

# 大气二氧化碳对 CO<sub>2</sub> 激光辐射 各谱线的吸收\*

龚知本 吴际华

(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

## 提 要

本文给出了大气二氧化碳对 CO<sub>2</sub> 激光辐射各谱线吸收的计算公式,并利用标准大气资料计算了各谱线的吸收值。发现在 P 支谱线中, P(16) 线吸收最大;在 R 支谱线中, R(16) 线为最大。当转动量子数 J 大于或小于 16 时,吸收值随 J 值的增大或减小几乎成指数减小。为了验证计算公式的可靠性,在实验室中进行了模拟大气测量,其测量结果和理论计算结果具有较好的一致性。

## 一、引 言

大气二氧化碳对 CO<sub>2</sub> 激光辐射的吸收,不仅是 CO<sub>2</sub> 激光辐射在大气中衰减的重要因素,而且近来研究表明,在高功率 CO<sub>2</sub> 激光传输中,大气二氧化碳吸收将引起动力降冷<sup>[1-2]</sup>,从而导致高功率激光光束的聚焦作用<sup>[3]</sup>。因此,研究大气二氧化碳对 CO<sub>2</sub> 激光辐射的吸收仍然是一个十分重要的课题。

过去,曾有人就大气二氧化碳对 CO<sub>2</sub> 激光 P(20) 线的吸收进行了一些研究,给出了半经验公式<sup>[4]</sup>和近似计算公式<sup>[5]</sup>。目前常用的是文献[5]。然而,文献[5]只给出一、七两个月在标准大气情况下的近似计算公式,不能用于其他情形。另外,对于一般的 CO<sub>2</sub> 激光器件,不管是脉冲输出还是连续输出,如果不加特殊的选频装置,通常都是多谱线输出,而且也不一定是 P(20) 线输出最强。因此只给出 P(20) 线吸收公式是不够的。

本文试图采用较新的光谱资料,除了给出 P(20) 线吸收系数的较为普遍的计算公式外,还给出了 10.4 微米(00°1—10°0)振动带 P 支与 R 支各谱线吸收系数的计算公式。作为一个例子,我们采用标准大气模式,分别计算了它们的吸收率。

为了证实理论计算公式的正确性,在实验室中进行了模拟大气测量。

## 二、计算公式推导

当同时考虑多普勒加宽和碰撞加宽时,线中心吸收系数  $k_{\nu_0}$  为<sup>[6]</sup>

$$k_{\nu_0} = \frac{S}{\alpha_D} \left( \frac{\ln 2}{\pi} \right)^{1/2} \exp(a^2) \operatorname{erfc}(a) \text{ 厘米}^{-1} \quad (1)$$

式中, S 为积分线强度(单位为厘米<sup>-2</sup>),  $\alpha_D$  为多普勒半宽度(单位为厘米<sup>-1</sup>), 参数 a 定义

1979年6月4日收到修改稿。

\* 本文实验部分由华东师范大学物理系完成,并提供实验资料。

为

$$a = \left[ \frac{\alpha_N + \alpha_L}{\alpha_D} \right] (\ln 2)^{1/2} \quad (2)$$

其中  $\alpha_N$  为自然半宽度;  $\alpha_L$  为洛伦兹线形半宽度; 单位均为厘米<sup>-1</sup>。一般  $\alpha_N \ll \alpha_L$ , 所以  $\alpha_N$  可以忽略。  $\alpha_D$  为

$$\alpha_D = \frac{\nu_0}{c} \left( \frac{2kT \ln 2}{M} \right)^{1/2} \quad (3)$$

式中  $\nu_0$ 、 $c$ 、 $k$ 、 $T$  和  $M$  分别为线中心频率(单位为厘米<sup>-1</sup>)、光速、玻尔兹曼常数、绝对温度和 CO<sub>2</sub> 分子的质量。

根据分子碰撞理论与实验修正, 洛伦兹半宽度可写为

$$\alpha_L = \alpha_{L_0} [P + (B - 1)p_{\text{CO}_2}] \left[ \frac{T_0}{T} \right]^{0.58} \quad (4)$$

