

doi:10.3969/j.issn.1673-1719.2014.01.002

巢清尘, 周波涛, 孙颖, 等. IPCC 气候变化自然科学认知的发展 [J]. 气候变化研究进展, 2014, 10 (1): 7-13

IPCC 气候变化自然科学认知的发展

巢清尘, 周波涛, 孙颖, 张永香, 黄磊

中国气象局国家气候中心, 北京 100081



摘要: 过去 20 年来, 随着观测手段的改善、气候模式的进步以及分析方法的提升, 人类对气候变化事实、原因和未来趋势的认识水平不断深化, 进一步确认全球气候系统变暖是毋庸置疑的, 人类活动是 20 世纪中叶以来气候变暖的主要原因, 未来气候系统仍将继续变暖。IPCC 评估报告极大地促进了气候变化自然科学的进展, 并为适应和减缓气候变化奠定了坚实的科学基础。

关键词: IPCC; 自然科学; 认知; 发展

引言

IPCC 第一工作组 (WGI) 负责评估气候变化的自然科学基础, 致力于回答全球气候是怎样变化的、变化的原因是什么, 以及预估未来的气候变化。IPCC WGI 分别于 1990、1995、2001、2007 和 2013 年发布了 5 次评估报告。历次报告系统综合了当时地学领域前沿最新的科学进展, 构建和传播了人类活动影响气候变化的知识, 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坚实的科学基础。

本文通过对 IPCC WGI 已经发布的 5 次评估报告的综合分析, 介绍了国际科学界在气候变化自然科学认知和方法手段等基础能力方面的进展, 力图反

映 20 多年来人类对气候变化自然科学认识水平和能力的提高。

1 全球气候系统变暖事实毋庸置疑

随着气候系统各要素资料的不断累积、观测手段的丰富和数据处理能力的不断提高, IPCC 历次报告为我们提供的气候变化的信息越来越全面和确凿。从 IPCC 第一次评估报告 (FAR)^[1] 至第五次评估报告 (AR5)^[2], 历时 23 年。评估的内容也从 FAR 中的地球表面温度、低层大气温度、海平面高度和温室气体浓度几个方面逐步扩展到 AR5 的气候系统五大圈层数十项指标。深入的研究结果充分证实了全球气候系统变暖的不争事实。

收稿日期: 2013-12-05; 修回日期: 2013-12-19

资助项目: 国家科技支撑课题 “IPCC 第五次评估对我国应对气候变化战略的影响” (2012BAC20B05); 自然科学基金 (41275078)

作者简介: 巢清尘, 女, 副研究员, 主要从事气候变化诊断分析及政策研究, chaoqc@cma.gov.cn

针对大气的观测,早期的测量站点很少,仪器比较原始,方法也有问题,缺乏系统性。系统性仪器观测大约从1850年开始,但在19世纪,测量站点数量仍然很少,覆盖面也不够。FAR和1992年发布的补充报告^[3]给出:1890—1989年的100年里,全球平均地表温度上升了 $0.3 \sim 0.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在第二次评估报告(SAR)^[4]中,再次确认了自19世纪晚期全球升温的事实。随着器测资料的增加、分析方法的改进,以及更严格的资料质量检验及对不同来源资料的比较等,第三次评估报告(TAR)^[5]对气候变化有了更好的理解,对气温等要素的评估更为准确,给出了中值和不确定范围。20世纪期间全球平均地表温度增加了 $(0.6 \pm 0.2) \text{ }^{\circ}\text{C}$,约比SAR时的值大 $0.15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在第四次评估报告(AR4)^[6]中,来自英国东英吉利大学气候研究所(CRUTEM3)、美国国家气候数据中心(NCDC)和美国航空航天局戈达德空间研究所(GISS)3套全球数据集被用作分析的基础。其中,NCDC存储的数据不仅来自陆基站,还来自船舶、浮标、探空气球、雷达、卫星以及模式产品。GISS序列同化了卫星观测,增加了北极地区的资料。这3套数据集相互独立但又能互为验证,提供了近百年全球平均地表温度升高的观测事实。大数据集的应用、资料分析的改进、地理覆盖范围的扩大和对不确定性认识的深入使得AR4在认识气候时空变化方面取得了新进展。不仅更新100年(1906—2005年)全球平均地表温度线性趋势为 $(0.74 \pm 0.18) \text{ }^{\circ}\text{C}$,还给出近50年的线性变暖趋势 $((0.13 \pm 0.03) \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a})$ 几乎是近100年两倍的结论。AR5中CRUTEM3数据集更新为CRUTEM4^[7],这个序列在海温和陆地气温方面均作了改进,资料的空间覆盖面有了更大的提高。AR5评估的气候变量范围和时间长度进一步扩大,不确定性在减少。AR5指出,1880—2012年全球平均地表温度大约上升了 $0.85 [0.65 \sim 1.06] \text{ }^{\circ}\text{C}$,且陆地增温大于海洋,高纬度地区大于中低纬度地区,冬半年大于夏半年。

