

电子测绘仪器 原理与应用

赵吉先 邹自力 臧德彦 编著

 科学出版社
www.sciencep.com

TH761/5

2008

电子测绘仪器原理与应用

赵吉先 邹自力 臧德彦 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了电子测绘仪器的发展和常用电子测绘仪器的原理及应用,主要包括电磁波测距仪、电子经纬仪、电子水准仪、全站仪、全球定位系统(GPS)、激光仪器、陀螺经纬仪、专用电子测绘仪器,以及其他电子输入和输出设备等,充分反映了测绘新技术及其应用。

本书可供广大测绘工作者和研究人员参考,并可作为各类高等院校测绘工程专业和相关专业研究生、本科生教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子测绘仪器原理与应用/赵吉先等编著. —北京:科学出版社,2008
ISBN 978-7-03-021207-8

I. 电… II. 赵… III. 电子仪器:测绘仪器 IV. TH761

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 035229 号

责任编辑:任静 王志欣/责任校对:郭瑞芝

责任印制:刘士平/封面设计:耕者工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

西 德 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年5月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008年5月第一次印刷 印张:11

印数:1—3 000 字数:210 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

序

我很高兴看到由赵吉先教授等编著的《电子测绘仪器原理与应用》一书的出版。电子测绘仪器的发展是伴随激光技术、电子技术、计算机技术、现代通信技术和精密机械技术的发展而并行的。该书全面介绍了各类电子测绘仪器的原理、结构、功能以及应用等方面的内容。书中涉及的电子测绘仪器种类多，结构复杂，且工作原理涉及多种高技术领域。全书内容丰富、结构严谨、通俗易懂、可操作性较强，具有一定的深度和广度。目前国内尚未见到全面介绍电子测绘仪器的同类书籍，该书填补了国内的空白。相信该书的出版会对完善和推动现代测绘技术的应用起到积极的作用。

作者赵吉先教授是东华理工大学地球科学与测绘工程学院的资深教授，从事测绘教学工作几十年，有丰富的测绘教学经验和很高的理论水平。作者根据自己多年从事测绘教学和应用各类现代测绘仪器的理论研究和工作经验撰写成书。

该书可以作为测绘类及相关学科大学本科生和研究生的教学参考书，对测绘学科研究和生产单位具有重要参考价值。

朱 光

2008. 3. 28

前 言

电子测绘仪器是 20 世纪 50 年代以来,随着光电技术、微电子技术、激光技术、通信技术、计算机技术和精密机械技术的发展而逐步发展起来的。到了 60 年代,相继出现了电磁波测距仪、电子经纬仪、全站仪、电子水准仪、GPS、激光指向仪、激光铅垂仪、激光扫平仪、电子倾斜仪、回声探测仪、地下管线探测仪、海底地貌探测仪、扫描仪、数字化仪、测图仪等多种电子测绘仪器。“工欲善其事,必先利其器”,仪器是测绘之本。电子测绘仪器的发展,使测绘工程由手工操作向一体化、数字化、自动化、智能化、高精密和全天候方向迈进。同时也推动测绘科学向纵深发展,更好地服务于航空、航天、军事等尖端科学。电子测绘仪器与传统的光学、机械仪器相比,具有无可比拟的优越性,已在测绘生产、工程建设、现代战争和科学研究中广泛应用,并取得了可喜的成果,受到广大测绘工作者的普遍欢迎。

