测插上新的翅膀。

## 7 沿海城市群气候变化风险

在全球变暖影响下,中国沿海地区海平面加速上升,气候灾害愈发频繁。1993—2022年,中国沿海海平面上升速率为4.0 mm/a,高于同期全球平均水平。海平面上升长期累积效应已造成中国海岸带生态系统挤压和滩涂损失,加大了风暴潮、滨海城市洪涝和咸潮入侵致灾程度。过去70年,中国大陆沿海93个主要海湾的面积萎缩量共约 $1.01 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。同时,中国沿海地区极端天气气候事件趋频、趋强。

需要深入研究不同排放路径下台风、暴雨等极端天气气候事件的变化趋势及区域特征;综合考虑多种因子(极地冰盖、山地冰川、海洋热膨胀、海洋动力学等)的共同影响,预估不同升温水平下中国沿海海平面升高幅度及风暴潮变化趋势与不确定范围;进一步结合现有防洪除涝基础设施、预警能力和调控管理方法等,研究未来中国沿海城市群洪水、内涝等气候灾害的发生风险,识别关键风险点;针对不同城市特点和未来气候变化灾害风险,构建先进有效的灾害防控措施和管理办法,提出应对中国沿海城市群气候变化灾害风险、实现中国沿海城市群高质量发展的对策和方案。

