

IPCC 第一工作组评估报告分析及建议

马占云¹, 任佳雪², 陈海涛³, 姜 华^{1*}, 高庆先^{1*}, 刘舒乐¹, 严 薇¹, 李照濛¹

1. 中国环境科学研究院, 环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012

2. 天津市滨海新区环境创新研究院, 天津 300450

3. 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300350

摘要: 2021年8月6日, 政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第一工作组第六次评估报告 (AR6) 发布, 针对气候系统变化科学领域最新研究进展和成果进行了全面、系统的评估。AR6 以更强有力的证据进一步确定了近百年全球气候变暖的客观事实, 人类活动对气候变暖影响的信号更为清晰。本文总结了历次 IPCC 评估报告, 并从气候现状、未来可能的气候状态、风险评估和区域适应气候变化信息以及减缓未来气候变化 4 个方面对 AR6 进行系统梳理。结果表明: 人类活动产生的温室气体对大气、海洋、冰冻圈和生物圈的影响前所未有, 引发了全球许多地区的极端天气和气候极端事件。未来若温室气体排放没有显著减少, 到 2100 年全球地表温度将至少升高 2.1 °C; 如若人类影响得到有效改善, 在最低排放情景 (SSP1-1.9) 中, 2055 年将变为负碳, 到 21 世纪末气温开始再次下降。减少 CH₄ 等其他污染物可以为全球气候治理争取时间, 并改善空气质量。建议中国应对气候变化应加强基础科学研究, 聚焦模式开发和应用及与各工作组之间的衔接, 加快短寿命气候强迫 (SLCFs) 与温室气体协同控制研究, 强化应对气候变化政策措施的科技支撑等。

关键词: 气候变化; IPCC; 第六次评估报告 (AR6); 人类活动; 科学评估

中图分类号: X51; P467 **文章编号:** 1001-6929(2022)11-2550-09

文献标志码: A **DOI:** 10.13198/j.issn.1001-6929.2022.08.08

Analysis and Recommendations of IPCC Working Group I Assessment Report

MA Zhanyun¹, REN Jiaxue², CHEN Haitao³, JIANG Hua^{1*}, GAO Qingxian^{1*}, LIU Shule¹, YAN Wei¹, LI Zhaomeng¹

1. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2. Research Institute for Environmental Innovation, Tianjin 300450, China

3. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China

Abstract: On August 6th, 2021, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) released its Sixth Assessment Report (AR6) Working Group I Report, which provides a comprehensive and systematic assessment of the latest research progress and achievements in the field of climate system change science. AR6 provides stronger evidence to further confirm the objective facts of global warming in the past 100 years and a clearer signal of the impact of human activities on climate warming. The signal of human activities on climate warming is clearer. This paper summarizes the previous IPCC assessment reports, and systematically reviews the IPCC AR6 report from four aspects: current climate state, possible future climate state, risk assessment and regional information on climate change adaptation, and limitations of future climate change. The results show that the unprecedented impact of greenhouse gases generated by human activities on the atmosphere, oceans, cryosphere and biosphere has triggered extreme weather and climate events (heat waves, heavy precipitation, droughts and tropical cyclones, etc.) in many regions of the world. The future state of the climate depends more on the intensity of human emissions reductions; without significant reductions in greenhouse gas emissions, global surface temperatures are projected to rise by at least 2.1 °C by 2100; if human impacts are effectively ameliorated, the lowest emissions scenario (SSP1-1.9) would

收稿日期: 2022-04-01 修订日期: 2022-08-01

作者简介: 马占云(1980-), 女, 黑龙江绥化人, 副研究员, 博士, 主要从事资源环境与应对气候变化研究, mazy@craes.org.cn。

* 责任作者: ①姜华(1973-), 男, 山东肥城人, 研究员, 硕士, 主要从事环境管理、环境科学与资源利用研究, jingh@craes.org.cn; ②高庆先(1962-), 男, 山西太原人, 研究员, 博士, 主要从事气候变化和大气环境影响研究, gaqx@craes.org.cn

基金项目: 中国环境科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (No.2021YSKY-09); 国家重点研发计划项目 (No.2019YFC1903901)

Supported by Central Research Institutes of Basic Research and Public Service Special Operations of Chinese Research Academy of Environmental Sciences (No.2021YSKY-09); National Key Research and Development Program of China (No.2019YFC1903901)

become carbon-negative by 2055, with temperatures beginning to fall again by the end of the century. Limiting future climate change depends on limiting the total amount of carbon dioxide in the atmosphere, while reducing other pollutants such as methane could buy more time and rapidly improve air quality. The study proposes measures and recommendations to strengthen basic scientific research, focus on model development and application and interface with various working groups, accelerate research on synergistic control of short-lived climate forcings (SLCFs) and greenhouse gases, and strengthen scientific and technological support for policies and measures to address climate change in China.

