

短程光电测距仪的应用

毛能武 编



中国铁道出版社

短程光电测距仪的应用

毛能武 编

中 国 铁 道 出 版 社

1983年·北京

短程光电测距仪的应用

毛能武 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 于宗远

封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: 6.875 字数: 154千

1983年8月第1版 1983年8月第1次印刷

印数: 0001—4,000册 定价: 0.85元

内 容 简 介

本书主要内容包括光电测距仪的构造，测距原理，误差分析，各项检验，校正方法，各种改正数的计算，以及用于各项测量工作的具体方法和要求。

全书共分十章，第一至七章介绍光电测距的基础知识；第八至十章介绍测距仪在各项测量工作中的应用方法和要求。

本书供勘测部门的工程技术人员和工人学习，并可供大专院校有关专业师生参考。

前 言

光电测距仪在我国工程测量中，已越来越得到普遍使用。附有经纬仪的光电测距仪，可以同时测角测距，特别是配有微型电子计算器时，还可以同时计算平距、高差和坐标等。使用光电测距仪测量速度快，精度高，劳动强度小，因此大大地改变了工程测量的旧貌，使工程测量走向现代化。

本书主要介绍短程光电测距仪的构造，测距原理，误差分析，各项检验、校正方法，各种改正数的计算，以及用于各项测量工作（线路勘测、桥隧控制等）中的具体方法和要求。

本书共分十章，第一至第七章是光电测距的基础知识，对各种工程测量人员都是有用的，第八至第十章以铁路测量为例，介绍测距仪在各项测量工作中的应用方法和要求。

本书在写作过程中，承北方交大朱成磷教授，西南交大傅晓村同志及我院有关领导的关怀和支持，并得到宋家梁、曹文龙、张伟、李瑞芬等同志的协助，特此一并致谢。

铁道部第四勘测设计院 毛能武

目 录

第一章 概 述	1
§ 1—1 电磁波测距仪的种类及发展概况	1
§ 1—2 光电测距仪的测距原理	5
§ 1—3 红外光电测距仪的主要部件	9
第二章 DI3S 型测距仪简介	12
§ 2—1 仪器的整机结构及技术数据	12
§ 2—2 各主要部件的外部构造	13
§ 2—3 测距时的作业程序及方法	15
§ 2—4 仪器及其附件的检查、校正	20
第三章 DM501型测距仪简介	24
§ 3—1 仪器的整机结构及技术数据	24
§ 3—2 仪器的主要部件说明	25
§ 3—3 操作使用方法及说明	27
§ 3—4 测距仪的检查和校正	33
§ 3—5 仪器设备的养护	36
第四章 DKM2-A型经纬仪简介	38
§ 4—1 仪器概况	38
§ 4—2 仪器结构特点	38
§ 4—3 仪器的操作及使用	41
§ 4—4 仪器的校正	43
第五章 HP25微型电算器简介	45
§ 5—1 概述	45
§ 5—2 电算器的性能	46
§ 5—3 手工运算	51
§ 5—4 程序计算	52
第六章 光电测距仪的误差分析及仪器检验	57

§ 6—1	误差分析及仪器检验的目的和意义	57
§ 6—2	误差分析	57
§ 6—3	测尺频率、照准误差及幅相误差的检验	63
§ 6—4	周期误差的检验	66
§ 6—5	加常数和乘常数的检验	75
§ 6—6	仪器综合精度指标的检验	107
§ 6—7	检验时的注意事项	111
第七章	各项改正数计算及测距精度	113
§ 7—1	距离及高差的各项改正	113
§ 7—2	测距精度	122
§ 7—3	光电测距的一般规定	131
第八章	光电测距仪在线路工程勘测中的应用	139
§ 8—1	初测导线(兼纵断面测量)	139
§ 8—2	定测中线(兼纵断面测量)	143
§ 8—3	导线或中线带基平	150
§ 8—4	关于导线闭合精度及平差问题	158
§ 8—5	断面、地形、既有线及站场测量	159
§ 8—6	光电测距仪在航测外业控制测量中的应用	161
第九章	光电测距仪在隧道控制测量中的应用	167
§ 9—1	控制网的形式	167
§ 9—2	导线的选点布网	168
§ 9—3	测量设计	169
§ 9—4	导线测量	171
§ 9—5	控制网的平差问题	173
第十章	光电测距仪在桥梁控制测量中的应用	180
§ 10—1	精密导线法	180
§ 10—2	测边网	181
§ 10—3	边角网	190
§ 10—4	跨河三角高程测量	196
附 录	近年国外光电测距仪一览表	205

