

全站仪原理与应用

徐忠阳 主编



解放军出版社

全站仪原理与应用

徐忠阳 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

解放军出版社

图书在版编目(CIP)数据

全站仪原理与应用/徐忠阳等编著. - 北京:解放军出版社,2004

ISBN 7-5065-4619-1

I. 全... II. 徐... III. ①光电测量仪-理论
②光电测量仪-应用 IV. TH82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 014952 号

解放军出版社出版

(北京地安门西大街 40 号 邮政编码:100035)

1201 工厂印刷 解放军出版社发行

2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:13.75

字数:340 千字 印数:2500 册

定价:50.00 元

内 容 提 要

本书首先介绍了全站仪的基本概念，并就全站仪的自动化电子测角、电子测距和联机通信与在线控制三大功能模块，较详细地阐述了其基本原理。为了指导实践，本书还详细介绍了全站仪角度、距离观测中的误差修正技术以及测量误差分析等内容，简要说明了全站仪机载软件功能和测量系统的开发应用。书中还介绍了全站仪计量检定的主要内容与方法。最后扼要介绍了电子水准仪、全自动陀螺经纬仪、激光跟踪仪等其他新型电子测量仪器，供读者参考。

前 言

近 20 年来,全站仪在自动化、智能化等方面得到了突飞猛进的发展,并对测量技术的不断革新产生深刻影响。为了及时总结全站仪发展的最新成就,满足读者更好地了解、使用全站仪的需要,根据教材出版计划,作者在多年教学实践、理论研究、工程应用的基础上,编著了《全站仪原理与应用》一书。书中主要介绍了全站仪的基本原理、联机通信与在线控制技术、全站仪误差修正与误差分析、机载软件及测量系统的开发、全站仪计量检定等内容。本书体系合理、概念清晰、内容新颖,其中既有传统技术和方法的回顾和介绍,又有对当今全站仪最新技术的分析与论述,并较全面地阐述了全站仪新技术在具体应用中需要注意的一些问题。本书可作为大专院校测量工程专业本科教材和其他相关专业的选修教材,也是广大一线测绘工作者的一本实用参考书。

全书共分 9 章,由徐忠阳副教授主编,陈继华讲师、夏治国副教授、胡朝印高工参加了部分章节的编写。其中:陈继华讲师参加编写了第 5、6、7、9 章;夏治国副教授参加编写第 4、8 章;胡朝印高工参加编写了第 7 章;徐忠阳副教授编写了第 1、2、3 章,并参加编写了其余所有章节及完成全书的统稿工作。

张良琚教授、李广云教授、薛英高工对全书作了认真仔细的审阅,提出了许多具体的修改意见。在编写过程中,薛英高工无私提供了许多资料,卫建东、李宗春、骆亚波、范百兴、张冠宇等老师提供了原程序和图片编辑等方面的帮助。在本书出版之际,谨向他们表示衷心的感谢。

作者水平所限,错误之处敬请读者批评指正。

编著者

2003.5 于郑州

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 全站仪的基本概念	(1)
§ 1.2 全站仪的发展历史与趋势	(5)
第二章 红外测距原理与方法	(8)
§ 2.1 电磁波测距的基本原理	(8)
§ 2.2 红外测距的基本方法	(10)
§ 2.3 自动脉冲数字相位测量	(14)
§ 2.4 测尺频率与相位整周数 N 的确定	(21)
§ 2.5 红外测距仪工作原理	(25)
§ 2.6 反射棱镜	(34)
§ 2.7 其他合作目标测距	(36)
第三章 电子度盘测角原理与方法	(38)
§ 3.1 电子经纬仪的基本结构	(38)
§ 3.2 光栅度盘测角原理	(40)
§ 3.3 编码度盘测角原理	(44)
§ 3.4 动态度盘测角原理	(49)
§ 3.5 不同电子度盘测角原理的比较	(50)
§ 3.6 自动目标识别与照准原理简介	(51)
第四章 联机通信与在线控制技术	(55)
§ 4.1 计算机数据通信基础	(55)
§ 4.2 RS-232C 异步串行通信接口	(63)
§ 4.3 全站仪联机通信	(69)
§ 4.4 全站仪数据记录	(82)
§ 4.5 全站仪在线控制技术	(84)
第五章 全站仪误差修正技术	(89)
§ 5.1 垂直轴倾斜误差补偿系统	(89)
§ 5.2 角度观测中的轴系误差修正	(91)
§ 5.3 全站仪轴系误差的校准	(96)
§ 5.4 照准部偏心误差修正	(98)
§ 5.5 测距观测值的误差修正	(99)
第六章 全站仪测量误差分析	(111)
§ 6.1 测角误差分析	(111)
§ 6.2 测距误差分析	(113)