技术的进步和测站的增加在海洋气候变化研究中具有举足轻重的作用。在FAR和SAR中,对海洋的评估仅给出了过去百年海平面上升的变化(分别为 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 和 $10 \sim 25 \text{ cm}$)。针对海平面的观测主

要有验潮站和卫星高度计。世界上历史最长的验潮站有近300年的数据,这些站点多集中在北欧、北美地区和澳大利亚,其数据为了解全球海平面的变化,特别是近百年来全球海平面上升的事实提供了非常重要的信息。现在,遍布全球的验潮站已有2000多个,大部分具有16年以上的观测记录。针对大洋主要采用的观测手段有卫星遥感和自律式的剖面浮标(Argo)。通过卫星可以获取海面温度、盐度、海平面高度、海面风场和天色等海洋环境信息。Argo可以更好地观测海洋次表层和深层的环境状态。在AR5中,利用卫星高度计等其他观测手段,订正了AR4中由于Argo的测量(主要是抛弃式深海温度测量仪(XBT)和机械深海温度测量仪(MBT))误差导致的海洋上层热含量年代际变率以及20世纪70年代的升温和80年代初的降温趋势。另外,由于深海探测水平的提高,自TAR到AR5,对大洋的认识实现了由TAR的对海洋次表层温度的观测,到AR4中延伸到至少3000 m深度,再到AR5中从3000 m至洋底可能已经变暖的进步。

探空资料和卫星观测的大量使用使得IPCC在评估大气圈变化方面有了强有力的证据。TAR提出有足够的气球探空资料表明,自20世纪50年代以来8000 m以下低层大气和近地表升温一致,这一事实也得到了1979年开始的卫星观测记录的证实。此后,微波探测(MSU)和大量统计分析手段的结合使得在AR4中得出更清楚的观测事实,即对流层变暖和平流层降温型。基于多套无线探空和卫星资料的独立分析,AR5确认了自由大气中温度变化在对流层变暖和流层降温的这一分型。

在历史气候的研究中,资料和方法的改进也在不断地提高IPCC评估报告中对20世纪以来的变暖在历史气候中的认知。在FAR中仅给出了近百年变化;而在SAR中指出20世纪中后期的温度比过去600年间的要高;TAR则表明20世纪的增温可能是过去1000年最明显的;随着资料和方法的更新,AR4认为近50年的变暖至少在此前1300年中是异常的。AR5指出1983—2012年可能是过去1400年中最暖的30年。来自冰芯的资料也在不断更新着工业化以来人为排放的温室气体在历史时期的地位,在TAR

中,给出了工业化以来大气二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)浓度在过去1000年的变化,三者的浓度为千年来最高水平,在AR4中证实全球CO₂、CH₄和N₂O的浓度已经远远超出工业化前几千年中的浓度值,而在AR5中这一结论更新为过去80万年。

随着研究的不断深入,历次报告对同一问题的认识也在不断进步。以城市热岛效应的影响为例,在TAR中,首次考虑到城市热岛效应对温度观测的影响,但此时并没有将其定义为城市热岛效应,而是以城市化的影响来展开分析。当时研究表明,城市化对部分地区的影响非常显著,但在一些地方并不明显。在AR4中,认为城市热岛效应是存在的,但主要是局地现象并受当地气象条件的影响,对大区域的温度变化几乎没有影响。在AR5中,对这一效应的认识结果有了确凿的证据和高一致性,认为城市热岛效应对原始的温度测量值有影响,但是对经过校准的全球数据集来说,其影响微乎其微。

