

测绘科技丛书

高等应用测量

陈永奇等 编著



武汉测绘科技大学出版社

测绘科技丛书

高等应用测量

编 著

陈永奇	张正禄	吴子安	潘正风	虞定麒
黄幼才	李裕忠	张 琰	丁窘輶	孙桂芳

武汉测绘科技大学出版社

(鄂)新登字 14 号

内容简介

本书是在作者长期从事教学、科研与科技开发的基础上,根据测绘类工程测量学科硕士研究生培养方案和课程教学大纲编写的。为了拓宽研究生的知识面,了解本学科的前沿及发展方向,全书系统而全面地介绍了测量的技术和方法,测量成果的数据处理理论与方法,测量的优化设计以及测量数据库与信息系统等方面的知识,其中许多内容反映了本学科的最新研究成果和发展动态,是一本理论丰富,与实际联系紧密的新著。

该书可作为高等院校工程测量学科硕士生的教材,对于从事与工程测量有关的教学、科研与实际工作人员也是一本值得推荐的必备参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高等应用测量/陈永奇,张正禄,吴子安等编著. —武汉:
武汉测绘科技大学出版社,1996,11

ISBN 7-81030-408-9

I. 高… II. ①陈… ②张… ③吴… III. 测量工程-应用 N. TB22

责任编辑 徐 方 封面设计 曾 兵

武汉测绘科技大学出版社出版发行

(武汉市珞喻路 39 号,邮编:430070)

武汉测绘科技大学出版社印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:27.25 字数:680 千字

1996 年 11 月第 1 版 1996 年 11 月第 1 次印刷

印数:0001~3000 册 定价:28.00 元

前 言

得益于计算机科学、空间科学的飞速发展,测绘这门古老而又年轻的科学已经成为博大精深的一级学科,它既有与相关学科走向综合的发展趋势,又有细分的特点。这种学科综合与分化发展,更加显示出测绘科学在现代信息社会中的地位和对社会经济发展的作用。

总的来说,测绘学可分为测量学和地图制图学两门大的学科,而其中测量学又可分为地球测量学、大地测量学和应用测量学;摄影测量与遥感学横跨测量学与地图制图学这两门学科。工程测量学、矿山测量学、土地测量学以及普通测量学(或称地形测量学)等均属应用测量学的范畴。由于应用测量学的范围极广,目前国内尚没有一本称为应用测量的教材或专著,而属于应用测量学范围的各种教材、著书却很多,除工程测量学外,还有矿山测量、建筑工程测量、城市建设测量、精密工程测量、海洋工程测量、地籍测量、变形观测数据处理、测量控制网的优化设计,乃至水利工程测量、桥梁工程测量、隧道工程测量等等。为了拓宽测量工程(原称工程测量)专业硕士研究生的知识面,使他们能较全面系统地了解与工程应用有关的测量理论技术和方法及其发展动向,我们组织编写了高等应用测量这本教材。

全书共分四篇十九章,下面对其内容按编排顺序作一简要介绍。

测量技术的发展与现代科技的飞速发展密切相关。从本质上看,测量是确定目标在三维空间的位置及其随时间变化的技术,一般是通过角度、距离测量来实现。高差、水深、偏距等可看作是特殊方向上的距离。仪器是测量之本,电子全站仪的问世和全球定位系统(GPS)的应用无疑是对开放的测量世界的重大革命,使测量工作迅速向一体化、自动化、智能化和数字化的方向迈进。微电子技术、传感技术、计算机技术、通讯技术以及光、机、电技术的集成,对测量仪器的发展起了极大的促进作用。工程和矿山测量特种仪器在于确定基准和测点相对于基准的距离变化,其发展方向除高自动化外,还有高精度、高可靠性和实时处理。海洋测量(含水下测量)因其环境不同而具有特异性。对于精度要求很高的测量工作则必须考虑局部重力场及其变化的影响。工程摄影测量是摄影测量在工程中的应用。无疑,要深入了解和掌握测量技术和方法,需具备大地测量学、工程测量学和摄影测量学等方面的知识。

现代测量在数据处理方面已远远超出了最小二乘平差的范畴,误差理论、数理统计知识显得尤为重要;工程建筑物及其与工程相关的变形的分析与预报是应用测量中数据处理最活跃的领域;由模型误差所引起的一系列问题导致了非最小二乘估计理论的发展。传统的测量平差方法向现代平差转变的每一过程,都是为了提高数据处理成果的质量,而且,无不与生产实际的要求密切相关。

测量的优化设计是应用测量学中经久不衰的课题,随着现代化计算技术的发展,测量的优化设计理论和方法将进一步发展和完善。对于用户来说,重要的是通过测量的优化设计,在满足工程要求的前提下,最大限度地降低测量费用。

在信息社会里,测量成果包含了最宝贵最基础的地理位置信息,是地理信息系统的基础。建立测量数据库和信息系统是现代应用测量发展的必由之路。测绘为基础地理信息的获取和更新提供了最强有力的手段,国家信息高速公路、地理信息系统和各种专题信息系统的发展为

测绘工作者提供了施展才能的广阔前景,同时也是测绘学科与其它学科走向综合的纽带。因此,有关数据库和信息系统方面的知识对于高级测绘人才的培养显得特别重要。

本书由陈永奇教授主编,张正禄教授、吴子安教授担任课程的主讲并进行了编校和修改工作,参加编写本书的共计10人。作者的分工情况如下:陈永奇第4、6、8章;张正禄第7、13章和§1.1、§11.1、§19.2;吴子安第10、14章和§1.3、§11.3;潘正风第3、18章和§1.2;虞定麒第15、16章;黄幼才第12章和§19.1、§19.3;李裕忠第5章和§1.4、§11.2;张琰第9章;丁睿钢第2章;孙桂芳第17章。从某种意义上说,本书是集体智慧的结晶,它的许多内容是作者在长期从事教学、科研与科技开发的基础上编写的,融进了本学科的最新成果和发展动态。

高等应用测量是工程测量学科硕士研究生的必修课,总共72学时。正式出版前,作为讲义已为90级至95级硕士研究生开设数次,教学方法除课堂讲授外,还可采用专题讲座、自学辅导、写读书报告、开展讨论和参观实习等方式。

徐方同志在编辑此书时对部分章节提出了许多宝贵意见,为本书尽快与读者见面作了大量工作,在此谨表示衷心的感谢!

