



# 现代气候学原理

潘守文等 编著

气象出版社

(京) 新登字046号

### 内 容 简 介

本书全面而系统地讲述了现代气候学的基本原理、研究方法和新近研究成果,是《气候学原理》一书的继承和发展。本书文笔流畅,资料翔实,内容丰富,叙述严谨,是一本有关气候学领域内比较新颖的教学参考书。

本书可供高等院校的气候、气象、海洋、自然地理、农林、水文、生态环境及相关学科的师生、研究生和科技工作者阅读参考。

### 现代气候学原理

潘守文等 编著

责任编辑:殷钰 李如彬 审终:纪乃晋

封面设计:牛涛 责任技编:席大光 责任校对:祥旭

\*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京昌平环球科技印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

\*

开本: 850×1168 1/32 印张: 37.375 字数: 968 千字

1994年5月第一版 1994年5月第一次印刷

印数: 1—1200

ISBN7-5029-1467-6/P·0623 (课)

定价: 20.60元

## 前 言

50年代末出版的《气候学原理》是著名气候学家么枕生教授编写的一部颇具影响的气候学论著，并在国外翻译出版。该书自成体系，系统地总结了当时各国气候学的研究成果，对气候学的发展作出了贡献。

在过去的三十年间，气候学的研究领域和研究方法出现了新的突破，大量的研究成果使人们对地球气候有了新的认识。在这种情况下，重新编写一本能反映气候学发展水平的新书，是学科发展的需要。在么枕生教授多次建议下，笔者从1986年开始编写工作。本书是笔者在《气候学原理》的基础上，从事气候学教学和研究工作的多年积累，部分内容取自笔者为硕士研究生和博士研究生讲课时的手稿。

在编写过程中，我们曾试图运用系统论和气候系统的观点，对影响气候的各种因子和复杂过程加以阐述。但是，要完全做到这一点，确非易事。因为系统论和气候系统的提出为时还很短暂，企望用系统论的观点来解释在时间尺度上和空间尺度上变化很大的气候现象，还有很多问题需要解决，希望能在国内外同行的共同努力下使之得以实现。

本书共分十五章，各章内容既有联系又具有相对独立性。内容包括系统论与气候系统，作为气候系统主要能量来源的太阳辐射及其全球分布，大气环流的气候学意义，海陆分布和地形的气候效应，人类活动对气候的影响，气候分类和气候变化，以及卫星气候、动力气候和中小尺度气候等现代气候学的各个主要方面。

本书得以出版，首先应感谢么枕生先生和纪乃晋先生的热情

鼓励，同时也要感谢南京大学大气科学系领导的大力支持和气候教研室各位同事和研究生的帮助和支援。书中插图的清绘工作由南京大学大气科学系金仪璐完成，在此一并表示感谢。

本书采用以国际单位制为基础的中国法定单位制，书中引用的资料都经过反复验证。书末列出本书引用的五十年代以后发表的主要参考文献目录。本书涉及的气候资料，中国境内的采用《中国地面气候资料(1951—1980)》和《中国降水量资料(1951—1980)》以及1951—1980年的高空资料，中国以外各大洲的采用W. Rudloff(1981)汇编的世界气候资料。为方便读者查阅，书中出现的地名均与《中国地图集》和《世界地图集》核对过，并尽可能地标出它们的经纬度和海拔高度。

参加本书编写工作的还有：

李永康——第四章第七节大气环流异常对气候的影响；

马开玉——第十章气候变化；

江 静——第十一章卫星气候；

钱建华——第十二章动力气候。

最后由笔者对全书的内容、编排和文字作了统一处理和调整。由于作者水平所限，缺点和错误在所难免，敬请批评指正。

南京大学大气科学系教授

潘守文

一九九二年十月

## 么 枕 生 序\*

本书是作者积累二十余年的教学与研究资料，继续共历十载编写而成的。本书的骨干部分曾在南京大学气象系创办气候专业时作为讲稿。

本书内容共分六篇二十三章。第一篇讲述影响气候的辐射因素；第二篇讲述影响气候的环流因素；第三篇讲述影响气候的地理因素；第四篇讲述气候的综合；第五篇讲述气候的变迁；第六篇讲述局地气候与微气候。第一篇至第三篇可以称之为分析气候学；第四篇可以称之为综合气候学；第五篇可以称之为古气候学；第六篇可以称之为小气候学。在上述各篇中，除综述现代的科学成就外，还适当注意历史意义重要的文献。

