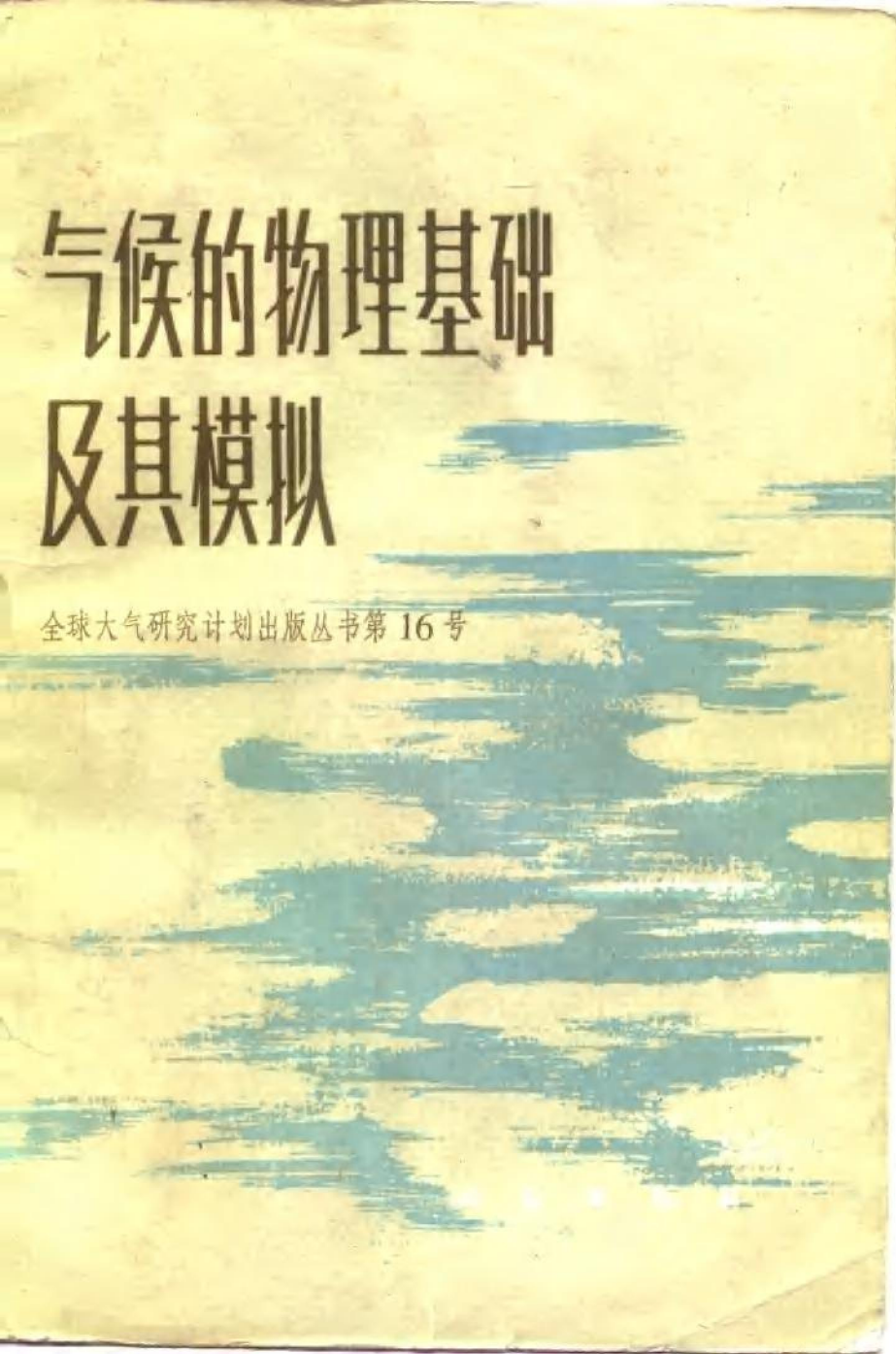


气候的物理基础 及其模拟

全球大气研究计划出版丛书第 16 号



气候的物理基础及其模拟

全球大气研究计划出版丛书第16号

曹鸿兴 何积斐 吕越华
史国宁 符宗斌 译校

科 学 出 版 社

1982

内 容 简 介

本书是1974年在斯德哥尔摩召开的“气候的物理基础及其模拟”国际讨论会的会议报告和学术论文集,不但对气候的物理成因和数值模拟作了总结性论述,而且就如何加强气候监测和研究提出了有科学依据的建议。全书分两部分,第一部分是会议报告,概述了与气候模拟有关的许多问题:如气候异常和变迁、可预报性和敏感性、气候的物理机制、试验设计和参数化以及其他影响气候系统的物理-化学-生物过程:如辐射、云、陆地、海洋、冰雪圈、二氧化碳、臭氧、气溶胶等过程。第二部分是与会者的学术论文,本书只选译了较重要的十三篇,其中包括若干有独到见解的论文:如气候的历史和非可递性、沙漠动力学和萨赫勒干旱、海冰和冰原对气候变化所起的作用等。

本书可供气象工作者、科研人员、高等院校教师和研究生以及与气候有关的海洋、地理、地质、地球物理、生物、环境保护等工作参考。

GARP Publications Series No.16

THE PHYSICAL BASIS OF CLIMATE AND CLIMATE MODELLING

1975, World Meteorological Organization
International Council of Scientific Unions

气候的物理基础及其模拟

全球大气研究计划出版丛书第16号

曹鸿兴 何积斐 吕越华

史国宁 符宗斌 译 校

责任编辑 郑秀灵

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1982年10月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1982年10月第一次印刷 印张: 14 1/2 插页: 1

印数: 0001—2,200 字数: 333,000

统一书号: 13031·1985

本社书号: 2702·13-18

定价: 2.30 元

中译本序

