

15.107

28

高等学校教学参考书

短程光电测距仪 和激光定位仪及其应用

清华大学测量教研组

西南交通大学测量教研组

合肥工业大学测量教研组

天津大学测量教研组

编

清华大学测量教研组

主编

人民教育出版社

高等学校教学参考书

短程光电测距仪 和激光定位仪及其应用

清华大学测量教研组
西南交通大学测量教研组
合肥工业大学测量教研组
天津大学测量教研组
清华大学测量教研组 主编

人民教育出版社

本书是建筑类专业《测量学》教材的教学参考书,书的内容与《测量学》教材第十四章和其他有关章节相呼应。

全书共分三篇十二章。第一篇为短程红外测距仪部分,主要讲述该类仪器的测距原理、光电基本知识、电子线路、仪器的应用、检测和误差分析等。第二篇为短程激光脉冲式测距仪部分,主要介绍该类仪器的测距原理、有关的激光性质和激光器、电子线路、仪器的应用、检测和误差处理方法等。第三篇为激光定位仪器部分,主要阐述定位仪器有关基本知识、仪器构造、电子线路、仪器的应用和检验方法等。

本书除了供建筑类专业测量教师和学习测量的同学参考外,也可供测量工程技术人员和有关仪器研制人员参考。

高等学校教学参考书

短程光电测距仪 和激光定位仪及其应用

清华大学测量教研组
西南交通大学测量教研组 编
合肥工业大学测量教研组
天津大学测量教研组
清华大学测量教研组主编

*

人民教育出版社出版

四川省新华书店重庆发行所发行
达县新华印刷厂印装

*

开本787×1092 1/16 印张21.25 字数470,000

1980年7月第1版 1981年5月第1次印刷

印数 00,001—1,500

书号 15012·0265 定价1.80元

前 言

由于电子技术和激光技术在测量仪器中的应用越来越广泛,许多测量学教师根据教学的需要,要求对短程红外测距仪、短程激光脉冲式测距仪、各种激光定位仪等有比较全面和深入的了解,以便对教学有所裨益,因此1977年分别在建筑类《测量学》教材编写会议和审稿会议上,把《短程光电测距仪和激光定位仪及其应用》一书定为急待编写的教学参考书。经商定由清华大学测量教研组、西南交通大学测量教研组编写第一篇——光、电基本知识,短程红外测距仪及其应用部分;由合肥工业大学测量教研组编写第二篇——短程激光脉冲式测距仪及其应用部分;由天津大学测量教研组编写第三篇——各种激光定位仪器及其应用部分;由清华大学测量教研组主编。

在编写过程中,考虑到有关测量师生和测量工程技术人员在学习和使用这类仪器时,可能遇到电子线路、激光技术方面的一些困难,为了学习方便,在本书中特对电学和激光技术的基本知识等作了相应的介绍,对仪器的有关电子线路也进行了说明。同时为使理论联系实际,除介绍仪器的检测、应用等方法外,并配有实例说明。

各校在编写有关章节后,分别征求了有关单位的意见。完稿后又请清华大学无线电系郑君里、王筱颖、郭奕理等同志分别对本书的各篇内容进行了审阅,提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

在教材编写过程中,二机部地质四队、蚌埠无线电一厂、天津市政一公司、冶金部冶金建筑研究院等单位,提供了不少资料,给予了很大支持,在此一并表示感谢。

由于我们的水平有限,书中可能存在不少缺点错误,希望读者给予批评指正。

编者

1979年11月

目 录

第一篇 短程红外光电测距仪

第一章 概 述

第一节 光电测距仪概况	1	(一) 红外线在空气中的传播问题	5
第二节 光电测距仪的分类	1	(二) 测程方程式	5
第三节 相位法测距原理	3	(三) 信噪比的影响	6
第四节 测程问题	5		

第二章 光的基本知识

第一节 光的基本性质	9	(一) 光的反射和折射	15
第二节 光的速度和群速	10	(二) 光的全内反射	16
第三节 折射率、折射率与大气参数的关系	12	第五节 双筒和单筒结构	17
第四节 光的反射、折射和全内反射	15	第六节 反射棱镜	19

第三章 电学基本知识

第一节 交流电路概述	21	第三节 交流放大器	44
(一) 电位、电压和电流的定义	21	(一) 交流放大器的基本概念	44
(二) 交流电	21	(二) 单管交流放大器的电路	45
(三) 正弦交流电的有效值和它的旋转矢量表示法	22	(三) 偏置及其稳定	47
(四) 交流电路中的电阻	23	(四) 放大电路的分析	49
(五) 交流电路中的电感	23	(五) 晶体三极管的三种接法	53
(六) 交流电路中的电容	25	(六) 多级交流放大电路	55
(七) 复数在电路中的简单应用	26	(七) 乙类推挽功率放大器	57
(八) R, L, C 串联谐振	29	(八) 功率放大管的散热问题	60
(九) R, L, C 并联谐振	31	第四节 放大电路中的负反馈	60
第二节 二极管、三极管	34	(一) 几种常用的负反馈电路	60
(一) 物质的导电性质	34	(二) 负反馈对放大电路性能的改善	62
(二) 本征半导体的电子空穴对	34	第五节 双 T 选频网络	64
(三) P 型、N 型半导体	35	(一) 双 T 网络的传输特性	65
(四) PN 结	36	(二) 双 T 网络的应用实例	66
(五) PN 结在外电场作用下的导电性能	37	第六节 正弦波振荡器	67
(六) 半导体二极管的构造及伏安特性	37	(一) 正弦波振荡器概述	67
(七) 半导体三极管	39	(二) 自激振荡的条件	67
(八) 晶体三极管的特性曲线	41	(三) LC 振荡器	68
(九) 三极管的三种工作状态——截止、 放大和饱和	42	(四) LC 振荡器的频率稳定	70
(十) 三极管的极限参数和温度对参数的影响	43	(五) LC 振荡器的频率稳定措施	72
		(六) 石英晶体振荡器	74

