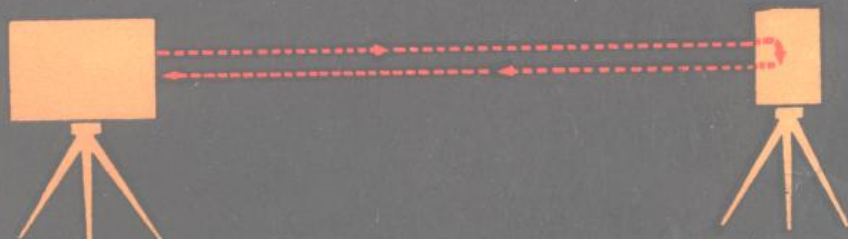
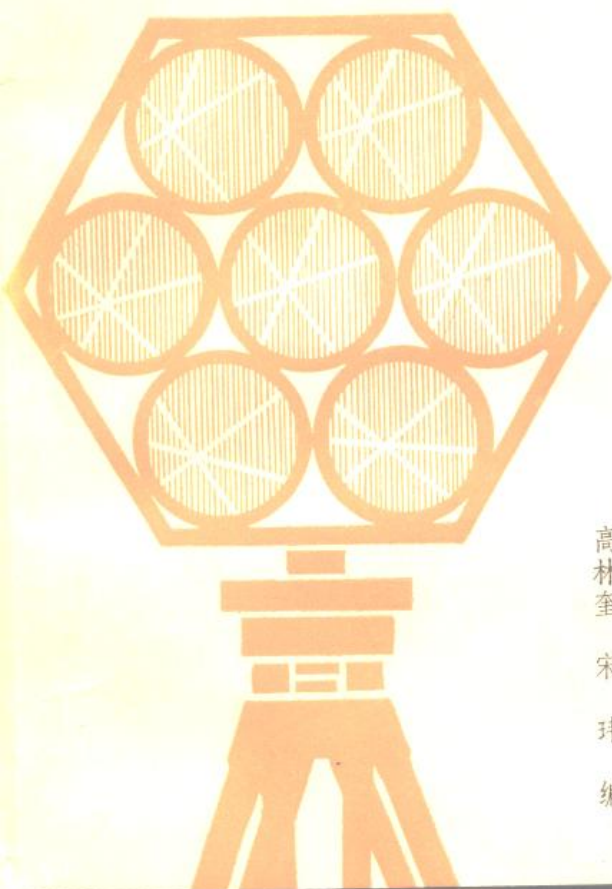


激光测距

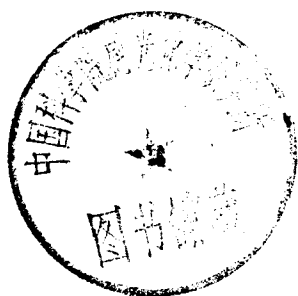
高林奎 宋玮 编



人民铁道出版社

激 光 测 距

高林奎 宋 玮 编



人 民 铁 道 出 版 社

1977年·北京

激 光 测 距

高林奎 宋 玮 编

人民铁道出版社出版

(北京市东单三条14号)

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

人民铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{4}$ 印张: 8.5 字数: 188 千

1 9 7 7 年 4 月 第 1 版

1 9 7 7 年 4 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—12,000册 定价(科二): 0.60 元

内 容 提 要

全书分十一章。第一章概述光电测距仪的发展历史和激光测距仪的分类；第二章至第四章介绍与激光测距有关的光学、激光、数字逻辑电路的基本知识；从第五章起至第八章着重介绍相位法激光测距原理，测距信号的发射、接收和频率变换电路，相位测量方法以及整机的控制和运算系统；第九章介绍国产 JCY-2型和HG-C-1型两种相位式测距仪的性能、组成、工作原理和使用方法；第十章介绍相位式测距仪的误差来源及其精度检验方法；最后一章简介脉冲激光测距和其它激光测距方法。

本书供勘测部门工人和工程技术人员学习，并可供有关学校教学参考。

毛主席语录

阶级斗争是纲，其余都是目。

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

前 言

光电测距是测量方面所采用的一项新技术。为了满足勘测人员的需要，我们特编写了《激光测距》这本书。

在编写过程中，始终得到党组织和各级领导同志的关怀和帮助，因而在较短的时间内完成了这一编写工作；北京大学林福亨同志对本书进行了审阅、侯馥馨同志和北京测绘仪器厂、铁道部第三设计院以及北方交通大学建筑系等有关同志对本书提出了不少修改意见，对此我们谨表示衷心的感谢。

