

# 氦-氖激光大气衰减测量

吴际华 龚知本\*

(中国科学院安徽光机所)

**提要:** 合肥地区 6328 埃激光大气衰减测量结果表明, 衰减系数  $\sigma_{6328 \text{ \AA}}$  与半径大于 0.25 微米的大气气溶胶粒子浓度有强烈的线性相关, 其相关系数为 0.91。但和文献 [1] 的观测结果不同, 直至相对湿度高达 75%, 衰减系数与相对湿度无明显关系。

## Atmospheric extinction measurements of He-Ne laser light

Wu Jihua, Gong Zhiben

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** Atmospheric extinction of the He-Ne laser has been measured in Hefei district. The results show that the extinction coefficients are strongly correlated with the concentration of aerosol particles with the radius of over 0.25  $\mu\text{m}$ . The value of linear correlation coefficient has been found to be 0.91. However, as opposed to the results of ref. [1], the atmospheric extinction coefficient data seem to indicate that no obvious correlation exists with relative humidity of up to 75%. Therefore, we think that the aerosol present in Hefei during the measuring period is strongly hygroscopic.

### 一、引言

Berfolotti 等人在意大利罗马城进行了氦-氖激光(6328 埃)大气衰减测量。他们的测量结果表明, 衰减系数与相对湿度有强烈的相关, 从而推论该地区在测量期间大气气溶胶是强烈吸湿的<sup>[1]</sup>。然而, 近年来, 我们在不同时间分别在北京、天津、大连等地进行了半径大于 0.25 微米的大气气溶胶粒子浓度(以下简称粒子数)和谱分布测量, 结果表明

不管粒子浓度或谱分布都未发现与相对湿度有如此密切关系。为了进一步考察 6328 埃氦-氖激光大气衰减系数与相对湿度以及其他气象要素的关系, 我们在合肥地区(冬季)进行了较长时间的 6328 埃氦-氖激光大气衰减测量, 与此同时, 也进行了气溶胶粒子、相对湿度、温度和气压等气象要素的观测。

收稿日期: 1982 年 10 月 13 日。

\* 参加实验和计算工作的还有孙凤仪、韩景诚、浦达生、王绍卿、窦根娣、陈爱珍、成国胜、薛瑞明、吴康乐等。

## 二、测量装置

测量装置在文献[2]中已详细描述。发射端主要包括氦-氖激光光源(波长 $\lambda=6328$ 埃,功率 $P=2$ 毫瓦)、光束分裂器、发射望远镜以及有关监测装置。发射望远镜将光束聚焦到直径32厘米的接收球面反射镜上,接收镜上的光斑大小约为15厘米,可实现全接收测量。探测器为光电倍增管。传输光程为1.38公里,离地面平均高度约25米。实验中,透射率的测量误差不大于3%。

## 三、测量结果和讨论

图1表示6328埃激光衰减系数与相对湿度的关系,衰减系数的测量是取三分钟内记录的平均值。与文献[1]中的观测结果不同,在图1中可以看出,相对湿度低于75%时,二者之间似乎没有明显关系,当相对湿度超过75%时,平均衰减才有明显的增大,但其离散性比较大。图2表示气溶胶粒子数与相对湿度之间的关系。其结果与图1相似,但二者之间的关系似乎更不明显。上述结果表明,就合肥地区而言,至少在我们观测期

