

中等专业学校教学用书

煤矿测量

白裕良 高安福 编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书比较系统、简明地阐述了煤矿测量基本知识。内容包括测量的一般基本知识,测量仪器的构造、使用,导线测量,地形图的测绘及其应用,地质勘探和建井时期的工程测量,联系测量,巷道及贯通测量,矿图及保护煤柱的设计等。

本书为煤炭中等专业学校非测量专业的《煤矿测量》课程教学用书,亦可供煤矿工程技术人员参考。

责任编辑:聂孟荀

中等专业学校教学用书

煤 矿 测 量

白裕良 高安福 编

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 $10^{1/2}$
字数 243 千字 印数1-26,120
1983年2月第1版 1983年2月第1次印刷
书号15035·2530 定价1.15元

前 言

本教材是根据煤炭部教育司审定的煤炭中等专业学校地下采煤、矿井建设、综合机械化采煤、矿井地质与煤田地质勘探等专业《煤矿测量》教学大纲编写的。除适用于上述专业外,可供煤炭技工学校有关专业或测量训练班使用,亦可供从事矿山测量的技术人员参考。

内容包括测量学的基本知识、经纬仪及角度测量、平面测量、高程测量、地形图的识读与应用、地形图测绘、煤田地质勘探工程测量、建井时期的测量工作、联系测量、巷道测量、巷道施工测量、贯通测量、矿图、岩层移动与保护煤柱以及习题、附录等,以便各校根据不同的专业选用。

本教材由重庆煤矿学校白裕良编写第一、三、五、七、八、十、十一、十三、十四章,高安福编写第二、四、六、九、十二章及附录。全书由易子乾审阅。书中插图请重庆中梁山煤矿郑苑贤同志描绘。在编写过程中,得到了有关兄弟院校和生产单位的支持与帮助,对此表示衷心感谢。

由于我们水平有限,编写时间仓促,书中缺点错误难免,恳求读者批评指正。

编 者

一九八一年十二月

目 录

第一章 测量学的基本知识.....	1
§ 1-1 测量学的任务和作用	1
§ 1-2 比例尺	1
§ 1-3 测量工作概述	2
§ 1-4 地面点位置的确定	3
§ 1-5 直线定向	6
§ 1-6 测量误差概念	8
第二章 经纬仪及角度测量.....	13
§ 2-1 水平角测量原理	13
§ 2-2 光学经纬仪	13
§ 2-3 游标经纬仪	16
§ 2-4 水平角观测	18
§ 2-5 竖直角观测	21
第三章 平面测量	25
§ 3-1 平面测量概念	25
§ 3-2 计算坐标与方位角的基本公式	27
§ 3-3 经纬仪导线测量	30
§ 3-4 经纬仪测角交会法	36
§ 3-5 线形三角锁	43
第四章 高程测量	50
§ 4-1 概述	50
§ 4-2 水准测量原理	50
§ 4-3 水准测量的仪器和工具	51
§ 4-4 水准测量的外业	53
§ 4-5 水准测量的内业	55
§ 4-6 四等水准测量	57
§ 4-7 三角高程测量	59
第五章 地形图的识读与应用.....	63
§ 5-1 地形图符号	63
§ 5-2 等高线	64
§ 5-3 地形图的识读	67
§ 5-4 地形图的应用	68
第六章 地形图测绘	72
§ 6-1 视距测量原理	72
§ 6-2 测图前的准备工作	75
§ 6-3 平板仪测图	77
§ 6-4 经纬仪与小平板仪联合测图	81

§ 6-5	测站点的增设	83
§ 6-6	地形图的拼接、整饰与检查	85
第 七 章	煤田地质勘探工程测量	87
§ 7-1	概述	87
§ 7-2	地质填图测量	87
§ 7-3	地表揭露工程测量	88
§ 7-4	钻探工程测量	89
§ 7-5	地质剖面测量	92
第 八 章	建井时期的测量工作	95
§ 8-1	标定工作的基本方法	95
§ 8-2	竖井井筒中心与井筒十字中线的标定	97
§ 8-3	竖井掘进、砌壁和装备时的测量	98
§ 8-4	冻结法掘进井筒测量	102
§ 8-5	井底车场掘进测量	104
第 九 章	联系测量	109
§ 9-1	概述	109
§ 9-2	平面联系测量	109
§ 9-3	高程联系测量	114
第 十 章	巷道测量	117
§ 10-1	巷道平面测量	117
§ 10-2	巷道高程测量	119
§ 10-3	罗盘仪测量	121
第 十 一 章	巷道施工测量	124
§ 11-1	概述	124
§ 11-2	直线巷道中线的标定	124
§ 11-3	曲线巷道中线的标定	126
§ 11-4	巷道腰线的标定	128
§ 11-5	激光指向	131
第 十 二 章	贯通测量	133
§ 12-1	概述	133
§ 12-2	水平巷道的贯通	133
§ 12-3	倾斜巷道的贯通	134
§ 12-4	竖直巷道的贯通	136
第 十 三 章	矿图	138
§ 13-1	概述	138
§ 13-2	标高投影	138
§ 13-3	采掘工程图	142
§ 13-4	主要巷道平面图	146
§ 13-5	井上下对照图	147
第 十 四 章	岩层移动与保护煤柱	149
§ 14-1	岩层与地表移动概念	149
§ 14-2	确定移动角的方法	152

