

1.54 μm 与1.06 μm 激光外场测距比较实验

钟 鸣 韩 凯 杨泽明 翟 刚 卢 希 吴大志 金 锋

(西南技术物理研究所, 成都)

摘要: 本文报道了在国内首次实现1.54 μm 喇曼激光测距, 并与1.06 μm Nd: YAG激光测距机进行了大气传输性能及穿透烟雾能力外场测距比较实验。

The field comparative tests of two kinds of laser rangefinder operating at 1.54 μm and 1.06 μm wavelengths

Zhong Ming, Han Kai, Yang Zemin, Zhai Gang, Lu Xi, Wu Dazhi, Jin Feng

(Southwest Institute of Technical Physics)

Abstract: The first domestic success of rangefinding with 1.54 μm Raman laser is reported. The comparative rangefinding tests at 1.06 μm and 1.54 μm wavelengths have been conducted on atmosphere transmission characteristics and penetrating smoke ability in the field.

1.54 μm 喇曼激光测距机自问世以来, 备受人们重视。这首先是它对人眼安全, 按照美国国家标准协会防护标准^[1], Q开关1.06 μm 波长激光束内观察最大允许照射量(MPE)为 $5 \times 10^{-6} \text{J}/\text{cm}^2$, 而Q开关1.54 μm 波长激光的MPE则为 $1 \text{J}/\text{cm}^2$, 可见, 1.54 μm 波长激光的人眼损伤阈值比1.06 μm 波长激光高5个数量级。其次是1.54 μm 波长激光大气传输性能和穿透烟雾的能力要比1.06 μm 波长激光强。如磷烟雾和六氯乙烷烟雾(战场烟雾主要成分)对1.06 μm 、1.54 μm 和10.6 μm 激光的平均吸收系数分别为 $2.4 \text{m}^2/\text{g}$, $0.49 \text{m}^2/\text{g}$ 和 $0.35 \text{m}^2/\text{g}$, 可见, 1.54 μm 波长激光战场烟雾吸收损耗仅为1.06 μm 波长的20%。其三是1.54 μm 波长激光可以常温下探测, 无需低温冷却。另一不容忽视的优点是能充分利用现有成熟的Nd: YAG激光测距技术, 投资少, 实行测距机换代见效快。西南技术物理研究所自1984年以来开展喇曼激光测距技术研究, 于1988年6月在国内首次实现1.54 μm 喇曼激光测距。该测距机工作稳定可靠, 并与1.06 μm Nd: YAG激光测距机进行了外场穿透烟雾能力测距和大气传输性能的比较试验。

一、大气传输性能比较

1. 测距机灵敏度 S 与插入衰减分贝数 N 的关系

大目标测距方程为〔2〕:

$$P_r = \frac{P_t K_t K_r A_r \rho_0}{\pi R^2} e^{-2\alpha R} \quad (1)$$

式中, P_r 为激光回波功率; P_t 是发射功率; K_t 是发射光学系统透过率; ρ_0 是目标漫反射率; A_r 是接收口径面积; K_r 是接收光学系统透过率; α 是大气衰减系数。

当 $P_r = P_{r, \min}$ 为测距机的最小可探测功率时, 对应的 $R = R_{\max}$ 为测距机的最大测程, 即

$$P_{r, \min} = \frac{P_t K_t A_r K_r \rho_0}{\pi R_{\max}^2} e^{-2\alpha R_{\max}} \quad (2)$$

当然, $P_{r, \min}$ 也可通过测量近距离的大目标靶而获得。其办法就是在激光光路中(发射窗或接收窗前)插入衰减片, 使激光功率减弱而达到临界测距状态。当距离为 R 、插入衰减片透过率为 T_0 时, 次次测准, 当衰减增加时则测准次数减少, 此时即达临界测距状态。由

(1) 式可得:

$$P_{r, \min} / T_0 = P_t K_t A_r K_r \rho_0 e^{-2\alpha R} / \pi R^2 \quad (3)$$

即:

$$\frac{P_t K_t}{P_{r, \min} / A_r K_r} = \frac{\pi R^2}{\rho_0 T_0} e^{2\alpha R} \quad (4)$$

