

海洋新探索丛书

刘齐 编著

变化的 海洋与 大气



山东科学技术出版社

海洋新探索丛书

变化的海洋与大气

刘 齐 编著

山东科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

变化的海洋与大气/刘齐编著. — 济南: 山东科学技术出版社, 1999

(海洋新探索丛书)

ISBN 7-5331-2394-8

I. 变… I. 刘… III. ①“厄尔尼诺”现象-分析②“厄尔尼诺”现象-影响-气候 IV. P732

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 15591 号

海洋新探索丛书

变化的海洋与大气

刘齐编著

*

山东科学技术出版社出版

(济南市玉函路 16 号 邮编 250002)

山东科学技术出版社发行

(济南市玉函路 16 号 电话 2014651)

济南新华印刷厂印刷

*

850mm×1168mm 1/32 开本 6 印张 130 千字

1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月第 1 次印刷

印数: 1--1000

ISBN 7-5331-2394-8

P. 30 定价 13.50 元

序

广袤无垠的大海，曾激起人们多少遐思，无数骚人墨客遥望大海，赋诗吟唱；多少英雄豪杰面对沧海，抒怀咏志。

今天，大海已不再仅仅是诗人灵感的源泉，在人类生存空间日趋拥挤、资源日趋匮乏和环境日趋恶化的地球上，大海是人类拓展生存空间的重要场所，是人类补充陆地资源匮乏而有待开发的广阔领域。同时，它作为行星规模的庞大整体，在很大程度上决定着人类生存环境的变化。于是，人类把目光投向无垠的海洋。

对大尺度的海气相互作用的研究，会使灾害天气的研究成果为陆地农业的丰收还是欠产做出预测；对广漠的大洋底的研究，会使人类找到最急需的油气资源和各种金属矿藏；对种类繁多的海洋生物的研究，会丰富我们的餐桌，满足因人口增加而急剧增大的蛋白质需求；对海洋活性物质的研究，会为增进人类健康做出贡献。所以，海洋科学研究和海洋开发是一个非常重要的领域，人类在这个领域里将不惜巨资，不遗余力！

目前的高技术领域，核技术、信息技术蓬勃发展，生物技术、材料技术方兴未艾，而海洋科学作为一门综合性学科，更是日益重要地被提上研究日程。当代科学的主要工作，是围绕着解决人类面临着的争取持续发展这一重大问题而进行的。海

洋有矿、有粮，有宝、有药，有巨大的空间！海洋开发呼唤人类，呼唤有志的青年投身其中。

在世纪交替之际，山东科学技术出版社组织出版了《海洋新探索丛书》，这是在提高全民族海洋意识方面的添砖加瓦之举。这套丛书共四册，从海洋资源开发、海洋生物技术、海气相互作用、物理海洋等方面介绍了海洋科学领域的新探索。它不是普通意义上的启蒙读物，而是用较通俗的语言对目前海洋科学的前沿和焦点问题进行阐述。作者大多是青年科学家，海洋科学的未来是属于他们的。我们要大力支持青年学者在这方面的创意性的工作。

《海洋新探索丛书》将告诉大众尤其是青少年，现在的海洋科学家正在做什么，以期唤起他们的兴趣，为建设开发祖国的万里海疆贡献力量。书中虽有缺点和不足之处，但瑕不掩瑜，值得向广大读者推荐。

中国科学院院士

秦蕴珊

1999年7月

目 录

气候异常与气候研究	1
一、从 1997 年气候异常说起	1
二、当代气候研究的特点	4
三、气候系统的构成	7
四、气候系统的反馈机制	18
附：1997 年厄尔尼诺大事记	22
海洋与大气的强相互作用——厄尔尼诺	33
一、初识厄尔尼诺	33
二、厄尔尼诺的产生过程	35
三、厄尔尼诺的可能激发因子	38
四、厄尔尼诺的影响	43
五、厄尔尼诺与中国降水	53
六、厄尔尼诺的预报	60
海洋—大气系统	63
一、研究海洋—大气系统的意义及历史背景	64
二、海洋—大气系统的性质和特征	70
三、海—气相互作用	103
四、海—气相互作用与气候变化	127
海洋、大气与人类活动	137