Keywords: climate change; IPCC; Sixth Assessment Report (AR6); human activities; scientific evaluation

全球气候变化一直是人类社会关注的焦点。2021 年 8 月 6 日,政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 发布了第一工作组 (WG I) 第六次气候变化评估报告 (AR6), 针对气候系统变化科学基础的最新研究进展和成果进行了全面、系统的评估。该报告通过整合大量的科学文献、征集大量政府或专家的评审意见^[1], 以更强有力的证据揭示了近百年全球气候变暖的客观事实, 阐述了人类活动对气候变暖影响的更为清晰的信号, 展望了未来气候变暖幅度取决于人类采取的温室气体减排力度^[2]。

AR6 由决策者摘要 (SPM)、技术摘要、12 章的报告及地图集组成。报告内容覆盖气候系统五大圈层的最新研究进展, 展示了当前科学界对气候变化自然科学的最新认知, 为全世界认识和应对气候变化提供了科学基础与区域信息^[3]。其中, SPM 介绍了 WG I 的主要科学发现。报告以 IPCC AR5 的贡献和 2018—2019 年 IPCC AR6《气候变化与土地特别报告》为基础, 纳入气候科学的新证据并对当前气候状况进行全面总结, 包括气候如何变化和人类影响的作用, 关于未来气候可能的状况, 与区域和部门有关的气候信息, 以及减缓人类活动对气候变化的影响, 凸显了人类应对气候变化的紧迫性以及对于全球 1.5 °C 和 2 °C 温升控制的严峻性^[4]。

AR6 结果显示, 全球平均温度较工业化前水平 (1850—1900 年平均值) 已上升约 1 °C, 未来全球温升预计将达到或超过 1.5 °C。人类影响已经导致了更频繁的极端事件, 如热浪、强降水、干旱以及海平面持续上升^[5]。全球应迅速采取并强化行动以减缓和适应气候变化, 全球治理需在未来几十年大幅减排温室气体并在 2050 年前后实现 CO₂ 净零排放^[6]。该文通过对 IPCC 历次 WGI 评估报告的系统梳理, 进一步厘清了气候变化科学基础的研究进展, 并提出了中国积极应对气候变化的措施及建议, 以期气候变化治理提供参考。

1 IPCC WG I 六次评估报告概述

1979 年第一次全球气候变化大会在日内瓦召开,

会上科学家提出“大气 CO₂ 浓度增加将导致地球升温”的警告, 气候变化首次提上议事日程。认识到人类活动对气候变化的影响以及产生的危害, 世界气象组织 (WMO) 和联合国环境署 (UNEP) 于 1988 年成立了 IPCC, 旨在为决策者定期提供关于气候变化的科学基础、产生的影响和评估未来风险以及适应和减缓气候变化的可选方案。IPCC 自成立至今已开展了六轮全面的气候变化评估, 向国际社会提供了对全球气候变化的最新认知, 极大地促进了气候变化自然科学的发展, 并为适应和减缓气候变化奠定了基础^[7]。

IPCC 第一次评估报告 (FAR) 于 1990 年出版, 报告确认了有关气候变化问题的科学基础^[8], 并为联合国气候变化框架公约 (UNFCCC) 谈判奠定了基础, 指出了人类活动是导致大气中温室气体浓度增加的主要原因, 进而引发全球气候变暖^[9]。FAR 报告及 1992 年的补充报告显示, 若不减少温室气体排放, 全球平均温度到 2025 年将比 1990 年之前升高 1 °C 左右, 到 21 世纪末将升高 3 °C 左右。当时, 人类对气候变化的认知较为粗浅, 主要局限于大气圈的变化, FAR 报告揭示了重要的科学发现, 即人类活动导致温室气体排放, 增加了大气中的温室气体浓度, 并增强了温室效应, 使平均温度上升。

1995 年 IPCC 发布第二次评估报告 (SAR), 为《京都议定书》的签署奠定了科学基础^[10]。报告指出, 人类活动对全球气候造成了可识别的影响, 同时气候变化会带来很多不可逆转的后果, 制定气候变化政策及实现可持续性发展过程中需要兼顾公平原则。SAR 首次引进了气候系统的概念, 综合评估了气候系统各圈层的变化情况, 明确了自 19 世纪末以来全球平均地表温度上升了 0.3~0.9 °C, 并指出这一变化不可能完全是自然产生的。这体现了人类对于气候的认知从经典气候学向全球气候系统概念的发展^[11]。

IPCC 第三次评估报告 (TAR) 于 2001 年发布, 该报告关注到了气候变化的影响和适应^[12], 推动了《京都议定书》的生效和执行。报告指出, 最近 50 年观测到的大部分变暖可能 (60%) 是因为温室气体浓度的

增加. 人类活动造成的温室气体和气溶胶排放将继续改变着大气成分, 影响全球气候. 随着气候变化进一步加剧, 尤其是发展中国家的极贫困人口更易遭受气候变化的不利影响. TAR 增加了碳循环和大气化学相关内容的评估, 对全球气候系统五大圈层之间的相互作用过程有了进一步的认识. 对于气候变化的认知从全球向复杂的区域过程转变.

2007 年 IPCC 发布的第四次评估报告 (AR4) 重点关注到了温升控制在 2 °C 的科学问题^[13]. 报告指出气候系统增温是毋庸置疑的. 观测到的 20 世纪中叶以来大部分全球平均温度的升高很可能 (90%) 是由观测到的人为温室气体浓度增加所致, 并预测到 21 世纪中叶, 气候影响范围将进一步扩大, 与此同时暴雨、洪涝等极端天气的风险也将增加, 极地冰川和雪盖的储水量将减少. AR4 对全球气候系统各圈层的认识进一步加深, 考虑了复杂的生物地球化学过程, 首次将海洋气候变化, 与冰冻圈相关的积雪、冰川和冻土的变化, 以及古气候的内容单列成章.

2013 年 IPCC 发布的第五次评估报告 (AR5) 为《巴黎协定》的签署奠定了基础, 报告指出, 人类对气

候系统的影响是明确的, 极有可能 (95%) 的是, 观测到的 1951—2010 年全球平均地表温度的升高有一半以上是由温室气体浓度的增加和其他强迫共同导致的^[14], 首次提出了全球碳排放预算的概念, 为实现 2 °C 温控目标, 全球碳排放只剩下不足 50% 的碳预算, 到 2050 年全球应在 2010 年温室气体排放水平基础上减少 40%~70%, 并于 2100 年前实现净零排放. AR5 针对极端事件可能引发的各种灾害风险编写了特别报告, 依据涉及的各学科的视角, 突出强调了适应和灾害风险管理^[15].