第七节 混频电路	78	“与非”门电路	106
第八节 电源	79	(三) TTL“与或非”门工作原理	107
(一) 直流变换器	80	(四) 驱动器	108
(二) 整流	81	第十四节 集成电路触发器	108
(三) 滤波	84	(一) 基本触发器 ($R-S$ 触发器)	108
(四) 稳压电源	85	(二) 维持—阻塞触发器	110
第九节 晶体管开关特性及反相器	87	(三) D 触发器	113
(一) 晶体管的开关特性	87	(四) 7CY13 型集成单元 D 触发器	115
(二) 晶体管反相器	88	(五) 主从触发器	116
(三) RC 电路的充放电特性及加速电容	89	(六) $J-K$ 触发器	118
第十节 双稳态电路	92	第十五节 逻辑计数电路	119
(一) 工作原理	92	(一) 二进制计数器	119
(二) 触发方式	93	(二) 二进制制和十进制制的转换	120
第十一节 单稳态电路	95	(三) 十进制计数器	121
第十二节 门电路(逻辑电路)	96	(四) 可逆计数器	124
(一) 逻辑代数中的三种基本逻辑运算	99	第十六节 译码器和数字显示	126
(二) 二极管门电路	100	(一) 译码器的基本原理	126
(三) 三极管门电路	102	(二) MOS-2Y 译码器(八段式译码器)	128
第十三节 集成电路逻辑门	105	第十七节 MOS 场效应管	130
(一) 二极管—晶体管逻辑(DTL)		(一) MOS 场效应管概述	130
“与非”门电路	105	(二) MOS 集成电路的基本逻辑电路	132
(二) 晶体管—晶体管逻辑(TTL)			

第四章 短程红外测距仪的电路

第一节 单频短程红外测距仪	135	(一) 概述	156
(一) 概述	135	(二) 双频短程红外测距仪的电路部分	158
(二) 1.5MHz 单频短程红外测距仪的原理		第三节 短程红外测距仪中的几个问题	170
方框图及工作过程	137	(一) 内外光路测量	170
(三) 1.5MHz 单频短程红外测距仪各单元		(二) 多次测量	171
电路的简述	138	(三) 精、粗测衔接问题	171
第二节 双频短程红外测距仪	156	(四) 大小角度的判别	171

第五章 测距仪的误差、检验和使用

第一节 测距仪的组成和使用	173	(五) 固定串扰信号影响的误差(周期误差)	185
(一) 测距仪的组成	173	(六) 相位差 $\Delta\varphi$ 的测定误差	186
(二) 测距仪的使用	178	(七) 由信噪比引起的误差	189
(三) 操作注意事项	180	(八) 由大气湍流引起的误差	189
(四) 观测的外业记录	181	(九) 由反光镜方向偏歪和倾斜而造成的误差	190
第二节 测距仪的误差来源和性质	181	(十) 对中误差	193
(一) 调制频率 f_s 的误差	182	第三节 检测的目的、内容和方法	193
(二) 真空光速 c_0 的误差	182	(一) 仪器幅相特性的检测	194
(三) 大气折射率 n_g 的误差	183	(二) 发光管相位均匀性的检测	195
(四) 光路校准的剩余误差(常数误差)	185	(三) 发射、接收光轴与望远镜视准轴平行性	

的检校	195	(五) 反光镜倾斜改正	217
(四) 周期误差的检测	196	(六) 水准面改正	217
(五) 加常数 K 的检测	202	(七) 高差计算	218
(六) 用比较法检测乘常数 R	210	(八) 仪器的自动归算	218
(七) 用六段解析法同时检测加常数和乘常数	212	第五节 提高测距成果精度的措施	219
第四节 成果计算	215	第六节 国外几种测距仪器的简介	220
(一) 气象改正	215	(一) TC-1 型光电速测仪	220
(二) 周期误差改正	217	(二) Georan1 型双色测距仪	224
(三) 加常数和乘常数改正	217	(三) ME 3000 精密光电测距仪	227
(四) 水平距离的归算	217		

第二篇 短程脉冲式激光测距仪

第六章 激光的性质及固体激光器

第一节 激光的特性	233	(四) 受激辐射	236
(一) 方向性好	233	(五) 粒子数反转	237
(二) 高亮度	234	第三节 固体激光器的构造	238
(三) 单色性好	234	(一) 固体激光物质	238
(四) 相干性好	234	(二) 激励方法	239
第二节 产生激光的基本原理	235	第四节 调 Q 技术	242
(一) 原子的能态	235	(一) 调 Q 技术的概念	242
(二) 光的吸收	235	(二) 转镜调 Q	243
(三) 自发辐射	236	(三) 转镜调 Q 的加速技术	244

