

高等学校教学用书

测 量 学

顾秉彝 连荫海 编

中国矿业学院出版社

高等学校教学用书

测 量 学

顾秉彝 连荫海

中国矿业学院出版社

内 容 提 要

本书是煤炭系统高等院校采矿工程、矿井建设、露天开采、煤田地质勘查等四个专业的合用教材。

本书共分十九章，第1~8章为各专业公用部分，包括绪论、距离测量及直线定向、水准测量、经纬仪及其使用、测量误差的初步知识、图根控制测量、大比例尺地形图的测绘、地形图的读法和应用。第9~19章为根据不同的需要各专业选用部分，包括航空摄影测量、地质勘探工程测量、井下测量、巷道施工测量、矿图、岩层移动简介、矿井施工测量、露天矿测量（露天矿控制测量、露天矿生产测量、露天矿线路测量、露天矿矿图）等。

本书也可作上述四个专业的函授大学、职工大学及自学者的教材，并可作为有关专业的中专教师的参考书。

责任编辑 洪 毅

高等学校教学用书

测 量 学

顾秉彝 连荫海

*

中国矿业学院出版社 出版

社 部：江苏省徐州市中国矿业学院内

编辑部：北京市学院路13号

中国矿业学院印刷厂 印刷

*

开本787×1092 1/16 印张18

字数462 千字 印数：1—30000

1986年9月第1版 1986年9月第一次印刷

统一书号15443.002 定价3.15 元

前 言

本书是煤炭系统高等院校四个非测量专业的合用教材。这四个专业是：采矿工程、矿井建设、露天开采及煤田地质勘查。本书是根据各院校1981年杭州会议通过的编写细则编写的，并在1983年作为内部教材试用二年。1984年11月又召开会议，对教材内容进行研究并提出意见，现经修改作为正式教材公开出版。

全书共分十九章：第一章至第八章为四个专业共同学习部分；第九章至第十章为煤田地质勘查专业加学部分；第十一章至第十四章为采矿工程专业加学部分；第十一章至第十三章及第十五章为矿井建设专业加学部分；第十六章至十九章为露天开采专业加学部分。

本书在编写时曾努力做到下列几点：（1）选材尽量切合四个专业的学习目的、要求以及教学时数，主要包括测量学的三个基本内容，即基本概念、基本理论、基本技能。限于篇幅，补充内容尚未列入。（2）注意了系统性，力求由浅入深，符合学生认识规律，并尽量结合生产的实际程序。（3）内容力求结合我国实际，并适当介绍测量科学的新技术。（4）计算部分，均采用电子计算器计算，对数计算未予列入。（5）尽可能收集一些国内外测量教材中质量较好并有良好教学效果的插图。（6）尽力反映编者多年的教学经验，重点和难点力求叙述清楚。

本书的第一章至第十章由顾秉彝同志编写，第十一章至第十九章由连荫海同志编写。

本书在编写过程中，得到了有关兄弟院校及生产单位的大力支持和帮助；另外，阜新、焦作、西安、山西、湘潭等兄弟院校，在百忙中还选派教师参加了审稿会议，并蒙同济大学王时炎教授，清华大学刘翰生教授提供了很宝贵的意见，在此表示最衷心的感谢。

由于我们的水平有限，加之编写时间仓促，书中存在的错误和缺点之处，恳切地请读者提出批评和意见，以便在再版时更正。

编 者 一九八五年四月

目 录

第一章 绪论	(1)
第1—1节 测量学的任务及其在采矿工程中的作用	(1)
第1—2节 地球的形状和大小	(2)
第1—3节 地面点位置的表示方法——坐标和高程	(3)
第二章 距离测量和直线定向	(6)
第2—1节 距离测量	(6)
第2—2节 直线定向	(9)
第三章 水准测量	(13)
第3—1节 水准测量原理	(13)
第3—2节 水准仪和水准尺	(14)
第3—3节 水准仪的使用	(17)
第3—4节 水准测量的作业方法和注意事项	(19)
第3—5节 水准测量的校核和内业计算	(21)
第四章 经纬仪及其使用	(25)
第4—1节 角度测量原理	(25)
第4—2节 光学经纬仪	(25)
第4—3节 水平角观测	(30)
第4—4节 竖直角观测	(32)
第4—5节 三角高程测量	(36)
第4—6节 视距测量	(36)
第五章 测量误差的初步知识	(42)
第5—1节 测量误差的来源和种类	(42)
第5—2节 算术平均值原理	(44)
第5—3节 衡量精度的标准——中误差	(45)
第5—4节 相对误差及极限误差	(47)
*第5—5节 误差传播定律——观测值函数的中误差	(48)
*第5—6节 不等精度观测	(52)
第六章 图根控制测量	(58)
第6—1节 控制测量概述	(58)
第6—2节 经纬仪导线测量	(63)
第6—3节 经纬仪闭合导线计算	(65)
第6—4节 经纬仪附和导线计算	(70)
第6—5节 经纬仪交会法	(73)
第6—6节 小三角测量	(79)

