

A Review on Global Warming Attribution and Hiatus Analysis

Sen Li^{1,2}, Ming Ji^{1,2}, Houcai Cai³, Wandong Chen³, Xiaopin Ni³, Li Lin³, Guihou Zeng³, Erwei Wu³, Xianglan Li^{1,2*}

¹College of Global Change Earth System Science, Beijing Normal University, Beijing

²State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing

³Nanji Island Marine Nature Reserve Administration, Wenzhou Zhejiang

Email: *xianglan_li@163.com

Received: Jun. 22nd, 2019; accepted: Jul. 1st, 2019; published: Jul. 8th, 2019

Abstract

Global warming issues have become a widespread concern of the international community during the past few years. According to the latest annual report of IPCC AR5, the international scientific community has gradually reached a consensus that human activities led to greenhouse gases emissions (GHGs) such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O), which are important driving forces of global warming. However, whether global warming is caused by human activities or natural factors has become a focus of debate and the contribution of these two aspects is not available. Global mean land surface temperature is slowdown during 1998-2012, which is referred to be the global warming hiatus. In term of external forcing factors, global warming hiatus is mainly affected by solar activities, volcanic eruptions, aerosols, and stratospheric water vapor. Meanwhile, the natural variabilities of the Pacific Ocean, the Atlantic Ocean, the Indian Ocean, and the Southern Ocean also attributed to the global warming hiatus. Due to the lack of data and modelling efficiency, the global warming attribution and hiatus analysis still remained large uncertainties. The modelling of global surface mean temperature should include the polar region such as the Antarctica and Arctic. Generally, the rate of global warming has slowed, but no hiatus appeared.

Keywords

Global Warming, Driving Mechanism, Human Activity, Carbon Emissions, Climate Negotiations, Global Warming Hiatus

全球变暖归因与停滞问题研究综述

李森^{1,2}, 冀明^{1,2}, 蔡厚才³, 陈万东³, 倪孝品³, 林利³, 曾贵侯³, 伍尔魏³, 李香兰^{1,2*}

¹北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院, 北京

*通讯作者。

文章引用: 李森, 冀明, 蔡厚才, 陈万东, 倪孝品, 林利, 曾贵侯, 伍尔魏, 李香兰. 全球变暖归因与停滞问题研究综述[J]. 气候变化研究快报, 2019, 8(4): 421-431. DOI: 10.12677/ccrl.2019.84047

²北京师范大学遥感科学国家重点实验室, 北京

³南麂列岛国家海洋自然保护区管理局, 浙江 温州

Email: xianglan_li@163.com

收稿日期: 2019年6月22日; 录用日期: 2019年7月1日; 发布日期: 2019年7月8日

摘要

全球变暖已成为毫无争议的事实, 近年来全球变暖归因与停滞问题引起了国际社会广泛关注。政府间国际气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第五次评估报告(IPCC Fifth Assessment Report, AR5)指出, 由人类活动产生的二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)等温室气体浓度增加是导致全球变暖的主要原因, 人类活动和自然因素对全球变暖影响的相对贡献难以量化。1998~2012年全球平均地面增温速率明显趋缓, 其产生机制包括气候系统外部强迫(太阳活动、火山爆发、地球自身周期性运转、热盐洋流、气溶胶及平流层水汽等)和自然变率(太平洋、大西洋、印度洋和南大洋的自然变率及热量再分配过程), 自然变率是影响全球变暖停滞的主要机制。受数据资料和模拟精度影响, 全球变暖趋势尚存在较大不确定性。南极和北极地面温度观测数据极度缺乏, 全球平均温度变化趋势的分析应将近年来升温剧烈的南极和北极地区包括进来, 全球变暖升温速率降低但总体上升并未停滞。

关键词

全球变暖, 驱动机制, 人类活动, 碳排放, 气候谈判, 全球变暖停滞

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球变化是指由自然因素和人文因素引起的地球系统功能全球尺度的变化, 包括大气与海洋环流、生物地球化学循环、水循环、碳循环以及资源、土地利用、城市化和经济发展等变化[1]。全球变暖问题是全球变化的突出标志, 人类活动大量排放温室气体产生的温室效应是引发全球变暖并加剧变暖的主要原因[2], 大气中的水蒸气(H₂O)、二氧化碳(CO₂)、氧化亚氮(N₂O)、甲烷(CH₄)和臭氧(O₃)等由自然或人为产生的气体成分, 被称为“温室气体”。温室效应是指太阳短波辐射可以透过大气射入地面, 而地面增暖后放出的长波辐射却被大气中的温室气体吸收, 从而产生大气变暖的效应。过去 20 多年来, 国际科学界逐步形成了人类活动产生的温室气体排放是全球变暖的重要驱动力的共识, 全球变暖已经成为国际社会广泛关注的问题。

为了应对气候变化, 世界气象组织和联合国环境规划署在 1988 年成立了政府间气候变化专门委员会, 1990~2014 年每隔 5~7 年发布一次报告, 全面评估全球气候变化的观测事实、原因以及对自然和社会系统的潜在影响以及人类可能采取的应对措施。IPCC 第五次评估报告指出[2], 1880 至 2012 年, 全球平均温升达到 0.85 (0.65~1.06)°C, 人类活动极可能是造成 20 世纪中叶以来全球变暖的主要原因, 该结论的可信度从 50%增加到 99%。然而, 地球是一个极其复杂的系统, 全球变暖因果关系之间存在较大的不确定

