



当代中国科普精品书系
应对自然灾害卷丛书

中国科普作家协会
中国科学院院士刘嘉麒
中国灾害防御协会

总策划
总主编
强力推荐



NATURAL DISASTER

地球气候的演变

——过去、现在和未来

主 编 丁一汇



科学普及出版社
POPULAR SCIENCE PRESS



当代中国科普精品书系
应对自然灾害卷丛书

地球气候的演变

——过去、现在和未来

主 编 丁一汇



科学普及出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

地球气候的演变——过去、现在和未来 / 丁一汇主编.
—北京: 科学普及出版社, 2016.1
(当代中国科普精品书系·应对自然灾害卷)
ISBN 978-7-110-09240-8

I. ①地… II. ①丁… III. ①气候变化—普及读物
IV. ① P467-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 225060 号

策划编辑	许 慧 张 楠
责任编辑	张 楠
责任校对	凌红霞
责任印制	张建农
装帧设计	中文天地

出版发行	科学普及出版社
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62103130
传 真	010-62179148
投稿电话	010-62176522
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	268千字
印 张	17
版 次	2016年1月第1版
印 次	2016年1月第1次印刷
印 刷	北京凯鑫彩色印刷有限公司

书 号	ISBN 978-7-110-09240-8 / P · 176
定 价	59.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

《当代中国科普精品书系》总编委会

(以姓氏拼音为序)

顾 问：王麦林 章道义 张景中 庄逢甘
主 任：刘嘉麒
副 主 任：郭曰方 居云峰 王 可 王直华
编 委：白 鹤 陈芳烈 陈有元 方 路 顾希峰 郭 晶
 郭曰方 何永年 焦国力 金 涛 居云峰 李桐海
 李新社 李宗浩 刘嘉麒 刘泽林 刘增胜 倪集众
 牛灵江 彭友东 任福君 孙云晓 田如森 汪援越
 王 可 王文静 王直华 吴智仁 阎 安 颜 实
 殷 皓 尹传红 于国华 余俊雄 袁清林 张柏涛
 张增一 郑培明 朱雪芬

《应对自然灾害卷》编委会

编 委：何永年 徐祥德 吴树仁 程晓陶 邹文卫

《地球气候的演变——过去、现在和未来》编委会

主 编：丁一汇

编 写 人 员：第一章：任国玉 初子莹 遇 蕾

第二章：柳艳菊 李巧萍

第三、四章：孙 颖

第五章：张 锦 宋亚芳

编写组秘书：宋亚芳



总 序

以胡锦涛同志为总书记的党中央提出科学发展观、以人为本、建设和谐社会的治国方略，是对建设中国特色社会主义国家理论的又一创新和发展。实践这一大政方针是长期而艰巨的历史重任，其根本举措是普及教育、普及科学、提高全民的科学文化素质，这是强国富民的百年大计、千年伟业。

为深入贯彻科学发展观和《中华人民共和国科学技术普及法》，提高全民的科学文化素质，中国科普作家协会以繁荣科普创作为己任，发扬茅以升、高士其、董纯才、温济泽、叶至善等老一辈科普大师的优良传统和创作精神，团结全国科普作家和科普工作者，充分发挥人才与智力资源优势，采取科普作家与科学家相结合的途径，努力为全民创作出更多、更好、高水平、无污染的精神食粮。在中国科协领导的支持下，众多科普作家和科学家经过一年多的精心策划，确定编创《当代中国科普精品书系》。

该书系坚持原创，推陈出新，力求反映当代科学发展的最新气息，传播科学知识，提高科学素养，弘扬科学精神和倡导科学道德，具有明显的时代感和人文色彩。书系由13套丛书构成，共120余册，达2000余万字。内容涵盖自然科学的方方面面，既包括《航天》《军事科技》《迈向现代农业》等有关航天、航空、军事、农业等方面的高科技丛书；也有《应对