一、赤潮灾害	139
二、酸雨	148
三、臭氧问题	159
四、人工影响天气	169
灾害频发的 1998 年与环境保护	176
主要参考文献	185
后记	186

气候异常与气候研究

一、从 1997 年气候异常说起

从 1997 年 3 月份开始,天宇中仿佛出现了一个专门营造灾难的“幽灵”,搅得我们这个星球不得安宁:长达 48 小时连续不断的急风暴雨肆虐智利,多人死亡,几万人受灾,居民无家可归;哥伦比亚出现历史罕见的持续高温天气,造成火灾频繁,传染病多发;秘鲁北部、厄瓜多尔连降暴雨,洪水泛滥,秘鲁政府宣布 9 省处于紧急状态,厄瓜多尔政府宣布全国进入紧急状态;阿根廷受特大暴雨袭击,造成大批牲畜死亡;在澳大利亚、巴西东北部以及东南亚地区出现明显的干旱,澳大利亚粮食减产 40%;盛夏季节,巴西热浪滚滚,气温高达 40°C,比正常年份高出 3~5°C,创下 40 多年来最高记录;菲律宾全年雨量比往年减少 40%,政府拨款 6500 万美元,在全国挖掘 9000 口深井,建造 2 万个小水库,用于农田灌溉,首都马尼拉实行饮用水计划供应;印度尼西亚由于高温干旱,造成了灾难性的森林大火。

我国气候也不例外,出现严重异常。主要表现为全年气温

偏高，盛夏北热南凉；北旱南涝，北方降水持续偏少，干旱范围广、灾情严重。登陆我国的台风异常偏晚、异常集中。5月~6月上旬我国北方地区气温明显偏低，而进入6月中旬以后又发生严重干旱及高温酷暑天气，北方大部分地区持续高温日数为历史上所罕见，最高气温打破历史记录；而南方一些地区在这段时间气温明显偏低，南方寒露风范围广，低温持续时间长，出现冷夏。青藏高原发生罕见雪灾等异常天气气候现象。

面对世界性的气候异常，人们不禁困惑地问：这地球到底怎么了？气候异常在加重吗？

我们感受到气候异常，经常是通过身边发生的事情，如冬至前后，各种花纷纷盛开，树叶也变绿了，天气好像阳春三月，人们不用穿厚厚的棉衣，家里也不用炉火取暖；而到了夏季，樱花却迟迟未开，人们还不得不穿夹克衫。一般人都会感觉到异常气候，即给生活带来很大影响的、偏差大的气候。但阿拉斯加冬季气温比常年低 7°C ，不算异常气候，而青岛夏季气温比常年高 3°C ，就已是异常气候了。那么从学术观点来看，什么是气候异常呢？

气候异常是指月平均值与常年有较大差异，世界气象组织规定常年气候指30年的平均值。如果月平均气温与常年值之差是标准偏差的2倍以上，就属于异常气候了。例如20世纪30年代和80年代美国发生夏季异常高温，时间间隔约50年；西非20世纪70~80年代干旱频繁发生；又如香港地区1997年的降水量截止10月12日已达3249毫米，成为自1884年香港天文台有记录的113年来最多的一年，为百年一遇的异常多雨。

由于大气运动是不断变化着的，与常年平均状况总会有所差异，所以气候变化在任何年代都会发生，但是否构成异常气

候要看气候变化的幅度。从实际资料分析,全世界气候异常发生次数大致相同,世界范围内没有气候异常增加的根据。但从局部区域看,南亚有增加的趋势,而南非有减少的趋势。全球范围内大气基本保持均衡。

人们之所以对气候异常表现出越来越多的关心是由于我们的经济生活受气候异常影响很大。我国东北地区是我国重要商品粮基地,发生冷害将造成粮豆减产上百万吨,严重影响我国的粮食产量;而作为世界粮食输出大国的美国,如果受到热浪袭击,则世界上依赖从美国进口粮食的国家都会为此操心。受 1997 年厄尔尼诺的影响,秘鲁等国渔业损失惨重,使鱼粉出口价格猛涨,与 1997 年发生厄尔尼诺前相比,每吨上涨 180 多美元,对包括我国在内的鱼粉进口国产生严重影响。