气候变化是当代全球面临的重大风险,对我国影响巨大而深远。因此,除了沿海城市群,我们也需

要厘清气候变化对我国水资源、农业、人体健康、产业和城市发展、重大工程和基础设施等的影响与风险,发展极端气候风险预警技术以及区域和行业适

应性关键技术,显著提升气候变化影响综合评估、早期预警和风险应对能力。当然,创新的气候变化减缓方法和技术也是气候变化研究的重要领域。

## 参考文献(References)

- Cai Q Y, Chen W, Chen S F, et al., 2024. Recent pronounced warming on the Mongolian Plateau boosted by internal climate variability [J]. *Nat Geosci*, 17(3): 181-188. DOI: 10. 1038/s41561-024-01377-6.
- Chen A N, Zhao C F, Zhang H T, et al., 2024. Surface albedo regulates aerosol direct climate effect [J]. *Nat Commun*, 15: 7816. DOI: 10. 1038/s41467-024-52255-z.
- Chen H P, Sun J Q, 2017. Contribution of human influence to increased daily precipitation extremes over China [J]. *Geophys Res Lett*, 44(5): 2436-2444. DOI: 10. 1002/2016gl072439.
- Deng M S, Meng X H, Sheng D R, et al., 2024. Observed surface heat fluxes partitioning during the local growing season over the Tibetan Plateau [J]. *Agric For Meteorol*, 356: 110186. DOI: 10. 1016/j. agrformet. 2024. 110186.
- IPCC, 2021. Summary for policymakers [M] // Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, et al. *Climate change 2021: the physical science basis*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 3-32. DOI: 10. 1017/9781009157896. 001.
- Li X, Hu S N, Hu Y Y, et al., 2024. Persistently active El Niño-Southern Oscillation since the Mesozoic [J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 121(45): e2404758121. DOI: 10. 1073/pnas. 2404758121.
- Liu Y, Chen H P, 2022. Future warming accelerates lake variations in the Tibetan Plateau [J]. *Int J Climatol*, 42(16): 8687-8700. DOI: 10. 1002/joc. 7760.
- Lu B, Li H, Chen L, et al., 2024. A machine learning model that outperforms conventional global subseasonal forecast models [J]. *Nat Commun*, 15: 6425.
- Lu Y, Li Y L, Lin P F, et al., 2024. North Atlantic-Pacific salinity contrast enhanced by wind and ocean warming [J]. *Nat Clim Change*, 14(7): 723-731. DOI: 10. 1038/s41558-024-02033-y.
- Meng X H, Deng M S, Shu L L, et al., 2024. An evaluation of evapotranspiration products over the Tibetan Plateau [J]. *J Hydrometeorol*, 25(11): 1665-1677. DOI: 10. 1175/jhm-d-23-0223. 1.
- Sheng D R, Meng X H, Wang S Y, et al., 2024. Spatiotemporal variability and environmental controls of temperature sensitivity of ecosystem respiration across the Tibetan Plateau [J]. *Adv Atmos Sci*, 41(9): 1821-1842. DOI: 10. 1007/s00376-024-3167-1.
- Tao L F, Yang X Q, Sun L Y, et al., 2024a. Meridional path of ENSO impact on following early-summer North Pacific climate [J]. *Geophys Res Lett*, 51(18): e2024GL111079. DOI: 10. 1029/2024gl111079.
- Tao L F, Sun X G, Yang X Q, et al., 2024b. Cross-season effect of spring Kuroshio-Oyashio extension SST anomalies on following summer atmospheric circulation [J]. *Geophys Res Lett*, 51(12): e2024GL108750. DOI: 10. 1029/2024gl108750.
- 王会军, 2022. 古今气候环境研究怎样融合? [J]. *地球科学*, 47(10): 3811-3812. Wang H J, 2022. How to integrate ancient and modern climate and environment research? [J]. *Earth Sci*, 47(10): 3811-3812. (in Chinese).
- Wang H J, Dai Y J, Yang S, et al., 2022. Predicting climate anomalies; a real challenge [J]. *Atmos Ocean Sci Lett*, 15(1): 100115. DOI: 10. 1016/j. aosl. 2021. 100115.
- 王会军, 戴永久, 杨崧, 等, 2024. 气候系统预测: 基础创新和集成应用 [J]. *大气科学学报*, 47(2): 161-172. Wang H J, Dai Y J, Yang S, et al., 2024. Climate system prediction: fundamental innovations and integrated applications [J]. *Trans Atmos Sci*, 47(2): 161-172. DOI: 10. 13878/j. cnki. dqkxb. 20240303007. (in Chinese).
- Wang S Y, Zhang Y, Meng X H, et al., 2024. Water availability control the seasonal and inter-annual variability of CO<sub>2</sub> fluxes in an alpine meadow on the eastern Tibetan Plateau [J]. *Agric For Meteorol*, 356: 110187. DOI: 10. 1016/j. agrformet. 2024. 110187.
- Xu X P, He S P, Zhou B T, et al., 2023. Arctic warming and Eurasian cooling: weakening and reemergence [J]. *Geophys Res Lett*, 50(22): e2023GL105180. DOI: 10. 1029/2023gl105180.
- Yin Z C, Wan Y, Zhang Y J, et al., 2022. Why super sandstorm 2021 in North China? [J]. *Natl Sci Rev*, 9(3): nwab165. DOI: 10. 1093/nsr/nwab165.
- Yin Z C, Zhang Y, Zhou B, et al., 2023. Subseasonal variability and the “Arctic warming-Eurasia cooling” trend [J]. *Science Bulletin*, 68: 528-535.
- Yin Z C, Song X L, Zhou B T, et al., 2024. Traditional Meiyu-Baiu has been suspended by global warming [J]. *Natl Sci Rev*, 11(7): nwae166. DOI: 10. 1093/nsr/nwae166.
- Yuan S, Liu Y G, Hu Y Y, et al., 2024. Controlling factors for the global meridional overturning circulation; a lesson from the Paleozoic [J]. *Sci Adv*, 10(26): eadm7813. DOI: 10. 1126/sciadv. adm7813.
- Zhang D P, Huang Y Y, Zhou B T, et al., 2024. Who is the major player for 2022 China extreme heat wave? Western Pacific subtropical high or South Asian high? [J]. *Weather Clim Extrem*, 43: 100640. DOI: 10. 1016/j. wace. 2024. 100640.
- Zhang G Q, Carrivick J L, Emmer A, et al., 2024. Characteristics and changes of glacial lakes and outburst floods [J]. *Nat Rev Earth Environ*, 5(6):

447-462.DOI:10.1038/s43017-024-00554-w.

Zhang W, Zhou T, Wu P, 2024. Anthropogenic amplification of precipitation variability over the past century [J]. *Science*, 385: 427-432.

Zhang Y, Wang K C, 2024. The changing morphology of global precipitation systems during the last two decades [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 105(10): E1861-E1880. DOI: 10.1175/bams-d-23-0106.1.

· ARTICLE ·

## Global warming acceleration and climate extremization: comments on major climate research advances in China 2024

WANG Huijun<sup>1</sup>, SUN Jianqi<sup>2</sup>, CHEN Huopo<sup>2</sup>, MA Jiehua<sup>2</sup>, DUAN Mingkeng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Climate System Prediction and Risk Management (CPRM), Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

<sup>2</sup>Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

**Abstract** The global warming trend has been increasingly significant since the 1980s. It appears that the warming has been accelerating since a decade ago. In 2023 and 2024, the global high temperature record was broken twice. In 2024, the temperature has risen by more than 1.55 °C as compared to the pre-industrial period. UN Secretary-General António Guterres proposed that the era of global warming has ended and the era of global boiling has arrived. With the intensification of climate change, the occurrence of extreme weather and climate events is becoming more and more frequent. According to statistics from relevant UN agencies, the economic losses caused by extreme weather and climate from 2000 to 2019 have been doubled compared to the previous 20 years. Effective tackling to the challenges of intensified climate change and extreme events requires revolutionary progress in climate science. Several landmark achievements in climate research have received top awards such as the Nobel Prize. The World Climate Research Programme has listed seven major scientific challenges and established the latest strategic and implementation plans to promote climate research and effectively address the challenges.