§ 14-3 保护煤柱的留设	155
附录	157
I、测量上常用的计量单位	157
II、经纬仪的检验与校正	157
III、微倾水准仪的检验与校正	159

第一章 测量学的基本知识

§ 1-1 测量学的任务和作用

测量学是研究地球形状、大小和地面点之间相对位置的一门科学。它是为人们了解和改造自然服务的。测量学是一门应用科学，和其他科学一样，它是随着生产的需要而产生的，并在实践中得到发展。

测量学的研究对象是地球表面，由于地球是一个椭球体，当地球表面某一个大区域投影在平面上时，需要考虑到地球的曲率，这属于大地测量学的范畴；大地测量学的主要任务是研究布设全国基本大地控制网，它在卫星发射、地震预报、天文、重力等学科中有着广泛的应用。为了国民经济建设的需要，取地球表面某一个小区域进行研究，这时可以近似地将地球表面当作平面，而不考虑地球曲率的影响，这属于普通测量学的范畴。由于现代科学的发展，使测量方法逐步更新，采用遥感照片以及地面、空中摄影的像片来研究地球表面，这属于摄影测量学的内容。为了满足国防、科研、厂矿、城市、农田水利、交通运输等方面的勘测设计和施工放样等任务，就需要工程测量学的知识；工程测量学是以某一工程的测量作为研究对象。例如矿山测量就是属于工程测量的范畴。

本课程的主要任务是：

1. 学习普通测量学的基本内容，用测量仪器、工具测绘地球表面某一小区域的地面要素，按一定比例尺缩绘成图，亦称测绘。
2. 学习矿山测量的基本内容，将煤矿建设和生产中的各种设计图纸，按照它们的几何关系，用测量仪器、工具，测设到地面或井下，亦称标定。

在开发矿业的过程中，要经过普查，详查和精查三个阶段，需要测绘矿区地形图，标定勘井、钻孔位置，以便地质人员作勘探设计，分析计算煤的储量，厚度等。然后根据地质资料进行矿井设计，例如决定开拓方式、井田划分、广场布置等。为此，要用测量仪器和工具将矿区内设计对象标定到实地上。在建井期间和进行生产的过程中，都需要大量的日常测量工作，不仅要准确测绘各种矿图，正确标定井上下各设计对象的位置，还要为编制采掘生产计划提供可靠的测绘资料。由此可见，测量学在煤矿建设中起着十分重要的作用。

我们学习本课程的目的是：懂得测量工作的基本原理；掌握常用的测量仪器和工具的使用方法；能应用测量资料去解决工程中的有关问题，在必要时也能完成一般的测量工作。因此，要求我们为实现四个现代化而勤奋地学习测绘技术，为开发矿业做出贡献。

§ 1-2 比 例 尺

地面上的地形、地物不可能按真实大小描绘在图纸上，在生产实践中，通常是将实际尺寸缩小若干倍表示在图上。图上线段与实地上相应线段的水平投影之比，称为图的比例尺。

图的比例尺通常用分子为1的分数形式表示。设图上某线段长度为 l ，实地上相应线

段水平投影长度为 L ，则图的比例尺为

$$\frac{1}{M} = \frac{l}{L} \quad (1-1)$$

式中 M ——比例尺的分母。

在煤矿工作中，我们常见的图纸比例尺有 $\frac{1}{200}$ ， $\frac{1}{500}$ ， $\frac{1}{1000}$ ， $\frac{1}{2000}$ ， $\frac{1}{5000}$ 。这些属于大比例尺图；还有一些不常见的中比例尺图，有 $\frac{1}{1万}$ ， $\frac{1}{2.5万}$ ， $\frac{1}{10万}$ ，小于 $\frac{1}{10万}$ 的称为小比例尺图。