本书力求做到通俗易懂，深入浅出，但由于我们水平有限，恐难如愿，并且书中一定还存在着不少缺点和错误，我们竭诚地希望读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1
第二章 光	4
§ 2—1 波的概念.....	4
§ 2—2 光的本质.....	8
§ 2—3 光的速度.....	10
§ 2—4 光的反射、折射、全反射和双折射.....	11
§ 2—5 光波的迭加和干涉.....	14
§ 2—6 自然光和偏振光.....	16
§ 2—7 圆偏振光和椭圆偏振光.....	19
§ 2—8 折射率.....	23
第三章 激光的产生和电光调制	25
§ 3—1 原子的能级.....	25
§ 3—2 什么是激光.....	26
§ 3—3 激光测距仪的光源.....	34
§ 3—4 电光调制.....	47
§ 3—5 光电转换器件.....	56
第四章 数字逻辑电路和部件	60
§ 4—1 数字电路中的数.....	60
§ 4—2 基本逻辑电路和部件.....	66
§ 4—3 集成电路与非门.....	84
§ 4—4 集成电路触发器.....	93
第五章 相位法测距原理	102
§ 5—1 相位法测距原理.....	102
§ 5—2 测尺频率的选择.....	106
§ 5—3 差频测相.....	112

1102699

§ 5—4	激光测距仪的测程	114
§ 5—5	激光测距仪的噪音	119
第六章	测距信号的发射和接收	122
§ 6—1	相位式激光测距仪原理框图	122
§ 6—2	测距仪发射电路	123
§ 6—3	测距仪光电接收电路	128
§ 6—4	差频电路	130
§ 6—5	He-Ne 激光测距仪的电路特点	134
§ 6—6	测距仪的光学系统和反射器	137
第七章	相位测量方法	141
§ 7—1	手动移相——鉴相平衡测相法	141
§ 7—2	自动数字测相	151
§ 7—3	相位信息中随机相移的处理方法	168
第八章	相位—距离信息的处理和整机时序控制	176
§ 8—1	相位信息向距离值的转换	176
§ 8—2	各测尺频率测定值的衔接	179
§ 8—3	距离数据的修正和换算	197
§ 8—4	时序控制	199
§ 8—5	接收光信号强度的指示和控制	204
第九章	激光测距仪整机简介	206
§ 9—1	JCY-2精密激光测距仪	206
§ 9—2	HGC-1型红外光电测距仪	215
第十章	误差及精度检验	226
§ 10—1	误差来源	226
§ 10—2	测距仪的精度检验	236
第十一章	脉冲激光测距和其它激光测距方法	245
§ 11—1	脉冲激光测距	245
§ 11—2	其它测距方法	258

第一章 概 述

在大地测量和工程测量中，丈量距离是一项主要的作业项目。用钢尺或铟钢尺丈量距离，不仅劳动强度大、效率低，而且在复杂的地形条件下，还将遇到许多困难。因此，如何采用新工具和新方法以改善工作条件，是勘测部门迫切需要解决的问题，于是物理方法测距引起了人们的重视。光电测距是较早被研究的一种物理测距方法，迄今已有几十年的历史。但是实际应用于大地测量，则是在1948年以后。早期的光电测距仪由于大都采用白炽灯、高压汞灯等作为光源，加之受当时电子元件的限制，仪器较重，操作和计算也较复杂，而且只能在夜间作业，所以只用于大地控制测量，而在工程测量中则很少被应用。

六十年代初期，出现了激光，这对光电测距仪的发展起了极大的推动作用。1960年世界上出现了第一台红宝石激光器和第一台氦-氖气体激光器。1962年12月GaAs（砷化镓）半导体激光器的研究获得成功。由于激光具有方向性强，亮度高和单色性好等特点，因此，它特别适合于作为光电测距仪的光源。采用激光作为测距仪光源，使测程得到提高，并且克服了普通光源测距仪白天不便作业的缺点。激光的单色性好，有利于提高测距精度；方向性强，有利于缩小光学系统孔径，从而减小和减轻了仪器的体积和重量。

