

红外测距仪 原理及检测

杨德骈 主编著

测绘出版社

17.731
661

红外测距仪原理及检测

杨德骅 主编著

测绘出版社

本书是作者在多年来对测距仪从事研究、教学并举办了大量培训班取得一定经验的基础上，为了各方面需要而编写的。主要包括：测距仪发展史，光电基本知识，基本原件特性，光学系统，基本电路，常用红外测距仪的性能和使用方法，以及误差分析与检测等。

本书可供广大测绘工作者、测绘大专院校学生、测距仪研制、生产、检测和维修人员学习参考。

红外测距仪原理及检测

杨德麟 主编著

*

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

*

开本 787×1092 1/16 · 印张 20 · 插页 1 · 字数 455 千字

1989 年 9 月第 1 版 · 1989 年 9 月第 1 次印刷

印数 0,001—2,700 册 · 定价 11.00 元

ISBN 7-5030-0267-0/P·103

前 言

红外光电测距仪精度高、体积小、重量轻、功耗少、自动化程度高、测程范围大、使用方便,是目前国内使用最多的测距仪器,受到广大测绘工作者的欢迎。测距仪比较复杂、测距精度又容易受到各种因素的影响,为了更好地掌握仪器、发挥仪器的效益,测绘工作者迫切希望对测距仪原理及仪器的结构、检测方法等作较系统深入地了解,本书即为读者提供这方面的参考。

本书是在多年对测距仪及测距仪检测方法的研究基础上,同时又是在多年测距教学和测距仪培训班各门课程教学的基础上,考虑各方的需要,并集中与红外测距的有关内容编著而成。

本书就测距仪发展史、光电基本知识、发光管、接收管、光学系统、测距仪基本电路、国内常用测距仪的使用及测距仪检测方法等方面都作了较简炼系统的分析。仔细阅读后,对测距仪会有有一个基本的全貌的了解。读者对象不同,可选择不同的章节重点阅读。对测绘工作者、测绘大专院校学生、测距仪研制和生产的人员,都有一定的参考价值。

本书第三章,电的基本知识,着重从物理概念较精简地讲述了与测距仪有关模拟和数字电路的基本内容,供读者查阅。

本书第三章由张贵绥、杨德骅、第七章由过静珺、其余各章由杨德骅编写。过静珺还参加了第五、六章,杨俊志参加了第八章的编写工作。

刘翰生教授对全书作了认真仔细的审定,作者在此表示衷心感谢。

全书完成还得到教研组同志们的支持和帮助;全书插图由黄振杰同志清绘。此外还得到北京测绘仪器厂、国家测绘局测绘研究所、北京光学仪器厂的一些同志的支持和帮助;同时,还参阅了一些同志的论文和资料,在此一并表示感谢。

作者水平所限,错误之处请读者指正。

编著者

1988.9.1

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 电磁波测距仪发展史概况及其分类	(1)
§ 1-2 红外光电测距仪发展现状及趋势	(4)
§ 1-3 波的概念	(6)
§ 1-4 电磁波测距的基本原理	(10)
第二章 光传播的基本知识	(15)
§ 2-1 光的基本性质	(15)
§ 2-2 真空中的光速	(15)
§ 2-3 相速和群速	(16)
§ 2-4 媒质中的光速	(17)
§ 2-5 光的大气传输效应	(20)
§ 2-6 光线的传播规律——几何光学的基本定律	(26)
§ 2-7 光的全反射	(27)
§ 2-8 光的偏振	(28)
§ 2-9 光的双折射	(29)
第三章 电子技术基础知识	(30)
§ 3-1 半导体器件	(30)
§ 3-2 模拟电路	(34)
§ 3-3 数字集成电路	(51)
第四章 半导体激光器、发光器及光探测器	(71)
§ 4-1 激光概述	(71)
§ 4-2 激光及其产生	(71)
§ 4-3 半导体激光器	(74)
§ 4-4 光探测器 (光电转换器件)	(78)
第五章 红外测距仪的光学系统和部件	(83)
§ 5-1 概述	(83)
§ 5-2 发射、接收、瞄准光学系统	(84)
§ 5-3 内光路系统	(87)
§ 5-4 减光装置	(87)
§ 5-5 反光镜	(91)
§ 5-6 测距仪的测程估算	(97)
第六章 相位式红外测距仪工作原理	(100)

§ 6-1	相位式红外测距仪原理框图	(100)
§ 6-2	红外测距仪电路主要部件功能分析	(102)
§ 6-3	红外测距仪的基本电路	(121)
§ 6-4	双频测距仪的改进电路	(148)
§ 6-5	微机在测距仪中的应用	(152)
§ 6-6	液晶数字显示器件	
第七章	10种常用红外测距仪的性能和使用方法	(159)
§ 7-1	DI3S 红外测距仪	(159)
§ 7-2	DI4L 红外测距仪	(165)
§ 7-3	DM503 红外测距仪	(172)
§ 7-4	DCJA ₅ 型红外测距经纬仪	(177)
§ 7-5	EOT-2000 红外测距仪	(184)
§ 7-6	RED _{MINI} 红外测距仪	(188)
§ 7-7	DI-1000 红外测距仪	(193)
§ 7-8	DI-20 红外测距仪	(196)
§ 7-9	DI-3000 和 DIOR-3002 光电测距仪	(199)
§ 7-10	DCH2 型红外测距仪	(203)
第八章	红外光电测距仪误差分析与检测	(207)
§ 8-1	红外测距仪的测距公式	(207)
§ 8-2	测距仪的误差来源及其性质	(208)
§ 8-3	测距仪检测的目的与内容	(217)
§ 8-4	周期误差的检测	(234)
§ 8-5	周期误差检测中几个问题的讨论	(241)
§ 8-6	仪器加常数的测定	(245)
§ 8-7	同时检测加常数和周期误差的新六段解析法	(261)
§ 8-8	乘常数的测定	(268)
§ 8-9	光电测距仪系统误差的监测	(281)
§ 8-10	测距仪综合精度的评定——测距仪中误差公式讨论	(285)
第九章	观测数据处理和成果计算	(290)
§ 9-1	粗差的剔除	(290)
§ 9-2	系统误差的显著性检验	(293)
§ 9-3	电磁波测距成果改正数计算	(302)

