



地方科技系统应对气候变化能力建设丛书之四

地方科技系统应对气候变化 知识读本

中国 21 世纪议程管理中心 / 编著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

中国清洁发展机制基金赠款项目“地方科技系统干部队伍应对气候变化教材编写与培训”(编号:2013049)资助

地方科技系统应对气候变化能力建设丛书之四



地方科技系统应对气候变化 知识读本

中国 21 世纪议程管理中心 编著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

地方科技系统应对气候变化知识读本 / 中国21世纪议程管理中心编著. —北京: 科学技术文献出版社, 2017.6

ISBN 978-7-5189-2897-2

I. ①地… II. ①中 III. ①气候变化—基本知识 IV. ①P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 147152 号

地方科技系统应对气候变化知识读本

策划编辑: 李蕊 责任编辑: 李晴 张红 责任校对: 张咧噪 责任出版: 张志平

出版者 科学技术文献出版社
地址 北京市复兴路15号 邮编 100038
编务部 (010) 58882938, 58882087 (传真)
发行部 (010) 58882868, 58882874 (传真)
邮购部 (010) 58882873
官方网址 www.stdp.com.cn
发行者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印刷者 虎彩印艺股份有限公司
版次 2017年6月第1版 2017年6月第1次印刷
开本 710×1000 1/16
字数 274千
印张 19.5
书号 ISBN 978-7-5189-2897-2
定价 76.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

目 录

第一章	气候变化事实	001
1.1	气候变化内涵及主要指标	001
1.2	全球及中国近百年气候变化的特征	004
1.3	近百年极端天气气候事件变化的基本特征	011
1.4	气候变化归因	016
1.5	未来气候预估	021
第二章	气候变化对自然生态系统及社会生活的影响	041
2.1	气候变化对农业、畜牧业和渔业的影响	041
2.2	气候变化对水资源的影响及水资源系统的脆弱性	049
2.3	气候变化对海岸带资源环境的影响	057
2.4	气候变化对自然生态系统的影响	063
2.5	气候变化对社会经济和生活的影晌	089
第三章	适应气候变化	128
3.1	适应气候变化概述	129
3.2	陆地水文资源对气候变化的适应	131
3.3	陆地生态系统对气候变化的适应	133
3.4	近海和海岸带环境对气候变化的适应	134

3.5	农业对气候变化的适应	135
3.6	能源活动对气候变化的适应	140
3.7	重大工程建设对气候变化的适应	141
3.8	工业与交通对气候变化的适应	143
3.9	人居生活对气候变化的适应	145
3.10	人体健康对气候变化的适应	145
3.11	区域发展对气候变化的适应	146
第四章	减缓气候变化	154
4.1	世界主要国家和集团温室气体排放的历史与现状	154
4.2	中国温室气体排放的现状与特点	159
4.3	中国减缓温室气体排放的成效	163
第五章	国内外应对气候变化战略	173
5.1	应对气候变化的国际进程及中国面临的挑战和机遇	173
5.2	我国应对气候变化的新形势	186
5.3	我国应对气候变化的理论探索与战略选择	196
5.4	碳市场国内外现状介绍	214
第六章	部门和地方应对气候变化工作	231
6.1	部门应对气候变化工作	231
6.2	中国民间组织和公众对气候变化的科普和应对	246
6.3	国家可持续发展实验区应对气候变化工作	253

第一章 气候变化事实

内容提要

本章主要介绍了气候变化事实和主要指标，其中综合指标为研究全球及区域气候变化提供了一条新的思路和途径，文中还给出了近百年全球及中国气候变化的主要特征，并对近百年全球和中国极端气候事件概况进行了简要介绍。本章最后对气候变化归因和未来气候预估方面的工作进行了介绍。

