

## 编者按:

2013年9月27日, 政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 发布了第五次评估报告第一工作组报告决策者摘要。9月30日, 未经编辑的“第一工作组报告最终草案”在线发布。该报告由来自39个国家的209位主要作者和50位编审以及来自32个国家的600多位贡献作者历时6年之久共同完成。正如IPCC主席帕乔里所说, 第一工作组的报告对深入了解气候变化的科学依据非常重要, 它为研究气候变化对人类系统和自然系统的影响奠定了坚实的基础, 为应对气候变化的挑战提供了途径。为此, 本刊特别邀请了参与该报告编写的中国主要作者和编审, 对整个报告及各章的关键结论进行深度解读。专栏中使用的表示不确定性的术语定义来自“IPCC第五次评估报告主要作者关于采用一致方法处理不确定性的指导说明”(详见本刊2012年第2期孙颖等文), 在文中用斜体字表示。

doi:10.3969/j.issn.1673-1719.2014.01.001

秦大河, Stocker T, 259名作者和TSU (驻伯尔尼和北京). IPCC第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论 [J]. 气候变化研究进展, 2014, 10 (1): 1-6

## IPCC 第五次评估报告第一工作组 报告的亮点结论

秦大河<sup>1,2</sup>, Thomas Stocker<sup>3</sup>, 259名作者和TSU (驻伯尔尼和北京)

1 中国科学院冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000;

2 中国气象局, 北京 100081;

3 University of Bern, Bern 3012, Switzerland

**摘要:** IPCC第五次评估报告 (AR5) 第一工作组 (WGI) 报告的亮点结论, 是过去7年全世界气候变化科学研究成果凝练出来的精华。20世纪50年代以来全球气候变暖的一半以上是人类活动造成的。1971年以来人为排放温室气体产生热量的93%进入了海洋, 海洋还吸收了大约30%人为排放的CO<sub>2</sub>, 导致海表水pH值下降了0.1, 等等。采用全球耦合模式比较计划第五阶段 (CMIP5) 的模式, 预估未来全球气候变暖仍将持续, 21世纪末全球平均地表温度在1986—2005年的基础上将升高0.3~4.8℃。限制气候变化需要大幅度持续减少温室气体排放。如果将1861—1880年以来的人为CO<sub>2</sub>累积排放控制在1000 Gt C, 那么人类有超过66%的可能性把未来升温幅度控制在2℃以内 (相对于1861—1880年)。

**关键词:** 气候变化; 温室气体; IPCC AR5; WGI

### 引言

2013年9月23—26日在瑞典首都斯德哥尔摩举行的IPCC第一工作组 (WGI) 第12次全会逐行市议了第五次评估报告 (AR5) 决策者摘要 (SPM),

并于27日凌晨7时许通过。IPCC随即召开第36次全会, 审议并接受了报告全文——《气候变化2013: 自然科学基础》<sup>[1]</sup>。按照IPCC评估报告工作程序, 来自39个国家的259名科学家, 在WGI联合主席和工作组主席团领导下, 根据2007年第四次评估报告

收稿日期: 2013-12-06; 修回日期: 2013-12-16

资助项目: 国家重大科学研究计划项目 (2013CBA01808); 国家自然科学基金 (41275078); 国家科技支撑项目 (2012BAC20B05)

作者简介: 秦大河, 男, 研究员, 地理学家, 主要从事气候变化、冰冻圈与全球变化研究, qdh@cma.gov.cn

(AR4)<sup>[2]</sup>发布以来世界最新研究成果,全面评估了气候系统(指大气圈、水圈、冰冻圈、生物圈和陆地表面五大圈层)变化科学的进展,给出了若干新结论,成为本次评估的亮点,使气候变化科学上了一个新台阶,为气候变化科学的发展作出了贡献,为决策者应对气候变化提供了科学依据。本文仅对观测到的气候系统变化、气候变化的原因以及预估未来气候系统变化等方面的新结论予以简要推介。