性[3] [4]。2008 年非政府间国际气候变化专门委员会(Nongovernmental International Panel on Climate Change, NIPCC)则认为是自然因素,而不是人类活动造成了全球变暖,特别强调太阳的紫外线辐射及太阳风和其磁场对地表温度的影响;同时,厄尔尼诺(ENSO)、火山作用和热盐环流等对全球变暖也有影响[5] [6]。究竟人类活动还是自然因素是造成全球变暖的主控因子存在较大争议,如何全面认识自然因素和人类活动对全球变暖的贡献,是制定减缓气候变化政策的重要前提和保障。

全球变暖停滞(Global Warming Hiatus)是指 1998~2012 年全球平均二氧化碳等温室气体浓度继续攀升,全球地表平均温度却未出现明显上升趋势,甚至出现了停滞。根据 IPCC (2014) [2]第五次评估报告,近十五年间(1998~2012 年)升温速率有“停滞”的趋势;1998~2012 年每十年温度升高 0.05℃,明显低于 1951 年以来每十年温度升高 0.12℃的升温速率。在 1998~2012 年全球表面温度出现一个放缓停滞的现象,这一现象引起国内外学者对全球气候变化讨论的热潮[7]。全球变暖是否停滞,以及人类活动和自然因素如何影响全球变暖趋势,这些问题直接影响着全球气候谈判以及国际社会应对、适应和减缓气候变化的行动取向和政策走向。本文基于 IPCC AR5 最新评估报告结果及发表文献研究进展,综合分析了全球变暖事实与变化趋势、全球变暖停滞问题及形成机制,旨在为气候变化政策制定与国际气候谈判提供重要参考。

2. 全球变暖归因分析

2.1. 全球变暖观测事实

1979 年第一次世界气候大会(First World Climate Conference)上,科学家提出气候变暖的概念,气候变化问题第一次受到国际社会的关注。1980~2014 年,IPCC 每 5~7 年更新一次评估报告,报道了全球变暖的事实,不断通过实测数据资料证实地球系统温度不断上升,气温升高导致生态系统与人类生存环境发生了剧烈变化。IPCC 第五次评估报告进一步指出全球变暖事实[2]: 1) 从时间尺度上,1880 至 2012 年,基于现有 3 个独立数据集分析表明,全球平均温升达到 0.85 (0.65~1.06)℃;2003~2012 年,基于时间跨度最长的、唯一的独立数据集分析表明,全球平均温度比 1850~1990 年平均温度升高了 0.78 (0.72~0.85)℃。2) 从区域尺度上,全球陆地生态系统的变暖速率高于海洋生态系统,北半球高纬度地区升温幅度较大(图 1)。3) 从影响机制上,温度的显著升高主要由人为活动排放的温室气体浓度增加所致,人类活动极可能是造成 20 世纪中叶以来全球变暖的主要原因,该结论可能性超过 95%,比 2007 年提出的可能性超过 90%更高,表明人为作用对气候变化影响更为明显。4) 从产生后果上,全球气温升高将导致一系列的负面影响,比如冰雪融化、海平面上升、能量收支变化和水文循环改变,大气 CO₂ 浓度增加将导致海水酸化,这些变化将直接或间接地威胁陆地生态系统、海洋生态系统以及人类生存环境。

全球变暖表现出明显的时空差异性,IPCC (2014) [2]第五次评估报告指出,1983~2012 年可能是北半球自 1400 年以来最热的三十年,偏暖于 1850 年以来任何十年(图 2)。陆地表面比海洋表面增温快,北半球高纬度地区比低纬度地区增温快和增温幅度大。地球表面大部分被海水覆盖,而且海水比热容更大,吸收最多新增热量的是海洋,1971~2010 年至少有 90%热量被海水吸收,其中 700 米深度以内上层海水吸收了 60%,在 75 米深度以内的浅层海水平均温度在 1971~2010 年间以每十年 0.11℃速率上升。就中国而言,在过去半个世纪里,我国气候变暖发生时间及增温幅度大小同样因地区而异,1975 年前后开始于东北地区,之后出现于东部和南部沿海地区并逐步向内陆地区扩展;1983 年西部内陆地区(西北地区和青藏高原)最晚出现温暖化[1]。增温幅度在东北、西北和华北地区最为明显,在西南和华南地区增暖幅度较小,在近 100、50 和 30 年尺度上这种变化具有较好的一致性[8]。

观测到的地表温度变化 (1901-2012年)

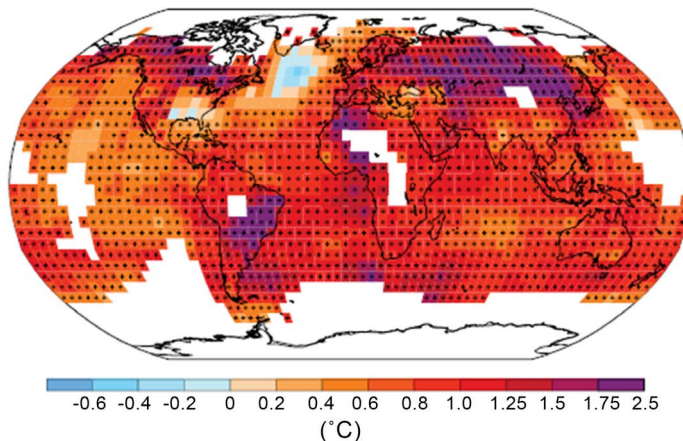


Figure 1. Global surface temperature change (1901-2012) (Drawn according to IPCC AR5)
图 1. 全球地表温度变化(1901~2012年)(根据 IPCC AR5 绘制)