自然灾害》《紧急救援》《再难见到的动物》等涉及自然灾害及应急办法、生态平衡及保护措施的丛书；还有《奇妙的大自然》《山石水土文化》等有关培养读者热爱大自然的系列读本；《读古诗学科学》让你从诗情画意中感受科学的内涵和中华民族文化的博大精深；《科学乐翻天——十万个为什么（创新版）》则以轻松、幽默、赋予情趣的方式，讲述和传播科学知识，倡导科学思维、创新思维，提高少年儿童的综合素质和科学文化素养，引导少年儿童热爱科学，以科学的眼光观察世界；《孩子们脑中的问号》《科普童话绘本馆》和《科学幻想之窗》，展示了天真活泼的少年一代对科学的渴望和对周围世界的异想天开，是启蒙科学的生动画卷；《老年人十万个怎么办》丛书以科学的思想、方法、精神、知识答疑解惑，祝福老年人老有所乐、老有所为、老有所学、老有所养。

科学是奇妙的，科学是美好的，万物皆有道，科学最重要。一个人对社会贡献的大小，很大程度上取决于对科学技术掌握及运用的程度；一个国家、一个民族的先进与落后，很大程度上取决于科学技术的发展程度。科学技术是第一生产力，这是颠扑不破的真理。哪里的科学技术被人们掌握得越广泛、越深入，哪里经济、社会就发展得越快，文明程度就越高。普及和提高，学习与创新，是相辅相成的，没有广袤肥沃的土壤，没有优良的品种，哪有禾苗茁壮成长？哪能培育出参天大树？科学普及是建设创新型国家的基础，是培育创新型人才的摇篮。我希望，我们的《当代中国科普精品书系》就像一片沃土，为滋养勤劳智慧的中华民族、培育聪明奋进的青年一代提供丰富的营养。

刘嘉麒

2011年9月



分卷序

地球是茫茫宇宙中一颗蓝色的星球，是我们人类诞生以来唯一的家园。地球，一方面以其宜人的气候和丰富的资源为人类的繁衍生息提供条件，另一方面又有各种各样频繁发生的自然灾害威胁着人类的生存，制约着人类社会的发展和进步。

自古以来，人类与自然灾害进行着不懈的抗争。在我国，“女娲补天”“后羿射日”“精卫填海”“鲁阳挥戈”“愚公移山”等古老的寓言故事折射出古人应对干旱、洪水、暴风雨、地震、火山喷发、山崩、滑坡、泥石流等自然灾害的思想和实践。虽然，随着人类社会经济、科技和文明的进展，人类预防和减轻自然灾害的能力得到增强，防灾减灾的效果也在提高，但是，总体上看人类在大自然面前还是渺小的，自然灾害依然是地球人类生死存亡所面临的重大威胁，也是人类文明进步的严重制约。

数千年来，特别是近数十年来人类与自然灾害周旋的经历和经验告诉我们，依靠科技进步、依靠灾害管理以及依靠公众参与是能否取得预防和减轻自然灾害的三个关键环节，而科技进步则是其中的核心，因为灾害的管理和公众的参与都需要以科技为基础。人们必须了解灾害的成因、特点和后果，才有可能找到预防和减轻灾害的途径。

作为《当代中国科普精品书系》的组成部分，本系列《应对自然灾害卷》包含了《当大地发怒的时候》《地球大气中的涡旋》《山崩地裂》《水多水少话祸福》和《地球气候的演变——过去、现在和未来》5册，分别讲述有关地震和火山喷发、热带气旋（如台风）、地质灾害（崩塌、滑坡、泥石流）、洪涝与干旱灾害以及全球气候变化等方面的科学内容。编者希望通过这些小册子向读者传递相关的知识，增强读者的防灾减灾意识，提高社会的防灾减灾能力。

我们说，灾害是可怕的，严重的灾害可能让我们在转瞬间遭遇灭顶之灾，使我们费尽九牛二虎之力积累起来的财富顷刻间付诸东流；但是，灾害又不可怕，因为今天人类掌握的科学技术和社会经济力量可以帮助我们有效地预防和减轻灾害，真正可怕的是对于潜在的灾害缺乏防范意识，对如何应对灾害缺少必要的知识。无灾时高枕无忧，优哉游哉；遭遇灾害时惊恐万状，茫然不知所措，这才是最要命的！

