

# 第七届气候系统与气候变化国际讲习班

## 学员小论文汇编



- |                                 |                          |                |     |
|---------------------------------|--------------------------|----------------|-----|
| 陈 练                             | 陈思蓉                      | 崔慧慧            | 邓学良 |
| 丁明虎                             | 杜 鸿                      | 杜 银            | 段海来 |
| 范思睿                             | 方艳莹                      | 方 玉            | 高红凯 |
| 高明杰                             | 古 月                      | 郭 玲            | 郭元喜 |
| 郭 媛                             | 何 春                      | 侯西勇            | 胡玉蓉 |
| 蒋昕昊                             | 靳莉君                      | 李发鹏            | 李 刚 |
| 李宏毅                             | 李 慧                      | 李敏姣            | 李 明 |
| 李润祥                             | 李 琰                      | 廖荣伟            | 刘长坤 |
| 刘秋峰                             | 吕桅桅                      | 马金玉            | 彭 冲 |
| 秦琳琳                             | 邱明宇                      | 任 珂            | 邵 颢 |
| 沈志超                             | 舒舍玉                      | 宋霁云            | 孙建元 |
| 孙秀宝                             | 谈 丰                      | 田忠翔            | 汪言在 |
| 王 鹏                             | 王 伟                      | 王宗明            | 韦露斯 |
| 文 蓉                             | 吴 萍                      | 伍国凤            | 夏 坤 |
| 向 亮                             | 徐 康                      | 许月萍            | 杨 浩 |
| 杨晓亚                             | 尤 莉                      | 于良巨            | 岳岩裕 |
| 曾思栋                             | 张若楠                      | 张书萍            | 张王滨 |
| 张彦成                             | 张志薇                      | 赵普生            | 赵淑雨 |
| 郑 慧                             | 郑秋红                      | 周奇越            | 周文友 |
| 祝丽娟                             | Aboubacar Diallo         | Calvin A. Gaye |     |
| Bathsheba Musonda               | Bento I. Cambula         |                |     |
| Edward B. Wisseh                | Karen K. Y. Shum         |                |     |
| Muhmmad Athar Haroon            | Moustapha Mohamed Salem. |                |     |
| Muhammad Hasen Ali Baiy         | Ogwang Bob Alex          |                |     |
| Mohammad Redzuan Bin Abdul Moin |                          |                |     |
| Teke Solomon Ramotubei          | Suryanti                 |                |     |
| Tape Lorougnon Jean Fernand     |                          |                |     |
| Vilho Shatyohamba Ndeunyema     |                          |                |     |
| Zaheer Ahmad Babar              |                          |                |     |

# 积极应对全球变暖

陈 练

南京信息工程大学，南京，210044

我非常荣幸地参加了第七届气候系统与气候变化国际讲习班(The Seventh International Seminar on Climate System and Climate Change)，期间聆听了 Claude Boutron 教授（法国），Ned Helme 主席（美国），Klaus Fraedrich 教授（德国），Steven J. Ghan 教授（美国），John A. Ogren 教授（美国），Teruyuki Nakajima（日本）等多位学者在冰冻圈、气溶胶、气候模式等方面的学术报告，受益匪浅。这是我第一次参加国际学习班，授课老师都是来自国际气候界知名的专家学者，能与他们近距离接触交流本身就是一件很荣幸的事情。通过 10 多天连续学习，我取得不少收获。

气候是一个地区在一定时期内的平均天气状况，它的变化可以追溯到远古时期。所谓气候变化，从气象学角度看是指一个特定地点、区域或全球长时间的气候转换或改变，是以某些或所有的与平均天气状况有关的特征，如温度、风场和降水量等要素的变化来度量的。气候与人类活动以及自然界各方面因素都紧密相关，气候变化也应该是自然因素和人类活动共同作用的结果。但是随着工业革命的到来，由于大量化学燃料的燃烧产生了温室效应；而人类对土地的开发和利用也改变了土地的状况以及地表植被，这些都对气候系统产生了重大的影响。

南极冰盖的冰山融化得比以前快了，乞力马扎罗山上的雪开始消融了，沙尘暴来得比以往更猛烈了……我们脚下赖以生存的地球正在承受着气候变暖所带来的不适。全球气候变暖正在成为一个不争的事实，受到了国际社会和各国政府以及社会各界的广泛关注。气候变暖已不仅仅是个科学问题，还是个政治问题以及经济问题。为减少气候变化可能造成的严重影响，世界各国针对气候变化都展开了行动。1992 年，在里约热内卢召开了全球峰会，在这里，由联合国 154 个成员国签署了气候变化框架公约（UNFCCC）。公约就防止由于温室气体造成的“危险的”的气候变暖制定了减少废气排放量的义务目标。在 1997 年，京都议定书又获得了通过。联合国气候变化框架公约（UNFCCC）同意了不具约束力的自愿的目标，而京都议定书是第一个关于工业国家削减排放量的具有法律约束力的国际条约，178 个国家签署的这一协议并在 2005 年生效。2007 年在巴厘岛举行的联合国气候变化会议上又提出了“巴厘路线图”（Bali Roadmap）。它确定了世界各国今后加强落实《联合国气候变化框架公约》的具体领域。而在 IPCC 的第四次评估报告（2007）中指出，20 世纪中期以来的全球气候变暖极有可能(>90%)

是由于人类活动所排放的温室气体造成的。报告还显示,在人类活动的影响下,全球的气温不断升高,最近一百多年来,全球的温度上升了 0.7 摄氏度,海平面也升高了 0.17 米。而未来的气候还要进一步升温,到 2020 年左右,气温要在原有的基础上再升高 0.4 度,到本世纪末温度可能要上升 1.1 到 1.6 度。报告预计,全球变暖将导致气候灾害更加普遍。热带风暴将更频繁、更猛烈地光顾。高温和暴雨天气将危害世界部分地区,导致森林火灾和病疫蔓延等后果。海平面上升将令沿海地区洪涝灾害增多、陆地水源盐化。一些地区饱受洪涝灾害的同时,另一些地区将在干旱中煎熬,遭遇农作物减产和水质下降等困境。

表1. 世界各国地区最新减排目标规划

国家	规划
中国	2020年单位GDP碳排放比2005年下降40%~45%
美国	2020年温室气体减排17%
印度	2020年前将其单位GDP二氧化碳排放量在2005年的基础上削减20%~25%
加拿大	到2020年在1990年基础上减排约2%
德国	到2020年温室气体排放量比1990年减少40%
俄罗斯	2020年前将温室气体排放量降低300亿吨;使排放量比1990年减少10%~15%
巴西	到2020年将温室气体排放量在预期基础上减少36.1%至38.9%

2009年12月,全球瞩目的联合国气候变化大会在丹麦首都哥本哈根拉开帷幕,各国给出了最新的减排目标(表1)。哥本哈根气候变化会议的召开,以低能耗、低污染、低排放为基础的经济模式——“低碳经济”呈现在世界人民面前,发展“低碳经济”已成为世界各国的共识。

世界各发达经济体都把发展低碳经济,发展新能源、新的汽车动力、清洁能源、生物产业等作为走出国际金融危机新的增长点。随着我国经济实力的迅速提高,对世界经济的影响明显增强,越来越多的目光投向中国,国际社会要求中国承担“大国责任”的呼声日盛。我国在低碳经济时代的大国责任,重要的体现在清洁能源发展上面。清洁能源是指不排放污染物的能源,包括核电站和“可再生能源”,可再生能源是指原材料可以再生的能源,如水力发电、风力发电、太阳能、生物能(沼气)、海潮能等,可再生能源不存在能源耗竭的可能,因此日益受到许多国家的重视。最近20年,由于受到气候变化和空气污染的威胁,以及对能源安全问题的担忧,可再生能源再次蓬勃发展。同时,提高能源使用效率,用更“聪明”的方法和技术来使用能源,也成为构建清洁能源体系的另一重要组成部分。

清洁能源是未来可持续发展能源体系的重要支柱。随着清洁能源技术的成熟和产业的发展，清洁能源在未来能源结构中 will 发挥越来越显著的作用。当前世界范围内清洁能源技术已逐渐成熟，在国家能源构成中将占据越来越大的比重。有数据显示，2008年虽然经历了历史罕见的金融危机，但全球各国在清洁能源领域的投资热情依然高涨。世界经济论坛2009年会上发布的绿色能源基础设施报告显示，2008年全球清洁能源领域的投资总额达1550亿美元，而在2004年这一数字仅为300亿美元，这也就意味着从2005年到2008年底，全球清洁能源的投资额在四年时间内翻了五倍之多。

虽然清洁能源已经在中国以及世界各地得到了相当大的发展，但要真正替代传统能源，改变现代工业体系的能源基础，还有很长一段路要走。从每个人做起，科学应对，积极参与，当务之急是把忧患意识变为实际行动。

最后，衷心地感谢中国气象局为我们全体学员提供宝贵的学习机会！非常感谢各位老师的精彩报告！非常感谢ISCS 会务组的老师们的辛勤劳动！

## 气象部门在应对气候变化中的作用

广西区气候中心 陈思蓉

气候作为人类赖以生存的自然环境的一个重要组成部分，它的任何变化都会对自然生态系统以及社会经济系统产生影响。全球气候变化的影响将是全方位的、多尺度的和多层次的，既包括正面影响，也包括负面效应。但目前它的负面影响更受关注，因为不利影响可能会危及人类社会未来的生存与发展。研究表明，气候变化会给人类带来难以估量的损失，适应气候变化会花费不小的代价。

各级政府和有关部门、企事业单位和公众都要担负起应对气候变化的责任，在开展规划编制、项目实施、技术推广等工作时，充分考虑气候变化影响，综合运用经济、科技、法律、行政等手段，不断完善产业、财税、信贷、投资等政策，形成有利于积极应对气候变化的政策导向和体制机制，大力开展应对气候变化宣传活动，引导全社会共同参与，以保证应对气候变化工作的顺利开展。

气象部门长期从事气候变化研究及预测服务，在应对气候变化，促进社会和谐发展，发挥出了重要的作用。

### 1 研究气候变化规律，寻找引起气候变化的影响因子

从 19 世纪初开始，科学家就研究与气候变化有关的大气辐射过程。到 1896 年，瑞典科学家斯万特·阿尔赫尼斯就对燃煤可能改变地球气候做出预测。他指出，当大气中二氧化碳浓度加倍时，全球平均气温将增加  $5^{\circ}\text{C}\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。之后，有许多科学家陆续对此问题进行了一些研究。1957 年，瑞威拉等在美国发表了一篇关于增加大气中温室气体浓度可能产生气候变化的论文。同年，美国夏威夷观象台开始进行二氧化碳浓度观测，从而正式揭开人类研究气候变化的序幕。

经过探索，人们寻找出一系列因子和方法来研究气候的变化规律，例如：古代气候和海洋温度可以了解未来气候变化如何发展提供线索；海冰在研究各种温室气体和重金属的气候变化中发挥了主要作用，很好的揭示人类活动对气候及生态的影响；气溶胶通过散射辐射和吸收辐射产生直接影响，以及作为云凝结核或改变云的光学性质和生存时间而产生间接影响气候等。

通过对表征因子长时间的研究，人们对气候变化取得了一系列的认识：引起气候系统变化的原因有多种，概括起来可分成自然的气候波动与人类活动的影响

两大类。前者包括太阳辐射的变化、火山爆发以及气候系统的内部变化等。后者包括人类燃烧化石燃料以及毁林引起的大气中温室气体浓度的增加、硫化物气溶胶浓度的变化、陆面覆盖和土地利用的变化等。

近百年的现代气候变化由自然的气候波动与人类活动共同造成，而近 50 年的全球变暖主要是由人类活动造成。虽然对这个结论有不同的声音和争论，但总体上在科学界达到了共识。正是这种科学的共识导致了国际上政治层面的重大决策，即制定了《联合国气候变化框架公约》与《京都议定书》。

有三方面的证据，让躲在工业化后二氧化碳增加背后的“真凶”显露原形，它就是化石燃料的燃烧：首先，南极和格陵兰冰芯记录表明，在工业革命前后，大气中二氧化碳开始迅速增加，从那以后，其浓度变化大致与化石燃料消耗的增长率相近；其次，北半球大气二氧化碳浓度比南半球的要高一些，因为大多数强排放源位于北半球；第三，大气中氧含量每年减少 3ppmv，这与大气中二氧化碳的增加是相对应的，因为二氧化碳是燃烧的产物。

此外，黑碳气溶胶在大气辐射强迫中的特殊作用以及对气候变化的影响使得减少黑炭的排放成为应对全球变暖的一项持久战略。

## **2 对未来气候变化趋势做出合理预测**

气候模式的发展之所以受到重视，主要在于它对未来的气候条件能够提供有物理依据以及比较可信的客观、定量预测结果，尤其是对大尺度气候异常和变化的预测可信度较高。

气候预测是涉及耦合的非线性混沌系统，未来气候态十分准确的长期积分是不可能的，而且有些变化是地球以外的过程，人们不了解也不可能控制，因而气候模式也不可能完全合理、准确地表征这些未知作用。基于以上事实，气候变化的预测主要反映的是大陆空间尺度未来长期的变化趋势。有人认为，政府间气候变化委员会用的气候模式不能描述混沌、无限期的气候系统，故不能做出可能的预报，因而不应用于政府政策的制定。这种看法主要忽略了在混沌的气候系统中如果有长期的缓慢变化的外强迫作用，混沌性质会明显降低，而可预测性大大提高，增加了预报的可信度。

目前的气候模式已不仅仅是单纯的海—陆—气耦合模式，已完全包括了碳循环和硫化物与非硫化物气溶胶作用，既可以研究自然的气候变化与变率，又可以研究人类活动引起的温室气体与硫化物气溶胶增加的作用。

## **3 为政府制定减缓气候变化对策，促进社会可持续发展提供理论支持**

对中国来说，应对气候变化首先要适应气候变化，加强防灾减灾能力建设，建立重大气象灾害的监测、预测和应急保障系统，把由气候变化可能造成的损失降到最低。大多数发展中国家抵御气候变化负面影响的能力较低，脆弱性偏高。对人口稠密、经济发达的大城市来说，一旦灾害来临，及时、有效的应急系统可保持社会稳定，减少损失和人员伤亡。

此外，要发展低碳经济，实施可持续发展。调整能源和产业结构，提高能源利用效率；大力发展低碳技术，用低碳或零能源新技术代替高碳化石能源，使我国在发展经济的同时，达到保护气候与环境的目标。我国气候资源丰富，开发利用潜力巨大，应扩大太阳能、风能、核能、水能等的利用规模，提高利用水平和利用效益。

当今人类社会对减缓和适应全球变暖而采取的各种行动，需要以成为政治共识的科学认识为基础。而气象部门就成为了为政府提供科学理论的领头人。气象部门设立的全球气候变化研究的项目，既关注气候变化科学问题，也充分考虑了国家的迫切需求，相信能够在服务于国家经济社会发展、支撑内政外交方面有大作为。

#### **4 省级气象部门应对气候变化的工作目标**

一要加强应对气候变化战略研究。开展应对气候变化战略研究和专项规划工作，深刻理解和把握应对气候变化工作的新机遇、新定位和新要求，将应对气候变化与防灾减灾工作紧密结合起来。

二要切实抓好应对气候变化的基础性工作。继续加强气候变化综合观测能力及基础数据集建设。

三要着力推进决策服务和气候变化综合影响评估工作。强化气候变化决策咨询和决策服务，稳步推进气候变化影响评估业务建设。

四要积极推进应对气候变化体制机制的建立和完善。积极参与跨部门应对气候变化决策协调工作，推进部门交流与合作。

五要积极推进应对气候变化队伍建设和科普宣传工作。加强从事气候变化业务、科研、服务的基本人才队伍建设，加强部门内各单位之间的人才和技术交流，利用多种活动方式积极开展气候变化科普宣传工作。

# 浅谈气候模式及其研究进展

## ——第七届 ISCS 小结

崔慧慧

(南京信息工程大学 大气科学学院 南京 210044)

第七届 ISCS 讲习班即将结束,在此期间,多位国际知名气象专家分别阐述了冰雪圈理论、气溶胶与气候变化的关系、气候模式在气候变化中的应用、气候政策对全球经济发展的影响等气象热门问题。各位专家的讲解不仅使我对气候研究有了新的认识,拓宽了我的专业知识面,还大大提高了我的英语听说能力,使我受益匪浅。作为一名气象学专业的研究生,我更加关注的是如何将气候模式用于实际业务中,以便更好地服务于气象事业,因而我重点了解了气候模式。以下是我对气候模式的一点认识。

### 1 气候模式与气候模拟

#### 1.1 什么是气候模式

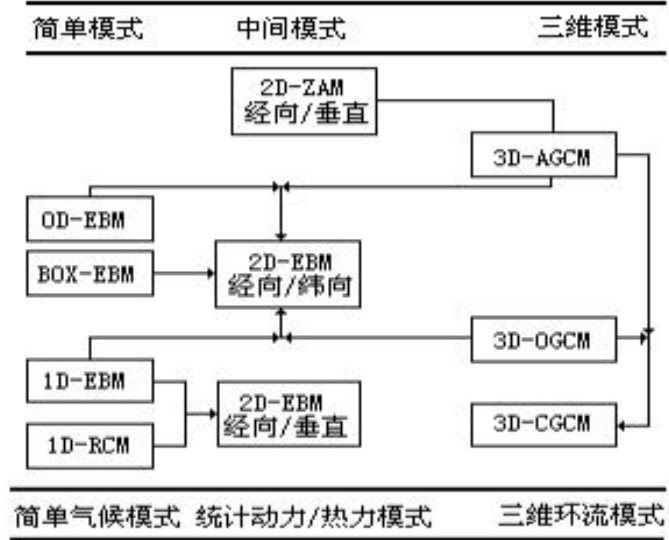
IPCC 第四次评估报告指出,气候系统是由五个主要部分组成的高度复杂的系统:大气、水圈、冰雪圈、地表和生物圈,以及它们之间的相互作用。气候系统随时间演变的过程受到自身内部的动力学影响,以及受到外部强迫的影响,如:火山爆发、太阳活动变化,还受到人为强迫的影响,如:不断变化的大气成分和土地利用变化。

气候模式则是气候系统的数值表述,它是建立在气候系统各部分的物理学、化学和生物学特性及其相互作用和反馈过程的基础上,以解释已知的全部或部分特性。气候系统可用不同复杂程度的模式进行描述。气候模式不仅用作一种研究和模拟气候的工具,而且还专业各用途,包括日常天气预报。

简而言之,边界条件和气候系统准

#### 1.2 气候模

从上述为零维(全分为辐射和生物化学和海洋环流和



D前数字为模式维数。EBM: 能量平衡模式; BOX-EBM: 盒式EBM; ZAM: 纬向平均动力模式; RCM: 辐射对流模式; AGCM: 大气总环流模式; OGCM: 海洋总环流模式; CGCM: 耦合总环流模式

具有一定的时空尺度的

的维数可分式的性质可 (SDM)、(AGCM)、(D) 等。



图 1-1 气候模式体系(李小东,1997)

## 2 气候模式的发展

20世纪80年代以来,全球气候观测系统的不断完善、国际大型外场观测试验的成功实施以及高性能计算机的飞速发展,为气候模式的迅猛发展提供了基础和条件。近20年来气候模式的复杂程度和模拟能力得到了显著的提高,目前已成为研究全球和区域气候的形成及变异、气候系统各圈层之间的相互作用以及全球变化等的有力工具。

气候模式中,发展最早的是大气环流模式 AGCM,其动力学部分的理论和数值技术在20世纪70年代已基本成型,构建了大气环流模式的核心框架。80年代以来,陆面过程在气候变化中的重要性逐渐得到了认识,人们将大气环流模式与陆面模式进行耦合,对气候变化进行预测。其中,陆面过程包括土壤水分蒸发,地表径流,植被生物物理过程,辐射过程等方面内容。80年代以后,大洋环流模式 OGCM 得到飞速发展,并实现了与大气环流模式的耦合,最开始是通过“通量订正”技术进行耦合,到1998年 NCAR/CSM(Boville,1998)率先实现了大气模式与海洋模式的直接耦合,同时,陆面模式也被耦合进了 CSM 中,大气过程,陆面过程和海洋过程这三个过程成为了气候模式的主要成分。90年代后期到2000年以后,预测生态系统中水、能量、碳和营养元素的在各个圈层之间的通量和各圈层中的储量的生物地球化学循环过程,描述由于演替和自然扰动植被组成和结构变化的植被动力过程以及气溶胶的过程都逐一被加入气候模式中。随着人类对气候各种复杂机制的认识,气候模式发展至今包含的过程也越来越多。

## 3 几种气候模式的介绍

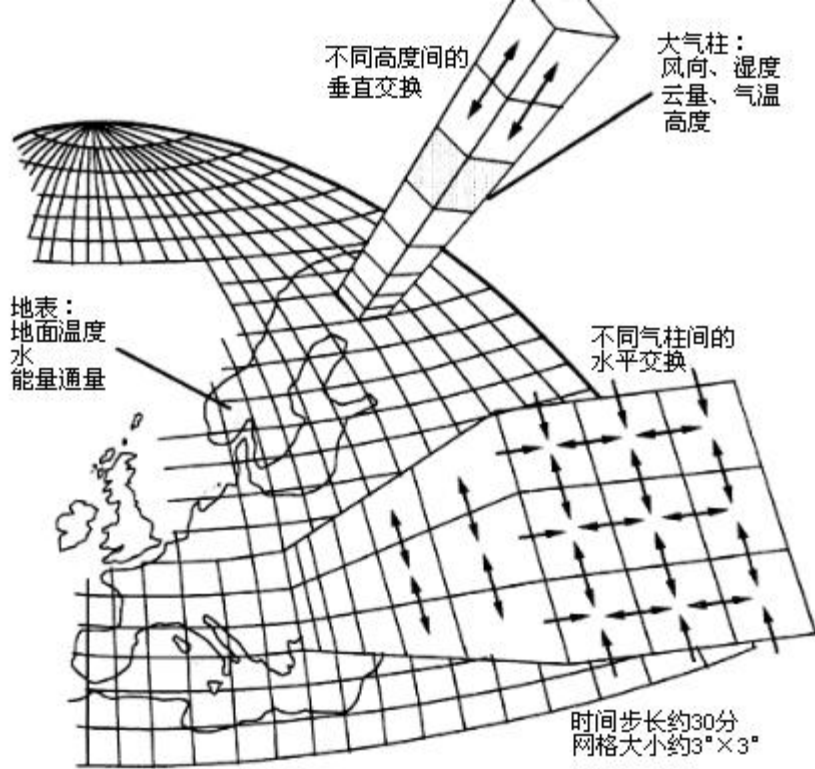
气候模式发展至今,无论是全球气候模式还是区域气候模式,都取得了很大的进步,其种类也是多种多样。我就仅对一些代表性的气候模式做简单介绍。

### 3.1 大气环流模式 (AGCM)

大气环流模式 (AGCM) 是气候模式中最核心的成员, AGCM 是以控制大气运动动量、热量和水汽守恒的物理定律为基础建立起来的,受外部热源所驱动。在 AGCM 中主要预报量是风、温度、湿度、地面气压、降水量。

由于大气和下边界条件的紧密相互作用,土壤温度、土壤湿度以及地表积雪也作为预报量进入模式,它们分别受地面的热量收支方程、水分收支方程和积雪收支方程所控制。除预报量外,一些重要的物理量可以由预报量按照某些经验和理论关系导出,如垂直速度、云量、地面反照率等。AGCM 在给定初始条件后可用数值方法求解。在具体求解时,垂直方向通常分为若干层,在水平方向上变

量或  
化也  
计算  
“次  
用已  
说最  
的物  
程包  
于参



时间变  
方法给  
些所谓  
量,利  
变化来  
过辐射  
数化过  
等。由

图 1-2 大气环流模式(AGCM)结构示意图(Henderson-sellers 等,1987)

### 3.2 区域气候模式 (RegCM)

由于当前的全球大气—陆地—海洋耦合模式的空间分辨率一般在百公里的量级,因而难以描述区域尺度的复杂地形、植被分布和物理过程,对区域尺度的气候及其变化,尤其是对降水的模拟与预报能力不高。为了克服全球气候模式在该方面存在的较大的不确定性,90年代以来区域气候模式极为迅速地发展起来。本文着重介绍区域气候模式RegCM的发展过程

目前,用于区域气候模拟的区域气候模式有很多,如RegCM, RIEMS, RAMS, 南京大学的NJU—RCM等。其中NCAR的RegCM是目前应用最广的区域气候模式之一,第一代区域气候模式RegCM1是在MM4的基础上发展起来的。为了用于长时间的积分以研究区域气候的形成和变化机制,还对辐射方案、对流参数化方案等作了扩充和修改。实验结果表明,它能得到许多GCMs难以分辨的区域温度、降水及土壤水分的变化特征。

之后, Giorgi和Bate等于1993年对RegCM1进行了扩充和改进,形成RegCM2。在RegCM2中,几乎所有的模式物理过程都进行了改造。在对流参数化方面,对Kuo的积云对流参数方案作了修改并加入了Grell方案;辐射方案中用CCM2代替CCM1;陆面过程进行了升级;侧边界层的同化中加入指数松弛方案。此外,在RegCM2中采用显示分离算法。从而不仅更细致地描述模式的物理过程,还大大提高了计算效率,使得RegCM2在各国得到了推广。

意大利国际理论物理中心(ICTP)又于2003~2004年间,研制开发了RegCM2的改进版RegCM3。最新版的RegCM3又进一步在物理过程等多方面有了许多改进,并在模式中加入气溶胶模块,同时在计算方面采用并行算法,极大地提高了计算效率而且界面更加友好。且对计算机硬件的要求相对较低,这些便利性将会

使得其将在发展中国家气候模拟研究中成为一有效的工具。

### 3.2.1 RegCM3对区域气候模拟能力的检验

以一个区域气候模式能力的最基本检验方法就是将其用于区域气候的模拟实验中。而温度和降水则是区域气候模拟研究中最基本的要素。在区域气候模拟研究中，一项重要的检验指标是看其对区域尺度的气候异常事件的模拟能力。Pal等用RegCM3模拟研究了1988年北美大旱和1993年北美中西部地区的洪涝，其得到的结果与实际资料很相符，尤其是对降水极值区的再现。从而肯定了该模式对气候异常事件的模拟能力。

### 3.2.2 模式嵌套研究

单向嵌套是目前区域气候研究的主要手段，对区域气候的模拟和预测有明显的改进，如之前提到的用GCM与RegCM3嵌套为RegCM3提供初边界条件；而双向嵌套能够体现不同尺度大气运动之间的相互作用，将大尺度与所研究的气候系统的各要素相互联系起来，可以使区域气候模式的模拟结果更加接近实际，是区域气候变化研究的发展方向，尽管实现的难度很大，但模拟的结果明显优于单向嵌套。

仅凭少数模拟实例还不足对该模式的模拟性能做出定论，还须将其应用于大量的区域模拟实验中，结合各地的区域性特点加以改进。并对零散的试验结果进行总结分析。开发区域气候模式的最终目的是为了将其应用于气候预测业务中，而模式的短期气候预测能力是检验评估区域气候模式的最苛刻的手段，在对预测结果的检验中发现模式的不足，进行完善，使区域气候模式RegCM3可以早日应用于我国的短期气候预测业务中。

以上是我对气候模式的简单看法，其间也查阅了很多文献。因为之前没有做过模式，理解或许会很浅显。此次ISCS讲习班使我受益匪浅。感谢国家气候中心给我们提供这样好的学习机会，同时也感谢几位国际专家精彩的讲解以及对我们思想上的指导。十分期待有更多这样的学习机会！

# 关于气溶胶研究的随想

——第七届气候系统与气候变化国际讲习班心得体会

邓学良

(安徽省气象科学研究所, dengxueliang9989@yahoo.com.cn)

通过本次为期12天的学习,收获颇丰,尤其是倾听了Steven John Ghan、John A.Ogren和Nakajima Teruyuki三位教授的授课后,对于气溶胶有了更深的了解,对于气溶胶研究的现状有了更清醒的认识。本文主要是根据自己的理解对气溶胶的研究现状进行总结和分析。

## 一、气溶胶研究的意义

大气气溶胶所造成的气候、环境和生态等问题日益显著。因此,对大气气溶胶深入研究是一个重要的科学问题,具有深远的意义:(1)气候效应。①气溶胶对全球的能量平衡起着重要的作用。气溶胶的尺度范围从 $10^{-3}\mu\text{m}$ 到 $10\mu\text{m}$ ,使得它对太阳辐射产生散射、反射和吸收的作用,从而直接影响大气的能量传输,称为气溶胶的直接辐射强迫。②气溶胶粒子还可以作为云凝结核或冰核而改变云的微物理和光学特性以及降水效率,从而间接地影响气候,这被称为气溶胶的间接气候效应。(2)环境效应。直径小于 $2.5\mu\text{m}$ 的气溶胶因为对可见光的消光作用导致地面能见度的显著下降;直径在 $10\mu\text{m}$ 以下的气溶胶可到达人类呼吸系统的支气管区,直径小于 $5\mu\text{m}$ 的微粒可到达肺泡区,最终导致心血管和哮喘疾病的增加,直接影响人类的健康。(3)国计民生。中国作为污染物排放大国,对于气溶胶的影响迫切需要有一个准确的认识,面对气溶胶增加导致的环境以及气候的变化产生影响。对于人类活动产生的气溶胶及其气候的影响有清醒的认识,是我国可持续发展的需要,为政府的决策提供科学依据。

## 二、气溶胶研究的现状

张小曳在2006年在国家重点基础研究发展计划“中国大气气溶胶及其气候效应的研究”项目中提出现阶段我国对于气溶胶研究的主要目标是:(1)取得对中国大气气溶胶特性、分布和变化的准确与系统的科学认识;(2)了解中国的大气气溶胶在气候变化中的作用。而要实现这一目标,我们应该通过以下三种方法:地基观测,卫星遥感和模式分析。这三种方法针对不同的研究目的有着其他方法不可比拟的优点,但同时也存在着各自的缺点,它们可以互相补充,从而更好的了解气溶胶特性。

### 2.1 地基观测

地基观测气溶胶是气溶胶研究的基础,也是最初研究气溶胶的方法。它可以直接获得

气溶胶的各种物理、化学以及辐射特性，被认为是最准确的气溶胶研究手段。虽然现在研究气溶胶的方法很多，但是直接地面观测还是不可缺少的，它可以用作对各种研究结果的验证，所以国内外学者在这一方面做了大量的工作。

当前在国际上建立两大全球气溶胶光学厚度观测网络，世界气象组织(WMO) 的全球大气观测计划(GAW)和气溶胶自动观测网(AERONET)。它们可以对陆地气溶胶进行大范围长时间的观测。这两个网络在世界范围内可以互相弥补观测的空白区域，并提供相互比较，通过协作组成一个完整的全球气溶胶光学厚度观测网络。夏祥鳌等利用中国地区的AERONET资料分析了华北、华东地区的气溶胶光学特性，并对中MODIS资料进行了验证。同时，国际上还进行了大量海上测量对全球海洋气溶胶进行了研究。IGAC已开展了4个大型国际气溶胶实验项目：南半球气溶胶特征实验ACE-1，北大西洋气溶胶特征实验ACE-2，印度洋实验INDOEX和亚太地区气溶胶特征实验ACE-Asia。这些计划的目标包括：确定主要气溶胶的物理、化学和光学特性，气溶胶—云—辐射的相互影响等。

2004年6月中国科学院大气物理研究所通过国家自然科学基金委资助的中美重大国际合作项目，在中国科学院生态研究网络平台上建立了手动太阳光度计观测系统（简称为CSHNET）。CSHNET观测资料较好描述了中国部分地区大气气溶胶光学特性的时空分布特征；李占清等利用CSHNET观测资料对MODIS的Collection5气溶胶产品进行了验证。

气溶胶的地基观测相对研究地区单一，能进行点上的分析，而无法得到面上的信息。尤其是海上物力和人力限制，海上观测几乎是一片空白，所以如果仅仅依靠地面测量气溶胶的手段，无法满足我们对气溶胶的认识。如何想对大面积上的气溶胶进行分析，这里就必须借助卫星的力量：卫星遥感。

## 2.2 卫星遥感

地基气溶胶监测网络的建立为局地气溶胶辐射特性的认识提供了坚实基础，而获取区域乃至全球尺度上气溶胶光学特性时空分布特征的观测手段只能依靠气溶胶卫星遥感。卫星遥感的优点是可以大范围长时间的连续观测，其缺点就是精度受到下垫面的局地条件影响，必须得到地基观测数据的验证。

二十多年的发展中，可用于气溶胶遥感的卫星传感器不断增加，性能不断提高，反演的参数更加全面。至今，气溶胶遥感传感器主要有：AVHRR搭载于NOAA系列极轨卫星上；TOMS搭载在1978年发射的Nimbus-7卫星上；ATSR-2搭载在ERS-2卫星上于1995年4月发射升空；POLDER和OCTS1996年，搭载于ADEOS1卫星上；SeaWiFS1997年NASA和Orblmage合作发射；MODIS1999年Terra卫星和2002年Aqua卫星上；MISR1999年Terra卫星上。表1是

世界主要气溶胶遥感设备及参数。它们不但可以提供气溶胶常规的光学厚度等参数，而且还可以获得气溶胶的有效粒子半径、小颗粒比例和太阳辐射通量等信息，为我们进行气溶胶辐射强迫研究提供了充足的数据源。Yu等2006年对利用卫星获得气溶胶辐射强迫的研究进行了总结，如表2。结合多颗传感器数据，并利用辐射传输模式模拟，是近年来对气溶胶直接辐射强迫进行研究的一个新点，也是一个热点。国内卫星遥感气溶胶的研究始于20世纪80年代中期。表3列举了利用卫星对中国区域气溶胶光学特性的研究现状。

利用卫星数据进行我国区域气溶胶的研究主要集中在气溶胶的光学特性研究上。同时，国际上利用卫星数据对气溶胶辐射强迫的研究已经开展几年了，所以利用卫星数据直接获得中国区域的辐射强迫特性将是我们未来研究的一个重点。而且地基观测和卫星遥感都只是一种实时的观测手段，无法对于气溶胶未来的发展及影响进行预测，这里就必须用到模式：模式分析。

表1 国际上主要气溶胶遥感设备及它们的参数

卫星设备	工作时间	波段范围	产品参数	参考文献
AVHRR	1979 至今	5 个波段(0.63-11.5um)	AOT、Angstrom 指数	Ignatov 等 2002
TOMS	1979 至今	0.33、0.36um	Aerosol index、AOT	Torres 等 2002
POLDER	1996.11-1997.6 2003.4-2003.10 2005.1 至今	8 个波段(0.44-0.91um)	AOT、Angstrom 指数	Boucher 等 2000 Bellouin 等 2003
OCTS	1996.11-1997.6 2003.4-2003.10	9 个波段(0.41-0.86um)	AOT、Angstrom 指数	Higurashi 等 2000
MODIS	2000 至今	12 个波段(0.41-2.1um)	AOT、Angstrom 指数等	Bellouin 等 2005
MIRS	2000 至今	4 个波段(0.47-0.86um)	AOT、Angstrom 指数	Kahn 等 2005
CERES	1998 至今	长波、短波	辐射通量	Loeb 等 2002
GLAS	2003 至今	雷达(0.53、1.06um)	气溶胶垂直剖面	Spinhirne 等 2005
ATSR-2/A ASR	1996 至今	4 个波段(0.56-1.65um)	AOT、Angstrom 指数	Holzer-Popp 等 2002
SeaWiFS	1997 至今	陆地(0.41-0.67um) 海洋(0.765、0.865um)	AOT、Angstrom 指数	Lee 等 2004

表2 国际上卫星遥感气溶胶直接辐射强迫的主要研究成果

参考文献	卫星设备	研究时间	气溶胶晴空直接辐射强(W/m <sup>2</sup> )
Bellouin 等 2005	MODIS、TOMS、SSM/I	2002	-6.8
Loeb 等 2005	CERES、MODIS	2000.3-2003.12	-3.8
Remer 等 2006	MODIS	2001.8-2003.12	-5.7
Zhang 等 2003	CERES、MODIS	2000.11-2001.8	-5.3
Bellouin 等 2003	POLDER	1996.11-1997.6	-5.2
Loeb 等 2002	CERES、VIRS	1998.1-1998.8	-4.6
Chou 等 2002	SeaWiFs	1998	-5.4
Boucher 等 2000	POLDER	1996.11-1997.6	-5.0
Haywood 等 1999	ERBE	1987.7-1988.12	-6.7

表3 利用卫星对中国区域气溶胶光学特性的研究现状

研究区域	研究时间	卫星设备	气溶胶光学厚度(波段)	参考文献
渤海	1984.11.28	AVHRR	0.19(580-680nm)	赵柏林等 1986
中国 25 个湖	1998.2-1999.1	GMS-5	0.08-0.66(550nm)	张军华等 2003
北京	2000.09-2001.12	MODIS	0.17-0.71(550nm)	李成才等 2003a
长江三角洲	2001-2002	MODIS	0.3-1.2(550nm)	刘桂青等 2003
东海岸线	2000	MODIS	0.4-0.5(550nm)	李成才等 2003b
四川盆地	2000.9-2001.12	MODIS	0.11-1.05(550nm)	李成才等 2003c
江西	2001.10.19	MODIS	0.19-0.24(550nm)	王新强等 2003
中国区域	2001	MODIS	大值中心的区域分布	田华等 2005
珠江三角洲	夏季平均	MODIS	0.7-0.8(550nm)	吴兑等 2003
香港	2003.6	MODIS	0.6-0.9(550nm)	李成才等 2004

### 2.3 模式分析

模式分析可以弥补地基观测和卫星遥感的不足，模拟和预测气溶胶的分布及其可能产生的影响。2000年以后气溶胶模式快速发展，2007年国际间气溶胶和气候科学组织（AEROCOM）对当今世界上主要的气溶胶模式进行了比较，如表4。可以看出在利用相同输入场的前提下，不同的模式得到的结果差异很大，如气溶胶光学厚度差距达到2倍，气溶胶辐射强迫的不确定因子可以达到3，这些说明虽然气溶胶模式的改进很大，但我们对气溶胶认识还是不够。

表4 AEROCOM进行的气溶胶模式的结果比较

模式名称	气溶胶光厚度(550nm)	人为气溶胶比例(%)	气溶胶辐射强迫( $Wm^{-2}$ )	气溶胶辐射效率( $Wm^{-2} \tau^{-1}$ )	参考文献
UMI	0.020	58	-0.58	-28	Liu et al, 2002
UIO_CTM	0.019	57	-0.35	-19	Myhre et al, 2003
LOA	0.035	64	-0.49	-14	Reddy et al, 2004
LSCE	0.023	59	-0.42	-18	Schulz et al, 2006
ECHAM5-HAM	0.016	60	-0.46	-29	Stier et al, 2005
GISS	0.006	41	-0.19	-31	Koch, 2001
UIO_GCM	0.012	59	-0.25	-21	Iversen et al,2002
SPRINTARS	0.013	59	-0.16	-13	Takemura, 2005
ULAQ	0.020	42	-0.22	-11	Pitari et al, 2002

在国内，主要集中在利用全球和区域气候模式对于气溶胶的光学特性和辐射强迫进行研究。周秀骥等则是利用全球气候模式CCM1 NCAR模式计算的得到中国区域气溶胶直接辐射强迫的年平均值为 $-8.176W/m^2$ 。吴润等2002年重新利用区域模式RegCM2计算了得到中国区域的气溶胶直接辐射强迫的均值为 $-3.54W/m^2$ 。张立盛等2001年使用气候模式GCM对全球硫酸盐气溶胶的分布及传输进行了模拟，获得我国中东部气溶胶直接辐射强迫的值约为 $-0.5W/m^2$ 。王体健等2004年根据2000年污染源排放资料，利用中尺度气象模式和欧拉输送模式模拟了中国地区硫酸盐气溶胶的分布，并估算了间接辐射强迫。

由于中国气溶胶类型分布具有较大差异，同时缺乏地面系统连续的观测，目前我国模式研究缺乏以观测为基础的精确的气溶胶光学参数化方案和模式比较验证方法，区域大气气溶胶光学特性及辐射效应模拟研究领域仍有很大发展空间。

### 三、气溶胶研究自己的思考

从以上总结可以看出，地基观测、卫星遥感和模式分析在气溶胶的研究中都有自己十分重要的作用。如果能充分的利用好三者的优点，对于气溶胶的研究具有十分重要的意义。我们先简单罗列一下三者的特点：

1. 地基观测：最精确，但只能进行点上观测，得不到面上分布，同时无法进行预测。
2. 卫星遥感：可以大范围长时间连续观测，但是精度还需验证，同时无法进行预测。
3. 模式分析：可以进行对于气溶胶分布及其影响进行预测，但不确定性大。

基于以上特点，我认为今后气溶胶的研究趋势应该是：

首先，进行大量的地基观测，获取气溶胶特性的准确数据；

其次，改进反演方法，遥感获取更多的气溶胶参数，同时利用地基的精确观测，验证卫



星反演结果，得到气溶胶的区域分布特性及辐射特性；

最后，完善气溶胶模式物理、化学和辐射过程，将卫星数据同化到模式中，减小模式的不确定性，实现对气溶胶的分布及其影响的准确预测。

通过以上三步，我们可以实现对于气溶胶准确的监测，以及对于气溶胶的变化及其产生的影响进行更为精确地预测。

以上见解只是本人一家之言，如有不对的地方，还请多多指教。

最后，感谢国家气候中心为我们提供这样一个学习的平台，通过本次12天的学习，拓展了自己的眼界，认识了更多志同道合的同仁，为未来的工作和学习提供了巨大的帮助。

# 南极冰盖物质平衡实地观测研究近期进展

丁明虎

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

中国气象科学研究院

([dingminghu@cams.cma.gov.cn](mailto:dingminghu@cams.cma.gov.cn))

## 前言

南极冰盖是地球上最大的冰体，其储存的冰量占地球上总冰量的 90%，占整个地球表面淡水水库的 72%，其体积的增减能直接影响到海平面的变化，对全球气候和环境变化产生重要作用<sup>[1, 2]</sup>。因而 1993 年在南极科学研究委员会倡议下 (Scientific Committee on Antarctic Research)，成立了南极物质平衡和海平面研究小组 (Ice Sheet Mass Balance and Sea Level)，专门针对南极在全球海平面上升中的作用进行研究。

20 世纪 90 年代之前，南极冰盖表面积累速率、边缘冰架的崩解和底部相变的测量虽然一直受到重视，但由于南极自然环境恶劣，实地考察开展苦难，所获得的直接资料十分有限，大部分集中在近海地区和常年考察站附近。就是这些有限资料，也因为测量标准不同，考察时期不一致等因素，其可比性受到约束<sup>[3]</sup>。1991 年，SCAR 协调多国科学家参与国际横穿南极科学考察计划 (International Trans Antarctic Scientific Expedition: <http://www2.umaine.edu/itase/>)，其中一个重要方面就是获取数条横穿南极冰盖路线上的表面积累速率，通过浅雪芯获取百年来的积累速率序列，为海平面变化研究和冰盖物质平衡模拟研究提供基础资料，并进一步评价南极冰盖的物质平衡状态<sup>[4]</sup>。本文根据近年来关物质平衡的研究结果，对南极各个地区的物质平衡状况进行简单评价。

## 近期进展

一般来讲，雪积累率随着海拔的上升逐渐下降，但相同海拔地区由于水汽来源不同其降雪量存在差异，雪沉降后受不同表面气候状况的影响其再搬运过程也不尽相同。即使地处同一流域的两翼，水汽通量随时间变化也会使得两个地区有一定的年降雪量差异。目前仍然很难对南极冰盖的主要支出项—冰盖边缘崩解和冰架底部消融进行准确的实地观测，大部分的实测研究主要集中在冰盖表面，对其收入项 (净积累=降雪量-升华量) 进行了相对较多的讨论。

影响雪积累的因素十分复杂。Frezzotti et al.<sup>[5]</sup>指出地貌与雪积累过程息息相关，表面微地形如雪丘 (Sastrugi) 等能影响季节尺度的雪积累过程，较大的坡度能控制 20 km 范围内的雪积累空间分布进而对百米深度的冰芯产生影响，而流域起伏状况、基岩地形和水汽传输过程则在大范围 (几十到几百千米) 的雪积累过程中产生影响。Scarchilli et al.<sup>[6]</sup>通过检验 Talos Dome 地区的自动气

象站记录并对比花杆网阵结果,发现风导致的升华速率一般在  $0.1-0.2 \text{ mm d}^{-1}$ ,在大风天气偶尔能上升到  $0.5 \text{ mm d}^{-1}$ ,但与表面温度及底层大气相对湿度的作用相比较弱。Bintanja et al.<sup>[7]</sup>在Dronning Maud地的研究结果与Scarchilli et al.<sup>[6]</sup>基本一致,但是他认为风的作用更重要也更复杂。Frezzotti et al.<sup>[8, 9]</sup>对东南极Terra Nova Bay至Dome C共一千多公里路线上的花杆、花杆网阵、冰雪芯、雪坑以及冰雷达探测的结果进行研究,发现雪积累的年际差可以达到年均积累率的4倍,其中风吹雪的重分布起到关键作用。Frezzotti et al.<sup>[10]</sup>对Tallos Dome地区GPR20至31DPT路线上的花杆和花杆网阵进行研究,发现沿主风向坡度分量与升华作用正相关,同样表面气候状况下的地区若坡向不同雪积累率差可以达到  $200 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ;平均来看,内陆地区年均升华量为  $50 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ,而海岸地区由于风较强可以达到  $260 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ,占年均降雪量的20-75%。Furukawa et al.<sup>[11]</sup>通过对花杆记录以及表面微地形进行统计性研究,将Syova至Dome Fuji路线分为三个区域,近岸地带以大量的小雪丘为特点,下降风区同时有小雪丘、大雪丘、雪垄(Snow dune)、雪壳(Snow crust)等地貌发育,而内陆高原地区只有少量小雪丘;他们还对比了冰雷达记录,发现雪壳一般发育在凸型基岩的地区,这说明冰盖底部状况也是控制表面雪积累过程的重要因子。Watanabe<sup>[12]</sup>的调查从侧面证明了Furukawa et al.<sup>[11]</sup>(1996)的结果。任贾文等<sup>[13]</sup>在Lambert冰川流域西侧实地观测雪坑、雪层剖面,发现由于强烈下降风和微地形的影响,年积累量在短距离内变化较大;与Wilkes地以及Mizuho高原相比,该地区最显著的特点是海岸地带积累率很低,这说明近海水汽和低层气流对本区降水量的影响很小。高积累地区的表面地貌特征(纵向雪丘)反映出近海气团强天气过程对该区域雪积累起着至关重要的控制作用;雪积累率和坡度也可能存在某种相关关系,具体有待探明<sup>[14]</sup>。

Magand et al.<sup>[15]</sup>对东南极冰盖Victoria地、Dome C、Law Dome、Vostok等地( $90^{\circ}-180^{\circ} \text{ E}$ 范围)在1950-2005年间的实测资料进行分析发现,固然雪积累率整体随海拔上升而下降,但实际在海拔500-1500 m范围内最高,0-500 m范围内的雪积累率和内陆中段地区相差不大,应与近岸地带风力强劲和升华作用强烈有关。Frezzotti et al.<sup>[8, 9]</sup>计算得出东南极Terra Nova Bay至Dome C路段近岸区域积累率约为  $100 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ,中段雪积累率约为  $47 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ,而Dome C区域约为  $28 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ;值得一提的是,工业革命后的雪积累率要比过去5000年间的积累率高30%。笔者对Tallos Dome地区GPR20至31DPT路线上的冰芯进行检验,发现近年来没有明显的雪积累率变化,但近10年中Tallos Dome顶点两侧相同海拔处雪积累率具有相反的时间变化,这应与气团通过该区域的运行路径不断改变有关。Urbini et al.<sup>[16]</sup>对Tallos Dome和Dome C两地的冰芯和雷达结果进行分析,发现Tallos Dome的雪积累率自1923年来正在降低,而Dome C的雪积累率自1950年来正在增加;两地趋势不同的原因是控制雪积累的机制不同,Tallos Dome地区主要受到表面风的控制(这也可由沿主风向自Tallos Dome顶点向下区域雪积累率年际递减率增大反映出来),而Dome C地区的雪积累过程主要受水汽通道改变的影响。

Goodwin<sup>[14]</sup>在Eastern Wilkes地的研究同样证明了积累率和海拔负相关,但由于风的作用,东北地区(迎风坡)的雪积累率要大于西北地区。Goodwin<sup>[17]</sup>对GD03和GD15两支冰芯进行分析,发现Eastern Wilkes地1930-1985年间雪积累率为上升趋势,且上升速率也呈增加趋势;而Goodwin et al.<sup>[18]</sup>对Wilkes地的花杆和冰芯结果进行汇总则发现自1981年至1985年该区域的雪积累率逐步降低。

任贾文等<sup>[19]</sup>对中山站至DT401冰盖表面地形、表面雪层特征、雪积累速率、冰体厚度和冰流速度进行实地观测,结合雪坑和冰芯样品定年结果,计算得出自中山站向内陆460 km范围内平均雪积累率为 $462.10 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。任贾文等<sup>[1, 20]</sup>利用Lambert冰川流域的花杆、冰芯、以及冰流速度进行研究,发现近几十年来流域东侧雪积累率较高且近几十年来呈增加趋势,而西侧雪积累率较低且近几十年来呈减少趋势;计算得出流域上游积累总量为流出冰通量的113%,说明该区域为正物质平衡状态。效存德等<sup>[21]</sup>研究发现Lambert冰川部分冰芯在1960s出现雪积累率低值,与Morgan et al.<sup>[22]</sup>的研究一致,他曾对东南极多支冰芯进行研究,发现大部分地区雪积累率自1960s最低值之后逐步增长。Hou et al.<sup>[23]</sup>通过核事件定年计算得出Dome A 1962年以来的平均雪积累率为 $23 \pm 2 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。

Kameda et al.<sup>[24, 25]</sup>对花杆网阵结果进行统计,得出Dome Fuji 1995-2006年间的平均雪积累率为 $27.3 \pm 1.5 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ,与过去700年的冰芯反演结果( $26.4 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ )基本一致;他们还通过实地观测发现,积累时期主要为冬季(5月-10月),而升华作用主要发生在夏季(11月-2月)。Takahashi et al.<sup>[26]</sup>对表层雪剖面密度计算方法进行改进,重新对该处花杆网阵积累结果进行计算,得出2003年雪积累率为 $36.5 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ,比前人结果高27%,同时也证明了冰盖内陆地区雪密度测量和计算方法对物质平衡净值的重要影响。

Isaksson et al.<sup>[27]</sup>对Western Dronning Maud地的花杆和冰芯进行研究,计算得出该区域的平均雪积累率为 $300 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ,海拔超过2500 m的地区却只有 $100 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ;冰芯记录还显示,冰架区域的雪积累率在1957-1988年间增长了12%。Karlof et al.<sup>[28]</sup>对该区域高原中心地区多支冰雪芯进行定年,得出平均雪积累率为 $49 \pm 1.3 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ,且过去200年中雪积累率呈上升趋势,只在1960-1980s间出现过降低。Anschutz et al.<sup>[29]</sup>对Western Dronning Maud地区以Kottas Camp为中心、50 km为边长的矩形内进行了冰雷达探测,结合冰芯定年结果,计算得出1980-2005年间该区域雪积累率为 $190 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ;而把1980-1990年间的雪积累率与1990-2005年间的比较,发现变化趋势因地而异,反映了局地尺度雪积累率的高多样性。

西南极州研究开展较早,但在现代全球变暖背景下,基本所有研究都显示出南极州的雪净累率正逐步降低,特别是图1中浅蓝色区域,其物质损失急剧加速<sup>[30]</sup>。因为有统一的结论,最近十年发表的实测结果非常少。

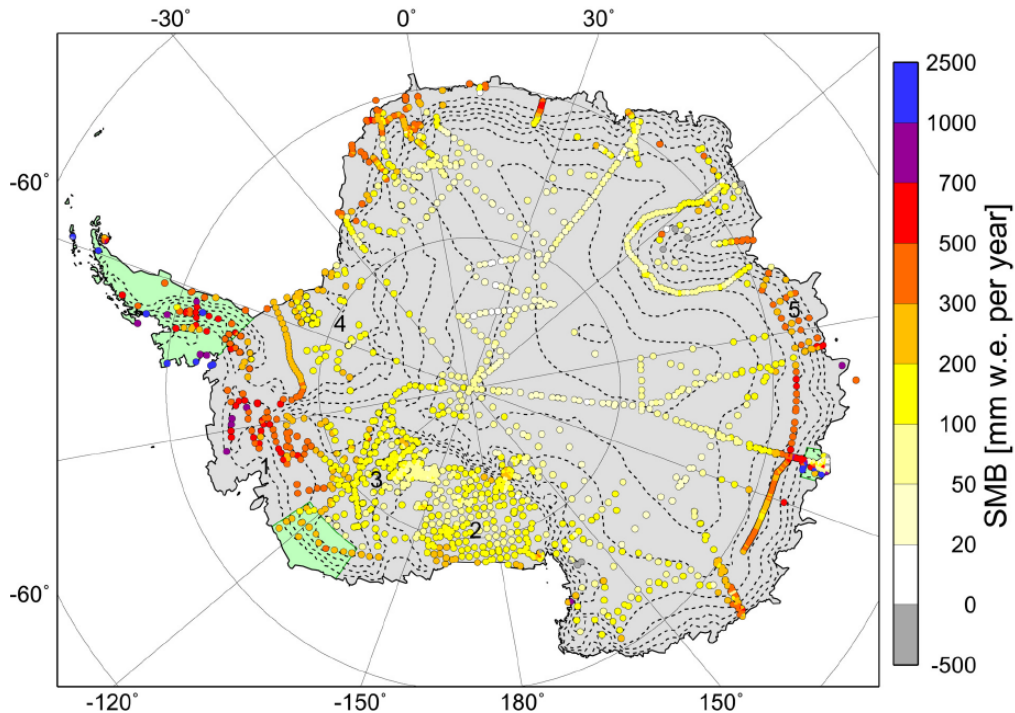


图 1 南极洲实地观测表面物质平衡分布 (1: Pine岛和Thwaites冰川; 2: Ross冰架; 3: Siple海岸; 4: Flichnerr-Ronne冰架; 5: Wilhelm二世地) [30]

## 小结

截至到 2008 年, 南极冰盖共有约 1900 个站点通过花杆或冰雪芯测定了雪积累率并公开发表 (图 1)。但是研究站点的空间分布比较集中 (如图 1.2 中 1、2、3、4、5 所示位置), 主要在海岸地区和西南极洲, 东南极冰盖内陆地区的观测较少, 特别是分冰岭地区非常稀少。最近两年内陆研究虽有所增加<sup>[31, 32]</sup>, 但仍未对现况有本质改变。目前一般通过模型或者遥感手段估算内陆空白地区的积累率或降雪量, 但是这些手段需要实地数据验证, 不同算法在不同地区的误差也不一致。

## 参考文献

- [1] 任贾文, 效存德. Lambert 冰川流域物质平衡和南极冰盖变化[J]. 自然科学研究进展. 2002, 12(10): 1064-1069.
- [2] 秦大河, 任贾文. 南极冰川学[M]. 科学出版社, 2001.
- [3] Eisen O, Frezzotti M, Genthon C, et al. Ground-based measurements of spatial and temporal variability of snow accumulation in East Antarctica[J]. Reviews of Geophysics. 2008, 46(2).
- [4] 任贾文, 秦大河. 南极冰盖表面积累速率与物质平衡[J]. 冰川冻土. 1996, 18: 83-89.
- [5] Frezzotti M, Proposito M, Urbini S, et al. Snow Accumulation in the Talos Dome Area: Preliminary Results[J]. Terra Antarctic Reports. 2008, 14: 21-25.
- [6] Scarchilli C, Frezzotti M, Didonfrancesco G, et al. The Impact of Precipitation and Sublimation Processes on Snow Accumulation: Preliminary Results[J]. 2008.
- [7] Bintanja R, Reijmer C H. A simple parameterization for snowdrift sublimation over Antarctic

- snow surfaces[J]. *Journal of Geophysical Research. D. Atmospheres*. 2001, 106: 31.
- [8] Frezzotti M, Gandolfi S, Urbini S. Snow megadunes in Antarctica: sedimentary structure and genesis[J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. 2002, 107(D18): 4344.
- [9] Frezzotti M, Pourchet M, Flora O, et al. Spatial and temporal variability of snow accumulation in East Antarctica from traverse data[J]. *Journal of Glaciology*. 2005, 51(172): 113-124.
- [10] Frezzotti M, Urbini S, Proposito M, et al. Spatial and temporal variability of surface mass balance near Talos Dome, East Antarctica[J]. *Journal of Geophysical Research-Earth Surface*. 2007, 112(F2): F2032.
- [11] Furukawa T, Kamiyama K, Maeno H. Snow surface features along the traverse route from the coast to Dome Fuji Station, Queen Maud Land, Antarctica[C]. NATIONAL INSTITUTE OF POLAR RESEARCH, 1996.
- [12] Watanabe O. Distribution of surface features of snow cover in Mizuho Plateau[J]. *Memoirs of National Institute of Polar Research. Special issue*. 1978, 7: 44-62.
- [13] 任贾文, I A. 东南极洲 Lambert 冰川流域西部地区的雪层剖面和积累速率变化特征[J]. *冰川冻土*. 1995, 17(003): 274-282.
- [14] Goodwin I D. Snow accumulation and surface topography in the katabatic zone of eastern Wilkes Land, Antarctica[J]. *Antarctic Science*. 1990, 2(03): 235-242.
- [15] Magand O, Genthon C, Fily M, et al. An up-to-date quality-controlled surface mass balance data set for the 90 - 180 E Antarctica sector and 1950 - 2005 period[J]. *J. Geophys. Res.* 2007, 112.
- [16] Urbini S, Frezzotti M, Gandolfi S, et al. Historical behaviour of Dome C and Talos Dome (East Antarctica) as investigated by snow accumulation and ice velocity measurements[J]. *global and planetary change*. 2008, 60(3-4): 576-588.
- [17] Goodwin I. Snow-accumulation variability from seasonal surface observations and firn-core stratigraphy, eastern Wilkes Land, Antarctica[J]. *Journal of Glaciology*. 1991, 37(127): 383-387.
- [18] Goodwin I, De Angelis M, Pook M, et al. Snow accumulation variability in Wilkes Land, East Antarctica, and the relationship to atmospheric ridging in the 130 - 170 E region since 1930[J]. *J. Geophys. Res.* 2003, 108: 4673.
- [19] 任贾文, 秦大河. 东南极冰盖中山站—Dome A 断面路线考察的初步结果[J]. *冰川冻土*. 2001, 23(001): 51-56.
- [20] 任贾文, Allison I, 效存德, 等. 东南极冰盖 Lambert 冰川流域的物质平衡研究[J]. *中国科学: D 辑*. 2002, 32(002): 134-140.
- [21] 效存德, 秦大河, 任贾文, 等. 冰芯和台站记录的近 50 a 来东南极冰盖边缘地区气候变化格局[J]. *冰川冻土*. 2003, 25(1).
- [22] Morgan V I, Goodwin I D, Etheridge D M, et al. Evidence from Antarctic ice cores for recent increases in snow accumulation[J]. 1991.
- [23] Hou S G, Li Y S, Xiao C D, et al. Recent accumulation rate at Dome A, Antarctica[J]. *Chinese Science Bulletin*. 2007, 52(3): 428-431.
- [24] Kameda T, Azuma N, Furukawa T, et al. Surface mass balance, sublimation and snow temperatures at Dome Fuji Station, Antarctica, in 1995[J]. *NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.* 1997, 11: 24-34.
- [25] Kameda T, Motoyama H, Fujita S, et al. Temporal and spatial variability of surface mass balance at Dome Fuji, East Antarctica, by the stake method from 1995 to 2006[J]. *Journal of Glaciology*. 2008, 54(184): 107-116.
- [26] Takahashi S, Kameda T. Instruments and Methods Snow density for measuring surface mass

- balance using the stake method[J]. *Journal of Glaciology*. 2007, 53(183): 677-680.
- [27] Isaksson E, Karlén W. Spatial and temporal patterns in snow accumulation, western Dronning Maud Land, Antarctica[J]. *Journal of Glaciology*. 1994, 40(135): 399-409.
- [28] Karlof L, Isaksson E, Winther J G, et al. Accumulation variability over a small area in east Dronning Maud Land, Antarctica, as determined from shallow firn cores and snow pits: some implications for ice-core records[J]. *Journal of Glaciology*. 2005, 51(174): 343-352.
- [29] Anschutz H, Steinhage D, Eisen O, et al. Small-scale spatio-temporal characteristics of accumulation rates in western Dronning Maud Land, Antarctica[J]. *Journal of Glaciology*. 2008, 54(185): 315-323.
- [30] Van de Berg W J, Van den Broeke M R, Reijmer C H, et al. Reassessment of the Antarctic surface mass balance using calibrated output of a regional atmospheric climate model[J]. *J. Geophys. Res.* 2006, 111: 10-1029.
- [31] Li Y, Cole Dai J, Zhou L. Glaciochemical evidence in an East Antarctica ice core of a recent (AD 1450 - 1850) neoglacial episode[J]. *Journal of Geophysical Research*. 2009, 114(D8): D8117.
- [32] Elsig J, Schmitt J, Leuenberger D, et al. Stable isotope constraints on Holocene carbon cycle changes from an Antarctic ice core[J]. *Nature*. 2009, 461(7263): 507-510.

# 第七届气候系统与气候变化国际讲习班 (ISCS)

## 学习心得体会

杜 鸿

(武汉大学水利水电学院)

第七届气候系统与气候变化国际讲习班圆满结束了,在这次培训学习中,我有幸面对面的聆听国际著名专家和学者对气候变化诸多热点与前沿问题的讲解与报告,了解了他们研究的成果与进展。通过这次学习,我提高了英语水平和专业水平,拓宽了知识面,开拓了眼界,对冰冻圈在气候系统与气候变化中的作用、大气化学与气溶胶的气候效应、地球生物化学循环、气候模式在气候变化研究中的应用、气候变化的减缓与适应对策及社会的可持续发展等问题有了更加深入的认识和理解,还学习到了一些有用的研究方法和思路。当然,虽然我不能对此次讲习班讲到所有问题都理解的很透彻,但总的说来,获益匪浅。以下是我通过此次学习的一些心得体会,与大家交流与分享。

(1) 在以前的学习和研究中,很少接触到冰芯。通过 Claude Boutron 教授的报告,我对冰芯有了一些认识。冰芯是从冰川钻取的圆柱状冰体,从冰川的冰芯样品中,不仅能测定冰川的年龄及其形成过程,还可以得到相应历史年代的气温和降水资料,以及相应年代的二氧化碳等大气化学成分的含量,从而获取古气候环境资料。冰芯证实了 Milankovich 循环,揭示了快速气候变化事件,恢复了古大气中温室气体含量变化,记录了大气尘埃含量变化、太阳活动变化、磁场强度变化和人类活动对环境的影响,可用于研究恢复火山活动记录,研究生物地球化学循环等等,它被称为“气候史书”,对研究气候变化有重要意义。在南极地区,由于气温低,积雪不融化,每年的积雪形成沉积物,越向上年代越新,冬季气温低,雪粒细而紧密,夏季气温高,雪粒粗而疏松,因此冬夏季积雪形成的冰层间层理结构差异显著。而且,可以根据各年的冰层厚度来确定当年的降水量,但必须选取风速很小的冰芯资料才能排除风吹雪的影响。在南极地区,风速小,冰芯资料最为理想,而且目前在南极的 Dome A 最有可能获取超过百万年的冰芯资料。当然,在格陵兰岛和阿尔卑斯山也有钻取冰芯。从冰芯样品中可以分析其他各种元素成分的历史资料,尤其是重金属元素,这是研究环境变化的重要依据。南极冰盖下的地下湖是目前研究的前沿之一。结合我的专业水文学及水资源,主要研究方向气候变化下的极端水文事件,冰芯资料在研究中也会有一些应用。比如在通过历史实测资料研究极端降水或旱涝事件变化趋势的同时,也可以用冰芯资料来进行对比分析,看是否具有相同的趋势或大致吻合的周期等等。

(2) Ned Helme 教授主要介绍了温室气体排放的政策、原则,排放贸易,行业减排等内容。通过老师的讲解和自己的学习,我对国际气候变化的发展进程有了一个较为全面的了解,特别是其中重要的会议和公约,它们在全球气候变化的发展进程中具有里程碑意义。1972年在斯德哥尔摩全球环境大会上最早提出了全球气候变化。为控制温室气体的排放和气候变化的危害,1992年联合国环发大会通过《气候变化框架公约》(UNFCCC),提出到90年代末使发达国家温室气体的排放量控制在1990年的水平。1988年,IPCC成立。1997年,缔约国通过了《京都议定书》,规定了6种受控温室气体,明确了各个发达国家削减温室气体排放量的比例,并允许发达国家之间采取联合履约的行动。发展中国家温室气体的排放尚不受限制,不需要承担减排任务。2009年,哥本哈根会议达成了无约束力协议《哥本哈根协议》,这是在2012年《京都议定书》第一承诺期到期后,用来约束温室气体排放的一个全球的文件。从这个角度讲,气候变化的实质是全球温室气体的排放权,是国家的发展权,是国际政治的主导权问题。中国作为一个发展中国家,应该如何去面对气候变化?在节能减排的同时,保持一个平稳的发展速度?应对气候变化主要有两种途径,即适应和减缓。国家要能够适应由气候变暖引起的水资源分布变化、海平面的升高,以及对于极端天气的防御能力。同时,从节能减排的角度降低人类强迫的影响,减少不必要的能源消耗,改善能源结构,努力提高



能源利用率。比如目前我国倡导低碳技术与低碳发展，就是积极应对气候变化，实现社会可持续发展的一项重要措施。

(3) Klaus Fraedrich 教授的报告让我对气候模式有了进一步的认识。气候模式发展最早的是大气环流模式 AGCM，其动力学部分的理论和数值技术在 20 世纪 70 年代已基本形成，构建了大气环流模式的核心框架。80 年代以来，陆面过程在气候变化中的重要性逐渐被认识，所以人们将大气环流模式与陆面模式进行耦合，对气候变化进行预测。80 年代以后，大洋环流模式 OGCM 得到快速发展，实现了与大气环流模式的耦合，与此同时，陆面模式也被耦合进了 CSM 中。90 年代后期至今，预测生态系统中水、能量、碳和营养元素等在各个圈层之间的通量和各圈层中储量的生物地球化学循环过程，描述由于演替和自然扰动植被组成和结构变化的植动力过程以及气溶胶过程都逐渐被加入到气候模式中。随着人类对气候系统中各种复杂机制的认识，气候模式发展至今包含的过程也越来越多。

(4) Steven John Ghan、John A.Ogren、Nakajima Teruyuki 教授主要讲了气溶胶的相关内容，如黑碳在大气中的循环过程，气溶胶的测量技术，气溶胶对气候的影响，气溶胶强迫和气候敏感性，气溶胶的遥感与模拟等等。气溶胶是液态或固态微粒在空气中的悬浮体系，不仅能作为水滴和冰晶的凝结核，还能吸收和散射太阳辐射，参与各种化学循环。大气气溶胶主要通过三个机制影响天气和气候：一是气溶胶对短波和长波辐射的直接散射或吸收，所谓直接辐射强迫；二是气溶胶粒子浓度的增加改变了云的特性（包括云滴数密度增加、滴谱的改变、云反照率增加、生命期增长），进而改变地气系统的辐射过程，即所谓间接辐射强迫；三是气溶胶可以改变大气化学过程，进而影响温室气体的浓度和分布。气溶胶的成分和时空差异使气溶胶具有较大的不确定性，从而影响了气候敏感度。情景的不确定性、云及气溶胶的不确定性导致了气候预测的不确定性。

(5) 结合自己的专业与研究方向，气候变化对水文水资源会产生诸多影响，气候变化不仅影响流域水量平衡，区域可供水量和需水量，农业灌溉水量，洪水和干旱的频率，还会对供水系统可靠性、恢复性和脆弱性产生影响。除此之外，气候变化还会影响水质和水循环。基于 20 世纪后半叶的观测分析，对于我国最近 50a 极端事件变化的研究成果与 IPCC 科学评估报告的结论基本一致，即在气候变化的背景下，极端降水发生频率和强度具有增加的趋势，干旱和洪涝的极端事件同时趋于增多。

以上是通过此次讲习班的学习，我的学习心得和体会，希望大家交流分享，相互学习，恳请批评指正。

最后，感谢中国气象局和国家气候中心组织此次讲习班，让我能有这次宝贵的机会参加学习；感谢此次讲习班国内外的专家学者的讲授和辅导，这次培训学习让我获益颇多；感谢暑期讲习班所有的工作人员，你们周到的组织安排、服务和工作让此次讲习班顺利进行并圆满结束。

#### **学员信息：**

姓名：杜鸿

学习单位：武汉大学水利水电学院

邮箱：amydh2005@163.com

# 青藏高原积雪对东亚夏季风和夏季降水的影响

杜 银

南京信息工程大学大气科学学院 210044

1974 年在斯德哥尔摩召开的国际气候学会议上, 公认冰冻圈是气候的五大成份之一, 充分肯定了冰冻圈在气候形成和演变中的重要性。大气圈、水圈、岩石圈、生物圈和冰雪圈是气候的五个基本成份, 他们始终处在相互作用的过程中, 其中一种成份的变化必然伴随它种成份的相应变化。冰冻圈和大气圈处于不断的相互作用过程中。冰雪覆盖的季节和年际变化是受大气环流制约的。大气环流制约着各地区的气候特点, 包括降水(降雪)、气温及风云等特点; 而这些气候特点又与地形特点共同决定各地的冰雪覆盖状况。冰雪覆盖形成以后, 就成为大气的冷源。以南北极冰雪为例, 若两极冰雪量增加, 则加强两极的冷源, 加大高低纬度之间的温差和相应的气压梯度, 于是气压场和大气环流随之变化, 并最终导致气象要素和气候特点的变化; 反之亦然。包括南北极在内的大范围冰雪覆盖对气候的影响, 不仅体现为其冷却作用影响周围地区的气温, 更重要的是它影响大气活动中心的强度和位置, 而通过一影响来制约全球大气环流和各地区的气候。

## 1. 积雪的气候效应

青藏高原积雪作为冰冻圈的特殊组成部分之一, 是整个地球气候系统中的重要成员。大量的研究结果可知, 积雪的气候效应主要表现在以下几个方面: 1) 高反射率效应: 积雪的高反射率, 会改变地面吸收太阳辐射的能力, 而产生净的冷却效应, 从而改变地表的热力状况及地气间的热量交换(彭公炳等, 1992); 2) 水分效应: 融雪改变土壤的水分, 引起地表的水平衡发生变化, 影响地气系统之间的水汽和热量交换(Yeh 等, 1983); 3) 保湿效应: 有积雪覆盖时, 减少地表与大气之间的热量交换。

## 2. 青藏高原积雪的时空特征

青藏高原地形复杂, 起伏较大, 积雪的空间分布差异很大。有些地区为永久性积雪, 而在另一些地区积雪很少, 甚至没有积雪。青藏高原大部积雪能连续维持在一个月以上, 为稳定积雪, 但不属于永久或半永久性积雪; 中西部为不稳定积雪, 连续积雪日数少于一个月(彭公炳等, 1992)。

高原积雪深度的地区性差异很显著。最大积雪深度的高值中心, 分别出现在喜马拉雅山东部的康格多山, 帕米尔高原, 大雪山以及巴颜喀拉山-唐古拉山脉, 其中前三个中心最大积雪深度均高于 50 厘米; 而主要低值中心在柴达木盆地附近以及雅鲁藏布江和师泉河流域。高原积雪日数在 10-4 月有五个高值中心, 它们分别在巴颜喀拉山区、唐古拉山区、喜马拉雅山东部, 祁连山区, 以及帕米尔高原-天山地区。其中前三个区域的最多积雪日数都在 80 天以上。低值区呈明显的两条带状分布而间夹其中。在这两个低值区内的冬半年七个月的积雪日数不足 10 天。

积雪日数距平的自然经验正交函数第一特征向量表现为高原整体的一致性变化, 第二特征向量场的主要特点是在高原东侧和中部呈反向分布, 东部有广大的负值区, 而中部则为正值区; 其第三特征向量场为东部和中部地区在 32 以北基本是负值区, 而在其南部的那曲附近, 则为正值区, 而且正负区都很强。高原西部主要是负值区。唐古拉山区的积雪与北部和

西部的反相变化,对长江上中游地区的汛期降水量多寡有很好的指示意义。

王叶堂等(2007)根据 MODIS 卫星反演的积雪资料以及同期台站观测积雪资料分析表明:近几年青藏高原积雪分布极不均匀,四周山区多雪,腹地少雪;高原积雪期主要集中在 10 月到翌年 5 月。2000-2005 年高原积雪年际变化差异较大,积雪面积总体上呈现冬春季减少、夏秋季增加的趋势。气温和降水是影响高原积雪变化的基本因子。冬季,高原积雪面积变化对降水更为敏感;春季,气温是影响高原积雪面积变化更主要的因素。

根据 60 个地面基本气象台站 1957—1992 年(近 36 年)逐日雪深观测资料研究了青藏高原积雪变化趋势,其结果表明高原积雪呈增加趋势,与两个大陆冰盖雪积累率的增加相一致(李培基,1996)。

### 3. 青藏高原积雪对东亚季风和中国东部夏季降水的影响

#### 3.1 对东亚夏季风的影响

赵溱(1984)利用欧亚大陆积雪面积、雪线位置和青藏高原积雪状况三种积雪指数与季风强度的六种不同配置情况,研究欧亚大陆积雪与东亚夏季风的关系,指出:1)雪线偏北、青藏高原少雪时,当欧亚大陆前冬积雪面积大(小)时,夏季风偏弱(强)。2)若欧亚大陆前冬积雪面积大,雪线偏南时,当青藏高原多(少)雪时,夏季风偏弱(强)。春季欧亚雪盖面积偏大和融雪速度偏慢能够增加下垫面反射率。高的反射率能够间接地引起弱的夏季风活动,对应季风进程偏长。高的大陆地表反射率通常能够降低大气温度和增加大陆上的海平面气压,因而使季风环流减弱。另一方面,春季欧亚雪盖偏少和偏快的融雪能够减少地表反射率而增加大气温度,因而使感热增加,夏季风强且季风进程短。

#### 3.2 对中国东部夏季降水的影响

由于我国是典型的季风气候区,因此积雪对季风活动的影响势必会影响我国夏季大范围地区的降水状况及流域的旱涝。叶愈源(1986)研究了欧亚大陆冬季(12-3 月)雪盖面积与我国湖南汛期降水间的关系,结果发现当欧亚大陆冬季雪盖面积大时,湖南汛期总降水量少;反之,湖南汛期降水量多。青藏高原冬半年积雪状况对我国长江上中游降水量多寡存在一定的影响,即高原东部地区的积雪与后期长江上中游降水量以正相关为主;高原西部为负相关,但较东部的正相关弱。其中高原东南部地区前冬 11-12 月份的积雪对后期 8-9 月的长江上中游干流的流量有很好的指示意义(周国良等,1990)。郑益群等(2000)利用 SVD 等方法研究了青藏高原积雪与中国区域降水的关系,认为青藏高原积雪的增加会明显减弱亚洲夏季风的强度,使华南的降水减少,江淮流域的降水增多。并用区域气候模式(Regcm2)模拟高原积雪的气候效应,提出青藏高原冬季积雪深度的增加比积雪面积的扩大和春季积雪深度的增加对后期气候的影响更大。

朱玉祥等(2007)研究表明 1960—2004 年青藏高原 50 站的冬春雪深呈增加趋势,尤其是春季雪深在 1977 年出现了由少到多的突变。通过高原冬春积雪和中国 160 站降水的 SVD 分析表明,高原冬春积雪和夏季长江流域降水呈显著正相关,与华南和华北降水呈反相关。在年代际尺度上,青藏高原冬春积雪与中国东部降水型的年代际变化(南涝北旱)有很好的相关。彭京备等(2005)通过对青藏高原积雪进行小波分析,结果表明:积雪的主要周期是准两年振荡和准 6~7 年振荡的年际变化、还有准 10~12 年和准 22~24 年振荡的年代际特征。此外积雪在 20 世纪 70 年代后期发生了一次年代际气候跃变现象,即积雪由少雪期向多雪期转化。不同时间尺度的积雪、海温和降水的相关场具有不同的地域特征。它们在有的地区相互加强,有的地区相互减弱。他们还提出利用青藏高原积雪和 Nino3 区海温多时间尺度变化可以较好地拟合出中国夏季降水的年际和年代际变化。探讨青藏高原积雪和欧亚积雪与我国

夏季降水的关系, 陈兴芳等(2000)发现冬春季雪盖对我国夏季旱涝有重要的影响, 虽然冬季和春季雪盖与我国夏季降水的相关分布存在差异, 总趋势大致相仿。但是, 冬春季高原积雪和欧亚积雪与我国夏季降水的相关分布基本是相反的, 其中高原积雪与长江中下游和西北东部地区夏季降水为正相关, 欧亚积雪与东北和华北东部以及西南地区降水为正相关。覃志年等(2004)利用青藏高原 55 个地面观测站的积雪日数、积雪深度资料分析了青藏高原积雪异常与广西异常气候事件的关系, 即青藏高原积雪偏多、少与广西异常气候事件的关系不十分明显, 好的对应概率也只有 60%~75%左右, 而青藏高原积雪显著多、少雪年对广西某些时段的降水、气温存在全区性的影响。陈乾金等(2000)综合分析青藏高原冬季异常积雪资料计算了高原积雪日数和深度资料与长江中下游 6~8 月降水量之间的关系, 即青藏高原冬季积雪异常与长江中下游流域的旱涝呈正相关关系, 最大正相关区主要位于江南北部。Wu Tongwen 等(2003)利用青藏高原 60 个台站 1960-98 年冬季(11 月-次年 3 月)累积积雪深度资料, 分析了积雪异常三种空间分布型, 即: 高原全区积雪偏少型(LS), 东部积雪偏多型(ETHS)和西南部积雪偏多型(SWTHS)。在 ETHS 和 SWTHS 年份时, 南亚和东南亚夏季风变弱, 同时南亚和东南亚地区夏季降水偏少; 而在 LS 年份时, 南亚和东南亚夏季风变强, 同时南亚和东南亚地区夏季降水偏多。高原积雪异常将影响高原上大气温度、海陆经向热力对比和夏季风强度。丁锋等(2009)利用 SSMR 和 SSM / I 卫星遥感雪深反演资料与高原测站雪深观测资料的分析表明, 卫星遥感雪深资料可较真实反映出高原积雪的状况, 并可反映出高原西部积雪的变化; 高原冬、春季积雪 EOF 分解第 1 模态具有相同的空间分布, 反映了高原冬、春季积雪分布具有相当的一致性, 而春季积雪的第 2 模态则反映高原积雪的东西差异; 冬、春季雪深 EOF 第 1 模态的时间序列与中国夏季降水的相关分析表明, 大致以长江为界, 我国东部地区呈现出南涝北旱的分布模态, 春季高原东(西)部多(少)雪与东(西)部少(多)雪年的夏季, 我国东部降水表现出长江以南(北)地区为大范围的降水偏多(少)。

一些模式模拟研究高原积雪异常对中国东部夏季降水的影响及其可能的物理机理。如焦彦军(1998)通过数值模拟指出, 冬春积雪的异常偏多(少)会造成夏季高原热源的减弱(增强), 使得高原上空气柱增暖弱(强), 导致高原与其南侧和东侧的海陆热力差值减弱(增强), 进而造成夏季南亚高压及其东风急流的减弱(加强), 导致我国西北、华北以及江南夏季降水的减少(增加), 长江流域地区夏季降水的增加(减少)。张顺利等(2001)利用合成分析和数值试验给出了高原积雪影响亚洲夏季风和我国东部气候的物理过程: 高原积雪多(少)→高原春、夏季的感热弱(强)→感热加热引起的上升运动弱(强), 高原强(弱)环境风场→不利(有利)于高原感热通量向上输送→高原上空对流层加热弱(强)→高原对流层温度低(高)→高原南侧温度对比弱(强)→造成亚洲夏季风弱(强)→我国长江流域易涝(旱)。韦志刚等(2008)利用大气环流谱模式 SAMIL-R42 L9 模拟研究了青藏高原积雪异常影响我国夏季降水的可能机理, 指出高原冬春积雪正(负)异常使得从冬到夏高原的地面感热偏低(高)、地面热源偏低(高), 造成春夏高原上升运动偏弱(强), 长江流域和日本以南西太平洋上升运动较强(弱); 另一方面, 高原冬春多(少)雪年高原和我国东部地区气温偏低(高)、陆海温差的偏低(高)会延迟(促进)东亚夏季风的到来, 一定程度上减弱(增强)了东亚季风的强度, 因而西太平洋副高偏南(北), 造成夏季我国长江中下游多(少)雨。同时, 高原冬春多(少)雪年, 由于融雪增湿效应, 高原春夏潜热明显增大(减少), 使得空气中水汽增大(减小), 可能是高原气温偏低(高)的一个重要因素。朱玉祥等(2009)利用区域气候模式(NCC\_RegCM1.0)模拟了青藏高原前冬积雪对次年夏季中国降水的影响, 所得结果与实际观测的积雪和降水的关系较为吻合, 即长江流域、新疆地区夏季多雨, 华北和华南少雨, 这与我国最近二十年来维持的“南涝北旱”雨型较为一致。他们认为青藏高原冬季多雪, 是引起中国东部夏季降水出现“南涝北旱”的一个重要原因。

由此可见, 高原积雪异常的局地效应, 通过大气对它的响应以及大气环流的调整, 对区域

气候产生影响。

## 参考文献

- 陈烈庭, 1998. 青藏高原冬春季异常雪盖与江南前汛期降水关系的检验和应用. 应用气象学报, 9 (增刊): 1-8.
- 陈乾金, 高波, 李维京等, 2000. 青藏高原冬季积雪异常和长江中下游主汛期旱涝及其与环流关系的研究. 气象学报.
- 陈兴芳, 宋文玲, 2000. 欧亚和青藏高原冬春季积雪与我国夏季降水关系的分析和预测应用. 高原气象.
- 丁锋, 孙照渤, 刘敬乐, 2009. 青藏高原冬春雪深分布与中国夏季降水的关系. 大气科学学报, 32(6): 783-791.
- 焦彦军, 1998. 一嵌套区域气候模式的建立和中国夏季降水的区域气候模拟. 兰州:中国科学院兰州高原大气所.
- 李培基, 1990. 近 30 年来我国雪量变化的初步探讨. 气象学报, 48(4).
- 李培基, 1996. 青藏高原积雪对全球变暖的响应. 地理学报.
- 李培基, 米德生, 1983. 中国积雪的分布. 冰川冻土, 5(4):9-18.
- 彭公炳, 李晴, 钱步东, 1992. 气候与冰雪覆盖. 北京:气象出版社, P349.
- 彭京备, 陈烈庭, 张庆云, 2005. 青藏高原异常雪盖和 ENSO 的多尺度变化及其与中国夏季降水的关系. 高原气象, 24 (3): 366-377.
- 徐国昌, 李珊, 洪波, 1994. 青藏高原雪盖异常对我国环流和降水的影响. 应用气象学报, 5(1): 62-67.
- 覃志年, 李秀存, 苏志等, 2004. 青藏高原积雪异常与广西气候的关系. 广西气象.
- Yeh T-c., R. T. Wetherald, S. Manabe, 1983. Model study of the short-term climate and hydrologic effects of sudden snow cover removal. Mon. Wea. Rev., 5:1013-1024.
- 叶愈源, 1986. 冬季亚欧大陆雪盖与湖南汛期降水. 高原气象, 5(3).
- 王叶堂, 何勇, 侯书贵, 2007. 2000-2005 年青藏高原积雪时空变化分析. 冰川冻土.
- 韦志刚, 陈文, 黄荣辉, 2008. 青藏高原冬春积雪异常影响中国夏季降水的数值模拟. 高原山地气象研究, ,
- 韦志刚, 罗四维, 董文杰, 等, 1998. 青藏高原积雪资料分析及其与我国夏季降水的关系. 应用气象学报, 9: 39-46.
- Wu Tongwen, Qian Zheng'an, 2003. The relation between the Tibetan winter snow and the Asian summer monsoon and rainfall: An observational investigation. J Climate, 16(12):2038-2051.
- 张顺利, 陶诗言, 2001. 青藏高原积雪对亚洲季风影响的诊断及数值模拟研究. 大气科学, 25(3):372-390.
- 赵溱, 1984. 欧亚大陆雪盖与东亚夏季风. 气象, 7.
- 周国良, 范钟秀, 彭公炳等, 1990. 青藏高原积雪的时空分布特征及其对长江上中游旱涝的影响. ?
- 郑益群, 钱永甫, 苗曼倩, 等, 2000. 青藏高原积雪对中国夏季风气候的影响. 大气科学,
- 朱玉祥, 丁一汇, 徐怀刚, 2007. 青藏高原大气热源和冬春积雪与中国东部降水的年代际变化关系. 气象学报.
- 朱玉祥, 丁一汇, 刘海文, 2009. 青藏高原冬季积雪影响我国夏季降水的模拟研究. 大气科学.

# 减缓和适应气候变化，促进社会可持续发展 ——7<sup>th</sup>ISCS学习心得

段海来  
(广东省气候中心)

非常荣幸参加“第七届气候系统与气候变化国际讲习班”的学习。期间，各位专家老师对当前国际有关气候系统和气候变化的最新方法论和研究成果进行了深入的讲解，使我们全面、深入地了解全球气候变化的新事实、原因、影响和适应对策，认识了冰芯资料在气候系统和气候变化研究中的重要作用，了解了气候模式在全球气候变化研究中的应用及其对未来气候预估不确定性，更加明确了气溶胶的直接和间接气候效应，并明白气溶胶和云的辐射强迫研究的不确定是影响未来气候预测不确定的关键和热点问题，同时，专家也给我们研究气候变化关键科学问题提供了实验和技术手段示范。这次学习开阔视野，对我今后的气候业务和科研具有很好帮助。学习即将结束，现就气候变化的减缓与适应对策及社会可持续发展方面谈谈自己的思考和认识。

## 1 全球气候变化事实、原因和影响

2007年，政府间气候变化专门委员会（IPCC）公布的第四次评估报告（AR4）指出，最近100年（1906-2005年），全球平均地表气温升高了0.74℃。过去50年全球地表气温变化很可能是由于人类活动所排放温室气体产生的增温效应造成的，预计到本世纪末全球平均气温将升高1.1~6.4℃；20世纪的增温主要发生在1910年至1945年期间和1976以后。在过去的至少500年中，20世纪北半球陆地的增温可能是没有前例的。在20世纪，90年代是最暖的十年，1998年是最暖的年份。自1950年以来，陆面夜间的日平均最低气温增加率是白天日平均最高温度的近2倍，中高纬地区的生长期呈增长趋势，雪盖则减少，江湖结冰期缩短，山地冰川消退。近几十年来，北极夏末至秋初的海冰厚度明显减少。最近的一百年来，全球平均降水变化趋势还不很清楚，但北半球中高纬度地区年降水量有比较明显的增多，而副热带的地中海地区和北部非洲降水量出现显著减少。

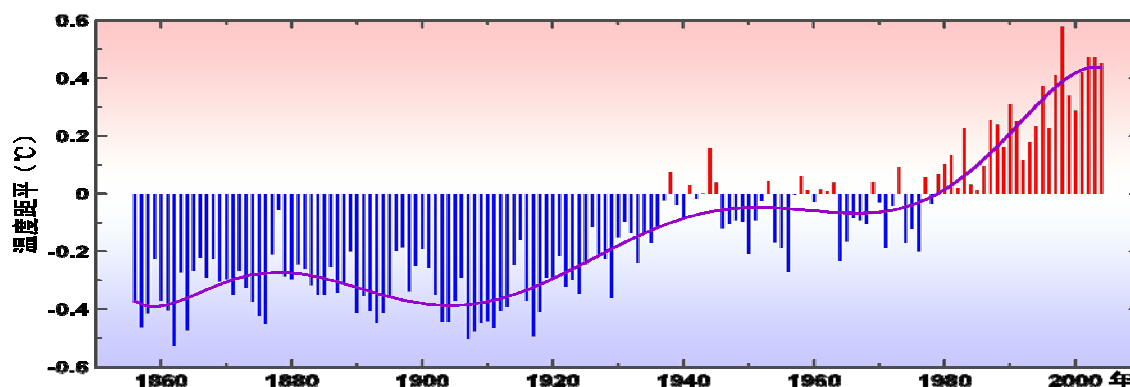


图1 公元1856—2005年全球地表温度变化（相对于1961—1990年30年气候平均）

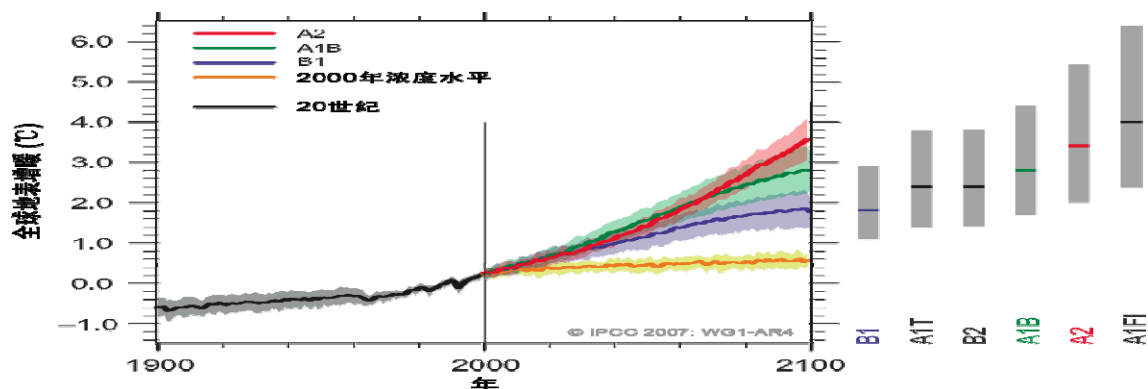


图3 气候模式模拟出不同排放情景下的增暖预估结果

IPCC第四次评估报告指出，近50年的全球气候变暖可能主要是由人类排放的温室气体造成的。自1750年以来，大气CO<sub>2</sub>浓度增加了三分之一，到2008年达到370ppmv。目前的大气CO<sub>2</sub>浓度远超过过去80万年期间的自然波动范围。大气CO<sub>2</sub>浓度的增长主要是由于人类使用矿物燃料造成，土地利用变化尤其是森林砍伐以及水泥生产等也有贡献。大气中其他温室气体如甲烷与氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）等，也呈现明显上升趋势。根据模拟气候对自然强迫的响应，包括对太阳辐射变率和火山喷发的响应，说明自然强迫因子在所观测的20世纪前半叶增暖中起到一定作用，但自然因子无法全部解释20世纪后半叶的快速升温。气候模式模拟表明，当考虑了人类活动和自然因素的共同影响时，其结果与观测的表面温度变化趋势更为接近，说明人类活动是影响最近50年气候快速变暖的主要因素。古气候资料也表明，20世纪特别是90年代以来北半球的明显增暖可能不是自然的，因为这种快速的变暖在过去的500-700年内没有过。

根据IPCC AR4第二工作组的主要结论：自20世纪70年代以来，人类活动引起的气候变暖对许多自然和生物系统产生了影响，这种影响可能将持续相当长的时间，并且可能趋于恶化。由气候变暖引起的一系列气候和环境问题日益突出，正在对人类赖以生存的农业、水资源和自然生态系统等产生重大影响，甚至给人类社会带来灾难性后果。气候变化对水资源的影响因区域而异：在本世纪中期之前，在高纬和部分热带湿润地区，年平均河流径流量和可用水量预计会增加10%~40%；而在一些中纬和热带干燥地区，则可能减少10%~30%。气候变化使冰川和积雪的储水量减少，将影响当今世界上1/6以上的人口的可用水量。同时，受干旱影响的地区增加，强降水事件增多，洪涝风险增大。对生态系统的影响：气候变化和其他因素的综合作用可能会对生态系统造成不可恢复的影响。如全球平均温度增幅超过1.5~2.5°C，约20%~30%的物种有可能会灭绝；加上二氧化碳浓度增加的作用，生态系统将发生重大变化，对生物多样性、水和粮食供应等多方面产生不利影响。最新的研究表明二氧化碳浓度增加引起的海水酸化，可能会对一些海洋生物产生不利影响。对粮食、纤维和林产品的影响：如温度增加1~3°C，多数地区农作物产量会下降；而在一些热带地区，小幅度的增温也可能导致产量下降，发生饥荒的风险增大。气候变暖还将加重农业和林业的病虫草害，加上干旱和洪涝频率增加的影响，会造成农业生产风险增大。部分地区经济林产量会因温度升高而增加，

但森林火险和病虫害等风险也相应增加。对沿海及低洼地区的影响：气候变化和海平面上升使得沿海地区遭受洪涝、风暴以及其它自然灾害的频率加大。人口密集和经济不发达的地区面临的风险更大，如亚洲和非洲的大型三角洲和一些小岛屿。珊瑚礁和红树林等沿海生态系统将受到气候变化和海平面上升带来的负面影响。对工业、人居环境和社会的影响：在一些温带和极地地区，气候变化对工业、人居环境和社会的影响是正面的，而对其他大部分地区则是负面的，并且气候变化越剧烈，负面影响也越强烈。海岸带和江河洪涝平原地区、经济发展对气候资源依赖性强的地区，以及极端天气事件易发地区将变得更加脆弱，而且采取适应措施所需的经济和社会成本也更高。气候变化的影响还会通过社会和经济领域的复杂联系，间接地影响到其他的地区和部门。对人类健康的影响：总体而言，气候变暖对人类健康的影响以不利为主，数以百万计的人口健康状况可能会受到影响，其中发展中国家面临的风险更大。

## 2 减缓和适应气候变化的国际政策环境

为了科学地制定和实施应对全球气候变化的措施，有关国际组织和各主要发达国家都编制和发布了相关的气候变化评估报告。如“政府间气候变化专门委员会”自1988年以来已经组织全球的科学家编制了四次气候变化科学评估报告。1990年发布的IPCC第一次评估报告，确认了气候变化问题的科学基础，促使联合国大会决定拟定《联合国气候变化框架公约》，直接推动1992年第一次地球首脑峰会上签署了《联合国气候变化框架公约》，正式提出避免气候变化的危险水平，保障粮食供给安全，使生态系统能够自然适应气候变化的概念，呼吁所有缔约方采取有计划的行动来防止和减小气候变化的危害。其中，减缓和适应是应对气候变化的两个重要方面。根据“共同但有区别的责任”原则，发达国家率先减排，并给发展中国家提供资金和技术支持；发展中国家在得到发达国家技术和资金支持下，采取措施减缓或适应气候变化。1996年发布的IPCC第二次评估报告，为系统阐述《联合国气候变化框架公约》的最终目标提供了重要的科学依据，推动了1997年《京都议定书》的签署；2001年发布的IPCC第三次评估报告为各国政府制定应对气候变化的政策，实现《联合国气候变化框架公约》目标提供了客观的科学信息，也是2002年第二次地球首脑峰会宣言的重要基础。2007年发布的IPCC第四次评估报告，综合、系统、全面地评估了气候变化的最新研究结果。尽管气候变化在科学上还存在许多不确定性，但IPCC第四次评估报告作为国际科学界和各国政府在气候变化科学认识方面形成的共识性文件，已为联合国气候变化大会的召开和国际社会应对气候变化提供了重要决策依据。2009年哥本哈根气候大会签订的《哥本哈根协议》，该协议设定目标，将全球升温限制在2℃之内，并为面临气候变化风险最大的贫困国家配置100亿美元初期资金。

## 3 气候变化的减缓和适应对策

气候变暖具有全球化特征和历史性根源，非一时、一地之问题，也非单纯的气候问题，更非一般的环境问题，减缓和适应气候变化必须从政治、经济、社会、科技等各个方面做出努力。



(1) 准确把握人类活动与气候变化的关系是促进人与自然相和谐的基础和前提。气候变化影响长远而广泛,超出了一般意义上的大气和水污染等环境问题,适应难度大。气候变化成因十分复杂,大气、海洋、陆地和人类活动之间集中反映于气候变化,关系错综复杂,减缓难度大。适应和减缓气候变化,必须深刻理解和认识气候变化的科学问题,力求有效把握气候变化以及气候变化预测的不确定性。

(2) 在政治层面上,各个国家要继续坚持《京都议定书》和《联合国气候变化框架公约》,同时,国际社会应该尽快达成取代1997年《京都议定书》的全面协议,明确2050年之前的全球减排目标。

(3) 开发清洁能源技术,如风能、太阳能等可再生能源技术和碳捕获、碳存储技术,减少全球碳排放。加大世界银行向清洁能源和可持续发展投资,鼓励大型私营经济成分与世界银行合作,向低碳技术(低排放技术)领域投资。积极调整经济结构、能源结构、农业结构,适应全球气候变化规律。

(4) 建立发达国家与发展中国家之间合作的新模式,确定合作的优先领域,发达国家帮助发展中国家改善技术和资金转让的政策、财政和管理环境,帮助发展中国家加强适应气候变化的能力建设。

(5) 加大对环境的恢复和保护力度,增强环境对气候变化的适应能力。

(6) 提高公众对气候变化问题的科学认识,开展多种形式的气候变化科学普及,培养气候环境的保护意识,使保护气候成为全社会的自觉行动,引导公众可持续的消费方式,为保护全球气候做出贡献。

#### 4 致 谢

此期间,余幸得先贤前辈授课,以致识广。师风格各异,如 Prof. Claude Boutron 的友善可亲,Prof. Ned Helme 的高屋建瓴,Prof. Klaus Fraedrich 的醇厚实干,Prof. Steven J. Ghan 的菩萨低眉,Prof. John A. Ogren 的斩钉截铁,Prof. Teruyuki Nakajima 的随和健谈,虽为陈迹,历历在目。吾京师之行收获颇多,由衷感激。

附学员信息:

姓名: 段海来

单位: 广东省气候中心

E-mail: duanhailai520@163.com

电话: 13560446086

# 中国山地冰川雪冰中重金属的研究进展

范思睿  
(成都信息工程学院)

**摘要:** 地球系统中含量甚微的重金属元素是评价人类活动对大气环境影响的良好指标, 研究极地和山地冰川地区过去和现代雪冰中重金属的历史记录, 可以重建这些元素在过去大气环境中的循环过程, 对认识地球大气环境中重金属污染的规模和历史、揭示这些污染物质的来源及中长距离的输送过程具有重要的作用。本文概述了中国山地冰川雪冰中重金属的研究进展。

**关键词:** 雪冰; 重金属; 人类活动

## 1 前言

随着人类社会的快速发展, 人类活动已经成为影响地球环境中化学元素再分配的重要因素。作为评价人类活动对地球大气环境影响的良好指标, 重金属元素在极地和山地冰川地区雪冰中的含量变化引起了科学家的极大关注。重金属元素的自然本底很低, 通过恢复这些元素在偏远地区的历史记录可以研究大气中重金属污染的历史和规模, 探讨污染物质的来源和长距离的输送过程。

极地和山地冰川地区雪冰中重金属的研究可以追溯到20世纪60年代中后期。Murozumi et al 第一次给出北半球大气层已经受到人类活动释放Pb的严重污染的证据, 发现20世纪60年代中期格陵兰雪冰中Pb的含量比2800 a BP增加了200倍, 比工业革命前夕增加20倍, 这一观点曾经受到其他研究者的质疑并引起激烈争议, 其正确性最终被后来的工作所证实。雪冰中重金属研究的关键在于获得洁净的样品和准确的测试数据, 因为所研究的元素含量极低(一般在pf/g量级), 样品从采集到最终测试极易受到污染。经过30多年的探索, 目前已经建立了较为成熟的实验程序和测试方法, 研究内容也从Pb扩展到其它重金属元素(如Cu、Zn、Cd、Hg等), 显著提高了重金属的数据库质量和数量。

山地冰川发育在中低纬度地区, 距离人类活动密集的地区更近, 现有的数据表明, 人类活动产生的重金属元素含量比极地冰川上高出172个数量级, 考虑到这些物质在取样和分析期间产生的严重污染情况, 可以很容易地在山地冰川获得这些物质的时间趋势, 在揭示人类活动对环境的影响程度上具有更大的潜力。

本文主要对中国的山地冰川雪冰重金属研究, 主要集中在2个典型地区(珠穆朗玛峰地区、天山乌鲁木齐河源)的研究成果做一简要的概述。

## 2 中国山地冰川雪冰中重金属的研究

### 2.1 珠穆朗玛峰地区雪冰中重金属的研究

实验样品是笔者2005年9月18日采集于珠峰北坡东绒布冰川惹普拉垭口的一个雪坑中。重金属元素的浓度统计结果列于表1中。由于个别元素部分样品浓度含量低于仪器检测限, 测试结果中得到的有效数据个数小于样品数。各元素的浓度值变化范围较, 各种元素之间的浓度值也有较大差异。浓度值大小依次顺序为Zn>Ba>Pb>Cu>Co。

表1 东绒布冰川雪坑样品测试结果统计/单位! 012345

元素	样品数	有效检测数	浓度范围	中值	算数平均值	标准偏差
Co	18	8	2.8-15.7	8	7.5	5.7
Cu	18	17	10-120	41	44	31
Pb	18	16	14-142	60	66	45
Ba	18	18	2-227	62	73	64
Zn	18	13	29-4948	937	1301	1596

然后采用地壳富集系数 $EF_c$ 进行探讨，从图1中可以看到四种元素的富集系数有较大差异。Co的富集系数和Zn的富集系数相差达2个量级。富集系数大小依次为 $Zn > Pb > Cu > Co$ 。Co和Pb的平均富集系数为27和33，介于10—100之间，属于中度富集，表明除地壳粉尘外，已经受到人类活动的影响。但污染程度较轻。Zn的平均富集系数最大，已经达到180，被视为高度富集，说明Zn受到人类活动的影响很大，其主要来源为人为活动源。

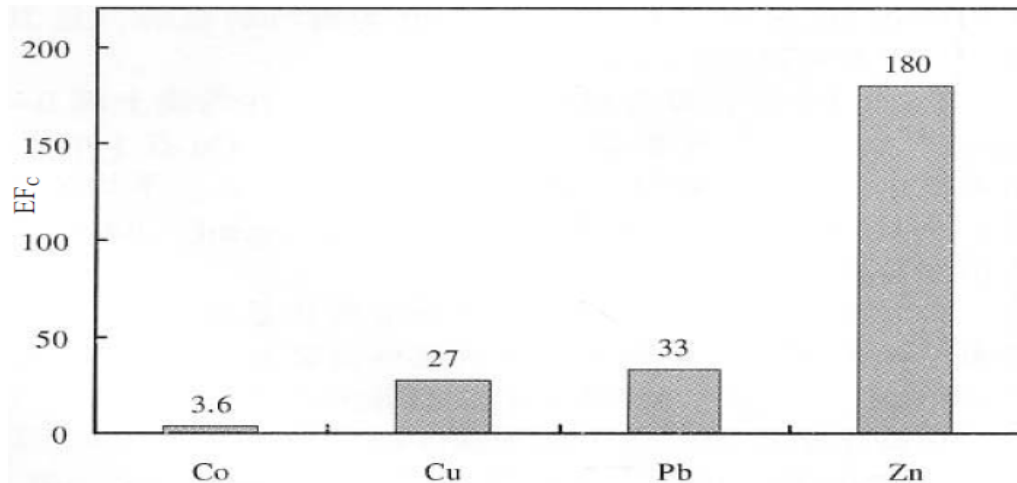


图1 东绒布冰川样品中Co、Cu、Pb和Zn的平均富集系数

另外发现Pb和Cu浓度的季节变化是显著的，夏季平均浓度要低于其它季节，即受夏季风影响时浓度较低，受西风环流影响时浓度普遍较高。但在夏季风期间也有极高值的出现。如2005年和2004年夏季都出现了极高值，这是由于含较多局地粉尘的较强烈夏季风降水事件而造成，离子浓度的变化也有类似情形。另外Pb表层雪的浓度显著高于2004秋--2005年春的平均浓度，可能与该季节在该地区考察的人为活动带来的污染有关。本地区Pb和Cu的浓度相对较低，属中度富集，季节变化的特征显示出该地区Pb污染主要来源于冬季西风环流的影响，而不是来源于夏季风。

综合来看，重金属Pb、Zn、Cu、Co、Ba的浓度都有明显的季节变化特征。在夏季受南亚季风影响时，浓度较低；在冬季受西风环流控制时浓度显著升高，是重金属污染发生的主要季节。在夏季由于局地环流造成的降水也使得夏季部分元素出现浓度的个别极高值。

## 2.2 天山乌鲁木齐河源1号雪冰重金属的研究

天山乌鲁木齐河源1号冰川(以下简称1号冰川)位于天山山脉东段，这是亚洲粉尘的源区且临近人类活动区。图2(a)中 $EF_c$ 数据显示几乎所有表层雪样品中的Pb, Cd和Zn的 $EF_c$ 值介于约10~100之间，尤其是秋、冬季采集的样品(图2(b))。表明这三种金属的自然源贡献率较小，初步分析其主要来源是盛行的西风气流携带的中亚地区的污染物质及邻近地区的人类活动对大气的污染。在不同的季节，不同来源对三种金属元素的贡献也不尽相同。Cd变化最显

著：夏、秋、冬季平均EFc值明显高于10，显示在这三个季节里人类活动等非自然源是主要影响因素。春季Cd的EFc值小于10，说明春季其主要来自自然源。Pb, Zn季节平均EFc值变化较小(约15±5)，但仍可以发现不同季节不同来源贡献的差异。Fe是EFc值最低的元素，变化幅度为1—6，表明岩石风化物、土壤粉尘等自然源是Fe元素的最主要来源。1号冰川周围分布着面积广大的富含Fe的裸露基岩，且春季盛行西风带从中亚携带来大量尘埃物质，估计两者对雪层中Fe的含量有较大贡献。

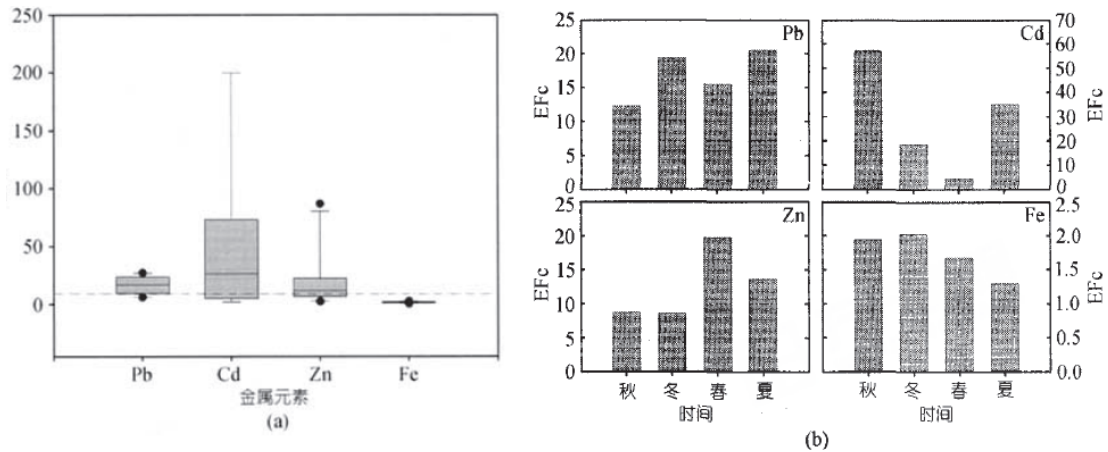


图2 1号冰川表层雪中四种痕量金属元素浓度EFc值

1号冰川痕量金属的季节变化是通过测试连续的表层雪样品得到的，从图3中所有金属的浓度在秋季逐渐升高，冬季出现峰值。这与周边人类活动同期释放的污染物数量的增加较为一致，盛行的山谷风可以把污染物携带到冰川区；且同期西风急流特别强大，已有研究表明，大量中亚地区的污染物质可以被携带到天山地区。2003年1月所有元素浓度均呈现戏剧性的骤降。但不同元素的变化幅度差异较大：Pb, Cd, Zn的浓度分别下降了约7, 9和16倍，Al和Fe元素分别约为8和4倍。冬末至春季，中纬度西风带北移，1号冰川区被西北气流控制，且同期河源区NE和ENE风加强，大量岩石风化物 and 土壤粉尘被携带到冰川上。同期四种金属的浓度均稳定上升，2003年3和5月，Pb, Cd, Zn浓度分别出现两个高值。Al的两个浓度高值则分别出现在2和5月。Fe的唯一峰值出现在2月，较Pb, Cd和Zn晚两个月。夏季，随着西风气流、NE和ENE风的减弱，冰川区降水量增加，所有金属元素浓度均急剧降低，达到全年最低值。