式中  $P$  为大气的压力(单位为大气压),  $p_{\text{CO}_2}$  为 CO<sub>2</sub> 气体的分压力(单位为大气压),  $B$  为自加宽系数,  $\alpha_{L_0}$  是一个大气压下温度为  $T_0$  时的洛伦兹半宽度(单位为厘米<sup>-1</sup>大气压<sup>-1</sup>)。由于在实际大气中 CO<sub>2</sub> 含量很少, 所以在实际大气中可以忽略  $(B - 1)p_{\text{CO}_2}$  项。这样式(4)变为

$$\alpha_L = \alpha_{L_0} P \left( \frac{T_0}{T} \right)^{0.58} \quad (5)$$

式(1)中的  $S$  为

$$S = S_{lu} p_{\text{CO}_2}, \quad (6)$$

其中  $S_{lu}$  可写成如下形式<sup>[6]</sup>

$$S_{lu} = \frac{1}{8\pi\nu_{lu}^2 p_{\text{CO}_2}} N_l A_{u \rightarrow l} \frac{g_u}{g_l} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h\nu_{lu}}{kT}\right) \right], \quad (7)$$

这里  $S_{lu}$  是压力归一化的积分线强度(单位为厘米<sup>-2</sup>大气压<sup>-1</sup>);  $c$  是光速;  $N_l$  是低能态单位体积内的分子数;  $A_{u \rightarrow l}$  是爱因斯坦自发发射系数;  $g_u$  和  $g_l$  分别为高能态和低能态的统计权重;  $h$  是普朗克常数;  $\nu_{lu}$  是跃迁频率。

在大气情况下,  $h\nu \gg kT$ , 所以式(7)可简化为

$$S_{lu} = \frac{c}{8\pi\nu_{lu}^2 p_{\text{CO}_2}} N_l A_{u \rightarrow l} \frac{g_u}{g_l} \quad (8)$$

根据麦克斯韦-玻尔兹曼分布, 式(8)中的  $N_l$  为

$$N_l = \frac{N_T g_l}{Q(T)} \exp\left(-\frac{E_l}{kT}\right) \quad (9)$$

其中  $N_T$  为单位体积内的分子总数;  $Q(T)$  为配分函数, 其值可取自文献[7];  $E_l$  为低能态能量, 它可用 Drayson<sup>[8]</sup> 给出的分子振动和转动常数从下述方程计算而得

$$E_l(T) = 1388.185 + 0.390188J(J+1) + 11.42 \times 10^8 J^2(J+1)^2 \text{ 厘米}^{-1} \quad (10)$$

这里  $J$  为转动量子数。

在实验室中, 给出的  $S_0$  值是在某一温度  $T_0$  和吸收气体压力为一个大气压的积分线强度(单位为厘米<sup>-2</sup>大气压<sup>-1</sup>)。根据式(8), 温度为  $T$  时的  $S_{lu}$  值为

$$S_{lu} = S_0 \frac{N_l(T)}{N_l(T_0)} \quad (11)$$

根据文献[2]给出的资料, 大气中 CO<sub>2</sub> 气体的混合比随高度变化不大, 因此可以合理地假定

$$P_{\text{CO}_2} = xP, \quad (12)$$

式中  $x$  是混合比常数。

将式(2)、(5)、(6)、(9)、(10)、(11)和(12)代入式(1), 即可得到大气中 CO<sub>2</sub> 对 CO<sub>2</sub> 激光辐射吸收系数的计算公式

$$k_{\nu_0} = A_1 x P T^{-3/2} \frac{1}{Q(T)} \exp \left[ A_2 - \frac{A_3}{T} \right] \times \exp [A_4 P^2 T^{-1.06}] [1 - \operatorname{erf}(A_4 P T^{-1.06})] \text{厘米}^{-1} \quad (13)$$

式中

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{S_0 T_0 Q(T_0)}{\frac{\nu_0}{c} \left( \frac{2k\pi}{M} \right)^{1/2}} \text{ (大气压}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{1/2} \text{ 厘米}^{-1}\text{)} \\ A_2 &= \frac{E_l}{kT_0} \\ A_3 &= \frac{E_l}{k} (^\circ\text{K}) \\ A_4 &= \frac{\alpha_{L_0} T_0^{0.58}}{\frac{\nu_0}{c} \left( \frac{2k}{M} \right)^{1/2}} \text{ (大气压}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{1.06}\text{)} \end{aligned} \quad (14)$$

