

辐射模式对红外冷却率计算的影响

石广玉 曲燕妮

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文以一种精度可与逐线积分相比拟的新的红外透过率模式为基准,系统地研究了不同辐射模式以及不同光谱资料对大气红外冷却率计算的影响。结果发现:光谱资料的不同对大气平流层红外冷却率的影响大于对对流层和地面的影响。同时,我们还发现:比辐射率模式在 CO_2 和 O_3 长波冷却率的计算中带来较大的误差;使用 CG 近似的各种带模式方法都程度不同地带来误差;当用压力换算因子来处理大气非均匀路径时,不但应当对不同气体采用不同的 n 值,而且在不同的高度范围,同一气体的 n 值亦应不同。最后,我们表明了当用透过率相乘定律来处理重迭吸收带时,只有那些宽度小于 15 cm^{-1} 的窄带模式才能得到比较满意的结果。

一、引 言

计算大气热辐射所产生的红外冷却率对现代大气环流和气候模式研究都是十分重要的,许多作者正在从事这方面的研究。但是,要精确地实行这种计算却并非易事。主要困难在于如何精确地对复杂的、有时是重迭的、随高度而明显地改变其特性的吸收带进行频率或波数积分。近年来,由于电子计算机的进步以及更为精确的光谱资料可利用,从原则上来说,已有可能用所谓逐线积分法处理上述问题。然而,大气气体的转动或振-转谱带通常都包含有成百上千甚至上万条谱线,精确地实行逐线积分对实际应用来说显得过于耗费时间。因此,通常在红外冷却率的计算、特别是其中的辐射模式都使用许多简化或近似。问题在于:必须弄清这些简化或近似究竟引入多大的误差。它们在什么范围内是成立的,以便在计算精度和时间上取得满意的平衡。

Stone 和 Manabe(1968)^[1] 就若干辐射模式对红外冷却率的影响作过比较,其中包括 (R-W) 模式、(M-S) 模式、(Plass) CO_2 模式、(Plass) O_3 模式、(H-H) O_3 模式以及 (K) 模式。应当指出的是,在他们的比较中,各种模式之间所用的原始光谱数据不尽相同,对诸如波数积分,非均匀路径等若干基本问题的处理方法也不尽相同,最后结果是否一致很难说明辐射计算方法的不同对冷却率计算的影响。显然,在某种意义上来说,这种比较意义不大,因为它把原始光谱资料的影响和辐射模式的影响混杂起来了。最近,Kiehl 和 Ramanathan(1983)^[2] 用同一光谱资料比较了窄带模式 (Goody 模式和 Malkmus 模式)和

宽带模式对 $15\ \mu\text{m}$ CO_2 带吸收率的影响。他们发现, 如果将 Goody 或 Malkmus 模式应用于大于 $10\ \text{cm}^{-1}$ 的光谱区间, 可能产生严重的误差。因此, 那些使用较大光谱区间的 Goody 或 Malkmus 类型模式的气候模式, 在 CO_2 通量和加热率计算方面可能产生 10% 以上的误差。

Shi (1981)^[3] 提出了一种新的红外透过率模式, 它可以精确地处理频率积分、非均匀大气路径以及不同气体吸收带重迭等问题。这种模式应用于大气红外冷却率计算时其精度可以与精确的逐线积分相媲美, 但计算时间却节省得多 (Shi (1984a)^[4])。本文以这种“精确”的辐射模式为基准, 使用同一光谱资料, 详细考查各种不同的辐射模式对大气的红外活性气体 H_2O , CO_2 和 O_3 的主要红外吸收带冷却率计算的影响。与此同时, 我们还试验了不同光谱资料可能产生的误差。限于篇幅同时也为了与过去其他作者的比较取得一致, 本文部分模式的比较限于压力加宽的洛伦兹线型范围内, 关于这些模式的 Doppler 加宽和 Lorentz-Doppler 混合加宽的问题将另文讨论。另外, 为了考察在计算时间基本相同的情况下带模式方法究竟会引入多大误差, 故将窄带模式的光谱间隔取为 $7\sim 20\ \text{cm}^{-1}$, 而没有更进一步地减小。

