



全球变化热门话题丛书

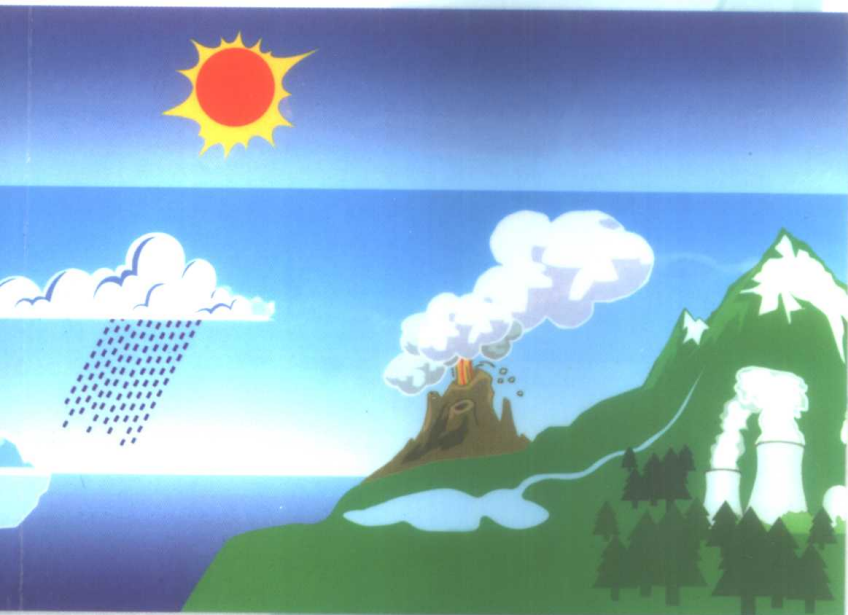
主编 秦大河

气候系统的 演变及其预测

GLOBAL CHANGE



丁一汇 张锦 徐影 宋亚芳 编



气象出版社



全球变化热门话题丛书

主 编 秦大河
副主编 丁一汇 毛耀顺

气候系统 的演变及其预测

Qihou Xitong de Yanbian Jiqi Yuce

丁一汇 张锦 徐影 宋亚芳 编

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

气候系统的演变及其预测/丁一汇等编. —北京:气象出版社, 2003. 3

(全球变化热门话题/秦大河主编)

ISBN 7-5029-3545-2

I. 气… II. 丁… III. ①气候变化-普及读物 ②气候-预测-普及读物 IV. 467-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 015653 号

气象出版社出版

(北京中关村南大街 46 号 邮编:100081)

责任编辑:郭彩丽 终审:周诗健

封面设计:新视窗工作室 责任技编:都平 责任校对:时人

*

北京京科印刷有限公司印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本:889×1194 1/32 印张:4.625 插页:4 字数:110千字

2003 年 3 月第一版 2003 年 3 月第一次印刷

印数:1—5000 定价:15.00 元

序 言

全球变化科学是从 20 世纪 80 年代发展起来的一个新兴的科学领域。其研究对象是气候系统(包括岩石圈、大气圈、水圈、冰冻圈和生物圈)、各子系统内部以及各子系统之间的相互作用。它的科学目标是描述和理解人类赖以生存的气候系统运行的机制、变化规律以及人类活动在其中所起的作用与影响,从而提高对未来环境变化及其对人类社会影响影响的预测和评估能力。近 20 年来,全球变化的研究方向经历了重大调整。首先是从认识气候系统基本规律的纯基础研究为主,发展到与人类社会可持续发展密切相关的一系列生存环境实际问题的研究;其次是从研究人类活动对环境变化的影响,扩展到研究人类如何适应和减缓全球环境的变化。全球变化的研究已经取得了重大的进展。

气候变化是全球变化研究的核心问题和重要内容。科学研究表明,近百年来,地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化。近 50 年的气候变暖主要是人类使用矿物燃料排放的大量二氧化碳等温室气体的增温效应造成的。现有的预测表明,未来 50~100 年全球的气候将继续向变暖的方向发展。这一增温对全球自然生态系统和各国社会经济已经产生并将继续产生重大而深刻的影响,使人类的生存和发展面临巨大挑战。

