

# 大气 CO<sub>2</sub> 15 μm 吸收带对温度依赖关系的研究

李翠娜<sup>1</sup>, 郑有飞<sup>1</sup>, 石广玉<sup>2</sup>

(1. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 南京 210044;

2. 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

**摘要:** 利用最新版本的大气分子吸收光谱资料 HITRAN 2004, 以 CO<sub>2</sub> 15 μm 吸收带为例, 通过精确的逐线积分模式, 详细讨论了温度对谱线半宽度、线强以及吸收系数的影响。结果发现: 吸收系数对温度的依赖关系主要受线强对温度依赖关系的影响, 受半宽度对温度依赖关系的影响较小; 在吸收带的中心区域, 温度对线强和吸收系数的影响较弱, 而在带翼影响较强。

**关键词:** CO<sub>2</sub> 15 μm 吸收带; 温度依赖关系; 逐线积分

**中图分类号:** O433.5<sup>+</sup>1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-7148(2008)02-0001-06

## 引言

政府间气候变化专门委员会第四次科学评估报告(IPCC AR4)认为<sup>[1]</sup>, 过去一百年(1906-2005)全球平均气温上升了 0.74 °C, 并将其归因于大气温室气体浓度的增加。其中, CO<sub>2</sub> 是受人类活动影响最大的一种温室气体, 它在大气中的浓度(体积分数)已经从工业革命前的大约  $280 \times 10^{-6}$  增加到 2005 年的  $379 \times 10^{-6}$ 。这主要来自人类大量使用煤炭、石油和天然气等化石燃料以及土地利用状况的变化(主要是森林和草原的破坏)。大气中 CO<sub>2</sub> 浓度的增加会使地气系统向外空发射的红外辐射减少, 从而导致大气对流层和地面温度的升高, 此即所谓“增强的温室效应”。根据 IPCC AR4 的估计, 自 1750 年工业革命以来, 所有温室气体(包括 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFCs, 对流层 O<sub>3</sub> 以及由 CH<sub>4</sub> 所生成的平流层水汽)产生的气候变化辐射强度为  $3.05 \text{ Wm}^{-2}$ , 其中 CO<sub>2</sub> 的贡献超过 50%, 为  $1.66 \text{ Wm}^{-2}$ 。

目前已建立各种气候模式来研究这些问题。在当代较先进的气候模式中, 有将近一半的计算机时间都是用于辐射计算, 而其中最费时的是关于大气气体红外吸收的计算。为了节省 CPU 时间, 过去模式中广泛使用带模式、比辐射率以及其他一些经验和半经验方法; 近年来  $k$  分布和相关  $k$  分布方法逐

渐崭露头角<sup>[2-4]</sup>。但是, 所有这些方法的精度都必须有一个比较标准, 以便对其进行验证或者检验, 这就是逐线积分方法<sup>[5-8]</sup>, 它被认为是最精确的方法。

但在逐线积分方法的框架下, 仍然有许多值得研究和改进的问题。在不减少精度的前提下, 选择合适的处理吸收系数对温度依赖关系的方法, 可以极大地提高逐线积分的速度。目前在这方面详细的研究工作依然较少。

本文以 CO<sub>2</sub> 15 μm 吸收带为例, 通过精确的逐线积分模式, 详细研究了温度对半宽度、线强和吸收系数的影响, 可望为建立具有坚实物理基础的参数化的实际大气辐射传输模式提供一定的参考。

## 1 基本理论

包括大气 CO<sub>2</sub> 在内, 某一大气气体分子的吸收系数对温度的依赖关系起因于温度对其谱线线强及半宽度的影响; 虽然与大气压力对吸收系数的影响相比, 温度的影响是第二位的, 但它仍然是影响吸收系数的一个重要因子<sup>[9]</sup>。在逐线积分计算中, 可以精确计入吸收系数对温度的依赖关系。

### 1.1 谱线线强对温度依赖关系

线强对温度的依赖关系, 可以由量子力学理论导出, 即<sup>[10]</sup>

收稿日期: 2008-01-16

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目“中国大气气溶胶及其气候效应的研究”(2006CB403700)资助