第一章 绪 论

§ 1-1 电磁波测距仪发展史概况及其分类

人们早就在探索研究利用电磁波来测量距离。

精密电磁波测距技术的突破是从 1941 年开始的。瑞典大地测量局大地测量学者贝尔格斯 (E. Bergstrand) 在诺贝尔物理研究所研究 Karolus-Huettel 测定光速和距离的电子方法, 并在大地测量基线上进行高精度的光速测定, 1943 年获得了满意的结果, 至 1947 年这种方法发展成为著名的 Geodimeter (Geodetic Distance Meter) 原理。同年, 他与瑞典阿伽仪器公司 (AGA Instrument Co.) 合作, 于 1948 年研制成功 Geodimeter 样机, 该机利用光波作载波在被测距离上往返传播而求得距离。1950 年至 1955 年 AGA 厂相继生产了 Geodimeter 1 型, 2 型, 2A (NASM 2A) 型仪器。2A 型光电测距仪的夜间测程为 30km, 白天测程为 6km, 精度为 $\pm(10\text{mm} + 1\text{ppm})$, ppm 的含意为百万分之一。因其性能优异, 畅销各国, 在基线测量中发挥了较大的作用。由于该仪器是采用白炽灯光源, 真空电子管线路等等, 使得仪器笨重, 功耗很大 (主机重达 94kg, 耗电约 150W) 需要小型发电机供电, 操作不便, 计算复杂, 而且多在夜间作业, 因而在使用上受到很大限制。随着半导体器件的发展和应用, 1957 到 1964 年 AGA 厂又相继生产了白炽灯或高压汞灯光源, 半导体线路的 AGA-3 型、4 型、6 型等小型化光电测距仪, 重量为十几公斤, 功耗近 30W。

光电测距仪测程远、精度高, 与基线尺作业比较, 省掉了基线测量中的许多复杂过程, 提高了效率, 因而光电测距作为测距发展方向得到了普遍的重视。

1960 年 7 月, 美国人梅曼 (Maiman) 研制成功世界上第一台红宝石激光器。由于激光具有方向性强, 亮度高, 单色性和相干性好等特点, 是长程高精度测距仪比较理想的光源。1965 年美国海岸及大地测量局用氦氖激光器代替水银灯作光源, 将 AGA-4D 型测距仪改装成为 AGA-4DL 型激光测距仪。1968 年 AGA 公司研制成功长程激光测距仪 AGA-8 型, 它白天夜间的测程均达 60km, 精度为 $\pm(5\text{mm} + 1\text{ppm})$, 主机重 23kg, 功耗 75W, 比以前的仪器有了很大的进步。其它如美国、苏联等国也研制了多种型号的激光测距仪。这些激光测距仪的优点是可以昼夜观测, 测程较远, 精度较高, 体积较小, 它完全淘汰了以白炽灯和汞灯为光源的光电测距仪。

60 年代末期, 又出现了以半导体激光器和发光管 (荧光管) 为光源的小型光电测距仪。它后来居上, 发展极为迅速。

发光管, 如砷化镓 (GaAs) 发光二极管, 是测距仪 (尤其是短程测距仪) 更为理想的光源。它在一定的工作状态下发出红外荧光, 故又称红外发光二极管。这种光源体积小、亮度高、寿命长、功耗低、结构简单, 而且发射光的强度能随发光管上注入电流大小

的变化而变化,也就是说发射的光强能受馈电电流的调制。这种调制特性大大地简化了测距仪的结构。同时,由于电子技术的发展,半导体电路和集成电路的应用,使得采用GaAs发光二极管作为光源的红外光电测距仪(简称红外测距仪),测程达几公里,精度达 $\pm(5\text{mm}+5\text{ppm})$,仪器的体积小、重量轻、功耗低,并且能与经纬仪配合使用。自1965年秋天,英国特鲁罗梅特(Tellurometer)仪器公司研制成MA-100红外短程测距仪和1968年瑞士威特(WILD)厂研制成DI10红外测距仪以来,红外测距仪的新型号不断涌现,而且在各种测量工作中得到广泛应用。目前5km以下的测距仪几乎均采用半导体发光二极管作光源,而且AGA厂的AGA-14A,威特厂的DI20型红外测距仪测程已发展到15km。到目前为止,世界各国生产的红外光电测距仪共计约有一百多种型号,几个主要的仪器厂家已形成了各自的系列,其主要产品及技术指标参阅附录一。