1.1 气候变化内涵及主要指标

天气是区域短时间内大气状态（冷暖、风雨、干湿等）及其变化的总称。气候则是指一个地方天气要素（如气温、气压等）一段时间内统计意义上天气的综合特征，既包含了平均状态，也包含了极端情况，如极端高温和极端低温等，主要反映某一地区冷、暖、干、湿等基本特征。

1.1.1 气候变化的定义和内涵

气候分为平稳气候和非平稳气候。平稳气候是指某一气候变量的平均值、方差等统计参数不随时间改变，而非平稳气候则相反。原则上只有对于平稳气候，用统计方法得到的特征才能适用于分析气候历史及预测未来气候，但实际上不管对于全球气候还是区域气候，其无时无刻地处于变化之

中，这也正是气候研究及应用很困难的原因之一。

气候变化是指一个时间段内，气候平均态、距平值、变率三者中至少一个出现了统计意义上的显著变化。按照时间尺度，气候变化可粗略分为6类：短期气候变化（月、季），中期气候变化（年、年际变化），长期气候变化（几十年、年代际变化），超长期气候变化（几百年、世纪际变化），历史时期气候变化（千年），地质期气候变化（万年）。

气候变化有多种表现形式，涵盖了所有时间尺度的变率，以一个地点、一个时间段的气温为例，可能出现如下3种情况。

①平均态、距平值维持稳定，变率增加（减小），表明气温变化周期发生了改变；

②平均态、变率维持不变，距平值增大（减小），表明气候太不稳定性在增加（减小）；

③距平值、变率保持稳定，平均态发生了阶段性突然变化（升高或降低），表明气候系统发生了根本性的变化。

气候变化可以是上述特征中的一种，也可能是几种变化类型的组合。

1.1.2 全球和区域气候变化的主要指标

气候变化指标研制是气候变化研究的基础性工作。人们通过气候变化指标了解全球及区域气候变化的事实。随着人们对气候变化的深入研究和认识，指标也越来越丰富。

气候系统是由大气圈、水圈、冰冻圈、岩石圈和生物圈5个圈层及其之间相互作用组成的高度复杂的系统。它是一个完整的、相互关联的、具有自身调节机制的系统，其具有热力、动力、水文、静力和生物学等属性，这些属性在一定的外因条件下，通过气候系统内部的物理过程、化学过程和生物过程相互关联，并在不同的时间尺度内发生变化（《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会，2011）。每项属性，均有一些物理变量相对应，这些物理变量及其统计量可直接作为表征气候变化的指标（表1.1）。

表 1.1 气候系统各圈层表征气候变化的指标

序号	分类	名称
大气圈	地面	气温、降水、相对湿度、风速、蒸发量、辐射、日照时数、云量等；干旱、暴雨洪涝、沙尘暴、高温热浪、低温冷害、综合指标
	高空	气温、比湿、相对湿度、大气可降水量、大气水汽含量等
水圈	陆地	地表径流、地下水、湖泊面积及深度
	海洋	海平面高度、海水热容量、海温、酸度、盐度
冰冻圈	积雪	最大积雪深度、积雪覆盖面积、雪线高度
	冰川	面积、厚度、物质净损失量
	冻土	冻土温度、冻土活动层厚度、冻土区面积
	海冰、河冰、湖冰等	面积、厚度、融化期日数、结冰期动物活动范围
岩石圈	土壤	土壤湿度、土壤温度
生物圈	植物	季节时间、生长季长度、植物生长范围等
	动物	动物活动范围等
综合指标	IGBP指标	采用CO ₂ 、气温、海平面高度、海冰等每个参数的年变化标准化指标综合评判全球地球气候系统的变化，反映各方面对气候变化的响应（IGBP，2009）

为了揭示极端气候变化的事实和规律，世界气象组织气候学委员会（WMO-CCL）和世界气候研究计划（WCRP）、气候变率可预测性研究计划（CLIVAR）的气候变化监测、检测和指数联合研究小组（ETCCDMI）研制了极端气候指标体系，为全球开展极端气候事件研究和对比奠定基础。极端气候指标从气候变化的强度、频率、持续时间 3 个方面反映极端气候事件，目前常用的极端气候指标主要是根据降水和气温要素而建立的。极端气候指标大致可分为：绝对阈值指数、相对阈值指数、极端值指数、综合指数等（丁裕国等，2009）。