作者简介: 李翠娜(1981-), 女, 河北石家庄人, 硕士, 从事大气辐射理论和模式研究. E-mail: licuina2005y@nuist.edu.cn

$$S(T) = \frac{S(T_0)Q_v(T_0)Q_r(T_0)}{Q_v(T)Q_r(T)} \exp\left[\frac{1.439E''(T - T_0)}{TT_0}\right] \quad (1)$$

式中,  $E''$  表示谱线跃迁的低态能量(以  $\text{cm}^{-1}$  为单位);  $T_0$  是标准温度(296K);  $Q_v$  和  $Q_r$  分别表示振动和转动配分函数, 均是温度的函数。其中, 振动配分函数  $Q_v$  对温度依赖关系不明显, 在涵盖实际地球大气的温度变化范围(175K - 325K) 内, 大气  $\text{CO}_2$  分子的振动配分函数从 1.0095 增加到 1.1269, 幅度只有 10% 左右, 转动配分函数对温度依赖关系可表示为

$$Q_r(T) = Q_r(T_0) \left(\frac{T}{T_0}\right)^j \quad (2)$$

式中指数  $j$  随分子而异, 对  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}$  和  $\text{O}_2$  等线形分子来说,  $j = 1$ ; 对  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{O}_3$  和  $\text{CH}_4$  等非线形分子而言,  $j = 1.5$ 。这就意味着, 对本文所讨论的大气  $\text{CO}_2$  分子来说, 其转动配分函数将与温度成正比关系。

另外一个影响线强对温度依赖关系的因子是跃迁的低态能量  $E''$ , 它通过式(1)中的指数项  $\exp[1.439E''(T - T_0)/(T \times T_0)]$  影响线强。对大气  $\text{CO}_2$  15  $\mu\text{m}$  吸收带(500 - 800  $\text{cm}^{-1}$ ) 而言, 跃迁低态能量可以从 0  $\text{cm}^{-1}$  增加到 4304.5  $\text{cm}^{-1}$ , 幅度变化很大; 指数项  $\exp[1.439E''(T - T_0)/(T \times T_0)]$  对线强进而对吸收系数的影响将在 3.2 节中阐述。

### 1.2 谱线半宽度对温度依赖关系

至于温度对谱线半宽度的影响, 需要考虑不同的谱线加宽机制。在大气低层(一般 30 km 以下), 压力加宽占支配地位, 此时的谱线加宽称作洛伦兹加宽, 其半宽度  $\alpha_L(p, T)$  对温度依赖关系为

$$\alpha_L(p, T) = \alpha_L(p_0, T_0) \left(\frac{p}{p_0}\right) \left(\frac{T}{T_0}\right)^{-n} \quad (3)$$

这里需要注意的是, 式中的洛伦兹半宽度温度依赖指数  $n$  是随各个跃迁(谱线)而变的。上式中的  $n$  值在没有实验或理论数据可用时, 假定为 0.5。

另一方面, 在大气高层(50 km 以上), 多普勒加宽将占支配地位, 其半宽度  $\alpha_D(p, T)$  只是谱线中心频率  $\nu_0$  和温度的函数, 与压力无关:

$$\alpha_D = \frac{\nu_0}{c} \left(\frac{2kT}{m}\right)^{\frac{1}{2}} = 4.301 \times 10^{-7} \nu_0 \sqrt{T/M} \quad (4)$$

式中,  $c$  是光速,  $k$  是玻尔兹曼常数,  $M$  是分子量。对于本文所讨论的  $\text{CO}_2$  15  $\mu\text{m}$  带来说, 其中心波数 667  $\text{cm}^{-1}$ , 在涵盖实际地球大气的温度变化范围内, 多普勒半宽度从  $5.721 \times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$  增加到 7.796  $\times$

$10^{-4} \text{cm}^{-1}$ , 变化幅度 < 40%。

在 30 - 50 km 的“中层大气”, 压力加宽与多普勒加宽将同时起作用。因此, 在这两个高度之间, 需要考虑洛伦兹加宽和多普勒加宽的混合效应, 即 Voigt 线型(见下)。