第七章 大比例尺地形图的测绘	(80)
第 7—1 节 地形图的基本知识	(80)
第 7—2 节 等高线	(84)
第 7—3 节 小平板仪和经纬仪联合测图法	(89)
第 7—4 节 其他两种测图法	(98)
第八章 地形图的读法和应用	(102)
第 8—1 节 高斯平面直角坐标	(102)
第 8—2 节 地形图的分幅和编号	(104)
第 8—3 节 地形图的读法	(109)
第 8—4 节 地形图的应用	(112)
第 8—5 节 地形图上量测面积	(118)
第九章 航空摄影测量	(123)
第 9—1 节 概述	(123)
第 9—2 节 航空摄影的一般知识	(123)
第 9—3 节 航空象片的几何特征	(125)
第 9—4 节 航空象片与地形图的区别和影象地图	(129)
第 9—5 节 航空象片的立体观察	(129)
第 9—6 节 航测成图过程的简介	(131)
第十章 地质勘探工程测量	(133)
第 10—1 节 地质填图测量	(133)
第 10—2 节 地表揭露工程测量和钻探工程测量	(136)
第 10—3 节 地质剖面测量	(138)
第十一章 井下测量	(141)
第 11—1 节 近井点和井口水准点	(141)
第 11—2 节 平面联系测量	(141)
第 11—3 节 高程联系测量	(156)
第 11—4 节 井下平面测量	(156)
第 11—5 节 井下高程测量	(162)
第十二章 巷道施工测量	(168)
第 12—1 节 井下巷道中线的标定	(168)
第 12—2 节 曲线巷道中线的标定	(169)
第 12—3 节 井下巷道腰线的标定	(170)
第 12—4 节 激光给向	(172)
第 12—5 节 贯通测量	(174)
第十三章 矿图	(181)
第 13—1 节 概述	(181)
第 13—2 节 标高投影	(182)
第 13—3 节 采掘工程图	(187)
第 13—4 节 其他矿图	(195)

第十四章 岩层移动简介	(198)
第14—1节 岩层移动的几个基本概念.....	(198)
第14—2节 岩层移动的地面观测.....	(202)
第14—3节 保护煤柱.....	(207)
第十五章 矿井施工测量	(213)
第15—1节 标定工作的基本方法.....	(213)
第15—2节 井筒中心和十字中线的标定.....	(215)
第15—3节 立井井筒掘进时的施工测量.....	(218)
第15—4节 掘进井底车场时的测量工作.....	(223)
第15—5节 特殊凿井时的测量工作.....	(228)
第十六章 露天矿控制测量	(237)
第16—1节 概述.....	(237)
第16—2节 露天矿基本控制网.....	(237)
第16—3节 露天矿工作控制网.....	(239)
第十七章 露天矿生产测量	(246)
第17—1节 采剥场验收测量.....	(246)
第17—2节 露天矿的标定工作.....	(250)
第17—3节 爆破工作测量.....	(252)
第17—4节 排土场测量.....	(253)
第17—5节 露天矿地面立体摄影测量.....	(256)
第十八章 露天矿线路测量	(261)
第18—1节 概述.....	(261)
第18—2节 平面曲线的测设.....	(262)
第18—3节 纵横断面测量.....	(267)
第18—4节 线路施工测量.....	(269)
第十九章 露天矿矿图	(272)
第19—1节 概述.....	(272)
第19—2节 露天矿主要矿图.....	(273)
主要参考文献.....	(276)
附录一教学地形图附图	
附录二教学地图形附图	

第一章 绪 论

第1—1节 测量学的任务及其在采矿工程中的作用

测量学是一门研究和测定整个地球及其部分地区形状和大小的科学。它的主要任务包括下列三个方面：

1) 研究和测定整个地球的形状和大小，以提供地区测量和有关地球的科学研究所需的资料；

2) 将测区内的地物和地形起伏测绘成图，以供各项工程建设及国防上的应用，这项任务简称测图；

3) 把图上设计好的工程位置，测设到实地上去，以便施工，这项任务简称放样。

由于社会生产发展的需要，测量学在生产中的作用愈来愈大，所涉及的问题也愈来愈广，目前测量学已分成好几门学科。如研究整个地球的形状、大小及广大地区测量问题的，称为大地测量学；研究测绘小范围地区地形图的，称为地形测量学。在地形测量中，由于测绘范围较小，故可把地球表面看作平面而不考虑地球的曲率，这样可使测量和计算工作大大简化。研究利用摄影方法获得的地面照片改制成地形图的科学，称为摄影测量学；摄影测量学分为航空摄影测量学和地面摄影测量学。为了各种工矿企业、农田水利和城市建设等的需要，结合各种工程建设特点而进行研究的测量学，称为工程测量学。本书前半部分主要包括地形测量学，而后半部分主要包括工程测量学内容。

在采矿工程中，测量工作起着很重要的作用。从矿区的开发至矿藏开采完毕的整个过程中，都需要进行测量。矿区的开发，一般可以分为地质普查、勘探时期，基本建设时期和生产时期。现就三个时期的测量工作内容分述如下表。