对同一台测距机, 等式左边是与测试条件无关的量, 决定于测距机本身。这就给我们一个提示, 可以用 (4) 式左边的量来验收测距机。定义测距机的灵敏度为:

$$S = 10 \lg \frac{P_t K_t}{P_{r, \min} / K_r A_r} \quad (5)$$

由 (4) 式得:

$$S = 10 \lg \frac{1}{T_0} + 10 \lg \frac{\pi R^2}{\rho_0} e^{2\alpha R} \quad (6)$$

$$S = N + \Delta N \quad (7)$$

即测距机灵敏度由二部分组成, 第一部分是测距机插入的所有衰减片的分贝数之和 N , 第二部分是与目标特性、大气条件和距离有关的修正值 ΔN 。文献〔3〕报道了休斯公司使用而美国空军后来加以修改的灵敏度检验法。具体作法是: 在接收机前插入已定标的衰减片, 在 500m 处, 已校准漫反射率为 0.85 的大目标靶板, 测距 10 次, 如果次次测准, 再插入衰减, 重复上述过程, 直至测准次数将要减小为止。此时, 在接收机前插入的所有衰减片的分贝数之和 N 就等于测距机的灵敏度。

显然, 按上述方法测得的测距机的灵敏度是忽略了 ΔN 的影响。事实上, 按上述方法, 当能见度为 10km 时, 可求得 $\Delta N = 0.81\text{dB}$, 确实可以忽略不计。但当能见度较低, 或者目标反射率太低时, ΔN 的影响增大, 从而按上述方法求得的灵敏度就不准确了, 必须加以修正。

2. $N-R$ 曲线

由 (6) 式可知, 在满足大目标测距的条件下, R 比较小时, 大气的的影响项 ΔN 可以忽略, 则 $S = N$, 随着 R 的增加, 大气影响不能忽略, 测距机前的衰减片的分贝数 N 将随 R 增加而减

小。对不同波长的激光测距机，由于 α 不同，从而随距离减小的规律不一样。因此 $N-R$ 曲线将反映出不同波长激光在大气中的传输衰减特性。由(6)式得：

$$N = S - 10 \lg \frac{\pi R^2}{\rho_0} e^{2\alpha R} \quad (8)$$

对 R 微分并注意 S 为常数，有

$$\frac{dN}{dR} = - \frac{20}{\ln 10} \left(\frac{1}{R} + \alpha \right) \quad (9)$$

可知， $N-R$ 曲线斜率就反映了大气传输系数 α 的大小。

3. 1.06 μm 与1.54 μm 对比实验

图1至图4是典型的插入衰减片分贝数 N 随距离变化的对比曲线。由图可以看出，在各种天候下，1.54 μm 波长的激光测距机的 $N-R$ 曲线比1.06 μm 波长的曲线要平缓得多，即

$$\left| \frac{dN}{dR} \right|_{1.54} < \left| \frac{dN}{dR} \right|_{1.06}, \text{ 从而 } \alpha_{1.54} < \alpha_{1.06}. \text{ 因为 } N=0 \text{ 时, 对应的 } R=R_{\max}, \text{ 故对}$$

N 相同的两种波长测距机，1.54 μm 激光测距机的测程要远得多，亦即1.54 μm 波长的大气传

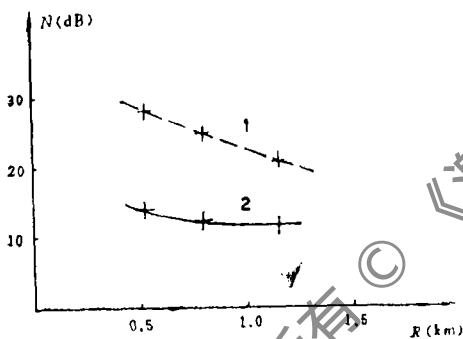


图1 $N-R$ 曲线之一

1—1.06 μm 激光测距机 2—1.54 μm 激光测距机 能见度—3~4km 气温—25~26 $^{\circ}\text{C}$ 气压—710mbar 湿度—74%

