

AJG75-1 型激光无标尺地形仪 光学部分的几个特点

汪正民

(中国科学院安徽光机所)

提 要

本文讨论 AJG75-1 型激光无标尺地形仪实现单镜头结构的主要技术问题以及提高激光器件机械稳定性的方法。同时讨论脉冲前沿对测距精度的影响等。

前 言

AJG75-1 型激光无标尺地形仪(照片见封三)采用脉冲激光测距、经纬仪测角。由于激光头(包括激光器件、发射和接收系统及放大器)与经纬仪连成一个整体,并要装卸方便而又不影响经纬仪本身的精度,因此,就要求激光头体积小、重量轻、结构紧凑、调整方便,同时要在野外使用,每测一幅地形图要发射激光上万次,则要求激光器件具有良好的稳定性。为了满足使用的要求,我们采用了单镜头结构(激光发射与接收共用一个镜头),以及其他一些手段。如不用介质膜片而把前腔反射膜直接镀在棒的前端面,加之波罗棱镜调 Q 的特有性质,就大大提高了激光器件的机械稳定性。

两年多来,三台样机经过多次性能试验及野外实测,证明激光器件很稳定,完全可以满足野外工作的需要。

该仪器的工作原理与通常的双镜头脉冲激光测距仪相同,本文不作介绍,而着重讨论光学方面的几个问题。这对于其他类型的脉冲激光测距仪也有参考价值。

一、主要技术指标 和激光头部结构

1. 主要技术指标

中等能见度可测 50~2500 米;距离计数器读数精度 ± 1 米;实测中误差约 0.5 米;仪器总重 13.7 公斤(不包括经纬仪和三脚架)。

2. 激光头部结构(图 1)

重 1.5 公斤,尺寸 190×94×74(毫米³)。

激光器件:工作物质采用钎玻璃棒($\phi 5 \times 74$)、直管氙灯($\phi 7 \times 60$)、圆柱聚光腔、旋转棱镜调 Q、二倍加速,马达转速 24,000 转/分,激光输出功率 4 兆瓦左右。

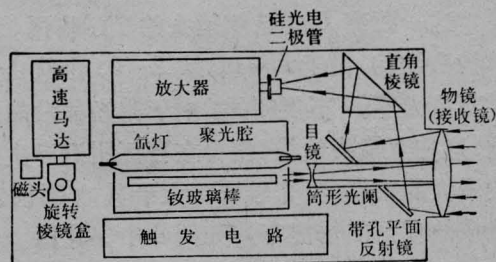


图 1 激光头平面

发射与接收系统:发射系统采用两倍发射望远镜。物镜焦距 $f_1 = 100$ 毫米,目镜焦

距 $f_2 = -50$ 毫米。接收透镜即发射望远镜物镜。激光回波通过接收透镜、平面反射镜与直角棱镜会聚到硅光二极管光敏面上。

二、单镜头结构

脉冲激光测距仪一般都是采用双镜头结构,即发射望远镜与接收镜分开。这种结构容易实现,但体积和重量不易减小,同时带来光学盲区。如采用单镜头结构,则可使体积、重量减小,并使调整方便,而且完全消除了光学盲区。在某些小型激光测距仪中采用这种结构更具有实际意义。

下面我们先讨论双镜头结构的光学盲区是怎样产生的。在图2中,设发射望远镜与接收镜光轴间距为 D , 硅光二极管光阑直径为 d , 接收镜焦距为 f , 所测距离为 L 。因为 D 的存在,使得发射到目标的光斑 O 通过接收透镜成象后可能不进入光阑,而落在光阑以外 O' 点处。光斑 O 的中心点刚刚偏离到光阑边缘时所测距离为:

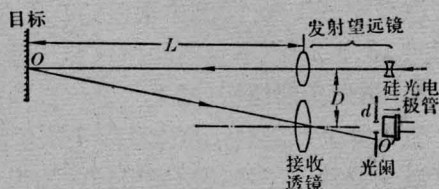


图2 双镜头光学盲区的产生

$$L = \frac{2D}{d} \cdot f \quad (1)$$

这一距离 L 就是双镜头的光学盲区。而单镜头结构,由于 $D=0$, 故 $L=0$, 也就是光学盲区为零。不仅如此,由于激光前沿的影响,这种双镜头结构,使得在盲区附近产生突然增大的正误差(光学盲区大于其他原因所造成的盲区的条件下),如图5中 AB 段。

要把现有的双镜头测距仪改装为单镜头是困难的。实现单镜头结构主要需解决两个问题。一是如何安排光路,对于光路的安排可参看图1。这里的关键是只用倍数不大的

发射望远镜(二倍),这样发射望远镜的物镜有效直径实际上只有10毫米,而边缘部分则为接收透镜的有效面积。

要采用这样的结构又要保证光束发射角 ≤ 1 毫弧度,必须使激光器件输出的光束发散角 ≤ 2 毫弧度。我们用较细长的钽玻璃棒实现了这一要求。因为钽玻璃的均匀性比较好,所以用细长的钽玻璃棒获得了 ≤ 2 毫弧度的发散角。如果采用钇铝石榴石棒则激光束发散角将要增大,一般可达 $6 \sim 8$ 毫弧度,这就需要8倍的发射望远镜才能达到1毫弧度的要求,若棒的直径为5毫米,则经过发射望远镜后,光束直径将扩大到40毫米,带孔反射镜的孔就要做得很大,那么回波损失也就增大,这就大大限制了最远测程。而我们所采用的结构,孔的直径为9毫米,经计算中心孔及筒形光阑仅使回波损失13%,对测程无甚影响。

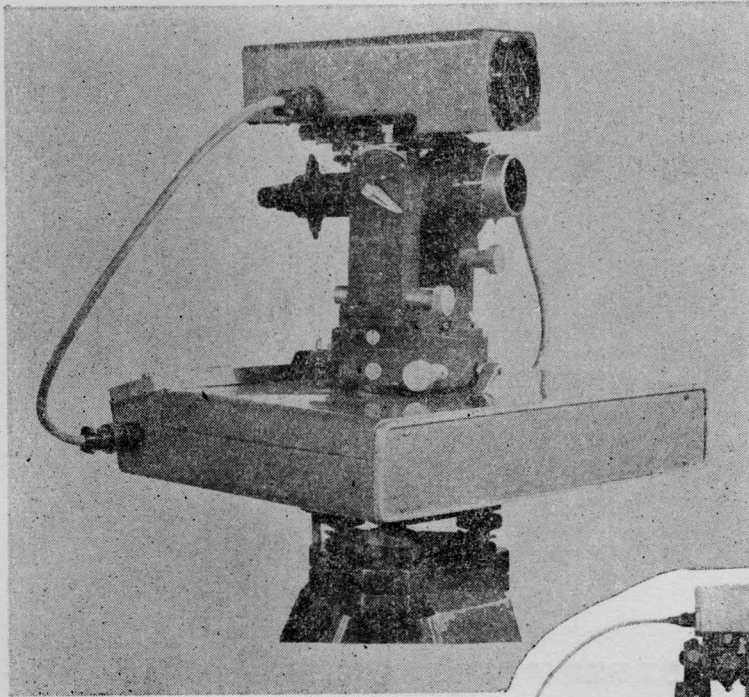
另一问题是由于发射与接收共用一个镜头,而物镜两个表面将要反射光功率的8%,使主波信号太强,放大器阻塞,无法测距。为了解决这个问题,我们在发射望远镜目镜和物镜之间加了一道黑色筒形光阑,用示波器观察硅光二极管的输出信号减小了40倍。又在硅光二极管前加了两道光阑。另外在望远镜的四个光学表面镀以1.06微米的增透膜,来减小反射损失。在采取了以上这些措施后,单镜头测距的主要困难也就解决了。

