

文章编号:1001-5078(2007)01-0029-03

相位激光测距技术的研究

汪涛

(华中科技大学光电子科学与工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要:文章介绍了相位激光测距技术的基本原理以及较为精确的测量方法,分析采用了多个辅助频率进行相位激光测距的原理,既解决了单一频率测量的矛盾,又扩大了测量的范围,达到了测距时高精度、大范围应用的实际要求。

关键词:激光测距;相位;辅助频率;精度

中图分类号:P225.2 **文献标识码:**A

Research of the Phase Laser Ranging Technology

WANG Tao

(Institute of Optoelectronics Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The paper introduces the base theory of the technology for phase laser ranging and a better method to improve measurement precision, and analyzes the working theory with multi-auxiliary frequency ranging. It does not only solve the contradiction of measurement with single frequency, but also enlarge the measuring scope, meet the requirement of high precision and large range of measurement in application.

Key words: laser ranging; phase; auxiliary frequency; precision

1 引言

激光和普通光的根本不同在于它是一种有很高光子简并度的光。光子简并度可以理解为具有相同模式(或波型、位相、波长)的光子数目,即具有相同状态的光子数目。其表现为光束具有很好的单色性、方向性、相干性和高亮度。这些特性使激光具有良好的准直性及非常小的发散角,使仪器可进行点对点的测量,适应非常狭小和复杂的测量环境。激光测距仪就是利用激光良好的准直性及非常小的发散角度来测量距离的一种仪器。

激光在A、B两点间往返一次所需时间为 t ,则A、B两点间距离 D 可表示为: $D = c \cdot t/2$,式中, c 为光在大气中传播的速度。由于光速极快,对于一个不太大的 D 来说, t 是一个很小的量。如:假设 $D = 15\text{km}$, $c = 3 \times 10^5\text{km/s}$,则 $t = 5 \times 10^{-5}\text{s}$ 。由测距公式可知,如何精确测量出时间 t 的值是测距的关键。由于测量时间 t 的方法不同,便产生了两种测距方法:脉冲测距和相位测距。其中相位测距更加精

确^[1]。

2 相位激光测距原理

相位激光测距是用无线电波段的频率,对激光束进行幅度调制并测定调制光往返一次所产生的相位延迟,再根据调制光的波长换算此相位延迟所代表的距离。即用间接方法测定出光经往返测线所需的时间,如图1所示。

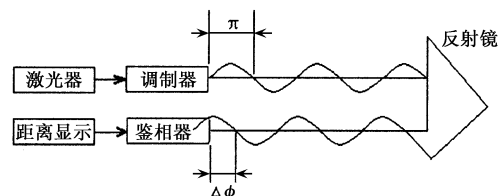


图1 测距相位示意图

相位式激光测距一般应用在精密测距中。由于

作者简介:汪涛(1972-),男,咸宁职业技术学院电子信息工程系讲师,现为华中科技大学光电子科学与工程学院硕士研究生。
E-mail: wtjy2003@eyou.com; wtjy2005@yahoo.com

收稿日期:2006-04-21

其精度高,一般为毫米级,为了有效地反射信号,并使测定的目标限制在与仪器精度相称的某一特定点上,对这种测距仪大多配置了被称为合作目标的反射镜。

在实际测量中,连续激光经过高频调制后成为高频调制光,设调制频率为 f_v ,如图2所示。激光往返一周的时间 t 可以用调制波的整数周期数及不足一个周期的小数周期数来表示,即: $t = (N + \Delta\phi/2\pi)/f_v$,式中: f_v 为调制频率(Hz); N 为光波往返全程中的整周期数; $\Delta\phi$ 为不足一个周期的位相值,则: $D = ct/2 = c(N + \Delta\phi/2\pi)/(2f_v) = cN/(2f_v) + c\Delta\phi/(4f_v\pi)$,令 $L = c/(2f_v) = cT_v/2$, L 定义为测距仪的电尺长度,等于调制波长的二分之一,则相位测距方程为: $D = L \cdot N + \Delta\phi \cdot L/2\pi = L \cdot N + \Delta N \cdot L$ 。因为 L 为已知的,所以只需测得 N 和 ΔN 即可求 D 。

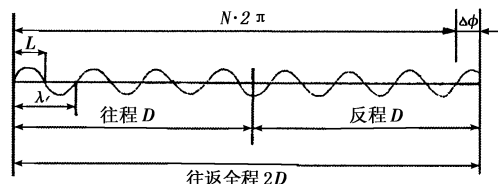


图2 调制光测距示意图

在相位式测距中,测尺频率无论如何选择,最后的相位测量都采用差频测相技术。一般说来,对一高频信号进行相位测量其误差往往较大,故采取的手段就是将高频信号变换成一个低频信号,然后对该低频信号进行测相。由于频率降低后,信号周期扩大了几十倍甚至几千、几万倍,这就大大提高了测相的分辨率,从而提高了测相的精度。同时,各测尺频率转换为同一低频信号测相后,对接收机的频响要求降低,即对不同的调制频率,其接收放大的频率始终固定,这有利于接收机获得高增益与高选择性。