第七章 机载测量程序及测量系统的开发	(124)
§ 7.1 全站仪机载测量程序功能介绍	(124)
§ 7.2 全站仪机载测量程序开发	(133)
§ 7.3 全站仪工程测量系统开发	(139)
§ 7.4 全站仪工业计量系统开发	(146)
§ 7.5 全站仪动态测量系统开发	(153)
第八章 全站仪的计量检定	(156)
§ 8.1 计量学有关术语和概念	(156)
§ 8.2 全站仪计量检定的主要内容	(158)
§ 8.3 电子经纬仪的检定	(159)
§ 8.4 电子经纬仪测角标准偏差的检定	(166)
§ 8.5 电子测距仪的检定	(172)
§ 8.6 测距改正常数与测距标准偏差的检定	(178)
§ 8.7 全站仪数据通讯与记录功能的检定	(185)
第九章 其他新型电子测量仪器介绍	(187)
§ 9.1 电子水准仪	(187)
§ 9.2 全自动陀螺经纬仪	(196)
§ 9.3 激光跟踪仪	(199)
§ 9.4 激光雷达	(203)
§ 9.5 小型测量仪器简介	(205)
参考文献	(208)

第一章 绪 论

§ 1.1 全站仪的基本概念

一、地面测量仪器发展简史

人们在生产、生活等各项活动中，离不开时空概念。为了确定方位、距离等空间信息，人类自古以来就在不断探索发展各种测量仪器。公元前3世纪，我国已用指南仪器——司南来确定方向。公元400年我国又发明了记里鼓车，用以测量距离。1276年元朝郭守敬创制了多种天文仪器，测定天体的高度和方位。15世纪，由于航海和地理开发的需要，研究地球形状的科学得到发展，同时，军事和经济建设的需要，使得测图技术有了提高，因而对测量仪器提出了更高的要求。量角仪器发展为具有两个度盘，并有瞄准及将水平度盘旋转轴安置成垂直状态的装置。1608年荷兰人汉斯发明了望远镜，1667年法国人首先在全圆分度器上安装了望远镜进行测角。1783年英国制成了度盘直径为90cm，重91kg的世界首台经纬仪。17世纪后期，丹麦天文学家奥拉夫—鲁默尔将测微器和显微镜用于读取度盘读数，大大提高了读数的精度。

1858年意大利工程师波尔勒（porro）发明了内对光望远镜，但未能推广应用。1892年减反射涂层的发明，使内对光望远镜的制造逐步得到发展。1920年威特等人在瑞士制成光学经纬仪，定名为Th1型，成为世界上第一架光学经纬仪。1923年生产出T2型经纬仪。为了提高符合精度，度盘采用双线刻划。1956年阿斯卡尼亚（ASKANIA）厂第一次将水准仪的自动安平原理应用于经纬仪的竖盘读数上。至此已确定了现代光学测量仪器的基本结构。

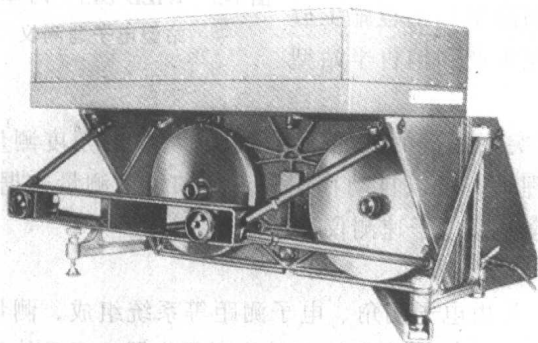


图 1-1 AGA NASM 2A 型光波测距仪

距离测量在古代基本是步量、车轮计数、航海记时等方法。18世纪前使用木杆尺，19世纪后期从金属尺过渡到因瓦尺，20世纪中期开始以电磁波测距。1941年，瑞典大地测量局贝尔格斯川德（E. Bergstrand）发展了光波测距的理论和方法，并在大地测量的基线上对光速进行了精密测量，1947年获得满意结果（光速为 $(299793.1 \pm 0.25) \text{ km/s}$ ）。此后与瑞典阿加仪器公司（AGA Instrument Co.）合作，于1948年制成第一台实用的光波测距仪，名为“Geodimeter（Geodetic Distance Meter）”，即“大地测距仪”。1952年AGA 2A（NASM 2A）型光电测距仪基本研制成功（如图1-1），开始在国际市场上出售。该仪器主机重94kg（加附件共约150kg），功耗140~400W，夜间测程30km，精度 $\pm (1\text{cm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D)$ 。虽然它体积大，操作复杂，仅能在夜间测量，但因测程远、精度高，可以代替长距离的基线测量，因此得到发展，使距离测量的仪器设备进入了一个新的时代。