综合指标为研究全球及区域气候变化提供了一条新的思路和途径。早在 20 世纪 90 年代,一些专家就已经采用了综合指数进行气候变化研究。Baettig 等(2007)采用年平均气温的变化、年降水量的变化、极端气温和降水事件的变化 4 个方面的指数,每方面又确定几个主要的指数(如 20 年一遇的热年,20 年一遇的干年和湿年,20 年一遇的热夏和暖冬,20 年一遇的干夏、干冬和湿夏、湿冬共 9 项),采用加权平均方法进行综合,更好地揭示了气候变化的重要信息。吴浩等(2012)采用类似方法 4 类共 12 项指数对中国近 50 年来的气候变化特征及区域敏感性进行了分析。

任国玉等(2010)根据中国常年极端气候特点和不同种类极端气候事件的经济社会影响,选取全国平均高温日数、低温日数、强降水日数、沙尘天气日数、大风日数、干旱面积百分率和登陆热带气旋频数 7 种极端气候指标,定义 2 个综合极端气候指数,分别为 7 种极端气候指标简单(等值权重)合成的综合指数 I 和加权(差异权重)合成的综合指数 II。综合指数 II 主要依据各种极端气候事件引发的灾害严重程度及其社会影响大小,分别确定其对应单项指标的相对重要性和权重系数。

1.2 全球及中国近百年气候变化的特征

IPCC 第 5 次评估报告(AR5)中指出,气候系统的变暖是毋庸置疑的。自 20 世纪 50 年代以来,观测到的许多变化在几十年乃至上千年时间里都是前所未有的。大气和海洋已经变暖,积雪和冰量已经减少,海平面已经上升。

气候系统是由 5 个主要部分组成的高度复杂的系统(图 1.1)。气候系统随时间演变的过程受到自身内部动力学的影响,还受到外部强迫影响,如火山喷发、太阳活动变化和人为强迫影响,再如不断变化的大气成分和土地利用变化等的影响。

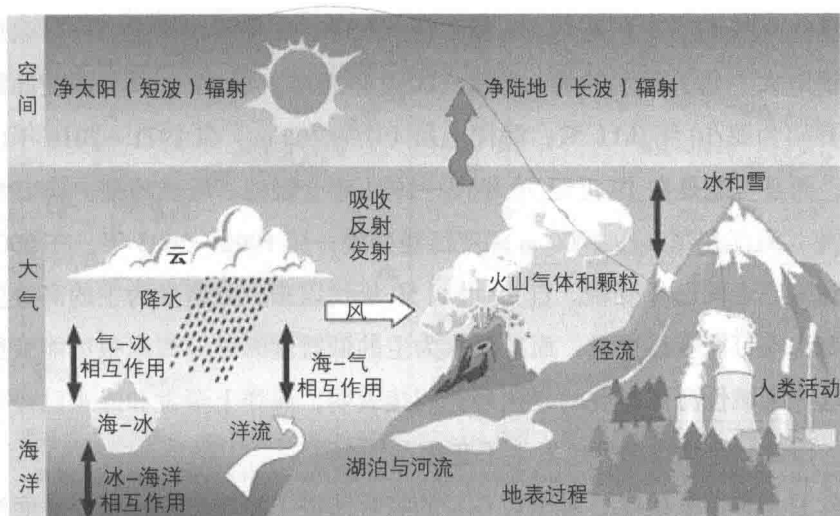


图 1.1 气候系统示意

1.2.1 气候系统各圈层的变化

(1) 大气圈

大气圈是地球气候系统中最不稳定并且变化最迅速的圈层。1983—2012 年地表温度依次升高, 比 1850 年以来的任何一个 10 年都偏暖。1983—2012 年这段时期, 在北半球有此项评估的地方很可能是过去 800 年里最暖的 30 年时期, 也可能是过去 1400 年里最暖的 30 年时期。