表1-1

矿区开发阶段	测量工作的主要内容
地质普查、勘探时期	测绘勘探区及矿区地形图，为地质人员提供有关测量资料作为储量计算和勘探工程设计的根据，标定钻孔和测定竣工工程点的位置等。
基本建设时期	根据设计的施工详图，在地面和井下测设各工程和设备的位置(如井口位置，巷道位置等)，以便施工。
生产时期	地下开采时，标定和指出工作面、巷道掘进的位置和方向，测定采空区和留设保护煤柱等。露天开采时，开展各项结合露天矿特点的测量工作。 绘制各种矿图。

从上面的简单介绍，可以明显看出，测量工作在采矿工程中占有何等重要地位。因此，无论地质工作者及采矿工作者都必须学习测量学，以便在实际工作中应用测量知识解决有关问题。

第1—2节 地球的形状和大小

地球表面不是平滑的球面，而是有着高山、平原、海洋、深谷等的起伏，但这些起伏对地球来说是很微小的。如地球上最高的珠穆朗玛峰，高出海水面8848.13m，即不超过九公里，最低的恩登深渊，低于海水面10793m，即不超过十一公里。此外，地球上海洋面积占整个地球表面的71%，而大陆仅占29%。因此，地球的总形状可以认为是被静止的海水面所包围的，表面是平滑的球体。

静止的水面所形成的曲面有一个特点，就是过这个曲面上的任何一点所作的铅垂线，在该点均与曲面成正交。凡满足这个条件的曲面，就称为水准面。由此可知，这样的水准面可有无穷多个。与水准面相切于一点的平面称为水平面，水平面内任何方向的直线称为水平线，如图1-1所示。

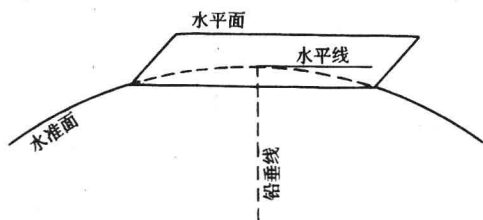


图1-1

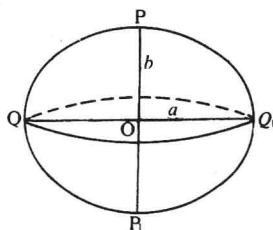


图1-2

把水准面无限扩展开来，就形成一个闭合曲面。在无限多个闭合水准面中，有一个通过静止的平均海水面的水准面，称为大地水准面。

用大地水准面代表地球的总形状本来是恰当的，但由于地球内部质量分布不均，使得铅垂线方向的变动没有一定的几何规则，因而使大地水准面成为一个极复杂的曲面，实际上无法求得。因此，为了计算和绘图方便起见，目前我们采用接近于大地水准面的几何面来代表地球的形状，这个面称为旋转椭圆体面或称为地球椭圆体面。它的形状和大小，可由长半径 a 和短半径 b （图1-2），或由一个半径 a 及扁率 α 来决定。 α 用下式计算

$$\alpha = \frac{a - b}{a}$$

式中 a 、 b 、 α ——地球椭圆体元素。

近二百年来，许多测量学家，对地球椭圆体元素进行了测定。解放后，我国暂时采用了苏联克拉索夫斯基椭球体元素作为测量计算的依据，其数值为：

$$a = 6378245\text{m}$$

$$\alpha = 1:298.3$$

1979年国际大地测量和地球物理联合会，推荐下列利用人造卫星最近测定的椭球元素：

$$a = 6378137\text{m}$$

$$\alpha = 1:298.257。$$

我国的测量科学工作者，现正努力确定适合于我国情况的椭球元素，不久可得最新成果。

由于地球椭圆体的扁率很微小，故在一般的测量工作中，可以认为地球是一个圆球，它的半径为6371km。

第1—3节 地面点位置的表示方法——坐标和高程

测量中的主要工作，是测定地面点的位置。地面点的位置，是用坐标和高程表示的。

一、坐标

(一) 地理坐标

地面上点的位置，在球面上通常是用经纬度表示的，某点的经纬度称为该点的地理坐标。

如图1-3所示， PP_1 为地球自转轴，称为地轴。垂直于地轴的各平面与球面的交线称为纬线（纬圈）。过地心与地轴垂直的平面 EKQ 称为赤道平面。赤道平面和地球表面的交线称为赤道，赤道是最大的纬圈。通过地轴和地球上任意一点 L 的平面 PLP_1 ，称为 L 点的真子午面，所以真子午面可以有无数个。过 L 点的真子午面和地球表面的交线，称为过 L 点的真子午线（真子午圈）或经线（经圈）。通过英国格林威治天文台的真子午面，称为首子午面（起始子午面），世界各国公认它为计算经度的起点。

首子午面和赤道平面是经纬度的起算面，过 L 点的真子午面和首子午面所夹的二面角，称为 L 点的经度，通常以 λ 表示。在首子午面之东者称为东经，在西者称为西经，最大各到 180° 。

