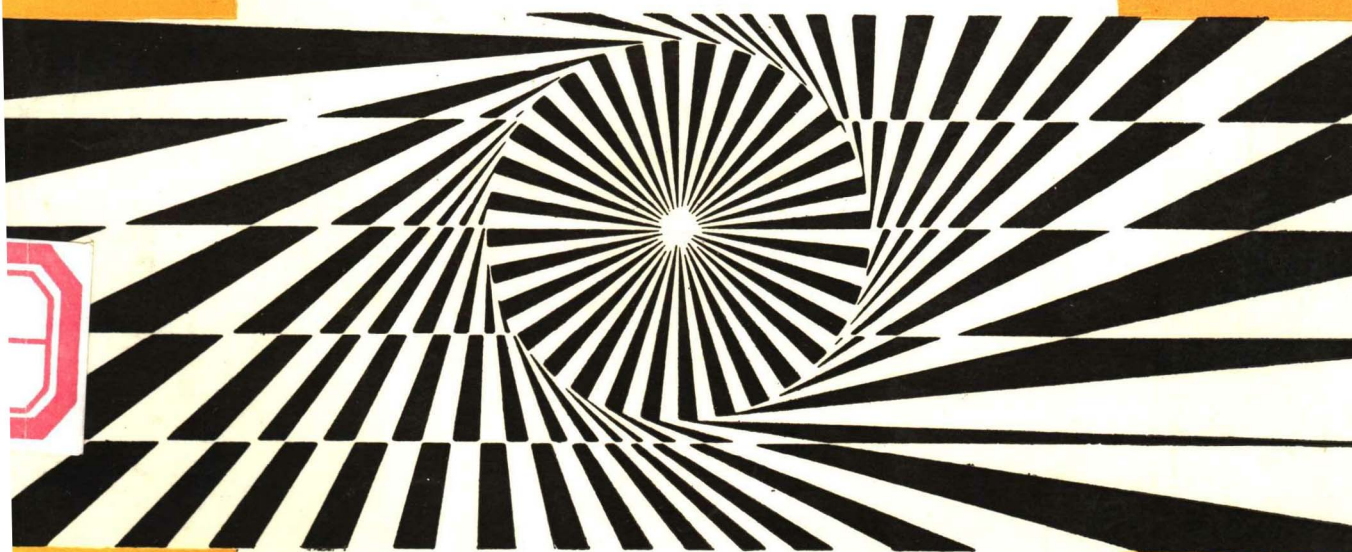


理论气候学

林振山 编著
杨修群



南京大学出版社

理论气候学

林振山 编著
杨修群

南京大学出版社

1995·南京

(苏)新登字 011 号

内 容 简 介

本书根据近代理论气候的研究成果,详细地阐述了有关的气候过程及气候形成和变化的理论,并系统地论述了五类最基本的理论气候模式。全书共十二章,前七章为基本理论和方法,包括气候系统的基本特性、基本物理过程、化学过程、有关的海洋和大气的方程组及有关的数理理论;后五章为理论气候模式,包括能量平衡模式、随机模式、辐射-对流模式、纬向平均动力模式和大气环流模式。

本书内容较全面,论述透彻。可供研究机构和高等院校的气候专业研究生及高年级学生作为教材或参考书,也可供从事气候科研、业务及教学人员参考。

理 论 气 候 学

林振山 杨修群 编著

*

南京大学出版社出版

(南京大学校内 邮编 210093)

江苏省新华书店发行 丹阳市新华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 21.375 字数 534 千

1995 年 5 月第 1 版 1995 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—800

ISBN7-305-02810-X/P.105

定价 19.80 元

(南大版图书若有印、装错误可向承印厂退换)