我们知道了一幅图的比例尺，就可以根据图上长度求地面相应的水平长度；也可以将地面的水平长度换算为图上的相应长度。例如在比例尺为 $1:5000$ 的图上，某一直线长度 l 为 2.38 厘米，则地面上相应的水平长度 L 为

$$L = M \cdot l = 5000 \times 2.38 \text{ 厘米} = 119 \text{ 米}$$

又如在测绘比例尺为 $1:1000$ 的地形图时，测得地面两点间的水平长度 $L = 100$ 米，换算为图上的长度 l 为

$$l = \frac{L}{M} = \frac{100 \text{ 米}}{1000} = 10 \text{ 厘米}$$

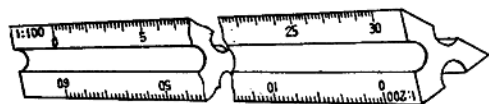


图 1-1

为了绘图和用图方便，人们根据比例尺的原理制成三棱尺（又称缩尺），将尺子做成三棱柱体，刻上六种不同比例尺的刻度。使用时，根据图的比例尺，在三棱尺上找出相应的一棱，直接从尺上读出图上的距离或实地距离。

三棱尺的形式见图1-1。

绘图时，由于图纸的干湿程度不同，在使用过程中，将会产生伸缩变形。用三棱尺在图上量的距离，必然含有图纸的变形误差。如果我们在绘图时，将比例尺也绘在图上，量距时以图上的比例尺为准，则可克服上述缺点。图上的比例尺称直线比例尺，一般绘在图纸下方。直线比例尺的形式见图1-2。这种比例尺的绘制方法是：在一直线段上截取若干相等的基本单位，一般为二厘米或四厘米，将最左边一段基本单位分成十或二十等分，然后在右边分点上注零；自零起向左向右分别注记各线段代表的实地长度。使用时，用分规量出图距，移至直线比例尺上，使分规一脚尖对准零右边的一个分划线上，另一脚尖读取左边的小分划，并估读零数，如图1-2中，读出 98 米。

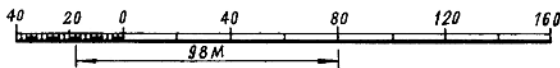


图 1-2

§ 1-3 测量工作概述

测量工作按其性质分为外业和内业两个部分。外业是指室外的施测工作，即用各种测

量仪器和工具在现场直接测定各点间的距离（水平的，倾斜的，垂直的），测定各直线间的夹角（水平角，倾斜角），并记录在测量手簿中。内业是指室内的工作，它是根据外业原始测量数据进行整理，计算，从而确定各点的相对位置。

根据 § 1-1 所述，我们研究的对象是地球表面某一小区域，在这个范围内有各种要素，不仅有自然物体和人工建筑物，如房屋，道路，河流，湖泊等，还有高低起伏和倾斜缓急的自然表面，如山岭，丘陵，平原，洼地等。前者称为地物，后者称为地貌。

测量工作的目的是将地面上某一区域内的全部地物、地貌的轮廓按其水平投影，按规定的符号和比例尺准确地测绘在图纸上，成为地形图。

在测量过程中，由于不可避免地产生误差，因此必须采取正确的程序和方法，以控制误差的累积。例如在测量众多的导线点时，如果从一点开始，逐点进行施测，前一点的测量误差就会传递到后一点上，这样累积下去，误差会越积越大，最后一点的位置误差将会达到不可容许的程度。

为了控制测量误差积累，提高测量精度，人们在长期的实践过程中，总结出了测量工作应遵循的原则是：“由高级到低级，由整体到局部”，“先控制后碎部”。例如，在图 1-3 中，先在测区内选择一些具有控制意义的测点 1, 2, ……；将这些点的位置精确地测绘出来，作为控制点。然后以这些控制点为依据，测量各房角的碎部点，最后绘制成图。因此测量工作包括控制测量和碎部测量。

在一个测区内，具有控制意义的点子，称为控制点；由所有控制点组成的几何图形，称为控制网。测定控制点的平面位置，称为平面测量；测定控制点的高程，称为高程测量。这些点的平面和高程位置确定之后，以它们为根据，测定其附近地物、地貌的特征点，称为碎部测量，亦称地形测图。

综合上述，当我们为了研究地球表面某一小区域而需要测绘地形图时，应首先在整个测区建立控制网，然后分成若干局部地区，同时施测碎部，最后绘制成某一地区的地形图。

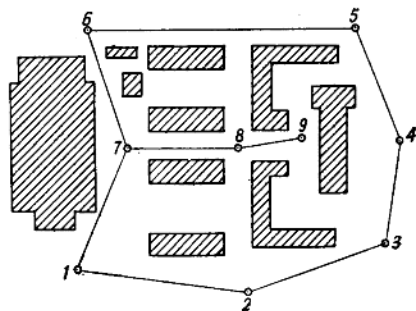


图 1-3

§ 1-4 地面点位置的确定

测量工作的任务是确定地面点的空间位置，即确定该点在球面或平面上的投影位置以及该点的高程。

一、大地水准面与高程的概念

测量工作是在地球表面上进行的，地球上有高山、深谷、丘陵、平原、河流、湖泊及海洋等等；在地球表面，大陆约占 29%，海洋约占 71%。地球的半径约为 6371 公里，地球上最高处不超过 10 公里，它和地球的半径相比是很微小的，因此，我们可以把地球总的形状看作是一个球体。