电子测绘仪器种类多,结构复杂,其结构和原理在许多教材和科技文献中都有不同程度的涉及,为了便于测绘工作者的应用,在吸取国内各类文献和最新研究成果的基础上,作者结合多年的科研成果和实践经验,编著了本书。全书共分 10 章,第 1 章绪论,主要叙述了电子测绘仪器的发展过程,重点介绍了 20 世纪 50 年代之后,光电技术、微电子技术、激光技术、传感器技术、计算机技术、通信技术、空间技术以及光机电技术一体化等技术的发展,大大促进了测绘仪器的发展。第 2 章主要介绍电磁波测距仪的原理与应用,重点介绍了脉冲式测距、相位式测距、多波测距、微波测距和干涉法测距等原理以及电磁波测距仪的检定和成果处理。第 3 章介绍了电子经纬仪的编码度盘、光栅度盘、动态测角原理和电子测微技术以及电子经纬仪的检定。第 4 章介绍了全站仪的组成、功能及其应用等。第 5 章介绍了电子水准仪的基本结构和原理,重点介绍了电子水准仪的检定和应用。第 6 章介绍了全球定位系统(GPS)的组成、坐标系、定位基本原理和 GPS 测量的实施。第 7 章介绍了激光指向仪、激光铅垂仪、激光扫平仪、激光经纬仪、激光水准仪等的原理和应用。第 8 章主要介绍了陀螺经纬仪的定向原理和定向方法。第 9 章介绍了专用电子测绘仪器,重点介绍了回声探测仪、地下管线探测仪、电子倾斜仪、海底地貌探测仪、电子伸缩仪、体应变仪、电容式遥测垂线仪、流体静力水准仪、重力测量仪、电容式水位测量仪、电子气压测量仪、铂电阻测温仪等的原理与应用。第 10 章主要介绍电子输入和输出设备的原理,如数字化仪与扫描仪、数字照相机和数字摄像机、打印机和绘图仪等。

本书除邹自力教授、臧德彦教授分别参加了第4章、第6章部分内容的编写外，其他章节均由赵吉先教授编写，此外，赵吉先教授负责全书的统稿工作。

本书在编写过程中，受清华大学过静君教授的指导和帮助，在此表示衷心的感谢。同时感谢朱光教授的关心和支持。

本书得到了江西省“大地测量与测量工程”省级重点学科的资助，在此表示感谢。

本书在完成之际，特别感谢本书所列参考文献的作者，是他们的研究成果给予笔者极大的启迪和帮助。

电子测绘仪器种类多、结构复杂、涉及面广。由于作者水平有限，书中的错误和不妥之处在所难免，恳请读者评批指正。

作 者

2008年1月于江西抚州

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
第 2 章 电磁波测距仪的原理与应用	5
2.1 概述	5
2.2 常见测距仪原理	6
第 3 章 电子经纬仪的原理与应用	33
3.1 概述	33
3.2 编码度盘的测角原理	33
3.3 光栅度盘的测角原理	34
3.4 动态测角法原理	36
3.5 电子测微技术	38
3.6 电子经纬仪的检定	42
第 4 章 全站仪的原理与应用	49
4.1 概述	49
4.2 全站仪的组成及其功能	51
4.3 全站仪的应用	55
第 5 章 电子水准仪原理与应用	57
5.1 概述	57
5.2 电子水准仪的基本结构	57
5.3 电子水准仪原理	58
5.4 电子水准仪器的检定与应用	61
第 6 章 GPS 原理与应用	67
6.1 概述	67
6.2 GPS 系统的组成	67
6.3 GPS 坐标系统	70
6.4 GPS 卫星定位的基本原理	71
6.5 GPS 接收机基本结构与工作原理	76
6.6 GPS 测量的实施	81

第7章 激光仪器的原理与应用	85
7.1 概述	85
7.2 激光指向仪的原理与应用	85
7.3 激光铅垂仪的原理与应用	87
7.4 激光扫平仪的原理与应用	89
7.5 激光经纬仪原理与应用	91
7.6 激光水准仪的原理与应用	93
第8章 陀螺经纬仪原理与应用	95
8.1 概述	95
8.2 陀螺经纬仪的定向原理	96
8.3 陀螺经纬仪的定向方法	104
第9章 专用电子测绘仪器的原理与应用	113
9.1 概述	113
9.2 回声测深仪	113
9.3 地下管线探测仪	116
9.4 电子倾斜仪	124
9.5 海底地貌探测仪	127
9.6 电子伸缩仪	131
9.7 体应变仪	133
9.8 电容式遥测垂线仪	135
9.9 流体静力水准仪	138
9.10 重力测量仪	141
9.11 电容式水位测量仪	144
9.12 电子气压测量仪	145
9.13 铂电阻测温仪	146
第10章 电子输入与输出设备的原理与应用	149
10.1 数字化仪与扫描仪	149
10.2 数字照相机与数字摄像机	155
10.3 打印机	159
10.4 绘图仪	164
参考文献	167

