

测 量 学

(地质系用)

中南矿冶学院矿山系工程测量教研室地形组编

一九八〇年九月

第一章 测量学的基本知识

§ 1—1	测量学概述	(1)
§ 1—2	测量学在地质勘探工作中的作用	(1)
§ 1—3	地球的形状和大小	(2)
§ 1—4	确定地面点位置的坐标系统	(3)
§ 1—5	直线定向	(7)
§ 1—6	比例尺	(9)
§ 1—7	测量工作概念	(12)

第二章 测量仪器及其使用

§ 2—1	距离测量	(15)
§ 2—2	水准仪及水准测量	(20)
§ 2—3	经纬仪及角度测量	(24)
§ 2—4	视距测量	(33)
§ 2—5	平板仪及平板仪测量	(37)

第三章 测量误差概念

§ 3—1	测量误差与精度	(42)
§ 3—2	偶然误差的特性	(43)
§ 3—3	测量精度的衡量	(44)
§ 3—4	算术平均值原理	(46)
§ 3—5	近似数及其误差	(47)

第四章 控制测量

§ 4—1	控制测量概述	(52)
§ 4—2	经纬仪导线测量	(54)
§ 4—3	经纬仪交会测量	(58)
§ 4—4	小三角测量	(61)
§ 4—5	水准测量	(65)
§ 4—6	三角高程测量	(67)

第五章 地形测图

§ 5—1 地形测图概述·····	(74)
§ 5—2 测绘地形图的方法·····	(76)
§ 5—3 地物和地貌的表示·····	(76)
§ 5—4 地形图的简易测绘——草测·····	(81)

第六章 地形图及其应用

§ 6—1 地形图的概念·····	(87)
§ 6—2 地形图的分幅和编号·····	(87)
§ 6—3 地形图的判读·····	(92)
§ 6—4 地形图的应用·····	(96)

第七章 地质勘探工程测量

§ 7—1 物探网及勘探网的测设·····	(107)
§ 7—2 剖面测量·····	(111)
§ 7—3 钻孔、探井及探槽等位置测量·····	(112)
§ 7—4 地质填图测量·····	(113)

第八章 航空地质的摄影测量基础

§ 8—1 航空地质的发展概况和遥感简介·····	(115)
§ 8—2 航空象片的一般知识·····	(117)
§ 8—3 航空象片的立体观察和量测·····	(122)
§ 8—4 航空象片的地质判读·····	(126)
§ 8—5 卫星象片基本知识简介·····	(129)

第一章 测量学的基本知识

§ 1—1 测量学概述

测量学是研究地球的形状和大小的科学。根据研究对象的不同,测量学分支成许多专门的学科。研究大区域甚至整个地球的形状和大小的称为大地测量学。研究小区域地球表面的形状和大小,并按一定比例尺缩绘成地形图的称为地形测量学。利用摄影象片进行各种测量工作的称为摄影测量学。地表面的象片可以在地面摄得,也可以从空中摄得,由于摄影方式的不同,摄影测量又分为地面摄影测量学和航空摄影测量学。为城市、交通、工矿、农村和水利等各项建设事业服务的称为工程测量学。利用测量所得的成果,研究如何编制、印刷和出版各种地图和专用图的称为制图学。

测量学和其他科学一样,是在人类生活生产需要的基础上产生的,以后随着生产的发展以及其它科学的进步而逐渐发展起来。远在奴隶社会时期,为了测出被洪水淹没地的土地上的边界,就开始应用测量学的知识。在测量学发展过程中,我国发明的指南针、乔芬德创立的代数学、欧几里德对几何学以及托拉梅对天文学和三角学的贡献,都大大地促进了测量学的发展。本世纪以来,由于精密仪器制造业的发展,使测量仪器的精度得到了进一步的提高。最近二十多年,由于近代光学和电子科学的发展为测量科学开辟了广阔的发展途径,测量学在应用这些新技术方面已经取得了巨大的成就,如激光测距、电子计算机等已逐步推广应用。对于人造地球卫星的观测与综合利用的研究正在深入进行,利用卫星遥感资料绘制地形图、地质图及解决其它各种问题,也已取得了重大的成就。

