

630165

5(3)66

7557

相位式光波测距仪

陈惠兴

上海科学技术出版社

3)66

57

成都科学技术大学图书馆

基本馆藏

相位式光波测距仪

陈惠兴 编著

上海科学技术出版社

相位式光波测距仪

陈惠兴 编著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

本书由上海发行所发行 松江科技印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 5.75 字数 126,000

1981 年 8 月第 1 版 1981 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—2,200

统一书号: 15119·2137 定价: (科四) 0.56 元

前 言

精密光波测距仪问世已有多多年,配上激光器作光源后,其优点更为突出。随着我国四个现代化建设的飞跃发展,将有更多各种类型的光波测距仪应用在测绘与勘察部门。但是,勘测人员过去所熟悉的仪器基本上是应用几何光学原理构成的仪器,而对具有大量电子元件的光波测距仪尚不够熟悉。为便于对这类仪器的使用、维修、普及与提高,编者根据自己近几年来参加仪器研制的实践,将点滴经验与体会,总结概括成此书。

本书主要论述相位式光波测距仪的理论与原理。对数字显示的精密激光测距仪的一些理论问题进行了探讨,且结合DCS-1激光测距仪作一解剖分析,最后以国外的发展趋向作为本书的结束。本书可供勘测部门、制造工厂或大专院校勘测专业的师生参考。

因水平有限,时间仓促,定有不少缺点和错误,希读者批评指正。同时对该书提出许多宝贵修改意见的同志,在此谨表示衷心感谢。

编 者

目 录

前 言

第一章 绪 论

§ 1-1 光波测距的基本原理及分类	3
§ 1-2 几种光波测距原理框图	5

第二章 相位式光波测距原理

§ 2-1 “电尺”频率的选择	12
§ 2-2 差频测相	16
§ 2-3 电光调制器	18
§ 2-4 光电转换器件	31
§ 2-5 相位测量	37

第三章 光波测距的几个理论问题

§ 3-1 光波传输与测程	49
§ 3-2 内光路的设置	60
§ 3-3 接收系统的误差	65
§ 3-4 大、小角度的测量	72
§ 3-5 各“电尺”测定值的衔接	80
§ 3-6 距离数据的修正和换算	87

第四章 测距误差与精度检测

§ 4-1 误差的来源	95
§ 4-2 测距仪的检验	104

§ 4-3	周期性误差的测定	106
§ 4-4	仪器常数的测定	109

第五章 DCS-1 激光测距仪

§ 5-1	DCS-1 的简介	117
§ 5-2	发射与接收电路	123
§ 5-3	检相与运算衔接电路	138
§ 5-4	逻辑指令、显示和电源	143
§ 5-5	光学系统与反射镜	156
§ 5-6	精度分析	162

第六章 国内外测距仪简介

§ 6-1	国产大型 He-Ne 激光测距仪	166
§ 6-2	国产半导体红外测距仪	170
§ 6-3	测距仪现状和发展趋向	173

第一章 绪 论

测量工作中最基本的测量作业是测角、量边和测高。而量边即距离的测定,在控制网的建立、远程火炮射击、空间技术和大型建筑(如长隧道、大坝)等各种工程测量以及施工放样中都占有极其重要的地位。在电磁波测距方法(包括微波测距、光波测距)出现之前,人们都采用机械量距(如用钢尺或钢钢尺量距等)和光学视距法(如用各种各样的定角视距法和视差角量距等)。前者虽精度较高,但劳动强度大,工作效率低,遇到复杂地形就很难测量。后者虽操作简便,但精度较低,测程不远。

早在三十年前,由于雷达技术的发展,为用无线电波的方法进行测距开辟了途径。雷达主要用于空中目标的定位,它的基本原理是从雷达站发射脉冲到达空中目标,然后再返回到雷达荧光屏上,从荧光屏上的位置计算出雷达站与空中目标之间的距离,这种方法称之为雷达测距法。这种方法到四十年代末才开始应用于地面测量。但这种方法由于是测定脉冲波在被测距离上往返传播的时间,其精度仅达米级。因此,难以用于正常的国家控制网和工程测量控制网。

六十年代光波测距的出现,以及微波测距的应用,逐步发展为电磁波测距这一门新技术。微波测距是以微波波段的无线电波作载波,通常这种方法测程可达百公里,精度能达到 $\pm(2\sim 3\text{cm}) + 3D \times 10^{-6}$ (D 是被测距离)。但它是沿地面传播的,因此,地面反射将造成对微波测距误差来源的主要影响