BC459/03

在传统的地面测量中,为了确定某点的平面坐标或高程,往往采用三角网或导线的方式,分别由经纬仪测量方向或角度,光电测距仪测量基线或边长,而高差则用水准仪测定。随着科学技术的发展,有人设想能否由一台测量仪器同时测量角度和距离,快速测定目标点的二维(x, y)或三维(x, y, H)坐标呢?对此问题的探讨,促使速测术或速测仪概念的提出。

二、速测术与速测仪

在传统测量中,人们把快速测量距离和角度(方位)的方法称为速测法,或称为速测术(Tachymetry),并将实现这种速测原理而设计制造的仪器,称之为速测仪(Tachymeter)。

人们对速测仪的理解是有一个发展过程的。起初距离测量是通过光学的方法实现的,如望远镜带有视距丝的光学经纬仪,就是一台典型的速测仪;为区别起见,我们把这种速测仪称为“光学速测仪”。被测点的平面位置由“光学速测仪”的光学视距和方向测量来确定,而高程是用三角高程测量方法来实现。这种方法与传统的方法相比,在速度、操作及经济等方面显示出明显的优越性。但因距离测程与精度方面的限制,此类光学速测仪主要在某些普通施工测量或地形碎部点测量等方面得到使用。

20世纪40年代光电测距技术的出现,为速测技术的快速发展奠定了基础。特别是50年代以后,半导体晶体管技术和超大规模集成电路技术的发展与应用,大大推动了速测技术的发展。60年代起,以半导体激光器或发光管(荧光管)为光源的小型红外光电测距仪的出现,使光电测距仪的体积进一步缩小,质量进一步减轻(从几十千克减轻到0.5千克),以至于可以安装在光学经纬仪的主体甚至是水平横轴望远镜的上方。红外测距仪与光学经纬仪的结合使用,使速测仪进入了“半站型电子速测仪”阶段,如图1-2。半站型电子速测仪虽然仍用光学经纬仪测量水平方向和垂直角,但在距离测量上实现了电子化和自动化,测程可达几千米至十几千米,精度在 $\pm(5\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \cdot D)$ 以上,因此在控制测量和工程施工放样等领域得到了广泛的应用,目前有些厂家仍在生产和销售半站型电子速测仪。

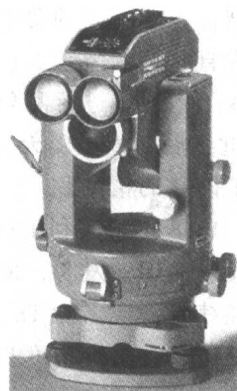


图 1-2 WILD D15 + T0 半站型电子速测仪

20世纪80年代以来,微电子和微处理技术突飞猛进的发展,不仅使经纬仪的角度测量实现了电子化、自动化,并且在微处理器的管理下,可以自动存储、计算和传输测量数据。从此,地面测量中的速测技术开始全面进入“全站型电子速测仪”的时代。

三、全站型电子速测仪

全站型电子速测仪(Electronic Total Station)是由电子测角、电子测距等系统组成,测量结果能自动显示、计算和存储,并能与外围设备自动交换信息的多功能测量仪器。通常简称为全站仪。

1. 全站仪的系统结构

全站仪是集光、机、电于一体的高科技仪器设备,其中轴系机械结构和望远镜光学瞄准系统与光学经纬仪相比没有大的差异,这里不再赘述。而电子系统主要由以下三大单元构成:

——电子测距单元,外部称之为测距仪。

——电子测角及微处理器单元，外部称之为电子经纬仪。

——电子记录单元或称存储单元。

图 1-3 给出了徕卡 TPS1000 系列全站仪的电子系统结构示意图，其实质由主板、存储卡板和马达板组成。主板是系统的核心，确保角度测量、距离测量、马达功能和输入/输出等部分的正常工作。