二、各种辐射模式的描述

在本文的红外冷却率计算中, 比较了以下四类辐射模式。

1. 模式 1 (精确模式): 该模式是由 Shi (1981, 1984a 和 1984b)^[3-5] 提出的。它根据冷却率计算中辐射过程的独立性, 将吸收系数进行重排, 用透过率函数的指数和拟合解决有关频率积分的问题; 利用不同压力和温度下吸收系数分布 (K -分布) 之间的相关性精确处理大气非均匀路径, 避免使用 CG 近似。此外, 对漫射辐射、吸收带重迭等, 亦采用精确的处理方法, 详见文献 [3—5]。这种模式将作为本文各种比较计算的基准。

2. 模式 2 (比辐射率模式): 二种形式的比辐射率定义如下^[6]:

$$\begin{cases} \varepsilon(z, z') = \sum_i A_i(z, z') dB_i(z') / dB(z) \\ \rho(z, z') = \sum_i A_i(z, z') B_i(z') / B(z) \end{cases} \quad (1)$$

其中, 下标 i 表示不同的光谱子区间, z 是大气高度, $B(z)$ 是 z 处的普朗克函数, A_i 是平均吸收率。本文由平均透过率函数 T_i 采用公式 $A_i = 1 - T_i$ 求得 A_i 。根据求 T_i 的不同方法, 我们把模式 2 又分为以下两种。

模式 2-1: T_i 由模式 1 精确求得。

模式 2-2: 采用 CG 近似及 1.66 漫射因子近似由模式 1 的透过率函数的指数和拟合方法求得 T_i 。

3. 模式 3 (带模式): 我们采用 Goody 随机带模式及 Malkmus 随机带模式, 其透过率函数分别表示为^[7]:

$$T_G(\Delta\nu) = \exp \left[-\frac{\bar{s}u}{\delta} \left(1 + \frac{\bar{s}u}{n\delta} \right)^{-1} \right] \quad (2-1)$$

和

$$T_M(\Delta\nu) = \exp \left\{ -\frac{(\bar{s}/\delta)_{\Delta\nu}}{2(\bar{s}/\pi\alpha)_{\Delta\nu}} [(1 + 4u(\bar{s}/\pi\alpha)_{\Delta\nu})^{1/2} - 1] \right\} \quad (2-2)$$

其中 u 是吸收物质量, $\bar{s}/\delta$ 及 $\bar{s}/\pi\alpha$ 是二个带模式参数,既可由实验资料求得,亦可根据下面的公式经理论计算而得:

$$\bar{s}/\delta = \sum_i s_i/\Delta\nu; \quad \bar{s}\pi\alpha/\delta^2 = (2\sum\sqrt{s_i\alpha_i}/\Delta\nu)^2 \quad (3)$$

其中 s_i 、 α_i 分别为 $\Delta\nu$ 区间中第 i 条光谱线的强度和半宽度, δ 是平均线间距。本文所用的带模式参数数值如表 1 所示,系由 AFGL 大气吸收线参数汇编 (1980 年版)^[7] 直接计算而得。

为了更进一步研究窄带模式与宽带模式的不同,本文把模式 3 又细分为以下四种:

模式 3-1-1 (Goody 宽带模式): 将表 1 中三种气体的有关光谱区间各作为一个光谱区间处理。

模式 3-1-2 (Goody 窄带模式): 把上述有关光谱区间平均等分为 9 个光谱子区间进行计算,各子区间的带模式参数亦列在表 1 中。

表 1 带模式参数
($\times 10^{-12}$)

模式 类型 带 参 数 气体 种类		宽带	窄 带								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
H ₂ O (220~280cm ⁻¹)	s/δ	1653.0	2083.0	3213.0	2,536	687.4	1827.0	4299.0	303.0	53.64	2409.0
	$s\pi\alpha/\delta^2$	144.9	386.7	334.6	0.1879	122.8	168.3	472.1	24.69	6.356	278.4
CO ₂ (610~730cm ⁻¹)	s/δ	753.1	63.56	78.41	514.1	849.6	3745.0	990.0	401.3	55.84	79.50
	$s\pi\alpha/\delta^2$	611.2	107.0	110.6	739.0	907.8	6823.0	722.8	283.6	39.78	105.5
O ₃ (940~1110cm ⁻¹)	s/δ	800.8	0.1898	10.67	137.5	837.9	2055.0	2108.0	1984.0	42.76	30.90
	$s\pi\alpha/\delta^2$	5919.0	0.1906	118.8	2547.0	12130.0	29570.0	30720.0	18880.0	448.6	216.2