综合5次评估报告可以看到,在过去几十年,观测系统的发展,特别是卫星平台系统的发展,使得对地球气候的观测范围在数量级上增加了几倍。同时,对空间和时间特征描述的增加,也进一步降低了对气候系统认识的不确定性。另外,器测观测前历史自然档案以及对树轮、深海沉积物岩芯、冰芯等气候代用资料的研究,提供了历史时期从区域到全球尺度气候和大气成分变化的信息,这些都为深入认识和理解气候变化提供了重要信息。从FAR到AR5,在时间尺度上,各气候要素序列既向后延长,又不断前推与历史时期的变化进行比较。在空间尺度上,逐步从全球向区域、次区域尺度发展。结论信息不断深化和确认,不确定性范围逐渐缩小。

2 人类活动是20世纪中叶以来全球变暖的主要原因

对气候变化原因的科学研究一直是IPCC历次评估报告的核心关注点。一般认为,引起气候变化的驱动因子包括自然和人为两个方面。自然因子主要包括火山爆发、太阳活动以及气候系统内部如厄

尔尼诺、温盐环流等因素的变化。人为因子主要包括人类活动,如燃烧化石燃料导致的温室气体排放、土地利用等下垫面的改变和人为气溶胶排放。

在过去的20多年里,随着观测资料的增加、检测归因方法和技术的完善以及气候模式的不断发展,对气候变化原因的认识逐渐深化。在20世纪80年代,全球变暖可能还是一种假说,到了90年代,有了比较充足的科学证据说明人类活动影响气候,近几年证据则更多,更清晰。针对20世纪中期以来全球平均地表温度变化的原因,FAR表明,只能够认定人类对气候产生影响的直接证据还非常有限。到SAR,研究发现“有证据表明,人类对全球气候产生了可以分辨的影响”,但这仅是一个定性研究,无法对人为与自然因子进行可靠比较。到TAR,有关人类活动对气候影响的证据越来越多,相关研究方法也得到了迅速发展。在这些技术进步的背景下,TAR给出的结论是“新的、更强的证据表明,近50年观测到的大部分增暖可归因于人类活动,这一结论是可能的(66%~90%的概率)”。随着资料和模式的进一步完善,AR4指出“20世纪中叶以来观测到的大部分全球平均温度的升高是由人类活动引起的,这一结论是很可能的(>90%的概率)”。之后,随着国际上大规模气候模式比较计划的实施以及观测、检测归因技术的发展,AR5进一步指出“自AR4以来,有关人类影响的证据有所增加。人为影响是造成观测到的20世纪中叶以来变暖的主要原因,这一结论是极有可能的(95%~100%的概率)”。AR5对20世纪中叶以来一半以上的温度升高是由人类活动造成这一认识的信度从AR4的90%以上提高到了95%以上,并基于更多的证据,对气候变化进行了定量的归因。除南极以外的所有大陆区域,人为强迫可能对20世纪中叶以来的地表温度升高作出了实质贡献。

针对除全球平均地表温度之外的其他变量变化的原因,在TAR之前的研究中基本没有出现。而在TAR之后,新的研究不断涌现。首先是对温度变化的检测归因从全球尺度发展到了区域尺度,其次是检测归因的对象扩展到了气候系统的五大圈层以及气候变化影响领域^[8]。TAR的评估表明,海平面高

度、积雪和海冰范围以及降水的变化与地球表面正在变暖的气候是一致的。这一结论仅仅给出了变化趋势的一致性,没有明确指出是否能在这些变化中检测到人为信号。基于TAR以来的研究,AR4的评估结果表明,按每个大陆(南极除外)平均,过去50年来可能已出现了显著的人为变暖。同时,可辨别的人类活动影响超出了平均温度的范畴,这些影响已扩展到了气候的其他方面,其中包括温度极值、风场、海平面和水循环等。而随着检测归因领域研究的进一步深化,AR5的最新结论表明,已经在大气和海洋的变暖、全球水循环的变化、冰冻圈退缩、全球平均海平面上升以及极端气候事件变化等诸多方面检测到人为影响。