全球陆地和海洋综合平均表面温度的线性趋势计算结果表明, 1880—2012 年温度升高了 $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。基于现有的一个最长的数据集, 1850—1900 年和 2003—2012 年的平均温度之间的总升温幅度为 $0.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对于计算区域趋势足够完整的最长时期 (1901—2012 年), 全球几乎所有地区都经历了地表增暖。自 20 世纪中叶以来, 全球范围内对流层已变暖, 而平流层底部已变冷。

(2) 水圈

水圈由所有地表水和地下水组成, 包含河、湖、地下水、海水等。在气候系统储存能量的增加当中, 海洋变暖占了主导地位, 占 1971—2010 年累

积能量的 90% 以上, 仅有约 1% 储存在大气中。在全球尺度上, 海洋表层温度升幅最大。几乎确定的是, 1971—2010 年海洋上层 75 m 以上深度的海水温度升幅为每 10 年 0.11 °C; 海洋上层 (0 ~ 700 m) 在 1971—2010 年已经变暖, 而且可能是在 19 世纪 70 年代—1971 年变暖的。可能的是, 从 1957—2009 年, 海洋在 700 ~ 2000 m 深度已经变暖, 从 1992—2005 年, 在 3000 m 深度到海底之间已经变暖。自 20 世纪 50 年代以来, 以蒸发为主的高盐度海区的海水很可能变得更咸, 而以降水为主的低盐度海区的海水很可能变得更淡。这些区域性海洋盐度的变化趋势间接表明, 海洋上蒸发和降水已经发生变化, 因此, 全球水循环也发生了变化。

自工业革命开始后, 海洋对 CO₂ 的吸收造成了海洋酸化; 海洋表面海水的 pH 下降了 0.1, 以氢离子浓度来衡量的话, 相当于酸性增高了 26%。自 20 世纪 60 年代以来, 变暖导致许多海域的海岸水域和公海温跃层的含氧量下降, 热带含氧量最低的海域在近几十年里可能已有所扩大。

(3) 冰冻圈

冰冻圈包含格陵兰岛和南极冰盖、大陆冰川和高原雪盖、海冰及永冻土等。过去 20 年以来, 格陵兰和南极冰盖的冰量一直在损失。全球范围内的冰川几乎都在继续退缩。北半球春季积雪面积继续缩小, 南极海冰范围的趋势有很强的区域差异, 其总范围很可能出现了上升。冰川损失了冰量, 对整个 20 世纪的海平面上升有所作用。格陵兰岛冰盖的冰量损失速度很可能在 1992—2011 年大幅加快, 这造成了 2002—2011 年的冰量损失多于 1992—2011 年。南极冰盖的冰量损失主要发生在南极半岛北部和南极西部的阿蒙森海区, 在 2002—2011 年速度也可能更高 (图 1.2)。

1979—2012 年 (1979 年, 卫星观测开始的年份) 北极年均海冰范围在缩小, 缩小速率很可能是每 10 年 3.5% ~ 4.1%。北极海冰范围在 1979 年以来的每个季节及每个依次年代均已缩小, 每 10 年平均范围的下降速度在夏季最高。夏季最低海冰范围很可能每 10 年缩小 9.4% ~ 13.6% (每 10 年 73 万 ~ 107 万 km²)。