由于海洋约占整个地球表面积的三分之二，因此，我们可以认为，地球大体上是一个被海水包围着的球体。

假想静止的海水面（即在没有波浪和潮汐影响下）无限延伸，穿过大陆和岛屿围成了一个封闭曲面，我们称这个曲面为水准面。事实上，海水面受波浪和潮汐的影响，并不能完全静止，故水准面有无数多个，其中通过平均海水准面的水准面叫做大地水准面。大地水准面是确定地面点位置的基准面，将地面点垂直投影到大地水准面上，它的位置也就确定了。

我国在青岛设立验潮站，长年累月观测黄海水面的变化情况，确定黄海平均海水面作为大地水准面。这个大地水准面不仅是地面点位置的投影面，而且是高程的起算面。

因此，在测量工作中，我们不仅要测定地面点在大地水准面上的投影位置，还要测定该点沿投影方向到基准面上的距离。地面点到大地水准面的铅垂距离称为高程，亦称海拔或绝对高程。如图1-4中， H_A 和 H_B 表示地面A点和B点的高程。全国统一高程系，是以黄海平均海水面为起算的。如果某测区没有国家高程起算点，则可以假定一个水准面作为高程的起算面。

地面点到假定水准面的铅垂距离称为假定高程，亦称相对高程。如图1-4中， H'_B 表示B点的相对高程或假定高程。在高程起算面上，高程为零。在大地水准面以上为正值，反之则为负值。地面上任意两点的高程之差称为高差，用 h 表示，如图1-4中，A至B的高差为：

$$h_{AB} = H_B - H_A$$

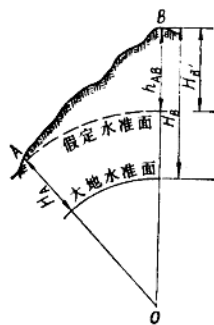


图 1-4

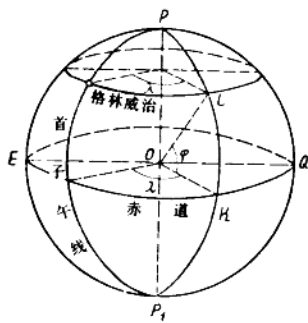


图 1-5

二、地理坐标

当我们研究大区域或整个地球的时候，地面点在大地水准面上的投影位置通常是用经度和纬度表示的。某点的经、纬度称为该点的地理坐标。如图1-5所示， PP_1 为地球的自转轴，称为地轴。地球的中心 O 称为球心。地轴与地球表面的交点 P 、 P_1 ，分别称为北极与南极。垂直于地轴的平面与地球表面的交线称为纬线。通过球心 O 且垂直于地轴的平面称为赤道平面，它与球面的交线，称为赤道。通过地轴和地球上任一点 L 的平面 $PLKP_1$ 称为 L 点的子午面，该面与地球表面的交线称为子午线（又叫经线）。国际上规定通过英国格林威治天文台的子午面为首子午面，作为计算经度的起点。

L 点的经度是该点的子午面与首子午面所构成的二面角，以 λ 表示。经度由首子午线起向东、向西量度，由 $0 \sim 180^\circ$ 。在首子午线以东者称为东经，以西者称为西经。

L 点的纬度是通过该点的铅垂线与赤道面之间的夹角，以 φ 表示。纬度以赤道为基准，向南、向北各由 $0 \sim 90^\circ$ ，在赤道以北者称为北纬，以南者称为南纬。

三、高斯平面直角坐标

地球表面是曲面，若将其一部分展成平面，不可避免的要产生变形。为了使这种变形误差不影响图纸的使用，目前我国采用高斯投影分带法，现仅从几何关系上作简要说明。

如图1-6所示，设想把一个平面卷成圆柱形，把它套在地球外面，使圆柱面恰好与球面上的某一子午线相切(图中与 POP_1 相切)，这条子午线称为中央子午线或称为轴子午线。如果在球面上以不同的子午线分别与圆柱面相切，则可把地球分成若干范围不大的带，例如每隔经差 6° 投影一带。然后，将圆柱的母线切开，展为如图1-7所示的平面。

