

选支 CO 激光 86 条发射谱线大气 透过率的研究

孔琴心 张 文 王庚辰

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文给出了用实验方法得到的 5.3—6.3 微米范围内 CO 激光的 86 条谱线大气衰减系数的研究结果,简单地介绍了实验装置并对结果进行了讨论。分析表明,这一范围内的激光谱线在大气传输过程中主要受到水汽的衰减。各谱线大气衰减系数的实验值和相应的计算值之间存在着不同程度的差异,是由于水汽的共振吸收频率和激光发射频率之间的差异以及计算时采用 Lorentz 线型所引起的。在用 CO 激光监测大气微量气体或污染气体时,必须根据实际大气状况,进行必要的水汽订正。

一、引 言

选支 CO 激光器在 4.8—6.5 微米间有丰富的跃迁谱线^[1]。这些谱线中,有的处在大气透明区范围内,有的却与某些大气固有成份或一些大气污染和微量气体的吸收谱线相吻合。因此,研究 CO 激光器各支线在大气中的传输特性,对于 CO 选支激光器谱线的选择,对于研究大气分子光谱以及开展它在环境监测和微量气体分析中的应用都具有重要的实际意义^[2,3]。国内,CO 选支激光器于七十年代末问世,目前正处于发展和推广阶段。本文介绍了实验室内利用长光程吸收池进行选支 CO 激光器某些谱线大气透过率测量的实验装置,给出了室温 5.3—6.3 微米 CO 选支激光器 86 条发射谱线在常温常压情况下大气透过率的实验资料,并对实验结果进行了分析、讨论。

二、实验装置和实验方法

整个实验装置由激光源、外光路系统、样品吸收池和接收、放大、记录系统四部分组成,见图 1。

激光源 采用国产 XZJ-1 型 CO 选支激光器^[4]作为光源,它由激光管、光栅调谐台和隐流源组成。激光管内工作气体气份比是 CO:Xe:He = 1:1.5:17.5;总压 $P = 28$ 托。通过旋转手轮使光栅转动以调谐输出波长。室温状态下,该激光器在波长 5.3—6.3

1981 年 10 月 14 日收到初稿,1981 年 12 月 23 日收到修改稿。

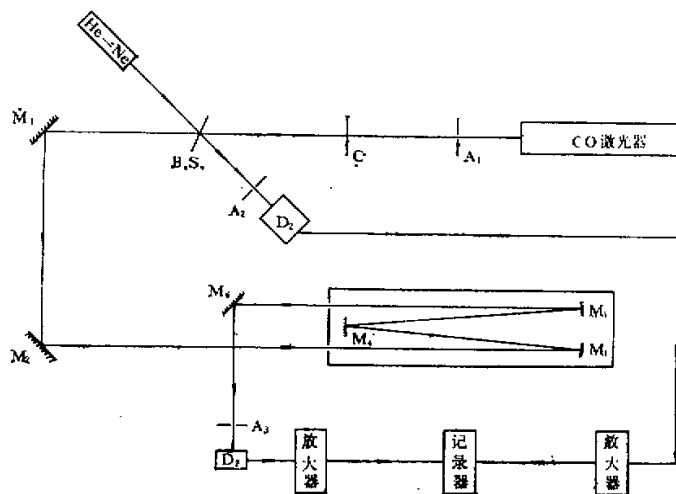


图 1 实验装置。

微米之间的可调谐谱线数目约为 93 条,单支强线功率大于 1 瓦。

外光路系统 外光路系统包括一块 KRS-5 晶体光束分裂器 B. S., 滤波器 C, 三块平面镜 M_1, M_2, M_3 , 一台 6328 埃 He-Ne 激光器和限制光阑 A_1, A_2, A_3 等,其排列分布情况参见图 1. XZJ 激光器发射的激光,经过光束分裂器 B. S. 后,一小部分被反射直接到达接收器 D_2 , 作为监测光束;大部分透射,经转镜 M_1 和 M_2 进入吸收池 L,在池内光束经若干次反射后,再经平面镜 M_6 到达接收器 D_1 , 构成测量光束. He-Ne 激光器位于光束分裂器的另一侧,用以导光。