### 1.3 吸收系数对温度依赖关系

在压力加宽、多普勒加宽以及混合加宽等不同谱线加宽机制下, 吸收系数可以分别表达为<sup>[2]</sup>

$$k_v = \frac{S\alpha_L}{\pi[(v - \nu_0)^2 + \alpha_L^2]} \quad (5)$$

$$k_v = \frac{S}{\alpha_D \sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{v - \nu_0}{\alpha_D}\right)^2\right] \quad (6)$$

$$k_v = \frac{k_0 y}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(-t^2)}{y^2 + (x - t)^2} dt \quad (7)$$

在式(7)中,  $k_0$  是线中心吸收系数,  $k_0 = S/(\alpha_D \sqrt{\pi})$ ;  $x = (v - \nu_0)/\alpha_D$ ;  $y = \alpha_L/\alpha_D$ 。

由上式发现: 由两个参数决定吸收系数对温度依赖关系, 即谱线线强及半宽度。在实际地球大气中, 具有不同线宽和线强以及不同线宽和线强温度依赖关系的吸收谱线的重叠, 造成吸收系数对温度依赖关系的极端复杂性, 它不但随波数发生明显变化, 而且在不同压力下也不相同。

## 2 逐线积分方案

逐线积分就是逐条计入大气气体吸收谱线贡献的一种精确的吸收系数计算方法。假定谱线为洛伦兹线型, 吸收系数则可以表示为

$$k_v = \sum_l^{line} \frac{S_l \alpha_{L,l}}{\pi[(v - \nu_{0l})^2 + \alpha_{L,l}^2]} \quad (8)$$

式中,  $\alpha_{L,l}$  是洛伦兹加宽的半宽度,  $S_l$  是第  $l$  条谱线的线强,  $\nu_{0l}$  则是谱线中心波数。

为了不丢失任意一条谱线对吸收系数的贡献, 频率积分的步长必须小于谱线加宽的半宽度。如上所述, 在大气高层, 谱线加宽被多普勒效应控制, 由式(4)可知, 假设  $\nu_0$  是 1  $\text{cm}^{-1}$ , 多普勒加宽的半宽度的数量级为  $10^{-7} \text{cm}^{-1}$ , 如果要计算跨越几千个  $\text{cm}^{-1}$  的红外吸收带的吸收系数, 则积分取样点可能高达  $10^{10}$  个。即使是对本文所讨论的  $\text{CO}_2$  15  $\mu\text{m}$  吸收带(500 - 800  $\text{cm}^{-1}$ ) 而言, 频率积分样点也必须高达近  $7 \times 10^5$  个。石广玉<sup>[4]</sup> 和张华等<sup>[5]</sup> 曾经详细讨论过取样点的选取对吸收系数及其计算效率的影响, 本文选取其中一种比较简单且有效的方法, 即频率积分步长等于多普勒半宽度<sup>[4]</sup>。

另一方面, 大气分子吸收谱线线翼贡献的截断

是逐线积分中必须考虑的又一个重要问题。从理论上说,在计算某一波数  $\nu$  处的吸收系数  $k_\nu$  时,波数积分限应当取作无穷大。但是,实际上,不但吸收系数  $k_\nu$  将基本上按离线中心距离的平方而衰减,而且谱线线强和谱线的远翼行为都存在着某种误差和不确定性,因此无限制地计及谱线远翼的贡献是没有实际意义的。目前有许多方法可以用来进行线翼截断<sup>[11]</sup>,本文选取其中一种比较常用的方法<sup>[12]</sup>,即对每条谱线都选择从其中心开始的  $5 \text{ cm}^{-1}$  宽度作为对一条谱线的截断波数。

### 3 结果分析和讨论

CO<sub>2</sub> 15 μm 吸收带在地气系统辐射能交换中起着重要作用,通过这个光谱区向外空射出的长波辐射能约占整个长波辐射能损失的 30%。实际上,每种气体在每个吸收波段的吸收对大气辐射平衡的重要性取决于两个因素:一是吸收谱带的强度,二是吸收气体的含量。由于 CO<sub>2</sub> 15 μm 吸收带中心和带翼区域吸收强弱明显不同,因而将它们分开处理可能是有意义的。本文取  $657 - 667 \text{ cm}^{-1}$  和  $740 - 760 \text{ cm}^{-1}$  分别代表吸收带中心区域和带翼。