模式 3-2-1 (Malkmus 宽带模式);

模式 3-2-2 (Malkmus 窄带模式)。

宽、窄带的意义与 Goody 模式相同。

在上述四种带模式中,对漫射辐射均采用 1.66 漫射率因子近似,但对非均匀路径的处理分别采用 CG 近似及压力换算因子近似。

4. 模式 4 (重迭带模式): 对 15 μm 带区 (530~810 cm⁻¹) CO₂ 吸收带与 H₂O 吸收带的重迭采用以下三种模式。

模式 4-1 (精确重迭带模式), 详见文献 [5]。

模式 4-2 (宽带透过率相乘重迭带模式);

模式 4-3 (窄带透过率相乘重迭带模式)。

宽带光谱区间的划分与模式 1 相同, 而窄带光谱间隔是把模式 1 中的每一光谱区间又划分为 9 个子区间。

三、结果与讨论

在本文的比较计算中采用 McClatchey (1972) 的热带模式大气^[8], 而光谱资料则取自 Shi (1981)^[9]。文中模式 4 所考虑的光谱区间为整个长波区域 ($0 \sim 2100 \text{ cm}^{-1}$), 在 ($530 \sim 810 \text{ cm}^{-1}$) 区间内考虑了 CO_2 和 H_2O 吸收带的重迭。除特别说明外, 计算截止高度为 60 公里。

1. 原始光谱资料不同对冷却率计算的影响

为了考查原始光谱资料的不同给长波冷却率所带来的影响, 我们对 H_2O 的红外全区间 ($0 \sim 2100 \text{ cm}^{-1}$), CO_2 的 $15 \mu\text{m}$ 带 ($530 \sim 810 \text{ cm}^{-1}$) 和 O_3 的 $9.6 \mu\text{m}$ 带 ($940 \sim 1200 \text{ cm}^{-1}$) 进行了数值试验, 结果见图 1。图中所表示的是当原始吸收系数 k_0 乘以不同的倍率因子 r (相当于带强增大或减少 r 倍) 时所得到的冷却率。从图看出, 在我们试验的数值范围内, 吸收系数的增大或减小, 一般对对流层低层的长波冷却率影响不大, 当 k_0 变化 r 倍时, 冷却率仅变化 $0.08(1-r)$ 倍左右。但平流层的长波冷却率却相应地明显增大或减小。例如, 当光谱资料相差 20% 时, 在 28 公里以上的平流层中、上部, 最大冷却率处的相