经过 L 点的铅垂线和赤道平面的夹角，称为 L 点的纬度，通常以 φ 表示。由于地球是椭圆体，所以地面点的铅垂线不一定经过地球中心。纬度从赤道向北或向南计算，分别称为北纬或南纬，最大各到 90° 。

以上所述 L 点的经纬度，称为天文经、纬度，它是以过某点的铅垂线为依据，也就是以大地水准面为依据的。天文经纬度须用天文测量测定。若以地球椭圆体为依据，过某点的大地子午面与起始大地子午面所夹的二面角，称为该点的大地经度，以 L 表示。过某点的法线和赤道平面的夹角，称为该点的大地纬度，以 B 表示。大地经度和大地纬度称为大地坐标。在地形图上使用的经纬度是大地经纬度。大地坐标可根据天文坐标应用大地测量学公式计算。由于所依据的基准面不同，两者稍有差异，但差异很小，在地形测量中可不予考虑。

某点的经纬度的概略值可在地形图上查到，例如，北京的地理坐标为东经 $116^\circ 23'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。

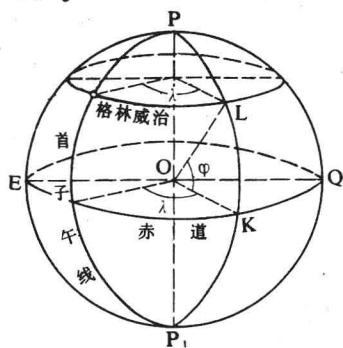


图1-3

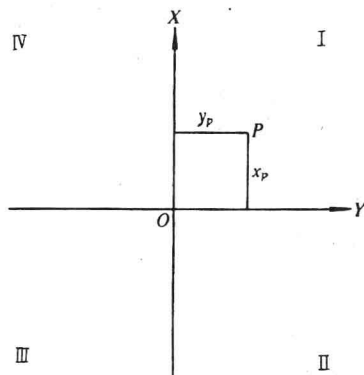


图1-4

(二) 平面直角坐标

在小范围测区内，可以把地球表面当作平面看待。在这种情况下，地面点的位置可用平面直角坐标表示，表示方法和数学中的有些不同。如图1-4，测量上将南北方向的坐标轴定为X轴，东西方向为Y轴，测量上的I、II、III、IV象限也是和数学上的象限顺序相反的。这样的变换，可以不改变数学公式，便于测量上的应用。地形图上的平面直角坐标，是按测量上的方法表示的，初学者往往将它和数学上的坐标混淆，故须特别加以注意。

如果要建立全球性的统一的平面直角坐标系，则由于地球表面是一个球面，需要采用一种地图投影的方法（最常用的是高斯投影），先将球面分带投影到平面上，然后建立平面直角坐标系。这部分内容将在第8—1节中介绍。

二、高程

(一) 绝对高程

为了完全确定地面一点的位置，除平面坐标外，还须测定该点的高程。从一点至大地水准面的铅垂距离，称为该点的绝对高程（或称海拔，也称标高）。两点间的高程差，称为高差。如图1-5中， H_1 、 H_2 分别为A、B两点的绝对高程， h 为A、B两点的高差，即

$$h = H_2 - H_1$$

为了统一全国的高程系统，我国选定了青岛“黄海平均海水面”作为起算绝对高程的基准面。如我国测定的珠穆朗玛峰的绝对高程为8848.13m，此数就是该峰峰顶到黄海平均海水面的铅垂距离。

(二) 假定高程

有时为了临时需要，一点的高程可以从任意假定的水准面算起，这个水准面称为假定水准面。从一点到假定水准面的铅垂距离，称为该点的假定高程（也称相对高程），如图1-5中 H_1' 、 H_2' 为A、B点的假定高程。利用假定高程同样也可以计算两点的真正高差，在实际工作中，假定高程也是经常用到的。这里要注意的是，在一个构成整体的地区内，只能选择一个假定水准面，决不可以有几个假定水准面，否则会发生混乱。

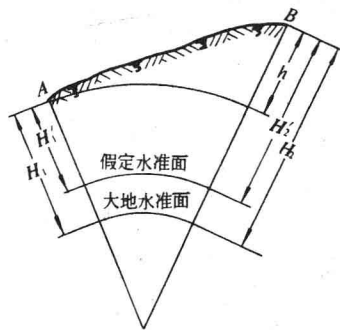


图1-5

[附] 测量常用的量度单位[4]

1984年2月27日国务院发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》规定：我国一律采用以国际单位制为基础的法定计量单位。还规定：我国目前在人民生活中采用的市制计量单位（如市尺、市里、市亩等），可以延续使用到1990年，1990年底以前要完成向国家法定计量单位的过渡。测量常用的量度单位有长度、角度和面积三种。现简单介绍如下：