计算中所用的大气分子吸收谱线是最新版本的 HITRAN 2004<sup>[13]</sup>,这个版本共收集了  $0 \sim 23\,000 \text{ cm}^{-1}$  波段、39 种大气气体的 1 789 569 条谱线。对于大气 CO<sub>2</sub> 15 μm 带 ( $500 - 800 \text{ cm}^{-1}$ ) 来说,共有 19 108 条谱线,其中在  $657 - 667 \text{ cm}^{-1}$  有 3 233 条,在  $740 - 760 \text{ cm}^{-1}$  有 853 条。

#### 3.1 温度对谱线半宽度的影响

如上所述,对于压力加宽来说,温度对洛伦兹半宽度的主要影响因子是温度依赖指数  $n$  [参见公式 (3)],可从谱线资料汇编中得到。图 1 a、b 分别给出了 CO<sub>2</sub> 15 μm 吸收带的带中心和带翼各条谱线的温度依赖指数  $n$ 。由图 1 可以看到  $n$  因谱线而异,可从

0.52 变化到 0.78,但绝大多数谱线的  $n \geq 0.69$ ,对带中心区域 ( $657 - 677 \text{ cm}^{-1}$ ) 来说(图 1a),  $n \geq 0.69$  的占 94.68%,而在带翼区间 ( $740 - 760 \text{ cm}^{-1}$ ,见图 1b) 则占 94.72%,二者几乎完全相同。

一个值得注意的问题是, $n$  的变化对谱线半宽度进而对吸收系数的影响是因温度而异的,在实际地球大气的温度变化范围内,由公式 (3) 右边第三项可知,当温度是 180 K 时,由于  $n$  的变化 (0.52 ~ 0.78),该项的数值可以从 1.295 增加到 1.474,变化幅度为 14%;但当温度为 320 K 时,它将从 0.960 减少到 0.941,变化幅度只有 2%。如果取  $n$  为 0.735 (绝大多数谱线的  $n$  之中值),当温度从 180 K 变化到 320 K 时,该项数值将从 1.441 减少到 0.944,变化幅度达 35% 左右。这就说明, $n$  值本身的变化对谱线半宽度的影响较小,对绝大多数谱线来说,大气温度的变化起更重要的作用。

考虑  $n$  值及大气温度变化的综合效应,可以得到不同温度下洛伦兹半宽度的比值随波数的变化趋势(见图 2 a、b,参考温度取 250 K)。由图 2 可见,当温度为 180 K 时,该比值从 0.77 增加到 0.83,变化幅度在 8% 左右;当温度为 320 K 时,则从 1.14 增加到 1.21,幅度变化在 6% 以内。因此,无论是在吸收带的带中心区域还是带翼,虽然温度越高洛伦兹半宽度越大,但总体而言洛伦兹半宽度对温度依赖关系并不明显。

至于谱线的 Doppler 加宽,它只在大气高层才是重要的。由式 (4) 可知,多普勒半宽度与大气分子量的平方根成反比,与大气温度的平方根成正比。对 CO<sub>2</sub> 分子来说,由于其分子量  $M$  等于 44,因此,即使在实际地球大气的最大温度变化范围 ( $320 \sim 180 \text{ K}$ ) 内,多普勒半宽度的变化也只有 33%。这就是说,无论是在吸收带的带中心还是带翼区域,多普勒半宽度对温度的依赖性都不是很明显。