IPCC 第六次报告 (AR6) 于 2021 年发布, 报告明确指出, 人类活动的影响已经造成大气、海洋和陆地变暖, 大气圈、海洋、冰冻圈和生物圈发生了广泛而迅速的变化, 气候系统的一些变化是不可逆的. 气候系统的很多变化与日益加剧的全球变暖直接相关, 给不同地区带来多种不同的组合性变化, 与以往的 IPCC 报告相比, AR6 中有关区域气候变化信息的内容更加丰富, 增加了与区域气候变化风险评估有关的内容, 充分加强了 AR6 不同工作组之间的衔接和一致性^[16]. 关于全球温度变化归因的主要结论如图 1 所示.

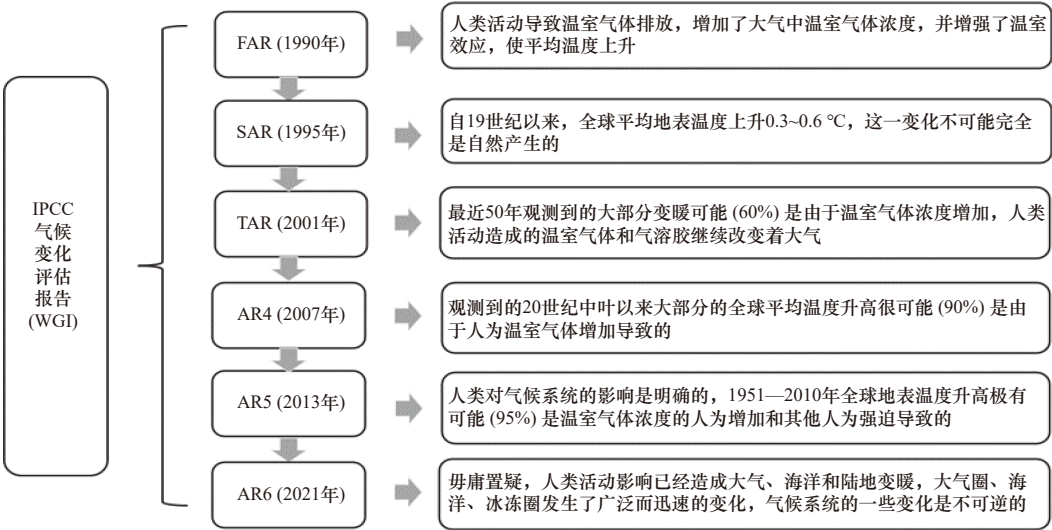


图 1 关于全球温度变化归因的主要结论

Fig.1 Main conclusions about the attribution of global temperature change

2 气候变化的最新进展

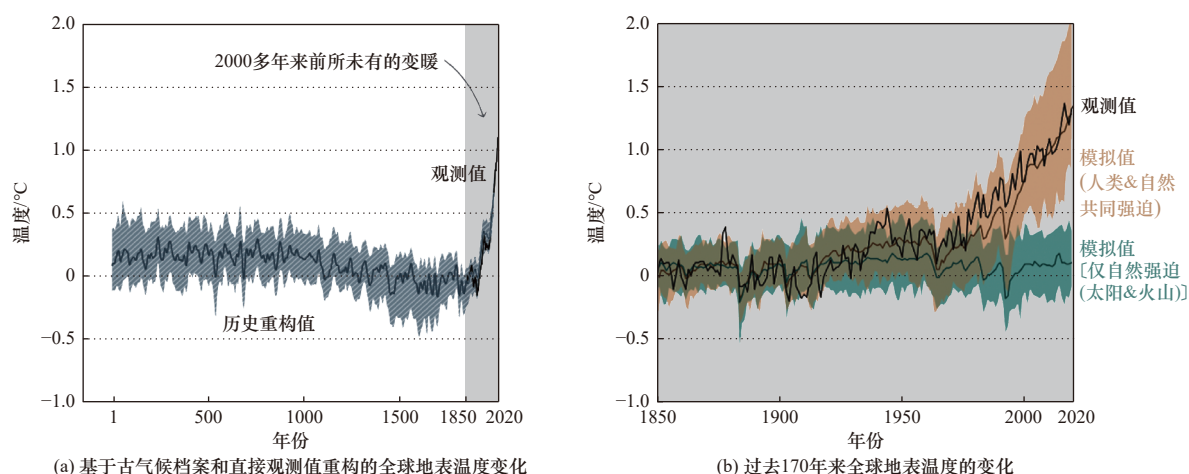
2.1 气候现状

2.1.1 人类的影响使大气、海洋和陆地持续变暖, 大气、海洋、冰冻圈和生物圈发生了广泛而迅速的变化

AR6 结果表明, 自 2011 年以来, 大气中 CO₂、CH₄ 和观测到的混合温室气体浓度不断增加无疑是由人类活动引起的, 引发了对全球温度及降雨的显著

影响, 而气溶胶冷却在一定程度上掩盖了温室气体变暖^[16-18]. 2010—2019 年由人类活动造成的全球地表温度较 1850—1900 年上升了约 0.8~1.3 °C (见图 2), 过去 40 年中的每一年均比之前的任何一个 10 年都要暖和. 在全球增温背景下, 人类活动在一定程度上对全球降水模式产生影响, 21 世纪全球陆地的年均降雨量将持续增加, 这一结论是高信度的^[19].