样品吸收池 使用的样品池系本所研制的 White 型多次反射吸收池^[5], 池长 3 米,通过专门的调节机构可以改变 He-Ne 激光在凸型镜 M_4 上的像点数目,从而可以在 12—300 米之间选择不同的光程. 池窗是 KBr 晶体片. 样品池配有压力,真空测试系统和样品输送系统。

接收、放大、记录系统 信号光束和监测光束接收器分别为浸没型铍化镉和热敏电阻探测器. 为保证两光束来自光源的同一块光斑,在光束输出口附近放置了一个 $\phi 1$ 毫米的光阑,调整光阑孔径的大小亦可起到调节输出能量的作用. 两台 FDG-2 型 13 周固定频率放大器分别使信号和监测光束能量得到相应的放大,13 周机械调制盘靠近光源发射端,这样可以减少背景热辐射影响,增强信噪比. 来自两个接收器的信号经放大后同时送入双笔自动平衡记录仪。

为了提高测量精度,消除光路中某些不稳定因素对测量结果的影响,测量采用了双光路比值法,即首先将样品池抽真空,并分别记录监测光路和测量光路在选择几个不同程长情况下的信号强度,然后将实际大气充进样品池,再次记录两束光在所选择光程情况下的信号强度. 测量过程中,对大气温度、湿度及大气中的粒子浓度进行了监测。

三、结果和讨论

根据前节描述的实验方法,在样品池处于真空时,某一时刻记录到的测量光路和监测光路的信号强度 $I_{1,\nu}$ 和 $I_{2,\nu}$ 可分别记为:

$$I_{1,\nu} = I_{0,\nu} \cdot \tau_{\nu} \cdot A_1 \cdot P_1 \cdot K_1 \quad (1)$$

$$I_{2,\nu} = I_{0,\nu} \cdot R_{\nu} \cdot A_2 \cdot P_2 \cdot K_2 \quad (2)$$

当样品池内充有大气时,两光束的信号强度变为 $I'_{1,\nu}$ 和 $I'_{2,\nu}$, 并记为:

$$I'_{1,\nu} = I'_{0,\nu} \cdot \tau_{\nu} \cdot A_1 \cdot P_1 \cdot K_1 \cdot T \quad (3)$$

$$I'_{2,\nu} = I'_{0,\nu} \cdot R_{\nu} \cdot A_2 \cdot P_2 \cdot K_2 \quad (4)$$

(1)–(4)式中, $I_{0,\nu}$ 为谱线 ν 的瞬时辐射强度, R 和 τ 分别是光束分裂器的反射率和透过率, A 是反映光路中能量损失的系数, P 是反映探测器光谱响应特征的系数, K 是反映放大、记录系统特性的系数,脚码 1 和 2 分别表示测量光路和监测光路, T 是样品池中实验介质的透过率。根据测量结果,由 (1)–(4) 式可直接得到 T 值。图 2 是几条谱线在不同路径情况下,大气透过率测量结果的典型实例。为便于比较和应用,我们将所测谱线的透过率值都归算到路径为 1 公里和水汽含量为 0.35 克/厘米³ 的中纬度冬季模式大气的情况^[6], 并以大气衰减系数 α 的形式将归算结果列于表 1 中。为比较起见,表中还列出了各谱线波长及其附近跃迁波长的相应计算结果^[3,7]。对实验结果的误差分析表明,表 1 中给出的诸谱线大气衰减系数的相对误差一般在 10% 以内。

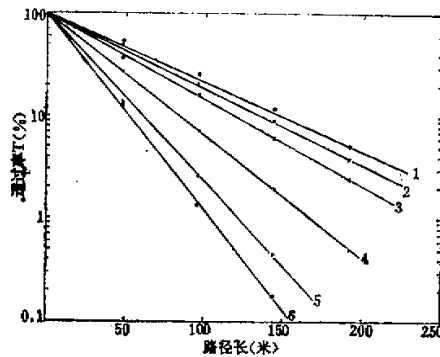


图 2 大气透过率随路径变化的典型实例。

1.1821.63 厘米⁻¹, 2.1834.59 厘米⁻¹, 3.1809.43 厘米⁻¹,
4.1847.13 厘米⁻¹, 5.1817.75 厘米⁻¹, 6.1842.81 厘米⁻¹,
水汽含量: 1 克/厘米³。