本书从完稿到出版的周期较长,由于学科的发展很快,部分内容已显得有些陈旧,加之我们的水平所限,书中一定有许多缺点,恳请读者批评指正。

张正禄

1996.8 于武昌珞珈山

目 录

第一篇 测量的技术和方法

第一章 地面测量技术	(1)
§ 1.1 电子速测技术	(1)
§ 1.2 电磁波测距技术	(9)
§ 1.3 高程传递技术	(14)
§ 1.4 用陀螺经纬仪测定方位角	(18)
第二章 摄影测量在工程与工业中的应用	(24)
§ 2.1 地面摄影测量方法的应用	(24)
§ 2.2 精密近景摄影测量简介	(30)
第三章 工程和矿山测量特种仪器和方法	(36)
§ 3.1 特种仪器及其应用	(36)
§ 3.2 测量自动化	(46)
第四章 全球定位系统(GPS)及其在测量工程上的应用	(55)
§ 4.1 全球定位系统	(55)
§ 4.2 GPS 观测量及其数据处理	(59)
§ 4.3 GPS 在测量工程中的应用	(65)
第五章 海洋测量方法和技术	(70)
§ 5.1 地面无线电定位测量	(70)
§ 5.2 水深测量和水下地形测量	(79)
§ 5.3 海潮理论和基准面的确定	(88)
第六章 重力测量	(96)
§ 6.1 地球重力场	(96)
§ 6.2 重力测量技术	(99)
§ 6.3 大地水准面的确定	(101)
§ 6.4 重力场变化对观测成果的影响	(104)
第七章 地籍测量和管理	(110)
§ 7.1 概述	(110)
§ 7.2 地籍的发展历史	(110)
§ 7.3 地籍的内容和形式	(113)
§ 7.4 地籍测量	(121)
§ 7.5 不动产地籍的修测	(129)

第二篇 测量成果的数据处理方法

第八章 数据处理的理论基础	(131)
---------------	-------

§ 8.1	测量坐标系及其变换	(131)
§ 8.2	最小二乘法的当代进展	(134)
§ 8.3	统计检验原理	(141)
§ 8.4	粗差剔除	(149)
§ 8.5	观测值质量的评定	(158)
第九章	测量平差实践	(166)
§ 9.1	自由网平差	(166)
§ 9.2	局部三维网平差	(170)
§ 9.3	摄影测量和非摄影测量的联合平差	(175)
§ 9.4	空间测量和地面测量联合平差	(177)
§ 9.5	整体大地测量平差	(180)
第十章	变形观测分析	(183)
§ 10.1	参考网稳定性分析	(183)
§ 10.2	相对网变形的模拟	(186)
§ 10.3	变形的物理解释	(189)
§ 10.4	动态变形分析	(195)
§ 10.5	矿区岩层与地表移动	(201)
第十一章	卡尔曼滤波的应用	(205)
§ 11.1	运动点场与卡尔曼滤波	(205)
§ 11.2	海洋综合导航定位与卡尔曼滤波	(212)
§ 11.3	卡尔曼滤波在工程测量上的其它应用	(221)
第十二章	非最小二乘估计	(226)
§ 12.1	有偏估计	(226)
§ 12.2	岭估计	(229)
§ 12.3	抗差估计(稳健估计)	(234)

第三篇 测量的优化设计

第十三章	控制网的质量准则	(248)
§ 13.1	控制网的费用	(248)
§ 13.2	控制网的精度	(249)
§ 13.3	控制网的可靠性	(256)
§ 13.4	变形监测网的灵敏度	(264)
§ 13.5	准则矩阵	(267)
第十四章	传统的测量设计技术和方法	(274)
§ 14.1	概述	(274)
§ 14.2	测图控制网设计的一般规定	(276)
§ 14.3	施工控制网设计的一般规定	(280)
§ 14.4	控制网的设计方法	(281)
§ 14.5	控制网观测方案的设计	(283)
第十五章	现代优化设计方法	(285)

§ 15.1	概述	(285)
§ 15.2	解析法网形优化设计	(288)
§ 15.3	解析法观测精度设计	(299)
§ 15.4	机助法设计	(317)
§ 15.5	机助设计软件包 CAENDS 和 CAMNDS 介绍	(323)
第十六章	优化设计实践	(331)
§ 16.1	隧道施工控制网优化设计	(331)
§ 16.2	水利枢纽施工控制网优化设计	(341)
§ 16.3	变形监测网优化设计	(343)
§ 16.4	工程摄影测量网形优化设计	(360)
第四篇 测量数据库和信息系统		
第十七章	数据库原理及应用	(366)
§ 17.1	概述	(366)
§ 17.2	数据库基本原理和方法	(368)
§ 17.3	关系数据库及其应用	(371)
§ 17.4	数据库系统设计的例子	(376)
第十八章	机助制图原理及应用	(381)
§ 18.1	机助制图硬件	(381)
§ 18.2	地图符号(包括数字、文字)的自动绘制方法	(386)
§ 18.3	三角网法绘制等值线	(389)
§ 18.4	二维图形的裁剪	(393)
§ 18.5	手扶跟踪地图数字化方法	(396)
§ 18.6	平面矢量数据结构	(398)
第十九章	信息系统	(403)
§ 19.1	地理信息系统概论	(403)
§ 19.2	专题信息系统的建立和应用	(407)
§ 19.3	资源管理信息系统	(418)
参考文献		(427)