气候变化中包含着气候的自然变化和人类活动引起的变化。气候的自然变化主要是指源于气候系统的内部的波动和外部的原因,如太阳变化或火山爆发等造成的变化。人类活动引起的气候变化叠加在气候自然变化的背景上,对于气候的长期变化有重要影响。

在过去的几十年中,人类与地球之间的相互影响越来越突出。包括燃烧化石燃料和土地使用在内的人类活动引起大气中温室气体的增加,臭氧层破坏,气溶胶增加,森林破坏。目前人类活动已造成全球气候平均气温显著变暖。温室气体使气候变暖,气候变暖又会影响降水和地表作物生长;还会造成气候带的移动,增加了气候系统的不稳定性,易于发生异常气候,从而改变了区域和全球气候系统的参数。进入 90 年代全球气候异常造成的自然灾害显著增加。在 1997 年全球记录到的 538 起自然灾害中,水灾占 26%,风暴灾占 33%,造成人员伤亡 12636

人。各种灾害中水灾造成的损失最大，流经波兰、捷克、奥地利与德国的奥德河、尼斯河发生百年不遇的洪水，死亡 110 人，经济损失 59 亿美元；我国广东、香港地区的特大洪水使 285 人死亡，28 万间民房倒塌，经济损失 12.5 亿元。造成损失较大的印度尼西亚和马来西亚森林大火、澳大利亚草原森林大火也是异常干旱气候造成的。

人为原因造成的气候变化已经达到有可能对社会经济系统和自然生态系统产生危险的程度。由于人类活动造成气候系统内部参数的变化，而造成异常气候的发生是目前科学家十分关注的研究问题，也是近代气候学研究的热点问题。

二、当代气候研究的特点

当代气候研究的主要任务是预报气候变化。与 20 世纪的前 50 年相比较，气候的概念已经发生了深刻的变化。按照传统的气候学定义：一个地区的气候是指某种统计的平衡状态，它用一些参数（即气候因子如风、温、湿、压力等）的统计平均值来描述（或定义）。在这里“统计平均”是指根据较长时段的样品所得出的平均值。在 50 年代初，世界气象组织曾规定取 40 年的平均就可以称为“准平均”。但气候的平均值表示不出气候的变异性，因此，在经典气候学中，用“极差”（最大值减最小值）和“标准离差”来描述气候的变异性。50 年代以后，人们发现一个地区的气候并不处在统计的平衡状态，而是经历着各种不同尺度（如年际尺度、十年际尺度、百年际尺度以及千年际尺度等）的变化。可以这么说，在 50 年代以前，人们是把气候当作静态来研究，而当代则是把气候看作是不不断变

化的。

经典气候学的任务是描述某个地区的气候特点，而当代气候则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。在这里，围绕着平衡状态的扰动，即对平衡状态的偏差或距平，正好是我们需要进行预测的对象。传统的气候学在阐明气候学和生态（主要是植被）的关系时采用气候带（climatological zone）概念，如温湿型气候带、亚热带气候带等等。无疑，当代气候学中气候带仍旧是有用的概念（也许需要更客观的定义，以消去一些人为的规定），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，我们需要引入另一个概念，即气候或气候距平型（pattern）以及与此相关的所谓“遥相关型”等。

“气候系统”（climate system）概念的引入是当代气候学不同于经典气候学的一个主要特点。经典气候学着重描述各个气候因子的特征，即只考虑大气本身的一些参数。当代气候学主要研究气候变化，而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边界处的各种物理和化学过程。因此，我们在研究气候时除考虑大气自身的变化外，还需要考虑海洋、冰雪覆盖、陆地表面、地球上生物分布以及大气上边界处太阳辐射和大气内部成分变化等对气候的影响。因此一个完整的气候系统应包括对气候形成和变化有直接或间接影响的各个环节。除太阳辐射这个主要的能量源之外，气候系统包括以下5个成员或子系统，即大气、海洋、冰雪圈、陆地表面和生物圈。这就是说，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以及各种时间尺度的变化。从这种意义上说,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、生物学以至社会科学等众多学科相互渗透共同研究的交叉科学。

