

doi:10.12006/j.issn.1673-1719.2018.062

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

## 回顾 IPCC 30 年 (1988—2018 年)

### Review IPCC 30 years (1988—2018)

赵宗慈<sup>1,2</sup>, 罗勇<sup>1</sup>, 黄建斌<sup>1</sup><sup>1</sup> 清华大学地球系统科学系, 北京 100084; <sup>2</sup> 中国气象局国家气候中心, 北京 100081

IPCC 从 1988 年成立到现在, 已经走过了 30 年, 期间出版了 5 次评估报告, 每次报告包括气候科学、影响和对策报告以及决策者摘要, 还出版了 11 个特别报告, 6 个技术报告和 11 个方法学报告。2007 年 12 月 IPCC 获得诺贝尔和平奖, 表彰 IPCC 指出人类对气候的影响, 从而为保护人类生存的地球做出的贡献。本文简单综述 IPCC 的建立、5 次科学评估报告的主要进展以及展望, 着重回顾与综述 IPCC 的主题即在全球变暖科学研究方面的进展。

#### 1 IPCC 的建立

20 世纪 70—80 年代气候与气候变化研究逐步成熟<sup>[1-3]</sup>, 主要标志有以下几点。

(1) 观测资料的丰富, 气候监测、诊断和重建的发展: 气候监测和诊断即对全球气候系统进行全面的观测和数值分析, 随着全球常规和非常规观测站点空间范围 (不仅在大气、陆地, 而且在海洋和冰雪区域以及生物地区等) 的增加, 观测资料时间长度的增长, 以及观测工具与手段的丰富, 如增加雷达、船舶和卫星观测, 加之利用各种代用资料重建古气候特征及其变化, 从而提供了可靠的全球气候系统变化和变暖的事实基础。

(2) 科学认知的发展: 从经典气候学到全球气候系统概念的发展, 经典气候学只考虑温度、湿度和气压 3 个要素的特征和演变, 而全球气候系统概念涉及到地球气候系统 5 个圈层即大气、海洋、冰雪、岩石和生物圈, 这 5 个圈层之间复杂的相互作用和反馈过程, 形成了整个全球气候系统, 而其与自然外强迫如太阳活动和火山活动以及人类强迫如人类活动 (人口增加、能源消耗和土地利用等) 排放温室气体和硫化物气溶胶等有密切联系。

(3) 气候异常与灾害频发: 20 世纪 60、70 年代以来全球尺度的气候异常频发, 如西非干旱持续几十年, 造成水资源匮乏, 给人类赖以生存的最基本的饮水带来极大困难。而 1982—1983 年的强厄尔尼诺现象, 严重影响到与其有关的印度尼西亚、澳大利亚、印度和巴西的干旱以及中太平洋的多雨等, 造成全球经济损失高达 200 亿美元以上。气候异常和灾害频发提出需要进一步研究全球的气候变化规律, 并且进一步预测未来的气候变化以及是否会出现不可逆转的变化。

(4) 20 世纪的变暖: 随着全球观测气温的序列长度增加, 一些科学组的研究指出, 从 19 世纪末到 20 世纪 80 年代, 全球气温上升 0.6 °C, 约合每百年上升 0.5 °C, 这种变暖的特征在全球都明

资助项目: 科技部重点专项 (2017YFA0603700); 清华大学创新科学研究项目 (20131089357)

显, 尤以中高纬度更明显, 在四季都变暖, 尤以冬季增暖更明显。这引起科学界的极大重视, 进一步提出对全球变暖的检测、检验和原因的研究。

(5) 人类活动排放达到不可忽略: 人类大量燃烧矿物燃料, 砍伐森林, 农业种植发展, 造成温室气体明显快速增加, 自 1957 年以来美国夏威夷冒纳罗亚 (Mauna Loa) CO<sub>2</sub> 观测站进行精确测量, 到 1970 年代 CO<sub>2</sub> 浓度已经达到  $325 \times 10^{-6}$ , 而根据南极冰芯测量, 在工业化前 1700 年大气 CO<sub>2</sub> 浓度是  $280 \times 10^{-6}$ , 由此引起科学界的极大重视。科学家们需要研究, 碳和氮循环规律, 温室气体增加的气候影响是变暖, 其与 20 世纪的全局变暖是否有因果联系? 还会带来什么其他的气候影响?

