

doi:10.7522/j.issn.1000-0240.2013.0120

Shen Yongping, Wang Guoya. Key findings and assessment results of IPCC WGI Fifth Assessment Report[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5): 1068—1076. [沈永平, 王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1068—1076.]

IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点

Key Findings and Assessment Results of IPCC WGI Fifth Assessment Report

沈永平¹, 王国亚²

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省科学院 地质自然灾害防治研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 2013年9月27日,在瑞典首都斯德哥尔摩,联合国政府间气候变化专门委员会第一工作组第五次评估报告《Climate Change 2013: The Physical Science Basis》决策者摘要(Summary for Policymakers, SPM)发布,随后于9月30日公布了报告全文。报告指出,全球气候系统变暖的事实是毋庸置疑的,自1950年以来,气候系统观测到的许多变化是过去几十年甚至近千年以来史无前例的。全球几乎所有地区都经历了升温过程,变暖体现在地球表面气温和海洋温度的上升、海平面的上升、格陵兰和南极冰盖消融和冰川退缩、极端气候事件频率的增加等方面。全球地表持续升温,1880—2012年全球平均温度已升高0.85℃[0.65~1.06℃];过去30a,每10a地表温度的增暖幅度高于1850年以来的任何时期。在北半球,1983—2012年可能是最近1400a来气温最高的30a。特别是1971—2010年间海洋变暖所吸收热量占地球气候系统热能储量的90%以上,海洋上层(0~700m)已经变暖。与此同时,1979—2012年北极海冰面积每10a以3.5%~4.1%的速度减少;自20世纪80年代初以来,大多数地区多年冻土层的温度已升高。全球气候变化是由自然影响因素和人为影响因素共同作用形成的,但对于1950年以来观测到的变化,人为因素极有可能是显著和主要的影响因素。目前,大气中温室气体浓度持续显著上升,CO₂、CH₄和N₂O等温室气体的浓度已上升到过去800ka来的最高水平,人类使用化石燃料和土地利用变化是温室气体浓度上升的主要原因。在人为影响因素中,向大气排放CO₂的长期积累是主要因素,但非CO₂温室气体的贡献也十分显著。控制全球升温的目标与控制温室气体排放的目标有关,但由此推断的长期排放目标和排放空间数值在科学上存在着很大的不确定性。

关键词: IPCC WGI AR5; 气候变化; 未来变化; 温室气体; 关键结论

中图分类号: P467 **文献标识码:** A

0 引言

2013年9月27日,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第一工作组(WGI)第五次评估报告(AR5)的决策者摘要(SPM)^[1]发布,拉开了IPCC第五次评估系列报告陆续发布的序幕。IPCC第五次气候变化评估报告第一工作组第十二次会议

于2013年9月23—26日在斯德哥尔摩召开,各国政府代表27日在斯德哥尔摩签署了IPCC第一工作组有关气候变化的自然科学基础报告的决策者摘要,随后报告全文于30日公布^[2]。新报告结合了39个国家259名作者的努力,引用了9200多篇科学论文和大量的科学数据,并进行了专家和政府部门的评审。AR5报告对2007年以来的气候变化研

收稿日期: 2013-10-15; 修订日期: 2013-10-20

基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2010CB951404; 2010CB951402); 国家自然科学基金项目(41201062; 41271083)资助

作者简介: 沈永平(1961—),男,陕西西安人,编审/研究员,1985年在中国科学院兰州冰川冻土研究所获硕士学位,现主要从事寒区水文与全球变化研究及科技期刊编辑。E-mail: shenyp@lzb.ac.cn

究新进展进行了全新的评估,为新一轮国际气候变化政策和行动提供新的科学支持。

IPCC 由联合国环境规划署(UNEP)和世界气象组织(WMO)于 1988 年成立,旨在评估科学、技术和社会经济相关信息,认识人类活动导致气候变化的相关风险及其潜在影响,以及减缓与适应选择。IPCC 本身并不进行气候变化的科学研究,也不从事气候相关数据的监测工作,而只是对全世界范围内经过仔细审议和已出版的有关气候变化的科研文献和技术资料进行评估并归结成评估报告予以发布,将人类有关气候变化的“现有知识”进行总结。IPCC 下设 3 个工作小组:第一工作组,解决气候系统和气候变化的科学问题;第二工作组,处理社会经济和自然系统对气候变化的脆弱性,以及气候变化影响与适应方案;第三工作组,处理削减温室气体排放和气候变化减缓的解决方案。IPCC 的主要工作成果包括评估报告、特别报告、方法报告和技术报告等。这些报告已成为气候变化领域的权威产品,被世界各国的决策者、科学家广泛使用。自 1988 年成立以来,IPCC 以其独有的专业性与权威性,在气候变化的全球治理工作中发挥了独特的作用,构建了世界各国政府决策者与科学家沟通交流的平台。IPCC 通过其历次评估报告赢得了极大尊重,并因为支撑气候政策和提高全球公众意识而获得 2007 年诺贝尔和平奖。