按照上述分析和本仪器的使用实践证明,研制单镜头脉冲激光测距仪是完全可行的,也是有前途的。

三、激光器件的稳定性

为了提高激光器件的机械稳定性,我们去掉了前腔介质膜片,而把介质膜直接镀在棒的前端面,同时还采用了波罗棱镜调 Q 。

我们知道,构成激光共振腔的两介质膜片,要求严格平行。在棒的前端面镀膜,不



中国科学院安徽光机所与蚌埠无线电一厂、合肥工业大学共同研制的
AJG75-1型激光无标尺地形仪(正文
见第45页)



用前腔片调节架,就减少了一个不稳定的因素,而用波罗棱镜调Q的机械稳定性是显而易见的。为了方便起见,用图3来说明这一性质。调Q时,直角棱镜是绕AA'轴旋转到成腔位置时出光(延迟角已事先调好)。由于某种原因,使得钹玻璃棒与棱镜发生了相对角位移,如果角位移是在AA'轴的旋转方向,则使得延迟角的变化不过1/1000。设延迟角为20°,而当位移量为1'时,则变化量为1/1200。这一变化,远在延迟角的调整精度范围之内,因而根本不会影响激光输出。如果角位移发生在绕O轴旋转的方向上,则由于直角棱镜的特性,使得振荡光束不会偏离原来的方向。因而,在这个方向的微小角位移同样不会影响激光输出。另外,我们在棒的后端面S₂和直角棱镜的底面S₃镀以1.06微米波长的增透膜来减少腔内反射损耗。

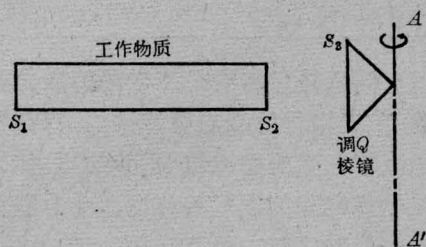


图3 转镜调Q示意图

值得注意的是,我们实际上是采用二倍加速的。这里所分析的旋转棱镜相当于实际结构中的加速棱镜。

采取上述措施后,再加上机械结构的保证,在更换氙灯时,可不进行任何调整,甚至更换钹玻璃棒,也可以不用调整。通过多次性能试验和野外实测,器件性能很稳定,完全达到野外使用的要求。

四、脉冲前沿对测距精度的影响

脉冲前沿对测距精度的影响,可由图4来说明。设门限电平为V,如果回波幅度小于主波,这样测得距离应为AC,但实际距离为AB。BC则是所测得的正误差。如果回

波大于主波,则为负误差。这就是在图5中C点以后正误差随距离增加而增加的原因。而BC段产生负误差的原因,是由于回波大于主波而造成的。对于双镜头结构,在盲区附近,由于发射到目标上的光斑在小孔光阑边缘成像,随着距离的缩短,光斑的象迅速移出光阑,因而到达硅光二极管光敏面的光功率迅速降低,也就是回波幅度迅速降低。这就是双镜头结构在盲区附近出现突然增大的正误差的原因。

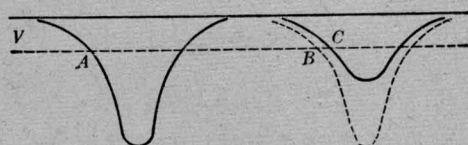


图4 脉冲前沿所引起的测距误差

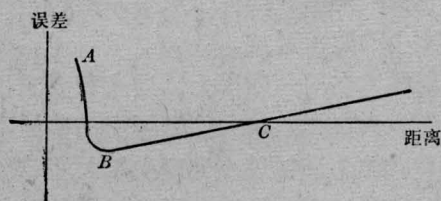


图5 某种双镜头激光测距仪的误差改正线

目标颜色的差异所带来的测距误差也是由于脉冲前沿的影响。对于一台给定的激光测距仪,在发射功率相同的情况下,所收到的回波强度大体上与距离的平方(或与距离的四次方)成反比。即:

$$I = A \frac{e^{-\alpha R}}{R^2} \quad (\text{光斑小于目标}) \quad (2)$$

$$I = A \frac{e^{-\alpha R}}{R^4} \quad (\text{光斑大于目标}) \quad (3)$$

A为激光头部结构和激光参数所决定的常数, α 为大气衰减系数。

对不同颜色的目标,由于反射系数不同,回波强度也就不同。在同一距离上反射系数大的目标所测距离应小于反射系数小的目标,如白色目标比绿色目标反射系数约大一倍,回波强度也大一倍。在光斑小于目标的情况下,根据(2)式可见,对同一颜色的目标,

欲使回波强度相差一倍, 则距离只需相差 0.4 倍。即

$$I_1 = A \frac{e^{-\alpha R_1}}{R_1^2}, \quad I_2 = A \frac{e^{-\alpha R_2}}{R_2^2}$$

如 $I_1 = 2I_2$, 则

$$\frac{e^{-\alpha R_1}}{R_1^2} = 2 \frac{e^{-\alpha R_2}}{R_2^2}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \sqrt{2} e^{\frac{2(R_1 - R_2)}{2}} \quad (4)$$

在能见度良好的天气下, 因 α 很小, 对 $|R_1 - R_2|$ 不大时

$$e^{\frac{2(R_1 - R_2)}{2}} \approx 1$$

$$\therefore R_2 \approx 1.4R_1$$

可见, 在光斑小于目标的情况下, 同一种目标距离相差 0.4 倍时, 所产生的测距误差等效于同一距离上的两个反射系数相差一倍时所产生的距离误差。

同样, 在同一距离上, 当光斑大于目标时, 两个大小相差较大的目标所测得的距离也是不同的。目标过小会产生较大的误差, 因此在实测时应尽量避免过小过细的目标。

在能见度相差较大的天候, 对同一距离所测得的结果, 也将会不相同, 因而要避免在恶劣的气候条件下工作。

目标平面与光束的夹角过小, 也会带来较大的误差。原因是, 对一平坦的目标, 漫反射光强在目标倾斜较大时, 后向反射的光强很弱, 如图 6 所示。

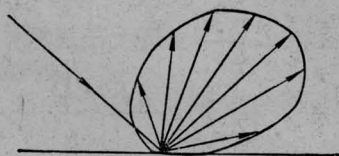


图 6 单束光线的漫反射

由此可见, 上述几种情况所产生的误差都是由于回波幅度的变化所引起的, 也就是脉冲前沿的影响。而这类误差也是最为重要的, 在使用中必须注意。

五、硅光二极管的响应时间及测距误差

我们曾用 80 兆周示波器拍摄过硅光二极管负载上输出讯号的波形。对于不同的负载电阻 R , 响应时间和半宽都不相同, 如表 1 所示。可见目前的硅光二极管对光脉冲的展宽是相当严重的, 它限制了盲区的缩小和精度的提高。这主要是由于硅光二极管 $p-n$ 结电容 C_j 过大所引起的。由上述试验结果可见, 在一定范围内, 随着 R 的增大, τ 也相应地增大。

表 1 硅光二极管对激光脉冲的展宽

R (欧姆)	50	100	400	820	1100	2400
τ (毫微秒)	25	25	50	60	80	100
W (毫微秒)	60	80	200	260	370	550

以上测量是用前沿 7 毫微秒的激光脉冲进行的 (7 毫微秒的激光脉冲是用 1000 兆周行波示波器和强流光电管测得的)。如 τ 为用示波器观察到的波形的前沿, τ_e 为激光脉冲前沿, τ_d 为硅光二极管上升时间, Δf 为示波器带宽, 则

$$\tau^2 = \tau_e^2 + \tau_d^2 + \left(\frac{0.35}{\Delta f}\right)^2 \quad (4)$$