但愿这些科普书在提高读者科学素质的同时，还教会人们防灾减灾的知识，以确保个人平安、家庭平安、社会平安！

何永年

2011年11月

全球气候变化问题是各国政府和公众关心的一个重大问题，因为它关系到人类生存的地球环境的变化和经济社会的可持续发展。一般来讲，全球气候变化问题包括三个方面：气候变化的科学问题、影响与适应问题、减缓问题，其中科学问题是后两个问题的前提和基础。气候变化科学是典型的发展中学科，这是因为所研究的气候系统极其复杂。目前人们的认知水平十分有限，还不足以回答涉及气候变化的所有重要科学问题，并且随着时间的推移，气候变化还不断出现新的现象和变化，这是科学界面临的一个重大挑战。例如近 10~15 年全球气候变暖趋缓就是一个明显的例子。只有继续加大气候变化科学研究的广度和深度，不断改进和提高认知水平，才能从根本上认识气候变化的规律，从复杂的现象中理解其本质。

从科学上讲，要回答气候变化的问题至少应包括下面四个层面的问题：①过去、现在和将来全球和区域气候变化的总体趋势是什么？②在此趋势下，气候变化在不同时间和空间的变率是什么？其变幅有多大？③气候变化的原因是什么？除了自然的原因外，有什么事实和证据表明人类活动是气候变化的重要原因或主要原因？④气候变化的影响有多大，会不会超过阈值或危险水平，尤其是极端气候事件会不会加剧？有没有急剧变化的突变点，将导致人类社会的重大风险或危机？

由于气候资料长度和研究能力所限，目前要回答上述四个问题是十分

困难的。本书希望为读者了解地球气候的变化尽绵薄之力。由于现代全球气候的观测资料只有百年左右，要想正确认识现代气候的特征和本质，必须从整个地球气候的演变历史中来审视和分析，要把地质年代与历史时期和现代气候的变化贯穿与结合起来，才能真正深入和正确认识全球气候的规律与未来变化。这也是本书编写的初衷。

另一个问题是，要想把如此复杂和深刻的气候变化事实与理论以及发生的重大争论用通俗的语言和文字表达出来实属不易，但我们尽力而为。为此本书在编写中经多次讨论，试图把一些艰深的气候变化理论用浅显而科学的道理表达出来，并且辅以生动和直观的插图，以达到更好的效果。在此，要感谢丁毅和黎晨协助编写组改绘或重绘了不少彩图，使本书更为生动和增色，从而更易于读者理解。

参加本书编写的大部分同志是在气候变化领域中工作和研究多年的科技人员。没有他们的积极努力和奉献是不可能完成此书的。我们也感谢徐祥德院士积极推动本书的编写工作。本书参阅了不少文献、资料和图表。由于本书是一本科普著作，除插图标示了出处外，其他皆略去了相关引文，敬请读者理解和见谅。

丁一汇
2015年3月

目录 Contents

第一章 地质历史时期气候变化	1
第一节 隐生宙：疑云重重	3
1 混沌初开	3
2 生命之源	6
3 氧的革命	8
4 雪球地球	10
5 太阳的力量	11
第二节 显生宙：生命与气候	13
1 冷暖有常	13
2 造山运动	15
3 物种大灭绝：地球上的生与死	17
4 “始新世初极热期”的启示	23
5 渐新的世界	27
6 盖娅理论：地球是“活的”	28
第三节 第四纪：冰冷与人类作伴	31
1 地史上的“温度计”	32
2 轨道中的秘密	34
3 冰期 - 间冰期大气 CO ₂ 浓度	37

4 喜马拉雅之风	39
5 冰的消长	41
6 新仙女木事件	42
7 巨兽的迁徙	44
第四节 全新世：开启人类新纪元	46
1 气候环境	46
2 北欧海盗的兴衰	50
3 气候变化与王朝更迭	54
4 驱动历史气候变化的因素	60
参考文献	64