第一篇 测量的技术和方法

第一章 地面测量技术

§ 1.1 电子速测技术

1.1.1 概述

电子速测技术主要包括光电测角技术、测距技术、测高技术。速测是通过电子速测仪对观测数据自动获取、存贮、处理、传输而实现的。所谓电子速测仪,是指能同时自动测角测距并能对测量数据进行电子数据处理的全站型测量仪器系统。这里所指的电子数据处理,系指对于测量数据的数字显示、存储、传输、改正和平差计算等。电子速测仪的出现和迅速发展,主要是基于光学、电子学和微处理器技术的巨大进步。电子速测仪堪称地面测量信息的自动获取和处理的仪器系统,在控制测量、工程放样、安装测量、形变监测、地形图和地籍图测量等几乎所有的地面测量领域都能得到应用,是实现地面测量工程一体化自动化的关键设备。

电子速测仪实际上是一个仪器系统,它由电子经纬仪、电子测距仪、数据记录器或电子外业手簿、电源装置以及反射棱镜等组成。按仪器的结构,可分为整体式和组合式两类。整体式电子速测仪的显著特点是:电子经纬仪和测距仪共一个望远镜,它安装在同一机架上。组合式的仪器是在电子经纬仪的结合器上装一个光电测距头。测距头可通过标准接口与电子外业手簿连接。因此,它也可以与普通光学经纬仪组合成半站式电子速测仪,即只实现了斜距的自动记录和存储。为了计算平距和高差,必须人工在电子手簿上键入角度观测值。半站式电子速测仪是仪器发展过渡阶段的产物。组合式电子速测仪,电子经纬仪可单独使用,测距头可与电子经纬仪或光学经纬仪组合使用。

电子外业手簿已从单独的数据记录存储发展到相当于微机功能的数据处理终端。在整体式电子速测仪中,前联邦德国欧波同厂最初生产的 ELTA2 就与众不同,它将电子外业手簿用一个数据记录器 MEM 和程序模块 PROG12 来代替,而且与电源装置一样,可以方便地从机身上取下和装上,与仪器连成一体。这种组合方式后来为许多仪器厂家所效仿。

电子速测仪的电子处理结构框图如图 1-1 所示,微处理器是一个对测量过程进行操作、控制和数据处理的中央处理单元,它由寄存器、逻辑运算器和控制器组成,通过内部总线相互联结。若通过总线与存储器 RAM、ROM 和或 EPROM 和输入输出通道相连,则构成微机。微机是一个具有一定指令功能集的通用系统,能通过存贮在内部的控制程序来实现控制。在硬件方面主要根据任务和要求选择不同的功能板。图 1-1 中的微机通过输入输出通道,与水平角、竖直角、距离测量系统、仪器纵轴倾斜改正装置、数据记录模块以及附加功能选择部件相连。

电子速测仪中的电子测距部分,其原理和应用与电磁波测距仪完全相同,下面主要讨论电子经纬仪的构造及其测角原理和方法。

1.1.2 电子经纬仪与光电测角

电子经纬仪与光学经纬仪不同,它采用了光电测角方法,不但在精度上达到甚至超过了光学经纬仪,在数据自动获取和处理上也是光学经纬仪所不能比拟的。可以断言,电子经纬仪将逐渐取代光学经纬仪。

光电测角可分为编码法、动态法和增量法。前两种属绝对测角法,后者为相对测角法。

1.1.2.1 编码法

在玻璃度盘的同心圆环上设置等间隔的透光和不透光的黑区和白区,这些同心圆环称为码道,设码道数为 n ,则整个度盘可分为 2^n 个码区,这样的度盘称为编码度盘。码区呈径向辐射状。若在编码度盘的一侧沿码区对每个码道安置一个发光二极管,而在另一侧安置 n 个光电二极管,当这一光电探测器阵列位于某一码区时,发光二极管的光通过码道的黑区或白区,使各光电二极管顺序输出高电位或低电位信号。设透光为1,不透光为0,则每一码区对应一个二进制数,经过译码器处理可得到编码度盘上码区的绝对位置,故称绝对测角法。

图 1-2(a)所示的码道数 $n=4$ 的编码度盘被分为 $2^4=16$ 个码区,当码区的二进制数为1101时,表示第13码区,一个码区的角值即编码度盘的角度分辨率($360^\circ/2^n$),为 $22^\circ30'$ 。

当光电探测器阵列位于两码交界位置时,光电二极管的安置误差以及码盘的加工误差,可能使读数产生错误。如图 1-2(a)中码区从第15变到0

时,二进制码应由1111变到0000,但若内码道的透光间隔稍长,则可能读成1000(即第10码区)。这一缺点可通过改变编码方式避免。葛莱(Gray)于1953年发明了一种循环码,按循环码制作的编码度盘称葛莱盘,葛莱盘具有对称性,任意二码区之间只有一个码道发生变化,光电管的设置误差和码盘制作误差所产生的误差不会大于一个码区。此外,葛莱码盘的制作工艺也较简单(见图 1-2(b)),循环码通过逻辑运算电路转换成二进制数码。

要提高编码度盘的角度分辨率,就必须增加码道数 n 。由于度盘尺寸有限,码道若分得太多,则光电二极管就必须作得很小。码区弧长 ΔS ,码道宽度 ΔR ,度盘直径 R 和码道数 n 有下述关系:

