

①

前言

1945年,冯·诺~~曼~~曼第一次发表了电子计算机的构造原理。紧接着,他便和普林斯顿高等研究院和麻省理工学院的同事,一起向美国军方提交了用电子计算机计算天气的提案。美国海军研究部马上批准了这个提案。那时,第二次世界大战的每个参战大国都在寻找新的战略武器,美国在1945年的8月6日和8月9日分别向日本广岛市和长崎市投了两颗原子弹。所以,美国军方在收到冯·诺~~曼~~曼提案的一个多月后即立项研究数值天气模拟和预报,军方想通过数值计算,对天气进行人工控制,从而使天气成为一种新的战略武器。

六十多年后的今天,计算机对人类生活的影响已远远超出当时人们的想象,当时^{他们}可能同样没有想到,人类活动无意识地改变和控制他们得于生存的^{天气和}气候环境。从1945到现在的这段时间,大气中二氧化碳的浓度,已在全球范围从315 ppmv单位增加到了395个单位。^{从而引起全球变暖}计算机发明家们当时试图通过用计算机来计算和控制天气的设想,今天正

在以一种被动的方式体现出来，即人类正在控制和影响气候，计算机成为计算以全球增温为之一的地球系统变化的重要手段。②

由于温室气体排放而引起的全球气候变化，是当今世界所面临的最大科学、社会和政治问题之一。地球系统内部多层圈多尺度的相互作用错综复杂，空间尺度和时间尺度从几厘米到全球尺度的大气行是波，时间从几秒到以年为单位的云微物理到几千年的海洋深海环流。对将来气候进行定量预测的唯一可行的科学方法是通过使用超级计算机进行数值模拟。

地球系统模式应运而生。这些模式需要刻划 (Earth system Models - ESM)

大气和海洋中的主要环境系统，需要计算陆地-海-大气-冰冻圈-生物圈内部以及它们之间的能量和物质交换通量，为此它们需要包括相关的物理、化学、地球生物物理和地球生物化学过程，以及人类活动对各种温室气体和气溶胶的排放，和对土地利用的改变。人们需要用这些模式，来回答全球变化将对环境系统和社会经济系统的方方面面产生什么样的影响，并最终通过模式计算，减缓和控制不利变化。

这是一个巨大的挑战。地球系统模式是否能^③
承担起这个使命，仍然不得而知，但是历史~~也证明~~
可以^{我们对}给未来科技发展不确定性和确定性提供
一些启示。~~钱学森~~在普林斯顿高等研究院的~~工作~~
~~从1946年到1950年~~ ~~冯·诺曼~~ ^{也就是美国海军立项的}

~~在1946年~~ 研究小组，研究~~了~~制出了第一个简单的~~数值~~天气预
报模式，成功地用500毫巴的高压场，计算了24
小时的天气预报。^{④注}他们用了当时最快的计算机，
但只能用19乘16个二维的网格，并且假设大气只
有均匀的一层。虽然他们的计算结果在当时没有
任何实用价值，~~他们的24小时~~是数值天气预报
的一个里程碑。他们的工作很快促成了美国军方
和国家天气局的一个联合研究机构，这个机构便是现在
美国国家环境预报中心 NCEP 的前身。今天，数值
天气预报已在全世界各个国家使用，天气预报质
量的~~提高~~新提高，给人类生活提供了益处，成为
人类文明的一个部分。冯·诺曼领导的这个小组，在
1955年，~~就是~~美国军方开始资助数值天气研究后的第
十年，~~也~~成功地建立了一个简单的大气环流模
式，~~也~~进行了一个月的时间积分，^{他们}在当时最先进的
计算机上，~~这个模式~~假设大气由两个均匀层
次，每个层次有16乘17个二维网格。这个工作在