采用不同激光光源制成的激光测距仪种类很多，按测程区分，大体有如下三类：

一、短程激光测距仪 测程在五公里以内，适用于各种

工程测量；

二、中长程激光测距仪 测程为五至几十公里，适用于大地控制测量和地震预报等；

三、远程激光测距仪 用于测量导弹、人造卫星、月球等空间目标的距离。

激光测距是通过测量激光光束在待测距离上往返传播的时间来换算出距离的，其表达式为：

$$D = \frac{1}{2} C \cdot t$$

式中： D ——待测距离；

C ——激光在大气中的传播速度；

t ——激光在待测距离上的往返传播时间。

根据传播时间 t 的测定方法区分，测距方法可分为下列两类。

一、脉冲测距法 测距仪发出光脉冲，经被测目标反射后，光脉冲回到测距仪接收系统，以测得其发射和接收光脉冲的时间差，即光脉冲在待测距离上往返传播时间。脉冲法测距精度大都为米的量级。因此，它适用于军事以及工程测量中精度要求不高的某些项目。空间距离的测量也都利用脉冲测距法，因为对遥远的空间来说，测量误差在米的量级，其精度可以说是已经是很高了。

二、相位法测量 通过测量连续调制光波在待测距离上往返传播所发生的相位变化，间接测量时间 t 。这种方法测量精度较高，因而在大地和工程测量中得到了广泛应用。

近年来，随着电子计算技术和集成电路的发展，测距仪的电路已经普遍采用组件和集成电路，从而使仪器朝着小型、轻便、自动化以及数字化方向发展。不少测距仪还配备了专用的小型电子计算机，以便在野外完成大量计算工作，

从而提高了工作效率，加快了测量速度。

目前激光测距仪已经成为光学、激光技术、精密仪器制造、无线电电子学、计算技术以及光电子学多种技术的综合应用。

无产阶级文化大革命推动了我国科学技术的发展。在毛主席的革命路线指引下，我国激光测距仪的发展取得了可喜的成绩。1974年我国研制成功了JCY-2型精密激光测距仪。1975年又研制成功了DC-30JG型激光测距仪。这些仪器可应用于大地控制测量和地震预报等领域。与此同时，我国还研制成功了适用于各种短距离工程测量的、以GaAs（砷化镓）半导体发光二极管为光源的自动数字式光电测距仪——HGC-1型红外线光电测距仪。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。

随着我国社会主义革命和社会主义建设事业的发展，激光测距这门科学技术必将得到进一步的发展。

第二章 光

§ 2—1 波 的 概 念

日常生活中，我们经常与各种波发生关系，其中有的波能被我们的感官直接感觉到，有的波则必须借助于专门仪器才能观察到它。例如，我们往平静的水池中扔一块石头，石头在入水处引起水的振动，这种振动向周围水面传开，就形成水波。电铃的振动引起周围空气分子的振动，这种振动在空气中向远方传去，就形成声波。我们把水波、声波一类波通称为机械波。此外，还有一种波叫电磁波，例如无线电波。电磁波也是一种振动的传播过程，不过它的振动与水、空气不同，它是电场和磁场的振动。

可见，波是物质的一种振动传播形式，振动是引起波的根源。振动的中心叫波源，传播振动的物质叫媒质。

波按其振动方向和传播方向的关系可分为横波和纵波。振动方向与波的传播方向相垂直的叫横波。例如手抖动绳子的一端，绳内传播的波就是横波见图 2—1(a)。波的振动方向与其传播方向相一致的叫纵波。例如弹簧内传播的波就是纵波见图 2—1(b)。

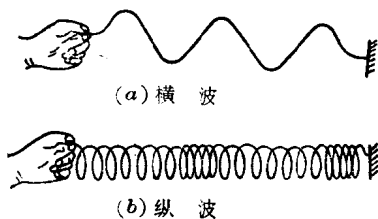


图 2—1

不同的振动引起不同的波。自然界传播不同振动的波形是各不相同的，但其中最简单，也是最重要的就是所谓正弦（或余弦）波。下面我们将说明什么是正弦波，以及正弦波有哪些要素。

设矢量 $OM = A$ 反时针匀速旋转， OM 在垂直方向的投影值为 y 。如果以时间 t 为横轴，那末旋转过程中不同时刻的投影值 y ，将如图 2—2 所示，这个