第 1 章 绪 论

电子测绘仪器是以电学为基础或用电作为启动电源的各类测绘仪器的总称。它代表着测绘学科的发展水平。20 世纪中叶以来,测绘学科是随着微电子学、激光技术、计算机技术等发展而发展的。从某种意义上讲,测绘仪器的发展史就是测绘学科的发展史和发展动力。从早期的罗盘仪、半月仪等发展到光学仪器,直至现在的电子测绘仪器,测绘科学发生了翻天覆地的变化。

测绘学科是一门历史悠久而发展迅速的学科,它是地球科学的重要分支,是研究地球形状大小以及确定地面点位置的科学。它的内容主要包括测定和定测两个方面。测定是通过各种测绘理论和测绘仪器,把地球表面的形状和大小缩绘成各种比例的地形图以及得到各种相应的空间数字信息,供国防工程和国民经济建设的规划、设计、施工、管理及科学研究使用。定测是指利用各种技术和测绘仪器把图纸上规划设计的建筑物、构筑物的位置在实地标定出来,作为施工的依据。测绘科学在国防建设中发挥了重要作用,因为军事测量和军用地图是现代战争中不可缺少的重要保障。更重要的是,对于远程导弹、空间武器、人造卫星或航天发射,要保证其精确入轨,并随时校正轨道或命中目标,除了测算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外,还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料。在科学研究中,空间科学技术、地壳形变、地震预报、各种灾情监测等研究工作涉及的内容和服务对象都需要测绘技术和测绘资料,而这些测绘技术和测绘资料,必须通过各种测绘仪器来实现。可见,测绘仪器在测绘学科中具有重要地位。

早期的测量工作,主要用罗盘仪、游标经纬仪以及测绳、皮尺等仪器,劳动强度大,测量速度慢,精度低。随着社会的发展和科技的进步,20 世纪 40 年代出现的光学玻璃度盘,用光学转像系统可以把度盘对经位置的刻画重合在同一平面上,这样比起早期的游标经纬仪大大提高了测角精度,而且体积小、质量轻、操作方便。到了 60 年代,随着光电技术、计算机技术和精密机械技术的发展,1963 年 Fennel 终于研制了编码电子经纬仪,从此常规的测量方法迈向自动化的新时代。经过 70 年代电子测角技术的深入研究和发 展,到了 80 年代出现了电子测角技术的大发展。电子测角方法从最初的编码度盘测角,发展到光栅度盘测角和动态法测角。由于电子测微技术的改进和发展,电子测角精度大大提高。

从测距方面来看,1943 年,瑞典科学家贝尔格斯川(Berystrand)采用光电技术在大地测量基线上从事光速值的测定试验,终于获得成功,进而与该国的

AGA 仪器公司合作于 1948 年初步试验成功了一种利用白炽灯作为光源的测距仪,迈出了光电测距第一步,在全世界产生了巨大影响。各国竞相购买仪器,引进技术,从而促进了光电测距技术的深入探讨和仪器的研制。这种仪器的主要缺点是笨重、耗电量大、白天测程短、精度低。但从根本上解决了人类多年向往的光电测距技术。

1960 年美国人梅曼 (Maiman) 研制成功了世界上第一台红宝石激光器,接着第二年就诞生了世界上第一台激光测距仪。激光测距仪与第一代光电测距仪相比,体积小、质量轻、测程远、精度高,而且可全天候观测。经过十多年的研究,激光测距仪的类型不断增多、用途更加广泛。1963 年瑞士威尔特厂开始研究采用砷化镓 (GaAs) 发光管测距仪,1968 年定型产品投入生产,促进了光电测距仪向小型化方向发展。20 世纪 70 年代,联邦德国的 OPTON 厂和瑞典的 AGA 厂在光电测距和电子测角的基础上,研制生产出第一代电子速测仪 (全站仪),进一步促进了测量向数字化、自动化方向发展,既提高了测量的速度,又提高了精度。

