



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Xiandai  
Qihouxue

# 现代气候学

© 缪启龙 江志红 陈海山 余锦华 编著



气象出版社

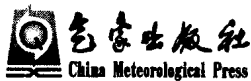
China Meteorological Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 现代气候学

缪启龙 江志红 陈海山 余锦华 编著



## 内容简介

本书系统地阐述了现代气候学的基本概念、原理和研究内容,力求反映现代气候学的最新成果。书中内容包括气候系统概念,辐射平衡,能量输送,水分交换,海—气、陆—气相互作用,冰雪与气候,人类活动与气候以及大气的平均状态和气候变化的事实,并对气候诊断与预测的方法和气候数值模拟的基础理论予以介绍和阐述。

本书可作为大气科学类本科生教材,还可以供地理、水文、环境、海洋、农、林等专业的本科生或研究生作为教学参考书,也可供相关专业技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

现代气候学/缪启龙等编著. —北京:气象出版社,2011.1

ISBN 978-7-5029-5141-2

I. ①现… II. ①缪… III. ①气候学-高等学校-教材 IV. ①P46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 247047 号

Xiandai Qihouxue

## 现代气候学

缪启龙 江志红 陈海山 余锦华 编著

---

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn/>

责任编辑:李太宇 王萃萃

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京京科印刷有限公司

开 本:720 mm×960 mm 1/16

字 数:451 千字

版 次:2010 年 12 月第 1 版

印 数:1~5000 册

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: [qxcbs@cma.gov.cn](mailto:qxcbs@cma.gov.cn)

终 审:章澄昌

责任技编:吴庭芳

印 张:23

印 次:2010 年 12 月第 1 次印刷

定 价:41.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

# 前 言

自从20世纪70年代提出气候系统的理论以来,气候学的研究进入一个崭新的阶段,从气候系统各个子系统之间的相互作用来讨论气候问题的科学研究在全世界十分活跃,一些新发现、新观点、新方法、新理论层出不穷,使气候学得到了空前的大发展,形成了丰富的现代气候学内容。尽管我们长期从事气候学的教学,想在一本教材中全面地、系统地阐述现代气候学的全部内容仍感到十分困难。本书试图用气候系统的基本理论阐述气候形成与变化的各种影响因子及子系统之间复杂的相互作用,使读者能对现代气候学有一个基本的认识和理解。本教材引用了大量的科学文献,力求反映最新成果,为的是使读者能对现代气候学研究进展有一定的了解。

本书共12章,第1章为绪论,介绍气候学的发展过程;第2章介绍气候系统的概念;第3~10章阐述气候系统各子系统之间能量、动量、物质的交换和输送过程,各子系统之间的相互作用及其对气候形成与变化的影响;第11章介绍气候诊断与气候预测的方法;第12章阐述现代气候学理论研究及气候预测的重要手段——气候数值模拟的基础。这些内容可使读者对现代气候学的基本理论有较完整的了解。

本书是大气科学类本科生教材,也可作为地理、环境、生态、水文、农林等专业本科生或研究生的教学参考书,教学时数50~70学时,也可供相关专业技术人员参考。

本书由缪启龙负责主编,江志红编写第9、11章,陈海山编写第7、12章,余锦华编写第4章,缪启龙编写第1、2、3、5、6、8、10章,并对全书内容进行了调整、修改、定稿。

在编写过程中,得到了南京信息工程大学领导的支持;南京信息工程大学翁笃鸣教授审阅了书稿,并提出宝贵的修改意见;段春锋、曹雯、王勇、丁园圆、张春莹等博士及方思达硕士为本教材的编写付出了大量的辛