另外, 人类活动的影响导致气候变暖很可能是



注: 引自 AR6 第一章 (基于图 SPM.1^[16] 修改).

图 2 全球温度变化的历史和近期变暖的原因

Fig.2 History of global temperature change and causes of recent warming

20 世纪 90 年代以来全球冰川融化以及 1979—1988 年和 2010—2019 年期间北极海冰面积减少的主要驱动因素; 报告显示, 全球海洋上层 (0~700 m 深度) 自 20 世纪 70 年代以来一直在变暖, 1901—2018 年间, 全球平均海平面上升了 0.20 m (范围为 0.15~0.25 m), 且上升速率不断加快, 其主要驱动力极有可能是人类活动的影响。

2.1.2 整个气候系统变化的规模以及气候系统各方面现状在几千年内都是前所未有的

2019 年, 大气中 CO_2 浓度比过去至少 200 万年以来的任何时候要高, CH_4 和 N_2O 浓度高于过去 80 万年以来的任何时候. 自 1970 年以来, 全球地表温度的增长速度超过了在过去至少 2 000 年间的任何时候, 最近 10 年 (2011—2020 年) 的温度超过了最近的多个世纪的暖期. 另外, 2011—2020 年, 北极海冰年平均面积达到至少 1850 年以来的最低水平. 自 20 世纪 50 年代以来, 全球范围内的冰川都在退缩, 自 1900 年以来, 全球海平面上升的平均速度比过去至少 3 000 年的任何一个世纪都要快, 这至少在过去 2 000 年中是前所未有的. 上述结论均是高信度的。

2.1.3 人为造成的气候变化已经影响到全球每个地区的许多极端天气和气候事件 (热浪、强降水、干旱和热带气旋等)

同样高信度的结论还有, 自 20 世纪 50 年代以来, 气候变化已经影响到全球每一个有人居住的地区, 人类活动的影响导致了很多已观测到的天气和极端气候的变化, 在大多数陆地地区, 极端高温 (包括热浪) 变得更加频繁和强烈, 而极端低温 (包括寒潮) 则不那么频繁和严重. 自 20 世纪 80 年代以来, 海洋热浪

的频率约增加了 1 倍, 强降水事件的频率和强度都有所增加, 增温引起土地蒸散量的增加, 从而导致了一些地区农业和生态干旱的增加. 另外, 在过去 40 年中, 人类活动引起的气候变化增加了与热带气旋相关的强降水, 复合极端事件发生的几率增加, 这包括全球范围内同时出现热浪和干旱频率的增加。

2.1.4 通过气候过程、古气候依据和气候系统对不断增加的辐射强迫的响应认识得出了平衡气候敏感性的最佳估计值

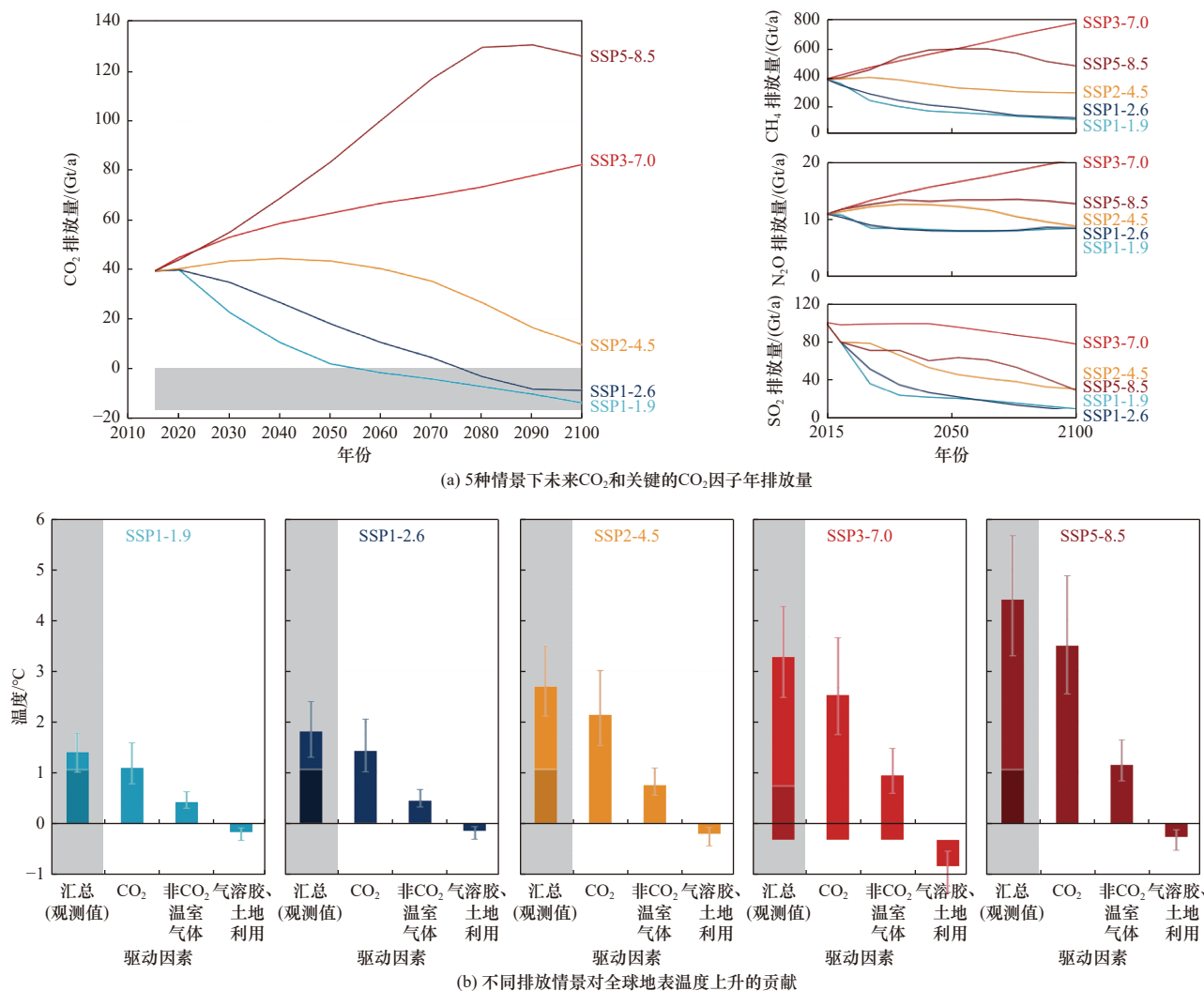
多个证据表明, 平衡气候敏感性 (大气中 CO_2 比前工业化时期增加 1 倍所导致的温度变化) 很可能的范围在 2~5 °C 之间, AR6 评估的最佳估计值为 3 °C, 与以前的估计相比范围更窄, 这意味着可以更准确地了解不同排放情景下的升温幅度. 由于温室气体浓度增加, 人为辐射强迫使气候系统变暖, 其中, 海洋变暖占气候系统加热的 91%, 陆地变暖、冰损失和大气变暖分别约占 5%、3% 和 1%, 这一结论是高信度的. 气候系统的加热通过陆地上的冰损失和海洋变暖带来的热膨胀导致全球平均海平面上升. 1971—2018 年期间, 热膨胀解释了 50% 的海平面上升, 而冰川融化贡献了 22%, 冰盖贡献了 20%, 陆地水储存变化贡献了 8%. 1992—1999 年和 2010—2019 年期间, 冰盖损失率增加了 4 倍. 冰盖和冰川质量损失是 2006—2018 年全球平均海平面上升的主要原因。