观测到的全球平均陆地和海表温度距平变化 (1850-2012年)

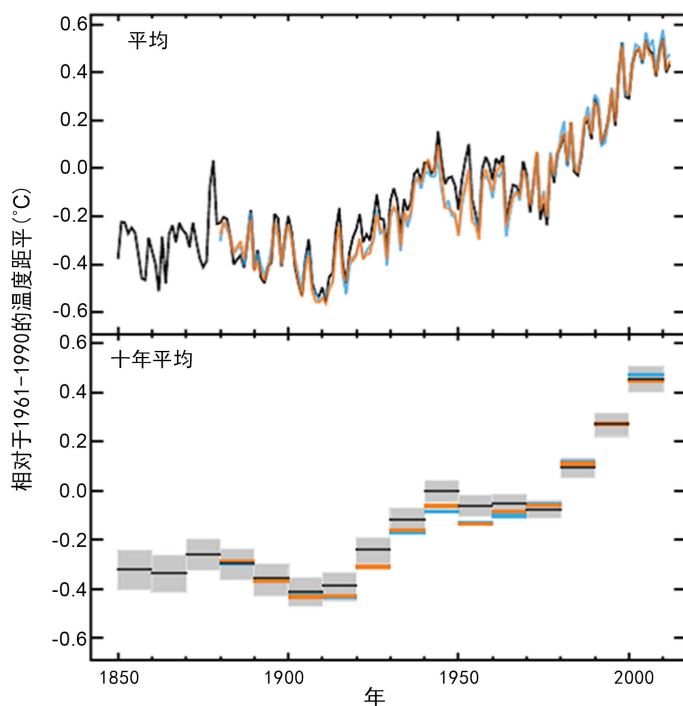


Figure 2. Global average land and sea surface temperature change (Drawn according to IPCC AR5)
图 2. 全球平均陆地和海表温度距平变化(根据 IPCC AR5 绘制)

IPCC (2014) [2]第五次评估报告同时指出,全球陆地冰川和格陵兰、南极冰盖都在加速消融,北冰洋海冰和北半球春季积雪都在减少;全球上层海洋平均热含量和全球平均海平面呈增加趋势(图 3)。1901~2010 年全球平均增长速度为 1.7 mm/yr (平均海平面上升了 0.19 m), 1971~2010 年平均增长速度为 2.0 mm/yr, 1993 年到 2010 年平均增长速度达到 3.2 mm/yr。永久性冻土占北半球陆地表面面积的 24%, 季节性冻土占 57% [9] [10], 在全球尺度上, 积雪和冰量减少、冻土面积和厚度呈现减少的趋势。中国是世界上第三大冻土面积分布大国, 多年冻土面积约 $2.20 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占国土面积的 23%, 主要分布在青藏高

原地区；季节性冻土面积占陆表面积的 80% [11]。北半球冻土温度上升和冻土层厚度减小，1967~2012 年冻土层厚度以 0.18 cm/yr 的速率降低，净厚度降低 8.05 cm [12]。冰芯记录显示，2011 年大气中温室气体(CO₂, CH₄ 和 N₂O)的浓度超过了过去 80 万年的变化范围。最高分辨率的冰芯记录显示，过去 2.2 万年来，当前温室气体的增速及其辐射强迫是前所未有的[12]。