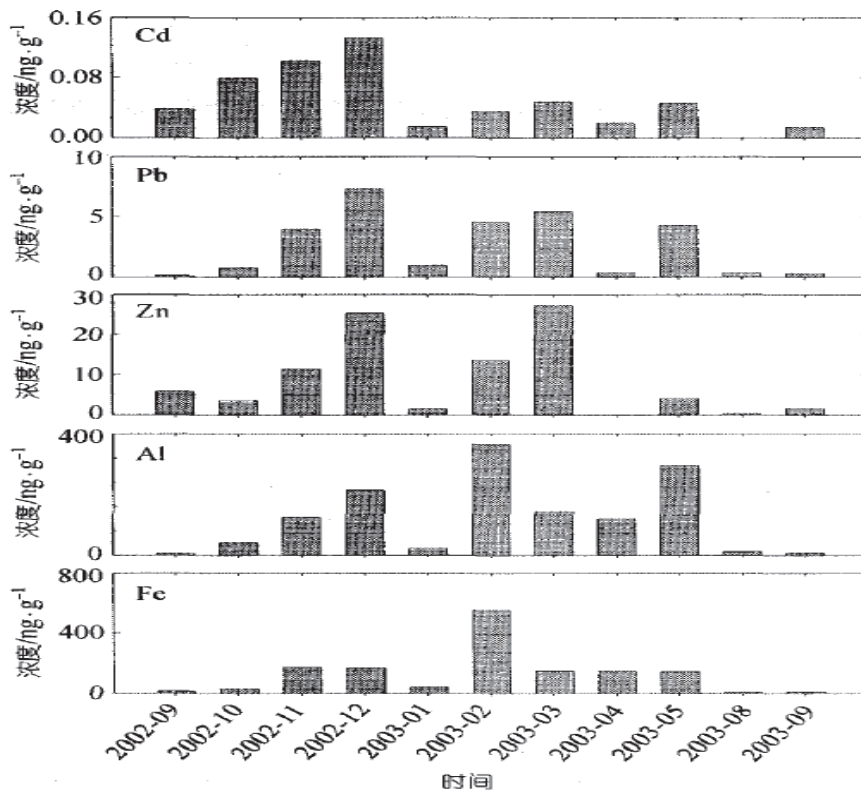


图3 1号冰川表层雪痕量金属的含量变化

### 3 总结

中国两个地区的雪冰样品中记录的重金属Pb、Zn、Cu已经受到了人类活动的污染，其中Pb和Cu属于中度富集，受到人类活动的污染较轻。Zn属于高度富集，受到了人类活动的严重污染。地壳富集系数(EF<sub>c</sub>)分析表明，这些金属主要来自岩石风化物 and 土壤粉尘及人类活动对大气的污染。并且重金属Pb、Zn、Cu、Co、Ba的浓度都有明显的季节变化特征且不同季节其来源及输入量不尽相同。

雪冰中重金属的研究已经取得一些令人振奋的成果，为认识和了解人类活动对地球大气环境的影响作用提供了独特的信息。随着高精尖研究手段的开发和引进，雪冰中重金属的研究将具有更为广阔的前景。雪冰中重金属的研究对象除目前主要分析的Pb、Zn、Cu、Co、Ba之外，其它重金属的浓度变化情况也需要密切关注。

# 气候模式的研究及其应用发展状况简介

方艳莹

南京信息工程大学 国家气候中心

## 1. 引言

很高兴可以参加由国家气候中心、中国气象局培训中心组织的第七届气候系统与气候变化国际讲习班，来自法国、日本、德国和美国的六位国际上知名气象学者生动的给我们讲了两个星期的课。让我们受益匪浅。

由于我还只是一名研究生，自身的英语水平较之于那些学者差之甚远，加上对于气候方向的专业词汇了解的也不多。但几位专家的讲解很生动，也较清楚，加上课下努力对当日所学课程进行学习，使我通过这 12 天的学习对气候模式，气候模拟这方面有了很大的兴趣。

## 2、气候模式

近几十年来，人们对气候系统的认识在不断的深入，不再仅仅局限于大气现象和大气环流的研究，而是上升到地球系统的层面。目前，普遍认为气候系统包括大气圈、水圈、冰冻圈、岩石圈和生物圈，是大气圈和其它圈层组成的一个完整体系，而这五大圈层通过物理、化学和生态等基本过程相互连接、相互作用所构成的整体就是地球系统。对人类活动的影响，一些科家认为应该归于生物圈，而更多的学者认为应该将人类独立出来成为独立的圈层，使其构成地球系统的另一个非常重要的圈层，从而更突出人类活动对气候系统的巨大影响。因此，通常将不包括人类活动的地球系统称之为自然地球系统。这样，地球系统就由自然地球系统和人类圈共同组成。同时，人们开始全面使用数值模式结合理论研究和全球观测数据来研究地球系统的各个组成部分。随着对地球系统认识的深入，人们首先是以耦合的大气和海洋环流模式（CGCMs）的方式，进而以气候系统模式（CSMs）的方式将地球系统的各个分量耦合在一起，从综合的角度探讨地球系统。目前，依据繁简程度的不同，广泛得到应用的气候模式主要分为 3 种类型：一类是简单的概念性的气候模式；另一类是综合而复杂的大气环流模式（GCMs）；而第三类则是复杂程度介于前 2 种类型之间的中等复杂程度的地球系统模式（EMICs）

## 2.1 中等复杂程度的地球系统模式 (EMICs)

综合全面的大气海洋环流模式 (CGCMs) 被认为是当前最完全的气候模式, 充分用于了解气候系统变化规律和探询气候异常发生机理, 已经成为研究人类社会对气候异常反馈的地球系统模式的基础。中等复杂程度的地球系统模式 (EMICs) 在简单模式和综合全面的模式 (CGCMs) 之间架起了一座桥梁。

在EMICs 中, 大气模块主要采用的是能量水汽平衡模式 (EMBM); 能量水汽平衡模式, 包括一定的动力机制 (DEMBM)、准地转模式 (QC)、统计动力学模式 (SDM) 和大气环流模式 (GCM)。大气模块的水平分辨率通常比较粗糙, 尤其是对于最简单的能量水汽平衡模式来说, 一般都是采用纬向平均的方式进行计算。在垂直方向上,  $L_n$ 表示了垂直的层数。如CLIMBER-2, 其大气模块采用的是一个 $22.5^{\circ} \times 7.5^{\circ}$ 的二维统计动力学模式, 但在计算长波辐射时将大气分为16层 (这样一般被称为2.5D)。同时为了简化计算, 大部分EMICs对于大气内部的诸多过程及反馈 (如云、地面风场等) 进行了预先指定或者简单的参数化。

## 2.2 区域气候模拟 (RCM)

随着人们对未来全球气候发展演变以及由于人类活动, 特别是温室气体排放所引起的全球变暖等气候问题的重视, 科学家们也将目光集中到了全球气候变化背景下区域气候的响应。

与全球环流模式相比, 区域气候模式的分辨率有了很大的提高, 模式能够模拟出更为合理的区域性强迫作用。目前大部分区域气候模式都采用了数值天气预报模式的动力框架。此外区域气候模式中的物理过程也更加详细, 包含了陆面和人文过程、边界层、云和降水、云-辐射相互作用, 部分还包含了大气化学过程。模式能够在一定程度上再现出地表温度和降水的平均日变化特征, 这是粗分辨率的全球环流模式无法比拟的。

在气候模拟研究中, 区域气候模式可以视为全球环流模式的补充, 在给定的大尺度强迫条件下, 凭借其分辨率高和动力、物理过程准确、细微的特性来研究更小范围的气候特征, 以及全球气候变化背景下区域气候的响应。

### 2.2.1 当代平均气候特征

对多年平均气候特征的模拟不仅能够检验模式对区域平均气候态的模拟能

力，同时对模拟结果的诊断分析还能够揭示出特定地区气候的形成机理，以及区域气候对路面特征和物理过程的敏感性。通过模拟结果与实测资料的对比，可以揭示出区域气候模式自身的不足，特别是地形的处理和物理过程的选取，可以查找出模式的系统性误差源，从而为改进模式提供一定的基础。

### 2.2.2 未来气候变化

对未来气候变化的模拟或预测研究已经不再限于气象领域，而是集合了环境、水文、农业等各方面的研究力量。温室气体浓度增加和气溶胶排放量增大引起的全球气候变化，对区域水力资源管理、农业生产规划和植被覆盖状况等的影响评估，为动力降尺度区域气候模式提供了很好的发展空间。

## 3、结论

在未来的科学研究中，气候模式将发挥越来越重要的作用。中等复杂程度的地球系统模式（EMICs）涵盖了地球系统的大多数组成部分，对各部分之间的反馈和过程能够给予比较详细的描述，从而非常接近完备的地球系统的概念，同时具有低廉的计算要求，使其应用几乎覆盖了简单模式以及大气环流模式

（CGCMs）的所有研究领域。EMICs既可以充分的描述今天的气候，又可以重现器测记录以来的气候变化，而且可以在古气候资料的强迫下模拟出不同于今天的古气候状态，特别的，EMICs能够成功的模拟出古气候史上突变事件的大体特征，并能在理论上给出合适的解释。EMICs作为简单模式和CGCMs的补充，在二者之间架起了一座桥梁，在地位上并不次于CGCMs，已经成为评估地球系统的必不可少的、值得重视的、非常有用的工具。而区域气候模式在现在、未来气候模拟，极端气候事件模拟分析，物理过程模拟研究方面已经被广泛地采用，但是在短期气候预测中尚没有得到有效利用。但正如数值天气预报模式和全球环流模式的发展过程一样，区域气候模式也会在实践中不断地完善，从而广泛地应用到科学研究和业务预报领域。

## 4 感谢

在这12天中，我们不仅从讲解上获得知识，还从实践中获取知识，使我留下了深刻的印象。现在的气候变化对我们的生活产生了重大影响，这就需要我们更好的掌握这种规律为生活，工作做到预防。这次的学习是一次很好的机会让



我们直接接触到世界上最前沿的科学知识，所学的知识将为我今后的学习指明方向，为服务提供科学依据。非常感谢中国气象局和国家气候中心，还有我的老师给我这次机会，希望以后仍有机会参加这样的讲习班。

#### 参考文献(References)

- [1] Yin C.Yan X.Shi Z Simulation of the climatic effects of natural forcings during the pre-industrialera (in press) 2007
- [2] Kraus H Die Atmosphere der Erde 2000
- [3] Alcamo J IMAGE 2.0:Integrated modeling of global climate change 1994(1-2)
- [4] Schellnhuber H J "Earth system" analysis and the second Copernican revolution 1999
- [5] Grassl H Status and improvements of coupled general circulation models 2000
- [6] Claussen M Earth system models 2000
- [7] 刘栋 MM5模式对区域气候模拟的性能试验[期刊论文]-高原气象 2003(01)
- [8] 丁一汇. 刘一鸣. 宋永加 我国短期气候动力预测模式系统的研究及试验[期刊论文]-气候与环境研究 2002(02)
- [9] 丁一汇. 李清泉. 李维京 中国业务动力季节预报的进展[期刊论文]-气象学报 2004(05)
- [10] 陆其峰. 潘晓玲. 钟科 区域气候模式研究进展[期刊论文]-南京气象学院学报 2003(04)
- [11] Giorgi F.Bates G T The climatological skill of a regional model over complex terrain 1989(11)
- [12] Dickenson R E.Errico R M.Giorgi F A regional climate model for western United States 1989
- [13] Houghton J T.Ding Y H.Griggs D J Climate Change 2001:The Scientific Basis 2001
- [14] Gao X.Zhao Z C.Giorgi F Changes in extreme events in regional climate simulations over East Asia-ADVANCES IN ATMOSPHERIC SCIENCES 2002(05)

# 气候变化的减缓和适应性

方玉  
南京信息工程大学

气候变化已成为事实，而且气候变化对人类和自然环境所带来的影响也是十分明显的。对于气候变化，我们所能做的就是减缓气候变化，以及适应气候变化。减缓和适应气候变化是两种相辅相成的措施。

## 1 气候变化适应性

### 1.1 气候变化及适应性的定义及相关公约

适应性泛指组织或系统为了生存、繁殖而增强应对环境变化的基因和行为特征。在气候变化领域，IPCC 在 2001 将适应性定义为：自然、人文系统对现状、未来气候变化的响应和调整，包括预期的、自动的、瞬时的、规划的、公共的和私人的。分析气候变化适应性，就是判断适应性对系统产生的可能效果，估计气候变化影响、筛选有效的适应性策略和途径。

《联合国气候变化框架公约》——（UNFCCC）在确立之初即要求缔约方承诺：针对适应预期的气候变化影响制定国家战略，其中包括发达国家向发展中国家提供资金与技术支援，双方共同合作以努力应对气候变化的影响。在 UNFCCC 第二条中，强调了适应性，公约要求各个国家承诺减少温室气体排放，以避免或抑制气候变化对人类生产危险的变化趋势。

《气候变化白皮书：面向一个欧洲的行动框架》——2009 年 4 月 1 日，欧盟委员会发布，其目的是提高欧盟应对气候变化影响的应变能力。该行动框架采取分阶段的方法：第一阶段（2009 — 2012 年）为基础性工作；第二阶段于 2013 年开始，将拟定全面的欧盟适应战略。

### 1.2 一些有代表的国家的适应性研究策略及方案

对于气候变化，各个国家采取了很多不同的方案，包括发达国家级发展中国家：

美国：强调以市场为基础寻求现实的解决方案，在适应行动上，美国也针对相对突出的气候变化问题和比较敏感的部门采取了旨在提高适应能力的行动。

加拿大：政府部门、产业部门、社团和个人日益认识到采取气候变化适应行动的必要。加拿大应对气候变化的适应能力相对较强，但在资源依赖型行业和北极圈附近的土著社区仍表现出较明显的脆弱性。在一些地区、人群和产业正在规划或实施具有针对性的适应行动。

印度：2008 年 6 月 30 日发布了《气候变化国家行动计划》，该计划除了确定了提高能效、可再生能源开发等气候变化减缓行动外，还专门就印度的气候变化脆弱性，制定了提高气候变化适应能力的行动计划。

### 1.3 目前气候变化适应性研究的弊端

气候变化适应性研究主要集中于：研究主要采用适应性假设；研究主要集中在气候变化条件下特殊系统的适应性选择和策略方面；研究主要集中于国家、区域、社区相对适应能力，选择一定的标准、指标、变量进行比较评估和分级；主要针对主动适应实践策略开展的相关研究，就目前而言，适应性实践过程的研究还不普遍，至少在适应性标签或框架之下直接进行的针对性研究还不多。

但国际气候变化适应行动仍然存在很多不足，如发达国家与发展中国家的关系，虽然UNFCCC确立了发达国家对发展中国家的适应援助机制，但是建立高效适应行动的分歧和制约因素仍然存在，而且发达国家认为所有国家都应承担起责任，对援助内容、强度和援助范围并不完全认同。

## 2 减缓气候变化

如果气候变化越来越严重的话，适应性措施的花费也就越来越大，因而采取减缓措施是十分必要的。尽量使气候变化保持在可控制的范围内，同时也必须有相应的适应措施，以应对避免不了的气候变化。

在减缓气候变化的相应措施中，我们可以看出现在节能减排是一个热点问题，节能减排能有效的控制人类活动对气候的影响。目前国际上推出的二氧化碳减排的主要方案是联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）方案、G8国家方案、联合国开发计划署（UNDP）方案、经济合作与发展组织（OECD）方案、Garnaut方案、CCCPST方案和Srensen方案等七个方案。

减排我们主要从能源、交通、工业、建筑、林业等方面着手。

（1）对于能源，改善能源，提高能源的使用效率。

（2）在交通领域，则鼓励大家出门坐公交，这样可以改善汽车尾气排放量，当然汽车行业也在进行改进，进行低能耗的汽车研究。

（3）在工业方面，在某些城市实行特别的政策，该政策可以让工厂卖出其响应的碳排放量，利用卖得的钱购置新机器，这些新机器能有效节能减排，该政策的目的是政府鼓励工厂减排。

（4）建筑上，近几年很多展览会都展出了新型设计，如太阳能房屋、太阳能汽车等，而且我们也可以在今年上海举办的世博会上看到很多节能建筑，如瑞士馆，外部幕帷由大豆纤维制成，既能发电，又可自然降解；丹麦馆，立面设计以经济，节能为理念，在墙面上挖出的孔洞，不仅可以起到自然通风，调节光线的作用，而且可以提供夜景景观照明；英国馆，“种子”的六万根触须会像光纤那样传导光线来提供内部照明，营造一种出不同凡响的现代感和震撼力；秘鲁馆，外墙用可再生的竹子排列编织而成。

（5）林业对于气候变化有重要作用，林业是碳汇的重点。森林植物通过光合作用吸收二氧化碳，放出氧气，把大气中的二氧化碳以生物量的形式固定在植被和土壤中，这个过程就是“汇”。因此，森林具有碳汇功能。森林的这种碳汇功能可以在一定时期内对稳定乃至降低大气中温室气体浓度发挥重要作用。森林以其巨大的生物量成为陆地生态系统中最大的碳库。在适应与减缓全球气候变化中，森林具有十分重要和不可替代的作用。碳汇是指，一

国家可以通过到发展中国家实施造林再造林项目,所获得的碳汇(碳信用额度),可用于抵减本国的温室气体排放量。因而植树造林对减排的作用是十分重要的。

总之,节能减排可以从很多方面入手,当然这些方法都需要政府的支持,科学研究的支持以及资金的支持等等。

### 3 小结

无论是适应性措施还是减缓气候变化的措施,都需要大家共同努力,在应对气候变化时,政府是必不可少的。而且全球各国政府间的合作,更是十分必要。气候变化已是不争的事实,只有大家共同努力才能真正发挥气候变化适应性和减缓气候变化的措施。

中国正处在全面建设小康社会的关键时期,也处于工业化、城镇化加快发展的重要阶段,发展经济和改善民生的任务十分艰巨,在应对气候变化领域面临着比发达国家更为严峻的挑战。中国将继续以科学发展观为指导,坚定不移地走可持续发展道路,采取更加有力的政策措施,全面加强应对气候变化能力建设。气候变化问题是国际社会共同面临的挑战,解决气候变化问题需要世界各国和国际社会的通力合作。中国愿与世界各国一道,为实现全球可持续发展事业进行不懈努力,为保护人类共有的气候系统不断做出新贡献。

# 第七届气候系统与气候变化国际讲习班（ISCSI）学员心得

高红凯

中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 冰冻圈科学国家重点实验室

通过 12 天紧张的学习讨论交流，本人受益匪浅。六位国际知名的气候变化领域的科学家作为主讲人从气候变化研究的不同角度，阐述了气候变化研究的理论基础，研究方法，研究进展，气候系统的不确定性，气候变化对策与国际碳贸易等几个方面。Claude Boutron 教授的大师风范；Ned Helme 广博的知识；Klaus Fraedrich 教授谦谦君子的修养；Steven John Ghan 教授严谨治学一丝不苟的科学态度；John A. Ogren 教授的幽默与和蔼；Teruyuki Nakajima 教授的儒雅博学都给我留下了深刻印象。

7 月 22 日，Ned Helme 做了主题为“Global prospects for climate policy in the various global markets”的演讲，从气候政策的角度阐述了当今国际社会对待气候变化的态度不尽相同，具体介绍了欧盟，美国等主要国家都根据自身利益权衡利弊，维护本国的利益，在气候谈判中尽力争取本国权益。国际碳贸易可以理解为是为了兼顾控制排放总量和维护发展中国家发展权益达成的一种妥协，也可以理解为发达国家为了限制发展中国家发展设置的经济陷阱。通过演讲，我对国际气候谈判的大背景有了更清晰的认识，对我国在气候变化谈判中的处境有了更新的认识。7 月 27 日 Steven John Ghan 教授讲解的气候变化对高山区积雪影响的研究与本人研究领域接近，大致内容是：Ghan 选择美国西部、阿拉斯加州、青藏高原、阿尔卑斯山、北欧近极地地区、非洲乞力马扎罗山等几个典型山区，采用降尺度方法得到各个研究区未来的气温和降水变化，通过 CLM3 模型模拟了在气候变化背景下这几个典型地区的高山积雪变化情况。7 月 28 日，Teruyuki Nakajima 教授为我们做了主题为气溶胶遥感观测的报告，通过对他们研究小组工作的介绍我对遥感反演气溶胶的知识有了进一步的认识。讲解过程中还不时得穿插他们小组成员历经坎坷，最后终于通过自身努力在学术界取得成功的事例，激励我们不管现在所处的状态如何，只要努力就能取得成功。7 月 29 日，Teruyuki Nakajima 教授为我们介绍了气溶胶对气候系统产生影响的基本知识。水汽比二氧化碳有更强的温室效应，而且在大气中含量远远大于二氧化碳，为什么在辐射强迫项里没有水汽这一项？我也一直有这个问题，在 Teru 教授的讲解下终于豁然开朗，原来水汽没用被作为强迫项，而是作为气候系统的反馈项来考虑的，通俗点讲水汽的变化不是气候变化的原因而是气候变化的结果。然而问题远远没有这么简单，气候系统是一个高度耦合的负责系统，任何一个因素的变化都会对其他产生影响，因此水汽变化也是气候变化研究中一个不确定性很强的方面。

科学家们的讲解思路清晰，重点突出，还不时加些幽默调节气氛。在这些顶级科学家身上我看到了作为一名科学家应有的素养和自己的差距。介绍的内容都是这些大科学家最新的科研成果和学科前沿，教授们一点架子也没有，所有问题都一一详细解答。即便如此，对于我这个非气象气候专业人员来说，英文的讲解听起来还是很吃力的，即便是有中文的补充讲解，有些问题还是一知半解。当然了，通过几天的紧张学习、热烈讨论、良好互动，收获还是挺多的。下面就从本人感兴趣的角度谈一下通过本次讲习班自己对气候变化及其影响研究的进一步认识：

本人是的研究领域是寒区水文水资源，目前从事气候变化背景下青藏高原寒区水文水资

源的变化研究。由于水圈是地球系统非常活跃非常重要的圈层，水圈不仅仅是物质的循环同时还存在能量的流动，水圈与气候系统其他圈层间存在着紧密的联系，无时无刻不发生着物质能量的交换。寒区的水文研究相比其他地区，能量的作用更为明显。在全球变化的大背景下，寒区水文水资源如何变化？冰川消融，冻土退化，生态变化对水文水资源如何影响？寒区水资源的变化又会如何影响到冻土、生态甚至整个气候系统？在研究过程中，除了需要水文方面的知识外，还需要大量关于气象、气候、生态、冰川学、冻土学方面的知识，必须多学科交叉地从地学的各个角度去研究，否则只能是以偏概全。所谓的模型模式研究，无论是水文、大气还是陆面过程模型，都是对已有知识的高度概括总结，对地球系统或者子系统的各个要素进行综合研究。探求各个圈层，圈层内各个要素的关系，找出主要的影响因素，研究各个要素变化对输入的敏感性。才能在整体上对未来气候变化可能产生的影响进行定量的研究。

气候变化对水资源影响的研究目前大多通过开发分布式水文模型进行研究。分布式水文模型与以往系统水文模型和概念性水文模型的区别主要在于：分布式模型可以反映水文过程的区域差异；分布式的物理模型可以精确描述水文现象的物理过程，而不仅仅是考虑径流的模拟尽量接近实测值，忽略中间过程；由于分布式模型有物理机制，所以可以和大气模式、陆面过程模式耦合研究，通过大气模式的驱动来研究气候变化对水资源的影响，通过与陆面过程耦合研究气候变化导致的生态系统变化如何影响到水文水资源。

青藏高原寒区的水文研究有不同于其他地区的特点，目前尚没有适合青藏高原寒区应用的水文模型。究其原因有以下几点：1 青藏高原寒区水文学研究相比其他地区较晚，青藏高原恶劣的自然环境使得野外数据获取非常困难，数据积累相对较少，时间序列短，通常当有大量的数据积累时，才能进行模型的研究。2 寒区水文有不同于其他地区的独特特点，能量的流动在寒区水循环中起着重要作用，积雪的积累和融化，冰川的形成和消融，冻土的冻结和融化，都与寒区独特的气候特点有着密切的关系。由于大多数水文模型没有考虑到冰川和冻土对水文过程的影响，几乎所有的水文模型都不能直接应用于青藏高原寒区的水文模拟。3 相比其他地区的水文研究，寒区研究相对不足，只有美国、加拿大、俄罗斯和少数欧洲国家有类似研究，这对我们进行寒区水文过程的模拟研究既是挑战也是很好的机遇。

国内寒区水文研究关于冰川水文的研究较多，而对于面积在寒区占绝对优势的冻土区的水文研究较缺乏。本人计划在以后的研究中，针对目前青藏高原水文模型缺乏，不能很好得满足气候变化对青藏高原水文、水资源、生态、冰川、冻土研究的现状。开发适合青藏高原特点的分布式水文模型中，在该模型中耦合冻土、冰川等模块。使得新模型能够模拟这些特殊下垫面的水文过程，为气候变化对寒区水文水资源影响研究提供模型工具。

气候变化研究是当前科学界的前沿研究领域，是以地学为主，涵盖生物学、化学、物理学以及经济学、政治学、社会学等众多领域的交叉研究领域。可以说气候变化研究把地学带入了一个黄金时期，相信通过气候变化的研究，地学的发展一定会提升到一个新的高度。

感谢中国气象局给我们学员这样一个机会，聆听科学大师的指点，结交众多同行。相信气候系统与气候变化国际讲习班一定会越办越好！

# 黑碳气溶胶与气候变化

——第七届 ISCS 学习心得

高明杰 中科院寒旱所

**摘要:** 黑碳气溶胶是大气气溶胶中一种重要组成部分, 主要是含碳物质不完全燃烧产生的不定型碳, 它在可见到红外波段范围内对太阳辐射均有强烈的吸收, 它潜在的气候强迫效应已经成为气溶胶气候效应研究中的一个重要内容, 并受到世界各国科学家的关注。

**关键词:** 黑碳气溶胶 气候变化

## 黑碳气溶胶

根据化学组成, 气溶胶可以分为硫酸盐气溶胶、烟尘气溶胶、粉尘气溶胶、黑碳气溶胶和有机碳气溶胶等等。其中, 黑碳和有机碳成份主要是由于含碳燃料不完全燃烧排放出来的细颗粒物, 是大气气溶胶的重要组成部分。黑碳气溶胶(Black Carbon, BC) 又称元素碳(Element Carbon, EC)是碳气溶胶的一种, 具有强烈的吸光作用, 由于它与气溶胶其它组分的亲水性、化学稳定性以及光学性质等方面的差异, 近年来对它的研究越来越受到人们的重视, 尤其是在有关气候效应研究方面成为热点问题, 在气候外交方面也越来越突显其重要地位。美国总统布什曾多次引用Jacobson的研究结论——在直接辐射强迫中, 黑碳气溶胶是仅次于CO<sub>2</sub>之后的重要的大气增温成分, 可以部分地平衡其它人为排放气溶胶组分的净降温作用。刚刚出版的IPCC第四次评估报告(2007年)已经把化石燃烧黑碳气溶胶的研究列为气溶胶研究的重点内容。

中国黑碳气溶胶的排放和浓度比较高, Streets 等对中国黑碳排放量进行了估算, 指出全球大约 1/4 的人为排放源来自中国, 原煤及生物质燃料在中国的广泛应用是产生高排放量的原因。亚微型的黑碳粒子在大气中可以驻留几天到几周, 因而中国地区的黑碳气溶胶可以通过长距离输送对周边地区的气候和环境造成影响, 尤其是在全球气候变暖的大背景下, 中国黑碳气溶胶的排放和输送一直受到国外的关注。对中国区域黑碳气溶胶的输送以及气候效应研究有助于了解中国黑碳气溶胶排放和浓度分布特征, 有助于掌握我们国家黑碳气溶胶对世界气候变化的真正贡献, 同时, 也为我们自己在减排问题上提供科学依据, 做到有的放矢。

## 黑碳气溶胶的国内外研究现状

目前, 黑碳气溶胶的气候效应是黑碳气溶胶研究的一个重要方向。在模式计算黑碳气溶胶直接辐射强迫研究方面, 从 90 年代初期出现的利用一维简单辐射模式已发展到现在的三维全球模式, 并且也已出现通过模式研究黑碳气溶胶对云和降水的影响。在观测研究方面, 从气候变化研究角度出发, 国际上从 80 年代开展了大量观测实验, 如平流层及对流层上部的黑碳气溶胶观测、极地地区和海洋上空大气的观测研究, 90 年代以后多次连续进行的大规模国际性气溶胶观测实验, 如在北美地区进行的 RACE(Radiative Aerosol Characterization Experiment)、大洋洲地区的 ACE-I(Aerosol Characterization Experiment)、欧洲和非洲地区的 ACE-II(同 ACE-I)实验均将黑碳气溶胶作为重要的观测研究内容。在世界气象组织(WMO)全球大气监测网(GAW)的各监测站也普遍开展本底大气黑碳气溶胶连续观测。由于黑碳气溶胶辐射强迫作用的机制比较复杂, 辐射模式本身也还不很完善, 因此对黑碳气溶胶直接辐射强迫效应进行估算还不够精确。另外由于黑碳气溶胶在大气中停留时间相对温室气体较短, 其空间和时间分布也具有很大的差别, 全球仍缺少广泛、长期的黑碳气溶胶浓度观测, 有关黑碳气溶胶光学性质的参数、尺度分布、垂直分布以及与硫

酸盐等其他气溶胶混合方式的实验结果更是缺乏，不能为模式提供大量准确的实验数据基础，这也是造成全球辐射模式模拟结果还有很大不确定性的主要原因。至于黑碳气溶胶间接气候效应，其物理过程和作用机制则更为复杂，云辐射强迫模式模拟具有相当的难度，黑碳气溶胶垂直分布、尺度分布等观测资料更加匮乏，因此黑碳气溶胶对气候变化造成的间接影响具有更多的不确定因素。加强观测和模式研究，逐步地消除这些不确定因素，仍是今后黑碳气溶胶直接和间接气候效应研究中的一个亟待解决的核心问题。

近年来，对黑碳气溶胶的气候效应的研究范围得到了大幅度的扩展。Menon 等通过模式研究认为中国地区的 BC 排放与 2002 年之前的十年来中国地区“南涝北旱”现象有贡献，由此反映了黑碳气溶胶对区域性降水和水循环有影响。最近，Jacobson 和 Kaufman 等的研究表明，气溶胶对风速减弱有很大影响，并认为中国的“风消失”现象可能缘于中国地区气溶胶排放。一些科学家发现，沉降到冰雪表面上的黑碳气溶胶对冰雪反照率的使北半球平均降低约 0.1%。目前，IPCC 第四次评估报告中已经出现关于黑碳气溶胶对冰雪反照率的影响的评估，但还没有关于它的半直接作用的评估。最近，科学家们开始认识到气溶胶的辐射强迫可能对季风及其降水有极其重要的影响。Lau 等分别利用模式和观测的方法指出：印度次大陆及其周边地区沙尘和 BC 等吸收性气溶胶的增加，在青藏高原大地形作用下，可能导致印度北部季风降水的提前到来。而印度季风降水的增强有利于东亚梅雨带向北移动，从而抑制了 6、7 月份东亚及其邻近海域的降水。

与国外已有工作相比，我国黑碳气溶胶的研究相对还比较薄弱，在观测研究方面，我国于 80 年代中期开展了黑碳气溶胶的观测研究工作，但观测时间一般较短，仅限于北京、上海等少数城市或地区。自 90 年代起，观测实验在我国更广泛地开展，如汤洁等 1991 年在我国临安大气本底污染监测站、1998 年在拉萨地区进行了黑碳气溶胶的观测；1992~1994 年，我国在青海省西宁市西南方向约 90km、海拔 3810m 的瓦里关山上建立了我国第一个全球大气本底基准观象台，这也是世界上第一个位于欧亚大陆内陆地区的 WMO / GAW 监测站，黑碳气溶胶监测作为其中一项业务；2003 年 7 月、8 月以及 11 月至 2004 年 1 月，在北京大学物理楼顶使用两台黑碳仪 (Aethalometer) 和一台 TEOM1400a (Tapered Element Oscillating Microbalance) 进行观测气溶胶。

## 黑碳气溶胶的全球浓度分布

按照全球气溶胶数据集 (GADS) 给出的气溶胶年平均浓度的全球分布，图 1 给出本文计算的黑碳气溶胶质量浓度冬夏两季的全球分布，黑碳气溶胶质量浓度分布具有明显的季节和地理差异。陆地高于海洋，北半球高于南半球。冬季北极地区的浓度值较高是由于地处中纬的西欧、北美等城市和工业区排放的污染物向极地输送、转化和积累造成的，另外，冬季日光不足和极锋南移对其维持也起了重要作用。浓度最大值冬季高于夏季，与冬季北半球取暖、燃烧量增加有密切关系。冬季最大值  $1.555 \mu\text{g}/\text{m}^3$  位于西欧，夏季最大值  $1.244 \mu\text{g}/\text{m}^3$  同样也位于西欧。可见，西欧是世界上黑碳气溶胶浓度最大的地区，这与其他人的研究结果相同，可能与西欧工业发达、汽车多以及人口密集等因子有关。有研究表明，汽车尾气带来的黑碳气溶胶排放是大气，尤其是城市区域大气中黑碳气溶胶的重要来源。就东亚而言，黑碳气溶胶质量浓度大的区域主要位于大城市和重工业区周围 (如中国的中部、东部、华北和东北地区)，中国华北和东北排放的黑碳气溶胶向东输送影响朝鲜和日本等地。中国地区大气边界层黑碳气溶胶浓度最高值位于华北、华东，浓度随季节变化，冬季高、夏季低，冬季浓度高值区位于江苏省。上述结论与 GADS 的结果具有很好的一致性。



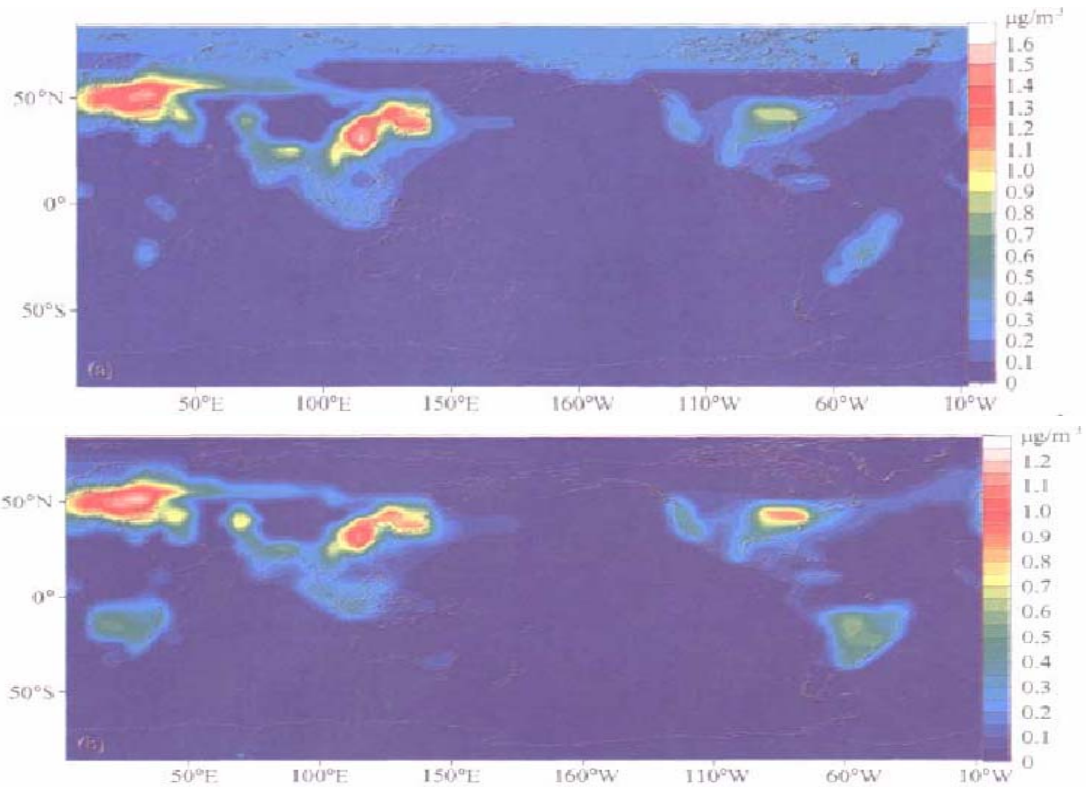
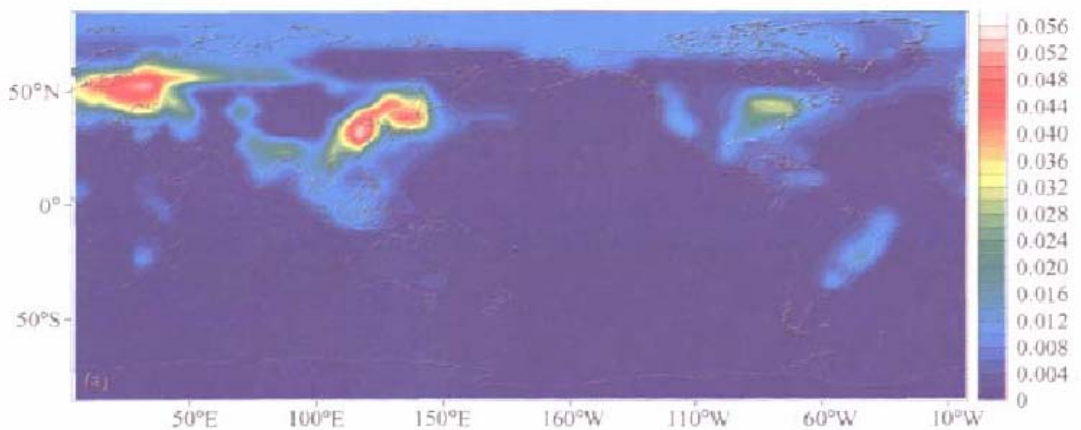


图 1 黑碳气溶胶质量浓度全球分布(单位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ): (a) 冬季; (b) 夏季

### 黑碳气溶胶的全球光学厚度分布

黑碳气溶胶光学厚度是利用 Nakajima 等给定的黑碳气溶胶的光学参数, 结合 GADS 给出的黑碳气溶胶的全球浓度分布, 由 Zhang 等改进的 BSTAR5C 辐射传输模式计算得到。图 2 给出可见光区间(0.45—0.83  $\mu\text{m}$ ) 黑碳气溶胶光学厚度在冬(12 月~2 月)、夏(6 月~8 月)两季的全球分布情况。可以看出: 黑碳气溶胶光学厚度分布具有明显的季节和地理差异。黑碳气溶胶光学厚度陆地大于海洋, 北半球大于南半球, 北半球中高纬地区大于低纬度地区, 冬季大于夏季, 与上述黑碳气溶胶的浓度分布基本呈对应关系。黑碳气溶胶光学厚度在冬季的地理分布特征为: 大值区位于人类活动密集的工业发达地区, 其中西欧、东亚、北美、中东地区都是黑碳气溶胶光学厚度大值区, 说明人类活动对黑碳气溶胶光学厚度的分布会产生较大的影响, 是使黑碳气溶胶光学厚度增加的主要因素。另外值得注意的是, 南亚地区黑碳气溶胶的光学厚度也比较大, 这大概与秸秆的燃烧以及交通工具的使用有很大的关系。



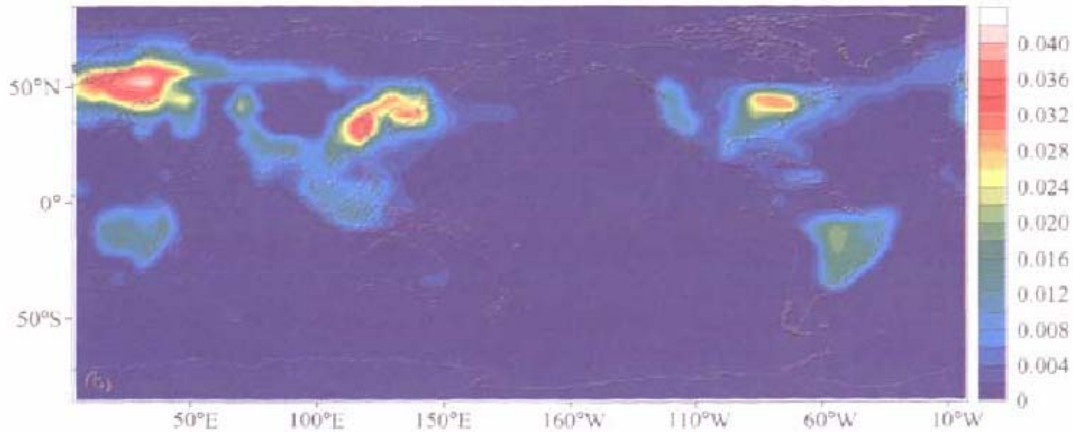


图 2 同图 1，但为黑碳气溶胶光学厚度(波长  $\lambda = 0.45 \sim 0.83 \mu\text{m}$ )

## 黑碳的测量方法

多年以来，黑碳的测量还都未能找到一种十分适合的统一方法，这是因为很难做到将气溶胶中的有机碳成分和无机碳成分完全分开。目前最常用的方法有利用热分离技术的热学法，基于黑碳光吸收特性的光学法，及其后来发展起来的热光法。

### 1. 热学法

热学法基于热分离技术，是最早分析黑碳的方法，早在 20 世纪 70 年代就有相关的研究，并为后来的热光法提供了有益的理论基础和实践经验。尽管热分离技术(Thermal method)具体分析手段不尽相同，但它们都是基于相同的原理，即将膜采集到的样品置于反应器中，然后在惰性气体或有氧条件下升温，不同碳质会在不同温度、气氛条件下发生挥发、氧化、热解及分解等过程。有机碳质成分可在温度  $350 \sim 850^\circ\text{C}$  时挥发，它可以被催化氧化成  $\text{CO}_2$ ，或分解成  $\text{CH}_4$ ，分别利用非散射红外分析仪或火焰离子化检测器可直接测量  $\text{CO}_2$  或  $\text{CH}_4$ ，而元素碳质只能在温度  $400 \sim 850^\circ\text{C}$  范围内和在有氧条件下氧化成  $\text{CO}_2$ ，同样利用上面所提到的检测方法检测  $\text{CO}_2$  的量，最终换算得到不同类型碳质的量，从而获得黑碳的环境浓度。

传统热学法可以同时测量样品中元素碳和有机碳成分以及它们在大气气溶胶中所占比例，设备简单，容易操作。热分学法中最大的问题是不能保证有机碳和元素碳能够彻底分离，而且在分离过程中会发生部分有机碳化合物碳化，造成测量结果的不准确；另外热学法中实验条件的不同会造成测量结果的差异，从而缺乏不同观测资料的对比性。热学法为了阻止热解过程中有机碳向元素碳的转化开展了不少工作，从简单升温的应用开始一直在不断改进和优化。

### 2 光学法

光学法是基于黑碳光吸收特性的测量技术。除去一些特殊的天气状况(如沙尘、扬尘)，黑碳是大气气溶胶最主要的光吸收体，对气溶胶总的光吸收贡献再 90% 以上(Hansen A. D. A. et al., 1993; Japar S. M. et al., 1986)。假设黑碳是颗粒物中唯一的光吸收体，光吸收量同黑碳的质量之间存在一定比例关系，因此，在测量单位质量黑碳的光吸收量的基础上，就可以计算出黑碳质量和相应的浓度值(Wo1lf G. T., 1981)。

光学法则具有实验操作迅速，不破坏样品等特点。但利用光学吸收特性计算黑碳浓度时也具有一定的不确定性，首先气溶胶颗粒吸收特性是排放源、颗粒物年龄、尺度分布等因素的函数；其次膜采样时可能会同时采集到少量同样具有光学吸收性质的沙尘和土壤等颗粒物；气溶胶表面存在的其它物质及颗粒后向散射作用也会对测量结果造成一定影响。

传统的光学法均需要将起气溶胶采集在采样膜上而后分析，采样时间一般持续 1-2 小时，而源排放率、大气输送和气象条件在这段时间内可能发生很大的变化，因此如果要进行

如同其它大气污染物监测一样的短期和连续分析就需要一种能够实时监测黑碳浓度的仪器。由美国玛基科学公司 (MageeScientificCo., USA)生产的 Aethalometer 黑碳仪,就是一种可以是实时监测黑碳浓度的仪器,在国内大气黑碳浓度测量中被广泛使用。同时 Aethalometer 黑碳仪仍可以利用热分离方法对仪器采样膜进行再分析,分析结果可以与仪器输出结果对比。虽然在很多观测实验中,Aethalometer 黑碳仪的测量结果显示出很好的一致性(Alien G. A. et al., 1999),但也存在一些需要改进的方面,主要问题是黑碳光吸收参数  $Q$  的取值。黑碳的年龄对其光学吸收特性有十分重要的影响,一般在远离污染的本底区域,黑碳的光学吸收常数较小,相反,接近城市地区,光学吸收常数较大。为了提高仪器的测量精度和准确度,今后需要根动的气溶胶光学实验结果和黑碳光学性质的研究,以便更为准确地确定黑碳仪的光吸收参数  $a$ 。

### 3 热光法

为了追求更高精度的测量值,在部分实验中出现结合光学吸收和热分离两种方法测量碳质气溶胶浓度的技术,即光热法,最先由 Novakov 等人在 1977 年提出 (Chow, et al. 1993)。此种方法集成了热分离法和光学测量法的特点,可对热分离过程中碳化现象造成的误差进行适当的调整,是国际上使用最多、公认较为成熟的 OC、EC 分析方法。现阶段光热法的代表是 EPA / NIOSH TOT 和 IMPROVETOR 方法(文献中常用 TOT、TOR 分别代表光学透射法和光学反射法),其代表性的仪器分别是美国 Sunset 实验室和沙漠所的碳分析仪。

两种仪器的实验原理基本相同,都是先在 He 载气的非氧化环境下逐级升温,其间挥发出来的碳被认为是 OC,然后再在 He / O<sub>2</sub> 载气下逐级升温,此间认为 EC 被氧化分解并逸出。整个过程都有一束激光打在石英膜上,其透射光(或反射光)在 OC 炭化时会减弱。随着 He 切换成 He / O<sub>2</sub>,同时温度升高,EC 会被氧化分解,激光束的透射光(或反射光)的光强会逐渐增强。当恢复到最初的透射光(或反射光)光强时,这一时刻就认为时 OC / EC 分割点,即:此时刻之前检出的碳都认为是 OC,之后检出的碳都认为是 EC。Sunset 实验室和沙漠所的 OC / EC 分析仪的精密度都在  $\pm 10\%$ ,最低检测限都是  $0.2 \mu\text{gC} / \text{cm}^2$ 。

虽然两种仪器的实验原理基本相同,所测得的 TC 也大体相当,但是 EC 结果缺相差很大。Chow 等在同一台 DRI 的 OC / EC 分析仪上使用相同的 IMPROVE 升温程序时,光学透射法测得的 EC 比光学反射法要低 30% (tg 就是纯粹的光透射校正和光反射校正的不同带来的差别),如果再分别采用 NIOSH 和 IMPROVE 升温程序,则光学透射法测得的 EC 比光学反射法要低 70-80% (Chow et al., 2004)。

## 黑碳的气候效应

大气气溶胶对太阳辐射强迫作用表现为以下两种方式:一种是通过气溶胶的光学散射和光学吸收特性直接作用于辐射强迫;一种是通过云微物理过程影响云凝结核、云反照率等要素间接作用于辐射强迫。在过去的二十多年里,科学家比较关注硫酸盐气溶胶负辐射强迫作用及其造成的降温作用,然而随着对黑碳性质认识的不断加深,人们发现黑碳在气溶胶辐射强迫直接和间接作用中也占有重要的地位,黑碳气候效应的重要性逐渐被人们所认识,成为气溶胶研究中的重点之一。根据近几年黑碳辐射强迫研究的模式模拟结果,IPCC 报告指出黑碳能够导致正的辐射强迫,同硫酸盐气溶胶混和在一起,会极大地削弱气溶胶的负辐射强迫,尤其是在地表反照率较大的北半球地区,这种作用更为明显。

气溶胶的辐射强迫是双向的,既有负辐射也有正辐射,总体来说气溶胶对全球的辐射平衡是负强迫。但由于黑碳在可见到红外波段范围内对太阳辐射有强烈的吸收作用,可以将直接吸收到的太阳辐射能量转化为周围大气分子的内能,增加地一气系统吸收到的太阳辐射能量,进而对大气起到增温作用。由于黑碳和硫酸盐气溶胶的排放源具有一致性,在全球气候模式中研究气溶胶辐射强迫作用通常是同时考虑这两种气溶胶。实验研究表明,大气中的黑

碳通常是同硫酸盐等其它气溶胶混和存在, 并且有外部混和(不同成分气溶胶颗粒以分离的个体存在)和内部混和(如以黑碳为内核外层覆盖有硫酸盐等其它气溶胶)两种方式。黑碳和硫酸盐气溶胶的光学性质完全不同, 以外部混和方式存在时, 两者的辐射强迫作用相反并相互抵消; 如以内部混和方式存在, 两者物理化学形态相互影响, 使得混和后的光学性质变得更加复杂。Schult I. 等人假设黑碳和硫酸盐气溶胶以外部混和方式存在, 通过模式计算了它们对全球辐射收支平衡的影响, 结果显示黑碳的存在可以降低气溶胶的降温作用, 在某些地区, 黑碳的存在可以造成气溶胶负辐射强迫到正辐射强迫的改变, 导致一个净的增温效应。Kirkevåg A. 等人利用模式研究了 1988 年四月气溶胶的直接辐射强迫时发现: 由于黑碳的存在, 南非地区气溶胶总直接辐射强迫可以达至  $U+2w \cdot m^{-2}$ , 北极地区也存在  $+0.4 W \cdot rn^{-2}$  的气溶胶总直接辐射强迫。如果黑碳和硫酸盐气溶胶以内部混和方式存在, 黑碳的光学吸收作用会变得更加大, 进而在全球范围内更大尺度地削弱硫酸盐气溶胶的负辐射强迫 (Haywood et al., 1995; 张瑛高庆先, 1997)。

气溶胶存在三种不同的模态, 即核模态 ( $D_p < 0.1 \mu m$ ), 积聚模态 ( $0.1 \mu m < D_p < 2.0 \mu m$ ) 和粗模态 ( $D_p > 2.0 \mu m$ )。Berner A. 等人通过实验研究发现, 黑碳粒子粒径一般在  $0.01 \sim 1 \mu m$ , 其粒径中值为  $0.1 \sim 0.2 \mu m$ , 积聚模态是其在大气中存在的最主要模态。积聚模态气溶胶是最有效的云凝结核, 因此黑碳可以作为云凝结核进入云中, 改变云滴尺度分布和云的光学特性。尽管新生黑碳由于疏水性并不是有效的云凝结核, 但黑碳在大气中的寿命较长, 在大气传输过程中, 其表面会通过微物理和化学作用发生改变, 如捕获二次污染物(硫酸盐、有机酸)而变成亲水性的云凝结核, 从而降低云凝结核所需要的过饱和度, 进一步改变云的反照率而间接影响地球和大气之间的辐射平衡。运用见到模式和近似条件, 研究估算出云中的黑碳辐射强迫为  $+0.07 W \cdot m^{-2}$ 。但是由于气候效应模式模拟及云中黑碳气溶胶观测难度较大, 目前黑碳间接效应的量化还仅限于初步研究阶段, 模拟结果仍待进一步验证。

近几十年以来, 我国东部地区在夏季有一个明显的气候变化趋势, 那就是南方地区的涝灾和北方地区的旱灾发生日益频繁, 其频度为自公元 950 年以来之最, 也是一千多年以来降水量方面最大的变化。2002 年 Menon 等人通过气候模型模拟研究, 认为由于煤和生物质燃料的燃烧造成黑碳的大量排放改变了区域大气的稳定性和垂直运动, 进而影响了区域的气候变化。根据罗云峰和邱金恒等人的研究, 近十年来黑碳造成了我国华北地区上空大气的光学厚度和能见度的明显下降。

## 黑碳研究需待解决的问题

黑碳是大气气溶胶的重要组成部分, 是大气中对太阳辐射具有强烈吸收作用的重要成分。进行大气黑碳观测, 发展黑碳排放清单, 改进黑碳辐射传输模型, 研究黑碳在大气中分布、传输、沉降的规律以及对大气的辐射强迫作用, 这些研究工作对区域和全球气候变化等研究具有重要的意义, 同时对改善大气环境、维护公众健康也具有十分现实的积极作用。

尽管在许多方面, 黑碳研究取得了一定的进展, 但由于黑碳的复杂性, 目前还存在很多问题需待解决, 有很多工作需要进一步深入研究。(1) 黑碳测量技术: 目前全球有关黑碳的观测仍十分缺乏, 观测方法也不统一, 这给黑碳研究造成了一定的困难。对黑碳的采样、监测、分析等建立国际统一的标准工作方法, 是黑碳研究的重要任务。除了需要进一步完善黑碳浓度观测研究, 国内更需要加强黑碳排放的测量, 改进测量的方法, 特别是生活燃烧设备中黑碳排放测量。(2) 黑碳排放清单: 黑碳排放清单是进行黑碳模式模拟的基础, 很多专家对此做了大量研究工作, 但由于复杂的排放情况和有限的测量技术, 全球和地区黑碳排放清单还存在很多问题, 如排放量估算不准确、时空分辨率不高等等。由于我国黑碳的排放量在全球范围内比较大, 且排放特点与国外有较大差异, 国内在这方面研究非常有限, 因此很有必要开展系统的黑碳排放清单编制工作。(3) 模式模拟: 由于黑碳的复杂性, 它在大气物理、

化学和云雾物理等过程中具体作用以及作用机制具有很大的不确定性。需要开展黑碳作为云凝结核能力的实验研究和微物理机制的理论研究，进而估算黑碳作为云凝结核进入云滴后，以系列连锁反应下云对气候改变的作用，达到最终解决黑碳气候效应的不确定性；黑碳全球分布的准确计算需要传输模式的进一步改进；黑碳的直接辐射强迫及其气候效应的模式研究仍需要加强、改进和验证。(4)黑碳的环境与气候影响：虽然对黑碳的气候效应有了初步的了解，但还不能准确量化黑碳在大气中的增温效应；黑碳对降水分布和旱涝灾害等方面的影响研究十分有限；黑碳在大气化学转化尤其非均相转化过程和气-粒转化过程中的作用还不是了解；黑碳对大气能见度和能见度的影响作用也不是十分明确；城市地区黑碳对人体健康的影响研究也很少。在我国，黑碳的排放量比较大，很有必要深入进行黑碳气候效应和环境影响方面的分析研究。

## 后记：

为期 12 天的第七届气候系统与气候变化国际讲习班圆满结束，在这次学习过程中，通过各位国际专家的面对面的讲解，我了解到更多的科研前沿，提高了我对气候变化研究的认识，拓展了我的科研视野，同时，他们的科研精神和人格魅力也深深的打动了我。Prof. Dr. Claude Boutron 的坚忍不拔，Ned Helme 的政治眼光，Claus Fraedrich 的风趣幽默，Steven J. Ghann 的严谨，John A. Ogren 的不拘泥形式和 Teruyuki Nakajima 的睿智使我明白：做一名称职的科学工作者不是件容易的事情，我需要付出更多的努力，为科学发展尽自己的一份力。此外，通过这次全英学习，我认识到了自己的不足，我的英语也得到锻炼和提高。在此，我感谢给我提供这次学习机会的国家气候中心和我的老师。在以后的学习中，我定会加倍努力，为科研事业，为国家尽一份绵薄之力。

# 区域气候模式的研究进展及应用

古月

南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

**摘要** 回顾了区域气候模式RegCM的发展历史, 对RegCM3模式目前在国内外的应用情况进行了总结, 指出区域气候模式的研究有了长足的发展, 但也存在许多不足, 如对中国降水的模拟存在大的偏差。

**关键词** 区域气候模拟 RegCM3 模拟

## 引言

近百年来, 地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的变化, 特别是最近几十年, 气候变化得到了越来越深入的研究和广泛的认识。气候具有明显的区域性特征, 区域气候及其变化直接影响着人类的生活。区域气候的成因是多方面的, 大尺度背景场的影响在某种程度上起主导作用, 但特殊地形和下垫面特征, 往往造成区域气候的特殊变化规律。我国具有许多独特的地理特征, 地形、地表状况复杂, 同时又地处东亚季风区, 气候的季节变化和年际变化都非常显著。同时, 灾害出现的频数也很高, 每年都给我国带来巨大的经济损失。因此加深了解我国区域气候的年际变率, 提高模式对区域气候的模拟能力和区域级短期气候预测的能力是十分必要的, 也是有重大意义的。

气候模式是未来气候变化预估工作中重要的工具。目前用于气候模拟研究的主要有大气环流模式(GCMs), 海气耦合模式(CGCM)以及区域气候模式<sup>[1]</sup>。但由于全球模式的水平分辨率较低, 难以较细致地模拟出时间空间尺度范围相对较小的区域气候的具体特点。与全球环流模式相比, 区域气候模式的分辨率有了很大的提高, 模式能够模拟出更为合理的区域性强迫作用, 如地形、河流/湖泊、城市建筑等。目前大部分区域气候模式都采用了数值天气预报模式的动力框架, 如美国国家大气研究中心(NCAR)第二代区域气候模式(RegCM2), 意大利国际理论物理中心区域气候模式(RegCM ICTP), 中国气象局国家气候中心区域气候模式(RegCM-NCC), 西北太平洋国家实验室区域气候模式(PNNL-RCM), 中国科学院大气物理研究所区域环境系统集成模式(RIEMS)均采用了滨州大学/美国国家大气研究中心(PSU/NCAR)的中尺度数值天气预报模式MM4 或MM5 的动力框架, 其动力结构更为准确合理, 从而较传统的统计方法更显其动力连续的特性。此外区域气候模式中的物理过程也更加详细, 包含了陆面和水文过程、边界层、云和降水、云-辐射相互作用, 部分还包含了大气化学过程。模式能够在一定程度上再现出地表温度和降水的平均日变化特征, 这是粗分辨率的全球环流模式无法比拟的。特别是由于选取的空间区域小, 区域气候模拟省时的经济效益尤其突出, 计算量也比全球环流模式有所减少。

## 1 区域气候模式RegCM发展过程

全球环流模式的出现, 使数值模拟有了长足的发展。但由于计算条件的限制, 它们的分辨率一般较低(100-几百km以上), 不能适当的描述复杂地形、地表状况和某些物理过程, 从而在区域尺度的气候模拟及气候变化试验等方面产生较大偏差, 影响可信程度。通过缩小模式网格距, 提高模式分辨能力, 可以在一定程度上改进模拟能力。但对于全球环流模式来说, 这将大大增加计算时间。为解决计算机能力和区域气候模拟要求的矛盾, 除了利用统计降尺度方法(statistical downscaling)对全球模式结果进行统计方法上的修正外, 而对于模式

本身,目前有两种方法可供选择。一种是变网格模式,即把一个全球大气环流模式根据研究问题的需要,在不同区域取成不同的分辨率,在所关心的区域增加其水平分辨率,对于远离研究的区域则取较低的水平分辨率,这样能够提高模拟特定区域气候的能力<sup>[2-3]</sup>。但由于方法的复杂性,使得其使用受到一定的限制。目前得到广泛应用的是另一种方法,即直接使用区域气候模式进行区域气候的模拟(即动力降尺度方法)。使用有限区域模式进行区域气候研究的想法,最早由Giorgi等<sup>[4]</sup>提出。其原理是将全球环流模式模拟的结果或大尺度气象分析资料作为初始场和边界条件,提供给区域模式,再用它来进行选定区域的气候模拟,以揭示大尺度背景场下区域气候更准确、更详细的特征。区域模式与全球模式的嵌套有单向和双向嵌套两种,前者是指区域模式的模拟结果不回馈给全球模式,后者相反。现在使用较多的是单向嵌套方法。

80年代末,第一代区域气候模式RegCM在中尺度模式MM4基础上建立,其动力框架源于MM4,为可压的、静力平衡的有限差分模式,垂直方向采用 $\sigma$ 坐标。随后又添加显式分离时间积分方案和减小在陡峭地形下水平扩散的算法。模式包括陆面过程方案BATS、NCARCCM1辐射传输方案、中分辨率行星边界层方案、Kuo积云对流参数化方案、显式水汽方案。之后,Giorgi<sup>[5]</sup>等和Bate<sup>[6]</sup>等于1993年对RegCM1进行了扩充和改进,形成了RegCM2。RegCM2是基于NCAR CCM2和中尺度模式MM5基础上的。它采用Holtslag的非局地边界层方案,增加了Grell<sup>[7]</sup>积云对流参数化方案,应用新版陆面过程方案BATS1e,在其它方面的改进包括采用显示分离算法计算重力波以节约计算时间等。RegCM2形成后,模式在气候和气候变化各领域及世界各地得到了广泛研究和应用。同时,模式本身也在不断地完善和发展,意大利国际理论物理中心(ICTP)又于2003-2004年间,形成新版本的RegCM3。新版的模式在物理过程上的主要改进为:使用CCM3辐射传输包,改进了大尺度云降水、积云对流和海表能量参数化方案,同时引入了马赛克方法处理次网格点地形和Landuse非均匀性。此外,用USGS的全球陆地覆盖特征和全球2'-60'多种高度数据创建模式地形,使模式能更精确地表示出下垫面的状况,在输入数据方面,RegCM3采用了更细致的地形和植被资料等。同时在计算方面采用并行算法,极大地提高了计算效率<sup>[8]</sup>。

## 2 对区域气候的模拟能力

### 2.1 国外的工作

Pal等<sup>[9]</sup>用区域气候模式RegCM3对欧洲1994年10月到1995年8月间冬夏两季的气温和降水进行模拟,模拟结果表明模式能较好地模拟出温度和降水的分布,极值中心与实况十分吻合,但对降水量的模拟偏大。另外,作者还对东亚季风区冬夏两季的季节性降水和降水月变化情况进行了模拟分析,发现模式对季节性变化和月变化有很好的模拟效果,对降水量的模拟同样偏大,尤其是在冬季。

Dash<sup>[10]</sup>等利用区域气候模式RegCM3对南亚地区1993-1996年4-9月印度夏季风的环流特征及其降雨进行模拟,着重研究了印度地区800hPa和200hPa风场的特征,500hPa温度、地表气压和降水的特征。同时将对季风环流的模拟与NCEP/NCAR再分析资料对比,对降雨的模拟与GPCC(Global Precipitation Climatology Centre)和IMD(India Meteorological Department)实测资料对比发现,模式对风场和温度场的模拟与NCEP/NCAR再分析资料相近,同样地,模拟的ISMR(Indian Summer Monsoon Rainfall)与观测值吻合,模式模拟的印度夏季风环流偏弱。为了测试模式对陆地表面变化的响应(如青藏高原积雪)作者还进行了一项敏感性试验。在试验中,将春季NIMBUS-7 SMMR雪深数据作为RegCM3模式的初始条件。结果显示RegCM3对青藏高原积雪有很好的敏感性。

EAAfiesimama<sup>[11]</sup>用区域气候模式RegCM3对西非季风的平均态和年际变化的模拟结果显示,模式对平均降水和极端降水事件有很好的模拟能力,除了对几内亚沿海的降水模拟存在

偏多、Soudano-Sahel降水模拟偏少。

## 2.2 国内的工作

### 2.2.1 东亚环流和中国气候的模拟

东亚环流是全球大气环流的重要组成部分，同时因所处特殊地理位置和复杂的地形分布，使得东亚环流在遵从全球大气环流共同规律的同时，具有其独特性。如季节突变性明显，冬夏环流形势差异较大等。同环流的季节突变相联系，中国气候也表现出明显的季节转换特征，主要包括雨带和温度的季节变化等。具有模拟东亚环流季节变化特征能力的模式，才有可能较好地模拟出中国的温度、降水气候特征。

张冬峰等<sup>[12]</sup>使用RegCM3区域气候模式，嵌套欧洲数值预报中心ERA40再分析资料，对东亚地区进行了15年(1987-2001)时间长度的数值积分试验，通过模拟与实况资料的对比，检验了其对于东亚和中国地区气候的模拟能力。检验的模拟量主要包括模式高层的高度场、温度场、湿度场和模式地面场中的气温和降水要素等。结果表明，模式对东亚平均环流的特征和中国地区降水、地面气温的年、季地理分布和季节变化特征均具有一定的模拟能力，对气温和降水年际变率的模拟也较好。此外模式模拟在测站稀少地区，可以提供局地如降水分布更可靠的信息。模式对气温的模拟存在1-3℃的系统性冷偏差；对中国地区降水地理分布的模拟也存在一定偏差，如对年平均降水的模拟中，降水最大值位置与观测有一定差距，特别是对冬季降水中心的模拟存在较大偏差。模式模拟的夏季降水，在中国北方地区总体偏大100-200mm，南方总体偏小100-200mm。模式对地面气温的模拟效果好于降水。

张冬峰<sup>[13]</sup>等利用RegCM3模式对整个中国及周边地区多年平均气温和降水进行研究，用国家气候中心制作的由中国743个气象站插值得到的风格点气温、降水作对比。结果表明模式对年平均地面气温分布的模拟较好。模式模拟出的中国东部地形平坦区北冷南暖和西部受地形影响形成的垂直气候带与实况相吻合，同时模式还模拟出了测站稀少地区的温度分布特点。模式对中国各季节平均气温分布的模拟也较好。地面气温模拟的误差主要为区域内普遍存在的模拟温度数值偏低。除去大地形及其附近地区，对年平均气温而言，冷偏差主要位于中国南方，幅度在1-2℃之间。模式对中国降水自东南向西北递减的层次模拟得较好。中国东部模拟的750mm和1000mm等雨量线与实况一致，在天山、昆仑山、祁连山、青藏高原东侧及雅鲁藏布江大拐弯等地区模拟出的大降水中心也与实际情况相吻合。在许多站点稀少的地区降水的模拟结果可以弥补实况资料的不足，更好地描述局地气候。

### 2.2.2 西北极端干旱事件的模拟

我国西北地区位于亚欧大陆腹部、与青藏高原相连，海洋上的暖湿气流难于到达。在各种因素的作用下，西北地区成为我国也是世界上最干旱的地区之一。而干旱导致的水资源匮乏给西北地区的工、农和牧业造成了巨大的障碍。为了开发西北地区，推动西北地区的经济发展，很有必要对西北地区气候进行模拟研究。

鲍艳<sup>[14]</sup>等采用ICTP(International Center for Theoretical Physics)在NCAR的RegCM2基础上发展的第三代区域气候模式RegCM3对2001年夏季西北地区极端干旱事件进行了模拟。模式能很好地再现西北地区主要的环流特征和温度及降水的变化情况。对于环流的模拟偏差主要在于对高原上低压中心的模拟范围偏小，对西北东部对流层低层位势高度的模拟偏高。区域平均的温度模拟存在着1~3℃的冷偏差，偏差产生的原因与地表净辐射的负偏差有关。月降水量模拟远远偏大，最小的百分比偏差也达到了30%。对区域平均的气温模拟(包括日、月平均)均出现系统性偏低，全区区域平均的温度偏低1~3℃。模拟结果同时表明，由于受模式初始场的影响，6月降水和气温的模拟效果最差。RegCM3的模拟中还存在着许多问题，必须开展进一步的工作来提高模式的模拟效果，减少偏差。

## 3 存在的问题和发展趋势<sup>[15]</sup>



通过回顾区域气候模式发展过程及应用情况,发现近年来区域气候模式研究取得了很大的进步,但RegCM3对中国气候的模拟仍然存在许多问题:

(1) 模式所提供的植被资料与中国的实情相差很大,还需通过卫星遥感反演等各种手段来细化植被资料。

(2) 对于西北干旱区如新疆,雪水补给是十分重要的补给来源,但雪盖模式并不完善,不能很好地刻画融雪的气候效应。

(3) 对于沙漠地区的植被盖度的算法并不合理,百分之二十的植被与全部算为沙漠的植被类型对于干旱区意义绝不相同。

(4) 对次网格地形及对其湍流通量输送的过程的刻画并不细致。

因此,未来区域气候模式研究应注重以下几个方面工作:

(1) 对气候典型区如西北干旱区进行大尺度野外观测。

(2) 利用遥感手段采用非线性方法(如分形等)对遥感资料进行反演。

(3) 进行多尺度的双向模式嵌套,如GCM与区域气候模式的双向嵌套、陆面模式与区域气候模式的双向嵌套、沙尘暴模式与区域气候模式的嵌套等。

## 4 感谢

为期12天的“第七届气候系统与气候变化国际讲习班”圆满结束了。本届讲习班邀请了来自美国、法国、德国、日本的六位知名专家执教,授课内容涉及冰冻圈在气候系统和气候变化中的作用、大气化学与气溶胶、地球生物化学循环、气候模式在气候变化研究中的应用、气候变化的减缓与适应对策等领域的前沿。专家们的精彩授课使学员们在对气候系统与气候变化的现状有了非常全面了解的同时也提高了英语听说能力。我作为一名研究生,专业知识有限。本届讲习班使我开拓了眼界,了解了学术前沿,为我以后的研究工作指明了方向。非常感谢国家气候中心举办的这次讲习班,以后我也会积极参加这类有意义的学术活动。

## 参考文献

- [1] 王绍武. 气候模拟研究进展. 气象, 1994, 20(12):9218
- [2] Deque M, C Dreveton, A. Braun et al. The ARPEGE/IFS Atmosphere Model: A Contribution to the French Community Climate Modeling. Clim. Dyn., 1994, 10:249-266.
- [3] 沈桐立, 温市耕, 陈子通等. 中尺度业务模式系统侧边界嵌套方法的研究. 南京气象学院学报, 1995, 18(3): 368-375.
- [4] Giorgi F. Simulation of regional climate using a limited-area model nested in a general circulation model. J. Climate, 1990, 3(8):941-963.
- [5] Giorgi F, Bates G T. The climatological skill of regional model over complex terrain. Mon. Wea. Rev., 1989, 117(11):2325-2347.
- [6] Bates G T, Giorgi F, Hostetler S. Towards the simulation of the effects of the great lakes on regional climate. Mon. Wea. Rev., 1993, 121(5):1373-1387.
- [7] Grell G. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. Mon. Wea. Rev., 1993.
- [8] Nellie Elguindi, Xunqiang Bi, Filippo Giorgi, et al. RegCM Version 3.0 User's Guide.
- [9] Jeremy Pal. Examples of simulations with the latest version of the RegCM. Reported on the "ITCP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate

Model”, ICTT ,Italy ,2003.

- [10] K. Dash, M. S. Shekhar, G. P. Singh. Simulation of Indian summer monsoon circulation and rainfall using RegCM3. *Theoretical and Applied Climatology*, 2006, 5 (1) : 161-172.
- [11] EAAfiesimama, J Pal, B J Abiodun, WJ Gutowski, A Adedoyin. Simulation of west Africa monsoon using the RegCM3. Part I: Model validation and interannual variability. *Theoretical and Applied Climatology*, DOI:10.1007/s0070420052020228, 2006.
- [12] 张冬峰, 欧阳里程, 高学杰, 赵宗慈. RegCM3对东亚环流和中国气候模拟能力的检验. *热带气象学报*, 2007, 10 (5) : 444-452.
- [13] 张冬峰, 高学杰, 赵宗慈, Jeremy S. PAL, Filippo GIORGI. RegCM3区域气候模式对中国气候的模拟. *气候变化研究进展*, 2005, 9 (3) : 119-121.
- [14] 鲍艳, 吕世华, 陆登荣, 侯瑞卿. RegCM3 模式在西北地区的应用研究I: 对极端干旱事件的模拟. *冰川冻土*, 2006, 4 (2) : 164-174.
- [15] 陆其峰, 潘晓玲, 钟科, 李永东. 区域气候模式研究进展. *南京气象学院学报*, 2003, 8 (4) : 557-565.

# 关注气候变化，关注生存环境

郭玲

南京信息工程大学，南京 210044

气候是人类赖以生存和发展的自然环境的重要组成部分，其任何变化都会对生态环境、社会环境以及人类的日常生活产生重大的影响。纵观人类社会的发展，我们可以得出结论，在气候温暖适宜的地区集聚着人类的文明和发展。当今的气候变化向我们提出了一个实实在在的挑战：在全球变暖的大背景场下，全球海平面上升、降水模式变化、极端天气频发，人类的生活环境受到一波又一波的挑战，全球气候异常也严重影响了社会经济的发展和科学的进步。我们应该如何应对目前的形势，如何应对全世界有可能遭遇的新一轮灾害的袭击，这就需要全球公民都来关注全球的气候变化，爱护我们的生存环境。

引起气候变化的原因可以分为两类：自然原因和人为原因。自然因素指的是日地关系以及气候系统内部的相互作用与反馈过程，比如太阳活动、火山活动以及海洋、大气、陆面、冰雪等气候系统各子圈层之间的相互作用等。人为因素是由于人类活动，如化石燃料的燃烧所产生的大量二氧化碳和其他温室气体排放到大气当中，增强了地球的温室效应，从而引起了全球气候的变暖。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发表了关于全球气候变化的科学评估报告中指出：在过去的100多年，尤其是近50年来，由于人类活动造成的温室气体排放在大气中的浓度超出了过去几十万年间任何时间。温室气体的过量排放使得过去140年中全球平均气温升高了 $0.4^{\circ}\text{C}\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ，达到了近1000年来的温度最高值。与此同时，北半球中高纬度河湖结冰期缩短约2周；北极海冰近几十年减薄40%，春、夏季范围减少10%—15%；冰川大范围退缩，总面积比60年代末减少10%；极区永久冻土带消融、变暖和退化。而这100年也是人类工业革命发展最为迅猛的百年，是人类最赖以自豪的百年。

在气候变暖的情况下，目前全球正处于极端天气气候事件的频发期。2008年冬季中国南方遭遇了百年不遇的冰冻雨雪天气，而在近百年来从不下雪的中东地区也下起罕见的暴雪，美国、欧洲也相继遭遇大雪的影响；从2009年9月到今年3月中旬，我国西南地区长时间高温少雨，出现了有气象记录以来最严重的

秋冬春连旱；随后的5月份，江西、浙江等地罕见的早汛拉开了南方强降雨的序幕，截至6月底，江南、华南主要多雨区平均降雨量已达829.8毫米，降雨量之多为历史同期第一位。近几年我国华西出现罕见的高温干旱天气，我国东部地区几乎每年都出现了超强台风，华北地区自上世纪末到本世纪初就发生过持续的干旱少雨。气候变暖会导致许多极端天气气候事件的增多。在几乎所有的陆地，非常可能出现酷热日数和热浪增多；极端的降水量值和频率在许多地区非常可能上升；另外，台风虽然没有明显增加的趋势，但强台风出现的频率增加。

气候变暖意味着蒸发量要加大，大量的水汽融到空气当中；此外，全球变暖，地面和海洋的温度也升高了，就使大气当中不稳定的能量也在增加，这种不稳定能量越大，台风的强度就会越强，强对流天气也会越强，甚至连大气中的电场强度也会增强。而无论是大气里面所含的水汽量、不稳定能量还是电场强度，一旦都比以往来得更大，就极易产生强对流天气和极端天气事件。所以，极端天气气候事件发生的频率在增加、强度在增大，与全球气候变暖有着直接的关系。

目前，我国每年受台风、暴雨、干旱、高温热浪、沙尘暴、雷电等重大气象灾害影响的人次达到了4亿人。尤其是这几年，在全球变暖的大背景下，超强台风、高温、特大干旱、雷电、局地强对流，以及极端天气事件发生的频率和强度都表现出增加的趋势，最明显的就是夏季洪涝和干旱。中国夏季降水年际变化的规律比较复杂，且各种预测因子之间的相互作用过程更复杂，这就加大预测难度。目前，对于我国平均汛期降水的短期气候预测水平，无论是基于统计模式还是动力模式，其预测水平都不高。然而夏季降水的多寡对于我国的民生、经济发展等有至关重要的影响。中国夏季降水年际变化的规律比较复杂，单一的因子无法解释中国夏季降水的主要特征和年际变化，需要综合考虑多个因子的影响。已有的诸多研究表明，影响中国夏季降水年际变化的物理过程和影响因子有很多，例如：东亚季风、西北太平洋副热带高压、海温、ENSO、PDO、北极海冰、大陆高原积雪、地表热状况、前期环流AO变化等等。由于气候本身是变化的，不同年代际背景下影响中国夏季降水变化的因子表现出显著的差异性质（例如大陆温度和海洋温度）。研究表明，在20世纪70年代中期前后，赤道东太平洋海温、东亚夏季风和大气环流均发生了显著的突变，且太平洋海温与东亚夏季风的相互关系在这一时期前后也出现了间断。由此可知，在不同的年代际背景下，某一因子与降

水的关系可能有所不同，这就需要在气候变化的背景下考虑因子对降水的权重。

气候变化也增加了疾病发生和传播的机会，导致对健康的危害。气候变化是当前人类面临的最大和最紧迫的问题之一，关乎人类的生存，几乎每个地区都无法逃脱气候变化所带来的持续影响。全球关注气候变化，采取减轻气候变暖趋势的措施势在必行，为此国际社会也做出了巨大的努力。自 20 世纪 80 年代后期开始，召开了一系列有政府首脑出席的高层次国际会议，研讨了全球气候变暖问题和对策，全面发动全球气候变化的研究。2009 年 12 月份在哥本哈根举办的联合国气候变化大会最终虽未达成各方满意协议，但向低碳经济的全面转型却已经成为必然选择。从政府机构到民间组织，从企业到个人，都将被深深卷入其中。根本而言，绿色低碳不仅仅是需要去郑重承担起来的一份责任，它同时也意味着一种新的发展机会，新的生活时尚。低碳革命势在必行，低碳革命已经开始。“熄灯一小时”，“骑车上下班”，世界各地的环境爱护者正在以自己的实际行动提醒人们关注全球气候变暖带来的挑战，呼吁大家尽快采取行动。

中国在应对气候变化方面也采取了相应措施，计划到 2020 年将我国单位 GDP 的碳排放强度在 2005 年的基础上降低 40%—45%，并将其作为约束性指标纳入今后中长期的国民经济和社会发展规划，同时制定相应的国内统计、监测、考核办法。这是我国根据国情采取的自主行动，是我国为全球应对气候变化做出的巨大努力。中国要转变经济增长方式、调整经济结构，向低碳经济转型已经成为当务之急。在经济危机和气候危机带来的双重挑战面前，我们主动应对改善环境问题，形成一个资源节约、环境友好的经济发展模式。对全人类来说，气候是我们赖以生存的环境，地球是我们共同的生活家园，关注气候变化，爱护生存环境需要每个人的努力，从我做起，保护自然，善待地球。

# 浅谈气候变化的不确定性

郭元喜

(北京师范大学 资源学院, 北京 100875)

很荣幸有机会参加第七届气候系统及气候变化国际讲习班, 每一位老师的精彩授课都令人如沐春风、受益匪浅, 这里仅就讲座中普遍涉及的气候变化问题的不确定性进行简单探讨, 目的在于正确认识我们的责任, 更好的为减缓和适应气候变化、保持经济社会可持续发展服务。

虽然减少温室气体排放、应对气候变化已经在国际科学舞台、政治舞台上取得了绝对的政治正确性和话语权, 但是我们必须看到气候变化问题在科学上仍然存在很多不确定性。就目前来看, 这些不确定性和争议的焦点主要集中在以下四个方面:

## 一、气候变暖是否在发生;

世界范围内 90%的学者都坚持气候变暖的结论, 但与此同时, 也有部分研究者认为地球存在有规律的冰川期循环模式, 即每个冰川期持续 10 万年, 两个冰川期中间相隔大约 1.2 万年。照此推算, 50 年后, 地球会出现一个新的冰川期。2009 年 12 月 28 日, 俄罗斯科学家就曾宣称: 全球即将呈现降温趋势, 进而步入地球历史上一个新的冰川期。最近, 英国气象局哈德利中心的杰夫·奈特 (Jef Knight) 和他的八名同事发现: 全球变暖在过去 10 年里发生了停顿。从 1999 年到 2008 年, 世界变暖了  $0.07^{\circ}\text{C} \pm 0.07^{\circ}\text{C}$ , 并不是 IPCC 第四次评估报告中预测中的  $0.20^{\circ}\text{C}$ 。考虑到厄尔尼诺和拉尼娜现象并进行修正后, 气温变化的幅度刚好是  $0^{\circ}\text{C}$ 。

## 二、气候变暖的主要驱动因素是什么;

大气中的二氧化碳含量从 280 多个 ppm 增加到 380 多个 ppm, 增加了三分之一, 因此我们认为地球的温度增加了。这从观测数据上讲、从科学道理上讲都是可以的, 但是除了二氧化碳外, 还有许多因素在影响着地球上的气候情况。比如说: 对流可以把地面上温度比较高的物体带到上面; 云可以把太阳的辐射反射回太空。由于现在所掌握知识的局限性, 我们不能说已经对气候过程有着非常清醒的理解。

## 三、基于现有气候模式预测未来气候变化趋势的准确性如何;

2007 年世界著名预测专家 Green 和 Armstrong 教授通过对 IPCC 发布的全球气温变化评估报告进行审查分析, 评估其预测方法及步骤, 发现至少违背了 72 项长期预测的准则, 其中大部分违背造成的后果是严重的。也就是说, IPCC 的模型有可能高估气候对温室气体的敏感程度, 而低估了自然波动。

## 四、气候变化的影响到底有多严重。

世界气象组织宣布, 气候变化将为人类及生态系统带来灾难: 冰川消融, 海

平面上升，生态系统改变，热浪、干旱、台风、暴雨等极端天气增多增强，等等等等。但是也有人认为，气候变化对人类的影响有利有弊，因为从地球进化史来看，自然环境总是在变化的，变化会对处于其间的所有生物造成影响，适应环境变化的进化发展，不适应的灭亡淘汰。

从上面的讨论不难看出，气候变化的不确定性对于长期发展战略的制定具有深远影响。这就要求我们在从事气象科研工作的时候必须兼听则明，必须重视对气候变化不确定性问题的研究，努力想办法将每一种不确定性都尽可能的减小到最低，使得研究结果更进一步的接近真实，更好地为政府部门的决策和社会可持续发展提供科学依据。

当然，“不确定”不等于“不环保”，在任何时候，节约能源、促进环境保护都是有利于增进地球和谐发展的。这里我只是想强调气象科研人员与普通大众的责任是不同的。对于普通民众来说，他们需要“低碳环保、坐言利行”，并长期坚持下去；而对于我们的气象工作者来说，就必须看的更远、做的更多，为经济发展方式的转变做好基础科研支撑。

展望未来：有困难，更有机遇和发展空间！衷心祝愿气象科学事业更上一层楼！

主题：气候变化的减缓与适应对策及社会可持续发展

## 第七届气候系统与气候变化国际讲习班学习心得 ——浅析中美气候政策的分歧

(郭媛, 南京信息工程大学)

摘要：针对中美两国在对“共同但有区别的责任”原则理解、减排目标、技术转让问题等方面的分歧，应对气候变化的合作要真正成为现实，还需要经过双方艰苦的努力，特别是需要具有战略眼光的两国高层领导人的大力支持和推动。双方合作应建立战略互信的新平台，在优先领域率先开展合作，努力创造若干成功的典范，以吸引更多机构和企业等市场主体的参与，以便形成良好的投资环境，再进行由易到难的深层次的合作，取得长期效应。

关键词：中国；美国；温室气体；气候政策；比较分析

### 引言

中国和美国是全球气体排放量最多的两个国家，两国理应承担应对气候变化的重担。中国是世界上最大的发展中国家，在快速工业化、城市化的进程中面临着资源约束、生态环境恶化等问题。美国作为世界第一大经济体，其整体发展水平高、经济实力强，拥有国际领先的节能和环保技术以及管理经验，因此，中美两国在气候变化领域都同时存在巨大的合作潜力。

#### 一、中美对于气候变化的政策态度

中国于1993年1月5日批准了《联合国气候变化框架公约》(以下简称《公约》)，2002年8月核准了《京都议定书》(以下简称《议定书》)。作为《公约》非附件一国家，中国积极参与了《公约》和《议定书》的谈判工作，自《公约》于1994年生效后，中国政府以认真负责的态度，积极履行在《公约》下做出的承诺。《议定书》生效后，中国又建立了清洁发展机制(CDM)领导和管理体制。2007年6月，中国发布了国家气候变化项目。该计划概述了该活动既减少温室气体排放又适应气候变化的潜在后果。该项目中，中国最具挑战性的目标也许是到2010年降低20%的能源密集度。相关目标包括到2020年可再生能源的使用增加一倍以上，核、天然气和可再生能源发电取代煤炭火力发电，封闭低效率的工业设施，严格建筑和设备能效标准，森林覆盖率扩大到20%，但是，这一政策的显著特点是它反对强制性限制排放。在去年底结束的哥本哈根气候变化会议上，中国政府为哥本哈根气候变化会议作出了重要贡献，推动了国际社会应对气候变化的历史进程。

由于中国对全球气候变化的影响日益显著，国际社会对中国在应对气候变化问题中的政策和立场越来越关注。中国经济的快速发展，导致碳排放量近年来增加迅速，已超过美国成为全球最大排放国。因此，国际上普遍认为，中国的减排效果对全球控制气候变化的进程具有决定性的作用，中国的一举一动都牵动着全世界的目光。

但就美国来说，1997年7月25日美国参议院以通过的伯瑞德—海格尔给美国气候政策的立场和方向奠定了基调。克林顿政府时期，美国的环境外交有很大推进，但克林顿的这些工作基本上是绕过参议院进行的。小布什一上任就采取了保守的环境政策，对《议定书》和其所带来的国际合作采取消极态度。

2001年3月28日，小布什政府宣布退出《京都协议书》，理由是现有的科学研究没有明确证实气候变化的危害和导致气候变化的根源，而且如果美国履行了《议定书》，美国会遭受到工厂倒闭、工人失业、消费品价格上涨等负面影响。但在2007年推出《气候安全法》



其目标是2005年的排放量作为2012年的总量的控制目标并逐年减少，在2020年降低到1990年的排放水平(比2005年减少15%)，进一步在2050年比1990年排放水平减少65%(比2005年减少70%)。奥巴马政府就职后，气候变化成为奥巴马政府内外政策中仅次于推动美国经济尽快复苏的优先议程。2009年6月26日晚，美国众议院以219: 212票的微弱优势通过《美国清洁能源与安全法案》，表明美国的气候政策迈出了积极一步。法

## 二、中美气候政策的分歧

### (一) 对“共同但有区别的责任”原则理解的分歧

“共同但有区别的责任”原则是《公约》确定的原则，并在《议定书》中规定，主要是发达国家的《公约》附件1——缔约方在2008-2012年的第一个承诺期里率先实现定量减排。然而，美国在坚持《议定书》背景下的态度，希望拉着发展中排放大国共进共退，强调“共同的责任”。“伯德法案”，要求总统不要签署任何条约，“除非议定书或公约为发展中国家在同样的履约时期内设定强制性的温室气体排量和时间表”。布什总统以中国和其他发展中大国没有强制性减排目标为由拒绝加入《议定书》，2009年5月，美国提交的联合国首份气候变化应对方案表示，美国承诺签署“有强有力的减排目标和行动，符合美国国内法律，且各排放大国都能采取减排措施”的国际协议。

而在哥本哈根会议举行前，中国政府宣布，将在哥本哈根会议坚持“共同但有区别”的谈判原则：一是发展中国家要求一定要坚持《公约》和《议定书》双轨谈判，不同意发达国家提出的彻底抛弃《议定书》。二是要确定发达国家

2012年至2020年的中期减排目标是多少。因为根据《公约》和《议定书》规定，发达国家要率先大幅度减排。三是发达国家要为发展中国家提供额外、充足的资金和技术支持，帮助后者适应和减缓气候变化。四是发展中国家只有得到国际资金、技术和能力建设支持的减缓行动，才接受“可衡量、可报告、可核实”(简称“三可”标准)的审评。

### (二) 减排目标上的分歧

在哥本哈根大会上，中国提出新节能减排计划，其内容是到2020年减排目标为：中国单位GDP二氧化碳排放比2005年下降40%-45%；非化石能源占一次能源消费的比重达到15%左右；森林面积比2005年增加4000万公顷，森林蓄积量比2005年增加13亿立方米。

美国国会对于对抗全球暖化存有“疑问与困难”，美国总统奥巴马誓言将坚定行动，担负对未来该负起的责任。美国设定的温室气体减排目标是，将2020年的排放量在2005年的基础上减少17%(美国公布的减排目标仅相当于在1990年的基础上减少不到4%)。与发展中国家对发达国家的要求相去甚远。目前，美国的气候法案已在国会进入立法程序，但通过的前景并不光明。

### (三) 技术转让问题上的分歧

发展中国家能否在未来经济社会发展向“低碳经济”转型，在很大程度上取决于资金和技术能力。由于经济实力不足，科技水平落后，技术研发能力和消化吸收能力低下，发展中国家在应对气候暖化方面面临严峻挑战。根据《公约》和此后的《议定书》，发达国家有义务以优惠条件向发展中国家转让技术。然而，直到现在，这一问题一直停留在讨论中，未有实质性进展。在《议定书》下，为促进技术转让，各国专门设计了“清洁发展机制”(CDM)，即发达国家提供资金和技术，与发展中国家开展项目合作，项目所产生的温室气体减排量，可以转让给发达国家，帮助其履行减排义务。但这一双赢理想，在实际操作中只是简单的资金流动，发达国家并没有同步以优惠条件向发展中国家转让先进技术。

在能源和环境技术的转让方面，中美存在一定的分歧。美方一直关注中国对知识产权的保护力度、中国的法律法规对外资投资再生能源的限制，而对于它自身，则借口有关技术都掌握

在私营部门手中，极力推动技术转让的完全商业化。

中国认为发达国家应该以优惠条件向发展中国家转让环境友好型的先进技术，发达国家政府在推动技术转让方面可以发挥重要作用：一是采取适当的政策、财政措施，消除技术转让障碍，为技术转让提供政策激励；二是发达国家政府要拿出适当的资金促进技术转让。

### 三、应对气候变化中美合作的政策建议

#### (一)中美合作，建立战略互信的新平台

中美双方对合作缺乏足够的政治意愿，尤其是美方的合作意愿不强是妨碍中美合作的关键因素。因此，中美应对气候变化的双边合作在未来要取得实质性进展，中美双方应各自向前迈进一步。美方应该进一步强化合作意愿，在对待应对气候变化的核心原则(共同的但有区别的责任原则)问题上向其他发达国家看齐，率先垂范。

#### (二)加强中美应对气候变化的技术合作

由于单方面的技术转让中存在很多障碍，技术转让费用也常常太过高昂，可以考虑更多地共同开发技术。中国和美国在开发技术方面各有所长，可以互补。中国对在发展中国家哪些技术行之有效有较深切了解并拥有强大的技术能力，可以提供很好的实验场地并加以推广，和美国比起来，中国常常可以较迅速、较廉价地生产出产品。

美国在人力资本、基本科学研究、把研究中取得的效果商业化的能力方面占有相对优势。两国之间的技术合作在帮助促进能源技术和克服全球暖化上有巨大潜力。

#### (三)在优先领域率先开展合作

中美可先期在以下一些领域展开合作：清洁煤技术、提高能源效率和节能的技术、清洁能源、开发先进的电网等领域。煤炭的能耗强度非常高，近期内煤炭在中美能源消耗中仍将占据重要地位，因此，清洁煤技术的应用对双方意义重大。这一领域的重点应该是，煤液化及煤气化、煤化工、整体煤气化联合循环(IGCC)。

能源效率和节能措施。中美两国在节约能源，提高能效外，未来的合作将主要集中在风能和太阳能这些更具商业价值的领域，包括可再生能源资源评价、数据库开发和电力预报等技术领域，与风力发电、太阳能发电控制、储存和供应相关的“智能电网”系统，风机、高效太阳能光伏和光电设备、生物质液体燃料等方面的制造技术，以及太阳能热水器的生产和输出。

能源效率方面潜力巨大。中国的能耗强度是美国的四倍，而能源效率仅是日本的1/9，因此，中国拥有巨大的降低能源消耗和提高能源效率的空间。节能行为提供激励机制，推广可再生能源。中美两国除进一步加强在水电设备制造及自控技术等传统领域的合作外，未来的合作将主要集中在风能和太阳能这些更具商业价值的领域，包括可再生能源资源评价、数据库开发和电力预报等技术领域，与风力发电、太阳能发电控制、储存和供应相关的“智能电网”系统，风机、高效太阳能光伏和光电设备、生物质液体燃料等方面的制造技术，以及太阳能热水器的生产和输出。

综上所述，中美加强应对气候变化的合作之所以重要，是因为合作将带来机遇达到“双赢”的结果。但是，由于两国因经济发展阶段不同所导致的战略定位等方面的差异，中美两国应对气候变化的合作要真正成为现实，还需要经过双方艰苦的努力，特别是需要具有战略眼光的两国高层领导人的大力支持和推动。因此，双方合作应首先着眼于短期见效快、资金投入少、可操作性强的项目和领域，努力创造若干成功的典范，以吸引更多机构和企业等市场主体的参与，以便形成良好的投资环境，然后再进行由易到难的深层次的合作，取得长期效应。

参考文献:

- [1]J.A.Leggett, J.Logan and A.MacKey, China's greenhouse gas emissions and mitigation policies, USC ongressional Research Service, 10 September2008: 18
- [2] Byrd2Hagel Resolution” , www.nationalcenter.org, 1997
- [3]董勤. 美国气候变化政策分析[J]. 现代国际关系, 2007(11):12
- [4]周放. 布什为何放弃实施京都议定书[J]. 全球科技经济瞭望, 2001(10)
- [5]赵宏图, 黄放. 奥巴马能源、环境新政分析[J]. 现代国际关系, 2009(3)

# 参加第七届气候变化学习心得

重庆市气候中心 何春

有幸参加本次学习班，在这里我学习到了新的知识，开阔了眼界，同时领略到了国际知名学者的风采，从他们身上学习到了严谨、专业和脚踏实地的科学精神。

本次学习不但让我有新的科学知识的积累，也有了进一步学习英语的机会。几位讲解者来自世界各地，由于经历和地域的差异，语速有快有慢，口音有轻有重，是一次难得的锻炼听力的大好机会。近十天的学习时间很快就要过去，但这段经历对于提高自己的英语听力水平很有帮助，也是进一步提高的新的起点。

本人一直从事季风及相关研究，对气候变化了解有限，来之前很希望能够通过这次学习提高自己这方面的认识，包括科学事实以及政策问题。总的来说，这次学习班的课程比较偏向于气溶胶，这方面的知识正好是我相当缺乏的。由于缺乏相关的背景知识，学习效果不是太理想。但可以肯定的是，通过学习，本人对气溶胶及其对气候变化的影响的了解得到了增强。建议以后学习班的选题可以更加广泛一些，以更好地帮助学员扩大知识面。

虽然有相当多的事实支持近代以来的全球气候变暖事实是与人类活动紧密相连的，但仍然有学者提出证据，表明气候变暖可能另有原因。建议学习班以后可以请持不同观点的学者来讲课，让学员可以学到更多的知识，知识面和眼界得到更好的提高。

本人对气候变化背后的政治问题比较感兴趣。本人一直认为，发达国家，尤其是欧洲国家热炒全球变暖问题的原因并不单纯。现在世界上，美国具有较强的科技优势和金融优势，以中国为代表的新兴国家则具有劳动力价格较低，在劳动密集型产业上优势较强，发展较快；另外就是欧佩克国家、俄罗斯等具有的资源优势。欧洲国家由于人口老化，劳动力持续减少，将在劳动密集型产业中失去优势；与美国相比，在科技和金融上的也是落后的，同时也并不占有资源优势。如果新兴国家科技实力持续增强，将首先威胁欧洲国家的科技地位及经济地位。在可以预计的将来，在可能的科技领域以及相关的经济增长领域，欧洲国家并不具备太多的优势领域。绿色经济领域欧洲国家发展较早，投入较多，目前具有较多的技术储备和相对的优势地位。美国由于认识不足，在这个领域是落后于欧洲的，某些地方甚至落后于中国。同时，保护环境，发展绿色经济，有助于欧洲占据道义制高点，与美国依靠军事等硬实力争取利益的做法形成对比，有助于增强欧洲在世界政治领域的发言权，在某种程度上是对美国形象的削弱和欧洲政治独立性增强的象征。

因此，气候变化问题对于欧洲而言，科技上是领先的，经济上是有利可图的，政治上是得分的，是一个非常好的与各国打交道的题材。

那么，对于我们来说，气候变化问题的意义是什么呢？

首先，是严峻的挑战。由于在我国的能源结构中，以煤炭为主的矿物燃料占据的绝大部分份额，同时石油使用量和进口量连年大幅增长，给环境带来了非常严重的压力，温室气体和气溶胶的排放达到了非常高的水平，这给我国在国际谈判中带来了越来越大的压力。我国目前工业化发展正处在非常关键的时期，产业结构的调整难度相当大。

其次，是重大的机会。2009年我国的人均GDP为3600美元，国家的经济、社会发展亟待转型。因此，发展清洁、环境友好的技术和经济发展路径不但是国际社会的大趋势，也是国家发展的内在要求。绿色经济需要高科技的支持，这对于我国发展科学技术、甚至解决大学生就业等都有重要意义。

因此，在这场以碳排放权为核心、归根结底是发展权的争夺的国际斗争中，中国应该积极争取，坚决斗争，为国家的发展争取到更大的空间。

# 第七届气候系统与气候变化国际讲习班

## 小论文——心得体会

侯西勇 中国科学院烟台海岸带研究所  
2010年7月29日 于中国气象局

2010年7月19~29日，有幸参加了中国气象局主办的第七届气候系统与气候变化国际讲习班，期间，认真聆听了 Claude Boutron, Ned Helme, Klaus Fraedrich, Steven John Ghan, John A. Ogren, Nakajima Teruyuki 等众多国际顶尖级科学家的讲座，内容覆盖了冰冻圈、生物地球化学循环、CDM、大气化学与气溶胶、区域及全球气候模式、气候变化的减缓与适应等研究方向。通过10天左右的学习，大大丰富了自己的知识面，提高了对气候变化多方面前沿和热点问题的理解与认识。

**结合自己的专业背景和目前的研究方向\*，谈一谈感想。**

冰冻圈报告以极低限重金属的检测为重点，主要是一个技术问题。从科学研究的角度出发，在海岸带区域，与冰心相对应的是沉积钻孔，可以反映气候变化的信息，但是海岸带区域沉积环境复杂，气温变化、海陆变迁、海平面震荡、人类活动等因素交织影响，需要综合化石、孢粉、重金属、有毒有害有机化合物等多种记录来推测和重建长时间尺度海岸带区域的气候变化过程。

生物地球化学循环研究领域，海岸带也是一个热点的研究区域。海岸带是陆海交汇区域，气、液、固三态物质并存和相互作用，生态系统多样，界面过程复杂，变化过程迅速，机制高度非线性。总体而言，海岸带可能是多种有害物质的汇，大尺度大气环流、中小尺度水文过程等都对海岸带区域的物质循环造成显著的影响，例如，内陆干旱区半干旱区起源的沙尘暴在东移过程中，经过海岸带和近海区域，由于下垫面状态、属性变化和动力条件变化，伴随海气界面过程会有大量的沙尘由大气进入海洋；再如，陆域河流是联系陆地和海洋的纽带，伴随着

---

\* 1、专业背景：地理学，以自然地理学为主，熟知遥感和GIS技术的应用，硕士、博士期间围绕土地资源评价、土地利用变化、宏观生态相关领域开展研究。

2、目前的研究方向：在中国科学院烟台海岸带研究所继续自己的科研，关注气候变化为主要的自然因素和以土地利用变化为主的人类活动因素对海岸带区域环境、生态和经济社会可持续发展的影响，尝试耦合气候变化信息和陆面过程模式（LUCC、水文模式），以海岸带陆源物质通量变化为基本的切入点，区分气候变化和人类活动因素影响海岸带环境和生态的机制与贡献差异。目前的研究区域以山东半岛——环渤海为主。

陆源淡水的输入，大量的营养盐、重金属、有毒有害化学物质等也通过河口进入海岸带区域，并在河口和近海区域富集。以 N、P 为主的营养盐大量进入海岸带河口和近海，会导致和加剧水体富营养化问题，是海域赤潮和绿藻等生态灾害事件频繁爆发的重要原因之一；而大量重金属和有毒有害有机化学物质进入河口和近海，则会通过食物链而富集并经由海产品进入人体之中，其潜在的危害和威胁亦是近年来不容忽视的一个重要问题。

无论是海气界面大气输送还是河口区域河流输送，无不受到多时空尺度气候变化及人类活动因素的深刻影响。内陆区域气温起伏和干湿条件的变化是沙尘天气发生发展的重要条件，而西部大规模的退耕还林还草会在一定程度上改善下垫面物理属性，对沙尘天气的形成有一定的抑制作用，相反，无节制的资源开采和放牧等则会加剧沙尘天气。气候变化，尤其是降水量的波动变化会显著影响到河流水文过程，在较长的时间尺度内，海岸带区域陆源淡水通量的变化主要受制于降水因素；但是，人类活动因素通过土地利用、生产生活取水以及修建大坝、水库等过程而扰动和改变河流水文过程，近几十年来，海岸带区域的入海中小河流中很大一部分已经成为季节性河流，人类活动因素是这一变化的主要驱动力。

如上所述，通过参加 ISCS7 讲习班，深刻体会到，海岸带区域科学研究决不能“头疼医头、脚痛医脚”，而是需要从系统的角度出发，以问题为导向，追寻问题发生、发展的源头、机理和过程。同时，由于这一区域的界面、过程、营力等因素的多样性和复杂性，决定了海岸带环境和生态过程绝对是典型的非线性复杂系统，因而需要通过多学科交叉研究和集成研究才能有助于揭示问题的真实面貌和客观规律，对气候系统和气候变化过程的分析 and 模拟将能为海岸带相关研究提供一个重要的背景，因而是必不可少的和不容忽视的一个研究领域。

# 海南省近 50 年气候变化事实及其影响

海南省气象局 胡玉蓉

在全球正经历一场以变暖为主要特征的大气候背景下，海南气候也发生了明显变化。通过对全省 18 个市县气象站的历史观测资料及热带气旋资料进行分析证明，近 50 年来（1957-2006 年）全省年平均气温升高约 1.3℃，高于黄河以南大部分地区的升温，也超过了全国的平均增幅；年降水总量变化不明显，但强降水增多，降水时空分布变化波动较大；影响和登陆海南的热带气旋频数减少，但强度增强；主要极端天气气候事件的频率和强度出现变化，干旱和洪涝等灾害频繁发生，海平面上升趋势显著。

## 一、海南气候变化的主要事实

### （一）气温升高趋势显著，且最低气温比最高气温升高更明显

1961 年以来，我省气温变化总体呈攀升趋势，增温率为 0.29℃/10 年，但年平均最高、最低气温的变化表现出非对称性，总体情况是最低气温比最高气温升高明显，导致日较差显著减小。其中，年平均最高气温呈现为突变式升高，突变时间在 86 年前后，全省年平均最高气温从 28.7℃跃变到 29.2℃；年平均最低气温表现为线性升高，且趋势更为显著，增温率达到 0.33℃/10 年。平均最高气温的突变式升高与平均最低气温的线性上升呈现为一种非对称性，

### （二）年降水总量基本不变，降水日数减少、强度增强

1961 年以来，年降水量无明显变化，平均每 10 年增加 20 毫米；年降水日数呈减少趋势，1961—2006 年共减少了约 15 天；从降水量级来分析，小雨等级降水次数减少明显，但大雨和暴雨的强降水次数总体增多，降水强度呈增大趋势；从降水的时空分布分析，变化波动较大，在年际变化上，全省平均降水量多雨年份超过 2200 毫米，而少雨年份则低于 1200 毫米。在地区分布上，西沙永兴岛年降水量显著减少，平均每 10 年减少 53mm；北部和中部的部分地区年降水量有弱的减少趋势；其余地区呈增多趋势，其中三亚和东方增多最为明显，平均每 10 年分别增加 102 毫米和 45 毫米。

**（三）影响和登陆的热带气旋频数减少，降水减少；但热带气旋强度增强，降水强度增大。**

1961 年以来，影响和登陆海南的热带气旋有二个变化特征。一是年频数呈明显减少趋势，大约每十年分别减少 0.9 个和 0.4 个，使热带气旋的年降水量贡献率呈下降趋势。二是年代际变化明显。其中影响海南的热带气旋，在 1961-1978 年的 18 年间更为活跃；而登陆海南的热带气旋年频数最多的年份出现在 1961-1990 年间。三是登陆我省的热带气旋总体呈增强趋势，平均每个热带气旋的降水量也有增多趋势，即热带气旋降水的强度增大。

### （四）极端天气气候事件的变化

随着全球变暖，一些极端天气气候事件频繁发生。

2000 年 10 月由于热带气旋和冷空气共同影响，南渡江下游及其支流龙洲河出现特大洪水，龙塘站测到百年一遇大洪水；2004 海南出现 1949 年以来首个无热带气旋影响年，导致 2004 年至 2005 年上半年发生了 1977 年以来最严重的跨年度特大干旱；2005 年 9 月我省遭遇 30 多年来最强的台风“达维”正面袭击，造成有记录以来最惨重的直接经济损失；低温冷害总体上呈减少趋势，但 2007/2008 年冬季出现的低温阴雨天气过程无论在影响范围上，还是在危害程度上都突破 1951 年以来的历史记录。



## 二、气候变化对海南省影响的若干重要事实

### (一) 海岸带被侵蚀，旅游资源遭到破坏。

过去几十年里，海南岛沿岸的海平面有明显上升趋势，根据海南岛东方和秀英两个验潮站21年（1984~2004年）的平均潮位计算结果，平均每年分别升高了3.7毫米和5.3毫米，均高于全球和中国的平均水平。

海南岛的海岸线全长约1682公里，其中70%为沙质海岸，海平面上升和海岸挖沙已经给我省的海岸线带来严重影响。在2007年召开的第十三届中国海洋（岸）工程学术讨论会上，季荣耀等在《海南岛海岸侵蚀特征及主因分析》中指出，50年代至90年代，海南岛海岸约有78.9%的海岸（包括基岩海岸）受侵蚀，其中砂质海岸约有82%的岸段遭受侵蚀，侵蚀速率为1~20米/年，海南岛的海岸侵蚀作用几乎环绕全岛，导致陆地面积每年约缩小1~5平方公里。另据2007年12月14日《北京科技报》报道，海南省遭受侵蚀的海岸线长度已达300公里，部分区域的海岸侵蚀导致当地海岸后退约80米，其中，三亚湾和亚龙湾侵蚀速度达到了每年1至2米，一些海岸工程设施和海滨旅游区都受到了不同程度的威胁。据2007年7月13日《中国青年报》报道，乐东县龙栖湾村附近海岸在11年内后退200多米，数十间房屋被毁，村庄随海岸变化而3次搬迁。

文昌县的海岸侵蚀更为严重。赵焕庭等在1999年出版的《华南海岸和南海诸岛地貌与环境》一书中指出，邦塘湾海岸在1962~1985年间后退速率为6.5米/年，1989~1990年间后退速率为7~8米/年。萧艳娥等经2002年的实地考察后，在《华南师范大学学报》发表了《海南岛邦塘湾海岸侵蚀机理分析与对策探讨》，认为该岸段海岸后退仍在继续，而且相当严重。

万泉河口玉带滩沙坝近30年来严重海岸侵蚀岸段的速率也达到6.7米/年，高于世界平均的沙质海岸侵蚀速率，这是张振克等2004年发表的《南岛万泉河口地区的海岸侵蚀与灾害风险分析》的研究结果。狭窄的玉带滩沙坝存在决口的风险，决口将加速沙美内海泻湖的淤积，加剧洪水灾害，并直接影响万泉河河口东屿岛亚洲论坛永久会址的安全。

黄巧华等学者1997年发表于《海洋科学》的《海南岛的海岸侵蚀》一文指出，旅游胜地，在全球海平面上升20厘米和50厘米的情况下，大东海海滨沙滩将因淹没和侵蚀引起的总后退量为8米左右，而三亚湾、亚龙湾和石梅湾这三个旅游胜地的海滩侵蚀将达到20米以上，可能导致滨海旅游业客容量减少。

### (二) 自然生态系统遭到破坏。

2002-2003年，由海南省国土环境资源部门负责组织，会同海南省海洋渔业、农业、建设、统计、水利、林业、测绘等11个相关部门和各市县政府共同实施完成的海南省生态环境调查报告表明：在过去的40年当中，由于人为及气候变化的原因，海南省至少有6种植物已经灭绝，常见鸟类则由100多种减少到30多种，沿海14个主要经济鱼类资源都不同程度衰减或消失。

我省红树林和珊瑚礁生态系统退化也是气候变化对海南生态系统产生影响的典型例子。根据中国南海海洋研究所的调查，上世纪80年代之前，中国南海地区的珊瑚礁还处在健康状态。而根据国家海洋局的监测，2005年以来，中国南海的永兴岛、西沙洲南部等地，都出现了珊瑚“白化”、变黑乃至死亡的现象。2006年，三亚大小东海、亚龙湾等海域也出现了一些珊瑚死亡和“白化”现象。海洋2/3的鱼种与珊瑚礁有联系，海水温度上升、海平面上升对珊瑚的危害将对海洋生物多样性带来灾难。

### (三) 水质下降明显。

根据海南环境状况公报的数据，1998年我省所监测的18条河流的62个河段中，符合

《国家地面水环境质量标准》II类标准的河段占73%，III类和IV类河段分别占14%和13%。2008年，所监测的19条河流的63个河段中，I、II类水质河段仅占54.0%，III类、IV类和劣V类河段分别占20.6%、20.6%和4.8%。10年间，符合环境质量的I、II类河段比例明显下降，IV类及劣V类河段明显增加，流经城镇的河段水质较差。个别湖库水质也呈下降趋势。江河水质下降的主要原因除了海南城镇生活污水处理率低、农村环保治理设施建设滞后，生活污水污染江河水质外，气候变暖导致农业病虫害增多而大量使用农药、化肥造成农业面源污染日益加剧而污染江河水质是另一个重要的原因。

#### **(四) 农业耕地质量下降，生产成本上升，冬季农业气候优势被削弱。**

近年来我省耕地质量退化，大部分农田有机质含量在2%以下，低产田面积在100万亩以上，这与气候变暖背景下我省强降水天气增加对土地的冲刷作用增强和化肥的不合理使用加速土壤板结和耕地退化有较大关系。

80年代以来，由于气候变暖农业病虫害增加，我省化肥和农药使用量大幅增加，加大了农业生产的成本。如琼海市政协调研组调查发现，近年来万泉河流域农药化肥使用量增长趋势明显，流域内某乡镇2000年使用除草剂6.7吨，2004年使用除草剂25.4吨，增长了3倍多。

随着气候变暖，我国各地暖冬逐渐成为常态，大陆温棚蔬菜成本降低，产量增加，已在很大程度上影响了我省冬季瓜菜在内地市场的销售价格。

总之，气候变化问题已经对海南省的社会经济发展造成不同程度影响，未来气候变化还将对自然生态环境和国民经济敏感行业产生重要作用，应对气候变化所面临的形势十分严峻。

#### 参考文献

- [1] 亚洲发展银行. 东南亚气候变化经济学-区域报告, 2009.
- [2] 萧艳娥, 丘世钧. 海南岛邦塘湾海岸侵蚀机理分析与对策探讨[J]. 华南师范大学学报(自然科学版). 2003, (2): 124~129.
- [3] 黄巧华, 吴小根. 海南岛的海岸侵蚀[J]. 海洋科学, 1997, (6): 50~52.
- [4] 季荣耀, 罗宪林, 陆永军等. 海南岛海岸侵蚀特征及主因分析[J]. 第十三届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集[A]. 2007: 374~377.
- [5] 赵焕庭, 张乔民, 宋朝景, 等. 华南海岸和南海诸岛地貌与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 203~204.
- [6] 罗章仁, 罗宪林. 海南岛人类活动与沙质海岸侵蚀[A]. 见: 南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室, 海平面变化与海岸侵蚀专辑[C]. 南京: 南京大学出版社, 1995: 205~212.
- [7] 黄少敏. 海南岛的海岸侵蚀[J]. 热带地貌, 1993, 14(1): 42~49.
- [8] 张振克, 陈云增, 丁海燕, 等. 海南岛万泉河口地区的海岸侵蚀与灾害风险分析[J]. 应用基础与工程科学学报. 2004, 增刊: 129~133.
- [9] 我省国土资源环境厅, 1998年我省环境状况公报.
- [10] 我省国土资源环境厅, 2008年我省环境状况公报.
- [11] 气候变化2007综合报告. IPCC, 2007.
- [12] 中国国家发展和改革委员会. 中国应对气候变化国家方案, 2007.