自工业革命(1750 年)以来,大气中温室气体浓度明显增加。大气中二氧化碳的浓度目前已达到 368 ppmv(百万分之一体积),这可能是过去 42 万年中的最高值。增强的温室效应使得自 1860 年有气象仪器观测记录以来,全球平均温度升高了 0.6 ± 0.2 °C。

最暖的 14 个年份均出现在 1983 年以后。20 世纪北半球温度的增幅可能是过去 1 000 年中最高的。降水分布也发生了变化。大陆地区尤其是中高纬地区降水增加,非洲等一些地区降水减少。有些地区极端天气气候事件(厄尔尼诺、干旱、洪涝、雷暴、冰雹、风暴、高温天气和沙尘暴等)的出现频率与强度增加。近百年我国气候也在变暖,气温上升了 $0.4\sim 0.5^{\circ}\text{C}$,以冬季和西北、华北、东北最为明显。1985 年以来,我国已连续出现了 17 个全国大范围暖冬。降水自 20 世纪 50 年代以后逐渐减少,华北地区出现了暖干化趋势。

对于未来 100 年的全球气候变化,国内外科学家也进行了预测。结果表明:(1)到 2100 年时,地球平均地表气温将比 1990 年上升 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 。这一增温值将是 20 世纪内增温值(0.6°C 左右)的 2~10 倍,可能是近 10 000 年中增温最显著的速率。21 世纪全球平均降水将会增加,北半球雪盖和海冰范围将进一步缩小。到 2100 年时,全球平均海平面将比 1990 年上升 $0.09\sim 0.88\text{ m}$ 。一些极端事件(如高温天气、强降水、热带气旋强风等)发生的频率会增加。(2)我国气候将继续变暖。到 2020~2030 年,全国平均气温将上升 1.7°C ;到 2050 年,全国平均气温将上升 2.2°C 。我国气候变暖的幅度由南向北增加。不少地区降水出现增加趋势,但华北和东北南部等一些地区将出现继续变干的趋势。

气候变化的影响是多尺度、全方位、多层次的,正面和负面影响并存,但它的负面影响更受关注。全球气候变暖对全球许多地区的自然生态系统已经产生了影响,如海平面升高、冰川退缩、湖泊水位下降、湖泊面积萎缩、冻土融化、河(湖)冰迟冻与早融、中高纬生长季节延长、动植物分布范围向极区和高海拔区延伸、某些动植物数量减少、一些植物开花期提前等等。自然生态系统由于适应能力有限,容易受到严重的、甚至不可恢复的破坏。正面临这种危险的系统包括:冰川、珊瑚礁岛、红树林、热带雨林、极地和高山生态系统、草原湿地、残余天然草地和海岸带生态系统等。随着气候变化频率和幅度的增加,遭受破坏的自然生态系统在数目上会有所

增加,其地理范围也将增加。

气候变化对国民经济的影响可能以负面为主。农业可能是对气候变化反应最为敏感的部门之一。气候变化将使我国未来农业生产的不稳定性增加,产量波动大;农业生产布局和结构将出现变动;农业生产条件改变,农业成本和投资大幅度增加。气候变暖将导致地表径流、旱涝灾害频率和一些地区的水质等发生变化,特别是水资源供需矛盾将更为突出。对气候变化敏感的传染性疾病(如疟疾和登革热)的传播范围可能增加;与高温热浪天气有关的疾病和死亡率增加。气候变化将影响人类居住环境,尤其是江河流域和海岸带低地地区以及迅速发展的城镇,最直接的威胁是洪涝和山体滑坡。人类目前所面临的水和能源短缺、垃圾处理和交通等环境问题,也可能因高温、多雨而加剧。

由于全球增暖将导致地球气候系统的深刻变化,使人类与生态环境系统之间业已建立起来的相互适应关系受到显著影响和扰动,因此全球变化特别是气候变化问题得到各国政府与公众的极大关注。

1979 年的第一次世界气候大会(主要由科学家参加)宣言提出:如果大气中的二氧化碳含量今后仍像现在这样不断增加,则气温的上升到 20 世纪末将达到可测量的程度,到 21 世纪中叶将会出现显著的增温现象。1990 年 11 月,第二次世界气候大会(由科学家和部长参加)通过了《科学技术会议声明》和《部长宣言》,认为已有一些技术上可行、经济上有效的方法,可供各国减少二氧化碳的排放,并提出制定气候变化公约的问题。1991 年 2 月联合国组成气候公约谈判工作组,并于 1992 年 5 月完成了公约的谈判工作。1992 年 6 月联合国环境与发展大会期间,153 个国家和区域一体化组织正式签署了《联合国气候变化框架公约》。1994 年 3 月 21 日公约正式生效。截止到 2001 年 12 月共有 187 个国家和区域一体化组织成为缔约方。公约缔约方第一次大会于 1995 年 3 月在德国柏林召开。经过两年的艰苦谈判,1997 年 12 月在日本京都召开