对本实验结果的分析表明:

(1) 在 5.3–6.3 微米范围内, XZJ-1 型 CO 选支激光器各谱线的大气衰减是严重的, 由表 1 可见, 即使对于中纬度冬季大气模式而言, 大气衰减系数小于 4.6(1/公里) (即透过率大于 0.01) 的谱线仅有 8 条。Long 等人计算了 CO 激光低振动带跃迁 (5–4 至

表 1 CO 激光 86 条发射谱线的大气衰减系数 α

序号	振动—转动跃迁	波长 (厘米 ⁻¹)	测量 α (公里 ⁻¹)	计算波长 (厘米 ⁻¹)	计算 α (公里 ⁻¹)
1	P 21—20(16)	1573.515	37.09		
2	P 20—19(22)	1575.200	26.80		
3	P 20—19(21)	1579.055	116.19		
4	P 20—19(20)	1582.880	11.58		
5	P 21—20(12)	1587.907	6.54		
6	P 20—19(18)	1590.457	12.52		
7	P 19—18(23)	1595.609	37.38		
8	P 20—19(16)	1597.927	11.92		
9	P 19—18(22)	1599.488	6.59		
10	P 20—19(15)	1601.614	6.65	1601.804	5.33
11	P 19—18(21)	1603.386	11.86		
12	P 20—19(14)	1605.265	7.71	1605.278	2.68
13	P 19—18(20)	1607.252	7.78		
14	P 19—18(19)	1611.084	21.81		
15	P 20—19(12)	1612.487	11.85	1612.480	8.65
16	P 19—18(18)	1614.909	38.68		
17	P 19—18(17)	1618.699	35.59		
18	P 20—19(10)	1619.564	23.20	1619.572	20.4
19	P 19—18(16)	1622.455	146.01		
20	P 19—18(15)	1626.175	22.42	1626.182	17.5
21	P 19—18(14)	1629.862	12.94	1629.915	11.3
22	P 18—17(20)	1631.721	16.67		
23	P 20—19(6)	1633.313	26.64	1633.309	28.3
24	P 19—18(11)	1640.743	23.31	1640.752	20.6
25	P 18—17(17)	1643.272	19.58		
26	P 19—18(10)	1644.277	24.60	1644.288	32.5
27	P 18—17(16)	1647.067	163.87		
28	P 18—17(15)	1650.819	70.02	1650.810	74.2
29	P 17—16(20)	1656.260	61.16		
30	P 17—16(19)	1660.164	14.25		
31	P 16—15(25)	1660.628	19.44	1660.628	16.82
32	P 16—15(24)	1664.724	24.05	1664.742	16.63
33	P 17—16(17)	1667.918	66.70		
34	P 16—15(22)	1672.884	35.93	1672.874	27.42
35	P 16—15(21)	1676.896	32.39	1676.893	29.15
36	P 17—16(14)	1679.306	32.30	1679.293	31.2
37	P 15—14(23)	1680.983	56.08	1680.987	47.53
38	P 16—15(18)	1688.761	53.24	1688.758	43.23
39	P 15—14(23)	1693.423	27.94	1693.431	27.88
40	P 14—13(28)	1697.053	160.43	1697.053	118.43
41	P 15—14(21)	1701.577	183.92	1701.571	148.16
42	P 15—14(20)	1705.582	59.36	1705.593	61.32
43	P 16—15(13)	1707.884	29.03	1707.888	19.61
44	P 14—13(25)	1709.782	31.12	1709.789	35.44
45	P 15—14(18)	1713.532	23.09	1713.541	36.89

表 1 (续)