从这些结论的演变可以看到,国际科学界对气候变化检测归因的认识在不断深化,而这一系列的进展主要缘于观测资料和模式的改善以及在检测归因方法学上的不断发展。目前的观测资料更加详尽、时间序列更长、数量更多,观测资料的质量有了明显提高,并被大量使用在再分析资料中。结合这些综合信息,可提供有关大气、海洋、冰冻圈和地表的变率和长期变化的综合视角。在模式方面,国际上近年来开展了一系列大规模的气候模式比较计划,研发出了具有更高分辨率以及对物理过程有更好表述的气候系统模式,同时发展了地球系统模式。这些模式的改进使得模式的可信度有了全面的提高,极大地改进了对当前气候的模拟能力。在检测归因的方法学方面,以最优指纹法为代表的一系列基于数理统计的检测归因方法得到了很大发展,包括从普通的最小二乘法到广义的最小二乘^[9]。同时通过考虑能量平衡等其他方法的引入,在对归因结果的量化方面也获得了进展。针对不同方法本身的缺陷,如基于时间序列的因果关系法对统计模型的依赖性和最优检测法对模式性能的依赖性,新的观测和模式结果的出现在一定程度上解决了这些问题。而单步和多步归因方法的界定和发展,也对一些无法直接归因的变量提出了新的检测归因途径。因此,这些方法的发展使得现在的科学认识水平达到了对温度等多变量变化进行归因,并能对一些结果进行量化的程度。

3 未来全球气候系统将继续变暖

未来气候的变化是科学界、决策者和公众共同关心的重要问题,尤其是十年到百年时间尺度上的气候变化预估。当前预估未来气候变化的主要工具是气候系统模式。气候系统模式是根据一套描述气候系统中存在的各种物理、化学和生物过程及其相互作用的数学方程组而建立的。自FAR以来,随着对气候系统中各种物理、化学、生物过程和它们之间相互作用的认识与理解程度的不断深化,以及计算机运算能力的不断提升,气候系统模式的发展取得了长足的进步,模式也变得越来越庞大和复杂。模式已从20世纪70年代简单的大气环流模式发展到如今耦合了大气、海洋、陆面、海冰、气溶胶、碳循环等多个模块的复杂气候系统模式。动态植被和大气化学过程也陆续被耦合到气候系统模式中,发展为地球系统模式。这些模式无论在物理过程还是在模式的分辨率上都较以前的模式有了显著的提高,这些改进有助于提高未来气候变化预估结果的可靠性。

预估未来气候变化还需要知道未来温室气体排放量或浓度水平、气溶胶以及其他人为驱动因子的信息,即所谓的排放情景。排放情景通常根据一系列因子假设而得到(包括人口增长、经济发展、技术进步、环境条件、全球化、公平原则等)。从FAR到AR5,所使用的情景在不断发展。FAR使用了4种情景(分别称为情景A、B、C、D)。SAR采用了6种IS92排放情景。2000年IPCC发布了《排放情景特别报告》(SRES),给出了基于多种假设下的6种排放情景。其中,SRES A2代表高排放情景,SRES A1B代表中排放情景,SRES B1代表低排放情景。SRES情景在TAR和AR4中得到应用。AR5中,IPCC又发展了一套新情景,称作典型浓度路径(RCPs),以相对于1750年的2100年近似总辐射强迫来表示。典型浓度路径包括RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0和RCP8.5共4种情景。RCP4.5接近于SRES B1;RCP6.0与SRES A1B相当;RCP8.5略高于SRES A2,与SRES A1FI相近;RCP2.6比任一SRES情景都低。与SRES情景中没有考虑气候政策不同,

RCPs 可以代表一系列 21 世纪的气候政策。

每次 IPCC 评估报告都提供一套未来气候变化预估信息。通过与观测结果进行对比,可以评估气候模式对近 20 年预估结果的可靠性。虽然气候模式的局限性可能导致预估的气候变化在严重程度、时间以及区域细节上存在不确定性,但其在几十年的发展历程中,能够很好地描述与近代全球气候变暖观测结果相符的图像。观测到的全球平均地表温度的变化位于所有 IPCC 预估结果的不确定性范围以内,并大致沿着中等排放情景下的预估结果而变化。观测到的大气 CO₂ 浓度的变化也位于预估范围以内。CH₄ 和 N₂O 的浓度变化位于预估范围的较低限处。由此可以认为,在目前的科技发展水平条件下,对未来全球气候变化趋势的预估是合理的。