式(13)即为用于计算大气 CO<sub>2</sub> 对 CO<sub>2</sub> 激光辐射各谱线吸收的普遍公式, 对于不同的谱线, 参数  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  和  $A_4$  有不同的值。

### 三、光谱参数的选择

从上面的计算公式可以看出, 为了计算各吸收谱线的吸收系数, 必须给出各谱线的  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  和  $A_4$  四个参数的具体数值。对于  $A_2$  和  $A_3$ , 只要根据公式(10)计算出各谱线的  $E_l(J)$  值就可求得。然而在求  $A_1$  和  $A_4$  值时, 还必须分别给出各谱线的积分线强度  $S_0$  以及洛伦兹半宽度  $\alpha_{L_0}$ 。下面我们分别加以讨论。

(1) 各谱线积分线强度的选择 在 10.4 微米带中, 目前研究比较多的只是 P(20) 线的积分线强度。各种测量方法<sup>[9-12]</sup>所测得的结果都相当一致。为此对于 P(20) 线, 根据其测量值, 选取 300°K 时的  $S_0^{30}$  值为  $5.50 \times 10^{-4}$  厘米<sup>-2</sup> 大气压<sup>-1</sup><sup>[13]</sup>。对于其他谱线, 我们采用类似于文献[13]的方法计算而得。即把 CO<sub>2</sub> 看作刚性线形分子, 这时  $A_{n \rightarrow l}$  为

$$A_{n \rightarrow l} \propto \frac{\nu_{ln}^3}{g_n} |m|, \quad (15)$$

对于 P 支谱线,  $m = -J$ , 对于 R 支谱线,  $m = J + 1$ 。将式(15)和(9)代入式(8), 可得同一带中任意两谱线积分强度之比为

$$\frac{S_0^{n_1}}{S_0^{n_2}} = \frac{\nu_{n_1}}{\nu_{n_2}} \cdot \frac{|m_1|}{|m_2|} \exp \left\{ -\frac{1}{kT} [E_l(J_1) - E_l(J_2)] \right\}, \quad (16)$$

其中  $\nu_n$  是第  $n$  条转动谱线的频率。利用式(16)和上面所选定的 P(20) 线积分线强度, 就

可计算出 10.4 微米带 P(40) 和 R(40) 间各谱线的强度 [见表(1)], 其中各谱线的频率取自文献[14].

表 1 300K 时  $\text{CO}_2$  10.4 微米带各谱线的积分线强度  $S_0$  (厘米 $^{-1}$ 大气压 $^{-1}$ )

| 谱 线   | $S_0 \times 10^4$ | 谱 线   | $S_0 \times 10^4$ | 谱 线   | $S_0 \times 10^4$ |
|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|
| P(40) | 1.10              | P(12) | 5.45              | R(16) | 6.36              |
| P(38) | 1.41              | P(10) | 4.96              | R(18) | 6.23              |
| P(36) | 1.77              | P(8)  | 4.27              | R(20) | 5.97              |
| P(34) | 2.18              | P(6)  | 3.39              | R(22) | 5.57              |
| P(32) | 2.64              | P(4)  | 2.35              | R(24) | 5.08              |
| P(30) | 3.14              | P(2)  | 1.21              | R(26) | 4.39              |
| P(28) | 3.67              | R(0)  | 0.616             | R(28) | 3.97              |
| P(26) | 4.19              | R(2)  | 1.83              | R(30) | 3.41              |
| P(24) | 4.69              | R(4)  | 2.97              | R(32) | 2.87              |
| P(22) | 5.14              | R(6)  | 4.00              | R(34) | 2.57              |
| P(20) | 5.50              | R(8)  | 4.87              | R(36) | 1.93              |
| P(18) | 5.73              | R(10) | 5.54              | R(38) | 1.54              |
| P(16) | 5.83              | R(12) | 5.97              | R(40) | 1.22              |
| P(14) | 5.74              | R(14) | 6.28              |       |                   |