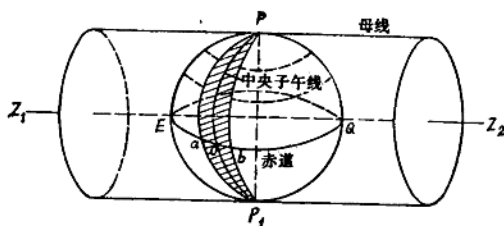


图 1-6

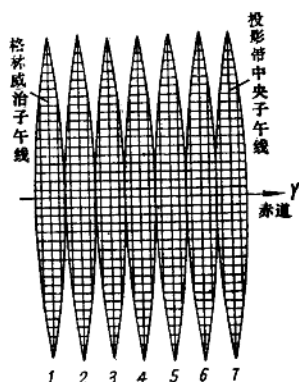


图 1-7

分带投影是从首子午线开始，依次向东每隔经度 6° 划分为一个带，全球共分成60个带，每一个 6° 带的中央子午线经度依次为 $3^\circ, 9^\circ, 15^\circ, \dots$ 。设 λ_0 为中央子午线的经度， N 为投影带的号数，两者之间的关系为

$$\lambda_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-2)$$

将每个 6° 带展成平面后依次连接起来，如图1-7所示。在每个投影带里，以中央子午线为X轴，赤道为Y轴，两轴的交点为坐标原点，则组成了高斯平面直角坐标系。若按一定间隔，作一系列平行于纵横轴的直线，便构成了坐标网格(见图1-7)。并规定X轴向北为正，Y轴向东为正，象限按顺时针编号(见图1-8a)。此种规定与数学上的直角坐标是不同的，测量上的象限顺序也与数学上的象限顺序相反，测量工作中规定所有直线的方向都是从纵轴北端顺时针方向量度的，这样变换，既不改变数学公式，又便于测量上的方向和坐标计算。

我国位于北半球，X坐标均为正号，Y坐标值有正负，如图1-8a所示， $y_A = +37,680$ 米， $y_B = -74,240$ 米。为了避免出现负值，使用方便，将每带的坐标原点西移500公里，则每点的横坐标值均为正号。如图1-8b所示， $y_A = 500,000 + 37,680 = 537,680$ 米； $y_B = 500,000 - 74,240 = 425,760$ 米。这样，凡位于轴子午线以东地区，横坐标值都大于500公里，而位于轴子午线以西地区，横坐标值都小于500公里。

为了确定地面点位于哪一带内，则应在横坐标前加上带号，例如A点位于第20带内，则横坐标 y_A 为20,537,680米。上述所说的X、Y坐标称为全国统一的高斯平面直角坐标，简称国家坐标。

由于高斯分带投影将会产生一定的变形，在大比例尺测图中，必须将这种变形误差限

制在一定范围内,故采用 3° 投影分带。它是从东经 $1^\circ 30'$ 起,每隔经度 3° 划分一带,整个地球共分120带,每带中央子午线的经度依次为 $3^\circ, 6^\circ, 9^\circ \dots$ 。设 λ_3 为中央子午线的经度, N 为投影带的号数,两者之间的关系为

$$\lambda_3 = 3N \quad (1-3)$$

6° 带与 3° 带的中央子午线经度是一致的,我国由东经 75° 起,分别每隔 6° 或 3° 进行累计,直至东经 135° 止。

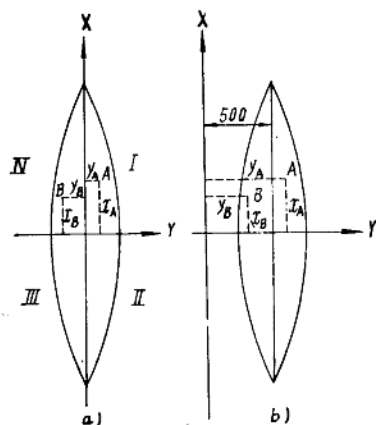


图 1-8

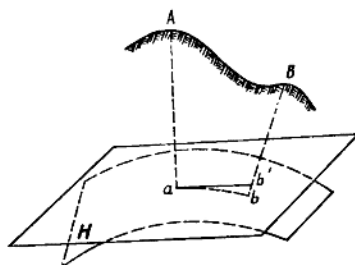


图 1-9

四、独立平面直角坐标系

对于小区域的煤矿测量,没有国家坐标时,可以采用独立平面直角坐标系。这时,用测区的中心切平面H来代替大地水准面,如图1-9所示,并把坐标原点选择在测区的西南角,以子午线作为坐标纵轴。