第七章 短程脉冲式激光测距仪

第一节 概述	245	第四节 光学系统及电路方框图	251
第二节 脉冲式激光测距仪的测距原理	245	第五节 操作方法	253
第三节 AJG 75-1 型脉冲式激光测距仪	246	(一) 仪器的安装与安置	253
(一) 仪器结构	247	(二) 电压的检查	253
(二) 结构特点	251	(三) 测量程序	253

第八章 AJG75-1 型激光无标尺地形仪电子线路原理简介

第一节 氙灯触发电路	255	(一) 150 MHz 十分频计数器	263
第二节 光电转换和放大器电路	256	(二) 15MHz 十分频电路	270
第三节 整形电路	257	第八节 电源电路	273
第四节 150MHz 时钟脉冲振荡器	258	(一) 马达电路	274
第五节 展宽复位电路	260	(二) 主逆变器电路	274
第六节 门控双稳和门电路	261	(三) 高压充电电路	275
第七节 计数显示电路	263		

第九章 脉冲式激光地形仪的调整与应用

第一节 激光地形仪的检验与调整	276	(一) 望远镜视准轴与激光发射轴的检验与调整	276
-----------------------	-----	------------------------------	-----

(二) 接收系统和发射系统相互关系的调整	277	(一) 影响测程的主要因素	286
第二节 系统误差的测定和测距精度的估算	278	(二) 影响测距“盲区”的主要因素	288
(一) 场地准备和反射靶的制作	278	(三) 影响测距精度的因素	289
(二) 野外测量	278	第五节 注意事项	290
(三) 内业计算	278	(一) 安装仪器的注意事项	290
第三节 用激光地形仪测绘地形图	286	(二) 使用时应注意的事项	290
第四节 影响测距的主要因素	286	(三) 测绘地形图时应注意的事项	291

第三篇 激光定位仪器

第十章 基本知识

第一节 氦氖激光器	292	第四节 光电接收靶	303
(一) 氦氖激光器的基本结构	292	(一) 光电目标	304
(二) 氦氖激光器的种类	295	(二) 运算放大器	304
(三) 氦氖激光器发光机理	297	(三) 指示电表	305
第二节 发射望远镜	298	第五节 激光电源	305
第三节 波带片	299		

第十一章 激光定位仪器

第一节 激光经纬仪和激光水准仪	307	和激光水准仪	311
(一) 激光经纬仪和激光水准仪的主体结构 及其基本操作	307	第二节 激光铅直仪	312
(二) 仪器的激光光路原理	308	(一) 激光铅直仪的结构和使用方法	312
(三) 激光装置的细部结构	309	(二) 激光铅直仪的检验与校正	313
(四) 激光装置的检验和校正	310	(三) 激光自动铅直仪	315
(五) 利用激光附件组装的激光经纬仪		第三节 激光指向仪	316
		第四节 激光扫描平面仪	317

第十二章 激光定位仪器的应用

第一节 在机械顶管施工中的应用	319	第三节 建筑物的动态变形观测	326
(一) 激光发射部分	319	(一) 激光发射器	327
(二) 激光接收部分	320	(二) 双反射光学平面镜	328
(三) 控制电路部分	320	(三) 光电跟踪器	328
(四) 液压执行机构	323	(四) 位移传感器和指示记录器	329
第二节 在烟囱滑模施工中的应用	323	(五) 使用和操作	329
(一) 激光铅直仪在烟囱滑模施工中的应用	323	第四节 国外动态简介	330
(二) 激光自控仪在烟囱滑模施工中的应用	324	第五节 激光定位技术中存在的主要问题	330

第一篇 短程红外光电测距仪

第一章 概 述

第一节 光电测距仪概况

光电测距仪是用光波作为载波的测距仪器。光电测距是研究比较早的一种物理测距方法,迄今已有几十年的历史,但实际应用到大地的测量则是在 1948 年以后。早期的光电测距仪大都采用白炽灯、高压汞灯等作为光源,加上受当时电子元件的限制,致使仪器较重,操作和计算也较复杂,且多在夜间观测,因而在工程测量中很少应用。

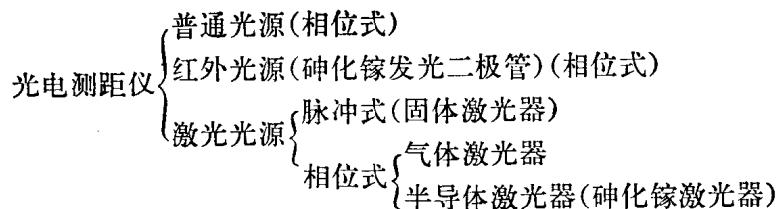
六十年代初期,出现了激光技术,这对光电测距仪的发展起了极大的推动作用。由于激光具有方向性强、亮度高、单色性好等特点,因此特别适合作为光电测距仪的光源。由于激光的亮度高,方向性强,因而可加大仪器测程,并摆脱了仪器只能在夜间作业的局限性,同时也有利于缩小光学系统的口径,从而减少仪器的体积和重量;由于激光的单色性好,受大气条件变化的影响较小,使得在不同的外界条件下同样可以得到较高的测距精度。电子计算技术和集成电路新器件的发展,为激光测距实现自动化和数字显示提供了可能,这就大大提高了仪器的自动化水平。尤其是砷化镓半导体激光器和砷化镓、砷铝化镓红外荧光发光管的研制成功,为小型测距仪的发展创造了条件。因为砷化镓发光器可兼作光源和调制器,因此在加大量程的同时能减轻仪器的体积、重量和降低电源功耗。现在各国生产的小型光电测距仪多是将测距仪和经纬仪组装在一起,实现边、角同测。最新型的全测站经纬仪则是把电子数字测角部分、测距仪部分和微处理机组装成一台仪器。这种仪器除能自动显示角度和距离的数据外,并可通过微处理机进行必要的计算,以得到地面点的空间坐标。