因素。强烈的地面反射有时将导致仪器不能正常工作。

目前世界各国都广泛采用光波测距法, 它是以光波作载波, 测程可达几十公里, 精度为 $\pm(0.5 \sim 1 \text{ cm}) + D \times 10^{-7}$, 甚至更高。它广泛地应用于大地控制网测量中, 从而取代传统的基线丈量和基线网扩大方法。除了三角布网外, 用光波测距法测量导线也得以推广, 大大提高了精密测距的工效, 并使大地控制网的布设更具灵活性, 这对于自十九世纪末沿传至今的那种经典的大地测量方法是一大突破。

光波测距所用的光源早期大多是采用非相干性的普通光源, 如白炽灯、高压汞灯等。由于这种光源亮度低、光能损耗大, 因此, 白天不能进行远距离测量, 只能在夜间作业。另一方面, 因受当时的电子技术水平的限制, 仪器不仅在精度与测程受到一定的限制, 而且重量、体积与耗电量都是相当庞大, 如经典的 AGA-2A 的重量为 150 公斤, 体积为 $87 \times 46 \times 53$ 厘米³ (光学部分) 加 $89 \times 43 \times 35$ 厘米³ (电学部分), 耗电量为 100 瓦, 此外, 操作与计算都较复杂。这样大的仪器, 实际上只能作国家的大地控制测量, 而在工程测量中则很少被应用。

六十年代初期, 出现了激光, 这对光波测距的发展起了极大的推动作用。激光具有方向性强, 亮度高, 单色性与相干性极好等优点, 这是光波测距极其理想的光源, 为制造长测程、高精度、白天能作业的新型光波测距仪提供了十分有利的条件。与此同时, 由于电子技术的发展, 使得仪器的电子线路半导体化和集成化, 从而大大减轻了仪器的重量。尤其引人注目的是半导体光源(半导体注入式发光二极管)的出现, 这种光源体积小, 效率高, 结构简单, 可以简单地通过改变馈电电流对光强进行直接调制(即半导体光源兼有辐射与调制两种功能), 不必外加其他的调制器。

目前光波测距已向体积小、测量自动化、读数数字化以及用途多样化的方向发展。我国光波测距仪自1957年开始进行研制,经过近几年的努力,其发展取得了可喜的成绩。自1974年来,相继研制成功了JCY-2与DC-30JG激光测距仪,这两台尚未达到自动化与数字化。相继又研制成功了DOH-1红外(GaAs)光电测距仪与DCS-1型He-Ne激光测距仪,这两台均在测量过程中全部达到自动化与数字化。此外,激光地形仪、激光测云仪和激光测高仪等仪器的相继研究成功,都为我国激光测距仪填补了空白。

§ 1-1 光波测距的基本原理及分类

光波测距与微波测距均属电磁波测距法(或叫物理测距法),它们都是测定电磁波在被测距离 D 上往返传播的时间 t_D 来间接测定距离。它们的不同点是前者以光波作载波,后者以高频无线电波作载波。无论是光波或电波,它们在空间传播的速度 c 是相同并是已知的,由公式

$$D = \frac{1}{2} c t_D, \quad (1-1)$$

可求出待测的距离 D 。式中 c 是电磁波在空间传播的速度,其值约为 3×10^8 米/秒。

根据测定时间 t_D 方法的不同,电磁波测距可分为两大类:一类是直接测定时间 t_D ,叫做脉冲法;另一类是间接测定时间 t_D ,叫做相位法。

因 c 是常数,如将(1-1)式对 t_D 进行微分得

$$dD = \frac{1}{2} c dt_D. \quad (1-2)$$

如果要求测距精度为 $\Delta D \leq 1$ 厘米,则要求直接测定时间 t_D

的精度, $\Delta t_D \leq \frac{2 \times \Delta D}{c} = \frac{2}{3} \times 10^{-10}$ 秒。在一般情况下, 直接