我国在测量上的贡献也有悠久的历史。公元二世纪,张衡制成浑天仪,进行了天文观测;公元三世纪,裴秀综合前人的经验,编制了“制图六体”,这是世界上最早的制图规范;……。后来,由于帝国主义的侵略,封建制度以及封建军阀和国民党反动派的罪恶统治,使测量学一直处于极为落后的状态。解放以后,在中国共产党的领导下,进行了伟大的社会主义建设,测绘事业获得了飞跃的发展。国家成立了测绘总局,领导、组织和开展各项测绘工作。为了培养测绘技术人材,相继成立了测绘院校和测绘专业。生产了大量的精密测绘仪器,改变了过去依赖进口的局面。各测绘部门进行了许多科学研究和完成了大量的测绘任务。例如,为配合治理黄河、淮河以及长江流域建设规划,为修建武汉长江大桥和南京长江大桥,修筑铁路、公路,为配合地质找矿、矿山开采等建设任务,均进行了大量的测绘工作,取得了很大的成绩。目前,广大测绘工作者表示,为了加快我国现代化建设的步伐,为尽早赶超世界先进水平,一定要树雄心,立壮志,继续作出更大的贡献。

§ 1—2 测量学在地质勘探工作中的作用

测量学在社会主义建设中,有着非常重要的意义,无论在交通运输、城市建设、农田水利以及国防事业都必须进行大量的测绘工作。

测量学在地质勘探方面也起着非常重要的作用。地质勘探的目的是为了开发地下矿产资源，找出有用矿物，并确定其形状、大小及储量。为达到此目的，地质工作各个阶段都必须进行有关的测绘工作，而且一定要走在前面。

在地质普查阶段，为了正确地理解地质构造和矿床的相互关系，查明矿床位置及其分布，通常要在地形图（某地面形状缩小许多倍的图叫地形图）上进行地质填图，把地面上各种地质点（如露头点）和地质界线精确地填绘在地形图上。

在地质勘探（包括物探）阶段中，为了查清矿体形状和储量，必须首先在地形图上进行勘探网（包括物探网）的设计，然后把图上设计的勘探网、钻孔、探槽、探井等工程位置，使用测量仪器，准确地测设到地面上，或者将地面上已竣工的工程位置测绘到图上。勘探网的测设，最基本的工作就是测角（水平角和倾斜角）及丈量距离。此外，地质工作者还要经常施测和绘制地质剖面图，计算矿物的储量，提交地质报告和各种地质图件，这些都必须使用地形图和利用各种测绘成果资料。近几年来，地震预报工作在我国取得了很大的成绩，其方法很多，用精密测量方法测定地壳升降与位移来预报地震则为重要的手段之一。

利用航空摄影象片及卫星遥感资料，解释岩性、地层、地质构造及水文地质条件等，并借助现代化航测成图仪器及电子计算机系统绘制地形地质图，这已发展成为一门新技术——航空地质或航天遥感地质。

所有以上各项工作，都要求地质工作者必须懂得一定的测量知识，具备熟练地辨认和应用地形图的能力，并且还应掌握一些与地质有密切关系的测量工作。

§ 1—3 地球的形状和大小

通过几个世纪的科学研究，人们已清楚地知道，地球是个椭圆柱，其平均半径为6371公里。

地球的表面不是规则的曲面，而是有着高山、平原、海洋等起伏。最高的珠穆朗玛峰高达8848米，海底的最低处深约1万米。但是，这些起伏对于地球的半径来说都是很微小的，就象桔子皮面的皱纹一样，影响不了整个球体。在地球表面上，海洋面积约占71%，陆地面积约占29%。所以，我们可以设想，用静止的海水面延伸并通过陆地而形成的一个闭合曲面来代替地球的自然表面。由于海水面受潮汐的影响，随时都在发生变化，为了找到能够代表地球形状和大小的海水面，人们在海滨设立验潮站，通过多次反复观测求出平均海水面作为基准面。静止水面所形成的曲面有一个特点，就是过曲面上任一点所作的铅垂线，在该点与曲面正交，凡是具有上述特点的曲面，就称为水准面。由此可知，水准面有无限个，其中通过平均海水面的那一个，就称为大地水准面（图1—1（a））。