的公约第三次缔约方大会上通过了《京都议定书》，为发达国家规定了到 2008~2012 年的具体的温室气体减排义务。

1988 年 11 月世界气象组织和联合国环境规划署建立了“政府间气候变化专门委员会(IPCC)”，其主要任务是定期对气候变化科学知识的现状、气候变化对社会和经济的潜在影响，以及适应和减缓气候变化的可能对策进行评估，为各国政府和国际社会提供权威的科学信息。自成立以来，IPCC 已组织世界上数以千计的不同领域的科学家完成了三次评估报告及“综合报告”。目前，IPCC 正在准备编写第四次评估报告，将于 2007 年完成。此外，还组织编写了许多特别报告、技术报告。IPCC 组织编写的这些评估报告，作为制定气候变化政策和对策的科学依据提交给国际社会和各国政府。它不仅为各国政府部门制定气候变化对策提供了科学信息，而且也直接影响着《联合国气候变化框架公约》及《京都议定书》的实施进程，并在荒漠化、湿地等其他国际环境公约的活动中发挥着越来越大的作用。

全球气候变化问题，不仅是科学问题、环境问题，而且是能源问题、经济问题和政治问题。全球气候变化问题将给我国带来许多挑战、压力和机遇。

国际上要求我国减排温室气体的压力越来越大。目前我国二氧化碳排放量已位居世界第二，甲烷、氧化亚氮等温室气体的排放量也居世界前列。预测表明，到 2025~2030 年间，我国的二氧化碳排放总量很可能超过美国，居世界第一位；目前低于世界平均水平的我国人均二氧化碳排放量可能达到世界平均水平。由于技术和设备相对落后、陈旧，能源消费强度大，我国单位国内生产总值的温室气体排放量比较高。

我国减排温室气体的潜力受到能源结构、技术和资金的制约。煤是我国的主要能源，在我国一次能源消费中，煤炭约占 70%。受能源结构的制约，我国通过调整能源结构来减少二氧化碳排放量的潜力有限。如果近期就承担温室气体控制义务，我国的能源供应

将受到制约。同时,因缺少相应的技术支撑,我国的经济的发展将受到严重影响。因此,我国的能源结构和减排成本决定了我国不可能过早地承诺减排义务。在相当一段时期内,我国应坚持“节约能源、优化能源结构、提高能源利用效率”的能源政策,但是需要相当的技术和资金作为保证。目前发达国家希望通过“清洁发展机制(CDM)”项目,从发展中国家获得减排抵消额。这将为发展中国家获得新的投资和技术转让带来机遇。

我国党和政府对气候变化问题一直非常重视,早在1986年就成立了国家气候委员会,其职责是参加国际有关组织相应的活动,并在开展气候研究、预报、服务等工作中,负责对外的国际合作、交流,对内起到组织协调的作用,并与各有关部门共同协商、配合工作,充分发挥各有关单位的积极性,使气候科学更好地为国家建设服务。1995年成立了国家气候中心,专门从事气候监测、预测和评价等工作,为我国经济建设和社会发展提供了卓有成效的服务。目前,气候变化与生态环境问题已引起党和政府的高度关注。但是总体来看,迄今为止我国还未把适应与减缓气候变化影响的问题真正提上议事日程,这方面的研究仍十分薄弱和不足。由于全球气候变暖可能给我国自然生态系统和社会经济部门带来难以承受的、不可逆转的、持久的严重影响。因此,应对全球气候变暖的影响,趋利避害,应成为我国实施可持续发展时必须重视的问题之一。需要全面深入研究气候变化对我国自然生态系统和国民经济各部门的影响后果、可采取的适应与减缓措施,并在对其进行成本-效益分析的基础上,提出我国适应与减缓气候变化影响的规划和行动计划。