在发展以光波作为载波的测距仪的同时,用无线电微波作为载波的测距仪也得到了发展。1956年英国Tellurometer有限公司按照瓦德利(Wadley,T.L.)研究的原理,首次生产用于大地测量作业的Tellurometer MRA1型微波测距仪。当时已有数年历史的光电测距仪,仅限于在黎明、黄昏及夜间能见度较好的大气中观测,而微波测距仪则几乎可以在全天候条件下作业,测线两端能直接通话,因而受到测绘界特别是军事测绘界的欢迎。由于微波测距仪的测距精度受地面反射波的影响较大,因而精度较低,其发展速度比光电测距仪慢得多。美国、英国、加拿大、澳大利亚、苏联、瑞士、西德等国均研制过微波测距仪,70年代研制的微波测距仪测程一般为10~50km,精度为 $\pm(10\text{mm}+3\text{ppm})\sim\pm(20\text{mm}+3\text{ppm})$ 。但近几年来微波测距仪在重量、精度上取得了重大突破,生产出了精度高、重量轻的新型仪器。特别引人注目的是苏联中央测绘研究所研制成功的轻小型微波测距仪БОЛША,1980年开始在测绘作业中应用,仪器重9kg,功耗为10W,精度达 $\pm(3\text{mm}+3\text{ppm})$,测程为15km(采用漏斗式喇叭形天线)和25km(采用卡塞格伦式抛物镜面天线);1981年由苏联亚美尼亚伊里万综合技术学院工程测量教研室研制成功轻便的工程测量微波测距仪RDL型仪器,其发射及接收部件(重2.5kg)可以安装在经纬仪顶部,测距仪精度为3~5cm,功耗8W,采用漏斗式天线时,测程为10km。近年来英国Tellurometer有限公司也生产了Tellumat CMW 20型微波测距仪,它的测程为20m~25km,精度为 $\pm(5\text{mm}+3\text{ppm})$,重量为7kg,功耗20W。这几种新型的微波测距仪标志着微波测距仪发展史上的重大突破,从而揭开了微波测距仪用于工程测量的序幕。Tellumat CMW 20微波测距仪的测程超过了红外测距仪,而且它是全天候作业的仪器,仪器的精度也相当于AGA-14A等红外测距仪。随着无线电技术的不断发展,微波测距仪有可能成为与红外测距仪相抗衡的对手,因而微波测距仪是值得注意的发展方向。

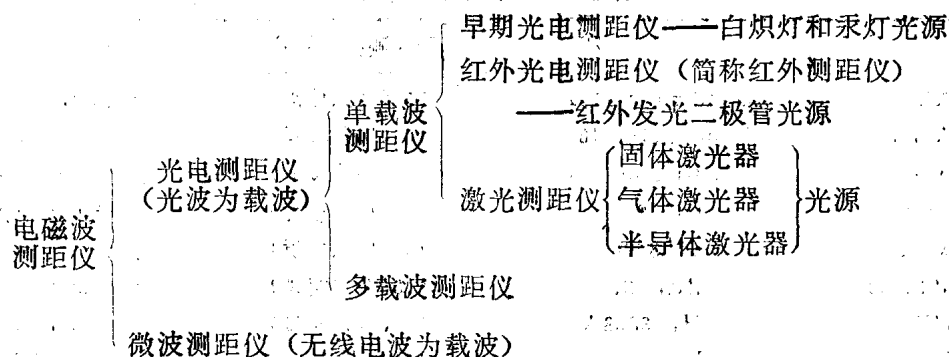
为了满足精密工程测量和地震预报的精度要求,一些仪器厂家也生产了更高精度的精密测距仪,其中以瑞士克恩(Kern)公司和英国柯目瑞德(Com-Rad)公司联合生产的ME-3000型光电测距仪为代表。ME-3000的特点是:分辨率达0.1mm,测距精度高达 $\pm(0.2\text{mm}+1\text{ppm})$,测程达5km,仪器可以自动改正大气折射率。最近克恩公司又推出了新型的高精度测距仪ME-5000,其测距精度可达 $\pm(0.2\text{mm}+0.2\text{ppm})$,测程达8km。

对于长程测距仪,提高精度的主要障碍是被测距离沿线的气象元素不易测准。为了解

决这一问题,有的仪器采用多载波测距法。用多载波法进行距离测定时,气温、气压和湿度对测距的影响可以忽略不计,因而测量人员不必测定气象元素。多载波测距仪目前还无产品出售。不过,多载波法已成为远程精密测距仪发展的新方向而受到各国的重视。

我国从 50 年代后期开始先后研制了多种型号的测距仪,具有代表性的有 1982 年武汉地震研究所研制成功的 TCY-3 型数字显示的激光测距仪,1985 年常州第二电子仪器厂研制的 DCH-2 型多功能红外测距仪,1986 年清华大学与苏州第一光学仪器厂共同研制的 DCH-1 型红外测距仪等。随着我国工业技术的不断进步,我国将会有质量更高、性能更稳定的测距仪问世。

测距仪的型号繁多,按载波和光源的不同,分类如下:



光电测距仪按测程分类,可分为三类:

一、短程光电测距仪:测程小于 3km,测距中误差为 $\pm(5\text{mm}+5\text{ppm})$,用于普通工程测量和城市测量。

二、中程电磁波测距仪:测程为 3~15km,一般测距中误差为 $\pm(5\text{mm}+2\text{ppm})\sim\pm(3\text{mm}+2\text{ppm})$,通常用于一般等级控制测量。

三、长程电磁波测距仪:测程大于 15km,一般测距中误差为 $\pm(5\text{mm}+1\text{ppm})$,通常用于国家三角网及特级导线。

此外,还有精密电磁波测距仪:一般为中、短测程,精度相当高,如 $\pm(0.2\text{mm}+0.2\text{ppm})$,通常用于精密工程测量和地壳形变观测。

在测量规范中,测距仪按测距精度(以 1km 测距中误差表示)分为三级:

I 级:小于 5mm

II 级:5~10mm

III 级:11~20mm

电磁波测距仪具有测程远、精度高、受地形的影响小、轻便灵活、作业效率高等特点,实用中极富有成效。近 30 年来电磁波测距技术发展很快,并且日趋成熟,目前已形成一门独立的学科。

§ 1-2 红外光电测距仪发展现状及趋势

一、红外测距仪向小型化、多功能、高精度、长测程等方向发展。

近些年来，随着微电子学的日益发展，为了满足测量外业对测距仪小型化、多功能、高精度、长测程的要求，红外测距仪的改进型和新型产品不断出现，主要表现为：

(一)、近年来出现了测程较长的红外光电测距仪，一般可以观测 8~20km 的长边。仪器测程增加，使其应用范围更加广泛，其中较有代表性的产品如表 1-1 所示。

几种红外测距仪的最大测程和精度

表 1-1

厂 名	型 号	最大测程 (km)	精 度
AGA	Geodimeter 14A	15 (16只棱镜)	± (5mm+5ppm)
AGA	Geodimeter 16	10 (16只棱镜)	± (5mm+5ppm)
AGA	Geodimeter 114	20 (16只棱镜)	± (5mm+1ppm)
wild	DI 20	14 (11只棱镜)	± (3mm+1ppm)
wild	DI 3000	14 (11只棱镜)	± (5mm+1ppm)
Sokkisha	RED 2L	9.8(9只棱镜)	± (5mm+3ppm)
HP	HP 3808A	10 (3只棱镜)	± (5mm+1ppm)
K+E	Uniranger	10 (9只棱镜)	± (10mm+2ppm)

(二)、仪器精度有所提高。红外测距仪的标称精度一般为 ±(5mm+5ppm)。近年来也出现了较高精度的产品，其中有代表性的主要产品如表 1-2 所示：

几种红外测距仪的标称精度

表 1-2

仪 器 型 号	标 称 精 度
DI 5	± (3mm+2ppm)
DI 20	± (3mm+1ppm)
DI 3000	± (5mm+1ppm)
DM 503	± (3mm+2ppm)
DM 550	± (5mm+2ppm)
DM 104	± (5mm+2ppm)
DM 150	± (5mm+2ppm)

(三)、仪器小型化。由于电子技术的日益完善，超大规模集成电路及微型计算机技术在测距仪中的应用，使得测距仪的体积愈来愈小，重量也愈来愈轻。测程较短的测距仪，如 WILD 的 DI1000，测程为 1km，重量仅为 0.6kg(指主机重量，另外平衡锤重 0.5kg)，日本测机舍 (Sokkisha) 的 RED mini 2，测程为 1.2km，重量仅为 0.8kg。不仅短程测距仪的重量愈来愈轻，中长程测距仪的重量也越来越轻，如 WILD 的 DI3000，其测程为 14km，重量仅为 1.7kg。

(四)、仪器继续向多功能的方向发展。目前的红外测距仪一般都具有测距、跟踪、

取平均值的功能,有的还有归算平距、高差、坐标的功能,以及给出施工放样中的距离偏差值。例如:

1. 在镜站增设了供定线放样用的通讯模块,可将测站的必要信息输给镜站,从而提高作业的工作效率。

(1)、在 Kern 厂 DM 502 或 DM503 为主体的模块系统中,设有远程接收器 RD10 (用卡销锁定在棱镜反射器的一侧)。RD10 装有液晶显示器和选择(斜距、平距、高差、纵向及横向偏差)旋转开关。测距仪在每次观测后,可立即向 RD10 发射斜距值。当测距仪与 HP41-CV 袖珍计算机连接时,即可发射其它四种量,棱镜员操纵选择开关并读数,从而可知棱镜位置前、后、左、右偏差的大小,不断移动棱镜直至符合要求为止。

(2)、瑞典阿伽厂的 AGA 122 等测距仪,有以红外测线为通话载波的麦克风。棱镜杆上备有单向光声联络器 UNICOM(红外通话器),棱镜员可以通过它听从观测员的指挥,以便移动棱镜杆至所求点为止。

2. 增设了在测站上遥控测距仪的操作键盘,如日本尼康(Nikon)公司的 FR-1 通过红外光束把操作信号传输给测距仪。这个功能为在特殊情况下使用测距仪提供了方便。

(五)、外业观测数据采用电子记簿或磁带机记录,这样大大地简化作业程序,缩短了作业周期。

二、近几年来,电子速测仪及其成图系统如雨后春笋般地发展起来,已为人们所重视。

(一)、电子速测仪,又称为全站型电子速测仪或简称全站仪,是红外光电测距仪与电子经纬仪及数据终端机(数据记录兼数据处理)结合的仪器。人工瞄准目标后,按电钮即可自动显示并记录距离、角度及计算数据。全站仪有整体式和组合(模块)式两种。