用大地水准面代替地球的形状本来是恰当的，但由于地球内部的质量分布不均匀，引起地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化，从而使大地水准面成为一个有微小起伏的不规则的曲面，它不能用简单的数学公式表示。因而以大地水准面为基础

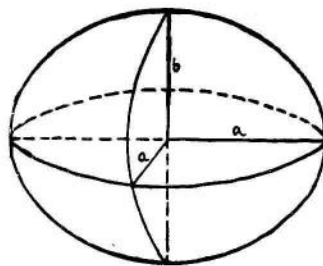


图 1—1

来解算测量上的问题仍然是不方便的。为此，人们选择了非常接近大地水准面的两极稍扁的旋转椭球体来代表地球的形状和大小，它就是测量和制图的基础。

旋转椭球体的形状和大小（图 1—1）通常用长半径 a 和短半径 b ，或由一个半径和扁率 α 来表示。 a 、 b 和 α 称为旋转椭球体的元素，关系为：

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

我国目前采用的椭球体元素为：

$$a = 6378245 \text{ 米}$$

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.3}$$

随着科学技术的发展，人造地球卫星的发射，近年来，地球旋转椭球体的元素数值更加精确了。人们对地球的形状和大小的认识更加清楚了。

由于旋转椭球体的扁率很小，为了测量和计算的方便，在地形测量的某些计算中，可把地球近似地当作圆球看待。

§ 1—4 确定地面点位置的坐标系

确定地面上点的平面位置有两种：地理坐标和平面直角坐标。确定地面上点的高低位置是高程。

一、地理坐标（球面坐标）

以经度和纬度表示地面一点的位置，称为地理坐标。

如图 1—2，设 O 为地球球心， NS 为地球旋转轴，又称地轴，地轴与圆球表面的两个交点： N 为北极， S 为南极。

通过地轴的任一平面称为子午平面。子午面与地球表面的交线称为子午线（又称经线）。国际上规定：经过英国格林威治天文台的子午面为首子午面，首子午面与地面的交线称为首子午线。地面上某点 P 的经度是通过格林威治天文台的首子午面与过 P 点的子午面所夹的二面角（用 λ 表示）。经度由首子午线向东称为东经，向西称为西经。各由 0° 至 180° 。

通过地球中心且与地轴垂直的平面称为赤道面，赤道面与地球面的交线称为赤道。其它垂直于地轴的平面与地球表面的交线称为纬线。 P 点的纬度是过 P 点的铅垂线与赤道平面间的夹角（用 φ 表示）。由于地球实际上不是圆球，因此铅垂线不一定过地球中心。纬度由赤道向北称为北纬，向南称为南纬，各由 0° 至 90° 。知道了某点的经度和纬度，即可知道该点在地球上的地理位置。例如长沙某点的地理坐标为东经

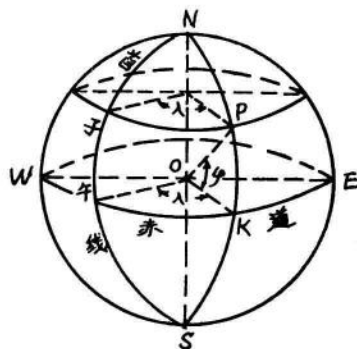


图 1—2

112°46'13", 北纬28°13'21"。

二、平面直角坐标

地面上任一点的位置虽然可用地理坐标表示, 但有其缺点: 它对于计算、绘图和用图特别困难。为了使观测和计算工作简单, 以及工程用图方便起见, 通常采用平面直角坐标。

地球表面是一个曲面, 如果将其展成平面, 就象将桔子皮展成平面一样, 必然产生皱纹和裂缝。要解决球面和平面之间的矛盾, 必须研究地图投影的问题。测绘地形图通常采用高斯投影。