1973 年 12 月,美国国防部批准建立了新一代导航系统 (navigation satellite timing and ranging global positioning system, GPS),它是一种可以定时和测距的空间交会定点的导航系统。可向全球用户提供连续、实时、高精度的三维位置、三维速度和时间信息,为陆、海、空三军提供精密导航,还可用于情报收集、应急通信和卫星定位等一些军事目的。GPS 整个发展计划分三个阶段实施:原理可行性论证阶段;系统的研制与试验阶段;工程发展和完成阶段。至 1994 年,7 颗 GPS 试验卫星和分布在 6 个轨道的 24 颗工作卫星已全部升空并正常工作。实践证明,GPS 定位技术完全可以取代常规的测角和测距手段,其相对定位精度可达厘米级以下,长距离的相对精度可达 10^{-8} ,甚至更高。

陀螺经纬仪是将陀螺仪和经纬仪结合于一体的测量仪器。它适合于地下工程和隐蔽地区定向,而且不受时间、环境的限制,同时观测简单方便,工作效率高。1852 年法国物理学家付科 (Foucault) 提出地球的自转会在陀螺仪上产生效应的设想:无需进行任何天文观测或地磁观测,只要由陀螺观测就可以得出任何地点的子午线位置。由于受当时的技术条件的限制,付科的实验未能达到预期的效果。19 世纪初,研制的陀螺罗盘仪只能作为航海导航仪器。20 世纪 50 年代,研制成功了液浮式矿用陀螺罗盘仪。60 年代,在矿用陀螺罗盘仪的基础上发展成陀螺经纬仪。陀螺经纬仪分为下架式陀螺经纬仪和上架式陀螺经纬仪,其中上架式陀螺经纬仪的特点是体积小、质量轻、观测时间短、便于操作和携带、适合于隐蔽工程和地下工程的应用。陀螺仪的电源由蓄电池和逆变器组成。70 年代,世界上许多国家把自动控制技术和电子计算机引进陀螺经纬仪,研制出自动化陀螺经纬仪,如瑞士的 GGI 型。80 年代,又研制成数字化陀螺经纬仪,它的特点

是可以直接测定测线的方位角和待定坐标、可敷设光电测距——陀螺定向导线、满足特殊环境下高精度工程测量的要求,如日本索佳的 GPI 型仪器。

激光自 20 世纪 60 年代问世以来,首先应用在测距仪上。由于激光有许多其他光源不可比的优越性,在测绘界广泛应用,如激光指向仪、激光铅垂仪、激光扫平仪、激光经纬仪、激光水准仪等。为了安全和可见性,测绘仪器所用激光绝大多数是 He-Ne 激光(氦氖激光),它属气体激光,发散角小,有利于观测目标的照准,同时可防止外来因素的干扰,便于提高精度。另外,也是一个重要方面,He-Ne 激光对人体没有伤害。

随着电子测绘仪器的发展,一些专用电子测绘仪器也得到了迅速发展,如电子倾斜仪、回声测深仪、地下管线探测仪、电子水准仪、电子平板仪、海底地貌探测仪等,并在不同的行业和部门得到广泛的应用。

综上所述,微电子技术,激光技术,传感器技术,计算机技术,通信技术,空间技术以及光、机、电技术的一体化,对测绘仪器发展起了极大的促进作用。仪器是测量之本,电子速测仪(全站仪)的问世和 GPS 的应用,以及各种电子测绘仪器先后投入测绘工作,无疑使开放的测量世界掀起了重大革命,使测量工作迅速向一体化、自动化、小型化、智能化、数字化和高精度、全天候方向迈进,同时也推动了测绘科学向纵深发展。