责任编辑 王兆先

前 言

气候关系到国计民生,是人类赖以生存的基础支柱之一。近几十年来,许多气候异常现象令人瞩目。如 ENSO 和西非干旱等。这些气候灾害或使数十万人民死于旱涝,或造成数千亿美元的世界经济损失。另一方面,由于人类活动所引起的全球气候和生态环境的变化已日益引起人们的重视。如大气中 CO_2 、 O_3 、 CH_4 、CFCs 等气体含量的增加而引起全球气温的变化;过度砍伐森林、开垦荒地等加剧了沙漠化进程。未来气候将如何变化?这已不仅仅是气候学家所关心的,而且还是各国政府和公众普遍关心的问题。

在了解地球气候形成和它的变化机制中,我们面对着一个极其复杂的物理系统。这个系统不仅包含着我們比较熟悉的大气行为,而且包含着我們仍了解不多的世界海洋,冰体和陆地表面各种各样的变化。除了物理过程以外,还有复杂的化学、生物过程影响着气候,影响着地球上人类和其他有生命的世界。这些过程在各种不同的时间和空间尺度上有着复杂的相互作用,并构成一个耦合的气候系统。

气候系统这一概念的引入,极大地拓宽了传统气候学的研究范畴。现代的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的一个分支的经典气候学,而是大气科学、海洋学、地球物理、地球化学、地理学、冰川学、地质学、天文学、生物学等众多学科相互渗透共同研究的交叉科学。随着对气候系统的深入研究,近代理论气候学应运而生。

理论气候学是热力气候学与动力气候学相结合而发展的产物。主要研究气候系统内在的相互作用机制、气候过程(物理过程、化学过程和生物过程等)并根据基本物理定律和理论来研究、描述气候系统及其各子系统的性态行为和演化规律,最终达到对气候预测预报的目的。

对气候进行预测最有效的工具就是建立基于我们对气候系统及其有关过程充分了解的基础上的理论气候模式。就研究的侧重点及方法方式而言,理论气候模式包括了能量平衡模式、随机气候模式、辐射—对流模式、纬向平均动力模式和大气环流模式。我们不仅可用不同的理论气候模式来模拟当代气候、远古气候,还可以模拟某些“外部”条件和内部参数的变化所引起的气候变化。当然,任一气候模式都只是实际气候系统的某种程度的近似,在利用它们模拟气候的同时,还必须不断地检验它们本身的可靠程度并加以改进。

气候乃是各种参数的一个综合。这些参数的参数化过程及其取值与气候层次及我们的认识有关。此外,气候模式在时空分辨率和复杂性上是多种多样的。有些模式较适合于进行某些特殊的试验,可以得到不同的分析结果和互不相同的预报。要搞清楚其原因却不是一件容易的事,这也正说明了理论气候学的重要性及其旺盛的生命力。很显然,理论气候学的发展和完善,不仅取决于我们对气候系统的了解知识,还取决于观测手段、资料收集、数学方法和计算技术。

本书是根据作者给南京大学气候专业研究生讲授“理论气候学”课程的讲义整理而成的。全书共十二章,前七章为基本理论及数理基础,包括气候系统的基本特性、基本物理过程、化学过程、有关的海洋和大气的基木方程组及有关的数理理论;后五章为理论气候模式,包括能量平衡模式、随机气候模式、辐射—对流模式、纬向平均动力模式和大气环流模式。

本书的第一章至第十章由林振山编写，第十一章和第十二章由杨修群编写。全书由林振山修改定稿。

作者力图通过本书对理论气候学的基本理论和模式做一系统总结，以期收到抛砖引玉之效。但由于涉及内容较广，作者水平有限，难免有许多谬误和不当之处，敬请有关专家和读者批评指正。

在本书的撰写过程中，幸蒙黄荣辉先生、王绍武先生、刘式达先生、钱永甫先生提供了不少宝贵的论著、资料和讲义。丑纪范先生、伍荣生先生、倪允琪先生以及南京大学的有关领导和同志亦为本书的撰写和出版给予了大力支持。谨此，作者向他们表示衷心的感谢。作者还特别感谢曾庆存先生和南京大学教务处，本书是在南京大学出版基金及曾庆存先生主持的国家基础性研究重大关键项目《气候动力学和气候预测理论的研究》的资助下，才得以出版。