第二章 现代气候 65

第一节 全球气候变暖	66
1 追溯历史——“气候变暖”的提出	66
2 地球是如何保温的？——温室效应理论	68
3 全球变暖的事实——孰是孰非	72
4 全球变暖的新证据	79
第二节 全球变暖的原因	94
1 太阳活动	95
2 火山喷发	96
3 人类活动	97
第三节 气象灾害无时不在——盘点国内外著名的 极端事件	108
1 1998 年洪魔肆虐，席卷全国	109
2 2003 年地球发“高烧”	110
3 2005 年和 2012 年飓风“卡特里娜”和 “桑迪”袭击美国	110

4	2008 年历史罕见的暴风雪和严寒“冻僵” 欧亚多国	111
5	2009—2010 年中国西南特大干旱刷新 气象记录	113
6	2010 年罕见高温干旱引发俄罗斯森林大火	113
7	2010 年新疆遭受破纪录的雪灾	114
8	2011 年春末夏初长江中下游地区旱涝急转	114
9	2011 年雾霾天气何时休	115
10	2012 年“7·21”特大暴雨袭华北	115
11	2013 年夏季中国南方持续受高温“烤验”	116
第四节 气候变暖的主要影响——利或弊		116
1	冰川融化	117
2	海平面上升	120
3	粮食危机	122
4	珊瑚礁白化	123
5	人体健康	124
参考文献		125
第三章 地球气候变化的未来		128
第一节 科学家如何预测未来气候		129
1	全球气候模式	129
2	降尺度技术	137
3	气候模式的验证	139
第二节 迈向一个变暖的世界		143
1	未来全球的气候变化	143
2	未来中国的气候变化	154
第三节 未来气候变化的影响		156



1 未来全球气候变化的影响	156
2 未来中国气候变化的影响	159
第四节 模拟的不确定性与混沌现象	161
参考文献	165

第四章 地球气候突变 167

第一节 气候突变及其影响 169

1 气候突变	169
2 气候突变的影响	172

第二节 气候突变的证据——新仙女木事件 173

1 新仙女木冰芯证据	174
2 新仙女木事件的陆地证据	175
3 新仙女木事件的海洋证据	178

第三节 全新世气候的迅速变化 179

第四节 气候突变和翻转点 181

1 地球气候系统的翻转点	181
2 翻转点和气候变化增幅的反馈关系	188
3 是否存在一种全球性翻转点	188
4 翻转点或阈值可能导致不可逆事件的出现吗	188

第五节 引起气候突变的主要过程 189

1 海洋	190
2 冰冻圈	192
3 大气	193
4 陆面过程	196
5 外强迫	197
6 其他异常现象	198

第六节 全球变暖与气候突变	199
1 未来北大西洋热盐环流的变化	199
2 热盐环流不稳定性与有限的可预测性	201
3 未来主要气候模态的变化	202
4 未来水循环突变的可能性	203
5 未来冰盖的变化	203
6 未来展望	204
参考文献	206
第五章 我们应该做什么	207
第一节 国际行动：共同但有区别的责任	208
第二节 适应气候变化：改变与重建	209
1 中国的防灾减灾工程建设：工程庞大， 体系完整	211
2 农业：改变传统的农业事宜	213
3 森林和其他生态系统：重现往日的美丽	214
4 水资源：从南水北调到海冰淡化	218
第三节 减缓气候变化：绿色的抉择	221
1 绿色能源：取之不尽，前景诱人	222
2 中国的节能减排工程：向世界昭示中国的努力	235
3 做出你的贡献：别小看生活中小小的努力	236
第四节 绿色经济：机遇和财富	240
第五节 地球工程：最后的手段	241
1 捕获利用与封存：二氧化碳的归宿	242
2 太阳辐射管理技术：给地球降温	248
第六节 结束语：希望与信心	252
参考文献	253

第一章

地质历史时期气候变化

地球，太阳系唯一的生命家园，从形成至今，已经度过了 45.7 亿年的光阴。在这漫长的岁月里，地球从一个万籁寂静、荒凉无比的无机世界，逐渐演化为一个万物竞发、生机蓬勃的绿色星球，远古的大陆游移分合、昔日的海洋生老兴亡，地球的大气组成和地表气候状况也不断变化，谱写了一曲波澜壮阔、跌宕起伏的宇宙行星演进交响曲（图 1.1）。