硅光二极管响应时间为:

$$\tau_d = \sqrt{\tau^2 - \tau_e^2 - \left(\frac{0.35}{\Delta f}\right)^2} \quad (5)$$

由于硅光二极管展宽了激光脉宽和前沿, 不但增加了测距误差, 而且影响了盲区的缩短。这是显而易见的。

因为光在 1 米距离上的往返时间为 6.67 毫微秒, 所以如有 50 毫微秒的上升时间, 则最大可能产生的误差应为 7.5 米。但实际上由于门限电平有一定的幅度, 因此所产生的最大误差比这个值要小。

需要指出的是, 这里所说的可能的最大误差, 包括了系统误差和偶然误差两个部分。

如果避免选择过份细小的目标,避免选择接近黑色的目标或水面;注意使激光入射方向与目标平面的夹角不要小于 20° ;不要在恶劣的天候(如雾天、细雨)下工作,这样,偶然误差就主要由计数器精度所决定。本仪器读

数精度为 ± 1 米,而系统误差可以通过性能试验作出系统误差改正曲线,这样系统误差就可由总误差中分离出来。因此,本仪器的精度就达到了 ± 1 米的要求。实际上,通过性能试验,其误差只有0.5米左右。

激光自动校正系统在丝杠磨床上的应用

北京机床研究所 北京机床配件厂三结合小组

激光自动校正系统,或叫激光自动反馈系统,应用在丝杠磨床上,就是用氦-氖激光波长,作为长度基准,与角度基准——特殊条纹的圆光栅,组成“理论螺旋基准”,来测量丝杠磨床的传动链误差,并把机床误差动态测量信号,反馈到由步进电机等组成的校正执行机构,对机床误差进行“随机”的自动校正,在丝杠磨削过程中,使机床误差接近于“零”,以达到积极、主动控制高精度丝杠磨削精度的目的。

本文着重介绍在恒温机加工车间条件下,激光直接应用在精密机床上的几个问题,如激光波长小数有理化、振动干扰,温度气压修正,激光防护等问题。

我们把激光自动校正系统用在 SG 7430 型丝杠磨床上,重点解决丝杠周期误差精度问题。经过一年多对 200 根次丝杠的试磨表明:激光自动校正系统比较稳定可靠,效果显著,能稳定磨出零级精度丝杠,并于 1977 年 10 月进行了鉴定。

一、激光测量及自动校正的原理和装置

带有激光自动校正系统的 SG7430 型丝杠磨床外观图见封四。图 1 为机床误差测量

与校正示意图。图中机床主轴箱里装了圆光栅,在床身后面装了激光干涉仪,组成了临床测量系统。校正机构基本上是原来的,只不过加了步进电机自动校正机构。测量棱镜安装在工作台上,并装有防油雾保护罩。机床旁边的电气柜即为激光自动校正的控制柜。

要对机床误差进行自动校正,必须对机床误差进行测量。我们用由圆光栅旋转产生的“莫尔”条纹作为角度基准信号,由氦-氖激光的干涉条纹作为长度基准信号。两路信号通过相位计进行比较来测量机床的误差,图 2 为比相示意图。

在图 2 中,光栅信号是均匀的标准信号,激光信号由于机床有误差而不均匀。在第一对脉冲里,激光脉冲本应在虚线位置出现,因机床有 $+\Delta S$ 螺距误差,致使滞后 $+4\phi$,同样在第三对脉冲里,机床有 $-\Delta S$ 误差,激光脉冲导前 -4ϕ ,这 4ϕ 就是代表机床误差的相位变化。激光信号迟来或早来,就造成相位计输出方波宽窄的变化,经过解调,即取出方波宽窄的平均电位,就表示此比相点的机床误差,并可记录出误差曲线。激光信号在比相前若经过 B 分频,则分频后的波长为 $B \cdot \frac{\lambda}{2}$, $B \cdot \frac{\lambda}{2}$ 就是相位角为 360° 所占据的位移量,所以机床螺旋误差 ΔS 和相位误差