由于电子测绘仪器种类多、应用面广,本书无法包罗万象,仅介绍常用的电子测绘仪器。

第 2 章 电磁波测距仪的原理与应用

2.1 概 述

电磁波测距仪是以电磁波作为载波的测距仪器,发展至今已有 60 多年的历史。瑞典大地测量局大地测量学者贝尔格斯川在大地测量基线上采用光电技术精密测定光速值,1943 年获得了满意的结果。同年,他与该国的 AGA 公司合作,于 1948 年初研制成功了一种利用白炽灯作为光源的测距仪,命名为 Geodimeter (大地测距仪或光电测距仪),迈开了光电测距的关键一步。经过不断的研究和改进,AGA 厂相继生产了 Geodimeter 1 型和 2 型,1955 年批量生产了 NASM-2A 型仪器。NASM-2A 型光电测距仪的夜间测程为 30km,白天测程为 6km,精度为 $\pm (10\text{mm} + 1 \times 10^{-6} D)$,因其性能优异,使用方便,畅销世界各国。这种光电测距仪的出现成为测绘由人工丈量向电子测量发展的一次革命,推动了整个测绘事业的发展,同时也促进了各国对光电测距技术的研制和探讨。在以后的十余年时间内,世界各国研制成功 20 种光电测距仪。该仪器采用白炽灯光源、真空电子管线路等,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,1957~1964 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 AGA3 型、AGA4 型等小型化光电测距仪,质量为十几千克,功耗近 30W。

1960 年 7 月,美国人梅曼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,因此,第二年就生产了世界上第一台激光测距仪。随着激光技术的迅速发展,激光测距仪的种类也日益增多。激光测距仪的优点是可以昼夜观测、测程较远、精度较高,它完全淘汰了以白炽灯和汞灯为光源的光电测距仪。

20 世纪 60 年代末期,世界上又出现了以半导体激光器和发光管为光源的小型光电测距仪,如砷化镓(GaAs)发光二极管是测距仪(尤其短程测距仪)更为理想的光源。它在一定的工作状态下发出红外荧光,故又称为红外发光二极管。红外发光管体积小、亮度高、寿命长、功耗低、结构简单,而发射光的强度能随发光管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调制,达到内调制的效果。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和集成电路的应用,采用 GaAs 发光二极管作为光源的红外测距

仪,测程可达几千米,精度可达 $\pm(5\text{mm}+5\times 10^{-6}D)$,仪器的体积小、质量轻、功耗低,而且能与经纬仪配合使用。自1965年秋天英国特鲁罗梅特仪器公司研制成MA-100短程红外测距仪以来,红外测距仪的新型号不断涌现,而且在各种测量中得到广泛应用。目前测程在5km以下的测距仪几乎都采用GaAs发光二极管作为光源,而且AGA厂的AGA-14A和威尔特厂的DI2002型红外测距仪测程已达到15km。到目前为止,世界各国生产的红外光电测距仪累计约100多种型号,几个主要仪器生产厂家已形成了各自的系列。

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发展。1956年,英国Tellurometer公司首次生产了MRA1型微波测距仪,它具有源反射器,测线两端可直接对话,而且可全天候观测,当时受到测绘界特别是军事测绘界的欢迎。微波测距仪的测距精度受到地面反射波的影响较大,因而精度较低,其发展速度相比光电测距仪较慢,但各国都积极研制各种类型的微波测距仪。1980年市场上的微波测距仪,仪器重9kg,功耗为10W,测距精度达 $\pm(3\text{mm}+3\times 10^{-6}D)$,测程达25km。

为了满足精密工程测量和变形监测的精度要求,一些厂家生产了更高精度的精密测距仪,如克恩公司的ME-5000,其测距精度可达 $\pm(0.2\text{mm}+0.2\times 10^{-6}D)$,测程10km。

电磁波测距的基本原理,就是通过测定电磁波在待测距离上往返传播的时间 t_{2D} 和电磁波在大气中传播的速度 c 来确定距离,它的基本公式为

$$D = \frac{1}{2}ct_{2D}$$

式中: c 值取决于电磁波波长和测线周围的气象条件,实际 c 值是容易确定的。测距仪的关键技术是如何确定 t_{2D} 值。

测距仪的型号繁多,按测定电磁波在待测距离上传播时间 t_{2D} 的方法不同,可分为脉冲式测距仪、干涉法测距仪和相位式测距仪;按光源不同,可分为红外测距仪和激光测距仪;按载波不同,可分为光电测距仪和微波测距仪;按测程不同,可分为短程测距仪、中程测距仪和长程测距仪。这里主要介绍常用的脉冲式测距、相位式测距、干涉法测距、微波测距和多波测距仪的原理。