当时也只是零碎的科学研究，~~但它奠定了~~^{它奠定了}流模式的基础。~~但~~^它~~它很快促成了~~^{它很快促成了}另一个新的研究机构的~~成立~~，这个机构便是现在~~在~~普林斯顿大学的美国国家海洋大气总署的地球流体力学实验室 GFDL 的前身。今天，~~世界~~世界各国的中长期天气预报和季节气候预测，都是从大气环流模式上发展出来的。在过去的二十年中，这些模式被各国政府用来评估过去和未来的气候变化。

地球系统模式现在~~还~~^{只是}在初始阶段，但社会对它们的期望已经非常迫切。~~世界~~^{各个国家}需要用它们的结果来~~参加~~世界减排谈判~~并设计~~^{设计}减缓政策和应对措施。~~由于全球~~^{由于全球}气候变化所导致的各个地方天气事件的变化，可能会渗透到人类生活的各个方面，~~由于~~^{由于}全球变化的不可逆性，国家之间以及~~每个~~^{每个}单独的国家都需要在来来几十年中作出政策上的选择。这些~~需求~~^{需求}对地球系统模式的科学内涵，~~决定了~~^{决定了}它们将是未来各个国家

需求和它们本身的^{必不可少的}科学和技术的重要方向~~和~~^和应用~~工具~~^{工具}。虽然科学向前发展的~~轨迹~~^{轨迹}有很大的不确定性，但历史告诉我们这条~~轨迹~~^{轨迹}上必然会有新的~~工具~~^{工具}。

基于这些考虑，清华大学地球系统科学中心在2010 5
年度组织了一次为期4天的地球系统模式研讨会，
并邀请了国内外有关专家，对模式的不同内容作了
专题讲座。本辑丛书翻译了海外专家在会上所
作的专题讲座 ~~的文章~~，我们也收录了12篇 ~~的~~
~~国内专家的~~ ^{其文作者的论文} 补充这些内容的 ~~文章~~。
讲座，因为都有中文文献，所以 ^{我们} 在这里没有收录。

本书中的文章由五个部份组成，第一部份是
地球系统模式的综述，我们选了三个模式向读者
介绍世界先进的模式在2012年的水平，^{并让读者了解} ~~这些模式~~
^{代表}
之间的相似性和区别性的 ~~补充说明~~。这三个模式
分别是美国国家大气研究中心 (NCAR) 和美国海
洋大气总署的地球流体动力实验室 (GFDL) ~~的~~
~~和日本的地球系统模式~~。第二部份 ~~的~~
讨论人类活动影响 ^对 气候的主要驱动因子的计
算结果 ~~和~~ 方法和结果，即人类对温室气体
和气溶胶的排放，~~它们~~ 包括对过去一百年
历史时期的讨论，^{特被作为} 政府间气候变化委员会
(IPCC) 用来 ~~第五次评估报告~~ 的未来一世纪的模拟

第三部份讨论人类活动改变气候的第二个驱动
力源——土地利用的讨论，它也包括^对过去和
未来几个世纪的估计~~法~~和结果。第四部份描
述地球系统模式的计算机软件框架和设
计。第五部份介绍了地球系统模式中的一些数
值计~~算~~方法和问题，其中包括多尺度的问题，
以及数值求解偏微分方程组时必然会遇到
^在的计~~算~~挑战，收敛性~~和~~稳定性，和效率并
行~~计~~能力。

~~书中收集的所有文章~~ ^{是-一部分的} 只^能作为
~~关于数值方案文章的例子~~ ^{大多数有} 1. 它^们讨论了数值方法中的普遍问题。
~~一部分的综述性文章，~~ ^{需要指出的是} 对地球系统模式
~~框总作框架的定义描述，~~ ^{模式} 模式^{（包括水文和生物地球）}
的许多细节，特别是物理参数化过程，^{需要指出} 需要^{指出} 通过
所列的参考文献才能更清楚地展现。~~本辑丛书~~
~~我们希望本辑丛书能为交叉学科的学生~~
学习地球系统模式~~的各个方面~~ ^{的各个方面} 提供帮助，