勤劳动,气象出版社给予了大力支持,在此一并致以衷心的感谢。

诚恳希望能对本教材的不足与错误提出批评、指正。

**穆启龙**

2010年9月15日于南京信息工程大学

# 目 录

## 前言

|                              |      |
|------------------------------|------|
| <b>第 1 章 绪 论</b> .....       | (1)  |
| 1.1 “气候”的概念 .....            | (1)  |
| 1.2 现代气候学和传统气候学 .....        | (2)  |
| 1.3 气候学的发展 .....             | (3)  |
| 1.4 现代气候学的任务 .....           | (7)  |
| <b>第 2 章 气候系统</b> .....      | (8)  |
| 2.1 气候系统的组成 .....            | (8)  |
| 2.2 气候系统的物理、化学过程 .....       | (11) |
| 2.3 气候系统的基本特性 .....          | (12) |
| 2.4 气候系统的可预报性 .....          | (15) |
| 2.5 气候系统的研究 .....            | (16) |
| <b>第 3 章 气候系统的能量平衡</b> ..... | (20) |
| 3.1 太阳辐射 .....               | (20) |
| 3.2 大气中的辐射传输过程 .....         | (24) |
| 3.3 气候系统的辐射平衡 .....          | (28) |
| 3.4 地—气系统的热量平衡 .....         | (44) |
| 3.5 全球热量平衡 .....             | (57) |
| <b>第 4 章 气候系统的水分循环</b> ..... | (62) |
| 4.1 水的物理性质 .....             | (62) |
| 4.2 气候系统中的水 .....            | (63) |
| 4.3 水分循环 .....               | (65) |
| 4.4 地表面蒸发 .....              | (69) |
| 4.5 大气中的水分 .....             | (78) |
| 4.6 降水 .....                 | (83) |
| 4.7 径流 .....                 | (85) |
| 4.8 气候系统的水分平衡 .....          | (89) |

---

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| <b>第 5 章 大气系统的平均状态</b> ..... | (98)  |
| 5.1 平均温度结构 .....             | (98)  |
| 5.2 平均大气环流 .....             | (101) |
| 5.3 季风 .....                 | (108) |
| 5.4 气候的地理分布 .....            | (117) |
| <b>第 6 章 海—气相互作用</b> .....   | (125) |
| 6.1 海洋在气候形成和变化中的重要性 .....    | (125) |
| 6.2 海、陆物理特性的差异 .....         | (126) |
| 6.3 海、陆分布对气候的影响 .....        | (129) |
| 6.4 海洋环流 .....               | (132) |
| 6.5 海—气能量交换 .....            | (141) |
| 6.6 热带海洋对气候的影响 .....         | (145) |
| <b>第 7 章 陆面过程</b> .....      | (163) |
| 7.1 陆面过程的基本概念 .....          | (163) |
| 7.2 陆面过程对气候的影响 .....         | (167) |
| 7.3 陆面过程模拟 .....             | (178) |
| <b>第 8 章 冰雪圈与气候</b> .....    | (190) |
| 8.1 地球上冰雪圈的分布与变化 .....       | (190) |
| 8.2 冰雪覆盖对气候的影响 .....         | (199) |
| 8.3 冰雪作用的模拟 .....            | (208) |
| <b>第 9 章 气候变化</b> .....      | (210) |
| 9.1 基本概念 .....               | (210) |
| 9.2 地质时期的气候变化 .....          | (215) |
| 9.3 历史时期的气候变化 .....          | (222) |
| 9.4 近百年全球和中国的气候变化 .....      | (227) |
| 9.5 极端气候的变化 .....            | (237) |
| 9.6 气候变化的成因 .....            | (244) |
| <b>第 10 章 人类活动与气候</b> .....  | (256) |
| 10.1 人类活动对气候变化的影响 .....      | (256) |
| 10.2 气候变化对人类社会的影响 .....      | (268) |
| <b>第 11 章 气候诊断与预测</b> .....  | (283) |
| 11.1 基本概念 .....              | (283) |
| 11.2 气候诊断的主要方法 .....         | (285) |

---

|               |                     |              |
|---------------|---------------------|--------------|
| 11.3          | 气候预测 .....          | (302)        |
| <b>第 12 章</b> | <b>气候数值模拟 .....</b> | <b>(307)</b> |
| 12.1          | 基本概念 .....          | (307)        |
| 12.2          | 气候模式的基本原理和方法 .....  | (310)        |
| 12.3          | 几类气候模式介绍 .....      | (315)        |
| 12.4          | 当代气候模拟 .....        | (327)        |
| <b>参考文献</b>   | <b>.....</b>        | <b>(340)</b> |