本书是作者把各家研究的成果以及自己的意见与工作，用自己的体系综合著述。有关古典气候学方面的论文，作者并未读过，这方面内容乃采自另外许多综合性著作，主要的有《气候学大纲》（韩恩、克诺哈，1932），《气候学》（福井英一郎，1942）和《气候学教程》（阿里索夫等，1952）。

---

\* 为表明本书是对《气候学原理》的继承和发展，特将该书序言摘录于此，同时藉此表达笔者对先生多年来辛勤教导的感激之情。

# 目 录

## 前言

## 么枕生序

<b>第一章 导论</b> .....	( 1 )
§1.1 气候的概念.....	( 2 )
§1.2 系统论与气候系统.....	( 7 )
§1.3 气候系统的构成与反馈机制.....	( 12 )
§1.4 气候系统与能量系统.....	( 18 )
§1.5 气候学的定义和分支.....	( 23 )
§1.6 气候学研究的三个阶段.....	( 27 )
<b>第二章 天文气候与物理气候</b> .....	( 35 )
§2.1 太阳与太阳辐射.....	( 35 )
§2.2 日地相对位置与天文昼长.....	( 38 )
§2.3 太阳常数.....	( 47 )
§2.4 天文辐射日总量.....	( 52 )
§2.5 天文辐射季总量与年总量.....	( 60 )
§2.6 极圈外天文辐射总量的计算问题.....	( 75 )
§2.7 季节长短与辐射差别.....	( 86 )
§2.8 日地关系.....	( 91 )
§2.9 大气对太阳辐射的削弱.....	( 94 )
§2.10 辐射物理气候的某些特征.....	( 105 )
<b>第三章 地球-大气系统的能量平衡</b> .....	( 138 )
§3.1 基本方程.....	( 138 )
§3.2 辐射平衡的变化特征.....	( 144 )
§3.3 全球热量平衡.....	( 162 )

§3.4	地球-大气系统能量平衡模式	(174)
§3.5	能量的经向调整	(180)
§3.6	辐射加热率和辐射冷却率	(184)
§3.7	大气的温室效应	(190)
<b>第四章</b>	<b>大气环流与气候</b>	<b>(205)</b>
§4.1	大气环流的气候学意义	(205)
§4.2	大气环流形成的基本因子	(209)
§4.3	一般大气环流模式	(214)
§4.4	大气环流的平均特征	(220)
§4.5	角动量的输送与平衡	(227)
§4.6	海陆分布对大气环流的影响	(240)
§4.7	大气环流异常对气候的影响	(254)
§4.8	气团、锋与气候	(265)
§4.9	气旋、反气旋与气候	(287)
§4.10	行星风系与气候	(311)
<b>第五章</b>	<b>海陆分布与气候</b>	<b>(333)</b>
§5.1	海陆物理特征的差异	(333)
§5.2	海陆分布的温度效应	(341)
§5.3	海陆分布与大气水分	(358)
§5.4	海陆分布与周期性风	(375)
§5.5	气候大陆度	(409)
§5.6	海陆间水分平衡和水分循环	(420)
<b>第六章</b>	<b>海流与气候</b>	<b>(442)</b>
§6.1	海流的形成与分类	(442)
§6.2	海流的地理分布	(447)
§6.3	海流对温度的影响	(458)
§6.4	海流对降水和海雾的影响	(468)
§6.5	海流异常与厄尔尼诺现象	(476)
<b>第七章</b>	<b>地形与气候</b>	<b>(487)</b>