第一章 概 述

§ 1—1 电磁波测距仪的种类及发展概况

一、什么叫电磁波和电磁波测距仪

简单地说，电磁波就是振荡的电磁场在空间由近及远的传播。用电磁波作为载波来测量距离的仪器，叫做电磁波测距仪。

大家所熟悉的无线电广播和电视，就是通过无线电台和电视台发射天线向周围空间发送无线电波来传送节目的，这种无线电波即是电磁波。每当发射台开始工作时，发射机内就产生强大的振荡电流，传输到发射天线，这时在发射天线邻近的空间，随即出现激烈振动的磁场和电场。实践和理论证明，凡是空间某处，只要一出现不均匀的磁场（或电场）时，必然在它周围的空间又会产生新的电场（或磁场），而新的电场（或磁场）一般也是不均匀地变化着的，因此它又可以继续在它的周围空间不断交替地变化下去，越来越广泛地向空间传播，就象以石投水那样，一圈一圈的水波由近及远地扩散。这种紧密联系和变化着的电场和磁场称之为电磁场，电磁场在空间的传播就是电磁波。因此，电磁波是由于电磁场的振荡而产生的。各种光波、X射线和 γ 射线的传播过程，也是通过电磁场来传播的，它们和无线电波在本质上是相同的，因此也是一种电磁波。

二、电磁波测距仪的种类

凡利用不同波段的电磁波作为载波的各种测距仪，统称为电磁波测距仪，如前所述，电磁波有多种，无线电波

和光波都是一种电磁波，电磁波测距仪按其载波可分为两大类：

（一）光电测距仪

以光波作为载波的测距仪，叫光电测距仪。光电测距仪本身，按其采用的光源不同，又可分为下列几种：

1. 普通光源测距仪

普通光源测距仪是采用白炽灯或高压水银灯作为光源的，如北京科学仪器厂的DGS-II型测距仪。

2. 激光测距仪

激光测距仪是采用氦氖（He-Ne）激光器或固体激光器作为光源的测距仪，如国产的JCY-2型及DC-30JG型等激光测距仪，都是远测程高精度的测距仪，也有短测程低精度的激光测距仪，如国产的激光地形测绘仪。

3. 红外光电测距仪

常用的短程光电测距仪，如北京测绘仪器厂出产的HGC-1型，瑞士威尔特厂的DI3S型，和瑞士克恩厂的DM501型等，都是红外光电测距仪，它们都是以砷化镓发光二极管作为光源的，发出的光是不可见的红外荧光。

（二）微波测距仪

微波测距仪是以微波波段（短波）的无线电波作为载波，它与光电测距仪的区别除载波不同外，还有一个不同之处（当然是由于载波不同所致）：即光电测距仪是只用一台仪器置于待测边长的一端，另一端是安置反射镜；而微波测距仪测距时，要用两台仪器（主台和副台）分别置于待测边长的两端，主台发射的电波被副台接收后，由副台再转发给主台，这种测距仪多用于远程测距，如国产的WJ-1型微波测距仪，测程为150米至30公里，测距精度为：

$$\pm (10\text{cm} + 3 \times 10^{-6}D)$$

电磁波测距仪，按其测程又可分为短程（几公里）、中程（几公里至十公里）、和远程（十公里以上）三种。

电磁波测距仪，按其测距方式的不同，还可分为相位式和脉冲式两种。脉冲式测距仪是直接测定光脉冲在测线上往返传播的时间，来求得距离的。相位式测距仪是通过测定调制光（波）在测线上往返传播所产生的相位移，间接测定时间来求得距离的。由于脉冲式测距仪的精度低，所以只用于低精度的测量，如地形测绘等，我们目前常用的短程红外光电测距仪，都是相位式的。