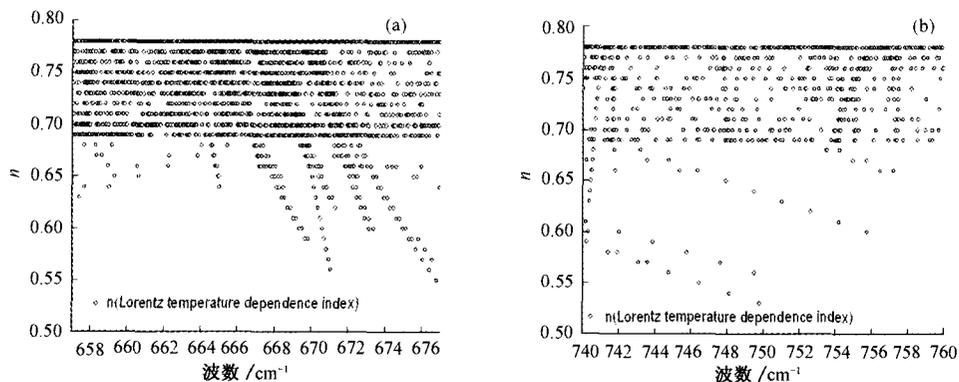


图 1 CO<sub>2</sub>  $657 - 677 \text{ cm}^{-1}$  (a) 及  $740 - 760 \text{ cm}^{-1}$  (b) 区间的谱线半宽度温度依赖指数

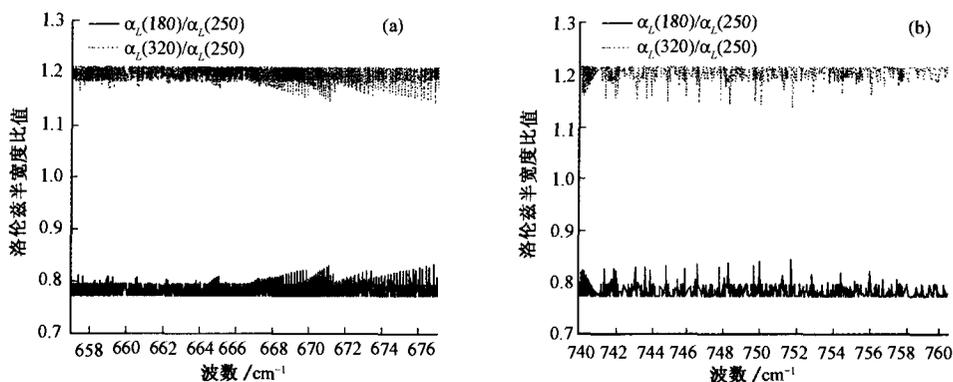


图 2 CO<sub>2</sub> 657—677 cm<sup>-1</sup> (a) 及 740—760 cm<sup>-1</sup> (b) 不同温度下洛伦兹半宽度的比值随波数的变化

### 3.2 温度对谱线线强的影响

如前所述,线强的温度依赖关系主要由配分函数以及指数项  $\exp[1.439E''(T - T_0)/(T \times T_0)]$  这两个因子决定的[见公式(1)].表 1 列出了标准状况(296 K)下的配分函数与 3 个典型温度下的配分函数之比值.由表 1 可知:不同温度下振动配分函数

表 1 温度对总配分函数的影响

温度 /K	$Q_v(T_0) / Q_v(T)$	$Q_r(T_0) / Q_r(T)$	$Q_v(T_0)Q_r(T_0) / Q_v(T)Q_r(T)$
180	1.081	1.644	1.777
250	1.041	1.184	1.232
320	0.975	0.925	0.902

的比值都近似等于 1,最大变化幅度只有 10% 左右;转动配分函数对温度比较敏感,比值从 180 K 时的 1.644 减小到 320 K 时的 0.925,变化幅度高达 40%;在实际地球大气涵盖的温度范围内,总配分函数比

值从 1.777 减小到 0.902,变化幅度在 50% 以内,温度愈高,配分函数愈大.从表 1 不难看出,影响总配分函数的主要是转动配分函数.

