

大气红外吸收带重迭及其处理方法对 长波辐射计算的影响

曲燕妮 石广玉

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文详细地讨论了 H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O 以及 CH_4 这五种大气主要红外活性气体的红外吸收带的重迭及其处理方法对长波冷却率及通量计算的影响。结果表明: 气体吸收带的重迭对大气红外冷却率具有重要的作用; 但在一定的误差范围内, 不仅某些气体吸收带的重迭效应很小, 可以忽略不计, 而且某些重迭光谱区域对整个红外冷却率及通量的贡献亦可不予考虑。另外, 本文还定性地讨论了处理重迭带的不同方法对红外辐射计算的影响。

一、引 言

地球大气是多种气体成份的混合体。在其红外吸收光谱中, 一种成份的吸收带常常与另外一种成份或多种成份的吸收带重迭在一起。例如: O_3 的 $9.6\mu\text{m}$ 带与 CO_2 的 $10\mu\text{m}$ 带; CO_2 的 $15\mu\text{m}$ 带与 O_3 的 $14\mu\text{m}$ 带, H_2O 的转动带和 N_2O 的 $17\mu\text{m}$ 带的翼部; N_2O 的 $7.78\mu\text{m}$ 带, CH_4 的 $7.66\mu\text{m}$ 带与 H_2O 的 $6.3\mu\text{m}$ 振、转带的翼部等。另外, 在 $8\sim 12\mu\text{m}$ 的大气窗区, 可能主要由双水分子 $(\text{H}_2\text{O})_2$ 所产生的连续吸收, 也与其他成份的线吸收重迭在一起。显然, 研究大气气体成份吸收带的这种重迭的效应并寻求一种较好的处理方法, 对大气辐射学, 特别是目前有关微量气体成份温室效应的研究具有重要意义。由于不同气体成份的红外吸收带的结构、宽度、强弱各不相同, 故其重迭光谱本身是很复杂的。虽然目前可以用逐线积分法来精确处理这个问题, 但对实际应用而言, 由于耗时过多所以是不现实的。通常都采用一些简化处理。最常使用的是宽带透过率相乘定律。如果我们用 U 和 W 以及 $T(U)$ 和 $T(W)$ 分别表示吸收带发生重迭的二种吸收物质及其它们各自的透过率, 那么 U 与 W 的混合物的合成透过率, $T(U, W)$, 则可写成^[1]:

$$T(W, U) = T(W) \cdot T(U) \quad (1)$$

事实上, 方程(1)只适用于单包(或指数)透过率。对整条吸收带或具有一定宽度的光谱间隔 $\Delta\nu$ 中的平均透过率而言, 除非 W 成份和 U 成份的光谱吸收系数在 $\Delta\nu$ 区间内不存在任何相关, 是完全随机分布的, 否则(1)式的使用, 特别是当 $\Delta\nu$ 比较大时将引入较大误差。为了减小这种误差, 有许多作者^[2-3]将光谱间隔取得尽量小, 使用所谓窄带透过率模

式. Wang 和 Ryan^[2] 曾用这种窄带模式研究过大气 H_2O , CO_2 和 O_3 吸收带的重迭对 CO_2 辐射效应的影响, 但他们没有对窄带和宽带方法进行过比较. 最近, Kiehl 和 Ramanathan^[3] 在一篇有关气候模式 CO_2 辐射参数化的论文中虽然比较了窄带方法和宽带方法的结果, 但由于他们忽略了谱线的 Doppler 加宽效应, 故其计算高度仅仅局限于 25km 以下. 石广玉^[4] 曾用一种新的处理大气不同成份吸收带重迭的透过率模式, 研究了 H_2O , O_3 和 N_2O 吸收的同时存在对 CO_2 $15\mu\text{m}$ 带长波辐射通量和冷却率计算的影响, 并与传统的宽带处理方法进行了比较, 计算高度包括了整个对流层及平流层, 但其讨论只限于 CO_2 的 $15\mu\text{m}$ 带区, 没有讨论其他光谱区域的其他气体吸收带重迭的效应. Morcrette 和 Fouquart^[5] 在讨论 GCM 模式的辐射方案中常用的简化近似及计算方法对长波辐射的影响时, 对有关气体的光谱积分范围做过一些比较, 但他们比较的重点不是在重迭效应的影响上.