我国不少科研单位、测绘生产部门、大专院校从五十年代中期开始就从事光电测距仪的研制工作,取得了可喜的成绩,为祖国的测绘事业作出了贡献。随着激光技术的发展,1974 年以来又分别研制成功了测程 20~30 公里的 JCY-2 型精密激光测距仪;以及 HGC-1 型短程红外光电测距仪,现已批量生产。其它各种类型的测距仪也正在研制和小批试制中。随着我国测绘事业的发展,必将使测距仪的研制工作取得更大的进展,同时必将生产出更加完善的仪器,供测绘生产部门使用。

第二节 光电测距仪的分类

光电测距仪的分类方法很多,现仅按所使用的光源和测程分别说明如下。

按仪器的光源大体可分为三类,如下表所示:



现在小型的光电测距仪多采用砷化镓发光二极管作为光源,这是一种能直接发射调制光的器件,即通过改变砷化镓发光二极管的电流密度来改变其发射的光强。砷化镓发光二极管有体积小、效率高、能直接调制、结构简单、寿命长等特点,为制造小型、轻便、耐用的仪器创造了条件。

按仪器的测程大体可分为以下三类:

(1) 短程红外光电测距仪 测程在 5 公里以内,适用于各种工程测量。短程测距仪的精度一般在 1 cm 左右,这种仪器可用来测量 III 等以下的三角锁网的起算边以及相应等级的精密导线边长。很多国家都在生产这种产品(包括近几年生产的全测站仪器),如瑞士的 DI-3S、TC-1、DM-501,西德的 ELDI-2、SM-4,瑞典的 AGA12、AGA120,英国的 CD-6,美国的 HP3820A 等,我国的 HGC-1 也属于这一种。

(2) 中程光电测距仪 测程在 5~25 公里左右的仪器称中程光电测距仪,如瑞典的 AGA6 BL、美国的 Ranger IV,我国的 JCY-2 等,精度可达 $\pm(5\text{mm}+2\times 10^{-6}D)$ 。适用于测量三、四等三角边长和作三、四等精密导线测量。

(3) 远程激光测距仪 测程在 25 公里以上的光电测距仪,精度一般可达 $\pm(5\text{mm}+10^{-6}D)$,这类仪器在测量中一般用来量测高等级的三角锁网的基线或起始边,量测代替高等级三角测量的精密导线网的边长。如瑞典 AGA-8,美国的 Rangemaster 等属这类仪器。

根据传播时间 t 的测定方法,可分为脉冲法测距和相位法测距。

(1) 脉冲法测距

由测距仪的发射系统发出的光脉冲,经被测目标漫反射后,再由测距仪的接收系统接收,根据发射和接收光脉冲的时间差来确定距离的方法,称为脉冲法测距。激光技术应用最早的就是脉冲法测距。

脉冲法的主要优点是测程远。这是因为激光能在时间和空间上高度集中,从而使激光脉冲发射的瞬时功率很大(一般可达兆瓦级),因此可以量测远的距离。进行脉冲法测距时,一般情况下,不要求在被测对象安置合作目标,可以利用被测对象的漫反射来得到反射光信号进行测距。在测量很远的距离时,为了得到较强的反射光信号,也可在被测对象安置反射镜。目前,脉冲激光测距已广泛应用于各种不同场合。我国生产的激光地形测绘仪就是应用脉冲法测距的一种仪器。

脉冲法测距的主要缺点是绝对精度较低。这是因为光传播速度很快(每秒钟约 30 万公里),要提高测距的精度就要求很高的测时精度,当采用 150 兆周的时标频率测距时,其显示精度为 ± 1 米,若要进一步提高测距精度,目前在电子技术上尚有困难,因此,脉冲法测距在测绘上的应用就受到一定的限制。

(2) 相位法测距

由测距仪的发射系统发射出受正弦波调制的光波,经安置在被测地点的反射镜反射,再返回到测距仪的接收系统,以测定调制光波在待测距离上往返传播所产生的相位差,从而测定距离,称为相位法测距。

相位法测距与脉冲法测距比较,主要的优点是测距的精度较高,一般可以达到 $\pm 1\sim 2$ 厘米,有的仪器可达毫米甚至十分之几毫米,这就可以代替钢尺量距甚至因瓦尺精密量距。

由于相位法测距要求发射受调制的连续光波,因此发射的瞬时功率不可能很大,测程相对地要短一些,但有些用氦氖激光器的激光测距仪可达 $50\sim 60$ 公里,这对一般测绘技术的应用来说已满足要求。基于上述精度和测程方面的考虑,根据相位法测距原理而研制的测距仪,在测绘生产中得到了广泛应用。

关于上述脉冲法测距和相位法测距的比较和分析,是仅就目前一般情况而言的。无论是脉冲法测距,还是相位法测距,都在不断地发展和变化。

第三节 相位法测距原理

设用相位法测距仪测定 A 、 B 两点间的距离 D (图 1-1),在 A 点安置测距仪,在 B 点安置反射镜。由测距仪发射调制光波,射向反射镜后被反射回接收系统。设调制波往返于距离 D 所花费的时间是 t ,已知光波在大气中的传播速度是 c ,则距离为