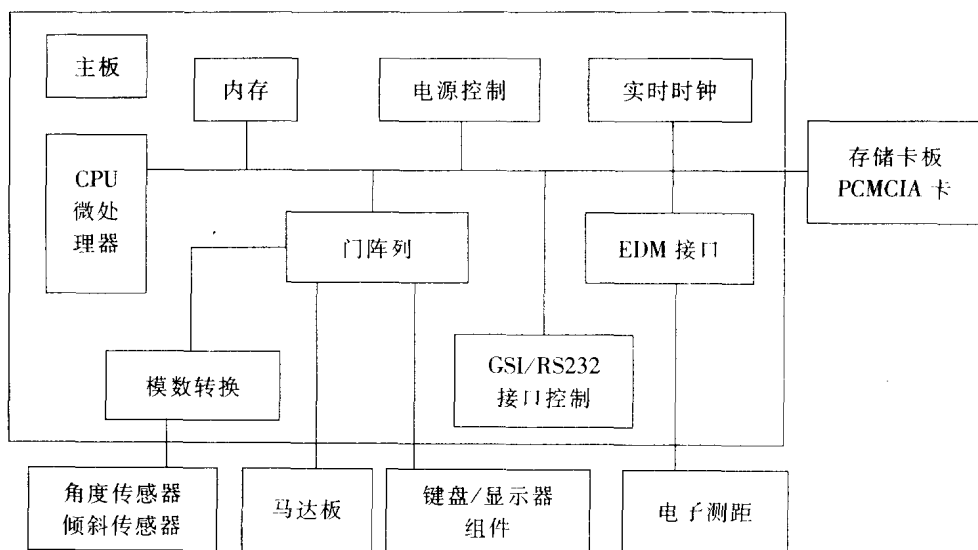


图 1-3 全站仪电子系统单元组成示意图

从系统功能方面来看，上述电子系统又可归纳为光电测量子系统和微处理子系统。

光电测量子系统主要由图 1-3 中的电子测距、角度传感器和倾斜传感器、马达板等部分组成，主要功能有：

- (1) 实现水平角、垂直角测量；
- (2) 实现距离测量；
- (3) 仪器电子整平与轴系误差自动补偿；
- (4) 轴系驱动和目标自动照准、跟踪等。

微处理子系统主要由图 1-3 中的中央处理器（CPU）、内存、键盘/显示器组件等部件和有关软件组成，主要功能有：

- (1) 控制和检核各类测量程序和指令，确保全站仪各部件有序工作。
- (2) 实现角度电子测微，距离精读数、粗读数等内容的逻辑判断与数据链接，全站仪轴系误差的补偿与改正。
- (3) 实现距离测量的气象改正和其他归化改算等。
- (4) 管理数据的显示，处理与存储，以及与外围设备的信息交换等。

2. 全站仪的分类

全站仪按其外观结构，可分为以下两类：

- (1) 积木型（Modular，又称组合型）

早期的全站仪，大都是积木型结构（如图 1-4），即电子测距仪、电子经纬仪、电子记录器（数据终端）各是一个整体，可以分离使用，也可以通过电缆或接口把它们组合在一起，

形成完整的全站仪。



图 1-4 积木型全站仪



图 1-5 整体型全站仪

(2) 整体型 (Integral)

积木型全站仪结构比较零散，特别是测距仪的发射、接收光轴与经纬仪的望远镜视准轴相互分离，对目标照准和距离测量带来许多不便，并且对保证测量精度产生不利的影响。随着电子测距仪的进一步轻巧化，现代的全站仪大都把测距、测角和记录单元在光学、机械等方面设计成一个不可分开的整体（如图 1-5），其中测距仪的发射轴、接收轴和望远镜的视准轴为同轴结构。这对方便全站仪的野外操作，特别是保证较大垂直角条件下的距离测量精度非常有利。

全站仪按测量功能分类，也可以分为以下四类：

(1) 经典型全站仪 (Classical total station)

经典型全站仪也称常规型全站仪，它具备全站仪电子测角、电子测距和数据自动记录等基本功能，有的还可以运行厂家或用户自主开发的机载测量程序。其典型代表为徕卡公司的 TC 系列全站仪。

(2) 机动型全站仪 (Motorized total station)

在经典全站仪的基础上安装轴系步进电机，可自动驱动全站仪照准部和望远镜的旋转。在计算机的在线控制下，机动型全站仪可按计算机给定的方向值自动照准目标，并可实现自动正、倒镜测量。徕卡 TCM 系列全站仪就是典型的机动型全站仪。

(3) 无合作目标型全站仪 (Reflectorless total station)

无合作目标型全站仪是指在无反射棱镜的配合下，可以对一般的目标直接测距的全站仪。因此对不便设置反射棱镜的目标进行测量，无合作目标型全站仪具有明显的优势。如徕卡 TCR 系列全站仪，无合作目标距离测程可达 200m，可广泛应用于房产测量、地籍测量、结构安装与施工测量等。

(4) 智能型全站仪 (Robotic total station)

在机动化全站仪的基础上，仪器安装自动目标识别与照准的新功能，因此在自动化的进程中，全站仪进一步克服了需要人工照准目标的重大缺陷，实现了全站仪智能化的跨越。在相关软件的控制下，智能型全站仪在无人干预的条件下可自动完成多个目标的识别、照准与测量，因此智能型全站仪又称为“测量机器人”。智能全站仪的典型产品有徕卡 TCA 系列全站仪等。

全站仪按测距仪测距分类，还可以分为以下三类：

(1) 短程测距全站仪

测程小于 3km，一般匹配测距精度为 $\pm(5\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \cdot D)$ ，主要用于普通工程测量和城市测量。

(2) 中程测距全站仪

测程为 3 ~ 15km，一般匹配测距精度为 $\pm(5\text{mm} + 2 \times 10^{-6} \cdot D) \sim \pm(2\text{mm} + 2 \times 10^{-6} \cdot D)$ ，通常用于一般等级的控制测量。

