

一种提高相位激光测距精确度的方法

陈 敏¹, 杜小平²

(1. 装备指挥技术学院 士官系 北京 101406; 2. 装备指挥技术学院 电子工程系 北京 101406)

摘 要: 描述了一种采用相位式激光测距提高测距精度的方法, 给出了采用相位式进行激光测距的原理, 指出了采用单一频率进行测距时存在的矛盾, 从而提出了在单一频率的基础上添加多个辅助频率进行测距, 分析了采用多个辅助频率进行相位激光测距的原理, 并对采用该方法进行了精度分析。从分析的结论看, 采用的辅助频率个数越多, 则越能提高测距精度, 同时该方法还能提高测量范围, 解决了单一频率测量时的矛盾, 达到了测距时高精度、大范围的工程应用要求。

关键词: 相位激光测距; 辅助频率; 精度

中图分类号: TN249

文献标识码: B

文章编号: 1004-373X (2005) 16-113-02

A Method of Improving the Measurement Precision for Phase-laser Measuring Distance

CHEN Min¹, DU Xiaoping²

(1. Department of Sergeant, Academy of Equipment Command Technology, Beijing, 101406, China;

2. Department of Electronic Engineering, Academy of Equipment Command Technology, Beijing, 101406, China)

Abstract: This paper proposes a new method to improve measurement precision, which is called phase laser measuring method. After explaining the working theory of this new method, the paper points out the contradiction when single frequency measurement method is adopted, introduces a solution of adding multiple aid frequencies to single frequency when conducting laser measuring, and analyzes the working theory and precision of this solution. From the analysis, the paper concludes that the more aid frequency is adopted, the more precise the measuring result will be. In addition, the new method can enlarge measuring scope. Therefore, in application of project, the new method better meets the requirement of high precision and large scope.

Keywords: phase-laser measuring distance; auxiliary frequency; precision

激光测距仪无论在军事应用, 还是在科学技术、生产建设方面都起着重要作用。由于激光波长单一, 测量精度高, 且激光测距仪机构小巧, 安装调整方便, 故激光测距仪是目前测距中较理想的仪器。近20年来, 激光技术、微电子技术和计算机技术的飞速发展, 一批新型的电子测距仪试制成功并迅速投入生产, 如各种测程的激光测距仪和红外测距仪等。利用光速测量距离时, 要求测量范围大、测距精度高, 由于光速极快因而需要精确测量极短的时间间隔, 工程上常采用脉冲测距法和相位测距法来实现极短时间间隔的测量, 但采用相位激光测距法用单一频率测距时, 当激光频率高时测距精度高但范围小, 频率低时测距范围大而精度低, 无法同时达到大范围、高精度的要求。本文提出了用多个辅助频率进行相位激光测距的方法, 在不提高主频的前提下, 添加多个辅助频率测距 (辅助频率低于主频), 不仅提高了测量精度, 同时也扩大了测量范围, 对激光测距仪的开发与研制有一定的指导作用。

1 相位激光测距原理

相位激光测距的原理是: 由激光器对被测目标发射一

个光信号, 然后接受目标反射回来的光信号, 通过测量光信号往返经过的时间, 计算出目标的距离。

设目标的距离为 L , 光信号往返所走过的距离即为 $2L$, 则 $t = 2L/c$ 即: $L = ct/2$ (1)

测距仪由激光器发出按某一频率 f_0 变化的正弦调制光波, 光波的强度变化规律与光源的驱动电源的变化完全相同, 发出的光波到达被测目标, 通过反射镜把入射光反射回去, 而且保证反射光的方向与入射光的方向完全一致。在仪器的接收端获得光波的回波, 经鉴相和光电转换后, 得到与接收到的光波调整频率相位完全相同的电信号, 此电信号放大后与光源的驱动电压相比较, 测得两个正弦电压的相位差, 根据所测相位差就可算得所测距离。

假设正弦调制光波往返后相位延迟一个 Φ 角, 又令激光调制频率为 f_0 , 则光波在被测距离上往返一次所需时间 t 为:

$$t = \Phi / \omega_0$$

把上式代入测距公式 (1) 中, 得到:

$$L = c\Phi / 2\omega_0$$

而 $\Phi = N \times 2\pi + \Delta\Phi$, 所以被测距离 L 为:

$$\begin{aligned} L &= c(N \times 2\pi + \Delta\Phi) / 2\pi \\ &= L_0(N + \Delta\Phi / 2\pi) = L_0(N + \Delta N) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, L_0 —光尺, $L_0 = c/2f_0$:

$$\Delta N = \Delta\Phi/2\pi \quad (3)$$

令 $L = c/2f$, 为相应于半个周期的光波传播距离, 称为电尺长度。因此:

$$L = L_0 \left(N + \frac{\Delta\Phi}{2\pi} \right) = \frac{c}{2f_0} \left(N + \frac{\Delta\Phi}{2\pi} \right) \quad (4)$$

显然, 只要能够测量出发射和接收光波之间的相位差, 就可确定出距离 L 的数值。由单一频率测距时无法确定 N 值, 故只能在一个电尺长度内测距, 测距范围为 L ($N = 0$)。由测相仪测得 $\Delta\Phi$, 算出所测距离 L 的值, 测距精度为:

$$\Delta L = \frac{\Delta(\Delta\Phi)}{2\pi} L = \frac{\Delta(\Delta\Phi)}{2\pi} \frac{c}{2f} \quad (5)$$

