

# 激光脉冲测距仪±1误差的 分析和减小措施\*

江 晓 安

(西北电讯工程学院)

**摘要** 激光脉冲测距仪, 由于主波脉冲和回波脉冲, 相对于时标脉冲出现的时间是随机的。因此, 产生了测时误差  $\Delta t_1$  和  $\Delta t_2$ , 正是由于它们的存在, 距离计数器将产生±1误差。本文就  $\Delta t_1$  和  $\Delta t_2$  的产生进行了分析, 提出了使主波受时标脉冲控制的方法以消除  $\Delta t_1$  误差。并应用门插技术, 使测距精度大为提高。从而达到减小或消除±1误差的目的。

## 一 引 言

激光具有亮度高、单色性好、光束发散度小等特点, 是测距的理想光源。目前激光测距仪已得到广泛的应用。为了提高所测距离的准确性, 要求测距仪的精度要高。而脉冲测距仪精度取决于回波脉冲波形在大气中的失真, 强度的衰减, 光电转换之后电脉冲信号的失真和延迟, 距离计数器的性能以及大气折射率的起伏等各种因素。

本文的目的是对距离计数器引入的误差进行分析, 并提出减小其误差的措施。至于其它原因产生的误差分析及修正, 已有专门文章论述, 本文不予讨论。

## 二 误差分析

### (1) 概述

激光脉冲测距仪是采用脉冲计数法来测量主波与回波之间的时间间隔, 显示相应的距离读数。其原理方框图示于图(一), 对应的波形示于图(二)。

时标振荡器产生重复周期为  $\tau_R$  的时标脉

冲。首先置“0”, 距离计数器显示为0。测距时, 主波信号使控制双稳电路  $C_{控}$  翻转, 将门  $\gamma$  打开, 时标脉冲通过并送入计数器。当激光脉冲碰到目标反射回来, 经光电转换、放大作为回波信号使  $C_{控}$  第二次翻转, 将门  $\gamma$  关闭, 计数器停止计数, 显示的脉冲数对应于目标距离  $R$ 。其关系可用数学表示如下:

$$R = \frac{1}{2} CN\tau_R = N \cdot r \quad (1)$$

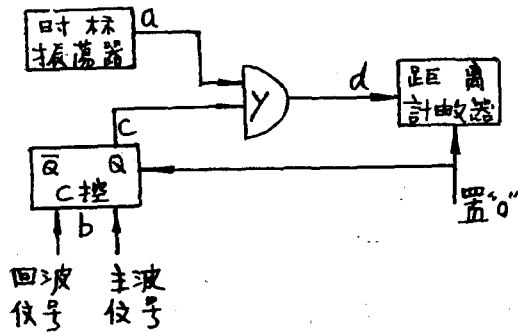
式中

$$r = \frac{1}{2} C\tau_R \quad \text{距离量化单元,}$$
$$\tau_R \quad \text{时标脉冲的周期,}$$
$$C \quad \text{光速,}$$
$$N \quad \text{距离计数器显示的脉冲数。}$$

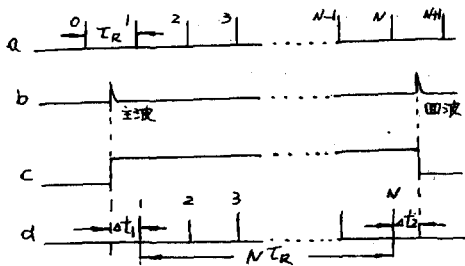
因此, 当  $\tau_R$  已知, 只要读出脉冲数  $N$ , 就可得所测距离  $R$ 。

由图(二)看出,  $N\tau_R$  并不等于  $t_R$ , 真正的  $t_R$  为  $t_R = N\tau_R + \Delta t_1 + \Delta t_2$ 。显而易见, 由于  $\Delta t_1$  和  $\Delta t_2$  的存在, 使测距仪所显示的距离, 不等于真正的距离, 因而产生了测距误差。这