三、电磁波测距仪的发展概况

电磁波测距仪的研究已有几十年的历史，直到1948年才开始在大地测量中得到实际的应用。早期的电磁波测距仪是采用白炽灯或高压水银灯作为光源，这种仪器体积大，耗电多，而且笨重，自动化程度低，操作复杂，测量时间长，又只能在夜间作业。例如瑞典AGA公司1948年制成的第一台实用的光电测距仪，重量约100公斤，用400瓦的发电机作电源。因此这种仪器难以得到广泛的应用。

随着雷达和通讯等技术发展的需要，推动了微波技术的飞速发展，五十年代便出现了微波测距仪。

六十年代以来，电子学和激光技术的迅速发展，出现了氦氖激光器和半导体砷化镓发光管等新颖光源，给光电测距仪的发展创造了极为有利的条件，相继出现了以激光或红外荧光为光源的光电测距仪，使测距仪日趋小型，轻便，自动化程度日益提高，白天可以作业，因而广泛地应用于各种测量中。

目前短程光电测距仪正在迅速地发展，在电子线路方面，从半导体电路发展为集成电路，集成程度越高，仪器的体积越小，重量越轻；在读数方面采用数字显示，并可磁带记

录,还配有小型电子计算机,可在现场完成水平距离、高差和坐标的计算,近期的先进产品,还可自动测角,自动记录,而且可以储存数据,自动化程度越来越高。

红外光电测距仪以砷化镓发光二极管为光源,虽然具有体积小,结构简单,功耗小,以及效率高等优点,但是也有输出功率小,发射波长不太稳定和发散角较大等缺点,致使这类仪器的测程受到限制,一般只能测到二公里。

最近,随着生产发展的需要和半导体激光器制造技术、工艺水平的提高,已研制成用两种不同的材料制成的P-N结型激光器,即双异质结砷化镓激光器,即将用于短程红外光电测距仪中,使其测程和精度提高到新的水平。

还有一种测距仪,是以偏向器代替目前的反射镜。配有这种偏向器的测距仪,可以一次安置仪器连续测量不在同一直线上的两条以上的边长。这样可以减少迁站次数,提高测边的效率,但测角如何跟上去,仍是尚待研究的问题。

大家知道,光电测距仪的精度受气象的影响很大,而且测定的气象元素(气温,气压)难以代表整个测线,为了提高测距精度,避免外界气象条件的影响,于是出现了双激光测距的想法,即采用两个不同颜色的激光器,各自发出一种颜色的激光,也可以采用一个激光器,发出两种不同的颜色的激光。例如美国环境研究室研制成功的ESSA双激光测距仪,采用一个氦氖(He-Ne)激光器,和一个氦镉(He-Cd)激光器,前者发出波长为6328埃的红光,后者发出波长为4416埃的兰光。

在温度高,湿度大的情况下,湿度对测距精度也有一定的影响,便有人想到了三色激光测距仪,即增加一个对湿度敏感的载波,以便将湿度对测距的影响也消除掉。美国华盛顿大学研制了APL型三色激光测距仪。但重量较重,恐不