§7.1	地形与辐射	(488)
§7.2	地形与温度	(510)
§7.3	地形对气流的影响	(527)
§7.4	地形与大气水分	(560)
§7.5	地形对降水的影响	(567)
§7.6	地形对雪被的影响	(575)
§7.7	气候的分界线	(580)
<b>第八章</b>	<b>气候分类</b>	<b>(586)</b>
§8.1	气候带与气候分类	(586)
§8.2	柯本气候分类	(595)
§8.3	柯本气候分类的改进	(615)
§8.4	桑斯威特气候分类	(638)
§8.5	斯特拉勒气候分类	(650)
§8.6	弗隆和阿里索夫的气候分类	(657)
§8.7	布德科气候分类	(662)
<b>第九章</b>	<b>气候的水平分布和垂直分布</b>	<b>(673)</b>
§9.1	气候的水平分布	(673)
§9.2	赤道气候	(675)
§9.3	热带气候	(681)
§9.4	副热带气候	(687)
§9.5	温带气候	(695)
§9.6	寒带气候	(703)
§9.7	极地气候	(707)
§9.8	气候的垂直分布	(712)
<b>第十章</b>	<b>气候变化</b>	<b>(723)</b>
§10.1	气候变化的事实	(723)
§10.2	气候变化的研究方法	(747)
§10.3	气候变化的可能原因	(774)
§10.4	气候预报问题	(809)

<b>第十一章</b>	<b>卫星气候</b> .....	( 816 )
§11.1	气象卫星与卫星资料 .....	( 816 )
§11.2	卫星辐射气候 .....	( 825 )
§11.3	卫星云气候 .....	( 840 )
§11.4	卫星测海面温度 .....	( 853 )
§11.5	卫星资料在季风研究中的应用 .....	( 865 )
<b>第十二章</b>	<b>动力气候</b> .....	( 877 )
§12.1	气候模拟 .....	( 877 )
§12.2	能量平衡模式 .....	( 882 )
§12.3	大气环流模式 .....	( 904 )
§12.4	随机-动力模式.....	( 920 )
<b>第十三章</b>	<b>中小尺度气候的物理基础</b> .....	( 929 )
§13.1	下垫面能量平衡方程 .....	( 929 )
§13.2	近地层风速的垂直分布 .....	( 941 )
§13.3	空气温度和湿度的垂直分布 .....	( 953 )
§13.4	土壤温度的垂直分布 .....	( 962 )
§13.5	近地层感热通量的计算 .....	( 971 )
§13.6	近地层潜热通量的计算 .....	( 988 )
§13.7	土壤热通量的计算 .....	(1001)
<b>第十四章</b>	<b>类型小气候</b> .....	(1012)
§14.1	起伏地形小气候 .....	(1013)
§14.2	水域小气候 .....	(1030)
§14.3	森林小气候 .....	(1041)
§14.4	农田小气候 .....	(1069)
§14.5	雪被小气候 .....	(1089)
<b>第十五章</b>	<b>人类活动对气候的影响</b> .....	(1100)
§15.1	人类活动影响气候的途径 .....	(1101)
§15.2	护田林带的气候效应 .....	(1105)
§15.3	人工灌溉的气候效应 .....	(1122)

§15.4 城市化的气候效应·····	(1128)
<b>参考文献</b> ·····	(1167)
<b>附录 I 本书采用的常数</b> ·····	(1179)
<b>附录 II 本书使用的计量单位</b> ·····	(1180)