高斯投影的方法是设想将地球放到一个空心的横圆柱内, 使球面上一条子午线和圆柱面相切, 这一条子午线称为中央子午线(也称轴子午线), 如图1—3所示。把中央子午线附近的椭圆体面上的图形, 按一定的数学关系投影到横圆柱面上。然后将横圆柱面通过南北极的母线切开, 展成平面, 则椭圆体面上的经纬线网便转换成平面上的经纬网, 如图1—4所示。这个以子午线为边界的带状长条, 称为投影带。中央子午线经投影后, 其长度保持不变。除中央子午线外, 其余的球面距离均产生变形, 且离中央子午线愈远, 其长度形变愈大。变形过大对于测图和用图都是不利的, 为了限制这种变形, 就采用分带投影。

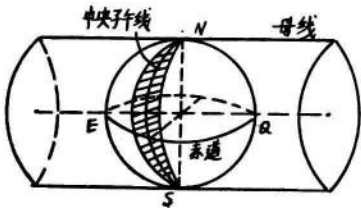


图 1—3

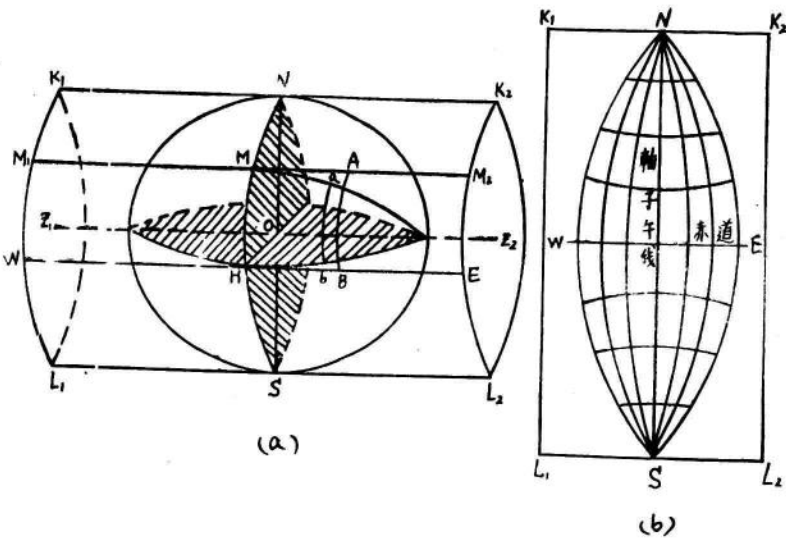


图 1—4

为了使长度的变形不超过测图的精度要求, 投影带必须限制在轴子午线两侧的一定范围内。超过这个范围的部分, 就投影到相邻的一个投影带中去。为此, 可将椭圆体在横圆柱中旋转一个角度, 使相邻投影带的轴子午线与横圆柱相切, 再进行投影。对于中、小比例尺测图, 一般限制在轴子午线两侧各3°, 即经差为6°的带状范围内, 称之为6°投影带。对于大比

例尺测图，则采用 3° 带或 1.5° 带。

6° 带从首子午线开始，自西向东每隔 6° 为一带。将椭圆体面分成60个经差相等的投影带，依次用阿拉伯数字1—60号，即东经 $0^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 为第一带， $6^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 为第二带，……。如图1—5所示。