测定时间 t_D 达到上述的精度要求, 是非常困难的。因此, 高精度的距离测量一般不用脉冲法, 而用测量相位方法来间接测定时间 t_D 。由无线电技术知道, 连续的调制电磁波讯号在被测距离 D 上往返传播所形成的相移 φ_D 与在被测距离 D 上往返传播的时间 t_D 之间关系可用下式表示:

$$t_D = \frac{\varphi_D}{\omega} = \frac{\varphi_D}{2\pi f}, \quad (1-3)$$

式中 ω 为调制讯号的角频率, 它与频率 f 的关系为 $\omega = 2\pi f$ 。代入式(1-1)得:

$$D = \frac{1}{2} c t_D = \frac{1}{2} c \frac{\varphi_D}{2\pi f} = \frac{c}{2f} \frac{\varphi_D}{2\pi}. \quad (1-4)$$

现假定连续的调制光的调制频率 f 选用 15 MHz, 同样将(1-4)式对 φ_D 进行微分得:

$$dD = \frac{c}{2f} \frac{d\varphi_D}{2\pi}. \quad (1-5)$$

如果同样要求测距精度 $\Delta D \leq 1$ 厘米, 则要求测定相位 $\Delta\varphi_D$ 的精度 $\Delta\varphi_D \leq \frac{2 \cdot f \cdot \Delta D}{c} \cdot 360^\circ = 0.36^\circ$ 。达到这个测相精度的要求是不困难的。因此, 目前国内外高精度的光波测距仪大多采用相位法。

采用不同光源制成的光波测距仪种类很多, 按测程区分, 大体有如下三类:

1. 短程光波测距仪 测程在 5 公里以内, 多数采用红外光源, 少量采用 He-Ne 激光器。主要适用于各种工程测量。

2. 中长程光波测距仪 测程在五至几十公里, 适用于大地控制测量和地震预报等。光源采用 He-Ne 激光器。

3. 远程光波测距仪 测程几百公里以上, 用于测量导弹、人造卫星、月球等空间目标的距离。光源为固体激光器。

§1-2 几种光波测距原理框图

利用光波进行测距的方法除了上述脉冲法、相位法之外, 还有反馈法、脉冲-相位法、干涉法等等。下面对这些方法作一概要介绍。

1. 脉冲测距法(雷达测距法) 这种方法与雷达定位基本相同, 它的原理框图如图 1-1 所示。它由光源、发射系统、

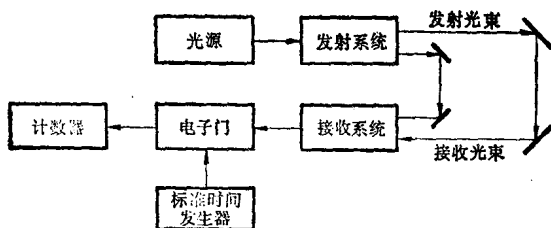


图 1-1 脉冲测距原理框图

接收系统、电子门、计数器以及标准时间发生器等组成。测量时, 光源被激发发射光脉冲讯号, 经发射系统射向被测距离的目标; 同时由发射系统取出一小部分能量直接送入接收系统, 转换成电脉冲讯号触发门电路使其开启, 并作为计时的始点, 标准时间讯号通过电子门进入计数器内计时; 经 t_d 后, 光脉冲从目标处返回(称回波)进入接收系统, 转换成电脉冲讯号触发电子门关闭, 停止计数。因此, 在计数器内计入的数字便是 t_d 时间, 代入公式(1-1)就获得被测距离值。由于计数器的速率在我国目前情况下, 直接计数最高达 150MHz 左右, 也就是说测时的精度只能达 10^{-8} 秒数量级。因此, 在上述情况下, 脉冲法测距精度最高为 1 米。

脉冲测距法的特点是结构简单, 成本低, 速度快, 不须要合作目标(即无反射镜)也可测量(漫反射)。但它要求光源瞬时功率很大, 需要瓦级甚至兆瓦级, 其次, 还要求光脉冲的宽度窄(毫微秒级)。这类仪器一般适用于军事火力测距、舰船的导航和定位以及困难地区的局部地形测量。它适宜作远距离的测量, 如测量人造卫星、月球等空间距离。对遥远的空间来说, 米级的精度已经是很高了。当采用锁模技术, 用微波光电二极管作光电转换器件, 以及用高速计数器计时, 其精度可达“厘米”级水平。

2. 相位测距法 相位法是测量连续调制光讯号中的高频调制讯号在被测距离 D 上往返传播所形成的相移 φ_D , 间接测量时间 t_D , 它的原理框图如图 1-2。发射光束通过电光调