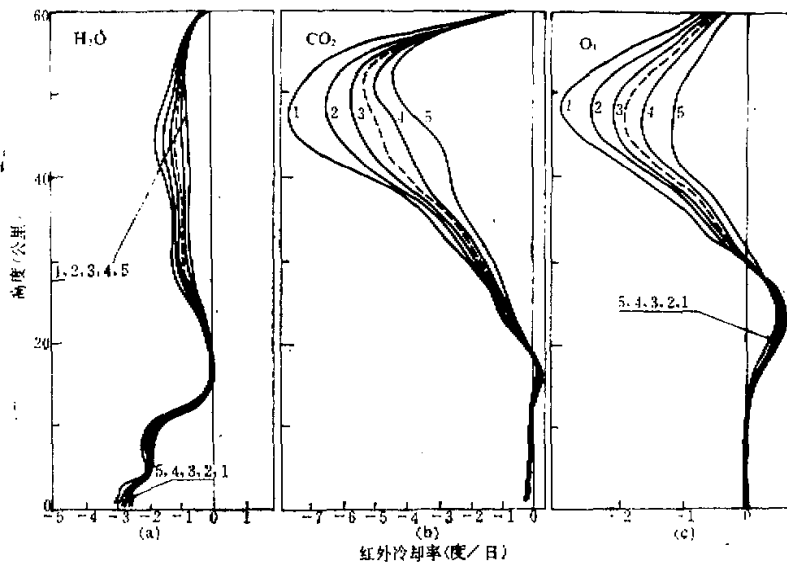


图 1 光谱资料的不同对冷却率计算的影响

(a) H_2O (b) CO_2 (c) O_3

虚线及曲线 1, 2, 3, 4, 5 分别表示当倍率因子 $r = 1.0, 2.0, 1.5, 1.2, 0.8, 0.5$ 时计算出的冷却率。

对偏差为 13% 左右, 而当 k_0 减小一半时, 偏差为 37%。根据我们的数值结果, 当吸收系数 k_0 变化 r ($0.5 \sim 2$) 倍时, 平流层的最大冷却率变化 $0.5(r-1) \sim 0.7(r-1)$ 倍左右, 因此, 光谱资料的不同, 对大气中、上层的冷却率有明显的影响。本文以下的讨论是在光谱资料完全相同的情况下进行的。

2. 模式 2 与模式 1 的比较

为了考查比辐射率法对冷却率计算的影响, 我们以 H_2O 的 $220 \sim 280 \text{ cm}^{-1}$, CO_2 的 $610 \sim 730 \text{ cm}^{-1}$ 及 O_3 的 $940 \sim 1110 \text{ cm}^{-1}$ 光谱区间为例进行了计算, 结果见图 2 (a), (b), (c)。

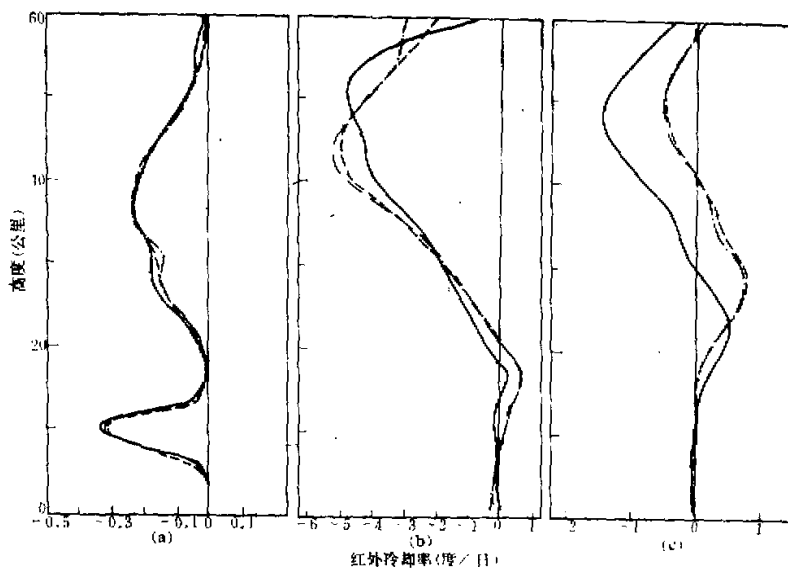


图 2 比辐射率模式与精确模式的比较

(a), (b), (c) 与图 1 相同。实线, 虚线, 点划线分别表示模式 1, 模式 2-1 及模式 2-2 计算的冷却率。

从图 2 (a) 中可以看到: 对于 H_2O , 比辐射率法所带来的误差并不十分严重, 最大冷却率处的误差为 0.02 K/日 , 大约为 6%。但应当强调指出, 这仅仅是水汽红外光谱的一小部分, 对于整个红外区域, 误差可能增大。对 CO_2 及 O_3 而言, 实质是灰体近似的比辐射率法所带来的误差较大。其最大绝对误差都接近于 1 K/日 , 特别是 O_3 , 最大冷却率处的相对误差可高达 65% 左右; 另外, 从 24 公里开始, 冷却率曲线明显地向右偏移, 最大可偏移 1 K/日 左右, 致使加热效应出现的范围增大, 从 18 公里一直扩展到 42 公里, 最大加热率由 0.5 K/日 增大到 0.85 K/日 , 其出现高度也从 23 公里变成 29 公里。

另外, 从图中还可看出比辐射率的两种计算方法即模式 2-1 和模式 2-2 的比较。比辐射率方法本身所带来的误差远大于 1.66 近似及 CG 近似所带来的误差, 这两种模式本身之间的偏差一般小于 0.03 K/日 , 只有 CO_2 在 54 公里以上, 模式 2-1 与模式 2-2 的偏