# 气候变化对流域水循环响应概述

蒋昕昊  
北京师范大学资源学院

**摘要:** 本文简单介绍了气候变化对流域水循环响应的研究方法和步骤, 研究步骤涉及的方法和模型有: 大气环流模式、降尺度技术和水文模型。进而分别概括的介绍了目前 IPCC AR4 报告推荐的多种大气环流模式; 然后介绍了目前降尺度模式的研究现状, 重点分析了统计降尺度的优缺点及适用性; 最后, 根据水文模型近几十年的发展, 介绍了不同分类的水文模型。

**关键词:** 气候变化; 大气环流模式; 降尺度; 水文模型

## 0 引言

气候变化是当今国际社会普遍关注的全球性问题。水循环作为气候系统的重要组成部分, 首当其冲受到气候变化的影响。研究气候变化对流域水循环及水资源的影响, 对维护河流健康生命, 保障水资源可持续利用, 保证流域社会经济可持续发展具有重要的现实意义。气候变化将加剧水循环过程, 驱动降水量、蒸发量等水文要素的变化, 增强水文极值事件发生频率, 改变区域水量平衡, 影响区域水资源分布。

由于目前还没有可以直接利用和可靠的区域气候变化预测方法, 因此在气候变化对区域水资源影响的研究过程中, 总是利用不同方法间接得到未来的气候变化情景。主要采用的是所谓 **What-if-Then** 模式, 即假定气候发生某种变化情景, 将其作为流域水文模型的输入, 研究流域内水循环各个分量在该种情景下的变化情况。

建立气候变化的情景模式具有多种方法, 例如, 任意情景设置法、时间序列分析法、基于 **GCM** 的气候情景生成法等, 这里只关注基于 **GCM** 气候情景生成方法。

## 1 大气环流模式

气候模式是用来描述气候系统、系统内部各个组成部分以及各个部分之间、各个部分内部子系统间复杂的相互作用, 已经成为认识气候系统行为和预估未来气候变化的定量化研究工具。随着全球气候变化研究的不断发展, 建立了评估全球气候变化的 **6** 全球气候模式 (**GCM**)。GCM 一般有 **4** 个组成部分, 即大气、陆地、海洋及冰雪。GCM 根据能量守恒方程、质量连续方程、状态方程及其他静力近似方程等模拟全球气候。

世界各国已经研制了 **40** 多个全球气候模式, 目前常用的 **GCM** 包括: 美国哥达空间研究所模式 (**GISS**), 美国国家大气研究中心模式 (**NCAR**), 英国气象局模式 (**UKMO**), 美国俄勒冈州立大学模式 (**OSU**), 美国普林斯顿大学地球物理流体动力学实验室模式 (**GFDL**), 加拿大气象中心模式 (**CCC**), 美国科罗拉多州立大学模式 (**CSU**), 英国 Hadly 气候预测与研究中心模式 (**HADL**), 德国马普气象研究所模式 (**ECHAM4**) 以及日本气候科学研究中心模式 (**CCSR**)。表 1-2 列出了国外应用比较广泛的全球气候模式的特征。

表 1 IPCC AR4 推荐的气候模式简介

气候模式	缩写	开发研究机构	国家	分辨率	研究年限
BCCR:BCM20	BCCR	Bjerknes 气候研究中心	挪威	1.9°×1.9°	1961-2000

CCSM3	CCSM3	国家大气研究中心	美国	1.4°×1.4°	1961-2000
CGCM2.3.2	MRI	气象研究中心	日本	2.8°×2.8°	1961-2000
CGCM3.1_T47	CGCM47	加拿大气候模拟与分析中心	加拿大	2.8°×2.8°	1961-2000
CGCM3.1_T63	CGCM63			1.9°×1.9°	
CNRM:CM3	CNRM	国家气象研究中心	法国	1.9°×1.9°	1961-1999
CSIRO:MK30	CSIRO30	澳大利亚联邦科工组织大气研究所	澳大利 亚	1.9°×1.9°	1961-2000
CSIRO:MK35	CSIRO35			1.9°×1.9°	
ECHAM4	ECHAM4	气候研究中心	德国	2.8°×2.8°	1961-2000
ECHAM5	ECHAM5	马普气象研究所	德国	1.9°×1.9°	1961-2000
FGOALS:g10	FGOALS	大气科学和地球流体力学数值模拟国 家重点实验室(LASG) / 大气物理研究 所	中国	2.8°×2.8°	1961-1999
GFDL:CM20	GFDL20	美国商业部/国家海洋大气局(NOAA)/	美国	2.0°×2.5°	1961-2000
GFDL:CM21	GFDL21	地球物理流体动力学实验室(GFDL)		2.0°×2.5°	
GISS:AOM	GISSAOM	航空航天局 (NASA) / Goddard 空间研 究中心(GISS)	美国	3°×4°	1961-2000
GISS:EH	GISSEH			4°×5°	
GISS:ER	GISSER			4°×5°	
HadCM3	HadCM3	英国气象局哈得莱中心	英国	2.5°×3.75°	1961-1999
HadGEM1	HadGEM1			1.3°×1.9°	
INM:CM30	INM	计算数学学院	俄罗斯	4°×5°	1961-2000
IPSL:CM4	IPSL	皮埃尔.西蒙.拉普拉斯学院	法国	2.5°×3.75°	1961-2000
MIROC3.2_medr es	MIROC-m			2.8°×2.8°	
PCM	PCM	国家大气研究中心	美国	2.8°×2.8°	1961-1999

## 2 降尺度技术

为了加深研究气候变化对区域水文水资源的影响,有必要使全球气候模式 GCM 与流域水文模型耦合。然而,由于 GCM 的水平网格分辨率一般在 104~105km,缺少足够的区域尺度下的气候过程,地形情况以及海陆分布情况等因素,所以将其直接应用到区域尺度上是非常困难的。对 GCM 与流域水文模型耦合,首先要解决如何将 GCM 的输出降解到区域尺度上,与流域水文模型相匹配。这就需要发展能将 GCM 模型给出大尺度气象信息降解到区域尺度的方法,然后将其作为区域水文模型的输入,利用水文模型计算区域内的水资源变化情况。下面继续介绍具体的降尺度方法。

### 2.1 动力降尺度法

动力降尺度法最早于 20 世纪 80 年代末由美国的 Giorgi 和 Dickinson 提出,其主要思想是通过建立与 GCM 耦合的高分辨率的有限区域模型(LAM)或区域气候模型(RCM)来预估未来区域的气温、降雨等气候因素的变化情景。经过最近十几年的发展,各国均发展与 GCM 耦合的区域气候模型 RCM。由于动力降尺度法具有物理意义明确,不受观测资料的影响,可以应用不同的分辨率,反映影响局地气候的地面特征量及其气候本身未来的波动

规律等特点，在国内外研究气候变化对水文水资源的影响中得到广泛应用。

动力降尺度法存在的主要缺点是计算量很大、费机时，而且模拟效果受 GCM 提供的边界条件影响大，兼容性差，在不同区域使用时需要重新调整参数。这些不足都限制了动力降尺度法的发展。

## 2.2 统计降尺度法

区域气候是以大尺度气候为背景的，并且受区域下垫面特征，例如地形、离海岸的距离、植被等的影响。在某个给定的范围内，大尺度和中小尺度气候变量之间应该是相关的。也就是说统计降尺度法是基于 3 条假设条件（1）大尺度气候场和区域气候要素场之间具有显著的统计关系；（2）大尺度气候场能被 GCM 很好模拟；（3）在变化的气候情景下，建立的统计关系是有效的。所以应用统计降尺度法时，就是利用多年观测气候资料建立大尺度气候因子（主要为大气环流因子）和区域气候要素（区域内的气温，降水等）之间建立统计关系，并用独立的观测资料检验这种关系，最后应用这种关系将未来气候变化情景的 GCM 输出大尺度信息转化为区域气候变化情景。

与动力降尺度法相比，有以下特点（范丽军等，2005）：计算量非常小，节省机时，可以很快地模拟出百年尺度的区域气候信息，同时很容易应用于不同 11 的 GCM 模式，还能将大尺度气候信息降尺度到站点。

## 2.3 动力与统计相结合的降尺度法

统计降尺度和区域气候模式 RCM 相结合的方法就称为统计动力降尺度法。这种方法集合了统计降尺度法和动力降尺度法的优点。与动力降尺度法相比，减少机时；与统计降尺度法相比，不再依赖于长期的观测数据，有广泛的发展前景。目前该方法还存在空间分辨率受区域模式限制的缺点。

# 3 水文模型

气候变化必然引起全球降水和气温时空分布的变化，相应地，流域内河流的径流也将随之发生变化。水文模拟技术正是解决未来气候情景下流域内水文变量信息的主要工具。经过半个多世纪的发展，流域水文模型类型众多。从描述水文现象的必然性和偶然性规律上，可分为确定性模型和随机性模型；从反映水流运动物理规律的科学性和复杂程度上，可分为系统模型、物理模型和概念性模型；从水流运动空间变化能力而言，可分为集总式模型和分布式模型。

## 3.1 经验统计模型

经验统计模型根据同期径流、降水与气温的观测资料，建立三者之间的相关关系，以此推求未来降水与气温发生变化时的径流变化趋势。由于未来气温和降水很难是过去历史气候的完全重复，因此这种从过去的气温、降水、径流关系，预测未来出现的情况具有很大的局限性，目前该方法已基本很少应用。

## 3.2 概念性水文模型

概念性水文模型利用一些简单的物理概念和经验关系,组成一个系统来近似的描述水流在流域中的运动过程,用来研究气候、径流之间的因果关系。它以水文现象的物理概念和一些经验公式为基础构造的,它把流域的物理基础如下垫面等进行概化如线性水库、土层划分、需水容量曲线等,再结合水文经验公式如下渗曲线、汇流单位线、蒸散发公式等来近似地模拟流域水流过程。按对模拟流域的处理方法,概念性水文模型又可分为集总式模型和分布式模型。显而易见,集总式概念性模型把全流域当作一个整体来建立模型,即对流域参数变量进行均化处理。与此相对,分布式概念性模型则按流域下垫面不同特征和降水的不均匀性把流域分为若干个单元,对每一单元采用不同特征参数进行模拟计算,然后依据各单元的水力联系和水量平衡原理通过汇流演算得到全流域的输出结果。

## 3.3 分布式流域水文模型

一般认为流域面上各点的水力学特征式非均匀分布的,从而依据物理学质量、动量与能量守恒定律以及流域产汇流特性,构造水动力学方程组,来模拟降雨径流在时空上的变化。与概念性模型中把基本单元简化为一个垂直圆柱体而只考虑水力的垂直向运动不同的是,物理水文模型提出既要考虑单元内部垂直方向水量交换,又要考虑水平方向的水量交换。其中有代表性的有单元模型和模型等。

相对于集总式水文模型,分布式流域水文模型可以将土壤、植被的空间分布、土地利用的区域特征以及降水、蒸发和径流的空间分布较好的反映出来,并将其建立在网格点上,更适合与 GCM 耦合。

## 4 结论及讨论

本文讨论了基于 What-if-Then 模式下气候变化对水文循环响应的研究概述。该模式一般包括以下 4 步骤:(1) 定义气候变化情景;(2) 建立、验证流域水文模型;(3) 将气候变化情景作为流域水文模型的输入,模拟区域水循环的变化过程;(4) 利用流域水文模型的模拟结果,评价气候变化对水文水资源的影响。

概括地介绍了大气环流模式的定义和耦合大气模式的组成部分,给出了目前国际上流行的以及 IPCC AR4 报告中推荐的大气环流模式简介。由于 GCM 的水平网格分辨率很低,缺少足够的区域尺度下的气候过程,地形情况以及海陆分布情况等因素,所以将其直接应用到区域尺度上是非常困难的。所以推动了降尺度基础的发展,本文介绍了动力降尺度、统计降尺度和混合降尺度技术,同时分别讨论并分析对比了三种不同降尺度方法的优点和缺点。最后也是评价水文响应的关键步骤和最终步骤,水文模型的运用。概括的介绍了水文模型的基本分类。

# 论气候变化应对政策之低碳生活

气科院 靳莉君

这几天，我参加了中国气象局主办的第七届气候系统与气候变化的国际讲习班的学习，首先，非常感谢来自国外的专家们，冒着酷暑给我们上了很精彩的一课，当然也要感谢中国气象局的支持，让我们有机会可以了解到有关气候方面的最前沿的知识。听了这些报告后，我感触最深的就是气候变化已经引起了越来越多人的关注，上至国家领导人，下至普通老百姓，大家都十分重视全球气候变化问题，其中，又以全球变暖问题最受重视。现在，全球变暖已经作为一个不争的事实摆在我们面前，如何应对地球变暖，目前谈的最多的就是低碳生活。2009年12月19日召开的哥本哈根世界气候大会，预示着低碳时代的正式来临。而在2010年3月份的“两会”上，低碳、环保也成为与会代表热议的话题之一。

所谓的低碳经济，就是以低能耗、低污染为基础的绿色经济，其核心是推动提高能效技术、节约能源技术、可再生能源技术和温室气体减排技术的开发和运用，促进整个社会经济朝向高能效、低能耗和低碳排放的模式转型。

目前包括中国在内，世界上很多国家都已经在积极开展低碳经济，掀起一场低碳经济的革命。以我国为例，不但在大力对能源行业进行产业结构调整，增加风力发电、太阳能发电、核能发电等新兴能源的比重、降低火力发电比重，将能源产业向低碳化、无碳化方向发展，而且还在积极地发展低碳的新材料、生命科学、生物医药、信息网络、空间海洋开发和地质勘探等新兴行业，以实现2020年单位GDP碳排放比2005年减少40%至45%的重要承诺。

在低碳经济中，单位扮演着举足轻重的作用。这是因为单位和个人相比，无疑具有更大的能源消耗和碳排放量，同时作为个人，一天的大部分时间也是在单位中度过，其能源消耗和碳排放的大小也同所在单位具有很大的关联性。因此，为了积极参与到低碳经济，单位要从我做起，尽到单位的公民责任，从单位的各个方面都注意节能环保，描绘清晰的碳足迹。

最容易做到的，是单位可以按照国家要求控制好空调温度（夏天别太低，冬天别太高）以及多采用节能灯具等措施，达到节能减排的效果。更进一步，则是加强对IT产品的碳足迹监控。随着单位办公自动化以及信息化的不断完善，单位对IT产品的依赖性越来越强，所拥有的IT设备也越来越多。如果我们观察一下就不难发现，单位员工在工作中，几乎大部分时间都是在利用各种IT设备（如电脑、打印机、网络等产品），单位也必须重点关注这些IT产品在节能减排中的重要作用。

实际上，随着电脑等产品在单位中的广泛普及，这些产品的碳排放在整个碳排放的比重中也不断上升——数据显示，ICT 行业（信息通信技术行业，包括 IT 行业和通信行业）的碳排放在 2002 年是 5.3 亿吨的当量，这个数字在 2020 年将很快攀升到 14.3 亿吨当量，占据整体碳排放的 4%。这无疑是个庞大的数字。作为单位，就必须选择那些绿色节能的 IT 产品、利用先进的信息技术来降低能源消耗。例如，可以选择机器整体的性能功耗比很高的电脑或者服务器，降低整体功耗。同时多考虑类似电源转换效率超过 90% 的电脑和服务器产品，这样能完美有效地降低电能消耗。或者，单位也可以用笔记本电脑代替台式机，从而降低整体功耗。

而在单位网络环境的搭建上，也可以通过多种策略使其更绿色。例如，单位可以多用无线局域网代替有线局域网，这可以减少线缆，降低能耗和环境污染。更重要的是，单位在网络设备的选择上要注意选择绿色产品——与 PC 相比，交换机、路由器等网络设备多数需要 24 小时全天候运行，这就更要关注产品的绿色节能特点。

值得一提的是，单位还应充分利用 IT 信息技术实现节能减排。比如单位可以利用视频会议系统，和异地的分支或者商业伙伴进行重要事情的商议或会议探讨，这样不仅能避免因乘坐飞机、火车等交通工具所带来的能源消耗和碳排放，而且还能更及时地进行沟通，并大幅节约人员出差成本；单位也可以考虑虚拟化技术，减少服务器的采购量，从而降低能耗和废气排放。

那么作为个人是不是就可以放松呢？显然不是。不少刚参加工作不久的年轻人，用一个月的收入买一款新式手机或一个名牌皮包眼睛都不眨一眨。中国现在每年平均淘汰近 7000 多万部手机，产生着大量的电子垃圾。不少年轻女性同胞家里堆满了各种款式的鞋子和皮包，但还是要去买更新的款式。大量生产、大量消费、大量废弃的生活方式，不但污染了生态环境，而且污染了人们的心灵。在提倡“低碳生活”的今天，“能挣会花”的口号不再象征着现代化理念，而象征着一种浪费资源的野蛮消费方式。

2008 年 6 月 16 日《解放日报》报道，上海市将办公节能措施具体化，如制定了“夏季着清凉装上班，除外事礼仪需要外不穿两装不系领带”、“办公楼四楼以下不乘用电梯”、“公务出行拼车、乘用公交车”等规定，正在将办公节能措施具体化，并率先在公务人员中推行。这些政策都是我们作为个体力所能及，切切实实能办的到的，如果能将这些制度加以惩戒措施，我相信个人在推进低碳生活中的贡献将是非常大的。

在拯救地球的行动中，低碳生活不但是一个口号，更是一种态度。不管作为个体，还是作为整体，要做、要遵守的不仅仅只是上面所列举的一些。每个人都要有忧患意识，拿出自己的实际行动，保护我们的地球母亲永远常在。



# 雅鲁藏布江流域气候变化及多模式集成的预估结果分析

李发鹏

北京师范大学水科学研究院, 北京 100875

摘要: 利用雅鲁藏布江流域 1962-2002 年的降水和气温观测资料以及多模式集成 (2010-2100 年) 不同情景下 (SRES A1B、SRES A2 和 SRES B1) 气候变化模拟试验的预估结果, 分析了流域过去 41 年降水和气温的变化, 并预估了未来 90 年的气候变化趋势。结果表明, 在全球变暖的大背景下, 过去 41 年雅鲁藏布江流域年降水量增加了 38.3 mm, 气温上升趋势显著, 升温率达到了 0.27°C/10a。在未来的 90 年, 无论在何种排放情景下, 降水都表现为明显的上升趋势, 而且相对于过去 41 年的结果, 3 种不同情景下降水的年代际变率都有所增加, 其中 A2 情景值最大, B1 情景值最小。年平均气温无论在过去的 41 年还是在未来的 90 年都以明显的上升趋势为主, 3 种情景下的升温率远远超过过去 41 年的结果。

关键词: 雅鲁藏布江流域; 气候变化; 预估; 降水; 气温

## 1. 引言

气候变化及其未来趋势预估是目前各国政府、专家以及社会公众最为关心的重要环境问题之一。全球变暖已经被确定是一个客观存在的事实, 这个事实引发了一系列气候、水文、生态和环境问题, 例如降水的时空分布更不均匀, 极端降水事件频繁发生, 全球干旱面积增加, 台风活动加剧, 以及水资源的开发和管理、粮食安全、环境恶化等问题<sup>[1-5]</sup>。雅鲁藏布江是世界上海拔最高的大河, 是我国最重要的国际性河流之一。雅鲁藏布江发源于并流经青藏高原, 在边境巴昔卡入印度, 称布拉马普特拉河。雅鲁藏布江流域面积 239,228km<sup>2</sup>, 全长 2 229km。近几十年来, 随着雅鲁藏布江流域内人口的急剧增加和经济的告诉发展, 气候的变化必将对未来当地的生态和环境产生重大的影响。江志红<sup>[6]</sup>等对 IPCC 第四次评估报告 (AR4) 提供的 13 个气候系统模式的集成结果表明, 中国西南地区的气温和降水在未来 100 年都以上升趋势为主, 但因其研究针对整个中国区域, 所以对西南地区尤其雅鲁藏布江流域的刻画不够详细。本文主要从气候角度出发, 利用流域实际观测资料分析了历史时期降水和气温的变化趋势, 并利用气候变化模拟试验结果, 预估不同情景下雅鲁藏布江流域在未来 90 年气候的可能变化。这些工作可以为进一步评估气候变化对农业、水资源、生态和环境的影响提供基础信息支撑, 同时也可以为政府间关于雅鲁藏布江流域气候和水资源的谈判提供理论依据。

## 2. 方法与数据

研究资料包括实测资料和气候模拟试验的预估结果。观测资料来自于中国气象局国家气候中心, 包括 1962-2002 年雅鲁藏布江流域气象站点降水和气温空间插值结果, 其中气温为 1° × 1° 格点数据, 降水为 0.5° × 0.5° 格点数据。对降水数据进行重采样, 使其网格大小与气温、预估数据一致, 便于比较流域平均值。图 1 为雅鲁藏布江流域的范围, 以及流域覆盖的 31 个网格分布。

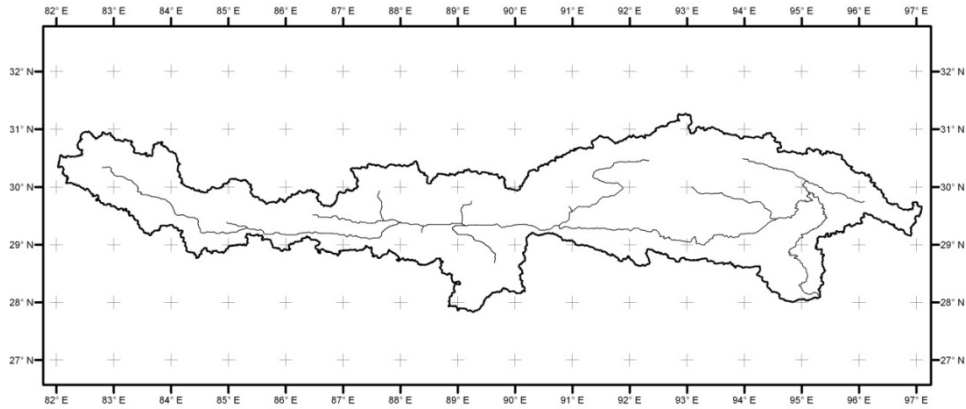


图 1 雅鲁藏布江流域及格点分布

选择的预估数据是中国气象局国家气候中心 2009 年 11 月发布的中国地区气候变化预估数据集 V2.0 中的降水 and 气温月平均资料，原始数据源自 IPCC PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison)，这一数据集是通过对参与 IPCC AR4 的 20 多个不同分辨率的全球气候系统模式的模拟结果进行尺度计算而得到的，并将其统一到同一分辨率下，对其在东亚地区的模拟结果进行检验，生成一套 1901-2100 年月平均降水和气温的多模式集合数据集。本文选择多模式集成的 3 种不同情景月平均数据，分别为 SRES A1B 情景，使用 17 个模式集合平均；SRES A2 情景，使用 16 个模式集合平均；SRES B1 情景，使用 17 个模式集合平均，关于模式的具体介绍看参考 <https://esg.llnl.gov:8443/index.jsp> 或文献<sup>[7-8]</sup>。各个不同情景模式预估数据的空间分辨率均为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，区域范围是  $72^{\circ}$  -  $135^{\circ}$  E,  $15.5^{\circ}$  -  $55.5^{\circ}$  N。选择流域内的格点平均作为区域平均值。

### 3. 实测降水和气温变化分析

#### 3.1 降水变化

由图 2 可知，雅鲁藏布江流域 1962-2002 年的年平均降水量为 663.9mm，线性变化率为 9.34mm/10a，降水量略有增加，但未达到 95% 的置信水平。各个季节的降水量由大到小排列为夏季、秋季、春季和冬季，其中夏季降水量达 400mm，相当于冬季降水量 (17.1mm) 的 20 倍以上。春、夏、秋、冬不同季节的降水变化率分别为 4.7 mm/10a、-1.4 mm/10a、5.3 mm/10a、0.1 mm/10a。4 个季节中，春季和秋季表现为上升趋势，而夏季降水呈现下降趋势，冬季降水变化趋势不明显，未通过 95% 置信水平。41 年间，雅鲁藏布江流域年降水量除 60 年代中期和 80 年代中期出现连续偏枯年份以外，其余时段主要以年际震荡为主。春季和冬季降水量年际间变化较为平稳，但春季降水量自 1995 年以来持续偏多，这可能与气温升高，上游冰雪融水增多有关。夏季降水量年际间波动非常大，自 1981 年以来，除 1991 年、1998 年等少数年份外，大部分年份的降水量接近或低于平均值。

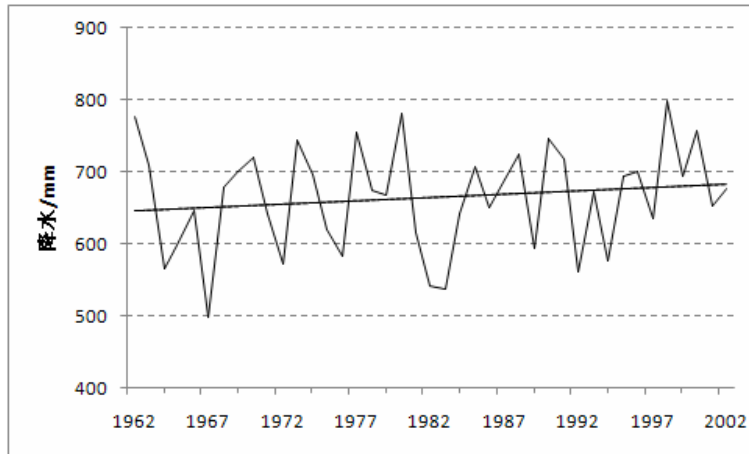


图 2 1962-2002 年雅鲁藏布江流域平均的年降水量变化  
(虚线为线性趋势，下同)

### 3.2 气温变化

从图 3 可明显看出，在全球变暖的大背景下，过去 41 年雅鲁藏布江流域的平均气温为  $0.74^{\circ}\text{C}$ ，其线性增长率为  $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，过去 41 年气温增加了  $1.1^{\circ}\text{C}$ 。4 个季节按春、夏、秋、冬的顺序气温平均值分为  $0.4$ 、 $8.4$ 、 $1.5$ 、 $-7.3^{\circ}\text{C}$ ，其线性变化率分别为  $0.25$ 、 $0.2$ 、 $0.3$ 、 $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，即冬季增温率最大，夏季的增温率最小。全年平均和各个季节的气温变化都达到 99% 的置信水平，均表现为明显的升温趋势。

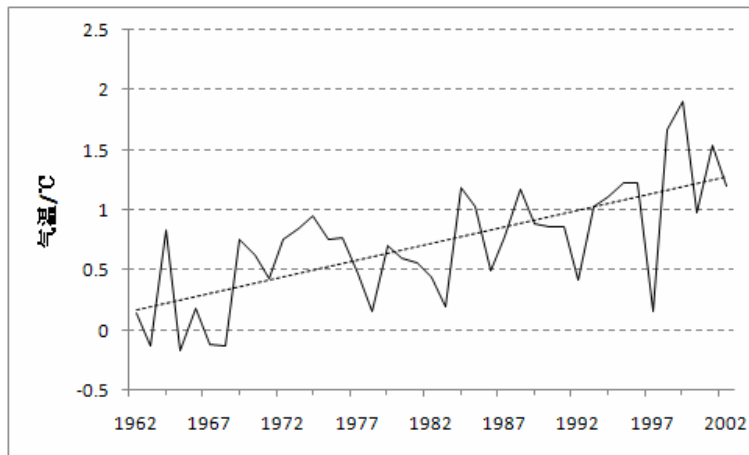


图 3 1962-2002 年雅鲁藏布江流域平均的年气温变化

## 4. 2010-2100 年降水 and 气温变化预估

### 4.1 2010-2100 年降水变化

图 4 给出了 3 中情景下 2010-2100 年全年总降水量的时间变化曲线和现行趋势，结果

表明，无论哪种情景，其降水趋势都是显著增加的，切都远远超过 99%的置信水平，线性增长率分别为 18.56 mm/10a (A1B)、23.88 mm/10a (A2)、9.16 mm/10a (B1)。A2 情景的降水量平均值不是最大，但其增加率最大。A1B 排放情景下春、夏、秋、冬 4 个季节的降水增加率分别为 3.69 mm/10a、5.15 mm/10a、9.53 mm/10a 和 0.19 mm/10a，秋季降水增加率最高；A2 排放情景下春、夏、秋、冬 4 个季节的降水增加率分别为 11.58 mm/10a、10.49 mm/10a、2.24 mm/10a 和 -0.42 mm/10a，春季降水增加率最高；B1 排放情景下春、夏、秋、冬 4 个季节的降水增加率分别为 0.75 mm/10a、8.15 mm/10a、0.9 mm/10a 和 -0.64 mm/10a，夏季降水增加率最高。

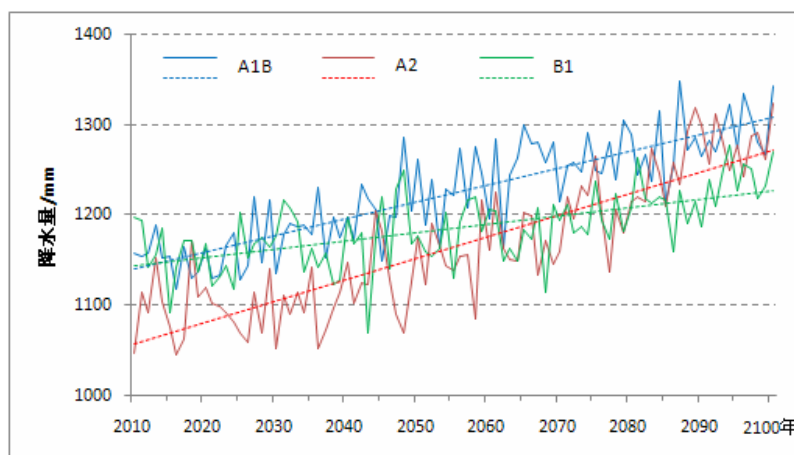


图 4 2010-2100 年 3 种排放情景下年降水量的变化

## 4.2 2010-2100 年气温变化

图 5 给出了未来 90 年 3 种不同排放情景下的气温变化，3 种情景都是以明显的升温趋势为主，其中升温最剧烈的是 A2 情景，达到了 0.53°C/10a；B1 情景的升温趋势最缓和，约为 0.25°C/10a，不到 A2 情景升温率的一半；稍低于过去 41 年的升温率 (0.27°C/10a)。A1B 排放情景下春、夏、秋、冬 4 个季节的气温增温率分别为 0.11°C/10a、0.09°C/10a、0.09°C/10a 和 0.13°C/10a，冬季升温率最高；A2 排放情景下春、夏、秋、冬 4 个季节的增温率分别为 0.14°C/10a、0.11°C/10a、0.12°C/10a 和 0.16°C/10a，冬季增温率最高；B1 排放情景下春、夏、秋、冬 4 个季节的增温率分别为 0.06°C/10a、0.05°C/10a、0.06°C/10a 和 0.08°C/10a，冬季增温率最高。

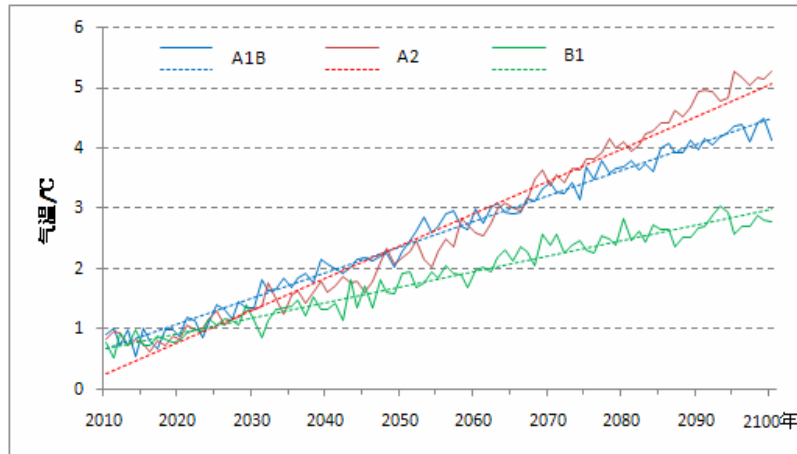


图 5 2010-2100 年 3 种排放情景下年平均气温的变化

## 5. 结论和讨论

本文利用过去实测的和对未来预估的降水 and 气温数据,详细的分析和讨论了雅鲁藏布江流域过去 41 年和未来 90 年的气候变化,得出如下结论。

(1) 过去 41 年雅鲁藏布江流域的年降水量略有不显著的增加,其中春季和秋季降水有明显上升趋势,而冬季降水变化不显著。

不同排放情景的降水量在未来 90 年都明显增加,超过了 99%的置信水平。除 A2 和 B1 情景冬季降水略有减少外,其余各种排放情景的各个季节降水量都是增加的。

(2) 雅鲁藏布江流域的气温在过去 41 年都表现为明显的上升趋势,年平均气温增温率为  $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,在 4 季节中冬季增温率最大,达到了  $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

未来 90 年雅鲁藏布江流域的气温增加更加明显,年和各个季节的气温变化都远远超过 99%的置信水平。其中 A2 情景的增温率最大,年增温率达到了  $0.53^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,且其年际变化也是最显著的。3 种排放情景的冬季增温率都是 4 个季节里面最高的分别达到  $0.13^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.16^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.08^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

虽然本文使用的未来情景预估数据为多个模式的集合平均值,在一定程度上增强了结果的可信度,但仍然存在很大程度的不确定性。第一,目前的预估只考虑人类排放情景,并没有考虑未来自然强迫的影响;第二,本文所使用的全球模式分辨率较低,而且研究区域相对较小,地形比较复杂,这也增加了研究结果的不确定性,尤其是降水预估数据的可信度更低。

致谢:本研究所使用的全球气候模式气候变化预估数据,由国家气候中心研究人员对数据进行的整理、分析和惠许使用。原始数据由各模式组提供,由 WGCM(JSC/CLIVAR Working Group on Coupled Modelling) 组织 PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison) 搜集归类。多模式数据集的维护由美国能源部科学办公室提供资助。在此一并致谢!

参考文献:

[1] 任国玉,姜彤,李维京,等. 气候变化对中国水资源情势影响综合分析[J]. 水科学进展, 2008,

19(6): 772-779.

[2] 陶涛, 信昆仑, 刘遂庆. 全球气候变化对水资源管理影响的研究综述[J]. 水资源与水利工程学报, 2007, 18(6): 7-12.

[3] 李莉, 王杰, 王旭. 气候变化对我国水文水资源系统的影响研究[J]. 地下水, 2007, 29(3): 8-9.

[4] 宁金花, 申双和. 气候变化对中国水资源的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(4): 1580-1583.

[5] 钱正英, 张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究[M]. 北京: 水利水电出版社, 2001, 65-66.

[6] 江志红, 张霞, 王冀. IPCC-AR4 模式对中国 21 世纪气候变化的情景预估[J]. 地理研究, 2008, 27(4): 787-799.

[7] 中国地区气候变化预估数据集 Version 1.0 使用说明[DB/OL]. [2008-10]. <http://ncc.cma.gov.cn>

[8] 中国地区气候变化预估数据集 Version 2.0 使用说明[DB/OL]. [2009-11]. <http://ncc.cma.gov.cn>

## 气候系统中碳循环问题的思考

第七届气候系统与气候变化国际讲习班  
中国气象局兰州干旱所 李刚

全球变暖是指全球气温升高。近 100 多年来，全球平均气温经历了冷—暖—冷—暖两次波动，总的看为上升趋势。进入上世纪八十年代后，全球气温明显上升。其中 1981~1990 年全球平均气温比 100 年前上升了 0.48℃。已有证据表明：导致全球变暖的主要原因是，人们焚烧化石矿物以生成能量或砍伐森林并将其焚烧等，排放出大量的 CO<sub>2</sub> 等多种温室气体。由于这些温室气体对来自太阳辐射的可见光具有高度的透过性，而对地球反射出来的长波辐射具有高度的吸收性，也就是常说的“温室效应”，导致全球气候变暖。

目前，全球气候变化已经成为各国政治、经济、科学等领域重点关注的问题。2007 年，联合国政府间气候变化委员会(IPCC)公布了它的第四次评估报告，报告指出过去 100 年，全球地表评价温度升高了 0.74 度，海平面升高了 0.17 米，该报告认为过去 50 年观测到的地球平均温度升高有 90% 以上的可能性是由人类活动引起的，主要是人类活动引起的温室气体排放的增加，导致其捕获本来会逃离大气层的能量，从而导致全球变暖；其重要依据是工业化之前大气中 CO<sub>2</sub> 为 280ppm，现在为 380ppm。IPCC 报告指出全球气候变化给人类及生态系统带来了的巨大生存危机：极端天气、冰川消融、永久冻土层融化、珊瑚礁死亡、海平面上升、生态系统改变、致命热浪、水资源短缺、干旱与洪涝频发、土地沙漠化加剧、水土流失面积扩大、山地灾害加剧、大气成分改变等。

人类对气候的影响究竟有多大，要回答这个问题，首先必须清楚地球的碳循环轨迹。既我们需要搞清楚：有多少二氧化碳通过人、动物和植物释放到大气中，又有多少大气中的二氧化碳通过光合作用被植物吸收。

据估计，全球碳贮存量约为  $26 \times 10^{15} \text{t}$ ，但绝大部分以碳酸盐的形式禁锢在岩石圈中，其次是贮存在化石燃料中。生物可直接利用的碳是水圈和大气圈中以二氧化碳形式存在的碳，二氧化碳或存在于大气中或溶解于水中，所有生命的碳源均是二氧化碳。碳的主要循环形式是从大气的二氧化碳蓄库开始，经过生产者的光合作用，把碳固定，生成糖类，然后经过消费者和分解者，通过呼吸和残体腐败分解后，再回到大气蓄库中。碳被固定后始终与能流密切结合在一起，生态系统生产力的高低也是以单位面积中碳来衡量。

### 全球碳循环包含了三个子系统：大气圈，海洋圈和生物圈。

地球上最大的两个碳库是岩石圈和化石燃料，含碳量约占地球上碳总量的 99.9%。这两个库中的碳活动缓慢，实际上起着贮存库的作用。地球上还有三个碳库：大气圈、水圈和生物圈。其中的碳在生物和无机环境之间迅速交换，容量小而活跃，实际上起着交换库的作用。

碳在岩石圈中主要以碳酸盐的形式存在，总量为  $2.7 \times 10^{16} \text{t}$ ；在大气圈中以二氧化碳和一氧化碳的形式存在，总量有  $2 \times 10^{12} \text{t}$ ；在水圈中以多种形式存在在生物库中则存在着几百种被生物合成的有机物。这些物质的存在形式受到各种因素的调节。

在大气中，二氧化碳是含碳的主要气体，也是碳参与物质循环的主要形式。在生物圈中，森林是碳的主要吸收者，它固定的碳相当于其他植被类型的 2 倍。森林又是生物库中碳的主要贮存者，贮存量大约为  $4.82 \times 10^{11} \text{t}$ ，相当于目前大气含碳量的 2/3。植物通过光合作用从大气中吸收碳的速率，与通过动植物的呼吸和微生物的分解作用将碳释放到大气中的速率大体

相等,因此,大气中二氧化碳的含量在受到人类活动干扰以前是相当稳定的,其总量只占海洋的1/15。与碳的总量相比,它对于自然和人为的干扰最为敏感。在目前的全球变暖背景下,大气中人为排放的气体中CO<sub>2</sub>是最有数量意义的。CO<sub>2</sub>一方面是生物地球化学中碳循环的一部分,另一方面,人类活动的投入如化石燃料的燃烧以及森林的大规模的砍伐,导致大量CO<sub>2</sub>散发到大气圈中。大气中CO<sub>2</sub>浓度的增加不仅仅是人为因素的结果,同时很大程度上和全球碳循环的自然组成成分的反应有关。碳循环的组成成分包括海洋,陆地生物圈,如果考虑地质年代这一时间尺度的话,还包括岩石圈。对冰芯中CO<sub>2</sub>百分含量的测量表明大气中CO<sub>2</sub>浓度几乎持续了1000年未变化,直到工业化的到来。可以设想这一系统一直处于一个较稳定的状态,在大气、海洋和陆地生态系统之间有数量巨大的CO<sub>2</sub>交换,同时保持着动态的平衡。而人类活动输入大气的CO<sub>2</sub>是对这一稳定状况的干扰。

化石燃料的燃烧,还有对热带雨林的滥砍滥伐。这些是大气中CO<sub>2</sub>的最主要来源,它们对立一个相对较弱的碳汇,这一状况也是由于人类的影响造成的。北半球的人工林正处于一个再生的阶段,这一阶段CO<sub>2</sub>在树以及土壤生物中的累积,超过了由于管理惯例所造成的损失。

由于人类活动的直接影响,系统做出了反馈——自然碳交换通量的改变。由于大气中CO<sub>2</sub>浓度的增加,大气和海洋间的交换变成了海洋对CO<sub>2</sub>的净吸收。大气CO<sub>2</sub>浓度的增加对陆地生态系统所造成的影响更为复杂。一方面,由于大气气体组成的改变导致的生物物质产量的刺激作用可能出现,并且大气中CO<sub>2</sub>百分含量的增加也会造成一种富集效应(CO<sub>2</sub>的直接影响),另一方面,可以预期CO<sub>2</sub>的大量排放是温暖气候里的较高呼吸作用速率的结果(CO<sub>2</sub>间接影响)。

沉积之后海洋是最大的碳池。储存在海洋中的碳差不多有大气中的50倍,生物圈的15倍。海洋生物圈含有相对较少的碳(>30 Gt C),最大的部分存在于无机化合物中(约37,500 Gt C)。另外,这也有溶解的碳和有机碳(约1,000 Gt C)。海洋大致可以分为以下几层:充分混合的表层(50~100m深),其可以与大气进行长久的相互作用,其下一层温度陡降被称作温跃层(到1000m深),再往下是中间水以及深海。在时间尺度上深海中的相互作用完全不同于上几层中的过程,深海和表层海之间的一次完全交换可以持续500~1000年。这里有三种过程参与海洋中的碳的储藏。

更重要的是海洋对于调节大气中的含碳量起着重要的作用。在水体中,同样由水生植物将大气中扩散到水上层的二氧化碳固定转化为糖类,通过食物链经消化合成,再消化再合成,各种水生动植物呼吸作用又释放二氧化碳到大气中。动植物残体埋入水底,其中的碳都暂时离开循环。但是经过地质年代,又可以石灰岩或珊瑚礁的形式再露于地表;岩石圈中的碳也可以借助于岩石的风化和溶解、火山爆发等重返大气圈。有部分则转化为化石燃料,燃烧过程使大气中的二氧化碳含量增加。

二氧化碳在大气圈和水圈之间的界面上通过扩散作用而相互交换。二氧化碳的移动方向,主要决定于在界面两侧的相对浓度,它总是从高浓度的一侧向低浓度的一侧扩散。借助于降水过程,二氧化碳也可进入水体。1L雨水中大约含有0.3ML的二氧化碳。在土壤和水域生态系统中,溶解的二氧化碳可以和水结合形成碳酸,这个反应是可逆的,反应进行的方向取决于参加反应的各成分的浓度。碳酸可以形成氢离子和碳酸氢根离子,而后者又可以进一步离解为氢离子和碳酸根离子。由此可以预见,如果大气中的二氧化碳发生局部短缺,就会引起一系列的补偿反应,水圈中的二氧化碳就会更多地进入大气圈中;同样,如果水圈中的二氧化碳在光合作用中被植物利用耗尽,也可以通过其他途径或从大气中得到补偿。总之,碳在生态系统中的含量过高或过低都能通过碳循环的自我调节机制而得到调整,并恢复到原有水平。大气中每年大约有1×10<sup>11</sup>t的二氧化碳进入水体,同时水中每年也有相同数量的二氧化碳进入大气中,在陆地和大气之间,碳的交换也是平衡的,陆地的光合作用每年大约



从大气中吸收  $1.5 \times 10^{10} \text{t}$  碳，植物死后被分解约可释放出  $1.7 \times 10^{10} \text{t}$  碳，森林是碳的主要吸收者，每年约可吸收  $3.6 \times 10^9 \text{t}$  碳。因此，森林也是生物碳的主要贮库，约储存  $482 \times 10^9 \text{t}$  碳，这相当于目前地球大气中含碳量的  $2/3$ 。

- **化学平衡**： $\text{CO}_2$ 在表层溶解与水反应生成碳酸氢盐和碳酸盐。
- **生物泵**：被海洋的浮游植物群落吸收固定。
- **物理泵**：表层富含 $\text{CO}_2$ 的寒冷海水下沉，同时深海中 $\text{CO}_2$ 含量低的海水上涌。

虽然人们对海洋和大气之间的碳交换通量的量级已经了解得很清楚，但对大气和陆地生物圈之间的碳流动的比率仍不确定。植物通过光合作用，将大气中的二氧化碳固定在有机物中，包括合成多糖、脂肪和蛋白质，而贮存于植物体内。食草动物吃了以后经消化合成，通过一个一个营养级，再消化再合成。在这个过程中，部分碳又通过呼吸作用回到大气中；另一部分成为动物体的组分，动物排泄物和动植物残体中的碳，则由微生物分解为二氧化碳，再回到大气中。

对热带森林的乱砍滥伐是大气中最重要的 $\text{CO}_2$ 源。每年有 15-20 百万公顷的热带森林被砍伐，释放出  $1.6 \pm 1.0 \text{Gt C/yr}$  的 $\text{CO}_2$ 。越来越多的迹象表明砍伐热带森林的活动在减少，加拿大和西伯利亚北部的森林得到了越来越多的重视，估计砍伐量降至 2-5 百万公顷每年。不考虑这对当地的重要性，全球和 $\text{CO}_2$ 平衡有关的空气污染影响相对小了。

增长的草原燃烧被认为是小的碳汇，草原生态系统的部分植被燃烧转化为难以分解的碳化物（炭），几年内植物会再生长出来。正如前面提到的人为排放的 $\text{CO}_2$ 和氮化物会支持植物的生长。 $\text{CO}_2$ 的施肥效应对不同的生物群系和生态系统有多种影响，因为核酮糖酶的反应速率是羧化加氧酶的 1.5 倍。假定土壤中有充足的养料，考虑这种因素，由于增加的 $\text{CO}_2$ 含量热带生态系统可以吸收比高纬度生物群系更多的碳素。

关于额外的碳储，森林生态系统远优于草地，因为光合作用潜在的小变化或主要净生产量对两系统生物量的增加有相同的百分比影响。气候的年变化可能会使碳的源和汇按照  $1.0 \pm 1.0 \text{Gt C/yr}$  的顺序变化，而这种作用在厄尔尼诺年会增强。

自然生态系统中，植物通过光合作用从大气中摄取碳的速率与通过呼吸和分解作用而把碳释放到大气中的速率大体相同。由于植物的光合作用和生物的呼吸作用受到很多地理因素和其他因素的影响，所以大气中的二氧化碳的含量有着明显的日变化和季节变化。例如，夜晚由于生物的呼吸作用，可使地面附近的二氧化碳的含量上升，而白天由于植物在光合作用中大量吸收二氧化碳，可使大气中二氧化碳含量降到平均水平以下；夏季植物的光合作用强烈，因此，从大气中所摄取的二氧化碳超过了在呼吸和分解过程中所释放的二氧化碳，冬季正好相反，其浓度差可达 0.002%。

在生态系统中，碳循环的速度是很快的，最快的在几分钟或几小时就能够返回大气，一般会在几周或几个月返回大气。一般来说，大气中二氧化碳的浓度基本上是恒定的。但是，近百年来，由于人类活动对碳循环的影响，一方面森林大量砍伐，同时在工业发展中大量化石燃料的燃烧，使得大气中二氧化碳的含量呈上升趋势。由于二氧化碳对来自太阳的短波辐射有高度的透过性，而对地球反射出来的长波辐射有高度的吸收性，这就有可能导致大气层低处的对流层变暖，而高处的平流层变冷，这一现象称为温室效应。由温室效应而导致地球气温逐渐上升，引起未来的全球性气候改变，促使南北极冰雪融化，使海平面上升，将会淹没许多沿海城市 and 广大陆地。虽然二氧化碳对地球气温影响问题还有很多不明之处，有待人们进一步研究，但大气中二氧化碳浓度不断增大，对地球上生物具有不可忽视的影响这一点，是不容置疑的。

## 参加本次国际讲习班对自己的巨大帮助：

参加本次国际讲习班，我收获很大。平时我自己主要关注大气化学与气溶胶的气候效应方面的科研进展。本次讲习班上尤其是国际知名气溶胶方面专家学者 Dr. John Ogren、Dr. Steve Ghan、Dr. Nakajima Teruyuki，粒子分析专家 Dr. Claude Boutron 的精彩的讲解，拓宽了自己的科学视野，更加明确了自己下一步的气溶胶科研方向。感谢国家气象局提供了这次这么好的学习机会给我们学员。

听了这次国际讲习班的报告后，结合目前我自己的科研方向，谈些我自己的想法，也请各位老师、同学指正：

### 1、开展碳气溶胶中 EC 和 OC 的相关分析研究。

大气中悬浮的气溶胶粒子，是由硫酸盐、硝酸盐、含碳粒子、海盐和矿物尘等组成的混合物，不仅对人体健康、能见度具有重要危害，而且对全球和区域气候与环境系统产生着显著影响。由于对人体健康的危害、直接和间接的气候效应、影响降水酸度、光化学烟雾、参与全球生物地球化学循环、降低能见度等，大气中的碳气溶胶 (Carbonaceous Aerosol) 越来越受到科学家的关注。

碳气溶胶分为有机碳 (Organic carbon, OC) 和元素碳 (Elemental Carbon, EC (或称黑碳, BC)) 两种，其中 OC 是大气气溶胶的重要组成成分，在污染严重的地区 (尤其在城市中)，OC 一般占到 PM<sub>2.5</sub> 质量的 10%~70%。区域大气中 OC 的测量较少，其值为 0.1~5.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；城市大气中的 OC 测量相对多一些，特别是在欧、美等发达国家，由于机动车等的影响，OC 的含量明显偏高，约 4~30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。区域大气中的 OC/EC 比值一般大于 3.0，可达 10.0 以上。城市大气中的 OC/EC 比值一般为 1.0~4.0，OC 通常代表碳气溶胶组分的 50% 以上；OC/EC 比值大于 2.0，表示已有 SOC (二次有机碳气溶胶) 的出现。OC 气溶胶能在环境大气中存在数天至数星期，全球平均数为 3~7 d、3.9~4.5 d，由此可能扩散至数百至上千公里外。OC 的存在时间相对于 EC 较短，是因为其天然的亲水性导致其湿沉降。

目前在环境大气中还不清楚碳气溶胶中 OC 所占比例的准确数据，有关碳气溶胶的赋存状态、水溶性、组成、形成机制及有关化合物的分子标志物等的详细信息则更为缺乏。

近年来国内外有关碳气溶胶的研究论文已呈显著增长的趋势，碳气溶胶及其气候和环境效应研究已成为当前国际大气化学研究的热点之一，是气溶胶领域最有前景的研究发展方向之一。

中国地处东亚地区，面积广大，由于经济水平相对落后和生活习惯等原因，大量使用煤和生物质作燃料，被认为是排放 OC 的全球第一大户，而且由于其独特的地理位置及社会、经济的快速发展，使其排放量的变化 (如年变化、季变化、月变化等) 也较大，很难较准确地确定。JACOBSON 等的研究明确指出限制中国及东南亚国家碳气溶胶的排放是当前减缓全球气候变暖的最有效途径之一；即将进行的 IPCC 第 4 次科学评估报告 (2007 年) 已把中国的碳气溶胶研究列为一个重点，这些都对我国的环境外交形成了巨大压力，也是对我国的经济与社会可持续发展的严重障碍。显然，中国区域碳气溶胶的网络观测、排放及输送、气候效应的数值模拟研究不仅是近几年我国、国际大气化学和全球变化研究的一个焦点的科学问题，也将是一项关系到国家安全和利益的实际研究工作。

### 2、我国西北干旱半干旱地区的碳循环研究。

二氧化碳的源与汇规律还没掌握。这是目前碳循环研究中的最重要问题。

目前的二氧化碳循环模型依赖于未知的二氧化碳汇聚来解释当前的趋势，这些未知汇聚的功能是否超过工业化产生的二氧化碳或是否由二氧化碳浓度增加引起的还不确定。如果人为排放 CO<sub>2</sub> 增加，那么海洋、土壤、生物圈或海洋表面吸收的二氧化碳应该有所增加，

然而目前还很少有数据支持这个假设，有些研究报告把这个效应定义为“不知名的碳汇”，IPCC-AR4 2007,p.26 把它称为剩余陆地碳汇（residual land sink）。CO<sub>2</sub>浓度的季节性变化显示不断扩大的生物圈和海洋上表面吸收的二氧化碳增加；目前还不能掌握海洋增温和海洋表面与深海的交换变化导致的气体逸出，生物圈在温暖多雨的环境下吸收量的变化情况，土壤中逸出气体的变化情况等，这些不确定性因素都会导致未来大气中二氧化碳的浓度的不确定。Baker 在 2007 年指出石化燃料引起的二氧化碳排放量留在大气中的少于一半，大部分会被海洋和陆地生物圈所吸收。IPCC-AR4 2007, p.522 指出在北半球存在着强大的碳汇效应，热带是一个净碳源。然而，Stephens 在 2007 年指出全球大气中二氧化碳的垂直分布与 IPCC 报告应用模型分析得出的结论不一致，气候模型严重低估了碳汇效应，而且在热带地区可能存在强烈的碳吸收功能。

海洋增温对温室气体的作用似乎是毫无疑问的——水温每增加 1°C,吸收二氧化碳的能力下降 4%，也就是说海洋温度升高时，海水吸收二氧化碳的能力下降即海洋增温将向大气中排放二氧化碳。然而冰芯数据观测结果显示二氧化碳浓度滞后于上次间冰期后的快速升温过程（Fischer 1999）。全球海洋的温度分布对海洋吸收与排放二氧化碳具有重要作用，因为海洋在温度较低的地区会吸收大量的二氧化碳，在温度较高的地方将可能释放二氧化碳，因此正确的研究需要正确处理海洋温度随经纬度的分布信息，同时还要考虑到海洋环流如何使富含二氧化碳的海水带到海洋表面等。总之，有大量证据显示目前对二氧化碳生命周期、碳源、碳汇等具有很大的不确定性。

其中陆地生态系统作为一个很大的碳库，可以吸收大约 30%的由化学燃料释放到大气中的碳；而根据现有科学认识：碳汇主要产生在北半球中高纬度地区的陆地生态系统，但是在这些陆地生态系统（我首先针对我国西北地区的干旱半干旱地区开展研究）什么地方吸收了这部分损失的碳仍然是一个很大的问题；并且碳汇每年都有一个很大的变化幅度，但究竟是什么导致它年变化，将来碳汇如何发展？这些还有待进一步研究。

**另外，专家学者的报告还让我对以下科研问题产生了兴趣：**

**1、气溶胶对云特性的作用规律：**关于大气气溶胶对云特性改变的全过程目前科学界尚未有充分的认识，并且目前我们依然对与气溶胶相关的间接辐射效应强度没有很好的定论。有大量证据显示云层覆盖的地球面积超过 25%，并对气候变化有重要的影响，因此，气溶胶对云层特性的作用机制的不确定性，将会影响基于模型推论全球气候变化的可靠性。这方面有许多研究可以开展。

**2、全球气候预测中的不确定性：**大量科学研究显示由于气候变化是一个极其复杂的综合系统过程，大气循环受到太阳辐射、水汽、气溶胶、大气颗粒物、云层、降水、极端气候因素等影响，以目前的科学技术预测近期的气象变化都存在着较大的不确定性，应用大气模式来预测十年、百年的气候变化问题毫无疑问可信度是很低的。IPCC AR4 报告中也提到了全球气候预测中的众多不确定性：在气溶胶的方面，如：未来碳循环反馈强度仍不能充分确定。

**3、目前，全球冰川存在退缩现象，**而我们对冰川自身变化规律缺乏充分的认识。气溶胶在这其中起了什么作用，值得思考探究。

# 第七届气候系统与气候变化国际讲习班学习心得

——对气溶胶气候效应的认识

李宏毅

(中国气象局培训中心, 北京, 100081)

为期 12 天的“第七届气候系统与气候变化国际讲习班”很快就接近尾声了。本届讲习班邀请了 Claude Boutron 教授(法国), 美国的 John A. Ogren 教授(美国)、Steven John Ghan 博士(美国)、Ned Helme 博士(美国)、Teruyuki Nakajima 教授(日本)、Klaus Fraedrich 博士(德国)等六位国际著名科学家前来授课。此次课程内容覆盖面广、专业性强, 主要课程包括: 气候系统过程及相互作用; 大气化学与气溶胶的气候效应; 冰冻圈在气候系统和气候变化中的作用; 气候模式在气候变化研究中的应用; 气候变化的不确定性; 地球生物化学循环; 气候变化减缓与适应对策及社会可持续发展等。

此次讲习班, 我学到了很多新知识, 为我以后的学习、工作和研究开辟了更广阔的领域, 也使我有机会领略到国际上知名专家的风采, 感受到他们对科学的热爱和严谨的态度。学者们的研究思路及先进研究成果的研究方法是值得我们借鉴的。Claude Boutron 教授有着非常严谨的治学精神, 从他身上我体会到了一个真正的冰川学家对待实验的严谨和一丝不苟, 使我明白了冰芯数据的来之不易, 使我深深的明白科学的每一个微小的进步总是包含了无数人艰辛的付出和孜孜不倦的努力。Ned Helme 博士是一个很优秀的 speaker, 有着很好的口才, 倒像是一个真正的 president, 听他的课就像是在听奥巴马演讲一样, 让我体会到了一个真正的政策研究学家身上所具有的素质和魅力。Klaus Fraedrich 博士虽然是德国人, 但是他的英语特别棒, 他讲话特别快, 像打“机关枪”一样, 但是他每一个单词的发音都非常的清楚, 所以他的课听起来也非常的舒服, 他喜欢将科学问题与音乐、艺术联系起来, 这让人觉得非常的有意思, 任何的科学问题也是一门艺术, 他将气候变化的科学问题与艺术联系在一起, 让人体会到了他的幽默与创意。Steven John Ghan 博士是一位研究气候变化与气溶胶气候效应的专家, 他讲了很多气溶胶的气候效应、气溶胶对云的影响、气溶胶对降水的影响等前沿性的研究成果, 让人体会到了他在气溶胶气候效应领域的贡献很大, 同时我的收获也很大。John A. Ogren 教授讲课, 由于他知道我们的母语不是英语, 所以他为了让我们更好的听懂他的课程, 他故意将语速放的很慢, 而且声音很大, 并且时不时的穿插一些小幽默进去, 所以他的上课气氛非常的好。他说他非常喜欢大家随时打断他, 随时提问, 这样他会觉得大家对他的授课内容非常感兴趣,

表明大家没有睡着，表明大家对他的课程注意力非常集中，利用提问的机会，我也对他进行了赞美，我说他是一个非常“kindly”、“humorous”、“enthusiasm”的一个教授，也是在他的课上，我第一次敢勇敢的站起来用英语提问题。Teruyuki Nakajima 教授是日本人，我一开始非常担心他的英语有日语口音，我担心我听不懂，但是没有想到，他的英语竟然是那么的好，而且我听的非常清楚和轻松，而且他的 teaching-style 非常的好，一看就知道是长期从事教学的教授，在教学方面具有丰富的经验，我在课下跟他进行了交流，他说他在日本任教多年了。他讲的很慢很清楚，也很认真仔细，他连云和气溶胶的光学性质以及气溶胶辐射强迫理论的公式都做了详细的解说，他懂得如何来活跃课堂气氛，而且他做到了很好的 teacher-student interaction，整个课程听下来，使我受益匪浅。每个报告之后的中文辅导老师也很认真负责，很多老师是根据外国专家讲座的内容再结合他们自己在该领域研究中的体会为我们讲解，这样使我们对某一个有了较为全面、深刻的认识。

此次学习的机会实在难得，使我受益匪浅，总结起来有以下三个方面：1、提高了自己的英语水平；2、提高了自己的专业水平；3、了解相关领域前沿研究进展。会议组织方邀请的几位专家学者无疑代表着这些领域研究的前沿进展情况，通过学习他们推荐的文章，听他们的学术报告，对这些领域目前的发展状况有了一定的了解，这对我在学习及工作中的方向的把握非常有帮助。下面就我比较感兴趣的问题——气溶胶气候效应，谈下我的认识。

由于工业活动的影响，化石燃料和生物质的燃烧，东亚和印度区域的气溶胶源排放也随之大幅增加。有研究（Novakov et al., 2003; Street et al., 2003）表明在过去 50 年间，中国主要区域的硫酸盐和黑炭气溶胶排放增加了 2-3 倍。由于工业化进程的加快，我国东部地区大气中的黑碳气溶胶浓度较大（张华等，2008）。在亚洲季风区域，气溶胶不仅是一种主要且日益严重的环境危害，而且还对季风区域气候有直接和间接的影响。它们通过直接吸收和反射太阳辐射以及改变其它辐射强迫因子(云、臭氧)的大小间接影响地气系统的能量收支。近年来研究表明：人类活动产生的气溶胶具有与CO<sub>2</sub> 温室气体大小相当、符号相反的辐射强迫效应。它们在全球或区域范围内削弱温室气体的变暖趋势，对气候变化造成很大的影响（罗云峰等，1998）。

大气气溶胶是由大气介质和混合于其中的固体或液体颗粒物组成的体系。由于它是由不同相态物体组成，虽然其含量很少，但对大气中发生的许多物理化学过程都有重要的影响。大气气溶胶有着众多的自然源和人为源，例如火山的喷发，海水的溅沫，地面的扬尘，生物体的燃烧以及人类活动，燃料的使用等过程产生的各种颗粒物。气溶胶对太阳辐射的吸收和散射会改变地球大气系统的行星反照

率，从而影响到地气系统的能量平衡，气溶胶对太阳辐射的吸收和散射会减少到达地面的太阳辐射，从而对地面起到冷却的作用而对对流层上层起到加热的作用，这个就是气溶胶的直接效应（Stanhill and Cohen. 2001）；气溶胶对地面的冷却作用远远大于它上层的大气，因此增加了底层对流层大气的稳定性，抑制了对流发展，这个称为半直接辐射效应（Hansen et al. 1997; Ackerman et al. 2000）；大气气溶胶还起到云凝结核的作用；大量的气溶胶颗粒有可能使云滴的数密度增加，云滴的平均半径变小使云对太阳辐射的反射率增加，这称为第一间接效应（Twomey 1977）；小的云滴不利于碰并，使云的维持时间加长和阻碍了云滴的增长成大的雨滴，减少了降水，这称为第二间接效应（Albrecht 1989; Rosenfeld 2000）。这一效应导致云量增多，对太阳的辐射增加，更进一步对地面加深冷却效应。当环境水汽含量增加时，气溶胶增加了水汽凝结核，因此可以增加降水（Li and Yuan 2006）。这些都会影响到地气系统的能量平衡，从而对气候变化有影响。但由于它在大气中的停留时间较短，其特性随空间和时间都有明显的变化，因此到目前为止，我们尚且还缺少足够的研究来研究大气气溶胶对气候系统的确切影响。根据目前的研究结果，由气溶胶引起的全球平均辐射强迫和温室气体引起的辐射强迫量级相等，而性质却相反，气溶胶引起的温度降低有可能局部抵消由于温室气体引起的全球温度升高。但相对于温室气体的研究来说，有关气溶胶辐射强迫研究的可信度都在低或者很低的水平，因此这还是一个需要进一步加强研究的领域。图 1.1 为气溶胶对气候的作用。

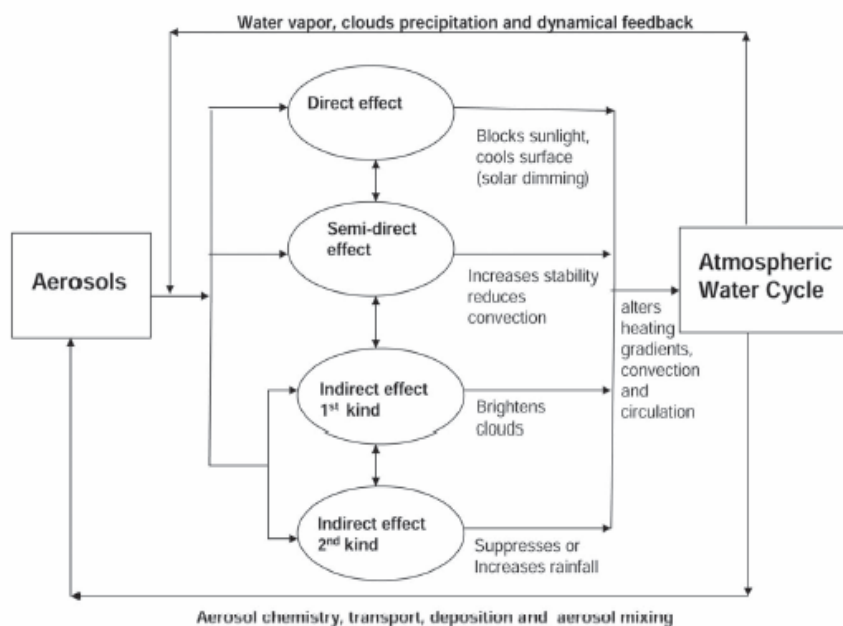


图 1.1 气溶胶对气候的作用(K.-M. Lau et al, 2008)

可见随着工业的发展，污染物的大量排放，气溶胶对云和降水有着越来越不

可忽视的影响，气溶胶的气候效应也越来越引起众多科学家的关注和研究。在气候尺度上会使得降水减少，进而影响水资源量，应该采取气候适应措施。

以上就是我在此次课程浅显的认识和理解。

衷心地感谢中国气象局以及协办单位为我们全体学员提供了宝贵的学习机会！非常感谢各位专家教授的精彩报告以及中文辅导教师细心的讲解！非常感谢 ISCS 会务组的老师们的辛勤劳动，谢谢你们！

## 参考文献

- Ackerman, A. S., O. B. Toon, D. E. Stevens, A. J. Heymsfeld, V. Ramanathan, and E. J. Welton, 2000: Reduction of tropical cloudiness by soot. *Science*, 288, 1042 - 1047.
- Albrecht, B. A., 1989: Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness. *Science*, 245, 1227-1230.
- Hansen, J., M. Sato, and R. Ruedy, 1997: Radiative forcing and climate response. *J. Geophys. Res.*, 102, 6831-6864.
- K. M. Lau, V. Ramanathan, and G.-X. Wu., et al., 2008: THE JOINT AEROSOL-MONSOON EXPERIMENT, *BAMS*, P1-15.
- Li, and T. Yuan, 2006: Exploring aerosol-cloudclimate interaction using the new generation of earth observing system data. Current Problems in Atmospheric Radiation, H. Fischer and B. J. Song, Eds., *Deepak Publishing*, 1 - 4.
- Novakov, T., V. Ramanathan, J. E. Hansen, 2003: Large historical changes of fossil-fuel black carbon aerosols. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1324, doi:10.1029 /2002GL016345.
- Rosenfeld, D., 2000: Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution, *Science*, 287, 1793 - 1796.
- Stanhill, G., and S. Cohen, 2001: Global dimming: A review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with a discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agric. For. Meteorol.*, 107, 255-278.
- Streets, D. G., T. C. Bond, G. R. Carmichael, et al., 2003: An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000, *J. Geophys. Res.*, 108, doi: 10.1029/2002JD003093.
- Twomey, S., 1977: The influence of pollution on the shortwave albedo of clouds. *J. Atmos. Sci.*, 34, 1149-1152.
- 罗云峰, 周秀骥, 李维亮. 1998. 大气气溶胶辐射强迫及气候效应的研究现状. *地球科学进展*, 13(6):572-581.
- 张华, 马井会, 郑有飞. 2008. 黑碳气溶胶辐射强迫全球分布的模拟研究, *大气科学*, 32(5): 1147-1158.

二〇一〇年七月二十九

# 浅谈气候变化的减缓与适应对策

---参加7thISCS的心得体会

李 慧

(南京信息工程大学 气象学硕士)

通过参加第七届气候系统与气候变化国际讲习班的学习,我对气候变化的认识又上升了一个台阶,对一些气候模式和模拟有了进一步的了解。下面就气候变化的减缓与适应对策谈谈我的认识。

当前,全球气候变化正在对世界各国产生日益重大而深远的影响,受到国际社会的普遍关注。国际社会之所以关注全球气候变化问题,就在于气候变化已经由科学问题演变为经济和政治问题。

近百年来,地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化。在过去的140多年间,全球地面平均气温上升了 $0.4\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 。近100年来,中国年平均气温明显增加,达到 $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ,比同期全球增温平均值略高。我国的气候变化趋势与全球气候变化的总趋势基本一致。近50年来的气候变暖主要是人类使用化石燃料排放的大量二氧化碳等温室气体的增温效应造成的。现有的预测表明,未来50~100年全球和我国的气候将继续向变暖的方向发展。到21世纪末,全球地面平均温度还将上升 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 。若长期忽视减缓措施,气候变化可能会超出自然和人类系统的适应能力。

就适应而言,目前已经采取了一些针对性的适应措施,但还很有限。气候变化和其它压力的共同作用,会进一步加大气候变化的脆弱性,如人口的增加和资源的制约等,需要采取更广泛的适应措施以降低气候变化的风险,但目前对适应措施及其局限性、成本等还没有开展充分的研究。不过可以肯定的是,气候变化所产生的影响在不同的区域会有不同的表现,但年际净成本都会随着时间的推移和温度的上升而增加。无论是采用自下而上还是自上而下的减缓措施,未来几十年的减排有着相当大的经济潜力,这一潜力能够抵消预估的全球排放增长甚至可将排放量降至当前水平以下。虽然在行业层面上存在相当大的差异,但总体来看,自上而下的全球减排经济潜力与自下而上的结果相一致。政府可选择已有的一系列政策和干预手段,来建立减缓行动的激励机制。这些政策和手段的可适用性取决于国内的环境以及各部门间的制约。有多种国际合作方案可实现全球温室气体减排。《联合国气候变化框架公约》及其《京都议定书》的显著成果包括建立了全球对气候变化问题的响应机制;促进了一系列国家政策的出台;创建了全球碳市场和新的减排机制,这为未来的减缓努力奠定了基础。综合报告取得的进展还包括在《联合国气候变化框架公约》下强调了适应性,同时也建议采取更多的国际干预。综合报告指出,可以在多个部门联合执行气候应对方案,以实现协同作用并避免与可持续发展的其他方面发生冲突。有关宏观经济和其他非气候政策的决策可以显著影响排放、适应能力和脆弱性。

在参与应对气候变化的过程中,我国要有所作为,担负起相应的责任,为保护全球环境做出积极贡献;同时也要维护我国正当的发展空间和发展权益,使我国承担的国际义务与我国的经济和社会发展水平相适应。应对气候变化需要科技的持续支撑。应对气候变化需要加强监测、预测和预警,进一步认识相关机理和规律,加快解决科学认识上的不确定性;需要优化能源结构,节约能源和提高能效,发展清洁能源和低碳能源,改善土地利用方式;需要科学认识气候变化的影响,特别是对经济社会关键行业、敏感脆弱部门和地区、重大工程的不利影响;需要综合考虑能源安全、节能减排政策、发展“低碳经济”和“吸碳经济”、气候变化、未来国际制度安排、国际产业分工和贸易等方面重大战略和政策问题。这些问题



都需要相关科技工作的支撑。持续的科技支撑需要稳定的财政支持渠道和长效运行机制。应对气候变化是一项长期任务,要有专门的机构和队伍来从事相关的观测和研究。要像对待地震、地质、洪涝等自然灾害那样建立相应的野外监测站等观测技术系统,对气候变化进行监测、预测和预警。开发先进适用的节能技术、清洁能源和低碳能源技术以及各种减排技术更是长期的科技工作重点。通过这些研究不仅能促进节能减排目标的实现,产生良好的社会效益,而且能够培育新的经济增长点,形成新的产业,推动经济发展。必须建立稳定的财政支持渠道和长效运行机制,加大对科技的支持力度,形成一批专门从事应对气候变化研究的基地,加强科学技术研究和先进适用技术的推广应用。细化相应的政策和措施,形成节能减排的良好环境。

为了应对气候变化,我国发布了《中国应对气候变化国家方案》,为了实现节能减排的目标,国务院发布了节能减排的综合实施方案。建议能够进一步细化和落实措施,使其具有可操作性。比如大家目前关心的太湖污染治理,对工业污染源控制、城市生活污水控制都有责任主体,而湖中生态修复就没有明确的责任主体,如果企业介入作为责任主体就必须有相应的政策来扶持,特别是对那些提供公共产品和服务的企业。这些政策措施应该是系统化的,既要考虑到可操作性,更要考虑到各个环节的配套和协调。节能减排和应对气候变化还需要全民的参与。要将相关内容纳入大中小学教材,普及相关知识;要通过各种媒体介绍节能减排和气候变化与老百姓日常生活的关系,介绍由于气候变化所带来的近期和长期的影响;要号召公众从生活的各方面进行节能减排,减少温室气体的排放;要鼓励公众监督各种浪费行为和违法排放;要通过全民参与行动,将国家政策变为每个公民的自觉行动。

# 第七届气候系统和气候变化国际讲习班 (ISCS) 学习体会

李敏姣

(中国科学院地理科学与资源研究所 硕士研究生)

2010年7月19-30日,我有幸参加了第七届气候系统和气候变化国际讲习班 (ISCS),聆听国际上几位知名专家讲解全球气候研究的一些热点问题和最新的研究成果。通过10天的学习,我接触了在大学四年几乎不曾涉足的领域,如冰雪圈在气候系统和气候变化中的作用、气溶胶的性质及其对云的影响等;了解了国际上关于气候变化的一些政策;看到了一些先进的气候模式和它们在气候研究中的应用。其中,我对冰雪圈尤其是冰芯在气候研究中的应用较为感兴趣,下面谈谈我对它的浅薄认识。

冰雪圈是全球五大圈层之一,是气候系统的重要组成部分,它积淀了深厚的古气候变化信息。南极冰芯被喻为忠实、清晰地记录地球气候演变史的“无字天书”。冰芯记录气候的原理有些类似于树的年轮:所有在大气中循环的物质都有可能随大气环流而抵达冰川上空,沉降在冰雪表面,随着时间的流逝而不断沉积,最终形成冰芯记录——从中可得到相应历史年代的气温、降水、二氧化碳等大气化学成分含量等大量气候史料。从上世纪50年代开始,在极地冰盖钻取连续冰芯就被应用于科学研究。

## 一、研究意义

雪冰作为大气环境信息的良好载体,是恢复气候指标、指示环境变化和追溯人类污染的良好工具。其中,雪冰中的重金属元素则是评价人类活动对地球大气环境影响的敏感指标,其在极地和山地冰川地区雪冰中的含量变化已经引起了科学家的极大关注。在听课和查找资料的过程中,留给我印象最深的关于冰芯的作用主要体现在两个方面:

1、对冰芯的研究恢复了古大气中温室气体含量变化。目前古气候研究中,冰芯是所有介质中唯一可以提取过去大气成分含量变化完整信息的介质,通过冰芯气泡中气体成分的恢复,可以研究古大气成分及其变化。如南极 Vostok 冰芯记录恢复了过去 42 万年以来的大气中温室气体 (CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub>) 含量的变化,发现在过去的 42 万年以来,大气中温室气体 CO<sub>2</sub> 的含量基本在 180 微克~280 微克波动,CH<sub>4</sub> 含量在 350ppb~800ppb 波动。而工业革命以来,大气中 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 含量迅速增加,目前分别达到近 385 微克和 1800ppb,为 83 万年以来最大值,为近百年来全球增暖主要是由于人类活动影响提供了证据。

2、冰芯中重金属元素的沉降记录到人类活动对环境的影响。格陵兰冰芯记录表明,古希腊和古罗马时期的 Pb 含量大约是全新世早期的 4 倍,而同期格陵兰冰芯中 Cu 含量的明显峰值揭示了罗马帝国对于铜合金产品(用于军备器械和钱币等)需求的增加。对于近几百年来格陵兰冰雪中 Pb 含量的分析研究,发现人类工业化以后 Pb 含量逐渐增加,到 20 世纪 60 年代大约增加到 7000 年 BP 的 200 倍。而美国等西方国家从 1970 年开始限制含铅汽油的使用后,从 20 世纪 70 年代到 90 年代格陵兰冰雪记录中的 Pb 含量大约降低了 7 倍。南极 Dome C 冰芯 Pb 含量记录以及南极许多地点降水中的 Pb 含量记录表明人类活动的影响已波及南极地区。人类向大气释放的放射性物质也在极地冰川中留下了印记。如 1954 年和 1961~1962 年发生在北半球的核试验,不仅在北半球山地冰芯和格陵兰冰芯中形成了 β 活化度和氡浓度的强信号记录,而且在南极冰芯中也有明显的表现。南美热带的秘鲁冰芯分析结果发现,在大约 490 ~620 AD 和 830 ~960 AD 两个时期微粒含量呈现明显的峰值,这两次尘埃事件很可能与位于尘埃来源方向的 Titicaca 湖区的农业开垦和放牧有关。

中国南极昆仑内陆冰盖考察队于 2005 年 1 月 9 日 22 时 15 分 (北京时间) 成功登上南极冰盖 Dome-A 的卫星遥测标识的两个高峰之一——北高点,谱写了中华民族不畏艰险探索

自然的又一壮举，是中国极地考察史上又一个重要的里程碑。海拔 4093 米的冰穹 A，不仅是南极冰盖的最高点，而且是南极冰盖的发源地，被普遍看好为最深冰芯的所在地，也就是说，冰穹 A 最底部很可能存在着目前南极最古老的冰层，在此处钻探到的冰芯，有望破译地球数百万年来的气候变化奥秘。

## 二、研究方法

氧同位素比率  $\delta^{18}\text{O}$  对冰芯研究有重要意义。从冰芯中获得的主要记录之一就是  $\delta^{18}\text{O}$ 。 $\delta^{18}\text{O}$  的高低反映了成冰时的温度状况，这是因为氧存在三种同位素： $^{16}\text{O}$ 、 $^{17}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}$ 。 $^{17}\text{O}$  在自然界中含量极少，故忽略不计。大气中的水汽从根本上来说是来自海洋，含  $^{18}\text{O}$  的水分子不易蒸发，而  $^{16}\text{O}$  容易蒸发。只有在温度较高时， $^{18}\text{O}$  才能蒸发增多，蒸发的水分子遇冷凝结在冰层中。从以上可以看出，温度越高， $^{18}\text{O}$  含量越高， $\delta^{18}\text{O}$  值越大。根据这种关系，可以推断成冰时的温度状况。

对冰芯中重金属元素的实验和分析可使用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)直接测定，并用国家一级标准溶液进行分析过程中的质量控制。还有同位素稀释质谱法 (IDMS)、石墨炉原子吸收光谱法 (GFAAS)，激光原子荧光光谱法(LEAFS)、示差脉冲阳极溶出伏安法(DPASV)等。

## 三、研究面临的困难

由于全球气候变暖，南极与北极的冰川乃至喜马拉雅山巅覆盖的冰雪正在加速消融。2006 年，美国俄亥俄州立大学的朗尼-汤普森 (Lonnie Thompson) 教授和他的研究小组前往喜马拉雅山脉中部进行了实地考察，之后他在曼哈顿出席亚洲协会(AsiaSociety)气候变化会议时称，如果冰川继续以这个速度融化，青藏高原有 2/3 的冰川可能会在 2050 年之前消失。而在此之前，水资源短缺的厄运将首先降临到依赖水资源的人类身上。这使我想起前不久刚跟着导师去西藏羊湖附近考察时，当地居民的饮用水大多来自冰川的融水，如果冰川以如此之快的速度消融，将给高原上的居民生活带来极大地困难；同时受影响较大的是我国的干旱地区，比如新疆的南疆，那里的农业和牧业主要依靠雪山融水，塔里木河与河西走廊也主要取决于冰川补给；水资源的短缺也可能会打击到中国东部城市，因冰川融化造成水平面上升，这些城市可能堪忧。

人类活动对气候的影响已扩展到全球范围，我们应进一步重视极地气候，重视保护极地环境。合理开发利用自然资源，保证人类和自然的可持续发展是摆在全球各国面前一个重大课题。

## 参考文献：

- 【1】 李真等. 慕士塔格冰芯记录的近50年来大气中铅含量变化[J]. 科学通报, 2006, 51 (15) : 1833-1836
- 【2】 李潮流等. 青藏高原念青唐古拉峰冰川区夏季风期间大气气溶胶元素特征[J]. 科学通报, 2007, 52 (17) : 2057-2063
- 【3】 张强弓等. 珠穆朗玛峰极高海拔地区表层雪化学元素浓度特征[J]. 科学通报, 2007, 52 (19) : 2307-2311
- 【4】 任国玉. 气候变暖成因研究的历史、现状和不确定性[J]. 地球科学进展, 2008, 23 (10): 1084-1091

# 浅谈气候变化的影响与模式模拟

——第七届 ISCS 结业小论文

李明

(中国气象科学研究院)

很荣幸有机会参加第七届气候系统与气候变化国际讲习班,这个讲习班为我们与气候系统相关的研究和工作的提供了很好的学习机会和交流平台。在这为期两周的学习和交流过程中我接触到了很多新知识,了解了气候系统及其相关领域的最新研究进展,也加深了对气候系统和气候变化的综合认识。这次讲习班的成功举办也使我深刻体会到了科学研究工作所必须具备的严谨与勤奋的态度;并且,理论联系实际,广泛结合多方面多学科的内容,是科学研究取得进展的有效途径,这也是我的一大收获。

这次讲习班结合了与气候系统相关的多个科学领域,由国际知名专家进行热情讲解和阐述并言传身教,使我受益匪浅,总结起来有以下几个方面:

1、气候系统是一个宏观的概念,而不是单一的学科,正确和全面的研究离不开对相关领域的综合认识,这次讲习班结合了冰川与冰冻圈的作用、大气化学与气溶胶的气候效应、人类活动和生物化学循环、以及气候模式对气候的模拟和预测等领域的内容,并且涉及到了国际社会在气候变化问题上的积极响应和发展政策。对这些问题的全面阐述加深了我对气候系统的认识,为我以后的研究开辟了更广阔的领域,提供了知识基础和研究思路。因此,在专业知识和研究方面,我得到了很大的提高。

2、科学研究最需要的是严谨、勤奋和负责任的态度和精神,这方面的提高是以后学习和工作所必须的积淀。讲习班上的国际知名专家都在自己的研究领域内享有盛名,他们通过对相关科学问题的讲解和阐述,通过言传身教,向我们展示了科学研究的成果、思路和研究过程,我体会到的是他们主动发现问题的智慧和认真解决问题的态度,这些都是我必须努力培养的。

3、授课内容和讲习班提供的相关资料包括了相关领域研究的前沿进展情况,这使我充分了解了这些领域的最新成果和主要研究方向,对我以后的研究和学习提供了很好的指引作用。

4、科学研究和学习是离不开优秀的英文水平的。讲习班采用英文授课,提供了充分的英文学习环境,同时,我有机会接触很多国际学员,也提供了很多交流的平台。所以,我的英语水平在这近两周的学习环境中有了很大的提高,在听力和口语方面都产生了明显的进展。

5、参加讲习班的教授和学员来自不同领域和不同单位,这给我提供了绝佳的交流机会。我们以后的学习和工作离不开相关领域的广泛合作,我在学习中认识了很多新朋友,通过进一步的交流我也学到了许多新鲜的东西,有了更广阔的认识和思路。

此外,在具体的科学问题上,我对气候变化的模拟,以及气溶胶的气候效应这些问题上有比较浓厚的兴趣,而相关领域专家的讲解也使我有了更深刻的认识。

气候系统非常敏感,气候变化与很多因素有重要关系,在讲习班的学习中我从多个方面

理解了气候变化的影响因素。通过冰川信息的记载我们可以发现气候变化与地球历史有显著的关联，与历史上的人类活动对气候变化也表现出了更为明显的影响。大气化学和气溶胶对气候系统也具有较弱的强迫和反馈作用，这一方面正受到越来越多的关注和研究。气候系统内部，也有很多发展和变化因素相互影响。

气候系统无论在时间尺度上还是在空间尺度上，都有很强的关联性，气候变化在时间尺度和空间尺度上也是有显著特点的。气候模式需要模拟气候的变化，也要预测未来的气候状况，因此气候模式也必须反映出气候系统的时空关联。在时间尺度上，气候系统的记忆时间对气候变化有重要影响；在空间尺度上，某地区的气候变化通常会引起其他地区的气候异常。因此，气候模式的发展需要向着综合、全面、连贯的方向发展。现在，世界上对气候变化的模拟已经有很多模式，这些模式在与气候变化相关的不同领域内各有所长。我们在学习中接触了一些气候模式，比如气候遥相关、气溶胶发展及其气候效应等多个领域内的模式，这些模式的应用可以帮我们进行气候一体化的研究，也可以帮助我们不同的方面理解气候变化的机制。

以上就是我在学习中的心得体会，总而言之，无论是在专业知识上，还是在科研态度和思路上，我都受到了很深的启迪和教诲，得到了很大的提高和进步。所以，感谢 ISCS 会务组提供的宝贵机会，感谢前来参加讲习班的专家和工作人员。

# 冰冻圈在气候系统和气候变化中的作用

李润祥 中国气象科学研究院

气候系统是由大气圈、水圈、岩石圈、生物圈和冰冻圈等组成的相互作用的整体。各个子系统能影响地球表面的大气运动和热量传输,气候变化是与大气有明显作用的各个子系统所组成的气候系统的整体行为。冰冻圈指的是地球表面以固态水形式存在的部分,包括积雪、海冰、河冰、湖冰、冰盖、冰架、冰帽以及冻土(多年冻土和季节冻土)等。冰冻圈由于其对气候的高度敏感性,是气候变化的自然感应器;冰冻圈的变化受气候变化影响,并能反过来影响气候变化。

冰冻圈中的冰和雪覆盖在地球表层,成为了大气和陆地的天然隔绝层,对陆地-大气热交换产生深刻的影响,进而影响大气环流运动和气候变化。冰冻圈对气候系统的作用中最重要的则是冰-地面反照率反馈作用,于陆地和海洋上都存在。由于冰雪的反照率(0.7-0.9)比土壤(0.1-0.25)和水(0.05-0.1)的反照率都大的多,又由于冰的融化热和水的汽化热分别是同体积液态水升温 $1^{\circ}\text{C}$ 所需热量的80和539倍,每年到达地面的太阳能约有30%消耗于冰冻圈中。特别是在今天温室气体逐渐增加引起全球增暖的过程中,冰冻圈大尺度、高反照率的反馈过程必须给予足够的重视。观测和模式研究都表明,海冰的明显地加大了北极地区的增暖。

冰冻圈和全球淡水资源的存储和循环有着紧密的联系。世界上7%的海洋和10%的陆地都有冰雪覆盖,局地冰雪的季节变化和其他尺度的变化都能影响局地气候变化和水体变化。季节尺度的山地冰川融雪是局地河流系统的主要供给源;在年际尺度上,海冰随风和海流漂移并且伴随着海冰的融化和凝结,能改变区域的海水盐度,进而影响海洋环流。更长的时间尺度上,大的冰盖和冰架在全球海平面变化中扮演着重要的角色。南极冰盖贮存着全球90%的淡水资源,相当于65米的全球海平面变化。IPCC第四次评估报告指出,南极和格陵兰冰盖的变化,很可能是引起1993-2003年全球海平面变化的原因。

冻土(季节冻土和多年冻土)是冰冻圈的重要组成部分,其中储存着大量的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ ;据统计,北美大陆北极冻土中的碳元素存储量相当于全球大气碳总量的 $1/6$ 。如果地表温度增高使得冻土升温并且融化,其中储存的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 就会被释放。科学家担心在今天,全球增暖会使北极冻土逐渐融化,其释放的温室气体也会反过来加速全球变暖。

冰芯研究是对过去全球变化研究的一种重要手段。冰芯不仅记录着过去气候环境变化自然变化的信息,而且记录着过去人类活动对于气候环境的影响。与树木年轮、沉积岩和古土壤等可以提取过去气候变化信息的介质相比,冰芯具有保真性强、分辨率高、时间尺度长、包含信息量大等优点。冰芯记录了过去气候变化中的大量信息,如温度、降水、大气化学成分、火山喷发、植被状况、海平面变化、太阳活动等。通过冰芯研究,我们已经揭示了过去不同时间尺度的气候环境突变以及全球温度的变化,反演出了过去几十万年的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 等的连续变化,并借此发现大气中 $\text{CO}_2$ 含量的变化与气候变化是同步的。此外,冰芯研究发现近100多年来由于人类工业化的发展已经使冰雪中的硫酸根离子和硝酸根离子明显增加,1950年以来Pb含量在北极冰雪中也有明显增加的趋势,这揭示了人类活动的影响。

# The Applications of Weather Research and forecasting model in extreme events

Li Yan  
Peking University

## 0.Preface

It is a great opportunity for me to attend the seventh International Seminar on Climate system and Climate change. In the class, I learned a lot from those lectures which given by famous professors of different fields with climate change. And I am also very happy to discuss scientific issues with other students with various backgrounds from home and abroad. In this final paper, I will write something about WRF model which I will use in future. At the end I will say something about what I learned in the class.

## 1.Introduction

GCM is an effective way to simulate global atmosphere circulation and anthropogenic climate change. GCM has been widely used to analyze large scale climate phenomenon and to project future climate changes. But due to the coarse resolution and different physics process of model, most of the GCMs have poor performance in regional scale climate simulations. In order to improve the model ability to simulate regional climate, researchers had developed many regional climate models to solve these problems. The frequently used RCMs including RegCM, WRF and so on.

The Weather Research and Forecast model is a mesoscale forecast model. The model will incorporate advanced numerics and data assimilation techniques, a multiple relocatable nesting capability, and improved physics, particularly for treatment of convection and mesoscale precipitation. It is intended for a wide range of applications, from idealized research to operational forecasting, with priority emphasis on horizontal grids of 1–10 kilometers (J. MICHALAKES,). Based on its merits, it will be a candidate to replace existing forecast models such as the Mesoscale Model (MM5) at the Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric Research, the ETA model at the National Centers for Environmental Prediction, and the RUC system at the Forecast Systems Laboratory. (J. MICHALAKES,).

## 2.Extreme events simulations

Since human activities greatly changed the earth surface from industrial age, as a result of global environment change. The anthropogenic effects on climate had been shown in many cases and also draws great attention to it. In the IPCC 4<sup>th</sup> assessment report, it indicates that the frequency of extreme climate events like floods, droughts, freezes and heat waves. So it is important for the RCMs to simulate these extreme events. And it is

also an major index to check a model's capabilities in climate modeling. The simulation of heavy rain events is often performed by WRF model.

Sun (2003) used WRF model to simulate 3 heavy rain events in China in 1998 summer(two in Huai River and one in Chang River) and made comparisons with the simulation results of MM5, which is the WRF model derived from. Results showed that WRF model successfully simulated 3 different forms of heavy rain and it did better job than MM5 in the simulation of weather systems transition process and precipitation spacial distribution. But the simulated precipitation of WRF was smaller than that of MM5, and smaller than the observation. This maybe caused by the smaller vertical velocity of WRF than MM5. A lot of researchers (Song et.al,2009; Zeng,2009) have been used WRF model to simulate precipitation. From these cases, the ability of WRF in climate model has been tested.

The effect of WRF simulation is greatly influenced by the parameterization that model used. And many climate model builders developed their own solutions. So testing the parameterization methods in different cases, checking their performance in each case has significant meaning.

Chen Jiong et.al(2006) used WRF 3.0 model to simulate the Jianghuai heavy rainfall during July 8-11, in order to test the precipitation sensitivity to planetary layer(PBL) parameterization scheme. The results show that WRF model can reproduce the area, location and daily rainfall of precipitation well, and the sensitivity of precipitation is high. Using the PBL scheme can improve the precipitation simulation significantly. MYJ scheme has no significant improvement on precipitation simulation compared with MRF scheme when the horizontal resolution is 20 km.

Land surface model which used in WRF also leads an important role in the model performance. Yan(2010) compared the Simplified Simple Biosphere (SSiB) model and NOAH LSM(land surface scheme) in the aspects of characteristic of land surface, thermodynamic process, and hydrological process in the land surface parameterization. The difference results of SSiB and NOAH in precipitation sensitivity, land surface sensible and latent heat flux had been found and discussed. Both of the models are generally agree with observations. The WRF coupled with SSiB has successfully improved its performance.

### 3. Endings

Here we just get a glimpse of what we can do with WRF model in extreme events simulations. The WRF model has been used in wide range of climate simulations and projections. But due to the complexity and stochasticity of climate system, scientists still can't get full awareness of interaction of climate system members and so many essential problems haven't been solved because of our lack of knowledge, such as aerosol effect on climate. Therefore there are large uncertainties in climate model results. And how to reduce the uncertainties is a future challenge to all science communities.



## References

Michalakes, J., S. Chen, J. Dudhia, L. Hart, J. Klemp, J. Middlecoff, and W. Skamarock, 2001: Development of a next-generation regional weather research and forecast model. *Developments in Teracomputing*, W. Zwieflihafer and N. Kreitz, Eds., World Scientific, 269–296.