## 1 观测到的气候系统变化

进入21世纪,高新技术的迅猛发展为气候变化

科学研究提供了更好的保障。2007年以来,随着卫星遥感技术的发展、观测站点设置和观测频次的调整、观测仪器性能的改善和精度的提高,获得的资料数量和质量显著提高。延伸了观测时段,扩大了观测内容,提高了观测精度,使气候系统各圈层变化的信息量大大增加,深化了我们对气候变化的理解,从多视角进一步证实和支持了AR4关于近百年全球气候变暖毋庸置疑的结论(图1)。

与AR4相比,大气圈和冰冻圈变暖的观测资料更加充分。1880—2012年,全球平均地表温度升高了0.85 [0.65~1.06] °C, 1951—2012年,全球平均地表温度的升温速率(0.12 [0.08~0.14] °C/10a)几

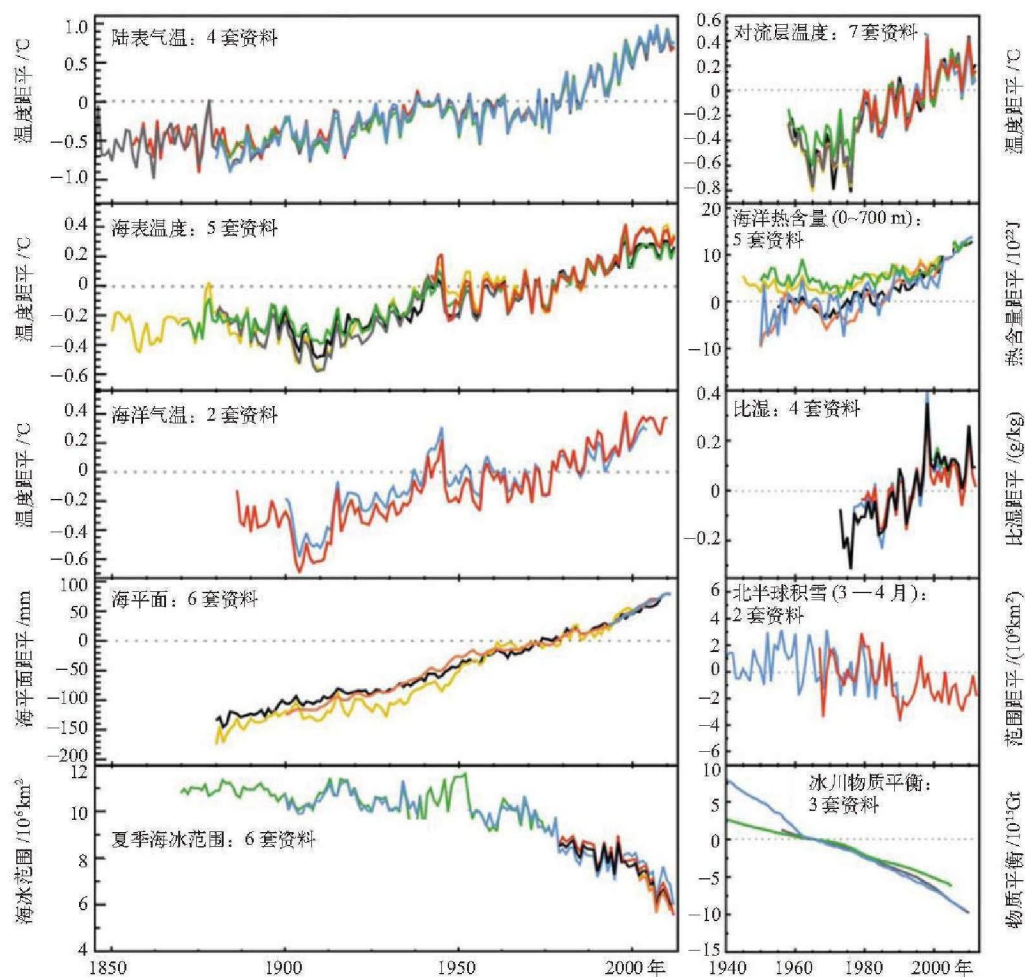


图1 1850—2012年全球气候变化的多种指标 (引自 AR5<sup>[1]</sup>技术摘要)