本文目的在于将石广玉^[4] 的研究推广到整个红外光谱区域 ($0 \sim 2100\text{cm}^{-1}$), 全面考察 H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O 和 CH_4 这五种主要大气红外活性气体的红外吸收带的重迭对大气长波辐射计算的影响. 此外, 本文还定性分析了在不同的大气高度上, 大气红外重迭带的重迭效应不同的原因以及处理重迭带的不同方法对辐射通量及冷却率计算结果的影响.

二、重迭带透过率模式

本文采用石广玉^[4] 提出的一种新的计算和表示红外透过率函数的方法来处理吸收带的重迭. 假定 W 和 U 是在 $\Delta\nu$ 光谱间隔中吸收带相互重迭的二种吸收气体组份, 那么, 根据它们的吸收系数排列之间的相关性, 可将重迭带的透过率模式写成^[6]:

1. 完全不相关模式. 此时 $\Delta\nu$ 间隔的 W 和 U 组份的合成透过率 $T(W, U)$ 可写为:

$$\begin{aligned} T(W, U) &= \sum_{i=1}^M p_i \exp(-k_w^i \cdot w) \cdot \sum_{j=1}^M p_j \exp(-k_u^j \cdot u) \\ &= T(W) \cdot T(U) \end{aligned} \quad (2)$$

其中 w 和 u 分别表示 W 成份和 U 成份的吸收物质质量, k_w^i 和 k_u^j 可以分别看做 W 和 U 成份的一组等效吸收系数, p_i 是与之相对应的权重. 显而易见, 这种完全不相关的模式等价于宽带透过率相乘模式^[6].

2. 完全相关模式. 此时合成透过率可写为:

$$T(W, U) = \sum_{i=1}^M p_i \exp[-(k_w^i w + k_u^i u)] \quad (3)$$

3. 部分相关模式. U 与 W 成份的吸收系数部分相关, 这是最普遍而又比较复杂的情况, 此时, W, U 两种成份的总的透过率 $T(W, U)$ 可表示为:

$$\begin{aligned} T(W, U) &= \sum_{i=1}^M p_i \exp(-k_w^i w) \cdot \left[\sum_{j=1}^N \theta_{ij} \exp(-k_u^j u) \right] \\ &= \sum_{\substack{i=1, M \\ j=1, N}} p_i \cdot \theta_{ij} \exp[-(k_w^i \cdot w + k_u^j \cdot u)] \end{aligned} \quad (4)$$

4. 同 3, 但对其中的 $\sum_{j=1}^N \theta_{ij} \exp(-k_w^{ij} \cdot u)$ 一项取平均, 即

$$T(W, U) = \sum_{i=1}^M p_i \exp(-k_w^i \cdot w) \cdot \bar{T}_i(U) \quad (5)$$

在下文中, 我们有时也将模式 3 称作“精确”模式, 模式 4 称作窄带透过率相乘模式。

对 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 窗区的水汽连续吸收与线吸收的重迭, 采用模式 4, 将连续吸收看做成份 U , 取一平均吸收系数进行处理^[7]。

三、结果与讨论

本文将 $0 \sim 2100 \text{cm}^{-1}$ 光谱区域划分为 20 个光谱区间, 其具体划分见文献[6—8], 重迭区间及其重迭气体组份如表 1 所示。文中所有计算均采用热带模式大气^[9], 其中均匀混合气体 CO_2 , N_2O 和 CH_4 的含量分别取为 335, 0.28 和 1.6 ppm, 而光谱资料则取自石广玉^[6]的资料。大气截止高度取为 60 km, 并做了顶层修正以计入该高度以上的气层的贡献。高度垂直分辨率为 1 km。另外, 文中所提到的 $15 \mu\text{m}$ 光谱区的波数范围为 $530 \sim 810 \text{cm}^{-1}$, $9.6 \mu\text{m}$ 光谱区为 $940 \sim 1200 \text{cm}^{-1}$ 。