1 气候变化评估中不确定性的处理

由于自然气候系统极端复杂,具有内在混沌的特性,并包括各种时间尺度的非线性反馈,因此,气候变化无论观测、还是预估都存在不确定性^[3]。一些不确定性可用某些数值范围来表述,而另一些不确定性则可表述为专家对某些科学发现认识的信度。根据 IPCC 第五次评估报告主要作者关于不确定性一致处理的指导说明^[4],报告中依靠两种衡量标准传达重要发现的确定性程度:1) 根据证据的类型、数量、质量和相容性(如机理认识、理论、数据、模式、专家判断)以及一致性程度,对某项发现有效性的信度。信度以定性方式表示;2) 对某项发现的不确定性进行量化衡量,用概率表示。

第五评估报告中各项发现的不确定性评估与 IPCC 第四次评估报告中的不确定性^[5-7]评估进行直接对比很难做到,因为,第五次评估采用了修订后的不确定性指导说明^[4],并且涵盖了新的信息,科学认识上有所提高,对数据和模式开展了不间断

的分析,并且在评估研究中采用的方法存在具体差异。根据以上的规则,使用专门的术语评估和表述关键发现的不确定性:1) 证据的类型、数量、质量和一致性表述为“有限”、“中等”或“确凿”;达成一致的程度的表述为“低”、“中”或“高”。一般情况下,当具有多条独立的高一致性、高质量证据时,证据最确凿;2) 使用不同的限定词表示信度水平:“很低”、“低”、“中等”、“高”和“很高”。信度综合了作者团队对于结果有效性的判断,通过评价证据和一致性而确定。信度“低”和“很低”的结果应在主要关注的领域提出,并且应审慎地解释提出这些结论的理由^[3]。信度不应从概率角度解释,它不同于“统计意义上的信度”。

使用“可能性”量化不确定性。表 1 提供了描述“可能性”的术语^[1],用于表示某一事件或结果发生概率的估值。“可能性”可基于统计分析或模拟分析、专家观点的启发或其他量化分析。

表 1 可能性范围^[1]
Table 1 Likelihood scale^[1]

术 语 (Term)	结果的可能性 (Likelihood of the Outcome)
几乎确定(Virtually certain)	99%~100% 的概率
很可能(Very likely)	90%~100% 的概率
可能(Likely)	66%~100% 的概率
或许可能(About as likely as not)	33%~66% 的概率
不可能(Unlikely)	0~33% 的概率
很不可能(Very unlikely)	0~10% 的概率
几乎不可能(Exceptionally unlikely)	0~1% 的概率

注:可酌情在第五次评估报告中使用的其他术语(极有可能(extremely likely), 95%~100% 的概率;多半可能(more likely than not), 50%~100% 的概率;极不可能(extremely unlikely), 0%~5% 的概率)。

2 第五评估报告使用的温室气体排放情景

温室气体排放情景是对未来气候变化预估的基础。过去应用的情景设计是在 2000 年完成的,早就需要更新与补充^[6]。第五次评估报告采用了新一代情景^[1-2],称为“典型浓度目标”(Representative Concentration Pathways, RCPs)情景。这里,representative 表示只是许多种可能性中的一种可能性,用 concentration 而不用辐射强迫是要强调以浓度为目标,pathways 则不仅仅指某一个量,而且包括达到这个量的过程^[8]。4 种情景分别称为 RCP 8.5 情景、RCP6 情景、RCP4.5 情景及 RCP2.6 情

景^[9]：

(1) RCP8.5 情景. 这是最高的温室气体排放情景^[10]. 情景假定人口最多、技术革新率不高、能源改善缓慢, 所以收入增长慢. 这将导致长时间高能源需求及高温室气体排放, 而缺少应对气候变化的政策. 与过去的情景相比, 有两点重要改进: 1) 建立了大气污染预估的空间分布图; 2) 加强了土地利用和陆面变化的预估.

(2) RCP6 情景. 这个情景反映了生存期长的全球温室气体和生存期短的物质排放, 以及土地利用/陆面变化, 导致到 2100 年辐射强迫稳定在 $6.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. 根据亚洲-太平洋综合模式(AIM), 温室气体排放的峰值大约出现在 2060 年, 以后持续下降. 2060 年前后能源改善强度为每年 $0.9\% \sim 1.5\%$. 通过全球排放权的交易, 任何时候减少排放均物有所值.

(3) RCP4.5 情景. 这个情景是 2100 年辐射强迫稳定在 $4.5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. 用全球变化评估模式(GCAM)模拟, 模式考虑了与全球经济框架相适应的, 长期存在的全球温室气体和生存期短的物质排放, 以及土地利用/陆面变化. 模式的改进包括历史排放及陆面覆盖信息, 并遵循用最低代价达到辐射强迫目标的途径. 为了限制温室气体排放, 要改变能源体系, 多用电能、低排放能源技术, 开展碳捕获及地质储藏技术. 通过降尺度得到模拟的排放及土地利用的区域信息.

(4) RCP2.6 情景. 这是把全球平均温度上升限制在 2°C 之内的情景. 无论从温室气体排放, 还是从辐射强迫看, 这都是最低端的情景. 在 21 世纪后半叶能源应用为负排放, 应用的是全球环境评估综合模式(IMAGE), 采用中等排放基准, 假定所有国家均参加. 2010—2100 年累计温室气体排放比基准年减少 70%. 为此, 要彻底改变能源结构及 CO_2 外的温室气体的排放, 特别提倡应用生物质能、恢复森林.