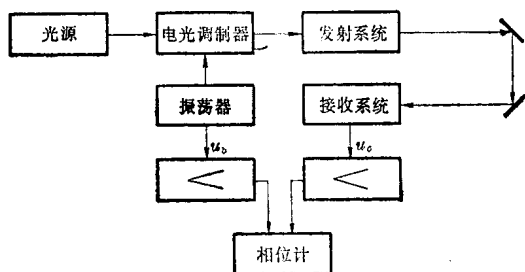


图 1-2 相位测距原理框图

制器而变成连续的调幅光波(也可是调频波), 其幅度变化规律是按振荡器的高频频率 f_b 而变化, 仪器所测出的相移也就是该调制频率 f_b 讯号在测线上所形成的 φ_D 。当调制光束经发射系统射入被测距离处的棱镜而返回接收系统, 经光电转换成电信号 u_c , 放大后送入相位计与振荡器产生的高频讯号 u_b 进行比相(相位计原理详见 § 2-5), 比相后所获得的相位差 ϕ_D 代入公式(1-4)求出被测距离之值。

相位法测距仪中的电光调制器是整个仪器的核心，可以是超声调制器、克尔盒调制器或是 KD*P 调制器。它要求采用一定功率的连续发光光源，并要有反射棱镜作合作目标，线路结构较复杂，但其精度较高，可达 5 毫米~1 厘米。如果采用双色或多色激光测距。以克服气象的影响，能使测距精度达 0.1 毫米。而采用超高频(千兆赫以上)调制，其测相精度可达 0.01 毫米以上。因此，相位测距法在大地测量和工程测量以及地震预报中得到了广泛应用。

3. 反馈测距法 图 1-3 是反馈测距法原理框图，光源将

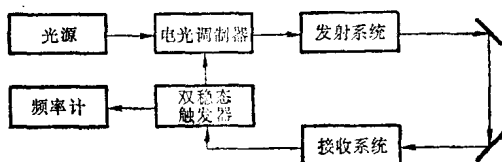


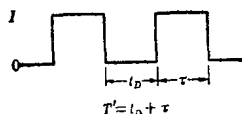
图 1-3 反馈测距原理框图

一束光射入电光调制器，经发射系统而发出。测量前，双稳态触发器给电光调制器的电压为零，这时电光调制器二边的偏振器互相垂直，所以光束无法穿过调制器。测量时，操作者按下按钮，即产生一个讯号，使双稳态触发器翻转，因而输给电光调制器的电压从 0 升到 u ，使穿过调制器的光强从 0 升至 I 。这一讯号射向被测目标处的反射镜，经 t_D 时间后，这个从 0 变为 I 的光讯号进入接收系统转变成电信号，将双稳态触发器再次翻转，关闭电光调制器，使穿过调制器的光强从 I 降为 0。又经 t_D 时间后，从 I 降为 0 的这一光讯号，再次射入接收系统，又使触发器翻转。周而复始，则在发射与接收系统得到了图 1-4 所示的光讯号波形。

从图 1-4 看出，发射光的波形为一方波，即双稳态触发器



(a) 调制器射出的光讯号



(b) 接收系统收到的光讯号

图 1-4 光讯号的波形

的输出是一个周期为 $2T'$ 的方波, 其中 $T' = t_D + \tau$, τ 为从接收系统到电光调制器之间的电路延迟时间。将该振荡方波输入到频率计即可测得其振荡频率(或周期)值, 显然这频率值是与被测距离成比例, 可换算成距离值。假定振荡频率为 f , 其周期为 T , 即

$$T = 2T' = \frac{1}{f} = 2(t_D + \tau), \quad (1-6)$$

由(1-6)式得

$$t_D = \frac{T}{2} - \tau = \frac{1}{2f} - \tau. \quad (1-7)$$

将(1-7)式代入(1-1)得

$$D = \frac{c}{2} \left(\frac{T}{2} - \tau \right) = \frac{c}{2} \left(\frac{1}{2f} - \tau \right). \quad (1-8)$$