\* 1981年8月23日收到稿件



图一 激光脉冲测距原理图



图二 激光脉冲测距仪各点波形

就是一般所说的  $\pm 1$  误差。

(2) 分析

(a) 主波脉冲与时标脉冲不同步引入的误差  $\Delta t_1$

激光脉冲测距是以发射的探测激光脉冲作为主波，由于产生激光输出脉冲的时间，相对时标脉冲是随机的，并在两时标间隔内各处出现的概率是相等的。 $\Delta t_1$ 的取值范围为  $0 \sim \tau_R$ 。又因激光发射脉冲与时标脉冲是互相独立的。则可求出  $\Delta t_1$  的均值，方差及均方根值。

$$M(\Delta t_1) = \int_0^{\tau_R} \Delta t_1 \frac{1}{\tau_R} d(\Delta t_1) = \frac{1}{2} \tau_R \quad (2)$$

$$\sigma_{\Delta t_1}^2 = \int_0^{\tau_R} \left(\Delta t_1 - \frac{\tau_R}{2}\right)^2 \frac{1}{\tau_R} d(\Delta t_1) = \frac{\tau_R^2}{12} \quad (3)$$

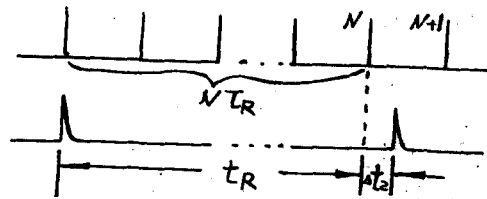
$$\sigma_{\Delta t_1} = \frac{\tau_R}{2\sqrt{3}} \approx 0.29\tau_R = 0.29 \frac{1}{f} \quad (4)$$

由此看出，误差  $\Delta t_1$ ，与时标脉冲的周期  $\tau_R$  成

正比，即与时标脉冲的频率成反比。

(b) 距离量化所引入的误差  $\Delta t_2$

为突出主要问题，假定主脉冲和时标脉冲是同步的。由图(三)可看出，对应目标距离的时间为  $t_R$ ，由于回波不是正好落在  $N\tau_R$  处，而是落在  $N$  号脉冲和  $(N+1)$  号脉冲之间。而距离计数器显示的数为  $N$ ，因此产生了误差  $\Delta t_2$ 。显然回波出现在哪一点上是随机的，机会也是均等的。且回波脉冲与时标脉冲是互相独立的。我们也可求出  $\Delta t_2$  的均值，方差和均方根值。假定以  $N$  号脉冲为基点，则  $\Delta t_2$  的取值范围为  $(0 \sim \tau_R)$ ，其结果同公式(2)、(3)、(4)。因此距离量化误差  $\Delta t_2$  与时标脉冲的周期  $\tau_R$  成正比，即与时标脉冲的频率成反比。



图三 距离量化所引入的误差

(c) 时标频率不稳所引起的误差

如前所述，激光脉冲测距仪是采用脉冲计数来测量主波与回波之间的时间间隔。显而易见，如果时标脉冲频率不稳，就有可能引起读数的变化，引起误差。因此，对时标频率稳定度就提出了要求。根据推导，为了保证在测距范围内，不因时标频率不稳，而引入测距误差，时标频率稳定度应满足

$$\alpha < \frac{1}{N_{\max}} \quad (5)$$

式中  $\alpha = \Delta f / f_0$  为频率稳定度； $N_{\max}$  为最大测距范围对应的脉冲数。显而易见，测距仪作用距离越远，时标振荡频率越高，则  $N_{\max}$  越大，对时标脉冲的频率稳定度要求越高。

