



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国低碳发展丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目

主编/解振华 杜祥琬

气候变化 科学问答

QIHOU BIANHUA KEXUE WENDA

丁一汇 主编

中国环境出版社



中国低碳发展丛书

主编/解振华 杜祥琬

“十二五”国家重点图书出版规划项目

气候变化 科学问答

QIHOU BIANHUA KEXUE WENDA

丁一汇 主编

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

气候变化科学问答 / 丁一汇主编. -- 北京 : 中国环境出版社, 2018.1
(中国低碳发展丛书)

ISBN 978-7-5111-2880-5

I. ①气… II. ①丁… III. ①气候变化—问题解答 IV. ①P467-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第040142号

审图号: GS(2018)245号

出 版 人 武德凯
责任编辑 丁莞歆 张秋辰
责任校对 尹 芳
设计制作 彭 杉

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67175507 (环境科学分社)
发行热线: 010-67125803 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2018年1月第1版
印 次 2018年1月第1次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 13.25
字 数 150千字
定 价 58元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

总 序

党的十八大报告提出，要“着力推进绿色发展、循环发展、低碳发展，形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式，从源头上扭转生态环境恶化趋势，为人民创造良好生产生活环境，为全球生态安全作出贡献”。2015年4月25日《中共中央 国务院关于加快推进生态文明建设的意见》发布，再次明确了“绿色发展、循环发展、低碳发展”的发展路径。实际上，低碳发展与绿色发展、循环发展有着本质上的相通性和工作方向上的一致性。低碳发展既是应对气候变化的战略，也是全球可持续发展的必由之路，对我国更有着紧迫的现实意义和长远的战略意义。

在我国，社会各界对“绿色发展”“循环发展”的理解比较清晰，相对而言，对“低碳发展”的认识仍有待提高。在“低碳发展”已成为全球发展大势、党和国家高度重视低碳发展的今天，有必要普及和传播有关知识，凝聚共识，强化行动，让我们的国家在这场绿色、低碳的国际比赛中力争走在世界的前列，也为人类的文明进步作出更大的贡献。

在这样的背景下，中国环境出版社策划并出版了《中国低碳发展丛书》，得到了相关政府部门和专家学者的支持和响应。

本丛书定位为高级科普丛书，读者对象是各级公务员、企业负责人、科技和教育工作者、大学生、研究生及对低碳知识感兴趣的公众，他们是我国低碳发展道路的创造者和实践者，希望本丛书能对他们有所助益。



本丛书由有关领域的著名专家、学者组成编委会并主持丛书及各分册的设计与撰写。丛书的结构包括低碳发展总论、气候变化科学知识、低碳产业、低碳交通、低碳建筑、低碳城市、低碳农林业、低碳能源、低碳发展的国际借鉴等相关内容，力求全套丛书具有科学性、系统性、新颖性、可读性。

本丛书的问世是绿色发展、低碳发展客观需求呼唤的产物，是众多专家、学者和中国环境出版社编辑辛勤付出的结果。由于时间仓促、作者水平有限，书中难免有不足和差错，诚望读者批评指正。

杜祥琬

2015年12月

序 言

气候变化问题是一门多学科交叉的科学问题，其时间跨度漫长，从几亿年前的古气候到现代百年的气候，包含了许多尺度的不同变率。在空间上，气候变化是一个全球性问题，它涉及整个气候系统演变的分布，也包括区域性气候的变化。近几十年来，随着全球变化与气候变化问题研究的进展，在对地球系统气候演变的科学认识方面，不论在深度上还是广度上都取得了许多重大的成果。对气候变化科学认识的加深，尤其是对人类活动在近代和将来气候变化中关键作用认识的不断提高，对全球采取一致的气候治理行动起到了十分重要的支撑作用。但是气候变化的科学是一个不断发展的科学领域，不少关键的科学问题和新的问题尚需进一步研究。公众的气候变化意识虽然有明显提高，但仍有一些问题甚至疑义需要阐明和解释。本书旨在为此作一些微薄的贡献。为了让读者更清楚、更直接地认识和理解气候变化科学中一些主要的问题，我们采用问答形式编写此书。本书共包括 31 个公众经常问到的问题，希望我们的问答能为有兴趣的读者开启探索更深入问题的解答之门。

