

对二维气候能量平衡模式中辐射和 动力学参数化的一些看法

朱 迅

(美国华盛顿大学大气科学系)

全球性气候及其变化在很大程度上依赖于各种物理过程之间的相互反馈。Budyko 和 Sellers 首先分别提出了南北方向一维气候能量平衡模式来研究极冰-反照率的反馈对气候的影响^[1]。由于水汽和云层是决定对流层内短波和红外辐射收支的主要因子,而地面温度又直接影响水汽的含量,故各种辐射-对流方案也已被广泛地应用在垂直方向的一维气候模式中^[2]。陈英仪和巢纪平近几年来设计了同时含有南北和垂直方向变化的二维气候能量平衡模式,并进行了多方面的研究^[3-7],得出了与一维模式不同的一些新结果。然而,他们提出的模式,在形式上虽然是二维,实质上仅是一个没有考虑任何反馈过程的一维模式。此外,由于他们模式中所选取的一些重要参数大大地偏离大气实况,故所有文[3-7]中据此研究所得的结论都是不可信的。特别,陈英仪在最后的热力学与动力学耦合的模式^[7]中,不负责任地编造计算结果,我们认为该作者在这一模式的科学研究中的态度是不够严肃的。

首先,在他们的模式中,大气的光学厚度始终是一个十分矛盾的量。据定义(例如文[7]中的方程(16))

$$\xi_0 = \alpha'' \int_0^\infty \rho_c dz \quad (1)$$

在文[3]、[5]、[6]中,他们取 $\alpha'' = 0.25$ 厘米²/克, $\rho_c = 6 \times 10^{-6}$ 克/厘米³;在文[7]中,他们取 $\alpha'' = 0.25$ 厘米²/克及 $\rho_c = 10^{-6}$ 克/厘米³。然而,他们都能根据这些常值分布得出^[2] $\xi_0 = 0.4$ 。上定义公式在各篇论文的数学推导中不断重复,使我们推断这一计算谬误并非偶然。有一点必须指出,即实际大气中对流层中部(500hPa)的饱和水汽压约为 10^{-6} 克/厘米³ $\ll 6 \times 10^{-6}$ 克/厘米³。在文[7]中,陈英仪插入了“水汽的密度分布取 $1.5 \times 10^{-6} e^{-0.4z}$, 二氧化碳取 $10^{-6} e^{-0.1z}$ ”。但根据这些数据,我们并不能得出文[7]中的表1。由文[7]中的计算结果图2来看,有理由怀疑该文中的表1并非是实际计算的结果。此外要指出的两点是: 大气中二氧化碳的含量约为 330ppm,且气候模式中二氧化碳对太阳辐射的吸收是可忽略的。他们的基本模式是在 $\rho_c =$ 常数的前题下导出的。

大气的光学厚度 ξ_0 取为 0.4,意味着太阳辐射的 33% ($= 1 - e^{-\xi_0}$) 被地球大气所吸收。近代普通气象学的知识则表明实际大气对太阳辐射的吸收不超过 20%,约对应大气光学厚度 $\xi_0 = 0.2$ 。

1987年2月21日收到,4月27日收到再改稿。

为了说明陈英仪和巢纪平的模式是形式上的二维、实质上的一维,我们比较他们模式中各项的大小(文[3]中的方程(12)):

$$D \frac{\partial}{\partial x} (1 - x^2) \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial \xi} (k_r + k_r) \frac{\partial E}{\partial \xi} - N^2 E = -\hat{S}_{E0} Q + C, \quad (|x| \leq 1, |\xi| \leq 1) \quad (2)$$

根据他们所采用的数据,我们有(单位都是 $\text{cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{K}$): $D = 0.526$, $k_r = 0.205$, $k_r = 50.53$, $N^2 = 67.796$. 由此可见:水平涡动传输和垂直辐射扩散项要比垂直涡动传输小两个量级. 他们计算的温度南北分布实质上主要是由太阳辐射的南北分布决定的. 这也是陈英仪在参数敏感性分析^[3]中发现模式对 K 和 α_r (即 D 和 k_r) 一点也不敏感的原因.