000000

适于短程的工程测量。

§ 1—2 光电测距仪的测距原理

用于工程测量中普通导线或控制测量的光电测距仪都是相位式的，故本节只介绍相位式光电测距仪的基本原理。

相位式光电测距仪是通过测量调制光在测线上往返传播所产生的相位移，间接测定所需的时间 t ，按式 (1—1) 来求得距离 D 的：

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

式中 c —— 光波或电磁波在大气中传播的速度；
 t —— 调制光在测线上往返传播的时间。

仪器的工作原理可用图 1—1 来说明。

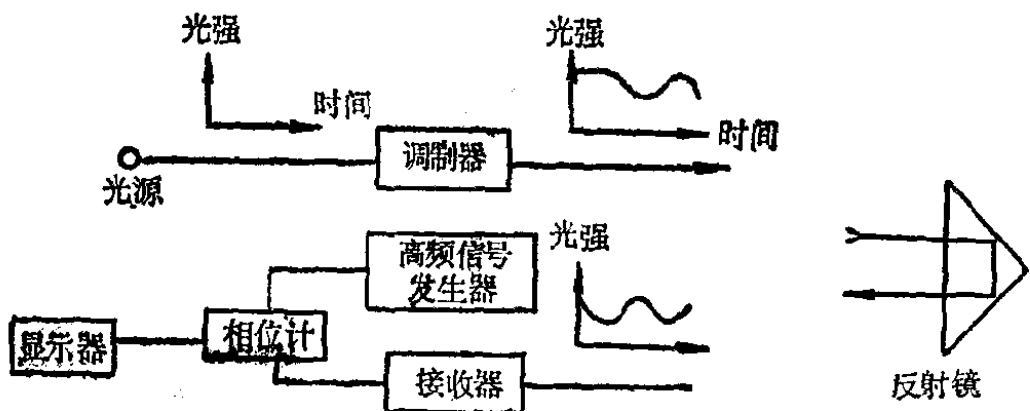


图 1—1

由光源发出的光通过调制器后，成为光强随高频信号变化的调制光射向测线另一端的反射镜，经反射镜反射后被接受器所接收，然后由相位计将发射信号（又称参考信号）与接收信号（又称测距信号）进行相位比较，并由测相计测出调制光在被测距离上往返传播所引起的相位移 ϕ ，再经过自动运算得出距离 D 由显示器显示出来。这就是大概的工作过

程，如果把调制波的往程和返程摊平，则有如图 1—2 所示的波形。

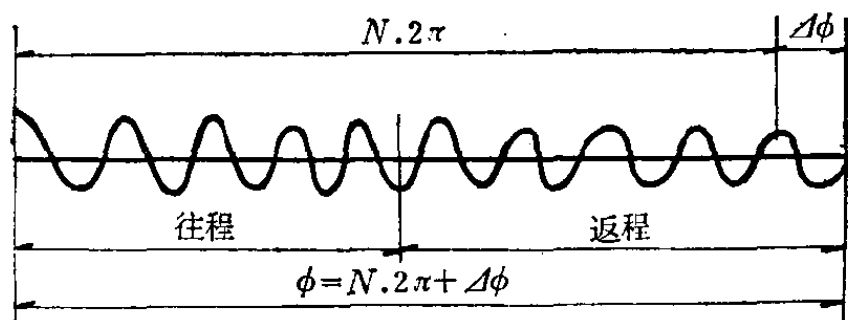


图 1—2

由物理学可知调制波在传播过程中所产生的相位移 ϕ 等于调制波的角频率 ω 乘以时间 t ，即

$$\phi = \omega t \quad (1-2)$$

若已知相位移 ϕ ，则可求得时间 t ：

$$t = \frac{\phi}{\omega} \quad (1-3)$$

因为 $\omega = 2\pi f$ (f 为调制波的频率)，故有：

$$t = \frac{\phi}{2\pi f} \quad (1-4)$$

将式 (1—4) 代入式 (1—1)，可得用相位移表示的测距公式：

$$D = \frac{c}{2f} \cdot \frac{\phi}{2\pi} \quad (1-5)$$

由图 1—2 可看出：

$$\phi = N \cdot 2\pi + \Delta\phi = 2\pi (N + \Delta N) \quad (1-6)$$

式中 N 为正整数，表示 ϕ 中的整周期数；

$\Delta\phi$ 为不足整周期的相位移尾数 $\Delta\phi < 2\pi$ ；

ΔN 为不足整周期的比例数 $\Delta N = \frac{\Delta\phi}{2\pi} < 1$ 。

将式 (1—6) 代入式 (1—5) 可得:

$$D = \frac{c}{2f} \left(N + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \right) = \frac{c}{2f} (N + \Delta N) \\ = u (N + \Delta N) \quad (1-7)$$