为了宣传和普及气候和气候变化方面的科学知识,提高公众在全球变化问题上的科学认识,我们组织编撰出版这套《全球变化热门话题》丛书。本套丛书一共18册,由国内相关领域的知名专家撰稿,内容包括以下三方面:一是以大量监测数据为基础,揭示全球变化的若干事实及其在各个分系统中的表现形式;二是以太阳

辐射、大气化学、大气物理、环境和生态演变等多学科交叉理论为基础,深入浅出地阐述气候变化的成因;三是以可持续发展理论为指导,提出人类适应和减缓全球变化的各种对策、途径和方法。该丛书的出版,旨在使人们对全球变化有清醒而全面的科学认识,从而更加关注全球变化,并且在更高的层次上、更广泛的范围内认识我国在全球变化中的地位和作用,自觉参与人类社会的共同决策,保护人类赖以生存的地球环境。

国家气候委员会主任
中国气象局局长

秦大河

2003年3月23日

目 录

第一章 什么是地球的气候系统?	(1)
气候学观念的演变	(1)
气候变化	(4)
气候系统的构成及其对气候变化的作用	(6)
气候系统的构成	(6)
气候系统各圈层的相互作用	(15)
第二章 过去和现在全球气候系统发生了什么变化?	(17)
怎样监测和测量气候系统的演变	(17)
仪器观测资料	(18)
代用资料	(22)
近百年的气候变化	(25)
全球气候变化	(26)
我国的气候变化	(32)
气候系统的演变	(35)
过去的气候变化	(43)
第三章 气候系统变化的原因	(47)
自然因素与气候变率	(47)
人类活动加剧了气候系统变化的进程	(51)
温室气体排放的影响	(51)
土地利用变化的影响	(61)
气候系统中的反馈过程	(62)
气候变化的检测和归因	(65)

影响中国气候变化的主要因子	(74)
东亚季风	(75)
厄尔尼诺/拉尼娜	(79)
青藏高原	(81)
人类活动	(84)
第四章 怎样预测未来气候系统的变化	(91)
气候预测模式	(92)
IPCC 的模式预测结果	(92)
气候模式中的主要物理过程	(94)
耦合的气候系统模式	(98)
简化气候模式	(100)
排放情景	(101)
气候变化预测的不确定性	(103)
产生不确定性的原因	(103)
气候模式及其结果的验证	(105)
第五章 未来 50~100 年地球气候系统将怎样演变	(108)
人类将完全进入一个变暖的世界	(108)
全球将继续变暖	(108)
大气中温室气体浓度将继续增加	(109)
北半球中高纬地区降水将继续增加	(111)
极端天气与气候事件出现的机会增加	(114)
许多地区的干旱加剧	(116)
海平面将加速上升	(117)
冰川和海冰将继续融解和退化	(118)
自然生态系统将经历更明显的变化	(120)
气候变化导致湖泊水位下降和面积萎缩	(124)
气候系统未来会发生剧烈的突然变化吗?	(124)
第六章 结语	(129)
气候观测网的改进	(129)

改进排放情景,研究和提出适合发展中国家的排放情景.....	(130)
改进气候预测方法(数理统计方法和动力气候模式)	(130)
改进对气候变化过程的了解.....	(131)
加强气候敏感性问题的研究.....	(131)
全面了解气候系统、生态系统和社会-经济部门变化的时间尺度与惯性问题.....	(132)
主要参考文献和资料.....	(135)

第一章

什么是地球的气候系统?

气候学观念的演变

在说明地球的气候系统之前,首先简明地介绍一下与气候有关的一些基本概念及其演变的历史是十分有益的。

气候不同于天气。天气是指短时间(几分钟到几天)发生的气象现象,如雷雨、冰雹、台风、寒潮、大风等。它们常常在短时间内造成集中的、强烈的影响和灾害。气候是指某一长时期内(月、季、年、数年到数百年或更长)气象要素(如温度、降水、风、日照和辐射等)和天气过程的平均或统计状况,主要反映某一地区冷暖干湿等基本特征,通常由某一时期的平均值和距此平均值的离差值(气象上称距平值)表征。公众日常关心的是每天的天气如何,近期有什么重大天气变化,但不少社会-经济活动的决策者和经济计划的制定者,为合理安排各种活动,以求趋利避害,更关心气候状况,特别是未来的气候变化。研究气候的特征、形成和变化的学科是气候学,它是大气科学的一个重要分支。气候学依据它的发