(一) 谱带重迭对冷却率计算的影响

为了叙述的方便, 下面将以 $(A, B, C, \dots)$ 表示考虑了 $A, B, C, \dots$ 气体的重迭而进行的长波计算, 以 $A + B + C + \dots$ 表示各组份气体单独计算, 然后取其代数和。

表 1 重迭光谱区间及其气体组份

光谱区间(cm^{-1})	重迭的气体组份	光谱区间 (cm^{-1})	重迭的气体组份
530—610	$\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2$	940—1110	$\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{O}_3$
610—730	$\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{O}_3, \text{N}_2\text{O}$	1110—1200	$\text{H}_2\text{O}, \text{N}_2\text{O}, \text{O}_3$
730—810	$\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{O}_3$	1200—1350	$\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{N}_2\text{O}, \text{CH}_4$
810—940	$\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2$	1810—2100	$\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2$

1. 五种气体重迭的冷却率

由重迭带模式 3 计算而得, 表 1 中所列的所有光谱区间及气体组份的总的大气红外冷却率如图 1 曲线 a 所示。图中还分别给出了 H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O , CH_4 单独存在时的冷却率以及取其代数和时的冷却率, 即曲线 b, c, d, e, f 和 g 。由图 1 可见, 在大气的不同高度上, 不同气体对冷却率的贡献不同。例如, 在地表附近, 对总的冷却率的主要贡献来自于 H_2O , 而其余四种气体的重迭使总冷却率变小 0.56K/d , 大约占总冷却率的 23% 左右; 在平流层的中上部对总的冷却率贡献较大的显然是 CO_2 及 O_3 , 不过 H_2O 的贡献亦不可忽略。在 50km 的最大冷却率处, 它们约各占 55%, 22%, 11%。从图中曲线 a 与 g 的比较中可以看出一个突出特征是: 在大气的不同高度上, 上述五种气体吸收带的重迭

效应完全不同。在大气低层,吸收带重迭的影响是使总的冷却率变小,而在大气中、高层却正好相反。一般而言,在大气温度廓线给定的条件下,大气冷却率的值取决于透过率函数的一阶导数。因此,上述不同重迭效应的产生主要是由于透过率函数 $T(\tau)$ 与光学厚度 τ 之间的关系较复杂所致。当光学厚度 τ 比较大(吸收路径较长或吸收物质质量较多)时,吸收接近于饱和,透过率本身及其一阶导数均很小。若某一吸收组份的情况如此,那么不管重迭上多少种其他气体组份,总的透过率仍变化不大,故通量及冷却率的变化亦不大。但如果把几种气体分别单独进行计算,由于哪些在一种气体组份接近饱和的情况下不起作用的吸收开始单独起作用,因此代数相加的结果显然会比重迭考虑时计算而得的值大。图1中给出的大气低层的冷却率结果正是如此。另一方面,从透过率函数 $T(\tau)$ 与光学厚度 τ (或吸收物质质量 u) 之间的函数关系中可以看出^[10],透过率函数 T 随 u 的增大而减小,但其一阶导数在 $T > \frac{1}{2}$ 时却随 u 的增大而增大。由于几种气体吸收带重迭时的合成透过率总是小于各组份气体的单独的透过率,所以很可能出现这样的情况:即当透过率函数 T 的取值接近于1时,各组份气体透过率一阶导数的代数和小于其合成透过率函数的一阶导数,从而使考虑吸收带重迭的大气冷却率大于各成份气体冷却率的代数和,平流层中、上部的冷却率结果正反映了这种趋势。