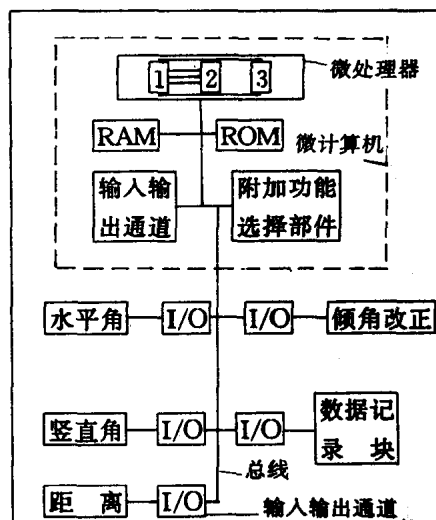


图 1-1 电子速测仪结构框图

1. 寄存器 2. 逻辑运算器 3. 控制器

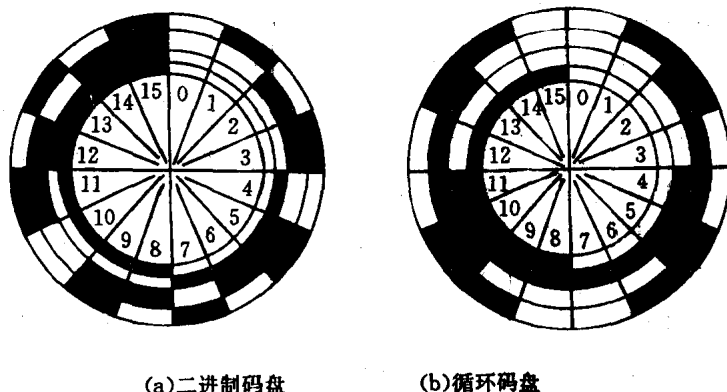


图 1-2 编码度盘

$$\Delta S = \frac{(R - n \cdot \Delta R) \cdot 2\pi}{2^n} \quad (1-1)$$

当 $R=80\text{mm}$, $\Delta S=\Delta R=1\text{mm}$ 时, n 应大于 9, 这时角分辨率仅为 $42.2'$ 。可见, 即使光电接收元件的尺寸小到 1mm , 角度分辨率也达不到对测角的精度要求。编码度盘只能用于角值的粗测, 在光电测角中必须采用电子细分法进行精测。

1.1.2.2 增量法

增量法测角所用的度盘是光栅度盘, 光栅是在玻璃表面上刻制成等距的透光缝隙和不透光的栅线, 光栅度盘也可视为一种特殊的编码度盘。在电子经纬仪测角中所采用的光栅多为幅值透射径向光栅。光栅的栅距 W 等于栅线宽 a 加上缝隙宽 b 。若在度盘一侧安放一个宽度与栅距相同的光电接收器, 而在另一侧用光源照明, 那么, 当度盘按一定方向相对于光电接收器转动时, 接收器上将产生呈周期性变化的光电流。将其转化为脉冲信号并由计数器计数, 则可测出度盘转动的角值。这种利用累计脉冲数来测角的方法称为增量法。增量法只能测定度盘转动的角度而不能测定度盘的绝对位置, 故称相对测角法。

为了提高测角分辨率, 在测角中利用了莫尔条纹效应和电子细分技术。如图 1-3 所示, 将一块主光栅与一块指示光栅迭合在一起, 其间留很小的间隙, 并使两光栅的栅线保持一个很小的夹角 θ 。当有光通过时, 就可在与栅线近于垂直的方向上看到由几何遮光和透光效应所形成的莫尔条纹 (Moire Muster), 在 $a-a$ 线和 $b-b$ 线形成亮带和暗带。莫尔条纹中两亮纹中心线之间距离 B 可表示为:

$$B = \frac{W_2}{\sqrt{\sin^2\theta + (\cos\theta - \frac{W_2}{W_1})^2}} \quad (1-2)$$

式中 W_1 、 W_2 分别为主光栅和指示光栅的栅距。当 θ 很小且 $W_1=W_2=W$ 时, 上式可写成:

$$B \approx \frac{W}{\sin\theta} \approx \frac{W}{\theta} = KW \quad (1-3)$$

K 称放大倍数。这种莫尔条纹称横向莫尔条纹, 其斜率 $\text{tg}\alpha = -\text{tg} \frac{\theta}{2}$, α 为莫尔条纹的条纹方向与主光栅垂直方向之间的夹角。

若 $W_1 \neq W_2$ 且 $\theta=0$, 则有

$$B = \frac{W_1 \cdot W_2}{W_1 - W_2} \quad (1-4)$$

即间距为一常数而方向与光栅方向平行的纵向莫尔条纹。

莫尔条纹具有放大作用、运动关系对应性和平均误差等性质。基于这些性质, 在电子测角中广泛用于计数和细分, 能极大地提高测角精度。

用增量法测角必须判断度盘的旋转方向以确定计数器是进行加法还是减法运算。通常采用设置主、辅两个指示光栅的方法, 它们所产生的莫尔条纹的相位差为 90° 。当度盘正转时, 主指示光栅的莫尔条纹相位超前 90° , 输出加法脉冲; 度盘反转时, 刚好相反, 输出减法脉冲。在实际应用中还在与主、辅指示光栅相位差为 180° 处设置两个指示光栅, 通过四相取样、差分、整形、微分电路和门电路, 实现电子细分和度盘方向判断。

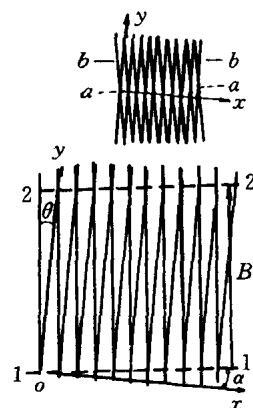


图 1-3 莫尔条纹

1.1.2.3 动态法

无论采用编码度盘还是光栅度盘,分划误差都是影响测角精度的重要因素。为了消除度盘分划误差的影响,人们基于度盘全部分划误差的总和等于零这一认识,采用度盘旋转使电子元件对全度盘分划扫描并取均值的方法。这种全新的测角系统称为动态法测角系统。

动态法测角系统首先是由法国的 SERCEL 公司和瑞士的 WILD 厂合作发展的。系统由一个可转动的玻璃度盘、固定光栏 L_S 和与望远镜连结并随之转动的可动光栏 L_R 组成。设度盘被分为 m 个相等的间隔,每个间隔的角值 φ_0 称为分划周期。每个间隔又由反光和透光两等分组成。当度盘转动时,度盘上的分划被 L_S 和 L_R 扫描,光栏输出代表度盘分