感谢中国环境出版社的大力协助，也感谢宋亚芳与黎晨为此书的文字与插图做的精心编排和润色。

丁一汇

2017 年 10 月 30 日

编者的话

本书为“中国低碳发展丛书”其中的一个分册，考虑到作者提供的书稿中有大量的彩图，对于辅助读者理解文字的内容有很大帮助，这些彩图如果改用黑白印刷会影响其效果，故而本分册采用彩色印刷，与其他分册略有不同，特此说明。

目 录

第一章 什么是气候变化 /1

01. 什么是气候？气候和天气有什么关系？ /3
02. 什么是气候变化？人们是从什么时候开始关注气候变化问题的？ /5
03. 气候变化是如何改变气候平均状态和极值的？ /15
04. 什么是气候系统，它与气候变化有什么密切联系？ /19
05. 气候变化与环境问题有什么关联？ /21
06. 当今气候变化研究取得了哪些进展？是怎样取得的？ /25

第二章 近百年气候系统发生了哪些变化 /27

07. 如何知道气候系统发生了变化？ /29
08. 近百年全球气候系统是否发生了变化？气候系统变化的主要特征是什么？ /35
09. 近百年全球变暖在历史上有哪些不同特点？ /40
10. 本世纪初的变暖趋缓是否意味着气候变暖的结束？ /44
11. 气候变化为什么能影响极端天气气候事件和高影响天气事件的发生？ /49
12. 我国区域气候变化的特征是什么？与全球或其他区域有何异同？ /53
13. 目前气候变化自然科学结论中哪些是确定的？哪些是不确定的？ /58



第三章 古代地球气候发生了哪些变化 /65

- 14. 气候变化的证据是什么? /67
- 15. 过去的气候是怎样演变的? /78
- 16. 过去气候变化的主要原因是什么? /92
- 17. 气候突变发生过吗? /102

第四章 近百年气候变化的主要原因是什么 /107

- 18. 影响全球和区域气候变化的主要因素有哪些? /109
- 19. 人类影响因子如何对地球气候产生作用? /115
- 20. 自然影响因子是如何对地球气候产生作用的? /121
- 21. 影响气候变化的因素是怎么被检测出来的? 如何判定气候变化是由哪种主要因子造成的? /127
- 22. 本世纪初气候变暖趋缓是什么原因造成的? /133

第五章 气候变化对中国天气气候和环境产生了哪些影响 /141

- 23. 气候变化影响天气气候的原理是什么? /143
- 24. 气候变化对中国天气气候的影响有哪些? /147
- 25. 气候变化对中国环境会产生怎样的影响? /158

第六章 未来气候变化的趋势是什么 /169

- 26. 气候变化是能够预测的吗? /171
- 27. 如何预测未来气候变化的趋势? /172
- 28. 未来百年全球和中国气候变化的总体趋势是什么? /176
- 29. 未来极端事件的发生有什么新的特点? /182
- 30. 全球气候会不会发生突变? 会不会带来灾难性后果? /189
- 31. 对未来气候的变化为什么要确定一个阈值? /193

参考文献 /200



第一章

什么是气候变化

01

什么是气候？气候和天气有什么关系？

英语中的气候（Climate）这个词来源于古希腊文，意为阳光倾斜的程度，指各地气候的冷暖与入射到地面的太阳光线的倾斜程度有关。低纬度地区阳光的倾斜程度小，太阳几乎在头顶上，热量丰富，气候就热；高纬度地区正好相反，由于阳光倾斜的程度很大，太阳就在地平线上不高的地方，热量较弱，气候就冷。汉语中的“气候”一词来源于我国古代的二十四节气、七十二候。早在秦汉时期我国就有了关于二十四节气、七十二候的完整记载：五天是一候，三个候是一个节气，六个节气是一个季节，四个季节是一年。从现代气象学的观点来看，气候是指一个地区多年时期内大气的平均状态，是该时段各种天气过程的综合表现。因此，气象要素（温度、降水、风等）的各种统计量是表述气候的基本依据。气候与天气虽然都是用来表述大气状况的名词，但天气指的是某一地区在某一短时间内的大气运动状况，而气候描述的是长时间的平均状态。