(一) 长度单位

我国规定长度的基本单位为米。

1m(米) = 10dm(分米) = 100cm(厘米) = 1000mm(毫米)，

1km(公里) = 1000m(米) = 2(市)里，

1m(米) = 3(市)尺。

(二) 角度单位

我国采用的角度单位为60进位制,有些国家采用100进位制。此外,在计算过程中还常用到弧度单位。

1) 60进位制: 圆周 = 360° (度), $1^\circ = 60'$ (分), $1' = 60''$ (秒)。

2) 100进位制: 圆周 = 400g(新度), $1g = 100c$ (新分), $1c = 100cc$ (新秒)。

3) 弧度: 与半径等长的弧长所对圆心角称为一弧度,其单位符号为rad,测量工作中习惯以 ρ 表示之。

$$\rho^\circ = \frac{180}{\pi} = 57.3^\circ, \quad \rho' = \frac{180}{\pi} \times 60 = 3438', \quad \rho'' = \frac{180}{\pi} \times 60 \times 60 = 206265''。$$

(三) 面积单位

面积单位有平方米、公亩、公顷和平方公里。我国的市制面积单位为(市)亩。

1公亩 = $100\text{m}^2 = 0.15$ (市)亩,

1公顷 = 100公亩 = 10000m^2 ,

1 km^2 (平方公里) = 100公顷 = 10000公亩 = 1000000m^2 ,

1市亩 = 60平方丈 = 6000平方(市)尺 = $\frac{2000}{3}\text{m}^2$ 。

复 习 思 考 题

- 1) 测量学在采矿工程中有那些作用?
- 2) 何谓水准面、水平面、水平线、大地水准面、天文经度 λ 和天文纬度 φ 、大地经度 L 和大地纬度 B 、绝对高程和假定高程?
- 3) 测量中的平面直角坐标和数学中的表示方法有何不同?

第二章 距离测量和直线定向

第2—1节 距离测量

距离测量是测量的基本工作之一。所谓两点间的距离，就是指两点间的水平距离，即两点投影在水平面上的距离。量距工作的程序是：标志地面点、直线定线和测量距离。

一、标志地面点

进行任何测量工作，都必须首先在地面上标志一些点子。标志可分临时性的和永久性的两种。如为临时性的，可采用木桩打入地内，桩顶钉以小钉，以表示该点的位置(如图2-1)。如为永久性的，则需用水泥桩或石柱代替(如图6-4a)。