图 3 给出了各条谱线的指数项  $\exp[1.439E''(T - T_0)/(T \times T_0)]$  在温度分别是 180 K 和 320 K 时与参考温度时的比值的变化的.由图 3 可见:在 CO<sub>2</sub>15 μm 吸收带的中心区域  $\exp[1.439E''(T - T_0)/(T \times T_0)]$  对温度的依赖关系较弱(图 3a),有大量谱线的比值落在 0.1 ~ 10 之间;在带翼则受温度的影响较大,很少有比值落在 0.1 ~ 10 的谱线(见图 3b).另外,如图 3a、b 中的实线所示,不管是在带中心还是在带翼,在低温时指数项  $\exp[1.439E''(T - T_0)/(T \times T_0)]$  对温度更敏感,变化幅度可达 3 ~ 4 个数量级;而在较高温度下变化幅度只有两个数量级左右(图中虚线)。

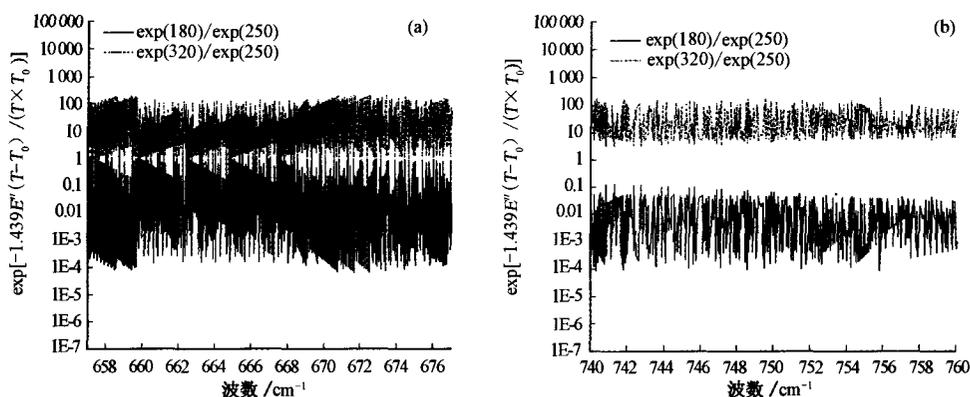


图 3 CO<sub>2</sub> 657—677cm<sup>-1</sup> (a) 及 740—760cm<sup>-1</sup> (b) 不同温度下  $\exp[-1.439E''(T - T_0)/(T \times T_0)]$  值随波数的变化

图 4 给出了各条谱线的线强在温度 180 K 和 320 K 时与 250 K 时的比值变化.对比图 3 和图 4 不难发现:不管是在 CO<sub>2</sub>15 μm 吸收带中心区域(图 4a)还是在带翼(图 4b),线强的变化趋势与指数项  $\exp[1.439E''(T - T_0)/(T \times T_0)]$  的情形几乎完全一致.这进一步说明了线强对温度的依赖主要受因子  $\exp[1.439E''(T - T_0)/(T \times T_0)]$  的影响,而其他

因子如受激发射、配分函数等的影响是第二位的。

### 3.3 温度对吸收系数的影响

由式(5—7)可知,吸收系数对温度依赖关系是通过线强和半宽度来体现的.本文利用前面描述的精确逐线积分方法,综合两个因子,计算了 1atm 大气压力下,温度分别为 180 K、250 K 和 320 K 时,CO<sub>2</sub>657—677 cm<sup>-1</sup> 以及 740—760 cm<sup>-1</sup> 区间内的吸

收系数在上述 3 个温度下的比值,如图 5a、b 所示。对比图 2、图 3、图 4 以及图 5,可以清楚地看出,与线强时的变化趋势相似,在带中心和带翼区域不同温度下吸收系数比值的变化趋势明显不同:在带中心(图 5a)温度的影响较弱,大部分比值都在 1 附近;在带翼(图 5b),温度的影响很强,不同温度下吸收

系数比值从 0.03 变化到接近 10。另外,吸收系数对较低温度更敏感,尤其是在带翼区域。例如,320 K 与 250 K 时的吸收系数比值从 2.19 增加到 8.41,幅度变化达到 284% (图 5b 虚线),而 180K 与 250K 时,其比值则从 0.03 增加到 0.19,幅度变化高达 533% (图 5b 实线所示)。