在研究方法上,当代气候学和经典气候学也有明显的不同。经典气候学中的统计方法和定性的描述方法在地理气候学中是有用的,近代气候学更需要推理和定量的研究,而当代气候学则要求对气候系统进行定量观测和综合分析,并对气候形成和变化的动态过程进行理论研究和数值模拟。在观测研究方面,WMO有一个世界气候资料计划(WCDP),为气候研究提供必要的资料。此外,还组织了一系列国际性观测试验,例如,“热带海洋和全球大气”计划(TOGA)、“世界海洋环流试验”(WOCE)、“海冰预测国际气候试验”(SIPICE)、“国际卫星陆地气候学计划”(SILSCP)、“国际卫星云气候学计划”(ISCCP)等等。此外还有更多的区域性的或为研究某些特殊过程的专门观测试验。组织这样众多的全球或区域规模的观测,并充分利用卫星遥感资料,即是现代气候学研究中的一个重要特点。同时,观测资料中有许多是用来描述气候系统各成员之间的相互作用过程的。可见,当代气候学的信息量比经典气候学要多得多,必须发展专门的气候资料和信息系统才能适应研究和应用工作的需要。

气候系统的数学物理模式研究、相互作用过程的物理—动力学理论研究以及对气候形成和演变的数值模拟都是人们高度

重视的问题。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气候系统中各个成员之间的各种相互作用并展现气候变化过程，才能准确理解气候变化的机制，并使气候预测的可能性得以实现。

目前，用数值模式模拟气候虽已取得很大的成功，但由于气候系统的复杂性使模拟结果仍存在着很多问题。例如，大气中的 CO_2 加倍对气候的影响程度问题，不同的模式给出了不同的结果，甚至差别很大，因此对这一问题尚无确定的回答，只能给出一个大致的变化范围（如：全球平均温度增加 $1.5 \sim 4.5^\circ\text{C}$ ）。这种“不确定性”是由于在气候模式中人们对一些重要过程的认识及描述方法有重大缺点，其中云和辐射的相互作用问题就是一例。辐射过程不仅决定于各层云量，还决定于液态水含量、滴谱分布和相态，目前模式计算或参数化方案尚不能很好给定这些量的分布。其他如大气中微量成分和气溶胶对辐射过程的影响、水分循环过程、海洋过程（包括海洋环流动力学过程和通过海气交界面的动量、热量与物质交换等）都是迫切需要加以研究的问题。

三、气候系统的构成

气候系统是那些能够决定气候形成及其变化的各种因子的统一体。由于气候的时间尺度和空间尺度不同，仅考虑上下边界层之间的大气层是不够的，必须考虑气候系统的各个组成部分，按照世界气象组织（WMO）的意见，完整的气候系统应包括五个物理部分：大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈。现将气候系统的各个组成部分简述如下。

1. 大气圈

它是地球的气体包围圈，也是气候系统中最活跃的、变化最大的组成部分。通过铅直的和水平的热量传输，大气圈对于外部施加的影响的响应时间约为一个月。如果没有补充大气动能的过程，动能因摩擦作用而耗尽的时间大约也是一个月。作为气候系统的主要成分，大气环流是严冬、酷暑、干旱、洪涝等气候异常发生的直接原因。但是从能量学看，大气是非常脆弱的，即使气候系统仅仅包括表层 100 米深的海洋，大气所具有的热量也只占系统总热量的 3.4%。因此，大气的影响多与其动力学有关。人们常把大气比做一个热机。不过这个热机的效率很低。全球平均接收的太阳辐射约 241 瓦/米^2 ，但有效位能制造率仅 2.4 瓦/米^2 。大气的动能与系统的总能量相比，也几乎是微不足道的。所以，在气候形成与气候变化中，大气以外的其他成员，如海洋、冰雪、陆面等有着决定性的作用。