气候科学受到了前所未有的重视,是本世纪七十年代气象科学发展的重要特征之一。这一特征的出现,可以说是两方面的原因所造成。随着社会生产力的发展,一方面人类活动的尺度扩大了,认识气候尺度大气现象的主观需要增强了;另一方面,现代技术科学得到了迅速的发展,人类对自然界的探测技术和处理资料的手段有了很大的进步,使进一步认识气候的规律性获得了客观的技术条件。因此,气候科学的发展主要并不是七十年代初期气候异常现象频繁所引起,它是科学发展到现阶段的必然结果。这种情况也正象短期预报天气图方法一样,是以当时航海的迫切需要与气象观测网的出现、无线电通讯的使用为主要原因,1855年的黑海风暴事件只是触发其提上日程的近因。正因为如此,气候科学在当前的发展具备着强大的生命力,值得气象科学工作者,甚至兄弟学科的工作者密切注意。

国际上对气候科学的重视和这门科学的主要动向集中地反映在一连串国际会议上。1972年在瑞典斯德哥尔摩召开“联合国环境大会”,在会上强调了地球气候对于人类及其福利有极为重要的影响。1974年召开“联合国粮食大会”,认识到气候对世界粮食生产的主要作用,需要改进对气候和气候变化的了解,呼吁世界气象组织和联合国粮农组织建立“气候警报系统”。1976年联合国在阿根廷召开的“世界水的大会”和随后召开的“世界沙漠化大会”,都强调研究气候和气候变化的极端重要性。在这一段时间内国际上召开了两次以气候

为专题的会议，一次是世界气象组织与世界科学联盟理事会于1974年在斯德哥尔摩召开的“气候的物理基础及其模拟国际讨论会”和1979年2月世界气象组织在日内瓦召开的“世界气候大会”。这两次大会反映了世界当前气候科学的水平和主要动向，对今后气候科学的发展具有重要意义。

从这两次会议的内容来看，也有着明显的分工。“世界气候大会”概括地讨论了当前气候的各个主要方面，其中包括气候科学本身的成就与气候理论的进展，但是大多数论文着重于“气候与人类关系”的问题，因此会议的副题是“气候与人类的专家大会”。会议的结果产生了“世界气候计划”的建议，1979年世界气象组织第八次气象大会正式批准了这一计划。“气候的物理基础及其模拟国际讨论会”相当于“世界气候大会”的理论准备，会议的结果产生了标题为“气候的物理基础及其模拟”的会议报告，在这个报告中全面论述了地球气候的历史、形成气候的原因、气候系统的物理、化学和生物学过程、气候模拟问题和气候监测问题；报告之后附录了会上有关科学家的专题报告21篇。因此，这些报告具有极为重要的意义，虽然在“世界气候大会”之后，都并没有减低它的意义，甚至可以说，更增加了对它的需要。故翻译出版这一本书仍然是适时的。