整体式全站型电子速测仪是指测距仪与测角仪合成一体的仪器。如 Zeiss 厂的 Elta2, Elta3; WILD 厂的 TC1、TC1L、TC2000; AGA 厂的 AGA140 等等。

组合(模块)式全站型电子速测仪是指测距部分和测角部分可以分开使用的仪器。如 Kern 厂的 E₁/E₂ 电子经纬仪加 DM502/DM503 测距仪; WILD 厂的 T1000/T2000/T2000S 电子经纬仪加 DI5/DI1000/DI3000 等等。这种类型的仪器有一个优点,当其中的一个部分损坏了,另一部分仍然能正常工作,即两个独立部分可以根据需要组合在一起或分开使用。

(二)、半全站型电子速测仪是红外测距仪加光学经纬仪,再加上计算记录系统组成的仪器系统。半全站型电子速测仪的型号很多,不过按其结构仍可分成整体式和组合(模块)式两种。整体式以日本测机舍的 SDM3ER 为典型代表。组合(模块)式的型号很多,如 AGA 厂的 AGA120、AGA112、AGA116、AGA122; 西德蔡司(Zeiss)厂的 Zeiss RSM3、RSM4 等。

(三)、电子速测仪系统和数控绘图系统形成一套完整的全自动化作业流程。如瑞士 WILD 厂的 Geomap 系统, (图 1-1(a)); 瑞士 Kern 厂的 SICORD 系统(图 1-1(b)); 西德 Zeiss 厂的 Geos-1 系统和美国(K+E)公司的 Vectron 系统等,均是从外业观测获得数据(采用数据终端机进行外业数据记录和处理)到内业计算处理以至成图完全由计

算机程控完成，形成了一整套全自动化的作业流程。采用全自动化作业有许多优点，其中以成图周期短，可以消除人为的读数与记录错误，减轻劳动强度，减少工作量等最为显著。

(四)、人工智能电子速测仪系统。在滑坡或其他对象的周期性监测中，每次都要进行大量的重复观测，为了掌握其动态，则必须对其进行连续观测，其工作量是巨大的。近年来为了满足上述工作的需要，研制出了新一代的人工智能电子速测仪系统，它可以自动地瞄准目标并自动地进行连续、重复的观测。这种系统一般都装有水平方向和

竖直方向的步进电机，根据测距信号最大原理进行自动照准目标。其中以 WILD 厂最近推出的 T2000 MAT 正电子测距仪系统为代表。

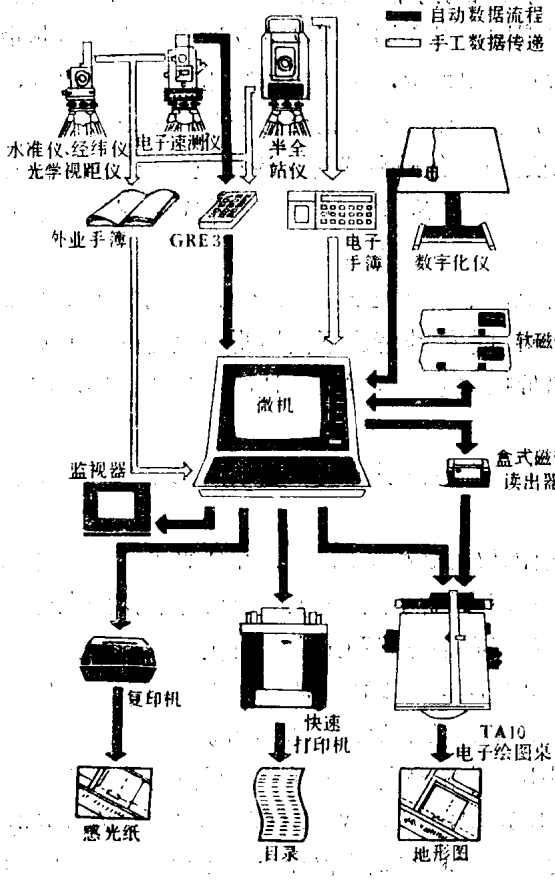


图 1-1(a)

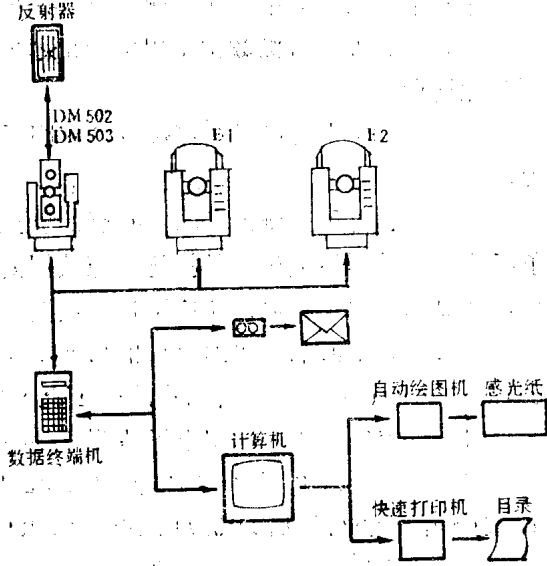


图 1-1(b)