(6) 计算机的发展和动力气候模式的发展: 随着计算机技术的不断发展, 从 20 世纪 50 年代到 70 年代, 短期数值天气预报取得了巨大的进展, 短期天气动力数值预报模式的建立促使天气预报从逐日到中期 5 d 和 10 d 预报的延伸, 有助于天气预报的准确率进一步提高。计算机的计算速度和储量的加大, 使得短期天气动力预测模式从单纯考虑大气分量到更多考虑其他分量如陆地、海洋及冰雪等, 初步建立了简单的全球和区域大气与混合层海洋模式, 为进一步研究地球气候系统提供了坚实的计算工具和动力模型。

(7) 国际组织的重视: 在以上诸方面的基础上, 世界气象组织 (WMO) 1979 年在瑞士日内瓦召开了第一次世界气候大会, 会上科学家们警告说, 大气中 CO<sub>2</sub> 浓度增加将导致地球升温, 气候变化第一次作为一个受到国际社会关注的问题提上议事日程。其后 WMO 建立了世界气候项目 (WCP)。

据此, WMO 和联合国环境署 (UNEP) 1988 年联合成立政府间气候变化专门委员会 (IPCC), IPCC 建立的主旨是评估气候变化的科学、影响与对策, 回答国际上的热点问题, 主要集中在以下几方面: 全球 (各圈层) 是否变暖 (包括近百年的变暖在历史气候和古气候时期的地位); 变暖的原因 (检测和归因); 人类活动 (包括排放, 土地利用变化等) 是否造成了全球变暖; 全球变暖的影响

(包括农业、水资源、海平面、林业、渔业、沿岸、生态、环境、安全、交通、军事、社会与经济等); 全球变暖的对策和策略 (包括排放对策、减排与减缓、适应、清洁能源和地球工程等); 未来是否继续变暖 (包括未来气候变化的近期预测与长期预估); 未来是否会出现突变和 / 或不可逆的变化。

## 2 IPCC 气候变化科学评估报告 30 年的主要进展

IPCC 的报告有多种, 这节只针对科学评估报告, 简述其主要成果。30 年来围绕气候与气候变化的科学研究很多, IPCC 的 5 次气候变化科学评估报告做了卓有成效的评估, 获得了丰富的成果, 以下给出一些主要成果, 如人类排放、全球变暖、全球变暖的检测和归因、气候模式的进步、21 世纪全球气温预估和极端事件变化的预估<sup>[4-8]</sup>。

### 2.1 人类排放

人类活动是引人关注的热点问题, 其中人类大量排放矿物燃料和土地利用变化等引起大气中温室气体的浓度明显增加, 以观测到的大气中的 CO<sub>2</sub> 浓度变化为例, 表 1 给出 5 次 IPCC 报告的观测数据, 相应还给出工业化前 1750 年的浓度和目前的浓度。从表中可见, (1) 自工业化以来, 由于人类排放增加, 大气中 CO<sub>2</sub> 浓度明显增加; (2) 1750 年 CO<sub>2</sub> 浓度为  $280 \times 10^{-6}$ , 而 2005 年达到  $379 \times 10^{-6}$ , 值得注意的是到 2017 年已经高达  $403 \times 10^{-6}$ ; (3) 人类需要重视减排和应对政策。

表 1 观测的大气中 CO<sub>2</sub> 浓度

Table 1 Observed CO<sub>2</sub> concentration in atmosphere

IPCC 评估报告	浓度 / $10^{-6}$
评估报告前 (工业化前)	280.0 (1750 年)
第一次 (1990 年)	353.0 (1990 年)
第二次 (1995 年)	358.0 (1994 年)
第三次 (2001 年)	365.0 (1998 年)
第四次 (2007 年)	379.0 (2005 年)
第五次 (2013 年)	390.5 (2011 年)
第六次评估报告前	403.0 (2017 年)

## 2.2 全球变暖

大量观测到的事实表明近百年全球变暖，尤其近 50 年变暖更明显，这种变暖在千年尺度都是明显的。表征全球变暖一般是用表面温度，而表面温度是观测的陆面气温和海面温度的联合。表 2 给出 IPCC 5 次科学评估报告提供的观测到的全球近百年温度变化趋势，表中还给出观测时段和对比的基准时段以及观测资料的套数。从表中注意到，(1) 5 次评估报告一致给出近百年全球变暖的特征，这是无可争议的事实；(2) 随时间推移，增暖更加明显，例如第一次报告（1990 年）给出近百年变暖 0.45 °C，而第五次报告（2013 年）给出的近百年变暖已经高达 0.85 ~ 0.89 °C；(3) 观测资料的质量提高，特别是海面温度的订正，以及陆面气温去城市化和去土地利用变化等；(4) 观测资料的套数从开始只有 1 套发展到有 3 套；(5) 由此提出需要进一步研究近百年全球变暖在古气候和历史气候中的地位以及变暖的原因，特别是与人类排放增加是否有联系。