Fig. 1 Multiple complementary indicators of a changing global climate during 1850–2012 (from Technical Summary of AR5<sup>[1]</sup>)

① 本文中 AR4 及 AR5 均指第一工作组报告。

乎是 1880 年以来升温速率的两倍。过去的 3 个连续 10 年比之前自 1850 年以来的任何一个 10 年都暖。2002—2011 年间, 格陵兰冰盖的冰储量每年约减少 215 [157~274] Gt (1 Gt =  $10^9$  t), 南极冰盖每年约减少 147 [72~221] Gt。1971—2009 年间全球山地冰川平均每年约减少 226 [91~361] Gt 的冰体。1967—2012 年间北半球春季积雪范围每 10 年缩小 1.6% [0.8%~2.4%]。1979—2012 年间, 北极海冰范围缩小速率为每 10 年 3.5%~4.1%。自 1980 年代以来, 大多数地区多年冻土层的温度已经升高。

有关海洋热含量的结果是本报告的一个亮点。1971—2010 年间, 海洋上层 (0~700 m) 的热含量约增加了  $17 [15\sim19] \times 10^{22}$  J, 洋面附近的升温幅度最大, 75 m 深度以上的海水升温达  $0.11 [0.09\sim0.13]$  °C/10a。海洋在气候系统能量储存中占主导地位, 人类活动排放温室气体增加的净能量中有 60% 储存在上层海洋, 33% 储存在 700 m 以下的深层海洋, 3% 加热冰冻圈, 3% 加热陆地, 只有 1% 被用来加热大气圈 (图 2)。1901—2010 年间, 由于海水受热膨胀、

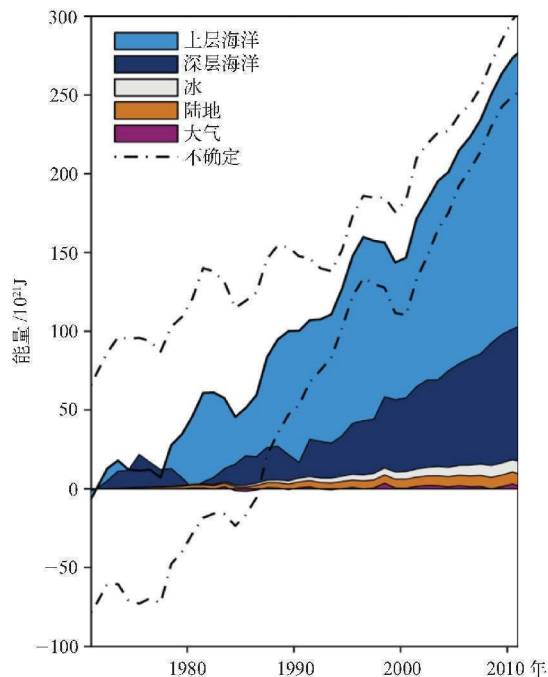


图 2 气候系统内能量累积分布 (相对于 1971 年)  
(引自 AR5<sup>[1]</sup> 第 3 章)

Fig. 2 Plot of energy accumulation (relative to 1971) within distinct components of Earth's climate system (from Chapter 3 of AR5<sup>[1]</sup>)

冰雪融水和陆地储水进入海洋, 全球海平面上升了 0.19 [0.17~0.21] m, 上升平均速率为 1.7 [1.5~1.9] mm/a, 是过去两千年里最高的。海平面上升近期不断加速, 1993—2010 年全球海平面平均上升速率高达 3.2 [2.8~3.6] mm/a。