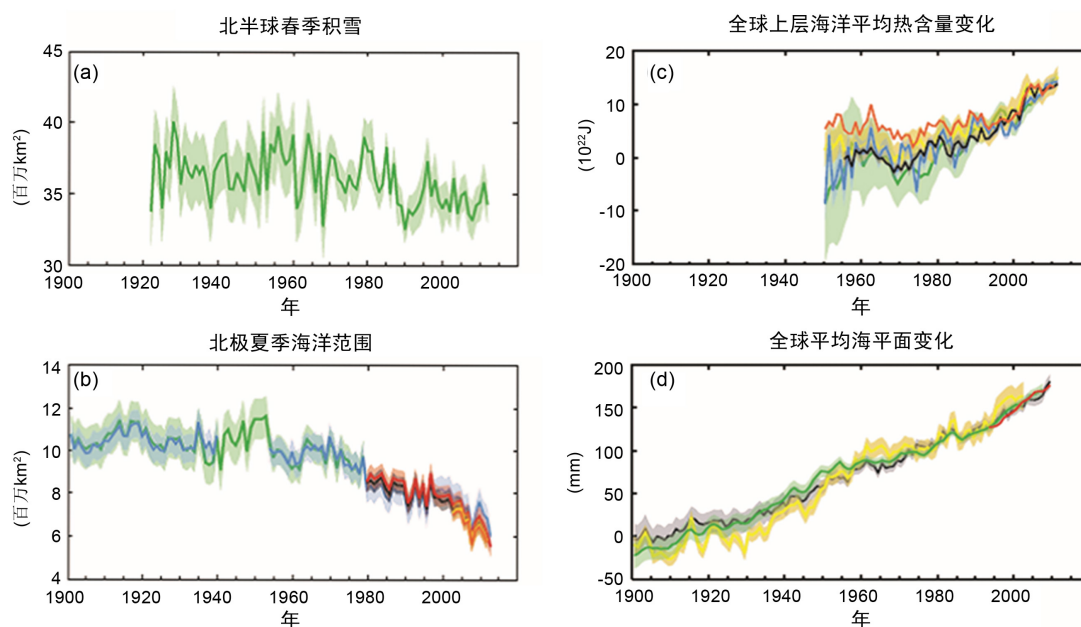


Figure 3. Long-term variations of spring snow area in the Northern Hemisphere (a), sea ice extent in Arctic summer (b), the average heat content of the global upper ocean (c), and the average global sea level (d) (Drawn according to IPCC AR5)
图 3. 长时间序列积雪融化(a), 海冰范围(b), 海洋平均热含量(c), 及海平面变化趋势(d) (根据 IPCC AR5 绘制)

IPCC 第一次评估报告(1990 年) [13]尚未给出人类活动影响气候变化的证据，第二次评估报告(1996 年) [14]，综合各种证据可以察觉到人类活动对 20 世纪气候变化的影响，人类活动的影响已被识别出来，可信度为 50%。第三次评估报告(2001 年) [15]，现代模式评估表明 20 世纪变暖非常不可能仅仅是气候系统内部变率造成的，近 50 年(1951~2000 年)大部分观测到的变暖可能是人类活动造成的温室气体浓度增加的结果，可信度为 66%。第四次评估报告(2007 年) [16]，过去 50 年(1951~2000 年)的全球变暖很可能是温室气体增加造成的，可信度为 90%。第五次评估报告(2014 年)，近百年来全球变暖现象毋庸置疑，增温原因是温室气体的增加可信度达 95%。相比之前的评估报告，第五次评估报告在全球变暖的机制上，更加明确强调人为活动的影响，强调 CO₂ 浓度与增温的关系[8]，认为全球变暖在很大程度上是人类活动导致温室效应加剧的结果(表 1)。

造成全球变暖的原因包括自然因子和人类活动，太阳活动、火山活动及气候系统内部多尺度振动可能影响全球或区域气温变化[17]。太阳活动对全球变暖的影响是周期性而不是持续性的，但比起人类活动造成的大量温室气体排放，自然因素对气候持续变暖的影响相对较小。人类活动引发全球变暖的原因主要是人类活动排放的大量温室气体造成温室效应增强。IPCC 第四次评估报告指出[2]，人类活动造成全球变暖主要是人为排放的 CO₂ 等温室气体造成的。这些温室气体源于化石能源的使用、土地利用的变化以及森林的破坏，即它们是人类社会经济发展过程中的产物[16]。然而，自然因素(火山活动、太阳活动等)在近百年中对温度的年际变化也有着很大的影响[18]。自然因素和人类活动对全球变暖的影响成为当前学术争论的焦点，直接影响温室气体减排政策制定与气候谈判的成效(表 1)。

Table 1. The analysis of the results of IPCC five assessment reports during 1990-2014**表 1.** 1990~2014 年 IPCC 五次评估报告结果分析

时间	归因分析	可信度
1990	尚未指出人类活动对气候影响的证据	-
1996	人类活动对 20 世纪气候的影响	50%
2001	近 50 年观测到的大部分增暖可能归因于人类活动	66%
2007	人类活动造成的温室气体浓度增加很可能是全球变暖的原因	90%
2014	人类活动造成全球变暖主要是人为排放的温室气体造成的	95%

2.2. 全球变暖自然原因

自然因素对全球变暖的影响包括陆地、海洋、太阳活动及火山活动等，一般认为地球 - 大气自身的调节导致气候变暖，地球表面温度目前处于“增温期”[19]。太阳活动对全球变暖的作用呈周期性变化，自 1935 年到 1979 年太阳黑子活动从世纪周期的最低点达到了世纪周期的最高峰，是太阳活动的增强期，影响全球变暖趋势增强[6] [7]。太阳活动对气候变化影响的途径除还包括紫外线辐射及太阳磁场：一种观点认为，随着太阳活动周期，太阳辐照度变化较小但是紫外线的变化会很大，紫外线变化的影响可能会通过中层大气臭氧层的吸收而放大；另一种观点认为，宇宙射线有助于凝结核的形成，同时凝结核可以使云量增加，在太阳活动比较强的期间，太阳磁场也比较强，此时到达地球大气中的宇宙射线减少，从而凝结核减少，云量也相应的减少，地球表面的太阳辐射就会增加，最终导致温度上升，太阳活动较强时，地球气候会趋于变暖[6]。此外，厄尔尼诺现象也会造成全球极端气候事件，中高纬地区冬季气温与厄尔尼诺现象发生具有较高的一致性，即厄尔尼诺现象发生的当年冬季气温低、翌年也低；反之，厄尔尼诺现象发生当年冬季气温高、翌年也高[20]。

2.3. 全球变暖人为原因

基于观测事实和气候模式分析，只考虑自然强迫时，无法模拟 20 世纪气候变暖趋势；只考虑人类活动时，基本上能模拟出 20 世纪气候变暖趋势；当输入自然强迫和人类活动的所有强迫时，模拟与观测的气温变化吻合得最好[21]。IPCC (2014) [2]评估报告再次确认了人类活动对气候变化的影响是显著和明确的。1951 年至 2010 年间，观测温度变暖约 0.6℃，人为排放的温室气体贡献可能在 0.5℃至 1.3℃之间，其中贡献最大的是大气 CO₂ 浓度升高，自然因子的贡献可能在-0.1℃至 0.1℃之间。人类活动(温室气体排放)极可能(extremely likely)是 1951 年以来全球变暖的主要原因，与“人类活动相当可能(very likely)是全球变暖的原因”相比，第五次评估报告进一步明确了人为因素对全球变暖的主导作用。