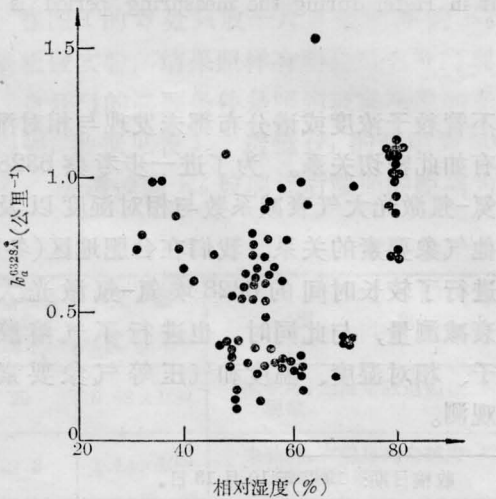


图1 6328埃激光大气衰减系数与相对湿度的关系

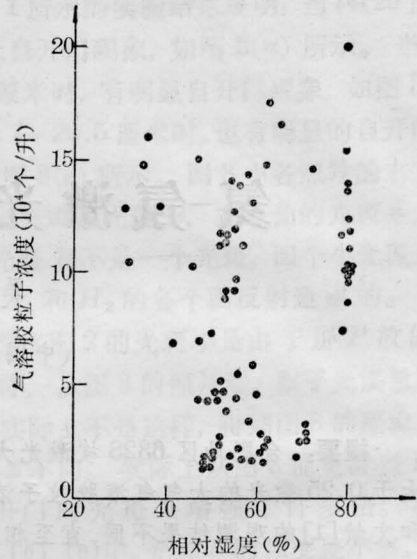


图2 半径大于0.25微米的气溶胶粒子浓度与相对湿度的关系

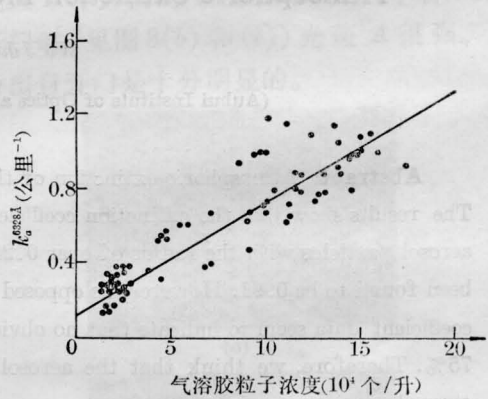


图3 6328埃激光大气衰减系数与气溶胶粒子浓度的关系

间,相对湿度不仅和粒子数无关,而且和6328埃衰减系数也无明显关系。联系到北京、天津等地类似测量结果,我们相信,至少在我国上述地区大气气溶胶主要不是由吸湿性气溶胶粒子组成的。因此 Bertolotti 等人的观测结果可能是特定地区和时间的—种特殊情况。

图3表示6328埃激光衰减系数与粒子数的关系。很有意思的是二者之间存在着强烈的线性相关,相关系数为0.91。它表明

表 1 不同类型气溶胶的  $\sigma_{5500 \text{ \AA}}$  和  $\sigma_{6328 \text{ \AA}}$ \*

谱型	折射指数	$\sigma_{5500 \text{ \AA}}$ (公里 <sup>-1</sup> )	$\sigma_{6328 \text{ \AA}}$ (公里 <sup>-1</sup> )	$\sigma_{6328 \text{ \AA}}/\sigma_{5500 \text{ \AA}}$
$L_{\text{沙土}}$	1.50~0.03 <i>i</i>	0.04983	0.04905	0.984
$L_{\text{水溶 I}}$	1.50~0.01 <i>i</i>	0.05059	0.04986	0.986
$L_{\text{水溶 II}}$	1.50~0.07 <i>i</i>	0.04844	0.04766	0.984
$L_{\text{水}}$	5500 $\text{\AA}$ , 1.334 6328 $\text{\AA}$ , 1.33	0.04537	0.04241	0.935
$M_{\text{沙土}}$	1.50~0.03 <i>i</i>	0.10715	0.10815	1.009
$M_{\text{水溶 I}}$	1.50~0.01 <i>i</i>	0.10805	0.10905	1.009
$M_{\text{水溶 II}}$	1.50~0.07 <i>i</i>	0.10535	0.10629	1.009
$M_{\text{水}}$	5500 $\text{\AA}$ , 1.334 6328 $\text{\AA}$ , 1.33	0.10770	0.10717	0.995

\* ① 计算所用参数同文献[3];

② 我们计算的  $\sigma_{5500 \text{ \AA}}$  值和文献[3]略有不同,可能是计算误差引起的。

6328 埃大气衰减主要取决于大气气溶胶粒子的散射和吸收。在 6328 埃的衰减系数比较大时,它主要受大粒子气溶胶的影响。为了进一步考察大气气溶胶对 6328 埃激光衰减的特性,我们用严格的 Mie 散射公式,对不同的气溶胶谱型和折射指数分别计算了 5500 埃和 6328 埃的衰减系数。计算结果列于表 1。由表 1 可以看出:① 6328 埃衰减系数主要依赖于气溶胶谱型,而与折射指数关系不大。因此图 3 中观测点的离散性,除了观测误差之外,主要来自于谱型的变化。根据我们对半径大于 0.25 微米粒子谱分布的观测,在粒子数相同的情况下,其谱分布存在着不同程度的变化,这一事实也证明了上述观点。② 6328 埃和 5500 埃的衰减系数十分一致,它们的一致性要比 6943 埃和 5500 埃的一致性更好些<sup>[8]</sup>。另外,由于红宝石激光的输出波长随温度而变,如不加适当的恒温控制,其输出波长(未必为 6943 埃)有可能落入水气吸收线内,从而引起较大的水气吸收<sup>[4]</sup>。基于上述原因,我们认为利用 6328 埃氮-氩激光衰减系数的测量,比起利用 6943 埃红宝石激光,有可能更方便和更精确地确定大气水平能见度。

图 4 表示粒子数和能见距离的关系。图中的一个显著特点是随着能见距离的增加,半径大于 0.25 微米的粒子数迅速减少。在文献 [5] 给出的气溶胶模式中,半径大于 0.25 微米的粒子数远大于我们的观测值。例如当能见距离为 5 公里时,我们的观测值为  $1.1 \times 10^5$  个/升,而文献 [5] 给出的值为  $2.6 \times 10^5$  个/升。并且随着能见距离的增大,二者之间的差别更大。因此文献 [5] 给出的气溶胶模式是否合理是值得怀疑的。