展有狭义的、经典的和广义的定义之分。前者通常被定义为平均天气或在某一长时期内的平均天气状态,更严格的是用这一长时期内对有关变量的平均值或变率从统计上来表征气候。广义的气候学定义指气候系统的状态及其变化,包括平均气候状态和气候变化与变率(climate change and variability)。由以上定义可见,随着科学的发展,气候从一个局地的、低层大气特征的概念已转变为全球气候系统的概念。气候学的研究对象也当然地扩展为全球气候系统。

从 19 世纪初到 20 世纪中期大约一个半世纪,气候学得到全面的发展(王绍武、丁一汇,2003)。主要内容有:

- 气候型与气候分类;
- 气候成因的物理分析(热平衡、水分平衡与循环和下垫面条件等);
- 大气环流与天气气候学;
- 大气活动中心与世界三大涛动;
- 区域气候学;
- 气候制图学;
- 区域气候学与地方气候志;
- 气候变迁与气候变化。

这个时期的气候学可以称为经典气候学或传统气候学。

中国的气候学研究始于 20 世纪,其中 1950 年以后发展很快,重点是季风、气候变迁、气候区划、气候志与气候预测(长期预报),在不少方面都做出了系统的研究成果。

气候学的研究在 20 世纪最后 20~30 年发生了巨大的变革,这主要是由于 20 世纪后半期经典气候学受到了挑战(王绍武、丁一汇,2003)。最早受到挑战的是气候平均值(climate normal)的概念,normal 有标准的意思,具体说:如果取 30 年平均值,则可以得到一个对当地气候有代表性的数值。当然这也就排除了标准值变化的可能性。后来人们逐渐认识到气候有时间以万年计的冰期、间

冰期旋回,也有几千年、几百年,乃至几十年的变化。不同时间尺度的气候变率得到了公认。这时人们还是把 30 年平均作为平均值,不过已经不再把它看成一个一成不变的值,而是一个评价当前气候的标准。另一个受到挑战的是“气候”的基本概念。20 世纪 70 年代以来全球气候系统的概念代替了经典的“气候”概念。也许人们还是应用气候这个名词,但想到的是全球气候系统,而不只是某一个地区的温、湿、压、风,即气温、降水量、气压与风向风速。与之相联系,对气候形成的物理因子,人们认识到也不仅限于太阳辐射、海陆分布与大气环流。例如人类活动造成的大气中温室气体浓度变化对气候的影响,就是近几十年气候研究的中心问题。又如 20 世纪末人们发现深海中的热盐环流(thermohaline circulation)改变,可能是气候突变的重要成因之一。这些都是对经典气候学概念的突破。因而传统的气候学逐渐转变为以复杂的气候系统为对象、主要研究气候变化和变率的学科。概括起来,这种转变有以下基本特征:

- 统计平均的传统观念转变为以气候变化和变异为主的现代气候学概念。
- 从单一的大气圈扩展到气候系统五个圈层以及包括人类活动的影响;涉及到多学科、多部门的交叉和相互渗透。研究的内容不仅限于气候的物理过程,而且与化学过程、生物过程密切相联。
- 在外界的强迫作用下,由气候系统决定的气候平均态是可以发生变化的,甚至在某些条件下其变化是以突变(非线性)和不可逆的状态出现。现代气候学理论已经初步具有解释和预测这种气候突变的能力。
- 气候变化具有全球性,区域气候变化与全球气候变化密切相关。
- 气候模式广泛应用于现代气候系统变化的模拟研究和预测。

- 气候观测不再只限于地面和高空观测,而是广泛应用各种卫星技术,对全球进行遥感观测。以气象卫星为主要观测工具之一,建立了全球气候观测系统(GCOS)。

目前,气候学正以崭新的面貌行进在 21 世纪。现代气候学的研究对象是全球气候系统的演变,当前集中研究下列 7 个方面的问题:

- 不同时间尺度的气候变率;
- 海洋在气候中的作用;
- 能量和水分循环对气候变化的作用;
- 冰雪圈对气候的影响;
- 平流层在气候变化中的作用;
- 人类活动对气候变化的影响,尤其是温室气体排放对气候的影响;
- 气候预测,尤其是季节预测和年际预测,以及未来 50~100 年气候变化趋势的预测。