其中, 前 3 个情景大体同 2000 年方案(SRES)

中的 SRES A2、A1B 和 B1 相对应, RCP 的简单情况如表 1 所示^[9,11].

3 观测到的气候系统变化事实

20 世纪 50 年代以来, 观测到的气候系统的许多变化是过去几十年甚至千年以来史无前例的, 包括: 大气和海洋的温度升高、冰雪覆盖面积减少、海平面上升, 以及大气中 CO_2 浓度的增加.

3.1 大气观测事实

过去 30 a, 每 10 a 地表温度的增暖幅度高于 1850 年以来的任何时期. 在北半球, 1983—2012 年可能是最近 1 400 a 来气温最高的 30 a, 21 世纪的第一个 10 a 是最暖的 10 a.

● 全球地表持续升温, 结合陆地与海洋的地表温度数据, 通过线性趋势计算 1880—2012 年全球平均温度已升温 0.85°C [$0.65 \sim 1.06^\circ\text{C}$]. 基于最长的数据库资料, 1885—1900 年平均和 2003—2013 年平均相差 0.78°C [$0.72 \sim 0.85^\circ\text{C}$].

● 整体来说, 已观察到的长期气候趋势呈现升温, 但受到自然变率的调节, 短期气候记录不见得会立即反映长期趋势. 如 1998—2012 年这 15 a 间, 地表平均以 10 a 升温 0.05°C 的趋势在上升, 较 1951 年以来每 10 a 平均升温 0.12°C 为少; 但若剔除 1998 强烈厄尔尼诺带来的高温影响, 1995—2009 年每 10 a 的升温趋势是 0.13°C 、1996—2010 年为 0.14°C 、1997—2011 年为 0.07°C .

● 20 世纪末的升温是横跨全球的, 虽然在大陆尺度恢复的中世纪暖期(AD950—1250)在一些地区的气温与 20 世纪末一样高, 但仅限于区域性升温, 并未像 20 世纪末一样是跨地域全球性的升温.

● 自 20 世纪中叶以来, 可以肯定的是全球对流层已经升温. 更完整的观测表明, 对流层温度变化在北半球温带的估算比其他地方的信度更高. 自 1901 年以来, 北半球中纬度陆地的降水量已经在增加.

● 极端天气和气候事件自 1950 年以来已有变

表 2 典型浓度目标^[9,11]

Table 2 Representative concentration pathways^[9,11]

情 景	描 述
RCP8.5	辐射强迫上升至 $8.5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 2100 年 CO_2 当量浓度达到约 $1\,370 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-3}$
RCP6	辐射强迫稳定在 $6.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 2100 年后 CO_2 当量浓度稳定在约 $850 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-3}$
RCP4.5	辐射强迫稳定在 $4.5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 2100 年后 CO_2 当量浓度稳定在约 $650 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-3}$
RCP2.6	辐射强迫在 2100 年之前达到峰值, 到 2100 年下降到 $2.6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, CO_2 当量浓度峰值约 $490 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-3}$

表 3 极端天气和气候事件的全球尺度评估^[1]

Table 3 Extreme weather and climate events: Global-scale assessment of recent observed changes, human contribution to the changes, and projected further changes for the early (2016–2035) and late (2081–2100) 21st century^[1]

现象和变化趋势	对已经产生变化的评估 (除另标明外, 通常是 自 1950 年以来)	对观测变化中 人类贡献的评估	未来变化的可能性	
			21 世纪早期 (2016–2035 年)	21 世纪晚期 (2081–2100 年)
大部分陆地地区的冷昼 和冷夜偏暖和/或偏少	很可能	很可能	可能	几乎确定
大部分陆地地区的热昼 和热夜偏暖和/或更加的 频繁	很可能	很可能	可能	几乎确定
暖期/热浪: 在大部分陆 地地区的发生频率和/或 持续期增加	在全球尺度上是中等信 度; 在一些地区(如, 欧 洲大部、亚洲和澳大利 亚)是可能	可能(通过一些热浪案例 看到一些地方发生可能 人类影响的概率大幅增 加)	没有进行正式评估(模型 预测近期的热浪和暖期 的时期、强度和范围在 增加)	很可能
强降水事件: 强降水发 生的频率、强度和/或降 水量增加	可能陆地上更多的地区 是增加而不是减少; 在 北美中部是很可能的	中等信度	在许多陆地上是可能的	在一些地区是可能, 但 在中纬度陆地的大部分 和湿润的热带地区是很 可能的
干旱的强度和/或干早期 增加	在全球尺度上是低信度; 在一些地区是可能(干旱 频率和强度在地中海和 西非可能是增加, 但在 北美和澳大利亚西北部 可能是减少)	低信度	低信度(由于对土壤水分 的预估低信度)	从区域到全球尺度上是 可能的(中等信度)(在区 域到全球尺度上预估的 土壤水分是减少, 在 RCP8.5 情景下到 21 世 纪末目前为干旱区的农 业干旱可能(中等信度) 会增加)
强热带气旋活动增强	在长期(世纪尺度)变化 上是低信度; 但自 1970 年以来在北大西洋是几 乎确定的	低信度	低信度	在一些洋盆较有可能
由极端高海平面所引发 的事件和/或幅度增加	自 1970 年以来是可能的	没有做评估	没有做评估	很可能