差才能明显看出。

3. 模式 3 与模式 1 的比较

图 3 给出了用 Malkmus 带模式计算的冷却率, 光谱区间同模式 2。其中我们分别使用了宽带模式及窄带模式。有关非均匀路径的处理使用了 CG 近似及通常所用的压力换算因子近似。关于压力换算因子的效应, 将在下文进一步讨论。考虑到在带模式方程 (2-1) 和 (2-2) 中使用了 Lorentz 线型的假定, 故计算截止高度取为 30 公里。

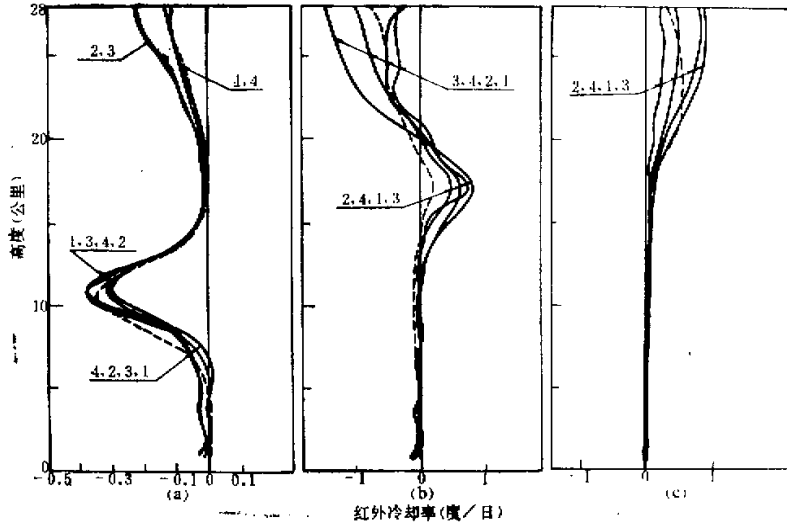


图 3 Malkmus 带模式与精确模式的比较

(a) H_2O (b) CO_2 (c) O_3 (见正文)

H_2O : $\pi = 0.7$; CO_2 : $\pi = 0.5$; O_3 : $\pi = 0.4$

图中曲线 (a), (b), (c) 分别是用 Malkmus 带模式计算的 H_2O , CO_2 及 O_3 的冷却率。(a), (b), (c) 中各分别含有五条曲线。其中虚线是由模式 1 计算而得的‘精确’的冷却率; 曲线 1 和 2 分别是用宽带模式 3-2-1 和窄带模式 3-2-2, 采用压力换算因子处理非均匀路径得到的结果, 而曲线 3 和 4 则分别是用 CG 近似的有关结果。从图 3 (a) 中可以看到: 对于 H_2O , 在 12 公里以下的对流层, 所有的带模式都有明显的误差, 但 12 公里 ~ 21 公里之间, 各种方法的结果吻合较好。图 3 (b) 是 CO_2 的有关结果。用各种带模式方法计算的冷却率曲线形状虽与模式 1 相似, 即同在 17 公里处有最大的加热率, 但从 5 公里至 19 公里, 所有带模式法的冷却率曲线明显地向右偏移, 给出了过大的加热率和过小的冷却率, 使用 CG 近似的宽带 Malkmus 模式 (曲线 4) 的最大加热率误差可达 0.6 K/日。

值得指出, 在 23 公里以上, 压力换算因子法 (包括宽、窄带) 得到的冷却率值均小于模式 1 的计算值, 而 CG 近似法 (包括宽、窄带) 均大于模式 1 的值。