# 第一章 导 论

20世纪最后一二十年，一个“幽灵”——地球气候变暖的幽灵在全世界游荡着。人们从来没有像今天这样关注着自己的居住环境可能遭受到气候变暖所引发的可怕后果。为了“稳定”气候，世界各国从政府首脑到专家学者正在采取或试图采取各式各样的对策，以摆脱气候变暖可能造成的灾难。正是在这样一种声势浩大的喧嚣声中，气候学已不知不觉地从学术研究领域走向寻常百姓的脑际中，成为亿万人所关注、谈论的对象。无疑这将促使气候学的研究产生一个质的飞跃，因为气候学家的研究结果不仅是为提高本门学科的理论水平和应用价值，而且还要为克服人们对气候变暖的恐惧心理提出确实可行的对策。

那么，究竟什么是气候？气候学研究的对象是什么？气候学在大气科学中的地位以及气候学与其它相关学科的关系如何？我们在本章乃至本书的各章中将试图用许多事实对上述问题加以说明。诚然，我们不可能对所有问题都说得很清楚，但是对于气候学所涉及的重要领域，我们将不会故意疏漏。因此，作为全书的一个引子，我们在本章中将简要地介绍气候学的定义、研究内容、气候与气候系统以及与此有关的知识。至于一般教科书中通常所叙述的气候学发展史、研究方法以及气候学在国民经济各部门中的地位 and 作用等问题，不再单独讲述，在以后有关章节中将针对具体问题分别加以介绍。有关中国近40年来在气候学方面取得的进展，么枕生（1990）已作了比较全面的介绍，这里不再赘述。

## §1.1 气候的概念

天气和气候是大气科学中既有联系又有区别的两个不同的概念。通常认为，某一瞬间或一定时段内大气状态和大气现象的综合称为天气；气候则是长时期的大气平均状态，即长时期的天气的综合表现。天气和气候的空间尺度基本一致，从几公里到几千公里乃至上万公里；时间尺度却大相径庭。天气的时间尺度从几小时到几天、十几天；气候的时间尺度则要长得多，从一个月到一年甚至是几千年、上万年。但是这两个概念有时被混淆了，以致分不清天气和气候到底何所指。我们可以说今天的天气很好，但不能说今天的气候很好；反之，我们只能说今年的气候很好，却不能说今年的天气很好，因为天气和气候这两个概念所包含的时间尺度不同。

大气的物理状态是十分复杂的，在大气科学中通常把它分解成诸如温度、湿度、降水、日照、风向、风速、气压、云状和云量等气象要素，分别表现大气的各种物理属性。世界各地气象站的定时观测记录以及将这些记录汇总而绘制的天气图，表现了瞬时的大气状态的空间分布，揭示出同一时刻各地区的天气状况。气候则是一种时间尺度更长的大气状态，它不能用瞬时气象观测记录和天气图反映出来，而是根据这些气象要素的统计特征表现出来，因此气候就是大气的长时期的统计状态。

所谓长时期的时间范围，通常是指半个月以上时间。由于各地气候存在着明显的以年为周期的序列变化，即气候的年变化，在一年以内某一时段的气候状态都要受到年变化的制约。因此，严格地说，气候所指的时间尺度应该是一年以上时期的大气平均状态。

世界气象组织（WMO）规定把30年作为描述气候的标准时段，因此气候就用30年内各种气象要素和气象现象的统计性质作

为特征值来表示。这个30年为一周期的统计特征是表现气候特征的最短年限，如30年的平均温度、30年的平均年降水量、30年的风向频率等。作为当前阶段相互比较的标准值，规定以1931—1960年这个30年间所得出的气候要素平均值作为标准值。从有气象观测记录以来，将30年的气候平均值加以比较，可以发现它们之间的差别是不大的。但是，从这些看上去似乎相差不大的变化中，仍然可以感受到气候的起伏，如上海1931—1960年这个标准时段的年平均气温为 $15.8^{\circ}\text{C}$ ，而1896—1925年的30年间年平均温度则是 $15.2^{\circ}\text{C}$ 。因此在不同的30年内气候处在不断的变化之中，它们既包含了气候的自然变化，也含有人类活动对气候的影响。这种变化因纬度、海拔高度、海陆分布的相对位置和自然地理条件而异，同时随着世界范围的工业化的进展，人类活动所引起的气候变动也是一个重要原因。