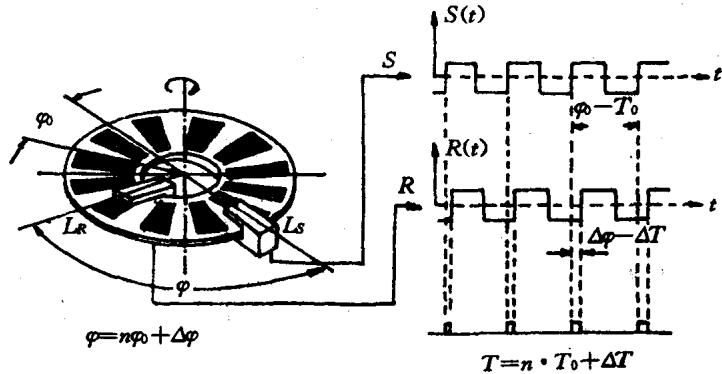


图 1-4 动态测角

划值的周期信号 S 和 R ,信号的周期 T_0 与 φ_0 相对应, L_S 与 L_R 之间的夹角就是要测的角度 φ (见图 1-4)。 φ 可由 S 与 R 的相位差得到。由某一度盘分划通过光栏 L_S (或 L_R) 后另一分划紧接着通过光栏 L_R (或 L_S) 所花的时间 ΔT ,可以计算出相位差的余数部分 $\Delta\varphi$,即在度盘均匀转动的情况下,有

$$\Delta\varphi = \frac{\varphi_0}{T_0} \Delta T \quad (1-5)$$

度盘的分划周期 φ_0 已知,信号周期(相应于分划周期 φ_0 的时间) T_0 可由度盘的转速和间隔数 m 求得, ΔT 可由计数器的脉冲频率数确定。 L_S 和 L_R 之间的整分划数 n 系通过在度盘上设置若干参考标志来测定。当某一光栏(L_S 或 L_R)标识出一个参考标志后,计数器开始对整分划数计数,直到另一光栏也标识出同一参考标志为止。于是 φ 角的测定值可表达为:

$$\varphi = n \cdot \varphi_0 + \Delta\varphi = n \cdot \varphi_0 + \frac{\Delta T}{T_0} \varphi_0 \quad (1-6)$$

与光电测距中的相位法原理相同, $n \cdot \varphi_0$ 为粗测角度, $\Delta\varphi$ 为精测角值, φ 的精度只取决于 $\Delta\varphi$ 的测量精度。对于从 0° 到 360° 之角的任意角度,只要在度盘旋转时为 L_S 和 L_R 扫描, φ 角就可测出来,故动态法属绝对测角法。

下面以 ELTA2 和 T2000 为例,说明两类测角法的实际应用。

1.1.2.4 ELTA2 编码法测角

ELTA2 采用绝对测角法,水平度盘和竖盘都采用相同的编码和刻划方式(见图 1-5)。在度盘上刻有内外两圈间隔值为 $27'$ 的分划线,每个刻线以及两刻线中心点所对应的度盘位置由编码盘的码区编码确定。内圈分划与对径上外圈分划连同码道信息由光学系统投影呈像在一个半导体光电阵列器上,光电阵列器上设置有解码的符合读数光电装置。由于内外圈分划的呈像作相对运动,故度盘刻划的角度分辨率提高到 $13.5'$ (为度盘的粗读数),同时也消除了度盘偏心误差的影响。度盘的精读数类似光学经纬仪的平行玻璃板测微器重合法测微得到。红外发光二极管发出红外光照射到度盘上,在由马达带动下的平板玻璃板的作用下,内圈分划相

对于外圈分划移动,与平板玻璃同轴转动的一个光栅圆盘上,刻有与平板玻璃转动有关的非线性分划。分划在发光二极管照射下,通过一个窄缝被电子测微计数器记录下扫描脉冲数,在双二极管处于由内、外分划构成的两种对称位置(见图 1-6)的瞬间,关闭脉冲记数门。度盘分划移动 $13.5'$ 时,电子测微计数器将记录 1250 个脉冲数,故精测角度分辨率约为 $0.65''$ (即 0.2mgon)。在脉冲记数门关闭的同时,由光电接收器所探测出的码区度盘的粗读数也同时被记录下来。上述精测和粗测信号传给微处理器,从而得到角度值。

1.1.2.5 T2000 动态法侧角

该仪器采用如图 1-4 所示的动态测角系统。为了消除度盘偏心误差影响,在度盘直径两端设置了两对光栏,在每个光栏上都安置了一个红外发光二极管和一个接收二极管。度盘直径为 52mm ,被分为 $m=1024$ 个间隔,分划周期 $\varphi_0=21'5.625''$,计数器的脉冲频率为 1.72MHz ,信号周期 $T_0=330\mu\text{s}$,度盘的转速相应约为 2.96转/s ,脉冲频率周期约为 $0.58\mu\text{s}$,一个脉冲所相应的测角误差为 $2.2''$ 左右。由于它呈矩形分布,故一次精测的中误差为 $2.2''/12=0.65''$ 。由于采用动态测角原理,度盘旋转时,轮流测量每对光栏的 ΔT 值,旋转一周,1024 个间隔分划都被扫描,从而得到 512 个相位差。取均值,对每次测量其角度均值的精度在理论上可达 $0.65''/512=0.03''$ 。

在 T2000 中,水平度盘系统采用透射光,而竖盘系统采用反射光。图 1-7 是电子装置的工作框图。角处理器接受并执行中央处理器的测量命令,首先给马达供电,使水平度盘或/和垂直度盘转动,一达到规定转速,角处理器就控制所有光栏进行扫描。在粗测时,两对光栏在度盘转动一周时得到两个 n 值,若两个 n 值不相等,则自动作重复测量。作精测时,为测 ΔT ,计数器要进行计数,并把计数结果传送给角处理器。

当一对光栏完成一个 ΔT 测量后,马上转到对径上的光栏量测下一个 ΔT ,直至整个度盘的 1024 个分划都被扫描。粗测和精测由角处理器一起送至中央处理器。与 ELTA2 相似,为了改正仪器纵轴误差对竖盘读数的影响,在光栏光路上设置低粘度硅酮油液体补偿器。