注: AR5 的预估是相对于 1986–2005 年, 除了特别注明, 情景使用新的典型浓度目标(RCP)情景。

化, 极端气候亦发频繁(表 3)。在全球范围内, 已观察到昼夜较寒冷的天数正在减少, 而昼夜较温暖的天数则在增加, 并且在北美及欧洲出现更频繁, 或是更剧烈的降水事件。已经观察到大部分陆地上的冷昼和冷夜呈偏暖和/或偏少, 而热昼和热夜呈偏暖和/或更加频繁; 同时, 暖期/热浪在大部分陆地上发生的频率和/或持续期也在增加, 在欧洲、亚洲及澳洲等地区热浪发生的频率正增加; 陆地上越来越多的地区出现强降水的频率、强度和/或降水量在增加。可以肯定的是, 自 1970 年以来北大西洋强热带气旋活动在增强, 从全球来看, 由极端高

海平面所引发的事件和/或幅度可能也在增加。

3.2 海洋观测事实

海洋变暖导致气候系统中储存的能量增加, 占 1971–2010 年储存能量的 90% 以上(高可信度)。海洋上层(0~700 m)在 1971–2010 年几乎肯定变暖, 而在 19 世纪 70 年代至 1970 年则有可能变暖。

● 从全球尺度来讲, 海洋升温最大的是在近表层, 1971–2010 年期间海面至水深 75 m 之间的表层海水以每 10 a 升温 0.11 °C 的速度在升温。在 1957–2009 年期间, 700~2 000 m 海深的海水可能已经变暖; 但 1992–2005 期间, 在 2 000~3 000 m 海深间没有观测到明显的升温趋势, 而在水深

3 000 m 以下直到海床的海温这段期间却在升温, 深层海水温度上升最多的地区是在南极海。

● 依据 1971—2010 年 40 a 相对完善的采样, 超过 60% 气候系统所增加的能量被储存在 0~700 m 的表层海水中, 30% 储存于 700 m 以下的海洋, 这说明 90% 新增的气候系统能量储存在变热的海洋。从线性趋势估计, 1971—2010 年表层海水的热含量(heat content)可能增加了 17×10^{22} J[(15~19) $\times 10^{22}$ J]。

● 自 1950 年代以来, 海洋上蒸发占优势的高盐度区盐度更加高了, 而降水占优势的低盐度区海水变的更淡了, 这提供的间接证据说明海洋上蒸发和降水已经发生了变化。

3.3 冰冻圈观测事实

过去 20 a, 格陵兰岛和南极冰盖已大量消失, 世界范围内的冰川继续萎缩, 而北极海冰和北半球春季积雪已呈持续减少的程度(高可信度)。

● 全球除冰盖周边冰川之外的冰川冰量损失, 在 1971—2009 年间平均速率很可能为每年损失 226×10^9 t $\cdot$ a⁻¹, 但在 1993—2009 年期间平均速率很可能为每年达到 275×10^9 t $\cdot$ a⁻¹, 显示出全球冰川退缩速度在增加。

● 格陵兰冰盖的冰量损失平均速率已经从 1992—2001 年每年 34×10^9 t $\cdot$ a⁻¹, 持续增加到 2002—2011 年的每年 215×10^9 t $\cdot$ a⁻¹, 反映出格陵兰冰盖冰量损失速率在极速增加。而在南极冰盖的冰量损失平均速率从 1992—2001 年的每年 30×10^9 t $\cdot$ a⁻¹, 增加到 2002—2011 年的每年 147×10^9 t $\cdot$ a⁻¹。这些融冰主要发生于南极半岛北部和南极西边的阿蒙森海。

● 在 1979—2012 年间, 年均北极海冰范围很可能每 10 a 以 3.5%~4.1% 的速度在减少(相当于每 10 a 减少 $45 \times 10^4 \sim 51 \times 10^4$ km² 海冰面积)。到了夏季, 海冰面积最小, 但这时段的多年冰的面积每 10 a 也以 9.4%~13.6% 的速度在减少(相当于每 10 a 减少 $73 \times 10^4 \sim 107 \times 10^4$ km² 海冰面积)。过去 30 a 来北极夏季海冰退缩与海水温度上升, 至少在 1 450 a 以来均属异常的。而南极海冰面积反而在增加, 在 1979—2012 年期间, 南极海冰范围很可能每 10 a 平均以 1.2%~1.8% 的速度增加(相当于每 10 a 增加 $13 \times 10^4 \sim 20 \times 10^4$ km² 海冰面积)。

● 自 20 世纪中叶以来, 北半球的积雪范围发生了减少。在 1967—2012 年间, 北半球 3、4 月间北半球积雪面积范围每 10 a 以 1.6% 速率在减少;

而 6 月的北半球积雪面积范围则每 10 a 以 11.7% 速率在减少。

● 自 1980 年代初期以来, 大多区域的多年冻土层温度在增加。已观测到阿拉斯加北部在 1980 年代初期至 2000 年代中期增温达 3 °C, 俄罗斯欧洲北部在 1971—2010 年增温达 2 °C。其中, 在俄罗斯欧洲北部多年冻土的厚度及面积在 1975—2005 年间有明显减小。

