

美国能源部二氧化碳研究计划的综述

Michael R. Riches 和 Frederick A. Koomanoff

(美国能源部)

1. 引 论

近百年来,在大气中 CO_2 的浓度一直在增加[国家研究委员会(NRC), 1983]。虽然 CO_2 在动物呼吸和光合作用方面的作用自 18 世纪以来就已为人们所知了,但是直到 20 世纪, CO_2 在其它方面的作用才逐步引起重视。现时的科学分析指出:现在记录到的大气中 CO_2 浓度变化能够对气候和所有绿色植物的生长、演变及许多其它难于确定的自然过程和社会过程产生深远的影响。

美国能源部是协调政府在大气 CO_2 方面研究的一个领导机构,该研究由能源部的基础能源科学办公室中的 CO_2 研究处进行。该处的总目标是要确定针对大气中 CO_2 浓度变化政府可选择的对策,为达到这一目标,要求我们大大丰富 CO_2 与大气、生物圈、海洋以及冰雪圈的相互作用的知识。为了作出正确的决策,必须搜集准确的科学资料,必须研究必需的计算机模式,以便使 CO_2 研究计划能够:

1) 估算全球碳循环,从而预测未来大气中 CO_2 的浓度;

2) 估算 CO_2 引起的全球性和区域性气候变化;

3) 估价农作物、生态系统对较高浓度的 CO_2 的反应;

4) 评价由 CO_2 引起的气候、植被的变化对人类健康和社会福利的影响。

气候影响方面的研究依赖于碳循环的研究(该研究能够确定大气中 CO_2 的聚集),已经知道的 CO_2 聚集的直接影响有两方面:① 气候变化,② CO_2 增加而产生的直接“施肥作用”造成植被生长旺盛。按照计划,1985 年选请有关专家撰写出有关碳循环、气候模拟、最早检测、植被反应、间接影响的五份现状报告,报告的依据是能源部投资的一些研究项目的成果以及美国国内和国际上的有关研究成果。随后将综合这些报告和其它研究,于 1985 年年终发表一份成果声明,它将给出为消除疑点而必需进行的整个研究计划的综合系统的梗概。预期到九十年代初,可以获得改进的资料、模式和更确切的分析,以满足制定政策的需要。

2. 谈谈计划的三个方面

A. 碳循环 需要有关 CO_2 源和汇方面的新资料。简言之 CO_2 来自何处?吸收 CO_2 的是生物地球化学系统的哪些部分?历史上全球范围内生物化石燃料的使用以及排放的 CO_2 可以足够准确地被估算出来。然而,还需大大改善我们对吸收、排放 CO_2 过程(如海洋的吸收及生物圈的基本活动)的认识。

B. 植被的反应 大气中已增加的 CO_2 可能对植被以及农作物有潜在的益处。因为 CO_2 是植物生长所需要的基本成分。较高的 CO_2 浓度能够产生一种肥料效应,可促进生长和增加某些作物的产量并导致有更多的

CO₂ 贮存于森林中。正在对光合作用、植物生理、植物用水进行研究,以便为预报植物对大气中 CO₂ 浓度增加的反应提供一个基础。CO₂ 增加的潜在有利影响与假设的 CO₂ 引起的气候变化无关。

C. 间接影响 CO₂ 引起的气候变化和植被对 CO₂ 的反应将不可避免地会带来间接影响。间接影响研究计划的目标是要认识、分析、确定这些影响的范围,即气候和植被的反应变化能够对人类的健康和社会福利的影响。对间接影响作出定性的估价,需要充分有效的直接影响数据。有五个方面的间接影响被选入该研究计划,那就是:人类健康、农业、森林管理、水资源、渔业。研究将提出对资料的要求,以便在将来能够作出定量的评价。

3. 气候和最早检测

大气中现有的 CO₂ 浓度,与其它具有温室效应的气体(如水汽和臭氧)结合在一起,在维持现时的气候中起着重要的作用。如果没有 CO₂ 大量吸收地面红外辐射并将其中一些能量再辐射回地面的话,地面温度将大为变冷(尤其在极区),大气的水汽循环可能会变得很不活跃,极地冰盖将会更大。同时,平流层温度可能会增高数十度,从而可能导致大气动力学特征的改变,也可能导致 O₃ 浓度的减少。既然 CO₂ 在现时气候中起着重要作用,那么 CO₂ 浓度增加的效应就应该仔细研究。

根据我们已有的历史资料和重建的古气候资料,CO₂ 浓度翻一番时的气候状况将至少比十万年内,乃至近三百万年内的气候状况要暖。

这个量级的气候变化能够大大影响能源、农业、社会和经济。因而与这些预测有关的那些不确定因子必须研究、解决。一维和多维的全球气候模式(GCM)已经用来估计 CO₂ 浓度增加而可能有的气候影响。Schneider(1975)在他回顾了 1975 年前所做的工