3 相位测距的多值性问题

在测距方程中 $\Delta\phi$ 是可以通过仪器测得的,但不能测得 N 值,因此,以上方程存在多值解,即存在测距的多值性。但若我们预先知道所测距离在一个电尺长度 L 之内,即令 $N=0$,此时,测距结果将是唯一的,其测距方程变为: $D = \Delta\phi \cdot L/2\pi$ 。例:设光调制频率为 $f_v = 150 \times 10^3$ Hz,则电尺长度为 $L = c/(2f_v) = 1000$ m,当被测距离小于1000m时,测距值是唯一的,即在1000m以内的测距时 $N=0$ (不足一个电尺长度)。

4 相位测距精度

将 $D = L\Delta\phi/2\pi$ 两边微分后,取有限微量 $\Delta D =$

$\Delta(D\phi)/L/2\pi = c/(2f_v)\Delta(\Delta\phi)/2\pi$,其中 $\Delta D = \Delta \cdot (\Delta\phi)/2\pi = 1/1000$ 为相对测相精度(一般1/1000可比较容易做到的)。例如,对上例而言,即此时测距精度可达1m。从上式可以看出, ΔD 与调制频率 f_v 成反比,要提高仪器的测距精度(使 ΔD 减少),则须提高调制频率 f_v 。而由电尺长度公式 $L = c/(2f_v)$ 可知,此时可测距离减少。因此在测相精度受限的情况下,存在以下矛盾:若想得到大的测量距离(即 L 大),则测距精度降低;若想得到高的测量精度,则测量距离受限制(电尺长度 L 短)。

5 多频率相位激光测距的分析与讨论

我们可设置若干个测量频率对上述矛盾加以解决,现以两个频率为例加以说明。设测量主频为 f_1 ,辅助频率为 $f_2 = Kf_1$ (K 为小于1的系数,如 $K=0.9$),显然,此时在仪器中存在2个电尺长度,它们分别为: $L_1 = c/(2f_{v1})$, $L_2 = c/(2f_{v2}) = c/(2Kf_{v1}) = L_1/K = L_1/0.9$,此时, $L_2 > L_1$,与物理学中的“游标卡尺”原理类似;设两频率的光波从仪器发出时的初位相相同,则只有当 $D = 10L_1$ 或 $10L_1$ 的整数倍时,两者位相才相等。即两个调制频率的相位差第二次等于0时,两个频率的电尺长度 L_1 和 L_2 的末端经过若干次后又刚好重合。且在一个周期内,相位差与被测距离成正比,如图3所示。

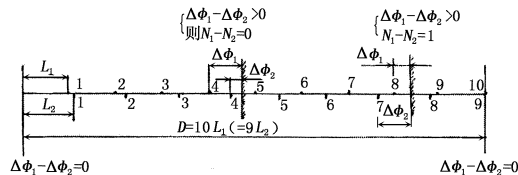


图3 双频率相位测距图

因此,只有测量距离不大于 $10L_1$ (即 $N \leq 10$),就可根据 $\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2$ 的值来确定 N 和距离 D 。采用两个频率测距时的测距方程,由公式 $D = L \cdot N + \Delta\phi \cdot L/2\pi$ 得:

$$\begin{cases} D_1 = N_1 L_1 + \Delta\phi_1 L_1/2\pi = D \\ D_2 = N_2 L_2 + \Delta\phi_2 L_2/2\pi = D \end{cases}$$

可以写成:

$$\begin{cases} \Delta\phi_1 = (D - N_1 L_1) 2\pi/L_1 \\ \Delta\phi_2 = (D - N_2 L_2) 2\pi/L_2 \end{cases}$$

上两式相减,并以 L_2 代入得: $\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2 = (1 - K) \cdot 2\pi D/L_1 - 2\pi(N_1 - N_2) \rightarrow D = [(N_1 - N_2) + (\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)/2\pi] L_1/(1 - K)$,式中: $1/(1 - K) = M$ 为可测距离的放大倍数; $L_1/(1 - K)$ 为新的电尺长度。对上例 $M = 1/(1 - 0.9) = 10$,即将电尺长度放大了10倍,或者说在仪器测相精度不变的条件下,可测距离

扩大了10倍,即 $D_{\max} = 10L_1$ 。

N 的确定如图3所示。

(1)第一种情况: $\Delta\phi_1 > \Delta\phi_2$,即 $(\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)/2\pi > 0$ 时,

$$N_1 = N_2, \text{即 } N_1 - N_2 = 0, \text{则 } D_1 = [(\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)/2\pi]L_1/(1 - K) = [(\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)/2\pi](ML_1)$$