图 3 (c) 所示是对 O_3 9.6 μm 带的比较结果。由于 O_3 在对流层中含量甚微, 因此, 16

公里以下的冷却率几乎接近于零。在平流层下部, O_3 对大气有一种加热效应, 各种带模式法得到的加热率无论从曲线的形状还是数值大小上均与模式 1 有较大的差异。

至于 Goody 带模式的有关结果, 大致结论与 Malkmus 带模式相同, 但附加说明以下几点(见图 4)。

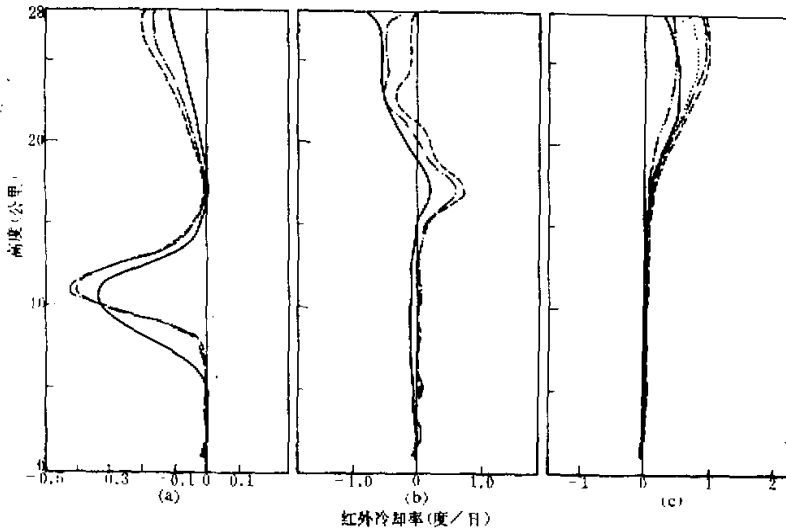


图 4 Goody 带模式与 Malkmus 带模式的比较

(a) H_2O (b) CO_2 (c) O_3

(a), (b)——精确模式(模式 1), —·—·—宽带 Malkmus 模式 3-2-1, ---宽带 Goody 模式 3-1-1, 压力换算因子: H_2O , $n = 1.0$; CO_2 , $n = 0.5$; (c)——精确模式(模式 1), —·—·—宽带 Malkmus 模式 3-2-1, ----宽带 Goody 模式 3-1-1, —·—·—窄带 Malkmus 模式 3-2-2,窄带 Goody 模式 3-1-2。

i) 对于 H_2O , 从图 4(a) 中可以看到, Goody 带模式的结果一般讲稍差于 Malkmus 带模式, 但偏差的幅度均在 $0.06 K/日$ 以内。

ii) 对于 CO_2 , 结果画在图 4(b) 中。两种带模式的计算结果有一些差异, 在 18 公里以上, Goody 带模式的结果明显地比 Malkmus 模式更加向右偏离, 其最大绝对偏差可达 $0.4 K/日$, 而 Malkmus 带模式更接近于模式 1。

iii) 对于 O_3 , 计算中使用了 CG 近似。由图 4(c) 可以看出, 在对流层中, Malkmus 带模式与 Goody 带模式的差异并不明显, 这是因为 O_3 在这些高度上的冷却率接近于零的缘故。但从 18 公里开始, 直到 26 公里, 窄带 Malkmus 模式的加热率明显小于精确模式 1, 而窄带 Goody 模式直到 22 公里才与模式 1 有明显偏差, 而且大于模式 1 的值。从 26 公里开始, 所有带模式的结果都大于模式 1, 但 Malkmus 窄带模式与精确结果比较符合。

总之, 对于 H_2O 及 CO_2 , Malkmus 带模式优于 Goody 带模式, 而对于 O_3 却很难说哪一种带模式更好。

下面,我们考察一下压力换算因子 n 的取值对冷却率计算的影响,使用 Malkmus 带模式取下述 n 值进行试验:

H_2O $n = 1.0, 0.7, 0.5$;

CO_2 $n = 1.0, 0.7, 0.5$;

O_3 $n = 0.5, 0.4, 0.3$.

图 5 中的虚线给出了模式 1 的精确结果,曲线 1,2,3 为窄带 Malkmus 模式,而 4,5,6 则为宽带 Malkmus 模式的计算结果,计算时所取的 n 值已表示在图中。