2.2 未来可能的气候

AR6 以 1850—1900 年为基础年, 考虑了未来 5 种共享社会经济路径 (SSPs) 情景, 以探讨气候对更大范围的温室气体、土地利用和空气污染物对未来的响应 (见图 3), 每种情景下未来温度的预测结果都

是从一组气候模型中获得的. 这些模型比以前 IPCC 报告中使用的模型更精确, 分辨率更高. 结果表明, 到 2050 年, 所有情景都可能使全球温升达到 1.5 °C. 如果温室气体排放没有显著减少, 与 1850—1900 年

相比, 到 2100 年全球地表温度预计将至少升高 2.1 °C. 如若人类影响得到有效改善, 在最低排放情景 (SSP1-1.9) 中, 2055 年将变为负碳, 到 21 世纪末气温开始再次下降.



注: 引自 AR6 第二章 (基于图 SPM.4^[16] 修改).

图3 5种假设情景下气候变化主要驱动因素下的未来人为排放和各组驱动因素的增温贡献

Fig.3 Future anthropogenic emissions of key drivers of climate change and warming contributions by groups of drivers for the five illustrative scenarios used in this report

为了评估给定的全球变暖量对环境的影响, AR6 基于不同变暖量进行了不同的情景分析. 所有变暖情景均表明, 陆地表面温度上升的幅度将超过海洋表面温度. 据预测, 北极地区的气温上升速度将超过全球变暖速度的 2 倍, 而到 2050 年, 所有情景模拟结果显示全球将导致至少有一次几乎没有海冰. 全球气温每增加 1 °C, 极端高温事件、干旱、强降水事件和热带气旋的发生频率都会增加^[20].

在所有情景下, 世界各地都将变得更加湿润, 与 1994—2010 年相比, 2100 年前全球降水的增加量可

能高达 13%; 然而, 全球降雨量增加的影响对地区而言并不是一成不变的, 有些地区降雨量较少, 如部分亚热带地区. 气温上升还将导致更频繁和更强烈的干湿天气事件, 温暖的大气可以容纳更多的水蒸气, 而在干旱地区, 由于土壤水分蒸发增加, 干旱变得更加普遍, 这将导致更严重的水灾和旱灾.

山地和极地冰川以及永久冻土的消失可能会继续, 格陵兰冰盖将在 21 世纪继续融化, 加上海洋变暖, 特别是深海变暖, 海平面上升是不可避免的. 相较于 1995—2014 年, 即使在排放量最低的情景 (SSP1-1.9) 下,

到 2100 年全球平均海平面预计也将上升 0.28~0.55 m, 在最高排放情景 (SSP5-8.5) 下, 海平面预计上升 0.63~1.01 m. 这些变化在一定程度上是确定的, 气候变暖的影响将持续数百年甚至数千年. 在同一时间尺度上, 海洋还将经历其他变化 (如酸化和脱氧等), 这可能会对海洋生态系统产生深远影响和毁灭性破坏.

陆地和海洋受到气候变暖的影响, 其减缓变暖影响的能力将被减弱, 碳汇有效性将变差, 而气候变化和碳循环之间的反馈机制在高排放情景下将更具影响力. 例如, 永久冻土的融化会释放 CH_4 , 导致变暖效益增强, 进而导致永久冻土的进一步流失.