(2) 洛伦兹半宽度  $\alpha_L$  的确定 到目前为止,除了个别谱线之外,大多数谱线的洛伦兹半宽度  $\alpha_L$  都缺少实测值。因此,我们通过如下关系式来计算  $\alpha_L$  值

$$\alpha_{L_0}^{\text{CO}_2} = \frac{\alpha_{L_0}^{\text{CO}_2}}{B} \quad (17)$$

其中  $\alpha_{L_0}^{\text{CO}_2}$  是  $\text{CO}_2$  的自加宽半宽度, B 是自加宽系数。

关于  $\text{CO}_2$  10.4 微米带的各谱线的自加宽半宽度,目前已有不少工作<sup>[13,15-17]</sup>。虽然不同的工作者给出的自加宽半宽度值差别较大,但不同的工作者在纯  $\text{CO}_2$  中测得的比值  $S^m/\alpha_{L_0}^{\text{CO}_2}$  却有较好的一致性。为此,我们可以根据上面确定的线强度和测得的比值  $S^m/\alpha_{L_0}^{\text{CO}_2}$  分别决定其自加宽半宽度  $\alpha_{L_0}^{\text{CO}_2}$ 。图 1 表示  $\alpha_{L_0}^{\text{CO}_2}$  随转动量子数的关系,图

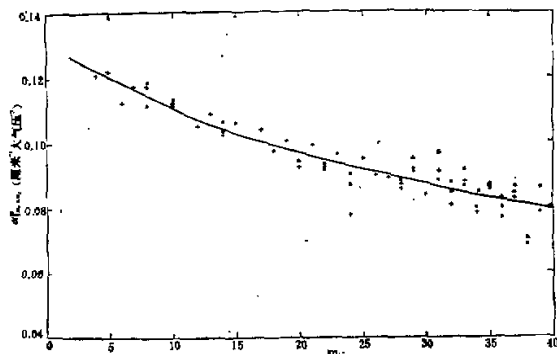


图 1 300°K 时  $\text{CO}_2$  10.4 微米带自加宽半宽度与转动量子数的关系。“.”、“△”和“+”分别表示用文献[17]、[13]和[16]给出的  $S^m/\alpha_{L_0}^{\text{CO}_2}$  值所计算的结果。

中的曲线是几个工作的统计平均, 由此曲线我们可以得到各谱线的自加宽半宽度值。对于 P(20) 线, 我们从曲线得出在 300°K 时  $\alpha_{P(20), CO_2}^0$  为 0.0975 厘米<sup>-1</sup>大气压<sup>-1</sup>, 这与最近利用可调谐激光测得的结果 (0.0960 ± 2% 厘米<sup>-1</sup>大气压<sup>-1</sup>) 十分一致<sup>[18]</sup>。

从原则上讲, 在式 (17) 中的自加宽系数 B 值将随转动量子数的变化而有所变化。但最近的实验研究表明<sup>[17]</sup>, 在我们所考虑的转动量子数范围内 (J ≤ 40), B 值的变化并不明显。因此, 在目前尚缺乏 B 值随转动量子数变化的精确资料情形下, 我们可以假定 B 值随转动量子数不变, 取所有谱线的自加宽系数为 1.2<sup>[19]</sup>。虽然此值比最近的测量结果<sup>[17, 18]</sup>偏小些, 但模拟实际大气测量, 证明此值似乎是合理的 (见下节)。

根据上述所确定的参数以及式 (14), 我们完全求得了从 R(40) 到 P(40) 所有谱线的  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  和  $A_4$  值。

#### 四、实验室测量

为了对上述给出的公式能在实验室进行实验验证, 我们提出了所谓模拟实际大气 CO<sub>2</sub> 吸收的等效距离方法。这个方法的基本思想如下。

设信号光束通过吸收池的光程长度为 L, 吸收池中 CO<sub>2</sub> 的气压为  $p_{CO_2}$ , 氮的气压为  $p_{N_2}$ , 则根据式 (13) 在碰撞加宽下的近似式, 得信号光束通过吸收池的透过率为\*

$$\mathcal{T} = \exp \left\{ \frac{A_1 p_{CO_2} T^{-0.42}}{p_{N_2} + B p_{CO_2}} \cdot \frac{\exp \left[ A_2 - \frac{A_3}{T} \right]}{A_4 \sqrt{\pi} Q(T)} \right\} L. \quad (18)$$