序号	振动—转动跃迁	波长 (厘米 ⁻¹)	测量 α (公里 ⁻¹)	计算波长 (厘米 ⁻¹)	计算 α (公里 ⁻¹)
46	P 16—15(10)	1718.977	65.69	1718.980	34.20
47	P 15—14(16)	1721.378	19.51	1721.374	17.70
48	P 14—13(22)	1722.238	23.09	1722.245	36.89
49	P 14—13(21)	1726.341	11.34	1726.334	6.67
50	P 15—14(14)	1729.058	18.13	1729.056	17.40
51	P 15—14(13)	1732.862	151.26	1732.853	142.00
52	P 15—14(12)	1736.624	32.11	1736.636	25.70
53	P 14—13(18)	1738.405	32.86	1738.410	27.30
54	P 14—13(17)	1742.373	28.91	1742.371	21.93
55	P 14—13(15)	1750.210	44.23	1750.205	33.50
56	P 14—13(14)	1754.078	11.90	1754.055	11.16
57	P 13—12(20)	1755.279	10.97	1755.274	8.89
58	P 12—11(25)	1759.293	10.90	1759.285	8.61
59	P 12—11(24)	1763.544	13.33	1763.539	11.20
60	P 13—12(17)	1767.363	26.56	1767.359	18.47
61	P 12—11(22)	1771.950	127.23	1771.952	129.70
62	P 13—12(15)	1775.253	49.62	1775.248	44.50
63	P 12—11(20)	1780.246	53.29	1780.239	50.25
64	P 11—10(25)	1784.153	14.09	1784.156	14.05
65	P 12—11(18)	1788.397	19.09	1788.398	22.89
66	P 11—10(22)	1796.912	44.78	1796.928	57.16
67	P 11—10(21)	1801.120	25.07	1801.122	35.86
68	P 11—10(20)	1805.282	13.87	1805.285	20.18
69	P 11—10(19)	1809.431	6.77	1809.416	6.37
70	P 11—10(18)	1813.533	2.82	1813.514	1.90
71	P 10—9(23)	1817.752	12.32	1817.722	10.38
72	P 11—10(16)	1821.626	4.35	1821.623	2.78
73	P 10—9(21)	1826.217	18.13	1826.213	15.80
74	P 11—10(14)	1829.592	126.84	1829.605	90.10
75	P 10—9(19)	1834.593	5.17	1834.577	3.15
76	P 10—9(18)	1838.708	4.37	1838.710	2.98
77	P 9—8(23)	1842.808	14.17	1842.812	15.57
78	P 9—8(22)	1847.131	9.52	1847.118	9.89
79	P 9—8(21)	1851.372	0.99	1851.382	1.03
80	P 9—8(20)	1855.632	1.05	1855.615	0.59
81	P 9—8(19)	1859.842	6.76	1859.816	6.32
82	P 8—7(24)	1863.655	3.05	1863.634	1.23
83	P 9—8(17)	1868.146	166.98	1868.118	137.00
84	P 8—7(22)	1872.344	2.54	1872.329	2.02
85	P 8—7(21)	1876.630	7.07	1876.629	7.18
86	P 8—7(20)	1880.901	0.80	1880.897	0.35

1—0) 各频率的大气衰减系数^[6], 在这些频率范围内有 17 条谱线的衰减系数小于 0.3(1/公里), 可见, 从大气传输角度考虑, 发展具有低于 6—5 跃迁谱线的选支激光器是很有前途的。