用30年作为气候标准时段对于气候研究来说是很方便的。30年的气候要素统计平均值既表现了当前的气候特征，又可对不同的以30年为一统计时段的气候相互比较。各个30年统计时段气候的统计平均值之间的差异称为气候变化，在30年内各个年份之间的气候差异称为气候变率。

气候是地球上的一种自然现象，是一种可为人类认识和掌握的复杂的自然现象。由于气候现象的复杂性，形成气候的多种多样原因，以及人类对气候及其变化的认识随着科学技术的进步而不断深化，不同的人在不同的时代对气候的认识以及有关气候的定义可以相差很大。

早期，有人曾认为气候就是某地天气的平均状态和一般过程（W·Köppen, 1884），或者是各种气象要素和气象现象的总和（А.И.Воейков, 1884, J.Hann, 1908等），气候是天气的总和（Е.Е.Федоров, 1925）。Л.С.Берг（1938）从地理学观点出发，认为气候是地理过程的一部分，他认为一地的气象现象的平均状态可以影响植物、动物、人类以及土壤类型，因此气象现象

的平均状态就是气候。他甚至还断言：如果谈论在地球上出现生命以前的气候也许会觉得很荒唐。这个关于气候的定义显然是极其荒谬的，因为在地球上生命现象出现以前至少已经存在着某种能够促进有机化合物出现和适合生命活动过程发展的气候。

J. M. Mather(1974)认为气候是较大范围内较长时期(几天、几个月以至几年)的特征性天气,气候不仅指平均情况,也包括某一地点或地区出现各种天气情况的几率和极端值。这个关于气候的定义与 E. C. Рубинштейн 和 O. A. Дроздов(1952)所给出的气候定义有一些共同之处。后者不仅指出气候是多年所具有的特征性的天气情况,而且指明气候是在太阳辐射、下垫面性质和大气环流的共同影响下形成的。所谓特征性天气情况,不仅解释为在该地最为常见的天气情况,而且也包括该地在特殊年份的天气情况。

一般说来,气候是与太阳辐射的输入及其转换、海陆分布、地表状况和天气状况紧密相连的。在气候的定义中,不仅要能说明气候是长时期的天气的平均状况,而且还要能反映出一般大气环流特征和地理因素与气候之间的相互联系和相互作用。因此,目前关于气候的定义有一种较为流行的看法就是,在太阳辐射、大气环流、海陆分布和下垫面性质多年来相互影响和相互作用下形成的带有特征性的天气状况。

气候不能被看作是一成不变的自然现象。从地球形成以来,在不同的地质时期,由于入射太阳辐射、海陆分布和下垫面性质的不断变化,气候也随之发生改变。在地球发展的不同阶段,有不同的气候;即使在同一个地质阶段,假定太阳辐射输入相对稳定,地壳运动相对少变,但是大气环流、海洋循环以及海气间相互作用的变化也会导致气候变动。数千年来,人类活动对气候的消极影响也是使气候发生改变的一个重要原因。

人类活动对气候的影响自人类出现之后就已开始,但是从上个世纪以来,由于人口的增加和工业的发展,这种影响才开始明显地表现出来。人口的急剧膨胀必然导致耕地和牧场的迅速扩大

从而使森林遭到毁坏；工业化的进展又使废气、废水、废渣严重地污染环境，改变大气成分，加剧地球气候变暖的进程。虽然在目前人类活动对气候的影响尚不足以和自然因子相抗衡，但是由于人类活动的广度和深度正在急剧地增加，它作为影响气候的一个重要因子只是时间问题。