3.4 海平面观测事实

自 19 世纪中叶以来, 海平面上升的速度一直高于过去两千年的平均速率。在 1901—2010 年间, 全球海平面平均上升了 0.19 m [0.17~0.21 m]。

● 19 世纪末到 20 世纪初是海平面变化的过度期, 从前两千年的相对低平均上升率转变到相对高上升率。自 20 世纪初以来, 全球平均海面上升速率在持续增加。在 1901—2010 年期间, 全球平均海平面上升的平均速率是 1.7 mm $\cdot$ a⁻¹, 1971—2010 年到 2.0 mm $\cdot$ a⁻¹, 1993—2010 年到达 3.2 mm $\cdot$ a⁻¹ 的高速率。在 1920—1950 年期间, 海平面上升速度也可能达到这个高速率。

● 自 1970 年代以来, 观测到的海平面上升原因有 75% 可归因于海洋受热膨胀与冰川物质损失(高信度)。在 1993—2010 年, 上述原因促使海平面平均上升 2.8 mm $\cdot$ a⁻¹, 其中, 海洋受热膨胀贡献了 1.1 mm $\cdot$ a⁻¹, 冰川变化贡献了 0.76 mm $\cdot$ a⁻¹, 格陵兰冰盖贡献了 0.33 mm $\cdot$ a⁻¹, 南极冰盖贡献了 0.27 mm $\cdot$ a⁻¹, 陆地水储存贡献了 0.38 mm $\cdot$ a⁻¹。

● 在末次间冰期(距今 129~116 ka), 全球海平面持续几千年比现在高至少 5 m, 但不会超过 10 m, 当时温度至少比现在均温高 2 °C。在末次间冰期时, 格陵兰冰盖冰层的融化曾造成海平面上升 1.4~4.3 m。

3.5 碳与其他生物地球化学

大气中 CO₂、CH₄、N₂O 浓度已经上升到过去 800 ka 来的最高水平。CO₂ 浓度已经比工业革命前水平上升了 40%, 主要是由于化石燃料燃烧排放, 其次是由于土地利用变化的净排放。海洋吸收了 30% 的人为 CO₂ 排放量, 从而导致海洋酸化。

● 自 1750 年以来, 由于人类活动, 大气中的 CO₂、CH₄、N₂O 浓度皆有增加。到 2011 年, 大气中的 CO₂、CH₄、N₂O 浓度已经达到 391 mL $\cdot$ m⁻³、1 803 μ L $\cdot$ m⁻³、324 μ L $\cdot$ m⁻³, 分别超出工业化时代前的 40%、150%、20%; 与冰芯中的

CO₂、CH₄、N₂O 气体成份相比,这些温室气体浓度已经超过过去 800 ka 的最高浓度,是史无前例的;其过去百年大气温室气体浓度增加的平均速率在过去 22 ka 是未曾有过的。

● 在 2002—2011 年间,来自于化石燃料燃烧与生产水泥每年产生的 CO₂ 排放达到 8.3 GtC · a⁻¹;其中,2011 年 CO₂ 排放达到 9.5 GtC · a⁻¹,比 1990 年全球排放水平还要多 54%。在 2002—2011 年,人类土地利用变化产生的净 CO₂ 排放则达到年均 0.9 GtC · a⁻¹。以总量而言,在 1750—2011 年间,燃烧化石燃料与生产水泥贡献了 365 GtC,砍伐森林和其他土地使用变化估计则释放了 180 GtC,总计累积人为排放达 545 GtC。在已排放的温室气体里,其中,有 240 GtC 仍存在大气中,155 GtC 存于海水,150 GtC 积累在陆地自然生态系统中。海水吸收 CO₂ 后,酸碱度值(pH 值)逐渐改变。自工业化时代开始,海水酸碱值已经减少 0.1,相对的氢离子浓度增加了 26%。

4 气候变化的成因和归因

在给出全球变暖的证据后,报告探讨了全球变暖的原因。科学家用辐射强迫(Radiative forcing, RF)来衡量不同因素对气候变化的影响。某个影响因素的辐射强迫指它造成的对流层顶或大气层顶的能流变化,单位为 W · m⁻²。正的辐射强迫表示该因素会导致地表温度增加,负的则表示导致地表温度降低。总辐射强迫的加强已经导致气候系统的能量摄取,总辐射强迫的最大贡献是由 1750 年以来大气中 CO₂ 浓度增加所造成的。

与 1750 年相比,2011 年人类活动造成的辐射强迫达到 2.29 W · m⁻²,比第四次评估报告(AR4)中对 2005 年的评估高了 43%。温室气体(CO₂、CH₄、N₂O 和卤代烃)排放贡献了 3 W · m⁻²,其中,CO₂ 的辐射强迫为 1.82 W · m⁻²,CH₄ 为 0.97 W · m⁻²,与臭氧层破洞相关的卤代烃则为 0.18 W · m⁻²。云雾和黑碳气溶胶等气溶胶的辐射强迫贡献了 -0.9 W · m⁻²。相比之下,太阳活动变化(贡献 0.05 W · m⁻²)和火山喷发(仅在个别年份有影响)等自然因素的影响微乎其微。