当然，大气也绝不仅只被动地接受其他成员的影响，而是与它们产生复杂的动力与热力相互作用，形成各种各样的气候变化与气候异常。更重要的是由于自然或人为的原因，大气成分及其悬浮物能产生激烈的变化，改变气候系统的热量平衡，从而改变气候。在自然原因中主要是火山活动造成平流层气溶胶，散射太阳辐射，减少地面接收到的太阳能，这种作用称为“阳伞效应”；人为的因素主要是大气中 CO_2 等温室气体浓度增加，使“温室效应”加剧，后者是当前气候研究中的最重要课题。

2. 水圈

它包括海洋、湖泊、河流和地下水，也包括地表上空的液

态水，其中海洋对气候变化最重要。海洋吸收到达地表的大部分太阳辐射，由于海水的质量和比热容都很大，因而成为一个巨大的能源库，海洋输送的热量约等于大气由赤道向极地输送的热量的总和。海洋上层与大气或与海洋表面冰的相互作用，时间尺度为几个月到几十年，而海洋深层的热力调整时间则长达几个世纪。

海洋在地球气候的形成和变化中的作用一直受到人们的重视。早在 20 世纪 20 年代，一些科学家就试图从大西洋表面温度的变化来解释西欧的年际气候变动，希望从前期海洋热状况的异常中找寻气候变化的前兆信息。

最近 10 多年来，海洋—大气相互作用的研究成为世界科学团体密切关注的重要科学问题，取得了十分迅速的发展。海气相互作用已被公认为气候问题的一个核心内容。世界气候研究计划（WCRP）明确指出：“几年到几十年的气候变化及其预测问题只有在充分了解全球大气和海洋的耦合动力学的基础上才有可能解决。”它把海洋过程和海气相互作用的研究列为实现该计划的最重要途径。为此目的，制定了两个巨大的国际合作计划，即热带海洋和全球大气计划（简称 TOGA）和世界海洋环流试验计划（简称 WOCE）。它们是世界气候研究的两个主要组成部分。近 10 年来，海气相互作用研究的主要特点和进展可以概括为 3 个方面：①热带海气相互作用是研究的战略重点；②数值模拟是海气相互作用的重要研究手段；③海气相互作用的观测试验蓬勃发展，促进了广泛的国际合作。

大量的事实和理论研究证明，海洋在几乎所有时间尺度的气候变化中都起重要作用。它对气候变化的影响主要有以下几

点:

(1) 海洋是大气热机运转的主要能源供应地: 据计算, 占地球表面 71% 的海洋吸收了进入地球大气系统上界辐射量的 70% 左右, 且将其中的 85% 左右贮存在海洋表层。这部分能量再以长波有效辐射 (21%)、潜热 (23%) 和感热 (7%) 交换的形式输送给大气, 成为大气运动的直接能源。另一方面, 海洋提供了大约 86% 的大气水汽来源。海洋热状况的变化和海洋蒸发强度的变化等将直接影响大气中能量和水汽的时空变化, 影响气候。

(2) 海洋在经向热输送中的贡献: 为了维持地球大气系统高低纬度的能量平衡, 必须有低纬度向高纬度的热输送。根据卫星观测的地—气系统辐射收支间接推算和由海洋、大气观测资料直接计算的结果, 全球平均而言, 海洋承担了将近 33% 的经向输送任务, 其余的 67% 为大气所承担。因此, 如果没有海洋输送, 高低纬度就不可能维持能量平衡。尤其重要的是, 在各个纬度带, 海洋和大气输送的相对贡献是不同的。在北纬 0° ~ 北纬 30° 的低纬度地区海洋输送超过了大气的输送, 最大值出现在北纬 20° , 那里海洋输送占总输送的 74%; 在北纬 30° 以北, 大气输送超过了海洋输送, 在北纬 50° 大气输送出现最大值。尽管上述计算结果还有相当程度的不确定性, 表现为不同作者计算结果之间的差异还相当明显, 但定性来说基本可信的。海洋中经向热量输送的强度和位置变化无疑是全球尺度气候变化的重要因子之一。

(3) 海洋的低通滤波作用: 众所周知, 海洋有巨大的热容量 (大的比热容和巨大的海水质量); 同时, 海洋是从上面加热的, 即海洋热量来源主要靠它的表层吸收, 它的层结构较大气