式中 $u = \frac{c}{2f} = \frac{\lambda}{2}$ (λ 为调制光的波长)。

由式 (1—7) 可以看出, 相位式光电测距就相当于用“光尺”代替钢尺量距, 被测距离等于 N 个整尺段 (即 $N \cdot u$) 再加上余长 ($\Delta N \cdot u$)。由于光的传播速度 c 和调制频率 f 是已知的, 所以“光尺”的长度 (或称测尺长度) u 也是已知的。显然, 要测定距离 D , 就必须确定整尺段数 N 和余长的比例数 ΔN 。

由于在相位式测距仪中, 相位计只能测定相位移的尾数 $\Delta\phi$ (或 $\Delta N = \frac{\Delta\phi}{2\pi}$), 无法测定整周期数 N , 因此使式 (1—7) 产生多值解, 距离 D 仍然无法确定。如果被测距离 D 小于测尺长度 u , 则 $N = 0$, 即可求得距离 $D = u \cdot \frac{\Delta\phi}{2\pi} = u \cdot \Delta N$ 。因此为了扩大单程测距长度, 就必须选用较长的测尺, 即采用较低的调制频率 (或称测尺频率), 根据公式: $u = \frac{c}{2f}$ 取 $c = 3 \times 10^8$ 公里/秒, 可求出与测尺长度相应的测尺频率, 如表 1—2 所示。

表 1—2

测尺频率	15兆赫	1.5兆赫	150千赫	15千赫	1.5千赫
测尺长度	10米	100米	1公里	10公里	100公里
测距精度	1厘米	10厘米	1米	10米	100米

由于仪器的测相系统存在测相误差 (一般达 10^{-3}), 它对测距精度的影响将随测尺长度的增长而增大, 因此, 为了解决扩大测程与提高精度的矛盾, 可以采用一组测尺配合使

用，以短测尺（精测尺）保证精度，用长测尺（粗测尺）保证测程，解决多值解的问题，这就如同钟表上用时、分、秒针互相配合来确定12小时内的准确时间一样。

测距仪中一般是采用两把测尺配合测距，其中精测频率为 f_1 ，相应的测尺长度为 $u_1 = \frac{c}{2f_1}$ ，粗测频率为 f_2 ，相应的测尺长度为 $u_2 = \frac{c}{2f_2}$ ，若用它们测定同一距离，则由式（1—7）可写出下列方程组：

$$\left. \begin{aligned} D &= u_1 (N_1 + \Delta N_1) \\ D &= u_2 (N_2 + \Delta N_2) \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

则： $u_1 (N_1 + \Delta N_1) = u_2 (N_2 + \Delta N_2)$

于是可得：

$$N_1 + \Delta N_1 = \frac{u_2}{u_1} (N_2 + \Delta N_2) = K (N_2 + \Delta N_2) \quad (1-9)$$

式中 $K = \frac{u_2}{u_1} = \frac{f_1}{f_2}$ ，称为测尺放大系数。

若已知 $D < u_2$ ，则 $N_2 = 0$ ，则：

$$N_1 = [K \cdot \Delta N_2] \text{的整数部分}$$

这是因为 N_1 为正整数， ΔN_2 为小于1的小数，式（1—9）等号两端的整数部分和小数部分应分别相等的原故；若已知 $u_2 < D < 2u_2$ ，则 $N_2 = 1$ ，同理可得：

$$N_1 = [K (1 + \Delta N_2)] \text{的整数部分。}$$

为了保证 N_1 值正确无误，测尺放大系数 K 应根据 ΔN_2 的测定精度来确定。

综上所述，利用精、粗测尺配合测距的一般计算公式为：

$$\left. \begin{aligned} D &= u_1 (N_1 + \Delta N_1) \\ N_1 &= [K (N_2 + \Delta N_2)] \text{的整数部分} \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