# 第1章 绪论

## 1.1 “气候”的概念

关于“气候”一词有着各种各样的定义,100多年来,人们从不同的角度,以不同的方法对气候给出不同的定义,随着对气候现象认识的不断深入,“气候”的概念也就随之不断地变化,气候可以理解为某一地区(或某一区域)大气的长年状态,用各种气候要素的统计值来表示。洪堡(A. V. Humboldt, 1845)认为气候是人类能够感知的大气中所有的变化;汉恩(J. Hann, 1908)认为气候是地表上某一地点、根据大气平均状态可以了解的气象现象的总称,即气候是大气的平均状态,研究各种气象要素的地理分布和年、日变化。随着天气学的发展,柯本(Koppen)、阿里索夫(В. П. Алисов)等认为气候是一地区天气的平均状态和一般过程,研究各种天气系统、大气环流的平均状态。也有人提出气候是大气众多状态的一个统计集合,这一定义除了大气的平均态外,还包含着大气的其他统计特征,如距平、协方差、相关等。

20世纪70年代以来,气候学研究进入了一个新的阶段。1974年在斯德哥尔摩世界气象组织(WMO)和国际科学联盟理事会(ICSU)联合召开的“气候的物理基础及其模拟”国际学术讨论会上,明确地提出了“气候系统”的概念,气候系统作为大气圈与水圈(海洋)、冰雪圈、岩石圈和生物圈相互作用的整体,认为气候是天—地—生相互作用下的大气系统的较长时间的平均状态。

政府间气候变化专门委员会(IPCC)2007年报告给出:狭义上气候通常被定义为“天气的平均状态”,严格表述为“在某一时段内气候要素的平均值和变率的统计描述”。这里“某一时段的长度”从几个月到几千年甚至几百万年不等,WMO规定30年,如1971—2000年,1981—2010年等,作为代表某一地区现代气候的定义时段,反映目前气候的基本特征。

图1.1是大气过程的尺度谱,图上的时间坐标是用10年为底的对数表示,空间坐标则是以10 km为底的对数。可见气候的时间尺度谱很宽。

天气和气候都是研究大气的运动,如天气学研究大气波动的状态和位相,有超长波、长波、短波等,其位相就是槽、脊、高压、低压等气压场成员。这些大气波动的位相在时间坐标上有着对应的关系,因为地球是有一定的空间尺度的,超长波在半球尺度上只有三个波,大约15天的时间,这个时间尺度的大气过程是一个短期过

|      |           |    |      |        |    |       |     |      |          |            |         |          |          |         |
|------|-----------|----|------|--------|----|-------|-----|------|----------|------------|---------|----------|----------|---------|
| 时间尺度 | -6        | -5 | -4   | -3     | -2 | -1    | 0   | 1    | 2        | 3          | 4       | 5        | 6        | 7       |
| 空间尺度 | 分 时 日 月 年 |    |      |        |    |       |     |      |          |            |         |          |          |         |
| 谱段   | 湍流尺度      |    | 天气尺度 |        |    | 大天气尺度 |     | 气候尺度 |          |            |         |          |          |         |
| 阶次   |           |    | 积云   | 中小尺度系统 | 短波 | 长波    | 超长波 | 年变   | 2, 5 年周期 | 25, 40 年周期 | 小冰期、间暖期 | 副冰期、副间冰期 | 亚冰期、亚间冰期 | 大冰期、温暖期 |
| 频率   | 超高频       |    | 高频   |        |    | 低频    |     | 次频率  |          |            |         |          |          |         |
| 学科   | 微气象学      |    | 天气学  |        |    | 大天气学  |     | 气候学  |          |            |         |          |          |         |

图 1.1 大气过程的尺度谱

程,其运转主要是靠大气自身具有的能量来维持的,不需要考虑其他能量的输入,即是一个绝热过程,是一个大气内部的过程。

由此,对时间较长的气候尺度的大气,我们不能认为是绝热系统,它与下垫面如地表植被、海洋、地形、地貌等环境因子处于频繁而又复杂的相互作用之中,这是气候与天气的根本区别之一。因此气候系统概念的提出将促使气候学向更深入、更广阔的领域发展,将加深对气候形成和变化的认识 and 了解。