2 多辅频相位激光测距分析与讨论

用单一频率相位激光测距法测距, 由式(5)可知为了提高测距精度就必须使调制频率 f 的值增大, 而当增大 f 的值时, 电尺长度 L 减少, 即测距范围相应减小, 因此不能同时达到大范围、高精度的工程应用的要求。在单一主频率的基础上添加辅助频率进行测距, 不仅大大提高了测距精度, 同时使得测距范围也得到了提高。

2.1 测量原理

设第一次测量时的调制频率为主频 f_1 , 辅助测量频率为 f_2, f_3, f_4 (令 $f_2 = 0.9f_1, f_3 = 0.99f_1, f_4 = 0.999f_1$), 先用主频 f_1 测距, 由公式(4)有:

$$D = N_1 \cdot L_1 + \Delta\Phi_1 2\pi \cdot L_1 \quad (6)$$

再用辅助测量频率为 f_2 测一次(此时有 $9L_2 = 10L_1$), 同样有:

$$D = N_2 \cdot L_2 + \Delta\Phi_2 2\pi \cdot L_2 \quad (7)$$

若设两调制频率初相位在 $D = 0$ 时相等, 则只有当 D 等于 $10L_1$ 或 $10L_1$ 的整数倍时两者的相位才是相等的。只要被测距离不大于 $10L_1$ (即此时最大测距为 $10L_1$), 就可以根据 $\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2$ 的值来确定 N 的值 ($\Delta\Phi_1, \Delta\Phi_2$ 由测相仪测得)。原理如图 1 所示。

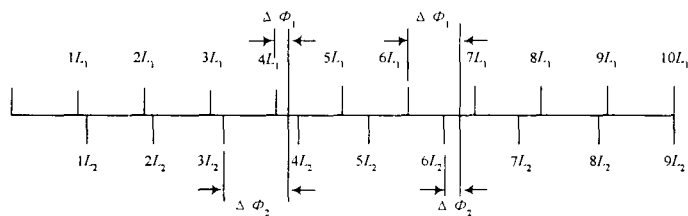


图 1 多辅助相位激光测试原理示意图

由图 1 可知, 测距时可能出现 2 种状况:

$$\text{当 } \Delta\Phi_1 < \Delta\Phi_2 \text{ 时, } N_1 = N_2 + 1 \quad (8)$$

$$\text{当 } \Delta\Phi_1 > \Delta\Phi_2 \text{ 时, } N_1 = N_2 \quad (9)$$

将式(8), 式(9)代入式(6), 式(7)得:

$$\begin{aligned} N_1 &= 9\Delta\Phi_1 - 10\Delta\Phi_2 2\pi + 10D \\ &= (10\Delta\Phi_1 - 10\Delta\Phi_2 2\pi + 10) \cdot L_1 \end{aligned} \quad (10)$$

当 $\Delta\Phi_1 < \Delta\Phi_2$ 时:

$$\begin{aligned} N_1 &= 9\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2 2\pi \\ D &= 10\Delta\Phi_1 - 10\Delta\Phi_2 2\pi \cdot L_1 \end{aligned} \quad (11)$$

2.2 精度分析

由第一主频 f_1 测量时, 其测距精度公式为:

$$\Delta D_1 = \Delta(\Delta\Phi_1) 2\pi \cdot L_1$$

由第一辅频 f_2 测量时, (因 $f_2 = 0.9f_1$ 有 $9L_2 = 10L_1$), 其测距精度公式:

$$\begin{aligned} \Delta D_2 &= \Delta(\Delta\Phi_2) 2\pi \cdot L_2 \\ &= \Delta(\Delta\Phi_2) 2\pi \cdot (L_1 + 19L_1) \\ &= \Delta(\Delta\Phi_2) 2\pi \cdot L_1 + 19L_1 \cdot \Delta(\Delta\Phi_2) 2\pi \end{aligned}$$

显然, 由同一测相仪测量时, 测距精度 ΔD_2 相当于在原来的基础上精度提高了 9 倍, 而此时测距范围为 $10L_1$, 扩大了 10 倍。同理, 若再用第二辅频 f_3 测量时 (因 $f_3 = 0.99f_1$ 有 $99L_3 = 100L_1$), 精度公式为:

$$\begin{aligned} \Delta D_3 &= \Delta(\Delta\Phi_3) 2\pi \cdot L_3 = \Delta(\Delta\Phi_3) 2\pi \cdot (L_1 + 199L_1) \\ &= \Delta(\Delta\Phi_3) 2\pi \cdot L_1 + 199L_1 \cdot \Delta(\Delta\Phi_3) 2\pi \end{aligned}$$

精度在原来的基础上提高了 99 倍, 测距范围为 $100L_1$, 扩大了 100 倍, 依此类推。依据主频和辅频的不同比例关系可得到添加不同辅频时的精度公式, 而由式(10)或式(11)可算出所测距离。

3 结 语

通过前面的理论分析和推导可以看出, 用添加多个辅助频率的方法进行相位激光测距, 与物理学中游标卡尺的原理相似, 随着辅频个数的增加可以不断提高测距精度, 而且同时能够扩大测量的范围, 解决了单一频率测量时的矛盾, 能同时达到测距时高精度, 大范围的工程应用的要求, 文中给出了多辅频测距时的测距公式和各辅助频率测量时的精度公式, 对激光测距仪的开发与研制有一定的指导作用。

参 考 文 献

- [1] 杨坤涛. 激光测试原理与技术 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1999.
- [2] 高稚允, 高岳. 光电检测技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [3] 金国藩, 李景镇. 激光测量学 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.