Sun jian, Zhao ping. SIMULATION AND ANALYSIS OF THREE HEAVY RAINFALL PROCESSES IN1998 WITHWRF AND MM5. *ACTA METEOROLOGICA SINICA*. 2003,61(6): 692~701

Song Zifu, LI Yanhong, L i Qiuyuan et.al. Precipitation Test byWRFModel in Jiaozuo Flood Season in 2008. *Meteorological and Environmental Sciences*. 2009,32 suppl : 23~26

Zeng xinmin, Zhang qiang. Numerical sensitivity effect of heavy precipitation case on disturbance of land surface parameters. *Journal of PLA university of science and technology(Natural science edtion)*. 2009,10(4):384~390

Chen Jiong, Wang Jianjie. Mesoscale precipitation simulation sensitivity to PBL parameterizaon. *Journal of applied meteorological science*. 2006, 17,suppl: 11~17

# 气候变化与人及社会生活

廖荣伟 中国气象科学研究院 研究生

人们常说的气候变化是指气候平均状态随时间的变化,即气候平均状态和离差(距平)两者中的一个或两个一起出现了统计意义上的显著变化。离差值越大,表明气候变化的幅度越大,气候状态越不稳定。气候变化不但包括平均值的变化,也包括变率的变化。气候变化一词 IPCC(政府间气候变化专门委员会)的使用中,是指气候随时间的任何变化,无论其原因是自然变率,还是人类活动的结果。

气候变化的原因包括自然的内部进程,外部强迫,人为地持续对大气组成成分和土地利用的改变。既有自然因素,也有人为因素。在人为因素中,主要是由于工业革命以来人类活动特别是发达国家工业化过程的经济活动引起的。化石燃料燃烧和毁林、土地利用变化等人类活动所排放温室气体导致大气温室气体浓度大幅增加,温室效应增强,从而引起全球气候变暖。

气候变化会给社会带来哪些影响?气候变化导致灾害性气候事件频发,冰川和积雪融化加速,水资源分布失衡,生物多样性受到威胁。气候变化还引起海平面上升,沿海地区遭受洪涝、风暴等自然灾害影响更为严重,小岛屿国家和沿海低洼地带甚至面临被淹没的威胁。气候变化对农、林、牧、渔等经济社会活动都会产生不利影响,加剧疾病传播,威胁社会经济发展和人民群众身体健康。据IPCC报告,如果温度升高超过 $2.5^{\circ}\text{C}$ ,全球所有区域都可能遭受不利影响,发展中国家所受损失尤为严重;如果升温 $4^{\circ}\text{C}$ ,则可能对全球生态系统带来不可逆的损害,造成全球经济重大损失。而气候变化对我国的影响主要集中在农业、水资源、自然生态系统和海岸带等方面,导致农业生产不稳定性增加、南涝北旱加剧、生态系统退化、生物灾害频发、生物多样性锐减、台风和风暴潮频发、沿海地带灾害加剧、有关重大工程建设和运营安全受到影响。

全球变暖造成粮食减产,因为全球变暖带来干旱、缺水、海平面上升、洪水泛滥、热浪及气温剧变,这些都会使世界各地的粮食生产受到破坏。对于中国来说,全球变暖可能导致农业生产的不稳定性增加,高温、干旱、虫害等因素都可能造成粮食减产。全球变暖,气温升高还会导致农业病、虫、草害的发生区域扩大,危害时间延长,作物受害程度加重。

全球变暖给人类健康带来哪些影响?人类健康和人类生存息息相关。气候环境、气候灾害和气候变化直接影响人类健康,极端气候事件的危害更为惊人。由于全球变暖,极端气候事件将会更为频繁,气候灾害对人类生命和健康的危害也会增大。许多通过昆虫传播的传染性疾病对气候变化非常敏感,最不可忽视的是,气候变化造成部分旧物种灭绝的同时必然产生出新的物种,物种的变化可能打破病毒、细菌、寄生虫和敏感原的现有格局,产生新的变种。

全球变暖影响生态系统,带来另一种危险是可能激活某种新病毒。各种新病毒的出现有可能是人类破坏环境、气候变化扰乱了病毒巢穴的结果,这些原本寄居在野生动物身上,活动于封闭世界中的未知病毒,在人类活动的进程中,新的病毒在今后将不断地被发现。

全球气候变暖以及一些极端天气气候事件的出现，给生态平衡，尤其是微生态平衡带来了强烈影响，突出地改变了传染病病原体的存活、变异、媒介昆虫孳生分布及流行病学特征，会对某些传染疾病的传播起到推波助澜的作用。

关于气候变化的原因：

温室效应，一大主因就是温室气体排放。温室气体的增加，加强了温室效应，而二氧化碳是数量最多的温室气体。另一方面，由于对森林乱砍滥伐，大量农田建成城市和工厂，破坏了植被，减少了将二氧化碳转化为有机物的条件。再加上地表水域逐渐缩小，降水量大大降低，减少了吸收溶解二氧化碳的条件，破坏了二氧化碳生成与转化的动态平衡，就使大气中的二氧化碳含量逐年增加。空气中二氧化碳含量的增长，就使地球气温发生了改变。

某些气体如二氧化碳，在大气层里形成了温室效应，阻止热力反射回太空，使地球气温持续上升，燃烧化石燃料(如：煤炭、石油等)会释放更多二氧化碳至大气层，由于二氧化碳等温室气体的排放，全球平均温度将比工业革命之前上升摄氏 1.3 度看来是无可避免的。限制升幅在摄氏 2 度以内，是防止气候变化带来更严重灾难的唯一方法

应对气候变化，人类所要做的主要包括：沙漠造林能够吸收大气中更多的温室气体，比如二氧化碳；制作生物炭，可能是抗击全球气候变化的好办法；建立海藻农场，动种植海藻以降低二氧化碳排放；要避免气候变化带来最严重影响，有两种切实可行的解决方案：利用可再生能源和提高能源使用效率。提高能源使用效率，运用可再生能源，相比传统的肮脏的化石能源，可再生能源有着许多显而易见的好处：不用担心燃料枯竭的问题，发电过程中不产生温室气体和其它污染物，更有利于实现分布式的供电；风能是世界发展最快的能源，也是相对简单的技术能源。在一道高耸的巨塔和转动的扇叶背后，藏着轻量物料、空气动力和电脑操控系统之间的一套复杂相互作用。电力从旋转轮，通过变速齿轮箱，然后送到发电机，虽然有些涡轮机不用齿轮箱也可直接推动；使用太阳能，只要适当开发，具备潜力提供现在世界能源消耗量几倍的能源。

## 学习小结

### 一对冰冻圈在气候系统中的作用的重新认识

刘长坤 南京信息工程大学

冰冻圈系指地球表层每年至少部分时间温度在  $0^{\circ}\text{C}$  以下,形成的各种类型的积雪、冰川、河流湖泊中的淡水冰、海冰以及地下冰或永久冻土。冰冻圈区域主要分布在高纬和高海拔地区,并且对于气温的变化极为敏感,常被视为气候变化的检测器和监测器。冰冻圈由于对气候的高度敏感性和重要的反馈作用而与大气圈、水圈、岩石圈(陆地表层)、生物圈一起被认为是影响气候系统的五大圈层,冰冻圈对气候变化最为敏感,全球变暖的一个最有力的证据就是近几十年冰冻圈的快速变化。

本次的学习中 Boutron 教授主要是介绍了冰冻圈的重金属检测,还介绍了南极的站点和格林兰岛的情况,还有就是进行检测所需要的实验室和器具的情况。

在南极的冰冻圈中最多可以提取到 80 万年的气候数据,在不同的站点可以提取的数据时间是不同的,也就是说冰冻层越厚越稳定其能提取的数据年代越长久。对与山脉冰而言,海拔越高其冰层中可提取的数据年代越久远,对于山脉冰的打钻提取,其海拔有自己的限定,过去一般最低是 4200m,随着近几十年的气候变暖,这个高度也在提高,现在已是 5000m 左右。

一些放射性的物质可以通过两极冰盖来检测其年代,例如火山的爆发和核爆炸。当然,这种事件要是全球性的。在古老冰中,可以利用冰流模式来估算其年代,当然存在着一定的误差。而且其在不同的地点有着不同的对应。

通过这次学习对冰冻圈对气候的影响有了更深的认识,冰冻圈的研究对古气候与,环境的重建、现代各圈层的相互作用、气候模式的建立以及未来气候和环境变化的预测都有重要作用,而且冰冻圈的价值不只是在气候领域,在其他的领域也有着很高的研究价值。例如,在 Vostok 站发现的冰下湖对于古生物的研究有着很大的推动作用。

首先,冰冻圈是全球变暖的一个证据,是对全球变暖的响应,冰冻圈对气候变化有较强的敏感性,况且,冰冻圈作为五大圈层之一,各圈层间相互联系、彼此影响,共同作用于整个生态系统和气候系统。冰川、冻土和积雪变化带来的危害必然威胁人类生存,主要危害导向是冰冻圈导致水圈的影响,导致海平面、地表下垫面发生改变,水陆物质能量交换变化,干湿气候、水资源的异常与恶化,进而威胁到人类生存空间。而对于我国而言,我国以冰川、冻土和积雪为代表的冰冻圈分布面积广,影响区域大,其变化直接影响着干旱区绿洲存亡、湖泊消涨、寒区生态演替、区域气候变化、山区灾害等。冰冻圈对我国西部水文、生态的影响具有牵一发而动全身的作用。冰冻圈变化的气候效应、资源效应、环境效应和生态效应尤其对我国西部干旱区可持续发展影响巨大,国家高度关注的诸多西部生态建设与水源保护重大工程均与冰冻圈息息相关。

冰川变化已经对我国西部的江、河、湖、沼产生了明显影响。研究表明,近十几年新疆出山径流增加,最高增幅可达 40%。据观测分析,乌鲁木齐河源区径流增加的 70% 来自于冰川加速消融,南疆阿克苏河近十几年径流增加的 1/3 左右来源于冰川径流增加。1990 以来,长江源区冰川径流相对于 1961—1990 年河川径流减少 13.9%,而冰川径流增加了 15.2%。我国科学家预估,未来 50 年我国西部冰川面积将平均减少近 30%,将对山区水资源带来巨大影响。冻土退化对我

国生态、水文、气候及工程均有重要影响。近几十年来,青藏高原由于多年冻土退化,每年释放的水量达到 50 亿—110 亿米<sup>3</sup>,加上冻土每年冻融过程参与到水循环中的水量,对水文、生态和气候的影响十分显著。冻土变化对工程建设具有重要影响。过去 10 年来,由于冻胀和融沉破坏,青藏公路、东北冻土区铁路破坏率在 30%以上,青藏公路已经进行了多次全线性大规模的整修。积雪变化对我国北方春季旱情有重要影响。十几年来,我国北方广大积雪区春季径流总体上是增加的,因此,这些地区总体上没有发生大的春旱现象(由于冬季积雪偏少,2009 年出现了大范围春旱)。积雪变化与我国气候变化有密切关系。研究表明,1980—2001 年间发生的长江中下游洪涝灾害,有 65%与青藏高原前一个冬季的积雪大面积增加有关。1998 年长江洪水和 2006 年川渝大旱都受青藏高原积雪因素的影响。

对于我国的对冰冻圈研究的建议:

(1) 开展系统的冰川航测制图,获取大范围冰川储量变化信息,系统评估气候变化影响下冰川变化及其对水资源的影响。冰川变化对水资源变化的影响具有滞后性,其滞后时间与冰川规模(面积、厚度)有关。

(2) 加强冰冻圈监测,构建地空一体的冰冻圈监测体系。一方面需要加强地面定位监测,另一方面也要加强遥感监测。建议在相关资源环境卫星中,研发针对我国山地冰川和青藏高原积雪的传感器,以便形成能满足我国冰冻圈研究和应用需要的、以地面监测和遥感监测为一体的监测体系。

(3) 建设室内大型模拟设施。我国冰川分布区交通闭塞、海拔高、缺氧严重,获取相关资料十分困难。鉴于这一现实,可考虑建设室内大型模拟设施,通过室内模拟各类环境条件下冰川的物理、热学、力学、地球化学等性质的变化,配合典型冰川野外监测数据,构建冰川水资源、灾害仿真模拟平台,在认识冰川形成与变化机理的基础上,构建针对流域尺度的冰川水资源、冰川灾害模拟模型,系统评估西部冰川水资源、冰川灾害,预测其未来变化趋势,为西部水资源开发利用、冰川灾害防治提供更加可靠的决策依据。

(4) 以我国为主导,推动高亚洲区冰冻圈变化应对体系建设。以青藏高原为主体及周边相邻山系构成的所谓“高亚洲”地区是全球中、低纬度冰冻圈最发育的地区,冰冻圈的变化不仅影响到我国,也影响到相邻国家。如中亚的塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦、哈萨克斯坦等在冰川水资源方面与中国联系紧密,南亚的尼泊尔、印度、巴基斯坦等在冰川灾害、冰川水资源方面受中国影响巨大,俄罗斯多年冻土与中国东北密切相关,冰冻圈变化影响人口达 20 多亿。高亚洲区冰冻圈变化应对体系包括信息交流体系、监测体系、科技对话机制、人员培训体系和研究计划等内容。

总之,气候变化是全球性的,由于冰冻圈对气候变化的高度敏感性,使得气候变化对冰冻圈的影响表现得十分明显。如果说对气候变化的减缓人类还可以主动采取措施的话,适应气候变化则显得要被动得多,因为气候变化对未来到底影响有多大以及其影响时间尺度和空间范围均不确定,影响的利弊也认识不清。目前我国冰冻圈变化已对水文、生态、气候与环境产生了全局性影响,就目前的认识水平而言,这种影响的走向还十分模糊。但把适应与减缓冰冻圈变化影响列为首要目标,突出冰冻圈变化的适应对策,构建减缓冰冻圈影响的综合措施,是最佳的选择。为此,需要加强监测,深化科学认识;开展跨学科、跨部门综合与集成研究,探寻适应与减缓冰冻圈变化的科学途径;采取科学的保护措施,最大限度地减缓气候变暖的影响;未雨绸缪,积极应对。

# 气候研究，任重道远

刘秋锋

国家气候中心

2010年7月19-30日，参加了第七届气候系统与气候变化国际讲习班，听了各位专家的报告及辅导，感觉气候科学研究非常广博，每一点进步都需要大量的工作。

第一位专家讲了冰川研究的方法及主要成就，让人领略到极地、高山科研的辛苦，借助于良好的仪器设备，按照严格的操作要求，在众多科学家的共同努力下才有可能取得理想的冰芯样品，并从中分析历史上的气候痕迹。实验中的微小疏忽都有可能导向错误的结果。

第二位专家讲了国际上二氧化碳排放规则、清洁生产机制及碳贸易等内容，让人对国际间气候变化问题讨论的来龙去脉有了清晰的认识。但是，碳排放问题涉及发展、平等、道德等众多方面，目前没有有效的解决方法，还需要世界各国继续共同努力。

后来的几位专家讲了气溶胶、气候模式等研究，让人明白了气溶胶对气候的作用。同时，气溶胶的研究中还有很多目前难以解决的问题，人们暂时设定某种情形去展开工作，这也正是科学研究的发展规律，对于新问题、新事物，从无到有、由少积多，逐渐了解、掌握其规律。

讲习班的专家不仅专业知识丰富，还特别乐于交流，除了讲科学问题，还讲科学研究的态度和感受，无论从知识上还是科学素养上都让人受益匪浅。通过讲习班的学习，感觉气候研究中有非常多的不确定因素，需要人们通过大量精细的观测、试验、模拟来确定，这些过程中既不能急于求成，也不能知难而退，而是要踏踏实实做好每件小事，一天一个脚印，终将会在气候研究中更上一层楼。

2010年7月29日

# 浅谈气溶胶的气候效应中几点问题

吕梳梳

(武汉区域气候中心)

为期 12 天的第七届气候系统与气候变化国际讲习班 (ISCS) 已接近尾声, 期间共有 6 位分别来自美国、法国、日本的国际知名专家前来执教, 培训主题涵盖了气候变化研究的许多方面, 包括: 欧洲冰芯研究与大气变化、冰芯中重金属的测定、格陵兰岛百年变化, 国际气候变化政策、美国和欧洲的碳排放交易、气候模式在气候变化研究中的应用、大气化学与气溶胶的气候效应、气溶胶光学性质的测定方法、气溶胶和气候敏感性、气候变化对高山积雪的影响、气溶胶与水的相互作用等。我有幸能参加这次培训, 了解到很多以前没有涉及过的研究领域的知识, 6 位专家从不同方向和角度对气候变化相关研究进行了深入浅出的讲解, 使我对全球气候变化有了新的认识, 受益匪浅。

目前人们对气候变化的科学认识仍然存在很多的空白和不确定性。《美国气象学会公报》刊登了 Doherty 等 22 位 IPCC 三个工作组第四次评估报告主要作者联合撰写的文章《从 IPCC AR4 得到的启示—科学发展要求认识、预报和响应于气候变化》, 综述了从 IPCC AR4 以及近些年发表的 97 篇文献所获得的启示, 提出未来 IPCC 应该着重研究的 11 个关键科学问题, 其中之一是需要对一些过程进行评估, 如气溶胶间接强迫的认识 (例如气溶胶的输送、对流过程, 云的形成和消散), 并且还需要评估在气候模式中再现这些过程的可靠性。至少应该通过多模式对比与计算, 确定过去和未来几年对气溶胶间接辐射强迫效应的上界。

在这几天的学习中, 我发现气溶胶的气候效应有几个问题值得注意, 就此提出以供参考:

## 1. 关于辐射强迫的定义

科学家面临的重要挑战就是找出影响气候的所有因子、确定它们施加强迫的机制、量化每个因子的辐射强迫和估算该组因子最终的辐射强迫之和。IPCC第四次评估报告正文中给出了辐射强迫的四种定义, 第一种辐射强迫定义是根据Ramaswamy等(2001)的定义“容许平流层温度改变, 使之调节到辐射平衡状态, 但是, 保持对流层和地表温度不变情况下, 对流层顶净辐射 (包括太阳辐射和长波辐射, 单位 $W/m^2$ ) 改变”。另外三种定义的区别在于调节不同位置的辐射平衡状态, 具体如图1所示, 从左到右: 平流层对流层温度都固定下的辐

射强迫；平流层温度可调节对流层温度不变情况下的辐射强迫；地表温度固定，平流层对流层温度可调节情况下的辐射强迫；地表温度可变，某个温度变化情况下的平流层对流层温度可调节情况下的辐射强迫。

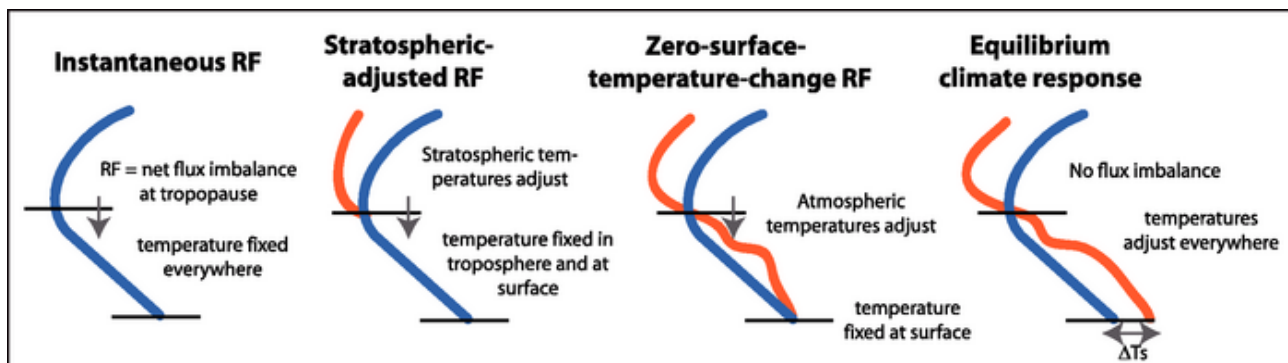


图 1. 辐射强迫的计算方法（箭头表示辐射强迫，横线表示对流层顶，上方是平流层，下方是对流层。蓝线表示稳态或者参考态的温度梯度）

但在报告补充资料常见的问题 FAQ2.1 中，又将辐射强迫用“在大气层顶测度的全球每单位面积的能量变化率”来表示，这样计算净辐射变化的位置不是对流层顶，而是大气层顶（the top of the atmosphere），也就是采用了不同的辐射强迫参考面。

由于报告是气候变化研究的文献综述，不同文献采用的是不同的辐射强迫定义，如果采用对流层顶作参照面，这个参照面的位置是变化的，远不及大气层顶定义清楚，而报告中给出 12 个计算结果，却有 5 种辐射强迫定义。但不同的定义对研究结果会造成多大的差异？换而言之，在参考前人文献时，要注意给出的数据是按那种定义得出来的，保证一致性和可比较性。另一方面，利用不同辐射强迫参考面，可以根据模型计算得到所有三个中间变量，从而得到温度变化，这可以检验模型的内在一致性。

## 2. 关于气候反馈和气候敏感性

气候系统中各种物理过程之间的一种相互作用机制。当一个初始物理过程触发了另一个过程中的变化，而这种变化反过来又对初始过程产生影响，这样的相互作用被称为气候反馈。正反馈增强最初的物理过程，负反馈则使之减弱。

气候系统对变化作出响应，同时在响应过程中又以特殊环境的反馈作用影响气候（Climate response to climate feedback）。值得一提的是由于气候系统的反馈作用可能会大大降低气候敏感性，所以涉及到了一个概念是：直接气候敏感因子（non-feedback climate sensitivity factor），定义为在理想情况下，包括无反馈效应（但包括温度升高导致的增强的辐射冷却效应），均一的温度变化时，大气二氧化碳加倍导致的气候响应。

描述和预测气候对由人类活动产生的二氧化碳排放的响应的工作都集中在气候敏感性上：与二氧化碳数量加倍相关的平衡温度变化。但最近的研究工作表明，这种“Charney”敏



感性（根据 1979 年首先采用这种方法的气象学家 Jule Charney 命名）可能是对地球系统全面反应的一种不全面表征，因为它忽略了碳循环、气溶胶、土地利用和陆地覆盖的变化。

### 3. 关于辐射强迫和气候响应的区别

由于存在一些可对气候系统产生强烈影响的正、负反馈，全球气候对于辐射强迫的总体响应很复杂。就有关资料显示，尽管水汽是一种强烈的温室气体，但其在大气中的浓度随着对地表气候变化的响应而变化，因此被认为是一种反馈效应，而不是一种辐射强迫。此外，人为气溶胶的某些效应，包括云的生命期效应、半直接效应和气溶胶—冰云的相互作用，也被看成是气候响应的一部分，而不是辐射强迫。

Nakajima 教授专门就这一问题进行了解释，他认为用以区分辐射强迫和气候响应的是时间尺度。相对短期的是辐射强迫，长期的是气候响应。如二氧化碳在百年尺度上是辐射强迫，而在万年尺度上的就是气候响应。还可以说，能够很容易直接计算数值的是辐射强迫，而必须利用复杂的气候模式运行模拟才能得出结果的是气候响应。

IPCC AR4 第一工作组报告《自然科学基础》中提出，IPCC 气候模型对气候变化的驱动因子分析与研究还有很多不足，特别是对气溶胶对云特性改变的全过程尚未有充分的认识，对其相关间接辐射效应强度尚没有很好的定论，各种模式对于气候系统不同云反馈强度的估算存在相当大的差异，云反馈(尤其是低云反馈)仍然是最大的不确定性的源。因此，气溶胶对云层特性的作用机制的不确定性，将会影响基于模型推论全球气候变化的可靠性。为减少目前全球气候变化模型预测中的不确定性，需要在云反馈的认识与模拟上取得较大进展。

我目前主要从事气候变化事实监测和影响评价工作，通过这次培训，我更加深刻的了解到目前气候变化研究工作所面临的机遇和挑战，以及将我所长同工作联系起来，并且同各地从事气候变化研究的人员交流，大大的开阔了我的眼界。我以前主要是从化学组成角度研究区域气溶胶分布及来源，没有接触过气候模式。这段时间的学习使我对模式也有了初步认识，同时也发现自己在专业领域的很多不足，也是今后需要加强学习和提高的地方。此外，专家们严谨务实的科研态度和灵活多变的思维想法给我留下了深刻印象。在这里，感谢国家气候中心及相关组织提供如此好的机会，希望 ISCS 越办越成功！

## 7<sup>th</sup> ISCS (2010) 总结与体会

马金玉 南京信息工程大学/国家气候中心

为期 12 天的“第七届气候系统与气候变化国际讲习班”已经结束了。很荣幸第三次参加这次由国家气候中心组织的讲习班，再次使我的英语听力和口语都得到很大的锻炼，这是一次与国际专家和各地同学、专家交流的好机会，并在听课的同时学会了如何思考。虽然有些领域是我所不熟悉的，但是这并不影响我听课的热情。目前正在攻读博士学位，在进行科研工作的同时，不断学习和掌握广博的知识也是必须的。本期培训班的授课内容侧重于大气化学和气候模式，从不同角度阐述了大气化学与气溶胶的气候效应，以及南极冰芯资料数据的研究成果，并且介绍了各国采取的适应政策和减缓行动。

Dr. Claude 就其在南极区域的一些观测和数据分析的研究进行详细介绍。一是介绍了他们的项目组在南极、格陵兰岛和高纬度地区钻取冰芯样本的工作；二是分析了冰芯数据中重金属的一些浓度数据，包括过去很长年代时间里的浓度变化情况；三是从冰芯数据中分析认为活动对重金属浓度的影响，从而分析人为活动对气候系统变化的影响。Dr. Claude 项目组的工作非常艰巨，也很重要，由于南极冰芯是对过去气候变化的一个科学数据，能说明过去的自然界的大气成分的变化过程，通过这些数据的分析，研究过去的变化，进一步有助于预测将来的气候变化趋势。但这些数据是否真的能反映气候变暖，有的科学家还存在一些争议，我认为，有争议的科学问题才有价值，科学才能不断前行。

Dr. Ned 介绍了发达国家和发展中国家对碳交易的一些政策的制定和实施，以及 CDM 的一些项目的简要情况，让我们开阔了眼界，跟上目前时代发展的步伐。在发达国家和发展中国家，存在一些过去发展和现在发展的不平衡，但是由于应对气候变化时全球性的问题，不是一家、两家就可以解决的小问题，而是需要大家共同行动，采取相应的措施，也不是说大家坐在一起开始讨价还价的问题，需要大家一起行动。要在可持续发展框架下应对气候变化；要坚持共同但有区别的责任原则。适应气候变化和减缓气候变化要并重，不能单单强调某一项。在气候变化的大环境背景下，对于一些环境污染，尤其是近期在墨西哥湾发生的漏油事件，污染了广大的海域，影响了极大范围的生态环境和人们的生活，甚至有人在清理漏油的过程中忍受不了而自杀。这说明地球是我们唯一的家园，如果破坏了自己的家园，终究会影响人类自己。而目前，我们只有将气候变化的研究工作做好，才可能在下一步继续提升公众意识，并为国家决策提供重要支撑。对于个人而言，我们只能在了解适应和减缓气候变化的基础上，进行低碳生活，从小事做起。

Dr. Klaus 的报告详细介绍了一些模式的理论基础，如洛伦兹理论、蝴蝶效应以及气候系统的长期记忆、一个大的气候模式 (PUMA) 等等。这些偏于理论的内容非常难，但也是科研的数理基础，非常重要。Dr. Klaus 认为，气候本身具有长期的记忆性，根据这一特性我们可以进行预报，尤其是预报极端事件。而在进行预报工作的时候，有三个方面是比较重要的，时间、空间和模式，因此进行气候研究的时候应从这几方面着手改进。

Dr. Steven 主要是做气候模式以及气溶胶在气候模式应用方面的专家，他为我们介绍了气溶胶的特征及其在大气圈层中的一些物理化学过程，以及黑碳气溶胶和 CO<sub>2</sub> 在气候系统中的作用。当 Dr. Steven 提到由于青藏高原面积巨大，其动力作用和热力作用都会对气候系统产生较大的影响，也会对黑碳气溶胶和 CO<sub>2</sub>，如果照目前气候变化的状况，黑炭气溶胶将会减少，由于其对气候具有 cooling 的效应，因此会对气候变化产生负的效应，但由于 CO<sub>2</sub> 这一

主要的温室气体将会不断增加，因此未来的气候走向还是变暖，而不是变冷。Dr. Steven还介绍了他们工作组的有关模式预报的一些成果，主要是对积雪覆盖的模拟结果。冰川是一个长期积累的过程，并不是由于某一年降雪比较多，积雪就会增多，还与温度的变化状况有密切的关系。博士在对雪线以及积雪观测数据分析的过程中发现，近百年来积雪是逐渐减小的，1970s有三年积雪量是增加的，这只是气候变化的长期进程中的一个小插曲（noise），这并不影响积雪减少的长期变化趋势。但由于山体的高度对模式的影响很大，在模拟积雪的时候需要对山体高度进行分类，通过不同的处理过程来更加准确的模拟与积雪关系较密切的降水和温度的变化。

Dr. John 同样是大气化学方面的专家，但是他更加侧重于大气化学成分的微物理过程的研究，以及一些大气成分的测定。在实验室中如何测定粒子的数浓度，研究粒子间的相互作用，及其对气候变化的影响。气溶胶粒子对温度的影响是增温还是降温不仅与粒子的种类有关，还与粒子的大小有关。同时，我想在气候模式中，大气成分的粒子是非常重要的，只有弄清楚，粒子自身的物理过程，粒子与粒子之间的相互作用，以及粒子对气候的影响，都将对气候模式研究气候产生很大的影响。但由于技术手段的限制，目前模式中对这方面的考虑还是很简单，有时候只能设定为常数，但 Dr. John 认为，将来气候模式将会更多的考虑大气成分的动态变化作用。Dr. John 的讲解深入浅出，虽然领域比较专，并不是我所熟悉的，但是由于专家报告时语速适中，吐字清楚，感到能够听懂大部分，希望以后专家讲课的时候能够稍微慢一些，让我们有思考和消化的时间。

Dr. Nakajima为我们生动有趣地介绍了一些有趣的知识和现象以及一些很有用的基础知识，例如为什么云是白色的，天空是蓝色的，太阳光是什么颜色的，这些看似很简单的现象往往蕴含了很多科学道理，值得我们深入研究。同时，我还搞清楚了，强迫和响应的差别，这主要与时间尺度有关，CO<sub>2</sub>和水汽由于生命期相对较短，因此对气候具有反馈作用，而在大气系统中，气溶胶的生命周期较长，因此是强迫。在气候变化的过程中，CO<sub>2</sub>具有正的反馈效应(heating)，但不确定性不大，而具有cooling效应的云和气溶胶，其不确定性很大，而且也很复杂，是目前气候变化以及模式研究的难点、热点和前沿领域，但由于云和气溶胶的微物理过程非常复杂，而且不确定的因素很多，需要大家一起共同努力来研究。

六位专家的报告，传递给我们许多新知识，给我们提供了很好的科研思路和研究方法，拓宽了视野，让我们更加深入地了解了大气化学对气候变化的影响以及国家采取的适应政策和国际减缓气候变化的行动。同时，也让我意识到，科研是一个长期积累的过程，只要每天做好一件事情，一点点就会积少成多，我们要坚信自己会成功，也要相信只要我们共同努力，气候变暖的问题一定会得以解决，我们共同的地球家园也会依然美丽。

# 第七届气候系统与气候变化国际讲习班学习心得

彭冲

(南京信息工程大学 国家气候中心)

在为期两周的气候系统与气候变化讲习班中，国际知名专家们围绕气候系统和气候变化的一系列精彩讲座既有广度又有深度，使我受益匪浅。其中讨论最多的问题就是全球变暖，特别是CO<sub>2</sub>浓度增加带来的后果。以IPCC为核心的主流科学家们一致认为全球变暖已经是不争的事实，而其最主要的原因是人类活动排放的温室气体特别是CO<sub>2</sub>浓度的大幅增加。主流观点之外也有持反对意见的科学家列出一些有说服力的证据，如：

(1)根据 40 万年来的南极冰芯记录，温度变化同CO<sub>2</sub>浓度变化两条曲线虽然高度相关，但是从相位上分析，气温变化早于CO<sub>2</sub>浓度变化至少达数百年，这说明地质时期气温变化驱动了CO<sub>2</sub>浓度变化，而不是CO<sub>2</sub>驱动气温变化。

(2)100 年来的CO<sub>2</sub>曲线与气温曲线相关性并不好，因为有关曲线表明CO<sub>2</sub>浓度是持续升高的而温度变化是波动的，从 20 世纪 50 年代到 70 年代，CO<sub>2</sub>浓度迅速升高，而气温呈现下降趋势。太阳活动曲线同气温变化曲线有更高的相关性，这就表明气温变化是自然因素驱动，人类活动是次要的或根本不起作用的。

(3)20 世纪初期开始的增温是在“小冰期”的背景下出现的，而根据一些学者做出的海平面变化曲线，“小冰期”结束早于人类排放的CO<sub>2</sub>浓度增加期，说明“小冰期”的结束是自然过程，即一个世纪来的增温是由自然因素导致的，不是由人类活动引发的。且小冰期时，太阳活动是近千年来最低的。

(4)一万年来，气温一直在波动。“小冰期”以前为“中世纪暖期”，气温高于现在，然后进入“小冰期”，温度最低；小冰期自然结束后应进入下一个相对暖期。这种自然变化一直存在，并且同太阳活动曲线大致一致，故自然变化是主控因素。简单的说，气候变化的历史就是在不同时间尺度上波动的历史，随着太阳活动减弱，气温自然还会下降，1999 年以来，尽管CO<sub>2</sub>浓度在快速增加，气温增加就不是那么明显了。

这些观点不易反驳，但也有忽略的地方。100 年来的温度变化虽有波动，但还有一个增温趋势。其波动性是CO<sub>2</sub>所不具备的，但太阳活动的曲线趋势性却不明显，而CO<sub>2</sub>的趋势性却很明显。对于是先有CO<sub>2</sub>浓度增加推动了大气温度上升还是温度上升才推动了CO<sub>2</sub>浓度增加的争论，某教授的解释是CO<sub>2</sub>的温室效应是一种推动力，而温度上升与CO<sub>2</sub>的相互作用只是一种正反馈机制。一个世纪以后大气观测的平均温度大约上升 0.74 摄氏度，因此，问题的争论焦点应当放在气温对CO<sub>2</sub>浓度的敏感性上，即在CO<sub>2</sub>倍增之后大气温度到底能上升多少。考虑到当今气候模式的不完备预测能力并不强，特别是对各种反馈机制理解的匮乏及其在模式中的反映，数值模拟对这一敏感性的估计可能偏高。

总之，全球变暖已是不争的事实，抑制全球变暖看来是必要的，但温室气体对全球变暖的贡献的认识还存在诸多不确定因素，要充分理解这一问题还有很长的路要走，因此在发展国民经济的同时要谨慎对待温室气体的减排，既不可轻视减排又不可匆忙制定硬性标准。

# 第七届 ISCS 学习心得

----- 浅谈水文水资源对气候变化的响应

秦琳琳

(武汉大学水利水电学院 武汉 430074 )

很荣幸参加了由中国气象局主办的第七届气候系统与气候变化国际讲习班，首先要感谢中国气象局、国家气候中心给我们提供这次学习的机会，还要感谢各位教授的精彩报告。几位专家分别就冰冻圈在气候系统和气候变化中的作用、大气化学与气溶胶的气候效应、地球生物化学循环、气候模式在气候变化研究中的应用，以及气候变化的减缓与适应对策及社会可持续发展等几个方面向我们生动的介绍了气候变化的研究进展。这些主题是目前气候变化和气候系统研究领域的重要方面，也是 IPCC 第五次评估报告所关注的若干重点。十几天的学习让我加深了对气候变化的认识，接触了新的领域，拓展了自己的知识面，而且领略到了各位国际学者精彩的学术成果，严谨的治学态度和科学的研究方法，对于他们的启迪尤为感激。

## 1 引言

以全球变暖为主要特征的全球气候变化已经对脆弱的生态系统和社会系统造成了严重影响，并受到国际社会的普遍关注。各种全球变暖背景下的极端气候影响在世界各地频频上演，暴雪、飓风、洪水、干旱……全球气候变暖还引起冰川崩塌消融、海平面上升、粮食减产、物种灭绝……。显然全球气候变化问题已经超出一般的环境或气候领域，而且涉及能源、经济和政治等方面，因此预估未来气候变化，探讨未来气候变化亦或气候持续变暖是否会对生态系统和人类社会造成比现在更为严重的后果，已成为各国科学家、公众和决策者共同关心的问题。

## 2 研究方法

气候变化对水资源的影响及其适应性是国际社会普遍关注的全球性问题。气候变化对我国各地区的水资源影响的时空格局变化，尤其是对水资源工程和规划的影响，将是气候变化影响评估的重要内容。未来气候变暖背景下我国水资源面临着很多不确定性，将给水资源可持续利用和管理及社会经济系统带来新的挑战。气候变化对水文水资源的影响研究方法已经从过去的采用假定的气候变化值，或由GCMs输出的大气CO<sup>2</sup>浓度加倍达到稳定状态时的气候情景值，由此构建的气候平均态变化驱动水文模型，发展到IPCC第三、四次评估报告期间开始采用SRES排放情景和众多气候模型来研究。在气候变化研究中，各个模式对不

同地区的模拟效果不尽相同，单一GCM的模拟预测值输入到水文模型中，会引起径流杂乱无章的变化。许多科学家的研究证明，多个模式的平均效果优于单个模式的效果。近年来，为减少气候模型对降水模拟的不确定性，开始采用多个气候模型集合平均的方法，根据AR4多模式GCMs输出结果，分析不同情景下各流域水文循环对气候变化的响应过程。由此看出对于水文循环的响应研究很大程度上依赖于气候模式的预测。

### 3 不确定性分析

但是由于人类对气候复杂系统认识的局限性，预测未来气候变化对流域水文循环过程的影响是一个复杂过程，其研究存在着不同程度的不确定性。

首先，GCM模式对未来气候变化的预估具有不确定性，在百年时间尺度的气候变化预测研究中，仅仅考虑了人类活动所造成的温室气体排放和气溶胶的影响，未包括自然的外强迫因子如太阳活动和火山活动的可能变化，并且对温室气体和气溶胶对辐射强迫非线性影响关系还不甚清楚，温室气体排放情景研究还存在很大不确定性。

其次，气候系统本身极其复杂，目前尚无法完全了解气候变化的内在规律，也无法确定云及其辐射反馈、水汽增暖效应等过程及其影响。由于对气候系统这些内部过程与反馈缺乏足够认识，导致了气候模式对这些过程与反馈的描述存在不确定性。

另外，现阶段地球气候系统模式中各种次网格过程的参数化方案也同样存在很大的不确定性，也同样会影响利用气候模式预估未来气候变化的可信度。

### 4 展望

未来气候变化预估研究，需要进一步加强对气候变化的理解和评估，加深对包括气候系统在内的地球系统基本组成与结构变化的认识。特别需要加强对未来气候变化背景下极端事件的预估能力，定量给出气候变化预估的不确定性范围，并探讨如何降低气候变化预估的不确定性。使我们能够更好地理解地球气候变化，更合理地预估未来气候变化趋势，从而减少水资源系统对气候变化的脆弱性，提高水资源系统对气候变化的适应能力。

### 5 学习心得

学习中，通过各位教授的讲授，对气候变化各方面的专业知识增加了许多，就气溶胶而言，由之前空洞的知晓到了解其作用：工业化以来，气溶胶增加引起的地面变冷趋势可部分抵销温室气体增加引起的地表温度上升。但是气溶胶浓度变化会影响云的形成，而云的变化反过来对气候有巨大影响，这方面至今还没

有定量结果。同样，对于各种辐射反馈，也有了进一步的认识。

另外，对于 Claude Boutron 教授冰冻圈方面的知识，以前甚少接触，通过这次培训，对此产生了浓厚的兴趣。冰芯研究是恢复过去气候环境变化记录的重要手段之一，其主要特点是时间尺度跨度大、分辨率高、保真度好，不仅信息量大，而且不同信息可以区分开来。极地地区的冰芯记录对长时间尺度气候环境变化研究尤为重要。温室气体变化的化石唯一存在于冰芯中，通过冰芯气泡的研究可以反映 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等温室气体的变化。对于冰芯中碳质气溶胶以及可溶性离子的浓度的研究分析，是气候预测模型中必须考虑的因素之一。当然，对于冰芯研究的意义及其困难程度也是叹为观止的。

由不知到知之的学习过程是学习的最大乐趣所在，鼓舞着我向更深的方向迈进。在 Ned Helme 的讲授下知晓全球气候变化问题已不止是环境或气候领域的问题，而且涉及能源、经济和政治等方面，全球气候变化是由化石燃料燃烧排放大量温室气体而造成的，在不可逆转的全球变暖大灾难到来之前，我们唯有节能减排，放弃化石燃料，改用可再生能源、节约能源、提高能效，减排温室气体，同时保护森林，多管齐下，才能有效遏制全球气候变暖趋势。

最后感谢贵单位周到、细致的服务！

#### 参考文献:

- [1] 张利平,陈小凤,胡志芳,等. 气候变化对水文水资源影响的研究进展[J]. 地理科学进展,2008,27(3):60-67.
- [2] 刘春臻. 自然气候变异与人为气候变化对径流影响研究进展[J]. 气候变化研究进展,2008,4(3):133-139.
- [3] 秦大河,罗勇.气候变化科学的最新进展[J]. 气候变化研究进展,2007,3(6):311-314.
- [4] Allen, M.R., Ingram, W.J.. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle[J]. Nature,2002,419 (6903):224-232.
- [5] Dettinger, M.D., Cayan, D.R., Meyer, M.K., et al. Simulated hydrologic responses to climate variations and change in the Merced, Carson, and American River Basins, Sierra Nevada, California, 1900-2099[J]. Climatic Change,2004,62 (1):283-317.
- [6] Z.X. Xu, F.F. Zhao and J.Y. Li. Response of streamflow to climate change in the headwater catchment of the Yellow River basin[J]. Quaternary International, 2009, 208(1-2):62-75
- [7] 张建云,王国庆,等. 气候变化对水文水资源影响研究[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [8] 郝振纯,李丽,王加虎,等. 气候变化对地表水资源的影响[J]. 地球科学-中国地质大学学报,2007,32(3):425-432.
- [9] Haeberli W, Beniston M. Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps [J]. Ambio, 1998, 27(4): 258-265.
- [10] 王茉,徐柏. 青碳质气溶胶在藏东南冰芯中的记录[J]. 气候变化研究进展,2010,3(6):175-180.

# 近 50 年海南岛气候变化

邱明宇

(海南省气候中心)

气候变化及其影响正在受到国际组织和政府部门越来越多的重视。政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 于 2007 出版的第 4 次气候变化评估报告指出: 近 100 年 (1906 - 2005 年) 全球平均地表温度上升了  $0.74^{\circ}\text{C}$ , 极端温度发生了大范围的变化, 冷昼、冷夜和霜冻已较为少见, 而热昼、热夜和热浪则更加频繁, 强降水事件和热带气旋等极端天气气候事件频率增加。这些气候变化给人民的生命和财产造成巨大损失。气候变化同时也加剧了许多地区的水资源短缺, 制约农业生产和威胁粮食安全, 破坏沿海海洋生物资源, 提高了突发性传染病的发生几率, 还造成森林火灾、森林退化等一系列问题。

海南省位于热带地区的北缘, 属于气候变化的敏感地区。近些年来受全球变暖等影响, 气候发生了明显变化。本文通过对其温度、降水及热带气旋等要素的年际变化趋势、周期和突变分析, 来认识海南岛近 50 年气候变化的事实。

为全面、客观反映海南岛气候变化的事实, 选取全省 18 个市县气象站的历史观测资料及热带气旋资料进行分析。观测资料和分析表明, 近 50 年来 (1957-2006 年) 海南气候发生了明显变化。全省年平均气温升高约  $1.3^{\circ}\text{C}$ , 高于黄河以南大部分地区的升温, 也超过了全国的平均增幅; 年降水总量变化不明显, 但强降水增多, 降水时空分布变化波动较大; 影响和登陆海南的热带气旋频数减少, 但强度增强; 主要极端天气气候事件的频率和强度出现变化, 干旱和洪涝等灾害频繁发生, 海平面上升趋势显著。

## 1、气温升高、最低气温比最高气温升高更明显

### 1.1 气温升高趋势显著

1961 年以来, 全岛年平均气温呈线性上升趋势 (图 1), 增温率为  $0.29^{\circ}\text{C}/10$  年, 特别是 80 年代中期以后, 升温更为明显。与海南岛相比, 西沙气温的升高相对缓和, 增温率为  $0.21^{\circ}\text{C}/10$  年。

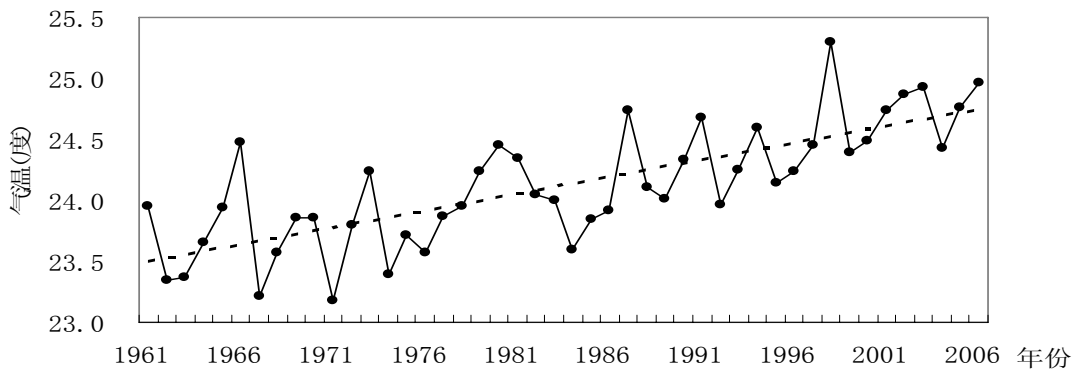


图 1 1961~2006 年海南省年平均气温变化曲线 (虚线为线性变化趋势线)

### 1.2 年最高、最低气温呈非对称变化



我省气温变化总体呈攀升趋势，但年平均最高、最低气温的变化表现出非对称性。其中，年平均最高气温呈现为突变式升高，突变时间在 86 年前后，全省年平均最高气温从 28.7℃ 跃变到 29.2℃（图 2）；年平均最低气温的变化与年平均气温相似，表现为线性升高，但趋势更为显著（图 3），增温率达到 0.33℃/10 年。平均最高气温的突变式升高与平均最低气温的线性上升呈现为一种非对称性，总体效果是平均最低气温比最高气温升高明显，导致日较差（每日最高气温与最低气温的差）显著减小。

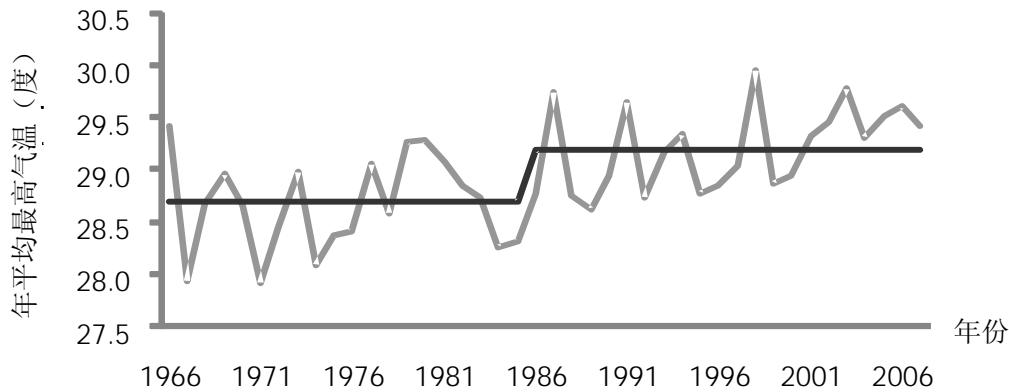


图 2 1966~2006 年海南省年平均最高气温变化及突变趋势

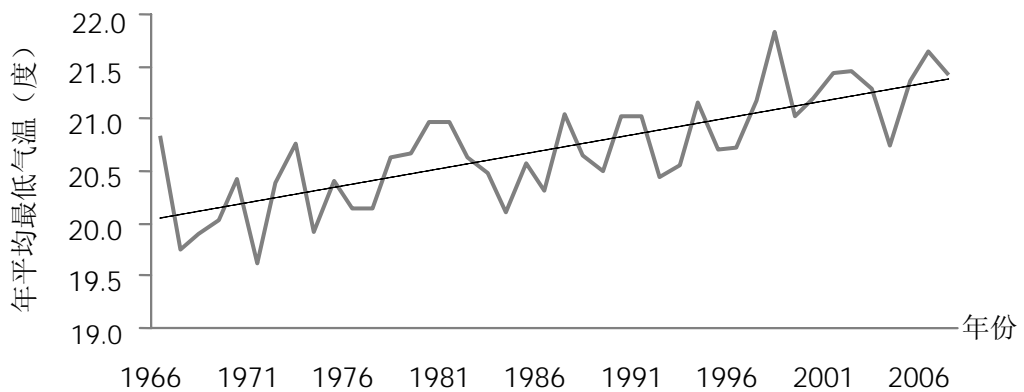


图 3 1966~2006 年海南省年平均最低气温变化及线性趋势

## 2、年降水总量基本不变，但降水日数减少、强度增强

### 2.1 年降水量无明显变化

1961 年以来，年降水量无明显变化，平均每 10 年增加 20 毫米，呈微弱的增加趋势（图 4），但降水的时空分布变化波动较大。

在年际变化上，全省平均降水量多雨年份超过 2200 毫米，而少雨年份则低于 1200 毫米。在地区分布上，西沙永兴岛年降水量显著减少，平均每 10 年减少 53mm；北部和中部的部分地区（屯昌、白沙、琼中）年降水量有弱的减少趋势；其

余地区呈增多趋势，其中三亚和东方增多最为明显，分别为 102mm/10 年和 45mm/10 年。

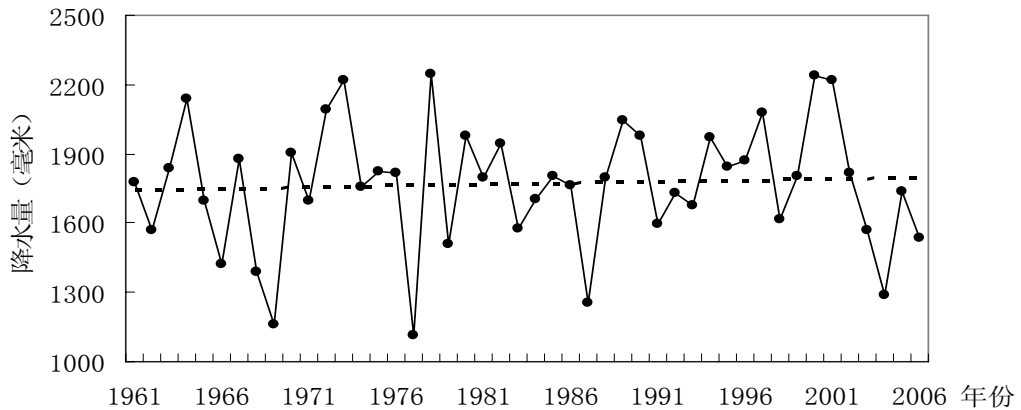


图4 1961~2006年海南省平均年降水量变化曲线(虚线为线性变化趋势线)

### 2.2 降水日数呈减少趋势，但降水强度增大

1961 年以来，全省年降水日数呈减少趋势（图 5）。1961 - 2006 年减少了约 15 天。从降水量级来分析，小雨等级（日降水量小于 10 毫米）降水次数明显减少，但大雨（日降水量间于 25 毫米和 50 毫米之间）和暴雨（日降水量大于 50 毫米）的强降水次数总体增多，降水强度呈增大趋势。如三亚暴雨日数增加 0.8 d/10 年，临高在 27 年间（1966-1992 年），仅有 3 年的日最大降水量超过 200 毫米，而在 15 年间（1992-2006 年），则有 6 年的日最大降水量超过 200 毫米。

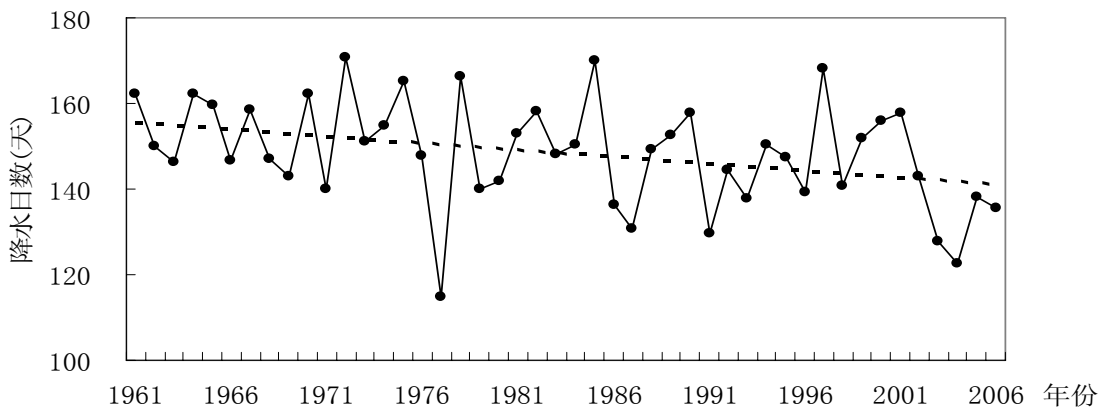


图5 1961~2006年海南省平均年降水日数变化曲线(虚线为线性趋势线)

## 3、影响和登陆的热带气旋频数减少，降水减少；但热带气旋强度增强，降水强度增大。

### 3.1 影响和登陆的热带气旋年频数减少

1961 年以来，影响海南的热带气旋有两个变化特征。一是年频数呈明显减少趋势（图 6），减少为 0.9 个/10 年，其中西太平洋热带气旋减少为 0.6 个/10 年，南海热带气旋减少为 0.3 个/10 年。研究表明，这是由于在过去的 40 多年中，西太平洋热带气旋路径发生了明显变化，生成后自菲律宾以东向西北方向移动，主要影响中国大陆东南沿海至日本一带，较少向西移动影响我省。二是年代

际变化明显。1961-1978年的18年，热带气旋相当活跃，年频数在9个以上的年份达到9个，而1979-2006年的28年，只有4年的年频数在9个以上，特别是1997~2005年，连续9年的年频数少于气候平均值（7.1个），2004年还出现有记录以来没有热带气旋影响本岛的空台年。

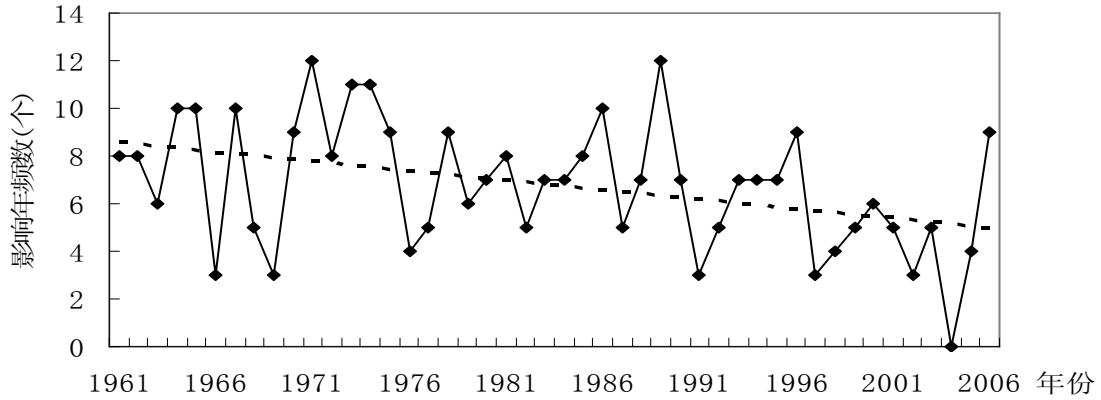


图6 1961-2006年影响海南省的热带气旋频数变化(虚线为线性趋势线)

与影响海南岛的热带气旋变化特征相似，登陆气旋也有三个特点。一是年频数减少趋势显著(图7)，减少为0.4个/10年。二是年代际变化明显，1961-1990年间登陆海南的热带气旋年频数，有16年超过了气候平均值（2.2个），且频数最多的年份也出现在这个阶段；1990年之后，只有4年的登陆热带气旋达到3个，其它年份都没有超过气候平均值，其中还有3年出现了无热带气旋登陆海南的异常气候事件。

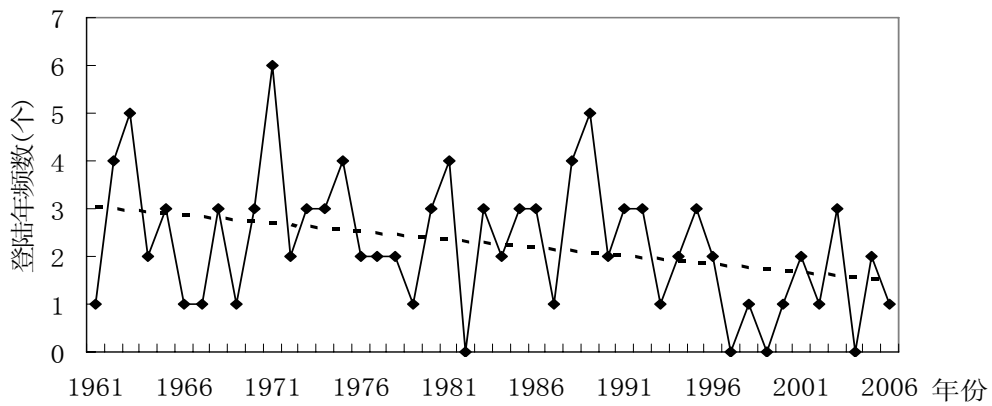


图7 1962-2006年登陆海南省的热带气旋频数变化(虚线为线性趋势线)

### 3.2 热带气旋降水量减少

热带气旋降水量约占海南年总降水量的三分之一。由于影响和登陆海南的热带气旋频数的减少，热带气旋年降水量贡献率呈下降趋势(图8)。

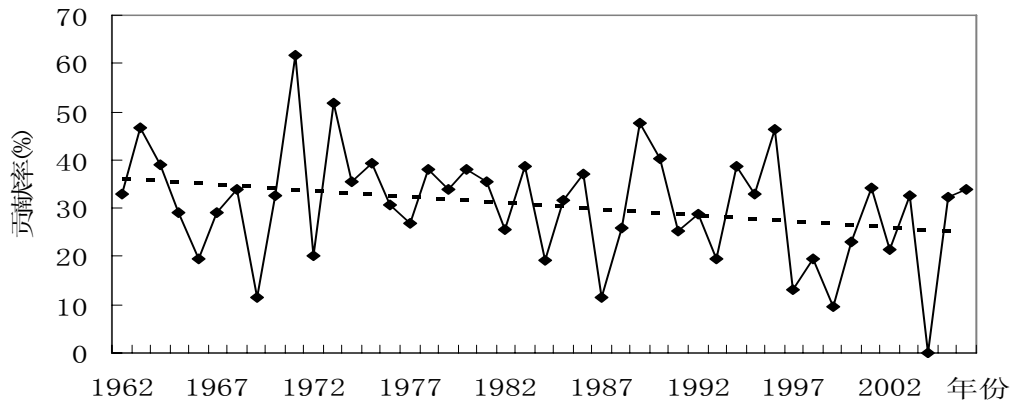


图8 1962-2006年影响海南省的热带气旋降水对总降水的贡献率变化(虚线为线性趋势线)

### 3.3 登陆热带气旋强度增强、降水强度增大

分析表明,南海热带气旋登陆时强度明显增强(图9),西太平洋热带气旋登陆时强度也有微弱增强趋势(图10),使登陆我省的热带气旋总体呈增强趋势(图11),平均每个热带气旋的降水量也有增多趋势,即热带气旋降水的强度增大。

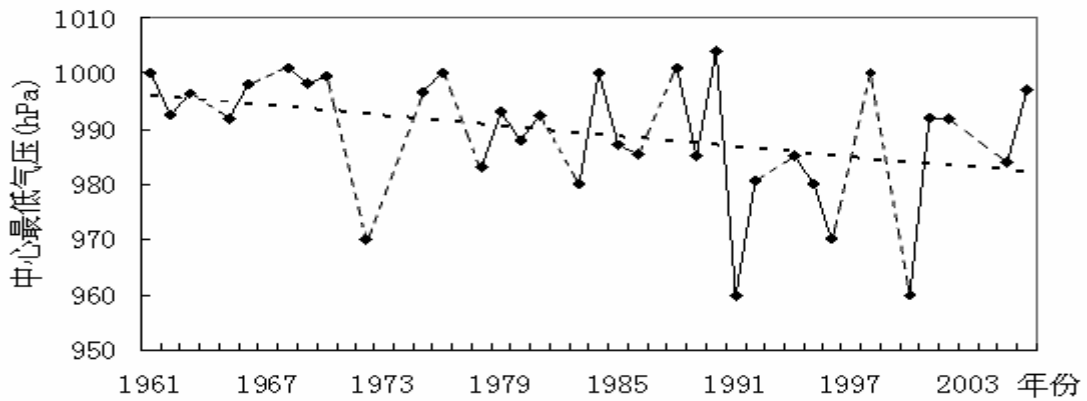


图9 1961-2006年登陆海南的南海热带气旋平均登陆强度变化(虚线为线性趋势线)

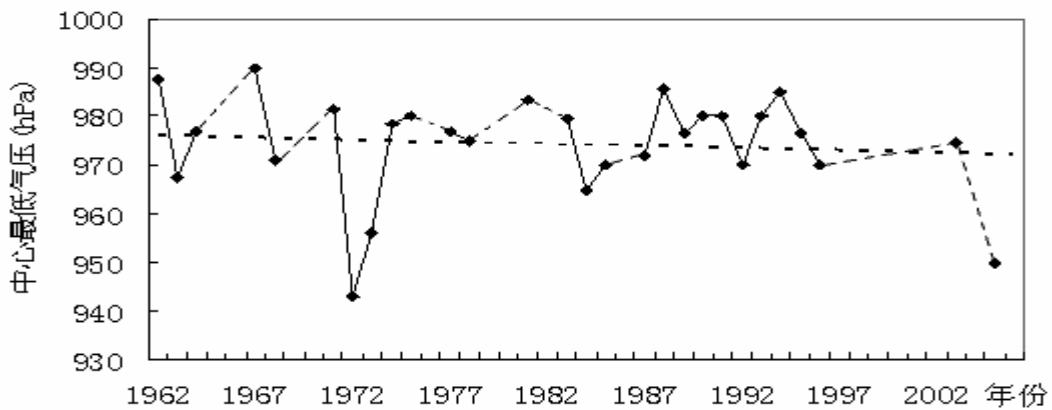


图10 1961-2006年登陆海南的西太平洋热带气旋平均登陆强度变化(虚线为线性趋势线)

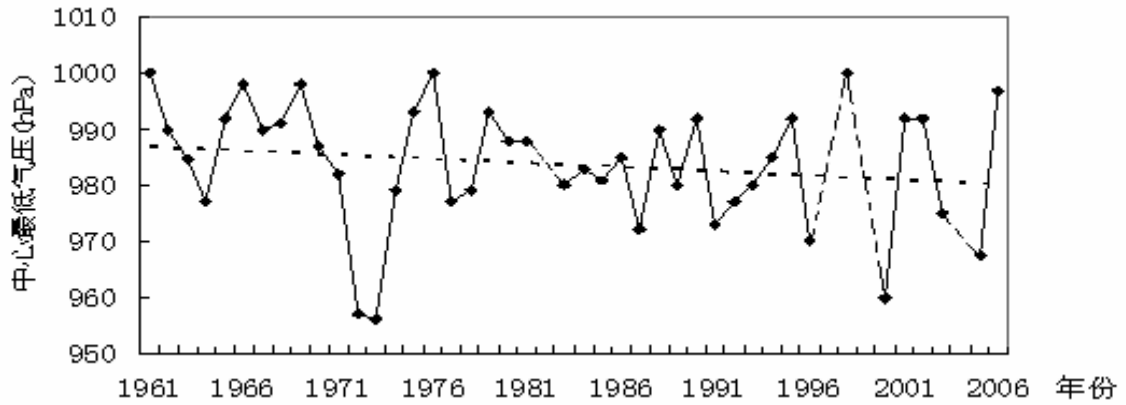


图 11 1961-2006 年登陆海南的热带气旋平均登陆强度变化(虚线为线性趋势线)

#### 4、极端天气气候事件的变化

随着全球变暖，海南岛近几年极端天气气候事件频繁发生。

2000 年 10 月，受热带气旋和冷空气共同影响，南渡江下游及其支流的龙洲河出现特大洪水，龙塘站测到百年一遇大洪水；2004 年海南出现 1949 年以来首个无热带气旋影响年，导致 2004~2005 年上半年发生了 1977 年以来最严重的跨年度特大干旱；2005 年 9 月海南省遭遇 30 多年来最强台风“达维”正面袭击，造成有记录以来最惨重的经济损失；低温冷害总体上呈减少趋势，但 2007/2008 年冬季出现的低温阴雨天气过程无论在影响范围上，还是在危害程度上都突破 1951 年以来的历史记录。

# 第七届气候系统与气候变化国际讲习班学习心得

## ——重视加强气候变化科普宣传

任珂

(公共气象服务中心 科普宣传室)

通过此次讲习班多样式的学习,对气候变化的科学事实、对自然与人类的影响、人类适应及减缓气候变化措施和国内外气候变化涉及的经济、政治问题有了较为系统的认识与理解。

### 气候变化科学事实

全球气候呈现以变暖为主要特征的显著变化。近 50 年平均线性增暖速率(每 10 年 0.13℃)几乎是近 100 年的两倍,相对于 1850—1899 年 2001—2005 年总的温度增加为 0.76℃;南北半球的山地冰川和积雪总体上都已退缩,1978 年以来,北极地区平均海冰面积以每 10 年 2.7%的速率退缩;从 19 世纪到 20 世纪,观测到的海平面上升速率的增加具有高可信度,整个 20 世纪的海平面上升估计为 0.17m。近百年来全球气候变暖是国际社会和气候变化科学界广泛认同和接受的客观事实,不应置疑。

### 气候变化未来影响的预估

在全球气候持续变暖背景下,我国将面临众多的气候与环境问题,其中最突出的是水资源短缺、干旱和洪涝频发、土地沙漠化难以有效抑制、水土流失严重、山地灾害加剧等。

气候变化将使农业生产的不稳定性增加,产量波动增大。如果不采取任何措施,今后 20—50a 的农业生产将受到气候变化的严重冲击,气候变化将严重影响我国长期的粮食安全。

气候变暖可能使北方江河径流量减少、南方径流量增加,各流域年平均蒸发将增大。因此,旱涝等灾害的出现频率会增加,并加剧水资源的不稳定性与供需矛盾。

气候变化可能引起热浪频率和强度的增加,由极端高温事件引起的死亡人数和严重疾病将增加。气候变化可通过增加疾病发生和传播的机会危害人类健康。

气候变化可能使雪山融化和海平面上升,从而导致山区、海岸和海岛风景地的变迁。

### 适应及减缓气候变化

为了适应气候与环境的变化,需要采取积极措施,趋利避害。适应气候与环境变化是一项长期的战略性任务,需要纳入国家、地方和各部门的可持续发展规划。采取减缓措施,控制和减少污染物和温室气体的排放,可在源头上减缓气候与环境变化的速率和程度。同时,在可持续发展框架下应对气候变化,需要综合考虑减缓与适应之间的协同作用,以权衡取舍。提高公众保护全球气候的意识,建立有助于减少温室气体排放和环境保护的生活方式和消费模式。

### 我国应对气候变化政策原则

中国财政部副部长李勇在 24 国集团第 78 届部长级会议上发言,提出应对气候变化应坚持的原则。第一,在可持续发展框架下应对气候变化的原则;第二,遵循《联合国气候变化

框架公约》规定的“共同但有区别的责任”原则；第三，坚持减缓与适应并重的原则；第四，将应对气候变化的政策与其他相关政策有机结合的原则；第五，依靠科技进步和科技创新的原则；第六，积极参与、广泛合作的原则。

### **重视加强气候变化科普宣传**

气候变化的科普宣传非常重要，记得我的姐姐曾经十分认真地问过我什么是气候变化啊，它会孩子将来的生活带来非常不好的影响吗？我当时对于姐姐能问这样的问题感到非常惊讶，我虽在气象部门从事科普宣传工作，但很少向家人提及相关的问题，姐姐是怎么知道气候变化的，又为什么关心呢？姐姐说当然关心了，我们有责任为孩子创造更好的生活环境，电视上虽经常说气候变化，但还是希望了解更多。

是的，我们对我们的后代子孙是有责任的，我们应该积极努力地保护我们的生存环境，重视加强气候变化科普宣传工作是十分有必要的。美国曾做过一项调查，只有 47%的公众将气候变化看作非常严重的问题，可见，公众对气候变化的认识还是存在一定的缺陷和不足的，我们应该积极广泛地宣传，组织气候变化科普知识进农村、进学校、进社区、进公交等活动，使公众全面认识到气候变化的科学事实、科学事实、对自然与人类的影响、人类适应及减缓气候变化措施和国内外气候变化涉及的经济、政治问题，为适应及减缓气候变化做出应有的贡献。

### **参考文献**

- [1] 全球气候变化的最新科学事实和研究进展——IPCC 第一工作组第四次评估报告初步解读，国家气候中心
- [2] 陈宜瑜，丁永建，余之祥，等. 中国气候与环境演变评估(II):气候与环境变化的影响与适应、减缓对策. 气候变化研究进展, 2005, 1 (2), 51-57
- [3] 林而达，吴绍洪，戴晓苏，等. 气候变化影响的最新认识. 气候变化研究进展, 2007, 3 (3), 125-131
- [4] 刘春蓁. 气候变化影响与适应研究中的若干问题. 气候与环境研究, 1999, 4 (2), 129-134

# 关于气候模式和可预报性的一点认识

邵 颢  
国家气候中心

一直以来，天气和气候影响着人们的衣食住行，对季节内乃至年际尺度的气候状况的准确预测对国计民生都有着相当大的影响。近年来，各种极端气候事件频发，给人们的生产生活造成了很大程度的影响，短期气候预测显得越来越重要，也引起越来越多的人的关注。然而，影响气候变率的因子有很多，大气内部过程和气候系统内部各圈层的相互作用以及太阳对地球的辐射强迫等都会对区域气候乃至全球气候产生不同程度的影响。

我们国家位于亚洲东部，太平洋西岸，是一个典型的季风气候国家，海气相互作用强烈，同时青藏高原的热力异常也对我们国家的气候有重要影响。所以，在我国的短期气候预测中，要着重考虑海洋、陆地这些下垫面对气候变率的影响。就目前而言，短期气候业务预测主要还是依靠统计方法。

为了更准确和更客观定量地进行气候预测和研究气候变化的机理，各国的气象工作者研究和开发了各种各样的气候模式，有区域气候模式，也有全球气候模式。有单一的嵌套模式，也有双向嵌套模式。还有一些 ENSO 预测模式。但是，由于模式在物理参数选取和模式框架等方面的不同，其模拟和预测结果存在着很大的不确定性。所以，集合预报和超级集合预报成为现在短期气候预测技术的新的发展方向。

一般认为，引起气候变化的演变，导致气候预测的不确定性主要有两个方面。一是由于大气内部的动力不稳定和非线性过程。由于小尺度扰动所带来的模式中数值积分的初始场与真实大气之间存在的微小误差随着时间的延长会被放大，所以导致逐日预报的可预报最大时效一般认为是两周左右。然而我们进行的短期气候预测的对象是相应时间尺度内的气象要素的平均状况，因此使得成功的短期气候预测成为了可能。另一方面，气候系统各圈层之间的非线性相互作用也会给气候预测带来不确定性。正是由于海洋、陆地等下垫面边界条件的强迫过程对大气长期演变的影响，并且这些边界条件自身存在的变率，所以单一的固定边界条件强迫的大气环流模式不能有效地进行气候预测，特别是季节尺度及其以上尺度的预测，故而对海陆气耦合模式的研究和发展是当今气候模式研究人员的重大课题。另一方面，对引起气候变化的大气内部以及各圈层间的物理和动力过程机理的进一步研究也有助于完善模式，为进一步提高模式预测水平提供支持。

ENSO 事件作为热带太平洋海气相互作用最强烈的信号之一，对很多区域乃至全球的气候都有着很大程度的影响。1982~1983 年的强厄尔尼诺事件发生以后，很多科学家都致力于研究能很好预测 ENSO 事件的模式。随后，出现了很多 ENSO 预测模式，这些模式一般都能模拟出 ENSO 循环的过程，并且这些模式的预测结果与实测结果的相关系数也能达到 0.5~0.6 左右，但是，都没有能克服 ENSO 预测中的“春季预报障碍”问题。所以，研究出现“春季预报障碍”的原因，找出克服这一障碍的方法成为了成功进行 ENSO 预测的关键一步。

综上所述，要提高气候模式的预报水平，使气候模式真正在月尺度、季节尺度以至年际尺度的气候预测中发挥作用，应该在以下几个方面作更多的尝试和努力：

首先，是大力发展集合预报和超级集合预报技术；

其次，要加强大气内部过程和各圈层间非线性相互作用机制的研究，以完善模式本身；

最后，要致力于研究开发新一代耦合模式，加入各种边界条件，包括气溶胶、冰冻圈的变化等等的影响，使季节及以上尺度的模式预报成为可能。



# 冰芯讲述过去的事

气候系统与全球变化 沈志超

**摘要:** 随着国际横穿南极科学考察计划的实施, 近年来开展了精中山站— Dome A 考察路线的冰芯研究, 获得了伊丽莎白公主地 250 a 来气候环境变化的高分辨率记录. 通过与 Lambert 冰川流域西侧有关研究结果的对比, 揭示了该冰川谷地为东南极洲重要气候分界线的特征. 综合南极地区其它地点冰芯记录和冰盖变化研究结果, 发现以小冰期为代表的寒冷期在东南极洲较为明显, 在西南极洲则不明显. 甚或恰好相反, 表现为温暖阶段. 就东南极洲来说, 也存在明显的区域差异.

**关键词:** 气候变化 冰芯记录 南极地区

**引言** 极地地区是地球上的气候敏感区, 因而通过各种途径研究极地地区气候环境变化成为全球变化研究的重要内容. 由于与其它类型的气候环境记录相比, 冰芯记录具有保真度好、信息量大、分辨率高等独特优势, 通过冰芯研究重建极地地区气候环境变化历史倍受重视. 就南极地区冰芯气候环境记录研究来说, 深冰芯长时间尺度的记录特别突出, 尤其是东南极高原 Vostok 冰芯记录更成为地球古气候古环境记录的经典范例. 20 世纪 80 年代该冰芯研究给出了近 160 ka BP 以来气候和环境变化序列[1]. 90 年代该冰芯钻取深度超过了 3 600 m, 时间尺度达 420ka BP. 相比而言, 浅冰芯研究较为逊色, 其原因在于短时间尺度冰芯记录必须在一个区域内有多支冰芯进行对比才能揭示一个区域的特征, 而且还应当配合区域综合考察研究. 过去几十年, 虽然在南极地区许多地点钻取过几十米至上百米冰芯, 但对面积近  $14 \times 10^6 \text{ km}^2$  之巨的南极冰盖来说是很不够的, 以致于关于南极地区短时间尺度(几十年至上千年)气候变化的区域特征不太明确. 近 10 a 来, 国际横穿南极科学考察计划(ITASE)的实施为全面了解南极冰盖现代气候特征提供了契机. 该计划的核心内容之一是措纵横交叉横穿南极大陆的路线通过大量浅冰芯研究, 查明 200 a 来南极地区气候环境变化的详细特征和区域差异口[2]. 中国积极参与 ITAsE 的制订, 并承担从中山站到 Dome A 区域的考察. 1997 年以来, 已经通过 4 次考察到达距中山站 1 100 km、海拔 3 900 m 的东南极高原腹地. 沿该考察路线, 在 5 个地点钻取了 50~100 m 深度的冰芯, 使我们有可能揭示伊丽莎白公主地数百年至上千年气候环境变化” “... 本研究以中山站— Dome A 断面冰芯研究结果为基础, 综合东南极冰盖其它区域(如 Wilkes Land, Dronning Maud Land 等)的冰芯记录, 讨论东南极洲数百年来的气候变化.

## 1 南极冰芯揭示的 80 万年来的气候环境变化

目前, 已在南极冰盖 7 个地方钻取了长度超过 500m 的深冰芯, 这些冰芯主要用于过去气候环境记录的研究(见图 2, 表 1)。除了 20 世纪 60 年代在位于西南极的 Byrd 站钻取的深冰芯外, 其他的深冰芯位于东南极冰盖, 且大多数冰芯钻取点沿冰盖的分冰岭分布. 这是因为在分冰岭处冰层以垂直变化为主, 冰雪沉积后水平位移和褶皱变形较小, 气候环境记录受到的后期扰动较少, 易于恢复气候环境变化的原始记录. 在上述深冰芯中, 位于俄罗斯东方站(Vostok)的冰芯是过去 40 多万年来气候环境演化记录的代表; 从冰穹 F 和冰穹 c 获取的过去 40

万年以来的气候环境记录与东方站冰芯记录都有很好的吻合。综合这些冰芯的研究成果，可以得出结论，过去 40 万年气候环境变化存在着以 10 万年为周期的冰期、间冰期的循环。在这个循环周期中，间冰期(暖期)一般持续一万年左右，如相当于东方站(Vostok)冰芯记录的氢 / 氧同位素 1(A)、5. 5(G)和 7. 5 阶段等，其他时间主要为冰期(冷期)和过渡期。此外还有 4 万年、2 万年左右的变化周期。这些气候变化局期与北极格陵兰冰盖冰芯揭示的，过去 25 万年以来的，气候环境变化记录基本吻合。表明万年计气候环境变化具有全球的一致性，这种一致性受地球轨道参数周期性变化的影响。近几年，欧洲南极冰芯计划在南极冰穹 C(Domec)(纬度 75. 06 7S, 经度 123. 237E, 海拔高度 3 233 m, 年平均温度 $\sim$ 54. 5 $^{\circ}$ C), 钻取的长度 3 201 m 的冰芯(EPI—CA 冰芯)、气候记录覆盖了过去 80 万年，是目前时闭记录最长的冰芯。整个冰芯显示了 10 万年的气候旋回，但是早期 40 万年的气候波动幅度较晚期 40 万年的气候波动幅度小得多。在其中的末次冰期旋回，EPICA 冰芯的氢同位素记录显示了类似于格陵兰深冰芯中发现的 Dansgaard / Oeschger 事件，这可能暗示了南、北极存在“跷跷板 seesaw”的机制。

## 2 冰芯分析

“当看到萃取出气体IX后的冰样渐渐消融时，会让人感慨万千。70 万年前，它们变身雪花飘落在南极洲中部的旷野上，如今却在格勒诺布尔中部的 Isère 河里结束美妙的历程。每当我们打开一个装有古冰块的瞎存箱时。眼看几十万年前的气体残骸就这样无声无息地消失在空气中，而我们却无能为力。”

——法国冰河实验室科学家乔阿默·恰帕拉兹

最令人期待的研究结果是关于封存在冰块中的古代空气样本，因为这是冰芯独一无二的气候记录。恰帕拉兹和他的 EPICA 同事精心测量着从冰芯中可能找到的每一个气体成分，从二氧化碳、甲烷、 $\sim$ 氧化二氮到氮和氧的同位素。然而，这个过程是异常艰辛和漫长的。迄今为止，他们只是设法通过上层冰芯寻找验证东方站冰芯年代记录的有效证据并试图揭示冰河时代 11 的大气组成。相关研究已经显示，冰河时代 11 的大气二氧化碳浓度与我们工业革命前时期的水平非常相似。由于当时的地球轨道与现在的轨道也极为类似。这表明冰河时代 11 很像目前地球所处的间冰期。如果没有全球变暖的影响，我们可能要等上大约 1. 6 万年才会迎来下一个冰河时代。雷诺说，“这是我们窥探未来和过去的一个极好的窗口。”此外，冰芯中氧同位素比率和冰晶大小(它们都随温度而变化)的测量结果也说明，45 万年以前的气候循环似乎很平稳，首末冰河时代之间的差别较小而且间冰期较温暖。研究人员认为这是全球气候变迁史中一种神秘过渡末期的象征。一百万年以前，冰河时代大约每隔 4 万年出现一次。这与地球“摆动”运动改变太阳照射量的节律相一致。但是现在地球每隔 10 万年就会经历一次冰河时

代。这恰好是地球椭圆形轨道的变化周期。但这些都不足以说明日照量变化的原因。从而解释冰河时代这样巨大的气候。那么，为什么循环周期会发生这样的改变呢?渥尔夫认为，一种可能的解释是二氧化碳水平逐渐降低，从而导致全球日益变冷。这引发了连续的冰河时代，造成冰原面积不断增大，最终，冰川无法凭

借自身来调节 4 万年的气候变化，因此可能被迫接受更庞大的、长达 10 万年的驱动力。C 圆顶冰芯将很快检验这种说法是否正确。渥尔夫说，“如果二氧化碳真是导致冰河周期变化的关键因素，这将是唯一令人信服的获得真知的方式。”

### 3. 冰雪氢氧稳定同位素与温度

冰雪物质成分的 99.99% 是水汽。水是由氢和氧两种元素组成。在自然界中，氧有<sup>16</sup>O, <sup>17</sup>O 和<sup>18</sup>O。三种同位素，而氢有 H, D(deuterium, 也用 2H 表示)和 T(tritium, 也用 3H 表示)三种同位素，其中 99.77% 为<sup>16</sup>O, 其他同位素的组合所占比率很少。不同氢氧同位素组成的水分子，在水汽循环中的物理化学行为是不同的。在冰雪同位素分析中，一般只考虑<sup>16</sup>O, <sup>18</sup>O 和<sup>18</sup>O 这三种含量较大的同位素分子组合。为分析便利，一般用同位素分子相对千分差比值  $\delta$  表示同位素含量，即  $\delta = (R / R_{SMOW} - 1) \times 1000\%$ 。其中 R 表示样品中<sup>18</sup>O(或 D)与<sup>16</sup>O(或 H)的比值，R<sub>SMOW</sub> 为标准平均海水中同位素的相应比值。由于<sup>18</sup>O 和<sup>16</sup>O 水分子的饱和水汽压要稍低于<sup>16</sup>O，这使<sup>18</sup>O 比其他同位素水分子更易挥发而较难凝结，从而造成水在相变过程中同位素分子的分馏。这样固、液态水中的氢、氧同位素要比气态水富集些，而且随温度变化它们的富集程度也跟着变化。另外，分子量大的同位素水分子在空气中的扩散速度要比<sup>16</sup>O 慢些，这样在水分的蒸发、输送和凝结沉降过程中导致同位素分布的地理差异。由于这些差异的存在，使冰雪中的同位素比值能较好地反映当时温度和降水条件的变化。已有的研究表明，冰雪同位素比值与降水区地表年均温度之间有良好的线性关系，即  $\delta = aT + b$ ，其中 a、b 为系数；自然水中稳定同位素的分馏存在下列关系： $\delta = S_1 \times \delta_{80} + d_1$ ，其中， $\delta_{80}$ 、 $d_1$  与水汽蒸发源区的温度、湿度、风力等有关。也可以用冰雪沉积中<sup>18</sup>O 和<sup>16</sup>O 的差值  $\delta$  ( $\delta = \delta_{18} - \delta_{16} - \delta_{SO}$ ) 来探索水汽来源地的海面温度，相对湿度和风速。据此可以恢复局部地区甚至全球的去温度和去水汽输送途径的变化。

### 致谢

感谢这段时间为我们上课的各国专家和中文串讲的老师，无论是在理论上还是在思考问题的能力上都得到了很大的提高。特别感谢 Claude Boutron 教授，他的冰芯研究方面的讲座让我受益匪浅。通过参加第七届气候系统与气候变化国际讲习班，开拓了我处理问题的思路，同时也培养了我独立思考问题的能力。

### 参考文献：

- [1] 效存德，秦太河，任贾支，等. 近 50 年来东南极冰盖边缘地区气候变化的空间差异[J]. 冰川冻土，2002. (6)，持刊.
- [2] 秦大河. 南极冰盖表层雪内的物理过程和现代气候及环境记录[M]. 北京：科学出版社. 1995. 194—199.

# 气候变化是把双刃剑

舒舍玉 中科院城市环境研究所

通过参加“第七届气候系统与气候变化国际讲习班”的学习，我越发觉得由于全球气候的变化已经或即将给全球带来一次巨大的推动和改革，似乎生态的不平衡这次以更加广泛，更加明显，更加迫在眉睫的提醒着地球人，环境的健康和可持续发展对于我们至关重要，并且人人有责。

## 1. 对“全球气候是否真的变暖及其变暖原因的争议”的看法

### 1.1 目前存在的争议

气候变化是指气候平均状态随时间的变化，即气候平均状态和离差（距平）两者中的一个或两个一起出现了统计意义上的显著变化。离差值越大，表明气候变化的幅度越大，气候状态越不稳定。联合国曾经委托联合国政府间气候变化委员会对世界气候变化做过全面的评估。IPCC 得出的结论是：“极有可能是人类行为导致了全球气候变暖”。具体到细节上是：人类大量使用石化能源，使二氧化碳排放增多带来的温室效应是全球迅速变暖的主要原因。这也就是当前气候变化的主流学说——“温室效应”说。

“温室效应”说被提出后，一直遭到许多人的反对，认为它极不准确。特别是把它作为 IPCC 的结论，用来指导我们人类的行为规范时，对于此种学说的争议更是愈演愈烈。2010 年 5 月 7 日美国《科学》杂志又刊登 255 名美国科学院院士关于“气候变化与科学公正性”的公开信。该信充分表达：255 名美国科学院院士对于“温室效应”学说的提出，其具有认真的、严肃的公正态度，“温室效应”学说亦是具有科学的完整性。所谓的科学也是发展的学说，对于大自然，很多科学结论是在近期，或者更长时间是无法验证的。我们并没有记录地球上百万年的气候记录，现在气候的升温究竟是地球几百年一次的固有周期，还是人为的原因使然都没有人能斩钉截铁的保证。一个认真的、严肃的和并且具有极度公信力的科学理论，不见得就是一个能够真实反映自然客观事实的学术理论。

### 1.2 目前可以证实确定的关键点

但就目前的科学研究成果可以证实两点：

(1) 全球地表平均温度近百年来(1906—2005 年)的的确确升高了 0.74℃，预计到 21 世纪末仍将上升 1.1—6.4℃。

(2) 如果气温持续增高，将给全球带来极大的影响及危害：气候变化的影响是多尺度、全方位、多层次的，正面和负面影响并存，但它的负面影响更受关注。全球气候变暖对全球许多地区的自然生态系统已经产生了影响，如海平面升高、冰川退缩、

湖泊水位下降、湖泊面积萎缩、冻土融化、河（湖）冰迟冻于早融、中高纬生长季节延长、动植物分布范围向极区和高海拔区延伸、某些动植物数量减少、一些植物开花期提前等等。自然生态系统由于适应能力有限，容易受到严重的、甚至不可恢复的破坏。正面临这种危险的系统包括：冰川、珊瑚礁岛、红树林、热带雨林、极地和高山生态系统、草原湿地、残余天然草地和海岸带生态系统等。随着气候变化频率和幅度的增加，遭受破坏的自然生态系统在数目上会有所增加，其地理范围也将增加。

气候变化对国民经济的影响可能以负面为主。农业可能是对气候变化反应最为敏感的部门之一。气候变化将使我国未来农业生产的不稳定性增加，产量波动大；农业生产部门布局 and 结构将出现变动；农业生产条件改变，农业成本和投资大幅度增加。气候变暖将导致地表径流、旱涝灾害频率和一些地区的水质等发生变化，特别是水资源供需矛盾将更为突出。对气候变化敏感的传染性疾病（如疟疾和登革热）的传播范围可能增加；与高温热浪天气有关的疾病和死亡率增加。气候变化将影响人类居住环境，尤其是江河流域和海岸带低地地区以及迅速发展的城镇，最直接的威胁是洪涝和山体滑坡。人类目前所面临的水和能源短缺、垃圾处理和交通等环境问题，也可能因高温多雨加剧。。。

因此，我们可以相信现在的主流学说，认为地球是变暖的，而且人为的因素为主。所以全球各个国家，各个民族采取任何积极地措施，预防和减缓全球的变暖百利而无一害。所以这个问题可以在科学上争议，但对于现实来说，无论是科技，还是政策，还是生活生产方式，应对气候变化改革的时期到来了，即使气温不升高，这样下去，地球也将岌岌可危，所以各方面的改革是必须的，无论是被动还是主动。

## 2. 气候变化的减缓与适应性政策及社会的可持续发展

中国作为一个负责人的大国，在应对气候变化将起到很大的作用。应对气候变化对我们是把双刃剑，我们不得不放弃以资源换取经济发展的发展模式，不在重视“量”而更重视“质”，这也将带动改革和发展我们国家经济和社会发展的模式。但在改革的过程中，必然要投入大量的成本。在气候变化的全球浪潮下，我们已面临不得不改革的局面，这也将是全球全社会的历史转折点。因此，中国作为世界上人口最多的国家，我们处理好与环境的关系，环境的问题，达到可持续的发展，是对地球和我们自身很大的贡献，有着造福子孙，千秋万代的意义。

### 2.1 控制温室气体排放减缓气候变化

气候变化减少温室气体排放是关键，减少的方法有减少温室气体排放，另一个就是增加温室气体的吸收固定。政府在气候减缓中起着至关重要的作用，应控制好全局的“宏观调控”也要抓好“市场机制”。

(1) 可以提高能源价格，控制能源的使用，采用排污收费等措施，强能源节约，控制能源开采和使用。

(2) 转变经济发展模式，继续关停一些效益差，污染重，高耗能的企业经营。

(3) 植被方面继续加大植树造林，退耕还林，增加温室气体吸收。

(4) 加强国际间合作与交流，加强对科研的投入，加快节能技术的研发。

(5) 做好宣传和管理工作，提高全民应对气候变化，利用现代信息传播技术和手段，加强气候变化方面的宣传、教育和培训，鼓励公众参与等措施，在全社会基本普及气候变化方面的相关知识，提高全民保护气候意识，为有效应对气候变化创造良好的社会氛围。

## 2.2 增强适应气候变化能力

由于气候变化所带来的影响，如极端气象灾害，水资源的管理，海岸及海洋生态系统，农业生产等方面的影响要做好适应和预警工作：

(1) 做好极端气象灾害的监测预报工作，如西南干旱，连续暴雨，洪涝灾害。

(2) 合理开发和优化配置水资源、完善农田水利基本建设新机制、强化节水和加强水文监测等。

(3) 加强对海平面变化趋势的科学监测以及对海洋和海岸带生态系统的监管，合理利用海岸线，保护滨海湿地，建设沿海防护林体系。

如果气候变化越来越严重的话，适应性措施的花费也就越来越大，因而采取减缓措施是十分必要的。尽量使气候变化保持在可控制的范围内，同时也必须有相应的适应措施，以应对避免不了的气候变化。

## 2.3 社会可持续发展

只有抛弃过去不合理的发展，实施可持续发展才是应对气候乃至生态不平衡的根本方法，如果说以上两个方面是治标，那么可持续的发展就是治本。总之，近代西方工业文明所形成的发展模式是一种非持续性的发展模式。要实现可持续发展，就必须在发展和发展模式上有一个革命性变革。当然，在全球经济趋向于一体化的今天，要彻底解决这个问题，并不是一个国家、一朝一夕可以做到的。当代人类面临的困难是全球性的，因此，只有通过全人类的长期的共同努力才能做到。

## 3 小结

全球气候变化问题，不仅是科学问题、环境问题，而且是能源问题、经济问题和政治问题。由于全球增暖将导致地球气候系统的深刻变化，使人类与生态环境系统之间业已建立起来的相互适应关系受到显著影响和扰动，因此全球变化特别是气候变化问题已经得到各国政府与公众的极大关注。如果我们能应对和减缓这次气候变化所带来的全球危机，改变人类以往的生活生产方式，可持续的发展，那么生态就会恢复平衡，得到长足的利益，千秋万代造福子孙，但如果我们弃之不顾，气候变化所带的灾难将面临到我们的头上，这是大自然又一次向人们发出警告，因此，气候变化是一把双刃剑，威胁到我们的生存，但大家应对好，可以激励我们生存的更加美好和谐。

# ISCS Report

Song Jiyun, Wuhan University

The Seventh International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS) provides us a panorama of the latest science and technology in the field of climate research.

Dr. Boutron showed us a spectacular white world. The scientific researches in Greenland and Antarctica were marvelous. We learned about the concept of ice cores. An ice core is a core sample from the accumulation of snow and ice over many years that have recrystallized and have trapped air bubbles from previous time periods. The composition of these ice cores, especially the presence of hydrogen and oxygen isotopes, can provide a picture of the climate at the time. Besides, Antarctic and Greenland snow and ice are very nice archives of the history of atmospheric CO<sub>2</sub> and heavy metals. Therefore, scientists can get important information about climate change from the concentrations of carbon dioxide and heavy metals in ice cores. By the way, Dome A is the most likely place to get the ice core which forms 1 million years ago. What's more amazing is that scientists have found a lot of subglacial lakes. A subglacial lake is a lake that is permanently covered by ice. They can occur under glaciers and ice caps. There are many such lakes, with Lake Vostok in Antarctica being by far the largest. The water below the ice remains liquid by the pressure of the ice sheet above and by geothermal heating. Given that there are few researches about subglacial lakes at present, not only climatologists but also life scientists are very interested in this field. Since there is no oxygen in such a separated space, i.e. subglacial lakes, whether any life survives there is a question which needs further discussion. How the subglacial lakes will influence the stability of icecaps and whether the lakes are connected with the sea are also popular topics.

Professor Helme talked about climate policy in the various global markets. We got the information of several records about climate change regime, including the Kyoto Protocol, Bali Road Map, the Copenhagen Accord, NAMAs and so on.

The Kyoto Protocol is an international agreement linked to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). The major feature of the Kyoto Protocol is that it sets binding targets for 37 industrialized countries and the European community for reducing greenhouse gas (GHG) emissions. These amount to an average of five per cent against 1990 levels over the five-year period 2008-2012. The Kyoto Protocol was adopted in Kyoto, Japan, on 11 December 1997 and entered into force on 16 February 2005. Under the Treaty, countries must meet their targets primarily through national measures. However, the Kyoto Protocol offers them an additional means of meeting their targets by way of three market-based mechanisms, including emissions trading (known as the carbon market), clean development mechanism (CDM), joint implementation (JI).

After the 2007 United Nations Climate Change Conference on the island Bali in Indonesia in December, 2007 the participating nations adopted the Bali Road Map as a two-year process to finalizing a binding agreement in 2009 in Copenhagen. The conference encompassed meetings of several bodies, including the 13th Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP 13) and the 3rd Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol (MOP 3 or CMP 3).

The Copenhagen Accord is a document that delegates at the 15th session of the Conference

of Parties (COP 15) to the United Nations Framework Convention on Climate Change agreed to "take note of" at the final plenary on 18 December 2009. The Accord, drafted by, on the one hand, the United States and on the other, in a united position as the BASIC countries, China, India, South Africa and Brazil, is not legally binding and does not commit countries to agree to a binding successor to the Kyoto Protocol, whose present round ends in 2012.

From those treaties, we know that developed countries are responsible for most of emission reduction tasks. However, Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) and Sectoral Approaches may call developing countries to work together. Nowadays, low carbon lifestyles are encouraged globally.

Klaus Fraedrich from Hamburg University discussed climate, chaos and catastrophes with us. He used a special way to lead us into his lectures by analyzing music rhythm for its connection with waves or fluctuations. He taught us to analyze in models, time and space. Synchronization, memory and teleconnection are very important issues to be studied. First of all, he introduced the Butterfly Effects and Bernard's experiment. Besides, he explained some concepts, including UPOs (Unstable Periodic Orbits), Standardized Precipitation Index (SPI), white noise, Detrended Fluctuation Analysis (DFA), Weibull distribution and Madden – Julian Oscillation (MJO). He also mentioned some typical models such as Shallow Atmosphere Model (SAM), Spectral Ocean Models (SOM), Portable Univ. Model of the Atmosphere (PUMA), and Global Circulation Model (GCM). On the one hand, climate models have promising future. Climate models can be applied to studying the integrated climate system, modeling climates of the past, and projecting future climate change and its impact. On the other hand, many challenges exist on the way. Challenges ahead for modelers include process-oriented modeling of the climate and coupled chemistry & climate modeling. Challenges ahead for the community are better linkages between modelers, health specialists, and policy makers.

Professor Steven Ghan from Pacific Northwest National Laboratory and Professor John A. Ogren from Colorado State University discussed aerosol effects on clouds. In his lectures, he mainly talked about black carbon (BC).

Firstly, the short lifetime and strong radiative heating by black carbon suggests that reducing BC emissions can produce a rapid reduction in radiative heating of the earth. Secondly, some anthropogenic emissions of BC come with emissions of co-emitted species, thus limiting the effectiveness of some emissions reductions strategies. Thirdly, If all anthropogenic emissions of BC are eliminated, the resulting cooling through reduction in direct solar absorption is 0.2~0.5  $\text{Wm}^{-2}$ . Besides, estimates of impacts of BC on clouds are very uncertain because of competing cooling and warming mechanisms, but are likely to be smaller than direct radiative heating. What's more, effects on snow albedo and snow cover are locally larger than direct effects with implications for water resources.

Professor Teruyuki Nakajima introduced scattering and absorption phenomenon by explaining why the cloud looks white and why the cloudy sky is so bright and blue. He also led us to understand the concepts of climate sensitivity and radiative forcing. Climate change factors includes large GHG (Greenhouse Gases) effecting at TOA, aerosols canceling 30% of GHG effect, cloud albedo changing large at TOA, surface cooling mostly by aerosols and monitoring aerosol effects. In Steven Ghan and John A. Ogren's classes, we acquired basic knowledge of aerosol while in Dr. Nakajima's classes, we acquired more information of aerosol, and understood more about cloud and radiation.



Next I will try to connect knowledge of climate models and climate change with my own major or academic field--- hydrology and water resources. Recently I have read a paper titled *The Advances in Studying Detection of Streamflow Trend Influenced by Climate Change* by Liu Chunzhen from Water Resources Information Center, Ministry of Water Resources. The following ideas are mainly based on this paper.

Detection of streamflow trend and water resources assessment based on the natural and stationary climatic condition have been challenged by global warming. Identifying and separating contribution of climate change in streamflow trend, not only facilitates in water management practice and water project construction, but also enables understanding where, when and by which way the impact of climate change on hydrological cycle becomes detectable or not.

The statistical test is a powerful tool for the detection of hydrological trend. It is necessary to consider both the serial correlation of the data series and the cross-correlation between the hydrological variables at different locations for correctly determining the significance level. A complete study of the detection of streamflow trend includes description of trend characteristics and its attribution as well.

For natural river basin fed by snow and glaciers melt, the streamflow trend is determined mainly by temperature variation, associated with natural climate variability and external forcing produced climate warming. For managed water systems, supplied by precipitation, streamflow trend is affected not only by climatic variables, but also by anthropogenic disturbances' direct and indirect factors. The methodology of statistical interrelation of multi-factors is helpful to determine contribution of each element in streamflow trend. However, by only relying on statistical method alone, it is hard to weigh the interaction among factors as well as to identify the impact of climatic variability and forced climate change on streamflow.

The reliability of simulation and projection on future streamflow with climate model is directly determined by the ability of the climate model to simulate precipitation of current time-horizon.

The ensemble mean from a subset of climate models could reduce uncertainties in precipitation and runoff simulations. Recently developed methodology of ensemble mean of multi-climate models combined with statistical analysis has been used to show the potential in simulation and projection of spatial pattern of macro-scale streamflow trend caused by forced climate change. In the course of improving climate model and regional climate models' simulation of precipitation in particular, it is anticipated that the detection, attribution and projection of streamflow alteration tend to be simulated in an identical way in the near future.

As a matter of fact, I am still an undergraduate student. I didn't know much about climate knowledge before. However, through ISCS this summer, I have acquired the basic knowledge of climate system and methods to study climate change. On my way to chase scientific dreams, ISCS is a platform that I will always keep in my mind.

---

学员信息:

姓名: 宋霁云

单位: 武汉大学

邮箱: sjyqueen@163.com

# 第七届 ISCS 课程内容总结及学习心得

孙建元

南京信息工程大学大气科学学院

第七届气候系统与气候变化国际讲习班已经接近尾声，经过十数天的学习，我受益匪浅。第一次参加这种国际性质的讲习班，作为一个刚刚接触研究工作的硕士生，我很担心能否跟上课程。但是，专家的讲授系统、详实、深入。既有对于基础知识的补充介绍，又有最新研究成果的报告，对我的学习和理解非常有帮助。从概观把握到细节处理，从技术角度到物理原理，从观测数据的获取到模式方法的选择，来自美国、法国、德国、日本等国家的多名国际知名专家讲授的问题涉及了气候系统和全球变化的方方面面。中文辅导老师的帮助解惑，让我紧张之余又多了份信心。所以，我想在汇报我的学习心得体会前，先想所有的专家、老师、工作人员表示感谢。

下面我想对专家讲授的内容谈一下我的理解和体会。

这次课程的主题包括下几个方面：冰冻圈在气候系统和气候变化中的作用、大气化学与气溶胶效应、地球生物化学循环、气候模式在气候变化研究中的应用、气候变化的减缓与对策等五个主题。讲授过程中，这五个方面是彼此穿插和相互关联的。很多研究表明，尽管模式的研究和观测的结果都有其不确定性，全球变化的问题已经是不争的事实，现在的研究也从对全球变暖的事实证明深入到分析影响因子、因子间的相互作用和人类的应对上。这些内容都涵盖在老师的讲解之中。

Claude Boutron 教授首先讲解了冰芯的选址、钻取和冰芯中低浓度重金属元素如汞、铅的提取技术；又介绍南极冰盖和格陵兰岛、阿尔卑斯山不同地区多年的研究进展；然后分析冰芯中的金属元素揭示了过去 670 年来的人类活动对气候变化的影响。冰芯可以看为一个反映全球气候变化的历史的档案。因为气候问题是大尺度、全球性的，因而冰芯资料可以为气候变化提供依据。

Dr. Ned Helme 所做的报告即为国际社会环境和政府对气候问题的适应对策，中文辅导老师又从全球气候变化发展史、政府间气候变化委员会（IPCC）与《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）等方面进行了介绍。

Klaus Fraedrich 教授一共给我们做了 3 个报告，分别关于极端气候，长期气候记忆以及气候模式。以时间、空间和模式 3 个角度为线索，涉及了模式的非线性理论（将天气条件理解为初始情况，长期气候态理解为边界条件，对物理量进行预测）、以中国青藏高原为例应用大气环流模式探讨空间的相关性问题。教授的课件中说，尽管气候问题的研究模拟中长期趋势非常重要，在全球变暖的背景下抓住转折点、极端事件是更有价值的。这也使我联想到，现在的气候问题研究多和极端天气问题联系，干旱、洪水、沙尘暴、森林火灾等。如何解决模式的不确定性更是重中之重。教授介绍了四种模式：SAM（浅水模式）、PUMA（大气动力模式）、Pla-Sim（陆面模式）、SOM（海洋模式）并且展示一些研究成果。

最后三天讲授的是现在的热点问题：气溶胶。Prof. Steven John Ghan 和 Dr. John A. Ogren 分别以不同的方式为我们诠释了气溶胶的物理和化学性质以及对气候的影响。因为气

候系统中不同子系统的尺度不同，加之气溶胶辐射强迫问题的复杂性，Steven 教授专门对模式情况进行了介绍和讲解。

来自日本 Nakajima Teruyuki 教授，他应用遥感手段反演气溶胶，介绍了遥感图像合成分析原理、不同半径的气溶胶粒子对光学厚度的影响。最后在全球变暖和气候系统反馈一堂课中，教授讲述了气溶胶、温室气体、云三种成分的不同作用。强调区分强迫和反馈两个不同概念，在天气尺度上，或者短时间尺度上如  $\text{CO}_2$  可以保证自身性质不发生改变，对于气候系统是个强迫，而经过临界时间尺度后，如百万年的长时间的作用，它会发生改变，这时它就不是一个强迫项，而是一个反馈作用。所以，云和水的辐射作用更多的理解为对于气候状态的反馈。气溶胶是个强迫因子，并且其对气候的间接制冷作用（黑炭等为加热效应）可以抵消 30% 的温室气体作用，但是具有很多不确定性。温室气体、气溶胶和云的共同作用使大气变暖问题的研究更复杂。

下面我想根据 Klaus Fraedrich 和 Steven 教授的课程并且结合一些文献资料对全球气候模式问题进行一些归纳整理。

在经典气候学中，气候被定义为“一定地点或地区近地表大气的平均状况”或者“天气的一般综合”。气候的定义主要是强调气候与天气在时间尺度上的区别，人们把气候看成为表征地球大气的一些基本要素的平均值，一般认为 30 年的平均就可得到基本稳定的平均值，而这些平均值就表征了气候的基本特征。研究气候历经从统计到动力的过程，气候的数值模拟方法也从大气环流模式 General Circulation Model (GCM) 发展为耦合情况。由 Norman Phillips 在 1955 年建立的考虑了非绝热加热和摩擦耗散作用的两层准地转模式。到 1963 年 Manabe 等发展 9 层模式。90 年代 AMIP 计划综合了 30 多种模式。气候变化是全球性的，气候系统是由大气、海洋、陆地表面、冰雪圈和生物圈等组成的相互作用的整体。2001 年 IPCC 第三次报告分析了大气、海洋、冰盖的耦合模式。2007 年 IPCC 将耦合的 9 个模式发展到 23 个。IPCC 第四次科学评估报告所用模式都是全球“大气—陆面—海洋—海冰”耦合的气候系统模式。多数模式考虑了太阳辐射、温室气体、硫酸盐气溶胶及臭氧的变化，有些模式还考虑了火山活动对气溶胶的影响。并且模式集合模拟能力好于单个模式，但在大地形区和季风区依然存在系统偏差。随着计算机能力的提高，动力的预测、模拟结果预测未来气候成为一种趋势。正如 Klaus 教授课程所言，时间尺度上的气候长期记忆能力为统计研究提供可能，更关注的是去平均趋势后极端事件和不稳定性的发生，这需要小尺度的更精细的高分辨率资料，要描述网格中的动力物理过程。因而，现代气候学对于传统气候概念进行了扩展，定义为“对气候系统的统计上的、动力上的各种时空尺度和层次上的客观物理描述”。

Klaus Fraedrich 教授的课程还涉及以下的内容：气候模式的分类可以分为 4 种。(1) 0 维能量平衡模式 0-D model。(2) 1 维辐射对流模式 1-D radioactive-convective model (RCM) 和 1 维能量平衡模式 1-D energy balance model (EBM)。(3) 2 维模式 Two-dimensional models。(4) 大气环流模式 Atmospheric general circulation models (AGCM) 和海气耦合模式 Coupled Ocean-Atmosphere Model (CGCM)。

也可以将全球气候模式发展分为两大部分，一是大气动力过程，涉及动量、质量、能量平衡方程，构成大气基本环流模式，这是对于稳定态的模拟。经历了考虑原始方程模式、准地转模式、非地转模式、涡度、散度方程、到考虑热力过程的斜压原始方程模式的阶段。

全球环流模式对于不同区域的区域模拟的效果不同，区域模式也在不断的改进。二是不稳定的气候态，采用参数化方法。(1)次网格尺度如积云对流参数、湍流、重力波过程。(2)非绝热加热过程。(3)陆面水文过程。模式专家们通常利用参数化抓住小尺度过程的本质现象。假如对于不同的特征给定最基本的参数化方案,一个气候模式在应用时仍需依赖于那些专家们的判断和调用,因此,每一个模式都将具有自己的独特细节。然而,气候模式对大多数的大尺度行为的模拟是稳定的,并没有很明显地依赖具体的参数化方案和具体的代表空间。参数的选择和调整涉及精细的物理过程，这些还有待研究。

Steven 教授对于气溶胶模式中采用的降尺度研究的得到很好的效果，这对其他模式的参数化、提高精度都有借鉴意义。这也是我以后需要努力学习的方向。

通过学习，我认为可以这样理解气候模式，如果将全球气候模式（GCM）看为一个建筑，大气环流模式（GAM）的建立就是建筑的整体构架，是由不同区域模式（RAM）集合而成。对于气溶胶和云的理论研究和实验室实验是全球变化研究的基础，好比建筑的每一块砖瓦。海洋、陆地、冰雪及三者与大气的耦合是建筑材料的粘合剂。所以说气溶胶是气候系统中最微小却最重要的一部分，是气候问题的反映。一个好的模式就是要将上面所述的各部分联系起来，是建筑的设计构造。

老师讲授的内容极为丰富，而上面的体会只是我对老师讲授内容的一点浅薄的认识，我归纳的比较琐碎并不系统，在此并不对引证的相关文献进行列举。对相关专家学者的研究和工作一并表示感谢。

参加这次讲习班，我收获很大。我的英语听说技能有所提高。对于全球气候变化的科学评估、气候影响和气候对策等有关问题有了更加深入的认识。世界各地从事气候变化研究的工作者，让我体会到了全世界都在为改善全球气候而努力。作为学生，我应该更加努力，认认真真做好研究工作。结尾处引用来自日本的 Nakajima Teruyuki 教授的话：科研就像仙人球上的花朵，需要耐心和努力，只要不断灌溉和培养，总会有一天会盛开绽放。

# 气候极端事件的减缓与适应对策

—第七届“气候系统与气候变化”国际讲习班小论文

孙秀宝

(南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044)

## 一 引言

20世纪80年代以来, 极端气候事件频繁发生, 给社会、经济和人民生活造成了严重的影响和损失。据估计, 1991—2000年的10年里, 全球每年受到气象水文灾害影响的平均人数为2.11亿, 是因战争冲突受到影响人数的7倍, 近10年受到的影响较前10年呈现加剧的趋势。根据最近的统计, 全球气候变化及相关的极端气候事件所造成的经济损失在过去40年平均上升了10倍。近几年来, 各国学者从各个方面对极端气候事件展开了深入而广泛的研究, 其涉足领域十分广泛, 其中既有观测事实、模式模拟和影响问题的研究, 又有理论成因探讨; 在研究方法上既涉及到统计学方法, 又涉及到物理、动力学方法, 并着重解决对未来气候变化情景下的极端气候状况进行预估和评价。最主要的是根据预估和评价的结论制定相应的适应和减缓的对策, 把极端事件的负面影响或由此造成的自然灾害减少到最低限度。

## 二 气候极端事件变化的研究现状及研究中面临的问题

目前关于极端事件的变化仍处于初步的研究阶段。最主要的研究结果大体可概括为四个方面: (1) 极端暖日的概率增加, 同时极端冷日概率减少; (2) 夏季中纬度大陆腹地的干旱发生机会增加; (3) 许多地区出现更强的降水事件; (4) 热带气旋最大风速强度增加。

当前气候极端事件变化及其与全球气候变化的关联的研究面临着两个主要难点和问题: 一是缺乏足够的资料, 尤其是缺乏长时期时空分辨率较高的资料序列。因为许多天气气候极端事件的时空尺度都比较小; 二是模式分辨的尺度与用于验证模式结果的资料的尺度之间不匹配, 前者较细, 后者较粗。因而无法确定由模式模拟或预测的极端事件的准确性和正确性。

## 三 气候极端事件的适应与减缓对策

极端事件对社会和国民经济造成的负面影响极其严重, 加强预防、适应或减缓措施, 把负面影响或由此造成的自然灾害减少到最低限度。为了实现这一目标, 需要采取以下几个方面的措施或对策。

### 1 建立健全完善的早期预警系统

建立早期预警系统是减少天气与气候极端事件灾害最有效的措施之一。这包括监测、资料与信息传输和收集、预报或预测、风险评估以及制作气候资料集等方面。使每个国家都能获得这些资料和收集信息, 为灾害警报和制作及时的天气与气候预报提供了必须的技术支持, 通过全球电信系统可以保证观测资料和相关信息的及时收集和交换。为此全球和专业气象中心提供天气预报并制作的区域为重点的产品。世界天气研究计划和世界气候研究计划正在为改进和提高上述极端事件的预报做出贡献。作为较长期的预防措施, 要加强气候变率和气候变化的研究, 在此基础上改进气候模式, 不断提高气候预测的准确性。这些气候预测结果对于气候的极端事件分析, 风险评估以及制定防灾减灾的适应与减缓对策是非常重要的。

## 2 加强国际合作,发展和实施全球、区域和国家级减灾战略

气候极端事件具有很强的地域性和区域性特点,所以要积极参与了国际减灾战略的实施,建立健全合作关系。通过四次气候变化的评估报告对于天气气候极端事件的变化和预测提供了大量有益的结果。在国家一级,各国的国家气象与水文部门也制定或正在制定和实施类似的国家减灾战略计划。他们在这些计划中起着协调和综合决策的关键作用。

## 3 加强气候极端事件机理方面的研究

(1) 要加强极端天气气候事件(如持续性旱涝、异常冷暖、冰冻雪灾、超强台风、强沙尘暴等)形成机理与变化规律的研究,特别是要加强异常天气气候灾害发生的前兆性特征的机理研究。(2) 了解导致极端事件的过程,在研究和改进模式或过程研究中改进对他们的表征和预测方法。(3) 改进模式对强天气事件的模拟,并研究分析这些极端事件的系统方法。并提高极端事件模式预测的信度。(4) 研究极端事件的可预报性,包括在多大程度上它们是可能预测的,哪些极端事件,并在何地是需要和可以预报的。(5) 从观测和预测方面研究极端事件问题中的主要不确定性和未来需求。

## 四 参加第七届“气候系统与气候变化”国际讲习班心得

第七届气候系统与气候变化国际讲习班圆满结束了,这次学习对我的影响很大,不仅让我从更高的层次上接触到了气象方面国际最前沿的研究成果,也让我了解到了很多自己的专业所面临的挑战、机遇以及自己所处的地位。作为一名学物理出身的气象学研究生,接触到的气象前沿领域的知识并不多,但这次课程着实让我开阔了眼界,拓展了知识面。通过专家的讲解我从多方面了解了气候变化相关的知识。无论是从冰雪圈,气溶胶和气候变化的关系,气候模式的应用,还是到我感兴趣的气候变化的减缓与适应对策。无论哪个方面都让我着实感觉到了听大家讲座给我带来知识的快速增长。在他们讲座中流露出的严谨的科研态度和独特的思维方式也让我受益非浅。此外,我的英语水平也得到了提高。在这里,感谢国家气候中心以及我的导师任国玉老师给我这次学习的机会,我自己也会继续努力。

参考文献:

- 1.张庆云 陶诗言 彭京备 我国灾害性天气气候事件成因机理的研究进展  
大气科学 2008 815-825
2. 丁一汇 张 锦 宋亚芳天气和气候极端事件的变化及其与全球变暖的联系  
气象 2002
3. 方一平 秦大河 丁永建 气候变化适应性研究综述 干旱区研究 2009
4. 丁裕国 郑春雨 申红艳 极端气候变化的研究进展 沙漠与绿洲气象 2008
5. 陈宜瑜 等 中国气候与环境演变评估(二) 气候与环境变化的影响与适应与减缓对策  
气候变化研究进展 2005 51-57

# 研究小组:冰冻圈对气候系统和气候变化的影响小结

谈丰

南京信息工程大学

虽然所选的课题是“冰冻圈对气候系统和气候变化的影响”，但 Boutran 教授所作报告的主要内容是对于冰心中所含重金属的研究分析，下面是一些对于听课的心得和体会。

首先介绍了位于南极的四个冰心采集站，这是人类进入南极进行科研的重要里程碑，其中 2005 建立的 doom A，中国 kunlun 站尤其不易，其地理位置位于南极冰川顶端，自然环境极端恶劣，海拔 4100 米，最低温度达零下 80 摄氏度，据业界评估，doom A 具有极高的科研期望，由于其位置的海拔较高，因此有望能开采出超过一百万年代的冰心，如能开采到一百万的冰心，那将是重大的科研突破，目前采集到年代最久的冰心也只有 80 万年。而 doom B 的 VosTok 站、Doom F 的 Fuji 站和欧洲的 Doom C 是目前最好的冰心采集站，能分别采集到 42 万年、72 万年、80 万年的冰心，对于重精神在冰心中的分析工作提供了许多珍贵的冰心样本，其中 doom B 更是发现了冰下湖泊，具有极大的科学价值。另外还介绍了格林兰地区的 Summit 冰心采集站，海拔为 3230 米，年平均温度为零下 32 摄氏度。

通过对冰心中重金属成分和含量的分析，可以从推算出地质年代以及过去发生的一些重大事件，如核弹爆炸、火山喷发等，因为在这些事件发生后，部分重金属会进入平流层，并随着全球大气环流传输到南极上空，最后以降雪的形式不断在南极冰川进行沉积，随着时间的发展，积雪不断叠加压缩，重金属就这样在积雪中沉淀下来，上层的积雪年代跨度较小，下层较大，据分析，地表 10 米处的雪层对应的年份为 25 年前，而 2900 米处的雪层对应的年份为 10 万年前，越往下对于年份的误差也越大。以重金属铅为例，南极上一世纪，1880 之前的冰心中铅含量较低，属于自然界的正常铅含量，而在 1880-1920 铅含量增加了 6 倍，且同位素发生了变化，说明为非自然铅所致，其主要原因是人类工业革命后铅使用量的增加，尤其是含铅汽油的大量使用，导致了同时期冰心中铅含量的急剧上升，而在八九十年代后随着含铅气候的逐步禁用，铅的含量又回归到了之前的水平，可见即使人类不曾直接进入南极，但人类活动早已影响了南极，如此遥远的南极都受到了影响，那么我们生活的周围又如何呢，工业的发展给我们带来便利的同时，也在破坏着我们的环境，如果我们不能很好的控制其发展，那么最后必将危害到我们自身的健康，发生在日本的新潟水俣病就是最好的例子，可见保护环境已迫在眉睫。

以下是摘抄的一些有关冰冻圈研究的国内外发展趋势

“冰冻圈”是指地球表层由山地冰川、极地冰盖、积雪、冻土、海冰等固态水组成的圈层，由于对气候的高度敏感性和重要的反馈作用而倍受关注，从而与大气圈、水圈、岩石圈（陆地表层）、生物圈一起被认为是气候系统的五大圈层。

## 1 国际研究现状和发展趋势

### 1.1 冰冻圈动态变化过程、趋势及其影响研究是国际全球变化研究的焦点之一

冰冻圈对于气候变化的响应极为敏感。受季节性气温变化的影响，积雪和海冰范围的季节性变化很大。卫星遥感监测表明，北半球陆地积雪面积最大为  $45.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，最小为  $3.3 \times 10^6 \text{ km}^2$ ；晚冬时南极的海冰面积为  $17 \times 10^6 \sim 20 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，夏末时仅为  $3 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，而北极海冰面积在晚冬和夏末则分别为  $14 \times 10^6 \sim 16 \times 10^6 \text{ km}^2$  和  $7$

$\times 10^6 \sim 9 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。在世纪和年代际时间尺度上,冰川和冻土对气候变化的响应也非常敏感。随着工业化以来的气候变暖,1850—1970年阿尔卑斯山脉的冰川总量减少了35%,1970—2000年又缩减了15%[1];1912—2000年非洲乞力马扎罗山冰川面积减少了约80%[2];1950年以来北半球冬季最大季节冻土面积减少了约7%,我国减少了10%~15%[3]。冰冻圈变化已经对全球环境带来了重大影响,国际科学界对此极为关注。如果全球冰川融化,海平面将要比现在60多m,世界沿海城市和低地将被淹没。IPCC第四次评估报告的结果为,1993—2003年海平面总上升速率为2.7~3.5 mm/a,其中冰冻圈的贡献率为30%~60%。研究表明,北极冰雪快速消融、大量淡水注入海洋可导致北大西洋热盐环流变慢乃至停滞[4],对全球气候变化产生重大影响。西伯利亚多年冻土中囚锢的温室气体是每年由于化石燃料燃烧进入到大气中温室气体的75倍,气候的持续变暖和多年冻土退化可能导致这些温室气体的逐渐释放,从而影响全球气候变化[1]。

## 1.2 发展包含冰冻圈过程的区域与全球气候模式

已是冰冻圈与气候研究的主要趋势之一雪冰、冻土等冰冻圈要素的变化在气候系统中起着重要作用。雪冰具有极高的反照率,其时空变化显著地影响着全球能量平衡及水循环过程,从而化;全球冰量的变化通过改变海洋盐度和温度而触发大洋环流逆变,改变全球气候格局;多年冻土的变化不仅通过改变地气水热交换过程而影响气候系统,同时会通过改变冻土碳库而影响到全球碳循环和气候变化;等等。早期研究发现喜马拉雅山脉冬春季积雪变化会对印度夏季风产生影响[5]。随着研究的深入,人们已经认识到欧亚大陆不同区域积雪变化与季风变化之间存在着复杂的关系[6-7]。相对于迅速变化的积雪和海冰而言,冰川和冰盖的变化较小。尽管如此,当人们将冰盖动力模型与海冰热动力模型与海洋—大气模型相耦合后,已成功地解释了北大西洋地区冰期气候的不稳定性[8]。鉴于冰冻圈在气候系统中的重要性,以及人们对冰冻圈与气候之间联系机制认知的不足,“世界气候研究计划”(WCRP)于2001年开始实施“气候和冰冻圈(CliC)计划”,其目标就是:1)提高对冰冻圈与气候系统之间相互作用的物理过程与反馈机制的理解;2)提高模型对冰冻圈过程的描述能力,以减少气候模拟和气候变化预测的不确定性;3)评估和量化过去和未来气候变化所导致的冰冻圈各分量的变化及其影响;4)强化冰冻圈的观测与监测,以便开展其变化过程的模拟与诊断研究。

## 1.3 冰冻圈研究已由过程描述、统计分析向机理分析、数值模拟方向发展

由于冰冻圈变化具有显著的区域和全球影响,加之定点监测研究与大尺度遥感空间监测研究的积累,冰冻圈的自身变化过程、冰冻圈与外部驱动因素之间的关系及其气候、环境效应等的定量研究受到普遍重视。冰川与气候之间的定量关系模型是评价未来气候变暖情况下冰川变化的关键。国际上关于山地冰川对气候变化响应的数值模拟研究始于20世纪60年代,到了20世纪末冰川动力模式的发展趋于成熟[9]。最近,Oerlemans[10]根据冰川对气候变化响应的动力模型以及全球169条冰川近百年来变化的观测结果,估计出20世纪前半叶全球升温幅度为 $0.5^\circ\text{C}$ 。为了能够根据有限的观测资料对冰川变化进行预测,冰川与气候之间关系的统计模型也有所发展,如法国学者Letreguilly等[11]提出了物质平衡变化对于冰川长度变化影响的一种线性统计模型,Wang等[12]建立了一种山地冰川对气候变化响应的平衡态模型,等等。流域尺度冰川径流变化的模拟研究是冰川水文水资源研究的核心内容,也是国际关注的焦点。基于概念模型及水量平衡模型等手段对阿尔卑斯山脉和中亚天山地区冰川变化的影响分析表明,随着冰川进一步萎缩,冰川径流趋于减少[13-14]。最近,对于区域或流域尺度上冰川响应及未来情景的模拟研究也提出了一些新的研究思路,如几何