天气和气候的区别和联系可以举一个例子来说明：如果要描述北京和南京冬季的气候，我们可以说北京冬季的气候特征是寒冷干燥，而南京冬季的气候特征是阴冷潮湿，这也是中国南方和北方冬季最典型的气候特征。但如果我们要描述北京和南京冬季某一天的天气，如 2015 年 1 月 1 日，那么我们发现这一天北京的天气是晴，最低气温 -5°C ，最小相对湿度 15%，而这一天南京的天气是阴，最低气温 0°C ，最小相对湿度 50%。可以说，2015 年 1 月 1 日这天北京和南京的天气都体现了这一城市冬季的气候特征，即北京是寒冷干燥，南京是阴冷潮湿。但我们如果看冬季的另外一天的情况，如 2016 年 1 月 1 日，那么很可能北京在下雪，阴冷潮湿，而南京可能是晴天，相对湿度



也较低，寒冷干燥。这样一来，2016年1月1日这一天北京和南京的天气就不能很好地体现其典型的气候特征了。所以，我们说气候是各种天气过程的综合表现，哪种天气过程占优势，气候就更多地体现了这种天气过程的特征，但这并不意味着这个地区每一天每一刻的天气都能完全体现其气候特征。再举个例子，在修建机场的时候，机场跑道的走向一般要考虑和多年平均风向一致，这样更有利于飞机的起飞和降落；虽然机场的平均风向反映了机场风力变化的多年平均特征，但就每一架航班的起降瞬间而言，瞬时风有可能是顺风，也有可能是逆风或者横风。因此，天气和气候最主要的区别就在于天气反映当前状态的瞬时现象，而气候是多年平均的状态。

随着科学认识的发展，人们对气候的定义也经历了几个演变阶段。在20世纪以前（包括20世纪初的几年），气候被定义为地球大气的平均状态，即地球大气各个要素（温度、降水、气压、湿度、风等）在相当长一段时间内的平均值，及在此基础上以年为周期的振荡变化。也就是说，这个阶段对于气候的定义是多年平均的不随时间变化的定常态和以年为周期的时间变化的总和，其实质可以认为是“地理气候学”。进入20世纪以后，在70年代以前，气候更多地被定义为由大气的瞬时状态平均得到的影响一个地区的天气种类和频率等统计特点决定的天气活动的总和。之后，气候又被概括为在一段时间内大气众多状态的一个统计集合。这一时期对气候认知的两个阶段可以被分别认为是“天气气候学”阶段和“统计气候学”阶段。在70年代以后，人们更多地认识到，气候系统是包括大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈五大圈层相互作用的整体，任一圈层的变化都会对气候系统产生重要的影响。所以，现代气候的定义可以这样描述：气候是气候系统内部各成员之间相互联系、相互作用下达到的一种缓慢平衡的状态。

02

什么是气候变化？人们是从什么时候开始关注气候变化问题的？

前面我们已经说过，气候是大气状况的多年平均状态，温度、降水、风等气象要素的各种统计量是表述气候的基本依据。一个区域的气候并不是一成不变的，事实上，整个地球的气候也是不断发生变化的。在过去的地质年代里，地球的气候发生了剧烈的变化，其中，在过去 250 万年以来呈现出冰期与间冰期的旋回，工业化革命以来出现了显著的全球气候变暖，地球表面的气温、温室气体含量、冰雪覆盖、海平面以及其他生态与环境条件都出现了振荡和变化。

气候变化是指气候平均值和气候离差值（距平）出现了统计意义上的显著变化；平均值的升降表明气候平均状态发生了变化，离差值的变化表明气候状态的不稳定性增加，离差值越大说明气候异常越明显。气候变化是一个与时间尺度密不可分的概念，在不同的时间尺度下，气候变化的内容、表现形式和主要驱动因子均不相同

（图 1-1）。根据气候变化的时间尺度和影响因子的不同，气候变化问题一般可分为三类，即地质时期的气候变化、历史时期的气候变化和现代气候变化。万年以上尺度的气候变化为地质时期的气候变化，如冰期和间冰期旋回；人类文明产生以来（一万年以内）的