2.2 常见测距仪原理

2.2.1 脉冲式测距仪原理

脉冲式测距仪原理如图2-1所示。

首先由脉冲发射器发射出一束光脉冲,经过发射光学系统后射向被测目标。与此同时,由机器内的取样棱镜取出一小部分脉冲送入接收光学系统,再由光电

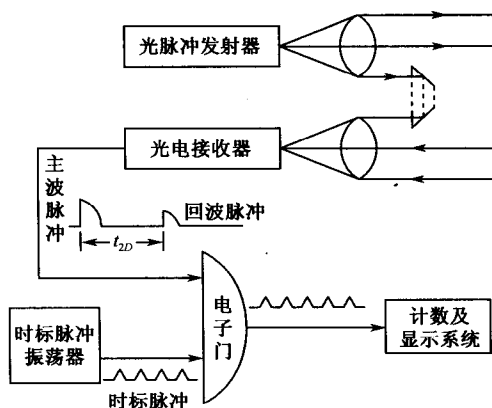


图 2-1 脉冲式测距仪原理框图

接收器转换为电脉冲（称为主波脉冲），作为“电子门”的开门信号，此刻时标脉冲通过电子门进入计数器开始计时。从目标反射回来的光脉冲通过接收光学系统后，经过光电接收器转换为电脉冲（称为回波脉冲），作为“电子门”关门信号，时标脉冲停止进入计数器。因此，主波脉冲和回波脉冲之间的时间间隔，就是光脉冲在待测距离上往返传播的时间 t_{2D} 。

时标脉冲不断产生具有一定时间间隔 T 的电脉冲（称为时标脉冲）。在测距之前，“电子门”是关闭的，时标脉冲不能通过“电子门”进入计数器。测距时，在光脉冲发射的同一瞬间，主波脉冲把“电子门”打开，时标脉冲一个一个地通过“电子门”进入计数器，当从目标反射回来的光脉冲到达测距仪接收物镜时，通过光电接收器转为回波脉冲，立即关闭“电子门”，时标脉冲停止进入计数器。由于时标脉冲的时间间隔为 T ，所以测距时，“电子门”在开门和关门之间应有 n 个时标脉冲进入计数器，则主波脉冲和回波脉冲之间的时间间隔 $t_{2D} = nT$ 。由测距仪基本公式 $D = \frac{1}{2}ct_{2D}$ 可求得待测距离 $D = \frac{1}{2}cnT$ 。令 $l = \frac{1}{2}cT$ ，表示在时间间隔 T 内光脉冲所走的一个单位距离，则有 $D = nl$ 。

由此可见，计算器每记录一个时标脉冲，就等于记下一个单位距离 l ，由于测距仪中的 l 值在仪器设计和制造时已确定了（例如 5m 或 1m），因此，计算器计算通过“电子门”的时标脉冲数 n ，就可以直接把待测距离 D 用数码管显示出来。

脉冲式测距仪一般采用固体用激光器（如红宝石激光器）作为光源，因此又称为脉冲式激光测距仪。这类仪器能发出高功率的光脉冲，一般可以不用合作目标，而直接利用被测目标对光脉冲产生的漫反射进行测距。这类仪器作业效率高，但受脉冲宽度和计数器时间分辨的限制，测距精度较低。但可用在危及人身

安全的空间进行测量,如铀矿、煤矿的采空区测量等。

2.2.2 相位式测距仪原理

1. 相位式测距仪的基本原理

所谓相位式测距,就是测量连续的调制波在待测距离上往返传播一次所产生的相位移,间接测定调制信号所传播的时间 t_{2D} ,从而求得被测距离 D 的一种测距方法。具体可用图 2-2 来说明。