## 1.2 现代气候学和传统气候学

陶诗言认为在 20 世纪 50 年代以前用气象要素的统计平均来描述气候,是把气候当作静态来研究的;而现代则把气候看做是不断变化的。前者主要是描述一定区域的气候特点,称为传统气候学;后者则研究气候形成和变化的原因,要求预测某个地区或全球范围的各种时间尺度的气候变化,即围绕平衡态的扰动或对平衡态的偏差或距平,称为现代气候学。

在传统的气候学里,阐明气候和生态(主要是植被)的关系时采用气候带的概念,如湿温型气候带、亚热带气候带等。无疑在现代气候学中仍是有意义的概念,但为了描述气候异常或气候距平的全球分布,揭露不同地区距平之间的相互关系及其中的动力学问题,需要引入气候距平型。这里,统计平衡状态下的气候带和偏离平衡状态的气候距平型并不是一回事,它们也不重合。

现代气候学不同于传统气候学的另一个特点是现代气候学引入了“气候系统”的概念。传统气候学着重描述各个气候因子的时空特征,即只考虑大气本身的一些

参数。现代气候学主要研究气候变化,决定气候变化的因子不单是大气内部的种种过程,还决定于发生在大气上、下界处的各种物理和化学过程。所以气候的形成和变化不仅是大气内部状态和行为的反映,而且是与大气有明显作用的各个子系统所组成的复杂系统的总体行为。各子系统内部以及各子系统彼此之间的各种物理、化学乃至生物过程的相互作用决定气候的长期平均状态及各种时间尺度的变化。因此现代气候学从概念上已经不再是过去常常被作为气象学或地理学一个分支的传统气候学,而是大气科学、海洋学、地球物理学、地理学、地质学、冰川学、天文学、生物学以至社会科学等众多学科相互渗透共同研究的交叉科学。

研究方法上,现代气候学和传统气候学也有明显不同。传统气候学中的统计方法和定性描述方法在地理气候学中是有用的,现代气候学更需要推理和定量的研究,并要求对气候系统进行定量的大规模观测和综合分析,高度重视气候系统的相互作用动态过程的物理—动力学理论研究及对气候形成和演变的数值模拟。人们认为必须利用比较完善的有坚实物理基础的气候模式,才能定量地考虑复杂的气候系统中各成员之间的各种相互作用并展现气候过程,才能准确地理解气候变化的机制,使气候预测的可能性得以实现。

### 1.3 气候学的发展

气候从其性质上讲是一种客观存在的自然现象,气候学则主要是一种社会现象,是人类对这种自然现象的认识和理解。气候学与其他自然科学一样是随着人类对自然界认识的深入、社会的文明和科学技术的进步而逐步发展起来的,既有社会对气候认识的需要,又要有社会提供对研究气候的科学技术和经济基础支持。气候学在发展过程中经历了从定性到定量、从简单到复杂、从低级到高级逐步的演变过程,是一脉相承的,前一阶段为后一阶段的形成与发展积聚了资料、丰富了经验,为进一步认识深化、理论创新提供科学基础。我国么枕生、陶诗言、王绍武、张家诚、汤懋苍、潘守文等都曾对气候学的发展过程做过分析。通常把气候学的发展过程分为下列几个阶段。

#### (1) 古典气候学阶段

早在中国古代,为了便于掌握农事季节,劳动人民对气候就有某些感性认识并加以总结。如在春秋战国时代,当时为了便于掌握农事活动,将一年分为二十四节气和七十二候,以五日为一候,三候为一气,各候各气都有其自然特征,合称气候。西汉(公元206年)以来,中国古代劳动人民在气象观测、气象仪器和对某些气象现象的解释上已达到相当的水平,1424年就有雨量器作雨量观测的记载,同时在应用气

候方面也积累了许多丰富的知识,尤其是农业生产,各地利用当地气候的特征选择农作物物种、安排耕作制度,并利用气候资源发现、培育了许多名、特、优产品。在古希腊时代,欧洲也出现有关气候方面的记载。这一阶段人们对气候的认识是一种直接的感性认识。