从本书的内容看，反映了气候科学的基本概念、内容与手段的变化。这些变化标志着气候科学进入了一个新的时代。可以说，这些学术报告本身就是现代气候科学的一个很好的总结，但是却不能认为，从学术观点看，报告已经完美无缺了。应当提到的是，在这本书中所反映的不够之处，也正是世界气象组织的大部有关气候和气候变化的文献中的弱点所在，它也反映了当前国外对气候问题研究的不足之处。举例说，气候科学是历史发展到现在的，古典气候学已不能完全适合今

天需要,这是科学发展的必然结果,也正是这篇报告所反映的主要动向之一。但是这并不意味着,古典气候方法至今已无意义,特别是气候描述问题,在目前仍然是艰巨的任务。事实证明,对于人迹罕到的海洋、极地、高山,还缺乏必要的经验事实,甚至于对生产关系极为密切的区域气候学、小气候学等也是如此。事实才为气候理论的诞生准备了一定的基础。此外,就气候预报说来,单纯从动力观点论证其可能性,非但无法概括气候预报已经取得的全部成果,而且还得到了十分悲观的结论。因此,对于气候科学的发展说来,在强调动力方法与现代技术的同时,还应注意大量的经验事实,以及把这些经验事实逐步理论化。因此,对古典气候学还存在着一个继承、改造和发展的任务,这一点,在七十年代以来的国外气候学界还缺乏必要的讨论和注意。因此,这些报告虽然可以给我们极大的启发,我们除进一步加以发展外,还应结合我国的具体情况加以讨论和评论,使我国气候学的发展具有自己的特点,并为世界气候科学的发展,作出应有的贡献。

张家诚

1980年

序

1972年6月在斯德哥尔摩举行了关于人类环境的联合国会议，会上强调了地球气候对人及其安宁的重要性。虽然气候对工业化国家和发展中国家的继续发展都是很重要的因素，但气候的易变性及其可能的变化基本上仍是不可预报的。我们面临的某些最重要问题已扼要地在 SMIC (“人类影响气候的研究”) 报告¹⁾ 中叙述，这一报告已在联合国会议上生效而且是一个重要的参考文件。在斯德哥尔摩会议的 79d 号推荐书上建议世界气象组织 (WMO) 与国际科学联盟理事会 (ICSU) 协作“继续实施全球大气研究计划 (GARP)，以便更好地了解大气环流和造成气候变化的原因以及这些原因是自然的或是人类活动的结果”。

早在1967年，世界气象组织和国际科学联盟理事会商定实施全球大气研究计划且设立一个联合组织委员会 (JOC) 作为一个负责计划工作的机构。虽然，当时全球大气研究计划的重点是进一步了解大气中制约天气的大尺度波动，以改进一天至数周的预报准确率，但也认识到进一步了解气候的重要性。这被当作全球大气研究计划的主要目标而规定：“全球大气研究计划旨在探讨发生在对流层和平流层中的物理过程，对了解……(b) 决定大气环流统计性质（这种性质有助于了解气候的物理基础）的各个因子。这都是必不可少的。”

1973年3月在伦敦举行第八次会议，联合组织委员会详

1) SMIC, 1971. Inadvertent climate modification. Report of the Study of Man's Impact on Climate. MIT press, 308pp.

细地考虑了全球大气研究计划对气候及其振动的研究的重要性，并建议下一步的活动是组织一次关于气候的物理基础及其模拟的国际讨论会。世界气象组织的执行委员会和国际科学联盟理事会同意这一建议，并请求得到联合国环境规划署(UNEP)的支持以召开这样一次讨论会，这一请求在1974年1月获准。

这次会议已于1974年7月29日至8月10日在斯德哥尔摩附近的维克(Wijk)举行，来自世界各地的约七十位科学家出席了这次会议。这个报告就是他们两星期工作的成果。对于那些同意以扼要介绍方式(见附录)作为会议讨论起点而准备基本材料的人，应表示感谢。气候变化专门小组给全球大气研究计划美国委员会的报告¹⁾，由美国国家科学院散发给与会者使用，并作为这次会议的基本文件。John Kutzbach 教授把历时两星期的会议结束时的报告草案，最终变成一个各方面写得很适当并且合乎逻辑的文件，受到了特别的赞赏。

本报告应成为如下三个不同方面进一步开展活动的依据：

1) 要求国际间和各国政府之间密切合作，以便解决现存之全球问题。在大气环流研究、中期天气预报和长期天气预报等问题的研究中，我们需要比现在全球大气研究计划已有的合作计划还要更广泛的协作。报告的前三章将介绍研究这些问题所必需的知识 and 为了实现全球气候研究计划所必需遵循的途径。

2) 在气候研究领域，只有加强科学的努力才能够取

1) U. S. National Academy of Sciences, 1974. Understanding climatic change, a programme for action. Report of the Panel on Climatic Variation to the U. S. Committee for GARP (In press).