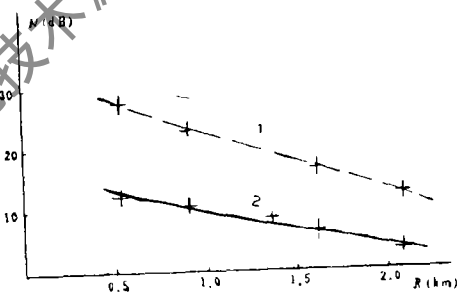


图2 $N-R$ 曲线之二

1,2—同图1 能见度—~8km 气温—22.6 $^{\circ}\text{C}$ 气压—947.6mbar 湿度—89% 蒙蒙雨

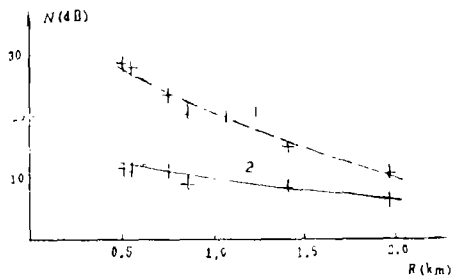


图3 $N-R$ 曲线之三

1,2—同图1 能见度—3km 温度—19.8 $^{\circ}\text{C}$ 湿度—96% 气压—986mbar

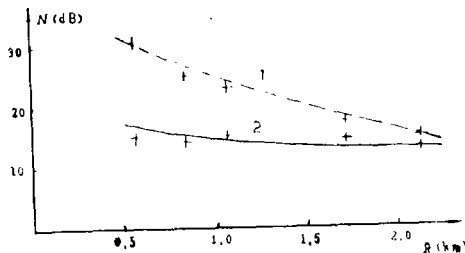


图4 $N-R$ 曲线之四

1,2—同图1 能见度—12km 温度—22.8 $^{\circ}\text{C}$ 湿度—57%

输性能明显优于1.06 μm 波长的。

二、1.06 μm 与1.54 μm 激光穿透烟雾测距实验

1. 实验方案

1.54 μm 喇曼激光测距机与1.06 μm Nd:YAG激光测距机放在同一直线上，间距小于1m，测距机与目标相距500m，距离目标前100m处施放烟幕。两台测距机同一时刻穿透烟雾对靶测距，统计多次测距结果，进行数据分析。

2. 烟雾成分

- (1) 化学黑烟：一氧化碳、二氧化碳、氯化氢、氯气、单质碳、碳酸、气化萘、氯化钾等。
- (2) 化学白烟：二氯化锌、氯化氢、氨气、一氧化碳、二氧化碳、氯气、氯化钾等。
- (3) 稻草烟：二氧化碳、单质碳。

3. 实验结果及分析

表 1 穿透烟雾测距统计结果

	1.54 μm 测距机	1.06 μm 测距机	备注
靶显示	40次	11次	对比测距57次
无回波	14次	4次	
烟距显示	1次	42次	
其它错误显示	2次	0次	
正确回波率	70%	19%	
测距机灵敏度	14.9dB	30.5dB	

由表1可知，实验所用1.54 μm 激光测距机灵敏度远低于1.06 μm 激光测距机，即不考虑大气和烟雾影响时，1.06 μm 测距机比1.54 μm 测距机的测距能力要强，而在穿透烟雾测距时其正确回波率只有1.54 μm 激光测距机的27%，因此，实验表明，1.54 μm 波长穿透烟雾的能力远优于1.06 μm 波长的。

三、结 束 语

本文报道了1.54 μm 喇曼激光测距机和1.06 μm Nd:YAG激光测距机外场测距的比较实验结果。实验结果表明，1.54 μm 波长的激光大气传输性能和穿透烟雾的能力均优于1.06 μm 波长的。

参 考 文 献

- [1] 马洛 A著，刘普和译，激光安全手册。北京：人民卫生出版社，1984：48~89
- [2] 林钧挺等，光电子技术及其应用。北京：国防工业出版社，1983：50
- [3] 方启万，军用激光测距仪测程指标的分析与探讨，兵器激光，1986；10(2)：48

收稿日期：1990年6月2日。