(2)第二种情况: $\Delta\phi_1 < \Delta\phi_2$,即 $(\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)/2\pi < 0$ 时,

$$N_1 - N_2 = 1, \text{则 } D_2 = [(1 + \Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)/2\pi]L_1/(1 - K) = [(1 + \Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)/2\pi](ML_1) \text{ 或}$$

$$D_2 = [(1 - \Delta\phi_2 - \Delta\phi_1)/2\pi]L_1/(1 - K) = [(1 - \Delta\phi_2 - \Delta\phi_1)/2\pi](ML_1)$$

由此可得出如下结论:

(1)采用两个频率,能使最大可测量距离增大 $M = 1/(1 - K)$ 倍, $f_2 = Kf_1$;

(2)当 $\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2 > 0$ 时,采用 $D = [(\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)/2\pi](ML_1)$,计算 D 值;

(3)当 $\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2 < 0$ 时,采用 $D = [(1 + \Delta\phi_1 - \Delta\phi_2)/2\pi](ML_1)$,计算 D 值;

(4)为了测定更长的距离,可采用多个频率进行测量,如取 $f_1, f_2 = 0.9f_1, f_3 = 0.99f_1, f_4 = 0.999f_1$ 等,这样就可以由 $\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2$ 来确定 N 值的个位值,由 $\Delta\phi_1 - \Delta\phi_3$ 来确定 N 值的十位值,由 $\Delta\phi_1 - \Delta\phi_4$ 来确定 N 值的百位值等。

上述方案一般用于中、长程的光速测距仪中。对于短程光速测距仪,则采用脉冲测距。仪器内设有两个调制频率:一个精频,如 $f_1 = 15\text{MHz}$,相应 $L_1 = 10\text{m}$;另一个粗频,如 $f_2 = 150\text{kHz}$,相应 $L_1 = 1000\text{m}$ 。粗尺确定 $1 \sim 1000\text{m}$ 的距离,电尺长度为 1000m ,测量精度为 1m ;精尺确定 $0.01 \sim 10\text{m}$ 的距离,电尺长度为 10m ,测量精度为 0.01m (注:测相精度为 $1/1000$)。该方案既扩大了可测距离,又提高了测量精度。

(上接第28页)

型存在几个假设的地方,如各振源的同相位振动,脉冲球源振幅的变化规律和脉冲球源的排布形状,这些假设都是对真实情况的简化处理,便于计算,所得结果是对激光致声水中辐射声场的方向性的定性描述,为了完善理论模型并作进一步的数据分析,还需要做大量的实验研究工作。以上理论研究成果与实验的比较结果将在以后另文发表。

参考文献:

- [1] 张晓春. 激光超声技术及其应用[J]. 大学物理, 1998, 17(2): 40-42.
- [2] 李荣福, 崔桂华, 田作喜, 等. 激光声遥感技术[M]. 北

6 位相的测量

测定参考信号与测距信号的相位差一般可采用移相法和脉冲填充法。

(1)移相法 通过移相器改变参考信号的位相使之与测距信号位相一致(用鉴相器判定),即可得相位差值 $\Delta\phi$ 。这一方法一般用于中、长程光速测距仪中。

(2)脉冲填充法 将参考信号与测距信号的正弦波整形成方波,微分后触发计数器并在开、关门之间填充晶振脉冲,从而得到位相差值 $\Delta\phi$ 。这一方法一般用于短程光速测距仪中。

7 结束语

由于激光独特的性质,使激光测距仪具有其他测距仪所无法比拟的优势。正因为如此,激光测距仪一经问世,便得以迅猛发展,如今已发展至第五代并产生了许多种类,而且,越来越朝着小型化、智能化的方向发展。激光测距仪面对大众测量,为实施毫米级精度的快速、非接触式距离测量带来了全新的革命。加上电路部分随着微电子技术的发展,趋向于集成化、数字化,使得系统在可靠性方面大为提高。与光电测距仪相比,不仅可以日夜作业,而且能提高测距精度,显著减少质量和功耗,使测量到人造地球卫星、月球等远目标的距离变成现实。另外,在人们的日常工作和生活中,它的应用已渗透到各个领域并引起各个行业的广泛关注。

参考文献:

- [1] 杨坤涛. 激光测试原理与技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 1999, 126-135.
- [2] 金国藩, 李景镇. 激光测量学[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3] 杨国光. 近代光学测试技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.

京: 国防工业出版社, 2003, 23-33.

- [3] 曹辉, 张小凤, 尚志远, 等. 液体光击穿激发的辐射声场[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1999, 27(2): 43-47.
- [4] 尚志远. 激光在水中产生超声波的实验研究[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1995, 23(2): 41-44.
- [5] 许肖梅. 声学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2003, 134-136.
- [6] 蒋兴舟, 陈喜, 蒋涛. 鱼雷制导设计原理[M]. 武汉: 海军工程大学, 2001.
- [7] 王三德. 纳米银胶中热弹光声信号的特性及液体中光穿透效应对声波的影响[D]. 陕西: 陕西师范大学, 2000.