## 2.3 全球变暖的检测和归因

全球变暖的原因在科学界是争议最大的议题之一，尤其是人类排放增加是否造成了全球变暖，因此近百年全球变暖的检测和归因随着科学研究的深入在 IPCC 科学报告中越来越占有重要的地位。表 3 给出 5 次报告做归因分析的主要工具和主要结论，从表中注意到：(1) 随着时间推移研究

的深入，越来越多的证据证实，人类活动是造成近百年全球变暖的主因；(2) 这个结论的可靠性逐渐增加，从第一次报告的“极少”，到第二次报告的“可识别”，到第三次报告的“可能 (>66%)”，第四次报告的“很可能 (>90%)”，最后到第五次报告的“极可能 (>95%)”；(3) 参加研究的全球气候模式的数量从第一到第三次报告的 3 ~ 5 个模式，发展到第四次 23 个模式，而第五次则高达 42 个模式；(4) 参加研究的模式的性能从第一次报告只是全球大气环流模式耦合混合层海洋模式到第五次报告使用包括 5 个圈层的地球系统模式；(5) 指纹法等数理统计方法更多地应用到近几次报告中来；(6) 用来对比的观测资料质量提高，数量增加；(7) 由此警示，为了保护人类赖以生存的地球，必须要重视减排等人类应该采取的相应措施。

## 2.4 气候模式的进步

全球变暖的检测和归因以及气候变化的预测和预估等研究都离不开气候模式，因此气候模式的可靠性被提到研究议程，需要通过对气候模式的模拟效果的定性和定量评估，来逐一回答各种问题和质疑。对气候模式的模拟效果的评估包括 5 个圈层的许多变量，评估主要针对气候平均态（全球和区域空间尺度）、气候趋势（年到多年时间尺度）、气候极值（包括灾害和特殊现象）和气候变率（多年代际、10 年、几年）。评估方法用气候模式的模拟结果与观测进行对比，采用数理统计

表 2 五次 IPCC 报告提供的观测到的全球近百年表面温度变化趋势

Table 2 Trends of observed global mean surface temperature change for the last 100 years based on IPCC reports

IPCC 评估报告	观测时段 (基准时段)	平均温度变化 (范围)/(°C/100a)	观测资料套数 (观测资料名)
第一次 (1990 年)	1861—1989 年 (1951—1980 年)	0.45 (0.3 ~ 0.6)	1 (CRU/UKMO)
第二次 (1995 年)	1861—1994 年 (1961—1990 年)	0.45 (0.3 ~ 0.6)	1 (CRU/UKMO)
第三次 (2001 年)	1861—2000 年 (1961—1990 年)	0.60 (0.4 ~ 0.8)	1 (CRU/UKMO)
	1901—2000 年 (1961—1990 年)	0.60 (0.4 ~ 0.8)	
第四次 (2007 年)	1906—2005 年 (1961—1990 年)	0.74 (0.56 ~ 0.92)	3 (GISS, HadCRU3, NCDC)
第五次 (2013 年)	1880—2012 年 (1961—1990 年)	0.85 (0.65 ~ 1.06)	3 (GISS, HadCRU4, NCDC MLOST)
	1901—2012 年 (1961—1990 年)	0.89 (0.69 ~ 1.08)	

注：第三次评估报告对观测资料进行海面温度订正，去城市化和土地利用影响，随后两次报告进行了进一步订正。

方法, 如计算偏差、相对误差、相关系数和线性趋势等。单个气候模式和多个气候模式的集成分别与观测进行对比。表 4 给出 5 次评估报告所用的全球气候模式数, 基本特征和模拟可靠性的评估。从表中注意到: (1) 参加评估的模式数从最初 20 多个到第五次报告有 46 个模式, 模式数翻一番; (2) 模式特征从开始只有全球大气环流模式, 到第