模型[15]、网格化冰川物质平衡模型、基于“尺度转换”的敏感性分析方法等[16-17]。应用相关模型对中亚天山、喜马拉雅山等地区的研究发现,冰川覆盖率越大,冰川径流对河川径流的影响越明显,且冰川变化对河流水资源的影响也越大。土层中的水、冰、汽三相态共存和相互转化是导致冻土与融土本质差异的关键。Berg 等[18]构建的一维水热耦合模型 FROSTB 最初是为冻土工程实践中计算土层冻胀和融沉随时间变化而设计的,后来被应用于冻融过程中水分迁移以及多年冻土对气候变化的响应模拟,模拟结果也得到了实测数据的检验。但 FROSTB 模型模拟过程中完全没有考虑地气间的水热交换过程(陆面过程),一种相对可行的方法就是利用实测的地面气象要素和冻土水分、温度变化过程,用优化方法反推冻土地表参数[19]。由 Flerchinger 设计的 SHAW (Simultaneous Heat and Water) 模型可以较好地模拟冻融过程中通过植被、雪盖和土层的一维水、热通量动态过程[20]。

1.4 冰冻圈变化的水文、生态、环境和社会经济影响研究受到各方关注,多学科综合研究已成为冰冻圈科学研究的总趋势

最近,不同的研究和评估结果[21-22]不约而同地指出,中亚、南亚和青藏高原未来 50 a 冰川融化可能影响那里的径流变化、洪水灾害和淡水资源的供给,可能是对人类进步和粮食安全最严重的威胁之一,涉及到 20 多亿人口。如果今后 100 a 内夏季(4—9 月)平均气温上升 3℃,阿尔卑斯山脉约 80%的冰川将融化。这对人口密集的阿尔卑斯山脉地区来说,冰川快速融化对水文和旅游的影响巨大。这些出自国际权威机构的研究结果表明,冰冻圈变化已开始威胁人类社会经济的发展。将冰冻圈视为一个整体,通过多学科交叉、新技术应用、重大项目实施,开展全球尺度的系统性、集成性研究已成为国际趋势。这些在与冰冻圈有关的众多国际计划上均有所体现,如 WCRP/CliC 计划中主要关注陆地冰冻圈与寒区水文气象、冰川与海平面变化、海洋冰冻圈与高纬海洋/大气相互作用、冰冻圈与全球气候变化等的联系;国际科学联盟和世界气象组织联合发起的国际极地年计划(IPY2007—2008)强调通过国际合作、多学科交叉,在极地地区建立完善的观测体系的基础上,增强对极地与全球关系的认知;全球陆地冰空间观测计划(GLIMS)则通过遥感技术对全球冰川变化进行动态监测,评估其影响;中国与日本联合,在国际上倡议成立的亚洲 CliC(Asia CliC)计划,旨在研究亚洲冰冻圈的动态变化及其对区域水资源、环境以及人类发展的影响;等等。从国际学科发展来看,WCRP/CliC 计划启动之初(2000 年)首次提出了“冰冻圈科学”的概念,将冰川、冰盖、冻土、海冰、积雪等纳入到统一圈层系统,进行集成研究,这是冰冻圈研究成为国际全球变化研究前沿和热点之一的重要标志。冰冻圈科学概念近年来受到各国科学家的高度重视。目前来看,冰冻圈科学还处在起步阶段,总而言之,冰冻圈科学主要研究冰冻圈各组成部分的内在机理与过程以及与其他圈层之间的相互作用。

## 2 国内研究进展及发展趋势

我国对冰冻圈的研究始于 20 世纪 50 年代末,在中国科学院、中国气象局、国家海洋局及高校有关单位的共同努力下,在冰川、积雪、冻土、极地冰盖、冰缘地貌和区域气候模式等方面取得了很大进展。近年来的最新研究进展及发展趋势主要表现在以下 4 个方面。

### 2.1 完成了我国西部冰川资源本底清查,初步揭示了我国冰冻圈的近期变化特征

我国从 1979 年开始冰川编目,历时 24 a,通过大量的野外调查和基于 20 世纪 60—

70年代的航片与地形图等资料,查明了冰川的总数量和冰储量以及各个山区冰川分布情况;明确了冰川的基本特征,提出了我国冰川的分类系统;建立了中国冰川目录信息系统;通过自行研制的冰川测厚雷达的应用,建立了冰川厚度的估算公式,并在中国周边国家冰川资源调查中广泛应用[23]。以冰川编目资料为基础,开展了大量的冰川变化研究[24-26],结果表明:小冰期以来我国冰川变化幅度从海洋性冰川区向大陆性冰川区呈减小的趋势,20世纪90年代以来约82%的冰川处于退缩或消失状态,其面积缩小比例为2%~18%。李培基[27]利用多种资料分析了中国西部积雪空间分布、季节变化以及年际波动特征。结果表明,1970年代后期多雪,1980年代初期少雪,1980年代中期积雪偏多。积雪年际波动与ENSO事件联系紧密,多雪年大多发生在ENSO年内,而少雪年都发生在反ENSO年。最新研究结果表明,在全球变暖背景下,我国西部积雪并没有减少,反而略有增加[28]。伴随着过去近半个世纪气候的变暖和人为活动影响的增强,青藏高原多年冻土的退化迹象明显。主要表现为多年冻土下界上升、地温升高、活动层加厚、冻土不衔接化加剧、融区增加和扩展等。高原周边地区季节冻结深度减薄最显著的地区在高原腹地和高原东北区,减薄约20cm;西北和东南区减薄5~6cm,占其总冻结深度的8%~10%[29]。

2.2 开展了冰冻圈与气候相互作用研究,对我国冰冻圈的气候效应有了定性认识我国是中低纬度地区冰冻圈最发育的国家,冰冻圈变化对我国及周边地区气候存在重要影响。

近些年来,我国学者对青藏高原积雪以及欧亚积雪变化对大气环流、季风和降水等的影响做了大量研究。结果表明,青藏高原积雪变化对大气环流的反馈作用显著,对印度气压场和热带东风急流强弱存在显著影响,高原积雪多(少)会造成夏季风弱(强),进而影响到我国长江流域涝(旱)[6]。最近,郑益群等[30]利用SVD等方法对青藏高原积雪和中国区域降水的关系作了诊断分析,并采用区域气候模式(RegCM2)对高原积雪的气候效应做了模拟。欧亚积雪变化与夏季风的强度呈负相关关系,与中国南部和北部地区的夏季降水呈非常显著的正相关,与湖南汛期(4—9月)降水以及江苏梅雨呈负相关关系。值得注意的是,最近的研究[31-32]表明,青藏高原以及欧亚大陆积雪不同的时空分布格局对亚洲季风系统等的存在差异。青藏高原冻土地区的土壤结构、性质及其与大气之间的关系不同于其他地区。在现有的全球和区域气候模式中,冻土过程参数化的描述较粗,水、热参数缺乏,尤其是对东亚大气环流和中国、东亚地区的天气气候有较大影响的青藏高原地区冻融过程的描述还很粗糙,这在很大程度上制约了陆面模式中对冻融过程的参数化。因此,对不同土壤成分下的冻土内水热传导参数的测定显得更加重要和迫切。

2.3 近期开展了倍受关注的冰冻圈变化对水文、生态与环境影响问题的研究,揭示了冰冻圈变化所带来的各种影响的严重性与重要性

冰川是我国西北干旱区的重要水资源,出山口径流的变化与流域内冰川面积大小及其变化密切相关。冰川对河流的调节作用主要表现在夏季稳定和足量的冰川融水补给。在年际和年代际尺度上,流域内冰川规模和冰川覆盖率等决定了冰川径流的年际和年代际波动。研究[33]表明,当流域冰川覆盖率超过5%时,冰川融水就会对河川径流产生显著影响。在近期气候明显向暖湿变化的天山南坡地区,出山径流增加量中的1/3以上来自冰川退缩增加的冰川融水[34]。1960—1990年代我国冰川储量减少了450~590 km<sup>3</sup>[25],已对中国西部干旱区水资源产生了很大影响,估计自20世纪90年代以来因冰储量减少而导致的冰川融水径流增加值超过5.5%。值得注意的是,冰川的加速萎缩最终将会造成河川径流的迅速减少。山区积雪和冻土对径流变化也有重要影响,积雪和冻土对径流年内过程影响可使河流年内分

配发生改变[35]。我国冻土面积分布广阔，冻土内水分状况及冻土作为不透水层，其变化对寒区水文过程存在重要影响。气候变化对活动层内地下水位和冻融面的作用直接影响冻土区水文过程[36]。冻土在冻结形成过程中贮存了大量固态水，提高了土壤蓄水量[37]，同时抑制了土壤蒸发和冻结层上水及冻结层上水流的形成[38-39]。青藏高原多年冻土区 10 m 深度以内土层的平均重量含水量为 18.1%。估计由于冻土变化平均每年从青藏高原多年冻土中由地下冰转化成的液态水资源将达到  $50 \times 10^8 \sim 110 \times 10^8 \text{ m}^3$ [40]，相当于黄河兰州站年径流量的  $1/6 \sim 1/3$ ，而西线南水北调预期的调水量为  $170 \times 10^8 \text{ m}^3$  左右，可见由气候变暖引发的冻土水文效应是巨大的。冻土变化对生态和环境存在巨大的影响。多年冻土区生态、环境与多年冻土相辅相成的共生关系已经得到了广泛的认识[39]。通过对青康公路沿线、青藏公路南段和唐古拉山南麓两道河—聂荣高地等地区冻土退化对植被的影响研究发现，伴随着多年冻土退化，高原植被的退化将呈沼泽—沼泽草甸—草甸—草原—荒漠草原—荒漠这样一个渐变转化的过程[41-43]。从 20 世纪 90 年代中后期开始，长江黄河源区的生态环境问题已成为广泛关注的热点。近期研究[44-45]表明，青藏高原冻土、典型高寒草甸生态和源区水文过程之间具有十分密切的相互关系。总之，我国在冰冻圈变化与水文、生态与环境相互作用方面已开展了大量研究工作。很显然，目前的研究还较为分散和单一，冰冻圈变化对水文、生态和环境影响的物理过程及互馈机制方面的研究还很不够，缺乏对冰冻圈变化效应的深入、系统的认识。在气候变暖背景下，未来 50 a 我国冰冻圈将发生巨大变化[46-48]，这必将对我国乃至邻国的水资源、生态与环境产生重大影响。需要指出的是，冰冻圈变化产生的冰雪冻土灾害及冻土中温室气体循环也是冰冻圈影响研究的重要课题，2008 年初中国南方发生的低温雨雪冰冻灾害、2009 年初川藏公路雪崩灾害及北方大面积春旱（与积雪有关）等，均与冰冻圈变化有关，这些均是未来研究值得关注的内容。

#### 2.4 围绕国际科学前沿和国家需求，进行冰冻圈

科学研究的综合集成并形成冰冻圈科学体系是我国未来冰冻圈研究的主要趋势概括地说，我国冰冻圈研究紧扣国际前沿和趋势，结合中国国情和实际需求，正蓄势待发向冰冻圈科学体系化方向发展。主要表现为：在研究手段上，强化了遥感、地理信息系统、地球定位系统、野外自动监测系统、室内计算机模拟等在冰冻圈研究中的应用；在机理研究方面更加关注不同模型的建立和应用；在冰冻圈与气候方面，已关注到冰川、积雪和冻土下垫面的气候效应。与此同时，冰冻圈变化的影响研究也得到了一定程度的重视，冰川变化的水文与水资源效应、冻土变化的水文与生态效应、冰冻圈变化的环境效应等已成为我国冰冻圈研究的重点内容；在冰冻圈变化适应对策研究方面，以综合评估为重点的研究成果也使我国学者对冰冻圈变化的综合认识得到很大提高[49-51]。我国冰冻圈研究无论在过程和机理研究方面，还是在其对气候、水资源、生态和环境的影响研究方面已积累了由简单、分散向深入、综合层面突破的良好基础，在现有研究基础上，强化对冰冻圈变化影响的研究是我国科学家所面临的十分迫切的课题。

# 冰冻圈对气候变化的响应及其影响

田忠翔

(国家海洋环境预报中心 100081)

## 1 引言

冰冻圈包括大陆冰川、雪区、海冰和冻土以及格陵兰和南极的冰原，也常称为冻雪圈。目前，冰川覆盖了全球地表约 3% 的面积，储存了 75% 的非海洋水（淡水）。冰雪覆盖全球海洋面积的 7%、陆地面积的 10% 左右。季节性冰雪在 1 月覆盖陆地面积的 30%，在 7 月覆盖 9%。多年冻土占有全球陆地面积的 24%，季节冻土的分布则更为广泛，2/3 左右。冰冻圈对气候系统之所以重要是由于它对太阳辐射有较高的反射率、低的热传导率、大的热惯性，以及在驱动深海环流中的关键作用。

## 2 冰冻圈对气候变化的响应

冰冻圈是地球系统五大圈层之一，与气候系统有着密切的关系（图 1）。冰川末端进退、厚度增减、面积扩缩可反映气候变化状况，是气候系统变化的灵敏的指示器。

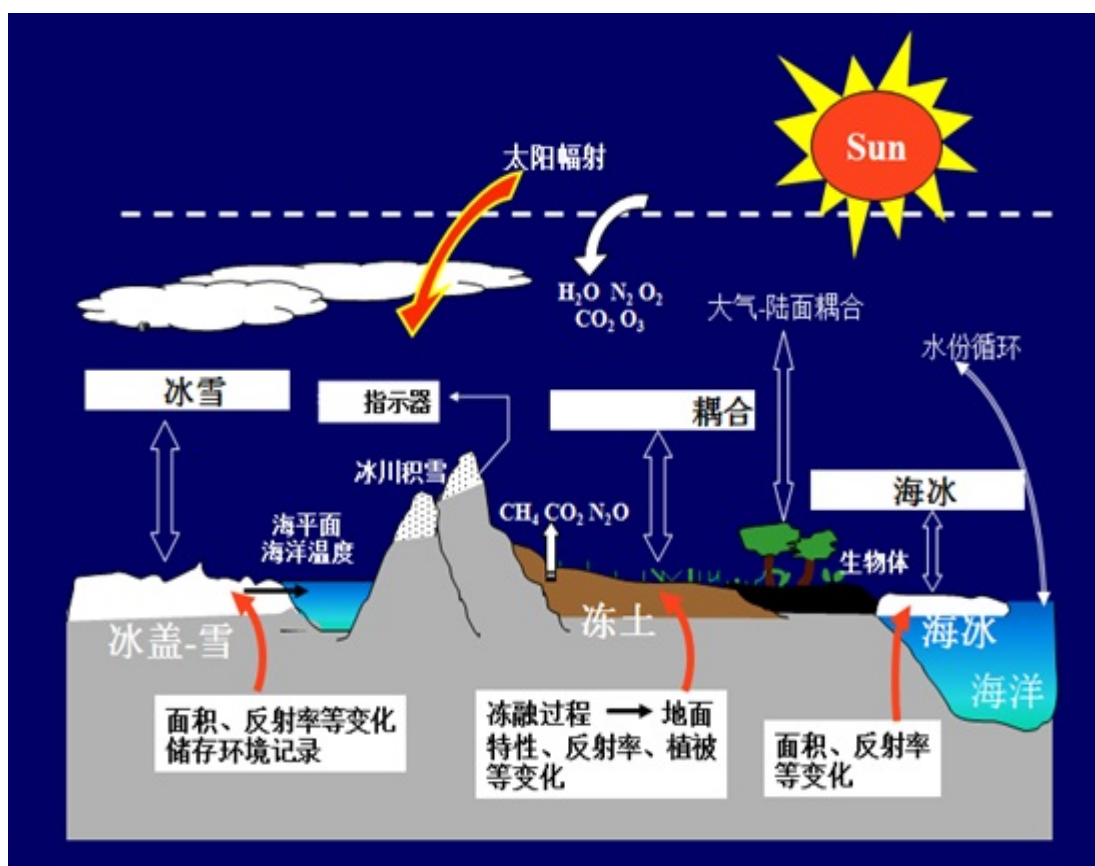


图 1 冰冻圈与气候的关系

### 2.1 冰芯与气候变化

冰冻圈是古气候和古环境的重要信息库，储存有很多气候与环境变化的信

息。如在南极冰盖钻取的 Vostok 冰芯、Dome C 冰芯中分别包含了地球 42 万年

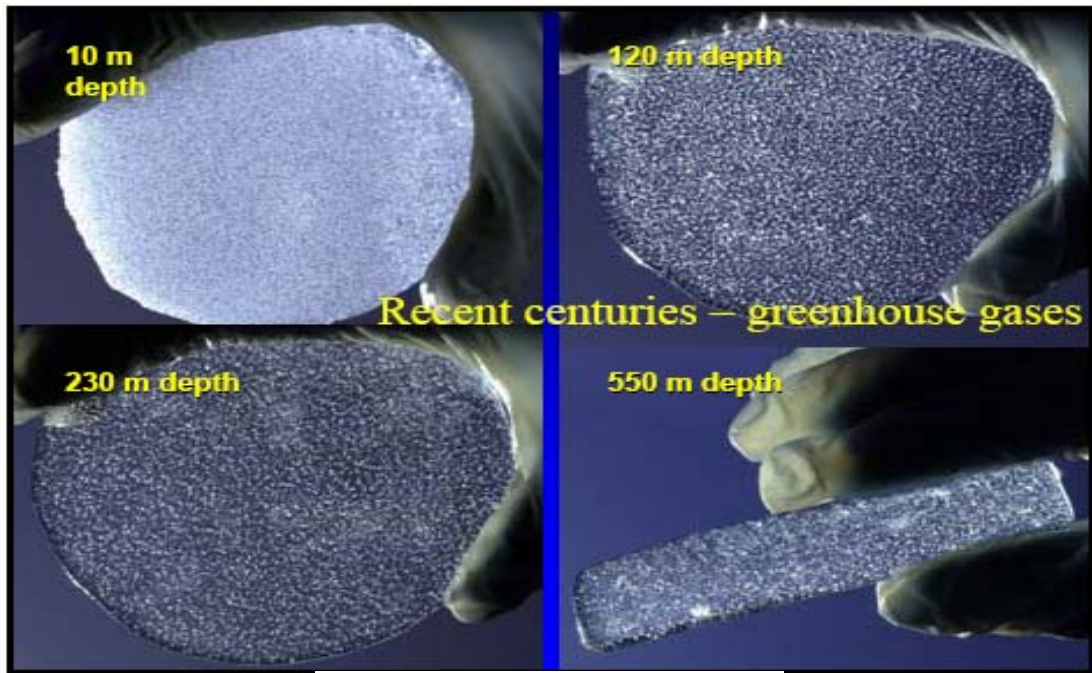


图 2 冰芯中的气泡

和 72 万年以来的气候变化信息。

所有在大气中循环的物质都会随大气环流而抵达冰川上空，并沉降在冰雪表面，最终形成冰芯记录。冰芯分析的每一个参数都至少载有一个地球系统变化过程的信息。冰芯中氢、氧同位素比率是度量气温高低的指标；净积累速率是降水量大小的指标；冰芯气泡（图 2）中的气体成分和含量可以揭示大气成分的演化历史（图 3、图 4）；宇宙成因的同位素可以提供宇宙射线强度变化、太阳活动和地磁场强度变化的证据；冰芯中微粒含量和各种化学物质成分的分析结果，可以提供不同的时期大气气溶胶、沙漠演化、植被演替、生物活动、大气环流强度、火山活动等信息；同时，冰芯也记录了人类活动对气候环境影响和各种信息，等等。

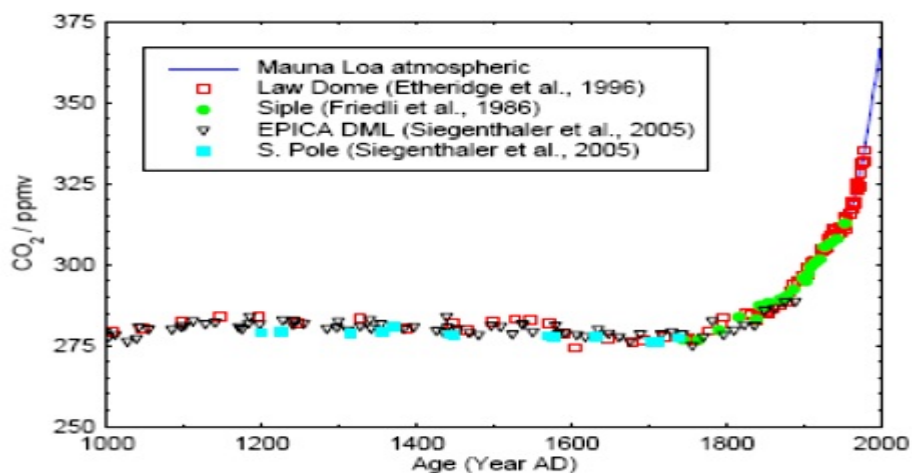


图 3 最近 1000 年  $\text{CO}_2$  浓度的变化

冰芯研究为此提供了高分辨率的历史气候、环境变化信息的记录。通过对冰芯中古气候古环境记录的提取，一方面可以了解古气候环境变化与冰芯记录的联系，寻找指示气候环境变化的指标；另一方面可以探寻未来气候环境气候变化的趋势，对于冰川学和气候环境研究是一笔宝贵的财富。

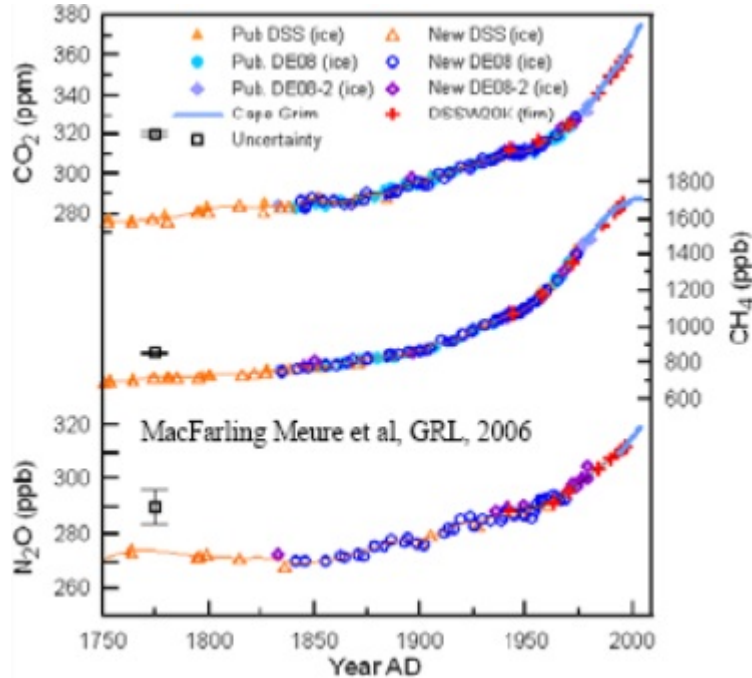


图 4 过去 200 年  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  浓度的变化

## 2.2 极地海冰对气候变化的响应

极地海冰是气候系统的重要组成部分，作为气候系统的敏感性因子，极地海冰对气候变化的响应是显著的。通过对南北半球海洋表面大气温度观测表明，极地海冰对全球变暖具有放大作用 [4,3]。近年来，对北冰洋海冰的研究发现，过去 30 年北冰洋中部海冰的厚度减薄了 [41]，北极海冰的范围在缩小 [4,5]。Julienne Stroeve 等人 [6] 利用微波遥感数据，分析了 1979—2005 年北极海冰覆盖范围，发现融化季节变长，尤其在 Alaska、Siberia，增长速度约为 2 周/10 年。Parkinson 等人 [7] 应用 1978—1996 年的微波辐射计数据分析得出，海冰覆盖面积的变化趋势为每 10 年减少  $2.9\% \pm 0.4\%$ 。

方之芳等人 [14] 应用英国 Hadley 气候研究中心 1968—2000 年的  $1^\circ \times 1^\circ$  的北半球逐月海冰密集度资料，使用 EOF 分解等统计方法得出，20 世纪 80 年代中后期北极海冰已出现减小趋势，在 20 世纪 90 年代，海冰又出现范围和面积的突然减少，而且其变化程度已远远超过一般的自然变化。已有的研究表明，北极气候变化成为影响北极海冰变化的主要因素 [1,6,10,13]，引起海冰面积缩小、边缘北退、冰厚减薄等。

## 2.3 山地冰川对气候变化的响应

通过观测发现近 50 年来我国西部主要山系冰川面积有所减少（表 1）。

表1 近50年来我国西部主要山系冰川变化

山区	时段	量算冰川	冰川面积变化	前进冰川数
祁连山西部	1956-1990	170	-4.8	0 (0%)
天山	1962/64-1989/2000	960	-4.7	224 (23%)
青藏高原	1970s-1999/2001	2572	-3.2	387 (15%)
东帕米尔	1960,75-1999	753	-10.0	198 (26%)
喀喇昆仑	1968-1999	565	-4.1	85 (15%)
合计		5020	-4.6	894 (17%)

山地冰川与海冰融化最大的区别在于，前者的融化会导致海平面的升高（图5），而后者则不会。近年来已发现格陵兰冰盖有所退缩。有数据表明，在过去的半个世纪中，青藏高原 82%的冰川发生退缩 [7]。

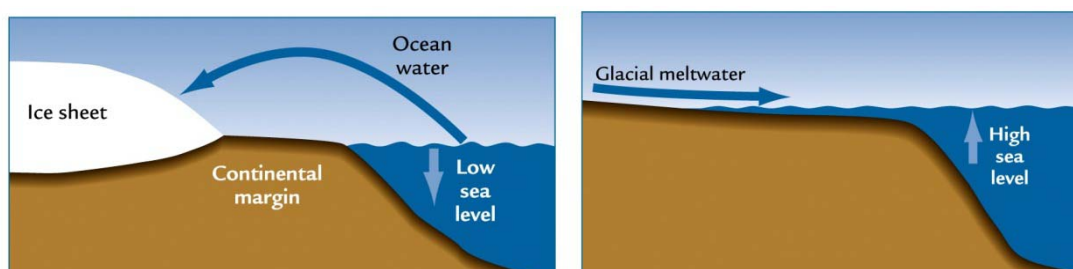


图5 冰川融化导致海平面升高示意图

### 3 冰冻圈对气候变化的影响

冰冻圈虽然是气候的产物，但一经生成，又对气候有重要的反馈作用。

#### 3.1 通过冰雪反射率和冰冻圈进退变化起作用

洁净冰雪的反射率（50%-80%）比土（10%）和水（30%）大得多，每年到达地面的太阳辐射能量约 30%消耗于冰雪圈中。由于冰川融化热和水的汽化热分别是同体积液态水升高 1℃所需热量的 80 倍和 539 倍，因而冰雪圈在地表热量平衡中有举足轻重的作用。

冰雪又是地球表面与大气的天然绝缘层，导致大气层与岩石圈和水圈的相互作用减少，并通过调节海洋与大气的蒸汽和热量交换来影响气候模式和大气环流。

冰雪下垫面的变化主要是冰盖、海冰和积雪的退缩与扩张，对能量平衡为基础的气候模式有重要影响。例如青藏高原积雪异常对东亚大气环流、印度降水以及长江中下游梅雨都有相当的影响。

#### 3.2 通过水循环影响气候

全球变暖、冰川和冰盖融化促使海平面上升，海洋面积扩大，蒸发增加，由海洋上水汽输送到大陆，大陆降水亦相应增加。

据计算，目前全球冰川的平均年消融量约  $3000\text{km}^3$ ，近乎全球河流水量的 3 倍。冰盖消融量的增减，将直接影响海平面的升降。如在 2.1 万年前的末次冰期冰盛时，全球水分集中在古冰盖上，海平面比现在低 140 米左右。现在的海、黄海、东海等大部分是陆地，台湾与大陆联成一片，夏季风萎缩，陆地上降水量大幅度减小，从东北到长江流域的降水可能不足现代的一半。

## 4 致谢

作为一名一年级的硕士研究生，我很荣幸能参加第七届气候系统与气候变化国际讲习班。在这短短的十几天里，我感觉收获颇丰。首先，锻炼了自己的英语听力。由于以前很少接触到这种专业性质的讲座，刚开始听起来比较吃力，但是到后期明显感觉自己的听力水平有所提高。其次，了解到了与气候变化有关的诸多方面，了解到科技前沿，拓宽了知识面。讲授的很多内容与我的研究方向相关性较小，还有一些是以前很少接触到的学科内容。在此对讲习班的组织者以及各位授课的学者表示深深地感谢！

## 参考文献：

- [1] DESER C , WALSH J E , TIMLIN M S. Arctic sea ice variability in t he context of recent atmospheric circulation t rends[J] . J Climate ,2000 ,13 : 617 - 633.
- [2]Flato G M , Boer G J. Warming asymmetry in climate change simulations[J]. Geophysical Research Letters, 2001, 28: 195— 198.
- [3] Gates W L , Henderson—Sellers A , Boer G J. Climate models—evaluation[A]. Houghton J T , Meira Filho L G , Callander B A. Climate Change 1995: The Science of Climate Change[c]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 229—284.
- [4] Kang Jiancheng, Sun Bo, Sun Junying, et al. The characteristics of summer sea ice and their relationship with climate in the Chukehi Sea[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(2): 173. 180. [康建成, 孙波, 孙俊英, 等. 北极楚科奇海海冰特征研究[J]. 冰川冻土, 2002, 24(2): 173-180. ]
- [5] Kang Jiancheng, Yan Qide, Sun Bo, et al. The Arctic sea ice, climate and its relation with globe climate system[J]. Chinese Journal of Polar Research, 1999, 11(4): 301. 310. [康建成, 颜其德, 孙波, 等. 北冰洋海冰 / 气候系统及对全球气候的影响[J]. 极地研究, 1999, 11(4): 301-310. ]
- [6] MASLANIKJ A , SERREZE M C , BARRY R G. Recent decreases in Arctic summer ice cover and linkages to atmospheric circulation anomalies[J] . Geophys Res Lett , 1996 , 23 (13) : 1 677 - 1 680.
- [7] PARKINSON C L , CAVALIERI D J , GLOERSEN P , ZWALL Y H J , COMISO J C. Arctic sea ice extent s , areas , and t rends , 1978 -1996[J] . J Geophys Res , 1999 ,104 (C9) : 20 837 - 20 856.
- [8]Julienne STROEVE, Thorsten MARKUS, Walter N.MEIER, Jeff MILLER. Recent changes in the Arctic melt season[J].Annals Glaciology,2006,44:367-374.
- [9]Qui J. The third pole[J]. Nature, 2008, 454:24393-24396.



- [10]RIGOR I G, COLON Y R L , MARTIN S. Variations in surface air temperature observations in the Arctic , 1979 - 97 [J] . J Climate, 2000, 13: 896 - 914.
- [11] Rothrock D A, Yu Y, Maykut G A. Thinning of the Arctic sea ice cover[J]. Geophysical Research Letters, 1999, 26(23): 3 469-3 472.
- [12] SCAR. The Role of the Antarctic in Global change—An International Plan for a Regional Research Program[R]. SCAR, 1993
- [13]ZHANG Jin-Lun, ROTHROCK D , STEEL E M. Recent changes in Arctic sea ice : the interplay between ice dynamics and thermodynamics[J] . J Climate , 2000 , 13 : 3 099 - 3 114.
- [14]方之芳,张丽,程彦杰.北极海冰的气候变化与20世纪90年代的突变[J].干旱气候,2005,23(3):1-11.
- [15]李培基.北极海冰与全球气候变化[J].1996,18(1):72-80.
- [16]康建成,唐述林,刘雷保.南极海冰与气候[J].地球科学进展,2005,20(7):786-793.
- [17]唐述林,秦大河,任贾文,康建成.极地海冰的研究及其在气候变化中的作用[J].冰川冻土,2006,28(1):91-100.

# 第七届气候系统与气候变化国际讲习班（ISCS）学习心得

汪言在  
北京师范大学资源学院

第七届气候系统与气候变化国际讲习班是我在学生时代报名参加的最后一个讲习班，其授课内容和我的专业相差较大，但是通过近十天的学习，收获很大，这种收获不仅仅包括知识内容的增长，更重要的是对气候系统和气候变化的研究意义和学科前沿有了较为深刻的理解，对我以后科研问题的处理具有很好的指导意义。现将我的一些学习体会汇报。

本次讲习班主要涉及大气化学、气溶胶对气候系统的影响、冰冻圈在气候系统和气候变化中的作用、气候模式在气候变化研究中的应用和气候变化的减缓与适应对策及社会可持续发展的问题的探讨四个部分。讲习班专家的授课内容和思路可用如下三个方面反映。第一，化学（包括大气化学和冰冻圈）物质在气候变化中的作用及其响应；第二，气候模式演变过程及现有模式之间比较；第三，气候变化产生的社会效应及应对政策。气候系统是一个包括大气圈、水圈、陆地表面、冰雪圈和生物圈在内的能够决定气候形成、气候分布和气候变化的统一的物理系统。总体来看本次讲习班内容涉及了气候系统各个方面。

我本人专业方向是土壤侵蚀与风沙地貌，属于地表过程研究，与本次讲习班授课内容差异稍大，但是由于气候系统是一个庞大的物理系统，同时气候变化对地表水文过程影响显著，因此和我的专业方向也有联系。对于第一个部分讲习内容，化学物质在气候变化中的作用及其响应，从我本人专业方向来联系，以沙尘为例，沙尘暴对大气化学的影响较大，表现为沙漠地区（或者干旱地区）地表沙粒启动——启动形成输沙——区域大气环流影响输送——异地沉降。在沙尘的输送过程中某些粒径较小的颗粒会在高空悬浮形成气溶胶等，进而影响气候系统。本次讲习班授课老师在气溶胶问题上作了大量工作，反映了气溶胶在气候变化研究科学中的重要地位，也增强了我对地表过程研究的信心。

对于第二部分讲习内容，气候模式演变过程及现有模式之间比较，Klaus 教授深入浅出讲解了气候模式的演变过程，从单一到复杂的历程。从我本人专业方向联系，以地表起伏对气流的影响来联系，我在做风沙地貌的工作中，需要对地貌的气流特征进行模拟和描述，Klaus 教授用 SAM 模型对青藏高原的气流场进行了模拟，考虑了青藏高原的地形因素，尽管所用空间尺度比我们对风沙地貌的研究尺度大，但是二者均表明地形因素在气流模拟中的重要性，Klaus 教授的讲解给了我较大的启迪。

对于第三部分讲习内容，气候变化产生的社会效应及应对政策。从我本人研究方向联系，以土壤侵蚀为例，表现为气候变化——土壤侵蚀加剧——地表生产力退化——影响粮食生产——人为开荒——影响土地利用——反之影响气候变化。反映在社会效应上就是关系到粮食问题。而气候变化的始作俑者是工业生产，因此这与 Helme 教授的关于减排的问题有联系。不过 Helme 教授从技术层面上分析减排问题，对我们理解气候变化应对政策有重要帮助。

另外，我个人的一点感受，就是本次讲习班组织工作，国家气象局的各位老师对讲习班付出了大量心血，在这里非常感谢你们，谢谢你们提供了这么好的学习平台。

其次就是所请外籍专家，在讲解过程中深入浅出，由概念理解到过程分析的思路，这种思路很好的帮助学员理解，由于我对气溶胶内容并不了解，仅以 Klaus 教授关于气候模式的讲解来说，Klaus 教授很早就进行了气候模式的研究工作，他以复杂气候模式和简单气候模式模拟的结果对比，告诉我们即使简单气候模式在模拟过程中也会取得较好的效果，因此在研究工作中并不仅认为复杂的气候模式就一定是最好的，要根据实际工作条件，发展适合自己的气候模式。再则，从外籍专家的讲解可以看出，一份研究工作包含了大量科研工作的心血，是几代人共同完成的结果，这对于国内科研学术氛围有很好的启迪，就是必须戒骄戒躁，不轻浮，厚积勃发。另外，从外籍专家的讲解也可以看出，现有科学工作最重要的一点是实测数据的整合和使用，但是就目前国内来看，数据的共享实在很难，这对国内科研工作的发展束缚较大，希望国家有关部门能够放宽数据共享的门槛，比如开展支持青年科学工作者计划，就是对青年科学工作者使用数据的门槛降低，这主要是针对青年科学工作者一般没有重大科研课题，无力获取科研数据的状况。

最后，祝愿气候系统与气候变化讲习班越办越好，希望在下届讲习班授课内容上可否适当加一些关于“陆面过程（或生态系统）对气候系统的影响”这方面的内容。

# 分辨率对气候模式的影响

王鹏 国家气候中心

## 一 引言

Dr.Klaus Fraedrich 在讲课中提到在应用大气模式进行模拟时,要采用高分辨率,这样才能获得较为详细的信息,通过图片展示了高分辨率可以得到粗分辨率所不能得到的某些细节信息,但是我们都知道,在对大气进行模拟计算过程中,由于边界、初值等的分辨率限制,我们无法对无限制的提高模式的分辨率。鉴于以上想法,我查阅了相关资料,对高分辨的气候模式的发展和应用有了一个较为初步的了解。

## 二 分辨率的提高对气候模式的影响

全球气候模式(GCM)对于预估大尺度未来全球气候变化来说。是目前十分重要也是可行的方法。评价区域气候变化影响的时候,虽然我们可以尽量高的提高模式分辨率,但由于高分辨率的GCM需要大量的计算资源,相对而言,具有更高分辨率的区域气候模式(RCM)应用得也非常广泛<sup>[1]</sup>。在实际应用中很多人将区域模式嵌套在一个全球模式中进行区域气候模式的长期积分实验。

一般地,高分辨率的数值模式能更好地反映大气动力过程和中小尺度强迫,分辨率的提高有利于提高模式的模拟和预报能力。

但对短期天气的模拟表明,分辨率并非越高越好,王春明等<sup>[2]</sup>的研究表明提高模式水平分辨率明显提高了降水的预报精度,但精度的改进随着水平分辨率的进一步提高存在明显的阈界。

而对于气候模拟,有些试验表明细的分辨率能提高模式对大尺度环流某些方面的模拟能力。P.M.Ruti等<sup>[3]</sup>的研究表明提高模式的垂直分辨率对降水预报能力有着明显的提高,王在志等<sup>[4]</sup>的研究也表明,提高模式的垂直分辨率后,大气垂直结构的模拟更合理,平流层风场和温度场的模拟与观测更接近,降水、海平面气压场的分布及季节变化等特征也有明显改进,汤剑平等<sup>[5]</sup>研究了分辨率对区域气候极端事件模拟的影响,结果表明提高模式的水平分辨率和垂直分辨率对模拟的结果均有一定程度的提高,水平分辨率的提高降低了模式模拟的强降水偏差,对逐日降水变化的模拟更加合理,而垂直分辨率的提高基本上也都减小了模拟的强降水过程的偏差,改善对强降水的模拟能力;模式水平、垂直分辨率的提高在一定程度上增强了对强降水过程的模拟能力.水平分辨率的提高能够改善模式对海平面气压的模拟,而垂直分辨率的提高可以改善模式模拟的地面气温和低层环流。

但也有的模拟试验表明分辨率的提高反而会降低模式的模拟能力<sup>[6]</sup>。李磊等

[7]利用区域气候模式RegCM3，取 30km、60km、90km不同的水平分辨率检验了夏季降水模拟对水平分辨率调整的影响及其变化规律(图 1, 图 2)，结果表明：水平分辨率虽然成倍数递减，但模拟结果对分辨率的敏感性较为复杂，并不是分辨率越高模拟效果就越好；总体上模拟夏季降水对水平分辨率非常敏感。

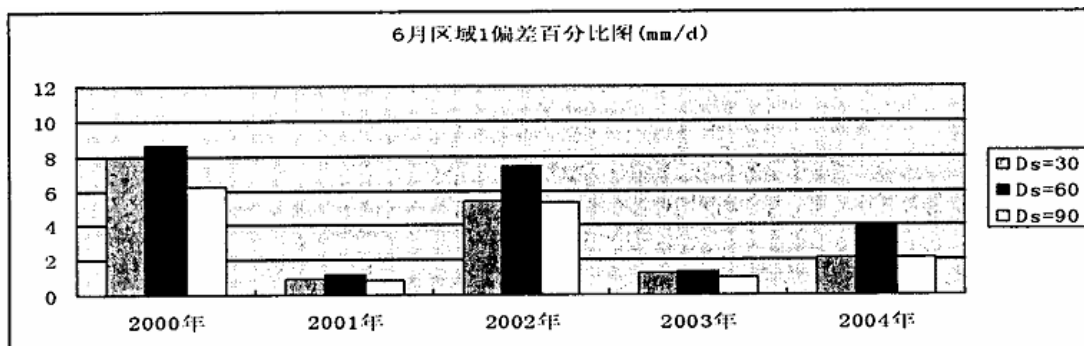


图 1

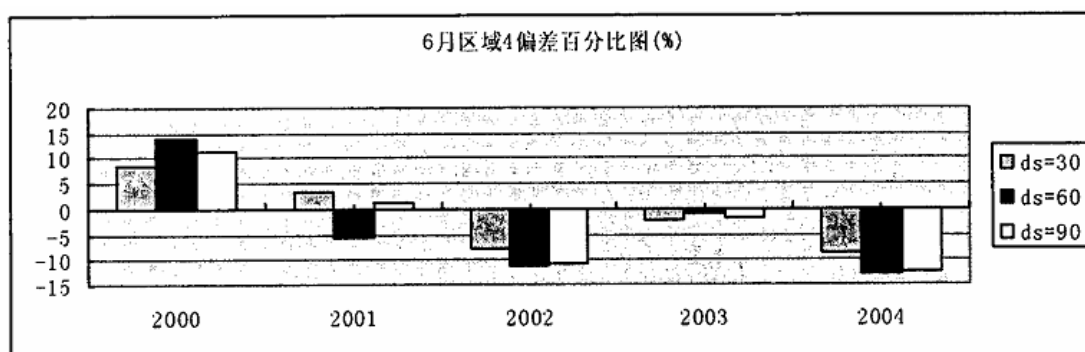


图 2

Girogi等<sup>[8]</sup>利用 NCAR RegCM2 详细比较了不同水平分辨率对降水模拟的影响，发现大尺度的平均降水对分辨率是十分敏感的，降水强度、频率以及表面能量及水通量对分辨率也是敏感的；但同时也发现物理过程参数化比分辨率对模式的模拟能力影响更大

以上研究都表明分辨率的提高会在一定程度上影响区域气候模式的模拟能力。

### 三 结论

既然没有明确、肯定的信息表明提高模式的分辨率对于提高模式的模拟效果一定是积极的，那么我们在进行模拟时就不能任意的提高模式的分辨率，对于分辨率要慎重选择。

虽然提高模式的分辨率对模式结果的影响有着不确定性，但不可否认的是，随着模式分辨率的提高，就如Dr Klaus展示的一样，对于一些在原有的分辨率下无法体现的尺度信息可以显现出来，这对于研究更小尺度的信息有着不可忽

视的作用。例如，石英<sup>[9]</sup>用 RegCM3 区域气候模式，单向嵌套NASAN/CAR全球环流模式FvGCM 的输出结果，对东亚和中国地区进行了在实际温室气体浓度下当代 1961~1990 年和在IPCCA2 温室气体排放情景下 21 世纪末期 2071~2100 年各 30 年时间长度，水平分辨率为 20 km 的气候变化模拟试验，并取得了较好的效果。

#### 参考文献

- [1]鞠丽霞 王会军 用全球大气环流模式嵌套区域气候模式模拟东亚现代气候 地球物理学报 2006(01)
- [2]王春明 王元 伍荣生 模式水平分辨率对梅雨锋降水定量预报的影响 水动力学研究与进展 a 辑 2004(01)
- [3]RUTI PM. DI ROCCO D. GUALDI S Impact of increased vertical resolution on simulation of tropical climate Theoretical and Applied Climatology 2006(03)
- [4]王在志 宇如聪 王鹏飞 全球海-陆-气耦合模式大气模式分量的发展及其气候模拟性能, II-垂直分辨率的提高及其影响 热带气象学报 2005(03)
- [5]汤剑平 赵鸣 苏炳凯 分辨率对区域气候极端事件模拟的影响 气象学报 2006(08)
- [6]李维京 纪立人 月动力延伸预报研究 2000
- [7]李磊 骆燕 2007 年中国气象学会年会
- [8]GIORGI F.MARINUCI M R An investigation of the sensitivity of simulated precipitation to model resolution and its implications for climate studies Monthly Weather Review 1996(01)
- [9]石英 中国区域气候变化的高分辨率数值模拟 2007

# 大气气溶胶的城市气候效应研究

王伟

(1. 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要: 大气气溶胶的城市气候效应是目前区域气候变化研究的热点和难点。文章重点从五个方面论述了大气气溶胶城市气候效应的机制和研究进展: 气溶胶对辐射、光照时数、云、能见度和降水的影响, 并探讨了一些亟待解决的科学问题, 最后针对这些问题对气溶胶的城市气候效应研究进行了展望。加强大气气溶胶的城市气候效应研究不仅可以降低其不确定性, 提高区域气候预测的可信度, 同时还可为预报和控制城市大气污染提供信息和对策。大气气溶胶对城市环境和人类健康的影响也值得深入研究。

关键词: 气溶胶; 城市; 气候变化

## 1 引言

大气气溶胶是指悬浮在大气中的固体和(或)液体微粒与气体载体共同组成的多相体系, 其粒子直径多在  $10^{-3}$ - $10\ \mu\text{m}$  之间<sup>[1]</sup>。大气气溶胶主要包括六大类、七种气溶胶粒子: 沙尘气溶胶、碳气溶胶(黑碳和有机碳气溶胶)、硫酸盐气溶胶、硝酸盐气溶胶、铵盐气溶胶和海盐气溶胶<sup>[2]</sup>。按照其来源不同, 大气气溶胶又可分为自然气溶胶(海洋、土壤、生物圈和火山等)和人为气溶胶(化石燃料的燃烧和工农业生产活动等)(图 1)。工业革命以来, 人为排放的气溶胶浓度有较大幅度的增加<sup>[3]</sup>, 特别是近年来城市化进程的加快, 人类活动向大气排放了大量的一次性污染气溶胶, 这些污染气体通过非均相化学反应逐渐转化为诸如硫酸盐类的二次气溶胶, 使得人为排放成为城市大气气溶胶的主要来源<sup>[4]</sup>。

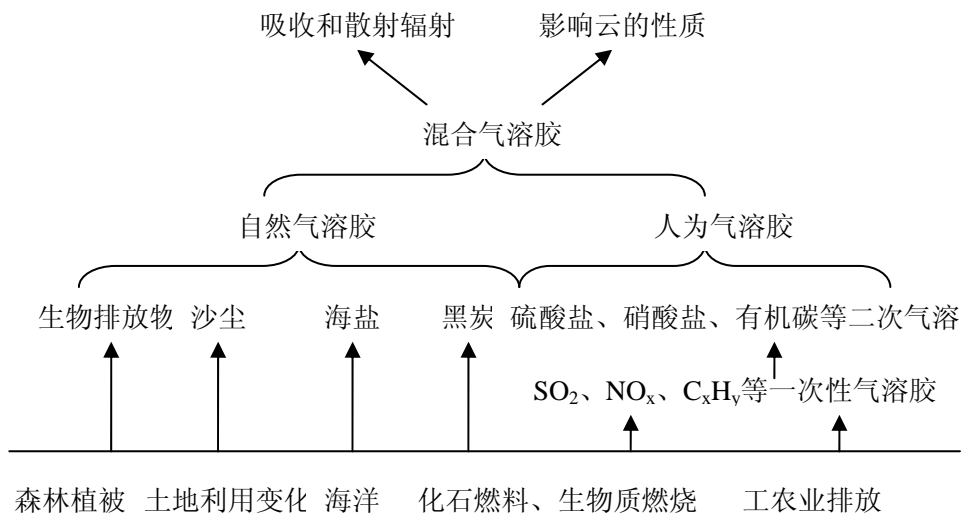


图 1 大气气溶胶的来源及其气候效应

早在 1971 年 Rasool 和 Schneider 就注意到气溶胶的气候效应问题, 并指出: 若全球气溶胶本底浓度增加 4 倍, 将会使得地面平均温度降低  $3.5^{\circ}\text{C}$ , 但随着全球变暖现象的日益凸显, 气溶胶的气候效

应逐渐被淡化。直到 1991 年菲律宾的 Pinatubo 火山喷发，大量的尘埃和硫酸盐气溶胶进入大气，全球平均温度下降了 0.5℃，气溶胶对气候系统的影响才又引起关注。并且，诸多科学家发现：某些年代温室气体的排放虽有增加，但全球气温却出现了普遍下降（如 20 世纪 40-60 年代），人们开始思考，温室气体不是气候变化的唯一因子，另一重要因子就是大气气溶胶<sup>[5]</sup>。最新的 IPCC 第四次评估报告<sup>[6]</sup>明确指出：在 1906-2005 年的 100 年间，全球平均地表温度已经上升了 0.74℃，全球变暖的主要原因可归结于人类活动所产生的大量温室气体（GHGs），此外气溶胶也是影响气候变化的重要因素。

气溶胶对气候的影响可分为两大方面，即直接影响和间接影响。气溶胶对气候的直接影响是指大气中的气溶胶粒子吸收和散射太阳短波辐射和地面长波辐射从而影响地-气辐射收支；间接影响是指气溶胶作为云凝结核（CCN）通过改变云的宏观、微观特性，特别是改变云的生命期和光学特性来间接影响气候<sup>[7-9]</sup>。相应地，城市气溶胶含量的增加势必会影响城市区域辐射平衡，进而对城市光照时数、温度、云和降水等气候要素产生重要的影响。

虽然国内外很多专家在气溶胶的气候效应方面做了大量有益的研究，但气溶胶的气候效应仍有很大的不确定性，是当今研究的难点。

IPCC 第三次评估报告<sup>[10]</sup>指出气溶胶存在时空多变性、化学成分复杂性和气溶胶-CCN-云-辐射间复杂的非线性关系，故在众多的气候变化影响因子中，最不确定和亟待深入认识的是大气气溶胶。气溶胶浓度变化引起的气候系统变化的不确定性不解决，将直接影响对过去 100 年甚至 200 年来气候变化原因的正确认识，也必然会影响我们对未来气候变化的准确预测<sup>[2]</sup>。除了黑碳等吸收性气溶胶，绝大部分气溶胶的辐射强迫作用都是使全球变冷，在某种程度上减缓了 GHGs 温室效应的步伐<sup>[11]</sup>。因此，我们若仅从大气环境和生物健康角度考虑，减少气溶胶的排放，会不会加速全球变暖的步伐？这些都是我们当前面临的难题。因此，获得气溶胶与城市气候变化及区域大气污染本质的准确认识，不仅是当今全球变化研究的焦点和前沿，也可为城市在应对气候变化、控制区域大气污染和科学发展等提供对策和建议。以下将重点从气溶胶对城市的辐射、光照时数、温度、云、能见度和降水的影响几个方面论述国内外研究进展。

## 2 大气气溶胶的辐射强迫

大气气溶胶是扰动城市气候系统的辐射强迫因子，辐射强迫（RF）在数值上定义为某种辐射强迫因子变化时所产生的对流层顶平均净辐射的变化（ $W/m^2$ ）<sup>[11,12]</sup>。实际上，气溶胶的辐射强迫应当包含三个层面：大气强迫、地面强迫和大气层顶（TOA）强迫。对于像硫酸盐这样的吸收性弱的气溶胶而言，作为一级近似，其地面强迫与 TOA 强迫相当，符号相反<sup>[11]</sup>；而烟尘、沙尘和黑碳等对太阳存在不可忽视的吸收，只关注 TOA 强迫是不够的，还应考虑地面和大气的辐射强迫<sup>[13]</sup>，且通常地面辐射强迫一般大于 TOA 强迫<sup>[11]</sup>。根据石广玉等人<sup>[11]</sup>的研究，大气气溶胶的辐射强迫通常可分为以下三类，图 2<sup>[14]</sup>描述了目前已经认识的且认为重要的辐射强迫机制。



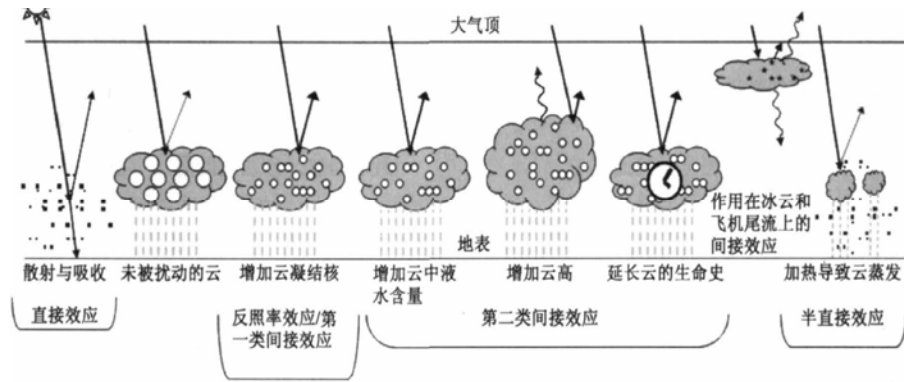


图2 气溶胶的各种辐射强迫机制（黑点:气溶胶颗粒; 空心圆:云滴; 直线:太阳短波辐射; 波浪线:红外辐射）

## 2.1 直接辐射强迫

气溶胶粒子可以散射和吸收太阳辐射，使得大气透过率降低，直接造成大气吸收的太阳辐射能、到达地面的太阳辐射能和大气顶反射回外空的太阳辐射能发生变化，这个过程不涉及到与其它过程的相互作用<sup>[11]</sup>。大气气溶胶粒子可以把太阳辐射向太空中散射，形成负辐射强迫；但在红外波段又表现为中等强烈的吸收，对于长波辐射可把气溶胶粒子近似地处理成吸收体，这样气溶胶在一定程度上增强了所在大气层发射辐射能力，从而引起气溶胶层的局地加热，形成正辐射强迫<sup>[15]</sup>。这种双向辐射强迫的净作用一般依赖于气溶胶对短波的吸收性、天空云的状况和地面反照率<sup>[5]</sup>。据研究，在城市大气中对太阳辐射的消光源于气溶胶散射的占 64%-73%，源于气溶胶吸收的占 7%-29%<sup>[15,16]</sup>。故就城市气溶胶而言，其浓度大、细粒多，对太阳的散射辐射较强，对长波辐射有一定程度的吸收（集中于近地面和边界层），3Km以上气溶胶浓度迅速减小并趋于均匀，加上城市的反照率偏低（0.14-0.18）<sup>[17]</sup>，一般认为城市大气气溶胶的直接辐射强迫为负效应，使地表降温<sup>[15]</sup>。

## 2.2 间接辐射强迫

气溶胶粒子可以改变云的物理和微物理特征进而改变云的辐射特性，影响太阳能在地气系统中的分配。这种间接效应又可以分为第一类间接效应（云反照率效应）和第二类间接效应（云生命期效应）<sup>[11]</sup>。城市中的人为硫酸盐气溶胶为吸湿性质粒，可作为有效的CCN，这样会改变云的微物理结构和特性。一方面，在云内液态水含量不变的情况下，成核的气溶胶粒子的增多会增加云滴数浓度，云的平均尺度减小，从而使的云反照率变大，尤其是低云的反照率；另外，对于一定云内水分含量，云滴谱有效半径的减小将减少降水的形成，进而延长云的生命期，最终使时间平均或区域平均的云反照率增加<sup>[11,15]</sup>。石广玉等人<sup>[11]</sup>还阐述了间接效应中的冰核化效应和热力学效应的机制。

## 2.3 半间接辐射强迫

城市中的烟尘等对太阳辐射具有较强的吸收作用，会将吸收的太阳辐射作为热辐射重新向外释放，加热气团、增加相对于地表的静力稳定度，也可能导致云滴的蒸发，造成云量和云反照率的减少，从而影响辐射<sup>[11,14]</sup>。

桑建国等人<sup>[18]</sup>认为城市大气气溶胶对太阳辐射的削弱和对于边界层发展的延缓，在一定条件下均会对城市气温产生明显的影响。当低层风速较弱（<2m/s）时，城市上午形成“冷岛”，温度比郊区

低 1-2℃，最大时可达 3-4℃，且“冷岛”强度与TSP浓度呈显著的正相关<sup>[15]</sup>。

由于气溶胶的时空多变性、成分复杂性以及气溶胶-CCN-辐射之间的复杂非线性关系，大气气溶胶对城市辐射强迫存在很大的不确定性。自 20 世纪 90 年代以来，先后发展了多种模式对全球、北半球和区域不同尺度的气溶胶辐射强迫进行了研究<sup>[19]</sup>。三维化学/辐射模式成功地计算了整层大气硫酸盐气溶胶的光学厚度随纬度的分布，并进一步推算出人为硫酸盐气溶胶的存在使地面损失太阳辐射约为  $1.6 \text{ W/m}^2$ <sup>[3]</sup>；利用北半球气溶胶质粒谱和浓度观测推算，北半球人为硫酸盐气溶胶可能使云滴数浓度增加 15%，北半球平均气溶胶的间接辐射强迫为  $-0.8 \text{ W/m}^2$ <sup>[15]</sup>；IPCC第三次评估报告<sup>[10]</sup>对各种气溶胶所产生的直接辐射强迫进行了估计，硫酸盐的直接辐射强迫为  $-0.4 (-0.2—0.8) \text{ W/m}^2$ ，生物质燃烧所产生的气溶胶直接辐射强迫为  $-0.2 (-0.07—0.6) \text{ W/m}^2$ <sup>[2]</sup>；依据我国 1992-1993 年污染物排放资料，按简单的辐射模式估算：我国大气气溶胶的辐射强迫高值区集中在山东、江苏和四川等局部地区的冬、春季节，其值在  $-4 \text{ W/m}^2$  以上<sup>[4]</sup>。可以看出，估算的气溶胶辐射强迫是很粗略的，不确定性很大。根据石广玉等人<sup>[11]</sup>的研究，除了黑碳气溶胶可产生  $0.10 (\pm 0.10) \text{ W/m}^2$  的辐射强迫外，绝大部分气溶胶直接和间接辐射强迫分别为  $-0.50 (\pm 0.40) \text{ W/m}^2$  和  $-0.70 (-1.1, +0.4) \text{ W/m}^2$ ，两者总计可达  $-1.2 \text{ W/m}^2$ ，接近于工业革命以来主要温室气体  $\text{CO}_2$  所产生的  $1.66 \text{ W/m}^2$  辐射强迫。

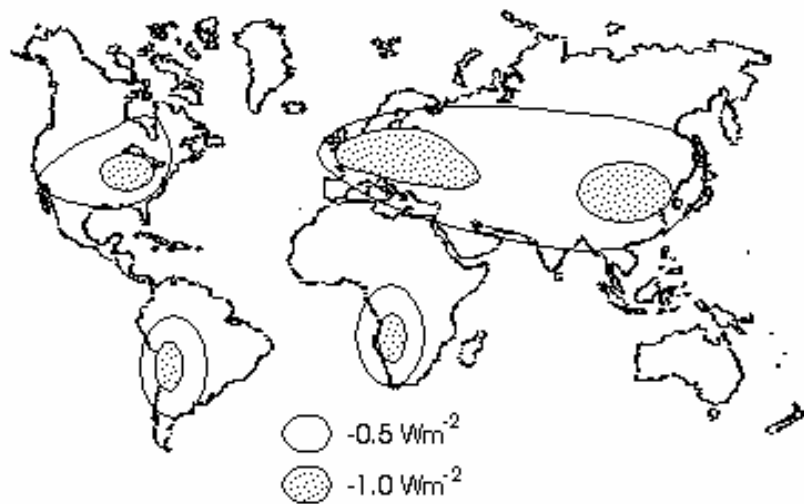


Fig.3 Annual global aerosol radiative forcing<sup>[20]</sup>

虽然气溶胶的辐射强迫与温室气体的辐射强迫符号相反、量级相当，但二者不能简单地抵消。原因<sup>[21]</sup>是：

首先，对流层气溶胶的寿命只有几天到几周，它对辐射的作用集中在排放源附近，而且基本上只影响北半球，而温室气体的寿命是十几年到百年的时间尺度，已经在全球范围内产生影响；

其次，气溶胶主要是对白天的太阳辐射产生影响，且对夏季低纬度地区的影响较大，而温室气体昼夜都有影响，且对冬季中高纬度地区的影响大；

此外，气溶胶对辐射的影响与下垫面的光学性质关系极大，对于同样光学厚度的气溶胶，下垫面光学性质不同时，它对辐射的影响会有很大的差别，甚至引起相反的作用，而温室气体的影响基本上与下垫面的性质无关。

### 3 大气气溶胶对城市日照时数的影响

城市中由于各种燃料燃烧时放出的大量废气和烟尘、汽车尾气以及地面扬起的尘埃使空气成份发生变化而变得混浊不堪，降低了大气的透明度。太阳直接辐射经过大气层时，因城市大气气溶胶对太阳直接辐射产生的吸收和散射作用使得大气透过率降低，这样直接减少了城市的日照时数。特别是太阳高度角较低时，城市气溶胶光学厚度较大，这种削弱更加明显；云量增多、云滴浓度增大也间接减少城市的日照时数<sup>[15]</sup>。

深圳市气象台统计资料表明，深圳市日照百分率由 1954-1980 年的 50% 下降到 1981-1986 年的 43%，而 1987-1998 年下降到 41%。

周淑贞等<sup>[22]</sup>通过对比上海市 1959-1988 年 30 年的市区与郊区日照时数和日照百分率发现：市区日照时数和日照百分率的多年平均值、最高值、最低值都比郊区低，且城郊日照百分率的差值有明显的季节变化，差值以秋季最高，冬季次之，夏季最小（图 4）。他们通过分析认为在秋冬季市区与郊县的云量、雾日数和晴天数的差值最大，同时秋冬季北郊宝山的风向多偏北，处于市区的上风向，受城市气溶胶的影响较小，而且上海市区大气气溶胶浓度又以秋冬季最高。

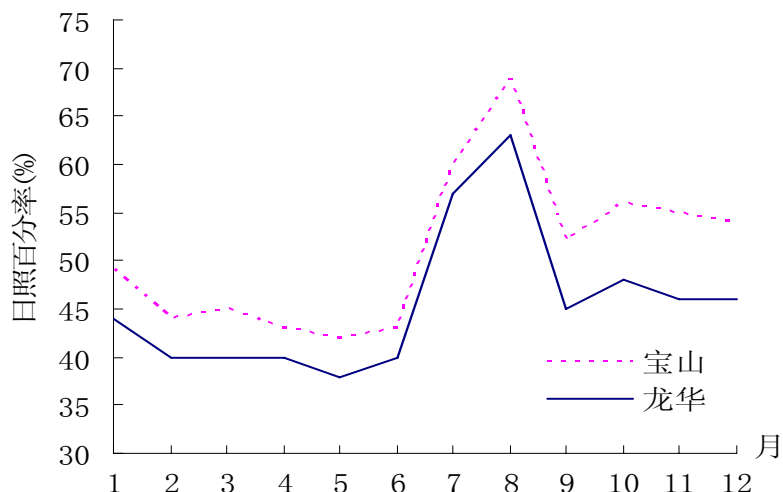


图 4 上海市区（龙华）与北郊宝山日照百分率平均值（1960-1980）的逐月变化

周淑贞等人<sup>[22]</sup>通过研究上海市龙华与东郊川沙逐年日照时数差值的变化发现：1959-1967 年间，两地的差值呈正负摆动，9 年平均差值市区高于川沙 47.4h/a；1968-1976 这 9 年间市区均低于郊区，差值平均值为-78.2h/a；1977-1989 这 13 年间差值平均值为-194.4h/a，且 1989 年市区日照时数比川沙少 377.3h。可见，虽然两地天文因素和气候因素都很相似，但 31 年来日照时数出现了巨大的差异，这显然与上海城市发展、燃料结构的变化、燃煤量的增加和气溶胶浓度的增加密切相关。

在国外，有学者研究了伦敦 1957-1963 年间市区与郊区日照时数和大气气溶胶浓度的关系发现：因伦敦冬季燃煤引起大气烟尘和硫酸盐气溶胶浓度的加大，导致市区与郊区的日照时数差值在 12 月和 1 月最大；1957 年以后伦敦市区气溶胶浓度逐年递减，日照时数有逐年增加的趋势，市区与郊区日照时数的差值逐年减少，可见大气气溶胶对城市日照时数的影响相当明显。

## 4 大气气溶胶对城市云的影响

气溶胶粒子的存在是云形成的前提。在现代地球大气的温湿条件下，如果没有气溶胶粒子，将永远不会形成云，因此，气溶胶增加的一个最直接的影响是使云滴的数量增加。云增加，一般而言是使地表降温，当然也会引起降水的增加，进而影响地表湿度和植被状况，改变地表反照率，进一步影响气候，这一系列问题至今无法定量计算，是研究气溶胶气候效应的最重要、极为困难的课题<sup>[21]</sup>。

城市云量尤其是低云量比郊区多，最重要的原因是城市大气气溶胶污染比郊区严重，这些气溶胶粒子多为吸湿性颗粒，增加CCN含量，常使城市下风向云量增加，使云滴浓度增大。美国 1971-1975 年都市气象试验（METROMEX）观测发现：在工业城市圣路易斯下风向的CCN数浓度和含水量都比上风向大。根据周淑贞<sup>[22]</sup>对上海 1960-1989 这 30 年市区和郊区同时期低云量均值比较，发现市区低云量逐渐增加，变幅明显，同期郊区低云量几本不变，可以看出市区低云量的变化并不源于区域气候因素，主要源于大气气溶胶含量的增加。

## 5 大气气溶胶对城市能见度的影响

城市大气气溶胶中的颗粒物易造成能见度降低、引发灰霾天气。灰霾其实就是弥漫在城市上空、浑浊的具有严重危害的混合气溶胶。我国有黄淮海地区、长江河谷、四川盆地和珠江三角洲四大严重灰霾区。

近年来，由于深圳市建筑、汽车尾气、化工生产、生活燃料等的大量消耗等原因，造成以氮化物为主的污染源的大气结构，大大地促进了霾和轻雾的生成。同时，它们的浓度也有变浓的趋势。

从图 5 可以看出，广州的灰霾天数由 70 年代以前的每年几天增加到 70 年代以后的每年 100 多天；根据广州热带海洋气象研究所的研究报告，珠江三角洲其他城市都有相同的规律性；这足以说明，以能见度观测的灰霾天数与城市化、工业化和污染物排放密切相关。该研究报告指出，珠江三角洲大气灰霾非常严重，珠江三角洲普遍存在气溶胶造成的光化学烟雾细粒子污染。

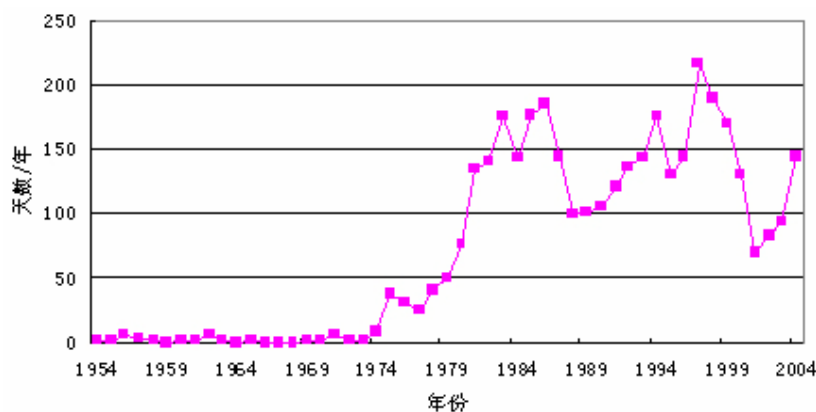


图 5 广州灰霾天数 1954-2004 年逐年变化图(参照广东省气象局吴兑研究研究成果)

光波在大气中传播时，因受到气溶胶和气体分子的散射和吸收作用而被削弱，从而造成大气能见度下降，在大气污染严重的城市尤为明显。大气消光系数是气溶胶消光系数和气体分子消光系数的和，在低层大气中气溶胶消光系数远远大于气体的消光系数。随着城市工业规模的扩大和城市化进程的加快，大气气溶胶污染日趋严重，由气溶胶造成的能见度恶化事件越来越多。大气能见度与气溶胶粒子的散射能力关系最密切，能见度的恶化主要与细粒子关系有关，尤其是出现较严重气溶

胶污染时。在城市尺度，我们一般考虑局地的大气气溶胶降低能见度的效应，即烟羽效应，这主要由近源一次性污染物引起的。

20 世纪 70 年代以来各国学者先后开展了对气象能见度的研究工作，讨论了城市气溶胶、化石燃料燃烧和空气湿度、能见度之间的关系<sup>[23]</sup>。据美国西南部 17 个机场气象站 25 年的气象资料，发现城市能见度衰退，且城郊差异明显。能见度与AOD密切相关，可直接反映大气气溶胶的消光系数。

能见度一般定义<sup>[15]</sup>为： $V_L = \frac{3.912}{\sigma}$ 。  $V_L$  为水平气象能见度（m或Km）； $\sigma$  为人眼对可见光敏感波长 0.55mm的大气消光系数，在近地面主要受气溶胶控制。若其他因素相同， $V_L$  与  $\sigma$  成反比。

在《全球气候变化和区域空气污染的双赢战略》报告<sup>[24]</sup>中，丁一汇院士通过分析青海瓦里关站和 44 大城市的环境资料指出，从 60 年代到 90 年代，中国城市气溶胶含量是在不断增加的，空气污染在很多城市比较严重，表现形式就是灰霾天气，从 60 年代后，霾日的频率在不断增加。特别指出，深圳在 80 年代初，其霾日的发生率约为一年几天，平均能见度为 21Km，到 2004 年，一年中霾日数为 170 天，平均能见度降至 11Km。

罗云峰等人<sup>[25]</sup>研究发现，从 1961 年到 1990 年，福州、广州、海口和南宁 4 站 14 时的地面能见度均呈明显下降趋势（图 6）。地面能见度的变化主要受低层大气气溶胶状况的影响，因此，地面能见度的明显减小说明低层大气气溶胶粒子含量的显著增多。

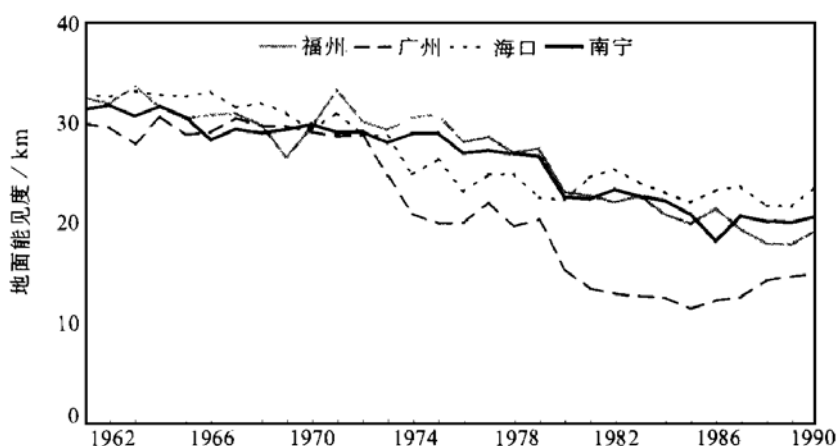


图 6 福州、广州、海口和南宁 4 站 1961-1990 年每日 14 时地面能见度的年平均变化<sup>[25]</sup>

章澄昌<sup>[23]</sup>统计了南京 1955-1966 和 1970-1985 共 28 年的能见度及有关要素资料，计算了 08 和 12h能见度的参考分布和历年平均经验相关变换值，得出结论有：随着南京市耗煤量和焦炭量的增加，城市大气气溶胶含量明显增加，能见度降低；并指出能见度与相对湿度和大气稳定度有关。苏维翰<sup>[26]</sup>研究发现：北京自 1970-1979 年平均每年增加耗煤量约为 750Kt，耗煤量每增加 1Mt，能见度约降低 0.1 级（约为 0.6-1.0Km），此期间小于 4Km的低值能见度出现频率随之增加，相关系数超过 0.97。1983-1985 在京津地区现场观测<sup>[26]</sup>发现：大气中主要颗粒污染物硫酸盐和含碳化合物对大气能见度降低起重要作用，两者对消光系数的贡献值分别为 52%-58%和 22%-29%。美国一些城市的统计结果表明：人为气溶胶对大气能见度的影响，从 50 年代中期至 70 年代后期，能见度减小 10%-30%，在城市中心能见度和人口稀疏的郊区相比减小 60%。

## 6 大气气溶胶对降水的影响

很多学者开展了城市气溶胶对降水影响的研究，但科学界对此有过很多争议。Rotstajn<sup>[27]</sup>和Feichter<sup>[28]</sup>曾提出人为气溶胶可能是影响非洲Sahel地区降水的一种机制。他们通过利用各不同的大气环流模式分别与混合层海洋模式耦合，进行了响应人为气溶胶增加的平衡试验，结果表明，由不同的人为气溶胶效应所引起的LST在任何地方都是减小的，这种冷却在北半球最大，改变了大西洋SST的经向梯度，这种效应加强了信风，减弱了非洲季风强度，从而导致了Sahel地区的干旱。Xu<sup>[29]</sup>的研究结果表明我国工业化排放的硫酸盐气溶胶使得陆地温度降低，导致海陆温差减小，夏季风偏弱，进而造成我国夏季雨带南移，使我国东部夏季出现“南涝北旱”的格局。Menon<sup>[30]</sup>利用GISS全球模式研究气溶胶对气候的影响，认为黑碳气溶胶对我国近年来的夏季降水“南多北少”的趋势有加剧作用。Li等<sup>[31]</sup>通过研究认为硫酸盐气溶胶的增加导致长江中下游地区云量和降水量减少，而中国东部云量和降水量增加。都市气象试验（METROMEX）证实了城市有使市区及下风向降水增多的效应（城市雨岛效应）。章澄昌<sup>[32]</sup>通过研究发现，随着北京城市建设的发展，城市气溶胶浓度的增大使得城市雨岛强度逐年增强。

当然，气溶胶主要是通过影响云的微物理性质，进而改变云滴谱的大小和数量及云的生命期对水循环产生影响。气溶胶通过两个方面影响降水：一方面，散射性气溶胶的辐射强迫减少了到达地面的太阳辐射，较少水分蒸发，大气稳定度增加也会减弱对流，吸收性气溶胶通过吸收太阳辐射加热周围的大气，使云中水汽蒸发而不易形成降水，即云的“燃烧作用”，这都会减小降水量或降水发生的机率；另一方面，吸湿性气溶胶粒子的存在为云提供了充足的CCN，这样大大提高了云滴数量，进而增加降水的可能性。

如果空气中只有很少量的气溶胶粒子，那么水滴会很快变大，在足够多的水汽凝结之前就会降落下来。如果空气中有很多气溶胶粒子，那么将产生更多的水滴，但尺度比较小，在空气中停留的时间也会更长一些。这些水滴蒸发释放的热量有可能使它们重新上升，从而在下一轮凝结过程中，变成更大的水滴，这种情况就有可能下暴雨。但是，在污染很严重的空气中，过剩的气溶胶粒子很多，水滴普遍偏小而达不到降雨的级别，除此之外，很多小的气溶胶粒子悬浮在空气中，就像给地球表面打了一把遮阳伞。因此气溶胶对雨滴的形成作用和对能量的吸收和遮挡作用已经被分开考虑。

德国美因兹马克斯普朗克研究所主任Meinrat O. Andreae和他的研究团队近期研究发现，气溶胶会影响降水发生的时间、地点和降水量的大小。Meinrat O. Andreae指出气溶胶的数量和大气的状态之间的联系，可用一条曲线来表示。一开始，当气溶胶数量增多时，大气状态改变需要的能量也越多，当它达到一个顶点后就开始下降。在曲线顶点之前，气溶胶越多，降雨量越大；在此顶点之后，过多的气溶胶会使降雨量减少。该曲线的峰值是 $1200\text{CCN}/\text{cm}^3$ <sup>[33]</sup>，在这一浓度上，降雨和气溶胶数量匹配得最好。

在我国，陕西省气象科学研究所科研小组在国际知名专家以色列 Rosenfeld 教授的指导下，针对气溶胶对地形降水的影响开展了深入研究。

## 7 大气气溶胶城市气候效应研究存在的难题

过去 10 年来，国际全球大气化学（IGAC）组织进行了一系列的气溶胶观测试验（Aerosol

Characterization Experiment, ACE), 其目的是减小评价气溶胶气候影响的不确定性, 增加对多相大气化学系统的理解, 为未来的气候效应研究提供诊断分析。这些计划包括在南澳大利亚海域进行的气溶胶特征试验ACE-1、在东北大西洋海域进行的ACE-2、在印度洋海域进行的INDOEX和在西北太平洋海域进行的ACE-Asia等。1995—1999年间进行的INDOEX观测计划发现在印度洋上空有一约3 km厚、相当于美国陆地面积大小的棕色污染云团称之为亚洲棕色云团(Asia Brown Clouds), 后改为大气棕色云团(Atmospheric Brown Clouds,简称ABC)<sup>[21]</sup>。而我国气溶胶的气候效应研究起步较晚, 毛节泰、石广玉<sup>[11]</sup>、王明星<sup>[1,3,21]</sup>、章澄昌<sup>[23,32]</sup>、徐祥德<sup>[15]</sup>、张小曳<sup>[2]</sup>、张华<sup>[34,35]</sup>等人在该领域作了大量有益的工作。然而有关于气溶胶的城市气候效应研究还存在很多的难题。

- (1) 气溶胶具有高度的时空可变性, 确定其“源”强及时空分布很难;
- (2) 对于气溶胶的理化、光学性质认识不够充分, 特别是对于气溶胶和云的物理化学过程认识不清;
- (3) 很难量化气溶胶的形成、发展、清除等过程;
- (4) 大气气溶胶直接和间接气候效应的数值模拟存在很大的不确定性, 使得气溶胶成为气候变化中最不确定的因子;
- (5) 耦合气溶胶影响的气候模式精度不高, 仍存在很大的不确定性, 难以统一。

## 8 结论和展望

### 8.1 结论

总体而言, 对于大气气溶胶城市气候效应的研究虽多, 但结果仍有很大的不确定性。总结前人的研究成果, 可以得出以下几点比较成熟的结论。

- (1) 气溶胶对城市气候的影响可分为两大方面, 即直接影响和间接影响。气溶胶对气候的直接影响是指大气中的气溶胶粒子吸收和散射太阳短波辐射和地面长波辐射从而影响地-气辐射收支; 间接影响是指气溶胶作为云凝结核(CCN)通过改变云的宏观、微观特性, 特别是改变云的生命期和光学特性来间接影响气候;
- (2) 一般认为城市大气气溶胶的直接辐射强迫为负效应, 使地表降温。气溶胶粒子的增多会增加云滴数浓度, 云的平均尺度减小, 从而使的云反照率变大, 尤其是低云的反照率。气溶胶的辐射强迫与温室气体的辐射强迫相反、量级相当, 但二者不能简单地抵消;
- (3) 城市气溶胶增多可对太阳直接辐射产生的吸收和散射作用使得大气透过率降低, 直接减少了城市的日照时数, 也会使得云量增多、云滴浓度增大也间接减少城市的日照时数;
- (4) 气溶胶增加直接使云滴的数量增加, 城市云量尤其是低云量比郊区多, 最重要的原因是城市大气气溶胶污染比郊区严重;
- (5) 城市化进程加快会增加气溶胶中硫酸盐和有机碳的浓度, 城市“浊雾”出现概率增加, 雾的质量明显下降, 城市雾日减少的趋势可能会被遏制, 甚至会出现严重的光化学污染;
- (6) 城市大气气溶胶中的颗粒物易造成能见度降低、引发灰霾天气;
- (7) 气溶胶对于城市降水是正效应还是负效应, 争议颇多, 但Meinrat O. Andreae等人的研究成果值得信任, 他们指出气溶胶的数量和大气的状态之间的联系, 可以用一条曲线来表示。在曲线顶点之前, 气溶胶越多, 降雨量越大; 在此顶点之后, 过多的气溶胶会使降雨量减少。该曲线的峰值是

1200CCN/cm<sup>3</sup>，在这一浓度上，降雨和气溶胶数量匹配得最好；

## 8.2 展望

气候变化面临的重大难题是评估其不确定性，而气溶胶是评估中不确定性最大的因子，为准确评估气溶胶对城市气候的影响，以下几个方面的问题值得进一步研究。

- (1) 加强气溶胶观测是研究气溶胶气候效应的第一要务，可利用天基、空基、地基一体化的立体综合观测方法，在城市尺度上给出准确的气溶胶光学厚度、谱分布和时空分布参数；
- (2) 建立更完善的城市气溶胶及其主要前体物排放的清单，加强对城市气溶胶“源”强的认识；
- (3) 加强城市气溶胶在大气中循环过程的认识，特别是形成机制、输送过程和清除机制，着力提取气溶胶的混合状态和吸湿特性的特征量；
- (4) 发展城市气溶胶关键光学特征参数的卫星和地基遥感反演算法；
- (5) 改进适合于城市气溶胶研究的辐射传输模式和气候影响评价模式；
- (6) 建立能够合理表达气溶胶-城市云关系的参数化方案，逐步确定气溶胶对城市气候的间接影响；
- (7) 确定气溶胶的各种效应在城市气候模式中的表示，评估气溶胶对整个气候系统的各种作用及反馈作用，加强气候系统易变性和脆弱性的研究，实现气溶胶城市气候效应模式和气溶胶化学数值模拟的成功耦合。

总而言之，大气气溶胶对城市气候的影响是多方面的、综合的、复杂的，其中存在很多不确定性值得我们深入研究。“多尺度气溶胶综合观测和时空分布规律研究”和“气溶胶-云-辐射反馈过程及其与亚洲季风相互作用的研究”等重大项目的实施，势必会提高我国对于气溶胶气象学/气候学的认知水平，为国家气候变化外交、区域大气污染预报和控制科技和决策支持方面不断做出新的贡献。气溶胶不仅仅对城市气候可产生影响，其对城市环境和人体健康的影响也值得探讨，而且，进行多种尺度的气溶胶气候效应研究意义重大。值得注意的是，气溶胶的城市气候效应是一把双刃剑，减少城市气溶胶的含量的确可以改善城市环境，改善城市日照、热力和水分条件，从而更适宜人类居住，但减少散射性气溶胶的排放势必会减弱其冷却效应，是否会加快全球变暖的步伐，也值得深入研究，无论怎样，人类都应该有序活动、珍爱地球家园。

## 参考文献：

- [1] 王明星，张仁健.大气气溶胶研究的前沿问题[J].气候与环境研究.2001.6(1):119-123.
- [2] 张小曳.中国大气气溶胶及其气候效应的研究[J].地球科学进展.2007.22(1):12-15.
- [3] 王明星.气溶胶与气候[J].气候与环境研究.2000.5(1):1-5.
- [4] 高庆先，任阵海，姜振远.人为排放气溶胶引起的辐射强迫研究[J].环境科学研究.1988.11(1):5-9.
- [5] 付培健，王世红，陈长和.探讨气候变化的新热点：大气气溶胶的气候效应[J].地球科学进展.1998.13(4):387-391.
- [6] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Solomon S, Qing D H, et al. Eds. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY. USA, 2007.
- [7] 张仁健，符淙斌，曹军骥等.气溶胶在全球气候变化、环境和人类健康中的作用[J].年全国粉体工



业技术大会. 2007:100-105.

- [8] Charlson,R.J., Langner J., and Rodhe H., Sulfate aerosol and climate[J]. Nature.1990. 348:22-24.
- [9] Ramanathan V., Crutzen P.J., Kiehl J.T., and Rosenfeld D. Aerosol, climate, and the hydrological cycle. Science. 2001.294:2119-2124.
- [10] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton JT , Ding Y, et al , Eds. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY. USA. 2001: 881.
- [11] 石广玉, 王标, 张华等.大气气溶胶的辐射与气候效应[J].大气科学.2008.32(4):826-833.
- [12] IPCC. Climate Change. The IPCC Scientific Assessment .Houghton J T , Jenkins GJ , et al , Eds. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY. USA. 1990: 365.
- [13] 夏祥鳌, 王明星.气溶胶吸收及气候效应研究的新进展[J].地球科学进展.2004.19 (4):630-634.
- [14] Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P , et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Climate Change 2007 , Solomon S , et al . Eds., 2007.
- [15] 徐祥德, 汤绪等.城市化环境气象学引论[M].气象出版社.2002:139-174.
- [16] Pueschel,R,F. Potential Climate Effects of Anthropogenic Aerosols. Aerosol Effects on Climate [M]. S.G. Jennings Ed. The Univ. of Arizona press.1993:110-132.
- [17] John L. Monteith. Principles of Environmental Physics[M]. London: Edward Arnold.1973: 172.
- [18] 桑建国, 刘万军.冬季城市边界层风场和温度场结构分析[J].气象学报.1990.48(4): 459-468.
- [19] 王体健等.中国地区硫酸盐气溶胶的分布特征[J].气候与环境研究.2000.5(2):165-174.
- [20] Atmospheric Aerosols & Climate Change.  
[http://www.ace.mmu.ac.uk/Resources/Fact\\_Sheets/Key\\_Stage\\_4/Climate\\_Change/04.html](http://www.ace.mmu.ac.uk/Resources/Fact_Sheets/Key_Stage_4/Climate_Change/04.html).
- [21] 王明星, 郑循华.大气化学概论[M].气象出版社.2005:70-85,113-115,176-177.
- [22] 周淑贞, 束炯.城市气候学[M].气象出版社.1994.
- [23] 章澄昌.南京地区气象能见度变化趋势和特征分析[J].北京气象学院学报.1991.1:36-32.
- [24] 丁一汇. 全球气候变化和区域空气污染的双赢战略[R].中国环境与发展国际合作委员会圆桌会议.2008
- [25] 罗云峰,吕达仁,何晴,王凡. 华南沿海地区太阳直接辐射、能见度及大气气溶胶变化特征分析.气候与环境研究.2000.5(1):36-43.
- [26] 苏维翰等.京津地区大气污染对大气能见度的影响[J].中国环境科学.1986.6(3):24-28.
- [27] Rotsayn L D and U.Lohmann. Tropical rainfall trends and the indirect aerosol effect [J]. Journal of Climate. 2002.15(15):2103-2116.
- [28] Feichter J, E Roeckner, U Lohmann, et al. Nonlinear Aspects of the Climate Response to Greenhouse Gas and Aerosol Forcing [J]. Journal of Climate.2004.17:2348-2398.
- [29] Xu Q. Abrupt change of the mid-summer climate in central east China by the influence of atmosphere pollution[J]. Atmospheric Environment. 2001.35:5029-5040.
- [30] Menon S, Hansen J, Nazarenko L, Luo Y F. Climate effects of black carbon aerosols in China and India[J]. Science.2002.297:2250-2253.

- [31] Li Lijuan, Wang B and Zhou T. Contributions of natural and anthropogenic forcing to the summer cooling over eastern China: An AGCM study[J]. Geophys. Res. Lett. 2007.34.L18870.
- [32] 章澄昌.北京城市发展对降水和湿度的影响.北京气象学院学报.1995.1:84-88.
- [33] Daniel Rosenfeld, Ulrike Lohmann, Graciela B. Raga etc. Floods of drought: How do aerosols affect precipitation? [J]. Science. 2008.321(5):1309-131
- [34] 张华, 马井会, 郑有飞.黑碳气溶胶辐射强迫全球分布的模拟研究.大气科学.2008.32(5):1147-1158.
- [35] 张华, 王志立.黑碳气溶胶气候效应的研究进展.气候变化研究进展.2009.5(6):311-317.

## The study on climate effects of atmospheric aerosols in urban areas

Wang wei

(1. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044; 2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

### ABSTRACT

The climatic effects of atmospheric aerosols in urban areas have been one of the key issues in understanding the regional climate change. The corresponding frontier and principle are summarized from five aspects: effects on radiance, sunlight hours, cloud, visibility and precipitation. Then, the scientific issues to be solved are highlighted and discussed. Finally, the main trends of climatic effects of atmospheric aerosols in urban areas are pointed out. Putting emphasis on the research can not only reduce uncertainty, but also enhance the reliability of regional climate forecast, as well as provided advice and strategy for lessen pollution. Of course, the importance of aerosols in environment and human health should be analyzed intensively in the future.

**Keywords:** aerosol; urban areas; climate change

**致谢和体会:** 感谢 Professor Claude Boutron、Ned Helme、Klaus Fraedrich、Steven Jone Ghan、Jone A.Ogren and Nakajima Teruyuki 在课堂上授予了终身受用的科学视野和思维; 感谢第七届 ISCS 会务组付出的艰辛劳动和周到服务; 本文构思受中科院遥感应用研究所顾行发所长和陈良富研究员所讲解的气溶胶遥感课程启发, 后经第七届 ISCS 学习, 完善充实后成稿。“不唯上、不唯书、只唯实”对于科研有着现实的指导意义, 全球变暖已是不争的事实, 但对于全球变暖的成因, 国际上仍众说纷纭, 是人为原因, 还是地球处于 1500 冷暖周期的暖期之中? 我无法给出明确答案。“寄蜉蝣于天地, 渺沧海之一粟”, 人类对于宇宙的认识依然“路漫漫其修远兮”, 为了认清那些与人类息息相关的问题, 我们必须打破套在科学躯体上的政治枷锁, 做一个眼界开阔、实事求是的气象人, 看看《Unstoppable Global Warming: Every 1500 Years》之类书籍, 你我会有辩证思考的意识和体会。

# 第七届气候系统与气候变化国际讲习班学习心得

王宗明

(南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044)

今年是我第一次参加气候系统与气候变化国际讲习班, 在这短短的两周时间里, 能够有幸聆听在气候变化领域知名的专家关于气候变化各个方面的真知灼见, 真是受益匪浅。他们从各自的角度讲解与列举了全球变化的现象、观测设备和方法、模拟分析与预测, 并科学的解释了变化的可能原因, 提出了对气候变化的适应与减缓的种种政策与建议, 让我对气候变化这个受到全球瞩目的问题有了全面、广泛而深刻的认识。

其中 Claude Boutron 教授是一位专注于研究冰原冰芯的专家, 他的工作主要包括冰芯内气候变化信息的诊断以及冰原重金属等微量元素浓度变化的监测, 他指出科技是一把双刃剑, 南、北极由于人类活动已受污染。众所周知, 冰冻圈是气候系统的重要组成部分之一, 作为冰冻圈中重要一员的两极海冰, 是大气热机中的冷源, 两极海冰的气候效应一直是气候研究中的焦点。极冰的变化受到大气和海洋条件的影响; 相反, 极冰也可以通过改变表面反照率以及大气和海洋间热量、动量等的交换来影响大气环流并调节气候。在这里, 我结合自己学习兴趣和 Claude Boutron 教授的讲座, 浅谈一下气候变化与北极海冰的关系, 以及由此引出的对 Ned Helme 先生应对气候变化政策和建议的思考。同时感谢其他几位教授关于气溶胶方面的独特见解以及模式方面对我的启发, 感谢会务组各位老师的辛勤工作。

## 1 海冰的基本特征

海冰的生成<sup>[1]</sup>取决于海水的盐度, 当盐度不超过24.69 (按千分比计) 时, 海水表面气温逐渐下降时, 表层海水的温度首先达到密度最大温度, 于是海水下沉, 形成对流, 并在气温下降至结冰温度时, 不在下沉, 表层海水直接结冰; 如果盐度超过了24.69, 那么密度最大时温度小于结冰温度, 当海面气温下降, 表层海水由于降温而密度变大继而下沉, 下层较为温暖的海水上升, 形成对流, 一直到海水结冰为止。海冰可以在海水中的任一个深度开始形成, 海冰生成以后, 由于密度比海水小, 会逐渐上升, 和海面生成的海冰结合, 使海面的海冰逐渐变厚。相比海水和陆地而言, 海冰有其自身特性<sup>[2]</sup>: 海冰有比地表高出60%的反照率, 大大减少了地表或者海洋对太阳辐射的吸收, 它的融化会吸收大量的热能, 稀释海水的含盐度, 并且通过覆盖洋面减弱了海洋与大气之间的热交换, 抑制了海水对大气的感热输送。

冬季北极附近海冰方差大值区主要分布在戴维斯海峡、格林兰海、巴伦支海<sup>[3]</sup>。作为高纬度地区大气下垫面的海冰, 它的异常变化可以导致半球乃至全球大气环流的异常, 武炳义等<sup>[4]</sup>研究发现, 冬季喀拉海、巴伦支海以及格林兰海海冰面积变化与ENSO事件有很好的对应关系, 并且海冰变化具有超前性, 另外, 在气候系统的年代际变化中, 北极海冰也具有重要的影响, 所以海冰不但对高纬度地区以至极地地区的水文、热力循环、洋流和生态系统都有重大影响, 而且通过大气环流的作用, 对较低纬度地区的气候变化也有至关重要的影响。

## 2 全球升温背景下的北极海冰

近年来, 随着温室效应进一步增强, 北半球中高纬显著升温, 北极海冰的面积和厚度都发生了重要变化。在1975年世界气象组织(WMO)的斯德哥尔摩“气候的物理基础及其模拟”

国际学术讨论会中，Kutzbach就曾预言，在下一个世纪中，人为因素导致的气候变暖趋势将会增长，北极的大西洋地区可能是一个关键性地区，这一地区的周围实际上是一些严重的热污染和大气污染源地，而且对海冰的变化非常敏感。对国际社会和各国政府制定经济社会发展政策，适应和减缓气候变化有一定指导和促进作用的IPCC第四次评估报告指出：1906-2005年全球地表温度上升了0.74℃，北半球高纬度地区温度升幅较大，海平面上升，积雪和海冰面积减少与变暖相一致。在全球升温的气候背景下，极地海冰变化引起了气象学家们广泛的研究兴趣。Chapman等<sup>[5]</sup>探讨了北极海冰的变化趋势，发现冬季北极整体海冰变化趋势并不显著，但海冰的变化具有显著的区域性，一些海区的海冰呈相反的变化趋势。例如戴维斯海峡以及哈得孙湾四季海冰皆逐渐增加<sup>[6]</sup>。Gloersen等<sup>[7]</sup>认为1978—1987年北半球冰盖有小而显著的负趋势。1978—1996年以来，北极海冰各季节均减少，春季最大、秋季最小，变化的区域性特征表现在欧洲沿岸减少最快<sup>[8]</sup>。Maslanik等<sup>[9]</sup>的研究表明，北极海冰在1979年以来面积的总变化趋势是负值，尤其在夏季。Cavalieri等<sup>[10]</sup>观测研究的结果证实了Maslanik的研究，并认为北极海冰每10a减少2.9%。Clada等<sup>[11]</sup>发现冬季白令海与鄂霍次克海的海冰呈跷跷板的变化趋势，且与该海域表面气温的变化具有联系，而北大西洋海冰的变化与北大西洋涛动和北极涛动相联系。我国国内学者方之芳等<sup>[12]</sup>的研究表明，在1968~2000年间，北半球海冰减少是主要的变化趋势。冬季主要减少区域在格林兰海和巴伦支海，夏秋季则是北冰洋边缘海域。上述地区海冰的变化趋势占有海冰的年际变化50%左右的重要地位。20世纪80年代中后期北极海冰出现明显减少，1997年后，海冰又出现突然减少，其变化程度已远远超过一般的自然变化。

北极海冰的变化，对大气环流产生影响从而调节气候，就其热力性质来说，极冰对大气的影 响主要通过两种途径<sup>[13]</sup>：一是大大减少海气间的热量和 水气交换，二是极冰表层具有大的反照率，改变了辐射平衡。海冰的持续异常，首先由于局地效应，地面气温和SLP发生明显变化，引起其上空高度场相应改变，继而通过遥相关波列的传播影响半球乃至全球大气环流。武炳义等<sup>[14]</sup>研究表明，喀拉海、巴伦支海海区海冰面积与大气500hPa高度场的EU遥相关型以及东亚冬季风之间存在密切关系：海冰偏多，则EU遥相关型容易出现，会导致亚洲大陆冷高压减弱，偏少则相反；当两海区海冰面积增大(缩小)时期，对应海区SLP升高(降低)，对应亚洲大陆冷高压处于减弱(增强)，同时北太平洋SLP也处于增幅(阶段)，造成东亚冬季风减弱(增强)趋势。曾刚等<sup>[3]</sup>研究表明，冬季北极附近戴维斯海冰区面积变化也与大气500hPa高度场的WA遥相关型、EU遥相关型以及东亚冬季风强弱之间存在密切的关系，表现为冬季该区海冰偏多，则WA型遥相关型容易出现，欧亚大陆则是EU遥相关型，造成西伯利亚高压减弱，致使东亚冬季风偏弱；偏少则相反。

从上述变化可以看出，北极海冰的变化与中国气温变化以及冷空气活动具有密切联系。EU等遥相关型的出现会造成西伯利亚高压和阿留申低压减弱，西风增强，冬季风减弱，不利于冷空气南下，造成中国冬季大部分地区温度偏高，受到这一影响严重的地区位于我国东北、西北和华北地区，这些地区也正是近几十年来我国升温较明显的区域，而且东亚冬季风的减弱也造成黄河流域、长江中下游流域及华南地区温度普遍升高。另外，张庆云等<sup>[15]</sup>研究指出中国降水系统不但受到热带季风环流和副热带季风环流的影响，还受中高纬度环流及其联系的冷空气的影响。杨修群等<sup>[16]</sup>通过数值试验研究发现，北极格陵兰海，巴伦支海极冰偏多，

导致亚洲夏季风环流特别是东亚季风环流增强、我国东南部降水偏多;东西伯利亚海波弗特海极冰偏多, 导致东亚夏季风环流减弱、我国东南部降水偏少, 而印度半岛季风增强。

### 3 应对措施

UNFCCC 认为气候变化主要是由于人类经济发展中的工业和其他碳氧化物的消费带来的大量温室气体所致。IPCC 的报告中, 气候变化是人类活动强迫与自然自身变率共同影响的结果。正如 Claude Boutron 教授列出的种种证据所表明, 人类活动已经影响人迹罕至的南、北极, 极地自然条件的变化又通过大气环流影响人类的生存和发展, 所以, 保护极区环境对人类实现可持续发展至关重要。

那么, 中国作为一个发展中国家, 如何去应对气候变化的现状? 如何为保护共同的极地环境做出贡献? 通过 Ned Helme 先生的讲解, 我了解到, 应对气候变化主要有两种途径, 即适应和减缓。适应主要是指国家对于在新的气候条件下产生的极端天气的防御能力和政府机构间应对气候变化的各类合作机制; 减缓则是从节能减排的角度降低人类强迫的影响, 减去不必要的能源消耗, 改善能源结构, 提高能源利用效率。就适应来说, 建议相关部门要制定专门的应对气候变化方案, 以便抑制气候变化造成的极端事件形成重大人员伤亡、财产损失; 对于气象灾害的监测、预警等加大投入, 使用更先进的设备确保预报准确性, 保障人民生命财产安全。就减缓来说, 由于气候变暖的直接原因是温室气体排放, 因此减少温室气体排放能够从根本上缓解气候变化, 这就涉及到清洁能源和可再生能源的使用, 可以采取法律、经济、技术等措施, 如根据排放征税、可贸易碳排放许可/补贴、CDM、新能源技术研发等, 确保减排的执行, 实现可持续发展。中国政府于 2007 年发布了《中国应对气候变化国家方案》, 采取一系列法律、经济、行政等手段, 减缓温室气体排放, 提高适应气候变化的能力, 彰显出我国政府对于气候变化的重视和作为一个负责任大国的态度, 为保护人类共同的极地环境作出贡献。

### 4 参考文献

- [1] <http://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E6%B5%B7%E5%86%B0>
- [2] 刘海文, 郜小青. 北极海冰及其与气候变化的关系研究进展[J]. 陕西气象, 2005(3):7~10.
- [3] 曾刚, 孙照渤, 闵锦忠. 冬季戴维斯海峡的海冰面积年际变化与东亚气候关系研究[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(4):476~482.
- [4] Wu Bingyi, Gao Dengyi and Huang Ronghui, 1997, ENSO events and interannual variation of winter sea-ice in the Greenland, the Kara and the Barents Seas, Chinese Science Bulletin, 42(16), 1382~1385.
- [5] Chapman W L, Walsh J E. Recent variations of sea ice and air temperature in high latitude[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2000, 74(1):33~47.
- [6] 谢小寒, 杨修群. 冬季北极海冰面积异常与中国气温变化之间的年际关系[J]. 南京大学学报(自然科学), 2006, 42(6):549~561.
- [7] Gloersen P, Parkinson C L, Cavalieri D J, et al. Spatial distribution of trends and seasonality in the hemisphere sea ice cover [ J ]. J Geophys Res, 1999, 104 ( c9 ) : 20827220835.
- [8] Claire L P, Donald J C, Gloersen P, et al. Arctic sea ice extents, areas, and trends [ J ]. J Geophys

Res, 1999, 104 ( c9 ) : 20837220856.

[9]Maslanik J A, SerrezeM C, Barry R G. Recent decreases in arctic summer ice cover and linkages to atmospheric circulation anomalies[ J ]. J Geophys Res, 1996, 23 (67) : 167721680.

[10]Cavalieri D J,Gloersen P,Parkinson C L,et al.Observed hemisphere asymmetry in global sea ice changes[J].Science, 1997,27(8):1104~1106.

[11] Clada Deser,Walsh J E,Timlin M.Arctic sea ice variability in the context of recent atmosphere circulation trends[J].J Climate,2000,13(3):617~633.

[12]方之芳,张丽,程彦杰.北极海冰的气候变化与20世纪90年代的突变[j].干旱气象,2005,23(3):1~11.

[13] Herman G F,Jhnson W S.The sensitivity of the general circulation to Arctic sea ice boundaries: A numerical experi- ment[J].Mon Wea Rev,1978,106(10):1649~1664.

[14]武炳义,黄荣辉,高登义.冬季北极喀拉海, 巴伦支海海冰面积变化对东亚冬季风的影响[J].大气科学,1999,23(3):267~275.

[15]张庆云,陶诗言.亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响[J].气象学报, 1998, 56 (2): 199-211.

[16]杨修群,谢 倩,黄士松.北极冰异常对亚洲夏季风影响的数值模拟[J].海洋学报,1994,16(5):34~40.

# 第七届气候系统与气候变化国际讲习班 (ISCS)

## 学习心得体会

Wei Lusi(韦露斯)  
Hehai University(河海大学)

First of all, very pleased to be able to attend international training workshop in this climate, I come from Hohai University, a school famous for its water discipline, as the direction of hydrology and meteorology graduate school, the honor of being the first school to participate in international climate system and climate change Workshop students. Undergraduate, I worked at Hohai University, Hydrology and Water Resources Engineering Study, involving meteorology something very basic, and relatively weak understanding of basic meteorological knowledge, that is, the formation and evolution of the weather, cognitive climate system, understanding of weather process. This is because the decision of a professional set up I have a better understanding and more adept in the theory of Runoff, surface underground runoff estimates, channel flood routing, humans, and the role of the combined effect of the natural world with natural basin or Xia administrative and territorial order of Geti's quantity and quality of rivers changes in spatial and temporal distribution. All this from the principle of hydrology, with a simple model framework to illustrate the most basic, is the hydrological cycle. In the past, hydrological-disciplinary research focused on the experience of more use in solving practical problems that really more effective. But this is a great uncertainty, is at risk, of course, can use statistical theory to solve these problems, but we need to be understood that vapor transport, transfer, conversion mechanism to control changes of theory to improve the level of research, which need help weather. I now study the problem of statistical downscaling, hydrological and meteorological studies as a key combination of hot issues to address high-altitude, near-surface and surface, shallow strata of response mechanism, although the experience is more focused on statistical methods, but just depends on the certainty of its applicability section, which requires good physical mechanism to study, to grasp a fundamental change in the climate system for the hydrological cycle studies provide strong support.

following is my some knowledge about simpler models representing the global system:

### **1. Lower Complexity**

An important concept in climate system modeling is that of a spectrum of models of differing levels of complexity, each being optimum for answering specific questions. It is not meaningful to judge one level as being better or worse than another independently of the context of analysis. What is important is that each model be asked questions appropriate for its level of complexity and quality of its simulation.

The most comprehensive models available are AOGCMs. These models, which include more and more components of the climate system, are designed to provide the best representation of the system and its dynamics, thereby serving as the most realistic laboratory of nature. Their major limitation is their high computational cost. To date, unless modest resolution models are executed on an exceptionally large-scale distributed computed system, as in the climate prediction net project (Stainforth et al., 2005), only a limited number of multi-decadal experiments can be performed with AOGCMs, which hinders a systematic exploration of uncertainties in climate change projections and prevents studies of the long-term evolution of climate. At the other end of the spectrum of climate system model complexity are the so-called simple climate models (see

Harvey et al., 1997 for a review of these models). The most advanced simple climate models contain modules that calculate in a highly parametrized way (1) the abundances of atmospheric greenhouse gases for given future emissions, (2) the radioactive forcing resulting from the modeled greenhouse gas concentrations and aerosol precursor emissions, (3) the global mean surface temperature response to the computed radioactive forcing and (4) the global mean sea level rise due to thermal expansion of sea water and the response of glaciers and ice sheets. These models are much more computationally efficient than AOGCMs and thus can be utilized to investigate future climate change in response to a large number of different scenarios of greenhouse gas emissions. Uncertainties from the modules can also be concatenated, potentially allowing the climate and sea level results to be expressed as probabilistic distributions, which is harder to do with AOGCMs because of their computational expense. A characteristic of simple climate models is that climate sensitivity and other subsystem properties must be specified based on the results of AOGCMs or observations. Therefore, simple climate models can be tuned to individual AOGCMs and employed as a tool to emulate and extend their results (e.g., Cubasch et al., 2001; Raper et al., 2001). They are useful mainly for examining global-scale questions. To bridge the gap between AOGCMs and simple climate models, EMICs have been developed. Given that this gap is quite large, there is a wide range of EMICs (see the reviews of Saltzman, 1978 and Claussen et al., 2002). Typically, EMICs use a simplified atmospheric component coupled to an OGCM or simplified atmospheric and oceanic components. The degree of simplification of the component models varies among EMICs. Earth System Models of Intermediate Complexity are reduced-resolution models that incorporate most of the processes represented by AOGCMs, albeit in a more parametrized form. They explicitly simulate the interactions between various components of the climate system. Similar to AOGCMs, but in contrast to simple climate models, the number of degrees of freedom of an EMIC exceeds the number of adjustable parameters by several orders of magnitude. However, these models are simple enough to permit climate simulations over several thousand of years or even glacial cycles (with a period of some 100 kyr), although not all are suitable for this purpose. Moreover, like simple climate models, EMICs can explore the parameter space with some completeness and are thus appropriate for assessing uncertainty. They can also be utilised to screen the phase space of climate or the history of climate in order to identify interesting time slices, thereby providing guidance for more detailed studies to be undertaken with AOGCMs. In addition, EMICs are invaluable tools for understanding large-scale processes and feedbacks acting within the climate system. Certainly, it would not be sensible to apply an EMIC to studies that require high spatial and temporal resolution. Furthermore, model assumptions and restrictions, hence the limit of applicability of individual EMICs, must be carefully studied. Some EMICs include a zonally averaged atmosphere or regional averaged oceanic basins. In a number of EMICs, cloudiness and/or wind fields are prescribed and do not evolve with changing climate. In still other EMICs, the atmospheric synoptic variability is not resolved explicitly, but diagnosed by using a statistical-dynamical approach. A priori, it is not obvious how the reduction in resolution or dynamics/physics affects the simulated climate. At large scales most EMIC results compare well with observational or proxy data and AOGCM results. Therefore, it is argued that there is a clear advantage in having available a spectrum of climate system models.

## **2. Simple Climate Models**

A simple climate model is utilized in this report to emulate the projections of future climate change conducted with state-of-the-art AOGCMs, thus allowing the investigation of the



temperature and sea level implications of all relevant emission scenarios (see Chapter 10). This model is an updated version of the Model for the Assessment of Greenhouse-Gas Induced Climate Change (MAGICC) model (Wigley and Raper, 1992, 2001; Raper et al., 1996). The atmosphere-ocean module consists of an atmospheric energy balance model coupled to an upwelling-diffusion ocean model. The atmospheric energy balance model has land and ocean boxes in each hemisphere, and the upwelling-diffusion ocean model in each hemisphere has 40 layers with inter-hemispheric heat exchange in the mixed layer. This simple climate model has been tuned to outputs from 19 of the AOGCMs described, with resulting parameter values as given in the Supplementary Material. The applied tuning procedure involves an iterative optimization to derive least-square optimal fits between the simple model results and the AOGCM outputs for temperature time series and net oceanic heat uptake. This procedure attempts to match not only the global mean temperature but also the hemispheric land and ocean surface temperature changes of the AOGCM results by adjusting the equilibrium land-ocean warming ratio. Where data availability allowed, the tuning procedure took simultaneous account of low-pass filtered AOGCM data for two scenarios, namely a 1% per year compounded increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration to twice and quadruple the pre-industrial level, with subsequent stabilization. Before tuning, the AOGCM temperature and heat uptake data was de-drifted by subtracting the respective low-pass filtered pre-industrial control run segments. The three tuned parameters in the simple climate model are the effective climate sensitivity, the ocean effective vertical diffusivity, and the equilibrium land-ocean warming ratio. Values specific to each AOGCM for the radioactive forcing for CO<sub>2</sub> doubling were used in the tuning procedure where available (from Forster and Taylor, 2006, supplemented with values provided directly from the modeling groups). The obtained best-fit climate sensitivity estimates differ for various reasons from other estimates that were derived with alternative methods. Such alternative methods include, for example, regression estimates that use a global energy balance equation around the year of atmospheric CO<sub>2</sub> doubling or the analysis of slab ocean equilibrium warmings. The resulting differences in climate sensitivity estimates can be partially explained by the non-time constant effective climate sensitivities in many of the AOGCM runs. Furthermore, tuning results of a simple climate model will be affected by the model structure, although simple and other default parameter settings that affect the simple model transient response.