## (2) 地理气候学阶段

随着科学技术的发展,有关温度表和气压表的发明相继问世,到了18世纪,工业的发展能提供标准基本统一的观测仪器,整个国际上开始收集和发行气象观测记录资料,使人们能从大量的气象观测资料中进行总结、归纳,并能与物理学原理结合起来,开始了气候学的科学研究。给出它们的月平均值和年平均值,并用这类平均值对气候作叙述性的描述。气候学才真正作为一种科学形态存在。从19世纪初开始,1817年,德国 A. von Humboldt(1769—1859)根据全球57个气象站的观测资料,首先采用等温线的概念,绘制出世界上第一幅全球年平均温度分布图,并借助等温线图得出大陆东岸气候和大陆西岸气候的差异,并根据植物与气候的关系,把全球划分为16个气候区,Humboldt的工作被认为是近代气候学的开创者。之后,德国的 H. Berghans(1797—1884)于1845年绘制出世界降水量分布图,H. W. Dove(1803—1879)于1849年出版第一部月平均等温图和温度距平图。英国的 A. Buchan(1829—1907)于1869年根据盛行风资料首次绘制全球等压线分布图。俄国气候学奠基人 A. N. Boenkob(1842—1916),1873年开始将美国学者 J. H. Coffin 因去世而未完成的《全球的风》继续下去,在1884年出版了《地球气候与俄国气候》。同年德国的 W. P. Koppen(1846—1940)首次提出气候分类法并对全球气候进行分类的尝试。奥地利的 J. F. von Hann(1839—1921)于1883年出版了一本被誉为气候学的经典著作《气候学大纲》,从而确立了气候学作为一门自然科学的基本轮廓。这一阶段主要表现的是气候要素的地理分布,并进行特征的描述。

18世纪初发展起来的气候学,由于资料的积累和研究领域扩大,对气候的认识越来越深入。进入20世纪后,气候学研究逐渐发展,尤其是1945年以后,气候学研究工作不仅在理论上而且在应用上都得到广泛的开展,成为自然科学界中一支较为活跃的学术领地,这个时期大约一直持续到20世纪50年代。

但是,气候学在这个发展阶段中基本上没有突破准平均概念的束缚,在“气候就是大气的平均状态”这个观念指导下,统计学成为对气候资料加工处理的基本手段和工具。在以平均概念对气候进行描述和分类的同时,不可否认在这期间所得出的有关气候形成和气候变化方面许多重要的规律和原理,至今仍不失其指导意义。尽管现在的气候资料十分丰富,研究方法极为先进,长期以来经过几代人的辛勤工作和努力所发现的气候学上某些基本原则,有的早就成为定论,有的即使用现代的眼

光来衡量,仍不失其原有的价值。由于科学技术和社会生产力发展等历史条件的限制,前人不可能像今天这样采用先进的计算工具和探测手段来模拟气候过程,但是他们所得出的基本结论却为今天更深入的研究奠定了坚实的基础。这一阶段经历了大约一个半世纪,是以“气候是大气的平均状态”为基本认识的,主要是描述气候特征,也分析气候形成的原因。这期间得到的一系列基本认识,对今天的气候学研究仍有重要意义。以后随着自然科学的飞速发展,尤其是数学、流体力学、气象探测手段和计算手段的进步,气候学的研究便进入下一个发展阶段。

### (3)天气气候学阶段

这一时期从20世纪中叶开始,由于各种新技术的出现和探测手段的改进以及经济建设和军事上的需要,气候学的发展跨进了一个新的阶段。在第二次世界大战期间,由于要在天气图上标注高压、低压和锋面等,用气团和锋面的移行、频数、变性以及大气活动中心在气候形成中的作用作为理论基础来研究气候形成与气候变动,于是形成了天气气候学,也称为动力气候学。气团、锋面、天气系统的气候学分析加深了对气候形成的认识。诸如中国对副热带高压、寒潮、台风、气候分区的研究在中国尤为突出,提出环流指数、副高指数、寒潮指数、干燥度指数等一系列的气候学指数,并进行了中国气候区划,出版了《中国近五百年旱涝图集》。中国气候学家竺可桢、涂长望、高由禧、陶诗言、朱炳海、么枕生等一大批老前辈为中国气候学的研究奠定了坚实的基础。这一阶段中大量从动量平衡、能量输送和水分循环等物理学理论探讨气候形成,于是产生了物理气候学。俄国 M. U. 布德科提出了关于辐射平衡、热量平衡、水分平衡的计算方法,分析了全球的辐射平衡、热量平衡的分布,中国翁笃鸣、陆渝蓉、高国栋等全面分析研究了中国的辐射平衡、热量平衡、水分平衡的计算和分布。