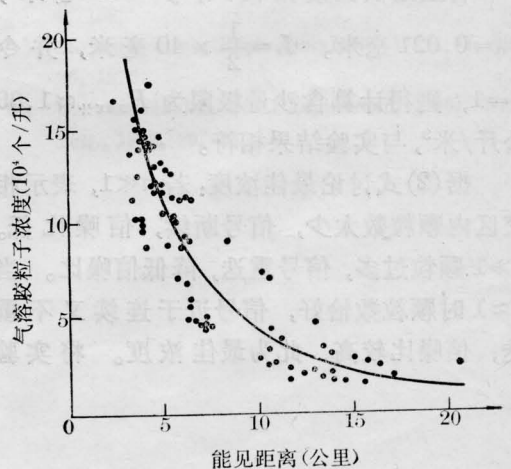


图 4 半径大于 0.25 微米的气溶胶粒子浓度与能见距离的关系

## 四、结 论

1. 6328 埃激光的衰减系数与大气气溶胶粒子数不仅有密切的线性相关, 而且大气气溶胶引起 6328 埃和 5500 埃的衰减又具有相当好的一致性, 因此利用测量的 6328 埃的衰减系数, 可以比较客观且定量地确定水平能见度。

2. 在合肥地区, 根据大粒子气溶胶浓度与相对湿度关系不密切这一点, 可推断该地区的大气气溶胶粒子主要由非吸湿性气溶胶

粒子组成。

3. 与我们的观测结果相比, 在同一能见度下, 文献[5]给出的半径大于 0.25 微米的气溶胶粒子数似乎偏大。

## 参 考 文 献

- [1] M. Bertolotti *et al.*; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, 285.
- [2] 吴际华等;《光学学报》, 1983, **3**, No. 6, 536.
- [3] 吕达仁, 魏重;《大气科学》, 1978, **2**, 145.
- [4] E. D. Hinkley ed.; *Laser Monitoring of the Atmosphere*, Chapter III, Springer, Berlin, 1976.
- [5] R. A. McClatchey *et al.*; "Optical Properties of the Atmosphere", AD 715270, 1970.

(上接第 53 页)

(公斤/米<sup>3</sup>),  $d$  为泥沙等效粒径(米),  $L$  为模型半宽(米),  $\lambda$  为激光波长(米),  $D$  为光束直径(米),  $f$  为透镜焦距(米),  $S$  为平行光束间距离(米)。

据(1)式讨论浓度上限: 若  $\gamma \ll 1$ , 直接光强散射光弱, 相交区干涉条纹清晰, 但微粒太少信号弱不利于测量。  $\gamma \approx 1$  时散射光强而直接光弱, 干涉条纹模糊, 信号掉入背景光噪声中。用峰值检测信号已达到极限, 对确定的  $g$ 、 $d$  和  $L$ , 此时已达到浓度上限  $P_{\max}$ 。

将上述实验数据代入,  $g=2.7$  吨/米<sup>3</sup>,  $d_{50}=0.021$  毫米。  $L=\frac{1}{2} \times 40$  毫米, 并令  $\gamma=1$ , 则得计算含沙量极限为  $P_{\max} \approx 1.89$  公斤/米<sup>3</sup>, 与实验结果相符。

据(2)式讨论最佳浓度: 若  $n \ll 1$ , 表示相交区内颗粒数太少, 信号断续, 信噪比低。  $n \gg 1$  颗粒过多, 信号重迭, 降低信噪比。当  $n \approx 1$  时颗粒数恰好, 信号近于连续又不重迭, 信噪比较高, 此为最佳浓度。将实验

数据代入:  $\lambda=0.6328$  微米,  $D=2.5$  毫米,  $S=75$  毫米,  $f=560$  毫米, 并令  $n=1$ , 得最佳计算浓度  $P_{\text{最佳}} \approx 0.612$  公斤/米<sup>3</sup>, 此时消光比  $\gamma=0.32$  仍有较高信噪比, 这也与实验结果一致。

结合(1)和(2)式既可为激光测量浑浊流体作出预估, 也可为激光速度计最佳光路设计提供依据。

探索激光多普勒技术测量浊水流速我们做了一点工作, 实验与分析表明在小模型低浓度上应用是可行的。浓度增高面临功率衰减、多重散射增强的困难。若能改进信号检测方法、利用散射光特性及提高单光子能量, 还能进一步提高浓度范围。

## 参 考 文 献

- [1] 三浦秀一等; 电子通信学会 A, P. 72-45.
- [2] C. P. Wang, D. Snyder; *Appl. Opt.*, 1974, **13**, No. 1, 1.