这种测距仪是用双稳态触发器的输出控制光讯号, 而光讯号又作为触发器的反馈讯号, 来控制触发器的翻转频率, 所以称为“反馈式”测距法。

反馈测距法的特点是线路简单、精度高、制作容易, 但其精度随距离的增加而减低。因当距离增加时, 其振荡频率降低, 这时需将测频法改用测时方法来提高其精度。但尽管如此, 反馈法因随距离增加而受大气影响对其振荡频率越不稳定, 以致使误差增大。最主要原因是振荡频率与距离不成线性的关系, 而式(1-7)中的 τ 既不是一个常数, 又是难以测定的一个数值。因此, 迄今尚未得到实用, 只在实验室几百米内

进行试验。

4. 脉冲-相位测距法 脉冲-相位法根据发射光的脉冲波形不同,可分调制法与谐波法。

调制法原理是与相位测距法类似,区别仅在于调制光讯号的波形不同。调制法是采用脉冲间断发射,而相位法则采用连续发射,如图 1-5 所示。当接收回波后,检出具有相移的

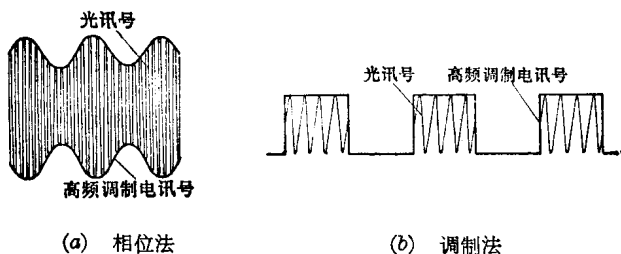


图 1-5 相位法与调制法所发射的光波

高频调制电讯号,然后按测相法原理进行相位比测。应指出,这里的脉冲宽度最小应是被测距离所需时间的二倍。

谐波法发射的是没有经过调制的矩形光脉冲。矩形波的各次谐波,由于在测线上往返传输将形成的相移 ϕ_{Dn} 。因此,接收系统接收回波光信号后,选取发射信号的某次谐波信号,并测定其相移 ϕ_{Dn} 。间接测出距离。但这里谐波的次数 n 不能取得太高,否则信号太弱, n 一般选取小于 5。

这种测距法特点是结构简单,精度达 3~5 厘米之间,测距可达 10 公里,并可采用半导体 GaAs 激光管(这种管子不能连续工作),从而使体积小。在精度要求不高的场合下,为缩小体积,这种方法是值得考虑的。

由于近年来已研制成一种“双异质结构的 GaAs 激光器”,采用这个光源并用超高频调制,脉冲-相位法的精度可达

0.5 毫米。

5. 干涉测距法 干涉测距也是一种相位法测量距离,但它不是通过测量调制光讯号的相位值来测定距离,而是通过光波本身的相位迭加关系(即光的干涉原理)测定距离。由于光波的波长极短(微米量级),而激光的单色性又使其波长值很准确,所以用干涉法测距的分辨率至少可达到 $\frac{\lambda}{2}$, 精度为微米级。这是任何测距方法都不能相比拟的。但是,这种方法只能用于测量相对距离,而不能测量绝对距离。

第二章 相位式光波测距原理

相位式光波测距是测定连续的调制光(一般为调幅)讯号在待测距离 D 上往返传播所形成的相移 φ_D , 来间接测定传播时间 t_D , 然后用式(1-4)换算被测距离。

调制光波在待测距离 D 上往返传播所形成的相移 φ_D , 如图 2-1 所示。由图 2-1 可知,

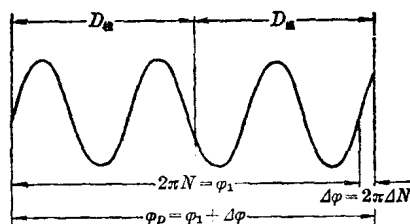


图 2-1 调制光波在传播过程所形成的相移

$$\varphi_D = \varphi_1 + \Delta\varphi = 2\pi(N + \Delta N)$$

代入(1-4)公式得

$$D = \frac{c}{2f}(N + \Delta N), \quad (2-1)$$

式中, N 为正整数(相位变化周期的倍数);

ΔN 具小于 1 的数(不足整周期的尾数)。

如果 c 与 f 是已知的, ΔN 可由仪器测得(实际上仪器也只能测得 ΔN 值), 则式(2-1)中仍有两个未知数 D 和 N , 这便产生了一个多值的解。为解决这个问题, 就必须采用几个频率(合成一组)来测定同一距离, 或用连续可变式频率调制