### **3. Earth System Models of Intermediate Complexity**

Pictorially, EMICs can be defined in terms of the components of a three-dimensional vector (Claussen et al., 2002): the number of interacting components of the climate system explicitly represented in the model, the number of processes explicitly simulated and the detail of description. A comprehensive description of all EMICs in operation can be found in Claussen (2005). Actually, there is a broad range of EMICs, reflecting the differences in scope. In some EMICs, the number of processes and the detail of description are reduced to simulate feedbacks between as many components of the climate system as feasible. Others, with fewer interacting components, are utilised in long-term ensemble experiments to investigate specific aspects of climate variability. The gap between some of the most complicated EMICs and AOGCMs is not very large. In fact, this particular class of EMICs is derived from AOGCMs. On the other hand, EMICs and simple climate models differ much more. For instance, EMICs as well as AOGCMs realistically represent the large-scale geographical structures of the Earth, like the shape of continents and ocean basins, which is certainly not the case for simple climate models. Since the TAR, EMICs have intensively been used to study past and future climate changes. Furthermore, a

great deal of effort has been devoted to the evaluation of those models through coordinated intercomparisons. The EMIC results refer to simulations in which climate is in equilibrium with an atmospheric CO<sub>2</sub> concentration of 280 ppm. The simulated latitudinal distributions of the regional averaged surface air temperature for boreal winter and boreal summer are in good agreement with observations, except at northern and southern high latitudes.

Interestingly, the GCM results also exhibit a larger scatter in these regions, and they somewhat deviate from data there. EMICs satisfactorily reproduce the general structure of the observed zonally averaged precipitation. Here again, at most latitudes, the scatter in the EMIC results seems to be as large as the scatter in the GCM results, and both EMIC and GCM results agree with observational estimates. When these EMICs are allowed to adjust to a doubling of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, they all simulate an increase in globally averaged annual mean surface temperature and precipitation that falls largely within the range of GCM results (Petoukhov et al., 2005). The responses of the North Atlantic MOC to increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and idealised freshwater perturbations as simulated by EMICs have also been compared to those obtained by AOGCMs (Gregory et al., 2005; Petoukhov et al., 2005; Stouffer et al., 2006). These studies reveal no systematic difference in model behavior, which gives added confidence to the use of EMICs. In a further intercomparison, Rahmstorf et al. (2005) compared results from 11 EMICs in which the North Atlantic Ocean was subjected to a slowly varying change in freshwater input. All the models analyzed show a characteristic hysteresis response of the North Atlantic MOC to freshwater forcing, which can be explained by Stommel's (1961) salt advection feedback. The width of the hysteresis curve varies between 0.2 and 0.5 Sv in the models. Major differences are found in the location of the present-day climate on the hysteresis diagram. In seven of the models, the present-day climate for standard parameter choices is found in the bi-stable regime, while in the other four models, this climate is situated in the mono-stable regime. The proximity of the present-day climate to Stommel's bifurcation point, beyond which NADW formation cannot be sustained, varies from less than 0.1 Sv to over 0.5 Sv. A final example of EMIC intercomparison is discussed in Brovkin et al. (2006). Earth System Models of Intermediate Complexity that explicitly simulate the interactions between atmosphere, ocean and land surface were forced by a reconstruction of land cover changes during the last millennium. In response to historical deforestation of about 18 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>, all models exhibited a decrease in globally averaged annual mean surface temperature in the range of 0.13°C to 0.25°C, mainly due to the increase in land surface albedo. Further experiments with the models forced by the historical atmospheric CO<sub>2</sub> trend reveal that, for the whole last millennium, the bio-geophysical cooling due to land cover changes is less pronounced than the warming induced by the elevated atmospheric CO<sub>2</sub> level (0.27°C–0.62°C). During the 19th century, the cooling effect of deforestation appears to counterbalance, albeit not completely, the warming effect of increasing CO<sub>2</sub> concentration.

## References

- Claussen, M., 2005: *Table of EMICs (Earth System Models of Intermediate Complexity)*. PIK Report 98, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, Germany, 55 pp, <http://www.pik-potsdam.de/emics>.
- Claussen, M., et al., 2002: Earth system models of intermediate complexity: closing the gap in the spectrum of climate system models. *Clim. Dyn.*, **18**, 579–586.
- Brovkin, V., et al., 2006: Biogeophysical effects of historical land cover changes simulated by six Earth system models of intermediate complexity. *Clim. Dyn.*, **26**, 587–600, doi:10.1007/s00382-005-0092-6.
- Cubasch, U., et al., 2001: Projections of future climate changes. In: *Climate Change 2001: The*

*Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 525–582.

Gregory, J.M., et al., 2005: A model intercomparison of changes in the Atlantic thermohaline circulation in response to increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L12703, doi:10.1029/2005GL023209.

Gates, W.L., et al., 1999: An overview of the results of the Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP I). *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **80**, 29–55.

Harvey, D., et al., 1997: *An Introduction to Simple Climate Models Used in the IPCC Second Assessment Report*. IPCC Technical Paper 2 [Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, D.J. Griggs, and K. Maskell (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 51 pp.

Forster, P.M. de F., and K.E. Taylor, 2006: Climate forcings and climate sensitivities diagnosed from coupled climate model integrations. *J. Clim.*, **19**, 6181–6194.

Lambert, S.J., and G.J. Boer, 2001: CMIP1 evaluation and inter-comparison of coupled climate models. *Clim. Dyn.*, **17**, 83–106. Myhre, G., E.J. Highwood, K.P. Shine, and F. Stordal, 1998: New estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 2715–2718.

Petoukhov, V., et al., 2005: EMIC Inter-comparison Project (EMIP-CO<sub>2</sub>): Comparative analysis of EMIC simulations of current climate and equilibrium and transient responses to atmospheric CO<sub>2</sub> doubling. *Clim. Dyn.*, **25**, 363–385, doi:10.1007/s00382-005-0042-3.

Raper, S.C.B., T.M.L. Wigley, and R.A. Warrick, 1996: Global sea-level rise: past and future. In: *Sea-Level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences and Strategies* [Milliman, J.D., and B.U. Haq (eds.)]. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 11–46.

Raper, S.C.B., J.M. Gregory, and T.J. Osborn, 2001: Use of an upwelling diffusion energy balance model to simulate and diagnose AOGCM results. *Clim. Dyn.*, **17**, 601–613. Stainforth, D.A., et al., 2005: Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature*, **433**, 403–406.

Stouffer, R.J., et al., 2006: Investigating the causes of the response of the thermohaline circulation to past and future climate changes. *J. Clim.*, **19**, 1365–1387.

I think the change in the climate system is in the macro-meteorological research, but research is part of the aerosol microstructure changes. The combination of hydrological and meteorological needs more time to grasp the macro level changes in the climate system's impact on the hydrological cycle, as to how the micro aspects of the formation of the affected area usually requires the help of meteorological research and not directly involved in their specific research.

At last, how happy I'm to see that the 7<sup>th</sup> ISCS are held successfully!

7th international seminar on climate system and climate change  
19-10 July 2010, Beijing, china

## **Climate change and its impact on precipitation and global hydrology cycle**

**Wenrong**

**Institute of Tibetan plateau research Chinese academy of sciences**

The seventh international seminar on climate system and climate change was hosted by china meteorological administration and co-sponsored by the state administration of foreign expert affairs(SAFEA), natural science foundation of china(NSFC) and global change system for analysis, research and training(START). The aim of ISCS is to widen views of young scientists on the international frontier of climate change, enhance the climate research capability of WMO members.

International distinguished scientists were invited to give lectures on the following topics:

- (1)The role of cryosphere in climate system and climate change;
- (2)Atmospheric chemistry and climate effect of aerosol;
- (3)Climate system models and their application in climate change studies;
- (4)Strategy of climate change mitigation and adaptation and social sustainable development.

Apart from lectures, many reference materials were also provided to participants. Chinese tutors were arranged to facilities understanding by Chinese participants. Also, logistic support was superb.

The seminar provided a great opportunity to participants to consolidate and widen their knowledge in climate change and climate system. By attending this seminar, I knew more about the work of IPCC, the human aspect of climate change and the effort of china in climate change adaptation and mitigation.

Global and regional climatic changes have attracted increasing attention in recent years and have been widely researched for several decades. Climate change, best manifested by two climatic variables temperature and precipitation. The changing pattern of precipitation around the world requires urgent and systematic attention and concerted focus. Global warming could cause the atmosphere to hold an increased

moisture-content thereby altering the hydrological cycle and the characteristics of precipitation(Kerstin et al. 2006). Climate change on water resources and introduced the distributed hydrologic model to understand the complexity of water cycle.

My work is mainly about the process of ice core climate and environment. Through collect various precipitation samples in different climatic regions of west china(include Tibetan plateau region, Tianshan region, and Altay), we can analyzed for the stable isotopes of precipitation to improve our understanding of how vapor transport impacts the modern stable isotopic distribution.

The seasonal and spatial patterns of meteoric stable isotopes are well defined on the global scale as a result of work conducted by the IAEA/WMO Global Network of Isotopes in precipitation(GNIP) and our understanding of the mechanisms that control stable isotopic fractionation in natural processes has shown great progress (Dansgaard, 1964; Majoube, 1971; Merlivat and jouzel, 1979; jouzel and merlivat, 1984; jouzel et al. 1997). Different conditions about vapor source, the degree of moisture recycling during water vapor transport, and the temperature at the point of final condensation may have influence on stable isotopes in precipitation.

Our results have identified the northward maximum extent of the southwest monsoon over the Tibetan plateau in particular. In the southern Tibetan plateau we have observed the kinds and the amounts of the stable isotopes show a distinct seasonality due to the shift of summer monsoon moisture and winter westerly moisture transport.

Measurement and modeling of the stable isotope signature of water provides unique information for large scale hydrological process studies. And, this work will require more comprehensive monitoring efforts for both surface water and meteoric precipitation isotopic composition.

Wenrong  
institute of Tibetan plateau research  
Chinese academy of sciences

# 心得体会

吴萍

(南京信息工程大学 硕士研究生)

通过为期十多天的“第七届气候系统与气候变化国际讲习班”的学习，我加深了对相关专业知识的认识和了解，拓宽了视野。本届讲习班邀请了多位国际知名专家前来执教，讲授了很多国际前沿问题，教授们都是用英语授课，所以在听课和学习过程中会有很多困难，理解起来也会有很大的困难。不过经过这段时间的学习，还是收益颇丰的。

近一百多年以来的全球变暖已是不争的事实，而且这次变暖与历史时期的变暖不同，后者是气候系统自然变率的结果，而前者是与人类活动的影响密不可分的，主要是由人类活动引起的。人类活动影响通过很多方式对气候变化产生影响，目前研究最多的就是温室气体排放对气候变化的影响，温室气体浓度增加被认为是造成目前全球变暖的一个最重要的原因，观测分析及模式模拟都验证了这一点。观测事实表明，全球平均气温在最近一百年里增加了  $0.6^{\circ}\text{C}$  左右，特别是二十世纪九十年代是从 1861 年有仪器记录以来最暖的十年，1998 年则是有仪器记录以来最暖的年份。因此，由于温室气体浓度增加引起的全球气候变暖仍然是当前世界各国政府和科学家密切关注的重大社会问题和迫切需要加以解决的科学问题。不断的改进完善模式，更周到的考虑各种影响气候变化的因子，特别是在模式中考虑气溶胶的气候效应，再现过去的气候变化，提出可信度更高的未来气候变化预测成为一个既有挑战性又有重要应用价值的研究课题。

总之，能参加这样一个国际气候培训班对于我今后的学习工作是有帮助的，尽管我对整个讲习班所讲的内容学的不是很多，但是更重要的是我看到了国际专家们专注学术的风采。现在课程的差不多上完了，专家讲的内容很多，需要一段时间的消理解，因此现在只能写点小小体会。非常感谢国家气候中心给予我这样的机会能听到世界著名专家的讲课。

# 冰冻圈在气候系统和气候变化中的作用

伍国凤

中科院地理科学与资源研究所

冰冻圈是指地球表面的水以固态形式存在的圈层，包括所有种类的冰、雪和冻结土，如冰川（包括山地冰川、冰帽、极地冰盖、冰架等）、积雪、冻土（多年冻土和季节冻土）、海冰、河冰、湖冰等。它与大气圈、水圈、生物圈及岩石圈共同构成了气候系统的五大圈层。作为气候的产物，冰冻圈是气候变化影响最直接、最敏感的圈层，同时又对气候具有重要的反馈作用，被认为是气候系统多圈层相互作用的核心纽带和关键性因素之一。此外，位于极地冰盖及中高纬度山地冰川地区的冰芯记录被誉为“无字天书”，具有分辨率高、记录时间长、信息量大及保真度高等优点，是重建全球~半球~区域尺度过去气候及环境变化最重要的代用资料之一。本文将从冰冻圈与气候系统各圈层之间的相互关系、冰芯对重建历史气候及环境变化的贡献两方面阐述冰冻圈在气候系统和气候变化中的突出作用。

## 1 冰冻圈与气候系统各圈层之间的相互关系

### 1.1 冰冻圈与大气圈的关系

冰冻圈与气候系统其他要素的反射率存在较大的差异，干净的新雪反射率为80~97%，白冰和洁净冰为34~51%，远远高于水（约1%）、森林（10~25%）和裸露的土壤（5~20%），这使得每年约30%到达地面的太阳辐射能消耗于冰冻圈。当积雪面积增加，反射的太阳辐射相应增加，导致温度下降，进而积雪进一步扩大；反之，积雪面积缩小，则反射的太阳辐射减少，温度则相应升高，则冰雪进一步融化，这说明冰冻圈与气候变化之间为正反馈机制，即冰冻圈的变化对全球气候变化具有放大的作用。

冰反射率反馈机制是冰冻圈与气候系统之间最重要的作用，可能激化短时间尺度的全球气候变化。例如，欧亚春季雪盖面积的大小及融雪的快慢，与印度夏季风活动联系密切。春季欧亚雪盖面积偏大，融雪速度偏慢，将增加下垫面的反射率降低气温，增加表面气压，使得夏季风活动减弱，对应季风进程偏长；反之，则夏季风强且进程短。由于印度大部分地区的年降雨量主要源于夏季风，夏季风弱则降雨量少，因此欧亚春季雪盖的面积直接关系到印度降水量的变化。此外，欧亚大陆雪盖与东亚夏季风强度之间也存在负相关，直接影响我国夏季雨带的移动、及长江中下游地区的梅雨变化。

冰的融化热及水的汽化热分别是同体积液态水升温 1℃所需热量的 80 和 539 倍，较大的溶解潜热使得冰冻圈扮演着大气和海洋有效热汇的作用。此外，冰雪的热传导率低，是良好的绝缘体，能减少大气、海洋及陆地之间的热量交换。这种作用在海洋上尤为明显，海冰是冷的极地气团和冰下面相对暖的海洋之间的绝缘层。这些特征使得冰冻圈在地表热量平衡、海气、陆气相互作用中扮演着举足轻重的角色。

## 1.2 冰冻圈与水圈的关系

冰冻圈的物质平衡直接影响到海平面的升降。南极冰盖、格陵兰冰盖相当全球海平面升高 65m 和 6m 的冰量，冰盖、冰川物质平衡导致的近期海平面上升量约为 1.5~2mm/a，其中不确定性约 1mm。海平面的上升、海洋面积的扩大将引发一系列环境问题，如对海岸带生态环境的破坏，陆地面积的减少对人类生存空间的威胁，蒸发的加强引起大陆降水的变化，海啸、台风、飓风等灾害的频发等等。

山地冰川的消融量能对河流径流量起到了调蓄作用。据计算，目前全球冰川的平均年消融量约 3000km<sup>3</sup>，近乎全球河流水量的 3 倍。中国西部的冰冻圈是亚洲大江大河的发源区，为河流的补给提供了重要来源（冰川融水量约占河川径流量的 1/4）。此外，冰川是宝贵的淡水资源，我国西部干旱区一些绿洲农业赖以生存和发展的生命线。

海水结冰时盐分的析出能够增加海洋上层的盐度，而冰的融化则令表层海水盐度减少变淡，从而影响海洋的层结稳定。高纬度海域海水的下沉，与南极底层水、北大西洋深层水的形成直接相关，海洋层结的变化将最终影响到海洋环流结构。比如一些科学假想认为随着全球变暖的加剧，北半球高纬度地区冰雪融水大量注入大西洋，使得北大西洋的海水被稀释、盐度下降，不能形成深层流而迫使温盐环流即高低纬度热量交换的停止，将可能迎来冰期气候。

## 1.3 冰冻圈与生物圈的关系

冰冻圈的低温降低了生物的活动性，所以冰冻圈内的生态系统十分脆弱，一旦破坏，恢复将十分缓慢。多年冻土上部的活动层是为植物生长提供水分和养分的场所，而其下的多年冻土则起隔水作用，并且阻止了植物根系向深处生长。活动层的冻结及伴随的冻胀作用能造成植物根系的力学破坏，而植被的存在又反过来保护了多年冻土。随着气候转暖，作为隔水层的多年冻土的上限将下降，甚至消失，从而使活动层中水分向深处流失，可能导致生态系统的退化，如草场退化及沙漠化等。此外，前文已提到冰冻圈作为我国西部干旱区的重要水资源，对生



态环境及人民的生产生活都具有举足轻重的作用。

通常认为冰冻圈的植被，特别是苔原是吸取CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>的汇。但随着气候转暖，以往冻结的生物体如泥炭等将加速分解和氧化而大规模地释放CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>，从而增加大气中温室效应气体的含量，加速气候变暖，这又是冰冻圈与气候变化之间的另一种正反馈。

#### 1.4 冰冻圈与岩石圈的关系

多年冻土厚度的变化将造成该地区水文地质条件的极大改变，如多年冻土与地下冰的萎缩退化，会造成地面大幅度下沉，破坏工业和民用设施。而冻胀、融沉、冻裂等破坏作用为寒区的工程建设带来困难，是我国青藏高原公路铁路工程中需注意解决的技术难题。随着全球变暖，冰川的加速融化和冻土的退化，已引起了与之相关的冰湖溃决、洪水/泥石流、冰崩、雪崩以及冻土热融等各类冰冻圈灾害发生频率、强度、范围的增加，严重威胁到人民生命财产的安全以及交通、建筑、信息等的畅通。

冰川的侵蚀、沉积作用可以塑造出特殊的冰川地貌，例如冰川侵蚀地貌中的角峰、刃脊、“U”形谷、悬槽谷、羊背石等，冰川沉积地貌中的终碛垅和侧碛垅、冰砾阜丘、鼓丘、冰水冲积扇等。相反，冰川地貌也能指示过去的冰川作用过程。

冰盖、冰川的重压将使得基岩面下沉，如南极大陆和格陵兰在数千米厚的冰盖重压下，有相当大部分冰盖底下的基岩面下沉至海平面以下。如果冰盖的变薄消失会使得基岩面回弹上升，这就即弹性回跳理论。在北欧和加拿大，第四纪末次冰盖消失以后，已经上升数千年，迄今仍未停止，而山地冰帽或大冰川对地壳升降的影响还缺乏足够的认识。

## 2 冰芯对重建历史气候及环境变化的贡献

### 2.1 冰芯中包含的代用指标

冰芯中包含的气候环境记录信息量大，包含如各种大气、环境信息，甚至一些宇宙射线、外太空物质等；保真度好，由于远离人类活动区且处于低温条件，各种生物、化学等后期扰动非常微弱；分辨率高，一般在千年时间尺度上分辨率为年，在几十年至上百年时间尺度上可详细研究季节变化；时间尺度长，可从几十年到几百年、几千年、上万年、数十万年、甚至上百万年。因此冰芯记录是研究过去全球变化的主要手段之一，已经取得的科学成果革新了一些了有关地球环境演变规律的传统认识。

总体看来，能够从冰芯中提取的代用指标分为以下几类：①反映气候状况的

指标，如利用氧同位素比率、氢同位素比率揭示过去温度变化，净积累量揭示降水变化指标。②大气成分含量，冰芯气泡中保存了历史时期的古大气，因此提供了过去大气成分含量变化的完整信息。③大气气溶胶，通过测试冰芯中化学成分及微粒含量获得，不但可以揭示过去大气气溶胶的变化历史及人类活动的影响，还可以反映地球沙漠演变及大气环流强度的变化。④生物地球化学循环指标，通过冰芯中微生物、有机物质、有机酸及有关的无机酸的分析。⑤自然界事件，如通过火山灰的鉴别及强酸信号的分析获取火山活动信息，通过K离子获取森林火灾的信息等。⑥宇宙事件，基于宇宙射线引起大气成分的化学变化，目前，主要基于冰芯中的<sup>10</sup>Be浓度变化。

## 2.2 冰芯研究取得的重要成果

目前，冰芯研究在气候变化研究领域取得了2个方面的重要成果，一方面重建了长时期的气候变化序列，辨识了Milankovich循环、南北半球气候变化的差异、及高纬度与高海拔的气温变化幅度。南极Vostok冰芯以重建了4个完整的冰期~间冰期气候循环，发现该地区冰期~间冰期的气温变化幅度达12℃左右，并表现出明显的地球轨道效应，即具有明显的100ka、40ka和23~19ka周期。同时发现，大气中的温室气体（CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>）含量变化以及大气气溶胶含量变化等都存在地球轨道参数变化的周期。格陵兰、青藏高原的冰芯研究得到了类似的结果。另一方面，揭示了不同时间尺度的快速气候变化，包括冰期~间冰期的转换以及冰期和间冰期内部（如末次冰期内的D-O事件、末次间冰期的新仙女木事件）的气候突变。

对南极冰芯气泡中大气成分的检测，揭示了过去几十万年以来地球大气中CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>含量的连续变化。同时，发现大气中温室气体含量在冰期和间冰期存在巨大差异，且CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>的含量与气温的变化之间存在显著的正相关关系。北极和青藏高原的冰芯记录也得出了类似的结果。

对冰芯中其他微粒、离子的检测分析，提供了源区（沙漠地区）演化、大气环流强度变化等多方面的信息，揭示了历史时期太阳活动、火山活动、超新星爆炸的发生，以及工业时代以来人类活动的影响（如温室气体的迅速增加与人类化石燃料消耗之间的关系，重金属污染的演变等）。

学 员：伍国凤

单 位：中国科学院地理科学与资源研究所

研究方向：历史气候重建

# 低碳生活，从我做起

夏坤

(中国科学院大气物理研究所 博士研究生)

全球气候变化及其影响不仅成为人类共同关心的热点问题，而且成为当今人类社会亟待解决的重大问题。在此背景下，中国气象局连续举办了 7 届气候系统与气候变化国际讲习班，旨在增进大家对气候变化及其影响的科学认识，提高国内气候系统和气候变化研究的科研水平，提升我国在气候变化研究领域的知名度以及在 IPCC 谈判中的影响力。

本届讲习班邀请了六位国际著名科学家前来授课。主题包括：气候系统过程及相互作用；气化学与气溶胶的气候效应；冰冻圈在气候系统和气候变化中的作用；气候模式在气候变化研究中的应用；气候变化的不确定性；气候变化减缓与适应对策及社会可持续发展等。不同领域科学家深入浅出的授课极大地开阔了我们的视野，10 余天的全英文授课环境也极大地锻炼了我的英语听说能力，本次讲习班使我受益匪浅，总体来说，本次讲习班是非常成功的。我想就如何应对气候变化谈下自己的一些看法。

面对气候变化各国政府都提出了应对策略，比如发展可再生能源，调整能源结构，提高公众应对气候变化的意识等等。那么作为社会中的一份子，我们该如何应对气候变化，为气候变化做出自己的一份贡献呢？

有个关于低碳生活的公益广告，一组组的数字告诉我们注意生活中的细节所能够带来的二氧化碳排放的减少量：如果少喝一瓶啤酒，将减少 0.2Kg 的二氧化碳排放；如果使用 1 年节能电饭锅，将减少 8.65Kg 的二氧化碳排放；如果少吃 0.5Kg 的肉，将减少 0.7Kg 的二氧化碳排放；如果节约 0.5Kg 的粮食，将减少 0.47Kg 的二氧化碳排放。如果使用节能灯泡 1 年，将减少 68.6Kg 的二氧化碳排放；如果夏季空调调高 1℃，将减少 2Kg 的二氧化碳排放；如果装修少用 0.1 立方米的木材，将减少 63.3Kg 的二氧化碳排放；如果 1 年内用待机模式代替屏保，将减少 1.4Kg 的二氧化碳排放。乘坐地铁公交出行 200 公里，将减少 36.8Kg 的二氧化碳排放；少开一天车，将减少 8.16Kg 的二氧化碳排放；使用 1 年小排量汽车，将减少 647Kg 的二氧化碳排放；如果一年内不乘电梯改走楼梯，将减少 4800Kg 的二氧化碳排放.....

虽然我们每个人都知道要去节约能源，但是当我看到那一组组数据时还是被震撼到了。珍惜每一度电、每一滴水、每一张纸、每一升油、每一件办公用品这些生活工作中的小事，都可能对降低碳排放做出贡献。很多办公室大白天开灯，

走廊灯、厕所灯昼夜闪亮；办公室饮水机昼夜“工作”；电脑长时间不用也不关机，人下班它“加班”；打印机长时不用仍在“待机”；单面打印文件，且打废的纸张随意丢弃；食物浪费等现象的存在，如果利用上面的数据来计算，那么将有多少额外的碳排放。我想绿色办公低碳生活不应该只是作为一个观念存在我们的头脑中，而应该付诸实际的行动。

其实一些简单易行的改变并不会给我们的生活工作带来多少的不便，但却可以减少能源的消耗。离家较近的上班族可以骑自行车上下班而不是开车，这样既锻炼了身体，也减少了汽车尾气排放；假如办公楼的楼梯通风采光状况良好，安全设施齐备，可以每天做爬梯运动，在节电的同时，还可以健身；开会自带水杯，减少使用一次性杯子，既卫生又环保；尽量避免打印，如果实在必要则选择双面打印纸张双面打印，既可以减少费用，又可以节能减排；调低电脑屏幕亮度，可以使每台台式机每年可省电约 30 度，既节能还保护了眼睛。这些小小的改变除了减少能源消耗，还能给我们的生活带来了益处。

气候变化已经不再只是环保主义者、政府官员和专家学者关心的问题，而是与我们每个人息息相关。在提倡健康生活已成潮流的今天，低碳生活不再只是一种理想，更是一种值得期待的新的生活方式。我们应该积极提倡并从身边的点滴小事做起去实践低碳生活。

# 不应只停留在道德层面上的协议 ——温室气体的量化减排

向亮

河北省气候中心，石家庄 050021

**摘要：**温室气体的增加已经成为影响气候变化的重要因素，很多国家在减排方面都做出了切实有效的努力，本文采用《联合国气候变化框架公约》（以后简称《公约》）秘书处公布的公约缔约方提交的各国温室气体清单，对比 1990 年，英国不包括 LULUCF 和包括 LULUCF 分别下降了—18.45%和—19.01%；德国的温室气体减排量更为明显，在 2008 年的温室气体排放量不包括 LULUCF 和包括 LULUCF 分别分别下降了—22.22%和—18.43%；美国则分别上升了 13.30%和 15.32%；日本则分别上升了 1.04%和下降了—0.19%，减排效果相当不明显。温室气体的量化减排应该有有力的措施促使其实现，而不应该让它只停留在道德层面上。

**关键词：**气候变化；温室气体；量化减排

## 引言

在第七届气候系统与气候变化国际讲习班中，能够有幸听取国际知名教授关于气候变化的报告，个人感觉受益匪浅，其中对于来自美国的 Helme 教授的各国 CO<sub>2</sub> 排放及其对气候变化的影响部分感觉挺有兴趣，在对自己提出的问题，得到有力答复的时候，感觉不仅了解了关于这一领域的相关事实，也使得自己颇有心得体会。

众所周知，温室气体的不断增加是大气温度升高的主要原因。随着工业革命的开始，人类在工农业生产过程中，将大量的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷、氧化亚氮等温室气体排放到大气中，导致全球气候变化，对人类的生存环境和生活质量产生了明显的影响。IPCC 第二工作组的报告显示，在过去的 100 年中，全球大气平均温度上升了约 0.74℃(0.56-0.92℃)，而且科学界的主流观点也一致认为在未来 100 年内，大气温度仍将上升 1.4~5.8℃<sup>[1]</sup>。全球变暖导致了更多和更严重的环境问题，直接威胁人类健康和社会经济可持续发展。随着温室气体的不断增加，直接的结果就是全球气温不断上升，两极冰川大量融化，导致冰川湖泊爆发洪水的风险增大，海平面不断上升，某些疾病开始蔓延，恶劣气候频繁发生等等一系列灾难，这些都给我们的生存环境带来了巨大的压力，因此，有效控制温室气体的增加、遏止全球性变暖已成为全人类共同的责任。

## 1 提出问题以及数据来源

1992 年联合国各个成员国在尊重科学的基础上，经过广泛讨论建立了联合国气候变化框架公约 (UNFCCC)简称《公约》，成为共同面对人类艰巨挑战的法律性文本。截止到目前已经有 191 个国家加入，有 41 个《公约》附件一缔约方。本着共同但有区别责任的原则，考虑到少数几个发达工业国家的温室气体排放量，占据了全球排放总量的 40%这一事实，UNFCCC 缔约方于 1997 年 12 月签署了《京都议定书》，为工业化发达国家制定了量化的减排指标。京都议定书减排目标的实现依赖于所有的签约国的共同努力。

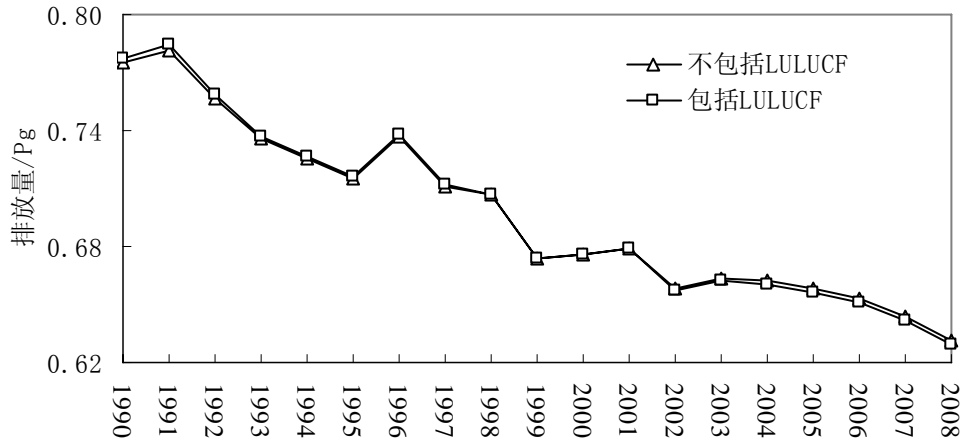
根据 IPCC 得出的结论，大气温度的升高已经是不争的事实，而且是由于温室气体的原因正逐渐被众多模式所证实并被人们所接受，有效控制温室气体的增加应该是全人类共同的责任和义务，但是部分国家出于单个国家经济利益的考虑，不顾众多国家的减排的呼声，退出相关减排协议，或者签署相关协议，但不有效实施附件一国家的量化减排目标，而仅仅是出于道德层面的考量，出人不出力。

以欧盟为首的排放先锋国家极力推崇国家减排，严格按照附件一中的量化减排指标进行减排，但以美国为首的另一部分国家，虽然签署了协议却实施不得力，或者干脆最后退出协议，虽有自己国家的利益考虑，但却要逆减排之大势。

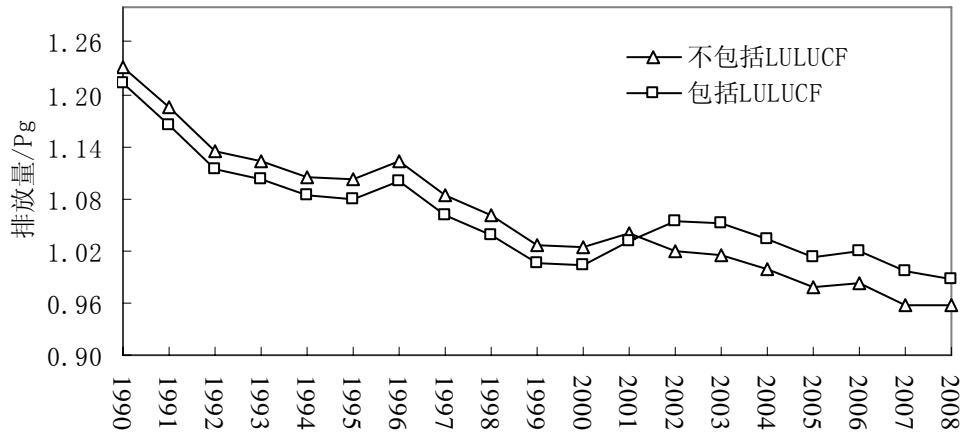
从本次讲习班的内容中了解到，原来各国签署量化减排指标出于各自不同利益考虑，部分国家是真正的从减排大局出发，并且减排效果相当明显（以英国、德国为首的欧盟国家），而更多的国家仅仅是在道德层面上，一期量化减排目标没实现的就直接等到在二期量化减排中去实现，如此，即使签署了协议也不会去实施（以美国、日本为首的国家），颇使人感觉无赖，而且让人觉得这些国家在减排方面有沽名钓誉之嫌。本文选择四个附件一国家，从数据上说明这点，文中所列数据源于《公约》秘书处公布的公约缔约方提交的各国温室气体清单，数据截止到 2008 年。

## 2 分析问题

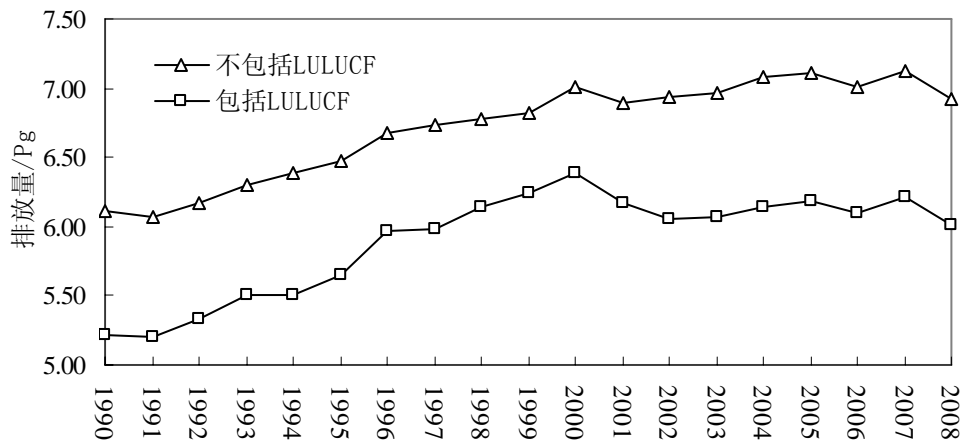
文章将选择四个国家，英国、德国、美国、日本，采用《公约》秘书处公布的四国从 1990 年到 2008 年的温室气体排放总量，分为包括 LULUCF 和不包括 LULUCF（土地利用、土地利用变化及森林 英文全称:Land use, land use change and forestry, 简称 LULUCF）两类，对比各国温室气体的排放情况，分析结果如下：



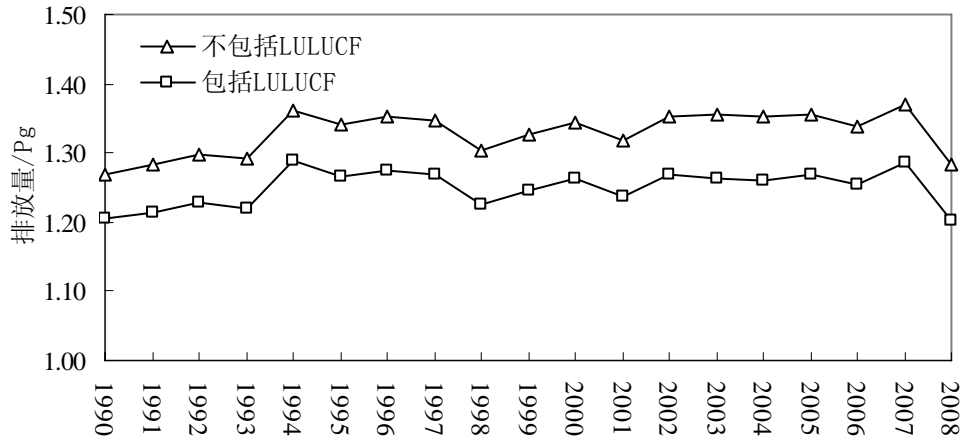
(a) 英国



(b) 德国



(c) 美国



(d) 日本

图 1 典型国家 1990-2008 年温室气体排放趋势

从图 1a 中可以看出,从 1990 年开始英国的温室气体排放量整体是呈现下降趋势,英国在 2008 年的温室气体排放量不包括 LULUCF 和包括 LULUCF 均为 0.63Pg (1 Pg=1000,000,000,000,000g),对比 1990 年,分别下降了—18.45%和—19.01%;图 1b 德国的温室气体减排量更为明显,在 2008 年的温室气体排放量不包括 LULUCF 和包括 LULUCF 分别为 0.96Pg 和 0.98Pg,对比 1990 年,分别下降了—22.22%和—18.43%,由此可见,以英国和德国为首的排放先锋国家在减排方面是身体力行。

从图 1c 中可以看出,从 1990 年开始美国的温室气体排放量一直都是呈现上升趋势,美国在 2008 年的温室气体排放量不包括 LULUCF 和包括 LULUCF 分别为 6.92Pg 和 6.02Pg,对比 1990 年,分别上升了 13.30%和 15.32%,美国是世界上最大的温室气体排放国,在温室气体减排的国际合作中美国的地位至关重要,在减排方面美国宣布退出京都议定书转而寻求新的温室气体减排方案,目前众国对其新方案已经望眼欲穿。

图 1d 日本的温室气体减排量整体上是呈上升趋势的,在 2008 年的温室气体排放量不包括LULUCF和包括LULUCF分别为 1.28Pg和 1.20Pg,对比 1990 年,分别上升了 1.04%和下降了—0.19%,《京都议定书》规定<sup>[2]</sup>,日本必须在 2008—2012 年使二氧化碳等温室气体的排放量比 1990 年减少 6%,然而到 2008 年,日本仅下降了—0.19%,效果相当不明显。

由上分析可见,英国和德国等欧洲国家,在减排方面做出了卓越而有效的贡献,但以美国和日本为首的国家在减排方面没有尽到应尽的义务,或者目标的签订仅仅是停留在口头上,美日这种仅停留在道德层面上的沽名钓誉的心态凸显,在附件一国家中不乏这样的国家,当然也有很多减排榜样。由四国的温室气体排



放趋势看，到 2012 年，英德的量化减排目标的实现已经毫无悬念，而以美日为首的另一部分国家，联系其目前经济状况，其实现 2012 年的量化减排目标已经不可能，或者可能性已经极小。

### 3 个人心得

温室气体的减排关系到子孙后代的生存，意义重大，附件一的量化减排怎样让各签署国切实的去实施，是摆在各国面前的关键问题。相关文献显示，截止 2005 年，有近一半的附件一国家实际排放量仍呈现上升趋势，表明这些国家相对于承诺目标温室气体总量仍在增加，要实现 2012 的减排目标步履艰难而任重道远。温室气体的量化减排应该有切实的辅助措施才能得以顺利实施，例如对于附件一国家让温室气体的量化减排与金钱直接挂钩，每少减 1%的减排量要能够代表一定份额经济处罚，并按照某一规律加倍，而对于不在量化减排之列的但又减排得力的非附件一国家或者发展中国家实行在援助的基础上再做出部分资金的支援以示奖励等，只有限定相关辅助措施，量化减排才能顺利实施，而不会让它只停留在道德的层面，或者成为某些国家沽名钓誉的道具。

### 参考文献

[1] IPCC.Climate Change 2007:Impacts,Adaptation,and Vulnerability.Contribution of Working Group II to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M].Cambridge,UK and New York,USA:Cambridge University Press,2007.

[2] 京都议定书.

# 浅析近 50 年中国夏季气候变化

徐康<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>南京信息工程大学, 210044; <sup>2</sup>中国气象科学研究院, 100081)

2010 年 7 月 19 至 30 日由中国气象局主办、国家外国专家局和国家自然科学基金委等部门协办的第七届气候系统与气候变化国际讲习班 (ISCS) 在中国气象局科技大厅二楼会议室如期举行。本次讲习班共邀请了 6 位外国专家, 分别为 Dr Claude Boutron, Dr Ned Helme, Dr Klaus Fraedrich, Dr Steven John Ghan, prof. John A. Ogren 和 Prof. Teruyuki Nakajima, 他们分别就南极雪盖和冰芯中重金属元素的变化、全球变暖背景下发展国家和发展中国家减排政策、气候变率、气溶胶对气候变化的影响及云物理、辐射等方面的问题做了精彩的报告, 我收获颇丰, 通过此次讲习班的学习, 不仅较为全面的了解了气候变化的相关知识, 而且了解了该领域的部分最新结论, 并且锻炼了自己英语的听说能力。每个报告之后的中文辅导老师也很辛苦, 很多老师是根据外国专家讲座的内容再结合他们自己在该领域研究中的体会为我们讲解, 这样使我们对某些一个问题有了较为全面、深刻的认识。下面我将对近 50 年中国夏季气候变化进行肤浅的认识。

全球变暖已经成为世界科学界和各国政府重视的重要科学和政治问题。政府间气候变化委员会 (IPCC) 2007 年发表的第四次评估报告指出: 20 世纪以来 (1906~2005 年) 全球平均气温上升了近  $0.74^{\circ}\text{C}$ , 且最近 50 年的温度增长率是过去 100 年的 2 倍 (IPCC, 2007)。观测研究表明, 过去 50 年全球温度的变暖主要发生在冬春季节, 突出表现为亚洲北部、欧洲、加拿大和北美等地区的大陆中高纬度地区温度升高 (Hansen et al., 1999; 2006)。中国地处北半球欧亚大陆, 有研究指出: 中国气温变化总的趋势与北半球气温变化相似, 但两者在年代际时间尺度上的变化存在一定差别 (林学椿等, 1995; 唐国利等, 2005)。

对于中国近 50 年的气候变化, 有大量的研究表明: 过去 50 年中国的气候变化主要表现为中国平均温度增加, 这种变暖趋势自上世纪 80 年代以来尤为明显。其中, 中国北方增暖比较显著并被认为是北半球大陆增温的一部分 (张先恭等, 1982; Jones et al., 1992)。但夏季青藏高原下游到长江流域地面气温出现变冷趋势 (Li et al., 1995; 陈隆勋等, 1998, 2004), 具体表现为自上世纪 50 年代以来, 我国东部存在一个以四川盆地为中心的变冷区, 但此变冷区自 1990 年以后有减弱的趋势 (陈隆勋等, 2004)。对应温度的变暖趋势, 中国夏季降水总体变化不明显, 但是在年代际时间尺度变化上突出表现为华北和长江中下游地区夏季降水之间的空间反向变化特征, 即所谓的旱涝分布型 (Huang et al., 2003; Ding et al., 2004; 申乐琳等, 2009)。例如, 60 年代夏季华北降水偏多而长江中下游降水偏少, 处于“南旱北涝”形势, 而 80-90 年代则处于相反的“南涝北旱”空间分布特征 (王绍武等, 2002; 黄荣辉等, 2008)。除此之外, 中国气候变化的另一个突出特征是西部地区的变暖变湿现象 (施雅风等, 2003)。

近年来全球变暖影响着中国区域气候变化, 地表气温是描述气候变化最直接的气象要素

之一。图 1 表示的是 1951-2007 年中国夏季平均气温线性倾向空间分布。由图可见，在最近的 57 年温度变化中，除四川盆地东部和云贵高原北部，华东和华中的长江中下游地区以及淮河流域有线性变冷区外，其他地区夏季线性倾向分布均表现为变暖，增温趋势显著（信度在 0.05 以上）。其中，西北、东北和内蒙古的部分地区以及青藏的东北部夏季平均气温变化的趋势变化幅度均超过了  $0.3^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ，增温趋势明显。与此同时，在四川盆地的东部、华东和华中的长江中下游地区存在一个线性变冷区，但并没有通过显著性检验。变冷中心位于华中西部，向北伸到陕南地区，中心变冷每 10 年达到  $-0.2^{\circ}\text{C}$ 。

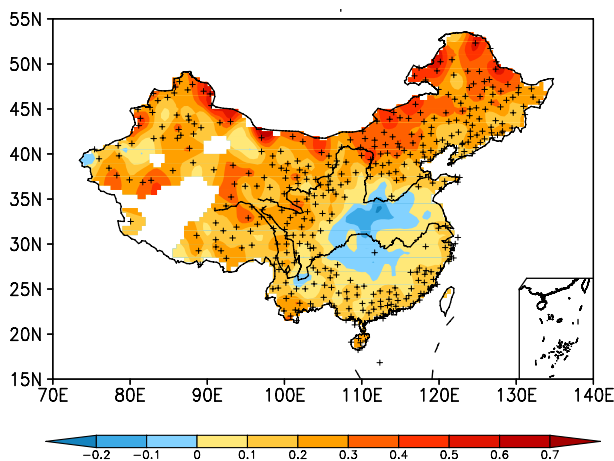


图 1 1951-2007 年中国夏季平均气温的线性倾向空间分布  
（“+”表示超过显著性水平为 0.05 的站点，单位： $^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ）

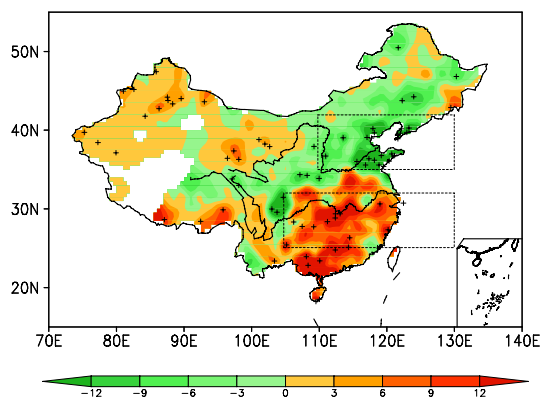


图 2 1951-2007 年中国夏季平均降水量线性倾向空间分布  
（“+”表示超过显著性水平为 0.05 的站点，单位： $\text{mm}/\text{decade}$ ）

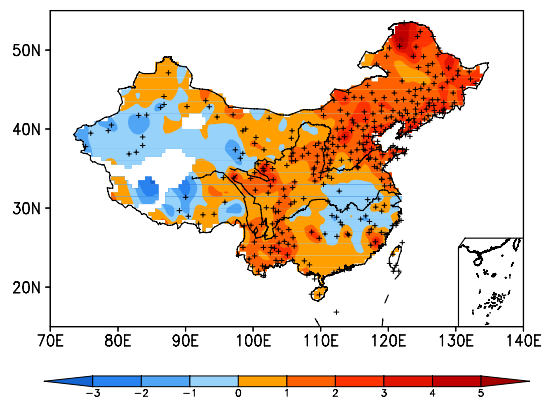


图 3 1951-2007 年中国夏季平均无降水日数线性倾向空间分布  
（“+”表示超过显著性水平为 0.05 的站点，单位： $\text{day}/\text{decade}$ ）

降水量也是描述气候变化最直接的气象要素之一。图 2 表示的是 1951-2007 年中国夏季平均降水量线性倾向空间分布。由图所示，相对于气温的变化，近 50 年来中国夏季降水在东北大部、华北中南部的黄淮海平原和山东半岛、黄土高原东南部和四川盆地中西部等地区

表现出不同程度的下降趋势，其中山东半岛和华北地区负的趋势最显著（显著信度超过 0.05），且降水下降趋势的幅度均超过了 20mm/decade。在西部大部分地区、东北局部、西南西部、长江中下游和江南地区，夏季平均降水量均呈现不同程度的增加，其中长江中下游、华南沿海、青藏高原北部和南疆部分地区增加比较显著。因此，近 50 多年来中国夏季降水主要表现出黄河中下游流域及华北地区夏季降水显著减少，而长江中下游及长江以南地区的降水则表现为增加，即所谓的“南涝北旱”线性变化趋势。

相对于降水量的变化，无降水日数也是气候变化最直接的气象要素之一，也能更为直接地反映区域干旱状况。图 3 表示的是 1951-2007 年中国夏季平均无降水日数线性倾向分布。由图可见，除南疆部分地区、西藏东南部及长江中下游地区以外，整个中国的夏季无降水日数呈现增加趋势，而整个华北、山东半岛及辽东半岛地区无降水日数增加尤为显著，增加幅度达到每 10 年增加 5 天，云贵高原和四川盆地地区无降水日数也有显著增加趋势。因此，与降水量一致，近 50 多年来中国夏季无降水日数主要表现出黄河中下游流域及华北地区夏季降水显著增加，而长江中下游及长江以南地区的降水则表现为减少，即所谓的“南涝北旱”线性变化趋势。

因此，近 50 年中国夏季气候变化主要表现为地表气温的增暖和降水的“南涝北旱”趋势。尽管许多科学家做出了极大的努力，并在气候变化研究领域取得了众多有意义的成果，但是中国的全球气候变化研究还缺乏长期的战略规划和协调，同类基础的应用性攻关研究联系不紧密，目标区分不清晰；自然科学和社会科学的跨学科研究仍然不够，具有创新性和实用性的科学成果还不多，对 IPCC 评估活动的贡献与中国的科技实力不相称；一些研究内容重复，而一些应用性课题又针对性不强，不能直接回答气候谈判中迫切需要解决的问题。为了解决这些问题，不但需要气候学家的努力，而且需要跨学科、跨部门有关专家的合作，通过加强观测和观测资料的分析整理，以改进当前的气候模式，加强气候变化研究等措施，不断深入认识气候变化及其原因，是人类能够减缓和适应未来气候变化。

## 参考文献

- [1]. Ding Yihui, Sun Ying. 2004. Changes in Asian summer monsoon and possible mechanisms. Newsletter on Climate Change 2003/2004, 47-49
- [2]. Ding Yihui, Wang Zunya, Sun Ying. 2008. Inter-decadal variation of the summer precipitation in East China and its association with decreasing Asian summer monsoon. Part I: observed evidences. International Journal of Climatology, 28(9): 1139-1161
- [3]. Huang Ronghui, Zhou Liantong, Chen Wen. 2003. The progresses of recent studies on the variabilities of the East Asia monsoon and their causes. Adv Atmos Sci, 20: 55-69
- [4]. IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,

- Solomon S , Qin D , Manning M , et al. Eds. Cambridge University Press , Cambridge , United Kingdom and New York ,N Y, USA.
- [5]. J. Hansen, R. Ruedy, J. Glascoe, et al. 1999. GISS analysis of surface temperature change. *J Geophys Res*, 104(D24), 30,997-31,022
- [6]. J. Hansen, Mki. Sato, R. Ruedy, et al. 2006. Global temperature change. *Proc Natl Acad Sci*. 103, 14288-14293
- [7]. Jones P D, Briffa K R. 1992. Global surface air temperature variations during the twentieth century: Part 1, Spatial, temporal and seasonal details. *Holocene*, 2(2): 165-179
- [8]. Li Xiaowen, Zhou Xiuji, Li Weiliang. 1995. The cooling of Sichuan Province in recent 40 years and it s probable mechanisms. *Acta Meteor Sinica*, 9:57-68
- [9]. 陈隆勋,朱文琴.1998.中国近 45 年来气候变化的研究. *气象学报*, 56(3): 257-271
- [10].陈隆勋, 周秀骥, 李维亮. 2004.中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制. *气象学报*, 62:634-645
- [11].丁一汇,张莉. 2008. 青藏高原与中国其他地区气候突变时间的比较. *大气科学*, 32 (4): 794-805
- [12].黄荣辉,顾雷,陈际龙,等. 2008. 东亚季风系统的时空变化及其对我国气候异常影响的最近研究进展, *大气科学*, 32(4): 691-719
- [13].林学椿,于淑秋,唐国利.1995. 中国近百年温度序列. *大气科学*,19(5): 525-534
- [14].李建平, 曾庆存. 2005. 一个新的季风指数及其年际变化和雨量的关系. *气候与环境研究*, 10(3): 351-365
- [15].申乐琳, 何金海, 周秀骥, 等. 2009. 近 50 年来中国夏季降水及水汽输送特征研究. *气象学报*, 即将发表
- [16].施雅风,沈永平,李栋梁,等.2003. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨. *第四纪研究*, 23(2): 152-164
- [17].唐国利,任国玉. 2005. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析. *气候与环境研究*, 10(4): 791-798
- [18].王绍武, 蔡静宁, 朱锦红,等. 2002. 19 世纪 80 年代到 20 世纪 90 年代中国年降水量的年代际变化. *气象学报*,60(5): 637-639
- [19].宇如聪, 周天军, 李建, 等. 2008. 中国东部气候年代际变化三维特征的研究进展. *大气科学*, 32 (4) : 893-905
- [20].张先恭,李小泉. 1982. 本世纪中国气温变化的某些特征. *气象学报*, 40(2): 198-208

# Impact Analysis of Climate Change on Hydrology and Water Resources

Yueping Xu  
Zhejiang University

The Seventh International Seminar on Climate System and Climate change was held on July 19-30, 2010, Beijing, China. The main topics include:

- 1) Analysis of snow and ice cores for heavy metals, natural and man-induced changes in heavy metals in Antarctic ice;
- 2) Global emissions trading experience, global prospects for climate policy, and CDM policies etc;
- 3) Climate, chaos and catastrophes and continuum climate variability analysis through LTM, extremes, predictability;
- 4) Introduction to global circulation models;
- 5) Aerosol effects on clouds and climate.

All these topics were given by famous experts all around the world, including Prof. Claude Boutron from University Joseph Fourier of Grenoble, Mr. Edward Alfred Helme from the Center for Clean Air Policy, Prof. Klaus Fraedrich from Hamburg University, Prof. Steven J. Ghan from Pacific Northwest National Laboratory, Prof. John A. Ogren from Colorado State University, and Prof. Teruyuki Nakajima from the University of Tokyo. All of them gave wonderful and instructive lectures concerning the topics listed before.

Concerning the main topics, the most impressive one is related to those about the ice cores which could give us information about natural and human-induced changes on the climate system and air pollution (e.g., heavy metals). One doubt about the ice core records concerns the periodic increase or decrease of earth surface temperatures. Compared to prehistoric data, the warming trend of current earth surface seems to be repeating its past track. This is also one of the arguments often used by some global-warming-unbelievers. However, this warming rate is much quicker than those in prehistoric period and is mainly caused by human beings. Another impressive topic is about aerosol. Three professors talked about the role of aerosol in climate system and the main conclusion was that the cooling effect of aerosol canceled partially the warming caused by the increase of GHG. However, the aerosol things seem very difficult to be understood due to their complicated forcing and feedback mechanisms. It is said that one huge source of uncertainty involved in GCM predictions is originated from the aerosol effect modeling.

Related to my own professional fields, it's nice to talk about impact analysis of climate change on hydrology and water resources. Nowadays there are many studies

concerning climate change impact analysis on hydrology and water resources, for example, those by Prudhomme et al. (2002), Zhang and Nearing (2005). The main challenges, in my point of view, lie in the followings.

First of all, the prediction of extreme events like flood and droughts is very uncertain. The increasing frequency and magnitude of extremes all around the world puts more urgent requirements on accurate extreme event prediction. However, the prevailing GCM often lacks the physics mechanism for extremes due to their coarse resolution and high computational needs.

Second, the scale for impact analysis of climate change on hydrology and water resources often differs very much from the scale used for GCM. Therefore, different downscaling techniques, including both statistical and dynamic methods, are often needed. A bunch of such techniques exist like regression-based model, ANN, SVM, weather generator, and RCMs. However, using such technique is very complicated and sometimes introduces more uncertainty.

Last, impact analysis of climate change on hydrology and water resources involves many sources of uncertainty. For example, the uncertainty from GCM may be the greatest sources. Prof. John A. Ogren talked about the huge uncertainty in aerosol effect modeling, which is one of the most significant components of the climate system. Prof. Teruyuki Nakajima believes that the lack of proper modeling of aerosol and cloud is the “the Archelle's heel “in GCM modeling. He thinks that in next 40-50 years, aerosol research will be the focus in order to reduce the huge uncertainty involved in climate prediction. Furthermore, the uncertainty from climate scenario is the second important sources of uncertainty. It is not known what future will look like. Then, the uncertainty originated from various downscaling techniques is another important source. The last but not least is the uncertainty involved in understanding hydrological and water systems, for example, uncertainty in hydrological models and parameters. Kingston and Taylor (2010) explored the uncertainty associated with GCM structures and climate sensitivity as well as parameter specification within hydrological models and they found out that GCM-related uncertainty is far greater than that associated with climate sensitivity or hydrological model parameterization.

## **References:**

- Zhang, X.J., Nearing, M.A. 2005. Impact of climate change on soil erosion, runoff, and wheat productivity in central Oklahoma. *Catena*. 61:185-195.
- Kingston, D. G. and Taylor, R. G.: Sources of uncertainty in climate change impacts on river discharge and groundwater in a headwater catchment of the Upper Nile Basin, Uganda, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 1297-1308, doi:10.5194/hess-14-1297-2010.

# 第七届 ISCS 学习心得及对模式的一点认识

杨 浩

南京信息工程大学大气科学学院 210044

为期 12 天的“第七届气候系统与气候变化国际讲习班 (ISCS)”圆满结束了,在这次学习中,我从更高的角度上接触国际最前沿的研究成果,有幸面对面的听国际著名学者的讲解,了解他们研究的内容和进程。我虽然还只是一名研究生,还没接触更多的学术难点,但这次课程向我开启了一扇通往知识海洋的大门,让我开拓了眼界,不再是井底之蛙。科学前辈们严谨务实的科研态度和灵活多变的思维想法深深的影响了我。同时,我的英语也得到了锻炼和提高。在这里,感谢我的导师智协飞教授给我这次学习的机会,未来的学习中,我会更加认真努力,做好研究工作,不辜负国家的培养和老师的期望。

本届讲习班邀请来自美国、法国、德国、日本等国家的多名国际知名专家前来执教,主要内容涉及冰冻圈在气候系统和气候变化中的作用;大气化学与气溶胶的气候效应;地球生物化学循环;气候模式在气候变化研究中的应用;气候变化的减缓与适应对策及社会可持续发展。授课内容新颖详实,手段丰富多彩,使学员能很快适应,并且抓住学习重点。尽管对有些内容还只是一知半解,比如对于冰心内成分的分析、不同国家碳排放标准、国际上关于气候变化的相关政策、气溶胶对气候的影响等。尽管如此,通过这么多天连续学习,仍然取得不少收获。讲习班采用全英文授课和提问,这是我以前所未接触过的报告形式。看着有些学员用一口流利的或者标准的英文与与会教授进行交流,羡慕之情油然而生。其实并不是觉得自己英文水平太差,但在口语方面确实平时训练不足,英语是一项很重要的能力,也是自己将来能否在科研道路上有所突破,有所进展的必要条件。希望自己能以这次讲习班为契机,弥补自己的不足。

十多天的学习使我受益非浅,总结起来有以下几个方面:

- 1、 提高了自己的英语水平;由于平时用英语的机会比较少,第一天上课的时候我只听懂了很少的部分,后来几天这种情况明显好转,能听懂大部分的内容。
- 2、 提高了自己的专业水平;尽管也参加过气候变化方面的学习及会议,但像样系统的学习气候变化的知识还是第一次,尤其是全球海冰的分布及其变化、黑碳气溶胶对气候的影响这些方面介绍的比较详细、知识涵盖面比较广而且内容较新颖。
- 3、 了解相关领域前沿研究进展。会议组织方邀请的几位专家学者无疑代表着这些领域研究的前沿进展情况,通过学习他们推荐的文章,听他们的学术报告,对这些领域目前的发展状况有了一定的了解,这对我在学习及工作中的方向的把握非常有帮助。
- 4、 学者们的研究思路及先进研究成果的研究方法是值得我们借鉴的。思路的整理是非常重要的,同时阅读他们推荐的文章也有助于整理科研工作中的思路问题。

授课内容所提到的很多领域的知识是我所未涉及过的,大大的开阔了我的眼界,我努力的听着,理解着,听不懂的地方就努力的看 PPT 的投影,充分地融入到各位专家的演讲的内容。来自法国的 Claude Boutron 教授为我们讲述了冰心的价值,他从自身经历经验出发,详细分析了冰心对于气候变化研究的重要性。使我们了解到近代以来人类活动对气候带来的



巨大影响，尤其是重金属（Pb、Cu 等）污染，都可以从南极、格陵兰岛、阿尔卑斯山等地方的冰雪中都检测出来。

来自美国的 Dr. Ned Helme 所做的报告中为我涉及到了大量的气候政策性问题，从《京都议定书》到哥本哈根公约，从碳排放交易到污染治理，Dr. Ned Helme 用大量的实例为我们解释着这一国际化主题。他的语速非常快，刚开始很难适应，跟不上他的思路，还好有中文的辅导，才让我有补救的机会。

第三位专家是来自德国汉堡大学的 Klaus Fraedrich 教授，他经常往来于我国气象院所之间，就在今年 5 月份的时候他还到我们学校做过一场报告，由于当时时间短暂，因此没能详细的了解他的工作，这次一共给我们做了 3 个报告，分别关于极端气候，长期气候记忆以及气候模式，尤其是模式这个方面，他对我们进行了详细的解释和讲解，但由于我基础有限，还是有很多地方弄不懂。今后一定尽量弥补这方面的不足。

Prof. Steven John Ghan 和 Dr. John A. Ogren 都来自美国，他们的研究方向也基本相同，但是授课风格却迥然不同，分别以不同的方式为我们诠释了气溶胶的物理和化学性质以及对气候的影响。

Nakajima Teruyuki 教授来自日本，他不仅为我们带来了精彩的气溶胶方面的知识，还穿插着讲述了他很多学生的故事，其中有一位女学生，现在已经是知名的教授了，她曾经多次参加研究生考试都失败了，但是没有放弃，最终进入了 Nakajima Teruyuki 教授的科研小组，并取得了著名的成果，至今仍被该领域的人引用。Dr. Nakajima Teruyuki 正是在用这些优秀的例子在教导我们，做学问一定要持之以恒，只要坚持就能获得成功。

本次讲习班涉及的内容十分广泛，令我的眼界打开，其中我最关心并与我的研究方向最为相近的是气候模式这个方面，在这里我就谈一下对统计降尺度的认识：

随着全球变暖和极端天气事件的频繁发生，气候变化及其对人类生存环境的影响越来越多地引起了人们的关注。利用大气与海洋数值模式可以模拟全球或局部区域的天气和气候变化。某一特定地区的气候不仅受区域气象因子的影响，同时也跟大尺度天气现象相互作用有关，因此需要捕捉这种相互作用。目前用来预估大尺度季节性气候的全球气候模式（GCMs）由于有限的计算机资源，输出的空间分辨率较低（格点密度约为100-500 km），很难对区域气候情景做详细的预测。大多数情况下这种有限的分辨率无法对诸如健康、水资源利用、农业、灾害风险评估等起到有效作用。陆面水文的降水与径流过程都存在很强的次网格不均匀性，由于气候模型的空间尺度大，因此在将气候模型输出的气候变化或异常预测情景应用于区域或流域水文模型之前，必须对GCM输出的气候情景进行降尺度处理，才能将其应用到区域或者流域水资源情景预测研究中<sup>[1]</sup>。

目前有两种方法可以弥补数值模式预测区域未来气候变化的不足，一是发展更高分辨率的数值模式；二是降尺度法。由于提高数值模式的空间分辨率需要的计算量很大，降尺度法是更为可选的方法。国内外主要有两种降尺度方法：动力降尺度法（dynamical downscaling）和统计降尺度法（statistical downscaling）。动力法有两个发展方向：一种是提高GCM 的水平分辨率，这无疑会大大增加计算量，提高对计算机性能的要求；另一个方向是在低分辨率GCM 中嵌套高分辨率有限区域模式（LAM），这是一个有生命力的发展方向。但是LAM的

边界条件的确定、与GCM 的嵌套技术以及局地模式系统性误差的减少都是难点，同时会影响预报效果，此外该方法的计算量也比较大。相比之下，统计降尺度法计算量小而易于操作。Wilby等<sup>[2-5]</sup>对此方法的应用做了较为详细的介绍。本文主要对近几年国内外新提出的一些统计降尺度法进行系统的阐述，以便读者对这个方法有一个更新的了解。

## 统计降尺度的基本原理

统计降尺度法是利用多年的观测资料建立大尺度气候状况(主要是大气环流)和区域气候要素之间的统计关系，并用独立的观测资料检验这种关系，最后再把这种关系应用于数值模式输出的大尺度数值预报产品，产生局地气候预测(如气温和降水)。即：建立大尺度预报因子与区域气候预报量间的统计函数关系式：

$$P = F(A_i)$$

其中 $A_i$ 代表大尺度气候预报因子， $P$ 代表区域气候预报变量， $F$ 为建立的大尺度气候预报因子和区域气候预报变量间的一种统计关系。一般说来， $F$ 是未知的，需要通过动力方法(区域气候模式模拟)或统计方法(观测资料确定)来得到。 $F$ 表示的统计关系要求大尺度气候场和区域气候要素场之间具有显著的统计关系且这种统计关系是稳定而有效的。

统计降尺度法的应用基于以下3个要求：

- (1) 大尺度气候场和区域气候要素场之间具有显著的统计关系。
- (2) 大尺度气候场能被大气环流模式很好地模拟。
- (3) 在变化的气候情景下,建立的统计关系是有效的。

统计降尺度法的优点在于它能够将数值模式输出的物理意义较好、模拟较准确的数值预报产品应用于统计模式，从而纠正数值模式的系统误差，而且不用考虑边界条件对预测结果的影响。它的缺点就是需要有足够的观测资料来建立统计模式，而且统计降尺度法不能应用于大尺度气候要素与区域气候要素相关不明显的地区。在以往的统计降尺度法研究中常用的统计降尺度方法很多，概括起来主要有以下3种：转换函数法；环境分型技术；天气发生器。范丽军等对上述方法都做过详细的介绍。

## 参考文献

- [1] Fan Lijun. Statistical Downscaling of Local and Regional Climate Scenarios over China [D]. Beijing: Institute of Atmospheric Physics, China. 2006.
- [2] Hay L E, Clark M P, Wilby R L, et al. Use of regional climate model output for hydrological simulations [J]. Journal of Hydrometeorology, 2002 (3) : 571 - 590.
- [3] Wilby R L, Wigley TML. Downscaling general circulation model output: A review of methods and limitations[J]. Progress in Physical Geography, 1997, 21: 5302548.
- [4] Wilby R L, Dawson CW, Barrow EM. SDSM—A decision support tool for the assessment of regional climate change impact[J]. Environmental Modeling and Software, 2002, 17: 1452157.
- [5] Wilby R L, Wigley TM. Precipitation Predictors for downscaling: Observed and General Circulation Model Relationships[J]. International Journal of Climatology, 2000, 20 (5) : 6412661.

# 气候模式预估的不确定性问题以及在中国的模拟性能

杨晓亚

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京, 100101)

## 1. 气候模式的发展及物理性质

气候模式的任务是认识空气、水、能量和动量的局部交换, 并通过这些认识解释气候系统的大尺度特征及其变化, 以及对外部压力(或称为强迫)的响应。气候模式的研究最早出现在 20 世纪 20 年代, 从最初的利用公式进行天气数值预报发展成今天的模式。至 20 世纪 60 年代, 随着计算机技术的快速发展, 数值天气预报得到了迅速发展。之后, 越来越多的物理过程被引入到模式中来, 海洋环流模式、海冰模式、以及大气气溶胶、大气化学, 以及碳循环等与气候互相作用的模式。各学科间的交互研究是气候模式中的一个显著变化, 这对理解气候变化非常重要, 但是这增加了气候模式的复杂程度, 使气候模式更加难于分析和理解。

气候模式根据基本的物理定律来确定气候系统中各个成分的性状及其演变的数学方程组。气候模式的物理性质可以分为三类: 1、基本原理, 能量、动量和质量守恒, 以及从基本原理中得到的演化过程; 2、在实践中由于连续方程的离散必须使用的近似理论, 比如经过大气辐射的传输和 Navier-Stokes 流动方程; 3、物理学中的经验理论, 比如蒸发与风速和湿度的函数关系。对于后两类, 模式研究者通常利用参数化来模拟小尺度过程。假如对于不同的特征给定最基本的参数化方案, 一个气候模式在应用时仍需依赖于专家们的判断和调用。每一个模式都具有自己的模拟特点。

## 2. 气候模式预估的不确定性问题

气候模式预估的主要不确定性来自排放情景的不确定性、模式的不确定性、物理过程参数化的不确定性以及对地球生物化学过程等反馈机制认识上的不确定性等 (IPCC, 2001; 2007)。

### 2.1 对气候系统过程与反馈认识的不确定性

变化中的气候和环境条件会影响大气中的CO<sub>2</sub>浓度, 相应的也会影响到自然界碳的循环。对碳循环中各种反馈作用及其相对地位认识存在不确定性。从海气系统看, 海洋温度、海洋环流的变化会减少海洋对大气中的CO<sub>2</sub>的吸收; 全球风

的分布类型的改变，海洋生态系统的物种的组成分布的改变都会影响海气间CO<sub>2</sub>传输。从地气系统看，CO<sub>2</sub>浓度的升高会提高自然界生态系统的生产率，更多的碳将被储存在植物的组织和土壤有机物中，这是对CO<sub>2</sub>浓度增加的负反馈；气温升高会促进植物和微生物的呼吸作用，可能会增加大气中的CO<sub>2</sub>；土壤中水分的变化可以影响到碳的固定和存储；气候变化条件下的植被地理分布，也会对大气中的CO<sub>2</sub>浓度产生影响。

温室气体的气候效应。虽然温室气体（GHGs）和气溶胶的排放分别是增加或减少辐射强迫、改变气候平衡状态的重要原因，但目前我们对GHGs、气溶胶的源、汇和分布及其与辐射强迫的非线性关系并不十分清楚。对大气物理、化学过程以及整个气候系统的机制缺乏深入研究，特别是在海洋热交换、云和水汽辐射特性、高纬度地区陆地雪盖和海冰变化、大气稳定性和水汽分布、海洋和陆地生态系统对CO<sub>2</sub>的吸收作用以及陆面水循环和土壤水分的变化等。上述因子对气候的变化具有决定性作用，如云和水汽可以调节热红外和太阳辐射，具有影响气候变化的复杂特性，但是它们的时空变率较大，给观测带来困难。上述几个方面的不确定性使得全球气候模式对季节和区域气候变化的判断众说不一，特别是对区域降水量的变化的判断差异显著。GHGs的排放结果不仅是气候模式的输入，还是一切气候变化及其影响研究的基础。由于人类活动变化的复杂性，GHGs的排放情景研究还存在很大的不确定性。鉴于未来经济发展、技术进步和政策等方面的不确定性，GHGs的排放情景还只是一系列假设前提下的估计。

## 2.2 气候模式的不确定性

研究者通过 GCMs 对全球气温变化的模拟取得了比较一致的结果，但是不同模式对降水和土壤水分的模拟差异很大，可靠性差；对由海陆表面和大气动力、热力特性决定的区域气候分布形式和气候极值、气候变率的模拟还没有取得足够的信度用于影响评估结果。这些不可靠性主要来自于一些基础参数不确定、大气辐射传输模式的一些近似和简化、对云和温度场的结构了解有限等。此外还存在模式不确定问题，主要包括模式计算的稳定性、参数化的有效性、物理过程描述的合理性等。解决这类不确定性问题的最好办法通常是在标准化的试验（初边值）条件下进行模式间的相互比较，从而正确评价各个模式的有效性，并尽可能找出描述各个物理过程的最佳参数化和初始化方案。下面简要的介绍一下目前模

式中存在的一些不确定源。

气候模式主要是通过增加大气中的水汽含量的方式，来表示对 CO<sub>2</sub> 增加所引起的增暖效应的反馈。大气中 CO<sub>2</sub> 含量越高，其温度越高，对应的含水能力就越强。现实情况并非如此，在边界层内，水汽随温度的增加而增加，在边界层以上的自由对流层内的情况较难确定。如果我们考虑水汽自身的温室效应作用，现有模式得到的水汽反馈大约会把相对于固定含量水蒸气的增暖放大一倍 (Schneider et al., 1999; Held et al., 2000)；模式比较的结果表明若去掉大气中水汽的增暖效应则会使得模拟的结果相对于观测值有较大偏差 (Hall et al., 1999)。

云可以吸收和反射太阳辐射，同时又吸收和放射长波辐射 (Twomey, 1974)。这些作用的整体效果取决于云的高度、厚度及其辐射特性，而云的辐射特性和变化又取决于大气中水汽、水粒、冰粒、大气气溶胶的分布和云的厚度。模式总体上系统性的低估了云对太阳辐射的吸收，这一说法还存在许多争议 (Pilewskie et al., 1995)。更大的不确定性来自于降水过程以及在准确模拟日循环及降水量和频率方面的困难。

基于对平流层结构变化和对其辐射与动力过程重要作用认识的不断加深，平流层在气候系统中的重要性日益受到重视。平流层温度变化的垂直廓线是气候模式模拟性能检测和成因研究中的一个重要指标。大部分观测到的平流层低层的温度降低被归因于臭氧的减少。对流层产生的波动可以传播到平流层，并在那里被吸收；而平流层的变化则会改变这些波的吸收地点和方式，并把这种改变下传到对流层。分辨率的局限和对一些平流层过程相对较差的描述，均增加了模式结果中的不确定性。

气候模式在海洋过程的模拟领域有了一些大的进展，特别是在热量传输方面。冰冻圈包括地球上季节性或长年性被冰雪覆盖的地区，这里主要指海冰。海冰对整个气候系统有着重要的影响，因为它较海面反射更多的入射太阳辐射，并且在冬季绝缘海洋，减少其热量损失。海冰的减少将给高纬度气候变暖提供一个正的反馈 (Curry et al., 1999)。在目前的全球模式中，对海冰过程的表征正在不断被改进，对陆冰过程的表征仍需发展 (Schlosser et al., 2000)。

综上所述，气候模式对未来气候变化的预估包含相对的不确定性，但其趋势和大范围的平均状况仍有较高的信度。

### 3. 气候模式在中国区域的模拟能力

近年来气候模式的复杂程度和模拟能力得到了显著提高,目前已成为研究全球和区域气候的形成及变异、气候系统各圈层之间的相互作用以及全球变化等的有力工具。IPCC(1996; 2001)先后评估了世界各国近 40 个全球环流模式(GCM)。对全球和区域气候模拟的可靠性研究表明,20 世纪 90 年代的 GCM 对全球气候的模拟具有较好的可靠性,对区域气候的模拟虽在有些区域有些季节具有较好的模拟效果,但仍存在较大的不确定性。赵宗慈等(1989; 1993; 1995)曾先后选用多个 GCM 做东亚与中国地区( $70^{\circ} \sim 140^{\circ} \text{ E}$ ,  $15^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{ N}$ )模拟能力的可靠性评估,表明全球环流模式在模拟东亚区域气候时同样存在着较大的不确定性,具体表现在:GCM 对东亚区域气候模拟从总体上来看气温的模拟效果优于降水,冬季的模拟效果优于夏季。模式大致可以模拟出气温与降水的分布趋势,但数值上差异较大。多个模拟的平均合成在东亚地区地表气温与降水的模拟效果最好。

徐影等(2002)基于观测资料对 5 个全球耦合模式 ECHAM4、HADCM2、GFDL、CGCM1、CSIRO 在温室气体的影响和既有温室气体又有气溶胶的影响两种情形下对东亚气候变化进行了检测。分析表明,各个模式的模拟场都有各自的系统误差,尤以青藏高原地区模拟的效果较差,并且多模式的平均模拟效果比单独某一个模式要好;模拟最好的变量是温度,其次是水汽和降水,最差的是日较差;在空间分布上,各变量冬季的模拟效果通常最好。姜大膀等(2004)通过将 CCSR、CGCM2、CSIRO-MK2、GFDL-R30 和 HadCM3 5 个模式集合结果与再分析资料做比较,指出当前模式成功地模拟了东亚区域年均地表气温由热带向北逐渐递减、青藏高原的低温中心、降水的西南至东北走向以及从南到北逐渐减小的基本分布特征。但是模式结果在量值上还存在着一定程度的模拟偏差。

由于计算条件限制,GCM 分辨率较低,不能适当描述复杂地形、地表状况和某些物理过程,对区域气候的模拟及气候变化实验等方面产生较大的偏差。为提高模拟区域气候变化能力,目前广泛应用动力降尺度模式,即将区域气候模式与全球环流模式嵌套。李巧萍和丁一汇(2004)利用国家气候中心的区域气候模式(NCC/RegCM)对 1998-2002 年东亚环流及中国区域进行了数值模拟,模式能较为真实地模拟出东亚区域月、季平均环流特征及中国区域气候系统的季节性变化特征,对季风环流系统的季节演变有较好的描述,模式对中国主要降水带的

季节性进退也有一定的揭示。

### 参考文献:

- 姜大膀, 王会军, 郎咸梅. 全球变暖情境下东亚气候变化的最新情景预测. 地球物理学报, 2004, 7(4): 590-596.
- 李巧萍, 丁一汇. 区域气候模式对东亚季风和中国降水的多年模拟与性能检验. 气象学报, 2004, 62(2): 140-153.
- 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 近 30 年人类活动对东亚地区气候变化影响的检测与评估. 应用气象学报, 2002, 13(5): 513-525.
- 赵宗慈, 罗勇. 二十世纪九十年代区域气候模拟研究进展. 气象学报, 1998, 56(2): 225-246.
- 赵宗慈. 全球三维环流模式模拟短期气候变化的能力. 气象科技, 1989, 14-15.
- 赵宗慈. 模拟人类活动影响气候变化的新进展. 应用气象学报, 1993, 4(4): 468-475.
- Curry J.A. and Webster P.J. 1999. Thermodynamics of atmospheres and oceans. Academic Press, 465.
- Hall A. and Manabe S. 1999. The role of water vapor feedback in unperturbed climate variability and global warming. J. Climate, 11: 2721-2742.
- Held I.M. and Soden B.J. 2000. Water vapor feedback and global warming. Ann. Rev. Energy Env., 25: 441-475.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881.
- IPCC. 1996. Climate Change 1995: The IPCC Science of Climate Change. Cambridge. UK: Cambridge University Press. 572.
- IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK and New York, USA.
- Pilewskie P. and Valero F.P.J. 1995. Direct observations of excess absorption by clouds. Science, 267: 1626-1629.
- Schlosser C.A., Slater A.G., Pitman A.J., et al. 2000. Simulations of a boreal grassland hydrology at Valdai, Russia: PILPS Phase 2 (d). Mon. Wea. Rev., 128: 301-321.
- Schneider E.K., Kirtman B.P., Lindzen R.S. 1999. Tropospheric water vapor and climate sensitivity. J. Atmos. Sci., 36:1649-1658.
- Twomey S.A. 1974. Pollution and planetary albedo. Atmos. Env., 8:1251-1256.

# 内蒙古适应和减缓气候变化对策建议思考

尤莉

内蒙古气候中心

为期两周的“第七届气候系统与气候变化国际讲习班”已接近尾声，讲习班邀请了国外知名的气象专家前来授课，并请了国内专家进行全程辅导。本次学习班内容覆盖面广、专业性强，从气候系统过程及相互作用、大气化学与气溶胶的气候效应、冰冻圈在气候系统和气候变化中的作用、气候模式在气候变化研究中的应用、气候变化的不确定性、气候变化的减缓与适应对策、气候变化与社会可持续发展七个方面介绍了前人的研究成果，使我受益非匪浅。通过这些天的学习，使我对国外的气候系统和气候变化方面的研究有了一定的了解。讲课中，气候变化的适应和减缓与我从事的专业比较接近，在此结合内蒙古的气候变化研究工作和如何应对气候变化做一点思考。

## 1. 内蒙古主要气候特征

内蒙古自治区位于我国北部边疆，大部分地区属于温带大陆性季风气候区，气候复杂多样，四季分明。春季气温骤升，干旱少雨，多大风天气；夏季短促温热，降水集中。秋季气温剧降，秋霜来得早；冬季漫长严寒，冬雪少，多寒潮天气。全区多年平均气温在 $-7^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ 之间，年内极端最高气温在 $35\sim 45^{\circ}\text{C}$ 之间，极端最低气温在 $-26\sim -50^{\circ}\text{C}$ 之间。气温年较差在 $31\sim 46^{\circ}\text{C}$ 之间；气温日较差为 $11\sim 17^{\circ}\text{C}$ 之间，全区无霜期短，从东北部到西南部只有50—160天。

全区大部地区降水稀少，干旱严重。年总降水量在 $35\sim 550\text{mm}$ 之间，东部多西部少。因而形成了在热量最多的地区降水量最少，热量少的地区降水量多的水热分布不均衡的格局。降水量少，水资源匮乏，且地区分布不均匀，水土资源不平衡，制约着内蒙古经济的快速发展。降水变率大，保证率低是自治区农牧业，产量低而不稳的主要因素之一。内蒙古日照充足，风能和太阳能资源丰富；是全国风能资源最丰富的地区之一。全区风能蕴藏量和技术可开发量，居全国之首。

## 2. 内蒙古气候变化特征

据政府间气候变化专门委员会（IPCC）第四次评估报告指出，人类活动造成大气层温室气体浓度的快速增加，使得20世纪（1906~2005年）以来的100年里，全球平均地表气温升高了 $0.74^{\circ}\text{C}$ 。我国是全球气候变暖特征最显著的国家之一。而在过去的50年里气温升高最显著的地区是华北、内蒙古东部以及东北地区。在全球和全国气候变暖的大背景下，内蒙古各地区气温均呈现上升趋势，气候变暖明显。从近50年来的气象资料分析，内蒙古全区年平均气温、平均最高和平均最低气温、极端最高和极端最低气温等均呈升高态势，上升幅度远超过全国的平均水平。

内蒙古全区多年平均的年降水量为 $290\text{mm}$ ，近50年来增减变化趋势不明显，但降水量的年际变率增大，稳定性和有效性明显降低。受气候变暖影响，近50年来我区降水量的区域分布格局也发生了变化，尤其是从20世纪90年代之后，我



区中西部地区降水略有增加，而东部地区降水量明显减少，干旱趋势加重。

### 3. 气候变化及其影响

气候变化的影响有利有弊。农业是对气候变化反应最为敏感的部门之一。随着我区气候的变暖，全区日平均气温稳定通过 10℃ 的活动积温也呈增加趋势，无霜冻日数增加。因此，气候变暖使得我区植物生长期逐年延长，热量明显增加，低温冷害逐年减少，这对全区的农牧业生产十分有利。但也有不利影响，高温日数增加，日较差减小等，使得植物的发育期提前，生育期缩短，直接影响农作物和牧草产量及品质。同时，气温升高，植物生长需水量增加，水资源更加紧张，干旱缺水将使草场退化趋于严重。暖干的气候变化趋势可使农牧业生产的不稳定性增加。昆虫的发育受气候的影响特别明显，气候变暖使得害虫的发生有可能扩展和蔓延。冬温的升高可使害虫的越冬存活率提高，会导致疾病和病虫害的发生率增大，危害加重。

此外，气候变化还将使森林分布格局发生变化，生物多样性减少；导致湖泊水位下降和面积萎缩；极端天气气候事件增加；传染性疾病发生率和传播范围也将增加，危害人类健康。如：夏天出现超高温，心脏病及引发的各种呼吸系统疾病发病率增加。全球变暖导致臭氧浓度增加，会破坏肺部组织，引发哮喘或其他肺病。夜晚和冬季温度上升，大大延长扩展了蚊子的生活期和地域，使得靠它传播的疟疾、猩红热、黄疸、脑炎等，恶性传染疾病的发病率提高。等等，这些都是气候变暖带来的弊端。

### 4. 应对气候变化的对策性建议

气候是人类赖以生存的自然环境的重要组成部分。气候的任何变化都会对自然生态系统以及社会经济系统产生影响。我们必须采取适应和应对措施，以缓解气候变暖带来的负面的影响。内蒙古自治区党委和政府区非常重视气候变化应对工作，成立了应对气候变化领导小组，研究制订我区应对气候变化的重大战略、方针和对策方案，统一部署我区的应对气候变化工作。

内蒙古气象局积极开展气候变化研究及影响评估工作，编制了气候变化公报，开展了气候变化对农业生产、水资源、粮食和生态安全等的影响评估以及未来 50 到 100 年的气候变化预估工作，正在开展适应和减缓气候变化影响对策的研究工作。为我区的气候变化应对工作做出积极贡献。

我认为适应和减缓气候变化应该从以下方面入手：

①要将适应气候变化影响问题，纳入我区经济建设和社会发展规划中，以便未雨绸缪、趋利避害，确保我区社会经济可持续健康地发展。

②科学规划自治区生态环境建设，继续实施退耕还林、还草和天然林保护工程以及建立自然保护区等，保护好现有的森林和草地等资源。

③大力开发的风能资源,提高清洁能源的利用率，逐步改变我区能源结构，减少温室气体排放。

④科学地调整农牧业结构和种植制度，优化农牧业区域布局，适应气候变暖。

⑤加强农牧业生产基础设施建设，不断提高农牧业对气候变化的应变能力和抗灾减灾水平。

⑥加大空中云水资源的开发力度，抓注每次有利的天气形势，实施人工增雨（雪）作业，可以缓解我区水资源匮乏的矛盾。

⑦加强气候变化及其影响的教育培训和普及宣传，要利用各种媒体广泛宣传 and 普及气候变化知识，让社会各界和广大公众来共同关心这个问题，提高全社会的保护环境意识，引导公众建立有助于减少温室气体排放的生活方式和消费模式。通过宣传教育，使人人明白保护自然环境、保护森林花草等自然生态系统，也就是保护自己。保护地球环境、防止大气、水、食品和土壤等的污染是每个公民的神圣职责。

# 气候变化、海平面上升及海岸带适应

于良巨

(中国科学院烟台海岸带研究所)

## 1 前言

12 天的第七届气候系统与气候变化国际讲习班圆满结束，来自法国、美国、德国、日本等国家的 6 名国际知名专家前来做了多场精彩的报告。首先感谢中国气象局培训中心举办这期高水平的有关气候变化研究的相关报告，同时还要感谢 Claude Boutron、Ned Helme、Klaus Fraedrich、Steven John Ghan、John A. Ogren、Nakajima Teruyuki 六位教授的精彩报告。在这次学习中，有幸面对面的学习国际著名学者的讲解。

近百年来，世界气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化。在过去的 140 多年间，全球地面平均气温上升了 0.4~0.8℃。据测算，近 100 年来，中国年平均气温明显增加，达到 0.5~0.8℃，比同期全球增温平均值略高。我国的气候变化趋势与全球气候变化的总趋势基本一致。近 50 年来的气候变暖主要是人类使用化石燃料排放的大量二氧化碳等温室气体的增温效应造成的。现有的预测表明，未来 50~100 年全球和我国的气候将继续向变暖的方向发展，其中，2030 将增暖 0.5 到 4.2 度，到 21 世纪末，全球地面平均温度还将上升 1.4~5.8℃。全球平均气温、海温的升高、大范围的雪冰融化、以及海平面上升等观测均提供了全球变暖的直接证据。人类活动特别是化石燃料的使用，是导致全球变暖的主要原因。工业化以来，人类活动导致全球温室气体排放量不断增加，全球大气温室气体浓度持续升高。

气候变化不再仅仅是科学领域研究的问题，而是一个与社会、经济、人文、国际关系等有着重大联系的话题。在这些气候变化可能将会产生的影响中，海平面的上升及海岸带的脆弱性成为关注全球变化响应的敏感地区。

## 2 气候变化对海岸带的影响

海岸带地区是全球人口最稠密、经济最发达的地区，约有一半的人口生活在海岸线在 50km 的海岸线内。海岸带是陆海气各种过程相互作用最活跃的界面，自然环境与生态系统同时受到陆地和海洋的双重作用及影响，对各种自然过程变化引起的波动以及人类活动的影响十分敏感，尤其是对于气候变化及其造成的海平面上升响应较敏感，生态系统脆弱，是全球变化研究的关键地区，国际地圈生物圈计划 (IGBP) 将“海岸带陆海相互作用”(LOICZ) 作为其核心子计划。

气候变化和海平面上升对海岸带的影响主要表现为沿海低地面积淹没范围扩大，海水入侵距离增加，海岸侵蚀范围与强度加大，使滨海湿地、红树林等生态系统退化。全球约 30% 海岸带湿地消失，每年有数百万人可能遭遇海岸带洪水和风暴灾害，损失增大。另外，对人类健康的影响表现为营养不良、腹泻、心肺疾病和传染病加重；热浪、洪水和干旱导致发病率和死亡率上升；某些疾病媒介的地域分布发生变化，从而使卫生机构负担加重。

全球气候变暖导致海洋三千米深度的海水温度上升，引发海水膨胀，连同固态水、南、北极冰带，山地冰川融化释放到海洋里面，导致了海平面上升。据估算，当全球气温升高 1.5~4.5℃ 时，海平面将可能上升 20~165 厘米。海平面的上升无疑会改变海岸线，给沿海地区带来巨大影响，目前海拔较低的沿海地区将面临被淹没的危险。海平面上升还会导致海水倒灌、排洪不畅、土地盐渍化等其他后果。根据中国专家研究，在过去 50 年，中国沿海海平面平均每年上升 2.5 毫米，这个速度高于全球平均值。包括长江三角洲在内，受海平面

上升的威胁极大。

### 2.1 环境影响

由于全球气候变暖和沿海地壳的垂直运动,未来相对海平面上升对中国沿海地区的环境影响主要有,沿海湿地的损失和湿地动物的迁徙、台风和风暴潮灾害加剧。随着台风发生频率和强度的加大,台风风暴潮在中国沿岸发生的频率和强度也会相应增大,从而更加剧了海平面上升对沿海地区的灾害影响程度、洪涝威胁加重、沿海城市排污困难加大、海平面上升将使沿海城市的市政排污工程原设计标高降低。此外,在沿海地区出现的海岸侵蚀、土壤盐演化、盐水入侵等对环境的不利影响。

### 2.2 经济影响

海平面上升对沿海脆弱区的潜在经济影响的负面效应是很大的,首先是沿海集中的城市和工业区的损失,其次是耕地、湿地、盐田等的损失。在海岸带和低洼地区,尤其在城市化发展快速的地区。由于气候变化和海平面上升,极端天气事件易发,经济极易受到气候敏感性的影响,使海岸带和江河平原的脆弱性大增加。

### 2.3 社会影响

海平面上升可能使一些沿海地区原来从事农业、盐业、水产养殖业人员,被迫或部分被迫从事渔业或其他职业,这种社会经济的改变对沿海经济的持续发展,会带来一些不利影响(不排除个别地区带来的有利影响)。而受灾人口的数量,随着海平面不断上升和淹没区的扩大,也会不断增加。在健康方面,气候变化会通过热浪、洪水、暴雨、火灾和干旱影响到人体健康,所导致的死亡几率和伤害增加。

## 3 海岸带地区的减缓与适应

全球变暖已经成为了全世界所关注的焦点,现在的关键问题应该是如何减缓人类活动对气候变化的影响,如何实现人类的可持续发展。应对气候变化主要有两种途径,即适应和减缓。减缓是从节能减排的角度降低人类强迫的影响,节能主要是减去不必要的能源消耗,改善能源结构,同时要努力提高能源利用率。减缓,应该在全球范围内的采取减缓措施,全世界重视问题并积极行动。适应主要指国家和地区要能够适应由气候变暖引起的水资源分布变化和海平面的升高,以及对于极端天气的防御能力,还包括政府间应对气候变化的各类合作机制。适应应该是不同的地区会有多样化的适应机制,需要根据实际情况和实际需要,来推动和落实气候变化的减缓。

中国还是一个人口众多、经济发展水平较低、能源结构以煤为主、应对气候变化能力相对较弱的发展中国家,随着城镇化、工业化进程的不断加快以及居民用能水平的不断提高,沿海地区在应对气候变化方面面临严峻的挑战。

采取适应性措施可以减轻气候与环境变化造成的负面影响;采取减缓措施,控制和减少污染物和温室气体的排放,可在源头上减缓气候与环境变化的速率和程度。在可持续发展框架下应对气候变化,需要综合考虑减缓与适应之间的协同作用,以权衡取舍。国家颁布《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书,强调了海岸带地区适应气候变化的政策与行动即:

确定了海洋领域应对气候变化业务体系的建设目标和内容,建立了综合管理的决策机制和协调机制,努力减缓与适应气候变化的不利影响。

加强海岸带和沿海地区适应气候变化的能力建设。

开展海气相互作用调查研究,深化海气相互作用的认识,初步建成海洋环境立体化观测网络,提高了海洋灾害防御能力。

进一步建立健全海洋灾害应急预案体系和响应机制,全面提高沿海地区防御海洋灾害能力。

建设完善海洋领域应对气候变化观测和服务网络,开展海洋领域对气候变化的分析评估

和预测。

建立海平面监测预测分析评估系统，进一步做好海平面变化分析评估和影响评价。

提高近海和海岸带生态系统抵御和适应气候变化的能力，推进海洋生态系统的保护和恢复技术研发以及推广力度，强化海洋保护区的建设与管理，开展沿海湿地和海洋生态环境修复工作，建立典型海洋生态恢复示范区，大力营造沿海防护林等。

加强海岸带管理，提高沿海城市和重大工程设施的防护标准，控制沿海地区地下水超采和地面沉降，采取陆地河流与水库调水、以淡压咸等措施，应对河口海水倒灌和咸潮上溯。

## 4 小结

气候变化致使海岸带的自然和社会经济系统的脆弱性增强，要充分认识到全球气候变化的重要性，充分认识到解决全球气候变化问题的最佳途径是走可持续发展的道路。经济发展的压力导致脆弱地区对气候变化脆弱性增加。实现可持续发展要求在经济增长和社会进步的同时，正确认识能源消费和资源利用方式与可持续发展的关系，合理利用资源、保护环境、消除贫困和改变不可持续发展的生产和消费方式，这可能就是有效解决气候变化问题的最佳途径。

凡是能够减少自然压力、改进环境风险管理、改进贫困人口生活的政策，均有利于可持续发展、增强适应能力、减少对气候变化的脆弱性和其他压力。总之，可持续发展与适应气候和环境变化相互联系，只有在可持续发展前提下采取应对气候与环境变化的政策才能使适应更成功，气候与环境变化适应政策无疑将有助于发展更持续。

## 致谢

感谢国家气象局及气候培训中心的领导和老师提供了这期精彩的报告，尤其感谢张雁及其他老师在整个会务中的组织工作。

## 参考文献

(略)

# 气候变化影响因子-云凝结核的研究进展

岳岩裕 南京信息工程大学大气物理学院 210044

摘要：云凝结核（简称为 CCN）的观测是研究云物理的基本问题之一,作为气溶胶的一部分影响着大气和气候,对全球的降水和气候产生重要作用。国内外开展了一系列的研究,揭示了云凝结核和气溶胶在降水和云辐射特性、气候的预报方面的影响,对 CCN 的研究具有很大的发展空间。

关键字：气候；CCN；气溶胶；云滴

## 前言

大气气溶胶是指悬浮在大气中的固态和液态颗粒物的总称。已有的研究表明,气溶胶可通过多种途径影响气候,它可以通过吸收和散射太阳辐射而直接影响地气系统的辐射平衡,即直接辐射气候效应。另一方面,气溶胶粒子又可以作为云的凝结核影响云的光学特性、云量以及云的寿命,产生间接效应。间接强迫主要有 2 个方面<sup>[1]</sup>：增加气溶胶可以增加云凝结核（CCN）,在水汽含量一定的情况下将会使云滴的数目增多而半径减少,通过有效半径的变化影响云的辐射特性从而改变辐射收支；（2）在没有冰核的暖云中,气溶胶的增加使云滴变小,云滴增长变得困难,不利于产生降水,因此CCN的增加抑制了降水,使云的生命时间延长而最终影响整个辐射平衡。气溶胶粒子、CCN、云滴谱以及云的光学特征之间关系的复杂性和不确定性,使气溶胶间接辐射强迫的研究存在很大的困难。另有新近的研究提出一种气溶胶对云的半直接效应(semidirect effect on cloud)<sup>[2]</sup>：吸收性气溶胶也可以通过云的半直接效应来使地面变暖,在这种效应的作用下,边界层通过黑碳（BC）对太阳辐射的吸收性可以使部分云产生挥发,同时允许更多的太阳辐射到达地面<sup>[3]</sup>。

IPCC第三次评估报告指出<sup>[4]</sup>,在众多的气候变化影响因子中,最不确定和亟待深入认识的是气溶胶的辐射强迫作用。除了直接辐射强迫外,云凝结核或冰核改变云的微物理和光学特性以及降水效率,从而间接地影响气候,然而这一效应由于气溶胶的时空多变性、化学成分的复杂性以及气溶胶-云凝结核-云-辐射之间复杂的非线性关系,气溶胶对气候的间接强迫作用仍是全球气候变化数值模拟和预测中最不确定的因子。

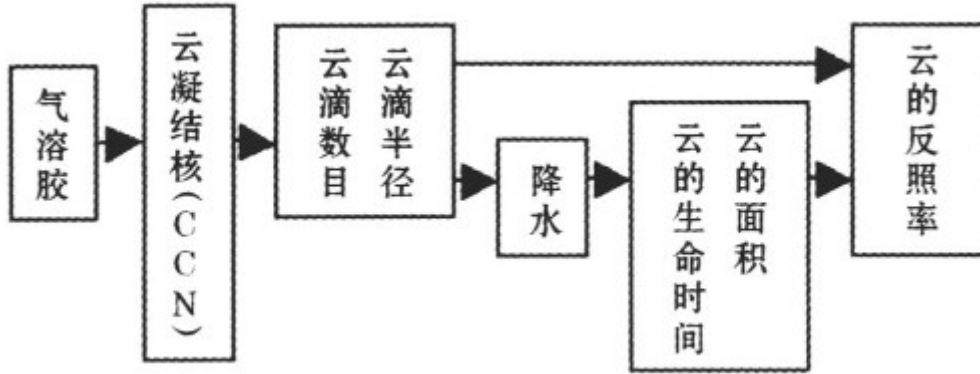


图 1 气溶胶间接效应示意图[3]

## 1、CCN 的观测方法

早期的观测主要是利用饱和水汽压与温度的非线性关系设计的仪器,是在静力扩散云室基础上发展的。

目前是使用较多的是 DMT 公司生产的连续流单过饱和度云凝结核计数器。仪器的核心部分是圆柱形的连续气流纵向热梯度云室,云室有上、中、下 3 部分,云室温度上低下高,形成温度梯度.从云室内壁向内部空气热量的扩散比水蒸气的扩散慢,环境气溶胶从顶部进入仪器,穿过圆柱状部分时水蒸气气流逐渐变得过饱和,样本气溶胶处于中心线区域最大过饱和度位置,采样粒子在设定的过饱和度下活化增长,活化后的粒子进入云室下的光学粒子计数器腔体记录尺度和数目,滤去样本附近潮湿的空气。

在高空飞机观测试验中利用PMS测量系统,该系统已经成为空中云探测的重要工具,通过观测能够直接得到云的微观特征量及时空变化,也可以得到气溶胶的数据。PMS由PCASP、FSSPER-100、2D-C、2D-P等探头组成。同时可以机载DMT CCN仪进行综合观测,探讨云滴与气溶胶之间的关系,目前这一方面的工作比较欠缺。

## 2、国内外 CCN 观测研究

气溶胶中的一部分可以作为云凝结核 (简称CCN),在大气的凝结过程中凝结核也起着很重要的作用,参与暖云的微物理过程,决定了云滴的浓度和初始大小的分布<sup>[5]</sup>,影响云的辐射强迫,从而减少到达地面的短波辐射,并抑制暖雨过程,使降水减少进而造成全球温度降低,对气候有净的冷却效应。另一方面气溶胶还可以参与冷云的微物理过程。冷云对全球辐射收支也是十分重要的,其辐射强迫的变化是影响全球气候和辐射平衡的最不确定的因子之一<sup>[6]</sup>,冰晶对于冷云降水、云辐射效应、水分循环甚至平流层的水汽含量的作用都很大,是一个重要

的影响因子。

人类活动对CCN数浓度的影响远大于人们目前所了解的程度,同时CCN数浓度的改变对全球水循环、降水和气候有影响。CCN浓度<sup>[5]</sup>影响暖云降水过程与雨滴浓度,碰并的速度和效率以及降水机制很大程度取决于凝结过程粒子谱的发展;同时还决定了云滴的浓度和初始大小的分布。气溶胶的物理和化学特性、云底的上升气流、夹带、雨的形成等因素控制着云滴的浓度。在云底云滴浓度和云凝结核数量的过饱和谱表明这些特征有一很强的联系,空气中云核含量的变化主要是由于云滴浓度的变化和胶态稳定度<sup>[7]</sup>。

Hudson 指出<sup>[8]</sup>,CCN的研究在一段时间内是受阻的,由于CCN仪器和测量的发展。CCN的研究现状与35年前相似具有很大的潜力,云和大气气溶胶是复杂的由于空间和时间变化、现象的瞬时性、粒子短暂的生命史、迅速的发展、大小分布的不同。最大的问题是滴的大小和浓度的增加是否会反应在全球变暖上,没有CCN的详细考虑无法真正的思考清楚。

近40年<sup>[8]</sup>来对CCN的研究热点从CCN对降水的影响到对辐射特性的影响标志着对云研究热点的转换。过去研究重点主要是云物理与天气变化的相关性,尤其是降水的变化。但是随着全球气候变化问题便成焦点,云物理的研究重点从降水转移到了云的辐射特性上。国外已经有很多人做了这方面的研究,如: Twomey, Ramanathan, Harrison, Alkezweny, Kaufman, Rosenfeld, Sherwood和Richard等的研究工作,他们认为云凝结核的增加,会抑制暖雨过程,使得降水减少,并通过直接和间接的效应加强云对地气系统的辐射强迫作用。CCN不但对于云的辐射特有重要影响,同时对降水、云微物理特性、以及云的宏观特性比如云的尺度、云的生命周期,以及气候的预报都有影响。因此对CCN的研究具有很大的发展空间。

从历年来世界各国研究人员研究的结果显示<sup>[9]</sup>: 海洋上空气中的CCN 为7~80 个/立方厘米, 大陆上空气中的CCN 为120~1128 个/立方厘米, 在污染的城市空气中CCN 为180~5500 个/立方厘米, 而燃烧过程释放的烟羽中CCN 为1164~5117 个/立方厘米(过饱和度为0.10%)。由于<sup>[10]</sup>海洋空气中气溶胶总数比大陆小1~2个量级,故虽然大陆空气中CCN只占气溶胶粒子的1%、海洋空气中占10%~20%,但近海岸CCN数浓度比内陆低得多,有时可低约一个数量级。凝结核的来源也是多样的,Brock提出<sup>[11]</sup>,大气气溶胶质粒总质量的75%左右是自然界和人类活动造成的,而把其余的25%归因于次生源,通过大气光化学作用和其他化学过程促使大气中的气体成分转化成小的质粒。CCN的成分主要是有三种: 海盐即巨核的主要部分; 含硫的成分即硫酸或硫酸盐类; 一些不溶性质粒,它们多来源于土壤,其浓度取决于土壤特征和地面的平均风速。

目前针对CCN开展了一系列的观测试验,1994年二月份T.P.DeFelice<sup>[12]</sup>在南极洲的



palmer站对云凝结核与气象要素的相关性做了观测分析。结果表明,在过饱和度约为 1.3%的情况下,云凝结核的平均浓度为  $20 \text{ cm}^{-3}$ 。在雾天、降水或降水后的晴天都会出现CCN的低值。90年代末在ACE-2 实验<sup>[13]</sup>中,揭示了层积云特性与气溶胶、CCN活化谱与上升气流的速度及云的微结构的关系;并基于上升速度来计算滴的浓度。控制层积云云滴浓度的因素包括气溶胶的物理和化学特性,云底的上升速度,夹卷和滴的形成。

1959 年Twomey和Squires<sup>[14]</sup>研究指出,云滴浓度与云凝结核(CCN)浓度相关。云凝结核在大气云中有一临界过饱和度 $S_c$ ,该值小于 2%。虽然近年来考虑云中的不均匀性和微环境,已提出云内局部可出现过饱和度高达 5%的情况,但总体上 2%仍被认为是自然云中所能达到的最大过饱和度。Aitken核的 $S_c$ 高达 300%。环境过饱和度 ( $S_a$ ) 大于临界过饱和度 ( $S_c$ ) 的凝结核能够被活化形成直径为几微米的云滴。 $S_c$ 大于 $S_a$ 的凝结核在koler曲线上是直径为零点几微米的霾滴,处于胶性不稳定状态。

我国到目前为止已经开展CCN观测的主要集中在几个城市和地区:东北地区、华北地区、宁夏贺兰山地区和青岛等地。从20世纪80年代初开始,先后利用MEE-130型CCN测量仪在我国北方以及贺兰山地区开展过CCN的观测研究。

2006年石立新等<sup>[15]</sup>利用 DMT公司的云凝结核仪对中国华北地区空中和地面的云凝结核(CCN) 进行了观测研究。根据2005年秋季和2006年春季的飞机观测结果表明,华北地区的CCN主要来源于地面,近地层CCN 浓度较高,CCN 浓度随高度增加而减少;CCN 的分布与地面源地密切相关,污染地区乡村上空CCN 浓度比无污染地区乡村高5倍以上,而污染城市上空的CCN 浓度无显著差异;水平穿越淡积云云簇时云内CCN 明显减少,表明云对CCN 的消耗作用。

### 3、模式的发展

气溶胶对云的影响的模拟研究也可以追溯到 50 多年前,Howell<sup>[16]</sup>研究了在上升的空气中气溶胶粒子群体增长。类似的模式说明了气溶胶和动力学参数对云滴数浓度和尺度分布的影响。现在很多这样的模式被广泛地应用于评估气溶胶的化学成分和大气中痕量气体对云滴活化的影响。

Reisin等<sup>[17]</sup>用一个详细的分档模式研究了CCN的变化对降水的影响,他们发现,在过饱和度 1%,CCN浓度较低 ( $100 \text{ cm}^{-3}$ ) 的情况下,降水主要是通过大滴的冻结形成的,随着CCN浓度的增加和云滴尺度的减小,霰的增长受到了抑制,降水效率也降低了。同时,他们还发现,冰核浓度的增加使得降水总量有所增加,但是在中等污染条件下 ( $\text{CCN}=600 \text{ cm}^{-3}$ ,1%的过饱和度下),

当冰核浓度再增加时,雨量的变化很小。当CCN浓度很高时 ( $1000\text{cm}^{-3}$ ),降水对冰核浓度的敏感性增大。大量早期研究表明,云的冰晶化速率很大程度上决定于大的过冷雨滴的出现或者是CCN的浓度。当CCN浓度高时,暖云的碰并过程受到抑制,过冷雨滴数量很少,小的冰晶粒子必须先长大到直径几百微米才能搜集碰并云滴。然后淞附过程缓慢进行,一直到冰粒子长到毫米量级。

Khain<sup>[18]</sup>模拟研究了深对流云中CCN浓度的变化对冰晶粒子浓度的影响。结果表明,清洁云 (CCN浓度为  $100\text{cm}^{-3}$ 左右) 中生成了大滴,并且在 $-15^{\circ}\text{C}$ 迅速冻结,大量的云水被消耗; 而污染云中 (CCN浓度为  $1260\text{cm}^{-3}$ 左右),冻结过程在 $-35^{\circ}\text{C}$ 才发生。这个模拟结果与现场观测到的污染地区上空温度为 $-38^{\circ}\text{C}$ 地方LWC较大的事实是一致的,降水量也只有清洁云情况下的一半左右。因此,Khain等人提出云滴-霰碰并系数等于云滴之间的碰并系数的假设过高估计了小的霰粒子对小云滴的碰并收集。

国内在气溶胶数值模拟的研究方面也取得了一定的成果,研究主要集中于硫酸盐气溶胶的长距离输送和直接气候效应上,所用的模式基本上能定性的模拟出我国硫酸盐气溶胶浓度的季节变化特征和平均区域分布状况。但结合地面和飞机综合观测资料进行大气化学、气溶胶和云相互作用机制的模式模拟研究工作,特别是从气溶胶活化为 CCN,继而成云致雨,同时云雨发展又对气溶胶的分布有反馈作用的中尺度模拟研究还不多。

## 4、总结

4.1 大气中的气溶胶粒子通过对水的相变作用而影响云的微物理结构和降水过程。人类活动排放的气溶胶粒子影响了大气和气候,凝结核增加了云的水滴数量和含水量,增加云的反照率而影响辐射,最终对气候产生影响。

4.2 云滴的多少不仅仅由气溶胶数浓度决定,还与气溶胶粒子的尺度、化学组分、上升速度以及过饱和度有关。气溶胶中的一部分可以作为CCN活化,其活化量受到上升速度、过饱和度、CCN的尺度以及CCN的化学性质影响。过去大量过去在大量测量的基础上提出了关于被活化的CCN浓度的经验公式  $N_{\text{ccn}}(\Delta S) = c\Delta S^b$ ,其中 $\Delta S$ 为过饱和度,常数  $c$ 相应于过饱和度为 1 %时的粒子浓度,气溶胶粒子群尺度或化学成分的信息隐含在参数  $c$ 和  $b$ 之中。由于气溶胶尺度分布或化学成分的时空不确定性,使得参数值也随时空出现极大的变化。因此,研究气溶胶—云滴的相互关系需要研究气溶胶—CCN—云滴之间的关系,CCN的观测与研究对于气溶胶与云滴的关系至关重要。

4.3 对国内外开展的一系列针对CCN的观测分析和模式研究进行了总结,对CCN的演变规律

和高空气溶胶、云滴的时空分布都有了初步了解,为进一步深入了解CCN、气溶胶、云滴之间的转化关系奠定了基础。

### 参考文献

- [1] Charlson R J, Schwartz S E, Hales J M, et al. Climate forcing by anthropogenic aerosols[J]. *Science*, 1992, 255(5043): 423-430.
- [2] Hansen J, Sato M, Ruedy R, et al. Global warming in the twenty first century: An alternative scenario [J]. *Proceedings of the National Academy Sciences of the USA*, 2000, 97: 9875-9880.
- [3] 段婧, 毛节泰. 气溶胶与云的相互作用的研究进展, *地球科学进展*. 2008, 23 (3) : 252-261
- [4] IPCC. Third Assessment Report, Climate Change 2001: The Scientific Basis[R]. New York: Cambridge University Press, 2001.
- [5] Sax R I, Hudson J G. Continentality of the South Florida Summertime CCN aerosol. *J Atmos Sci*, 1981, 38: 1467-1479
- [6] Rosenfeld D. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution[J]. 2000, 287: 1793-1796.
- [7] S Twomey, P Squires. The influence of cloud nucleus population on the microstructure and stability of convective clouds. 409-411.
- [8] G James, Hudson. Cloud Condensation Nuclei. *Journal of applied meteorology*, 1992, 32: 596-605
- [9] 陶俊, 刘兰玉, 陈克军. 有机酸对云凝结核形成的影响. *四川环境*, 2003, 22 (6) : 17-19.
- [10] Jan-Martial Cohard, Jean-Pierre Pinty, Carole Bedos. Extending Twomey's Analytical Estimate of Nucleated Cloud Droplet Concentrations from CCN Spectra. *Journal of Atmospheric Sciences*, 1998, 55: 3348-3357.
- [11] Brock, J.R. Condensational growth of atmospheric aerosols. *Aerosols and Atmospheric Chemistry*. 1972, 149-153
- [12] DeFelice, T.P., Variation in cloud condensation nuclei at Palmer station Antarctica during February 1994, *Atmospheric Research*. 1996, 41(3,4), 229-248.
- [13] Snider J R, Brenguier J. Cloud condensation nuclei and cloud droplet measurement during ACE-2. *Tellus*, 2000, 52B: 828-842
- [14] Twomey S, Warner J, Comparison of measurements of cloud droplets and cloud nuclei, *J. Atmos. Sci.*, 1967, 24: 702-703.
- [15] 石立新, 段英. 华北地区云凝结核的观测研究. *气象学报*, 2007, 65(4): 644-652.
- [16] Howell, W.E., The growth of cloud drops in uniformly cooled air, *J. Meteor.*, 1949(6) 134-149.
- [17] Reisin, T., S. Tzivion, and Z. Levin, Seeding convective clouds with ice nuclei or hygroscopic particles: A numerical study using a model with detailed microphysics, *J. Appl. Meteorol.*, 1996(35), 1416-1434.
- [18] Khain, A.P., D. Rosenfeld, A. Pokrovsky, Simulating convective clouds with sustained supercooled liquid water down to -37.5°C using a spectral microphysics model, *Geophys. Res. Lett.*, 2001(28), 3887-3890.