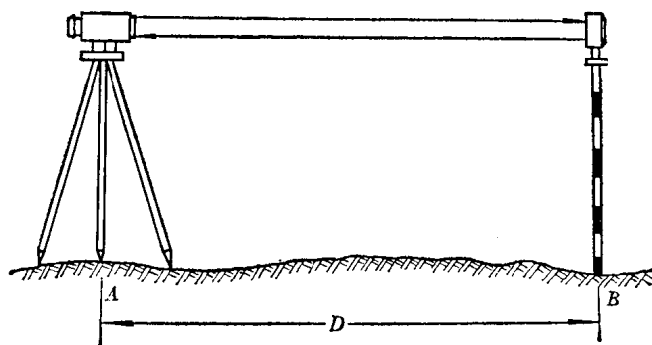


图 1-1

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

如果把调制波在测线上按往返距离展开,如图 1-2 所示,显然,调制波回到 A 点的相位比发出时延迟了 Φ 角。

则

$$\Phi = 2\pi ft \quad (1-2)$$

式中 f 是调制波的频率。

把(1-2)式中的 t 代入(1-1)式,则

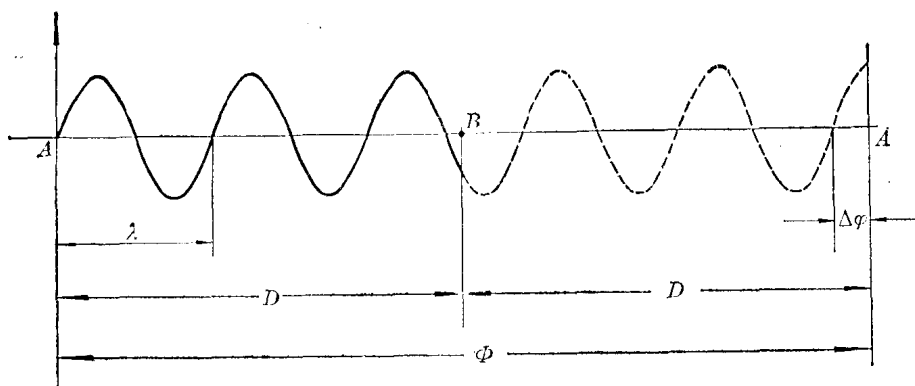


图 1-2

$$D = \frac{1}{2} c \frac{\Phi}{2\pi f} = \frac{1}{2} \frac{c}{f} \cdot \frac{\Phi}{2\pi}$$

式中 $\frac{c}{f}$ 是调制波的波长，以 λ 表示，又 Φ 等于调制波的 N 个整周期加上不足一个整周期的尾数 $\Delta\varphi$ ，所以

$$D = \frac{1}{2} \lambda \left(\frac{N \cdot 2\pi + \Delta\varphi}{2\pi} \right) = \frac{\lambda}{2} \left(N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) = \frac{\lambda}{2} (N + \Delta N) \quad (1-3)$$

上式说明，要测的距离 D 等于调制波波长的一半乘以整波数与余波数之和。实际上，调制波往返于测线上的整波数我们是无法知道的。仪器只能测定边长 $D < \frac{\lambda}{2}$ 的距离，也就是说只能测定小于 2π 的余角 $\Delta\varphi$ 。因此就需要在仪器中设置两个频率，譬如令 $\frac{\lambda_1}{2} = 10 \text{ m}$ ， $\frac{\lambda_2}{2} = 1000 \text{ m}$ ，这样可利用 $\frac{\lambda_1}{2}$ 去量测相应于 $\Delta\varphi_1$ 的距离，即测出小于 10 米的毫米位、厘米位、分米位和米位数；用 $\frac{\lambda_2}{2}$ 去量测相应于 $\Delta\varphi_2$ 的距离，即测出十米位和百米位（图 1-3），使这二者衔接起来，就得到完整的距离读数。

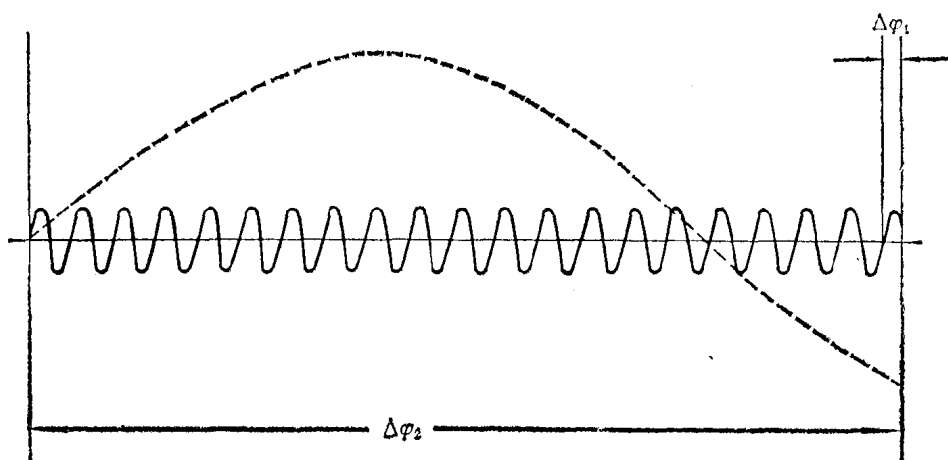


图 1-3

第四节 测程问题

我们所说的测程是指在一般气象条件下, 在满足仪器精度情况下所能测得的最远距离。影响测程的因素很多, 现分为几个问题说明如下:

(一) 红外线在空气中的传播问题

红外辐射在大气中的传输过程是非常复杂的, 但它主要受吸收衰减和散射衰减的影响, 对于红外辐射, 前者比后者更为严重。

(1) 吸收 红外辐射在低层大气中传播时, 主要受到水蒸气(H_2O)、二氧化碳(CO_2)和臭氧(O_3)三种化合物的吸收而衰减, 衰减系数又与红外线的波长有关。

(2) 散射 另一种使红外辐射衰减的因素是空气的微粒(如尘埃、烟雾、水气等)对红外光的散射。同样, 衰减系数与红外线的波长有关。当然, 在比较高的空间处, 微粒就会减少, 因而散射的衰减现象就不严重了。

设吸收的衰减系数为 α , 散射的衰减系数为 β , 它们的量纲都是 km^{-1} 。那么离起始点的距离为 x 公里的光能强度 I_x 与起始点的光强 I_0 有下列关系:

$$I_x = I_0 e^{-(\alpha + \beta)x} \quad (1-4)$$

即光强是按指数规律衰减的。

值得注意的是, 当红外光的波长等于某些数值时衰减较小, 即透过率较大, 一般称这个位置为大气“窗口”。当然, 我们应该选择红外光的波长恰好在“窗口”位置。图 1-4 给出了 0.75~3 微米波长的光束在靠近地面大气中透过的情况。从图中可以看出, 有一些高透过率的大气“窗口”被一些高吸收率区域隔开。这些“窗口”的区间分别为: 0.75~0.90; 0.95~1.05; 1.2~1.3; 1.5~1.8; 2.1~2.4; 3.3~4.2。

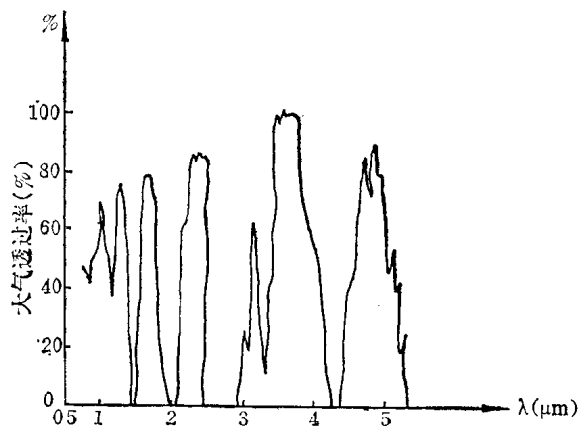


图 1-4

(3) 湍流 大气湍流是指不同高度的大气层不是稳定的, 而有上下湍动的现象, 这就引起红外辐射强度的起伏变化、相位变化和光斑的跳动, 这些现象在精密测距中都是应该考虑的问题。在中午时刻, 大气湍动特别严重, 应避免在此时间观测。

(二) 测程方程式

与测程有关的因素, 除了在大气中红外辐射的传输问题外, 还有发光管发光的能量, 接收管的光电转换灵敏度, 光学系统的质量等等问题。这里讨论与三者有关的测距仪接收信号强度问题, 通称测程方程式。

设发光管在发射角 θ_T 内发出的光能总功率是 P_T , 光波的调制度是 m , 发射光学系统的透过率是 k_1 , 光能在大气中按指数规律衰减时, B 处光斑上总能量 $P_Q = k_1 m P_T e^{-\sigma D}$, 式中 σ 是衰减系数, D 是 A, B 之间的距离(图 1-5)。

$$\text{光斑面积 } S_B = \pi \left(\frac{1}{2} \cdot D \theta_T \right)^2 = \frac{1}{4} \pi D^2 \theta_T^2,$$

那么, 光斑中单位面积的光能量 $P_B = P_Q / S_B = \frac{4k_1 m P_T e^{-\sigma D}}{\pi D^2 \theta_T^2}$ 。一般, 反射器的面积 S_R 比光斑面积小, 所以反射器所收到的光能量 P_R 比发光管发射出来的光能量要小一些, 等于

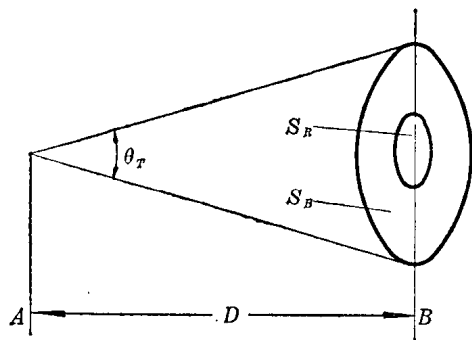


图 1-5

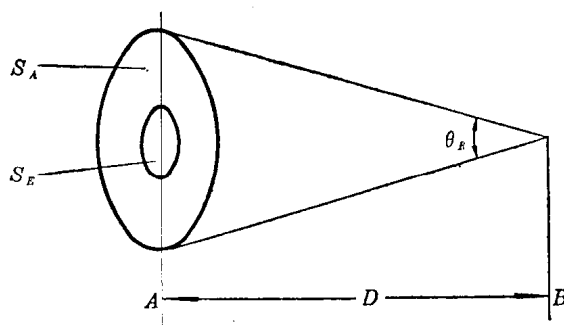


图 1-6

$$P_R = P_B S_R = \frac{4k_1 m P_T e^{-\sigma D}}{\pi D^2 \theta_T^2} \cdot S_R$$