为了便于观测，在临时性标志上可树立标杆(花杆)，在永久性的标志上一般需架设木制的或钢制的觇标(如图6-4b、c)。测量标志决不允许任意破坏。

二、直线定线

在进行直线丈量时，如果丈量的距离比尺子长，也就是用尺子一次不能量完，这就需要在两点间的直线上用标杆设立一些临时性的点子，这一工作称为直线定线。直线定线可

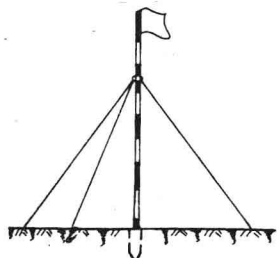


图2-1

用仪器来完成，如精度要求不高，也可用目估法定线(见图2-2)。

三、钢尺量距

直线丈量的工具有：钢卷尺、布卷尺(皮尺)、测绳等，主要辅助工具为测钎，标杆等，如图2-3所示。

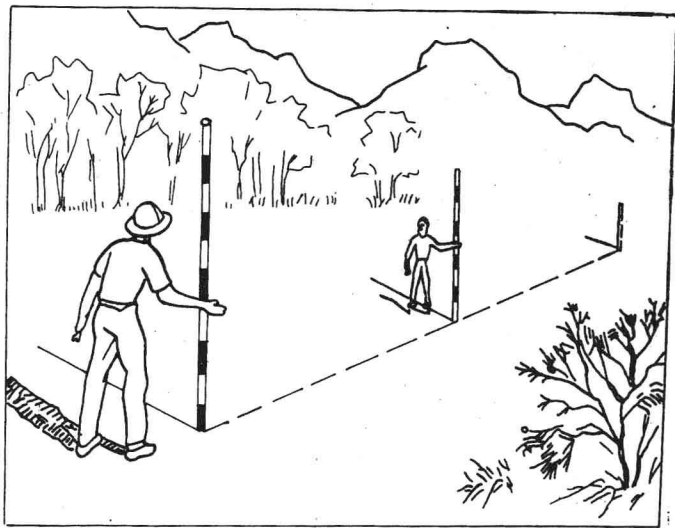


图2-2

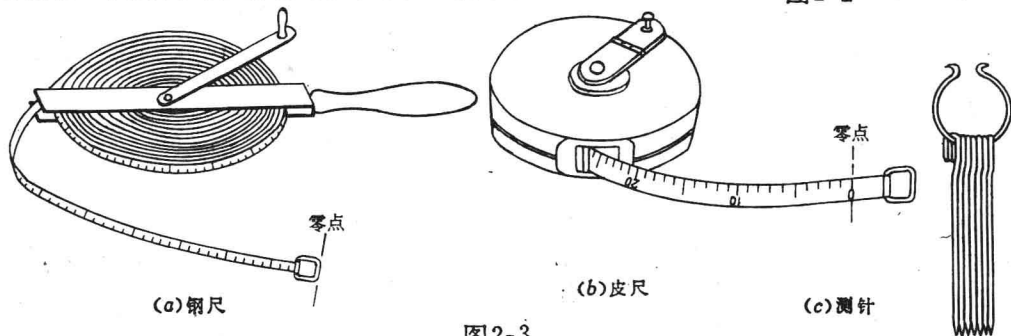


图2-3

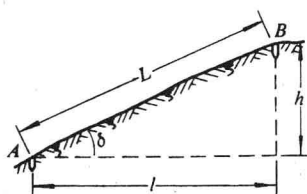


图2-4

定线完毕后,就可进行量距。下面简述用钢尺丈量距离的一般方法。

(一) 在平坦地面上量距

在平坦地面上丈量距离时,可把尺子平放在地面上进行。丈量至少往返各一次,以检查测量有无错误及精度是否符合要求。一般规定,较差率应不大于 $\frac{1}{2000}$ (所谓较差率,

即往返两次丈量结果之差与两点间往返测得平均距离之比),在量距困难地区,较差率应不大于 $\frac{1}{1000}$ 。如精度满足要求,则可取其平均值,作为丈量的最后结果。

(二) 在倾斜地面上量距

有两种量距方法:

1. 斜量法 如图2-4所示,如欲得直线AB的水平距离 l ,可先沿地面丈量倾斜距离 L 及观测直线AB的倾斜角 δ ,则

$$l = L \cos \delta \quad (2-1)$$

按上式,应用电子计算器,很容易求得水平距离 l 。

如果没有测倾斜角 δ ,而是测了两点间的高差 h ,则由图2-4可知:

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{L^2 - h^2} = L \sqrt{1 - \left(\frac{h}{L}\right)^2} = L \cdot \left(1 - \frac{h^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}} \\ &= L \left(1 - \frac{h^2}{2L^2} - \frac{h^4}{8L^4} - \frac{h^6}{16L^6} \cdots \cdots\right) \\ &= L - \frac{h^2}{2L} - \frac{h^4}{8L^3} - \frac{h^6}{16L^5} \cdots \cdots \end{aligned}$$

令

$$\Delta l = -\left(\frac{h^2}{2L} + \frac{h^4}{8L^3} + \frac{h^6}{16L^5} + \cdots \cdots\right)$$

则有

$$l = L + \Delta l \quad (2-2)$$

式中 Δl ——按高差计算的倾斜改正数。 Δl 永远是负值,当高差 h 相对于水平距离 l 不大时,则

$$l \Delta l = -\frac{h^2}{2L} \quad (2-3)$$

2. 平量法 如果直线的倾斜角较小,可以将钢尺放在水平位置丈量(图2-5)。丈量时,将尺子的一端抬高,用目估使尺子成水平,并用垂球或标杆将尺子的端点投到地面上,如量得 l_1 、 l_2 、 l_3 则

$$l = l_1 + l_2 + l_3$$

四、光电测距

用钢卷尺量距,工作十分繁重,效率很低,因此必须加以改进。近年来,应用光电测距仪测距,使量距工作发生了根本性的变革。因它具有测程长,精度和效率高,操作简便,劳动强度低等优点,深受国内外测量工作者的欢迎。

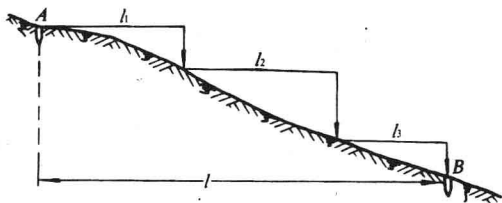


图2-5

以激光和红外光为载波的光电测距仪和以微波段的无线电波为载波的微波测距仪，统称为电磁波测距仪。光电测距仪，按测程的长短可分为，长程(20km以上)，中程(5~20km)和短程(5km以下)三类。长程一般都是激光测距仪，中、短程一般是红外光电测距仪。

光电测距的基本工作原理比较简单。如图2-6所示，设欲测定AB两点间的水平距离 l ，将光电测距仪架设在A点上，将反射棱镜架设在B点上。通过测定电磁波(光波或无线电波)在被测定距离 l 上往返所需的时间 t_{21} ，就可按下式计算距离：