2.3 风险评估和区域适应气候变化信息

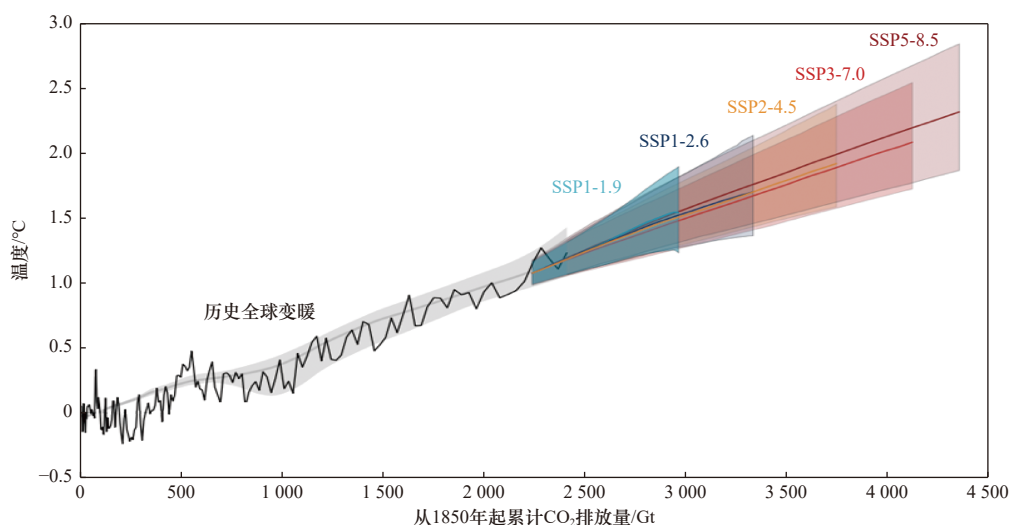
了解气候响应及其可能影响的范围, 有助于气候服务、气候相关风险评估和气候适应规划工作的开展. 风险评估考虑到人为造成的气候变化也会因全球不同地区的自然变化而改变, 而自然驱动力和内部变率将会在一定程度上调节人类活动引起的变化 (特别是在区域范围内和短期内), 但对于百年全球变暖内而言, 其影响较小. 历史上的全球地表温度变率既加强了也掩盖了人类活动造成的长期变化, 内部变率在很大程度上也是许多陆地地区平均降水量增大或减少的原因. 此外, 随着全球变暖的加剧, 预计每个地区的气候变化都将更加剧烈, 包括各地区平均温度和降水量的变化以及极端高温引起的干旱或极端降雨引发的洪水事件. 与 1.5 °C 的全球变暖相比, 在温升 2 °C 时, 包括非洲和亚洲 (高信度)、北美洲 (中到高信度) 和欧洲 (中信度) 的大多数地区, 强降水和洪水

将加剧和更加频繁, 气候影响的变化将更为普遍, 而在更高的全球变暖水平下, 气候变化将更加广泛和明显.

无论全球变暖的程度如何, 不排除那些被认为不太可能但会对区域和全球气候产生高度影响的气候变化结果, 包括森林退化、冰盖崩塌或海洋环流的突变. 就目前的碳排放状况而言, 未来几十年全球变暖导致的气候变化将是不可避免的, 如果全球变暖加剧, 一些在过去和当前气候中可能性较低的复合极端事件将变得更加频繁. 如果继续遵循高排放情景 (SSP3-7.0), 世界各地的气温及降水量都可能会上升, 因此, 未来排放路径的选择将对 21 世纪末和更长期的适应区域的气候变化和风险评估产生关键影响.

2.4 减缓气候变化情景

由图 4 可见, 无论选择何种未来排放路径, 大气中的 CO_2 增加都会导致更严峻的全球变暖形势. 这说明如果想在一定程度上阻止全球变暖, 则必须限制大气中的 CO_2 总量^[21-22]. 《巴黎协定》提出了努力将全球变暖控制在比工业化前水平高出 1.5 °C 的目标, 为了有机会实现这一目标, AR6 首次聚焦气溶胶、颗粒物和 CH_4 , 指出当前 CH_4 水平比过去 80 万年中的任何时候都要高, 并对全球变暖贡献了近 25%, 生态系统对全球变暖的反映 (如冻土融化和野火) 极有可能进一步增加大气中的 CH_4 浓度^[23], 而减少 CH_4 等污染物的排放可以为缓解气候变化争取更多的时间, 并迅速改善空气质量^[24-25]. 另外, AR6 首次表明, 低排放



注: 引自 AR6 第四章 (基于图 SPM.10^[16] 修改).

图 4 到 2050 年的 5 种情景的累积 CO_2 排放量与全球地表温度升高之间的近似线性关系

Fig.4 Near-linear relationship between cumulative CO_2 emissions and the increase in global surface temperature under the five scenarios until 2050