人类活动对气候影响，主要是通过改变下垫面的性质、改变大气中的某些成份(温室气体和气溶胶)[14]和人为释放热量。由于大量砍伐森林，导致 CO₂ 汇减少，从而使大气中的温室气体浓度增加，致使全球变暖。与人类活动有关的日常生产生活中燃烧的化石燃料，产生了大量的温室气体加剧了全球变暖。大气中温室气体(CO₂、CH₄和 N₂O)均呈现升高的趋势[2]，大气中 CO₂、CH₄和 N₂O 的浓度是近 80 万年以来的最高值，分别为 391 mg/m³、1.803 mg/m³和 0.324 mg/m³ [22]，相对于工业化前水平分别升高了 40%、150%和 20% (图 4(a))。2011 年，大气中 CO₂ 浓度增长主要源自于化石能源的燃烧和土地利用变化，人为 CO₂ 累计排放大约 5450 亿吨碳。其中，化石能源燃烧和水泥生产排放的 CO₂ 量为 3650 亿吨碳(图 4(b))，土地利用变化排放 CO₂ 为 1800 亿吨碳(图 4(b))，海洋吸收了 1550 亿吨碳，在大气中积累的 CO₂ 为 2400 亿吨碳，导致大气中 CO₂ 浓度从 1750 年 278 mg/m³ 上升到 2011 年 391 mg/m³，剩余 1500 亿吨碳被陆地生态系统吸收。1970~2010 年人为排放的温室气体总量呈现增加趋势，2000~2010 年人为源温室气体排放

量以 2.2%的速率增加, 高于 1970~2000 年的增加速率(1.3%) (图 4(c))。2010 年人为源温室气体排放总量为 49 ± 4.5 Gt CO₂-eq/yr, 其中化石燃料燃烧和工业源排放的 CO₂ 占 65% (图 4(c))。

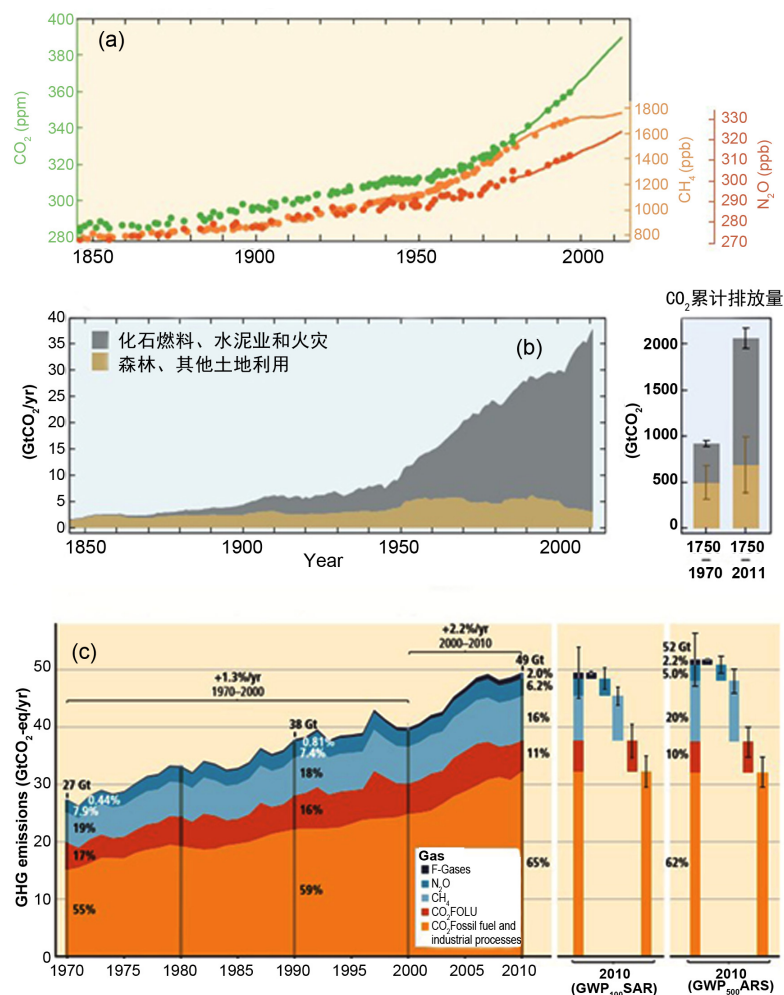


Figure 4. Changes in greenhouse gas concentrations (a), Global anthropogenic CO₂ emissions (Gt CO₂/yr) (b), Trends of anthropogenic greenhouse gas emissions from 1970 to 2010 (c) (Drawn according to IPCC AR5)

图 4. 大气中温室气体(CH₄、N₂O 和 CO₂)浓度变化(a), 全球人为源 CO₂ 年排放量(Gt CO₂/yr) (b), 1970~2010 年人为源温室气体排放总量变化趋势(c) (根据 IPCC AR5 绘制)