1750 年人类社会工业化以来, 全球大气中  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  等温室气体的浓度持续上升。2012 年全球  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  的大气浓度分别达到  $393.1 \times 10^6$ 、 $1819 \times 10^9$  和  $325.1 \times 10^{13}$ , 分别比工业化前高出 41%、160% 和 20%, 为近 80 万年来最高。工业化以来温室气体浓度的增加主要是由使用化石燃料排放和土地利用排放造成的。1750—2011 年, 化石燃料燃烧和水泥生产释放到大气中的  $\text{CO}_2$  达 375 [345~405] Gt C, 毁林和其他土地利用变化估计已释放了 180 [100~260] Gt C, 所以人为  $\text{CO}_2$  累积排放量已达 555 [470~640] Gt C (图 3)。同时, 海洋吸收了大约 30% 人为排放的  $\text{CO}_2$ , 导致海表水酸化严重, 其 pH 值已经下降了 0.1, 相当于氢离子浓度增加了 26%, 这无疑会对海洋生态系统产生影响。

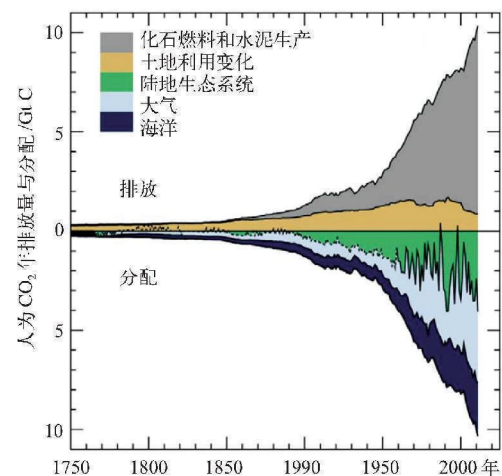


图 3 1750—2011 年间人为  $\text{CO}_2$  排放及其在大气、陆地和海洋中的分配 (引自 AR5<sup>[1]</sup> 技术摘要)

Fig. 3 Annual anthropogenic  $\text{CO}_2$  emissions and their partitioning among the atmosphere, land and ocean from 1750 to 2011 (from Technical Summary of AR5<sup>[1]</sup>)

简而言之, 观测结果进一步证实, 气候系统的变暖毋庸置疑。

## 2 气候变化的原因

改变地球能量收支的自然和人为强迫是气候变化的驱动因子，而辐射强迫可以定量描述自然和人为因素对气候变化的作用。正的辐射强迫值表示该因素导致地球表面和近地面大气变暖，负值则表示变冷。AR5 采用辐射强迫来量化不同驱动因子对气温变化的贡献，与 AR4 不同的是，AR5 引入了有效辐射强迫概念，这是 AR5 的又一亮点。

1750 年以来，总辐射强迫为正值，是导致气候系统变暖的主要原因。1750—2011 年人为总辐射强迫为 2.29 [1.13~3.33] W/m<sup>2</sup>，该值比 AR4 时计算的 2005 年的人为辐射强迫值 1.6 W/m<sup>2</sup> 高出 43%，比自然因素太阳辐照度变化产生的辐射强迫 0.05 [0.00~0.10] W/m<sup>2</sup> (AR4 为 0.12 [0.06~0.30] W/m<sup>2</sup>) 高出 40 多倍。工业化以来的大气 CO<sub>2</sub> 浓度的增加对总辐射强迫的贡献最大，CO<sub>2</sub> 排放产生的辐射强迫为 1.68 [1.33~2.03] W/m<sup>2</sup> (AR4 为 1.66 [1.49~1.83] W/m<sup>2</sup>)，

如果将其他含碳气体的排放也包括在内，CO<sub>2</sub> 的辐射强迫值将为 1.82 [1.46~2.18] W/m<sup>2</sup> (图 4)。由此可见，人为排放温室气体导致气候变暖的结论显而易见。