$$l = \frac{C}{2} \cdot t_{21} \quad (2-4)$$

式中 C ——光波在空气中传播的速度(已知)。

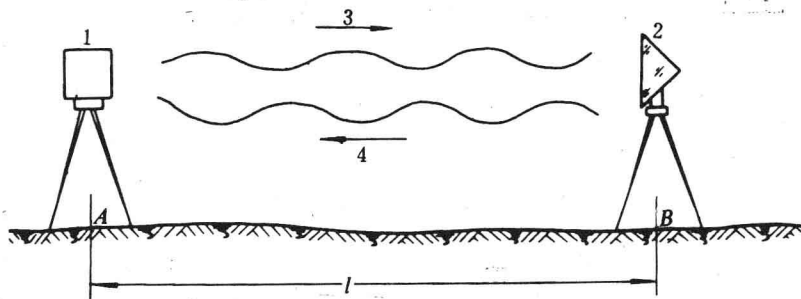


图2-6

1—光电测距仪；2—反射棱镜；3—发射波；4—接收波

一般来说用脉冲法直接测定时间 t_{21} 来测距，达到的精度比较低，其误差在 $\pm 1 \sim 5\text{m}$ 之间。精度较高的光电测距仪，则测定连续调制光波在待测距离上往返传播所产生的相位延迟，代替直接测定时间来测距，所以精度比较高。我国常州第二电子仪器厂前些年生产的JC—1型激光地形仪，属于用脉冲法测定时间的测距仪。图2-7a、b为该厂生产的DCH-1型短程红外测距仪及其反射棱镜，它是相位式测距仪，测程为1km，精度为 $\pm 1\text{cm}$ 。

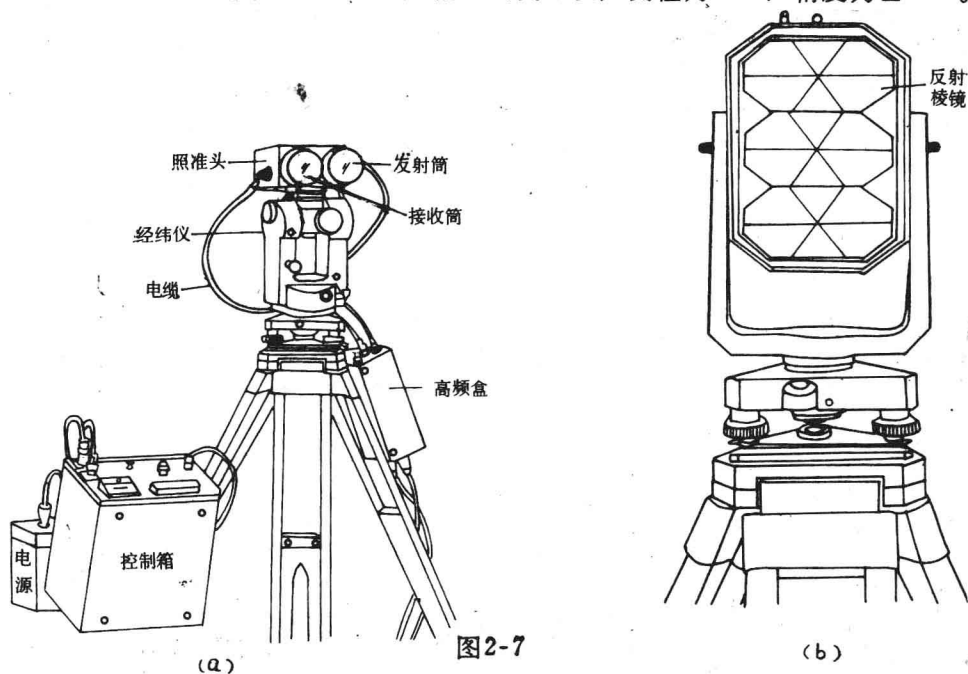


图2-7

第2—2节 直线定向

一、直线定向的概念

确定一直线与标准方向间的角度关系的工作，称为直线定向。在测量工作中常用的标准方向（三北方向）有：

（一）真子午线方向（真北方向）

过地球上某点的真子午线（真子午圈）的切线方向，称为该点的真子午线方向，或称真北方向。由于地球上各点的真子午线都是向南北两极收敛的，因此，地面上各点的真子午线方向不是平行的，而是相交的。相邻两真子午线方向间的夹角，称为子午线收敛角，以 γ 表示（见图2-8）。真子午线方向是用天文测量方法测定的。

计算子午线收敛角的近似公式如下：

$$\gamma = \Delta\lambda \sin\phi \quad (2-5)$$

式中 ϕ —— 相邻两点间的平均纬度；

$\Delta\lambda$ —— 该两点的经度差。

从式中可知，子午线收敛角 γ 随两点的经度差与纬度的高低而定。纬度愈低， γ 值愈小，当两点位于赤道上时， $\gamma=0$ ；反之两点在两极时，子午线收敛角为最大， $\gamma=\Delta\lambda$ 。在一般测量工作中，因直线的长度很短，所以 γ 很小，可忽略不计。