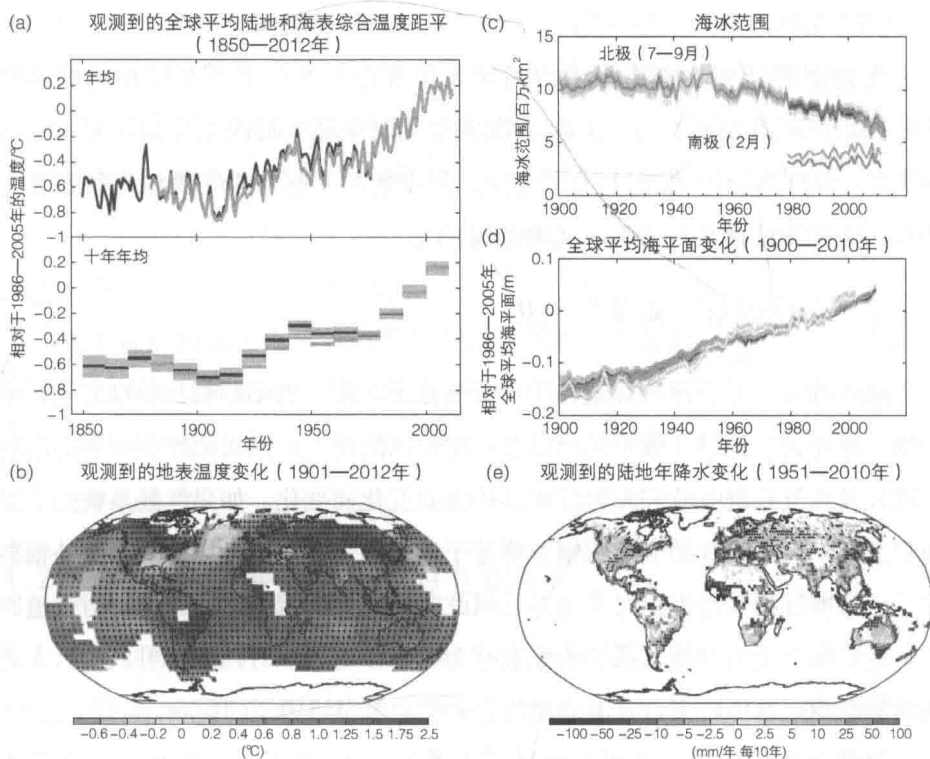


图 1.2 地表各气象要素近百年变化趋势

在 1979—2012 年南极年均海冰范围很可能以每 10 年 13 万~20 万 km^2 的速度增加。南极存在很大的区域差异,有些区域的海洋范围增加,有些区域却在减小。自 20 世纪中叶以来,北半球积雪面积已缩小,在 1967—2012 年,北半球 3 月和 4 月积雪面积每 10 年缩小 1.6%,6 月每 10 年缩小 11.7%。自 20 世纪 80 年代初以来,北半球大多数地区多年冻土层的温度已升高,一些地区冻土层的厚度和面积已减少。多年冻土层的温度升高是对升高的地面温度和积雪变化的响应。

(4) 岩石圈

岩石圈是指地球陆地表面,包含高原、平原、山地、盆地等,岩石圈上的植被和土壤能够影响所到达的太阳能量转换,这些能量会最终给大气。

(5) 生物圈

生物圈指陆地上和海洋中的植物及生存在大气、海洋和陆地上的动物等。人们已经认识到大气中 CO_2 浓度的变化与全球气温的变化直接相关。地球大气中的 CO_2 不仅仅是人类工业生产所排放的，它与生物圈也有很密切的联系。生物圈既能生产 CO_2 ，又能吸收 CO_2 。

1.2.2 全球辐射平衡及其变化

进入地球气候系统的能量几乎全部来自于太阳，太阳辐射是驱动大气运动的唯一原动力。地球气候系统可以在一切时间尺度上，因太阳短波辐射的散射和吸收及地气系统吸收和发射红外热辐射的变化而变化。如果气候系统处于平衡状态，则大气吸收的太阳能辐射将等于地球和大气向外太空发射的红外辐射能。任何能够扰动这种辐射平衡并且因此改变气候的因子都被称为辐射强迫因子。他们所产生的对地气系统的强迫称为辐射强迫。辐射强迫既可以来自人类活动的影响，也可以来自火山活动与太阳变化等自然因子的影响。