The China National Climate Research Committee (also the China National Committee for the World Climate Research Programme, CNC-WCRP) was established in 1985. It is one of the earliest established WCRP national committees in the world. CNC-WCRP has vigorously promoted exchanges and cooperation in climate research at home and internationally, and it has become an important bridge connecting international and domestic climate change research. The China Climate Research Committee, through expert recommendations and strict reviews, selected the major progress of climate research in China in 2024.

1) Characteristics and causes of interdecadal extreme warming in Northeast Asia transition Zone (Cai et al., 2024), a one-sentence comment; reveals that the substantial warming of the Northeast Asian climate transition zone since the 1980s is not entirely caused by external forcing, while the Pacific and Atlantic decadal oscillations play a significant role.

2) Aerosol climate effect caused by changes in aerosol absorbency and underlying surface albedo (Chen et al., 2024), a one-sentence comment; combining multi-source data to reveal the influence of surface albedo on the direct radiation effects of aerosols in recent 20 years, thus demonstrating the complexity of quantifying the direct radiation effects of aerosols.

3) Human activities have led to more variable global precipitation in the past hundred years (Zhang W et al., 2024), a one-sentence comment; the most abundant data are used to demonstrate the enhancement of global precipitation variability at different time scales.

4) Traditional Meiyu has been suspended by global warming (Yin et al., 2024), a one-sentence comment; for the first time, a three-dimensional index was constructed to characterize traditional Meiyu and it was found



that the characteristics of traditional Meiyu features, such as misty rain and mildew rain, are gradually moving away due to global warming.

5) The pattern of global precipitation system tends to flatten in the past two decades (Zhang and Wang, 2024), one sentence comment: in the past 20 years, the spatial morphology of precipitation systems on a global scale tends to flatten due to the enhancement of atmospheric stability and the increase of water vapor transport (manifested as a trend of limited vertical development and enhanced horizontal expansion).

6) The coupling process of water-heat-carbon on land surface and its key mechanisms in the Qinghai-Xizang Plateau (Deng et al., 2024; Meng et al., 2024; Sheng et al., 2024; Wang et al., 2024), a one-sentence comment: the key characteristics and mechanisms of the surface water-heat-carbon coupling are revealed using the observational data of the Qinghai-Xizang Plateau.

7) Effects of SST anomalies in the mid-latitude North Pacific Ocean on summer climate in ENSO and non-ENSO states (Tao et al., 2024a, 2024b), a one-sentence comment: the mid-latitude North Pacific SST anomaly has a significant effect on subsequent summer climate (regardless of whether ENSO events occur).

8) Finding the increasing trend of salinity difference between Atlantic Ocean and Pacific Ocean (Lu Y et al., 2024), a one-sentence comment: the analysis of 0—2 000 m ocean observational data reveals that seawater salinity has generally increased in the Atlantic Ocean and decreased in the Pacific Ocean in the past half century.

9) Deeptime ocean circulation and ENSO (Li et al., 2024; Yuan et al., 2024), a one-sentence comment: using coupled climate models to simulate the deeptime North Atlantic overturning circulation and ENSO, presenting rich pictures of the processes and mechanisms.

10) Development and application of artificial intelligence (AI) global subseasonal-seasonal climate prediction system (Lu B et al., 2024), a one-sentence comment: a large artificial intelligence model for global subseasonal-seasonal climate prediction with physical information is constructed.

The major research progresses in 2024 as selected by the China Climate Research Committee involves many aspects of the earth's climate system, and most of the results are completed by the cooperation. At the same time, the research results have important value for building better forecasting methods to support efficient disaster prevention and reduction. Based on these research achievements and the author's research, this article proposed that hot spots and emphases of future climate research mainly include, global warming acceleration, intensifying climate extremes, new era of the Arctic and Qinghai-Xizang Plateau, the interaction of the three oceans, paleoclimate studies serving for present climate change research, climate prediction and AI, and the increasing risk in coastal urban agglomerations to climate change.

**Keywords** global warming acceleration; climate extremization; new era of the Arctic and Qinghai-Xizang Plateau; climate prediction and AI

DOI: 10. 13878/j.cnki.dqkxxb.20250122001

(责任编辑:张福颖)