关于未来气候的可能变化, FAR 指出,在高排放情景(情景 A)下,21 世纪气温将以每 10 年 0.2~0.5 °C 的速率上升。此后,随着模式模拟能力的提高和情景设计更为复杂,尽管存在不确定性,但历次评估报告始终提供一幅因温室气体浓度增加而引起未来全球气候变暖的明确图像。AR5 基于最新情景预估近期(2016—2035 年)全球平均地表气温可能比 1986—2005 年升高 0.3~0.7 °C,到 21 世纪末(2081—2100 年)将升高 0.3~4.8 °C。另外,与此前的评估报告相比,AR5 预估的要素更为丰富,如首次预估了空气质量变化。而且,AR5 还明确提出,未来全球气候变暖的程度,主要取决于全球 CO₂ 累积排放量,并定量给出了 2 °C 目标下的未来累积排放空间及选择。未来全球气候变暖将继续改变地球系统,如带来更多的极端事件,进一步造成海平面上升、全球山地冰川退缩、北极海冰范围减小等。TAR 以来的主要气候变化预估信息见表 1。

4 结论和讨论

IPCC 报告的初衷是为揭示人类活动在气候变化中的作用、气候变化对地球系统和人类社会的影响,并为未来提供应对这些变化的可能策略。在这一主

题下, FAR 的结构完全以一种由因到果的方式来构建,从人类对气候变化影响机理入手,分析了温室气体排放与气候变化的关系,介绍了气候模式的作用,进而给出了气候变化在各圈层的观测事实和未来可能变化。到 SAR 时,仍沿用这种因果关系的结构安排,与人类活动相关的各要素与气候变化的关系仍是报告的重点。但是与前两次报告相比, TAR 中加强了气候变化归因问题的分析。随着科学研究的进步和观测事实的增强, IPCC 评估报告中对人类活动与气候变化的关系有了更深入、更确切的认识。在 AR4 中,评估报告的结构进行了重新调整。从观测事实出发,然后对其变化进行归因,并对未来的可能变化作出预估。AR5 延续这一结构,基于科技手段的提升和新问题的出现,内容的广度和深度更为拓展,结论的信度进一步提高。上述分析表明, IPCC 报告的客观性和全面性在不断增强,进一步确认了全球气候变暖的事实,人类活动是造成近半个多世纪以来气候变化的主要原因,未来气候变暖将进一步加剧。

我国科技界在参与 IPCC 评估报告中的作用在不断增强。在 FAR 中我国只有 1 位主要作者, SAR 中有 2 位主要作者, TAR 中有 8 位主要作者, AR4 中有 10 位主要作者,在 AR5 中有 18 位主要作者。在气候系统模式研发方面也取得了显著进展,在 SAR 中,我国仅有中国科学院大气物理研究所的一个模式参加,到 AR5 时,我国有来自中国气象局国家气候中心、中国科学院大气物理研究所等多家单位的 6 个气候系统模式参加。在 AR5 中来自我国科学家的文献约占总数的 2.8%,比 AR4 时的 1.4% 约提高一倍。但是,总体而言,我国在关键结论的“话语权”仍不强,领域分布不均。在 AR5 中,比较有优势的领域在地表大气观测和区域气候现象,而在海洋和海平面相关领域与国际上仍有较大差距^[9]。因此,瞄准气候变化自然科学国际前沿,未来需要进一步加大对气候变化检测与归因、气候系统模式、气候变化近期和长期趋势预估和不确定性,以及升温与累积排放关系等关键科学问题的研究,提高我国气候变化科技影响力。■

表1 IPCC 第三次评估报告以来关于未来预估的主要结论
Table 1 Major projection conclusions of future changes in climate system since TAR