情景与碳捕获和储存相结合的方法将会迅速减缓气候变化的影响,这将为各国和地区之间应对气候变化、使全球温度降低提供可能。

3 讨论

AR6 以更强有力的证据进一步确定了近百年全球气候变暖的客观事实,人类活动对气候变暖影响的信号更为清晰。在强调这些新发现的同时,必须承认的是,未来在一些关键领域仍需开展进一步的调查,以便更好地了解过去、现在及未来的气候变化。主要包括:①加强对数据稀少地区的观测和研究。目前人们对过去、现在及未来气候变化的理解都高度依赖于观测数据,AR6 的结论显示,尽管气候变化的影响已经对全球各地区产生了深远的影响,但部分地区由于缺乏观测和研究,其气候变化的证据依然有限,尤其是在一些干旱半干旱地区和人口相对稀疏、零散的地区,未来研究应该加强对数据稀少地区的观测和研究,以便更加全面和准确地了解气候变化。②完善高分辨率数据和模型的使用,提高模拟可信度。气候模型在一定程度上支撑着人们对于气候变化的理解与认识,这对气候归因和预测研究至关重要,然而在区域范围内较为可靠地模拟降雨量和极端情况仍然是一项挑战,虽然不同模型在模拟降水量和极端值的性能有所不同,并且在区域上也有所差异,但通常情况下更高分辨率模型的应用可以获取更多的细节,并提高模型的可信度,而这往往也需要高分辨率数据的支撑^[26-27]。③采用多模型耦合和观测约束相结合的方法对气候变化进行预测。AR6 中,降水量、大气环流、极端气候事件和很多其他变量的预测多基于耦合模式比较计划 (CMIP) 模型进行模拟,而模型通常具有一定限制性,利用多模型耦合可对未来气候变化进行更稳定的模拟,将多模式预测与观测约束相结合,可提供更多气候变量的预测。④加强全球温升对大气环境污染的研究。大气环境质量是人类健康的重要保障,随着气候变化愈演愈烈,大气环境污染问题也不断加重,需在控制温室气体总量排放的同时,制定有针对性的降低空气污染物排放方案。⑤加强极端天气的研究。近些年来,随着气候变化影响,极端事件频发,如我国河南郑州“7·20”特大暴雨事件、巴西暴雨事件、美国“超级龙卷”等,不断引起人员伤亡和经济损失,未来需不断加强天气监测预警预报,强化极端天气机理研究,构建气象保障服务体系。

4 结论与建议

4.1 结论

a) 人类活动确认是引起气候变化、导致全球许

多地区极端天气和气候极端事件(热浪、强降水、干旱和热带气旋等)的原因,正对大气、海洋、冰冻圈和生物圈产生前所未有的影响。

b) 实现控制未来全球温升幅度,更取决于人类的减排力度。若温室气体排放没有显著减少,到 2100 年全球地表温度预计将至少升高 2.1 °C;如若人类影响得到有效改善,在最低排放情景 (SSP1-1.9) 中,2055 年将变为负碳,到 21 世纪末气温开始再次下降。

c) 缓解气候变化影响,必须要限制大气中的 CO₂ 总量,而减少 CH₄ 等其他污染物措施可为全球气候治理争取更多的时间。

d) 低排放情景与碳捕获和储存相结合的方法将为各国和地区之间应对气候变化、限制气候变化、使全球温度降低提供可能。

4.2 建议

作为负责任的发展中大国,我国有义务也有能力为全球气候治理做出积极的贡献。面对气候变化带来的威胁,我国要坚持共同但有区别的责任和各自能力的原则,根据我国的具体实际需求,维护我国可持续发展权力,努力实现我国向联合国提交的国家自主贡献的目标,同时我国必须立刻采取积极的适应行动,构建一个可持续和具有恢复力的社会。基于 IPCC 气候变化科学评估报告的研究成果,考虑我国现有研究基础和政策背景,提出以下建议:

a) 加强基础科学研究。我国参与 AR6 的专家有多名,但是中国作者的相关文献的引用率不高,今后要加强对我国气象站点长时间序列的观测数据和环境监测站点监测数据的有机融合,开展深入的机理和物理、化学、生物过程的分析,为揭示气候变化的事实和归因等方面提供高水平论文,为气候变化工作提供科学基础。

b) 加大力度,聚焦模式开发和应用,做好与各工作组之间的衔接。AR6 新增加了 CMIP6 模式和气候变化风险评估以及气候变化区域适应的研究,特别是区域适应的问题,需要进行深入研究,要加强我国相关工作组模型的开发和使用,扩大中国科学家在全球气候治理中的话语权和影响力。

c) 加快短寿命气候强迫 (SLCFs) 与温室气体协同控制研究。AR6 首次对 SLCFs 进行了深入分析,我国在大气污染攻坚战的过程中,SLCFs 污染物的控制方面已经取得了一些成果,但是当前碳达峰碳中和愿景目标的提出,为二者的协同控制研究提出了新要求,协同控制是环境改善与实现温室气体减排的双赢点,目前国内外尚未开展深入的相关研究,需要提前做出

规划,为进一步加强污染物的控制与积极应对气候变化提供技术储备和支撑。

d) 强化应对气候变化政策措施的科技支撑。重点围绕面向 21 世纪低碳发展的国家重大战略需求,充分利用国家气候变化专家委员会办公室等机制,做好气候变化关键问题、热点问题的决策咨询工作。

参考文献 (References):