温室气体 (GHG) 的大气浓度已上升到过去 80 万年以来前所未有的水平。自 1750 年以来，温室气体 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 的浓度均已大幅增加（分别为 40%、150% 和 20%）。2002—2011 年 CO_2 浓度的增加速度是观测到的最快 10 年变化速度，即 (2.0 ± 0.1) ppm/年。自 20 世纪 90 年代末 CH_4 的浓度出现了近 10 年来的稳定，但自 2007 年开始大气中的 CH_4 浓度再次开始上升。过去 30 年间 N_2O 的浓度以 (0.73 ± 0.03) ppb/年的速度稳定增长。

1750—2011 年的总人为辐射强迫计算的变暖效应为 2.3 W/m^2 ，自 1970 年以来其增加速率比之前的各个年代都快。对于 1750—2011 年的辐射强迫及其自 1970 年以来的趋势来讲， CO_2 是最大的因素。2011 年的总人为辐射强迫估值比 IPCC 第 4 次评估报告 (AR4) 给出的 2005 年总人为辐射强迫估值高了 43%。其原因是大多温室气体的浓度不断增加，而且对于来自气溶胶的辐射强迫的估值也增加了。

气溶胶的辐射强迫（包括造成的云调节）得到了更好的理解，结果表明

比 IPCC 第 4 次评估报告 (AR4) 时的冷却效应要弱。1750—2011 年的气溶胶辐射强迫估计为 -0.9 W/m^2 。来自气溶胶的辐射强迫有两个互相抵消的组成部分：大多数气溶胶及其云调节是以冷却效应为主，黑炭吸收太阳辐射造成的变暖效应会部分抵消前一种作用。全球平均总气溶胶辐射强迫已抵消了源于充分混合的温室气体引起的辐射强迫的很大一部分。气溶胶仍然是总辐射强迫估算中最大的不确定性来源。

太阳辐射和火山气溶胶的变化会导致自然辐射强迫。在大型火山爆发后的若干年内，平流层火山气溶胶的强迫作用对气候系统有很大的冷却效应。据计算，与 1750 年相比，太阳总辐射的变化只对 2011 年的总辐射强迫做出了约 2% 的贡献。

1.2.3 中国近百年气候变化的主要特征

全球气候在近百年发生了以全球变暖为特征的剧烈变化，中国的平均温度也在升高，近百年来上升了 $0.6 \sim 0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 1.3)。在过去 100 年中有两段明显的增温期，分别出现在 20 世纪 20—40 年代和 80 年代中期以后，其中 40 年代和 90 年代分别比多年平均值偏高 $0.36 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0.37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。更进一步的研究表明，中国近百年气候变暖存在明显的区域性差异，东北、西藏、西北、华北、华东及台湾的变暖趋势比较明显，而华南和西南的增暖较弱，华中区域与全国大多数地区相反呈微弱变量趋势。从季节分布上来看，中国冬季增暖趋势最为明显，近四五十年，中国夜间气温和平均气温都出现了升高的趋势，尤其是北方冬季最为突出。

近百年来中国降水变化的特点是全国年平均降水量没有明显的上升或下降趋势，而是呈现出干湿交替出现的波动变化 (图 1.4)。从地理分布上看，近几十年中，中国降水呈增长趋势和呈下降趋势的测站数量基本相当。其中，大范围明显的降水增长趋势主要发生在中国西部地区，尤其以西北地区更为显著。中国东部季风区降水变化趋势的区域性差异较大，长江流域降水趋于增多，东北东部、华北地区到四川盆地东部降水趋于减少，特别是近 40

多年来中国出现的南涝北旱形势更为严重。在 1979 年前后，中国东部地区及长江流域的夏季降水发生了明显的变化，从少雨时段转变为多雨时段。不同时段的分析显示中国东部地区夏季雨带的南移趋势，有北部降水偏少、长江中下游及南部地区偏多的倾向。