3. 全球变暖停滞问题

3.1. 全球变暖停滞研究课题

进入 21 世纪以来, 大气中温室气体浓度持续快速增加, 但全球表面增温却有减缓趋势, 呈现变暖“停滞”现象。《Nature》将有关全球变暖停滞研究评选为 2014 年十大科学事件之一(Morello *et al.*, 2014) [23]。全球变暖“停滞”现象的辨识及其机理、未来预测和不确定性研究已成为国际前沿热点, 对国家应对气候变化有重要科学和现实意义。近年来我国对全球变暖“停滞”现象开展了一系列研究, 主要包括国家重点研发计划“全球变化及应对”专项和国家自然科学基金项目(表 2)。

国家自然科学基金项目“潜沉过程在全球变暖停滞中的作用”对全球变暖“停滞”的归因做了分析, 太平洋年代际振荡发挥了重要作用, 可能因素还有大西洋经向翻转环流和南极底层水的改变等, 但是变

Table 2. Summary of national projects on global warming hiatus during 2016-2018
表 2. 2016~2018 年关于全球变暖停滞问题研究的主要国家级项目汇总

项目类型	项目名称	承担单位	启动时间(年)
国家重点研发计划专项	全球变暖“停滞”现象辨识与机理研究	中国海洋大学	2016
国家重点研发计划专项	气候多尺度变化与年代际重大事件的归因及预估	中国科学院大气物理研究所	2016
国家重点研发计划专项	外部强迫和内部变率在全球变暖停滞中的作用	北京师范大学	2016
国家自然科学基金	增温停滞对我国干湿变化的影响	兰州大学	2016
国家自然科学基金	潜沉过程在全球变暖停滞中的作用	国家海洋环境预报中心	2017
国家自然科学基金	全球变暖停滞前后中国季节变迁的特征及其对后期气候异常的影响	国家气候中心	2016
国家自然科学基金	地球气候系统内部自然变率对全球变暖“停滞”的相对贡献率	中国海洋大学	2019

暖停滞尚存在许多不确定性问题[24]。国家重点研发计划项目“全球变暖‘停滞’现象辨识与机理研究”辨识了全球变暖“停滞”的时空特征，阐明全球变暖停滞背景下，大气在气候系统能量热量再分配过程中的作用及机理，并探讨了全球变暖“停滞”现象的可预测性[25]。国家重点研发计划专项项目“气候多尺度变化与年代际重大事件的归因及预估”阐述了有关全球变暖停滞机制的两种观点：一种观点认为全球变暖停滞是由于外强迫造成的，另一种则认为是自然变率产生的[26]。国家自然科学基金项目“增温停滞对我国干湿变化的影响”归纳了近年来国内外全球半干旱区气候变化的研究成果，对以往半干旱区主要陆面观测计划进行回顾，重点分类总结陆气相互作用在半干旱气候变化过程中发挥的作用[27]。国家重点研发计划项目“外部强迫和内部变率在全球变暖停滞中的作用”对造成全球变暖停滞的外因和内因进行了相关研究，认为从气候系统外部强迫影响来说，全球变暖停滞主要受到太阳活动、火山爆发、气溶胶以及平流层水汽等影响。从气候系统内部调控作用来看，全球增温速率减缓主要受到太平洋、大西洋、印度洋和南大洋自然变率以及相应的热量再分配过程的影响[28]。两项国家自然科学基金“全球变暖停滞前后中国季节变迁的特征及其对后期气候异常的影响”和“地球气候系统内部自然变率对全球变暖‘停滞’的相对贡献率”也分别对全球变暖的停滞对于气候的影响做了相关研究。

3.2. 全球变暖停滞形成机制

IPCC (2014) [2]第五次评估报告指出，由于自然强迫和气候系统的年际变化影响会出现短期的增温变缓，但全球增暖的总趋势并未发生改变。作为联合国的专门机构之一，世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)发布的气候报告指出，2015年是气象历史观测记录上最暖的一年[2]，但在一些地区却表现出季节性增温趋缓的现象，尤其是在欧亚大陆极端冷冬事件频发。全球年平均表面温度上升趋势显示出停滞状态，引发国际社会对“全球变暖的”的质疑[7]。“全球变暖停滞”与大气中CO₂浓度的持续增加的不一致性，让人们怀疑全球变暖是否已经停止了。全球变暖停滞问题成为“烫手山芋”，一时间被国内外研究学者普遍关注。

全球变暖停滞受外部强迫与内部变率共同作用的影响。从气候系统外部强迫来看，太阳活动、火山爆发气溶胶、人类活动气溶胶与温室气体以及平流层水汽是影响全球变暖停滞的主要因素；从气候系统内部变率来看，全球增温减缓主要受太平洋、大西洋、印度洋和南大洋自然变率与相应热量再分配的影响。徐一丹等(2019) [28]综述了全球变暖停滞的研究进展，从外部强迫和内部变率两个角度回顾了全球变暖停滞产生机制，指出了外部强迫并非全球变暖停滞的主导因子，其对全球变暖停滞的直接贡献远远小于气候系统内部变率。宋斌等(2015) [26]回顾了近年来有关全球变暖停滞的物理机制，指出了自然变率观