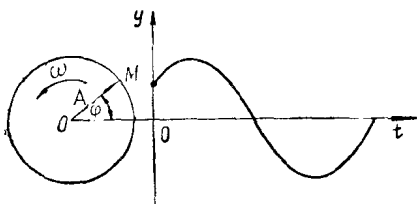


图 2—2 正弦波形

图形就是正弦波形。在描述正弦波时常常用到下列参数：

1. 频率、周期、波长和振幅

如图 2—3 所示，正弦波上各点代表着旋转矢量 OM 不同时刻在 y 轴上的投影值，

也就是代表着振动质点的位移规律。从图可知，其振动位移规律是：从零变到正方向

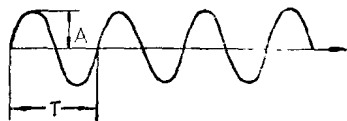


图 2—3

向最大值后再变回到零，然

后再向负方向变化到最大值，最后再变回到零，以后随着时间的推移，这种变化将周而复始地循环下去。我们把正弦波每发生这样一次循环变化所用的时间叫作正弦波的周期，用 T 表示。

单位时间内正弦波的变化次数叫作频率，用 f 表示。频率 f 与周期 T 互为倒数，即

$$T = \frac{1}{f} \quad (2-1)$$

我们日常用的交流电每秒变化为 50 周，故其频率为

$f = 50$ 周/秒，其周期 $T = 0.02$ 秒。

在一个周期内，波传播的距离叫作波长，用 λ 表示。波长长的可达百米或千米以上，短的则是微米或埃甚至更短。

$$1 \text{ 微米 } (\mu) = 10^{-6} \text{ 米 (m)} = 10^{-4} \text{ 厘米 (cm)}$$

$$1 \text{ 埃 } (\text{\AA}) = 10^{-8} \text{ 厘米 (cm)}$$

假定波的传播速度为 C ，则其值等于波的波长 λ 与频率

$$f \text{ 的乘积，即 } C = \lambda f = \frac{\lambda}{T}$$

$$\lambda = C \cdot T \quad (2-2)$$

在一个振动周期内，质点振动位移的最大值叫正弦波的振幅，用 A 表示。

2. 正弦波的角速度、相位和相位差

在 OM 旋转过程中，每个瞬时的位置可以用角度 ϕ 来表示，角度 ϕ 称为矢量 OM 的相位。我们知道，角度可以用度表示，如直角是 90° ，一个圆周是 360° 等。但是，在表示旋转矢量时，常用弧度表示角度，对应于 90° 是 $\frac{\pi}{2}$ 弧度，对应于 360° 是 2π 弧度，因此 1 弧度约等于 57° ，图 2—4 (a) 说明整个圆周内度与弧度的对应关系。

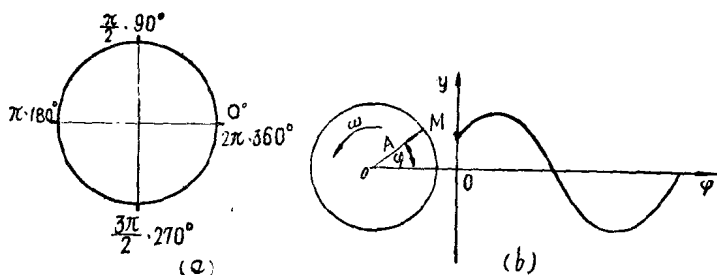


图 2—4

在前面我们用频率 f 表示了振动的速度，此外我们还可以用 OM 在旋转过程中单位时间内转过的角度（弧度）来表示振动的速度，称为角速度并用 ω 表示。因为一次振动 OM 转一周，即转过 2π 弧度，所以角速度 ω 为

$$\omega = 2\pi f \quad (2-3)$$

若时间间隔 t 内 OM 转过的角度为 ϕ ，则

$$\phi = \omega t \quad (2-4)$$

当用 $\phi = \omega t$ 为横坐标， OM 在垂直方向投影 y 为纵坐标时，所绘出的正弦波图形见图 2-4(b)。从图可知，相位和时间都可用来描述振动位移的变化规律。

正弦波是连续不断变化的波形，它没有确定的起点，通常为了说明和比较的方便，总是要选择一个正弦波的起始点，该起始点与正弦波上升过零点相夹的角度叫正弦波的初相位角，简称初相位或初相。初相用小于 180° （或小于 π ）的角度表示，当初相大于 180° 时（或大于 π 时）则用该角度与 360° （或 2π ）的差值来表示，并冠以负号。