林振山

杨修群

1993年7月于南京大学

目 录

第一编 基本理论和方法

前言	(1)
第一章 引论	(3)
§ 1.1 气候的定义及其表示	(3)
§ 1.2 气候系统	(5)
§ 1.3 气候层次	(7)
§ 1.4 理论气候学的研究内容及方法	(8)
§ 1.5 世界气候研究计划和世界气候影响研究计划	(9)
1.5.1 世界气候研究计划	(9)
1.5.2 世界气候影响研究计划	(10)
第二章 气候系统的基本特性	(12)
§ 2.1 气候过程	(12)
2.1.1 辐射和云过程	(12)
2.1.2 陆面过程	(14)
2.1.3 海洋过程	(15)
2.1.4 冰雪圈过程	(15)
2.1.5 大气化学过程	(16)
§ 2.2 气候态、气候变化及时间尺度	(17)
2.2.1 气候态	(17)
2.2.2 气候变化及时间尺度	(17)
§ 2.3 气候系统的反馈过程	(20)
2.3.1 基本概念和表示	(20)
2.3.2 举例	(23)
§ 2.4 气候系统的外源强迫	(24)
§ 2.5 气候的敏感性	(24)
§ 2.6 气候可预报性的讨论	(27)
2.6.1 确定性论和概率论	(27)
2.6.2 外在随机因素和内在随机因素	(27)
2.6.3 导致长期预报不准确的因素	(28)
2.6.4 气候的可预报性	(29)
§ 2.7 气候模式的参数化	(31)
§ 2.8 气候模式的分类及其特点	(33)
2.8.1 能量平衡模式 (EBM)	(33)
2.8.2 一维辐射-对流模式 (1-DRC)	(34)
2.8.3 大气环流模式 (GCM)	(35)
2.8.4 二维纬向平均动力模式	(36)

第三章 基本方程和定律	(38)
§ 3.1 大气的基本方程组	(38)
3.1.1 运动方程	(38)
3.1.2 质量连续方程	(40)
3.1.3 热力学能量方程	(40)
3.1.4 湿大气状态方程和水汽方程	(41)
3.1.5 欧拉方程组	(42)
3.1.6 初始条件和边界条件	(42)
§ 3.2 混合坐标系的原始方程	(44)
3.2.1 时间外推	(44)
3.2.2 s 坐标系的原始方程	(44)
§ 3.3 海洋运动的基本方程组	(47)
§ 3.4 涡度方程	(51)
§ 3.5 物理辐射定律	(53)
3.5.1 Planck 定律和 Stefan-Boltzmann 定律	(53)
3.5.2 Wien 位移定律和 Kirchhoff 定律	(53)
3.5.3 Beer-Bouguer-Lambert 吸收定律	(54)
3.5.4 Schwarzschild 方程	(54)
§ 3.6 地球表面辐射平衡和热量平衡方程	(55)
第四章 地球表面和大气的交换过程	(59)
§ 4.1 地表的能量收支	(59)
4.1.1 理想地表的能通量	(59)
4.1.2 地表界面层的能量收支	(60)
§ 4.2 行星边界层的稳定性	(62)
4.2.1 行星边界层的特性	(62)
4.2.2 稳定性效应	(62)
§ 4.3 动量交换	(63)
4.3.1 梯度通量近似	(63)
4.3.2 混合长近似和风廓线	(64)
§ 4.4 感热和水汽交换	(68)
4.4.1 感热交换	(68)
4.4.2 水汽交换和蒸发	(69)
§ 4.5 行星边界层的模拟	(72)
4.5.1 行星边界层方程组的闭合	(72)
4.5.2 地表的相似假设	(74)
4.5.3 边界层的参数化处理	(76)
4.5.4 表面 Rossby 数相似性及阻尼定律	(78)
第五章 能量	(82)
§ 5.1 能量的基本方程	(82)
§ 5.2 能量的平均气候方程	(85)
5.2.1 时间平均和空间平均	(85)
5.2.2 气候方程	(86)