(2) 在 5.3—6.3 微米范围内, 大气衰减因子有 H_2O , CO_2 , NO , NO_2 , N_2O , CO 等气体及各类气溶胶粒子。中心位于 6.27 微米的水汽 ν_2 带在这一波区范围内有丰富的吸收线^[9], 尽管这些吸收线的位置绝大多数和 CO 激光发射谱线的频率都不完全重合, 但由于它们的密集和线翼效应而使得 CO 激光器各谱线都受到不同程度的衰减。大气中的气溶胶粒子在这一波区具有连续衰减效应, 对这种效应的定量估计需要考虑大气的实际状况, 尤其是气溶胶粒子的浓度、谱分布及其组分等因子。对于晴朗大气 (水平能见度为 23 公里) 和霾雾大气 (水平能见度为 5 公里) 这两种典型大气而言, 5.3—6.3 微米范围内各谱线的气溶胶衰减系数的变化范围分别为 0.025—0.022 (公里⁻¹) 和 0.121—0.104 (公里⁻¹)。由此可见, 对于 5.3—6.3 微米范围内 CO 激光器的绝大多数谱线而言, 在一般中等浑浊大气中, 气溶胶对其衰减系数的相对贡献一般不超过 1%, 而对于大气衰减系数小于 1 (公里⁻¹) 的那些谱线, 这个贡献可达 10%, 甚至更大。大气中 CO_2 , CO , NO , NO_2 和 N_2O 等气体对这一波区范围内 CO 激光谱线的衰减主要发生在这些气体有共振吸收的那些激光频率上, 它们对这些激光频率大气衰减系数的贡献视激光频率和相应气体浓度的不同也各有差异。例如, 当 NO 在大气中的含量为 0.1 厘米⁻¹ 大气时, 它对 1863.66 厘米⁻¹ 发射线的大气衰减系数的贡献约为 10%。上述分析表明, 对于 5.3—6.3 微米范围内的绝大多数 CO 激光谱线来讲, 其大气衰减主要是由大气中的水汽引起的。

(3) 在 5.3—6.3 微米范围内, 由于 CO 激光器各发射谱线都程度不同地受到大气中水汽的衰减, 其中包括那些和 NO , NO_2 , NH_3 等污染气体的吸收线相吻合的谱线, 因此, 作为 CO 激光器的实际大气污染监测应用, 必须考虑水汽的影响, 并根据实际大气状况, 进行合理的水汽订正。

(4) 表 1 中给出的结果清楚地表明, 对 CO 激光器的绝大多数发射谱线而言, 其大气衰减系数的测量值都程度不同地大于相应的计算值, 类似的实验也都得到了同样的结果^[2,9]。我们认为, 造成这种差别的主要原因有二, 其一是测量谱线的频率和理论计算频率有差别, 由于所使用的力常数的差别, 计算得到的同一振转带的跃迁频率也不尽相同, 对于 CO 激光器的高振动带跃迁而言, 这种频率差别可达 0.1 厘米⁻¹; 其二是在理论计算中, 大都使用 Lorentz 线型, 而实验资料表明, 这一线型的翼部区域和真正的线型有较大的差异。当然, 由于水汽各吸收线的强弱以及它们和 CO 激光发射谱线位置接近程度的差别, 使得 CO 激光各谱线大气衰减系数实测值和理论值之间的差别也不尽相同。

参 考 文 献

- [1] Beck, R., English, W., Gürs, K., Table of Laser Lines in Gases and Vapors. Springer-verlag, Berlin Heidelberg, New York, 61—78, 1978.
- [2] Long, R. K. et al., AD 760140.
- [3] McClatchey, R. A., AD 729447.
- [4] 王裕民等, 科学通报, 第 25 卷, 第 24 期, 1980.
- [5] 王庚辰, 张文, 孔琴心, 仪器仪表学报第二卷, 第 4 期, 1981 年.
- [6] McClatchey, R. A. et al., AD 753075.
- [7] Rice, D. K., AD 749823.
- [8] Long, R. K., Mills, F. S., AD 778454.
- [9] Long, R. K. et al., AD 760139.

A STUDY ON ATMOSPHERIC TRANSMITTANCE FOR 86 CO LASER EMISSION LINES

Kong Qinxin Zhang Wen Wang Gengchen

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

The atmospheric attenuation coefficients for 86 CO laser lines in the 5.3—6.3 μ region obtained by means of experimental method are given. The experimental equipment is briefly described and the results of measurements are discussed. An analysis shows that characteristics of the attenuation of laser lines in the atmosphere are determined mainly by water vapor. There are some differences between experimental value and calculated value for the laser lines atmospheric attenuation coefficients due to the difference between resonance absorption frequency of water vapor and laser emission frequency and the use of Lorentz line profile in the calculation. When monitor trace gases of the atmosphere or pollution gases by means of CO laser, one must correct for water vapor attenuation according to the actual condition of the atmosphere.