在上述研究中,世界气候计划(WCP),尤其是世界气候研究计划(WCRP)、全球变化计划(IGBP)、国际人类活动计划(IHDP)和政府间气候变化专门委员会(IPCC)起着关键性的作用。

气候变化

气候变化是指气候平均状态和离差(距平)两者中的一个或两个一起出现了统计意义上显著的变化。离差值增大,表明气候变化的幅度越大,气候状态不稳定性增加,气候变化敏感性也增大。图 1.1 以温度为例说明气候变化与平均值变化或离差值变化的关系。如图所示,假定某一地区或地点的温度多年平均条件下呈正态分布,则该地区的天气在平均温度处出现的概率最大,偏冷和偏热的天气出现的概率较小,极冷或极热的天气(一般在 2 倍标准差 σ 以上)出现的可能性很小或没有。假如由于气候变暖的作用,平均

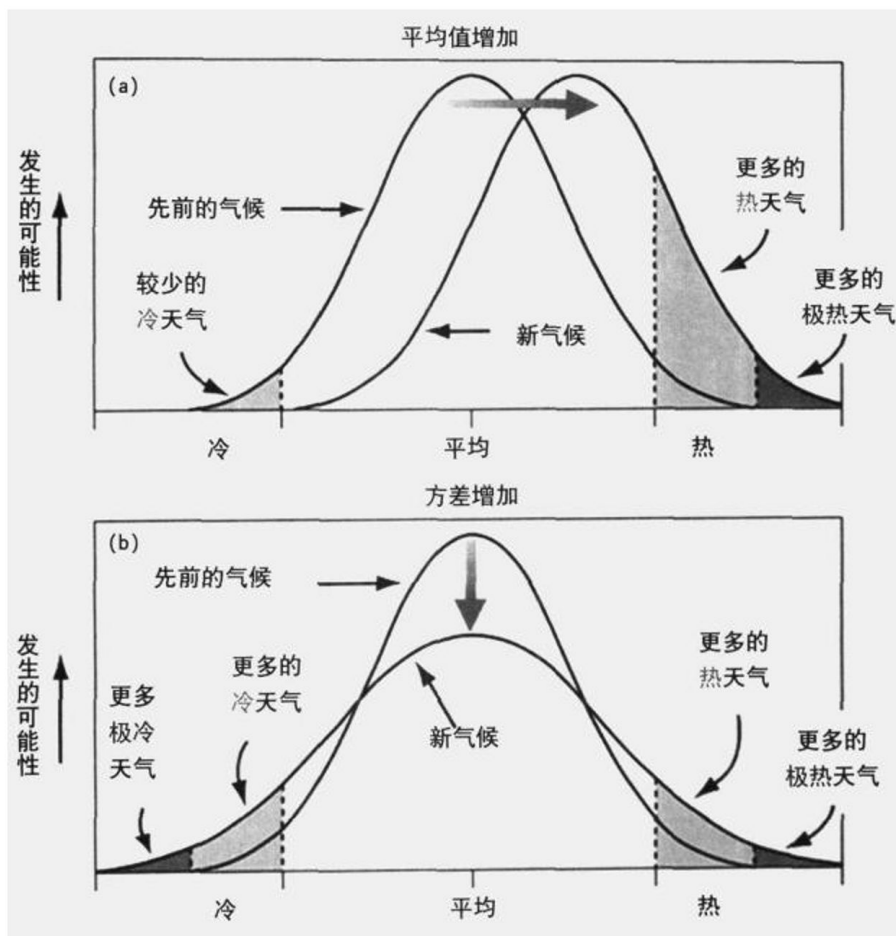


图 1.1 气候变化与气候平均值(a)和变化幅度(b)变化之间的关系

(横坐标代表温度,纵坐标代表出现概率)

(取自 IPCC, 2001)

值增加了某一数值(见水平箭头向右移动),这时偏热天气出现的概率将明显增加,并且原来从不出现的极热天气现在也可以出现了(见图 1.1(a)的最右端,现在也具有一定的概率值,虽然很小);相反,偏冷天气出现的概率将大大减少。图 1.1(b)则说明平均值不变,但离差增加后,会造成更多的偏冷或偏热天气,以及更多的极热或极冷天气。可以看到,这几类天气的出现概率都比先前气候