在既有研究成果的基础上,AR5 给出了更为完善的气候模型。根据该模型,在 1951—2010 年间,温室气体的排放贡献了地表平均温度升高中的 0.5~1.3 °C;其他的人为影响,如气溶胶的增加等,贡献了 -0.6~0.1 °C;各种自然因素的影响在

-0.1~0.1 °C 之间。这一模型很好地解释了这一时期 0.6~0.7 °C 的升温。全球水循环的变化、冰雪的消融、海平面升高和某些极端天气的变化也与人类活动关系紧密。因此,报告认为人类活动极有可能(extremely likely, 95% 以上可能性)导致了 20 世纪 50 年代以来的大部分全球地表平均气温升高。

5 未来的全球和区域气候变化预估

5.1 未来气温的预估

除了 RCP2.6 情景之外的所有 RCP 情景下,全球地表温度变化到 21 世纪末相对于的 1850—1900 年可能超过 1.5 °C;在 RCP6 和 RCP8.5 情景下,相对于 1850—1900 年可能超过 2 °C;而在 RCP4.5 情景下,则更有可能不超过 2 °C。在除了 RCP2.6 情景之外的所有 RCP 情景下,变暖都将持续,但持续表现出年代际变率,并且区域变化是不均衡的。

● 全球平均气温到 2016—2035 年期间相较于 1986—2005 年,可能增温在 0.3~0.7 °C 的范围。根据 CMIP5 模式进行的模拟结果(表 4),在 RCP2.6 情景下,到 21 世纪末的 2081—2100 年,全球地表平均温度相比 1986—2005 年,可能升温在 0.3~1.7 °C 范围;在 RCP4.5 情景下,升温可能在 1.1~2.6 °C 范围;在 RCP6 情景下,升温可能在 1.4~3.1 °C 范围;在 RCP8.5 情景下,升温可能高达 2.6~4.8 °C 范围。同时,北极区域暖化的速率会比全球平均的速率快,陆地增温的速度也会比海洋变暖的速度快。

● 当地表均温上升,几乎可以确定大多数地方在平日与季节性的时间尺度下,将出现更多高温日数和更少的酷寒日数(表 3)。热浪发生的频率将可能增加且持续时间拉长,但是偶发性的冷冬仍会发生。

5.2 对水循环未来的预估

在 21 世纪,全球水循环响应气候变暖的变化将不是均匀的。尽管有可能出现区域异常情况,但潮湿和干旱地区之间、雨季与旱季之间的降水对比度会更强烈。

● 到 21 世纪末,在 RCP8.5 情景下,高纬度地区和热带太平洋区域的年降水量将会增加;许多中纬度的潮湿地区,平均降水也将增加。但在中纬度干燥地区与副热带的干燥地区,平均降水将减少。在全球持续变暖的趋势下,到 21 本世纪末,中纬度大部分陆地区域与热带区域的湿区,极端降水事件将很可能更剧烈并更频繁。

表 4 21 世纪中期和末期相对基准期为 1986—2005 年全球平均气温与全球平均海平面上升的预计^[1]Table 4 Projected change in global mean surface air temperature and global mean sea level rise for the mid and late 21st century relative to the reference period of 1986—2005^[1]

变量	情景	2046—2065 年		2081—2100 年	
		平均	可能范围	平均	可能范围
全球平均表面温度变化/℃	RCP2.6	1.0	0.4~1.6	1.0	0.3~1.7
	RCP4.5	1.4	0.9~2.0	1.8	1.1~2.6
	RCP6	1.3	0.8~1.8	2.2	1.4~3.1
	RCP8.5	2.0	1.4~2.6	3.7	2.6~4.8
全球平均海面上升/m	RCP2.6	0.24	0.17~0.32	0.40	0.26~0.55
	RCP4.5	0.26	0.19~0.33	0.47	0.32~0.63
	RCP6	0.25	0.18~0.32	0.48	0.33~0.63
	RCP8.5	0.30	0.22~0.38	0.63	0.45~0.82

● 以全球尺度而言,到 21 世纪末受到季风系统影响的区域可能会增加,季风强度可能会减弱,但是季风降水可能更加剧烈。季风开始时间可能会提早或不变,但因为季风结束的时间可能延迟,故造成季风季节的延长。

● 厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)现象在 21 世纪具有全球影响,仍将是 21 世纪影响热带太平洋年际变化最重要的因子。由于水汽的增加,造成与厄尔尼诺-南方涛动相关的降水在部分区域将可能增强。

5.3 对空气质量未来的预估

从全球来讲,地表增温会使近地表的臭氧减少。在 RCP8.5 情景下,CH₄ 浓度的增加将使得地表臭氧增加的幅度大于因增温减少的幅度,到 2100 年臭氧的浓度会比其他情景的模拟增加 25%。在所有其他条件相同下,受污染地区的地面气温偏暖时,将会增加地面臭氧和 PM_{2.5} 的浓度。