2. N_2O 和 CH_4 与 H_2O, CO_2 和 O_3 的吸收带重迭对大气冷却率的影响

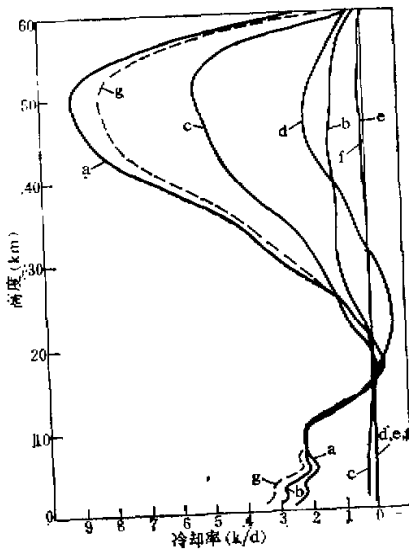


图1 五种气体组份重迭的冷却率
(a)— $H_2O, CO_2, O_3, N_2O, CH_4$; (b)— H_2O ; (c)— CO_2 ; (d)— O_3 ; (e)— N_2O ; (f)— CH_4 ; (g)— $H_2O + CO_2 + O_3 + N_2O + CH_4$

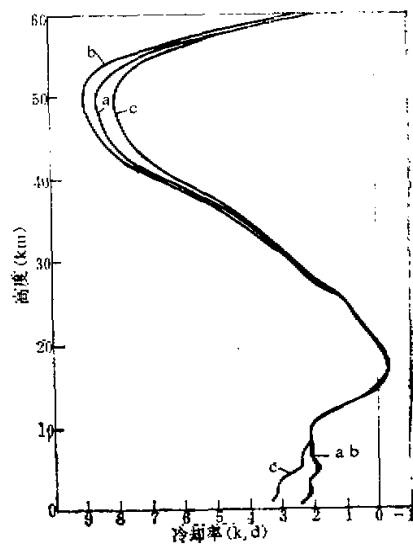


图2 (H_2O, CO_2, O_3) 与 ($H_2O, CO_2, O_3, N_2O, CH_4$) 红外冷却率比较
(a)— H_2O, CO_2, O_3 ; (b)— $H_2O, CO_2, O_3, N_2O, CH_4$; (c)— $H_2O + CO_2 + O_3$

在红外冷却率的计算中,许多作者只考虑 H_2O, CO_2 及 O_3 三种气体,而忽略 N_2O 及 CH_4 。图2曲线 a, b 分别给出了考虑上述三种气体以及五种气体(包括 N_2O 和 CH_4) 时,

由‘精确’的重迭计算而得到冷却率。由图可见,在地表附近二者相差很小,其最大绝对偏差仅为 0.025K/d , 或 4.2% 。在 50km 的最大冷却率处,如不考虑 N_2O 和 CH_4 的贡献,冷却率将过低估计 0.4K/d , 或 4.5% 左右。这种精度对大部分应用来说显然是可行的。

其次,图 2 中还给出了 H_2O , CO_2 及 O_3 各自的冷却率的代数相加值 c 。与上面所述情况相类似,在平流层,吸收带重迭的效应相对而言较小;但在地表附近,如不考虑 H_2O , CO_2 和 O_3 吸收带的重迭,地表 1km 处的冷却率绝对值将增大 1K/d 左右,误差大约为 38% 。可见,是否考虑 H_2O , CO_2 和 O_3 吸收带重迭的影响远大于是否计入 N_2O 和 CH_4 的贡献的影响。

此外,我们还对不同气体成份的重迭效应本身进行了比较,其结果列在表 2 中。其中, I 表示 $(\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{O}_3, \text{N}_2\text{O}, \text{CH}_4)$ 五种气体的冷却率, II 表示 $(\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{O}_3) + \text{N}_2\text{O} + \text{CH}_4$, III 是 $(\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2) + \text{O}_3 + \text{N}_2\text{O} + \text{CH}_4$ 有关结果。显然, II 的结果要好于 III, 而 II 与 III 均与 I 有一定的偏差。这说明在计算中考虑某些气体的作用但不进行重迭处理也会给红外冷却率的结果带来一定的影响。不过一般说来,只要考虑 H_2O 和 CO_2 吸收带的重迭,误差就不会超过 0.25K/d 。

表 2 各种气体成份的重迭效应,冷却率 (K/d)