其中 N_2 须根据概略距离来确定，例如选用 $u_1 = 10$ 米， $u_2 =$

1000米，两把测尺测量一段 $D=1386.98$ 的距离，测得 $\Delta N_1=0.698$ ， $\Delta N_2=0.387$ ，已知被测距离的概值为1公里 $<D<2$ 公里，则由式(1—10)可求得距离 $D=1386.98$ 米，即

	6	9	8	 ΔN_1 观测读数
38	7			 ΔN_2 观测读数
1				
1	38	6	9	8 米

由精、粗测尺读数计算距离（小于 u_2 的部分）是由仪器内部的逻辑电路自动完成的。除EOT2000和TC1型测距仪外，显示器只直接显示公里以下的数字。

§ 1—3 红外光电测距仪的主要部件

相位式光电测距仪主要由照准头、控制器、电池盒(箱)、反射镜、经纬仪等五种部件组成。兹分别介绍如下：

一、照准头

照准头内装有发射和接收光学系统，以及调制器和光接收器电路，为了通过内外光路的交替测量消除仪器内部的附加相移和相位漂移，照准头上还装有内外光路自动转换机构。当仪器作内光路校准测量时，发射光通过仪器内部的光路直接反射回接收系统，这如同钢尺量距时将钢尺零点对准起点标志，以便终点上的测量员根据终点标志在钢尺上读取距离一样。作外光路测量时，发射光经物镜射向测线终点上的反射镜，然后再反射回接收系统。照准头上还装有光栏旋钮，用以调节接收物镜后的光栏孔径，以控制接收信号强度。另外还有与经纬仪连接的装置等。

照准头的外部构造形式及尺寸，随仪器的型号不同而不完全一致，有的是两个镜筒并联，测距时将它们安置在经纬仪望远镜的上方，如国产的HGC-1型（与经纬仪联装的一

种)和瑞士Wild的DI3S型,但两者与经纬仪的联接方式不同,前者是用一个把柄和一个锁杆连接在望远镜的接合座上,后者是用两只弹性扳手把照准头安置在望远镜顶面的连接器的两只螺栓上;有的照准头是与经纬仪望远镜合为一个镜筒,不需在外部连接,如东德的EOT2000型,瑞士的TC1型,有的照准头是立式的C型,将望远镜卡于C形的中间,C型的上方为接收镜筒,下方为发射镜筒,而且将控制器与照准头结合为一体,如瑞士Kern的DM501型。

二、控制器

控制器内装有电子线路系统,操作面板上有各种按钮,检验按钮用于测距前检查仪器电子线路系统工作是否正常,以及信号的强弱等,逻辑启动按钮用以触发指令系统,使仪器按预定的程序自动进行距离测量,显示器显示斜距至毫米,DI3S、DM501等均显示六位,而EOT2000是显示七位。

各种不同型号的仪器,其控制器的形式及大小也不一样,HGC-1型控制器的尺寸是 $300 \times 200 \times 320$ 毫米,重量为6.8公斤,不能安置在仪器的三脚架上,而只能放在测站附近的地面上,籍电缆与照准头及电池盒连接而进行工作,DI3S的控制盒(器)的尺寸为 $20 \times 280 \times 70$ 毫米,它可以安置在仪器的基座上,经纬仪则放于控制器的轴盘上,可与照准头、经纬仪连成一个整体安置在三脚架上,而且控制器上设有固定的专用微型电子计算器,可以计算平距、高差及坐标增量,但角值只能输入至 $10''$;EOT2000的控制箱体积较DI3S大,但仍可安置在仪器的三脚架上,而微型电算键盘用手柄和电缆连接在控制器左侧,角值可输至秒,只能算平距及高差,由于设在左侧故操作不方便,且按键时影响仪器的稳定,故测角时要把键盘从手柄下卸下握在手中。但不能使联接仪器的电缆受到应力。测量的起动按钮和距离显示器