得进展。第四、五章相当详细地阐述急待解决的问题。

3) 第六章论述全球观测计划,这是实现第四、五章中提出的研究课题所必需的。全球的合作必须以增进国家的努力为基础,以便得到发展计划所需的充分的资金。尤其是全球观测费用很大。第六章还打算给希望参加全球气候研究计划的国家,在事前决定参加与否提供一个依据。

在本报告中制定的计划似是雄心勃勃的,但是与会者一致同意并认为只有按此研究计划,我们才能确定定量地预报气候和解释气候的数学计算的潜力,实际上,前途是光明的。数学模式将进一步了解气候的基本控制作用,这种了解对于未来使用地球资源是重要的。除了在这次会议文件中提出气候研究的基本计划以外,我们还需要比今天更深刻地去理解气候对人类和人类活动的影响。

B. 博林

1974年8月10日于斯德哥尔摩

提 要

根据全球大气研究计划(GARP) 联合组织委员会的提议, 世界气象组织(WMO)和国际科学联盟理事会(ICSU)在联合国环境规划署(UNEP)的赞助下, 于1974年7月29日—8月9日在斯德哥尔摩附近的维克召开了“气候的物理基础及其模拟的国际学术讨论会”。本报告是这次会议结果的详细记录。会上提议由世界气象组织和国际科学联盟理事会制定一项有关气候和气候变化的国际性研究计划。本报告中包含了许多建议, 这些建议指出应该采取措施来增进我们对于这门学科的知识, 这门学科在合理安排人类全球环境方面具有头等的重要性。

本报告的前三章是对于这个问题的全面综述。其中给出了一些例子来说明气候对于地球上的生物是多么的重要, 人类又是如何与气候及气候的变化息息相关的。并强调指出, 目前我们对于形成现在这种气候的各种相互作用着的物理、化学和生物过程仍了解得很不够, 我们尚不知道在过去的气候变化中究竟是哪些机制在起主要作用。因此, 目前我们既不能预言未来可能发生的气候变化, 也无法估计人类本身对这种变化的无意识影响会大到什么程度。气候系统(包括大气、海洋及海冰和陆地表面)是非常复杂的, 其中涉及各种水文过程、植物的作用、冰雪的变动和融解。因此, 为了定量地研究气候和气候的变化, 就必需建立数学模式。在对气候模拟中遇到的基本问题进行详细分析之前, 先在这三章中将我们现有的关于过去气候变化的知识作一概要介绍。

在这三章中着重指出了逐年的、几十年的、几百年的或更长时期的气候变化所具有的不同特征。显然, 时间尺度越长, 我们对其中气候变化的了解就越粗略。从树木年轮、花粉和深海沉积物的分析中可以获得关于过去气候变化的详细得多的资料, 这种新方法无疑地会大大增进我们的知识。

第四章论述气候模式的综合设计和用途。提出了各种模拟方法，从简单的模式直到十分完全的模式。后一类模式自然对计算机提出了很高的要求。在本章中还强调指出，使用较简单的模式便于对长时间进行积分，这时只需用较完全的模式对其进行校正。为研究实际大气特征和改进中、长期预报而设计的现行大气环流模式在气候模式的设计中将会起十分重要的作用。在气候模式中要对很长的时间进行积分，因此在大气环流模式中考虑基本物理过程的方法可能需要加以修改，才能满足气候模式这一更严格的要求。同时，与以往的模式相比，在气候模式中还必须对海洋、冰雪圈、陆地表面的过程以及生物量的作用给以更多的考虑。本章试图对模拟的条件和参数化问题作初步的探讨，就目前来说，为了能对所有这些基本过程作适当的、合理的处理，这种参数化方法还是不可少的。可以预料，将来会使用气候模式进行一系列的不同的试验。重要的是应该搞清楚，究竟可以在多大程度上对未来的气候变化进行预报，以及对这类预报的要求如何。当前最重要的是需要研究气候对于各种气候因子（如太阳辐射或大气中的二氧化碳浓度）变化的敏感性以及气候的时空变化，特别是需要研究与诸如干旱之类相对应的极端气候型式。需着重指出的是，如何在实际中使用气候模式来定量而可靠地解决上述各种问题尚有待研究。但是，会议参加者的意见是，只有实现所提出的这种规模宏大的计划才能有希望在这一领域有所进展，舍此别无他法。