高度 (K/d) 类别	1	3	5	10	17	25	30	40	50	60
I ($\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{O}_3, \text{N}_2\text{O}, \text{CH}_4$)	-2.402	-2.260	-1.879	-2.179	0.304	-0.990	-2.754	-6.717	-9.008	-1.848
II ($\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{O}_3$) + $\text{N}_2\text{O} + \text{CH}_4$	-2.571	-2.371	-1.916	-2.153	0.330	-0.995	-2.787	-6.714	-8.898	-1.896
III ($\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2$) + $\text{O}_3 + \text{N}_2\text{O} + \text{CH}_4$	-2.643	-2.396	-1.918	-2.148	0.336	-0.912	-2.577	-6.348	-8.650	-1.642

3. 重迭光谱区域对辐射通量及冷却率计算的影响

下面我们将讨论大气主要红外活性气体的各重迭光谱区间对红外冷却率及长波通量的贡献,以便确定在某种精度范围内可忽略哪些光谱区间达到简化重迭计算的目的。

a. ($\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$) 除 $15\mu\text{m}$ ($530-810\text{cm}^{-1}$) 带区外,其他光谱区间(如 $810-940-1110, 1200-1350, 1810-2100\text{cm}^{-1}$) 亦存在 CO_2 和 H_2O 吸收带的重迭。但由于 $15\mu\text{m}$ 带是 CO_2 的最重要的谱带,因此,在处理它们的重迭时,许多作者仅考虑这一区域。我们的详细研究证明这种处理是恰当的。忽略 $810-1110, 1200-1350, 1810-2100$ 区间中 H_2O 与 CO_2 的重迭,只考虑 H_2O 的贡献,给冷却率所带来的误差在整个对流层和平流层一般均小于 0.03K/d , 而且各种通量的误差亦小于 1.3W/m^2 。

b. ($\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{O}_3$) O_3 与 H_2O , CO_2 吸收带的重迭,除 $9.6\mu\text{m}$ 带以外,还有其 $14\mu\text{m}$ ($610-810\text{cm}^{-1}$) 带。我们的计算结果表明: 在处理这三种气体吸收带的重迭时,只考虑 $15\mu\text{m}$ 及 $9.6\mu\text{m}$ 带区,在 50km 以下的各高度上的冷却率误差均小于 0.02K/d ; 在 60km 处,其最大误差也只有 0.15K/d 。就通量而言,对流层顶净通量和大气顶向上通量的误差均小于 5W/m^2 , 相对误差小于 2% ; 地面向下辐射通量的误差较大,其值为

-26.5W/m^2 , 相对误差 7%。显然, 就一般的实用目的来说, 基本上可以忽略 $15\mu\text{m}$ 及 $9.6\mu\text{m}$ 带区以外的 H_2O , CO_2 和 O_3 吸收带的重迭效应而不带来严重误差。

(二) 重迭带的不同处理方法对长波辐射计算的影响

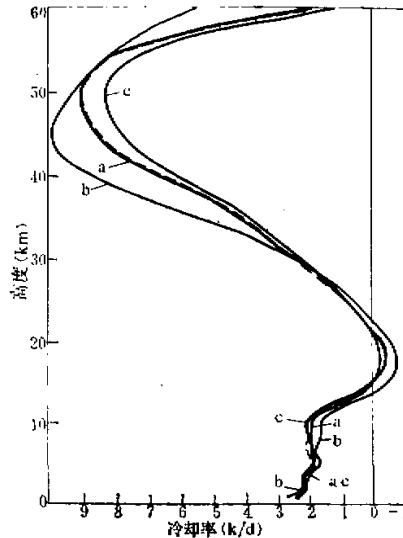


图 3 重迭带的不同处理方法对冷却率的影响

虚线表示模式 3 (a)——模式 4; (b)——模式 1; (c)——模式 2

如前所述, 过去已有若干作者对 CO_2 $15\mu\text{m}$ 带区的重迭效应做过一些研究。例如, Wang 和 Ryan^[2] 以及 Kielh 和 Ramanathan^[3] 均指出, 对该光谱区而言, 窄带透过率相乘定律是可用的。我们的另一篇文章^[4]也得到过相同的结论。但这个结论是否适用于其他气体的其他光谱区域以及大气中、高层吸收带的重迭, 目前所做的研究工作尚少。我们采用第二节所述的各种重迭带处理方法而得到 (H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O , CH_4) 大气整个红外区域, 从 0 到 60km 的冷却率结果画在图 3 中。