- [1] 翟盘茂,周佰铨,陈阳,等.气候变化科学方面的几个最新认知[J].气候变化研究进展,2021,17(6):629-635.
ZHAI P M,ZHOU B Q,CHEN Y,et al.Several new understandings in the climate change science[J].Climate Change Research,2021,17(6):629-635.
- [2] 胡婷,孙颖.IPCC AR6报告解读:人类活动对气候系统的影响[J].气候变化研究进展,2021,17(6):644-651.
HU T,SUN Y.Interpretation of IPCC AR6 on human influence on the climate system[J].Climate Change Research,2021,17(6):644-651.
- [3] 周波涛.全球气候变暖:浅谈从AR5到AR6的认知进展[J].大气科学学报,2021,44(5):667-671.
ZHOU B T.Global warming:scientific progress from AR5 to AR6[J].Transactions of Atmospheric Sciences,2021,44(5):667-671.
- [4] 陈姣,张耀存.气候变化背景下陆地板端降水和温度变化区域差异[J].高原气象,2016,35(4):955-968.
CHEN J,ZHANG Y C.Regional differences of land extreme precipitation and temperature changes under climate change condition[J].Plateau Meteorology,2016,35(4):955-968.
- [5] LANDMAN W.Climate change 2007:the physical science basis[J].South African Geographical Journal,2010,92(1):86-87.
- [6] 王倩,翟盘茂.国际气候变化科学评估中所反映的气候变化科学的重要进展[J].气象科技进展,2021,11(3):113-118.
WANG Q,ZHAI P M.Reviewing progress in climate change science from perspective of IPCC assessments[J].Advances in Meteorological Science and Technology,2021,11(3):113-118.
- [7] IPCC.Climate change:the IPCC scientific assessment[M].Cambridge:Cambridge University Press,1990.
- [8] 陈德亮,赖慧文.IPCC AR6 WGI报告的背景、架构和方法[J].气候变化研究进展,2021,17(6):636-643.
CHEN D L,LAI H W.Interpretation of the IPCC AR6 WGI report in terms of its context,structure,and methods[J].Climate Change Research,2021,17(6):636-643.
- [9] IPCC.Climate change 1995:the science of climate change[M].Cambridge:Cambridge University Press,1996.
- [10] 赵宗慈,罗勇,黄建斌.回顾IPCC 30年(1988—2018年)[J].气候变化研究进展,2018,14(5):540-546.
ZHAO Z C,LUO Y,HUANG J B.Review IPCC 30 years(1988-2018)[J].Climate Change Research,2018,14(5):540-546.
- [11] IPCC.Climate change 2001:the scientific basis[M].Cambridge:Cambridge University Press,2001.
- [12] METZ B,OR D,PR B,et al.IPCC AR4.climate change 2007:mitigation.contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R].Geneva,Switzerland:IPCC,2007:104.
- [13] ALLEN S,PLATTNER G,NAUELS A,et al.Climate Change 2013:the physical science basis.An overview of the Working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)[M].Cambridge:Cambridge University Press,2013.
- [14] IPCC.Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation.special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change [M].Cambridge:Cambridge University Press,2012.
- [15] IPCC.Climate change 2021:the physical science basis[M].Cambridge:Cambridge University Press,2021.
- [16] 周天军,张文霞,陈德亮,等.2021年诺贝尔物理学奖解读:从温室效应到地球系统科学[J].中国科学:地球科学,2022,52(4):579-594.
ZHOU T J,ZHANG W X,CHEN D L,et al.Understanding and building upon the pioneering work of Nobel Prize in Physics 2021 laureates Syukuro Manabe and Klaus Hasselmann:from the greenhouse effect to Earth system science and beyond[J].Scientia Sinica (Terrae),2022,52(4):579-594.
- [17] 庄颖,夏斌.广东省交通碳排放核算及影响因素分析[J].环境科学研究,2017,30(7):1154-1162.
ZHUANG Y,XIA B.Estimation of CO₂ emissions from the transport sector in Guangdong Province,China and analysis of factors affecting emissions[J].Research of Environmental Sciences,2017,30(7):1154-1162.
- [18] 陈莉荣,郑辉辉,师华定,等.未来黑碳气溶胶排放对区域气候变化的影响模拟[J].环境工程技术学报,2018,8(1):1-11.
CHEN L R,ZHENG H H,SHI H D,et al.Simulation of impact of future black carbon aerosol emission on regional climate change[J].Journal of Environmental Engineering Technology,2018,8(1):1-11.
- [19] 周天军,陈梓明,陈晓龙,等.IPCC AR6报告解读:未来的全球气候:基于情景的预估和近期信息[J].气候变化研究进展,2021,17(6):652-663.
ZHOU T J,CHEN Z M,CHEN X L,et al.Interpreting IPCC AR6:future global climate based on projection under scenarios and on near-term information[J].Climate Change Research,2021,17(6):652-663.
- [20] 郭莹,李进华,夏东坡,等.我国中部六省CO₂排放动态变化趋势[J].

- 环境科学研究,2016,29(9):1279-1287.
- GUO Y,LI J H,XIA D P,et al.Dynamic changes of carbon dioxide emissions in six provinces of central China[J].Research of Environmental Sciences,2016,29(9):1279-1287.
- [21] 覃小玲,卢清,郑君瑜,等.深圳市温室气体排放清单研究[J].环境科学研究,2012,25(12):1378-1386.
- QIN X L,LU Q,ZHENG J Y,et al.Study on greenhouse gases emissions inventory in Shenzhen City[J].Research of Environmental Sciences,2012,25(12):1378-1386.
- [22] 朱松丽.“后疫情”时期的全球气候治理[J].气候变化研究进展,2020,16(6):758-762.
- ZHU S L.Global climate governance in ‘Post-Pandemic’ time[J].Climate Change Research,2020,16(6):758-762.
- [23] 李文涛,高庆先,王立,等.我国城市生活垃圾处理温室气体排放特征[J].环境科学研究,2015,28(7):1031-1038.
- LI W T,GAO Q X,WANG L,et al.Emission characteristics of greenhouse gases from municipal solid waste treatment in China[J].Research of Environmental Sciences,2015,28(7):1031-1038.
- [24] UN Climate Change Conference.What do we need to achieve at COP26?[EB/OL].London:UK Government,(2021-08-09)[2022-03-01].<https://ukcop26.org/cop26-goals>.
- [25] MATTHEWS H D.Quantifying historical carbon and climate debts among nations[J].Nature Climate Change,2016,6(1):60-64.
- [26] GAO Y,GAO X,ZHANG X H.The 2 °C global temperature target and the evolution of the long-term goal of addressing climate change:from the United Nations Framework Convention on Climate Change to the Paris Agreement[J].Engineering,2017,3(2):272-278.
- [27] ZHOU T J.New physical science behind climate change:what does IPCC AR6 tell us?[J].The Innovation,2021,2(4):100173.

(责任编辑:周巧富)