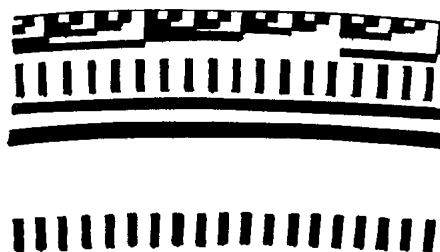


图 1-5 ELTA2 编码度盘

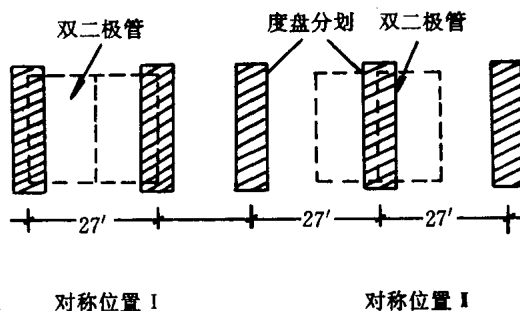


图 1-6 双二极管和度盘分划

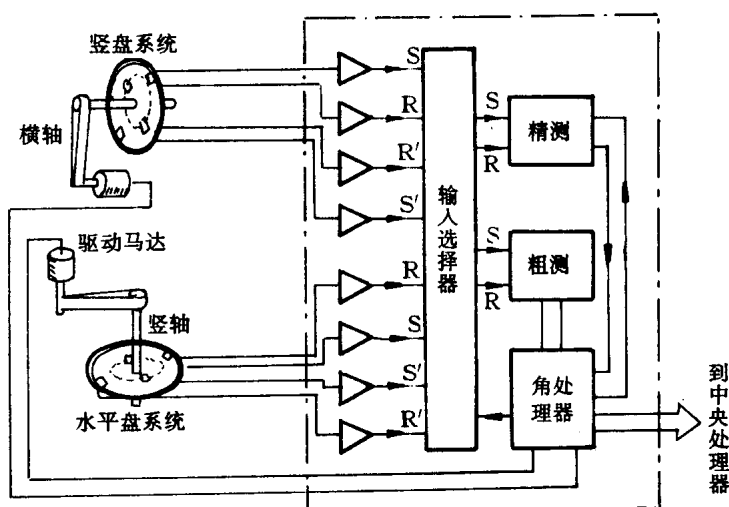


图 1-7 T2000 测角系统工作框图

大量试验和统计分析表明,T2000的一次观测内部精度可达 $0.16''$,在野外气候条件下,一测回的方向中误差为 $0.5''$ 。

1.1.3 电子速测仪的自动化数据流

电子速测仪的自动化数据流既包括内部数据获取、存储和处理的自动化,同时也包括通过数据传输装置将数据传输给台式微机或中心计算机以及其它外设,进行数据的进一步处理和输出。例如以清单或表格形式的打印、绘图机输出以及与数据库连接等。

系统内部的数据自动化处理主要借助仪器内部的微处理器和电子外业手簿进行,这种厂家专门配备的野外数据处理终端,具有一般微机的功能,厂家提供了较丰富的应用程序,用户也可以用多种高级语言编程。这类处理终端机,密封性、抗震性强,能经受住各种恶劣外界条件,如能在 -20°C 到 50°C 的环境下工作。这类电子手簿有WILD厂的GRE3、GRE4,KERN厂的ALPHACORD,OPTON厂的REC500,SOKKISHA的SDR2等。用户也可购买一台袖珍微机,如EPSON HX20、EPSON PX8或SHPARP PC-1500、PC-E500等,通过标准接口与速测仪相连接,并自行编写记录、计算以及常用的平差程序。目前,在国内已研制出带DOS操作系统的测量专用电子记录手簿,其内存容量大,可运行高级语言编写的可执行程序,比厂家提供的数据终端价格低,功能更强,可实现地面测量工程的一体化与自动化。

图 1-8 是前联邦德国欧波同厂生产的电子速测仪 ELTA2 的自动化数据流框图。

数据的外部传输是由数据发射器、传送介质(通讯线)和数据接收器通过接口实现的。一般采用二进制形式传输。当传输距离超过100m时,在传输线两端还要加调制解调器进行数模信号转换。传输信息一般用一个字节的ASCII编码表示,在外业数据处理终端机上(如GRE3)也有采用四位二一十进制交换码BCD码的。传输方式分串行、并行两种。串行传输线的结构有单工(单向传输)、半双工(按时间顺序改变传输方向)和全双工(同时进行双向传输)三种;按数据格式又分异步传输和同步传输两种方法,前者以起始位作同步信号,然后是8个数据位和1个或2个终止位,两个数据间的时间间隔不固定;而同步传输则无起始位和终止位,按固定时间间隔进行

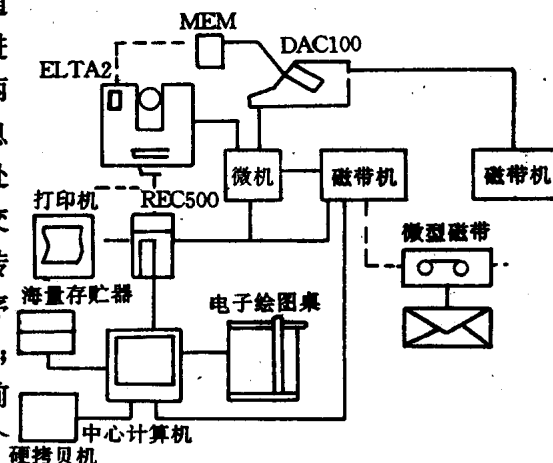


图 1-8 ELTA2 自动化数据流框图

传输,它的速度较快,但要求有时钟来实现发送和接收端的同步,故硬件复杂,费用较高。

数据传输的接口工作规则包括数据传输装置之间的信息顺序、控制命令、应答信号、数据格式描述、传输速度(波特率)等。接口工作规则可以调节设定。

对于二进制串行接口,最常用的是RS232C即V24标准接口,它是由国际电报电话咨询委员会规定的。采用25线的插座和插头接插件,通常只使用25个线脚中的8个脚。如果数据终端装置与调制解调器连接,则需要采用按信号意义——对应的连接电缆;如果两个数据终端机为微机与微机、微机与打印机之间相连,则电缆两端代表相应信号的线应交叉连接,其线脚编号、定义以及连接方式如图1-9所示。