(3) 长程测距全站仪

测程大于 15km，一般匹配测距精度为 $\pm(5\text{mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D)$ ，通常用于国家三角网及特级导线的测量。

全站仪按测角、测距准确度等级划分，主要可分为四类（如表 1-1 所示）。

表 1-1 全站仪准确度等级分类

准确度等级	测角标准偏差 (")	测距标准偏差 (mm)
I	$ m_\beta \leq 1$	$ m_D \leq 3$
II	$1 < m_\beta \leq 2$	$3 < m_D \leq 5$
III	$2 < m_\beta \leq 6$	$5 < m_D \leq 10$
IV	$6 < m_\beta \leq 10$	$10 < m_D \leq 20$

注： m_β 为一测回水平方向标准偏差； m_D 为每千米测距标准偏差。

§ 1.2 全站仪的发展历史与趋势

一、全站仪的发展概况

20 世纪 60 年代末期，小型化红外测距仪与电子经纬仪的结合，促使了全站仪的诞生。1968 年，原西德奥普托（Opton）厂生产出世界上第一台全站型电子速测仪 RegElta1 4，其测距精度为 $\pm(5 \sim 10)\text{mm}$ ，水平和垂直方向观测中误差分别为 $\pm 3''$ 和 $\pm 4.5''$ ，用纸带记录所有观测值，质量达 21.5kg。同年，瑞典 AGA 厂也生产出 AGA 710 全站仪。

70 年代是全站仪生产相对稳定、探索的阶段，应用还不是十分广泛。这一时期的典型产品有 1977 年美国休利特 - 帕卡德公司（Hewlett - Packard）生产的 HP3820A（如图 1-6），其测距精度为 $\pm(5\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \cdot D)$ ，水平和垂直方向观测中误差分别为 $\pm 2''$ 和 $\pm 4''$ ，质量（含电池）9.1kg。同年瑞士威特厂（Wild Heerbrugg Ltd）和 SERCEL 公司协作生产出 TC1 全站仪（如图 1-7）。

随着电子测角技术和数据微处理与存储性能的提高，全站仪在 80 年代得到了迅速的发展。瑞典 Geotronics AB 于 1982 年生产了具有动态测角系统的全站仪 Geodimeter140。该仪器在测量时产生高频场，由感应器获取度盘读数。因在整个度盘上采集数据，消除了偏心差和分划误差的影响。该仪器还能进行单向无线电通话，测量数据存储在 Geodat 半导体存储器内。1983 年，瑞士威特厂也生产了采用动态测角原理的电子经纬仪 T2000，它可与该厂提供的其他型号的测距仪以及数据终端 GRE3 构成积木式的全站仪。同时威特厂还生产了电子测角和电子测距为整体结构的全站仪 TC2000（如图 1-5）。TC2000 全站仪的测距精度为 $\pm(3\text{mm} + 2 \times 10^{-6} \cdot D)$ ，水平和垂直方向的一测回中误差均为 $\pm 0.5''$ ，主机重量为 9.6kg。

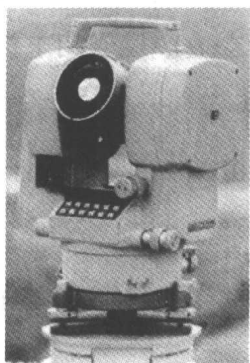


图 1-6 HP3820A 全站仪



图 1-7 WILD TC1 全站仪

20 世纪 90 年代，是全站仪的功能进一步丰富与完善，并在测绘等领域得到普遍应用的时期。首先，世界上生产全站仪的厂商日益增加，并且各品牌的全站仪都成系列化，在性能、价格上分高、中、低档，可满足不同层次测绘部门的要求。目前在国内市场上销售的国外品牌全站仪的厂商有瑞士徕卡（Leica）、德国蔡司（Zeiss）、瑞典捷创力（Geotronics，现已并入美国天宝）、日本拓普康（Topcon）、日本索佳（Sokkia）等；国内生产全站仪的主要厂家有苏州一光仪器有限公司、北京博飞仪器股份有限公司、常州大地测距仪厂、南方测绘仪器公司等。另外，全站仪的软、硬件功能进一步加强，如徕卡的 TPS 系列全站仪，在测距功能方面既可红外有棱镜测距，也可激光无棱镜测距；角度测量功能方面，在轴系马达驱动和望远镜 CCD 目标照准功能的配合下，可以实现对静态目标的自动照准和对动态目标的跟踪测量。徕卡全站仪既可机载运行用户自主开发的应用程序（GeoBasic 模式），也可在 PC 微机上开发程序，远程在线控制全站仪的操作（GeoCOM 模式）。可以说，全站仪的自动化、智能化发展，已把地面测量仪器带入了测量机器人的时代。