§ 1-3 波的概念

电磁波测距仪是利用电磁波来测量距离的，因而首先应对波及其描述有一个基本概念。

一、概述

波是物质的一种振动传播形式。振动中心称振源，传播振动的物质称为媒质或介质。例如向静止的水面扔一石块，就会激起一圈一圈向外扩展的水波，水面上出现很多波峰和

波谷，峰谷相随，逐渐向外推进。水波的一个峰和相临的一个谷合称为“一个波”。水波向外推移时，水的每个质点只是作上下的起伏，交替地出现峰和谷，而不是水随波向外流动。

常见的各种波可以分为两大类：一类是机械振动在媒质中的传播过程，称为机械波，如水波、声波、地震波等。另一类是交变电磁场在真空或媒质中传播过程，称为电磁波，如无线电波、光波、 α 射线等等。这两类波本质不同，传播机理不同，但在运动的形式上都服从波动的规律。其中最简单、最基本的为简谐振动，其传播形式称为正弦波（或余弦波）。其他形式的波，如方波…等，可以分解成许多正弦波，而后叠加而成。在光电测距仪中主要用到正弦波和方波。

二、正弦波的描述

（一）周期(频率)、波长、振幅和相位

如图 1-2(a)所示，设矢量 $\vec{A}$ 由 x 轴起，按一定的角速度 ω 绕原点 O 匀速旋转，转一周又回到 x 轴。 ω 为单位时间内矢量旋转的角度，以弧度/秒表示。若以时间 t 为横坐标， y 为纵坐标，则旋转矢量 $\vec{A}$ 的不同时刻在 y 方向上的投影，即为图 1-2(b)所示的正弦波。

矢量旋转一周，即正弦波循环变化一次的时间，称为周期，以 T 表示，单位为秒(s)。每秒钟正弦波循环变化的次数称为频率，以 f 表示，单位为 Hz(赫兹)，KHz(千赫兹)，1KHz = 1000Hz，MHz(兆赫兹)，1MHz = 10^6 Hz。显然，频率与周期互为倒数。

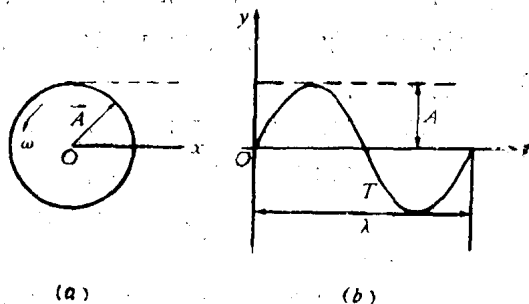


图 1-2

$$f = \frac{1}{T} \quad , \quad T = \frac{1}{f} \quad (1-1)$$

我国常用的 220V 正弦交流电源，每秒变化 50 次，即频率为 50Hz，周期为 0.02s。

波在一个振动周期内传播的距离称为波长，以 λ 表示，单位为米。各种电磁波波长，长的可达百米、千米以下，短的可小到微米、埃甚至更短。

$$1\text{m} = 10^3\text{mm} = 10^6\mu\text{m}(\text{微米}) = 10^{10}\text{\AA}(\text{埃})$$

波长与频率的乘积等于波每秒传播的距离，称为波速，以 c 表示，即

$$c = \lambda \cdot f$$

则

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT \quad (1-2)$$

一个周期内振动位移的最大值称为振幅，以 A 表示。

图 1-3(a)中，矢量 $\vec{A}$ 绕 O 点以角速度 ω 匀速旋转。当 $t = 0$ 时刻， $\vec{A}$ 与 x 轴的夹角为 φ_0 。

而矢量 $\vec{A}$ 在旋转过程中，每个时刻的位置，可用角度 φ 表示。角度 φ 称为矢量 $\vec{A}$ 的相

位角, 简称相位。 $t = 0$ 时刻矢量的相位角 φ_0 称为初相位角。简称初相位。

矢量旋转一周的相位角为 360° , 则可写出:

$$\omega = 2\pi f; \quad \varphi = \omega t + \varphi_0 \quad (1-3)$$

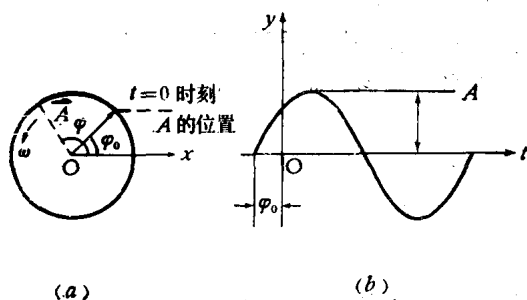


图 1-3

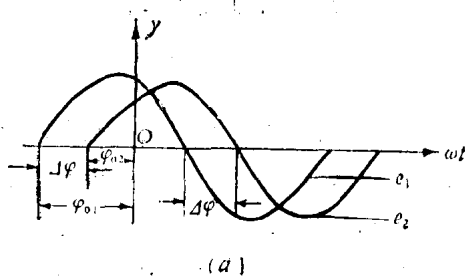


图 1-4

若以 ωt 为横坐标, 以矢量 $\vec{A}$ 的不同时刻在 y 方向的投影为纵坐标, 则得到如图 1-3(b) 所示的正弦波形。坐标原点与波上升过零点间的角度为初相角 φ_0 , 图 1-2(b) 中正弦波的初相角 $\varphi_0 = 0$ 。