由图可见, 宽带透过率相乘定律的模式 1 的计算结果(曲线 b)与“精确”模式 3(虚线)相比有较大的误差, 在地表附近为 0.3K/d 或 13%, 在平流层中、上部, 其绝对误差值更大, 可高达 2.0K/d 。完全相关透过率模式 2 的结果(曲线 c), 在 30km 以下的谱线压力加宽高度范围内与模式 3 符合得比较好, 但在 50km 附近有 0.82K/d 的绝对偏差, 相对误差为 9% 左右。尽管该模式的物理图象与实际大气气体重迭吸收带的真实情况并不相符, 但其计算时间为模式 3 的三分之一, 所以, 在计算的截止高度较低或计算精度要求不太高时, 使用该模式是可行的。窄带透过率相乘定律的模式 4 的计算结果(曲线 a), 几乎在所有高度上都与“精确”模式 3 符合得比较好, 最大绝对偏差小于 0.15K/d , 而且计算时间可节省一半以上。显然, 对于上述五种大气气体的整个红外区间的重迭吸收带而言, 窄带(小于 15cm^{-1}) 透过率相乘定律是可用的, 而其他处理吸收带重迭的模式, 使用时要小心谨慎。

表 3 各种重迭带处理方法所得 (H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O , CH_4) 大气长波辐射通量
(单位: W/m^2)

括号中数字表示 (H_2O , CO_2 , O_3) 只考虑 $9.6\mu\text{m}$ 和 $15\mu\text{m}$ 带重迭的相应结果

辐射 高度	模式 1			模式 2			模式 3			模式 4		
	F_N	$F^{\downarrow}$	$F^{\uparrow}$	F_N	$F^{\downarrow}$	$F^{\uparrow}$	F_N	$F^{\downarrow}$	$F^{\uparrow}$	F_N	$F^{\downarrow}$	$F^{\uparrow}$
地表 (0km)	83.74 (86.06)	371.40 (369.1)	455.10 (455.1)	78.14 (78.91)	377.0 (376.2)	455.1 (455.1)	74.43 (76.38)	380.7 (378.7)	455.1 (455.1)	72.18 (74.44)	383.0 (380.7)	455.1 (455.1)
对流层顶 (17km)	268.2 (273.9)	19.46 (18.56)	287.7 (292.5)	283.0 (285.3)	11.52 (11.28)	294.5 (296.6)	278.7 (283.2)	11.86 (11.31)	290.6 (294.5)	274.4 (280.7)	12.78 (11.82)	287.2 (292.5)
大气顶 (60km)	276.1 (283.9)	0.609 (0.593)	278.7 (284.5)	295.0 (297.2)	0.634 (0.615)	295.7 (297.8)	290.5 (294.6)	0.631 (0.621)	291.1 (295.2)	285.5 (297.2)	0.636 (0.615)	286.1 (297.8)

表 3 给出了由各种重迭带模式计算所得的 (H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O , CH_4) 整个红外区域的长波辐射通量 (H_2O , CO_2 , O_3), 只考虑 $9.6\mu\text{m}$ 和 $15\mu\text{m}$ 带区重迭的有关结果。其中, $F^{\downarrow}$, $F^{\uparrow}$ 和 F_N 分别表示向上、向下和净通量。这里我们主要考查不同模式对地表, 对流层顶的向下通量以及大气顶的向上通量的影响。从表中可以看到, 不同重迭带的处理方法对以上列举的三种辐射通量影响不大, 除宽带透过率相乘模式 1 之外, 其他模式所得各量的最大相对误差均小于 5%。使用模式 1 计算的对流层顶的向下通量误差为 $7.6\text{W}/\text{m}^2$, 相对误差高达 64%, 必须予以重视。此外, 从表 3 括号中的数字可以看出, 在现有的大气 N_2O 和 CH_4 含量条件下, 考虑 H_2O , CO_2 和 O_3 三种气体, 只考虑它们在 $9.6\mu\text{m}$ 和 $15\mu\text{m}$ 带区重迭计算而得到通量与 (H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O , CH_4) 五种气体整个红外区间其他重迭带在内的通量相比, 偏差不大, 相对误差一般小于 10%, 而且红外冷却率的结果亦符合得比较好, 仅在 50km 附近有 7% 左右的最大误差 (表中未列出)。所以, 对一般的大气长波辐射计算来说, 只考虑这三种气体、上述两条重迭吸收带即可。