设反射器的透过率为 k_2 , 它的发散角为 θ_R , 则在接收物镜所接收到的单位面积能量 P_A 应等于接收到的光能除以接收光斑面积 S_A (图 1-6)

$$P_A = \frac{P_R \cdot k_2 e^{-\sigma D}}{S_A} = \frac{4P_R k_2 e^{-\sigma D}}{\pi D^2 \theta_R^2} = \frac{16k_1 k_2 m P_T e^{-\sigma D}}{\pi^2 D^4 \theta_T^2 \theta_R^2} \cdot S_R$$

如果以 S_E 表示接收物镜的面积, k_3 表示接收光学系统的透过率, 则接收到的光能量 P_E 是

$$P_E = P_A \cdot S_E \cdot k_3 = k_1 k_2 k_3 S_R S_E \frac{16P_T \cdot m \cdot e^{-2\sigma D}}{\pi^2 D^4 \theta_T^2 \theta_R^2} = k S_R S_E \frac{16P_T m e^{-2\sigma D}}{\pi^2 D^4 \theta_T^2 \theta_R^2} \quad (1-5)$$

式中 $k = k_1 k_2 k_3$, 称为测距仪的总透过率。 P_E 应大于能测距离的最小光能量 $P_{\min}$ 。

在测距仪中首先要选好大气窗口, 使红外辐射的透过率较大。另外, 仪器的两个关键器件砷化镓发光管和光电转换接收管与测程的大小关系极大。前者发出的功率越大和后者光电转换灵敏度越高, 测程就越远。现在用了雪崩二极管或 PIN 光敏二极管, 效果较好。

同时增加发射、接收光学系统的面积和反射棱镜的面积都对增加测程有利。不过这要增加仪器的重量。

此外, 减小发光管的发射角和反射镜的发散角对测程的增加也是有利的。不过发射角太小, 大气的抖动会使原来对好的光束偏离反射镜, 从而测不出结果。

(三) 信噪比的影响

信号功率和噪声功率之比称为信噪比, 即

$$\text{信号噪声比} = \frac{\text{信号功率}}{\text{信号中含有的噪声功率}}$$

它的大小对测程和精度都有极大的关系。如果信号太小或噪声太大，信号就会被淹没在噪声之中。所以提高信号噪声比，就成为测距仪设计的关键之一。目前红外测距仪的信噪比一般都在10左右。

噪声不同于信号，噪声电压不是周期性的，没有一定的规律，是属于随机性的(图 1-7)。

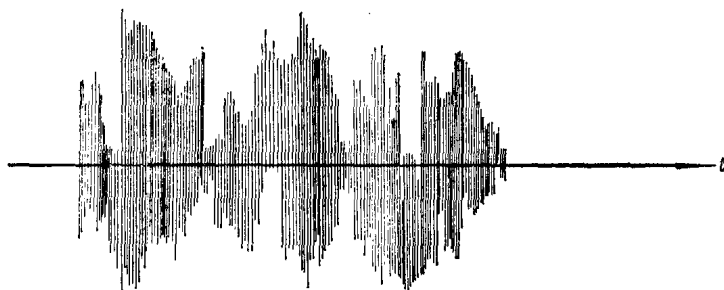


图 1-7

测距仪中的噪声可分为光噪声和电噪声两种。

(1) 光噪声 机外的杂散光往往由反射镜射进测距仪的接收系统形成噪声。大气中微粒的散射和大气的湍动都会引起光噪声，机内杂散光的窜扰也对测程和精度不利。

(2) 电噪声 电噪声的来源主要是信号之间通过有关电路的串扰，特别是高频信号更难完全消除电噪声，因此在选用晶体管，在线路的布局和地线的连接上都要特别注意。

放大器是由晶体管组成的，它不仅放大了前级来的噪声，它本身也产生噪声，因而也常用噪声系数表示放大器两端的信噪比关系，即：

$$\text{噪声系数 } N_F = \frac{\text{输入端信噪比}}{\text{输出端信噪比}}$$

设输入输出的信号功率分别用 P_i 、 P_o 表示，输入、输出的噪声功率分别用 P_{in} 、 P_{on} 表示，则：

$$N_F = \frac{P_i/P_{in}}{P_o/P_{on}} = \frac{P_i P_{on}}{P_o P_{in}} = \frac{P_{on}}{k_p P_{in}}$$

式中 $k_p = \frac{P_o}{P_i}$ 是放大器的功率放大倍数， $k_p P_{in}$ 表示在输出端得到的放大的输入端噪声功率。所以噪声系数可以看成输出端的噪声总功率和放大的输入端噪声功率之比。如果用分贝(dB)表示，则

$$N_F = 10 \lg \frac{P_{on}}{k_p P_{in}} \text{ 分贝}$$

输出端的总噪声功率中包括晶体管工作时所产生的噪声。目前国产的低频管可做到 $N_F \leq 6 \sim 15$ 分贝，高频管和场效应管的 $N_F \leq 3 \sim 8$ 分贝。