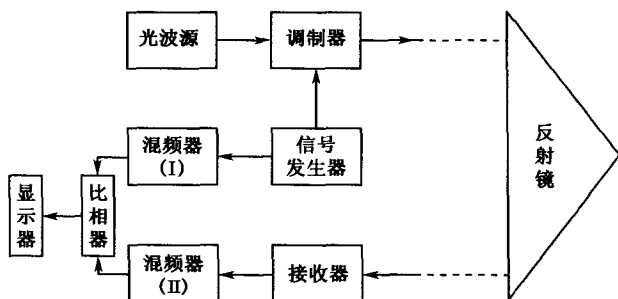


图 2-2 相位法测距原理框图

由载波光源发出的光通过调制器调制后,成为光强随着高频调制信号变化的调制光,射向测线的另一端的反射镜,经反射镜反射后被接收器接收,然后进入混频器进行混频并送入比相器与参考信号进行相位比较,从而得到调制信号在待测距离上往返传播所产生的相位移 φ ,通过数据处理,就可在显示器上显示出距离。

2. 相位测距的计算公式

由图 2-3 可知, A 表示测站, B 表示镜站, A' 表示测距信号返回后到达 A 站, AA' 表示调制信号所传播的路径,等于待测距离的 2 倍。所以有

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

由于发射波信号与反射波信号之间的相位移(即相位差)是 $\varphi = \omega t_{2D}$, 则可求得调制波在待测距离上往返传播的时间为

$$t_{2D} = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{\varphi}{2\pi f} \quad (2-2)$$

将式(2-2)代入式(2-1)得

$$D = \frac{c}{2} \left(\frac{\varphi}{2\pi f} \right) \quad (2-3)$$

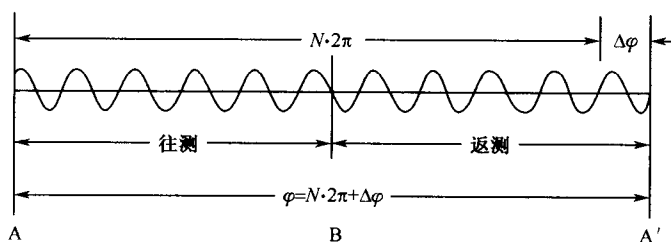


图 2-3 信号往返一次的相位差

由图 2-3 可知, $\varphi = 2\pi N + \Delta\varphi$, 代入式 (2-3) 得

$$D = \frac{c}{2} \left(\frac{N \cdot 2\pi + \Delta\varphi}{2\pi f} \right) = \frac{c}{2f} \left(N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) \quad (2-4)$$

令 $u = \frac{c}{2f}$, $\frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \Delta N$, 则式 (2-4) 为

$$D = u(N + \Delta N) \quad (2-5)$$

式中: ω 为角速度; f 为调制波频率; $u = \frac{c}{2f} = \frac{\lambda}{2}$ (λ 为调制波波长), 称为尺长; $\Delta\varphi$ 为不足整周期的相位差尾数; N 为整周期数; ΔN 为不足整周期的比例数, $\Delta N = \frac{\Delta\varphi}{2\pi}$ 。式 (2-5) 就是相位测距的基本公式。

相位式测距仪, 一般只能测定相位尾数 $\Delta\varphi$, 整周数 N 无法确定, 因此式 (2-5) 容易产生多值解, 实际上距离 D 无法确定。

3. 确定 N 值的方法

由式 (2-5) 可知, 当测尺长度 u 大于被测距离 D 时, 则有 $N=0$, 即可求得距离值 $D = u \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = u \cdot \Delta N$ 。因此, 为了扩大单值解的测程, 必须选用较长的测尺, 即选择较低的调制频率。由于目前仪器的测相误差一般可达 10^{-8} , 对测距误差的影响也将随测尺长度的增大而增大。因此, 为了解决扩大测程和提高精度的矛盾, 可以采用一组测尺频率, 像钟表一样分时针、分针、秒针, 可准确计时。以短测尺 (又称精测尺) 保证精度, 用长测尺 (又称粗测尺) 保证测程。这样, 就可以解决“多值解”的问题。

为了满足一定的测程和必要的精度要求, 应采取一组测尺频率。根据目前的测距技术, 测尺频率方式有分散的直接测尺频率方式和集中的间接测尺频率方式两种。

1) 分散的直接测尺频率方式

所谓直接测尺频率, 就是测尺长度与测尺频率直接对应, 即测尺长度可由测