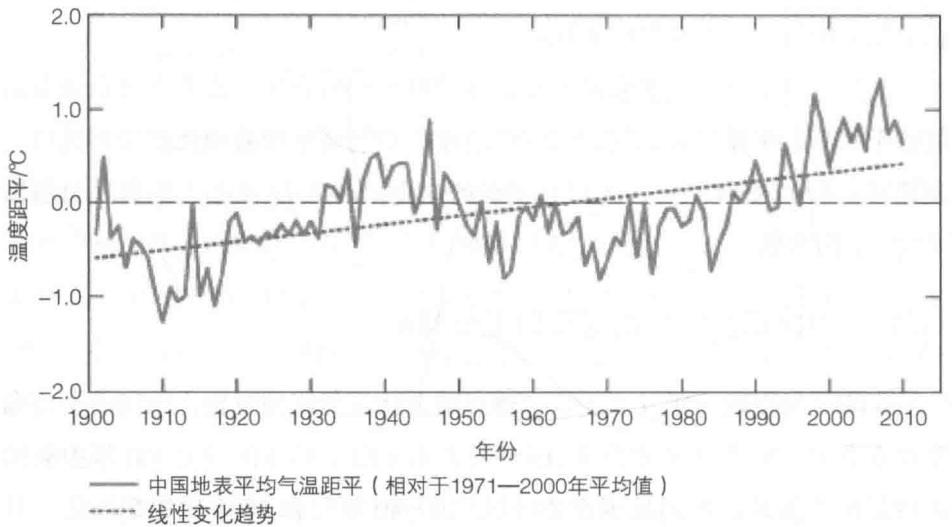


图 1.3 近百年中国地表温度变化趋势

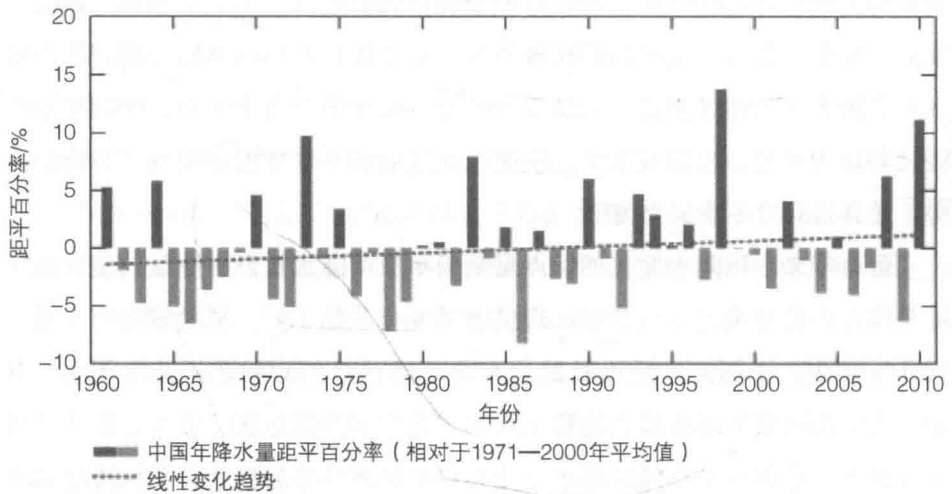


图 1.4 中国近百年降水变化趋势

1.3 近百年极端天气气候事件变化的基本特征

极端天气气候事件简称极端事件。极端事件常常直接或间接导致某种自然灾害发生,从而影响人类社会和生态环境(丁裕国等,2010)。它一般具有以下特征:①事件发生的频率相对较低;②事件的强度相对较大(或较小);③事件导致了严重的社会经济损失。必须注意的是,对于某一具体的极端天气气候事件,往往并不同时具备以上3个方面的特征。例如,干旱区的极端降水,强度并不会很大,而且可能对社会经济还是有利的。