也为研究人员了解和跟踪有关领域的最新发展
提供方便，从而推进中国地球系统模式的研究。

⑦
我们向文章的作者、译者和校阅者表示感谢，我们也感谢清华大学和北京师范大学对2010年夏季讨论会的赞助。该讨论会促成了本辑的产生。我们对书中的可能错误和不足表示歉意，并欢迎读者^{加以}指出并给我们提供^供建议。

张明华
纽约州立大学石溪分校

宫鹏
加州大学伯克利分校

⑧

注：清华太史教授，也是本辑编者之一在美国纽约州立大学石溪分校的同事。杨振宁教授，当时也在普林斯顿高等研究院工作。杨振宁先生的前已故妻子，原国民党高级将领杜聿明的女儿杜致礼女士，当时便是冯·诺曼的这个数值天气预报研究小组的助理研究人员。

译校作者 译者、校者简介

宫鹏 (见另一页复印) (按姓氏拼音排序) 作者只列了
张强 (见另一页复印) 清华大学夏其昌讲习班的
讲授者)

张明华, 清华大学讲席教授, 纽约州立大
学石溪分校教授, 中国科学院大气物理
研究所兼职教授。研究兴趣为(大气环流模式,
~~地-云-辐射-对流-反馈~~相互作用和参数化, 大
气动力学, 地球系统模式。~~美国国家大气研究中心~~
~~地球系统模式工作组联合主席~~。

刘平 纽约州立大学石溪分校研究助理教
授, ~~研究兴趣~~ 主要研究方向为
气候系统模式。

林武银, 美国布鲁克海文国家实验室研究员。
~~研究领域~~ 为气候系统模式。

谢韵 纽约州立大学石溪分校博士研究生,
本科学和硕士分别毕业于浙江大学和
中国科学院大气物理研究所。

汤奇 纽约州立大学石溪分校海洋和大气
科学学院博士研究生。本科学和硕士
毕业于北京大学。

肖婷尹 纽约州立大学石溪分校海洋和
大气科学学院研究生。本科学和硕士分

②
别毕业于南京信息工程大学和中国科学院大
气物理研究所。

毕训强 中国科学院大气物理研究所
研究员，主要研究内~~容~~^容是地球系统模式。

林岩奎 清华大学地球系统科学
研究中心副教授，研究兴趣是云物理过
程的参数化和大气环流模式。

何卷雄，美国纽约州立大学石溪分校研究
员，主要研究方向是~~地~~局地天气和气候模
式及其在全球~~地~~气候系统模式中的
~~双向~~^{双向}耦合，地球系统模式的
耦合问题。

Mariana Vertenstein, 美国国家大气研究中心^{气候模式}
软件~~部主任~~工程室主任, 地球系统模式软件
工程工作组联合主席。~~毕~~本科和硕士毕业于麻
省理工学院, 博士毕业于哈佛大学。主要从事地
球系统模式的~~设计~~计算机软件设计、管理和开
发。

Larmagne Jean-Francois,
美国国家大气研究中心'大气化学部研究员, 地球系
统模式大气化学工作组联合主席。~~毕~~本科、
硕士和博士都毕业于比利时 Louvain 天主教大学。
主要从事~~大气温室气候和~~气溶胶的排放~~研究~~和
流层大气化学研究

Todd Ringler,
美国能源部洛斯阿拉莫斯国家实验室~~理论~~
部研究员, 博士毕业于~~美国康奈尔大学~~ 奈而
大学。主要从事地球流体的高性能~~的~~计算机研究。

Liang, Han-zhi

美国~~地~~普林斯顿大学~~地球~~地球流体力学实
验室地球系统模式软件工程师, 毕
业于北京大学。主要从事气候系统模式的软件
设计和开发。

Hurt, George 美国马里兰大学地理科学系教授④
授. 博士毕业于美国普林斯顿大学。主要从事生态
和土地利用、交通计划的研究。

Kimoto, Masahide ^{日本} 东京大学 ^{大气} 海洋研究所教授。
博士毕业于美国加州大学洛杉矶分校。主要从事
气候系统模式的开发和研究。