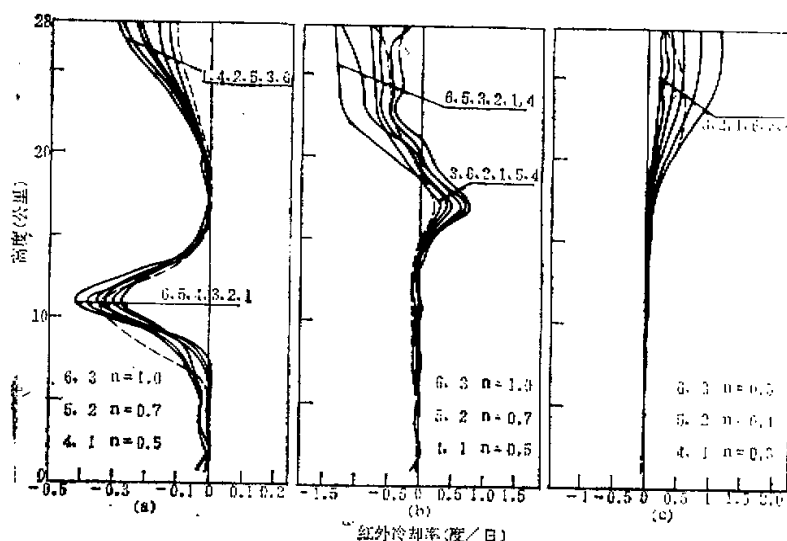


图 5 压力换算因子的不同对冷却率计算的影响

(a) H_2O (b) CO_2 (c) O_3

——精确模式(模式 1), 曲线 1,2,3 为窄带; 4,5,6 为宽带 Malkmus 模式计算结果。每条曲线 n 的取值如下: H_2O 和 CO_2 , 1,4: $n = 0.5$; 2,5: $n = 0.7$; 3,6: $n = 1.0$. O_3 , 1,4: $n = 0.5$; 2,5: $n = 0.4$; 3,6: $n = 0.3$.

从图中看到,窄带模式有如下的结论:对 H_2O ,取 $n = 1.0$ 符合得最好。随着 n 值的减小,平流层中部的冷却率增大,对流层上部的冷却率减小。对 CO_2 ,18 公里以下取 $n = 1.0$,18 公里以上取 $n = 0.7$ 与模式 1 符合得最好。在 17 公里处,随着 n 值减小,加热率增大。而对 O_3 ,随着 n 值的增大,曲线左移,使加热率减小。

宽带模式的结果随高度变化很大,很难说 n 取何值与模式 1 的结果符合得更好。

综上所述,我们大致可以得出这样的结论:在使用压力换算因子来处理非均匀路径时,应当根据不同气体的不同光谱区间以及不同的高度范围选取不同的 n 值,才能得到比较精确的结果。在过去的研究工作中,人们往往对一种气体使用一个不变的 n 值,故其结果不能令人满意。

4. 各种重迭带模式的比较

过去处理吸收带重迭的传统方法是使用透过率相乘定律。但某一光谱区间的平均透

过率并不严格遵循此定律^[5]。图 6 给出了各种重迭带处理方法计算出的冷却率,以及不考虑重迭时分别计算出的 H_2O 及 CO_2 的冷却率。可以看出:在整个平流层,宽带透过率相乘重迭带模式 4-2 的结果(曲线 1)甚至比不考虑重迭分别单独计算出 CO_2 及 H_2O 的冷却率,然后代数相加(曲线 5, $CO_2 + H_2O$)的误差还大,特别是在 24 公里以上。例如在 40 公里处,这与精确重迭带模式 4-1(虚线)的最大绝对偏差可高达 2.5 K/日。另一方面,窄带透过率相乘重迭带模式 4-3 与‘精确’模式 4-1 的结果却相当一致,最大误差不超过 0.02 K/日。这些结果充分说明,用宽带透过率相乘定律来处理吸收带重迭问题是不适宜的。在 CO_2 15 μm 带区,为了得到比较精确的重迭带冷却率,所划分的带模式区间宽度一般应小于 $15cm^{-1}$ 。

从图中我们还可以看出,在平流层中、下部, CO_2 与 H_2O 取代数和得到的冷却率(曲线 5)与精确结果符合得比较好,最大误差只有 0.35 K/日左右,这说明重迭效应对平流层的影响比较小,但是,在地表附近,不考虑 CO_2 与 H_2O 吸收带的重迭,将有可能造成大约 0.8 K/日,即 32% 的误差。