现在地理气候学和天气气候学常被认为是传统气候学,在其长期发展过程中所得出的基本气候规律为现代气候学奠定了坚实的基础,提出了研究的课题,也准备了充足的材料;而现代气候学所取得的成就加深了对气候形成、气候变化和气候现象的物理本质的理解。传统气候学是对气候现象的定性描述,现代气候学则是对气候成因的定量探讨。对于气候学发展来说,从传统气候学向现代气候学过渡,体现了科学发展的必然性,是气候学研究的进步和发展,是互相不能取代的。

### (4)动力气候学阶段

在天气气候学和物理气候学发展的基础上,人们对大气运动的认识更进了一步,开始大量采用动力气象学的基础理论来研究气候学问题,产生了与天气气候学的分离,于是发展为动力气候学,即从大气动力学方程、热力学方程和连续方程出发,在一定的初始条件和边界条件下经过适当的简化,用数值对方程组进行数

值求解。求数值解的方案称为气候数值模式,求解过程称为气候数值模拟。用气候数值模拟方法所获得的结果在某种程度上可以较好地解释气候形成和气候变化中的物理机制,并可作为气候预报的有效途径。因为气候时间序列具有显著的周期性,但气候随时间的变化则是一个随机过程,所以气候问题既是一个动力学问题,也是一个统计学问题。动力气候学与统计气候学相互渗透的结果,发展成为随机动力气候学。同时,动力气候学与物理气候学相结合,发展成为物理动力气候学。

可见动力气候学已不是传统气候学那样对气候现象定性描述,而是对气候形成和变化的影响因子用定量分析的方法加以探讨。这为人们更深入地认识气候形成和变化的规律并对气候变化的预测提供了更有物理内涵的重要途径。于是动力气候学在最近几十年有飞速发展。动力气候学显然与传统气候学有着显著的不同,但它们又是相互联系的、互为补充的。动力气候学是气候学发展的必然阶段。

这一阶段还有一个重要的特点是卫星遥感资料的积累和应用。使人们能够获得无法直接观测的高山、荒漠及广大海洋地区的大量气象资料,而且这些资料在时间上、空间上都具有连续性。因此由此而发展为卫星气候学;加速了近代气候学的发展。

#### (5)现代气候学阶段

这一时期是以 20 世纪 60 年代末开始,由于人们对气候变化研究的深入,认识到气候过程是一个非绝热过程,只讨论大气自身的变化是无法解释气候变化的,因为气候变化还受到其他许多因子的相互作用和相互影响。因此人们从系统论、信息论和控制论的观点研究气候分布和气候变化过程,提出气候系统的概念。对气候变化的因果关系进行多学科交叉的深入探讨,这就是现阶段气候学发展的必然趋势。使气候学的研究发展到一个包括天文学、生物学及地球科学各领域的多学科交叉的新阶段,即现代气候学。

王绍武(2005)认为这一时期气候学有三个特点。

1)从气候变化来研究气候。这一点十分重要,由于认识到气候变化有一个很宽的时间谱,长者在 10000 年以上,短到 1 年、季尺度。所以,现代气候是从变动中认识气候,而不再仅仅局限于追求解释气候平均值,这也就推动了气候预测研究的发展。

2)从气候系统来研究气候。这是把研究范围扩大到整个气候系统,即包括大气、海洋、冰雪、陆地、生物圈。因为人们已经发现,仅仅研究大气,不可能认识气候形成的全过程,也不可能对气候变化作出有效的预测。

3)从气候动力学来研究气候。这是现代气候学研究的灵魂。从统计学角度研究气候,有助于认识气候的特征,但不可能深入认识气候形成的过程。物理研究对辐射平衡及热量平衡进行了分析,但是只是一个静的地点对另一个地点的对比。其