二、全站仪的发展趋势

全站仪是当今地面测量工作走向自动化、数字化的核心测量仪器。纵观全站仪的发展过程，可归纳为以下几个阶段：

工具阶段。这是全站仪发展的初始阶段，人们对全站仪的理解仅仅是电子测角和光电测距。与传统手段相比，它的优点是提高了野外测量的效率。在这一阶段，仪器的发展主要体现在硬件设备，基本谈不上软件功能。

数据自动处理阶段。在这一阶段，全站仪的软件功能得到初步发展，一般具有简单的观测数据的改正、换算、记录和输出功能。为了进行较为复杂的程序化野外测量（如导线测量），许多测量工作者将这一阶段的全站仪配备电子记录手簿，通过电缆线与全站仪联接，现场自动记录观测数据和检核观测限差。电子手簿的开发，进一步提高了全站仪的野外作业效率，并为简化内业计算打下了良好的基础。

智能化阶段。由于微机技术的广泛应用，在全站仪内部安装中央处理器（CPU）和随机存储单元，或配置专门的数据存储卡。从软、硬件配置来看，全站仪 PC 微机化概念日趋明显。如全站仪的操作系统软件可不断升级；在操作系统下，可机载运行许多测量作业流程程序化的测量软件，该测量软件用户还可自主开发。新阶段的全站仪不再需要通过联机电缆线外接电子手簿。全站仪的许多硬件误差（如轴系误差、指标差等）可以通过软件进行补偿和

改正。在图像处理软件的支持下,全站仪可以智能化地自动识别并照准目标。

开放性阶段。1994年,徕卡公司就提出了“开放的测量世界”——OSW (Open Survey World) 的概念,主要思想是使用统一标准的数据记录介质、接口和数据格式,把测量和数据处理有机地结合起来,实现各测量设备(全站仪、GPS、数字水准仪等)之间、测量设备与内业软件(GIS、LIS)之间的数据无障碍交换。此阶段的全站仪已不局限于自身的发展与完善,而是置身于一个更大的“测量世界”之中,谋求发挥更大的作用。

纵观全站仪的发展历程,其将来的发展趋势将体现在以下几个方面:

(1) 全站仪的小型化、系列化发展趋势。自从全站仪诞生以来,全站仪的小型化工作就从未间断过。从最初的20多千克,到现在的几千克,全站仪的小型化工作已取得重大成果。但作为外业用测量设备,全站仪在保证精度的前提下,进一步实现小型、轻型化,对减轻外业测量的劳动强度仍具有十分重要的意义。

由于全站仪的功能不断增加,每一品牌全站仪的“家族”也不断加大。新功能、新系列全站仪的不断推出,可以满足各部门测量人员的“追新”需求,同时推动测绘技术的向前发展。

(2) 全站仪的自动化发展趋势。在电磁波测距的基础上,全站仪的发展首先在度盘角度读数上实现了自动化。随着微电子和微处理技术的不断发展,全站仪的自动化程度不断提高,目前轴系误差等内容的补偿与改正实现了自动化,并出现了目标自动识别与照准的全站仪。将来全站仪在自动安平、自动对中、自动量取仪器高等方面会有新的突破。

(3) 全站仪的本地化发展趋势。世界民族繁多,各民族各国家不仅有独特的语言,也具有独特的思维和行为方式。为了让一个世界性品牌的全站仪更具有民族化、地区化,许多具有远见的全站仪生产厂家正在不断加强其产品的本地化工作,以进一步提高在世界范围内的应用水平。全站仪的本地化不仅体现在语言上,同时要让全站仪的操作使用更加接近当地用户的作业规范。

(4) 全站仪的功能集成化发展趋势。全站仪开放性发展的目的是要实现全站仪与非全站仪测量设备之间的数据共享,形成不间断的“数据流”。随着各项技术的发展,有人已提出“超站仪”(Super Total Station)的概念,即在全站仪的基础上,上面添加GPS接收机,实现空间定位;下挂自动定向的陀螺仪,实现真北定向;然后,由全站仪实现对目标的方位和距离的测量。可以想像,“超站仪”的出现和使用,可以在没有已知点的地区实现对目标点的测量或放样,即所谓的“无标石”测量。据报道,“超站仪”作为军品已在外军中得到推广使用,如图1-8所示。