综上所述可知: 频率(周期或角速度)、振幅、初相位是确切描述正弦波的两个必要物理量。其数学表达式可写为(振动方程):

$$y = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1-4)$$

(二) 相位差

两个频率相同的正弦波, 在任何时刻两波相位之差称为相位差, 实际也就是两波的初相位之差。图 1-4(a) 中 e_1 与 e_2 的相位差 $\Delta\varphi$ 为:

$$\Delta\varphi = (\omega t + \varphi_{01}) - (\omega t + \varphi_{02}) = \varphi_{01} - \varphi_{02}$$

若 $\varphi_{01} = \varphi_{02}$, 则称 e_1 和 e_2 同相。由于频率相等, 所以两波的相位差不随时间变化, 是一个常数。图 1-4(b) 中 e_2 的初相位为 $-\varphi_{02}$, e_1 与 e_2 的相位差 $\Delta\varphi = \varphi_{01} - (-\varphi_{02}) = \varphi_{01} + \varphi_{02}$ 。由于 e_1 先到达最大值, 所以称 e_1 超前于 e_2 , 或者说 e_2 滞后于 e_1 。

同样可求出同一正弦波在不同时刻的相位差, $\Delta\varphi = (\omega t_1 + \varphi_0) - (\omega t_2 + \varphi_0) = \omega(t_1 - t_2)$ 。

三、电磁波的概念

电磁波是变化电磁场在空间的传播过程。打开收音机, 听到广播, 就是收音机收到电台发射的无线电波。无线电波, 红外线, 可见光, 紫外线, x 射线, γ 射线等等都属电磁波。由振源产生迅速变化的电场和磁场, 在传播过程中变化电场引起变化磁场, 变化磁场又引起变化电场, 这样, 变化电磁场就以一定的速度传播出去而引成电磁波。

各种电磁波在真空中的传播速度，即波速，毫无例外地都等于真空中的光速值，以 c_0 表示 ($c_0 = 299792.458 \text{ km/s}$)。各种电磁波的区别仅仅在于它们的频率不同，波长不同。把各种电磁波按频率（波长）的数值排列起来，画出如图 1-5 的电磁波分类图表，称为电磁波波谱图。由于各种电磁波所处的频率范围不同，它们的产生方法和探测方法也有很大的不同，根据这些不同给予不同的名称并示于图 1-5 中。图中还注明了各类电磁波的频率和波长范围。

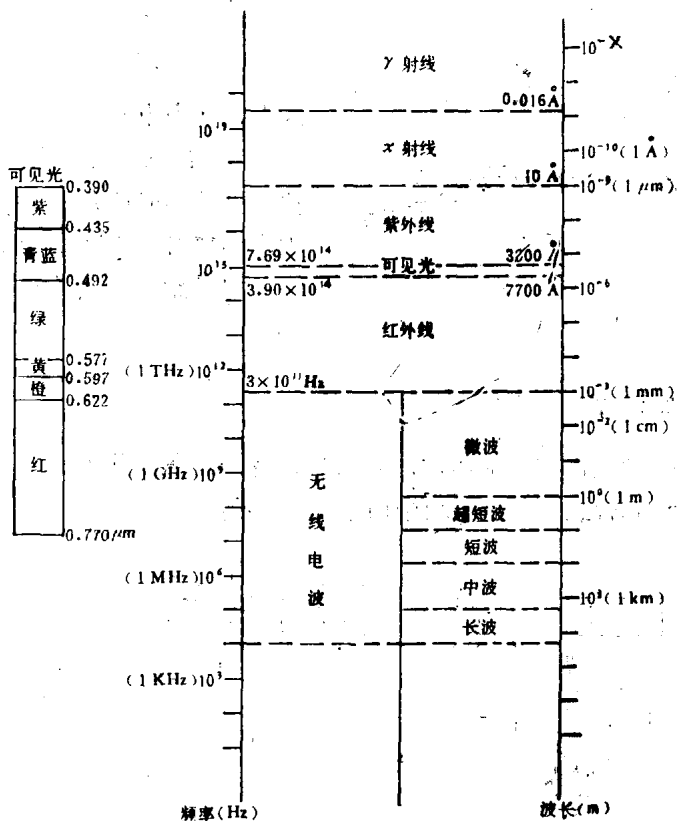


图 1-5

各类电磁波都有其特殊的性质，如无线电波易于远距离传输；红外线的热效应特别显著；可见光则人眼可见；紫外线易使照射物体产生化学反应； x 射线则穿透物质的能量很大等等。这些特性，正为人们所利用。

红外测距仪的发光管发射的光波（称为载波）波长一般在 $0.8 \sim 0.94 \mu\text{m}$ 波段，属电磁波的红外线波段，故称为红外测距仪。以微波为载波的测距仪称为微波测距仪，以激光为载波的称为激光测距仪，三者统称为电磁波测距仪。

§ 1-4 电磁波测距的基本原理

电磁波测距的基本原理是利用电磁波在空气中传播的速度为已知这一特性，测定电磁波在被测距离上往返传播的时间来求得距离值。

如图 1-6 所示，置于 A 点的仪器，发射出电磁波，被 B 点的反射器反射并作为 A 点的仪器接收。设电磁波在 AB 距离上往返传播的时间为 t_{2D} ，则距离 D 可写为