作为人类活动影响气候的一个例子，毁林造田是使全球气候变暖的一个重要原因。19世纪初，全世界耕地面积仅有450万 $\text{km}^2$ ，约占陆地面积的3%。其后，随着人口的急剧增长，耕地面积也在迅速扩大。目前，在全球陆地总面积15000万 $\text{km}^2$ 中，耕地约占10%，达1500万 $\text{km}^2$ ，牧场约占20%，达3000万 $\text{km}^2$ ，沙漠、冻土约占33%，即5000万 $\text{km}^2$ ，森林覆盖面积仅占37%，即5500万 $\text{km}^2$ 。遗憾的是，现在每年毁林面积仍以0.4%的速率在持续着，即每年大约有20万 $\text{km}^2$ 的森林被砍伐。按照这样的毁林速率来推算，只需250年左右，整个地球上的森林覆盖将荡然无存。

毁林最为严重的主要是热带雨林的迅速减少。全球热带地区现有森林面积不到2000万 $\text{km}^2$ ，其中46%以上在南美。热带雨林每年被砍伐的面积约11万 $\text{km}^2$ ，而造林速率却远远落后于毁林速度，二者之比在热带美洲为1:10，热带非洲为1:29，在热带亚洲为1:4.5。非洲埃塞俄比亚原来森林茂密，1940年森林覆盖率仍高达40%以上，但1981年卫星图片给出的结果只剩下3%多一点。哥伦比亚在最近几十年森林面积也已减少40%左右。

毁林的直接结果改变了下垫面性质，使地气之间的热量、水分、辐射和其它物质的输送和平衡关系受到破坏，尤其是低纬热带雨林地区，因大片森林被毁，致使温度不断升高，气候发生变化。

人类活动影响气候的另一个重要问题，就是大气中二氧化碳含量增加所产生的温室效应。大气中二氧化碳对入射太阳辐射的阻挡作用很小，但却能吸收地球向上放射的长波辐射，使大气和地表温度升高。近百年来，由于矿物燃料的燃烧每年进入大气的

二氧化碳量在逐年增加，目前每年平均约增加 1ppm 的量级。根据计算，如果大气中二氧化碳含量比现在增加 1 倍，地球平均温度将增加 1.5—4.5℃，极地可升高 10℃ 以上，而受影响最大的地区是北半球中纬度。

除了人类活动对气候产生的影响以外，火山爆发所产生的气候效应是使全球温度降低，同样是地球气候发生变化的一个不可忽视的原因。火山爆发是地球上一种自然现象，自有记载以来多次观测到火山爆发后全球气候发生变化的事实。例如，1815 年印度尼西亚坦博拉火山爆发后向大气层喷发出大量的微尘，方圆几百公里在熊熊燃烧，灰烬在山间和空中弥漫，遮天蔽日。火山喷发的微尘随风飘移，使全球气候发生巨大变化。据估计全球平均温度因之而降低 1℃ 多。1816 年，欧洲是两个世纪以来最冷的一年，新西兰变得十分寒冷，以致该年为无夏年。

北美圣海伦斯火山在停息 50 年后于 1980 年再次爆发；墨西哥切垦斯火山在 1982 年爆发后，第一年太阳辐射入射量降低 25—30%，第二年降低 50%，致使全球温度下降 0.3—0.5℃。

应当指出，全球平均温度降低 1℃，相当于向高纬方向推移 1 个纬度。14 世纪全球平均气温仅降低 1.1℃，就引起破坏力极大的小冰期出现。地球上在亿万年前出现的冰河时代，其温度只比现在低 5℃ 左右。

因此，导致气候变化的原因既有人为因子，也有人类无法抗拒的自然因子。按照目前科学技术发展水平，要想将人类活动的气候效应从气候的自然变化中分离出来还是很难办到的。人为地改变气候因子以便达到改造气候的目的，至少在目前以及可预见的将来还仅仅是一种大胆的设想，但是通过人为地改变下垫面特性达到改良局部地区气候条件的目的，则是一种较为现实而又确实可行的办法，这就是人为改变下垫面性质和状态，使原有的小气候环境朝着有利于人类生活和生产活动的方向发展，这种办法称为人工影响小气候。