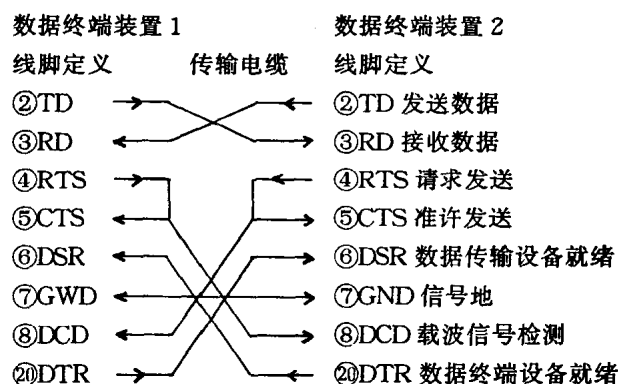


图 1-9 两数据终端机连接

对于二进制并行传输，一般采用国际电子委员会确定的 IEEE-48-1978 总线，接口电缆由 8 根并行数据线和附加的地址、节拍、状态组成，总线具有菜单式应答技术和控制及听说功能。目前，电子速测仪与微机或其它数据终端装置之间均是采用串行异步通讯方式。

图 1-8 中 ELTA2 与微机等数据终端装置之间的数据通讯是借助记录模块 MEM 通过数据转换器 DAC 100 或借助电子手簿 REC 200 或 REC 500 实现的。通过专用接口 IF1 或 IF2 也可实现微机与 ELTA 2 的在线连接作业。通过中心计算机则构成了欧波同的大地测量自动化数据处理和机助制图系统 GEOS。

1.1.4 自动化电子速测仪系统

自动化电子速测仪系统(或称测地机器人)是由电子计算机和微处理器控制的自动化极坐标法电子速测仪系统组成。它可应用于水道测量、工程测量和工业测量等领域。图 1-10 是测地机器人的一种结构框图，该系统是前联邦德国汉诺威大学测量研究所与北莱茵-威斯特华伦州莱茵褐煤矿公司共同研制的。

下面对测地机器人的工作过程和原理作一简述。在专门的观测室安置仪器系统，在变形体上布设反射棱镜作为目标点。先由观测员进行一次初始测量，机器人将根据初始测量数据在微处理器和计算机控制下作周而复始的观测。自动精确寻标可分三步(图 1-11)：

第一步：启动马达程序，计算机控制微处理器按角度变化给出步进马达在水平和竖直方向应转动的步数，当由角度传感器所获得的角值与初值之差在规定范围内时，则启动寻标照准程序，这时速测仪发射的光斑位于 A 点。

第二步：速测仪的光轴在马达带动下，在与光线传播方向的垂直平面上作方螺旋形运动，当接收到的光强信号大于某一给定值时，粗寻标过程结束，这时发射光斑落在 D 点。

第三步：精确照准。光轴在竖直和水平两个方向上运动，探测最大的反射光强所对应的点 C(棱镜中心)。精确照准反射棱镜后，计算机发出测角、测距指令，同时测定气象元素，进行距

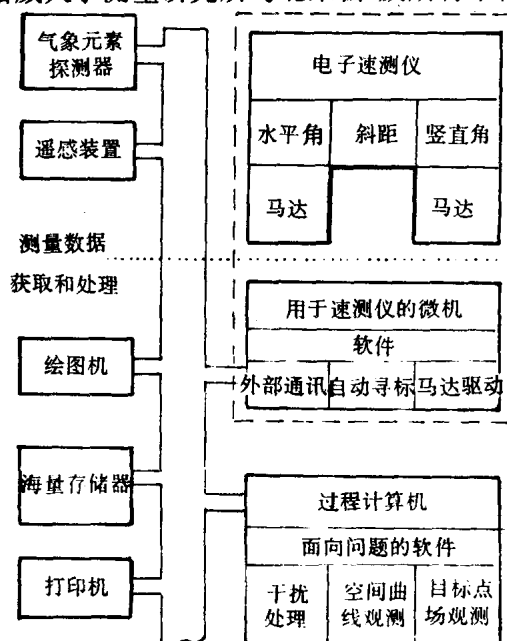


图 1-10 测地机器人结构框图

离、方向改正,存储改正后的观测值,然后启动马达程序,照准下一个目标点。

测地机器人具有下述人工智能:

- 学习能力,按初始测量顺序进行观测;
- 能识别和照准目标,处理外界干扰,自动丢弃失踪的目标点和参考点;
- 具有中断观测和重新启动观测的能力;
- 能从目标点场中选择应优先观测的点;
- 处理超限成果,自动进行检核测量和改正计算;

正计算;

• 报警以及对数据进行处理和图形输出等。

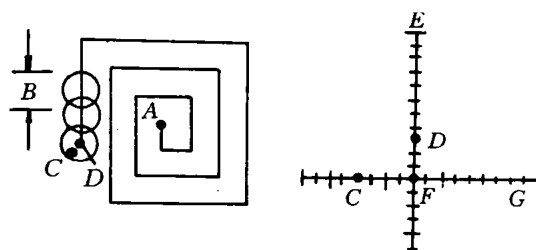


图 1-11 测地机器人自动寻标示意图

A、D:方螺旋的始点、终点;B:发射光斑的直径;

F:竖直方向光强最大的点;

C:棱镜中心(水平方向光强最大的点)

试验结果表明,在存在各种干扰的条件下,测地机器人的测距精度可达 $\pm 3\text{mm}$,水平角的精度可达 $3.0\sim 5.0''$,而竖角精度比水平角精度低。图 1-12 是在大型露天煤矿斜坡变形监测中测地机器人的布置方案。每个测站上的监测距离约 1.5km 。