5.4 对海洋未来的预估

全球海洋将在 21 世纪持续变暖。热量将从海洋表层渗透到深海并影响海洋环流。

● 表面海水温度增暖最明显的地区位于热带和北半球副热带地区的海洋,但较深海水温度增暖最明显的区域是在南半球的海域。到 21 世纪末,上层 100 m 深的海洋增温大约为 0.6℃(RCP2.6 情景下)到 2.0℃(RCP8.5 情景下);在 1 000 m 左右深的海水温度,增幅约为 0.3℃(RCP2.6 情景下)至 0.6℃(RCP8.5 情景下)。

● 在 21 世纪,大西洋经向翻转环流(AMOC)很可能会减弱,在 RCP2.6 情景下减弱的幅度约为

11%,在 RCP8.5 情景下约为 34%。由于 AMOC 本身内部动力特性,约在 2050 年 AMOC 会减弱,某些年代时又会增强。在 21 世纪 AMOC 将可能不会有突然的改变或是崩解,然而若在持续较大的暖化趋势下,仍不排除 AMOC 仍会有瓦解的可能。

5.5 对冰冻圈未来的预估

由于全球平均地表温度上升,北极海冰覆盖面积将非常有可能继续萎缩和变薄,北半球春季积雪将很有可能减少。全球冰川体积将进一步减少。

● 通过多模式平均,预估到 21 世纪末北极海冰范围全年都会缩减,其中,在 9 月份 RCP2.6 情景下北极海冰面积会减少 43%,而在 RCP8.5 情景下减少可达 94%;在 2 月份 RCP2.6 情景下北极海冰面积会减少 8%,而在 RCP8.5 情景下减少可达 34%。依据部分对目前北极海冰覆盖面积模拟最接近的模式来评估,在 RCP8.5 情景下,9 月无冰的北极将可能在 2050 年前出现。随着全球气温不断上升,到 21 世纪末,南极海冰面积和体积可能会减少。

● 到 21 世纪末,预估的全球冰川(包括南极冰盖周围的冰川)储量在 RCP2.6 情景下会减少 15%~55%,而在 RCP8.5 情景下会减少 35%~85%。

根据模式平均,到 21 世纪末北半球春季积雪面积预估在 RCP2.6 情景下会减少 7%,而在 RCP8.5 情景下会减少 25%。

● 可以肯定的是,随着全球地表平均温度的上升,北半球高纬度的近地表多年冻土的面积将会减少。预计到 21 世纪末,北半球高纬度地区的近地面(上部 3.5 m)多年冻土面积,将较 20 世纪末将再减

少 37%(RCP2.6 情景)到 81%(RCP8.5 情景)。

5.6 对海平面未来的预估

21 世纪期间,全球平均海平面将继续上升。在所有的 RCP 情景下,海平面上升的速度很可能会超过 1971—2010 年的观测值。1971—2010 年观测到的海平面上升是由于进一步的海洋变暖和冰川与冰盖的物质损失引起的。

- 从表 4 关于未来海平面在 4 个 RCP 情景下的预估,与 1986—2005 年相比,2081—2100 年海平面最高将上升 0.82 m。到 2100 年,在 RCP8.5 情景下,海平面将上升约 0.52~0.98 m。

- 在所有 RCP 情景预估中,21 世纪全球平均海平面上升主因是受海水热膨胀影响,约占 30%~55%,冰川融化约占 15%~35%。格陵兰冰盖表面消融的增加将会超过降雪的增加,其表面冰雪物质平衡变化对未来海面上升起到正的贡献;南极冰盖消融较少,而降雪将会增加,其物质平衡变化将对未来海面上升起到负的贡献。但格陵兰冰盖与南极冰盖二者的融冰相加,到 2018—2100 年将使海平面上升 0.03~0.20 m。

5.7 对碳和生化化循环预估

气候变化将以加剧大气中 CO_2 浓度增加的方式影响碳循环过程。海洋对碳的进一步摄取会加剧海洋酸化。

- 在 4 个 RCP 情景下,到 2100 年海洋将继续吸收人为 CO_2 ,并且情景的 CO_2 浓度越高,吸收的越多。但未来陆地的固碳能力则尚不确定,有部分模式指出因受暖化影响,加上土地利用变化,将使得陆地固碳作用减弱。根据地球系统模式(ESM)的结果,在 21 世纪气候和碳循环之间的反馈是正的,气候变化将部分抵消陆地和海洋碳汇机制,而导致人为排放的 CO_2 会存留在大气中。在所有的 RCP 情景下,ESM 预估到 2100 年,最保守的讲,海水 pH 值将减少 0.06;而在严峻的升温情景下,海水 pH 值将减少 0.32。

- 依据来自 15 个地球系统模式(ESM)的预估结果,在 4 个情景下,2012—2100 年全球累积排放的 CO_2 最少 140 GtC,最多高达 1 910 GtC,表明人类排碳仍将持续增长。

- 若要限制和缩减全球变暖的幅度,只能以 RCP2.6 情景进行,则到 2050 年每年的 CO_2 排放量将要比 1990 年的排放量稍小(约 4%~96%)。依此情境到了 21 世纪末,一半模式推论是全人类排碳量将接近于零;另一半模式则推论必须移除大气已