自 AR4 以来气候系统模式得到很大发展，模拟性能得到提高。模式能够再现观测到的大陆尺度地表温度型态和多年代际趋势，包括 20 世纪中叶以来的快速增温和大规模火山爆发后立即出现的降温。随着模式模拟能力的提高以及检测归因方法学的不断发展<sup>[4-5]</sup>，AR5 对近 60 年来的气温变化进行了量化归因。由图 5 可见，1951—2010 年间，温室气体造成的全球平均地表增温在 0.5~1.3 °C 之间，包括气溶胶降温效应在内的其他人为强迫的贡献在 -0.6~0.1 °C 之间。自然强迫的贡献在 -0.1~0.1 °C 之间，气候系统内部变率的贡献在 -0.1~0.1 °C 之间。综合起来，所评估的这些贡献与这个时期所观测到的 0.6~0.7 °C 的变暖相一致。由此表明，人类活动导致了 20 世纪 50 年代以来一半以上的全球气候变暖(概

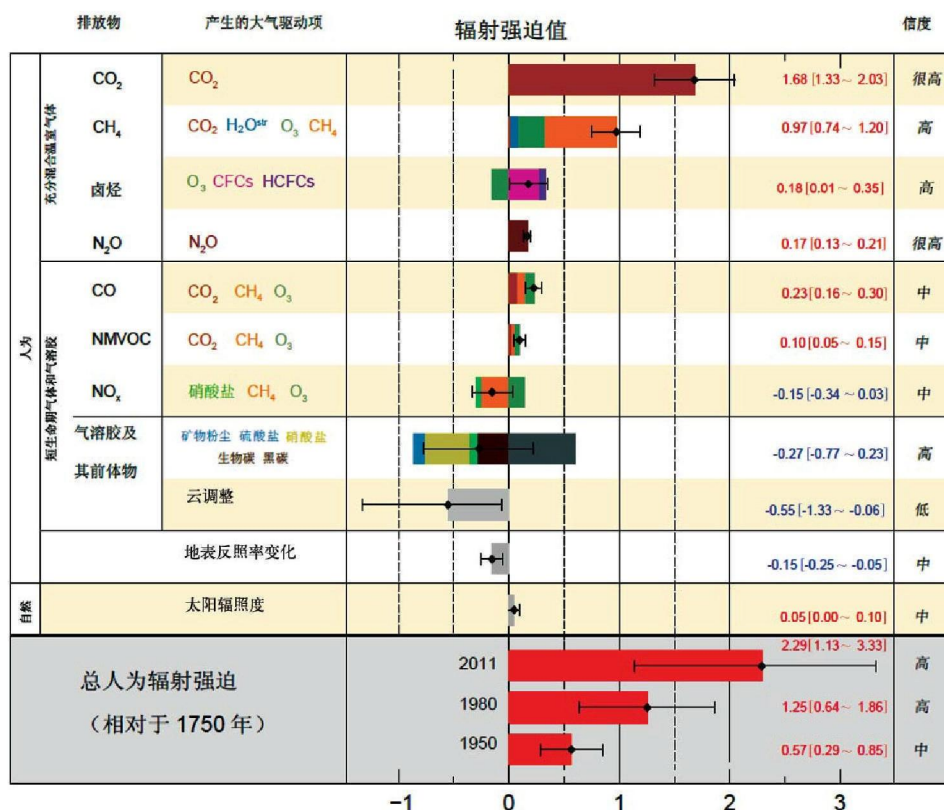


图 4 2011 年辐射强迫估算值及其范围 (相对于 1750 年) (引自 AR5<sup>[1]</sup> 决策者摘要)  
Fig. 4 Radiative forcing estimates and ranges in 2011 relative to 1750 (from SPM of AR5<sup>[1]</sup>)

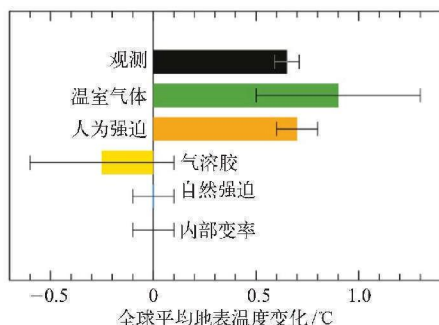


图5 不同因子对1951—2010年变暖趋势贡献的可能范围(须状图)和中间值(柱状图)(引自AR5<sup>[1]</sup>技术摘要)  
Fig. 5 Assessed likely ranges (whiskers) and their midpoints (bars) for warming trends over the 1951–2010 period due to different factors (from Technical Summary of AR5<sup>[1]</sup>)