第五章论述了一些研究计划，这些研究计划旨在增进我们对某些基本的并且常常是复杂的物理、化学和生物过程的认识，为了将这些过程纳入气候模式，必须对他们进行参数化。就七个研究领域中的每一个列出了其基本科学问题。本章中还提出了一系列的模拟试验，通过这些模拟试验可以搞清楚所考虑的各种过程的关联。最后，概述了为保证研究工作的顺利开展应该进行哪些观测计划。观测计划可分为三类：1）为了能确定适当的参数化方案，以便对具有重要作用的一些过程的细节进行描述，必须在某一段时期内进行强化观测；2）为了能验证气候模式，需要对一些起决定性作用的气候参数进行全球的或半球的观测；3）为了能认识未来气候可能发生的变化，必需对某些外部参数或内部参数进行长期的监测。

本报告的最后一章较详细地提出了一些有可能实行的观测计划。特别强调了世界天气监视网(WWW)和全球大气研究计划第一期全球试验(FGGE)的重要作用,但是为了研究气候问题,在观测方面还要附加上另外一些要求。由于全球范围的资料对于这些资料的充分应用常常是完全必要的,因此要特别重视开展卫星观测。但是,在地面上的观测仍然具有基本的重要性。

当然,在这里要想对类似本报告这样的详细内容作出三言两语的概括并给以确当评述是不可能的。为了便于使用本报告,有关的建议均分别放在每一章的末尾以及第五、六两章每一节的末尾,而不是集中放在最后一章中。这样,读者在研读本报告各部分时就比较容易一些,并且也有助于读者对所建议的措施及其理由有较清楚的认识。

目 录

中译本序

序

提要

第一章 绪论和会议的总建议..... (1)

第二章 观测到的气候系统的变异性 (7)

§ 2.1 引言 (7)

§ 2.2 季节变化 (7)

§ 2.3 年际变率 (11)

§ 2.4 长期变化 (13)

2.4.1 过去100年间的气候 (13)

2.4.2 过去1000年的气候 (15)

2.4.3 冰后期的气候 (15)

2.4.4 冰期和冰川年代 (16)

2.4.5 气候变化的可能原因 (19)

§ 2.5 关于气候系统未来演变的推测 (19)

2.5.1 气候系统的自然演变 (19)

2.5.2 人类活动对气候的影响 (21)

§ 2.6 建议 (22)

第三章 气候模拟的基本原理 (26)

§ 3.1 引言 (26)

§ 3.2 气候系统的组成部分 (27)

§ 3.3 气候及其变化的物理过程 (30)

§ 3.4 气候的反馈机制 (32)

§ 3.5 气候模拟问题	(33)
§ 3.6 气候模式的效用	(35)

第四章 气候模式的设计及其在气候敏感性和可预报性研究中的应用

(37)

§ 4.1 定义	(37)
4.1.1 气候	(37)
4.1.2 可递性、非可递性和殆非可递性	(38)
4.1.3 模式	(39)
4.1.4 参数化	(40)
§ 4.2 模拟	(40)
4.2.1 引言	(40)
4.2.2 参数化动力模式	(42)
4.2.3 三维显式动力模式	(45)
4.2.4 次网格尺度过程的参数化	(47)
§ 4.3 试验和试验设计	(56)
4.3.1 气候可预报性的研究	(56)
4.3.2 对观测到的气候和模拟的气候的统计分析	(59)
4.3.3 敏感性的研究	(62)
4.3.4 考察气候变化的其他资料来源	(68)
4.3.5 短期气候极值的研究	(71)
§ 4.4 资料要求	(76)
4.4.1 验证气候模式所需要的观测资料	(76)
4.4.2 长期监测	(78)
§ 4.5 对计算机的要求	(82)
§ 4.6 建议概要	(83)
4.6.1 引言	(83)
4.6.2 模拟	(84)
4.6.3 试验	(85)
4.6.4 资料的编集和分析	(86)
4.6.5 对于资料的要求	(87)