在实际大气中,  $\kappa$  值为  $3.30 \times 10^{-4}$ , 则大气中同样温度下近地面水平传输距离为  $L'$  的透过率应为

$$\mathcal{T}' = \exp \left\{ -3.30 \times 10^{-4} A_1 T^{-0.42} \frac{\exp \left[ A_2 - \frac{A_3}{T} \right]}{A_4 \sqrt{\pi} Q(T)} \right\} L'. \quad (19)$$

比较式 (18) 和式 (19), 则得

$$L' = \frac{10^4}{3.30} \cdot \frac{p_{CO_2}}{p_{N_2} + B p_{CO_2}} L. \quad (20)$$

如上所述, 其中 B 取 1.2,  $L'$  称为吸收池光程 L 等效于实际大气中的水平传输距离, 即等效距离。

在式 (20) 中,  $L$  可以根据光束在吸收池内的反射次数来确定。如果测量出吸收池内的 CO<sub>2</sub> 气压和氮气压, 按照式 (20) 就可求出等效距离  $L'$ 。与此同时, 测量出此种状态下的透过率。这样, 我们可得到各种不同等效距离所对应的透过率。

上海师范大学物理系光学组按照我们提出的方案进行了模拟实验, 他们采用 10 米长的怀特型光学系统的吸收池配合光栅分光光度计, 分别对 CO<sub>2</sub> 激光辐射各谱线进行了吸收测量。其测量误差小于 5%。

图 2—5 分别表示实验室温度为 291°K 时 P(16) 线, 290°K 时 P(20) 线, 296°K 时

\* 由于做实验验证时, 吸收池内的气压都大于 50 毫巴, 因此只考虑碰撞加宽就够了。

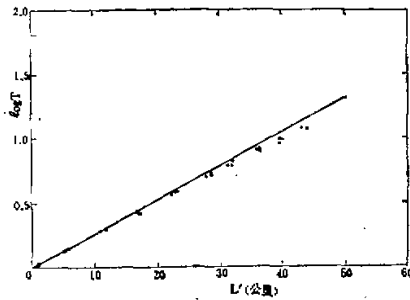


图 2 P(16) 线温度 291°K 时等效距离与透过率的关系。

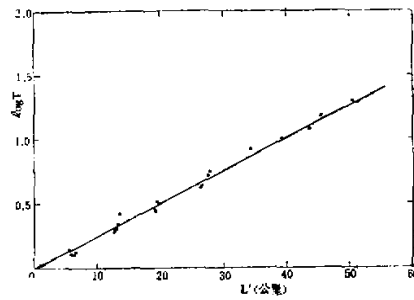


图 3 P(20) 线温度 290°K 时等效距离与透过率的关系。

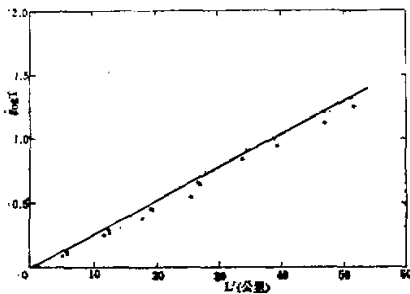


图 4 P(24) 线温度 296°K 时等效距离与透过率的关系。

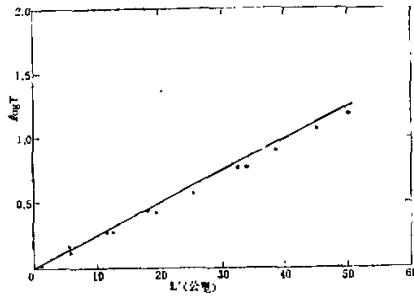


图 5 R(12) 线温度 291°K 时等效距离与透过率的关系。

P(24) 线以及 291°K 时 R(12) 线的不同等效距离的吸收测量结果。图中的实践是根据满足洛伦兹线形的吸收计算公式获得的。从图可见，理论计算结果与实验测量结果相当一致。