面积超过100平方公里的矿区,应采用高斯平面直角坐标系。

综合上述,在测量工作中确定地面点的空间位置时,无论采用高斯平面直角坐标或独立平面直角坐标,都须有 X, Y, H 三个要素。

§ 1-5 直线定向

确定一条直线与标准方向线的夹角关系称为直线定向。标准方向线可以是指真子午线、磁子午线和坐标纵线。通过地面上一点,指向地球南北极的方向称为该点的真子午线方向,它是用天文方法测定的。通过地面上一点指向地球南北磁极方向称为该点的磁子午线方向,它是用罗盘来测定的。某一点的磁子午线方向与真子午线方向之间的夹角称为磁偏角,以 δ 表示(见图1-10);磁子午线北端偏向真子午线以东者称为东偏,为 $+\delta$;反之,偏向真子午线以西者称为西偏,为 $-\delta$ 。

一、方位角

确定直线的方位也就是确定直线与标准方向之间的夹角。从标准方向线的北端起顺时针量至某一直线的夹角,称为该直线的方位角,角值为 $0 \sim 360^\circ$ 。如图1-11所示,直线OA, OB, OC, OD的方位角分别为 $70^\circ 21'$, $145^\circ 30'$, $235^\circ 40'$, $330^\circ 12'$ 。

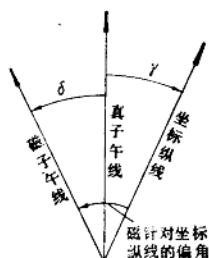


图 1-10

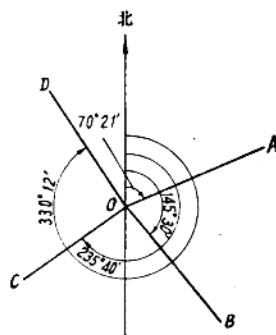


图 1-11

当标准方向为真子午线时，称为真方位角；当标准方向为磁子午线时，称为磁方位角；当标准方向为直角坐标系的坐标纵轴时，称为坐标方位角。设 $\alpha_{真}$ 为真方位角， $\alpha_{磁}$ 为磁方位角， δ 为磁偏角，从图1-10可以看出，真方位角与磁方位角、磁偏角的关系式为

$$\alpha_{真} = \alpha_{磁} \pm \delta \quad (1-4)$$

当已知某地区的磁偏角时，只要测得某直线的磁方位角，即可按上式算出相应的真方位角。

由于子午线向地球两极收敛而直角坐标系的坐标纵轴是互相平行的（见图1-7），设 α 为坐标方位角， γ 为子午线收敛角，从图1-10可知，真方位角与坐标方位角的关系为

$$\alpha = \alpha_{真} \pm \gamma \quad (1-5)$$

式中 γ 东偏为正，西偏为负。

将式（1-4）代入式（1-5），即可得到坐标方位角与磁方位角、磁偏角、子午线收敛角的关系式

$$\alpha = \alpha_{磁} \pm \delta \pm \gamma \quad (1-6)$$

使用上式时，必须注意 δ 与 γ 应取的符号。

二、坐标方位角

在测量学的范围内，通常采用平面直角坐标系，因此，一般都是用坐标方位角来确定直线的方向。

从坐标纵轴的北端顺时针量至某一直线的夹角称为该直线的坐标方位角，简称方位角，通常用 α 表示（见图1-12）。由于平面直角坐标系内直线上各点的起始方向彼此平行，故一直线上各点的坐标方位角都相等，例如图1-12中 $\alpha_{AB} = \alpha_{AC} = \alpha_{BC}$ 。

直线前进方向的坐标方位角称为正坐标方位角，其相反方向的坐标方位角称为反坐标方位角。在直角坐标系内，同一条直线的正反坐标方位角相差 180° ，即

$$\alpha_{正} = \alpha_{反} \pm 180^\circ \quad (1-7)$$

在图1-12中， $\alpha_{AB} = \alpha_{BA} - 180^\circ$ 。

三、象限角

从标准方向的北端或南端，顺时针或逆时针量至某一直线的锐角，称为该直线的象限角，用 R 表示。如图1-13所示，其角值均在 $0 \sim 90^\circ$ 之间，所以若用象限角定向时，除了需

要知道它的数值外,还应知道直线所在象限的名称。图1-13中,直线OA的象限角表示为北东 $70^{\circ}21'$ 或NE $70^{\circ}21'$ 。