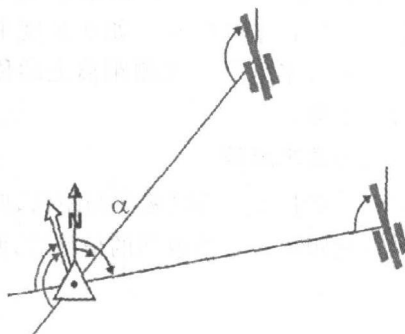


图 1-8 超站仪及其炮兵定位定向系统

第二章 红外测距原理与方法

§ 2.1 电磁波测距的基本原理

一、传统距离测量方法

1. 直接法测距

在日常生活中,要确定两点之间的距离或边长,人们首先想到的方法往往是用已知长度刻划的测尺、测规等量测工具去直接比对。1961年前,我国天文大地网的所有基线或起始边长几乎都是用24m因瓦基线尺测定的。在工程施工放样中,有时还用皮尺或钢尺测设距离。这些直接测距法的优点是测量过程直观,测量设备相对简单,也能达到较高的测量精度(因瓦基线尺丈量基线,精度可高于1/100万),但缺点比较突出:一是测尺测程较短,一般钢尺的整尺长为30m或50m,超过一整尺长的距离需要多次串尺测量;二是在跨越山沟、河谷方面,显得困难重重,甚至无能为力;三是劳动强度大,效率低下。

2. 间接法测距

为了克服直接测距法在野外测量中的缺陷,人们一直在设法寻求新的测距手段。如视差法测距(图2-1),其主要特点就是把长度基准 L 置于被测距离的端点上,把直接法测距沿测线作业的模式改变为测线两端点的作业模式,通过测定间接量(测定水平角 β)计算求得被测距离 D ,如(2-1)式。

$$D = \frac{L}{2} \cdot \cot\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (2-1)$$

相对来讲,上述间接法测距比较简便,并且可以克服测线沿线复杂地物、地貌的障碍。但总的来讲测程还是有限(一般为几百米),精度也不高(视距法约为1/300,视差法约为1/10000)。不过间接法提示了一个很好的测距思路,即在距离测线两端先获得一个比较容易测定并且含有距离信息的间接量,然后按一定的方法再求得距离。如在速度中含有距离信息,如果测定某信号在被测距离上的传播时间,即可求得该距离。

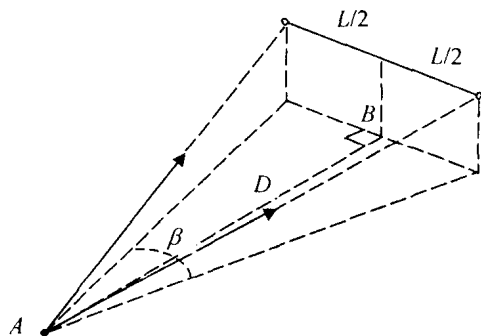


图 2-1 视差法测距示意图

二、电磁波测距基本原理

如图2-2所示,置于A点的电磁波测距仪,向B点发射电磁波信号,被B点的反射器反射后返回A点,A点测距仪接收到返回的信号后,测定发射信号与返回信号之间的时间差 t_{2D} ,则A、B两点间的距离为:

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

式中: v 为电磁波信号在大气中的传播速度, 它与大气折射率 n 有关, 即:

$$v = c/n \quad (2-3)$$

其中 c 为电磁波信号在真空中的传播速度。1983 年 10 月 20 日, 在法国巴黎举行的“国际计量大会”(CGPM) 把长度单位“米”定义为: 米是光在真空中 $1/299792458$ 秒的时间间隔内传播的路径长度。这个米的新定义也明确地把光在真空中传播的速度作为常数固定为 299792458m/s 。

因此, 把电磁波测距的基本原理可以概括为: 通过直接或间接地测定电磁波在被测距离上往返传播的时间 t_{2D} , 同时求定电磁波在大气中传播的速度 v , 即可按 (2-2) 式求得距离。

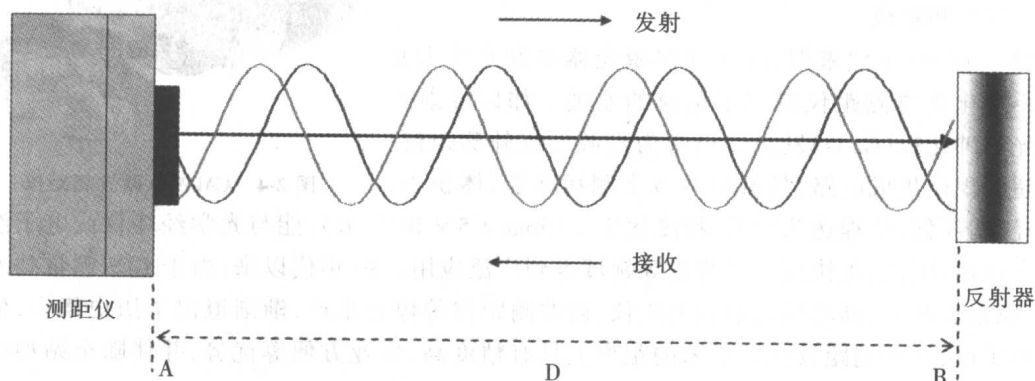


图 2-2 电磁波测距原理示意图

三、电磁波测距仪的分类

1. 光波测距仪

20 世纪发展起来的电磁波测距仪, 起初用白炽灯光或高压水银灯光为载波, 运载测距信号, 故称之为光波测距仪, 如图 1-1。光波测距仪因光源的原因只能在黎明、黄昏或夜间作业, 测程可达 30km。