1.3.1 近百年极端天气气候事件概况

在全球变暖的大背景下,各极端温度指数在全球尺度上呈现出明显的变暖趋势,其中基于日最低气温的极端指数的变化趋势要强于基于日最高气温的极端指数的变化趋势。近60年内,冷夜日数在东亚、北非及南美洲部分地区的减小趋势强于其他地区,达-3天/10年;暖夜日数在非洲中部的增大趋势较为明显,达3天/10年以上;而热浪持续时间在印度地区增大趋势尤为突出。极端温度的季节变化也越来越受到关注,研究指出暖昼日数在夏季的增长趋势弱于其他季节,并且在夏季也有相对较少的地区呈现出暖昼日数增长的趋势。对冷夜日数的季节变化而言,亚洲在夏季的减少趋势较其他季节弱,相反欧洲在夏季的减少趋势较其他季节强(Donat等,2013)。

与极端温度事件相比,极端降水事件的变化特征较为复杂,空间差异较大。在20世纪上半世纪,北美洲和中美洲的强降水事件增多(DeGaetano, 2009; Pryor等, 2009),而在南美洲强降水事件的空间分布不均匀。在过去40年里,欧洲国家的极端降水强度在增强,极端降水频次在增多。非洲的极端降水事件并未呈现出显著的变化趋势。就全球平均而言,在过去60年中雨日数、强降水量及降水强度均呈现出增长的趋势,而洪涝和干旱未呈现出显著的变化趋势。此外,针对极端降水事件的季节变化也有了初步的研究,Donat等(2013)指出,北美东部、欧洲大部及亚洲的最大5日降水量(RX5day)

在秋冬季的增加趋势更为显著。南美洲及东南亚的一些热带区域的极端降水在 12 月至次年 5 月的增强趋势更加明显。

中国大陆地区极端偏暖事件有所增多,而极端偏冷事件明显减少,气象干旱事件频率和影响范围增加。近 60 年,中国北方和东部大部分地区冬季的寒潮事件频率显著减少。全国平均暴雨日数呈微弱的增多趋势,其中南方暴雨日数呈较明显上升趋势,而北方呈减少趋势。近 60 年,中国大陆的气象干旱面积百分率出现增加趋势,其中北方的辽河流域、海河流域、淮河流域北部和黄河流域大部分地区气象干旱发生频率增加趋势较明显。20 世纪 50—60 年代,登陆中国的热带气旋频次较多,1991—2008 年则是登陆热带气旋频次最少的时期,但近 10 年呈现一定程度的增加,最近的半个多世纪由热带气旋或台风导致的中国夏秋季降水量呈下降趋势。

1.3.2 影响中国的重大极端事件概况

伴随着 20 世纪中期以来的大尺度气候变暖,中国与气温有关的极端事件发生了显著变化。自 20 世纪 50 年代开始,中国的平均极端最低温度呈明显上升趋势,与低温相关的极端事件强度和发生频率明显减弱。就全国平均而言,小寒、大寒天气减少(钱诚等,2012)。1961—2010 年,中国平均寒潮频次呈明显减少趋势,霜冻日数也显著减少。近几十年来,区域性极端低温事件的发生频次有明显的逐年下降趋势,其线性变化趋势是 -1.99 次/10 年,1960—1980 年平均每年发生 13.9 次;而在 20 世纪 80 年代后期存在显著的转折,1990—2008 年下降到平均每年发生 8.2 次,90 年代后期变化逐渐趋于平缓,尤其是新疆和东部沿海地区,事件以每年 0.75 次下降(Zhang 等,2011)。另外,极端低温事件的强度和最大覆盖面积等呈现一致减弱趋势(王晓娟等,2012)。从区域上来看,高强度持续性低温事件主要发生在西北北部(新疆)、长江流域及其以南地区。