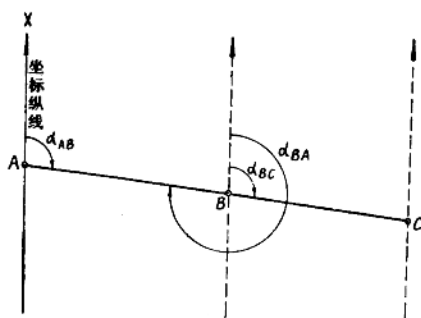


图 1-12

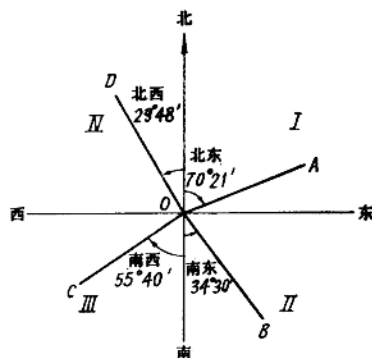


图 1-13

象限角与方位角的换算关系见表1-1。

表 1-1

直 线 方 向	由象限角求方位角	由方位角求象限角
象限 I (北东)	$\alpha = R$	$R = \alpha$
象限 II (南东)	$\alpha = 180^{\circ} - R$	$R = 180^{\circ} - \alpha$
象限 III (南西)	$\alpha = 180^{\circ} + R$	$R = \alpha - 180^{\circ}$
象限 IV (北西)	$\alpha = 360^{\circ} - R$	$R = 360^{\circ} - \alpha$

§ 1-6 测量误差概念

测量工作是由观测者使用仪器、工具,按照一定的操作方法,在一定的外界条件下进行的。由于观测者的感觉器官和鉴别能力有限,仪器和工具又不可能完美无缺,以及外界条件的不断变化,都会使测量成果产生不可避免的误差。例如对地面上某一段距离反复进行丈量,其结果必然产生差异;反复观测平面三角形的三个内角,其和可能不等于 180° 等等。因此,观测值与理想的真值存在着差异,这种差异称为误差。

一、测量误差种类

测量误差按其性质分为系统误差和偶然误差两类。

在相同的观测条件下,作一系列观测,如果观测误差在大小、符号上表现一致性,或按一定的规律变化着,或者保持常数,那么这类误差就称为系统误差。例如钢尺名义长度为50米,经鉴定后,实际长度只有49.99米,如果用这根钢尺丈量了一整尺的距离,就要比实际长度大一厘米,这一厘米的误差在数值和符号上都是固定的,用该钢尺量距时,量的距离愈长,误差也就愈大。这就说明,系统误差有一定的规律性,当人们掌握了它的规律之后,就可设法减少或消除之。

在相同的观测条件下,作一系列观测,如果观测误差在大小、符号上都不表现出一致性,即每个误差的大小或符号从表面上来看,没有任何规律性,那么这种误差称为偶然误差。

差。例如用钢尺量距时，在尺上估读小数，有时偏大，有时偏小，这类误差就属于偶然误差。

偶然误差从表面上看是没有规律的，但是根据人们多次试验的资料证明，在相同的观测条件下，大量的偶然误差具有统计学的规律，归纳起来有四个特性：

1. 在一定的观测条件下，偶然误差的绝对值不会超过一定的界限；
2. 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会多；
3. 绝对值相等的正误差和负误差出现的机会相等；
4. 随着观测次数的无限增多，偶然误差的算术平均值趋近于零。即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0$$

式中 $[\Delta] = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \cdots + \Delta_n$ 。

第四个特性是由第三个特性导出的，因为在大量偶然误差中，正负误差有互相抵消的性能。当 n 无限增大时，真误差的算术平均值趋向零。

二、算术平均值

测量工作中，无论是测角或量边，往往都要进行几次，最后取算术平均值作为观测结果，观测的次数愈多，其算术平均值就愈接近真值。在测量中，把这种算术平均值称为最或然值，或者说最可靠的值。例如，对某一边长丈量六次，各次的结果为 $l_1, l_2, \cdots, l_6$ ，则平均值 $\bar{l}$ 为

$$\frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6}{6}$$

即

$$\bar{l} = \frac{[l]}{n} \quad (1-8)$$

设 X 为观测量的真值， Δ_i 为真误差，则有

$$\Delta_1 = l_1 - X$$

$$\Delta_2 = l_2 - X$$

.....

$$\Delta_n = l_n - X$$

将上式两端相加，并用方括号 $[\]$ 表示总和，则

$$[\Delta] = [l] - nX$$

等式两端同除以 n 有

$$\frac{[\Delta]}{n} = \frac{[l]}{n} - X$$

按偶然误差的特性， $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0$ ，则上式变为

$$X = \frac{[l]}{n} \quad (1-9)$$

从上式可见，算术平均值是最可靠的测量结果。事实上，测量工作不可能观测无限多次，故其算术平均值近似于真值。

三、评定精度的标准

测量工作不仅对某一个未知量进行多次观测, 求出最可靠的结果, 还必须对观测结果的精确程度作出评定, 用以检查成果质量的优劣。为此, 就要建立一种评定精度的标准, 我国通常采用中误差、容许误差和相对误差来评定观测结果的精度。

(一) 中误差

对一个未知量进行 n 次观测, 观测结果为 $l_1, l_2, \dots, l_n$, 设每个观测结果的真误差 (观测值与真值之差) 为 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ 。我们取各个真误差平方和的平均数的平方根作为评定精度的标准, 用 m 表示, 即