五次报告已经是包括 5 个圈层的地球系统模式, 更接近真实的地球系统; (3) 全球气候模式的各分量模式的水平与垂直分辨率都有明显提高; (4) 各分量模式的参数化方案有明显改进; (5) 一些复杂的过程如动力植被、动力海冰、大气化学、气溶胶、碳循环以及一些生物地球化学过程等逐渐加入到模式中; (6) 评估模拟的可靠性表明, 前三次报告

表 3 全球变暖归因  
Table 3 Attribution of global warming

IPCC 评估报告	方法	结论
第一次 (1990 年)	5 个全球大气环流模式耦合混合层海洋模式, CO <sub>2</sub> 加倍与控制试验对比, 简单数理统计方法	极少观测证据可检测到人类活动对气候的影响
第二次 (1995 年)	3 个全球大气耦合全球海洋环流模式, 考虑简单自然强迫和 CO <sub>2</sub> 每年增加 1% 与控制试验对比, 简单数理统计方法, 一套观测资料	一些证据表明可识别人类活动对 20 世纪气候变化的影响
第三次 (2001 年)	4 个全球大气耦合全球海洋环流模式, 考虑自然强迫、人类强迫和联合强迫, 1880—2000 年, 简单数理统计方法, 一套观测资料	近 50 年观测到的变暖的大部分可能是由于温室气体浓度增加造成的
第四次 (2007 年)	23 个全球大气耦合全球海洋与陆面和海冰模式, 考虑自然强迫、人类强迫和联合强迫, 1901—2000 年, 指纹法等数理统计方法, 一套观测资料对比	全球变暖不仅在表面, 而且在对流层和洋面以及海冰都检测到变暖信号, 20 世纪中期以来全球变暖很可能是人类活动造成的
第五次 (2013 年)	42 个地球系统模式和 15 个中等复杂程度模式, 考虑自然强迫、人类强迫和联合强迫, 1880—2005 年, 指纹法等数理统计方法, 3 套观测资料对比	在 5 个圈层都检测到变暖, 自 20 世纪中期以来全球变暖极可能人类活动是主因

表 4 气候模式简介  
Table 4 Brief introduction of climate models

IPCC 评估报告	全球气候模式数	基本特征	模拟可靠性
第一次 (1990 年)	22	全球多层大气环流耦合混合层海洋模式	平均: 中
第二次 (1995 年)	24	全球多层大气耦合多层海洋环流模式、热力学海冰模式	平均: 中至较高
第三次 (2001 年)	31	全球多层大气耦合多层海洋环流模式、陆面模式、热力学海冰模式	平均: 中至高
第四次 (2007 年)	23	全球多层大气耦合多层海洋环流模式、多层陆面与植被模式、海冰模式	平均: 中至高 趋势: 中 极值: 较差 变率: 较差
第五次 (2013 年)	46	地球系统模式: 全球多层大气、海洋、陆面与动力植被、海冰、大气化学、气溶胶、陆地碳、海洋生物地球化学	平均: 中至高 趋势: 中至高 极值: 中 变率: 中

更多的是评估对气候平均态的模拟效果的提高，而第四和第五次报告则对气候平均、气候趋势、气候极值和气候变率进行全面的评估，且显示有明显的改进；(7) 气候模式对气候极值和变率的模拟一直是软肋，有待对地球系统的认识的提高，从而对气候模式做进一步发展和改进。

### 2.5 21 世纪气温预估

政策制定者和公众更关心未来气候将如何变化，20 世纪的变暖是否一直持续到 21 世纪，全球气候变暖会带来什么极端气候事件和影响，21 世纪的百年会发生什么气候灾害，人类应该怎样应对等。在众多的问题中，科学研究较为成熟的是对 21 世纪气温变化的预估。气候预估主要采用的工具是气候模式，人类排放情景在第一次报告时是采用继续照常排放方案，即人类不采取减排的方案；第一次补充报告和第二次评估报告都采用的是 IS92a 等 6 种排放方案，大体相当于 CO<sub>2</sub> 每年增加 1% 的水平；第三次和第四次评估报告采用的是 SRES 3 种方案，即 SRES A2（高排放）、A1B（中排放）和 B1（低排放）；第五次评估报告采用的是 RCP 4 种路径，即 RCP2.6（低排放）、4.5（中低排放）、6.0（中高排放）和 8.5（高排放）。表 5 给出 IPCC 的 5 次科学评估报告中多个气候模式集合考虑多种人类排放情景下，到 21 世纪后期（或达到 CO<sub>2</sub> 加倍）相对于目前气候全球表面温度变化预估的最佳估算值和范围。从表