预估要素	TAR	AR4	AR5
全球平均地表气温	全球平均地表气温在1990—2100年期间将升高1.4~5.8℃	未来20年将每10年0.2℃的速率变暖。即使所有温室气体和气溶胶的浓度稳定在2000年水平，仍会以每10年0.1℃速率进一步变暖。到21世纪末(2090—2099年)全球平均地表气温比1980—1999年平均温度高1.1~6.4℃	相对于1986—2005年，2016—2035年期间全球平均地表气温将升高0.3~0.7℃，2081—2100年将升高0.3~4.8℃
降水	21世纪全球平均年降水量将增加	高纬地区的降水量很可能增多，而多数副热带大陆地区的降水量可能减少	21世纪全球湿润地区和干旱地区、湿季和干季间的降水差将增大
极端事件	酷热日数、热浪和暴雨事件趋于频繁，而寒冷日数将减少	热事件、热浪以及强降雨的频率很可能增加；最低温度升高要比最高温度快，导致日较差减小	大部分地区极端热事件会增多，极端冷事件会减少。热浪发生频率更高，时间更长；偶尔的极端冷事件也会出现；中纬度大部分陆地地区和湿润的热带地区的极端降水强度很可能加大、频率增高
海洋酸化		到21世纪末，表层海洋的pH值下降0.14~0.35	到21世纪末，表层海洋的pH值下降0.06~0.32
大西洋经向翻转环流		21世纪大西洋经向翻转环流将很可能减弱	21世纪大西洋经向翻转环流在RCP4.5情景下很可能减弱20%~30%；在RCP8.5情景下很可能减弱36%~44%
海平面	全球平均海平面高度在1990—2100年期间将上升0.09~0.88 m	21世纪末(2090—2099年)全球海平面高度将比1980—1999年上升0.18~0.59 m	21世纪末(2081—2100年)全球平均海平面高度将比1986—2005年上升0.26~0.81 m
冰冻圈	21世纪冰川将继续大规模退缩，北半球较厚的积雪、多年冻土和海冰范围将进一步减小，南极冰盖面积可能会增加，而格陵兰冰盖面积可能会减少	积雪范围将缩小，大部分多年冻土区域的融化深度增加，海冰范围退缩	到21世纪末，全球冰川体积将减小15%~85%，北半球春季积雪范围将减小7%~2.5%，近地表冻土面积将减小37%~81%。北极海冰范围全年将会减小，9月份减小43%~94%，2月份减小8%~34%
CO ₂ 累积排放空间		若将CO ₂ 浓度稳定在450×10 ⁻⁶ 和1000×10 ⁻⁶ ，21世纪累积排放分别为596 Gt C和1236 Gt C	如果将人为CO ₂ 排放单独引起的变暖限制在2℃以内(相对于1861—1880年)，在可能性>33%、>50%和>66%的条件下，则需要将所有人CO ₂ 累积排放量分别限制在大约1570 Gt C、1210 Gt C和1000 Gt C以内

参考文献

- [1] IPCC. Climate change 1990: the IPCC scientific assessment [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990: 1-365
- [2] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [M/OL]. Cambridge: Cambridge University Press, in press. 2013-09-30 [2013-09-30]. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_All.pdf
- [3] IPCC. Climate change 1992: the supplementary report to the IPCC scientific assessment [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992: 1-200
- [4] IPCC. Climate change 1995: the science of climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 1-572
- [5] IPCC. Climate change 2001: the scientific basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 1-881
- [6] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 1-996
- [7] Morice C P, Kennedy J J, Rayner N A, *et al.* Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble observational estimates: the HadCRUT4 data set [J]. *J Geophys Res*, 2012, 117, D08101
- [8] Hergerl G C. Good practice guidance paper on detection and attribution related to anthropogenic climate change [R/OL]. 2010 [2013-12-01]. <http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material>
- [9] Zwiers F W, Hergerl G C. Climate change: attributing cause and effect [J]. *Nature*, 2008, 453: 296-297
- [10] 吴灿, 贾朋群. 中国的声音在提高: 基于 IPCC 第五次评估第一工作组报告的文献计量分析 [J]. *气候变化研究进展*, 2013, 10 (1): 65-66

The Cognition Development of the Climate Change Physical Sciences on IPCC

Chao Qingchen, Zhou Botao, Sun Ying, Zhang Yongxiang, Huang Lei

National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

Abstract: In the past two decades, the cognition on the facts, causes and future trends of climate change has been strengthened due to the improvement of observational measures, the enhancement of analysis methods and the development of climate models. It is further confirmed that warming of the climate system is unequivocal, anthropogenic activity is the main cause of global warming since the mid-20th century and further warming will continue in the climate system in future. IPCC assessment reports on climate change have greatly promoted the progress of the physical sciences. They also lay the solid scientific foundations for adapting to and mitigating climate change.

Key words: IPCC; physical sciences; cognition; development