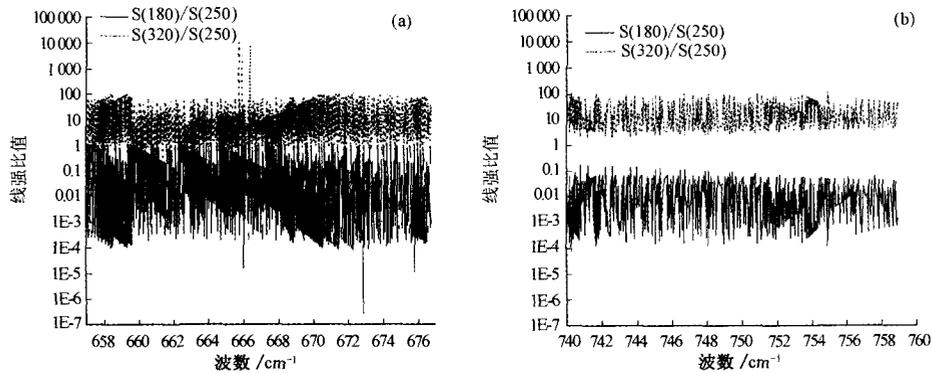


图 4 CO<sub>2</sub> 657—677cm<sup>-1</sup> (a) 及 740—760 cm<sup>-1</sup> (b) 不同温度下线强的比值随波数的变化

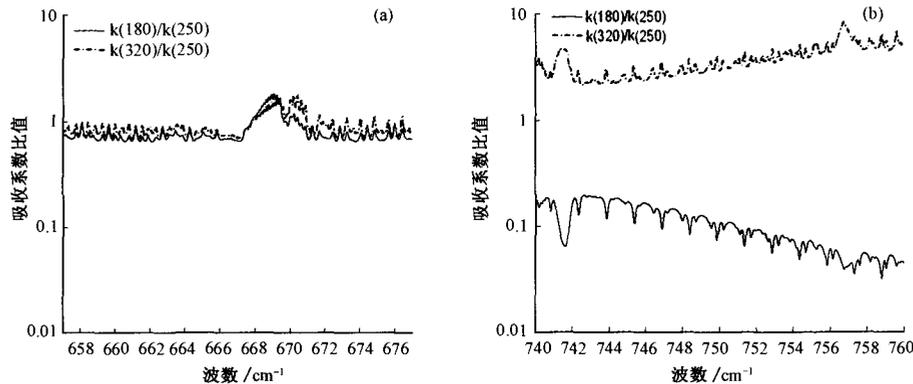


图 5 CO<sub>2</sub> 657—677cm<sup>-1</sup> (a) 及 740—760 cm<sup>-1</sup> (b) 不同温度下吸收系数的比值随波数的变化

图 6 a、b 表示当压力是 1 atm、温度为 320 K 和 180 K 时,CO<sub>2</sub>657—677 cm<sup>-1</sup> 及 740—760 cm<sup>-1</sup> 区间的吸收系数比值的变化,其中,虚线表示只考虑半宽度的温度依赖关系,灰实线为只考虑线强的温度依赖关系,黑实线表示同时考虑二者的温度依赖关系

时吸收系数的变化。对比图 6a 和 b 可以发现:在 CO<sub>2</sub>15 μm 吸收带中心区域,半宽度和线强的温度依赖关系对吸收系数的影响都不是很大;但在带翼,线强温度依赖关系对吸收系数的影响起主要作用,半宽度温度依赖关系的影响依然较小。

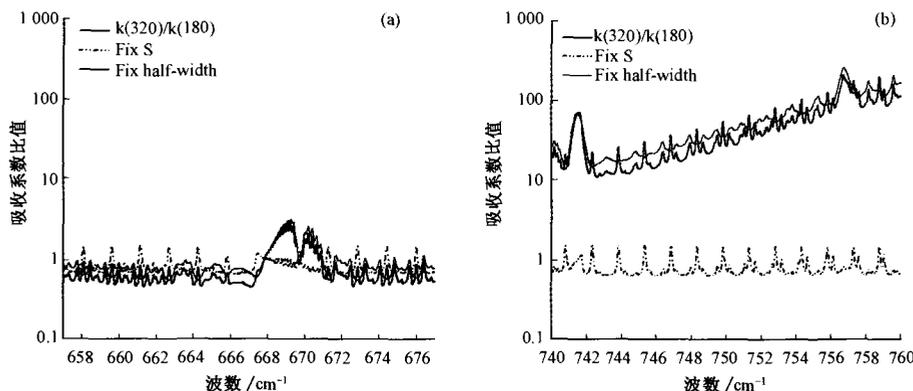


图 6 CO<sub>2</sub> 657—677cm<sup>-1</sup> (a) 及 740—760 cm<sup>-1</sup> (b) 不同温度下吸收系数的比值随波数的变化