5.2.3	体积分	(88)
5.2.4	全球平均气候方程	(89)
§ 5.3	能量平衡的观测	(90)
5.3.1	非绝热加热	(90)
5.3.2	大气层的能量	(92)
5.3.3	大气能量的传输	(93)
§ 5.4	海洋能量的传输	(104)
5.4.1	海洋里的能量	(104)
5.4.2	海洋能量的传播	(105)
§ 5.5	气候系统能量平衡的合成	(108)
第六章	海—气热机与海洋过程	(113)
§ 6.1	有效能	(113)
6.1.1	大气的有效能	(113)
6.1.2	海洋能量的有效值	(115)
§ 6.2	动能和有效位能的平衡方程	(116)
6.2.1	平衡方程的推导	(116)
6.2.2	平均动能和涡动动能的平衡方程	(118)
6.2.3	平均有效位能和涡动有效位能的平衡方程	(119)
§ 6.3	观测到的大气能量循环	(120)
§ 6.4	海洋在气候变化中的重要性及其物理过程	(124)
§ 6.5	海—气耦合	(125)
6.5.1	耦合机制	(125)
6.5.2	海—气相互作用的数值模拟	(129)
§ 6.6	热带海洋与年际气候变化	(130)
6.6.1	ENSO 现象及其物理模型	(130)
6.6.2	ENSO 现象形成的理论	(132)
6.6.3	热带季风雨与海洋异常的关系	(133)
6.6.4	热带海洋对中纬度大气环流影响的事实和理论	(134)
第七章	大气化学及其气候效应	(136)
§ 7.1	大气的组成和结构	(136)
7.1.1	大气成分浓度的表示	(136)
7.1.2	大气的组成	(136)
7.1.3	大气的结构	(137)
§ 7.2	二氧化碳及其气候效应	(139)
7.2.1	CO ₂ 的自然循环	(139)
7.2.2	CO ₂ 的天然源和汇	(140)
7.2.3	CO ₂ 的人为源	(141)
7.2.4	大气 CO ₂ 的浓度变化及其气候效应	(141)
7.2.5	研究 CO ₂ 气候效应的数值模拟	(143)
§ 7.3	一氧化碳和甲烷的浓度变化及其气候效应	(144)
7.3.1	一氧化碳的产生和转化	(144)
7.3.2	CO 的气候效应	(145)

7.3.3	CH ₄ 的源和产生过程	(146)
7.3.4	CH ₄ 的气候效应	(147)
§ 7.4	大气臭氧	(148)
7.4.1	对流层臭氧	(148)
7.4.2	平流层臭氧	(150)
7.4.3	模拟试验	(153)
7.4.4	南极臭氧洞	(153)
§ 7.5	含卤素化合物	(155)
7.5.1	卤代烃	(155)
7.5.2	其他含氯化合物	(156)
7.5.3	氟化物	(156)
§ 7.6	大气气溶胶	(156)
7.6.1	基本特性	(157)
7.6.2	气溶胶粒子的源与汇	(159)
7.6.3	气溶胶粒子的化学组成	(160)
7.6.4	气溶胶的气候效应	(162)
§ 7.7	质量平衡方程和化学反应模式	(164)
7.7.1	化学反应速度方程	(164)
7.7.2	质量平衡方程	(164)
7.7.3	化学—热力学方程	(165)
7.7.4	化学反应模式	(166)

第二编 模式及其应用

第八章	能量平衡模式	(171)
§ 8.1	零维能量平衡模式	(171)
8.1.1	Fraedrich 模式	(171)
8.1.2	平衡态及突变约束条件	(172)
8.1.3	Budyko 模式	(173)
8.1.4	Budyko 模式的敏感性试验	(173)
8.1.5	Budyko 模式对周期扰动的响应	(173)
§ 8.2	简单海—气耦合模式	(174)
8.2.1	模式的建立	(174)
8.2.2	非线性稳定分析	(176)
8.2.3	非线性扰动方程的素动性态	(177)
§ 8.3	一维能量平衡模式	(181)
8.3.1	North 非线性模式	(181)
8.3.2	无冰冠气候的研究	(182)
8.3.3	有冰冠气候的研究	(182)
8.3.4	变系数扩散模式的定态解	(184)
8.3.5	稳定性分析	(184)
§ 8.4	熵平衡方程	(186)
8.4.1	熵产生和超熵产生	(186)