本身甚至与传统的气候形成三要素也有一定矛盾。因为三要素即太阳辐射、海陆分布与大气环流,辐射平衡及相应的能量平衡模式的最大缺陷就是不能考虑大气环流这个因子。

## 1.4 现代气候学的任务

气候学作为一种科学形态开始至今已有两个世纪的历史。在其自身发展的各个阶段,由于历史条件的局限,随着气候学研究的目的、方法、探测手段和资料积累的程度不同,所获得的结果及其服务于社会的方式也不同。如果说经历了漫长岁月的传统气候学是出于资料积累和确定基本的气候事实的阶段,则天气气候学或动力气候学阶段主要是致力于探求气候变化过程和气候现象的因果关系。气候系统概念的引入,使气候学研究达到一个前所未有的崭新阶段,不仅为气候学研究注入了新的思维方法,也使气候预测成为可能。因此,可以说,气候学既是一门古老的科学,又是一门年轻的科学。气候学的发展和进步,不仅将其自身推向科学发展的前沿阵地,其研究结果也将极大地改变整个社会经济活动的结构。

现代气候学在不同的发展阶段,其研究任务也有各自的特点,随着自然科学和社会的发展,气候研究的侧面也不断更新、发展。

(1)理论研究方面,主要是从气候系统观点出发,进一步分析气候时空分布的事实,探讨气候形成和气候变化的影响因子,并力求弄清气候系统内部相互作用的内在联系,努力探索气候预测的理论、方法;理论研究中还包括大量的国际性、区域性的多学科综合科学试验观测研究以及卫星遥感资料的充分利用,以丰富、充实气候学的基础;方法上着重运用数学物理方法对气候系统的各种过程进行物理—动力学研究,因此各种气候模式的设计、气候模拟、气候的数值试验等不断涌现。由于人类文明的发展,人类对气候变化的敏感性日趋增强,气候预测、气象灾害、气候变化对人类生存环境的影响研究的理论、方法也应是气候理论研究的一个组成。

(2)应用研究方面,气候是人类生存的环境因子之一,也是自然环境中变化最活跃、最复杂的因子之一,它影响到人类生活中的各个方面,因此将气候理论和知识应用到人类生活中去是气候学研究的一个重要内容,由此而形成了应用气候学。应用气候学涉及自然科学和社会科学的范畴,其研究内容十分广泛,专业性强,与各自具体的专业相结合发展成有各专业特点的应用气候学。尤其是人类活动开始影响气候变化,气候变化又将对人类产生影响的今天,气候对环境生态、资源利用、经济社会的影响,并涉及国家安全,已经成为全人类关心的科学热点问题,这是应用气候学研究的崭新内容。

## 第2章 气候系统

### 2.1 气候系统的组成

近几十年来的科学发展,使得科学家们逐渐认识到要解释气候的形成、探讨气候变化的原因,尝试进行气候预测,仅限于大气本身的研究并不能得到满意的效果,而是要更深入、更广泛地研究涉及大气、海洋、冰雪、岩石圈及生物圈的整个地球系统。因此形成了全球气候系统的概念。

气候系统通常定义为由大气、海洋、冰雪圈、岩石圈和生物圈等组成的相互作用的整体。显然这五个部分的物理、化学性质的差异是很大的,即它们的功能是各不相同的,所以称这五个部分为气候系统的五个组成(或子系统)(图 2.1)。这五个组成虽相互作用,但又长期地独立存在。为了讨论问题的方便,还可把大气、海洋、冰雪等系统,即气候系统中的由气体和水构成的部分,看成是气候的内系统,而把全部陆地和地球周围的宇宙看成外系统或强迫系统。