晶体三极管的噪声来源是多方面的。半导体中载流子的不规则热运动在三极管产生噪声电压；载流子扩散到基区的速度不同，使集电极电流有微小的不规则变化；基区中载流子的复合率有起伏，也引起基极电流的变化，这些都产生晶体管本身的噪声。所以选择噪声小的晶体三极管

是减小噪声系数的一项重要措施。

还应看到噪声系统与晶体管的功率放大倍数有密切关系, k_p 越大, N_F 越小。而 k_p 又与晶体管静态工作点密切相关, 因此为了获得低的噪声系数, 合理选择工作点是很重要的, 一般来讲, I_c 对 N_F 影响较大, 集电极和发射极之间的电压 U_{ce} 对 N_F 影响不大。 k_p 与输入信号源的内阻 R_g 有关, 对噪声系数而言 R_g 有一个使它为最小的最佳值 R_{g0} , 信号源内阻为最佳值 R_{g0} 时, 放大器不一定恰好与信号源匹配, 因而 k_p 不是最大, 但对于低噪声放大器来说, 牺牲一点增益来保证获得较低的噪声系数是值得的。

最后还要提到的是, 噪声系数与工作频率有关。图 1-8 表示 N_F 与工作频率 f 的关系。当工作频率太高或太低时, N_F 就升高。

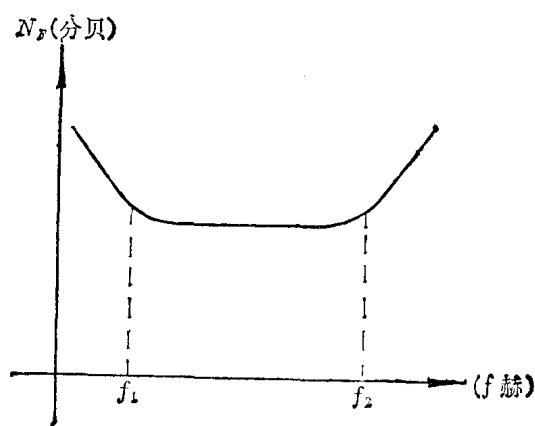


图 1-8

第二章 光的基本知识

本章仅介绍一些光的基本知识。例如光的性质,光的群速与单一光速之间的关系,测距时大气气象对群速折射率的影响,光的反射、折射和全内反射,反射棱镜等等。至于激光的初步知识,激光器的作用,请参阅本书第二篇脉冲激光测距仪中的有关章节。

第一节 光的基本性质

根据麦克斯韦提出的电磁波理论,电磁波是由交变电场和交变磁场所组成,它们的振动面是彼此垂直的(图 2-1),而两者的振动方向都与传播方向垂直。电磁波的传播速度 c 可以表达为

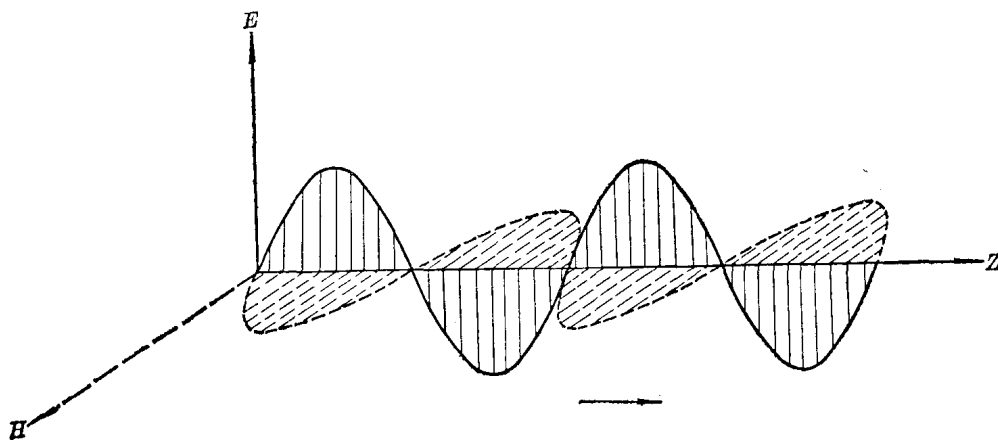


图 2-1

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (2-1)$$

其中 ϵ 、 μ 都是与传播空间的媒介有关, ϵ 称为介电常数,它等于 8.95×10^{-14} 库仑/(伏特·米); μ 称为磁导率,它等于 1.257×10^{-6} 韦伯/(安培·米)。

从 ϵ 值和 μ 值算得的 c 值 $= 3 \times 10^{10}$ 厘米/秒,这正是光在真空中的速度,这从理论上证实了光是一种波长很短的电磁波。

在认识光是电磁波的一种之前,光的“微粒学说”和光的“波动学说”争论不休,各自坚持自己的看法,确实,光的直线传播用“微粒学说”很容易解释,而衍射、干涉等现象则较容易按光的“波动学说”解释。固然电磁波理论深入揭示了光的性质,但不能解释光的辐射、吸收和光电效应。直到量子理论提出后,有关光的现象都解释通了。量子理论指出,光是由光子组成,光的能量不是连续的,而是光子能量的倍数,每一光子的能量等于 $h\nu$, 式中 h 为普朗克常数,它等于 6.6256×10^{-27} 尔格秒, ν 是波的频率。这就肯定了光的“粒子学说”的正确性。所以,现在可以说,光既具