8.4.2	North 模式的熵产生	(187)
8.4.3	超熵产生作为气候突变的判据	(189)
§ 8.5	一维海—气耦合模式	(190)
8.5.1	模式的建立	(191)
8.5.2	超熵产生和气候突变判据	(192)
3.5.3	结论	(194)
§ 8.6	Paltridge 一维模式	(194)
8.6.1	纬带物理模型	(194)
8.6.2	参数值的取值	(196)
8.6.3	最小熵交换原理及其应用	(197)
§ 8.7	二维能量平衡模式	(200)
8.7.1	North 模式	(200)
8.7.2	二维季变能量平衡模式	(200)
§ 8.8	海温—气温—大气湿度耦合模式	(203)
8.8.1	水汽方程	(204)
8.8.2	海—气能量守恒方程	(205)
第九章	随机气候模式	(208)
§ 9.1	Fokker-Planck 方程	(208)
9.1.1	Langevin 方程	(208)
9.1.2	生灭过程的 Fokker-Planck 方程	(209)
9.1.3	连续迁移的 Fokker-Planck 方程	(209)
9.1.4	线性 Fokker-Planck 方程的解	(210)
§ 9.2	Hasselmann 随机气候模式	(211)
9.2.1	模式的提出	(212)
9.2.2	随机模式的输入响应	(213)
9.2.3	Fokker-Planck 方程的引入	(214)
§ 9.3	零维随机气候模式	(216)
9.3.1	Nicolis 模式	(216)
9.3.2	非线性零维随机气候模式	(218)
§ 9.4	一维随机气候模式	(221)
9.4.1	一维随机气候模式的建立	(221)
9.4.2	关于 T_0 概率密度分布及其讨论	(222)
9.4.3	最可几态温度与时间和纬度的关系	(226)
§ 9.5	二维随机气候模式	(227)
§ 9.6	海—气耦合随机模式	(231)
第十章	辐射—对流模式	(237)
§ 10.1	辐射平衡模式	(237)
10.1.1	Emden 辐射平衡模式	(237)
10.1.2	Kibel 辐射湍流能量平衡模式	(238)
§ 10.2	对流模式	(239)
10.2.1	纯对流的平衡约束	(239)
10.2.2	Lorenz 系统	(241)

§ 10.3	Manabe 辐射—对流模式	(243)
10.3.1	对流调整热平衡	(243)
10.3.2	云天辐射温度的变化	(245)
10.3.3	太阳辐射的吸收	(247)
§ 10.4	二维纯辐射—对流模式	(248)
§ 10.5	具有动力影响的二维辐射—对流模式	(256)
§ 10.6	辐射—对流—化学模式	(258)
第十一章	纬向平均气候模式(ZACM)	(261)
§ 11.1	ZACM 在气候模式中的地位	(261)
§ 11.2	ZACM 设计的基本原理	(262)
11.2.1	空间离散和时间差分方案	(262)
11.2.2	模式动力学方程组	(263)
11.2.3	纬向对称环流	(264)
11.2.4	涡旋项的参数化处理	(266)
11.2.5	非绝热加热和边界强迫	(271)
§ 11.3	纬向平均气候场模拟的示例	(272)
11.3.1	LSDM 简介	(272)
11.3.2	LSDM 性能	(274)
§ 11.4	纬向平均气候模式的应用	(279)
11.4.1	模式敏感性研究	(279)
11.4.2	表面特性变化的气候效应	(279)
11.4.3	大气气溶胶的气候效应	(280)
第十二章	大气环流模式	(281)
§ 12.1	大气环流模式发展简史	(281)
§ 12.2	大气环流模式动力学框架及其离散化	(282)
12.2.1	控制方程组	(282)
12.2.2	垂直离散	(283)
12.2.3	水平离散	(285)
12.2.4	有效的时间积分方案	(287)
§ 12.3	气候模拟现状	(287)
12.3.1	纬向平均温度	(288)
12.3.2	平均纬向风	(288)
12.3.3	平均经向风	(290)
12.3.4	纬向平均垂直速度	(290)
12.3.5	近地层气温的地理分布	(291)
12.3.6	海平面气压的地理分布	(291)
12.3.7	300hPa 纬向风的地理分布	(292)
12.3.8	降水的地理分布	(293)
12.3.9	模式之间的比较	(295)
§ 12.4	气候敏感性试验	(295)
12.4.1	古气候模拟	(295)
12.4.2	赤道海温异常引起的气候响应	(300)