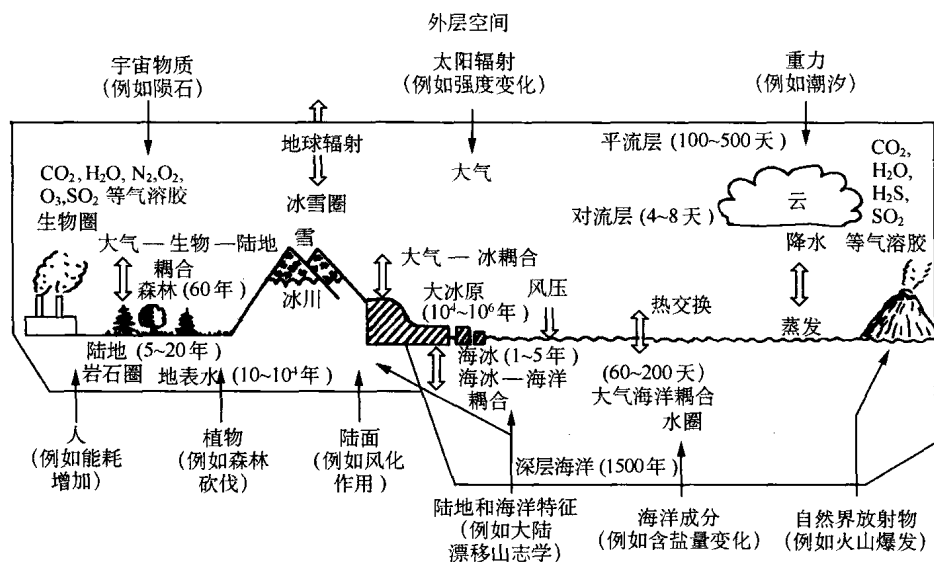


图 2.1 大气—海洋—冰—陆面—生物耦合气候系统示意图(Bach, 1984)

(实线箭头是气候变化外部过程的例子,空心箭头是气候变化内部过程的例子)

因为气候系统有连续的外界能量输入,且其各个组成部分之间通过物质和能量交换紧密地相互联系和影响着,所以系统是一个非线性的开放系统。各个组成部分也都是开放系统,因为大气圈、水圈、陆地表面、冰雪圈和生物圈内部及其之间普遍存在着能量、动量和物质的输送与交换过程。正是由于这些子系统之间复杂的物理、化学和生物作用,才形成了气候系统行为的多样性和复杂性。

由于气候系统的各个子系统都是非均匀的热力学—动力学系统,所以描述气候系统必须同时使用热力学和动力学两类状态参量。对地球气候系统而言,热力学状态由温度、气压、比湿、密度、盐度等确定;而动力学状态则由力源项、运动速度等确定。

控制气候系统总体行为的两个最重要的外强迫因子是源于外空间能量输入的太阳辐射和源于地球本身的重力作用。地球气候系统的热力学和动力学状态均与这两个因子有关。在气候系统内部,能量是以多种形式存在的,包括辐射能、热能、位能、动能、化学能、电磁能等,并且存在着不同能量形式间的能量转换。此外地球本身的固有性质,如旋转、椭球形形状、地轴倾斜和轨道运动等也都制约着地球气候系统的热力学和动力学状态。

### 2.1.1 大气系统

大气系统是包围地球的一层气体,与地球的固体部分相比,大气系统仅为地球半径的0.5%厚的浅薄气体。但它是人类赖以生存的最重要的环境,是气候系统的主体部分,也是气候系统中最活跃、变化最大的部分。通过大气环流实现的南北方向热量输送是气候系统中最为重要的宏观能量过程。大气和气候系统其他成员间的热量、水分和物质交换是气候系统中各圈层之间相互作用的最基本过程。如地—气之间的热量、动量及水汽的湍流输送过程;水汽凝结时的潜热释放过程;云对太阳辐射和长波辐射的影响过程;大气中 $\text{CO}_2$ 、水汽、臭氧及其他微量气体的辐射冷却和加热过程;地表状况的变化及气溶胶、山脉、海陆分布等都对大气系统产生重要作用。

### 2.1.2 水圈

它包括海洋、河流、湖泊和地下水,也应包括大气中的液态水,在有些工作中将冰雪圈也划入水圈。水圈也是气候系统中最活跃的组成之一,其三相变化的过程是气候系统最重要的过程之一,它的存在和运动构成了地表、空中、水中的形形色色的自然现象,也是生命赖以生存的基本要素。在水系统中海洋对气候变化的影响最重要。