四、结 束 语

本文以一种“精确”的大气红外吸收带重迭模式为基础, 详细研究了大气 H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O , CH_4 的主要红外吸收带重迭及其处理方法对大气长波辐射计算的影响, 主要结论是:

1. 吸收带重迭对大气红外冷却率具有重要影响。如果不考虑这种实际存在的吸收带的重迭而只是将各组份气体产生的冷却率代数相加, 在地表和 50km 附近的冷却率极大值处将分别带来 $1\text{K}/\text{d}$ 和 $0.8\text{K}/\text{d}$ 左右的误差。

2. 吸收带的重迭对冷却率的影响随高度不同而不同。在大气低层, 它使总的冷却率减小, 而在大气高层则相反。这种不同可能是由于大气红外透过率函数的一阶导数随光学厚度 τ 的大小不同具有不同的变化趋势造成的。

3. 在实际应用中, 如果对计算精度要求不是很高, 在现有的大气 N_2O 和 CH_4 含量条

件下,可以只考虑 $9.6\mu\text{m}$ 和 $15\mu\text{m}$ 带区 H_2O , CO_2 和 O_3 吸收带的重迭,而忽略其他重迭光谱区、其他气体吸收带的重迭。

4. 传统的宽带透过率相乘重迭带处理方法,无论对红外冷却率还是辐射通量都带来较大误差,一般不宜采用。

参 考 文 献

- [1] Goody, R. M., 1964, *Atmospheric Radiation*. (I) Theoretical Basis. Oxford. University Press. 123—125.
- [2] Wang, W. C., and Ryan, P. B., 1983, *Tellus*, 35B, 81—91.
- [3] Kiehl, J. T., and Ramanathan, V., 1983, *J. Geophys. Res.*, 88, 5192—5202.
- [4] Shi, G. Y., 1984, *Advances in Atmospheric Sciences*, 1, 246—255.
- [5] Morcrette, J. J., and Fouquart, Y., 1985, *Quart. J. R. Met. Soc.*, 111, 691—708.
- [6] Shi, G. Y., 1981, An Accurate Calculation and Representation of the Infrared Transmission Function of the Atmospheric Constituents, Ph. D. thesis, Dept. of Science, Tohoku University of Japan, 1—71.
- [7] Roberts, R. E. et al., 1976, *Appl. Opt.*, 15, 2085—2090.
- [8] Xu, L. and Shi, G. Y., 1985, *Advances in Atmospheric Sciences*, 2, 531—541.
- [9] McClatchey, R. A. et al., 1972, *Optical Properties of the Atmosphere*, 3rd ed., AFCRL-72-0497.
- [10] Howard, J. N. et al., 1955, Near-Infrared Transmission through Synthetic Atmosphere, AFCRL-TR-55-213, p153.

EFFECT OF ATMOSPHERIC INFRARED OVERLAPPING BANDS AND THEIR TREATMENT ON THE CALCULATION OF LONGWAVE RADIATION

Qu Yanni Shi Guangyu

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

The effect of the main infrared overlapping bands of the major infrared active gaseous such as H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O and CH_4 and its treatment on the calculation of flux and cooling rate due to long-wave radiation is investigated in this paper. The results show that the effect of overlapping bands is dependent on the atmospheric level. And in an ordinary calculation of the atmospheric long-wave radiation, we can only take into account of the two overlapping bands ($15\mu\text{m}$ and $9.6\mu\text{m}$) of three gases, i.e. H_2O , CO_2 and O_3 and the error introduced by the simplification is not so great.