地球的年龄是用地质时间尺度来衡量的。科学家通过研究世界上不同地区的地层绝对年龄和相对年龄，了解地球历史各个阶段的重大事件及其先后关系，并制作了地球的地质年表（表 1.1）。地质年表的一级单元是“宙”，包括冥古宙、太古宙、元古宙、显生宙；接着是“代”，例如显生宙包括古生代、中生代和新生代；“代”以下是“纪”，例如中生代里包括三叠纪、侏罗纪和白垩纪；“纪”的下属单元是“世”，新生代第四纪包括更新世和全新世。

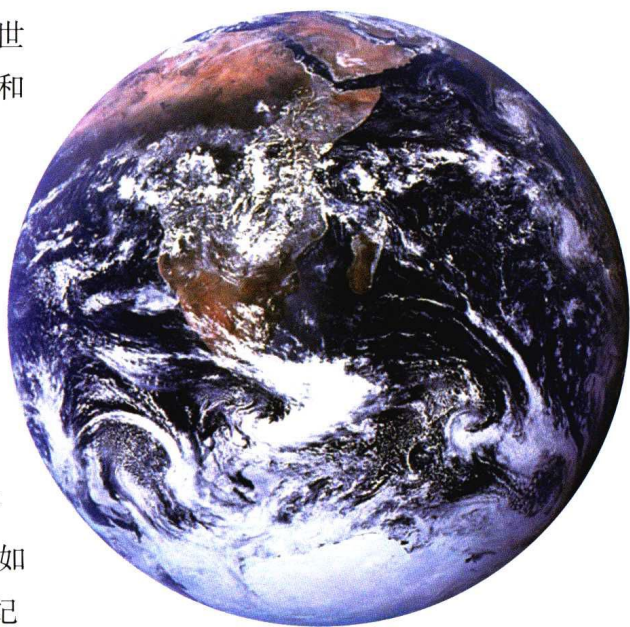


图 1.1 从 Apollo-17 上看到的地球

左上方是非洲，底部是南极大陆，在非洲和南极之间的南大洋上空飘动着多条云系。

（引自：earthobservatory.nasa.gov，摄于 1972 年 12 月 7 日）

表 1.1 地球演化年表

宙	代	纪	世	开始年代 (百万年前)	重大事件
显生宙	新生代	第四纪	全新世	0.011	人类繁荣；农耕文明；工业文明
			更新世	1.8	冰河时期；大量大型哺乳动物灭绝；人类进化到现代状态
		新近纪	上新世	5.3	人类的人猿祖先出现
			中新世	23.0	
		古近纪	渐新世	33.9	大部分哺乳动物目繁盛
			始新世	55.8	始新世初极热期
			古新世	65.5	
	中生代	白垩纪		145.5	恐龙的繁荣和灭绝；白垩纪 - 第三纪灭绝事件，地球上 75%~80% 生物灭绝；有胎盘的哺乳动物出现
		侏罗纪		199.6	有袋类哺乳动物出现；鸟类出现；裸子植物繁荣；被子植物出现
		三叠纪		251.0	恐龙出现；卵生哺乳动物出现
	古生代	二叠纪		299.0	二叠纪灭绝事件；地球上 95% 生物灭绝；冈瓦纳古大陆形成
		石炭纪		359.2	昆虫繁荣；爬行动物出现；煤炭森林；裸子植物出现
		泥盆纪		416.0	鱼类繁荣；两栖动物出现；昆虫出现；种子植物出现；石松和木贼出现
		志留纪		443.7	陆生的裸蕨植物出现
		奥陶纪		488.3	鱼类出现；海生藻类繁盛
		寒武纪		542.0	寒武纪生命大爆炸
元古宙	新元古代			1000	多细胞生物出现；发生雪球事件；罗迪尼亚古大陆形成
	中元古代			1600	
	古元古代			2500	大氧化事件；第一次冰河时期
太古宙	新太古代			2800	
	中太古代			3200	
	古太古代			3600	蓝绿藻出现
	始太古代			3800	细菌出现
冥古宙	早雨海代			3850	地球遭到小行星、彗星强烈的轰击
	酒神代			3950	出现第一个生物——古细菌
	原生代			4150	出现海洋
	隐生代			4570	原始地球出现