大气能量在南北方向的动力学输送应该是起作用的. 陈英仪和巢纪平的模式与实际不符是由于他们不合适地照搬了郭晓岚^[5]的大气辐射参数化方案. 在郭晓岚的方案中要求 $\alpha_{\rho_c} = \text{常数}$ 及 $\alpha_w^2 \rho_c^2 \ll \frac{\partial^2}{\partial z^2} \ll \alpha_r^2 \rho_c^2$. 郭晓岚把他的方案应用于几百米厚的大气边界层时是合适的. 但这方案不能直接地照搬到整个大气层的气候模式中. 实际大气中水汽密度随高度是迅速递减的. 再例如,在文[3]、[5]和[6]中,由 $\alpha_w = 1.25 \text{cm}^2/\text{g}$, $\alpha_r = 100 \text{cm}^2/\text{g}$ 及 $\rho_c = 6 \times 10^{-6} \text{g/cm}^3$ 可得:

$$(7.5 \times 10^{-6} \text{cm}^{-1})^2 = \alpha_w^2 \rho_c^2 \ll \alpha_r^2 \rho_c^2 = (600 \times 10^{-6} \text{cm}^{-1})^2$$

它们对应的标高约为 20 米到 1 公里. 但是,由他们给出的数据(见文[3]的(9)式及(15)式)我们可得:

$$\frac{1}{Q} \frac{\partial^2 Q}{\partial z^2} = (\alpha'' \rho_c)^2 = (1.5 \times 10^{-6} \text{cm}^{-1})^2$$

它对应的标高为 7 公里,并不满足上述同时大于 20 米和小于 1 公里的条件. 这意味着,他们在推导基本模式时(如文[3]中的(9)式)舍掉了一些重要的大项. 我们认为郭晓岚的模式是用于计算给定辐射平衡温度条件下局地温度偏差的加热问题,即考虑的是扰动温度向平衡参照温度的适应. 而在气候模式中所要求的正是全局平衡温度,对长波辐射的计算不宜按牛顿冷却直接参数化.

根据陈英仪和巢纪平模式中各项量级的比较,我们所说实质上的一维自然是指垂直方向上的一维. 然而在陈英仪的所有论文中,只有文[7]中才给出了温度在垂直方向的分布. 但事实上该分布的可信与否很大程度上取决于文[7]中的表 1. 但是,根据文[7]中的数据我们无法计算出表 1 来.

中高纬度大气能量的南北输送主要是由大型涡动来完成的. 陈英仪在文[7]中试图用平均径圈环流来模拟这种输送显然是不合适的. 她的第一运动方程与近代动力气象学的分析不符. 实际大气在对流层和平流层中湍流对动量的水平交换与垂直交换相比是不可略的. 她提出的动力学下边界条件也前后矛盾. 事实上,由 $\partial u / \partial z = 0$ 及她的热成风关系即可推出矛盾结果:

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = 0, \quad (\text{当 } z = 0 \text{ 时})$$

她的热成风方程(10)实际上少了一个负号. 这一错误使得她下面的一系列方程(11)–(14)、(17)都有符号之错. 最后对方程(17)的类型分析和计算自然也必须重新考虑.

以上对文[7]的动力学分析说明该模式的动力学部分存在严重错误。以此模式进行计算一般说来不能获得该文作者的预期结果。例如,该文中的图3就可以肯定是编造的。理由如下:由文[7]中的方程(12)可推知(姑且不论该式的符号正确与否)经向速度与温度递减率随纬度的变化成正比。又由文[7]中图 π 的 b 、 c 看出10公里以下的温度递减率在 30°N 和 60°N 为常数,由此可推断出 45°N 附近的经向风在10公里以下是同一方向的,而文[7]的图3则显示3公里处有风向逆转。图4与图1的矛盾更是显而易见,尽管高纬低空的弱东风带与实际大气相符,但它并不能根据陈英仪的模式计算出来。