## 五、计算实例

根据式(13),只要知道温度和压力随高度的分布以及  $\text{CO}_2$  的混合比,即可求得各高度上的吸收系数  $k_i$  值。

令  $\mathcal{A}_v$  为大气  $\text{CO}_2$  对  $\text{CO}_2$  激光辐射某一谱线的吸收值,则对于从地面至高度  $z$  的垂直光程。

$$\mathcal{A}_v = 1 - \exp \left[ - \int_0^z k_i dz \right]. \quad (21)$$

式(21)可用分层计算方法进行计算,即近似为

$$\mathcal{A}_v = 1 - \exp \left[ - \sum_{i=1}^n \bar{k}_i \Delta z_i \right] \quad (22)$$

其中  $\bar{k}_i$  和  $\Delta z_i$  分别为第  $i$  层的平均吸收系数和层厚度。同样,透过率  $\mathcal{T}$  和衰减分贝数  $\sigma_v$  应为

$$\mathcal{T}_\nu = \exp \left[ - \sum_{i=1}^n \bar{k}_i \Delta x_i \right], \quad (23)$$

$$\sigma_\nu = 10 \times 0.4343 \sum_{i=1}^n \bar{k}_i \Delta x_i. \quad (24)$$

在计算斜程衰减时,假定各高度上的水平方向均匀。若斜程作用距离为  $l$ ,则  $0-l$  之间的衰减(以分贝数表示)为

$$\sigma_{\nu,l} = 10 \times 0.4343 \times \sec \theta \sum_{i=1}^n \bar{k}_i \Delta x_i. \quad (25)$$

利用上面推导的公式,根据文献[20]给出的中纬度一、七月份标准大气资料,计算了大气  $\text{CO}_2$  对  $\text{CO}_2$  激光辐射各谱线的吸收。图 6—7 分别表示一、七月份作用距离为 60 公里时,垂直方向上大气  $\text{CO}_2$  的吸收与谱线的关系。从图中可以看出, P 支谱线中 P(16) 的吸收为最大, R 支谱线中 R(16) 为最大。当转动量子数大于或小于 16 时,吸收值都随着转动量子数的增大或减小而几乎成指数下降。例如,大气  $\text{CO}_2$  对  $\text{CO}_2$  P(32) 线激光辐射的吸收约为 P(16) 线的三分之一。同时,大气  $\text{CO}_2$  对 R 支谱线的吸收要比与之相对应的 P 支谱线大。

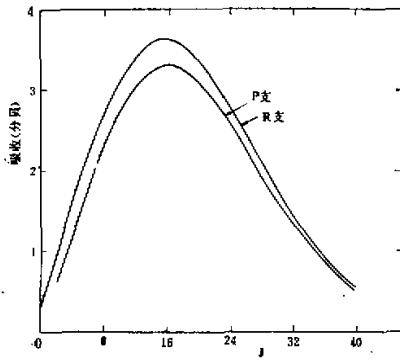


图 6 对于中纬度夏天 0—60 公里垂直光程,大气  $\text{CO}_2$  吸收与 10.4 微米  $\text{CO}_2$  激光辐射谱线的关系。 $\text{CO}_2$  的混合比取  $3.3 \times 10^{-4}$ 。

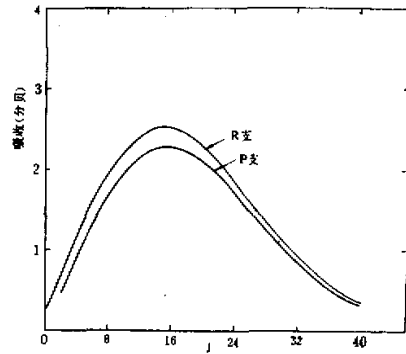


图 7 对于中纬度冬天 0—60 公里垂直光程,大气  $\text{CO}_2$  吸收与 10.4 微米  $\text{CO}_2$  激光辐射谱线的关系。 $\text{CO}_2$  的混合比取  $3.3 \times 10^{-4}$ 。

## 六、结 论

综合上述给出的理论计算公式以及模拟大气测量,可以得出如下几点结论:

(1) 上面给出的计算公式得到了实验的初步验证,这说明我们所采用的光谱参数是合理的。文中给出的计算公式能很方便地用于预计大气  $\text{CO}_2$  对  $\text{CO}_2$  激光辐射各谱线的吸收;

(2) 大气  $\text{CO}_2$  的吸收与  $\text{CO}_2$  激光器所发射的激光谱线有密切关系。我们发现在 P 支谱线中 P(16) 吸收最大,在 R 支谱线中 R(16) 线为最大。当转动量子数  $J$  大于或小于 16 时,吸收值随  $J$  值的增大或减小几乎成指数减小;

(3) 就一般而言, 大气  $\text{CO}_2$  对 R 支谱线的吸收要比与之相对应的 P 支谱线大, 例如 P(16) 线的吸收约为 R(16) 线的十分之九;

(4) 在长距离大气传输中, 就大气衰减而言, 大气  $\text{CO}_2$  对  $\text{CO}_2$  激光辐射的吸收是一个重要的因子, 它是不可忽略的。

### 参 考 文 献

- [1] Wood, A. D. Camac, M. and Gerry, E. T. *Appl. Opt.*, 10, 1877 (1971).
- [2] Gebhardt, F. G. and Smith, D. C., *Appl. Phys. Lett.*, 20, 129 (1972).
- [3] Wallace, J. and Camac, M., *POSA*, 60, 1387 (1970).
- [4] Stephenson, J. C. et al., *Appl. Phys. Lett.*, 11, 164 and 399 (1967).
- [5] Yin, P. K. L. and Long, R. K., *Appl. Opt.*, 7, 1551 (1968).
- [6] Penner, S. S., *Quantitative Molecular Spectroscopy and Gas Emissivities*. Addison Wesley, Reading Mass., (1959).
- [7] Gray, L. O. et al., *JQSRT*, 5, 291 (1965).
- [8] Drayson, S. R., "Atmospheric Radiative Transfer by Carbon Dioxide" in Conf. on Atmospheric Radiation, 7-9 Aug. 1972, Ft. Collins Colo. (AMS, Boston, 1972), p. 77.
- [9] Rossetti, C. et al., *Compt. Rend.*, 262 B, 1199 (1966).
- [10] McCoy, J. H. and Long, R. K., *Appl. Opt.*, 8, 834 (1969).
- [11] McCubbin, T. K. and Mooney, T. R., *JQSRT*, 8, 1255 (1968).
- [12] Drayson, S. R. and Young, C., *JQSRT*, 7, 993 (1967).
- [13] Devir, A. D. and Oppenheim, O. P., *Appl. Opt.*, 8, 2121 (1969).
- [14] Chang, T. Y., *Opt. Commun.*, 2, 77 (1970).
- [15] Young, C. et al., *Appl. Phys. Lett.*, 20, 278 (1972).
- [16] Arie, E. et al., *Can. J. Phys.*, 50, 1800 (1972).
- [17] Young, C. and Chapman, R. E., *JQSRT*, 14, 679 (1974).
- [18] Abrams, B. L., *Appl. Phys. Lett.*, 25, 609 (1974).
- [19] Burch, D. E. et al., *JOSA*, 59, 267 (1969).
- [20] McClatchey, R. A. et al., "Optical Properties of the Atmosphere", AD 715270 (1970).

## ATMOSPHERIC $\text{CO}_2$ ABSORPTION OF EACH SPECTRAL LINE OF $\text{CO}_2$ LASER RADIATION

Kung Chih-pen, Wu Ji-hua

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Hefei Branch of the Chinese Academy of Sciences)

### Abstract

The formula of the absorption of each spectral line of  $\text{CO}_2$  laser radiation by atmospheric  $\text{CO}_2$  are given. The absorptivity at each line is calculated for the standard atmosphere. It is found that the maximum absorptions are at P(16) and R(16) of P branch and R branch, respectively.

When the rotational quantum number  $J$  is greater or smaller than 16, the absorptivity almost exponentially decreases with the increase or decrease of the  $J$ . In order to validate the reliability of the formula, a simulation measurement of absorption coefficient is carried out in the laboratory. The experimental results are in excellent agreement with the theoretical calculation.