2. 激光测距仪

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, 因此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气体激光器代替水银灯作光源, 将瑞典 AGA-4D 型测距仪改装为 AGA-4DL 型激光测距仪。1968 年, 瑞典 AGA 公司研制成功长程激光测距仪 AGA-8 型 (见图 2-3), 测程达 60km, 精度 $\pm (5\text{mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D)$, 主机重 23kg, 功耗 75W, 该测距仪曾在我国天文大地网和特级导线的边长测量中发挥过巨大作用。激光测距仪的优点是测程远、精度高, 可以昼夜观测, 很快就完全淘汰了以白炽灯和汞灯为光源的光波测距仪。

3. 微波测距仪

在发展光电测距仪的同时, 用电磁波微波作为载波的测距仪也得到了发展。1956 年英国 Tellurometer 公司按照瓦德利 (Wadley, T.L.) 研究的原理, 首次生产用于大地和航外控制测量的 MRA1 型微波测距仪。微波测距仪带有语音通话系统, 并且可在全天候的条件下作业, 因而受到测绘界特别是军事测绘部门的欢迎。由于



图 2-3 AGA-8 激光测距仪

受微波地面反射误差的影响,微波测距仪的测距精度较低,一般为 $\pm(10\text{mm} + 3 \times 10^{-6} \cdot D)$ 。但 Tellurometer 公司在 20 世纪 80 年代推出的 CMW20(见图 2-4)微波测距仪,具有自动测相功能,并采用了独特的仪器结构减弱了地面发射误差的影响,测距精度高达 $\pm(5\text{mm} + 3 \times 10^{-6} \cdot D)$,重 7kg,测程 25km。该型号仪器的出现,标志着微波测距技术上的重大突破,从而揭开了微波测距仪用于工程测量的序幕。

4. 红外测距仪

20 世纪 60 年代末期,以半导体激光器和发光管为光源的小型化光电测距仪得到了迅速的发展。如以发射红外荧光的砷化镓(GaAs)发光二极管为光源的红外测距仪,采用超大规模集成电路,具有自动数字测相功能,体积小,重量轻,功耗低,测程达几千米,精度优于 $\pm(5\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \cdot D)$,能与光学经纬仪或电子经纬仪组合使用,因此,很快在工程测量等领域得到广泛应用。80 年代以来,由于 GPS 测量技术的发展,原来长测程、高功耗的激光测距仪、微波测距仪等停止生产,渐渐退出了历史舞台,但作为互补手段,红外测距仪在几千米的距离上具有精度高、作业方便等优势,并伴随全站型电子速测技术的发展,成为当今地面距离测量的主要设备。



图 2-4 CMW20 微波测距仪

§ 2.2 红外测距的基本方法

根据电磁波测距原理中测定电磁波信号在被测距离上往返传播时间 t_{2D} 的不同方法,把红外测距区分为脉冲法测距和相位法测距。

一、脉冲法测距

1. 脉冲法测距基本原理

脉冲法测距是直接测定间断发射的脉冲信号在被测距离上往返传播的时间 t_{2D} ,用(2-2)式求得距离。其原理框图如图 2-5 所示。

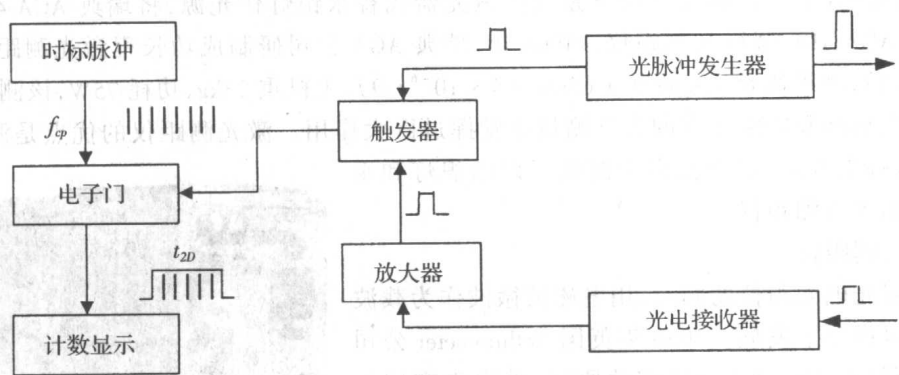


图 2-5 脉冲法测距原理框图

脉冲法测距仪一般以激光为光源。图 2-5 中光脉冲发生器通过调 Q 技术把激光能量集中成极窄的光脉冲发射出去。发射的同时还输出一个电脉冲信号,作为计时的起始信号,经触发