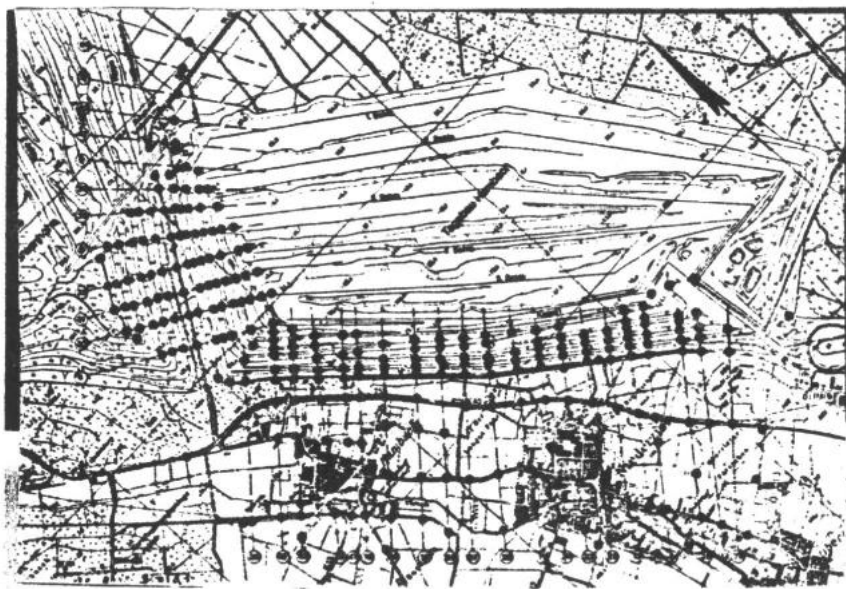


图 1-12 测地机器人监测露天煤矿斜坡的布置方案

目前,自动化电子速测仪已进入商品化生产,如水道测量中有德国 KRUPP ATLAS 电子公司的三维极坐标测量系统,瑞典 NEW NAVITRANIC 公司的三维极定位系统 NAVITRACK-1000,GEODIMETER 140T 型全自动跟踪测量系统;荷兰的水道测量跟踪系统 MILLNAV DB360 以及日本 SOKKISHA 公司和 TOPOCON 公司的海道自动定位系统等。在工程测量中有瑞典 AGA 公司开发的 GEODIMETER 滑坡监测系统以及碎部测量系统 GEODIMETER 4000,LEICA 的自动定位系统 TM 3000D;在工业测量方面,有 LEICA HEERBRUGG 的自动测量系统 ATMS,LEICA AARAU 的 SPACE 和 SMART 310 三维测量系统,以及 CHESAPEAKE 激光跟踪系统 CMS 1000。此外,自动化电子速测仪还向单人测

量系统方向发展,即对地形测量而言,整个外业测站工作仅由一个不需具有测量专长的人员操作,而专业测量员可通过双向无线电通讯从目标站的反射器杆控制整个测量过程。单人测量系统的进一步商品化,对于电子速测仪的推广应用可能是一种更有意义的变革。上述商品化自动化电子速测仪系统在测距精度上约为 $\pm(2\sim3)\text{mm}/0.5\text{km}$ 的精度,而测角精度约为 $\pm3.5''$,要达到更高的精度估计尚需一段时间。

§ 1.2 电磁波测距技术

1.2.1 概述

电磁波测距的原理、方法、精度、测程有多种情况,因而电子测距的仪器也多种多样。以各种光波和微波为载波的电子测距仪,统称为电磁波测距仪。按载波不同,分为光波测距仪和微波测距仪。目前光波测距仪主要以激光器发射的激光和半导体发光管发射的红外光为载波。微波测距仪以速调管和固体微波源发射的厘米、毫米波段的微波为载波。

自1948年瑞典AGA公司制成光波测距仪后,于50年代至60年代前期先后完成了以普通光作为载波的光波测距仪系列。60年代激光的出现使光波测距仪得到了新的光源。60年代后期开始生产以半导体发光管为辐射源的短程红外测距仪,例如瑞士Wild厂的NI-10和德国Opton厂的ELDI-1,测距仪的电子线路采用半导体和集成电路,从而大大减少了仪器的体积和能量消耗,这样使短程红外测距仪在地形测量、工程放样中得到广泛的应用。70年代起,大规模集成电路的应用,使测距仪进入更高阶段,如DI-5、DI-20、DI1000、REDMINI、DM502、DM503等,具有数字测相、程序控制测距以及将斜距化算为平距的功能。

微波测距仪由于测距精度低于光波测距仪,在工程测量中应用较少,但它与光波测距仪相比,具有受外界条件的影响小和仪器不必精确照准等优点。目前微波测距仪的发展也已取得很大进展,仪器已实现小型化和达到毫米级的测距精度。

电磁波测距仪是通过测量电磁波在待测距离上往返传播的时间 t 来确定距离的。电磁波速度是一个物理常量,在大气中传播时受温度、气压和湿度的影响。设电磁波在大气中传播的速度为 C ,则待测距离 D 为

$$D = \frac{1}{2} Ct \tag{1-7}$$

电磁波测距仪的结构可概括用图1-13表示。发射系统包括载波源、调制器等部件,它必须有一个参考波送到接收系统去,作为与接收的反射波对比之用。接收及测量系统用以比较参考波和接收的反射波,直接或间接地测量载波传播的时间。目标可能是非合作目标,或者是合作目标。精密的电磁波测距仪多采用合作目标,光波测距仪常用角反射棱镜作为合作目标,而微波测距仪为避免地面反射波对接收机的干扰,常用非同频应答方式的副台作为合作目标。经过比较以后的结果可能是频率、相位或时间数据,由输出设备读出或经过运算处理后再输出。

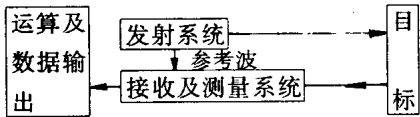


图 1-13 电磁波测距仪结构框图