# 气候变化条件下研究水文响应的陆气双向耦合

武汉大学 水利水电学院 曾思栋

## 一、引言

在过去 150 年内，全球地表温度平均上升 0.6 摄氏度。最近 20 年成为过去 1000 年中最暖的 20 年。IPCC 第四次评估报告表明，全球平均地表气温到 2100 年时将比 1990 年上升 1.4~5.8℃。全球气候变暖已经成为国际上的突出问题。此外全球气候出现了升温不均匀、陆地比海洋明显、高纬比低纬明显、非洲长期干旱等特征。专家指出，气候变暖将会给自然生态系统、社会经济系统和国家安全带来影响，有可能引起耕地、资源、能源供应紧张，严重时还会引发局部冲突。

水是人类赖以生存的不可再生资源，同时也是大气系统各种物质能力循环的主要驱动力和载体。气候变化影响必然带来水循环水平垂直方向演变规律的变化，时空分配格局的改变等，进而影响水资源的规划管理等，反之水循环规律的演变也会反作用与大气过程，研究气候变化下水文水资源的响应对水资源的合理规划管理具有重要的科学参考意义。

传统的水文水资源对气候变化影响的响应研究主要是采用单向耦合的方法，即通过气候模式的气象资料输出（如降雨、气温等）作为水文模型的输入单向驱动水文模型，但是对于水文模型对气候模式的反馈却没有进行考虑。将陆面水文模型和气候模式进行双向耦合是研究气候变化对水文水资源影响的发展趋势。

## 二、陆气双向耦合概述

陆面是大气、水文、生态等过程的耦合界面。陆面水文过程则通过水分循环以降水、径流、蒸散发、融雪等多种方式完成土壤、植被和大气之间水分、热量、动量通量的复杂的交换过程，它是研究气候变化对水文水资源影响的重要中间桥接过程。将水文模型与陆面过程进行双向耦合，对其水量平衡、能量平衡、动量平衡等进行参数化方案研究，模拟气候、水文、生态等过程中的水分物质交换以及极端事件的发生。

陆面过程同时是区域气候模式、全球气候模式的重要组成部分，陆面过程与气候模式的耦合，刻画土壤—植被—大气间能量、动量和水汽交换等过程。由于区域气候模式能考虑大尺度强迫和中小尺度强迫的相互作用，将陆面过程模型耦合应用于水平分辨率较高的区域气候模式，能减少区域气候模式内物理过程描述的不准确所带来的不确定性，提高气候模式的模拟精度和未来气候情景的预测精度，这是研究气候变化对水文水资源影响的前提。因此，研究陆面水文模型，并将其有机嵌入大气模式中，是未来大气环流模式(GCM)和区域气候模式(RCM)发展和完善的重要目标之一，是研究气候变化对水文水资源影响的发展趋势。

### 三、陆面过程模式

陆面过程模式的发展历程和研究进展可以分为三个阶段:(1)简单模式阶段,1956年 Budyko 等提出了一个简单的陆面过程方案对大气和陆面间的相互作用进行参数化,即 Bucket 模式 (Budyko, 1956)。1969年,Manabe 首次将该模式引入到 GCM 中 (Manabe, 1969),随后各国多领域学者也相继投身到与 GCM 相耦合的陆面过程模式研究中来。陆面过程研究进入以 Bucket 模式为核心的简单模式阶段。该模式以水量平衡为基础,将土壤层看作一个水箱,非常简单地处理了土壤蒸发和地表径流过程。(2)生物大气模式阶段,从 80 年代开始,陆面过程进入了以 Deardorff 的大叶模式 (Deardorff, 1978), Dickinson 的 BATS 模式 (Dickinson, et al.,1986; Dickinson, et al., 1993) 以及 Sellers 的 SiB 模式 (Sellers et al., 1986) 为典型代表的生物大气模式阶段。这段时期各种陆面模式的主要特点是显式引入了植被对大气的作用,对生物圈的作用考虑较为完善,对陆气间的水热通量和动量通量进行了参数化模拟计算。(3)新一代多模式阶段,90 年代以来,全球变化研究的热潮推动了 GCM 和 RCM 的快速发展,人们对陆面过程模式给予了更多的关注。各种陆面过程模式不断问世,如 BATS2 (Dickinson,et al.,1998)、SiB2 (Colello,et al.,1998)、CLM (Dai Yongjiu,et al.,2003)、AVIM (Ji Jinjun,et al.,1999)、BAIM (Mabuchi,et al.,1997)、LSX (Pollard,et al.,1995)、SSiB (Xue,et al.,1991)、LSM (Bonan,et al.,1996)、IAP94 (Dai,et al.,1997) 和 VIC (Liang,et al.,1994;Liang,et al.,2001) 等,陆面过程模式研究围绕生物化学和水文过程展开,进入了新一代多模式阶段。新一代陆面过程参数化方案考虑了碳循环作用,对陆气间的物理、化学、生物、水文过程的描述更加详细。

### 四、陆气双向耦合中主要问题

作为陆气双向耦合的陆面水文模型,目前大多数的陆面过程模式考虑水文循环这块比较粗略,主要存在问题如下:(1)陆面模式的尺度一般较水文模型的要大。水文模型以流域为研究对象,根据 DEM 将流域划分为子流域或者网格,其空间尺度较陆面模式的小,这就存在陆面模式对于水文过程的概化,往往将下垫面进行均化处理,不考虑空间变异性。同时大气与陆面水文过程的时空尺度也差异较大,降尺度技术以及升尺度技术的发展同样有着极其重要的意义;此外由于空间尺度比较大,而大多数的陆面模式都不考虑流域汇流过程,而进行简单的水量平衡计算。(2)次网格非均匀性问题,地形、土壤、植被、降水等要素在 GCM 和 RCM 次网格内的高度非均匀性严重影响了陆面水文过程的模拟精度和效果,进行陆气耦合必须考虑次网格的非均匀性。(3)不确定性问题,水文模型、陆面模式、气候模式中有大量不确定性参数,模式耦合过程中存在很多不确定性因素,将直接导致整个陆气模式系统的不确定。

总之,研究水文水资源在不同的时空尺度上与大气过程如何相互影响是一个难点问题,开发适合于耦合气候模式的充分考虑水文过程的陆面水文模型,不仅是气候模式应用于水资源评估的重点内容,也是提高气候模式的模拟精度关键所在。

---

# 北极海冰对北半球/中国气候的影响

CMA 张若楠

## 1 冰冻圈及极冰的研究意义

地球大气圈、海洋圈、冰冻圈、岩石圈和生物圈等各圈层是相互作用和影响的统一整体，因此要了解全球变化，不仅需要关注与人类生活密切相关的中低纬度区，也必须对南、北极地区有所研究。通过对大量观测资料和代用资料的分析，我们发现全球气候正处于增暖期，其中变化幅度最大的是北半球的中高纬地区，特别是极地地区，与其它地区相比，正经历着一系列更为剧烈而且重要的气候变化。由此可见，对两极气候和大气环境变化及其与全球气候变化关系的研究，不仅在大气科学理论上很重要，而且对在两极地区建立科学考察站、制定和实施我国两极考察计划有重要的参考意义，对在极地海域中航行及其他人类活动也有着重要的实际意义，更重要的是，对人类研究古气候变化，中短期气候预测有重要的指导意义。

冰雪圈作为气候系统的重要组成部分之一，是大气热机中的冷源，极冰的气候效应一直是气候研究中的重要课题，对区域以及全球气候都有着不可忽视的影响。海冰作为极地地区最重要的气候因子之一，由于其独特性一直被认为是气候变化的放大器和指示器，同时，海冰自身变化必然对气候变化产生重要的反馈作用。海冰通过热力学、动力学过程以及在时空上的反馈机制对地区乃至全球的气候状态和变化起着极其重要的作用。首先，海冰的存在，显著地改变了海洋和大气之间的热量、动量和物质交换。大范围的海冰覆盖，大大抑制了海洋的蒸发，减少了海洋的热损失，相应大气从海洋获得的热量也减少，大气低层云系的形成也受到了抑制。其次，海冰的高反照率大大减少了极地对太阳辐射的吸收，使得极地成为全球气候系统的冷源以及冷空气的源地。第三，海冰的生成和融化可以改变海洋上层海水垂直结构。海冰的这些局地效应，可以通过大气环流的作用对遥远的地区气候产生影响。

在对海冰研究和认识的过程中，它的作用和重要意义日趋得到体现。与海冰相关的多项研究相继被纳入一系列大型国际合作研究计划之中，如：世界气候研究计划(WCRP)的“气候变化、预测研究(CLIVAR)”，“气候与冰冻圈(CliC)”，“北极系统研究(ACSYS)”；美国的“北极环境变化研究(SEARCH)”，“北冰洋表面热量平衡计划(SHEBA)”等；俄罗斯北极陆地—海洋相互作用计划(LOIRA)；日本—加拿大的“西北极气候联合研究(JWACR)”。国际上已经从多方面多学科的角度对这一气候系统因子加以探索研究，从1950年涉及冰特性和冰动力学的世界“低温科学学会”到当今突出海冰在大气/海冰/海洋气候系统耦合模型中的作用以及海冰关键过程的“南极海冰过程与气候计划(ASPeCt)”这些关于海冰的国际计划的相继出台，记录了国际海冰研究在近半个世纪里发展的历程和极地研究

---

领域国际合作的不断发展。

## 1. 极冰变化对大气环流的影响

大气对下垫面的强迫和影响起主导作用，但下垫面对大气的强迫也有弱反馈作用，对局地大气有重要影响，并通过遥相关过程影响其他地区的气候。

我国地处气候变化的脆弱地带，影响我国夏季降水的因素很多，其中包括青藏高原、季风环流、海温差异、西太平洋副热带高压、黑潮区海温、中东太平洋海温以及中高纬度大气环流及其下垫面的热力状况等诸多因素。事实上，夏季江淮流域的旱涝以及华北地区历年来的干旱，不能仅仅归因于大尺度夏季风环流和热带海温的异常变化，来自高纬度地区的冷空气活动异常也会导致极大的降水异常，因此，北极海冰的变化必然要影响我国的夏季降水。由于我国幅员广阔，就全国而言，夏季降水分布极不均衡，往往旱涝同时并存。不同地区不同时段，影响降水的物理过程差异显著，这给我国夏季旱涝的预测增加了难度。随着研究的不断深入，人们开始把注意力转向高纬度地区。

北极海冰对北半球气候，尤其中国气候影响的可能机理已得到广泛研究。第一种理论认为，北极海冰异常对大气环流和气候的影响是通过激发全球大气异常遥相关型来实现的，这种遥相关型可以看作二维Rossby波，具有相当正压结构，并沿一定的波导传播，从而影响到亚洲和北美的环流和天气，遥相关表现出具有与赤道太平洋海温异常同样重要的作用，在某些情况下，其影响甚至可以超过后者。准定常行星波的三维传播是由地形效应、非绝热加热及其与瞬变涡旋的相互作用这三种机制来强迫的。鄂霍次克海海冰与欧亚大陆边缘海域的海冰异常减少产生的异常湍流热通量，激发出大气准定常行星波的传播，进而导致冬季的东亚地区偏冷。第二种理论认为，偶极子异常很好地反映了北极极涡中心位置在东西半球之间的交替变化，春季海冰密集度的减少可能导致夏季北极偶极子的异常对中国东北夏季降水有重要影响。

北极海冰对北半球气候影响可以通过模式数值模拟方法来研究，并且得到了广泛应用。利用 NCAR 大气环流模式 CCM3 研究发现，模式大气对北大西洋海温和海冰存在异常的直接和间接响应：间接响应主导了位势高度异常，并具有半球尺度，类似于 NAO 和北半球环状模，且在垂直方向上从地表至对流层顶为准正压结构；而直接响应仅局限于强迫源区附近，在垂直方向呈现斜压结构。冬季大气对现实北极海冰异常的响应：在大西洋和太平洋的副极地海域，大气局地响应很强，高度一般低于 700hPa，为浅层响应：当海冰范围异常减少时，有巨大的向上热通量异常 ( $>100 \text{ W m}^{-2}$ )、近表层加热、降水增加以及异常偏低的海平面气压；当海冰异常偏多时反之。冬季大气对海冰强迫的响应在格陵兰地区类似于北大西洋涛动 (North Atlantic Oscillation, NAO) 的负位相，这表明大气与海冰之间存在强的负反馈；在太平洋地区，大气异常响应会在鄂霍次克海产生一个遥相关波列并向下游延伸至北美地区。因此，海冰异常对大气环流的反馈作用在太

---

平洋海区主要表现为正反馈，而在大西洋地区主要是负反馈。冬季大气对北大西洋海冰范围异常响应存在瞬态演变的过程：大气环流的初始响应在强迫区域附近表现为斜压结构，由低层异常非绝热加热强迫所维持，斜压响应在达到最大振幅后会持续 2-3 周；然后大气环流响应逐渐变的准正压结构，这种调整在第 2-2.5 个月时达到平衡，表现为类似于北半球大西洋涛动-北半球环状模 (NAO 或 NAM) 的特征。

北极海冰对中国气候的影响也表现在很多方面。白令海和鄂霍次克海春季海冰范围异常与我国降水有密切的关系，该海域海冰范围缩小将可能导致中国东南部夏季（5-6月）降水的增加。华北夏季降水与春季北极海冰面积呈正相关，春季北极海冰面积偏大（小），当年夏季华北大部分地区偏涝（旱）。春季SIC和后期中国夏季降水在年际和年代际时间尺度上存在紧密联系：北冰洋、格陵兰海春季SIC减少（增多），而欧亚大陆边缘海区海冰SIC增多（减少），中国东北、黄河长江之间的中国中部地区夏季降水异常增多（减少），中国南部降水异常减少（增多）。他们提出了两种可能的联系机理：（1）春季北极海冰和欧亚大陆积雪一致性变化，及其对后期夏季欧亚大陆纬向遥相关波列的影响可以解释春季北极海冰与中国夏季降水异常空间分布的关系；（2）春季北极海冰可能通过影响夏季北极偶极子异常，进而影响中国夏季降水。

因此，研究北极气候变化尤其是北极海冰变化，对北半球气候，尤其是我国气候变化的影响机理和可预报性不仅有重要的科学意义，也是保证我国经济持续、高速发展的客观要求。



# 浅谈火山气溶胶对气候的影响

张书萍

(气象科学研究院 硕士研究生)

2010年7月19日-30日,由中国气象局主办,国家外国专家局,世界气象组织南京区域培训中心,国家自然科学基金委等部门协办的第七届气候系统与气候变化国际讲习班(ISCs)顺利结束。本次报告主要分为5个主题:1、冰冻圈在气候系统和气候变化中的作用;2、大气化学与气溶胶的气候效应;3、地球生物化学循环;4、气候模式在气候变化研究中的应用;5、气候变化的减缓与适应对策及社会可持续发展。所有主题都是围绕在气候变化这一热点话题上展开。作为学员之一,我认真聆听了授课教师的精彩报告,在学习过程中,我不仅了解在科学领域中的前沿课题,更加感受到了教学中全英文授课的国际化氛围,受益匪浅。气溶胶的气候效应是我新接触的一个科学话题,结合到今年春季冰岛火山爆发的事实,因此对火山爆发的气溶胶效应给气候带来的影响有很大兴趣。

## 1、引言

由于人类活动和自然变化的共同影响,全球气候正经历一场以变暖为主要特征的显著变化,这一变化已引起了国际社会和科学界的高度关注。1988年11月,世界气象组织(WMO)和联合国环境规划署(UNEP)联合建立了政府间气候变化专门委员会(IPCC),就气候变化问题进行科学评估。IPCC第四次评估报告认为,全球变暖已经是一个不争的事实:过去100年中

(1906-2006)全球地表温度升高 $0.74^{\circ}\text{C}$ ,20世纪后半叶是过去1300年最温暖的50年。自20世纪中叶以来,大部分已观测到的全球平均温度的升高很可能是由于观测到的人为温室气体浓度增加所导致的。与温室气体所产生的变暖效应相反,气溶胶大多对气候产生制冷效应。温室气体和气溶胶的浓度、地表覆盖率和太阳辐射的变化改变了气候系统的能量平衡,从而成为气候变化的驱动因子。

火山爆发是影响地球气候变化的外部因素,其对气候的影响就是通过火山灰等气溶胶的特性来达到的。一般认为,大气气溶胶主要通过三个机制影响天气和气候:第一是气溶胶对短波和长波辐射的直接散射或者吸收,所谓直接辐射强迫;第二是气溶胶例子浓度的增加改变了云的特性(包括云滴数密度增加,滴谱的改变,云反照率增加,生命期增长),进而改变地气系统的辐射过程,即所谓间接辐射强迫;第三,气溶胶可以改变大气化学过程,进而影响温室气体的浓度和分布。那么火山爆发对以全球变暖为特征的气候变化有何影响?气候变化会不会对火山爆发有所触发呢?

## 2、火山爆发概况

2010年3月20日起,冰岛南部发生火山爆发,其间一度停喷,至4月14日再度喷发,且喷发强度加大。它向大气层中喷发大量的熔岩、尘土和气体,不仅使北欧几国烟灰弥漫,甚至昼夜难辨,还蔓延扩散至欧洲大部和北美地区,严重影响到当地的航班以及正常交通。由此火山活动对人类的影响再一次在全球变暖的环境中被提起。

据近几十年资料统计,全球每年发生火山爆发50次至70次,而且次数呈缓慢增加的趋势。火山爆发按其喷发出熔岩的体积和喷发的高度,划分成8个强度等级。中低强度的爆发每年都有,6级以上的强爆发要几十年才会有一次。约有10%的火山一天就完成了喷发,有的断续喷发几周,个别的断续喷发几年,平均下来喷发时间为7天。一次5级强度的爆发,其喷出的熔岩和火山灰的体积达1立方公里,并伴有大量二氧化硫等气体和水汽;喷出的高度可达25公里以上。

## 3 火山爆发的气候影响

火山的作用是双重的;其一降低温室效应。由于火山灰挡住了阳光,降低了温度,因而减少了植物和动物呼吸产生的二氧化碳量。而使温室效应程度降低,甚至大的火山喷发能使大气冷却。其二增强温室效应。火山喷发的热量能增加温室效应,同时海洋中的火山喷发能

释放甲烷，从而增强温室效应。

### 3.1 阳伞效应

即火山喷发时喷射出的火山灰和气溶胶在高空滞留后，其中的尘埃、颗粒会反射太阳光，阻止阳光直接照射地面，因而会在短时间内出现局部地区的降温或阴雨天气。阳伞效应会削弱温室效应。

火山爆发时，除熔岩、尘土外，还喷发出大量的气体和水汽，气体包括二氧化硫、二氧化碳、一氧化碳、硫化氢和氟等。其中大量的是二氧化硫，其与水汽结合后变成硫酸，除部分下降成为酸雨外，还有大部分转化成为硫酸盐气溶胶漂浮在平流层高空。大量的火山尘在源源不断地送进大气层，厚度可以达至 0.5-3 千米，由于其颗粒极为细小，因此漂流的时间可以很长，漂流时间长了它就能比较均匀地遍布全球。这种气溶胶能反射阳光，同时，又可以让地面的长波辐射透过，射向地球之外，这样就减少了近地层所能获得的太阳辐射，因而使一些地区的太阳辐射热量减少 10%~30%，从而使地面气温下降。再加上火山尘是大气中组成云与水滴的凝结核，天空充满了火山尘，就十分容易形成云、雨。天空中云多了、水滴多了，显然就减弱了太阳辐射的热量，地球上一些地区的气候也会出现偏冷，尤其是在夏季特别明显。越是强的火山爆发，喷发出的二氧化硫量越大，其对地面的降温作用也越大。

纵观近代几次巨大的火山爆发，均使火山喷发形成的平流层气溶胶增加及其辐射效应，这是造成全球气候影响的主要因素。1883 年喀拉喀托火山爆发、1903 年墨西哥的柯里玛火山爆发、1912 年阿拉斯加卡特迈火山爆发，均使以后的全球平均气温下降 0.3-0.6℃；1982 年 3—4 月，墨西哥的钦乔纳火山爆发，在太平洋和印度洋上空，出现了 5000kt 火山灰形成的巨大云层，厚 3000m，飘浮在 20km 的高空。这次喷发一年后，使东南亚变冷，并使澳大利亚、印度尼西亚连续干旱而遭受饥荒。

国际岩石圈与生物圈计划(IGBP)发布于去年哥本哈根会议期间气候变化指南的报告指出，在过去的 30 年里，气候变化愈演愈烈，唯独 1982、1992 和 1996 三个年份例外。这三个年份可能正好与 1982 年的墨西哥埃尔奇琼、1992 年的菲律宾皮纳图博和 1996 年加勒比岛蒙特拉瑟火山喷发有关。

但是温度下降到何种程度是取决于火山喷发物的数量、持续时间和这些喷发物的去向。如果这种情况持续超过一年，那么气候反馈机制将会产生作用

### 3.2 温室效应

变暖的倾向同时存在。1991 年，菲律宾吕宋岛的皮纳图博火山爆发，这次惊天动地的喷发，至少释放了 8000 万吨二氧化硫。当时的科学界甚至将南极上空的臭氧空洞归结为这宗上世纪最大的火山爆发事件。事实上，如果火山灰和气溶胶在大气中长时间飘浮，那么颗粒物和碎渣不仅会将射入的太阳光反射回外太空导致降温，也可能因为气溶胶中的温室气体而升温。对于这一“制冷原理”，科学家们不存异议，而刘嘉麒更认为火山喷发也是全球变暖的一个原因，因为火山活动要释放出大量的温室气体。

火山气体及形成的气溶胶，能在大气圈中发生光化学反应，导致平流层中臭氧浓度减小，臭氧层减薄，甚至出现“臭氧洞”，使人类接受过量的太阳紫外线辐射，诱发皮肤癌等疾病。

### 3.3 变冷还是变暖？

2010 年冬天由于极涡的影响，全球气候异常，中高纬度地区温度较低，人们一度认为，冰岛火山爆发是全球变冷的一个信号。那么在火山爆发过后全球气候如何走向？专家们也各执一词。

火山喷发可能是导致全球气候变暖的一个原因。地质历史上的火山活跃期，往往与间冰期相吻合，也就是说，火山爆发频繁的时期，往往是地球比较温暖的时期。另外一个现象是，火山喷发释放出来大量的温室气体。地表本身每天都在自然释放大量的温室气体，像二氧化碳、二氧化硫、甲烷，每次火山喷发也都有大量的这些气体喷出；即使火山不是以喷发的方式释放

这些气体,以溢流形式,或者以缓慢释放的形式,在释放能量的过程中,也都伴随着高强度的温室气体释放,因此,不可小看火山喷发与全球气候变化之间的关系,需要加强这方面的研究。

另一些科学家相信,火山喷发会在短期内导致气温下降,因为大量喷发出来的火山灰进入地球大气层的平流层后,由于平流层没有风,这些火山灰就对太阳光产生反射和折射作用,导致大量的热量被反射回太空。1991年6月菲律宾 Pinatubo 火山爆发是近80年来最强的一次。在热带(20° S—30° N)在火山爆发后3个月后气溶胶厚度达到峰值,直到1993年5月(亦即约两年后)恢复到正常。南北半球中纬度(40°—80° N, 40°—60° S)气溶胶光学厚度的峰值出现较晚,但均在春夏之际。显然,气溶胶光学厚度增大,太阳辐射削弱的程度亦增大。有资料证明1992年4—10月北半球两个大陆气温距平在-0.5-1.0℃之间。1990和1991年曾经是近百年来最暖的两年,但1992年全球平均下降了0.2℃,北半球下降0.4℃。不少学者认为,这主要是 Pinatubo 爆发的影响。

火山喷发会对全球气候或者说全球天气产生什么样的影响,需要科学家更多的关注。火山爆发和地震一样至今还无法预测,因而当今的气候模式对未来几年和几十年的预测都没有把火山爆发因素考虑在内,除非火山已经爆发。因此,可以说,火山爆发是气候变化过程中的一个重要的不确定因素。它甚至能使气候变化的进程产生突变。

#### 4、火山气溶胶引起的其他灾害

火山爆发时伴有强的上升气流和水汽的喷出所致;大块的火山熔岩和土块一般坠落在火山口附近,小块的可坠落到十几公里或几十公里之外。再小些的尘土甚至可顺风落在上百公里之外的地方。这次岩石碎片或者火山灰都漂浮在空气中成为影响天气气候乃至人类健康的杀手。

##### 1. 对环境和人体健康的影响

火山爆发时常喷出大量的二氧化硫,它与空中水汽结合成为硫酸,降下来就是酸雨。这种大面积的酸雨能腐蚀森林、树木、农作物、建筑物;酸雨降到湖泊、水库和水塘中,还能使水质酸化,损害鱼类和其他水生作物。这种雨水一定不能作为储备用水。

火山爆发还会使其顺风方下游产生一种火山灰雾(由火山灰和水汽结合而成),弥漫多日,不仅能见度很差,而且因其含有硫化物,对人体呼吸系统有明显伤害。因此,遇有火山爆发,政府一般都会让居民迅速撤离到至少25至30公里之外的地区,实际上是越远越好。

##### 2. 对飞行的影响

火山灰通常是指粒径小于2毫米的火山喷发物,由喷射到高空的岩浆珠滴冷却形成的微小颗粒及其他物质的微粒组成。悬浮在空中的火山灰在大气环流的带动下,能在几日内扩展到数百乃至数千千米远的范围,降低空中的透明度,由于微小的火山灰可以喷射到平流层高空,而飞机上雷达的荧光屏对这种颗粒极为细小而近乎透明的火山灰反应不明显,飞机驾驶员的肉眼也难以察觉,特别是在夜间;而它们在空中停留的时间又可以很长,大量细小的火山灰进入飞机引擎,使引擎不能充分发挥其动力作用,有时甚至熄火。如果飞机吸入火山灰,还会损坏发动机的正常功能,干扰导航系统,严重时造成发动机失灵,危及飞行安全,这样的事故屡屡发生。近30年来,先后有90多架民航飞机遇到火山灰云,并不同程度受损,几次险些机毁人亡,可见其威胁之大。

参考文献:

曲维政,黄菲,赵进平,等.火山活动对北半球平流层气候异常变化的影响.地球物理进展.2006.2  
李靖 张德二.火山活动对气候的影响.气象科技.2005. 33(3):193-198

<http://news.qq.com/a/20100420/000694.htm>

杨学祥.大震后的火山喷发:气候变冷的新证据

[http://www.sciencenet.cn/blog/user\\_content.aspx?id=50823](http://www.sciencenet.cn/blog/user_content.aspx?id=50823)

# 冰冻圈与全球变化

——ISCS 学习心得

张王滨

(南京大学 地理与海洋科学学院)

## 1 冰冻圈的内涵

冰冻圈泛指地球表层中水体以固体保存的圈层，包括所有种类的冰、雪和冻结土，如冰川（包括山地冰川、冰帽、极低冰盖、冰架等）、积雪、冻土（多年冻土和季节冻土）、海冰、河冰、湖冰等。研究冰冻圈组成部分的各种特性、生消过程、演化机理、古环境记录、与其他圈层相互作用以及对人类社会的影响等，均属于冰冻圈科学的范畴。

冰冻圈分布（见图 1）地域极其广泛，主要集中于南极、格陵兰、斯堪的纳维亚半岛、阿尔卑斯山脉、西伯利亚北部、勘察加半岛、喜马拉雅山、中国西部和东北、加拿大北部、落基山脉、安第斯山脉、新西兰以及部分热带地区的高山。

地球系统是开放系统，地球与外太空之间以及地球上各子系统（大气圈、水圈、岩石圈、生物圈、冰冻圈）之间都存在物质、能量、信息的迁移转换。冰冻圈作为地球上的一个重要的圈层，在全球几乎所有纬度都有所分布，不仅深刻影响着全球气候，而且是全球气候变化的重要指示器。

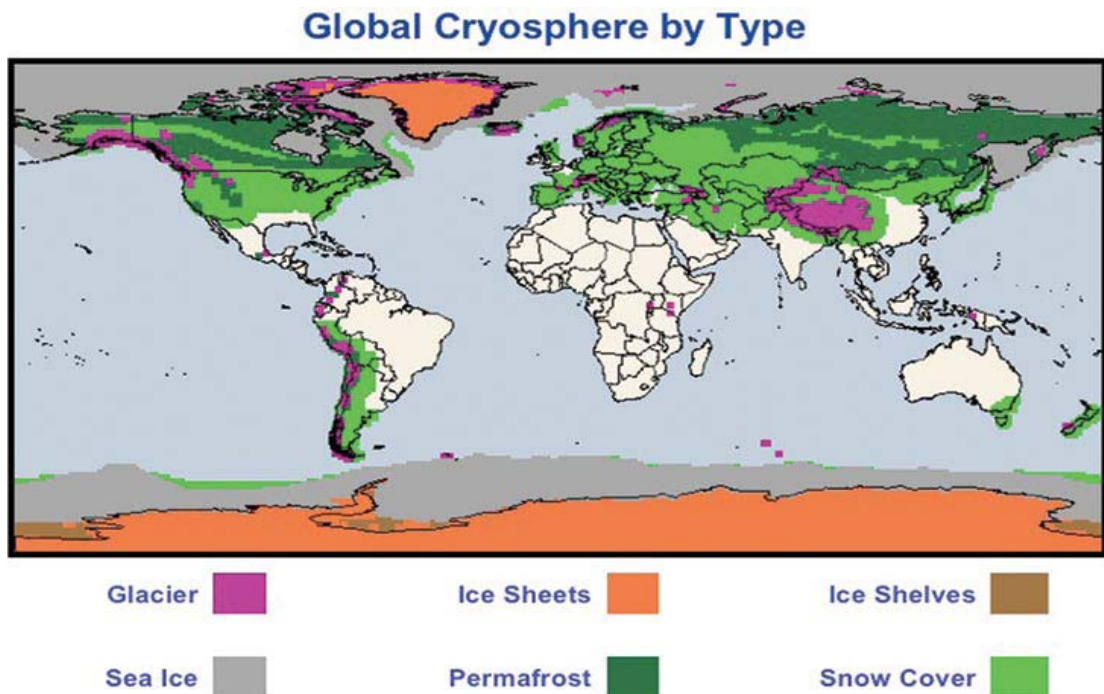


图 1 冰冻圈不同组分在全球的分布

作为冰冻圈发育大国，我国的冰冻圈研究不仅具有科学上的重要性，而且显示出其在战略层面上的重要性。随着我国经济的快速发展，气候变化对我国经济社会发展的影

响将越来越显著。冰冻圈是气候系统的重要组成部分，其变化对对我国周边的气候有重要影响。

## 2 主要冰芯

冰冻圈变化是气候变化的敏感指示器。储存于冰冻圈内的气候环境信息十分丰富，如积雪、河湖海冰、冰川与极地冰盖的范围与冰量变化、冰层内物理化学生物等浓度、冰缘地貌、泥炭沉积、地下冰、钻孔温度等均能反映不同时间尺度上的气候变化。因此，冰冻圈介质，尤其是冰芯，可为全球变化研究提供丰富的、高分辨率的气候环境记录，深化全球变化的认识水平，成为各国科学家“抢手”的研究对象。

俄罗斯东方的研究者们，在 1998 年挖出了世界上最长的冰核(即冰的核心，其中的气泡能够纪录过去此地区的大气组成)。俄国及美国的研究团队钻入 3623 米深。检验发现，冰核最底部约有 420,000 年的历史。

2006 年 1 月 24 日，日本第 47 次南极观测队在 Dome FUJI 成功钻取到南极冰盖以下 3028.5 米的一块 72 万年前的冰芯样本。

“欧洲南极冰芯钻探项目”团队 2004 年在 Dome C 钻取的第一个南极冰芯长 3270.20 米，可以重现 80 万年前南极洲温度变化和温室效应引起的大气组成成分变化。2001 年第二个冰芯以详细形式显示了南北半球气候的接合。

巴西、智利和美国科学家目前正在南极大陆钻取一个深 133 米的冰芯，以研究近 250 年来的全球气候变化。钻探工作于 2007 年 12 月启动，钻探地点选在海拔 2000 米的南极底特律高原，目前已获得一些样品。

2005 年 7 月 7 日，雷诺 (Raynaud) 等人在《自然》杂志表示，透过转化部分记录，沃斯托克站的记录或可延伸至 3,345 米深，溯及 436,000 年前，以盖括更多有趣的 MIS11 期资料。正因如此，一项记录在与更新、更详尽的欧洲南极冰核计划记录（纵然此计划没提供新资料）协议下面世。

我国科学家在冰芯钻探方面也取得了令人瞩目的进展——2006 年 3 月 25 日，中国第 21 次南极考察队顺利凯旋。此次考察的最大收获之一是在南极冰盖最高点 Dome A 上，成功钻取了长达 135 米的冰芯，成为世界上迄今为止在南极冰盖最高点区域获取的惟一一支冰盖顶点冰芯。2010 年 1 月，我国第 26 次南极科学考察队又在 Dome A 成功钻取 132 米的冰芯。

此外，各国在格陵兰、阿尔卑斯山脉、阿拉斯加、青藏高原也钻取了大量能够反映半球或区域气候变化的冰芯。如青藏高原的普若岗日冰芯、古里雅冰芯、达索普冰芯、敦德冰芯，格陵兰的 GRIP/GISP2 冰芯、North GRIP 冰芯，阿尔卑斯山的慕士塔格冰芯。

### 3 冰芯研究取得的成就

1. 证实了米兰科维奇循环。目前, 南极Vostok冰芯重建了 4 个完整的冰期间冰期气候循环, Dome C冰芯重建了 6 个完整的冰期间冰期气候循环, 发现该地区冰期间冰期的气温、温室气体( $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ )含量变化以及大气气溶胶含量变化等都存在地球轨道参数变化的周期, 即具有明显的 10 万年、4 万年和 2.3~1.9 万年的周期。

2. 揭示了快速气候变化事件。格陵兰顶部所获得的两个深孔冰芯记录均表明在末次冰期内存在快速气候变化事件, 即在短短的几十年内就可完成从冷到暖的转变, 温度变幅达  $15^\circ\text{C}$ 。新仙女木事件是末次冰退期气候的快速转冷事件。格陵兰冰芯记录表明, 这一时期的温度低于现今  $15^\circ\text{C}$  左右, 且其建立是极为迅速的, 仅在 5~20 年的时间内就完成了。

3. 恢复了古大气中温室气体含量变化。目前古气候研究中, 冰芯是所有介质中唯一可以提取过去大气成分含量变化完整信息的介质, 通过冰芯气泡中气体成分的恢复, 可以研究古大气成分及其变化。如南极Vostok冰芯记录恢复了过去 42 万年以来的大气中温室气体( $\text{CO}_2$  和 $\text{CH}_4$ )含量的变化, 发现在过去的 42 万年以来, 大气中温室气体 $\text{CO}_2$ 的含量基本在 180 微克~280 微克波动,  $\text{CH}_4$ 含量在 350ppb~800ppb波动。而工业革命以来, 大气中 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 含量迅速增加, 目前分别达到近 385 微克和 1800ppb, 为 83 万年以来最大值, 为近百年来全球增暖主要是由于人类活动影响提供了证据。

4. 记录了大气尘埃含量变化。将全球不同地区冰芯中尘埃含量进行对比, 发现北半球冰芯中的尘埃含量要高于南半球, 山地冰芯中的尘埃含量要高于极区。冰芯微粒含量的这种空间分布特征与北半球陆地面积宽广、尘埃物源丰富以及山地冰芯更接近尘埃物源区有着直接的联系。冰芯记录揭示出冰期与间冰期大气中尘埃含量存在巨大的差异。冰期时较高的尘埃含量表明, 这一时期尘埃源区范围扩大(包括大陆架出露)、干燥度增加、风力加大以及大气的经向输送加强等。

5. 记录到太阳活动变化。大气中宇宙成因同位素(如 $^{14}\text{C}$ 、 $^{10}\text{Be}$ 、 $^{36}\text{Cl}$  等)产生速率的变化可以揭示太阳活动的信息。研究表明, 全新世时期冰芯中的 $^{10}\text{Be}$  浓度记录受降水变化的影响较小, 可以很好地揭示太阳活动。由于 $^{10}\text{Be}$  在大气中的滞留时间很短, 仅为 1~2 年, 因此冰芯中 $^{10}\text{Be}$  记录也可以揭示较短时间尺度上的太阳活动信息, 如太阳活动的 11 年 周期。

6. 揭示地磁场强度变化。长期连续的古地磁场强度变化主要依据海洋等沉积记录来恢复。最近, 利用大气中宇宙成因同位素产生速率的物理模型以及格陵兰冰芯中 $^{10}\text{Be}$  和 $^{36}\text{Cl}$ 的沉积通量记录, 首次通过冰芯恢复了 2~6 万年BP 时期的古地磁强度变化, 发

现其变化与海洋沉积物记录的古地磁强度变化具有很好的一致性，这证明了利用冰芯记录恢复古地磁变化的有效性。

7. 恢复火山活动的记录。冰芯中可以揭示火山喷发信息的指标包括ECM、 $\text{SO}_2^{-4}$ 浓度、 $\text{H}^+$ 浓度和火山灰。一般来说，低纬度火山喷发的影响范围可以波及到全球，而中高纬度火山喷发的影响范围仅限于半球尺度。但如果中高纬度的火山喷发极为强烈，喷发物质可以通过平流层影响到全球范围。冰芯记录的火山活动不仅真实可靠而且全面，如近2000年来格陵兰冰芯记录的69次过量 $\text{SO}_2^{-4}$ 浓度事件中，85%与文献记录的火山喷发相吻合，其余15%为文献未记载的火山活动。

8. 研究生物地球化学循环。现有的分析资料表明，全新世时期格陵兰冰芯记录的碳黑含量大约是南极冰芯记录的3~4倍，这表明北半球的生物量燃烧程度要大于南半球。冰雪中甲基磺酸常被用来做为海洋生物源强度变化的指标。根据两极冰芯中 $\text{CH}_4$ 浓度记录以及纬向三箱模型研究了末次冰期以来 $\text{CH}_4$ 不同源区对大气 $\text{CH}_4$ 含量变化的贡献，结果发现虽然热带地区是大气 $\text{CH}_4$ 的主要源地，然而除末次冰盛期之外(这一时期大气 $\text{CH}_4$ 含量绝大部分来自热带湿地)、北半球高纬湿地对大气 $\text{CH}_4$ 含量的贡献几乎与热带地区的贡献处于同一量级。

9. 记录超新星爆炸。超新星爆炸时会产生大量的X射线。当这些射线进入地球大气层后会使得大气中产生大量的NO( $\text{NO}$ 和 $\text{NO}_2$ 是 $\text{NO}_3^-$ 的前身)，从而在爆炸事件发生之后的冰雪沉积层中形成明显的 $\text{NO}_3^-$ 浓度峰值。南极South Pole冰芯中的 $\text{NO}_3^-$ 浓度记录，有4个高于 $\text{NO}_3^-$ 背景浓度2~3倍的峰值，其峰值浓度年代和已知的超新星爆炸事件相对应激起了天文学家对于冰芯研究结果的浓厚兴趣。

10. 促进了冰芯微生物学发展。冰川冰虽然不能提供微生物的生长环境，但却是保存生物的良好载体。随着分子生物学技术的发展，在北极Hans Tausen冰帽冰芯中找到了真菌、植物、藻类和原虫等多种生物。进一步的研究发现这些微生物既包括远源微生物又包括北极局地环境下的微生物。研究发现。南极Vostok冰芯底部湖冰样品中存在有细菌，同时发现融化的湖冰水样中包含能生长发育的活性呼吸细胞。另外，对格陵兰14万年BP以来的不同时期的冰芯样品进行扩增，均检测到了西红柿Mosaic Tobacco etch virus病毒，并且其基因型与现代的一致，这预示着人类及其他寄生物的一些稳定性病毒也可以保存在冰川中，而且古老的活性病毒可以随着冰川的融化而向现代环境中释放。由此可见，冰芯微生物学应是一个值得重视的研究领域。

11. 记录到人类活动对环境的影响。格陵兰冰芯记录表明，古希腊和古罗马时期的Pb含量大约是全新世早期的4倍，而同期格陵兰冰芯中Cu含量的明显峰值揭示了罗

马帝国对于铜合金产品(用于军备器械和钱币等)需求的增加。对于近几百年来格陵兰冰雪中 Pb 含量的分析研究,发现人类工业化以后 Pb 含量逐渐增加,到 20 世纪 60 年代大约增加到 7000 年 BP 的 200 倍。而美国等西方国家从 1970 年开始限制含铅汽油的使用后,从 20 世纪 70 年代到 90 年代格陵兰冰雪记录中的 Pb 含量大约降低了 7 倍。南极 Dome C 冰芯 Pb 含量记录以及南极许多地点降水中的 Pb 含量记录表明人类活动的影响已波及南极地区。人类向大气释放的放射性物质也在极地冰川中留下了印记。如 1954 年和 1961~1962 年发生在北半球的核试验,不仅在北半球山地冰芯和格陵兰冰芯中形成了  $\beta$  活化度和氡浓度的强信号记录,而且在南极冰芯中也有明显的表现。南美热带的秘鲁冰芯分析结果发现,在大约 490 ~620 AD 和 830 ~960 AD 两个时期微粒含量呈现明显的峰值,这两次尘埃事件很可能与位于尘埃来源方向的 Titicaca 湖区的农业开垦和放牧有关。

#### 4 冰冻圈研究的未来

随着全球气温的升高,冰冻圈节节退缩。有研究显示,在未来的几十年,部分高山冰川将会消失殆尽。可供钻取的冰芯越来越少。此外,现有的部分冰芯采集地冰雪融化并渗透至冰冻圈中下层,将导致所采集的冰芯不能真实反映全球气候的变化。污染的加剧,也将使冰冻圈的研究举步维艰。因此,现在我们要加快对冰冻圈的研究,并积极寻找新的方法来对全球气候进行模拟和预测,以便为人类的可持续发展服务。



# 生物地球化学循环

中科院寒区旱区环境与工程研究所/南京大学地理与海洋科学学院 张彦成

生物地球化学循环，又称生物地球化学旋回。在地球表层生物圈中，生物有机体经由生命活动，从其生存环境的介质中吸取元素及其化合物(常称矿物质)，通过生物化学作用转化为生命物质，同时排泄部分物质返回环境，并在其死亡之后又被分解成为元素或化合物(亦称矿物质)返回环境介质中。这一个循环往复的过程，称为生物地球化学循环。生物地球化学循环还包括从一种生物体(初级生产者)到另一种生物体(消耗者)的转移或食物链的传递及效应。

生物地球化学循环是联接地球各个圈层的环节之一，其在地球系统中的重要性只是在最近才真正被认识到。借助于生物地球化学循环过程，生命系统在很大程度上控制着大气和海洋的成分以及地壳的风化速度，调节物理气候系统和固体地球系统的过程，影响大气、海洋化学和全球能量平衡以及地表环境特征。若无海洋生物存在，大洋——大气系统中CO<sub>2</sub>的浓度将比现代增加两倍，全球将因此而变得更为温暖；硅、碳、铁、锰、硫、稀有元素等的富集都是生物成因的，每天由植物返回大气的有机挥发物(有的含有金属)有上千吨。通过生物地球化学循环过程，使得维持地球生命所必需的化学元素可以得到重复利用，没有生物地球化学循环，大气中的氧气会被耗尽，海洋沉积物中对生物有毒的化学物质会太多，营养太贫乏，以至不能维持生物的生命。生物是生物地球化学循环的内在平衡控制因素。根据Gaia假说，地球上的生命具有调节其环境使其有利于自身生存的能力，地球上许多被认为正常的现象实际上是地球上 35 亿年来生命活动的产物。

生物地化循环可分为三大类型，即水循环、气体型循环(Gaseous Cycles)和沉积型循环(Sedimentary Cycles)。①. 在气体型循环中，物质的主要储存库是大气和海洋，其循环与大气和海洋密切相联，具有明显的全球性，循环性能最为完善。凡属于气体型循环的物质，其分子或某些化合物常以气体形式参与循环过程，属于这类的物质有氧、二氧化碳、氮、氯、溴和氟等。②. 参与沉积型循环的物质，其分子或化合物绝无气体形态，这些物质主要是通过岩石的风化和沉积物的分解转变为可被生态系统利用的营养物质，而海底沉积物转化为岩石圈成分则是一个缓慢的、单向的物质移动过程，时间要以数千年计。这些沉积型循环物质的主要储存库是土壤、沉积物和岩石，而无气体形态，因此这类物质循环的全球性不如气体型循环表现得那么明显，循环性能一般也很不完善。属于沉积型循环的物质有磷、钙、

钾、钠、镁、铁、锰、碘、铜、硅等，其中磷是较典型的沉积型循环物质，它从岩石中释放出来，最终又沉积在海底并转化为新的岩石。气体型循环和沉积型循环虽然各有特点，但都受到能流的驱动，并都依赖于水的循环。

从历史上看，生物地球化学家着重于具体的循环，如碳循环和氮循环。研究发现，生物地球化学循环，无论是水循环、氮循环、碳循环、或其他循环的发生均与另外一些循环互相呼应。也就是说，各种生物地球化学循环之间存在着耦合。同时，这些循环还与地球的物理特征存在耦合。现在，随着全球气候变暖和全球范围内的其他影响，生物地球化学循环正在急剧改变。如同曾经完美运行的机器的坏齿轮一样，这些循环正在变得越来越不同步。

随着全球变暖及各国碳减排任务研究的深入，碳生物地球化学循环逐渐引起了各个国家和全球科学家的重视。

**碳循环** 碳是构成一切有机物的基本元素。绿色植物通过光合作用将吸收的太阳能固定于碳水化合物中，这些化合物再沿食物链传递并在各级生物体内氧化放能，从而带动群落整体的生命活动。因此碳水化合物是生物圈中的主要能源物质。生态系统的能流过程即表现为碳水化合物的合成、传递与分解(图 1)。

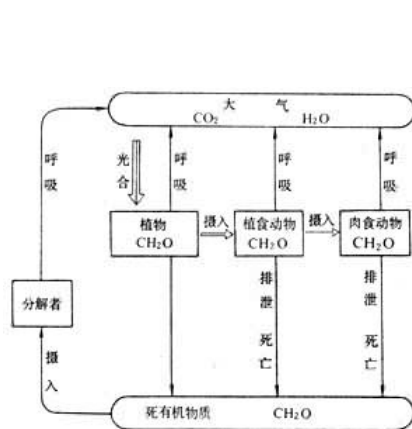


图 1 碳的生物循环

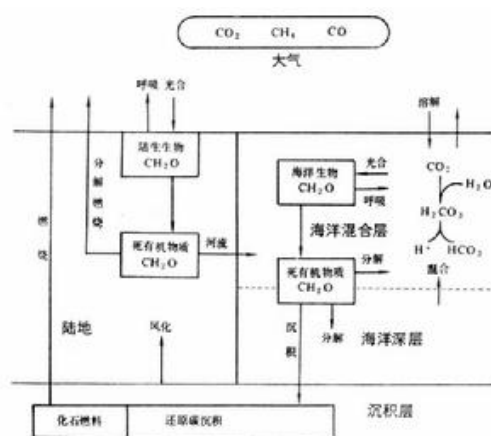


图 2 碳的生物地球化学循环

自然界有大量碳酸盐沉积物，但其中的碳却难以进入生物循环。植物吸收的碳完全来自气态 $CO_2$ 。生物体通过呼吸作用将体内的 $CO_2$ 作为废物排入空气中。翻耕土地也使土壤中容纳的一部分 $CO_2$ 释放出来，腐殖质氧化产生的 $CO_2$ 更多。燃烧煤炭和石油等燃料也能产生 $CO_2$ ，特别是工业化以后，以这种方式产生的 $CO_2$ 量逐渐增大，甚至超过来自其他途径的 $CO_2$ 量。大气中的 $CO_2$ 一方面因植物的减少而降低了消耗，另一方面又因上述燃料使用量的增加而增多了补充，所以浓度有增加的趋势。但海水中可以溶解大量 $CO_2$ 并以碳酸盐的形式贮存起来，因此可以帮助调节大气中 $CO_2$ 的浓度(图 2)。

工业革命之前人类战争对地球碳循环干扰较为严重(Li, *PNAS*, 2009, Vol. 106),之后则是人类大量工业活动由引起。有日本研究小组在美国*Science* (2008, Vol. 321)杂志上报告说,一种能使光合作用在近红外线照射下进行的物质——叶绿素D在地球海洋与湖泊中广泛存在,这种叶绿素可能是地球上碳循环的驱动力之一;鉴于此有研究指出海洋施“铁肥”可通过海洋浮游植物生物量增大长期捕获温室气体(*Nature*, 2009, Vol. 457),但2009年德国与印度的科学家发现通过向印度洋施“铁肥”的方法并不能完全奏效,而且海洋生态学家认为这对海洋生态系统和生物多样性的影响尚不明确。此外,最近的研究还指出海星等棘皮动物也可影响海洋碳循环(Mario Lebrato et al., *Ecological Monographs*, 2009),提供了海洋生物碳循环的新认识。本月美国*Science* (*Express online*, Christian Beer et al. & Miguel D. Mahecha et al. July 5, 2010)杂志发表了德国马普生物地球化学研究所克里斯蒂安·比尔领导的一个国际研究小组最近的两份研究报告,首次根据测量数据估算出地球上二氧化碳的自然释放和吸收量,为研究全球气候变化提供了新的依据,有助减少气候变化后果预测的不确定性。

中国陆地碳循环研究方面,北京大学城市与环境学院朴世龙研究员与方精云院士等取得了令人瞩目的成果(*Shilong Piao et al., Nature*, Vol. 458, 2009),不仅首次采用自上而下的大气反演模型和自下而上的过程模型及地面资料有机结合的途径,系统地分析了我国陆地生态系统碳汇大小及其机制,提高了对陆地生态系统在全球碳循环中作用的认识,而且阐明了中国陆地生态系统净吸收的二氧化碳量可以部分抵消其工业源排放量,为制定CO<sub>2</sub>排放策略提供依据,增加了我国在联合国气候变化框架协议谈判中的砝码。

全球气候变化已成为当今世界热点问题,但我国科学研究却相对薄弱,缺乏集成。为改变这一现状,加强中国在全球变化关键科学问题的话语权,2010年3月发布了我国《全球变化研究重大科学研究计划项目申报的通知》,7月我国启动了全球变化研究国家重大科学研究计划共计19项。全球变化研究国家重大科学研究计划的实施,将进一步提升我国应对全球气候变化的研究能力和国际影响力,形成我国全球变化研究的优势与特色,为国家社会经济可持续发展宏观决策提供科学依据,为我国参加国际气候变化谈判和开展环境外交提供强有力的科学依据和政策咨询建议。总的来看,相比而言,我国的全球变化研究仍然较为薄弱,这需要多学科的我国诸多科学家长期坚持不懈的工作。

# 气溶胶对气候变化的影响

## --ISCS 学习心得

兰州大学大气科学学院 张志薇

通过为期十几天的“第七届气候系统与气候变化国际讲习班”的学习，我加深了对相关知识的认识和理解。感谢各位教授的细心讲解，我从中受益匪浅，也了解了很多以前从未接触的领域知识。下面就我印象最深的也是比较有收获的几个方面谈谈所学到的和自己已了解知识的一些见解。

### 黑碳对气候的影响

通过听取专家的精彩报告，特别是 Steven John Ghan 教授的 Effects of black carbon on climate 的一讲，使我进一步了解了黑碳在气候变化中的作用。Steven John Ghan 从黑碳的基本概念、性质到黑碳的观测，并介绍了一些测量黑碳的仪器及测量结果的校正，接着还对全球黑碳排放空间分布，黑碳含量的空间分布，以及黑碳所引起的辐射强迫的分布和气候敏感性做了介绍，最后还介绍了黑碳对气候变化的不确定性。

宏观上，由于黑碳具有较强的吸收性，所以它对气候的影响有别于其它弱吸收或不吸收的气溶胶粒子，由于大气中黑碳的存在，会使大气顶和地面辐射强迫为负，即降温，而大气中辐射强迫为负，为增温，这样会使大气温度垂直结构发生改变，甚至改变大气环流状况。微观上，黑碳在大气中存在会和其它粒子发生混合，混合状态也有不同，有外部混合、内部混合等，根据混合状态的不同，气溶胶的性质也有所不同。还介绍了描述气溶胶光学性质的参数有消光、散射、吸收系数，AOD(气溶胶光学厚度)，SSA(单次散射反照率)，相函数，不对称因子，尺度分布等，并介绍了各个参数的测量仪器，比如散射性质可以通过积分浑浊度仪测量，吸收性质可以通过 PSAP、MAAP 等测量，后向散射可以通过 lidar 测量，光学厚度可以用太阳光度计测量，目前已有了一些气溶胶的观测网，如 AERONET, SKYNET 等，还有很多有关气溶胶的外场试验，气溶胶的研究已收到高度重视。

同时也阅读了相关文献，例如 Jing Ming 等(2009, Atmospheric Research) 分析了 2004-2006 年在中国西部选定的冰川上采集的积雪上的黑碳浓度。海拔较低的地方黑碳浓度较高。天山和青藏高原上积雪中的黑碳浓度高于高原外观测点的浓度，而且青藏高原中部的积雪每年春季的强烈融化使得中部的黑碳浓度大于青藏高原边缘观测点的浓度。和全球其他地点积雪上得到的黑碳浓度相比较发现，观测点距离强黑碳排放区域的远近是决定观测点黑碳浓度的重要因素。对减小的反照率研究发现，黑碳在积雪上的沉积加快了积雪的融化，减小的反照率有 5% 归功于黑碳的沉积。Y. Kanaya 等(2008, Atmos. Chem. Phys) 2006 年 6 月在泰山顶(36.26°N, 117.11°E, 1534m) 利用四种仪器观测了黑碳浓度：多角度吸收光度计(5012 MAAP, Thermo)，煤烟颗粒吸收光度计(PSAP, Radiance Research)，WCOC 半连续分析仪(Sunset Laboratory)，和黑碳仪(AE-21, Magee Scientific)。各种仪器观测到得黑碳浓度之间相关系数都大于 0.88。最小二乘法拟合发现，黑碳浓度最大值和最小值比值约为 1.5。这个比值很重要，在很大程度上减弱了中国中东部地区黑碳排放率的不确定性。两种光学仪器(MAAP 和 PSAP)的黑碳浓度测量结果比 ECOC 分析仪给出的元素碳浓度结果要高，可能有两种原因：虽然 MAAP 很细致地消除了散射的影响、PSAP 通过加热采样口消除了挥发性物质的影响，但两种仪器仍然高估了黑碳的浓度；ECOC 分析仪对样品的加热碳化导致对元素碳浓度的低估。

## 气溶胶和云的相互作用

三位讲授气溶胶有关知识的专家,几乎都讲到了气溶胶和云的相互作用的有关内容,使我对其有了更全面的认识。气溶胶对辐射的影响取决于其时间和空间的分布、自身的物理化学性质以及下垫面的光学性质。一种是直接效应,即气溶胶直接散射和吸收太阳辐射;另一种是间接效应,主要可以描述为两类间接效应。第一类间接效应也称Twomey效应,指气溶胶增加使云中云滴数量增加,减少云粒子半径,从而增加云的反照率(它依赖于气溶胶的吸收特性和光学厚度);第二类间接效应也称为“云的生命期效应”或“Albrecht效应”,是由人为气溶胶增加引起粒子半径的减小,从而抑制降水,使云的生命时间发生变化。另有新近的研究提出一种气溶胶对云的半直接效应(semi-direct effect on cloud):吸收性气溶胶也可以通过云的半直接效应来使地面变暖,在这种效应的作用下,边界层通过黑碳(BC)对太阳辐射的吸收性可以

使部分云产生挥发,同时允许更多的太阳辐射到达地面。气溶胶的辐射特性对云微物理性质与云中化学过程具有依赖性,云的辐射特性对气溶胶物理化学性质也具有依赖性。气溶胶与云的相互作用也是IPCC AR4中辐射强迫不确定性最大的项,人们对其认识水平还非常低,对其研究也越来越受到人们的关注。

学习之余,阅读相关文献了解到以下内容。Peng等[2007, JGR]对RACE (Radiation Aerosol and Cloud Experiment)和FIRE-ACE(First ISCCP Regional Experiment Arctic Cloud Experiment)中28个水云例子的云微物理和辐射观测资料的比较分析了不同污染情况下云反照率和有效半径的变化。Massie等[2007, IPCC AR4]通过MODIS卫星资料和辐射传输模式研究认为水云比冰云对云反照率的影响更显著。Yin等[2007, ACP]利用一个分档气溶胶—云模式研究了沙尘气溶胶作为CCN和IN对云和降水的影响。目前气溶胶对降水的影响的研究还只限于个案研究,但是在以人为源作为CCN主要源的大陆上,气溶胶很可能是引起云的降水效率减小的重要因素。Huang等[2010, ACP]通过A-Train卫星观测结果,得到了沙尘气溶胶对我国西北半干旱地区云的有关参数(如液态水路径LWP,光学厚度,云滴有效半径等)的影响。

## 卫星观测在气溶胶研究中的作用

大气气溶胶对气候变化起着非常重要的作用,它通过散射、吸收太阳辐射,或通过参与云微物理过程,改变云的辐射特性,直接和间接地影响地-气系统辐射平衡,但是由于气溶胶粒子的生命周期较短,气溶胶浓度具有较大的时间空间变化,地基站不可能准确评估全球气溶胶收支。利用卫星探测全球气溶胶特性及其空间分布具有至关重要的意义。例如,随着1999年12月和2002年5月搭载新一代辐射传感器的Terra和Aqua卫星相继发射升空,携带的中分辨率成像光谱仪(MODIS),在仪器定标、刈幅宽度( $\sim 2330\text{km}$ )、光谱分辨率( $0.415\mu\text{m}\sim 14.5\mu\text{m}$ , 36波段)、空间分辨率( $1\text{km}$ ,  $0.5\text{km}$ ,  $0.25\text{km}$ , 依赖不同波段)等方面,都比以往类似星载辐射计有很大改进,从而使MODIS具有了反演质量更高、空间覆盖更广的气溶胶光学厚度(AOD)和气溶胶粒子尺度分布特征(波长指数 $\alpha$ 、细粒子比例 $\eta$ )等参数的能力。MODIS可以得到气溶胶光学厚度水平分布特征,但却不能得到其垂直空间特征,2006年发射的CALIPSO上的lidar实现了气溶胶的垂直观测,可以提供气溶胶后向散射系数和消光系数,还可以根据不同气溶胶所具有的不同性质,区为出不同的气溶胶类型,为人们了解气溶胶的垂直观测有了进一步的了解,为辐射传输模式及全球模式的参数化提供事实依据。

由此看来,我们的学习任务任重而道远!

# “气候门”的思考

中国气象局北京城市气象研究所 赵普生

## 1. 气候门的震撼

2009年11月，一名电脑黑客窃取英国东英吉利大学（University of East Anglia）的电子邮件服务器，窃取英国气候学家之间交流的上千封电子邮件内容，也由此窥探到过去十几年里气象专家们之间私下的思想交流。黑客把电子邮件公之于众，并声称从邮件中可以看出，这些气象专家研究并不严肃，他们甚至篡改对自己研究不利的数据，以证明人类活动对气候变化起到巨大作用，即人类必须支付千万亿美元在全世界大量降低二氧化碳排放，同时降低全球的生活水平，这样做才是合理的。这一事件也在整个世界引起讨论和争论，并被媒体称为“气候门”（climate gate）。

电邮透露出来的事实表明，这帮科学家们一直在竭力隐藏或者操纵数据，把以往的气温纪录压低，向上“调整”最近的气温，以此来制造气温加快上升的感觉。澳大利亚和新西兰这两个国家的科学家一直在比较官方发布的气温记录与原始数据。他们每一次都发现了同样的诡计：基本上是平直的温度曲线被改成上升的曲线。

“全球变暖”理论是10年前迈克尔·曼用这样的“曲棍球棒”图形表达的：在长达千年之久的气温下降之后，全球气温上升到了有史以来的最高水平。迈克尔·曼的报告把“令人尴尬”的中世纪剔除了，那一时期的气温比今天还要高，而那是工业革命之前、人类大量排放二氧化碳之前数百年。迈克尔·曼的理论变成了2007年联合国“政府间气候变化专门委员会”（IPCC）第二次全球变暖报告的中心议题。早在2003年，加拿大统计学家斯蒂夫·麦考伊提尔就指出了其中的根本性错误。最新的电邮泄露还表明，曼十年前的“曲棍球棒”图形是伪造的。此后，气候研究所所长琼斯博士离职，等候彻底调查，曼博士也在他所在的宾夕法尼亚大学接受“不规范科学研究”调查。

随着“气候门”事件的爆发，联合国IPCC的科学家私自篡改数据以迎合全球变暖的事实令全世界震惊。国内的许多学者也相继表示：全球变暖存在巨大争议，低碳不等于环保！许多文章和书籍还有媒体（例如《以碳之名》）更是系统的揭露了“低碳骗局”的前前后后。

## 2. 两部电影的对抗

戈尔在2000年竞选美国总统失败后，成功地将自己从一名美国政治人物转变为第一个全球环保名人。06年戈尔拍摄的纪录片《不可忽视的真相》（An Inconvenient Truth）公映，通过大量制作精美的图表、数据、曲线、动画片、多媒体、漫画，并结合自身的亲身经历，给大家上了一堂沉重的环境教育课，其主要目的就是要告诉人们，现在地球的气候和生态系统已经濒临崩溃的边缘，将要或者已经发生了很多灾难性的后果。指出近百年特别是最近50年的全球气候变暖可能主要由大气中温室气体浓度升高引起，大气中温室气体浓度升高是西方工

业革命以来人类长期排放CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>等的结果。以CO<sub>2</sub>为例，其工业革命前大气中平均浓度为 280ppm，但目前已经上升到 385ppm，增加了 38%左右。电影中一个最令人震惊的画面就是，他列出了 65 万年内温度和CO<sub>2</sub>的关系，发现两者变化趋势惊人的一致，以此说明造成全球变暖的主要原因就是人类活动造成的温室气体排放。此纪录片获得奥斯卡最佳纪录片，自己也获得 07 年的诺贝尔和平奖。看过此片的人几乎都被片中各种各样的证据所征服，感受到大力减少人类活动对环境影响的重要性。

在戈尔的电影 2006 年上映一年之后，英国一个电视节目制作人马丁·德金（Martin Durkin）拍了一部和他唱反调的片子《全球变暖的大谎言》（the Great Global Warming Swindle），用列举数据，采访科学家的方式，试图说明全球变暖主要是是由于太阳辐射的变动引起的，与人类排放温室气体无关片中列举了大量证据，说明自然界中最丰富的温室气体不是CO<sub>2</sub>，而是水汽，CO<sub>2</sub>尤其是人为活动产生的CO<sub>2</sub>对全球气候变化产生的影响微乎其微。

对于 20 世纪的全球变暖，许多人都把它归咎于CO<sub>2</sub>，但 20 世纪中期以后，全球气温只升高了少于 0.5 摄氏度，相反在汽车和飞机被发明出来之前，气温就开始升高了，而且大部分的气温是在 1940 之前升高的，第二次世界大战之后，是经济繁荣的时期，理论上气温应该迅速升高，但是，气温反而下降了，下降时间并不是一两年，而是四十年，直到 70 年代的经济衰退期，气温才停止下降。1940 年以后，CO<sub>2</sub>排放量呈指数性增加，但温度从 1940 年开始下降，直到 1975 年，因此这是一种相反关系。二战后的一段时期，工业开始急速发展，CO<sub>2</sub>排放量增加，地球却变得冷了，人们甚至害怕下一个冰河期的到来。片中另一个很重要的观点是对于上面提到的戈尔的著名关系曲线，指出两个曲线确实整体趋势很一致，但是温度和CO<sub>2</sub>变化的趋势线不重合，温度曲线早于CO<sub>2</sub>几百年，即不是由于CO<sub>2</sub>排放量增加造成温度上升，而是由于温度上升使得海水中溶解的CO<sub>2</sub>释放出来，造成浓度增加。

现今的一个事实是：数以万计的工作依赖全球变暖产业。这是一个大商机，它本身也变成一个大产业。如果整个全球变暖“大杂烩”破产，将会有很多人失业，或者重新找工作。这部分人也是全球变暖学说的忠实拥趸。此外，发达国家也在以此名义干扰发展中国家的发展进而推广自己的先进环保技术。

这两部电影从两个完全不同的视角对全球变暖及人类活动在其中的作用进行了阐述。所谓兼听则明，看完这两部电影，可能会对全球变暖有更多的深入思考。

### 3. 现实的启示和思考

基于如此多研究成果，我们可能会有充分的证据说地球在变暖，但是当“气候门”出来之后，我们可能会问，地球真的在变暖吗？变暖的原因是什么，人为还是自然因素？目前气候剧烈变化的真正成因是什么，是全球变暖带来的吗？

德国《明镜》中提到，英国顶级气候研究机构哈德利（Hadley）气候变化研究中心刚刚公布的数据显示，十年来全球气温一直很平稳。气候研究所所长菲利普·琼斯博士写给迈克尔·曼教授(全球变暖“曲棍球棒”图形的始作俑者)的电邮，他毫不隐讳地承认对公众隐藏真实信息的诡计：南北极的冰川并不是从外部开始

融化的而是从内部，证明地球的地热发生了变化……

国家气候中心发表的《2009~2010年冬季气候异常与全球气候变暖》中指出全球和区域气候还存在自然的波动，气候系统的自然波动发生在各种时间尺度上，其中年际和年代际尺度自然波动是人类能够直接感受的。这种年际和年代际尺度自然气候波动叠加在全球和区域气候变暖的长期趋势上，它们可以由太阳活动、火山活动等外强迫以及海洋—大气—冰雪系统内部的自我震荡引起。对于1998年以来全球和北半球地表平均气温没有继续上升的现象，目前还没有给出公认的结论。但最近10余年平静的太阳活动（太阳黑子）、热带太平洋海表水温异常呈现La Nino位相变化，以及北极涛动（AO）负指数位相频繁出现等因素，可能是不可忽视的因素，这些因素可导致全球和北半球年代际气候转冷。同时文中也指出最近10余年全球地表的相对降温现象，不意味着全球和北半球陆地气候变暖趋势将永远停止或即将逆转。在大气中温室气体浓度持续增加的情况下，未来一定时期全球和北半球平均气温可能恢复上升。全球和区域气候变暖是大尺度气候系统趋势变化现象，而一些地区某些年份甚至某些年代偏冷可能伴随着其他地区或其他年份、年代的偏暖，尚不足以抵消或逆转大尺度气候变暖趋势。

2009~2010年冬季，我国北方和东部地区气候十分异常。2009年10月31日至11月2日，我国北方出现明显雨雪和寒潮天气，华北出现入秋后的首场雪，北京、天津、石家庄等地初雪日期比常年偏早1个月，是近20年来最早的一场雪。与此同时，与我国北方同处北半球中高纬地区的一些国家提前进入冬季，多次遭遇寒流和暴风雪袭击，部分地区打破最早降雪纪录。11月上半月，我国出现3次大范围雨雪和强降温过程，华北平均气温为1951年以来历史同期最低值。2009年12月，我国又出现3次较强降温天气过程，很多地区气温普遍下降10℃~20℃。2010年1月1~6日，我国北方遭受强寒潮袭击，东北、华北及内蒙古中东部持续低温严寒天气。内蒙古图里河连续9天最低气温在-41℃以下，其中12月28日达到-47.5℃。入冬以来，北半球中高纬度部分国家也出现了极端寒冷和降雪事件。俄罗斯中部、蒙古国东部和美国中西部2009年12月平均气温极端偏低，美国西部偏低4℃~8℃、俄罗斯中部的西伯利亚地区偏低达8℃~12℃。12月中下旬，德国巴伐利亚极端最低气温达-33.6℃，创有记载以来的最低值。12月，美国先后遭遇2场暴雪，19~20日美国东部的暴雪使华盛顿地区积雪深度达到61cm，创1932年以来历史同期之最。2010年1月4日，韩国首都首尔市积雪深度超过28cm，为1937年以来历史之最。

这个“冷冬”和“气候门”一起给全球变暖和人为影响气候论一个很大的打击，使得老百姓也加入到了对全球变暖的普遍质疑中来。许多研究人员承认过去学术界对于20世纪70年代中期以来的气候变暖趋势的普遍担忧可能有些过分了，关于地球气候系统对大气中温室气体浓度敏感性的估计可能也偏高了……

环境问题与人们的生活息息相关，对全球变暖和人为活动影响气候的质疑并不是纵容人们破坏环境，比起那些以碳之名的做秀，我们更应该将精力投入到那些真正需要我们治理的环境问题中去。总之对气候变化的影响因素有很多，但事实真相只有一个，从事气候变化研究的工作者不应盲目跟风，而是揭示出目前气候变化的真正变化趋势和成因。



# 黑碳气溶胶及其气候强迫

姓名：赵淑雨

单位：中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

摘要：本文简单介绍了黑碳气溶胶的来源，以及在大气和雪冰中浓度的不同测量。然后总结了黑碳气溶胶对全球气候以及局地气候强迫的研究成果。最后简单阐述了黑碳气溶胶综合研究中存在的问题和目前其对气候影响的诸多不确定性。

## 1. 引言

黑碳是由含碳物质的不完全燃烧所产生的一种耐高温抗氧化（400° C 以下抗氧化）的黑色物质。黑碳的热化学性质与纯元素碳类似，所以黑碳也叫元素碳。实际上，元素碳结构复杂，既非纯元素碳的结构组合，也不是石墨碳结构(Lavanchy et al., 1999)。Penner and Novakov(1996)指出典型的黑碳具有类似于石墨碳的聚合物结构，但是又带有化学官能团，所以其化学、光学特性与纯石墨碳又有所区别。黑碳颗粒物尺度在次微米量级，可在显微镜下观测到其中心为聚合网状结构而边缘不规则。客观来讲，黑碳和元素碳的热学、光学以及化学性质还是有所差别，但是受目前实验技术限制，还不能完全将二者区别开来。目前，黑碳的确切定义也是黑碳对气候强迫研究中的一个亟待解决的重要问题，现阶段相关研究中将元素碳和黑碳混淆使用。

黑碳的物质来源主要可分为三类：化石燃料（如煤炭、石油等）燃烧，生物燃料（如秸秆，动物粪便等）燃烧和开放式的生物质（如森林火灾等）燃烧(Andreae and Crutzen, 1997)。其中化石燃料燃烧是全球最主要的黑碳源之一(Cooke and Wilson, 1996)；生物燃料主要是全球发展中国家和一些经济落后地区的主要生活能源，这些地区的生活排放是主要的黑碳源；而开放式生物质燃烧主要是热带地区，稀树草原以及北方高纬度地区的黑碳来源(Liousse et al., 1996)。

黑碳粒子悬浮在大气中，与其他的固体、液体颗粒物聚合成为大气气溶胶的一部分，即黑碳气溶胶。气溶胶的生命时间（大气寿命）约一周左右，这与天气尺度的大气环流的时间尺度相当，所以它可随大气环流远距离输送。黑碳气溶胶在输送过程中，因重力碰并、吸附等干沉降方式可以沉积在下垫面，或者有合适的水汽条件，也可以湿沉降方式随降水过程沉降在下垫面，这也是在南北极以及高海拔的山地冰川中检测到黑碳气溶胶存在的主要原因。

黑碳对太阳辐射的可见光到红外波表现出很强的吸收特性，因此悬浮在大气中的黑碳气溶胶对气候可产生两种强迫作用。首先，黑碳气溶胶对太阳辐射的吸收、散射可改变地球能量收支平衡，使得大气和地表的能量收支不一致，这种作用称为直接强迫效应。其次，悬浮在空气中的黑碳气溶胶可以充当云凝结核或冰核，改变全球云量，云状，从而影响全球降水格局。同时，云对太阳辐射和地表长波辐射有双重作用以及黑碳粒子对云反照率的改变也可

以间接影响全球气候，称为间接强迫。黑碳气溶胶沉积在冰川、冰盖上，可以降低雪表面反照率，加强下垫面对太阳辐射的吸收，进而加速冰川消融，形成正反馈机制，改变冰雪圈环境。中低纬度山岳冰川的融水径流是周围居民饮水与农田灌溉的主要水源，也是下游江河的主要补给源，所以黑碳气溶胶对地球冰雪圈的影响有可能会对区域可持续发展产生影响。

同时，黑碳气溶胶也是城市颗粒物的重要组成成分，其尺度为 0.01-1.0  $\mu\text{m}$ ，属于细粒子。空气质量低，环境污染严重的工业化城市，大气中的黑碳颗粒物浓度很高，这些颗粒物可直接进入呼吸道，甚至在肺泡沉积，对人体有严重危害。Saikawa et al. (2009) 用全球化学输送模式 Global Models of Chemical Transport (MOZART-2) 和辐射传输模式 Radiative Transfer Models (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL, RTM) 模拟了格点人口密度，死亡率，流行病和气溶胶排放量有很大相关性。最近十年，国内外学者通过对中国西部冰川冰芯中的黑碳浓度记录来反演过去人类活动的强度，同时研究沉积在雪冰中的黑碳颗粒物对地表反照率的潜在影响，量化其对地球气候系统产生的影响，为现在的气候变化以及气候模式中的参数设计提供合理的科学依据。

## 2. 黑碳气溶胶的观测

### 2.1 大气中黑碳气溶胶的采集和测量

大气中的黑碳气溶胶可由美国 MAGEE 科技公司研制和生产的 Aethalometer 黑碳仪进行实时监测。黑碳仪由 4 部分组成：光学系统、气体采样系统、走纸结构和数据采集与处理系统。仪器工作时，在抽气泵的驱动下，环境空气以恒定流速连续被抽入仪器的气体监测室，经滤纸过滤后，碳质颗粒吸附在透过均匀的石英纤维滤纸上，每隔一个时间周期，仪器开关测量光源和参考光源一次，分别测量透过滤纸的气溶胶采样区和参考区光强，根据光强信号，计算每个测量周期的采样区的光学衰减量，得到该周期内收集的黑碳气溶胶质量，再除以这段时间采样空气体积，即可以算出采样空气流中的平均碳黑浓度。

黑碳测量过程中，通过在周期性采样时间内采集沉积在石英滤膜上的黑碳粒子，然后测量光的透射。黑碳仪测量黑碳质量浓度所依据的波段范围从 370nm 至 950nm，采样气流流速一般为 3L/min，时间分辨率为 5min，仪器记录数据有瞬时浓度和 5min 平均浓度，滤膜上的 BC 质量浓度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) 可由下式确定：

$$M_{bc} = \frac{A \times 100 \ln(I_0 / I_1)}{kQ(t_1 - t_0)} \quad (1)$$

$I_0$  和  $I_1$  分别为  $t_0$  和  $t_1$  (单位: s) 时间的光强，即通过滤膜前后的光强，因此  $I_0$  也称参考光强； $A$  (单位:  $\text{m}^2$ ) 为石英滤膜上的采样面积， $Q$  (单位:  $\text{ms}^{-1}$ ) 为采样速度； $k$  (单位:  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ) 为吸收效率。光的衰减可以通过测量透射的光强计算，即：

$$ATN(\lambda) = 100 \ln(I_0 / I_1) \quad (2)$$

光学衰减量是波长的函数，对于特定波长其衰减系数是一定的，衰减系数一般由仪器制造商给定，如 880nm 波长的  $ATN=16.6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  (<http://www.mageesci.com/book/Aethalometer-book-2005.07.03.pdf>)。

Bodhaine (1995) 在南极点等观测时发现，黑碳气溶胶对 880nm 波长的光有强吸收特性，而其他气溶胶在此波长吸收很弱，可忽略不计，所以在此波长测量的黑碳浓度可代表大气中黑碳气溶胶的真实浓度。

此外，黑碳颗粒吸收光度计 Partical soot absorption photometer (PSAP) 和最新的观测黑碳仪器多角度吸收光度计 Multi-angle absorption photometer (MAAP) 以及光声谱仪 Photoacoustic spectrometers (PAS) 均可以用来监测大气中的黑碳浓度的动态变化。

## 2.2 雪冰中黑碳气溶胶的采集和测量

依采样地点和深度不同，雪冰样品可以是积雪样品，也可以是冰川上的雪坑样品和冰芯样品。但无论哪类样品，野外采集均遵循如下基本步骤。

首先，如果采集的样品为雪，应首先挖雪坑，对其纵剖面进行物理描述，然后沿雪坑的一侧自下而上采集雪样，雪层的深度越大包含的年代越长（冰川上），或降雪量越大（季节积雪区）；在冰川积累区，采样一般至少包括一个年层。采样时穿脱尘服、戴口罩和手套，用不锈钢铲把样品装入洗净的玻璃瓶（实验室内用  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  溶液和 18.2M $\Omega$  超纯水处理），选择合适的地点钻取冰芯，然后分割为不同长度，装入塑料袋密封好。所有样品自采集后均在低温冷冻环境下保存直至室内分析。

针对黑碳气溶胶分析，雪冰样品的前处理过程如下：

在 100 级超净工作间（ $-18^\circ \text{C}$ — $20^\circ \text{C}$ ），穿脱尘服，戴口罩和手套，先用电动锯条将冰芯样品切割为小样品，用预清洗的刀削去每个样品外层 2-3cm 厚的冰体，用不锈钢手术刀刮除约 1cm 的中间层，再将样品储存在预清洗过的玻璃瓶中低温密封储存，等待过滤。在 100 级超净室过滤雪冰样品，雪和冰芯融化开始时，可以用暖水加热，促进融化过程，但是当容器内水深达 1cm 左右则置于室温环境下融化，此过程可以手动搅拌加速融化，但是此过程持续时间不能超过 4h，防止微生物滋生繁殖；融化后用超声波振荡 15min 左右，使颗粒物脱离瓶壁；用量筒测量并记录样品溶液体积后，用石英砂芯过滤器，使溶液通过 Whatman 石英质滤膜过滤，操作手动气泵加速过滤。滤膜预先在  $600^\circ \text{C}$  下加热 24h 去除碳质。过滤后移去气泵，在过滤漏斗中加入稀盐酸溶液（2%-4%）自然通过滤膜，持续 15—30min，以去除滤膜上的碳酸盐，把载有样品的滤膜装入膜盒，置于工作台晾干。样品瓶壁上吸附的颗粒物低于总量的 5%，过滤效率达 97% 以上 (Cachier and Pertuisot, 1994)。

样品黑碳在高温环境（ $340^\circ$  左右）下氧气加热 2h，去除有机碳，避免黑碳分析过程中因有机碳炭化造成的干扰。分析黑碳前，样品膜放入保温箱 20min， $70^\circ \text{C}$ ，以除去膜上可能吸附的水汽。由于样品黑碳含量不同，膜的灰度也有深浅之分，颜色较深的膜用热学碳质氧化库仑计分析，颜色较浅的膜用热-透射光碳质分析系统，分析误差在  $\pm 5\%$  以内 (Ming et

al., 2008a)。

### 3. 黑碳气溶胶的气候强迫

黑碳气溶胶对从紫外波段至红外波段的光有不同程度的吸收，它对地球气候的强迫主要表现在以下几个方面：首先，黑碳气溶胶通过吸收地表-大气-云反射的太阳辐射，降低了行星反照率，从而增加了大气层顶的辐射强迫，此外，黑碳粒子沉积在雪冰中，降低了地表反照率；进入云滴和冰晶中降低云反照率，增强了云滴和冰晶对太阳光的吸收能力，也增加了大气层顶的辐射强迫。吸收性的黑碳气溶胶通过加热对流层低层大气改变区域大气的静力稳定性和气流的垂直运动，从而影响区域的大气环流模态和水循环过程，所以黑碳气溶胶对局地气候有重要影响 (Menson et al., 2002)。

中低纬度化石燃料和开放式生物燃料燃烧排放的黑碳随大气环流进入中高纬地区，沉积在两极冰盖上，对极地气候产生深远影响。全球大气环流模式(Global general circulation models, GCMs)模拟结果表明北极雪冰的污染对观测到的20世纪以来北极变暖的贡献为30% (Zender, 2009)。黑碳的单一散射反照率不仅与黑碳的化学组成、结构和混合状态有关 (Bond and Bergstrom, 2005)，还与积雪密度、粒径以及形状有关 (Warren and Wiscombe, 1980; Grenfell and Warren, 1999)。黑碳与干洁雪面的单一散射反照率反向变化，观测和模式预测表明，250~220ppbm的黑碳浓度变化在可见光波段可使得雪反照率变化为1~70%。

北半球春季，积雪面积广阔，太阳辐射开始加强，所以春季气候对太阳辐射极其敏感。悬浮在大气中的黑碳气溶胶吸收太阳辐射可以加热大气，同时散射太阳辐射，散射和吸收双重作用使得到达地表的太阳辐射减小，使得地表冷却，有利于春季积雪的维持；若黑碳粒子沉积在积雪表面，因为干净雪面反照率很高，一旦污染，反照率迅速下降，因此会加强雪面对太阳辐射的吸收，加速积雪融化。Flanner et al. (2009a)应用一系列模式和观测发现，对于全球积雪，黑碳气溶胶对地表的增温作用是冷却作用的6倍。春季，欧亚大陆积雪中因人类活动和自然原因产生的黑碳和矿物粉尘对地表的增温强迫约为  $3.9 \text{ Wm}^{-2}$ ，是北美大陆 ( $1.2 \text{ Wm}^{-2}$ ) 的3倍多。

Jacobon (2004)通过全球模式模拟了沉积在雪冰和海冰中的黑碳的平均浓度为5ng/g，降水中浓度为22ng/g，对地表的增温效应为  $0.06^\circ \text{ C}/10\text{a}$ ，使得全球平均地表反照率下降了0.4%，其中北半球下降了1%。Hansen (2004)估算了黑碳对雪冰反照率的影响，结果表明北极地区的反照率下降了1.5%，北半球陆地地区反照率下降了3%，对北半球产生的气候强迫为  $+0.3 \text{ Wm}^{-2}$ 。而且Jacobon还发现黑碳对全球地表的增温效率相当于 $\text{CO}_2$ 的2倍。Pantet al.

(2006)发现喜马拉雅山中部的黑碳气溶胶浓度高值与邻近地区的人类活动与边界层的湍流动力过程有关，黑碳气溶胶的辐射强迫在垂直方向上分布不均匀，对地表辐射强迫为  $-4.2 \text{ Wm}^{-2}$ ，在对流层顶的辐射强迫为  $+0.7 \text{ Wm}^{-2}$ ，所以对大气强迫为  $+4.9 \text{ Wm}^{-2}$ 。由此知，悬浮在大气中的黑碳气溶胶对大气有明显的增温作用。Flanner (2007)应用雪冰、气溶胶辐射

模型与大气环流模式耦合估算了化石燃料与生物燃料燃烧排放的黑碳对积雪的强迫效应分别为 $+0.033 \text{ Wm}^{-2}$ 和 $0.010 \text{ Wm}^{-2}$ ，因此人类活动所施加的气候强迫达 80%以上。同时，他们预测中国东北地区的雪中黑碳量高达  $1000\text{ng/g}$ ，这使得该地区积雪反照率下降了 13%，青藏高原春季的局地最大瞬时强迫值超过  $20 \text{ Wm}^{-2}$ 。

IPCC第四次报告中收录了两组最新的研究结果，化石燃料和生物质燃料排放的总黑碳的辐射强迫分别为  $0.44 \pm 0.13 \text{ Wm}^{-2}$ 和  $0.29 \pm 0.15 \text{ Wm}^{-2}$ 。黑碳排放清单表明 34–38%来自生物质排放，其余则为化石燃料燃烧排放所致。两组结果对化石燃料燃烧产生的黑碳估计分别为  $0.08\text{--}0.18 \text{ Wm}^{-2}$ ，平均值为  $0.13 \text{ Wm}^{-2}$ ，标准差为  $0.03 \text{ Wm}^{-2}$ 和  $0.15\text{--}0.27 \text{ Wm}^{-2}$ ，平均值  $0.25 \text{ Wm}^{-2}$ ，标准差为  $0.11 \text{ Wm}^{-2}$ 。虽然估算值有一定的不确定性，但是黑碳气溶胶对气候主要表现为正强迫，使得气候变暖。同时，对比近 30 年来全球春季积雪分布和温度记录，IPCC第四次评估报告中使用的 22 个气候模式中的 21 个均低估了 1979 年以来的欧亚大陆正在经历迅速变暖的事实，实际增暖速率达  $0.64^\circ \text{ C}/10\text{a}$ ，其中 14%的积雪覆盖面积在消失。春季气候和黑碳气溶胶反馈机制主要是因为黑碳气溶胶对太阳辐射的吸收会使得融雪时间提前，触发积雪-反照率反馈发生，加速春季气候的变暖。除黑碳气溶胶和沙尘气溶胶是吸收性气溶胶，对气候产生正强迫外，其他气溶胶（硫酸盐、有机碳气溶胶等）均对气候产生负强迫。虽然目前气溶胶的气候效应评估仍有很大的不确定性，但是Flanner et al. (2009b)认为积雪变化甚至可决定气溶胶强迫的符号，若积雪继续退缩，区域平均的净气溶胶强迫可能为负值，而冷却效应会对气候产生生长时期的负反馈。

Ming et al. (2008b)应用雪冰、气溶胶辐射模式模拟发现 1990 年后，沉积在冰芯中的黑碳浓度有明显增加趋势，对地表的辐射强迫也呈现增加趋势，尤其在 2001 年夏季超过  $4.5 \text{ Wm}^{-2}$ 。Xu et al. (2009)对青藏高原过去 30 年的气候研究发现，青藏高原海拔 4000m 以上的地区增暖速率为  $0.3^\circ \text{ C}/10\text{a}$ ，相当于观测到的全球平均增暖速率的 2 倍，而青藏高原的冰川退缩主要是由温室气体浓度上升后增强的增暖效应所驱动，但是高原过去 30 年里的快速增暖和冰川的大面积后退还有其他的驱动机制，其中黑碳气溶胶的浓度大值区与最快冰川后退区均出现在高原边缘。因此，沉积在雪冰中的黑碳气溶胶应该对高原气候以及冰川变化有重要影响，雪冰中的黑碳一方面降低雪冰反照率，增加地表的能量吸收，另一方面因为自身光学特性也可以加强对太阳辐射的吸收，所以改变了高原的地表能量收支，加速了冰川的消融。

## 4. 结语

Aethalometer黑碳仪观测的黑碳气溶胶浓度受衰减系数，粒子的散射特性以及衰减系数的变化影响。首先，衰减系数取决于采集滤膜性质，而且随着黑碳在滤膜上的沉积，滤膜性质发生变化，但是实际处理过程中认为衰减系数为常数，所以其中会有一些的误差；其次，实际测量时，滤膜本身的散光性，散射性气溶胶影响以及滤膜采集粒子后光学路径变短等都会对结果产生影响；同时黑碳衰减系数取决于排放源以及大气化学过程，有一定的变化范围

( $5\sim 25\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ), 而仪器参数可能会因工作环境, 背景大气浓度差异太大而有所变化, 但是实际使用的衰减系数由仪器生产商给定, 如果他们对实际情况不了解, 那么给定的参数也会受影响。

雪冰中黑碳气溶胶的辐射强迫受排放源强, 雪的老化年龄, 黑碳在雪饼中的滞留时间及其光学特性, 混合状态以及局地的大气环流条件和积雪面积影响, 所以辐射估算有很多不确定性因素。而目前的黑碳气溶胶的气候强迫是基于观测和排放模拟计算的结果, 所以黑碳气溶胶对气候的直接强迫和间接强迫的定量估算误差仍然很大。同时, 黑碳气溶胶辐射强迫作用的机制比较复杂, 辐射模式本身尚未完善, 所以估计结果也不甚精确。而且全球黑碳气溶胶的观测资料仍然比较缺乏, 空间和时间上的不连续使得资料有很大差异, 以及黑碳气溶胶的光学特性参数、尺度分布、空间分布不是很明确, 所以这些对模式模拟结果产生影响。黑碳气溶胶与其他气溶胶是简单的表面混合还是内部混合或者是作为内核使得其他气溶胶吸附其上还不是很明确, 而不同的混和方式都会影响粒子的物理、化学以及光学特性, 所以模式对黑碳气溶胶与其他气溶胶的混合方式还需要确认。而黑碳气溶胶的间接辐射强迫的作用机制和物理过程更加复杂, 尤其是黑碳粒子作为云凝结核对云反照率、云量以及云状的影响, 而云辐射模拟是目前气候模式中的一大难点, 所以黑碳气溶胶对气候的间接强迫很难把握。加之, 黑碳气溶胶的浓度分布, 尺度分布, 空间变化, 组分变化都缺乏足够的观测资料, 不能为模式提供精确合理的参数, 而且有些参数是靠经验, 假设条件给定, 难免有些主观、理想因素, 所以黑碳气溶胶对气候变化的间接效应也有很大不确定性。

#### 参考文献:

- Andreae, M. O., Crutzen, P. J.. Atmospheric aerosols: Biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science*, 1997, 276: 1052-1056.
- Bodhaine, B. A.. Aerosol absorption measurements at Barrow, Mauna Loa and the south pole. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100: 8967-8975.
- Bond, T. C., R. W. Bergstrom. Light absorption by carbonaceous particles: An investigative review. *Aerosol Sciences and Technology*, 2005, 40(1): 27-67, doi: 10.1080/02786820500421, 521.
- Cooke, W. F., J. J. N. Wilson. A global black carbon aerosol model. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101 (19): 395-405.
- Cachier, H., Pertuisot, M. H.. Particle carbon in Arctic ice. *Analysis Magazine*, 1994, 22: 34-37.
- C. S. Zender, J. C. Gallet, F. Dominé, G. Picard, Mark G.. Albedo reduction by black carbon in snow: measurements and implications. *Geophysical Research Letters*, 2009, (in press).
- Eri Saikawa, Vaishali Naik, L. W. Horowitz, J. Liu, D. L. Mauzerall. Present and potential future contributions of sulfate, black and organic carbon aerosols from China to global air quality, premature mortality and radiative forcing. *Atmospheric Environment*, 2009, 43: 2814-2822
- Flanner, M. G., C. S. Zender, J. T. Randerson, P. J. Rasch. Present-day climate forcing

- and response from black carbon in snow. *Journal of Geophysics Research*, 2007, 112, D11, 202, doi:10.1029/2006JD008,003.
- Flanner M. G., C. S. Zender, P. G. Hess, N. M. Mahowald, T. H. Painter, V. Ramanathan, P. J. Rasch. Springtime warming and reduced snow cover from carbonaceous particles. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, 9:2481–2497.
- Grenfell, T. C., and S. G. Warren. Representation of a nonspherical ice particle by a collection of independent spheres for scattering and absorption of radiation. *Journal of Geophysics Research*, 1999, 104(D24), 31:697-709.
- IPCC AR4–Chapter2. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing–Radiative forcing by Anthropogenic surface albedo change: black carbon in snow and ice. 2007, 163–167.
- Jacobson M. Z.. Climate response to fossil fuel and biofuel soot, accounting for soot’s feedback to snow and sea ice albedo and emissivity. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109 ( D21201 ) , doi:10.1029/2004JD004945.
- J. Hansen, L. Nazarenko. Soot climate forcing via snow and ice albedos. *Proceedings of National Academy of Science (Geophysics)*, 2004, 101 ( 2 ): 423–428, doi:10.1073/pnas.2237157100.
- Liou, C., J. E. Penner, C. Chuang et al.. A global three–dimension model study of carbonaceous aerosols. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101 ( 19 ): 411–432.
- Ming J., H. Cachier, Xiao C., et al.. Black carbon record based on a shallow Himalayan ice core and its climatic implications. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, 8:1343–1352.
- Penner, J. E., Novakov, T.. Carbonaceous particles in the atmosphere: a historical perspective to the Fifth International Conference on Carbonaceous particles in the atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101(19): 373–378.
- P. Pant, P. Hegde, U. C. Dumka, et al.. Aerosol characteristics at a high–altitude location in central Himalayas: Optical properties and radiative forcing. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111 ( D17206 ) , doi:10.1029/2005JD006768.
- S. Menon, J. Hansen, L. Nazarenko, Y. Luo. Climate effects of black carbon in China and India. *Science*, 2002, 297:2250–2253.
- V. M. H. Lavanshy, H. W. Gäggeler, S. Nyeki, et al.. Elemental carbon (EC) and black carbon (BC) measurements with a thermal method and an aethalometer at the high–alpine research station Jungfraujoeh. *Atmosphere Environment*, 1999, 33:2759–2769.
- Warren, S. G., W. J. Wiscombe. A model for the spectral albedo of snow. II: Snow containing atmospheric aerosols. *Journal of Atmospheric Sciences*, 1980, 37:2734-2745.
- Xu B., Cao J., J. Hansen, et al.. Black soot and the survival of Tibetan glaciers. *Proceedings of National Academy of Science (Environmental Sciences)*, 2009, Early Edition, 1–5, doi:10.1073/pnas.0910444106.

## 第7次国际气候讲习班学习心得

为期12天的国际气候讲习班学习应该是我学习生涯中一段很有意义的经历。从语言学习来讲，虽然我已经学习英语11年，但是真正听英语、说英语、用英语与人交流还是第一次。虽然有时候听得一知半解，但是能够置身其中，在一种语言氛围下去感知这种语言的魅力还是很不错的享受，就像初学母语汉语时，心里还是很欣喜的。从知识获取上讲，授课老师是国际团队，用带有他们国家特点的英语耐心、风趣、生动地给我们讲授了与气候相关的一些知识。讲习班内容丰富，从地面到空间，从冰冻圈至大气圈以及其他圈层以及气候问题所涉及的国家政策等，使得我对相关专业的认识范围、视野更加开阔。加上，中文辅导老师的串讲，所以可以更好地消化吸收所学内容。当然，完全学到课程的精华还是很难的，但无论是中文老师还是英文老师都做到了“师者，传道授业解惑也。”对于交叉学科迅猛发展的今天，拥有广泛的知识面和开阔的认识水平应该会对以后的学习大有帮助，国际气候讲习班便很好地起到了拓展学生知识面的作用。从人生阅历来讲，能够和国际知名的学者前辈面对面交流，老师们治学的严谨、做学问时求实的态度以及对科学的执着态度都是值得我们这些初出茅庐的晚辈尊敬和学习的。

最后，感谢效老师和明老师给予我更多接触学科发展，与前辈交流的学习机会，也感谢国家气候中心老师们热情关照和会议厅服务人员的热心服务。



# 气溶胶的气候效应

郑慧

(深圳市国家气候观测台)

气溶胶是指悬浮在大气中的固态和液态颗粒物的总称,气溶胶的气候效应是一个非常复杂的问题,这与气溶胶复杂的性质有关。大气气溶胶主要有三个方面的性质:物理属性、化学属性光学属性。物理属性主要有气溶胶的粒径、粒子的形状和颗粒粒子谱分布(包括尺度谱和质量谱)等。化学性质主要表现为气溶胶粒子中化学元素的丰度(或浓度)以及气溶胶粒子成分在大气中所发生的各种化学变化过程。光学属性主要是指气溶胶的消光系数、散射系数、吸收系数等。光学厚度是气溶胶光学属性研究中的一个重要参数,该参数除受气溶胶尺度谱的影响外,还与气溶胶的物理特性、化学吸收特性、及光谱特性等有关。

气溶胶主要有六大类7种气溶胶粒子:沙尘气溶胶、碳气溶胶(黑碳和有机碳气溶胶)、硫酸盐气溶胶、硝酸盐气溶胶、铵盐气溶胶和海盐气溶胶。其直径是在10个纳米到10个微米之间,直径小于1 $\mu\text{m}$ 的气溶胶粒子,在大气中的浓度一般是每立方厘米几十到几千个;而直径大于1 $\mu\text{m}$ 的粒子,一般少于每立方厘米1个。各个气溶胶粒子可以是固体颗粒,也可以是液滴或者是由固体和液体颗粒共同构成。在化学上,它们可以是均质的,也可以是非均质的(粒子的尺寸大小、形状和化学组成都可以不同)。气溶胶粒子的形状,可以像球形液滴一样,也可以是非球形的,十分复杂。他们在空气中的状态可以是内部混合,外部混合或者是一般混合。

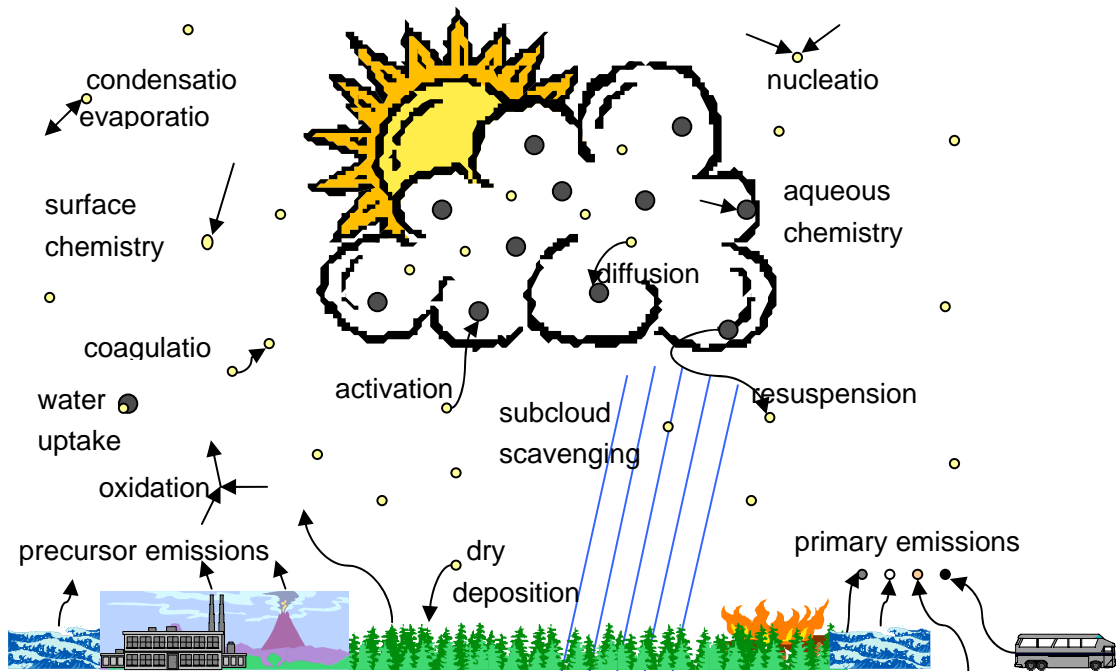


图1 气溶胶过程

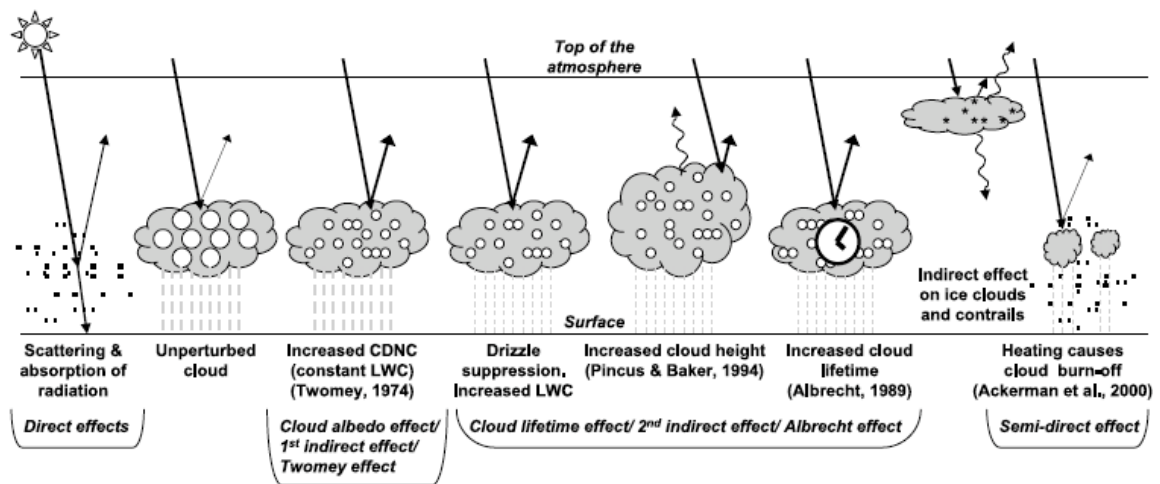


图 2 气溶胶的直接和间接作用

气溶胶在空气中的过程也十分复杂（图 1），包括了其排放、气相化学过程（氧化、成核等）、液相化学过程、凝结、新颗粒的形成、凝固、水吸收、活化、再悬浮、干湿沉降等。其与云的相互作用也十分复杂，这与气溶胶自身的性质如化学成分、大小、混合状态、数浓度、饱和度等等有关，还与当地的环境如温度、湿度、高度、风速、云的有关属性等有关系。

目前气候变化模拟研究中的一个最大的不确定性在于气溶胶对气候的影响。气溶胶对气候的影响主要是在两个方面：

(1) 直接辐射效应，是指气溶胶对短波和长波辐射的直接散射或吸收。

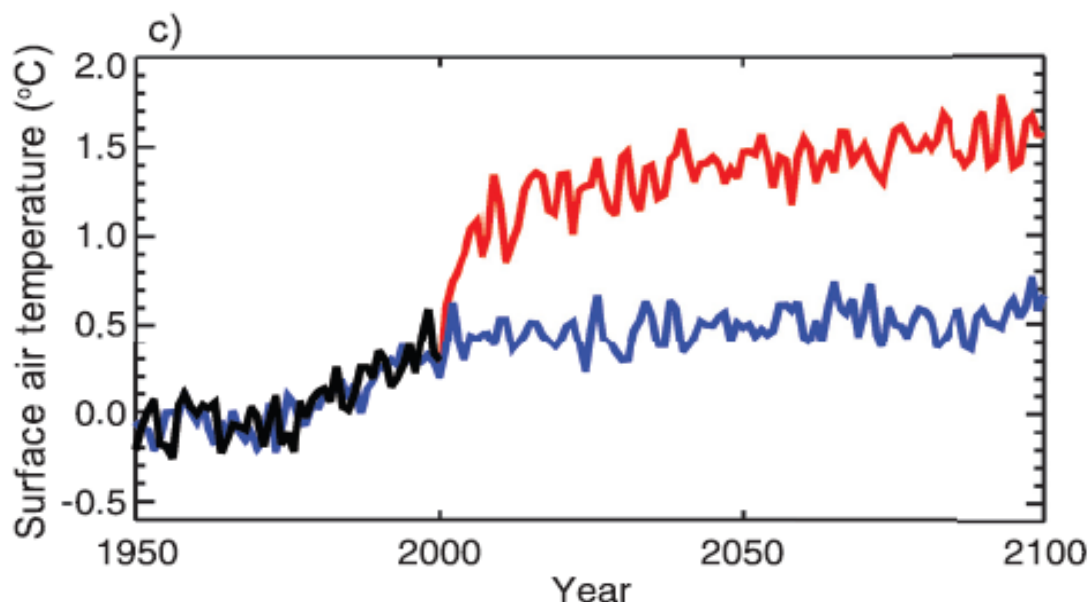
(2) 间接辐射效应，其是指大气气溶胶粒子作为云凝结核或冰核而改变云的微物理和光学特性以及降水效率，影响太阳能在地气系统中的分配，从而间接地影响气候。气溶胶与云和降水之间具有多种相互作用方式，它既可以作为云凝结核或者冰核，也可以作为吸收性粒子将吸收的太阳能转换为热能，使其在云层内重新分配（图 2）。云反照率效应(第一类间接效应)，是指在云内液态水含量不变的情况下，气溶胶粒子的增多会增加云滴数浓度，但使云滴粒子变小，从而导致云反照率变大；云生命期效应(第二类间接效应)是指对于一个给定的液态水含量，云滴谱有效半径的减小将同时减少降水的形成，进而可能会延长云的生命期，而云生命期的增加又会导致时间平均或区域平均的云反照率增加。间接辐射效应还包括了冰核化效应、热力学效应、半间接效应、冰川作用等。

与大多数温室气体相比，要给出各种大气气溶胶的“源强”是很困难的。这也是目前研究的一个问题。这是因为，第一，许多气溶胶(例如硫酸盐气溶胶、次生的有机气溶胶)并不是直接释放到大气中的，而是由气态的前体物在大气中通过化学或光化学反应所形成；第二，某些气溶胶(例如尘埃和海盐气溶胶)是由谱分布和折射率等物理、化学特性相差很大的粒子组成的，因为粒子的大气寿命和辐射特性与此密切相关，所以对这类气溶胶提供一个单一的源强是没有意义的；第三，多种气溶胶经常结合在一起，形成混合颗粒，其大气寿命和辐射性质与构成它们的原来的气溶胶成分可以很不相同；最后，云可以以一种非常复杂的方式影响气溶胶，例如通过湿沉降的清除、通过液相化学增加气溶胶的质量以及在云中和云附近形成新的气溶胶等等，这给确定某一特定气溶胶的源释放强度带来很大的困难。

由于大气气溶胶的一个突出特征是其物理、化学、光学性质的高度时空可变性；气溶胶辐射强迫评估的不确定性很大程度上是由于对气溶胶空间分布、化学组成和混合状态等物理、化学、光学性质缺乏了解。空间分布的不均匀性主要是由于气溶胶在大气中存在周期较短造成的，还取决于气溶胶的产生机制和干、湿沉降过程。混合状态不仅影响到气溶胶粒子的理化结构，还影响到几何形态，对于气溶胶的光学性质也具有重要作用，特别是影响到气

溶胶粒子的吸湿特性和辐射吸收特性。湿度和温度的小尺度变化也对气溶胶光学性质及其在模式中的参数化表达的精度有显著影响。这些作用目前都没能在气溶胶数值模拟中得到很好的处理。

目前对气溶胶的研究，对其成核过程的研究比较成熟，但是对于气候模式与气溶胶模式的耦合、对气溶胶物理化学、光学特性及其时空分布、对气溶胶和云有关的微物理化学过程认识、冰核气溶胶的作用还有待进一步的研究。



Red curve: without aerosols starting from 2000;  
Blue curve: with aerosols

图 3 气溶胶的气候效应

气溶胶对全球系统是一种负的辐射强迫，也就是说起到的是一种降温作用。有研究表明，在南亚，气溶胶作用可能掩盖了由温室气体引的变暖的 50%。但是气溶胶中的黑炭气溶胶 (BC) 对从可见光到红外波段范围内的太阳辐射都具有强烈的吸收作用，从而增加地-气系统所吸收的太阳辐射能量，增加大气温度，已经被部分研究认为是造成全球变暖的一个潜在因子，所以黑炭气溶胶的气候效应也是目前国际研究的一个重点。

# 中国亟待发展碳排放交易定价体系

郑秋红  
中国气象局培训中心

气候变化是环境问题，更是发展问题。关于低碳经济的争夺战，已在全球悄然打响。随着全球“碳减排”需求和碳交易市场规模的日益扩大，构建碳金融体系已成为改善环境，实现可持续发展的必然选择，而对碳金融定价权的争夺也成为一国引领全球经济的重要引擎。掌握碳金融的定价权，如同占领咽喉要道，成为抢占低碳经济制高点的关键。

## 1 国际碳交易市场的相关概念及现状

**相关概念。**《京都议定书》中把二氧化碳排放权作为一种商品，通过市场机制来解决二氧化碳为代表的6种温室气体的减排问题，从而形成了二氧化碳排放权的交易，简称碳交易。它包括：清洁发展机制（CDM）、联合履行（JI）、国际排放贸易（ETS）三种形式。其中ETS和JI指发达国家之间通过的交易。

CDM是发达国家和发展中国家进行碳交易的最主要形式，其核心内容是允许附件1缔约方（即发达国家）与非附件1（即发展中国家）进行项目级的减排量抵消额的转让与获得，在发展中国家实施温室气体减排项目。CDM是《京都议定书》框架下的一种双赢机制，它帮助发达国家实现其部分温室气体减排义务，同时帮助发展中国家实现可持续发展。CDM项目必须经国内批准、国际注册后才能开始减排量的监测与统计，并要通过EB严格的审核才可以签发CERs。

**发展现状。**从2005年《京都议定书》生效后，全球碳交易市场进入快速发展阶段。2008年，即使面临国际金融危机，碳交易市场依旧保持高增长的态势，碳交易量从2007年的27亿吨跃升到2008年的59亿吨，上升150.56%。交易额高达1250亿欧元，比2007年的400亿欧元上升了212.5%。其中EUETS在全球碳交易市场中均遥遥领先。CDM市场位居第二，2008年交易量为19.47亿吨，交易额为325亿欧元，占总交易量33%和总交易额26%。

截至2009年6月12日，中国已有118个CDM项目的减排量获得签发，合计签发减排总量达 $1.32 \times 10^8$ t二氧化碳当量，占EB签发总减排量的44.55%。随着我国CDM项目的逐步多元化，新能源和可再生能源项目所占比例会进一步

增长。中国政府从 CDM 项目获得的收益作为中国清洁发展机制基金，用于支持与气候变化相关的活动，企业自留的 CDM 收益资金只能用于与本项目产能无关的节能减排或可持续发展项目。

## 2 CDM 的碳交易定价情况

CDM 指发达缔约国通过提供资金和技术的方式，与发展中缔约国联合开展二氧化碳等温室气体减排项目。这些项目所实现的“经核证的减排量”（CER），用于发达国家缔约方完成在议定书第三条下的承诺。是唯一一种与发展中国家直接联系的减排机制。从卖方市场来看，原始 CDM 市场的主要卖方是中国、印度尼西亚、巴西、智利、墨西哥等国，买方是英国、日本、卢森堡、德国等国。中国是最大供给国，占了 83% 的市场份额，远远超过其他发展中国家。中国应是均衡价格中最重要的博弈方，但由于人民币不能自由兑换，且尚未承担减排责任，只能通过自愿市场来直接参与国际碳交易，无法成为结算货币，只能选择美元和欧元等来计价结算，这大大提升了碳交易美元和欧元计价结算的比例。

从买方市场来看，发达国家和发展中国家之间的贸易大多使用发达国家货币结算。毋庸置疑，国际碳买家即欧盟国家是当前 CDM 市场的主推动力，碳交易的结算货币选择权落在欧盟手里。从 CDM 项目本身的市场评价来看，第一，卖家的综合实力对计价结算货币的议价能力影响颇深，碳买家会考量商业伙伴的可信度经济体规模、监管程序的可预期性而开出相对合理的合同价格。较为强势的卖家可能选择国际硬通货作为结算货币。各国在减排资源和配套条件上的差别对议价能力起决定作用。总的来说，与中国相比，印度签发的 CERs 通常有 2~3 欧元溢价，巴西的价格在 8~15 欧元间，拉美的则没有这么高。第二，不同类型项目通过联合国注册和按约交付的风险不同。这些风险由买方承担。所以对那些风险大或难以实施的减排项目来说，卖方议价能力将相应减弱。

## 3 中国掌握碳交易定价权的应对策略

### 3.1 加快碳金融建设

我国虽然是最大的碳资源国家，但在碳金融建设方面却发展滞后。碳金融和碳交易好比两条腿，没有碳金融的支撑，中国不仅将失去碳交易的定价权，而且将又一次失去金融创新的机会。世界上主要的碳交易市场被欧美发达国家垄断，包括欧盟的排放权交易制（EU ETS）、英国的排放权交易制（ETG）、美国的芝

加哥气候交易所（CCX）等。中国虽然目前拥有北京环境交易所、上海环境交易所、天津排放权交易所，但目前这三家交易所都还仅限于节能环保技术的转让交易，距离金融性质的碳交易所还有一定距离。

### 3.2 国家的积极扶持

政府对整体环境风险要做好计算和控制的战略选择。在印度，尽管单边项目与 CDM 机制的设立初衷，既推动发达国家向发展中国家转移资金和技术以促进减排的目标有所背离，而且后京都市场尚未确定，大量单边项目的累积会加剧市场风险，但是印度政府仍然能够推出一系列的激励措施保持一定的成交量。这体现了一国政府的战略选择和风险控制能力，同时与该国企业对环境风险预测和把握的意愿及能力有关。

### 3.3 人民币的国际化

正如“煤炭-英镑”、“石油-美元”的关键货币崛起之路，碳交易计价结算货币的绑定权是美元以外的国际货币走强的重要契机。从更长远的全球碳金融竞争格局来看，中国必须在未来低碳产业链上打破美元、欧元等货币制衡，使人民币成为碳交易计价的主要结算货币。现实情况是，人民币的国际化之路似乎并不平坦。前有欧元、英镑和日元的堵截，后有卢比和克鲁塞罗的围追。

（选摘自张苗苗. 大力开展碳交易业务，抢占碳金融市场定价权. 广东科技, 2010, (2): 48-51. 马万柯. 论碳市场定价权. 现代商贸工业, 2009, (22): 239-240. 康晓琴, 刘振宏, 徐淑媛. 中国清洁发展机制项目现状分析. 中外能源, 2009, 14 (8): 22-26.)