存在的 CO_2 。

在 RCP8.5 情景下,到 21 世纪末因多年冻土的融化而释放出的 CO_2 或是 CH_4 将达 50~250 GtC。

6 气候的稳定性、气候变化的承诺和不可逆性

累积的 CO_2 排放量在很大程度上决定 21 世纪及以后的全球地表平均温度升高。气候变化的许多方面将持续多个世纪,即使停止 CO_2 排放。这代表了一个由过去、现在和未来的 CO_2 排放所造就的多个世纪的气候变化承诺趋势。

- 地表气温增暖的速率,基本上和大气中累积的 CO_2 排放量成正比,因此须将所有人为温室气体的累积排放量控制在 1 000 GtC 以内,才有 >66% 的机率,相较于 1861—1880 年的均温,将 21 世纪末的升温控制在 2 °C 以下。若考虑到其他非 CO_2 造成的升温,则至少要将排放量减至 800 GtC。然而至 2011 年,人类已排放了 531 GtC,要达到控温目标愈来愈渺茫。

- 因 CO_2 排放增加所导致的大部分人为的气候变化,在百年至千年的时间尺度上是不可逆的。同时,依不同的情景有将近 15%~40% 的 CO_2 排放量会存留在大气中超过 1 000 a 之久。若以 RCP2.6 情景来看,可以肯定的是,海平面高度在 2100 年后还是会随着全球增温继续上升;预计到 2300 年,若大气中的 CO_2 浓度达到 500 $\text{mL} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,海平面高度比工业革命前高不到 1 m;然而在 RCP8.5 情景下,届时 CO_2 浓度介于 700~1 500 $\text{mL} \cdot \text{m}^{-3}$ 间,海平面将上升 1 m 至超过 3 m。

- 全球大规模的冰盖物质减少,并可能造成更高的海平面上升,部分冰盖减少已成为不可逆的过程。当地表升温超过某一临界值的增暖幅度时,在千年或更长的时间内,格陵兰冰盖有可能全部融化,到时将引起海平面上升超过 7 m。目前,推估临界值相较于工业革命前约高于 1 °C,但是小于 4 °C。

7 结论

IPCC 第一工作组发布的第五次评估报告《气候变化 2013: 自然科学基础》是由几百名科学家历时 3 a 完成,其他工作组关于影响、减缓的部分和综合报告也将于明年发布。IPCC 本次评估报告给出数据说明,气候变暖的事实更为确凿。此次评估报告对整个气候系统进行了更客观科学的分析,和以

往相比,现在使用的观测资料在质量和数量都有了明显的提高,可以更全面、多角度、多样化的描述科学事实。同时,在气候模式方面,考虑了更多影响因子,加入了碳循环和动态植被等过程,对人类活动的认识有了更深入的认识。IPCC 报告在推动各国政府通过并实施《联合国气候变化框架公约》的过程中发挥了重要作用。

致谢: IPCC 第一工作组第五次评估报告发布之后,许多媒体、机构和专家对报告进行了报道和解读,这对我们理解和深入解读评估报告提供了很好的参考。我们在解读报告时,参阅了相关资料并引用了有关解读,由于资料来源多途径,不能逐一标注,在此一并对相关机构和专家表示衷心的感谢。

参考文献 (References):

- [1] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers[R/OL]. [2013-10-28]. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM_Aproved27Sep2013.pdf.
- [2] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment [R/OL]. [2013-10-30]. http://www.climate-change2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_All.pdf.
- [3] Sun Ying, Qin Dahe, Liu Hongbin. Introduction to treatment of uncertainties for IPCC Fifth Assessment Report[J]. Advances in Climate Change Research, 2012, 8(2): 150—153. [孙颖, 秦大河, 刘洪滨. IPCC 第五次评估报告不确定性处理方法的介绍[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(2): 150—153.]
- [4] IPCC. Guidance note for lead authors of the IPCC Fifth Assessment Report on consistent treatment of uncertainties [R/OL]. [2012-10-28]. http://www.ipcc-wg2.gov/meetings/CGCs/Uncertainties-GN_IPCCbrochure_lo.pdf.
- [5] Shen Yongping. Key results from summary for policymakers of IPCC WGI AR4 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(1): 156. [沈永平. IPCC WGI 第四次评估报告关于全球气候变化的科学要点[J]. 冰川冻土, 2007, 29(1): 156.]
- [6] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [7] Manning M R. The treatment of uncertainties in the Fourth IPCC Assessment Report[J]. Advances in Climate Change Research, 2006, 2(5): 233—237. [Manning M R. IPCC 第四次评估报告中对不确定性的处理方法[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(5): 233—237.]
- [8] 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.
- [9] Wang Shaowu, Luo Yong, Zhao Zongci, *et al.* New generation of scenarios of greenhouse gas emission [J]. Advances in Climate Change Research, 2012, 8(4): 305—307. [王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. 新一代温室气体排放情景[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(4): 305—307.]
- [10] Riahi K, Rao S, Krey V, *et al.* RCP8.5: a scenario of comparatively high greenhouse gas emissions [J]. Climatic Change, 2011, 109: 33—57.
- [11] van Vuuren D P, Edmonds J A, Kainuma M, *et al.* The representative concentration pathways: an overview [J]. Climatic Change, 2011, 109: 5—31.