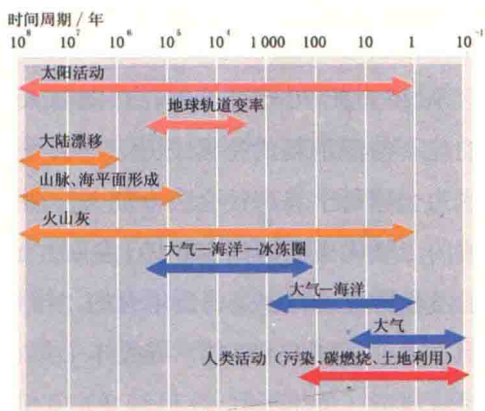


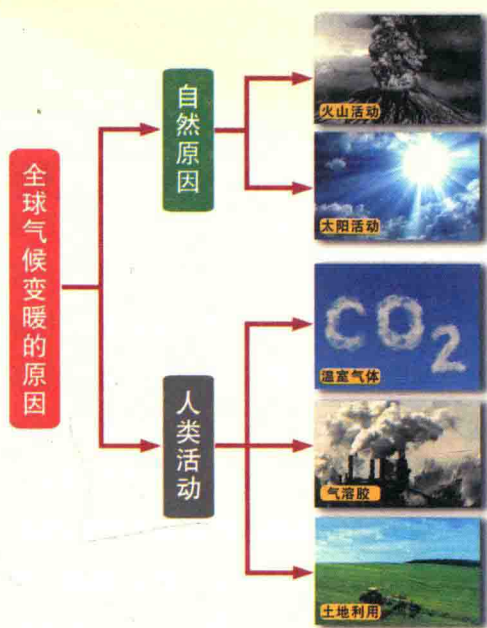
图 1-1 不同时间尺度上气候变化的主要原因

气候变化可纳入历史时期气候变化的范畴；1850 年有全球器测气候变化记录以来的气候变化一般被视为现代气候变化。

气候变化可以由自然原因引起，也可以由人为原因引起，或者由自然与人类活动的原因共同引起。在工业化革命之前，气候变化主要受太阳活动、火山活动以及气候系统自然变率等自然因素的影响。工业化时期以来，人类通过大量燃烧煤炭、石油等化石燃料向大气中排放了大量的二氧化碳等温室气体，使大气中温室气体的温室效应进一步增强，

全球气候出现了以变暖为特征的显著变化。人类活动产生的大量气溶胶粒子，直接影响大气的水循环和辐射平衡，这两种过程都会引起气候变化。人类活动还可以通过土地利用方式的变化，即通过改变地表物理特性影响地表和大气之间的能量和物质交换，从而使区域气候发生变化（图 1-2）。

从 20 世纪 70 年代开始，伴随着人类社会的日益工业化、现代化以及相应的化石能源消耗的持续上升、气候系统科学的不断发展，气候变化问题逐渐成为全球科学界和社会公众的关注热点。研究指出，2014 年全球人类活动排放的二氧化碳已达到 370 亿 t 左右，这一排放状态在地球过去 6 600 万年以来的漫长历史过程中是前所未有的，排放速率是 5 600 万年前的古新世—始新世极热事件（PETM 事件，详见本书第 17 个问题的解答）期间二氧化碳的最大排放速率（每年不到 40 亿 t）的 10 倍左右；这意味着过去的历史气候条件已无法为分析当前气候状况提供参照，人类在预测未来气候将如何发展演变



时将面临巨大挑战。

20 世纪 70 年代以来，国际社会开始了一系列从科学研究到气候变化科学评估和制定相关应对气候变化国际条约的行动。1979 年，第一次世界气候大会制订了世界气候计划及其四个子计划（即世界气候研究计划、世界气候影响计划、世界气候应用计划及世界气候资料计划），揭开了系统地对全球气候变化进行研究的序幕。1988 年 11 月，世界气象组织（WMO）和联合国环境规划署（UNEP）联合成立政府间气候变化专门委员会（IPCC），下设三个工作组，主要以科学问题为切入点，对全世界范围内现有的与气候变化有关的科学、技术、社会、经济方面的资料和研究成果作出评估。1988 年 12 月联合国大会（UNGA）根据马耳他政府“气候是人类共同财富的一部分”的提案通过了《为人类当代和后代保护全球气候》的 43/53 号决议，决定在全球范围内对气候变化问题采取必要和及时的行动，要求 IPCC 进行综合评估并提出建议。1990 年，IPCC 发布第一次评估报告，以综合、客观、开放和透明的方式评估了一系列与气候变化相关的科学问题，指出人类活动产生的各种排放正在使大气中的温室气体浓度显著增加，这将增强温室效应，从而使地表升温。IPCC 第一次评估报告的发布推动了 1992 年《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）的签署和 1994 年该公约的生效，为国际社会采取应对气候变化的共同行动提供了科学基础。