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

式中， c 为电磁波在空气中的传播速度，约为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。只要能精确地求出电磁波往返传播时间 t_{2D} ，则可以按 (1-5) 式求出距离 D ，具体实现求 D 的方法很多，本节只介绍脉冲法、相位法和变频法三种。

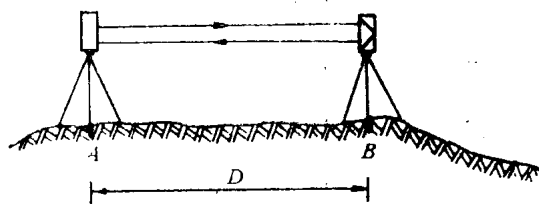


图 1-6

一、脉冲法测距原理

脉冲法测距是一种直接测定电磁波脉冲信号在待测距离上往返传播的时间 t_{2D} ，用式 (1-5) 求得距离值的方法。其原理框图如图 1-7 所示：

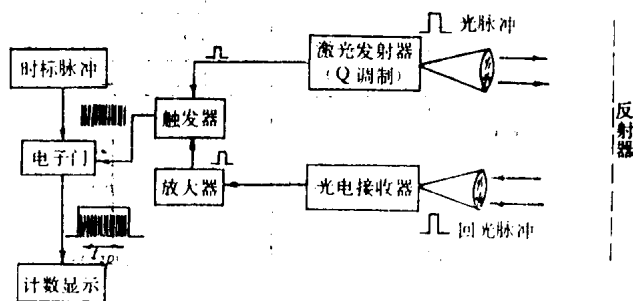


图 1-7

一般，脉冲法测距的光源为激光器，通过调 Q 技术，可将激光能量集中成极窄的光脉冲发射出去，使发射光亮度提高几个数量级。时标脉冲是由标准频率发生器产生的，用以作为计时的脉冲信号，若其频率 f_{cr} 为已知，则一个脉冲所代表的时间已知，为 $1/f_{cr}$ 秒，故称为时标脉冲。

图 1-7 中，激光发射器发出一束脉冲，通过光学系统射向被测目标。发射的同时，还输出一电脉冲信号，作为计时的起始信号，经触发器去打开电子门，让时标脉冲通过，并由计数器记下通过的时标脉冲的个数。激光器发射的光脉冲到达被测目标后，经反射，回光脉冲被光电接收器接收，并将光脉冲转换为电脉冲，作为计时终止信号，经放大器送触

发器,去关闭电子门,则时标脉冲停止通过。显然,电子门开-闭的时间,就是光脉冲往返于待测距离的时间 t_{2D} ,若计数器计下所通过的时标脉冲的个数为 n ,则

$$t_{2D} = n \cdot \frac{1}{f_{CP}}$$

代入式(1-5)可得

$$D = \frac{c}{2} \left(\frac{n}{f_{CP}} \right) = \frac{\lambda}{2} \cdot n \quad (1-6)$$

由式(1-6)可知,每一个时标脉冲所代表的距离为 $\frac{\lambda}{2}$,当 $f_{CP} = 150\text{MHz}$ 时,

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 150 \times 10^6} = 1\text{m}$$

则计数时标脉冲的个数,即为待测距离 D 的米数。

例如: $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$, $f_{CP} = 150\text{MHz}$, $n = 1950$

则可求得 $D = 1950\text{m}$

脉冲法测距的精度直接受到时间测定精度的限制,由式(1-5)对 t 微分得,

$$dD = \frac{1}{2} c dt \quad (1-7)$$

如果要求测距精度 $\Delta D \leq 1\text{cm}$,则要求测时的精度

$$\Delta t \leq \frac{2 \cdot \Delta D}{c} \approx \frac{2}{3} \times 10^{-10} (\text{秒})$$

这要求时标脉冲的频率 f_{CP} 达到 $15 \times 10^{10} \text{Hz} = 15000\text{MHz}$,目前计数频率一般达到 150MHz 或 30MHz ,计时精度只能达到 10^{-8} 秒量级,即测距精度仅达到 1m 或 0.5m 。

脉冲法测距多用于光能量很大的激光测距仪,适合于远距离测量,特别是无反射器的距离测量(单靠激光投射到目标物体上的漫反射进行距离测量),由于这类仪器精度有限,在军事上用的较多,如手持望远镜或激光测距仪等(测程 10km 、精度 $0.5\text{m} \sim 1\text{m}$)。若用于地形测量、可实现无人跑尺以减轻劳动强度、提高作业效率,尤其对于悬崖峭壁等危险或不易到达的地区的测量工作,具有现实意义。

随着光电测距仪技术的发展,近几年来已有毫米量级的脉冲式激光测距仪出现,如WILD的DI3000激光测距仪。它是半导体激光器的脉冲式测距仪,在时标脉冲计数原理的基础上,又采用了细分一个时标脉冲的方法,求小于一个时标脉冲的距离值,从而提高了测距精度,随着毫米级精度的脉冲式测距仪的出现,其应用领域将大大扩展。

二、相位法测距原理

目前精度较高的测距仪中,都采用测定“调制光波”往返于被测距离上的相位差,间接求定距离的方法,称为相位法测距。