作(主要是一维模式)之后得出,全球增温幅度为 1.5~3.0°C(在极地更会加大)。自 1975 年以来,多维的 GCM 被用来估计 CO₂ 浓度增加对气候的可能影响(例如 Manabe & Wetherald, 1975, 1980; Manabe & Stouffer, 1980),多维的 GCM 得出的增温范围和一维模式相当,只有 Mitchell(1983)和 Gates 等(1981)所得出的结论是个例外,后者采用了恒定的海面温度(也即假定海洋上层热容量是无限的)。至今还没有一种包括所有因子、也包括 CO₂ 浓度缓慢增加影响的模式投入运算。对各类模式结果的差别的原因及其评价研究已经取得了一些进展。今后人们将注意 CO₂ 浓度逐渐增加的随时间改变的情况,而不是仅考虑 CO₂ 瞬时地就增加到两倍或者四倍。

主要目标 气候变化的区域和季节特征、冰雪覆盖、海洋的反应以及何时何地气候变化的最早信号可以被检测到等方面,仍然存在不确定性。气候研究的目的是要减少这些不确定性。这些研究是由国家和国际研究机构汇总和协调的。

研究对象 为了确定气候对大气中 CO₂ 浓度增加的反应,研究工作将直接回答如下几个主要问题。

1) 在大气中 CO₂ 浓度的预期变化在温度、降水、蒸发、湿度和其它因子方面会引起什么样的因季节而不同的地区性和全球性气候变化?

2) 这种变化发生的快速程度如何?这些预测的变化在多大程度上依赖了气候的时变特征和 CO₂ 的增加率?

3) 在多大程度上这种预测变化依赖于和相互作用于其他气候事件和人类和自然的各种活动?

4) 在气候记录中证实了的前不久或当前的气候变化中多大部分可归因于 CO₂ 的影响?

第一个问题是要确定由大气中 CO₂ 浓度增加引起的准平衡*气候变化。由于大气、

海洋、冰和陆地的时间响应特征很不相同,实际出现的气候变化或许将推迟,甚至在特征上不同于准平衡的预测结果。第二个问题的提出是为了使研究评价和寻找气候变化迹象的工作,能够考虑响应随时间改变的性质,包括与浓度增加率的变化依赖关系。第三个问题的提出是针对 CO_2 浓度的预期变化仅仅是许多可能影响气候的因子中的一个这一事实,在建立可能的气候变化的极限估计值时,能源部的 CO_2 研究计划应该考虑(至少是间接地)其它影响可能有的气候效应,如火山排放的气体 and 微粒、氟氯化碳、其它燃烧排放物质和地面反射率的变化,从而得出 CO_2 引起的变化在全部气候效应中的正确关系。第四个问题是要探讨现有的气候资料库是否足以检测出预期的气候变化。

发展一个足以检测出 CO_2 引起的气候变化信号的资料库,将有助于对模式的检验以及提供 CO_2 浓度增加导致增暖的“过硬”资料(否则仅是理论上的估计)。

途径 为了致力于这四个关键问题,以加深对现时气候和过去气候变化的了解,一个包括三部分的研究计划正在执行。计划的三个部分是:

1) 气候模拟——发展、检验和应用气候系统模式以便估价 CO_2 浓度增加的气候效应。这项工作将对气候影响的最早检测提供指南,对社会、生态、经济影响提供估价。

2) 最早检测——评价、分析资料,以找出表明预期的 CO_2 引起的气候变化事实上正在出现的迹象,也许还要分析微量气体和气溶胶的变化趋势和太阳活动、太阳辐射的变化趋势。

3) 辅助性气候资料和分析——寻找能说明不同气候(特别是那些较现在暖和的)的历史记录和古气候记录,这些记录可以用在气候变化机制的研究和用于确定过去变化的幅度,以及建立可能的 CO_2 引起较暖(和增暖的)气候的相似性。

由能源部的研究得出的一个结论是:在

各模式间、模式与数据间存在明显的差别。一些模式显示了同样的全球平均温度变化,但是区域性的图象是完全不一样的。已经知道差异出现的一些原因,但还有一些不知道。模式的结果表现出与历史气候资料的不一致。NRC 报告(NRC,1983)详尽地阐述了这一点。