4.6.6 对于计算机的要求	(87)
----------------------	--------

第五章 气候模式中所包括的物理学、化学和生物

学过程	(90)
§ 5.1 引言	(90)
§ 5.2 辐射过程	(90)
5.2.1 科学目的	(90)
5.2.2 基本的辐射过程	(91)
5.2.3 辐射传递理论	(93)
5.2.4 建议——参数化和模拟研究	(97)
5.2.5 建议——观测研究	(99)
§ 5.3 云过程	(100)
5.3.1 科学目的	(100)
5.3.2 需要研究的基本过程	(101)
5.3.3 参数化	(103)
5.3.4 参数化的主要建议的概述	(105)
5.3.5 建议——观测上的要求	(106)
§ 5.4 陆地表面上的过程	(107)
5.4.1 科学目的	(107)
5.4.2 陆地-大气相互作用过程的特征	(108)
5.4.3 现有模式中的陆地特征参数	(109)
5.4.4 建议	(112)
§ 5.5 海洋过程	(115)
5.5.1 科学目的	(115)
5.5.2 需要研究的海洋过程	(117)
5.5.3 从气候观点来模拟海洋	(125)
5.5.4 建议	(128)
§ 5.6 冰雪圈过程	(133)
5.6.1 科学目的	(133)
5.6.2 基本过程	(135)
5.6.3 建议——模拟和个例研究	(137)

5.6.4 主要建议概述	(140)
§ 5.7 二氧化碳过程	(142)
5.7.1 科学目的	(142)
5.7.2 需要研究的基本过程	(143)
5.7.3 建议——对外部刺激的敏感性的模拟研究...	(146)
5.7.4 建议——观测要求	(146)
§ 5.8 臭氧过程和其他化学活性微量成分过程	(149)
5.8.1 引言	(149)
5.8.2 大气模式中的化学问题	(150)
5.8.3 关于把光化学因子纳入大气模式的建议 ...	(151)
5.8.4 建议——观测要求	(153)
§ 5.9 气溶胶过程	(155)
5.9.1 科学目的	(155)
5.9.2 需要研究的基本过程及其模拟	(156)
5.9.3 建议——对各种外激发因子的敏感性的 模拟研究	(161)
5.9.4 建议——研究和监视的观测要求	(162)
第六章 观测计划	(169)
§ 6.1 引言	(169)
6.1.1 特定过程的精细研究	(170)
6.1.2 全球气候参变量的资料	(170)
6.1.3 气候参数的长期监测	(172)
6.1.4 可能的观测系统和资料处理系统的概述 ...	(172)
6.1.5 资料的精度和取样	(174)
6.1.6 需在模式输出和观测输入之间作适当的 衔接	(175)
§ 6.2 大范围的云量和行星辐射的收支	(176)
6.2.1 太阳通量	(176)
6.2.2 行星辐射收支	(176)
6.2.3 云	(178)

§ 6.3 地球表面辐射参数	(180)
6.3.1 地球表面温度	(180)
6.3.2 地球表面反射率	(182)
6.3.3 地球表面辐射收支	(183)
§ 6.4 水分循环	(184)
6.4.1 海洋上的降水	(184)
6.4.2 水分存贮量和有效水分存贮量的减少	(185)
6.4.3 江河流域的径流量	(186)
§ 6.5 海洋	(188)
6.5.1 海温	(188)
6.5.2 海表风应力	(189)
6.5.3 洋流	(190)
6.5.4 间接测量	(192)
§ 6.6 冰雪圈	(193)
6.6.1 雪被	(193)
6.6.2 海冰	(194)
6.6.3 极地冰原	(197)
§ 6.7 大气中的气体和微粒	(200)
6.7.1 气体	(200)
6.7.2 气溶胶	(203)

附录——提交会议的专题论文

一、气候的历史和非可递性	H. 弗洛恩 (207)
二、过去气候的诊断研究	J. E. 库茨巴赫 (232)
三、气候的可预报性	E. N. 洛伦茨 (249)
四、统计-动力气候模式的设计以及气候可预报性的统计 约束	C. E. 利思 (261)
五、气候模拟的方法学	S. H. 施奈德、R. E. 迪金森 (272)
六、以综合大气环流模拟来研究气候和气候变化	真锅淑郎 (285)
七、简单气候模式的评述	J. 阿登 (319)