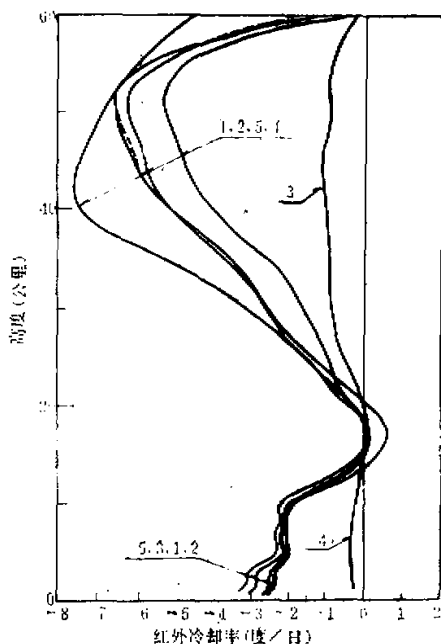


图 6 各种重迭带模式的比较
---精确模式(模式 1), 曲线 1, 2 分别为模式 4-2, 模式 4-3 的结果, 曲线 3, 4, 5 分别为单独的 H_2O , 单独的 CO_2 和 $H_2O + CO_2$ 的冷却率。

四、结 语

本文以一种精确的辐射模式所得到的冷却率为基准,精细地、系统地研究了光谱资料以及辐射模式的不同对大气红外冷却率计算的影响。主要结论是:

- i) 光谱资料的不同一般对大气底层的红外冷却率影响不大,当带强变化 r (0.5~2) 倍时,冷却率仅变化 0.08 (1 - r) 倍左右;但平流层的冷却率却受到所用光谱资料的明显影响,最大冷却率可变化 0.5~0.7 ($r - 1$) 倍左右;
- ii) 对 CO_2 和 O_3 而言,灰体近似的比辐射率模式误差较大;
- iii) 使用 CG 近似的各种带模式方法都程度不同地带来误差,比较而言, Malkmus 带模式一般优于 Goody 带模式,窄带模式优于宽带模式;
- iv) 用压力换算因子 n 近似处理大气非均匀路径,虽然是一种比较简便的方法,但为了取得较好的精度,不但应当对不同气体采用不同的 n 值,而且在不同的高度范围, n 的

取值也应当不同;

v) 不同气体吸收带的重迭对大气底层的冷却率有明显影响。当使用透过率相乘定律来处理重迭带时应小心谨慎: 宽带 ($>100\text{cm}^{-1}$) 透过率相乘重迭带处理方法会带来严重误差, 只有那些宽度小于 15cm^{-1} 的窄带模式, 才能得到比较满意的结果。

参 考 文 献

- [1] Stone, H. M. & Manabe, S., 1968, *Monthly Weather Review*, 96, 735—741.
- [2] Kiehl, J. T. & Ramanathan, V., 1983, *J. Geophys. Res.*, 88, 5191—5202.
- [3] Shi, G. Y., An Accurate Calculation and Representation of the Infrared Transmission Function of the Atmospheric Constituents, ph. D. thesis, Dept. of Science, Tohoku University of Japan, 1981, 1—71.
- [4] Shi, G. Y., 1984, *Scientia Sinica*, 27, 947—957.
- [5] Shi, G. Y., 1984, *Advances in Atmospheric Sciences*, 1, 246—255.
- [6] Ramanathan, V. & Coakley, J. A., 1978, *Reviews of Geophysics and Space physics*, 16, 465—489.
- [7] Rothman, L., 1981, AFGL Atmospheric Absorption line parameters compilation: 1980 Version, *Appl. Opt.*, 20, 791—795.
- [8] McClatchey, R. A. et al., Optical Properties of the Atmosphere, 3rd ed., AFCRL-72-0497, 1972, p3.

EFFECTS OF RADIATION MODELS ON CALCULATIONS OF INFRARED COOLING RATES

Shi Guangyu Qu Yanni

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

The effects of various radiation models and different spectral data on the calculation of the atmospheric infrared cooling rate have been investigated in this paper in some detail, based upon a reference model, the accuracy of which is favourably comparable with that of the exact line-by-line integration. It is shown that the effects of different spectral data on the calculation of the infrared cooling rate in the stratosphere are greater than the effects in the troposphere and the surface. It is also shown that the emissivity method induces a significant error in the calculations of the longwave cooling rate due to CO_2 and O_3 . The band models using CG approximation to deal with inhomogeneous paths also induces errors, more or less. If the pressure scaling is used for treating the inhomogeneous paths of the atmosphere, it is necessary to choose the optimum value of n not only according to species of gases but also to spectral region and altitude in order to obtain a higher accuracy of cooling rates. Finally, we show that the width of spectral interval used by band models should be less than 15cm^{-1} because of the fact that a significant error may be induced if the width of spectral interval is chosen too large.