4. 计划的重点

改善对大气中 CO_2 浓度增加效应认识的进程在过去的十年中已经加快,本研究计划表明在未来的十年里可能取得重大进展。

1975 年以前,用以确定 CO_2 可能引起的气候变化的气候模式,有一维的热辐射对流、能量平衡的模式和二维的统计动力、能量平衡模式。但只能作出全球初步的纬向评估。1975 年,Manabe 和 Wetherald(1975)为研究气候对 CO_2 的敏感性采用了一个带有“沼泽”海洋和简略地形处理的三维大气环流模式。这样,就把评估的范围扩大到包括纬向和经向两个方向的变化。但是其焦点仍然集中在大尺度大气对 CO_2 浓度立刻改变的反应上。

Schneider(1975年)总结了到 1975 年为止,预测气候变化的技术发展水平(SOA), CO_2 浓度翻番后,估计全球表面气温增加的幅度为 $1.5 \sim 3^\circ\text{C}$ 。基于在既有的各种气候模式中,未包括某些大气和海洋过程或对过程作了高度参数化处理,认为此估计的复合误差因子为 ± 4 。

自 1979 年起,多维模式和越来越复杂的模式已被用于 CO_2 问题的研究。目前正在模式中考虑更真实的地形,与海洋深部相联系或不相联的上部混合层的改进的表达式,有日变化和季变化的太阳辐射。并采用各类云的参数化处理。国家研究评议会(NRC)在 1979 年指出:对 CO_2 浓度翻番的气候响

* 由于真实气候从来不会处于真正平衡,由于 CO_2 会持续变化,一个准平衡变化的估计对于对比和估价而言可能是适宜的。

应的现有水平的估计是全球平均增暖 3°C ,误差可能为 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 。1982年,NRC再次说明增暖数值为 3°C ,这一数字在1983年的NRC出版物《变化着的气候》中再次使用。1982年NRC报告提出,有50%的可能使真值处在模式得出的1.5到 4.5°C 范围之内。

在1981年,把各种大气GCM和海洋GCM耦合在一起,使得首次可以作出探索性的依时间而定的各类计算。 CO_2 浓度逐渐增加的影响研究方面的进展由于计算上的困难而放慢了。实际估算近期气候变化的努力需要对整个气候系统作完整的处理,包括海洋的热效应,其它痕量气体的变化趋势,以及为进行检验,要考虑象火山爆发和反常的太阳活动这类事件。这些计算需要大量的计算机时和分析设备。计算结果将依赖于采用的能量方案和包括在该方案中的象痕量气体等其它因素。在这些研究中,重点应放在发展新的分析手段上,这些分析手段能够从时变模式运算中所固有的气候波动里区分出由 CO_2 引起的反应。因为从这些试验中得出的全球平均温度的变化可能要小于 1°C ,所以有助于确定结果精度和分析的不确定性研究和敏感性研究工作还要在未来三年中进行。

其它的重要研究工作包括估价 CO_2 浓度增加导致气候响应的区域和季节变化。这方面的改进需要仔细处理海洋、地形、云和其它过程。

该研究所需的气候资料库是过去100年间的现代一般气象资料集。为了有助于了解气候会怎样变化,要扩展现代资料集,要通过代用气候记录上推数百万年。代用资料可用

于对气候的模拟,它可以增长对其它温暖时期气候特征的认识并且在扩展模式的检验研究中也是有用的。

为了能有机会改善区域性和季节性随时间变化的结果,需要扩大现有的资料集,特别是在以下两个关键方面:海洋的相互作用和云的相互作用。新的大气/海洋/冰雪圈观测计划,如大洋地形试验(TOPEX),厄尼诺南方涛动计划(ENSO),海冰边缘带试验(MIZEX),热带海洋全球大气计划(TOGA),和全球海洋环流试验(WOCE)等将有助于对这些相互作用的了解,并为一些模式在第一个关键方面的改善提供一些基本资料。国际卫星云气候学计划(ISCCP)有助于改善已有的资料集,用于云气候反馈的研究。

为了能明白无误地尽早检测出由 CO_2 引起的预计会出现的气候变化,正在确定一项监测和分析对策。正考虑采用多变量分析、特殊观测和改变正在进行的监测计划。各气候模式的结果将与全球、区域、季节性的观测值相比较,以判明这些变化是不是兆头,并帮助识别模式值与观测值之间的差别。

目前各项工作一致表明:如果 CO_2 浓度翻番的话,全球气候将增暖 $1.5\sim 4.5^{\circ}\text{C}$ 。对这一估计值将定期地反复检验。如果一个广泛的计划(包括模拟、资料分析和对早期检测的积极的努力)得以持续进行,那么在未来十年中可以期待得出气候变化的区域性和季节性详情的估计。

汤绪译自 BAMS, Vol. 66, No. 2, 1985

郝进校