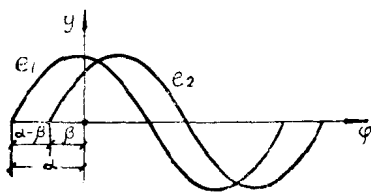


图 2-5

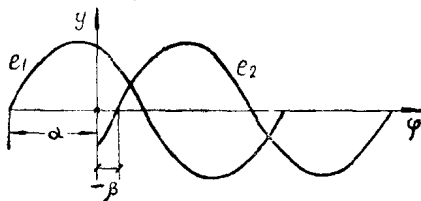


图 2-6

图 2—5 和 2—6 分别绘出了两个频率相同，相位不同的正弦波形，前者 e_1 和 e_2 初相小于 180° ，后者 e_1 初相小于 180° 而 e_2 的初相大于 180° 。这两个正弦波的初相差叫该两正弦波的相位差。如图 2—5 所示， e_1 的初相为 α ， e_2 的初相为 β ， e_1 和 e_2 的相位差为 $\Delta\phi = \alpha - \beta$ 。由于 e_1 比 e_2 先到达最大值，所以我们说 e_1 超前 e_2 ，而 e_2 则滞后 e_1 。

图 2—7 给出几种频率相同而相位不同的正弦波形，其中：(a) 和 (b) 同相；(a) 超前 (c) $\frac{\pi}{2}$ [(c) 滞后 (a) $\frac{\pi}{2}$]；(a) 超前 (d) 为 π [(d) 滞后 (a) 为 π]；(a) 滞后 (e) $\frac{\pi}{2}$ [(e) 超前 (a) $\frac{\pi}{2}$]。

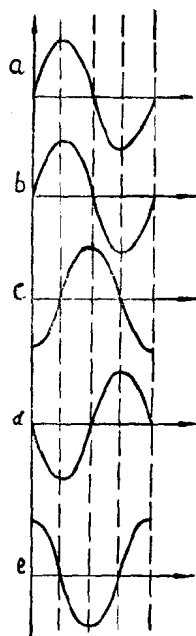


图 2—7

§ 2—2 光的本质

人们对光的本质的认识在经历了“光的微粒说”和“光的波动说”之后，直到十九世纪末期，通过理论分析和试验，证明光不仅是波，而且是电磁波，从此开始揭示了光的电磁本质。

电磁波是变化的电场和变化的磁场在空间传播的过程。空间某一区域存在变化的电场和磁场，邻近区域就产生变化的磁场和电场，而更远的区域又产生变化的电场和磁场……如图 2—8 所示。变化的电场和磁场交替地由近到远地传播，

这就是电磁波。

电磁波包含两种振动，即电场 E 和磁场 H 的振动，两者振动方向相垂直，并且都与电磁波的传播方向垂直，故电磁波是横波（图2—9）。

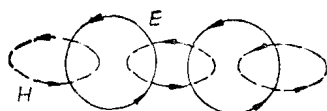


图 2—8

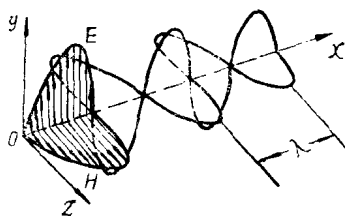


图 2—9

虽然光波包含着电场和磁场的振动，但是许多物理现象都是由光

波中的电场所引起，而与磁场没有什么关系，因此，在用图形描绘电磁波时，常常只画出电场而不画其磁场。

随着人们认识的不断发展，后来又发现了伦琴射线和 γ 射线也都是电磁波，它们和光波、无线电波在本质上是相同的，而不同的只是波长和频率的差别。如果我们按波长或频率将各种电磁波进行排列，那么就得到电磁波谱图（图2—10）。

从电磁波谱图可知，“可见光”仅占电磁波谱内很小很小的一部分，其波长和相应颜色列于表2—1。

认识了光是电磁波，并不意味着对光本质认识的结束。经过不断实践，特别是从光和物体的相互作用中，人们又提出了对光本质深入认识的新的学说，即“光的粒子说”。人们认为：光是一粒一粒的粒子流，这些粒子都具有一定的速度和能量，这些光粒子叫作光量子，简称光子。光的粒子说能够解释一些光的波动说不能解释的物理现象，而光的波动说也能解释光的粒子说所不能解释的一些物理现象，因此，光既具有粒子性质，同时还具有波动性质。

从上述可知，人们对光的认识和对其他自然界方面的认