中得到：(1) 5 次报告一致表明，由于未来人类排放继续增加，到 21 世纪后期，全球将继续明显变暖；(2) 变暖的幅度随气候模式的不同和排放方案的不同而不同，平均变暖 1.0 ~ 4.0 °C，最低 0.3 °C，最高 6.4 °C；(3) 由于变暖的程度取决于人类未来采取什么样的排放路径，因此控制人类排放，采取有序排放是重要的对策；(4) 在未来气候变化预估中，气候模式扮演了主要角色，因此模式的可靠性是保证预估可信度的重要基础。

### 2.6 21 世纪极端事件预估

未来极端天气和气候事件如何变化是预估的又一个重点，IPCC 评估的极端事件包括极端最高与最低温度的变化、热浪、强降水、干旱和强热带气旋等，评估包括对 20 世纪极端天气和气候事件特征的评估、归因评估和 21 世纪的预估的评估。采用的方法类似对温度的预估，即用多个全球气候模式考虑各种人类排放情景，计算 20 世纪和 21 世纪极端事件的变化。对 21 世纪的预估的可信度进行评估，则根据模式的数量和模式预估的一致性来判断可信的程度。表 6 给出 5 次 IPCC 科学报告多气候模式多排放情景，预估 21 世纪后期全球极端天气和气候事件，如热浪（频率增加，持续时间加长，强度加强）、强降水（频率增加，强度增强）、干旱（强度和 / 或持续时间增加）、强热带气旋活动（增加）出现的可能性。从表中注意到：(1) IPCC 第一和第二次评估报告虽然给

表 5 5 次 IPCC 报告多模式多排放情景给出的全球 21 世纪后期或达到温室气体加倍时相对于目前气候的全球表面温度变暖预估

Table 5 Projected global mean surface temperature warming by the end of the 21st century or double CO<sub>2</sub> relative to present time based on the IPCC reports

IPCC 评估报告	排放情景	最佳估算值 / °C	范围 / °C
第一次 (1990 年)	照常排放	3.7	1.9 ~ 5.2
补充报告 (1992 年)	IS92a 等 6 种	1.9 ~ 3.8	0.3 ~ 5.3
第二次 (1995 年)	IS92a 等 6 种	2.0 ~ 3.2	1.0 ~ 4.6
第三次 (2001 年)	SRES A2, A1B, B1	2.2 ~ 3.0	0.9 ~ 5.8
第四次 (2007 年)	SRES A2, A1B, B1	1.8 ~ 4.0	1.1 ~ 6.4
第五次 (2013 年)	RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5	1.0 ~ 3.7	0.3 ~ 4.8
综合结果	多种排放情景	1.0 ~ 4.0	0.3 ~ 6.4

表 6 5 次 IPCC 科学报告多气候模式多排放情景, 预估 21 世纪后期全球极端天气和气候事件 (热浪、强降水、干旱和强热带气旋活动) 出现的可能性

Table 6 Possibility of extreme weather and climate events: heat waves, heavy precipitation, drought and intense tropical cyclone activity in the late 21st century as projected by multiple climate models with various emission scenarios based on five IPCC reports

IPCC 评估报告	热浪 (频率增加, 持续时间加长, 强度加强)	(1) 强降水 (频率增加, 强度增强) (2) 干旱强度和 / 或持续时间增加	强热带气旋活动增加
第一次 (1990 年)	无评估	无评估	无评估
第二次 (1995 年)	无评估	无评估	无评估
第三次 (2001 年)	很可能	(1) 大部分陆地很可能 (2) 部分中纬度内陆可能	可能
第四次 (2007 年)	很可能	(1) 许多区域可能 (2) 一些区域可能	一些海域也许可能
第五次 (2013 年)	很可能	(1) 大部分中低纬度很可能 (2) 区域到全球尺度可能	北大西洋和西北太平洋也许可能
综合结果	很可能	(1) 许多地区很可能 (2) 一些区域可能	一些海域也许可能

注: 基本肯定 (> 99%), 很可能 (90% ~ 99%), 可能 (66% ~ 90%), 也许可能 (33% ~ 66%), 不可能 (10% ~ 33%), 极不可能 (1% ~ 10%), 完全不可能 (< 1%)。