## 4 结 论

本文通过利用一种快速高效的逐线积分模式,以大气主要温室气体  $\text{CO}_2$  15  $\mu\text{m}$  吸收带的  $657-677\text{ cm}^{-1}$  和  $740-760\text{ cm}^{-1}$  为例,详细讨论了温度对半宽度、线强以及吸收系数的影响。结果表明:吸收系数对温度依赖关系主要受线强对温度依赖关系的影响,受半宽度对温度依赖关系的影响很小;而线强对温度的依赖关系主要受  $\exp[1.439E''(T-T_0)/(T \times T_0)]$  的影响,受配分函数的影响很小。因此,吸收系数对温度的依赖主要受制于  $\exp[1.439E''(T-T_0)/(T \times T_0)]$  的影响;在吸收带的中心区域,温度对线强和吸收系数的影响较弱,但是在带翼其影响较强,而且在较低温度时,线强及吸收系数对温度的依赖性增强。

## 参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Shi G Y. An accurate calculation and representation of the infrared transmission function of the atmospheric constituents[D]. Japan: Tohoku University of Japan, 1981: 14-58.
- [3] Fu Q, Liou K N. On the correlated k-distribution method for radiative transfer in nonhomogeneous atmospheres[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1992, 49(50): 2139-2156.
- [4] 石广玉. 大气辐射计算的吸收系数分布模式[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 659-676.
- [5] 张华, 石广玉. 一种快速高效的逐线积分大气吸收计算方法[J]. 大气科学, 2000, 24(1): 111-121.
- [6] 张华, 石广玉, 刘毅. 两种逐线积分辐射模式大气吸收的比较研究[J]. 大气科学, 2005, 29(4): 581-593.
- [7] 周秀骥, 陶善昌, 姚克亚. 高等大气物理学[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 723-724.
- [8] 廖国男. 大气辐射导论[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2004: 131-140.
- [9] Shi G Y, Zhang H. The relationship between absorption coefficient and temperature and their effect on the atmospheric cooling rate[J]. JQSRT, 2007, 105(3): 459-466.
- [10] 石广玉. 大气辐射学[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [11] Chou M D, Kouvaris L. Monochromatic calculations of atmospheric radiative transfer due to molecular line absorption[J]. J Geophys Res, 1986, 91: 4047-4055.
- [12] Lacis A A, Oinas V. A description of the correlated k distribution method for modeling nongray gaseous absorption thermal emission and multiple scattering in vertically inhomogeneous atmospheres[J]. J Geophys Res, 1991, 96: 9027-9063.
- [13] Rothman L S, Jacquemarta D, Barbe A, et al. The HITRAN 2004 molecular spectroscopic database[J]. Special Issue of the Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 2005, 96: 139-204.

# Study on the Temperature Dependence of $\text{CO}_2$ 15 Absorption Band

Li Cuina<sup>1</sup>, Zheng Youfei<sup>1</sup>, Shi Guangyu<sup>2</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, NUIST, Nanjing 210044, China;

2. State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Using HITRAN 2004, the updated molecular spectroscopic database, and an exact line-by-line integration, we take  $\text{CO}_2$  15 absorption bands as an example to discuss the temperature dependence of half width, the line intensity and absorption coefficient. In the case of 15 absorption band, it is found that temperature dependence of the absorption coefficient is mainly affected by the line intensity while the half width effect is not very important. The line intensity and absorption coefficient depend strongly on temperature in the wings of band; by contraries the dependence is relatively weak in the center of band.

**Key words:**  $\text{CO}_2$  15  $\mu\text{m}$  absorption band; temperature dependence; line-by-line integration