2013 年 9 月，IPCC 发布了第五次评估报告第一工作组报告，全面地阐述了科学界对气候变化科学问题的最新认知，明确指出近百年来全球地表和对流层大气温度的明显升高是全面分析多种观测数据所得出的确定结论，来自陆地、海洋和大气的数十种要素或指标也从海洋持续变暖、海平面上升速度加快、冰冻圈出现退却和消融等多方面证实了全球气候变暖的事实；人类活动是 20 世纪后半叶以来全球气候变暖的主要原因，只有考虑人类活动作用才能模拟出近百年来全球气候变暖的趋势，才能解释温度、水循环、冰冻圈以及极端天气气候事件等方面的变化；未来全球仍将持续变暖，极端事件的频率、持续时间和范围还将增加。

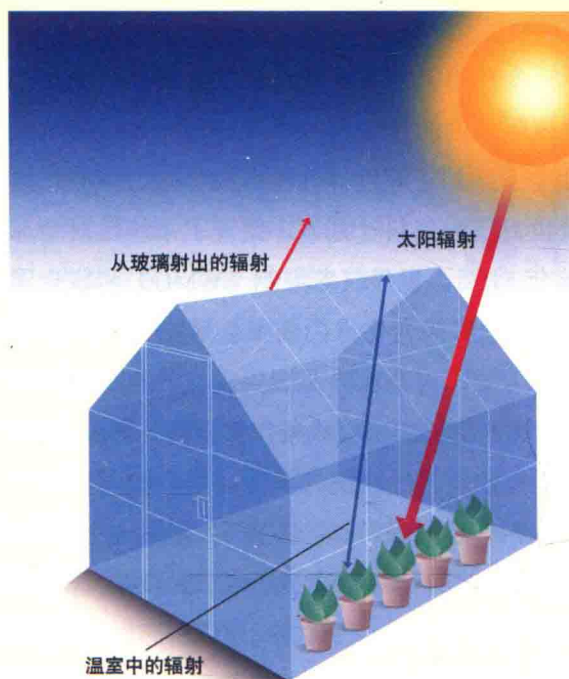


图 1-3 温室效应示意图

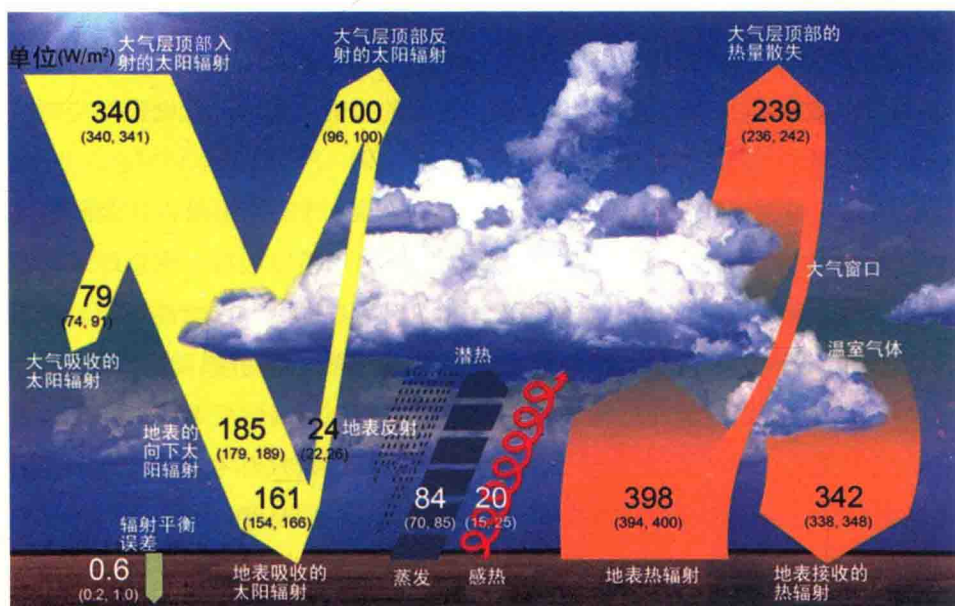


图 1-4 气候系统平均能量收支 (括号内是能量收支的不确定范围) (IPCC AR5, 2013)