12.4.3	极冰异常引起的气候响应	(303)
12.4.4	CO ₂ 增加引起的气候效应	(308)
12.4.5	核战争可能引起的气候效应	(310)
§ 12.5	短期气候预测	(315)
12.5.1	月预告试验	(315)
12.5.2	季度预测	(317)
参考文献		(319)

第 一 编

基本理论和方法



THE
JOURNAL
OF
THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
OF GREAT BRITAIN AND IRELAND
VOLUME 100 PART 1 2000

第一章 引 论

气候关系到国计民生,是人类赖以生存的基础支柱之一。近几十年来,许多气候异常现象令人瞩目。如 70 年代西非遭受干旱,80 年代初又进一步加剧;1982—1983 年赤道出现了本世纪以来最强的厄尼诺现象。这些气候灾害或使数十万人死于饥饿,或造成数千亿美元的世界经济损失。另一方面,由于人类活动所引起的全球气候和生态环境的变化已日益引起人们的重视。如大气中 CO_2 、 CH_4 等温室气体含量的增加而引起全球气温增高;过度砍伐森林、开垦荒地等加剧了沙漠化进程。未来气候将如何变化?这已不仅仅是气候学家所关心,而是各国政府和公众普遍关心的问题。

本章叙述了气候的定义、气候系统的组成部分,并对发生在气候系统中的物理、化学过程以及理论气候学所涉及的内部作了一般性介绍,以便对气候系统和理论气候学有一个总的概貌性了解。

§ 1.1 气候的定义及其表示

气候有着各种定义,传统上可分为两大类。一类认为某地的气候就是该地长时期内天气状态的综合反映。如 1845 年,亚历山大·冯·洪堡曾把气候定义为所有影响人类感官的各种大气变化。另一类认为某地的气候就是该地在多年时期内的大气平均状态。如经典气候学家韩(Hann, 1883)、伏依科夫(Voiekov, 1884)和柯本(1900)将气候理解为在一个地方或地区较长时间间隔中各种大气情况和它们总和的平均状态。这两种分类导致了“天气气候学”和“地理气候学”。

1965 年 Lorenz 认为,决定着天气变化的物理定律同样也支配着气候,而以有限的长时期内的一组统计数字代替一成不变的平均值来定义气候将更为恰当。现在许多气候学家已采用统计的观点来描述大量气候要素的大范围分布和变化。这就发展了“统计气候学”。显然,统计气候学可揭示气候的两重性,即稳定性和流动性。而气候变化则通过统计量随着阶段的转换而发生明显的变化来表示。

1974 年在斯德哥尔摩召开的 WMO-ICOSU 联席会上,明确地提出了“气候系统”这一概念。所谓的“气候系统”指的是大气圈同水圈、冰雪圈、岩石圈、生物圈之间相互作用的整体。从而“气候”的定义蕴含了大气系统与天—地—生的相互作用。也就是说,气候的形成和变化不仅是大气内部的状态和行为的反映,而且是与大气有明显相互作用的海洋、冰雪圈、陆地表面及生物圈等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相互作用(如物理、化学、生物学)决定了气候的长期平均状态及各种时间尺度的变化。正是这种对气候系统内部及外部相互作用的重视,导致了“理论气候学”的诞生和发展。