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} \quad (1-10)$$

上式中的 m 就是中误差 (又称均方误差), 中误差并不等于每个观测值的真误差, 它仅是这一组真误差的代表。当一组观测值的真误差愈大, 中误差也愈大, 它反映了观测结果的精度。

〔例〕 某个三角网分别由两个作业组进行观测, 各组测得的各组三角形闭合差为:

一组: $-2'', +5'', -8'', -3'', +9'', -5'', +2''$ 。

二组: $-1'', -3'', +4'', 0'', +9'', -13'', -4''$ 。

由式 (1-10) 计算各组观测值中误差为

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{212}{7}} = \pm 5.5$$

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{292}{7}} = \pm 6.4$$

上例表明, 第一组的观测精度比第二组高, 测量成果的质量比第二组好。

(二) 容许误差

偶然误差的第一个性质告诉我们, 在一定观测条件下, 偶然误差的绝对值不会超过一定的界限。如果测量中某一个观测值的误差超过了界限, 就认为这次观测的质量不符合要求, 该测量结果应该舍去, 我们把这个限值叫做容许误差。

根据误差理论以及大量实验数据表明, 观测值中大于两倍中误差的偶然误差出现的概率只有 5%, 大于三倍中误差者只有 0.3%, 因此, 在测量规范中, 一般采用二倍中误差作为容许误差, 即

$$\Delta_{\text{容}} = 2m \quad (1-11)$$

(三) 相对误差

对于评定观测值的精度, 有时单靠中误差还不能完全表达观测结果的好坏。例如, 我们丈量了两段距离, 一段长为 100 米, 另一段长为 200 米, 其中误差都为 ± 2 厘米, 能不能说两段观测值的精度相同呢? 显然不能。因为丈量距离的精度与距离本身的长短有关。为此, 采用相对误差来评定量距的精度。

相对误差的定义是误差之绝对值与观测量本身之比。相对误差是无名数, 通常以分子为 1 的分数形式表示。即

$$K = \frac{|m|}{l} = \frac{1}{\frac{l}{|m|}} \quad (1-12)$$

在上例中, 距离为100米的相对误差为

$$K_1 = \frac{0.02}{100} = \frac{1}{5000}$$

而距离为200米的相对误差为

$$K_2 = \frac{0.02}{200} = \frac{1}{10000}$$

计算结果表明, 第二段距离比第一段距离量得准确些。当然, 在误差的大小和观测量的大小无关时, 例如角度测量, 就不能采用相对误差来评定精度, 而仍用中误差来评定测角精度。

复 习 题

1. 何谓比例尺? 设比例尺分别为1/500, 1/1000, 1/2000, 1/5000, 现量得实地长度为127米, 图上长度分别是多少? 若图上长度为2.7厘米, 实地长度分别是多少?

2. 测量工作应遵循的原则是什么?

3. 何谓大地水准面? 何谓绝对高程、相对高程、高差?

4. 某地位于高斯6°投影带的第18带内, 试确定该带的中央子午线经度? 若采用3°分带, 该地位于多少带内?

5. 某点的坐标值为: $X = 6070$ 公里, $Y = 19307$ 公里, 试说明其坐标值的含义。

6. 何谓方位角、磁方位角、坐标方位角、象限角?

7. 将下列方位角换算为象限角: $35^\circ 42' 12''$, $300^\circ 00' 00''$, $90^\circ 00' 00''$, $165^\circ 43' 07''$, $257^\circ 14' 06''$, $359^\circ 05' 00''$ 。

8. 将下列象限角换算为方位角: $NW10^\circ 15' 45''$, $NE30^\circ 30' 36''$, $SW35^\circ 17' 08''$, $SE82^\circ 42' 20''$ 。

9. 请标出图1-14各线段中的指北方向:

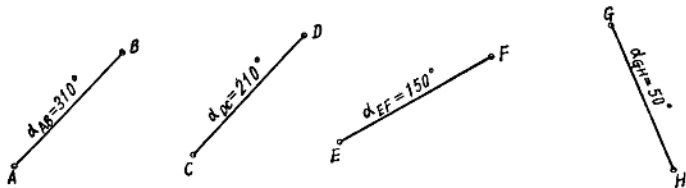


图 1-14

10. 求下列两方向线间的夹角:

图1-15中, $\alpha_{OA} = 350^\circ 17' 20''$, $\alpha_{BO} = 255^\circ 45' 10''$, 求 β 为多少?

图1-16中, $\alpha_{AB} = 55^\circ 13' 10''$, $\alpha_{OD} = 103^\circ 07' 20''$, 求 β_1 与 β_2 分别为多少?