### 三 减小测距误差的措施

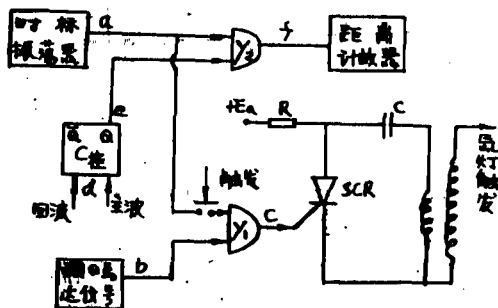
#### (1) 适当提高时标脉冲频率

根据上述分析,由公式(2)、(3)、(4)看出,要减小 $\Delta t_1$ 和 $\Delta t_2$ ,可以提高时标脉冲的频率 $f_0$ 。但是, $f_0$ 越高, $N_{\max}$ 越大,对时标脉冲频率稳定度 $\alpha$ 的要求也越高。因此,依靠提高 $f_0$ 的办法减少误差是有限的。

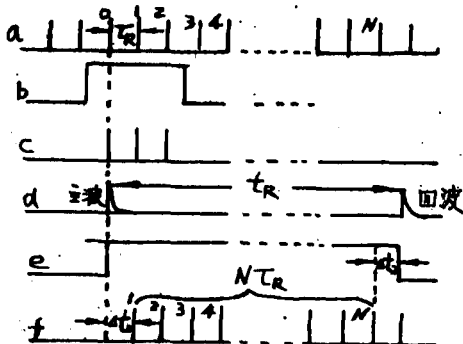
#### (2) 使主波脉冲与时标脉冲同步或有一固定的延时消除 $\Delta t_1$

$\Delta t_1$ 是由于主波脉冲与时标脉冲不同步而引起的,因此,我们用时标脉冲去控制激光发出的时间,使主脉冲和时标同步或有一固定延时,则可减小或消除 $\Delta t_1$ 。其电路组成如图(四)所示。对应各点波形如图(五)所示。

它与常用的电路差别,仅在于增加了门 $\gamma_1$ ,它使激光产生的时间受时标脉冲控制。



图四 由时标脉冲控制激光产生的电原理图



图五 各点波形关系图

从而使主波脉冲与时标脉冲在时间上有一固定误差,该固定误差是十分容易修正的。由于考虑到主波脉冲和e点波形的前沿与0号时标脉冲滞后一点时间(图中未画出)。因此,送至距离计数器进行计数是从1号时标脉冲开始的。此时

$$t_R = N\tau_R + \Delta t_0 + \Delta t_2$$

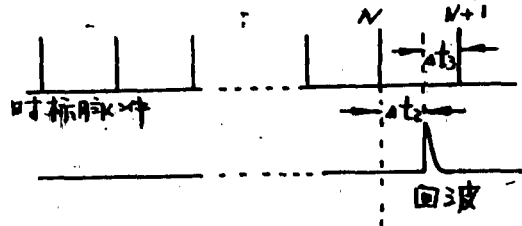
只需事先测出 $\Delta t_0$ 值,再对所读出的数进行 $\Delta t_0$ 修正即可减小直至消除误差 $\Delta t_1$ 。

#### (3) 对距离量化误差 $\Delta t_2$ 的修正

由于回波信号的出现是随机的,因此不能象消除 $\Delta t_1$ 那样,采用回波信号与时标同步的方法,只能用更为精确的办法测出 $\Delta t_2$ ,然后再对 $t_R$ 进行修正。

修正的方法有游标法、小数点法,由于他们对提高测距精度有较大的限制。本文提出应用内插法,从分析中可看出,它对测距仪的精度有十分明显的提高。

内插法是采用模拟技术将 $\Delta t_2$ 扩展若干倍,如扩展一千倍后再进行测量。由图(六)



图六

可看出 $\Delta t_2 = \tau_R - \Delta t_3$ ,而直接测 $\Delta t_3$ 在电路上较易实现。因此,内插法所测距离用下式表示(假定主波与时标脉冲同步)。

$$\begin{aligned} t_R &= N\tau_R + \Delta t_2 = N\tau_R + (\tau_R - \Delta t_3) \\ &= (N+1)\tau_R - \Delta t_3 \end{aligned} \quad (6)$$

