表 1

ε_2	ε_1								
	0	0.08λ	0.16λ	0.24λ	0.32λ	0.39λ	0.48λ	0.56λ	0.61λ
0	1.00	0.939	0.775	0.553	0.333	0.158	0.051	0.006	0.001
λ/4	0.811	0.761	0.629	0.452	0.277	0.142	0.062	0.030	0.024
λ/2	0.405	0.381	0.316	0.234	0.155	0.103	0.077	0.073	0.064

$$r\cdot\delta=\frac{0.75}{n}\varepsilon_1 \tag{3}$$

联立式(2)和(3)解得对应于 $r_{最佳}$ 时的 $\varepsilon_1=0.29\lambda$，由表1可见，这时相对强度分别为0.4（当 $\varepsilon_2=0$）和0.33($\varepsilon_2=\lambda/4$)。若以此为相对强度要求，则 r 和 δ 的匹配关系如表2所示(当 $n=1.5$)。

表 2

δ	0.5″	1″	1.5″	2″	3″
$r_{\lambda=1.06\,\mu}$	60 毫米	30	20	15	10
$r_{\lambda=0.63\,\mu}$	36 毫米	18	12	9	6

±1 米激光测距机测距精度的分析

四机部一四一一研究所　洪名家

激光测距具有较高的测距精度，因此在飞行轨迹等测量应用中具有重要意义。

本文对影响脉冲激光测距精度的因素和性质做了初步分析，给出了实际应用的公式和GY-101固体脉冲激光测距机有关测距精度的试验结果以及在水平测距条件下该机的测距精度。

1. 激光测距误差

固体脉冲激光测距的基本方程是：

$$R=\frac{1}{2}ct$$

式中 c 为光速，t 为激光脉冲由发射点射到目标上往返所需的时间。因此，激光测距误差来源于光速的修正和时间的测量。按误差性质分为：系统误差和偶然误差。

(1) 系统误差及修正

对于“米”级测距精度，主要考虑下述三点系统误差的修正：

(a) 计数器频率修正

由于计数器频率和真空光速 c_0 不符而产生与距离有关的系统误差 ΔR_1。

(b) 大气修正

激光测距是在大气中进行(或穿过大气层)。光在大气中传播的速度 $c=\frac{c_0}{n_g}$，n_g 为光的群速折射率。实际光速 c 和大气状态——大气压 P、温度 t、水气压 e 有关。因此，在激光测距中由于激光在大气中传播而产生和大气状态 P、t、e 有关的系统误差 ΔR_2。

(c) 主、回波两路接收引起的系统误差——电子光学系统误差的修正

GY-101 激光测距机其主波采用pin硅光电二极管置于激光器全反射端取样；而回波通过接收望远镜

接收目标反射回来的激光脉冲由光电倍增管及放大器获得，因此产生和距离无关而和系统工作状态有关的系统误差 ΔR_3。可由对已知距离合作目标测距获得修正值 ΔR_3。

(2) 偶然误差及减小偶然误差的方法

偶然误差主要来源于计数器的有限分辨率和主、回波激光脉冲幅度的变化和非理想的前沿。为了减小偶然误差，必须合理地确定接收参数、选择接收器件、压缩激光发射脉冲宽度以获得足够陡的脉冲前沿。本文提出了影响激光主、回波幅度变化和前沿的有关因素，并给出均方根误差 $S_D\leqslant 1$ 米的激光测距机有关技术参数。

2. 实验结果及整机测距精度

标志激光测距机测距精度的均方根误差为：

$$S_D=\sqrt{sd^2+\Delta R^2}$$

式中，sd 为偶然误差的均方根值；ΔR 表征系统误差修正的准确度。

采用 GY-101 激光测距机分别对四个已知距离的标准大地测量点进行测距（均安装角反射器），获得了有关测距精度的实验结果。结果表明，按上述误差分析和修正，GY-101 激光测距机对水平固定目标测距已达到均方根误差 $S_D\leqslant 1$ 米的测距精度。模拟试验表明，对运动目标测距整机测距精度仍然保证在 $S_D\leqslant 1$ 米的范围内。

双波长激光精密测距的大气限制

中国科学院安徽光机所　宋正方

由于气象参数难以精确测定，限制了单波长精密测距机的精度，从而提出了无须气象订正的双波长测距法，并预言可在小于 25 公里的距离上达到大约 1×10^{-7} 的精度。迄今诸多的实验离此目标甚远。我们的分析表明，在这样的精度上受到了折射率公式的精度、光束弯曲和大气湍流这几种因素的限制。

按照双波长测距原理，两个波长上测得光学距离 L_1 和 L_2 后，可从公式

$$L=L_1-A_1(L_1-L_2)=L_2-A_2(L_2-L_1) \tag{1}$$

算出真实距离 L，其中 A_1 和 A_2 称为折射率修正系数，分别定义为

$$A_1=N(\lambda_1)/[N(\lambda_1)-N(\lambda_2)] \quad A_2=N(\lambda_2)/[N(\lambda_2)-N(\lambda_1)] \tag{2}$$

$N(\lambda)$是波长 λ 的折射率 $n(\lambda)$ 的小数部分。在 $\lambda_1=6328$ 埃，$\lambda_2=4416$ 埃时，$A\simeq 20$。这意味着，为了使 L 的精度达到 2×10^{-7}，将要求 L_1 和 L_2 的精度提高到 1×10^{-8}。如果测距机光电系统能保证比这更高的精度的话，则折射率公式至少应具有 1×10^{-8} 的精度。当前常用的 Cauchy 型折射率公式均不满足这个要求。作者根据文献[1]提供的实验资料给出一个可以满足上述要求的适用于波长 0.339～1.695 微米范围内的折射率公式：

$$N(\lambda)=272.594+1.532\lambda^{-2}+0.015\lambda^{-4}$$
$$(\text{当 } P=760 \text{ 毫米}, T=15^\circ\text{C}, e=0 \text{ 时}) \tag{3}$$

当考虑光束由于大气折射率的垂直梯度而产生弯曲效应时，真实距离 L 应由公式

$$L=L_1-A_1(L_1-L_2)+l'_{c_1}+l_{ce} \tag{4}$$

给出，其中 $l'_{c_1}=\frac{1}{6}c_1^2L^3$，$l_{ce}=\frac{1}{12}c_e^2L^3$，$c_1$ 和 c_e 分别是波长 λ_1 的大气曲率和地球曲率。前者不能预知，只能实测后进行订正。计算指出，在夏秋晴朗天气情况下近地面目标的距离不大于 2～6 公里时才能忽略大气曲率的影响。

大气湍流造成的光速的起伏也限制了测距的精度。根据理论分析和实际的湍流特征，近地面夏秋晴天正午前后，可能出现 1×10^{-7} 的误差。