（二）磁子午线方向（磁北方向）

如图2-9，当在某点上的磁针自由静止时，磁针轴线方向即为该点的磁子午线方向，或称磁北方向（见图2-9）。磁子午线方向是借助于罗盘仪测定的。

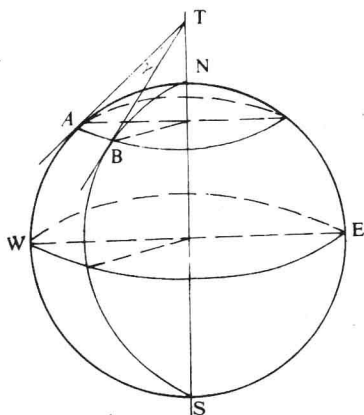


图2-8

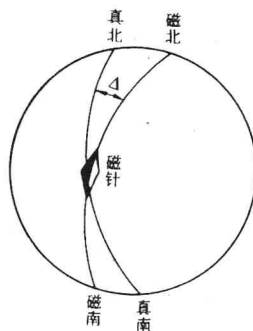


图2-9

由于磁极和地球两极并不重合，因此某点的磁子午线方向和真子午线方向间有一夹角，这个夹角称为磁偏角，以 Δ 表示。磁针北端偏向真子午线以东者称为东偏，偏向真子午线以西者称为西偏。测量上规定东偏为正，西偏为负。如南京汤山的磁偏角 Δ 为 $-5^{\circ}15'$ ，即表示该地的磁子午线偏于真子午线之西 $5^{\circ}15'$ 。我国各地磁偏角的范围，在 $+6^{\circ}$ 至 -10° 之间。

磁偏角的大小，不仅在不同的地点有变化，就是在同一地点因受电磁等的影响也会有微小的变化。因此，采用磁子午线方向作为标准方向，精度是比较低的，但用罗盘仪作直线定向很方便，所以在精度要求不高的测量中也经常采用。

(三) 坐标纵轴方向 (坐标北方向)

由于地面上各点的真子午线方向是不平行的, 因此为了计算方便, 在较小地区的测量中, 通常采用测区内平面直角坐标系的坐标纵轴作为标准方向。

二、方位角和限象角

在测量工作中, 常采用方位角或象限角表示一直线的方向。

1. 方位角 从标准方向的北端, 顺时针方向到某直线的水平角, 称为该直线的方位角。如图 2-10, 直线 OA 、 OB 、 OC 、 OD 的方位角相应为 30° 、 150° 、 210° 、 330° 。方位角的大小从 0° 至 360° 。

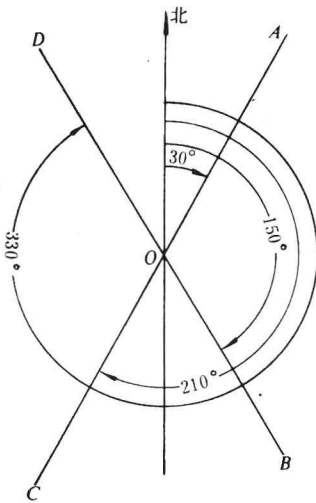


图2-10

以真子午线方向为起始方向的称为真方位角 ($\alpha_{真}$)。以磁子午线方向为起始方向的称为磁方位角 ($\alpha_{磁}$)。如已知某地区的磁偏角, 则真方位角和磁方位角可以用下式换算 (见图 2-11a、b)。

$$\alpha_{真} = \alpha_{磁} + \Delta \quad (2-6)$$

磁子午线东偏时, Δ 取正号, 西偏时, Δ 取负号。

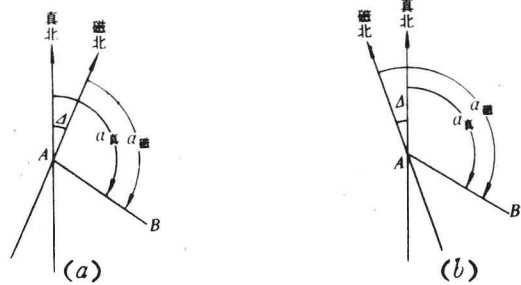


图2-11

如以坐标纵轴方向为起始方向, 则直线的方位角称为坐标方位角, 以 α 表示。在这种情况下, 任何地点直线的坐标方位角, 它们的起始方向都是平行的, 因此, 任何直线的正坐标方位角 (如 α_{AB}) 和它的反坐标方位角 (α_{BA}) 相差 180° (见图 2-12), 即

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180^\circ \quad (2-7)$$

这样, 可不考虑子午线收敛角, 计算时很方便, 故测量工作中常采用坐标方位角。

2. 象限角 在实际工作中, 有时用锐角表示直线的方向比较方便。一直线和标准方向间的锐角, 称为该直线的象限角, 以 R 表示。它是由标准方向的南端或北端, 按顺时针或反时针方向量至该直线的角度, 其大小从 0° 至 90° 。根据采用的标准方向不同, 象限角也有真象限角, 磁象限角和坐标象限角之分。由于象限角可以自北端或南端量起, 所以表示直线的方向时, 不仅要注明其角度大小, 而且要注明其所在的象限。图 2-13 中 OA 、 OB 、 OC 、 OD 四直线和图 2-10 中的方向完全相同, 但在图 2-13 中是以象限角表示的。如 OA 线的方位角 $\alpha = 30^\circ$, 其象限角为北偏东 30° (或东北 30°)。这里要注意的是, 不能写成东偏北 60° , 因为, 标准方向是南北方向, 而不是东西方向。

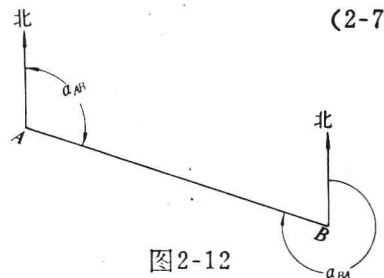


图2-12