# 第七届气候系统与气候变化国际讲习班学习心得

周奇越 南京信息工程大学，南京，210044

很荣幸可以参加第六届气候系统与气候变化国际讲习班，也很感谢国家气候中心、中国气象局培训中心组织这么高层次的讲习班。

这届气候系统与气候变化讲习班分五个大的主题：冰冻圈在气候系和气候变化中的作用；大气化学与气溶胶的气候效应；地球生物化学循环；气候模式在气候变化研究中的应用；气候变化的减缓与适应对策及社会可持续发展。Claude Bortron、Edward Alfred Helme、Klaus Fraedrich、Steven J.Ghan、John A.Ogren、Teruyuki Nakajima 六位外籍授课老师围绕这五个主题均作了精彩的报告。

讲习班主要分为三个部分：教授报告，提问讨论，中文串讲。每一天的课程都很充实，收获颇丰。授课内容所提到的很多领域的知识是我所未涉及过的，并属于国际上非常前沿的研究领域，极大地开阔了我的眼界。

每位教授都有自己独特的讲课风格。Claude Bortron 教授的报告内容是在南极洲、格陵兰这样的低温地区通过冰芯钻取技术来分析重金属元素。通过对冰芯中重金属元素含量的分析可以发现，各种重金属元素含量中由人类释放的比例远远高于自然界所含的，可见人类活动对于自然界的污染是非常严重的，问题上升到了环保的角度，很有意义。Ned Helme 教授主要介绍了关于气候谈判方面的知识。之前很难接触到这方面的内容，很难得有这样的机会。他从排放量在欧洲和美国的贸易经验，气候政策的竞争能力都影响中国和发达国家的能源密集型产业暴露，清洁发展机制，政策部门入和偏移，全球气候政策前景的各种全球市场，以上四个方面进行了全面详细的讲解。Ned Helme 教授的好口才和敏捷的思维令人印象深刻。Klaus Fraedrich 教授主要介绍气候模式在气候变化研究中的应用。他的讲述中用到了音乐元素令人感觉新鲜印象深刻。Steven John Ghan 教授主要讲了气溶胶对云的影响，黑炭的气候影响以及气候变化对山区积雪变化的影响。John A.Ogren 教授的报告很专业系统，主要围绕大气中的碳元素循环、气溶胶气候强迫性能测量技术、气候敏感性和气溶胶强迫、温室气体的生物地球化学循环来讲解的。Teruyuki Nakajima 教授非常有激情，他由基础开始讲起，逐渐深入地介绍了气溶胶和云在气候系统、全球变暖和各方面意见，让人受益匪浅。

提问讨论环节，来自各地的学术精英们用英语熟练地与教授交流探讨，气氛很活跃积极，让我认识到自己还需要付出很大的努力。同时，每一个教授认真谦虚的回答问题的态度也令人印象深刻。

中文串讲环节中，各位中国专家通过自己的理解认识进行的耐心讲解也让我在外国教授报告中听不懂的问题得到了解答。

综合十天来的学习成果，我浅谈下我的认识。

## 一、由冰芯对两极的探索

冰芯研究始于 20 世纪 50 年代初期，科学家发现粒雪层中氧同位素比率变化与雪层层位特征及气温季节变化具有很好的一致性。1954 年美国科学家 Bader 首先提出在极地冰盖

钻取连续冰芯以重建古气候环境的设想，并于 1956 年和 1957 年在格陵兰开展了深孔冰芯钻取计划。到目前已在两极冰盖及极区大冰帽的几十个地点钻取了中等深度(>200 米)以上的冰芯，其中南极 Vostok 冰芯是目前在极区钻取的深度最深(3650 米)，期间所发现的冰下湖数目众多，面积广大，非常具有研究价值。而欧洲 9 个国家共同钻取得 Dome C 冰芯年代跨度预计超过了 90 万年。中国科学家在 Dome A 的冰芯研究也是有着显著成果的。

20 世纪 70 年代中期，开始探索开展中低纬度的山地冰芯研究。到目前，在中低纬度山地冰川钻取的冰芯超过百支，其中在青藏高原西昆仑山钻取的古里雅冰芯是迄今中低纬度所获得的长度最长(309 米)、年代跨距最大(约 76 万年)的冰芯。长期以来，冰芯研究已经取得了丰硕成果。

由钻取冰芯样品不仅仅能分析出分析古气候和古环境资料，还可分析其他各种元素成分的历史资料，如硫，砷，氟，钾……这些都是研究环境变化的重要依据。特别是冰芯记录研究具有信息量大、保真度好、分辨率高、时间尺度范围大等特点，在检测气候环境变化的研究中具有不可替代的作用。

南北极相对清洁，重金属元素含量低，污染信息不好测，于是在低温下分析重金属元素这一课题就采取了冰芯钻取技术。取样是最重要的一个环节，要求清洁，避免污染。于是就需要洁净的实验室，器材全部采用塑料仪器，分析仪器也要非常灵敏。

南北极自然条件下重金属的变化，冷期含量高，暖期含量相对较低。其原因一是在冰期海平面下降，大陆架暴露，只是粉尘源增多。二来冰期热力差明显，有强风，大气浑浊度上升，大气环流使粉尘降至冰面。

人类的生活活动对于两极气候的影响是巨大的。比如在格陵兰，1925 年后，石油添加剂（含铅）被广泛使用，用于防爆。1920~2000 年之间，含铅汽油对地球产生了极大的污染。而在南极所造成的铅污染主要在 1830~1990 年期间。主要原因是到底大肆捕鲸、海豹。外部人类使用的铅也通过大气环流传到了南极地区。

南极远离人类生活范围，而如今南极地区都遭到了污染，可见现在的污染已经成为了全球性的。现在由欧洲引领的清洁能源对于保护环境有着很重要的意义。

人类任何技术的进步都是一把双刃剑。当人们在享受新技术时，背后有可能存在着巨大的未知的危害。

## 二、气溶胶的气候效应

大气气溶胶是指悬浮在大气中的固态和液态颗粒物的总称，主要是指六大类七种气溶胶粒子：沙尘气溶胶、碳气溶胶（黑碳和有机碳气溶胶）、硫酸盐气溶胶、硝酸盐气溶胶、铵盐气溶胶和海盐气溶胶。它们能作为水滴和冰晶的凝结核（见大气凝结核、大气冰核）、太阳辐射的吸收体和散射体，并参与各种化学循环，是大气的重要组成部分。雾、烟、霾、轻雾(霪)、微尘和烟雾等，都是天然的或人为的原因造成的大气气溶胶。已有的研究表明，气溶胶不仅在全球气候的变化中起着重要的作用，而且还会对区域大气灰霾污染的形成发挥主导作用。

气溶胶对气候系统的影响分为直接辐射强迫和间接辐射强迫。直接辐射强迫是指颗粒物通过吸收和散射长波和短波辐射，从而改变地球—大气系统辐射平衡；大气中的颗粒物作



为云凝结核或者冰核而改变云的微物理和光学特征以及降水效率，从而间接影响气候，称为间接辐射强迫。

当前国际全球变化和大气化学研究高度聚焦气溶胶对地球气候系统的扰动，特别是碳气溶胶的辐射强迫作用。大气中的碳气溶胶通常包括有机碳或称黑碳。C 单就直接驱动因子而言，已成为全球大气系统中仅次于 CO<sub>2</sub> 的增温组分，EC 在研究全球辐射平衡中是一个重要的参数，在某些地区，EC 的存在可以造成气溶胶辐射强迫由负辐射效应到正辐射效应的转变，导致一个净的增温效应。自 1880 年以来，全球气温上升幅度的 25% 可归因于 EC。近年来，我国释放的 OC 和 EC 已引起国内外科学家的关注。Cooke 等估计全球排放的 EC 有四分之一来自中国；限制 EC 的排放被认为是当前减缓全球气候变暖的有效途径之一；高浓度的 OC 和 EC 也是城市大气颗粒物的主要组分。在区域尺度上，EC 被认为是我国区域气候变化的一个显著驱动因子，对我国近年来南涝北旱的趋势有加速作用。

自上世纪 70 年代就有人开始注意到气溶胶的气候效应。1971 年 Rasool 和 Schneider 提出：若全球的气溶胶本底浓度增加 4 倍，将会使地面平均温度降低 3.5℃。但其后的全球性增暖现象使气溶胶气候效应被淡化。直到 1991 年菲律宾的皮那图博火山喷发，大量的尘埃和硫酸盐气溶胶进入大气，全球平均温度下降了 0.5℃，气溶胶对气候的影响才又引起关注。大气气溶胶及其气候影响研究中的重大科学问题，是当今大气科学和国际全球变化研究的前沿与焦点。

全球变暖是全球层面上的世界级难题，要想去解决它不仅需要全世界科学家们的呕心沥血的研究，还需要我们每个人在生活中的每个细节注重环保，建立起环保的概念。这个问题的长期以来造成的，所以想要解决它也非一时所能，需要人类持续的努力。

通过这次讲习班，我学习到了很多前沿的知识，开拓了眼界，同时也认识到自己英语以及专业知识方面的不足，需要以后改进。很高兴参与到这次学习交流中来。

# 区域气候模式的研究综述

周文友

南京信息工程大学大气科学学院 210044

## 一、引言

气候对人类经济和社会的发展有着重要的作用,气候及其变化和人类活动对气候的影响已日益成为一个重要的科学问题。气候具有明显的区域性特征,实际上区域气候及其变化对人类生活的影响更为直接,比如地区洪涝等灾害常常威胁着人类的生存安全等,但对于一些破坏性很强的极端气候事件,由于其发生的区域性强,用以往的气候研究方法难以达到好的效果,从而使与此相关的区域气候研究成为气候研究中急需解决的重要部分。所以对区域气候及其变化的研究引起了人们的极大关注,对区域气候及其变化的模拟已经成为研究区域水平上的全球变化问题的关键性科学问题。

## 二、区域气候模式

### 1 全球环流模式对区域气候模拟的可靠性与不确定性

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第一工作组 1990 年第一次科学评估报告、1992 年补充报告及 1995 年的第二次科学评估报告先后评估了世界各国近 40 个全球环流模式(GCM)。对全球和区域气候模拟的可靠性研究表明,20 世纪 90 年代的 GCM 模式对全球气候的模拟具有较好的可靠性,对区域气候的模拟虽在有些区域有些季节具有较好的模拟效果,但仍存在较大的不确定性。

综上所述,目前的全球环流模式在模拟区域气候上具有一定的模拟能力,但尚存在较大不确定性,且由于全球环流模式的水平分辨率较低,难于较为细致地模拟出区域气候的具体特点,又由于全球环流模式主要反映大的时间与空间尺度,难于模拟逐日和小时的变化,因而需要着重研究模拟区域气候的方案。

### 2 区域气候模式的建立及其性能检验

1900s之后,随着计算水平的提高,区域气候模拟研究有了很快的发展<sup>[1-3]</sup>:研究者们有些希望通过提高全球环流模式分辨率的方式来提高区域气候模拟能力,还有些人们试图在全球环流模式采用变网格方案,来改进区域气候模拟能力,实践证明都不太可行;另外的研究者利用中短期天气预测的思想,提出在研究区域加入一个有限区域的细网格模式的方法。这样的区域气候模式比大气环流模式的时空分辨率高,能够细致描述一些区域性的信息,在区域气候模拟方面有很大优势,已成为研究区域气候变化的最重要途径。

所以目前区域气候预测的数值模式一般采用全球模式嵌套一个区域细网格模式或者用全球模式作出预测后,采用一个所谓下插(Downscaling,它主要是通过区域气候尺度的预报量与GCM模式输出或大尺度地面观测资料建立统计模式)的统计方法来获得小范围的气候特征。从区域气候长期观测资料提取预测信息的观点出发,基于非绝热作用和水汽平衡,封国林等<sup>[4]</sup>导出一个区域气候模式,在全球模式嵌套一个区域细网格模式做法中又形成了 3 种不同思路的方法:(1)提高大气环流模式GCM的分辨率,这样做将使计算耗费大为增加,模式积分异常缓慢。这种研究方法在当今的计算条件下实用价值不高。(2)采用非均匀网格的GCM,在关心区域采用高分辨率,而在其他区域采用低分辨率,这样既能使模式详细描述关心区域的物理过程,又不会使计算耗时大量增加。模拟结果<sup>[5-6]</sup>表明在模拟区域内产生了有效的区域尺度信息,提高了模拟精度,具有良好的尺度转化效应。(3)20 世纪 80 年代末在美国开始使用的区域气候模式RCM与大气环流模式GCM单向嵌套的方法,所用的区域气候模式RCM是引入了气候物理过程的中尺度有限区域模式LAM。

然而在区域气候研究中,“区域”的时空尺度尚没有明确的界定,往往是根据作者的研究需要而有所不同。依据模式分辨率以及天气系统的空间尺度,政府间气候变化委员会(IPCC)第三次评估报告(AR3)<sup>[7]</sup>所定义的“区域”为次大陆尺度(104~107km),时间尺度可以由半天(平均意义)至几十年不等,具体因模式应用领域的不同而有差异。一般来说,对区域气候未来发展演变的模拟可达十年至几十年,对过去极端气候事件的模拟多为月-季节尺度,短期气候预测则可以针对季节或年际尺度气候的预测。由于区域气候是在一定的大尺度环流背景下发生的,包含了小尺度、中尺度、天气尺度以及行星尺度扰动系统的相互作用过程,同时受到气候系统内部各子系统(大气圈、生物圈、水圈、冰雪圈、陆面)的相互制约,这种多尺度、多要素相互作用的复杂过程决定了区域气候研究的难度和复杂性。

目前大部分区域气候模式都采用了数值天气预报模式的动力框架,如美国国家大气研究中心(NCAR)第二代区域气候模式(RegCM2),意大利国际理论物理中心区域气候模式(RegCM-ICTP),中国气象局国家气候中心区域气候模式(RegCM-NCC),西北太平洋国家实验室区域气候模式(PNNL-RCM),中国科学院大气物理研究所区域环境系统集成模式(RIEMS)均采用了滨州大学/美国国家大气研究中心(PSU/NCAR)的中尺度数值天气预报模式 MM4 或 MM5 的动力框架,其动力结构更为准确合理,从而较传统的统计方法更显其动力连续的特性。此外区域气候模式中的物理过程也更加详细,包含了陆面和水文过程、边界层、云和降水、云-辐射相互作用,部分还包含了大气化学过程。模式能够在一定程度上再现出地表温度和降水的平均日变化特征,这是粗分辨率的全球环流模式无法比拟的。特别是由于选取的空间区

域小,区域气候模拟省时的经济效益尤其突出,计算量也比全球环流模式有所减少。

像其他中尺度数值天气预报模式和全球环流模式的发展过程一样,区域气候模式经历了初期的调试发展以后,通过开展一系列模式比较计划的检验,如亚洲区域模式比较计划(RMIP)<sup>[8]</sup>、北美地区区域模式比较计划(PIRCS)、北极区域气候模式比较(ARCMIP)等,正在逐步走向实际应用阶段。由于区域气候模式是基于全球气候变化研究中大气环流模式分辨率不足的基础上发展起来的动力降尺度方法,因此通过与大气环流模式的耦合,可以进行未来气候的自然演变、不同情景下平均气候以及极端气候事件变化趋势的模拟。而为了验证、评估模式结果,以及采用区域气候模式高分辨率的特性对过去的气候事件进行研究,也可以在合理的大尺度再分析资料(如NCEP和ECMWF)或大气环流模式强迫下单独应用区域气候模式对当前的气候状况和极端气候事件进行模拟分析,探讨其形成和发展的机理。随着区域气候模式不断的发展,已经有相当一部分气象和水文学家采用区域气候模式、耦合的区域-陆面模式、区域-水文模式来研究不同的物理过程以及其对区域气候、降水和能量收支的影响,研究边界层云特征<sup>[9]</sup>和陆气、水气之间的相互作用等<sup>[10]</sup>。50年前,全球数值模式的出现使得大气科学的两个不同分支“气候”和“大气环流”合二为一,而今,区域气候模式在实践中的应用也为“天气”与“气候”的统一提供了一定的基础,并逐渐将传统意义上的天气过程与气候发展演变联系起来。目前,已经发表的关于区域气候模式发展和模拟应用研究的文章有很多。其中,IPCC 2001 评估报告最为详细地描述了区域气候模式的研究进展和模拟预测结果<sup>[7]</sup>。赵宗慈和罗勇<sup>[11]</sup>较早地分析了全球环流模式对区域气候模拟的可靠性和不确定性,对 20 世纪 90 年代国内外区域气候的模拟结果作了阶段性总结并展望了区域气候模式的发展趋势和前景。陆其峰等<sup>[12]</sup>全面回顾了区域气候模式的分类以及在气候模拟方面的应用,并重点指出了国内区域气候模式发展所面临的问题和可能的发展趋势。近期,Wang 等<sup>[13]</sup>也综述了动力降尺度方法,特别是区域气候模式的发展过程,细致地描述了区域气候模式在气候模拟,短期气候预测方面的应用,并探讨了区域气候的可预报性问题。

### 三、结语

综上所述,区域气候模式在现在、未来气候模拟,极端气候事件模拟分析,物理过程模拟研究方面已经被广泛地采用,但是在短期气候预测中尚没有得到有效利用。因此在区域气候模式应用的过程中,既要借鉴数值天气预报的实践经验,也要在理论上将中尺度、天气尺度的动力学理论与气候动力学理论相联系,凭借两者已有的且相对成熟的理论来探讨相关的可预报性问题,丰富和发展区域气候的形成和发展机理。在物理过程研究和参数化方案改进方面,要

充分利用日益增多的观测资料,还要认识到区域气候模式的模拟结果也具有很高的诊断价值,有待于进一步的开发研究。随着区域气候模式在实践中的不断检验和社会对短期气候预测需求的增加,特别是周-次季节尺度气候预测的提出,更是为区域气候模式的应用提供了广阔的发展前景。正如数值天气预报模式和全球环流模式的发展过程一样,区域气候模式也会在实践中不断地完善,从而更广泛地应用到科学研究和业务预报领域。

## 参考文献

- [1] 丁彪,曾新民.一种区域气候模式地表产流方案的改进及数值试验.气象科学,2006,26(1):31238.
- [2] 李宁,曾新民,席朝笠.我国华东地区月尺度动力气候预测的研究:区域模式建立模拟检验.气象科学,2006,26(6):5912597.
- [3] 齐丹,赵平,屠其璞,等.区域气候模式中径流计算方案的数值试验.南京气象学院学报,2006,29(6):7822789.
- [4] 曹鸿兴,封国林,魏凤英.区域气候预测自记忆模式[J].气象学报,1999,57(4):4622472.
- [5] 沈桐立,丁一汇,覃丹宇,等.短期气候变化的模拟中非均匀网格应用的研究[C].中国短期气候预测的模式研究.北京:气象出版社,1996:1652177.
- [6] Fox-Rabinowitz S M , Lawrence L T , Ravi C G , et al . A variable resolution stretched-grid general circulation model : regional climate simulation[J].Mon . Wea . Rev.,2001,129(2):4532469
- [7] Houghton J T,Ding Y H,Griggs D J,et al.Climate Change 2001:The Scientific Basis.Cambridge City:Cambridge University Press,2001,881pp
- [8] Fu Congbin,Wang Shuyu,Xiong Zhe,et al.Regional climate model intercomparison project for Asia.Bull.Amer.Meteor.Soc.,2005,86(2):257~266
- [9] Gochis D J,Shuttleworth W J,Yang Z L.Sensitivity of the modeled north American monsoon regional climate to convective parameterization.Mon.Wea.Rev.,2002,130(5): 1282~1298
- [10]郑益群,钱永甫,苗曼倩,等.植被变化对中国区域气候的影响 I : 初步模拟结果.气象学报,2002,60(1):1~16
- [11]赵宗慈,罗勇.二十世纪九十年代区域气候模拟研究进展.气象学报,1998,56(2):225~246
- [12]陆其峰,潘晓玲,钟科,等.区域气候模式研究进展.南京气象学院学报,2003,26(4):557~565
- [13]Wang Y , Leung L R , McGregor J L , et al . Regional climate modeling : progress , challenges,and prospects . J.Meteor . Soc . Japan , 2004 , 82(6) : 1599~1628

# 全球变暖对热带气旋活动的影响

祝丽娟

中国气象科学研究院 硕士研究生

非常感谢中国气象局给我们提供了这次学习机会，今年是第七届气候系统与气候变化国际讲习班，第一次参加这种全英文教学的学习活动，不论从强制性的英语学习氛围，还是锻炼英语听力上对学生都有很大的提升作用。不过这只是参加本次讲习班的额外惊喜，最主要的目的和收获还是在于了解认识了气候变化研究领域的进展和热点问题。讲习班主要围绕五个主题展开，同时成立了相应的讨论班，以方便学员队感兴趣的话题进行交流。我最感兴趣的是在全球变暖的大尺度背景下，对热带气旋活动的影响。

近年来，气候变化问题因其越来越严重和广泛的影响，已成为国际社会关注的焦点。全球气候变暖问题已引起世界范围科学家、公众及政府的高度关注。已有研究表明：全球气候变暖导致厄尔尼诺现象发生，海表温度明显上升。冰川消融，海平面上升，与此相伴随发生的是各类自然灾害如洪涝、干旱、生态灾害等的频繁出现并加剧。西北太平洋是世界上生成热带气旋最多的地区，我国位于太平洋西岸，是受热带气旋影响最多的国家之一。研究气候变暖对西北太平洋热带气旋的影响，特别是研究全球气候变暖最强烈的20世纪后20年，西北太平洋上热带气旋的频数、强度的变化具有重要意义。

中国是世界上登陆台风频率最高、受西北太平洋台风袭击次数最多的国家之一，南到海南岛北到辽东半岛的广阔沿海地区以及除新疆、青海、甘肃、宁夏等少数几个省份外的内陆地区都在台风袭击的范围之内。近年来，随着我国经济的快速发展和人口的增加，台风造成的经济损失愈显严重。研究表明：随着全球气候变暖，西北太平洋热带气旋频数减少，热带气旋的极端最低气压增大，极端最大风速减小，即热带气旋强度减弱。研究还表明：我国登陆台风全部出现在第二、三、四季度；厄尔尼诺年登陆台风偏少，第二类拉尼娜年的当年登陆台风也偏少，而其相邻年登陆台风则偏多；赤道东太平洋海表面温度正常年我国登陆台风数偏多或正常，偏少的可能性较小；登陆台风数与赤道太平洋海温呈负相关，相关中心在赤道东太平洋海面的厄尔尼诺区域；与 $10^{\circ}$  N以北的中太平洋和西北太平洋海区海温呈正相关。在全球气候变暖背景下，影响我国的热带气旋的频数、强度等具有怎样的变化特征以及它与西北太平洋台风的变化具有怎样的联系是值得进一步研究的问题。

## 一. 热带气旋活动的气候特征变化

由于资料的可靠性及均一性与否，一些学者在研究中指出，随着全球气候变暖，西北太平洋上热带气旋的频数将有所增加；但另一些学者又指出，当发生El Niño事件(海温正距平)时，西北太平洋上生成的热带气旋将减少，反之，当La Niña事件时(海温负距平)，热带气旋将增加，田荣湘通过对全球地面温度与西北太平洋热带气旋的分析表明：随着全球气候变暖，西北太平洋上热带气旋的频数减少，极端中心气压增加、极端最大中心风速减小，即热带气旋强度减弱；在增暖最快的20世纪90年代，这种关系尤为突出。

在全球变暖大尺度背景下，台风和飓风由于其不可估量的危害性，其气候

特征的变化值得研究,各大洋区时有发生“超乎寻常”的台风活动也广为关注。单个台风的异常活动不宜直接归因于气候变化;全球台风频数的年际变化趋势并不明显;沿海地区人口增长和基础设施增加是近期台风对社会影响加重的主要原因;自1970年以来,一些海区的超强台风比例明显增大,比目前数值模式的模拟结果要大很多;如果全球气候持续变暖,台风的最大风速和降水很可能会继续增加;尽管在台风记录中同时有支持和不支持人类活动(全球变暖的影响)信号存在的证据,但在这一点上还不能给出一致的肯定结论。另外,由于台风和相关气候资料存在均一性方面的问题,气候数值模式对台风气候特征描述也存在缺陷,这两类问题的存在使得在目前阶段确切阐明全球变暖和台风活动的关系仍有很大的不确定性。

在全球气候变暖背景下,我国登陆台风频数的减少趋势没有西北太平洋台风频数的减少趋势强;登陆台风的平均强度和极端强度均有减弱趋势,极端强度的减弱趋势尤为明显,但其强度弱于西北太平洋台风。在1968—2002年全球明显增暖时段,我国台风登陆位置偏向我国中部,西北太平洋台风在生命史中强度达最强时的位置有向北移动的趋势。

## 二. 全球变暖对热带气旋的影响

全球变暖,海表温度(SST)也随之升高,而高SST是台风生成的有利条件之一,因而台风的频数趋多。此外,Emanuel根据台风最大可能强度(MPI)模型认为,高SST会导致台风的MPI增大,即台风可能更强或强台风可能增多,降水率更高。模拟研究和理论分析显示当海表面温度每升高1°C,台风风速将增强3%—5%。认为全球范围的超强台风的增多趋势主要与SST相关联。热带环境场的其它变量,如风垂直切变,925—500hPa比湿,850hPa纬向伸长形变(纬向风随经度的变化)等只影响较短时期台风强度变化,不能明显影响全球台风强度变化。

也有人认为这种关联不一定通过SST的升高,而通过排放的CO<sub>2</sub>产生的温室效应造成。有研究发现CO<sub>2</sub>加倍情况下,从台风中心气压下降的程度看,台风的MPI将增加10%—20%。Wu等发现温室气体引起的气候变化对台风路径会产生影响,但情况比较复杂。

曹楚发现西北太平洋台风频数和登陆中国台风频数与全球地面温度具有反相的气候趋势,即全球变暖西北太平洋和登陆中国台风频数都有减少趋势,但西北太平洋台风频数的减少更明显。

马丽萍阐述了全球气候变化对全球台风活动的影响在国际上取得的进展,指出:全球气候变化主要以全球大气环流、海气相互作用、全球海面温度和温盐环流这4个方面的相互影响及其共同作用,对全球台风活动的发生频率、强度、路径趋势和登陆地区产生了影响,并给出了全球台风活动与全球气候变化相互关系图。

尽管有很多不确定性,气象学家还是认为全球变暖对全球飓风强度有轻微影响,会影响其强度。凯利发现全球风暴平均持续时间增加了60%,风速增加了15%,典型飓风破坏力增长了70%。很多学者也发现虽然全球飓风数量上没有增加,但是全球最强风暴发生频率自上世纪70年代以来几乎增加一倍,这与海水温度密切相关。他们认为,在全球变暖,洋面温度上升以及飓风强度三者一定存在某种关系。还有人认为,海平面温度过高或者过低都可能导致飓风的频繁发生。

## 三. 数值模拟研究

目前，利用气候模式模拟的全球台风年频数与实际观测的台风频数的相关系数介于0.15（JMA模式）至0.41（GFDL），因季节、海域和模式的不同而不同，其中西北太平洋和大西洋的相关系数相对较大（Knutson）

鉴于气候模式对台风活动已具有一定的模拟能力，因此原则上便可利用气候模式，预测不同排放情景下未来几十年到百年的台风频数、强度和路径的变化。

#### 四. 存在的问题

数值模拟显示，全球变暖气候背景下，全球台风频数趋于不变或减少，但全球气候模式的模拟精度仍较低，因此该结论可信度很低。另一方面，对台风的监测方法存在很大的区域性差异，许多海域没有飞机探测手段，这些明显的局限性将继续阻碍台风气候变化趋势检测研究的深入开展。且如果全球变暖引起的海平面升高这一情景预测成为现实，则对台风风暴潮的脆弱性将无疑会增加，因而台风灾情将加剧。

关于台风气候变化及其与全球变暖关系许多方面不甚清楚，特别是台风气候变化将对社会经济的各行各业产生怎样的影响及其风险防御对策等，还没有共识。有关于这方面的数值研究进展工作有待深入。

#### 参考文献

- 雷小途，徐明，任福明. 全球变暖对台风活动影响的研究进展. 气象学报. 2009, 67(5):679-688
- 曹楚，彭加毅，余锦华. 全球变暖背景下登陆我国台风特征的分析. 南京气象学院学报. 2006. 29(4)
- 田荣湘. 全球气候变暖对西北太平洋热带气旋的影响. 浙江大学学报（理学版）. 2003. 30(4)
- 黄隐. 全球气候VS飓风时代. 大自然探索. 2006. 11



## **SUMMARY ABOUT MY UNDERSTANDING DURING THE SEMINAR**

BY **ABOUBACAR DIALLO**  
(Guinea)

### **I. Claude Boutron : Antarctica ice and Greenland**

Antarctic is the white continent totally covered by snow (over 97% of Antarctic is covered by a vast continental ice sheet). Its dimension from north to south is about 500km (The ice plateau averages are 1800 m elevation in West Antarctica and 2600 m in East Antarctica, where it rises above 4000 m (82°S, 75°E). In September, sea ice averaging 0.5 to 1.0 m in thickness covers 20 million km<sup>2</sup> of the Southern Ocean, but 80% of this melts each summer) and is divided into different Domes (Dome A, Dome B, Dome C, Dome F...), Dome A has the ground telescopic therefore favorable to Astronomy researches, also has very low wind speed. Vostok (3500 m) recorded -89°C in July 1983, a world record minimum.

Electromechanical drills is the process by which ices is extracted from glacier, and then are submitted to different researches. More the ice is cooler more it contains metals and more warmer less metal, also their datation is based upon some chemical elements such as H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ca, NO<sub>3</sub>. Heavy metal such as lead (Pb) is either from volcanoes eruptions, dusts or anthropogenic.

### **II. Ned Helme : Emission trading experience in Europe and US**

A carbon trading program, such as the European Union Emissions Trading Scheme (EU ETS), is structured as a cap-and-trade system, wherein caps are set on emissions, and tradable permits are allocated to key industrial sectors: energy generation, ferrous metals, minerals, as well as pulp and paper. If emissions from companies within these industries exceed their allocations, operators must either purchase permits or pay a fine. If emissions are below the cap, however, surplus permits can be sold. Several carbon markets already exist, with the

EU ETS being largest and most advanced. The European Union (EU-15) as a whole agreed to reduce its CO<sub>2</sub> emissions by 8% under Kyoto.

The Clean Development Mechanism (CDM) allows industrialized countries to invest in a project in a developing country and obtains Certified Emissions Reductions credits (CERs) for having reduced emissions and promoted sustainability. CDM projects are intended to be, inter alia, a vehicle for investment and technology transfer into developing countries.

### III. John A. Ogren : climate sensitivity and Aerosol forcing

There are significant quantities of aerosols in the atmosphere. These enter the atmosphere from a variety of natural and anthropogenic sources. Some originate as particles - soil grains and mineral dust from dry surfaces, carbon soot from coal fires and biomass burning, and volcanic dust. Others are converted into particles from inorganic gases (sulphur from anthropogenic SO<sub>2</sub> and natural H<sub>2</sub>S; ammonium salts from NH<sub>3</sub>; nitrogen from NO<sub>x</sub>). The scattering and absorption of radiation by gas molecules and aerosols all contribute to the extinction of the solar and terrestrial radiation passing through the atmosphere. Taking into consideration black carbon aerosol, (different from organic carbon because it originates from the burning of fossil fuel only, but is formed in the same way as organic carbon) has properties to absorb sufficient solar radiation and also warming effect that takes away about 30% of the overall aerosol cooling. Emissions of organic and black carbon are particularly uncertain due to limited inventory studies. They have increased with increasing fossil fuel use, agriculture, and deforestation. Current estimates are 3-10 million tonnes/year for black carbon and 5-17 million tonnes/ year for organic carbon. No recent trend can be identified.

**Summary Report on:**

**The Seventh International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS)**

**Training on Climate change and Sustainable Development**

**July 19-30, 2010, China Meteorological Administration (CMA)**

**Beijing, China**

**Prepared by: Calvin A. Gaye (masters Candidate)**

**Nanjing University of Information Science and Technology (NUIST)**

**Nanjing, China.**

The Seventh International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS)

Sponsored by China Meteorological Administration (CMA), was conducted during July 19-30, 2010 in CMA and hosted by the Beijing Climate Centre (BCC). The Seminar was attended by two groups of participants: Chinese Students Participants and International Participants. I am a member of the International participants. I am Liberian, and a master's degree student of NUIST. It was my first time attending this International Seminar. I was inspired by our healthy discussions.

The broad knowledge of the participants, including myself, (who came from many reputed research organizations and universities) led to very interesting discussions, which permitted participants to share and discuss their views about climate change from a global perspective with foreign experts, in depth.

The Seminar had six (6) guest speakers. The first Speaker was Professor Dr. Claude Boutron, from the Laboratory of Glaciology and Geophysics of the Environment, University Joseph Fourier of Grenoble/CNRS, 54 rue Moliere, 38400 Saint Martin d'Herès (France), followed by Prof. Dr. Edward Alfred Helme, Prof. Dr. Klaus Fraedrich, Prof. Dr. Steven J. Ghan, Prof. Dr. John A. Ogren, and Prof. Dr. Teruyuki Nakajima .

Following are the key topics covered in the conference:

- **The role of cryosphere in climate system and climate change**
- **Atmospheric chemistry and climate effect of aerosol**
- **Biogeochemical cycle**
- **Climate system models and their application in climate change studies**
- **Strategy of climate change mitigation and adaptation, and social sustainable development**

The Seminar opened with an Honoring program of Prof. Dr. Claude Boutron, for his indefatigable contributions to science.

The First Speaker of the Seminar, Prof. Dr. Claude Boutron, spoke on the topic: “**The role of cryosphere in climate system and climate change**”. The **cryosphere**, derived from the [Ancient Greek](#) word "κρύος" (*cryos* meaning "[cold](#)", "[frost](#)" or "[ice](#)"), is the term which collectively describes the portions of the [Earth](#)'s surface where [water](#) is in [solid](#) form, including [sea ice](#), lake ice, river [ice](#), [snow](#) cover, [glaciers](#), [ice caps](#) and [ice sheets](#), and frozen ground (which includes [permafrost](#)). In his deliberation, Prof. Dr. Boutron said that cryosphere plays a very important role in climate system. He also lectured on Antarctica glaciers and High Attitude Ice crust. He further explained the Conquest of South pole by Roald Amundsen in Dec 1911. Prof. Dr. Claude Boutron did not explain the impact of the cryosphere on climate change because, according to him Dr. Prof. Boutron, it was not his area of specialization.

The second Speaker, Prof. Dr. Edward Alfred Helme, Executive Director, Center for Clean Policy, 444 North Capital Street, Suite 602, Washington, DC 20001, USA, discussed “**Strategy of climate change mitigation and adaptation, and social sustainable development.**’ His area of concern was the International Climate Policy: from Rio to Cancun. The outline of his presentation include: Climate Policy context – UNFCCC, Kyoto Protocol, Bali Action Plan & the Copenhagen Accord, Developing countries’ role in solving climate change, Sectoral approaches, NAMAs, Transportation NAMAs, and Conclusions. His lectures were informative and educative, as it explained the economist role in scientific development, with particular reference on climate change. He also spoke about the Clean Development Mechanism (CDM). He said that CDM is Flexible mechanism under the Kyoto Protocol that allows A1 countries to meet part of their caps by using credits from CDM projects in developing countries. Effort must be scaled up, private capital must be leveraged, and competitiveness and leakage concerns must be addressed. As a final point, this speaker also emphasized the crucial important key issues for China:

- Data quality and availability
- Role of states – allocation and auction
- Connection to 5 year plan priorities
- Treatment of state-owned vs. private entities
- Links to other national trading systems and CDM/ sectoral crediting
- Links to other national and state policies
- Design of a phase-in strategy

Due to page restriction, I would not talk more about the other speakers, even though, their lectures were also more enlightening. One of the lectures I really enjoyed and do not want to put my fingers of the keyboard without talking something about, is the lecture by Prof. Dr. John Ogren. Dr. Ogren spoke on Atmospheric chemistry and the climate effect on aerosols. Dr. Ogren stressed the point that **Black Carbon (BC) is Not like CO<sub>2</sub>**. BC always increases atmosphere absorption and reduces surface heating. He also said in his conclusion that aerosols interactions with water occur across a continuum of relative humidity.

I really enjoyed the Seminar and my short stay in Beijing. I do wish to express my profound thanks and appreciation to the conference organizers and sponsors for their enormous effort in making this year conference a success, and hope that I be invited for subsequent conferences, maybe, not only as a mere participants but also a visiting speaker.

7<sup>th</sup> INTERNATIONAL SEMINAR ON CLIMATE SYSTEM  
AND CLIMATE CHANGE TO THE WORLD

Prepared by Bathsheba Musonda

ZAMBIA METEOROLOGICAL DEPARTMENT

## Introduction

The earth's climate has changed many times during the planet's history, with events ranging

From ice ages to long periods of warmth, historically natural factors such as volcanic eruptions, changes in the earth's orbit. Beginning late in the 18<sup>th</sup> century, human activities associated with the industrial revolution have also changed the composition of the atmosphere and therefore very likely are influencing the earth's climate. The burning of fossil fuels, such as oil, and deforestation have caused the concentration of greenhouse gases (GHGs) to increase significantly in our atmosphere.

## Contents

Some of the main contents and the messages included in the seminar

a) The lecturer explained the threat of the impact of climate change on the emission of gases to the atmosphere which results into air pollution. Also the effect of the sea level rise of freshwater availability (wetness extremes)

b) Climate change impacts detection of China was presented, main results including:

(i) Rapid warming in last 25 years

(ii) Few areas undergo cooling especially in the summer and spring.

(iii) Surface sea temperature of East China Sea is an important external driving force to

Flood drought.

- c) Based on the justice demands a program called the Clear Development Mechanism(CDM) was proposed under article 12 of the Kyoto protocol CDM allows Greenhouse emission reduction from projects implementation in non-Annex1 countries such as China, Brazil, Malaysia and many other developing countries. These mechanisms have created a carbon market that generated more than \$143 billion in 2009.
- d) The lecturer explains the new policy Architecture called Nationally Appropriate Mitigation Action (NAMAS)and sector approaches encouraging developing countries which is designed to focus on sector wide policies or strategies to reduce emissions e.t.c iron and steel industry or electricity industry. These approaches will be tested in the fast start finance period from 2010-2012 and promised to be central to developing country action in the near term.

Apart from lecture ,many reference materials were provided to participants. Also logistics support was superb and wonderfully.

### Conclusion

The seminar provided a great opportunity to participants to consolidate and widen their knowledge in the climate change and climate system such as climate change observations and projections. Nevertheless, whether we are aware or not, climate is real and it's a big challenge to everyone so, we should join together and fight it. The Chinese government shows us that sustainable development is still possible if appropriate adaptation and mitigation measures are integrated into development strategies.

# **The Seventh International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS) 19-30 July 2010, Beijing**

Bento I. Cambula  
National Meteorological Institute of Mozambique

## **Introduction**

Since 2004 the Chinese authorities have organized several international seminaries on climate system and climate change where several international experts of related topics were invited to give the lectures. The Seventh International Seminar on Climate System and Climate Change was hosted by the Beijing Climate Center (BCC), sponsored by China Meteorological Administration (CMA) and co-sponsored by the State Administration of Foreign Expert Affairs (SAFEA), National Science Foundation of China (NSFC), and Global Change System for Analysis, Research and Training (START) and WMO Regional Training Center Nanjing China (NUIST).

## **Objectives**

The aim of ISCS is to widen views of young scientists, realizing international front on climate and climate change, improving the climate research ability, strengthening international academic exchanges.

## **Topics**

Several international climatologist and experts on related fields were invited as teachers and lecturers on the following topics: (1) Atmospheric Chemistry and climate effect of aerosol; (2) Biogeochemical cycle; (3) The role of cryosphere in climate system and climate change; (4) Climate system models and their application in climate changes studies; (5) Climate change detection and attribution; (7) Uncertainties in climate change

## **Contents**

The lectures' of Professor Dr. Claude Boutron included: 1) Drilling snow and ice cores in Antarctica, Greenland and high altitude temperature areas, 2) Analysing snow and ice cores for heavy metals at extremely low concentration levels, 3) Natural changes in the occurrence of heavy metals in Antarctic ice during the past 670 kyr, 4) Man induced changes in heavy metals since the Antiquity documented in snow and ice cores. The lecturer explained the science and techniques used on drilling ice cores process, how to avoid contamination of data, and the why drilling ice cores in Antarctica, Greenland, Alpes, Himalayas, etc. For instance if a kind of pollutant is found in Antarctica it mean that it can be found everywhere over the world. On climate studies analysis of ice cores is very important to understand how the composition of the atmosphere has changed in different time of humanity history.

The lectures' of Professor Edward A. Helme included: (1) Emissions trading experience in Europe and the USA; (2) Competitiveness effects of climate policy on both China and developed countries' energy intensive/trade exposed industries; (3) Clean Development Mechanism (CDM), sectoral crediting and offsets policies; (4) Global prospects for climate policy in the various global markets. The lecturer explained the Climate Policy context of UNFCCC, Kyoto Protocol, Bali Action Plan and the Copenhagen Accord. The Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) proposed by some countries in Copenhagen Accord to substitute the CDM was introduced. The participants got more understanding of the new policy architecture of NAMAs and sectorial approaches. One of the messages included the elimination of CDM for major developing countries in key internationally competitive sectors but it remain an option for least developed countries and some smaller or less competitive sectors.

Professor Klaus Frederich lectures' included topics as: (1) Climate, Chaos, and Catastrophes; (2) Three bridges: the Europe – Asia connection were two Cross Eurasia wave trains were shown and explained that they influence the occurrence of severe and extreme dryness and wetness on the Tibetan Plateau by modulating the local atmospheric circulation. The lecture explained how atmospheric bridging process affects regional climate variability under present day climate conditions, which are also relevant to understand past climate. (3) Continuum climate variability: long term memory, extremes, predictability. In this topic some of the analyses were shown in maps and graphs and the main results demonstrate that the variability of near surface

temperature is a continuum of long-term memory which modeling process is complex. In the atmosphere the high frequency range is assessed by observations in the tropical western Pacific. (4) A suite of global circulation models. The lecturer introduced in details the Global Circulation Model suite and the Planet Simulator and its coupled systems. Some of numerical products by Planet Simulator Model which can be used to run climate and paleo-climate simulations for time scale up to 10 thousands years or more in an acceptable real time were shown and participants got better understanding about climate model evolution.

The Scientist Steven Ghan gave us lectures on: (1) Aerosol effects on clouds. The main conclusion of this lesson is that estimates of impacts of aerosols on clouds are very uncertain because of competing cooling and warming mechanisms, but are likely to be smaller than direct radiative heating. (2) Toward a minimal representation of aerosol effects on climate. The main message of this lesson was aerosol effects on climate are complex and high resolution climate change simulations are not practical with the most complete representation of the aerosols. (3) Effects of black carbon on climate: The short lifetime and strong radiative heating by black carbon suggests that reducing black carbon emissions can produce a rapid reduction in radiative heating of the earth. (4) Impacts of climate change on mountain snow.

The lectures of Professor Dr. John A. included focused on: (1) Atmospheric Cycle of Elemental Carbon. Some of main messages from this lecture were that elemental carbon is the dominant component of the atmospheric light-absorbing aerosol, it is produced by the incomplete combustion of carbonaceous fuels, it is removed primarily by precipitation and its removal rate and optical absorption are influenced by coatings. (2) Measurement techniques for aerosol climate forcing *properties*; the lecturer explained the principles and techniques used by different instruments to measure aerosols forcing properties in the atmosphere. (3) Climate Sensitivity and Aerosol Forcing. The remarkable message in this topic was that uncertainties in climate sensitivity and aerosol forcing are intrinsically coupled, in climate models and in empirical determination of sensitivity and as a result the amount of incremental greenhouse gases that can be added to the present atmosphere consonant with given maximum increase in global

mean surface temperature above pre-industrial is unknown even in sign.

(4) Haze and clouds: interactions of aerosols and water. Aerosol interactions with water occur across a continuum of relative humidity (i.e., cloud droplets are just another type of aerosol particle), and aerosol chemistry, microphysics, and optics are inextricably linked with cloud chemistry, microphysics, and optics.

The lectures of Professor Taruyuki Takajima included: (1) Role of radiation in the climate system; (2) Signature of climate change from space; (3) Aerosols and clouds in the climate system; (4) Global warming and various feedback systems in the climate system.

The lecture explained the basic concept of radiative transfer, atmospheric constituents interacting with radiation, the principle of aerosol remote sensing, global observation and modeling of aerosol characteristics, basic concept of cloud remote sensing, global cloud microphysical conditions. Some of the main messages on these lessons included:

- a) remote observations of aerosols, together with aerosol physical and optical properties, permit one to couple the space borne measurements with ground based and air borne measurements of the size dependent aerosol chemical composition and hence to describe the impact of aerosol on climate.
- b) Cloud change as a feedback of global warming is not certain whether it accelerates or not.
- c) Cloud and aerosols are important on climate but aerosol is forcing and cloud is feedback.

Apart of lectures, reference materials were provided to participants and discussion groups in Chinese and English were arranged.

### **Conclusions**

The seminary provided a good opportunity to consolidate and widen my knowledge in the climate change and climate system. It has given me better understanding on scientific and technical details of climate systems and the changes taking place, and I also have learned some new subjects.

By organizing this kind of seminars the Chinese Government shows his concern on climate change and believes that we still can do something to save our Earth planet.



# The Seventh International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS)

July 19- 30,2010

Prepared By: Edward B.Wisseh

## Acknowledgement

I am grateful for search unique programmed am extending my thanks and appreciation to the organizing committee for putting things in proper order, as well as the sponsor China Meteorological Administration in Beijing (CMA), co-sponsor State Administration of Foreign Experts Affairs, China WMO Regional Training Center Nanjing National Natural Science Foundation of China Global Change System for Analysis, Research and Training (START), for giving us the opportunity to attend this seminar.

Big applaud goes to the professors and teaching assistance that took their time to come and shared their knowledge with us, and makes us to understand that climate change is real.

## Introduction

There were six guest speakers, and the first was Professor Dr.Claude Boutron who speaks on 1.drilling snow and ice cores in Antarctica, Greenland and high altitude temperate areas. 2. Analysing snow and ice cores for heavy metals at extremely low concentrationlevels.3.Matural changes in the occurrence of heavy metals in Antarctica ice during the past 670kyr.4.man induced changes in heavy metals since the antiquity documented in the snow and ice cores. Second was professor Edward Ned Helme who speaks on 1.emissions trading experience in Europe and the US.2.Competitiveness effects of climate policy on both china and developed countries, energy intensive/trade exposed industries.3.CDM,sectoral crediting and offsets policies.4.Global prospects for climate policy in the various global markets. Third was professor Dr.Klaus Fraedrich who speaks on 1:Climate,Chaos,and Catastrophes.2:Three bridges, the Europe-Asia conection.3:Continum climate variability, long term memory,extremes,predictability.4:Suite of global circulation models. Fourth was Professor Dr.Steven J.Ghan who speaks on 1; Aerosol effects on clouds.2: Toward a minimal representation of aerosol effects on climate.3: Effects of black carbon on climate.4: Impacts of climate change on mountain snow. Fifth was Professor Dr.john A.Ogren who speaks on 1: Atmospheric cycle of elemental carbon.2: Measurement techniques for aerosol climate-forcing properties.3: Climate sensitivity and aerosol forcing.4: Haze and clouds, Interactions of aerosols and water. And Professor Dr.Nakajima Teruyuki who speaks on 1: Role of radiation in the climate system.2: signature of climate change from space.3: Aerosols and clouds in the climate system.4: Global warming and various feedback system in the climate. I will write on Aerosol effects on clouds.

The authors had a desire to study the aerosol effects on clouds and climate. Using large eddy simulations they investigated the effects of aerosol on clouds, precipitation, and organization of trade wind cumuli. The conceptual structure for this study follows the idea of greater aerosol loading suppresses precipitation formation, increases cloud liquid water, and leads to a long lived cloud with larger cloud fractions. Recent field studies have had a theme in focusing on the interaction between precipitation, boundary layer dynamics, and cloud organization with illustrative findings that precipitation is often associated with mesoscale variations. This article focuses mainly on using simulations to help understand ways in which precipitation effects the organization and structure of trade wind cumuli. Data collection during the ATEX (Atlantic Trade Wind Experiment) is used as reference and comparison data.

This simulation uses a 3D dynamical resolving microphysical scheme. Warm cloud microphysical processes are simulated by having aerosol particles larger than dry critical size that activate based on equilibrium theory at a local temperature and super saturation. In comparison to the ATEX study, a Beer's law radiation scheme is used to represent a net export of radiant energy.

In a regime where surface precipitation rates are substantial there is an expected tendency of cloudiness to increase with increasing aerosol concentrations. A heavy precipitation regime gives expected tendency of cloud water to increase with decreasing precipitation. This would indicate a significant liquid water amount and that it is not efficiently removed from the area of interest. This would mean that the tendency for water to remain due to longer evaporation time scales overshadows the tendency for gravity to return it to the surface. The precipitation rate decreases as aerosol concentrations increase. The main difference between the aerosol mixing ratio with and/or without precipitation shows that precipitation may be important in determining cloud and boundary layer evolution.

## Conclusion

This study using the large eddy simulation study delivered a clear representation of suppression of precipitation with increasing aerosol. Aerosol tends to increase cloud fraction when the aerosol mixing ratio increases. Also further increases in the aerosol mixing ratio leads to a decrease in cloud fraction most likely due to a fast evaporation of smaller cloud droplets. Two different regimes for aerosol effects on the clouds life cycle are considered. The first one, precipitation regime, shows that increases in aerosol increase the dwelling time of cloud condensate. A second one, weakly precipitation regime, shows increases in aerosol reduce the dwelling time of condensate through enhanced evaporation. Their study found no effect of aerosols on the lifetime of individual cells. One might resolve that changes in convective frequency or even changes in the size of individual clouds would be a materialization of the changes in cloud fractions.

## **The role of data in studying climate change**

7th International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS)

Beijing, China, 19-30 July 2010

*Karen K.Y. Shum*

*Hong Kong Observatory*

Hong Kong, China

kyshum@hko.gov.hk

### **Introduction**

The Hong Kong Observatory issues weather forecast, seasonal forecast, annual outlook and climate projection spanning a time scale from day to several decades and beyond (Leung and Hui 2006). Since the 1980s, Hong Kong has been studying climate change (Koo 1988; Leung et.al. 2004a; Leung et. al. 2004b; Leung et. al. 2006; Lee et.al. 2008; Wong et. al. 2003). Much emphasis was also put on the public and stakeholders' outreaching programmes (Leung et.al. 2008; Wong and Mok 2009) as part of the action taken by meteorologists to mitigate the possible hazards of climate change (Lam 2007).

### **7th International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS)**

At the invitations of the president of ISCS / Co-Chair of IPCC WGI, the Observatory has been obliged to participant in the last couple of years and benefit from it (Chan 2009). An outline of the 7th ISCS can be found at <http://ncclcs.cma.gov.cn> . To obtain a more vivid picture of climate change, multi-disciplinary knowledge like archeology, history, economics, atmospheric chemistry, etc, have to be applied and both global and local issues have to be addressed. Data is a common ground for these multi-disciplinary studies around the globe.

Prof. Claude Boutron has studied natural variations in heavy metals in Antarctic and Greenland ice during the successive glacial/interglacial cycles. Iridium (Ir) and Platinum (Pt) are very difficult to measure because their concentration in ice is extremely low. Digging the ice cores has to go through stringent and comprehensive procedures in order to obtain useful data. He delivers the key message of straight forward but not necessary being easily done, i.e., published data in quality rather than quantity (Gorlach and Boutron 1992).

In the climate policy context, Mr. Ned Helme demonstrates that the big bang approach

in the Kyoto Protocol is replaced by a more preferable bottom up approach in Copenhagen Accord which associated with 113 countries plus the EU. New policy architecture includes Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) and sectoral approaches (CCAP 2010). To offer financial support or credits effectively, good quality data, like the emission of 900 steel mills, are required. However, this is an on-going process for archiving the goal of obtaining the data at regular intervals. The data should also be reliable without human intervention.

Prof. Klaus Fraedrich starts with 3 bridges connect Europe and Asia, namely over space by teleconnections; over time by long term memory; and over models by synchronization (Zhu et.al. 2010). He suggests a simple model for beginners, for example, the SAM shallow atmosphere model ([www.mi.uni-hamburg.de/sam.6074.0.html](http://www.mi.uni-hamburg.de/sam.6074.0.html)) before trying 2, 3 or 4 dimensional model. Data assimilation may be used to improve model performance.

Prof. Steven J. Ghan and Prof. John A. Ogren give lectures on aerosol with models to show the sensitivity. Prof. Steven J. Ghan mentions that historical record can be used to assimilate to test the model in order to understand and constrain the sensitivity and he also presents Ghan (2007) aiming at increased detailed representation of the aerosol properties and processes will be added into future versions of climate models. Prof. Ogren reports that the reasons for earth hasn't warmed as much as expected are largely the uncertainty in greenhouse gas forcing and uncertainty in aerosol than long live greenhouse gas (Schwartz et. al. 2010). Prof. Ogren says to reduce sensitivity, it has to reduce uncertainty in aerosol forcing by improving measurement of the aerosol in the future.

Prof. Teruyuki Nakajima shows the aerosol, cloud, and radiation measurements in Asia are under the network of EANET, GAW, BSRN, AERONET, SKYNET, LIDAR (Nakajima 2007). Continuous measurement, sky measurement, calibrations programme, data centre are required. To observe Optical properties of various aerosol type, a SKYNET Sky radiometers is built by Prof. Teuyuki which is a calibration free system. It is no longer necessary to send back and forth to the USA for calibration as the major advantage for the Asia countries. For AOD monitoring, remote sensing data like MODIS and GLI may need to be improved.

## **Conclusion**

By attending the 7th ISCS, much international exposure on climate and climate change is gained. There are about 160 participants of more than 40 meteorological

offices, universities and institutions originated from 15 countries/regions in southeast Asia. Not only lectures by the six renowned scientists, but designated Q&A, TA sessions and discussions, a small 2-page paper submission and presentation, has enabled a systematic learning of 12 full days. Good quality data is vital for modellers, researchers, economists and politicians to investigate climate change in their areas of interest. Last but not the least, this seminar is very useful for the forecasters and researchers in weather and climate, and the climatological information service personnel as well.

### **Acknowledgment**

Sponsorship of China Meteorological Administration (CMA), co-sponsorship of SAFEA (State Administration of Foreign Expert Affairs), NSFC (Natural Science Foundation of China), START (global change SysTem for Analysis, Research and Training), Nanjing University of Information Science and Technology (NUIST) and CMA Training Center and the hospitality of Beijing Climate Center (BCC) are gratefully acknowledged. The author wishes to thank Mrs. Hilda Lam, Mr. H.Y. Mok, Dr. W.L. Chang and Mr. David T.W. Hui for their inspiration on the work.

### **References**

- CCAP, 2010: *Global Sectoral Study: Final Report*, the Center for Clean Air Policy (CCAP), 3 May 2010, USA.
- Chan, K.Y., 2009: The Sixth International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS). *Report of 6th ISCS*. Beijing, China, 20-31 July 2009. Available online at <http://ncclcs.cma.gov.cn>
- Ghan., Steven J. and Stephen e. Schwartz, 2007: Aerosol properties and processes - A Path from Field and Laboratory Measurements to Global Climate Models. *BAMS*, July 2007, 2453-2464.
- Gorlach, U., and C.F. Boutron, 1992: Variations in Heavy Metals Concentrations in Antarctic Snows from 1940 to 1980. *J. of Atmospheric Chemistry*, **14**, 205-222.
- Koo, E., 1988: Climate change - secular trends in urban temperature. World Congress on Climate and Development, Hamburg, 7-10 November 1988. Reprint No. 172, Hong Kong Observatory.
- Lam, C.Y., 2007: Climate Change – Meteorologists in Action. International Conference on Climate Change, Hong Kong, China, 29-31 May 2007. Reprint No. 707, Hong Kong Observatory.
- Lee, T.C., W.H. Leung, and E.W.L. Ginn, 2008: Rainfall Projections for Hong Kong

- based on the IPCC Fourth Assessment Report. *Bull. HK. Met. Soc.*, **18**, (accepted). Reprint No. 798, Hong Kong Observatory.
- Leung, W.M., and T.W. Hui, 2006: Some Perspectives on Regional Climate Studies and Modelling. Workshop on Research Agenda for Energy and the Atmospheric Environment, City University of Hong Kong, Hong Kong, China, 3-4 July 2006. Reprint No. 649, Hong Kong Observatory.
- Leung, W. H., T. C. Lee and W. M. Leung, 2008: Public Education and Outreaching Activities on Climate Change: the Hong Kong Observatory Experience. International Conference on Building Green Partnership for Sustainable Development: The Collaboration of Green NGOs, Businesses and Governments, University of Hong Kong, Hong Kong, 29-30 November 2008. Reprint No. 790, Hong Kong Observatory.
- Leung, Y.K., E.W.L. Ginn, M.C. Wu, K.H. Yeung & W.L. Chang, 2004a: Temperature Projections for Hong Kong in the 21st century, *Bull. HK. Met. Soc.*, **14**, Number 1/2, 2004, p.21-48, HKO Reprint No. 608.
- Leung, Y.K., K.H. Yeung, E.W.L. Ginn & W.M. Leung, 2004b: *Climate Change in Hong Kong*, HKO Technical Notes 107.
- Leung, Y.K., M.C. Wu, K.K. Yeung & W.M. Leung, 2007: Temperature Projections for Hong Kong based on IPCC Fourth Assessment Report, *Bull. HK. Met. Soc.*, **17**, 2007, HKO Reprint No. 764.
- Nakajima, T., S-C Yoon, V. Ramanathan, G.-Y. Shi, T. Takenmura, A. Higurashi, T. Takamura, K. Aoki, B.-J. Sohn, S.-W. Kim, H. Tsurutal, N. Sugimoto, A. Shimizu, H. Tanimoto, Y. Sawa, N.-H. Lin, C.-T. Lee, D. Goto, and N. Schutgensl, 2007: Overview of the Atmospheric Brown Cloud East Asian Regional Experiment 2005 and a study of the aerosol direct radioactive forcing in East Asia, *J. Geophys. Res.*, 112, D24S91, doi:10.1029/2007JD009009.
- Schwartz., Robert J. Charlson, Ralph A. Kahn, John A. Ogren, Henning Rodhe, 2010: Why Hasn't Earth Warmed as Much as Expected? *Journal of Climate*, **23**, 2453-2464.
- Wong, M. C., and H.Y. Mok, 2009: Delivering Climate Change Messages to the Public and Stakeholders: The Hong Kong Experience. World Climate Conference - 3, Geneva, 31 August - 4 September 2009. Reprint No. 875, Hong Kong Observatory.
- Wong, W.T., K.W. Li & K.H. Yeung, 2003: Long-Term Sea Level Change in Hong Kong, *Bull. HK. Met. Soc.*, **13**, p24-40, HKO Reprint No. 556.
- Zhu, Xiuhua, Oliver Botheb, and Klaus Fraedrich, 2010: Summer atmospheric bridging between Europe and East Asia: Influences on drought and wetness on the Tibetan Plateau (submitted).

## REPORT by MUHAMMAD ATHAR HAROON

### 1. Title of the Training/Event with Date(S) and Venue:

**The Seventh International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS) from 19 -30 July, 2010, Beijing, China.**

### 2. Activities/Program Summary:

The seminar was started on **19<sup>th</sup> July, 2010**. The first lecturer was “Claude Boutron” .He talked about the heavy metals analysis in snow & Ice cores from Antrctica and Greenland. High concentration of heavy metals in the ice cores shows very cold period and this high concentration are mainly due to dust. Similarly low concentrations represent warmer periods. He also talked about man induced changes in heavy metals. Since 1970, Concentration of heavy metals has increased more than 200 times, the natural values.

Prof Ned Helme talked about the International Climate Policy, Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) and Sectoral Approaches. Carbon emissions trading in U.S & Europe and its potential Applications in developing countries, clean development mechanism (CDM) which is a mechanism under Kyoto Protocol that allows developed countries to meet part of their necessities by using credits of the developing countries from their CDM projects .He also talked on Applications of emissions trading Principles to developing countries.

Prof Klaus Fraedrich talked about Climate, Chaos and Catastrophes. He presented his idea by comparing with three bridges, over space by teleconnections, over time by long term memory and over models by synchronization. He also shows detrended fluctuation Analysis (DFA) technique in order to apply on climate data.

Prof Steven John Ghan gave his first talk on aerosol effect on clouds. He concluded that parameterizations explain most of the dependence on size, composition, and updraft velocity. Most of uncertainty in indirect effects arises from the dependence of cloud microphysics on droplet number concentration. Aerosol effects on ice nucleation are

much more complex. In his second lecture, he talked about the effect of aerosols on climate. Largest relative differences between 3 mode and 7 mode aerosol are in remote regions where absolute concentrations are small. Black carbon is externally mixed near combustion sources and in Polar Regions, where aging is slow. Distributions of direct and indirect aerosol effects by 3 mode and 7 mode models are similar. In his last lecture, he talked about the effect of black carbon on Climate. The short lifetime and strong radiative heating by black carbon suggests that reducing black carbon emissions can produce a rapid reduction in radiative heating of the earth.

Prof John A.Ogren describes measurement techniques for Aerosol Radiative Properties. Elemental carbon is the dominant component of the atmospheric light-absorbing aerosol. It is produced by the incomplete combustion of carbonaceous fuels. It is removed primarily by precipitation. Its removal rate and optical absorption are influenced by coatings. Aerosol interactions with water occur across a continuum of relative humidity. Aerosol chemistry, microphysics, and optics are inextricably linked with cloud chemistry, microphysics, and optics.

Prof Nakajima Teruyuki started his talk with basic concept of the radiative phenomena and radiative transfer and atmospheric constituents interacting with radiation. Then he talked about remote sensing of aerosols and its modeling, Principle of aerosol remote sensing, Global observation and modeling of aerosol characteristics. In his third lecture, he talked about remote sensing of low-level clouds and aerosol indirect effects, basic concept of cloud remote sensing and global cloud microphysical conditions. In his last lecture he gave the Understanding of the various feedbacks caused by aerosols, various feedbacks between aerosol and cloud systems and magnitude of the interactions.



**The Seventh International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS)**

**Training on Climate change and Sustainable Development**

**July 19-30, 2010, China Meteorological Administration (CMA)**

**Beijing, China**

**Prepared by: moustapha Mohamed salem. (bachelor. mauritania)**

**Nanjing University of Information Science and Technology (NUIST)**

**Nanjing, China.**

The Seventh International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS)

Sponsored by China Meteorological Administration (CMA), was conducted during July 19-30, 2010 in CMA and hosted by the Beijing Climate Centre (BCC). The Seminar was attended by two groups of participants: Chinese Students Participants and International Participants. I am a member of the International participants. I am Liberian, and a master's degree student of NUIST. It was my first time attending this International Seminar. I was inspired by our healthy discussions.

The broad knowledge of the participants, including myself, (who came from many reputed research organizations and universities) led to very interesting discussions, which permitted participants to share and discuss their views about climate change from a global perspective with foreign experts, in depth.

The Seminar had six (6) guest speakers. The first Speaker was Professor Dr. Claude Boutron, from the Laboratory of Glaciology and Geophysics of the Environment, University Joseph Fourier of Grenoble/CNRS, 54 rue Moliere, 38400 Saint Martin d'Herès (France), followed by Prof. Dr. Edward Alfred Helme, Prof. Dr. Klaus Fraedrich, Prof. Dr. Steven J. Ghan, Prof. Dr. John A. Ogren, and Prof. Dr. Teruyuki Nakajima .

Following are the key topics covered in the conference:

- **The role of cryosphere in climate system and climate change**
- **Atmospheric chemistry and climate effect of aerosol**
- **Biogeochemical cycle**
- **Climate system models and their application in climate change studies**
- **Strategy of climate change mitigation and adaptation, and social sustainable development**

The Seminar opened with an Honoring program of Prof. Dr. Claude Boutron, for his indefatigable contributions to science.

The First Speaker of the Seminar, Prof. Dr. Claude Boutron, spoke on the topic: “**The role of cryosphere in climate system and climate change**”. The **cryosphere**, derived from the [Ancient Greek](#) word "κρύος" (*cryos* meaning "[cold](#)", "[frost](#)" or "[ice](#)"), is the term which collectively describes the portions of the [Earth](#)'s surface where [water](#) is in [solid](#) form, including [sea ice](#), lake ice, river [ice](#), [snow](#) cover, [glaciers](#), [ice caps](#) and [ice sheets](#), and frozen ground (which includes [permafrost](#)). In his deliberation, Prof. Dr. Boutron said that cryosphere plays a very important role in climate system. He also lectured on Antarctica glaciers and High Attitude Ice crust. He further explained the Conquest of South pole by Roald Amundsen in Dec 1911. Prof. Dr. Claude Boutron did not explain the impact of the cryosphere on climate change because, according to him Dr. Prof. Boutron, it was not his area of specialization.

The second Speaker, Prof. Dr. Edward Alfred Helme, Executive Director, Center for Clean Policy, 444 North Capital Street, Suite 602, Washington, DC 20001, USA, discussed “**Strategy of climate change mitigation and adaptation, and social sustainable development.**’ His area of concern was the International Climate Policy: from Rio to Cancun. The outline of his presentation include: Climate Policy context – UNFCCC, Kyoto Protocol, Bali Action Plan & the Copenhagen Accord, Developing countries’ role in solving climate change, Sectoral approaches, NAMAs, Transportation NAMAs, and Conclusions. His lectures were informative and educative, as it explained the economist role in scientific development, with particular reference on climate change. He also spoke about the Clean Development Mechanism (CDM). He said that CDM is Flexible mechanism under the Kyoto Protocol that allows A1 countries to meet part of their caps by using credits from CDM projects in developing countries. Effort must be scaled up, private capital must be leveraged, and competitiveness and leakage concerns must be addressed. As a final point, this speaker also emphasized the crucial important key issues for China:

- Data quality and availability
- Role of states – allocation and auction
- Connection to 5 year plan priorities
- Treatment of state-owned vs. private entities
- Links to other national trading systems and CDM/ sectoral crediting
- Links to other national and state policies
- Design of a phase-in strategy

Due to page restriction, I would not talk more about the other speakers, even though, their lectures were also more enlightening. One of the lectures I really enjoyed and do not want to put my fingers of the keyboard without talking something about, is the lecture by Prof. Dr. John Ogren. Dr. Ogren spoke on Atmospheric chemistry and the climate effect on aerosols. Dr. Ogren stressed the point that **Black Carbon (BC) is Not like CO<sub>2</sub>**. BC always increases atmosphere absorption and reduces surface heating. He also said in his conclusion that aerosols interactions with water occur across a continuum of relative humidity.

I really enjoyed the Seminar and my short stay in Beijing. I do wish to express my profound thanks and appreciation to the conference organizers and sponsors for their enormous effort in making this year conference a success, and hope that I be invited for subsequent conferences, maybe, not only as a mere participants but also a visiting speaker.

**The Seventh International Seminar on Climate  
System and Climate Change – 19-30<sup>th</sup> July, 2010  
Muhammad Hasan Ali Baig, NUIST**

**Report about my understanding from the lectures which were delivered**

**Dr. Claude Boutron:** (The role of Cryosphere in Climate System and Climate Change by special focusing on the heavy metals)

Drilling and analysis of ice cores in Antarctica and Green Land paved a way to not only peeped into the past but also to predict the future patterns. Along with Antarctica and Green Land, samples from Alps, Himalaya and other centuries-old snow-covered mountains were also collected as these ice reserves are very nice archives of the history of atmospheric heavy metals. Oldest ice dating back 1.5 million years ago was found in Antarctica where Chinese 'Kunlun' station was established. It is considered as the coldest, driest, calmest and highest region of snow. Very old ice about 800,000 years of age has also been found in Green Land. Green Land ice core (GIC) and Antarctic ice core (AIC) reveal the large scale changes in the northern and southern hemispheres respectively. Green Land which is near to the North Pole was selected because no land exists at North Pole unlike that at South Pole. Clair C. Patterson calculated the age of Earth as 4.5 billion years by using Lead isotopes got from the AIC. It is interesting to note that during the cold periods (glacial ages) high values of heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn, Ir, Pt, U, Co, Bi, etc) had been found while values were less during the warmer periods. Most of the concentrations were due to the cosmic dust as compared to the crustal dust. An important point which was revealed by Dr. Boutron while working on the GIC was about the contribution of our ancestors (Greeks, Romans etc) in production of heavy metals into the atmosphere as ancient world was poisoned by Lead and same happened after 1925 when bulk of increase of heavy metals into the atmosphere was due to the leaded gasoline.

**Mr. Edward Alfred Helme:** (Strategy of Climate Change Mitigation, Adaptation and social sustainable development)

As developing and developed countries have different resources and contributions in production of various anthropogenic emissions (like CO<sub>2</sub>) in GHGs, so in order to prevent Earth from global warming, common but differentiated responsibilities demand the attention of all the countries of the world. It is necessary to implement Kyoto Protocol, Bali Action Plan and the most recent 'Copenhagen Conference'. So, in order to address all these issues, the Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMA) and Sectoral Approaches have been introduced which encompass the reservations of all the developed and the developing countries. These plans stress on the transnational approach in which all countries face similar benchmarks emphasizing carbon credits, and a bottom-up approach envisaging financial and technology assistance from advanced economies to support ambitious no-lose crediting baselines in developing countries. NAMA is objected by developing countries as some unilateral voluntarily initiatives have been demanded in it. So, in order to address the grievances of DCs some allowances have been introduced and a device has been formulated to allocate these allowances.

**Dr. Klaus Fraedrich:** (Climate System Models and Climate Change Studies)

Very beautiful relation between the space, time and synchronization had been introduced in a form of three bridges scheme representing the tele-connection, long-term memory and models respectively. For synchronization hierarchy of models is followed from Low Order Models (LOM), then Simple Global Circulation Models (SGCM) to Global Circulation Models (GCM). He categorically mentioned that climate was considered as the memory and how climate system models could be used to study the climate change. He mentioned some models like PUMA, SOM and PLASIM which could be used in future studies. Now scientists of all over the world have agreed to adopt Standardized Precipitation Index (SPI) in monitoring the drought conditions in any part of the world. As Tibetan Plateau is considered as the water tower of the Earth, so the bridging scheme is followed from Europe to Tibet to synchronize the space and time bridges to store water there.

**Dr. Steven John Ghan, Dr. John A. Ogren and Prof. Teruyuki Nakajima:**  
**(Atmospheric Chemistry and Climatic effect of Aerosols)**

Very interesting and detailed picture of climatic impact of aerosols was delivered by these respected professors. It had been found that there exists inverse relationship between radiative forcing and climate sensitivity (while more research is needed in understanding climate sensitivity as it can be represented in terms of climate feedback mechanisms). It was also revealed that supersaturation value was higher for small droplets or vice versa. It was reported that energy loss at top of atmosphere (TOA) was due to the back scattering of sunlight to space while in the middle part, heating of atmosphere was due to the aerosol absorption of the sunlight. While discussing the extinction (scattering+absorption), it was found that absorption by gases was generally negligible except when NO<sub>2</sub> concentrations were high. Elemental Carbon (EC) is distinguished on the basis of refractory properties while Black Carbon (BC) is identified on the basis of optical properties of carbon. As nuclei mode particles have very high diffusibility so size of the particle is inversely proportional to the diffusibility. In summer life time of the aerosols in the atmosphere is more as compared to that in the winter. It was deduced that larger the size of particles, more would be scavenging (more chances of becoming droplets). It was noted that BC always increased atmospheric absorption and reduced surface heating and global mean radiative forcing at top of atmosphere was due to the absorption/scattering by atmospheric BC. Some of the slides of Steven Ghan showed lesser BC concentration during monsoon over snow regions of Himalaya in contrast to some other areas. Prof. Ogren revealed that the cooling due to low clouds might be due to indirect forcing while warming might be due to the direct forcing. It was categorically mentioned that BCs were different from CO<sub>2</sub> and BC always increases atmospheric absorption and reduces surface heating unlike to CO<sub>2</sub>. It was told that near the surface radiative forcing was negative while in atmosphere it was positive. Prof. Nakajima testified the renowned Rayleigh's scattering as the cause of blue color of sky due to the molecular scattering. According to him clouds appeared to be white because yellow color mixed with blue color and result was white. He mentioned that in Monte Carlo method for large particles, color would be white and for smaller particles it might be blue due to scattering. It was concluded that aerosols were driving force while clouds were feedback.

**A SUMMARY OF THE DISCUSSIONS DURING THE 7<sup>TH</sup> INTERNATIONAL  
SEMINAR ON CLIMATE SYSTEM AND CLIMATE CHANGE (ISCS)-BEIJING.  
BY  
OGWANG BOB ALEX (UGANDA).**

The seminar was generally well organized with good facilities and outstanding facilitators who are professors from within China and abroad. The entire seminar was so educative and rich in knowledge. Below is a brief summary of some of the areas discussed.

**1) The drilling of snow and ice cores in Antarctica, Greenland and high altitude temperate areas (By Prof. Dr. Claude Boutron)**

The drilling of ice in the regions of Antarctica and the Greenland is of great importance since it offers opportunity for scientists to analyze the drilled ice and obtain a number of results, such as the ice age, pollution due to human activities, especially before and after industrial revolution. Examples of areas where drilling of ice is taking place include;

**-Antarctica (South Pole):** Dome A, Vostok, Dome C and Dome F (Dome Fuji).

**-Greenland (North Pole):** Summit. Other locations are; Alps, Colle gnifetti, Andes, etc.

Among the many analysis which have been carried out on the ice cores, heavy metal, such as Pb, Cd, Cu and Zn have been measured using ultra clean procedures in a succession of 26 snow samples integrating a 40 yr time sequence from 1940-1980, collected from the walls of a 6m deep pit at stake D 55 in Adelie Land, East Antarctica.

Results show insignificant increase in the concentration during the investigated time period, with a possible exception of Lead (Pb) for which there might have been a significant increase after the mid 1960's. The measured concentration is seen in the 1940's to be 6-fold higher than in the Antarctic Holocene ice, several thousand years old, showing that a large fraction of the anthropogenic increase for **Pb** probably occurred before the 1940's.

**Remark:** By virtue of the fact that **Pb** concentration is observed to have increased due to human activities in the Antarctic region, very far away from human settlement, it shows that the whole globe has been polluted with Lead, which is very dangerous to human life. There is a great need to reduce and if possible avoid the use of lead globally.

**2) International Climate Policy: From Rio to Cancun (By Prof. Dr. Ned Helm).**

**The topics discussed include:** Climate Policy context – UNFCCC, Kyoto Protocol, Bali Action Plan & the Copenhagen Accord, Developing countries' role in solving climate change, Sectoral approaches, NAMAs, Transportation NAMAs, and Conclusions

In general, I have learnt new things which were previously not clear to me in the international climate policy. Below is a brief elaboration on the areas discussed.

**Kyoto protocol** which was adopted in Kyoto in 1997, and entered into force on February 16, 2005, sets binding Annex I country targets for GHG reduction, leaves company targets & domestic policies to each country to decide.

-Overall Annex I countries must cut 5 % below 1990 by 2012. Targets cover 6 GHGs (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, HFCs, SF<sub>6</sub>, PFCs ) plus forestry and land use - treated as “basket of gases” where trading can occur across gases.

-Developing countries have no reduction targets, but can sell project-based GHG reductions through the Clean Development Mechanism (CDM) to Annex I (32 developed nations). I discovered that the **flexibility mechanisms** have created a carbon market that generated more than \$143 billion in 2009. Where the 2009 highlights show that: Overall market value increased, Volume of EU Allowance (EUA) transactions rose 18% to US\$118.5bn, Project-based CDM value decreased to 41% of its 2008 value.

**Bali Action Plan** (Dec 2007) on the other hand marked a new departure for the developing countries. It gives a verifiable “nationally appropriate mitigation actions” to reduce GHGs in return for financial support for capacity building, technology and mitigation actions in the context of **sustainable development**. The agreement by the developing countries to monitor, report, and verify their actions in return for financial contributions from developed country, to mention but a few.

**In the Copenhagen Accord**, Leaders of most of the major emitters signed a political agreement that covered the major issues. Among the many targets set and agreements made are the following;

-Short-term and longer term financing commitments were made by developed nations.

-Target for reductions were agreed to by virtually all the major emitting countries and an expanded transparency effort was outlined (MRV). The Accord included the following. Shared vision – long-term cooperative action to limit global temperature increases to 2 degrees Celsius; Adaptation – A1 support for DC adaptation actions; Mitigation – Targets for GHG reductions in 2020; DC NAMAs structure; Financing – \$30 bn in Fast Start; Finance by 2012, a commitment to \$100 bn a year in combined public and private funds by 2020; Forests – Incentives through REDD+ mechanism.

**Remark:** In my understanding, it’s of great benefit that almost all countries have acknowledged that the climate is changing and our globe is warning up mainly because of human activities. If all the countries follow the different agreements and strategies set in all the above international treaties, the earth will be a good place, not only for us but also our children and those who will come after our children.

**Other topics discussed include:**

3) Measurement techniques for Aerosols radiative properties, Haze and cloud interaction of Aerosols and water, and Aerosols and climate sensitivity (By Prof. Dr John Ogren),

4) Aerosol effect on climate and on clouds and Black Carbon (By Prof. Dr Steven Ghan).

5) Three Bridges: Europe – Asia connection, by teleconnection, long-term memory, and by synchronisation, and other topics (By Prof. Dr. Klaus Fraedrich).

6) Aerosols, Clouds and Radiation (By Prof. Dr. Teruyuki Nakajima).

It is important to note that some of the of the sub-topics discussed during the seminar are not included in this summary because of lack of space (**only 2 pages required**).

In general the seminar was a complete success, ranging from the high level of organization, good teaching methods, and good learning environment to good

Accommodation and feeding. I sincerely appreciate CMA and all the organizers for the sponsorship and for giving me the opportunity to learn.

**The Seventh International Seminar on  
Climate System and Climate Change (ISCS)  
Beijing Climate Center, Beijing, China  
19<sup>th</sup> – 30<sup>th</sup> July 2010**

Name : Mohammad Redzuan Bin Abdul Moin  
Occupation : Assistant Director (Meteorological Officer)  
From : Regional Forecast Office (Kuantan), Malaysian Meteorological  
Department, Malaysia

## **Introduction**

This Seventh ISCS had discusses several issues related to the climate change and the properties contained in the atmosphere since decade ago until now. The issues are complex and multi-faceted challenges to be solve such as international policies and public awareness reform, multi method and technique in collecting data and models and also less of ground station to validate the data from space monitoring. Moreover, the challenges faced may differ from technique to techniques, model to models and from region to region. The objectives of this good seminar that can be driven here are to focus and emphasis on young scientists to improve understanding and knowledge about the climate system and climate change and also the method, models and technologies that involves. It also becomes the best medium to share the knowledge and information between the senior and younger scientists.

## **Topics**

This seminar had been fuelled by the rich content of keynote addresses and presentations, participants focused their discussions to several topics during this two weeks seminar and all the topics are delivered by world expertise that involve in this issues. The topics and the lecturer are shown as below:

### **1. Snow and Ice Cores (by Prof. Dr. Claude Boutron)**

From four lecture sessions by Prof. Boutron, he had present and discusses about the methods and techniques that been use to investigate the past and present atmospheric cycle of heavy metals and other element using snow and ice cores over Antarctica, Greenland, South America, Europe, Africa and Himalayas. He also shared to the participants, the problems and difficulty using these techniques.

### **2. International Climate Policy (by Prof. Dr. Edward Alfred Helme)**

Meanwhile, Prof. Ned Helme had brought a good discussion about the political and policies manner that involve in this issue. In his presentation, he had mention that, there are several mechanism and policies can be use to reduce the pollution in the atmosphere such as UNFCCC, NAMAs, Kyoto Protocol, Bali Action Plan and Copenhagen Accord.

### **3. Climate, Chaos and Catastrophes (by Prof. Dr. Klaus Fraedrich)**

Prof. Dr. Klaus Fraedrich is contributing to give speech about the Climate, Chaos and Catastrophes. In his lectures, he has introduced to the participants about the time, space and models bridge that used to run a model. He also shares about the prediction 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> kind and seamless prediction, also he discussed on the butterfly effect and the using of Lorenz-Saltzman equation. He teaches that in order to solve

the error's problem in model is by using the error correlation technique and also he mentions about the effect of aerosol over Tibetan Plateau. Also he shown some of the technique and models use in predict the climate.

**4. Aerosol and Black Carbon (by Prof. Dr. Steven J. Ghan)**

As notes given by Prof. Steven, he mentions that aerosol particles influence climate by modifying the global energy balance through direct or indirect effects and also how the aerosol processes. He also share with the participants that by using the parameterised, most of the dependence on size, composition and updraft velocity can be explained. In his lecture, he also showed a few technique and 3 mode and 7 mode models to calculate the Atmospheric Aerosol Optical Depth (AAOD).

**5. Techniques For Measurement of Aerosol (by Prof. Dr. John A. Orgen)**

In Prof. Orgen's four lecture sessions conclude that Element Carbon is the dominant component of the atmospheric light-absorbing aerosol and it was produced by the incomplete combustion of carbonaceous fuel. EC is removed primarily by the precipitation and removal rate and optical absorption are influence by coating. Before he discusses the technique to measure the aerosol radiative properties, Prof. Orgen has introduce to the participants about the aerosol variable and it extensive radiative properties first, while the technique been use is by remote measurement. In his final lecture, he has discussed about the subsaturated and supersaturated in cloud and haze by using Kappa-Kohler equation.

**6. Aerosol Effect on The Earth's Climate Through Satellite Remote Sensing (by Prof. Dr. Teruyuki Nakajima)**

Prof. Nakajima has presented about the use of remote sensing in detecting the aerosol and cloud and also how to use the data to generate a climate models. Before learning the remote sensing technique, Prof. Nakajima also discuss about the basic concept of the radiative phenomena. He also mentions that direct radiative forcing result when radiation is scattered or absorbed by the aerosol itself. While indirect radiative forcing results when enhanced concentrations of aerosol particles modify cloud properties.

**Summary**

The young scientists are the need to ensure their continuity and progression in the improving and development of knowledge and skills about the methods, technologies and techniques in climate change and system. However, it is also essential that basic skills are revisited and practised in order to ensure a deep understanding, which will provide an excellent grounding for the more complex skills and knowledge. On the part of policy makers, they need to take into account the needs of the climate change and system together with their national needs. The development is not an offence, but development, which not planned well, will invite huge problems in the future. Scientists and policy makers need to sit down together and find a consensus on climate problems that occur and the appropriate methods that can reduce the impact, so that tomorrow's world will be a better place to live.

**-Thank You-**



**THE SEVENTH INTERNATIONAL SEMINAR ON CLIMATE SYSTEM  
AND CLIMATE CHANGE**

**REPORT SUBMITTED**

**BY:**

**TEKE SOLOMON RAMOTUBEI**

.....

**(THE KINGDOM OF LESOTHO)**

TEKE RAMOTUBEI

## **Acknowledgements**

I first would like to give my sincere gratitude to the organizers and sponsors of the seminar for giving me a chance to be part of this very important seminar. It is also worth noting the care that I have received, I can not forget the lecturers for all their time dedicated and patience that they showed to us and made sure that we get the basic principles as clear as possible, attending to our questions to clarify our confusions. Furthermore I want to also thank my friends for keeping me smiling at all times even when it was a little tough on some days.

## **My introduction and country**

I am Teke Ramotubei from Lesotho working for the government of Lesotho under the ministry of natural resources - department of meteorology (with Lesotho Meteorological Services as a meteorologist). Lesotho is a kingdom country situated at the highest part of the Drakensberg escarpment of the eastern rim of the southern African plateau, between approximately 1,400m and 3,482m above sea level and approximately between 28<sup>0</sup> S and 31<sup>0</sup> S latitudes with longitude 27<sup>0</sup> E and 30<sup>0</sup> E. Lesotho is largely a mountainous (two-thirds of the total land area) country surrounded entirely (land-locked) by Republic of South Africa. Currently I am a foreign student studying for master's degree in meteorology in Nanjing at the Nanjing University of Information Science and Technology (NUIST).

## **Summary of the seminar**

It is my first time to attend the International Seminar on Climate System and Climate Change which has been a very enlightening experience that helps build a strong theoretical background of my profession and further give a lot of ideas for my future research opportunities while at the same time increasing my confidence level in the field (meteorology). It has been obvious that there is still a lot of work to be done to fully understand the climate system (a very good and impressive improvement has been made since the 90's though).

The lectures started with the drilling of snow and ice cores which is helpful for the reconstruction of the past climate so that we can know where we are coming from in order to know where we are heading to. A series of such lectures were given by Professor Claude Boutron.

It is through the lectures of Professor Boutron that a number of techniques were discussed on how to drill the snow and ice together with what proper measures need to be taken into consideration so as to avoid contaminating and misinterpreting the results from the sample. The samples from ice cores and snow were further analysed for heavy metals concentration. The heavy metals concentrations are very low as such care needs to be taken upon drilling and cleaning the ice core for analysis of heavy metals. From his lectures, we are able to reconstruct the past climate and get the past climate data (proxy) which is very important for modeling the climate and future projections.

After we learned about the past climate and how it has been varying from the past hundreds of years, it becomes obvious that there seems to be something wrong within the system (some changes are observed) and we need to do something about it before it gets too late. This is the point where there is a need for an international climate policy or some international

cooperation/convention (international community) to deal with the adverse changes that are observed within the climate. At this point the expertise of Ned Helme came into play.

He gave detailed information on the already present conventions including the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Kyoto Protocol, Bali Action, and recently the Copenhagen Accord just to mention but a few, which are all intended to deal with the adverse impacts of climate change. How the international community can work together hand-in-hand to avoid catastrophic effects of climate change. It is through the very same series of lectures by Helme that we discussed some methods for carbon reduction and some mitigation methods where the Clean Development Mechanism (CDM) and the Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMA's) were cited as examples to handle the carbon reduction and mitigation methods by the international (Global) community.

At this point, it had reached a point where we are now ready to move into the future and the expertise of Professor Klaus came at the right time giving information about modeling. Now we understand the climate from the past and we have realized that its changing and the changing climate is harmful to our lives thus we need to avoid these changes and the only way to avoid them is to develop models that can be used to help us further understand the climate system and realize what measures need to be taken to avoid particular changes for the future.

The basic climate modeling principle was made clear by Professor Klaus where we saw mostly the long term memory, the extremes and the predictability because that is generally what climate is about, we need that long term memory which of course will be having some extremes and these need to be understood and modeled for the future climate prediction or projection. So as long as we understand these three and know what influences them and how, the future projection is a solved problem through modeling.

In the quest to understand the longterm memory, it became obvious that there are some particles within the atmosphere which need to be considered while dealing with the climate controls (specifically such particles that seem to play an important role in climate change) and these particles are generally known as the aerosol particles. The lectures by Professors John Ghan and John A. Ogren gave broad information on these aerosols. The lectures included what specifically we mean by aerosols, the measurements of aerosols concentration within the atmosphere, effects of aerosols on climate (aerosols climate forcing) and the interactions of aerosols and water which further goes into details of aerosols and clouds and ultimately precipitation.

Finally, the above aerosols also have an influence on the atmospheric radiation distribution since they scatter and absorb the radiation; it follows that their presence in the atmosphere will alter the natural energy budget. This was clarified by the lectures given by Professor Nakajima. He considered the role played by radiation in the climate system and how aerosols hinder or modify this natural role to give some complexity within the system.

This is a very brief summary of what I have been able to understand (as a general view) from this seminar. Every lecture was however fully detailed giving the necessary information and how to handle the situation at hand. A very impressive seminar indeed and I hope the future seminars can be like this one.

## **Summary**

**By : SURYANTI**

### **Meteorological, Climatological and Geophysics Agency**

Climate change is a change in the statistical distribution of weather over periods of time that range from decades to millions of years. It can be a change in the average weather or a change in the distribution of weather events around an average (for example, greater or fewer extreme weather events). Climate change may be limited to a specific region, or may occur across the whole earth.

Human activity is altering the composition of the atmosphere and pattern of global climate. One of them is aerosol. Aerosol activation is the process in which particles that are suspended in the atmosphere grow to form cloud droplets.

Aerosol particles influence climate by modifying both the global energy balance through absorption and scattering of radiation (direct effect), and the reflectance and persistence of clouds and the development and occurrence of precipitation (indirect effect).

Tropospheric aerosols contribute to global climate change by scattering and absorption of sunlight at visible wavelengths. The sign of this aerosol forcing depends on the amount of energy that returns to space (cooling effect) versus the amount of energy that is trapped in the lower atmosphere due to absorption (warming effect).

Light absorption by aerosol contributes to solar radiative forcing through absorption of solar radiation and heating of the absorbing aerosol layer. Beside the direct radiative effect, the heating can evaporate clouds and change the atmospheric dynamics. Aerosol light absorption in the atmosphere is dominated by black carbon (BC) with additional, significant contributions from the still poorly understood brown carbon and from mineral dust.

BC is operationally defined as carbonaceous material with a deep black appearance .

Brown carbon is a recent introduced name for a class of light absorbing carbonaceous material

Mineral dust aerosol may have the largest mass emissions rates, average column mass burden and average optical depth of all aerosol types.

Measurement of aerosol light absorption :

1. **Filter based techniques :**

Filter based techniques for the measurement of aerosol light absorption concentrate and deposit aerosol on particles filter

2. In situ techniques :

- **Photoacoustic techniques**

Photoacoustic spectroscopy is a widespread and practical tool for trace detection and characterization of all phase of matter, but especially useful, practical and robust for quantifying light absorption by gases and aerosol.

- **Refractive index-based techniques**

The interferometric measurement of refractive index change due to the absorption of pump laser beam used for the detection of aerosol absorption with CO<sub>2</sub> laser operating around 10 μm wavelength yielding a sensitivity limit of about 1 Mm<sup>-1</sup>.

- **Incandescence-based technique**

A technique for the characterization of strong aerosol light absorption by thermally refractory particles. It uses a high power density laser beam to heat light absorbing aerosol to very high temperatures where their thermal radiation or incandescence can be detected in the visible or near-visible spectral region.

- **Examination-minus-scattering techniques**

A direct method to obtain aerosol absorption coefficients is to measure aerosol extinction and scattering coefficients and to obtain absorption coefficients by subtracting the scattering coefficient from the extinction coefficient.

### **3. Remote sensing**

Climate change can be observed with a variety of symptoms that caused, one of them is by examining ice core. We can know about the past climate and can estimate the climate in the future by examine an ice core

An Ice cores is a core sample from the accumulation of snow and ice over many years that have recrystallized and have trapped air bubbles from previous time periods. The composition of these ice cores, especially the presence of hydrogen and oxygen isotopes, provides a picture of the climate at the time.

There are many kind of consensus or agreement that has been made to exceed about climate change. One of them is Bali Acton Plan.

In Desember 2007, Bali to host UN conference on Climate Change. At these conferences was born an consensus called **The Bali Action Plan (BAP)**. The Bali Action Plan of 2007 recognized the need serious developing-country participation in order to reach global emission-reduction goals while respecting The United Nations Framework Convention on Climate change (UNFCCC) principle of “common but differentiated responsibility”. The BAP called for Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) by developing countries. NAMAs are understood as actions proposed by developing countries that significantly reduce emissions below business-as-usual (BAU) level.

NAMAs should include actions that is :

1. Achieve significant emissions reductions, enhancement of sinks, and substantial deviations in GHG emissions from BAU projections.
2. Develop policy, regulatory or institutional frameworks to enable GHG reductions and enhancement of sinks.
3. Create an infrastructure and methodologies for data collection and reporting to facilitate monitored, reported and verified (MRV) of mitigation actions.
4. Construct sectoral and national visions and strategies for long-term transitions to low carbon economies ;and
5. Demonstrate new technologies or test new approaches.

# 7<sup>th</sup> International Seminar on Climate System and Climate Change

19 – 30 July 2010, Beijing, China

**Title**: Aerosols Effects on climate change

**TAPE LOROUGNON JEAN FERNAND**

Cote d'Ivoire Meteorological Department

南京信息工程大学

The earth's climate has changes many times during the planet's history, with events ranging from ice age to long period of warmth. The reasons of that change are many. There are some natural reasons (volcanic eruption, changes in the Earth's orbit...). But since the 18<sup>th</sup> century, human activities such as the Industrial Revolution have changed the composition of the atmosphere, so are influencing the Earth's climate.

That climate change is caused by many chemical elements; one of these chemical components is the aerosols.

What are aerosols and how can they affect the climate?

Aerosols are small particles suspended in air with a lifetime of at least minutes, are either emitted as primary aerosols (dust or particle emissions of diesel cars) or formed by the conversion of sulfur dioxide, nitrogen oxides, ammonia and organic compounds in atmospheric



chemical reactions to sulfates, nitrates and ammonium compounds, and non-volatile organics (secondary aerosol).

The aerosols have many processes such as:

- **emissions**
- **gas-phase chemistry**
- **aqueous chemistry**
- **condensation**
- **New particle formation**
- **coagulation**
- **water uptake**
- **activation**
- **Wet deposition**
- **Dry deposition**

the aerosols catalyze the destruction of stratospheric **ozone** by chloro-radicals

### **Direct Aerosol Effect**

Aerosol particles in the atmosphere reflect radiation differently depending on their size distribution. The sizes of the particles determine whether shorter-wave radiation is reflected more effectively compared to infrared. Two types of scattering, "Mie" and "Rayleigh" scattering are observed. Rayleigh scattering is scattering to all directions and is caused by all molecules and particles in the atmosphere. If the wavelength of the incoming light and the size of the particle are about the same, Mie scattering occurs and some of the light will be scattered back in the direction from which the light came (back scattering) (see Figure 3).

Mie scattering is much more intense than Rayleigh scattering. Incoming solar radiation (where most energy is present at wavelengths between 0.4 and 1 micrometer) is effectively scattered or reflected by particles in the size range of 0.1 to 2 micrometer. Particles of this size do not intercept the outgoing infrared radiation of the Earth. Particles much smaller than the wavelength of light have little influence. Very large particles (unless they are colored and absorb light) also have minimal impact. Beyond a critical angle, light will not be diffracted, but will rather be reflected. This phenomenon leads to strong back-reflection of light, especially if aerosols consist of liquid droplets of solution, as is often the case. If aerosols consist of soot or other light-absorbing materials, then light is directly absorbed which leads to heating.

### **Indirect Aerosol Effect**

**Cloud formation** is dependent on aerosols. If no aerosols are present, large super-saturation (relative humidity over 100%) can be observed without droplet formation. But small particles, in different concentrations, are present everywhere in the **atmosphere**. Cloud droplets condense on the aerosols. If few particles (less than 200 per  $\text{cm}^3$ ) are available as cloud condensation nuclei, large droplets are formed. If a large number of aerosols is present, smaller droplets are formed.

Clouds with large droplets reflect sunlight less effectively compared to clouds with small droplets. Clouds effectively reflect **solar radiation** and low clouds contribute particularly to a cooling effect. However, high, wispy cirrus clouds, that can have relatively large droplets, do not reflect solar light very effectively, but will almost completely reflect longwave infrared radiation.

The reduction of cloud droplet size with increasing number of aerosol particles is not linear. It is quite important at low particle numbers (under clean conditions, 100 particles per  $\text{cm}^3$ ) but increasing particle number over 1,000 particles per  $\text{cm}^3$  no longer has any effect.

Impact of Direct and Indirect Aerosol Effect

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) estimates the total impact of aerosols to be about 30% of the forcing function of greenhouse gases. This is expressed as changes in the balance of incoming and outgoing radiation in  $\text{watt}\cdot\text{m}^{-2}$  (watt per square meter).

According to the IPCC, the warming effect of all greenhouse gases together is  $2.5 \text{ watt}\cdot\text{m}^{-2}$ , while the cooling effect of aerosols would be  $0.7 \text{ watt}\cdot\text{m}^{-2}$ . New calculations and models indicate that the cooling effect could be quite a bit larger, on the order of  $1.5 \text{ watt}\cdot\text{m}^{-2}$ . Regionally, it could even be much larger than the warming effects of greenhouse gases, cooling up to  $5 \text{ watt}\cdot\text{m}^{-2}$ . So, some areas (the Netherlands and northern Italy for instance) have experienced cooling rather than warming during industrial development.

On the other hand, concentrations of black carbon (soot) in East Asia can be so high, that heating due to the absorption of incoming solar light can more than offset the cooling by reflection of solar light. The net result is that the atmosphere is heated.

These new insights have quite an impact on the predictions of climate change.

# 7<sup>th</sup> International Seminar on Climate System and Climate Change

## Introduction

There is much debate over the issue whether climate change is the main problem facing us at the moment. Different people hold different point of view due to their respective angles. Some might argue the Earth is becoming cooler which I think it's a selfish point of view and for sure not true. In my experience, I believe that climate change is right in front of our eyes and it's getting scarier by the day. There are many reasons why I have such a view, but here I want to show several most important reasons.

## Climate Change Impacts

First of all, no one can deny the fact that the earth is being impacted by human activity more and more, as the development of science and technology. Everyone knows that rising sea levels and the increase in greenhouse gases are the result of our actions. General speaking, we are disturbing the ecological balance everywhere, as can be clearly seen in decrease in fish stocks in the oceans.

The second reason which deserves some words here is that parts of the world which used to be cooler now experience intense, searing heat, temperatures soar above the average. Other areas suffer widespread flooding on a regular basis. Crops fail year after year in some of the poorest parts of the world. This has brought devastating famines to some regions. We call these natural disasters, but honestly it is human beings who are causing them.

In addition to mentioned above, I would say that sudden changing weather patterns and change in the ice core in Antarctica and

Greenland have without doubt explained why the climate change is the main issue these days.

A recent report showed that our Earth faces a number of serious problems, such as the environment pollution, the increasing population, the fatal effects of nuclear weapons, risks to public health and so on. So in one word, our planet is becoming a catastrophe because of the way humans have been treating it.

### **Solution for Climate Change**

I strongly believe It's about time we started using hybrid cars, develop alternative energy sources for homes, solar heating for instance, and build more offshore wind farms. However, I think the fact that the oil prices are kept ridiculously high is actually a good thing because this means less and less people are able to afford the oil and less and less people driving cars and using polluting jets and therefore it can be a blessing in the sky. But if the oil one day run out, then certainly renewable energy is our best way forward. More importantly, politicians should not be afraid of introducing green taxes and incentives to encourage eco-friendly design in architecture. Cut back on our carbon footprints and introducing schemes for offsetting in carbon emissions can make a real difference.

Last but not least, I think education should not be ignored at all because it's a key to solution. For me to take part in this International Seminar on Climate System and Climate Change has definitely helped me gain a better understanding of the whole idea. I honestly wouldn't know much of what I know now if I didn't take part. So, thus why I believe education is the most important thing.

### **Conclusion**

I think you may agree with my conclusion that you and me need to step up now and say "We cannot continue in this way!" We now have to have a long term discussion to address the balance of climate change and have a realistic conversation about where we going from here in order to make the Earth a better place to live.

*By: Vilho Shatyohamba Ndeunyema (Namibia)*

*Student at 南京信息工程大学 (NUIST)*

**NAME:** ZAHEER AHMAD BABAR  
**EVENT:** Seventh International Seminar on Climate Change and Climate System (ISCS)  
**INSTITUTION:** Pakistan Meteorological Department, presently studying at Nanjing University of Information Science and Technology.  
**VENUE:** CMA Conference Center, Beijing  
**DURATION:** 19<sup>th</sup> -30<sup>th</sup> July 2010

**Day One and Two:**

Lecturer: Dr. Claude Boutron

His talks included Drilling of ice snow and collecting of evidence from the snow which is buried there for ages along with the impact of anthropogenic activities like induction heavy metals and their impacts documented in snow and ice cores. The most important result obtained is the fact that how important is to obtain perfect isolation while analyzing the ice core samples for heavy metals. His talk opened new venues of thought and research for the new comers in the ice core analysis. And one of the most astonishing inferences is the evidence of early pollution of the atmosphere of the Northern Hemisphere for the lead and copper during Greek and Roman Times.

**Day Three and Four:**

Lecturer: Dr. Ned Helme

Lectures delivered by Dr. Ned Helme focused on the economic factors of the climate change. The concept of emission trade was elaborated along with the global prospects for climate policy in the various global markets was discussed.

**Day Four and Five:**

Lecturer: Dr. Klaus Fraedrich

A suite of Climate models along with the three bridges in space, time and models were introduced by him. Latter on detailed discussion was carried on how the three bridges are related and linked together. His talks were very intriguing giving a whole new idea about the bridging of climate models.

**Day Seven, Eight and Nine:**

Lecturer: Dr. Steven John Ghan

He is actively involved in climate modeling and gave a detailed review on clouds Aerosol Scattering and Absorption of Sunlight, Aerosol Effects on Cloud Microphysics. Some very interesting conclusions can be drawn from his discussions such as Droplet nucleation is understood quite well in the models while parameterizations also explains most of the dependence on size, composition, and updraft velocity. Most of uncertainty in indirect effects arises from the dependence of cloud microphysics on droplet number concentration. Also an aerosol effect on ice nucleation is much more complex. Steven Ghan also discussed the effects of Black Carbon on Climate. Which can be summarized as the short lifetime and strong radiative heating by black carbon suggests that reducing black carbon emissions can produce a rapid reduction in radiative heating of the earth.

Some anthropogenic emissions of black carbon come with emissions of co-emitted species that cool, thus limiting the effectiveness of some emissions reductions strategies. If all anthropogenic emissions of black carbon are eliminated the resulting cooling through reduction in direct solar absorption is 0.2 - 0.5 W m<sup>-2</sup>. Estimates of impacts of black carbon on clouds are very uncertain because of competing cooling and warming mechanisms, but are likely to be smaller than direct radiative heating. Effects on snow albedo and snow cover are locally larger than direct effects, with implications for water resources. Effects on precipitation might be large, but are very uncertain in most regions.

### **Day Eight and Nine:**

Lecturer: Dr. John A Ogren

He gave some wonderful talks about Atmospheric Cycle of Elemental Carbon, Measurement Techniques for Aerosol Climate-Forcing Properties, Aerosols and Climate Sensitivity, Haze and Clouds: Interactions of Aerosols and Water. Along with his technical and elaborate scientific discussion, he emphasized on two things which he thought were important in life one is to grab opportunities and the other is to make friends, according to him these two things can make a lot of difference in ones life. The essence of his talk was Elemental carbon is the dominant component of the atmospheric light-absorbing aerosol. It is produced by the incomplete combustion of carbonaceous fuels. It is removed primarily by precipitation. Its removal rate and optical absorption are influenced by coatings.

### **Day Ten and Eleven:**

Lecturer: Dr. Nakajima Teruyuki

He started with some basic ideas of remote sensing went through aerosol in climate system and then ended with Global warming and various feedback systems in the climate system.

### **Concluding Remarks:**

This was an amazing experience to be a part of such a wonderful interactive seminar. It has implanted new ideas and opened new avenues of research. This seminar has given a chance to take home a fresh zeal to materialize some of these ideas into solid scientific work. Organizers must be appreciated for organizing, such a great seminar.