是产生全球变暖停滞的主要机制，人类活动产生的多余热量进入到 700 米以下的深海。Schmidt 等[29]指出火山活动和太阳引起的辐射变化与自然变率中的厄尔尼诺现象演化的叠加可能是造成全球变暖停滞的原因。即使外部强迫可能使辐射减少 20%，自然变率可能仍是造成全球变暖停滞的关键因素，其中热量不平衡主要被海洋所吸收[30]。Lean 和 Rind (2009) [31]对近年来全球变暖停滞归因问题采用多元线性回归方法对自然变率和人类活动造成的影响进行剥离，指出 ENSO、火山爆发、太阳活动以及人类活动四项因子中，2002~2008 年较弱的太阳活动使得人类活动产生的变暖速率放缓，同时指出火山爆发后的几年时间里，全球温度会进入一个低值期。Solomon 等人(2011) [32]通过近地面卫星取得的气溶胶资料研究发现，2000~2011 年火山爆发的气溶胶辐射强迫为 -0.1 w/m^2 ，从而造成全球变暖减缓。

全球变暖停滞研究受到数据资料缺乏影响，模拟结果尚存在较大不确定性。Karl 等[33]指出 21 世纪初全球变暖停滞现象可能是由数据资料问题所致。方精云等(2011) [8]指出大气中 CO_2 来源存在较大的不确定性，一定程度上影响 CO_2 浓度与温度变化的相关性。葛全胜等(2014) [34]对全球变暖认识的七个问题的不确定性进行了详细探讨，指出全球变暖停滞、未来大气中 CO_2 浓度变化、温室气体排放与温度升高的关系以及对气候模式的认识等方面存在较大的不确定性。Cowtan 等[35]指出先前的全球平均表面温度计算中没有考虑北极地区的温度变化。极地是全球变暖的敏感区，南极和北极地面温度观测数据极度缺乏，全球平均温度变化趋势的分析应将近年来升温剧烈的南极和北极地区包括进来。南极和北极地区地面温度观测极度缺乏、分布不均匀，导致全球气温资料存在较大缺失，特别是近年来强烈、快速变暖的北极地区尚未包括在全球平均温度的计算之中，将影响全球变暖的变化趋势分析。Huang *et al.* (2017) [36]采用美国国家海洋大气局最新发布的极地地区缺乏观测资料的全球气温观测数据(1850~2014 年)和国际北极浮标观测计划提供的北极地区的浮标观测资料(1979~2004 年)，采用经验正交函数数据插值方法充分利用北极气温在时空二维空间上变化的协调性，对缺少观测地区的温度进行重建，结果发现，北极地区的快速升温一定程度上可能抵消了近年来热带东赤道地区降温对全球平均气温的影响。包括北极地区在内，全球升温的空间分布虽然发生了变化，但是并未改变全球平均温度上升趋势。2017 年发表在 *Nature climate change* 期刊的论文进一步强调[36]，北极地区观测资料缺乏对全球平均温度计算的影响远大于南极地区，全球变暖仍在继续并未停滞。从厄尔尼诺、火山活动等自然因素，而且关注地面温度观测数据资料的缺失现象，才能较好的揭示全球气温变暖停滞的现象。

4. 结论

本文回顾了近年来关于全球变暖归因与停滞问题的研究进展，从自然因素和人为角度讨论了全球变暖主要是人类活动产生排放的温室气体导致的，二者共同影响全球变暖的相对贡献尚难以量化。同时，本文对 1998~2012 年全球变暖停滞的国际热点前沿问题进行了讨论，从自然变率与外部强迫角度论述了全球变暖停滞的主要机制，外部强迫包括太阳活动、火山爆发、人类活动与平流层水汽强迫，自然变率认为全球变暖停滞主要来自海洋的影响，温室气体排放导致的多余热量进入了海洋深处，尤其是 700 米以下的海域。人类活动产生排放的温室气体是造成全球变暖的主要原因，自然变率是产生全球变暖停滞的主要机制，相对之前的迅速增温，全球变暖速率变缓，从长时间尺度来看全球气温还将继续升高。加强数据资料和模拟精度，将南极和北极观测资料囊括到全球变暖停滞问题分析中来，大大减少全球变暖停滞问题的不确定性。

项目基金

国家重点研发计划课题(2018YFC1406906)；国家自然科学基金青年基金资助项目(41205104)；南麂列岛国家级海洋自然保护区资助项目(NJKI-2016-005, NJKI-2017-011)。