因此,测量 $\Delta t_3$ 同样能对 $t_R$ 进行修正。

内插法测量 $\Delta t_3$ 的具体方法是这样的:在 $\Delta t_3$ 的时间内用一个恒流源对电容器充电,随后以慢许多倍,(例如慢1000倍)的速度使电容器恒流放电回到原始状态。于是放电所对

应的时间 $\Delta t_3' = 1000\Delta t_3$ , 扩展了1000倍。再采用通常的办法测量 $\Delta t_3'$ 。如在 $\Delta t_3'$ 时间内, 计数器计了 $N_2$ 个时标脉冲, 便得

$$\Delta t_3 = \frac{N_2 \tau_R}{1000}$$

由此看出, 其分辨率提高了一千倍。例如, 测距仪的时标频率为 $f_0 = 30\text{MHz}$ , 每一个脉冲代表的距离为

$$r = \frac{1}{2} c \tau_R = 5\text{米}。$$

采用内插法后, 每一脉冲代表的距离为

$$r' = \frac{1}{2} c \frac{\tau_R}{1000} = 0.005\text{米} = 5\text{毫米}$$

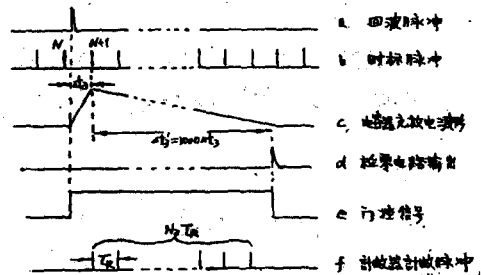
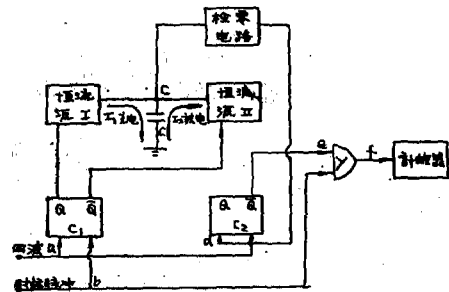
这样高的精度, 如用直接测量法, 则要求时标脉冲的频率和距离计数器的速度约为 $30\text{GHz}$ , 显然, 这是不可行的。

扩展 $\Delta t_3$ 一千倍(或其它若干倍)是不难得到的, 只要使对电容器充电的电流值比该电容器放电电流大一千倍即可。

显然, 模拟内插器是这种方法的关键部件。根据上述原理, 可组成其原理图和对应的工作波形, 如图(七)所示。

它的工作过程如下:

回波信号使控制触发器 $C_2$ 翻转, 将与门 $Y$ 打开, 使计数器对时标脉冲进行计数。与此同时, 回波信号使控制触发器 $C_1$ 翻转, 使恒流源 $I$ 以电流 $I_1$ 向电容器 $C$ 充电。经时间 $\Delta t_3$ 后 $N+1$ 号时标脉冲, 使控制触发器 $C_1$ 再次翻转, 恒流源停止向电容器 $C$ 充电, 与此同时接通恒流源 $I$ , 电容器以电流 $I_2$ 放电。如 $I_1 = 1000I_2$ , 则放电时间比充电时间大1000倍, 即 $\Delta t_3' = 1000 \cdot \Delta t_3$ 。当电容器 $C$ 放电结束, 检零电路输出一信号使触发器 $C_2$ 再次翻转, 将与门 $Y$ 关闭, 计数器停止计数。与门 $Y$ 开放时间即为内插时间, 在此时间内计数器所计的数为 $N_2$ 。当然, 此计数器也存在 $\pm 1$ 的误差。但是, 其精度已提高1000倍。例如 $f_0 = 30\text{MHz}$ , 其测距精度已由 $\pm 5$ 米变为 $\pm 5$ 毫米。