综上所述,陈英仪和巢纪平所提出的模式事实上并不能正确地反映真实大气的主要过程。有意义的气候模式至少应包含一个起重要反馈作用的物理过程,且用于气候敏感性分析的模式也不应含有过多的不确定参数。

由于大气运动本质上是有摩擦和非绝热的,因此描写大气运动的方程组具有初始场作用衰减的特征^[9]。也就是说,对于长期和气候时间尺度的动力学研究,正确描写摩擦和非绝热过程是更重要的^[9]。上面的分析就说明陈英仪和巢纪平的模式与实际不符主要是不合适地照搬了郭晓岚的辐射参数化方案。该方案在其他一些模式中也已被广泛使用(如文[10—13])。但由于在那些模式中考虑的是扰动(或距平)温度,并且在实际计算中所用的有关重要参数也不是照搬郭晓岚方案计算而得。这篇文章中对气候模式的一些看法当然也不能照搬到那些模式中去。然而,若从建立模式过程应注意内在逻辑统一性^[14]和使用模式过程中尽可能发挥潜在的实用性^[13]来说,在对初始模式动力学研究不断深入的同时不妨也可作些辐射参数化改进的尝试,至少是概念上的改进。

参 考 文 献

- [1] North, G. R., R. F. Cahalan and J. A. Coakley, Jr, 1981, Energy balance models, *Rev. Geophys. Space physics*, Vol. 19, p. 91—121.
- [2] Ramanathan, V. and J. A. Coakley, Jr, 1978, Climate modeling through radiative-convective models, *Rev. Geophys. Space Physics*, Vol. 16, p. 465—489.
- [3]* 巢纪平、陈英仪, 1980 The effects of ice caps-albedo feedback on the global climate in two-dimensional energy balance model, *Scientia Sinica*, Vol. 23, p. 319—330.
- [4] 陈英仪, 1982, 二维能量平衡中极冰对气候的影响——解的稳定性分析(一), *气象学报*, Vol. 40, p. 1—12.
- [5] 陈英仪, 1982, 二维能量平衡中极冰对气候的影响——参数敏感性分析(二), *气象学报*, Vol. 40, p. 175—184.
- [6] 陈英仪, 1983, 具有海-气耦合系统的能量平衡气候模式, *高原气象*, Vol. 2, p. 17—25.
- [7] 陈英仪, 1984, 具有热力-动力耦合的二维能量平衡气候模式, *大气科学*, Vol. 8, p. 75—82.
- [8] 郭晓岚, 1973, On a simplified radiative-convective heat transfer equation, *Pure and Applied Geophys.*, Vol. 109 p. 1870—1876.
- [9] 丑纪范, 1983, 初始场作用的衰减与算子的特性, *气象学报*, Vol. 41, p. 385—392.
- [10]** 长期数值天气预报研究小组, 1977, On the Physical basis of a model of long-range numerical weather forecasting, *Scientia Sinica* Vol. 20, p. 377—390.
- [11] 邢如楠、巢纪平, 1981, 热带大气垂直环流圈对海温场响应的数值试验, *气象学报*, Vol. 39 p. 277—286.
- [12] 季劲钧、巢纪平, 1982, 热带大气垂直环流对海表温度异常的影响——一个初步的理论分析, *气象学报*, Vol. 40, p. 185—197.
- [13] 巢纪平、王晓晔、陈英仪、王立治, 1986, 海-气耦合距平滤波模式的月、季数值预报, *气象学报*, Vol. 44 p. 417—425.
- [14] 曾庆存, 1979, 数值天气预报的数学物理基础, 第一卷, 科学出版社。

* 文献[3]同时也被收入《海洋文集》1980年第一期,其中文原稿登在《中国科学》1979年第12期上。

** 以文献[10]为基础的一系列研究论文可参见文献[13]后所列的参考文献。