参考文献

- [1] 徐冠华, 葛全胜, 宫鹏, 等. 全球变化和人类可持续发展: 挑战与对策[J]. 科学通报, 2013, 58(21): 2100-2106.
- [2] Change, I.P.O.C. (2014) *Climate Change 2014—Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [3] Lomborg, B. (2001) *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*. Cambridge University Press, Cambridge, 165-172. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139626378>
- [4] Singersf, A. (2008) Nature, Nothuman Activity, Rules the Climate: Summary for Policy Makers of the Report of the Nongovernmental International Panelon Climate Change (nIPCC). The Heartland Institute, Chicago.
- [5] 王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. 关于气候变暖的争议[J]. 自然科学进展, 2005, 15(8): 917-922.
- [6] 王绍武, 葛全胜, 王芳, 等. 全球气候变暖争议中的核心问题[J]. 地球科学进展, 2010, 25(6): 656-665.
- [7] Lewandowsky, S., Risbey, J.S. and Oreskes, N. (2015) On the Definition and Identifiability of the Alleged “Hiatus” in Global Warming. *Scientific Reports*, **5**, Article ID: 16784. <https://doi.org/10.1038/srep16784>
- [8] 方精云, 朱江玲, 王少鹏, 等. 全球变暖, 碳排放及不确定性[J]. 中国科学地球科学(中文版), 2011, 41(10): 1385-1395.
- [9] Zhang, T., Barry, R.G., Knowles, K., *et al.* (1999) Statistics and Characteristics of Permafrost and Ground-Ice Distribution in the Northern Hemisphere. *Polar Geography*, **23**, 132-154. <https://doi.org/10.1080/10889379909377670>
- [10] Zhang, T., Barry, R., Knowles, K., *et al.* (2003) Distribution of Seasonally and Perennially Frozen Ground in the Northern Hemisphere. *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*, Zürich, 21-25 July 2003, 1289-1294.
- [11] 周幼吾. 中国冻土[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [12] Peng, X., Zhang, T., Frauenfeld, O.W., *et al.* (2017) Response of Seasonal Soil Freeze Depth to Climate Change across China. *Cryosphere*, **11**, 1059-1073. <https://doi.org/10.5194/tc-11-1059-2017>
- [13] Change, I.P.O.C. (1990) *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Press Syndicate of the University of Cambridge, New York.
- [14] Houghton, J.T. (1996) *Climate Change 1995: The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 2.
- [15] Penner, J.E., Andreae, M.O., Annegarn, H., *et al.* (2001) Aerosols, Their Direct and Indirect Effects. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 289-348.
- [16] Solomon, S., Qin, D., Manning, M., *et al.* (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge university press, Cambridge, 4.
- [17] 李国琛. 全球气候变暖成因分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(5): 49.
- [18] 王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. 全球气候变暖原因的争议[J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(2): 79-84.
- [19] 傅桦. 全球气候变暖的成因与影响[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2007, 28(6): 11-15.
- [20] 赵玉洁. 厄尔尼诺现象和拉尼娜现象与中高纬地区气候的关系[J]. 黑龙江气象, 2002(4): 16-18.
- [21] Brohan, P., Kennedy, J.J., Harris, I., *et al.* (2006) Uncertainty Estimates in Regional and Global Observed Temperature Changes: A New Data Set from 1850. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **111**, Article ID: D12106. <https://doi.org/10.1029/2005JD006548>
- [22] Change, I.P.O.C. (2014) *Climate Change 2014 Synthesis Report. Environmental Policy Collection*, **27**, 408.
- [23] Morello, L. (2014) Climate Summit Previews Push for New Global Treaty. *Nature News*, **513**, 289. <https://doi.org/10.1038/513289a>
- [24] 刘珊, 陈幸荣, 蔡怡. 全球变暖“停滞”研究综述[J]. 海洋学报, 2019, 41(4): 1-14.
- [25] 林霄沛, 许丽晓, 李建平, 等. 全球变暖“停滞”现象辨识与机理研究[J]. 地球科学进展, 2016, 31(10): 995-1000.
- [26] 宋斌, 智协飞, 胡耀兴. 全球变暖停滞的形成机制研究进展[J]. 大气科学学报, 2015, 38(2): 145-154.
- [27] 管晓丹, 石瑞, 孔祥宁, 等. 全球变化背景下半干旱区陆气机制研究综述[J]. 地球科学进展, 2018, 33(10): 995-1004.
- [28] 徐一丹, 李建平, 汪秋云, 等. 全球变暖停滞的研究进展回顾[J]. 地球科学进展, 2019, 34(2): 175-190.
- [29] Schmidt, G.A., Shindell, D.T. and Tsigaridis, K. (2014) Reconciling Warming Trends. *Nature Geoscience*, **7**, 158-160.

<https://doi.org/10.1038/ngeo2105>

- [30] Trenberth, K.E. and Fasullo, J.T. (2013) An Apparent Hiatus in Global Warming? *Earth's Future*, **1**, 19-32. <https://doi.org/10.1002/2013EF000165>
- [31] Lean, J.L. and Rind, D.H. (2009) How Will Earth's Surface Temperature Change in Future Decades? *Geophysical Research Letters*, **36**, L15708. <https://doi.org/10.1029/2009GL038932>
- [32] Solomon, S., Daniel, J.S., Neely, R.R., *et al.* (2011) The Persistently Variable "Background" Stratospheric Aerosol Layer and Global Climate Change. *Science*, **333**, 866-870. <https://doi.org/10.1126/science.1206027>
- [33] Karl, T.R., Arguez, A., Huang, B., *et al.* (2015) Possible Artifacts of Data Biases in the Recent Global Surface Warming Hiatus. *Science*, **348**, 1469-1472. <https://doi.org/10.1126/science.aaa5632>
- [34] 葛全胜, 王芳, 王绍武, 等. 对全球变暖认识的七个问题的确定与不确定性[J]. 中国人口资源与环境, 2014, 24(1): 1-6.
- [35] Cowtan, K. and Way, R.G. (2014) Coverage Bias in the HadCRUT4 Temperature Series and Its Impact on Recent Temperature Trends. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **140**, 1935-1944. <https://doi.org/10.1002/qj.2297>
- [36] Huang, J., Zhang, X., Zhang, Q., *et al.* (2017) Recently Amplified Arctic Warming Has Contributed to a Continual Global Warming Trend. *Nature Climate Change*, **7**, 875.

Hans 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5711, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ccrl@hanspub.org