图(七) 内插器原理图及其工作波形图

此法的精度主要取决于电容器充放电的线性度, 因为, 只有当系统为线性时, 才能得到固定不变的时间扩展比。线性度的好坏主要取决于充、放电电流的稳定程度, 因此, 对内插器所用元件(电阻和电容)都应选择稳定性高且精度高的品种。

从理论上讲, 应用内插器的激光测距仪其精度可以无限提高。只要扩展时间就行了。但是, 它受以下因素限制: 扩展时间长了, 放电线性度下降, 影响精度的进一步提高; 同时, 一部测距仪的精度受各方面因素的影响, 当其它因素的作用变为主要矛盾时, 再进一步提高距离计数器的精度就没有什么意义了。

上面我们只谈了用内插法测量 $\Delta t_3$ 以消除 $\Delta t_2$ 的误差, 对 $\Delta t_1$ 也可用同样的方法进行测量。

#### 四、结 论

综上所述, 激光脉冲测距仪的 $\pm 1$ 误差, (下转38页)

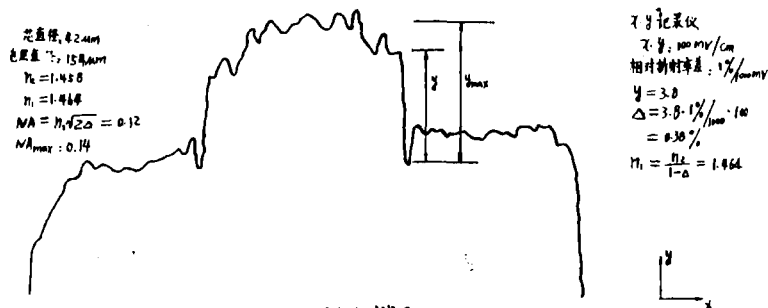


图4. 光散射率分布测试图

的影响。

透镜光损耗来源于抛光不好以及材料的吸收, 散射。

测量中误差的来源有: 透镜端面与显微镜物镜平面的平行度, 透镜机械轴与光轴是否一致, 透镜焦距 $f$ , 光束注入条件以及读数误差(为 $\pm 2\mu$ )等。

透镜的焦距可由透镜公式测物距、象距、物高、象高求得, (见图5)。测得 $f = 1.40$  mm。



图5 自聚焦透镜焦距 $f$ 测量示意图

Y: 物高 1-自聚焦透镜  
Y': 象高 2-测量显微镜

另外当 $l = \frac{\pi}{2g}$ 时, 由 $f = \frac{1}{n_0 g}$  得 $f =$

$\frac{2l}{\pi n_0}$ , 已知 $n_0 = 1.5792$ , 求得 $f = 1.41$  mm。  
 $g = 0.45(\text{mm}^{-1})$ , 此值与测量所得的数据一致, 因此 $f$ 引起的误差较小。

实验表明: 光束的注入条件引起束径变化, 造成较大误差, 应注意加以控制。其它因素中, 我们认为只要细心调整和测试, 都会使误差降到最低限度。

#### 参考文献

1. 杉元重时, 小林功朗, 松下茂雄  
电子通信学会志(日)Vol. 61, No.10, P1114-1121.
2. Haruhiko Tsuchiya等  
Appl. Opt., Vol. 16, P1328-1331(1977).
3. Joseph C Palais,  
Appl. Opt., vol. 19, P2011-2018(1980).

(上接21页)

通过电路的改进是可以减小和消除的。其主要措施有:

(1) 适当提高时标脉冲频率。但受时标脉冲频率稳定性和测距仪的最大作用距离限制。

(2) 采用时标脉冲去控制激光产生的时间, 使主波脉冲与时标脉冲同步的方法, 以

消除 $\Delta t_1$ 的影响。

(3) 游标法, 小数点法在一定程度上可以减小 $\Delta t_2$ 的影响。

(4) 内插法可以用较低的时标脉冲振荡频率和计数速度较低的计数器, 使测距精度提高十分明显, 得到十分满意的结果。

此文得到贺利洁同志的帮助, 在此表示感谢。