现在的问题是:用什么物理量来表示气候?以及用多长时段的统计量来表示气候?显然,这是气候学中至关重要的两个问题。然而令人遗憾的是目前对气候学的研究,仍未能较好地解决这两个问题。

首先气候表示量应该是多维的。这是因为：① 气候系统的复杂性；② 决定气候演化的相互作用的复杂性。显然，任一单独的气象物理量(或化学量)均不能很好地表示气候。例如，甲、乙两地的年降水量相等，但甲地的降水为短时暴雨所致，而乙地的降水则为长年连绵阴雨的结果。显然，甲、乙两地的气候是不同的，这时需要用降水类型出现频数来表示。

其次，气候表示量作为状态量应该是彼此独立的。我们所熟悉的气象要素如温度、湿度、压强及降水量等，虽能构成一个多维向量，并用于统计气候学的描述中。但是，我们知道这些物理量是从天气学里继承过来的，它们显然不是彼此独立的。这就提出了用什么空间来描述气候(量)的问题。显然，我们可以用状态空间(希尔伯特空间)。在 80 年代以前，我们无法知道究竟应该用几维的希尔伯特空间来描述特定的气候系统的演化较为合适。现在我们则可以通过资料来计算气候系统的关联维。从而确定研究该气候系统所需的最少的独立变量数——这也就是所需的希尔伯特空间的最少维数。然而，这些彼此独立的气候状态量究竟是什么，目前仍无法确切地回答这一问题。

在电子计算机广泛使用之前，用平均图来表示气候是一种简便有效的方法。但在观测资料用计算机加工的今天，人们应该探讨更好的气候表示的手段。

由于气候系统有各种各样的时、空尺度，如可以出现时间尺度从旬到 10^8 年、空间尺度从公里到全球尺度的气候变化。所以，在研究复杂的气候变化时，我们不仅要考虑各子系统之间的相互作用，还必须模拟所考虑的某时间尺度与另一时间尺度之间的相互作用。显然，我们不能跨越整个时间尺度与空间尺度来研究气候，而应该考虑尺度的等级。由于大气运动有着明显的谱特征，不同尺度的运动行为是很不相同的。因此需要用不同手段来处理观测资料，以准确地显示出不同尺度大气运动的行为。平均和滑动平均是用以表示不同尺度运动的一个经典手段。但理论和实践都说明了平均法虽能起到滤波作用，但对波幅的缩减影响较大，使观测资料产生畸变。

数字滤波是一种消除噪音、提取信息的数据处理技术。低通滤波用以滤除信号的高频部分，高通滤波滤去信号的低频部分，带通滤波则让特定波段通过。其中高斯分布型的数字滤波图曾用来研究中期天气过程，证实了它的一些优点。数字滤波图是在时间域上进行的，因此可长可短，用旬或月来表示长期天气(短期气候)过程，用年以上来表示气候变迁。因此，数字滤波图是不同尺度大气运动的一种统计表示的手段。目前用某一天文时段作的旬月或季的平均图，图之间缺乏连续性。但若采用滑动数字滤波图就能表示出特定尺度的演变过程。从这种意义上讲，气候变化过程也可以用滤波图表示出来。

G. Fischer 和 H. V. Storch 认为在大气环流模式中用收支参数的多年均值来表示气候，会导致不允许的信息损失。故建议用第一个经验正交函数 EOF1 来替代平均值。

在某些情况下，某物理量的方差变化可能比该物理量的平均值更能表示出气候的变化。所以，用方差和高次统计量来表示气候也是常用的数学手段。

如同在数值天气预报中所作的那样，我们可以对观测值进行动力学处理，从而滤除噪音，获取气候信息。这可谓之为动力滤波技术。只是在气候学中应用甚少。

观测的偶然错误和数据远程传输所出现的误码及丢码，都会使原始的观测资料中出现可疑数据。另一方面还含有与大尺度运动不相适应的重力波成分以及卫星轨道观测与地面台站观测时间不同步等问题。为解决这些问题，可以以数据模式的客观分析和四维同化方法为工具，产生观测同模式输出相结合的产品得到分析场数据集。这种综合数据集质量比原始观