率大于95%)。

在海洋变暖、水循环变化、冰冻圈退缩、海平面上升和极端事件变化等诸多方面,也检测到了人类活动影响的信号。为此,IPCC更加确信,近百年来人类活动对气候变暖发挥着主导作用。

### 3 预估未来气候变化

在AR5中,采用了CMIP5模式和新排放情景(典型浓度路径,RCP),预估未来气候系统变化。CMIP5模式耦合了大气、海洋、陆面、海冰、气溶胶、碳循环等多个模块,动态植被和大气化学过程也被耦合,被称为地球系统模式。RCP包括RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0和RCP8.5等4种情景。每种情景都提供了一种受社会经济条件和气候影响等的排放路径,并给出到2100年相应的辐射强迫值<sup>[6-7]</sup>。采用新的模式和情景,预估的准确性又有所提高,这也是AR5的亮点之一。

预估结果表明,继续排放温室气体将进一步升高全球温度。与1986—2005年相比,预计2016—2035年全球平均地表温度将升高0.3~0.7℃,2081—2100年将升高0.3~4.8℃。人为温室气体排放越多,增温幅度就越大。

未来全球气候变暖对气候系统变化的影响仍将持续。在未来变暖背景下,极端暖事件将进一步增多,极端冷事件将进一步减少,热浪发生的频率更高,时间更长,中纬度大部分陆地区域和湿润的热

带地区的强降水强度可能加大、发生频率可能增加,全球降水将呈现“干者愈干、湿者愈湿”的趋势。北极海冰将继续消融,全球冰川体积和北半球春季积雪范围也将减小,全球海平面将进一步上升。到21世纪末,9月份北极海冰范围将减小43%~94%,2月份将减小8%~34%;全球冰川体积将减小15%~85%;北半球春季积雪范围将减小7%~25%;全球海平面将上升0.26~0.82m。

AR5还指出,21世纪末期及以后时期的全球平均地表变暖主要取决于累积CO<sub>2</sub>排放量。要控制全球气候变暖,必须大幅度减少温室气体排放。AR5给出了2℃升温目标下的全球累积排放量。如果将1861—1880年以来的人为CO<sub>2</sub>累积排放量控制在1000 Gt C(约合3670 Gt CO<sub>2</sub>),那么人类有>66%的可能性把未来升温幅度控制在2℃以内(相对于1861—1880年);如果把人为CO<sub>2</sub>累积排放限额放宽到1570 Gt C(约合5760 Gt CO<sub>2</sub>),那么只有>33%的可能性实现温控目标。在高排放情景下,人类可能无法实现“升温不超过2℃”的预期目标(图6)。到2011年,人类已经累积排放了515 [445~585] Gt C(约合1890 [1630~2150] Gt CO<sub>2</sub>),未来留给人类的碳排放空间极其有限。因此,未来要实现“升温不超过2℃”的目标,需要全世界共同努力,大幅度减少温室气体排放。

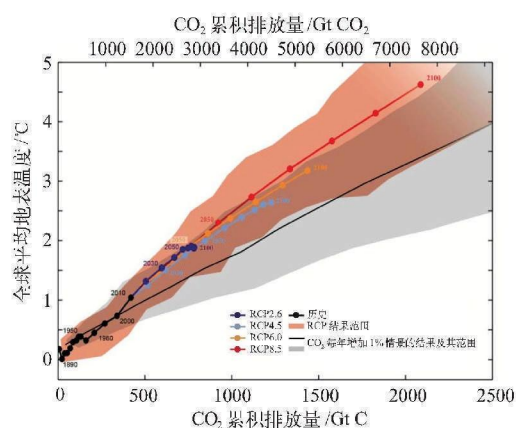


图6 以不同情景下全球CO<sub>2</sub>累积排放为函数计算的全球平均地表温度变化(相对于1861—1880年)(引自AR5<sup>[1]</sup>决策者摘要)