出了一些极端事件预估, 但是由于气候模式较少, 因此没有进行可信度评估, 从第三次报告开始做可信度评估; (2) 大量气候模式一致预估, 很可能 (90% ~ 99%) 21 世纪后期热浪频率增加, 持续时间加长, 强度加强; (3) 很可能 (90% ~ 99%) 许多地区强降水频率增加, 强度增强; (4) 一些地区可能 (66% ~ 90%) 干旱强度和 / 或持续时间增加; (5) 一些海域也许可能 (33% ~ 66%) 强热带气旋活动增加; (6) 必须强调的是, 由于以气候模式数量和一致性程度作为可信度的衡量标准, 因此气候模式的质量就成为评估的重要基础。

### 3 展望

综上所述, IPCC 的 5 次科学评估报告越来越明确地强调: 大量和多种观测资料证实, 近百年全球变暖, 尤以近 50 年更明显, 变暖在千年都是明显的; 检测和归因研究表明, 人类排放增加大气中 CO<sub>2</sub> 等温室气体的浓度, 很可能是造成全球变暖的主因; 越来越多的气候模式参与并考虑人类排放继续增加, 一致预估 21 世纪全球将继续变

暖, 很可能热浪频率增加, 持续时间加长, 强度加强; 全球变暖对各个领域的影响是明显的, 人类应该采取措施减缓和减排, 如增加清洁能源的使用等。

预计随着科学研究的不断深化, IPCC 未来的评估报告也会涉及更多的领域和方面, 以科学评估报告为例来看可能拓宽或深入的领域有: (1) 观测到的事实, 将从原来侧重于大气圈的变化, 扩展到涉及更多的其他圈层观测到的变化; (2) 将更定量地评估自然强迫和人类强迫的效应及两者之间的比例; (3) 人类影响的归因分析, 将从原来更多地侧重于对温度变化的归因分析, 而深入到 5 个圈层更多变量变化的归因分析; (4) 各种全球循环和 / 或反馈以及机理的进一步深入研究, 如碳循环、水循环、气溶胶效应、生物地球化学循环等; (5) 未来气候变化的预测和预估, 需要加强对近期 (10 ~ 30 年) 气候变化的预测和预估; (6) 极端事件和灾害, 以及区域尺度的气候变化将更定量化和提高预估的可信度; (7) 全球和区域气候模式的进一步发展, 从提高分辨率到改善各种物理、化学和生物等参数化过程, 到大数据和超级计算

以及人工智能的利用；(8) 气候的突变和不可逆是否会发生，何时发生及其影响；(9) 制定更切实际的人类活动排放的多种方案，以提高近期气候变化预测和预估的准确率；(10) 古气候变化的借鉴；(11) 相应气候变化的影响和对策也需要有更多的深入研究；(12) 将更重视与时俱进的研究和评估，例如气候变暖停滞的原因，北冰洋过暖是否会引起冬季中高纬度的寒冬暴雪，全球变暖与 ENSO 的关系，全球变暖 1.5 °C 的思考，清洁能源和地球工程的气候效应，城市化的气候效应，土地利用的气候影响等<sup>[8]</sup>。

需要指出的是，对于 IPCC 的评估报告一直存在不同的声音，例如质疑全球变暖的事实，质疑人类对全球变暖是否起主要作用，质疑人类排放的效应，质疑变暖的影响是好为主还是坏为主，质疑观测资料的质量，质疑气候模式的可信度，等等。要回答和解决这些质疑，需要科学家对地球系统的认识的提高，这将更促进科学研究的发

展和深入，期待 IPCC 第六次评估报告和以后的报告将给出更多的评估。 ■

#### 参考文献

- [1] John H. Global warming: the complete briefing [M]. Lion Publishing PLC, 1994: 230
- [2] 王绍武. 气候系统引论 [M]. 北京: 气象出版社, 1994: 250
- [3] 王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. 全球变暖的科学 [M]. 北京: 气象出版社, 2013: 203
- [4] IPCC. Climate change 1990: the IPCC scientific assessment of climate change by IPCC WG I [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990: 365
- [5] IPCC. Climate change 1995: the science of climate change by IPCC WG I [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 571
- [6] IPCC. Climate change 2001: the scientific basis by IPCC WG I [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 873
- [7] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis by IPCC WG I [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 785
- [8] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis by IPCC WG I [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 1535