测报告可靠,时空分辨率适于气候变量基本信号的要求。

§ 1.2 气候系统

1974年,根据世界气象组织(WMO)和国际科联(IOSU)的全球大气研究计划联合组织委员会的建议,在联合国环境署(UNEP)的支持下,在瑞典的斯德哥尔摩召开了气候物理基础和气候模拟国际会议,第一次明确地提出了气候系统的概念。该会议的总结报告指出:

在了解地球气候形成和它的变化机制中,我们面对一个极其复杂的物理系统。这个系统不仅包含着我们比较熟悉的大气行为,而且还包含我们还了解不多的世界海洋、冰体和陆地表面各种各样的变化。除了物理过程以外,还有复杂的化学,生物过程影响着气候,也影响着地球上人类和其他有生命的世界,这些过程在各种不同的时间和空间尺度上有着复杂的相互作用,并构成了一个耦合的气候系统。

所以,完整的气候系统是由大气、海洋、冰雪圈、陆地表面和生物圈五个部分组成。如图1.1所示。显然这五个组成部分的物理、化学性质的差异是很大的。它们虽相互作用,但亦长期地独立存在。这和气象学中所称的天气系统、大气环流系统等概念是不同的。后者是指大气中运动着的不同实体,经常生灭和强烈变化则是天气系统、大气环流系统中成员的显著特征。

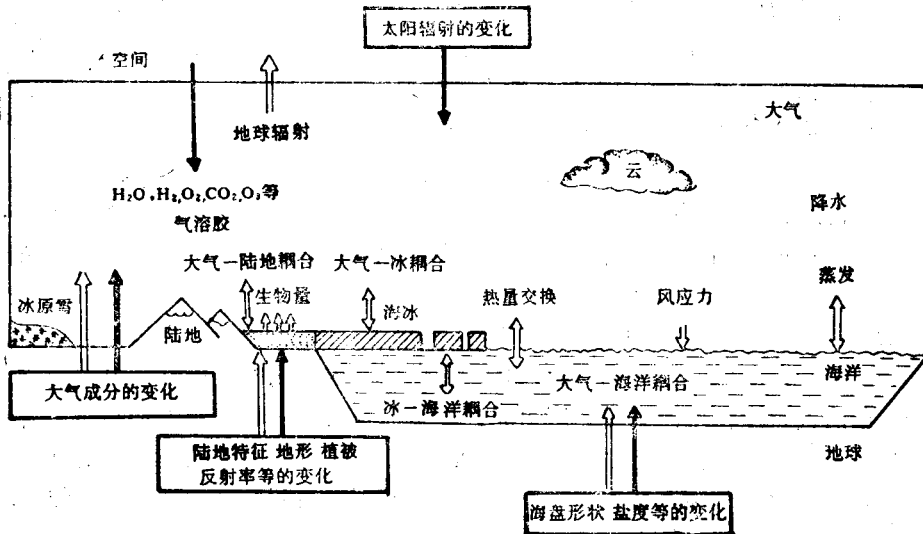


图 1.1 大气—海洋—冰—陆地表面—生物圈耦合气候系统示意图

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

(取自美国 GARP 委员会气候变化小组委员会报告,1974)

气候系统这一概念的引入,极大地拓宽了传统气候学的研究范畴。现代的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的一个分支的经典气候学,而是大气科学、海洋学、地球物理和地球化学、地理学、地质学、冰川学、天文学、生物学等众多学科相互渗透共同研究的交叉科学。

大气 这是包围地球外面的一层气体,是人类赖以生的最重要环境,是气候系统中最多变、最活跃的部分。地球大气是由氮、氧、氩以及一些痕量气体如二氧化碳、一氧化碳、臭氧、