Fig. 6 Increase of global mean surface temperature relative to 1861–1880 as a function of cumulative total global CO<sub>2</sub> emissions from various lines of evidence (from SPM of AR5<sup>[1]</sup>)

## 4 结论与讨论

与AR4相比, AR5从多层面、多视角证实了近百年全球气候变暖的事实。人类活动影响气候系统的证据更多、更强, 在海洋变暖、水循环变化、冰冻圈退缩、海平面上升以及极端气候事件变化等诸多方面, 提供了人为因素导致气候变暖的新证据, 进一步确认人类活动影响是造成20世纪中叶以来气候变暖的主要原因(概率大于95%)。采用CMIP5模式和RCP情景对未来气候变化的预估结果表明, 温室气体浓度增加将加剧变暖, AR5明确指出全球采取应对气候变化行动的紧迫性。

IPCC AR5 WGI动员了全世界859名科学家, 引用了9200份气候系统科学的研究成果, 涵盖了全球气候变化科学领域的前沿。评估过程中, 各章主要作者回应了54677条意见和建议。最后, 经严格审议, 该报告在IPCC第36次全会上被与会的195个国家代表团接受。该报告全面客观地评估了气候变化自然科学领域自2007年以来的进步与亮点, 真实

反映了当今科学界对该学科的认识水平, 既为国际社会应对气候变化采取行动提供了科学依据, 同时也发展了气候变化科学, 普及了气候变化科学知识, 对保护环境、保护地球家园、保护人类自身而言, 作用和意义极其深远。■

### 参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [M/OL]. Cambridge: Cambridge University Press, in press. 2013-09-30 [2013-09-30]. [http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.Uq\\_d7KBRR1](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.Uq_d7KBRR1)
- [2] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 1-996
- [3] WMO. Greenhouse gas bulletin [R]. 2013
- [4] 王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. 气候变化的归因研究[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(4): 308-312
- [5] 孙颖, 尹红, 田沁花, 等. 全球和中国区域近50年气候变化检测归因研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(4): 235-245
- [6] Moss R H, Edmonds J A, Hibbard K A, *et al.* The next generation of scenarios for climate change research and assessment [J]. Nature, 2010, 463: 747-756
- [7] Taylor K E, Stouffer B J, Meehl G A. An overview of CMIP5 and the experiment design [J]. Bull Amer Meteorol Soc, 2012, 93: 485-498

## Highlights of the IPCC Working Group I Fifth Assessment Report

Qin Dahe<sup>1,2</sup>, Thomas Stocker<sup>3</sup>, 259 Authors and TSU (Bern & Beijing)

<sup>1</sup> State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, Lanzhou 730000, China; <sup>2</sup> China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; <sup>3</sup> University of Bern, Bern 3012, Switzerland

**Abstract:** Highlights of the IPCC Working Group I (WGI) Fifth Assessment Report (AR5) are the essence refined from the researches in the field of climate change physical science in the past seven years. More than half of the observed increase in global average surface temperature since the 1950s was caused by the human influence. Ninety-three percent of the energy resulting from the anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions since 1971 is stored in the ocean. Besides, ocean has absorbed about 30% of the emitted anthropogenic CO<sub>2</sub>, causing the decrease in pH of ocean surface by 0.1, etc. Based on the CMIP5 models, it is projected that global warming will continue. Relative to 1986–2005, the global mean surface temperature by the end of the 21st century will increase by 0.3 ~ 4.8 °C. Limiting climate change will require substantial and sustained reductions of greenhouse gas emissions. Controlling the warming caused by anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions alone with a probability of >66% to less than 2 °C since the period 1861–1880, will require cumulative CO<sub>2</sub> emissions from all anthropogenic sources to stay between 0 and about 1000 Gt C since that period.

**Key words:** climate change; greenhouse gas; IPCC AR5; WGI