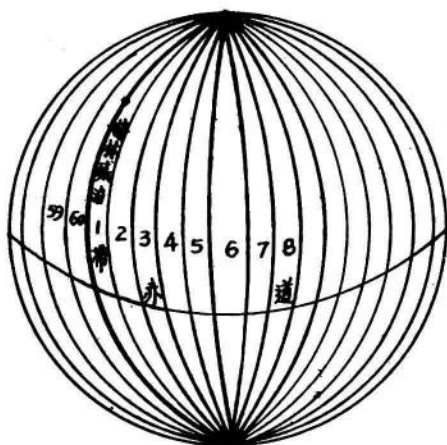


图 1—5

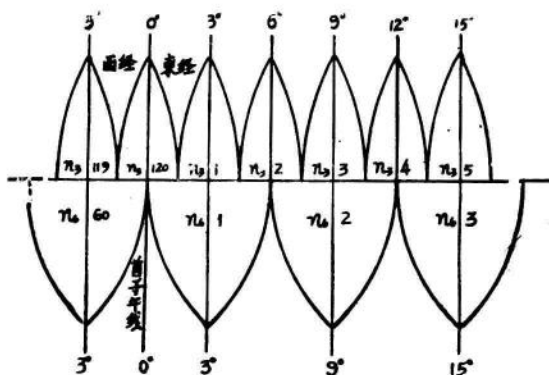


图 1—6

3° 带是从东经 1.5° 开始，自西向东每隔 3° 为一带，将椭圆体面分成120个经差相等的投影带，依次用阿拉伯数字1—120进行编号，它与 6° 带的关系如图1—6所示。

在每个投影带内，以中央子午线作为纵轴（ x 轴），赤道作为横轴（ y 轴），两轴的交点作为原点，便组成平面直线坐标系。这个坐标系又称为高斯坐标系。象限按顺时针方向编号。在每个带内若按一定间隔作一系列平行于纵横轴的直线，便组成平面直角坐标格网，如图1—7所示。平行于 x 轴的叫坐标纵线，平行于 y 轴的叫坐标横线。

每个 6° 带或 3° 带都有各自的坐标轴和坐标原点。纵坐标的计算是以赤道以北为正，以南为负；横坐标的计算是以中央子午线以东为正，以西为负，由于我国领土位于北半球、纵坐标 x 均为正值，为了使横坐标 y 也为正值，国家规定每带的中央子午线给以+500公里的横坐标值（图1—7）。另外，为了表明该坐标属于哪一带，再在加了500公里后的横坐标值前写上带号。这样的坐标系就称为国家统一坐标系。因此，带内任一点横坐标的统一坐标值为

$$y = \text{带号} + 500\text{公里} + y \quad (6-1)$$

式中 y 为相对于轴子午线的横坐标值，称横坐标的自然值。

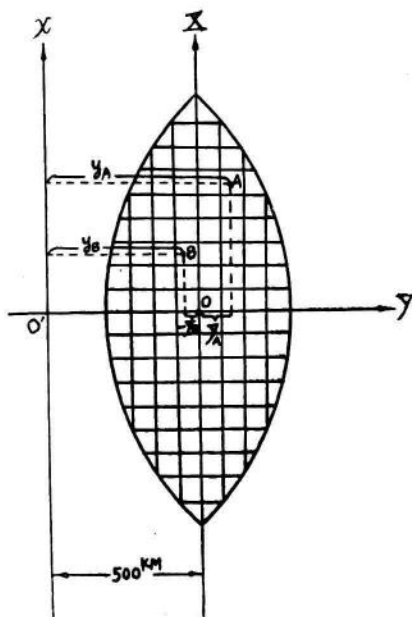


图 1—7

例1：在19带内有A、B两点，其横坐标的自然值分别为 $y_A = +156703.54$ 米， $y_B = -156703.54$ 米，计算该两点横坐标的统一坐标值。

解：由式(6-1)可得

$$y_A = 19\text{带} + 500000\text{米} + 156703.54\text{米} = 19656703.54\text{米}$$

$$y_B = 19\text{带} + 500000\text{米} + (-156703.54\text{米}) = 19343296.46\text{米}$$

例2：设M、N两点的横坐标的统一坐标值分别为 $y_M = 20264565.05$ 米， $y_N = 265436.63$ 米，计算该两点所在的带号及横坐标的自然值。

解：M点位于第20带内，其自然值为

$$y_M = 264565.05\text{米} - 500000\text{米} = -235434.95\text{米}$$

N点位于第2带内，其自然值为

$$y_N = 654364.63\text{米} - 500000\text{米} = 154364.63\text{米}$$

为什么可以肯定例2中的N点必定位于第2带内，而不是位于第26带内呢？因为通过计算可知在6°带的每带中具有最大横坐标值的赤道上，它的正负值不会超过335公里。所以，当中央子午线横坐标 y 加了500公里后，每一带中最小的横坐标值 y 将大于 $500 - 335 = 165$ 公里，而最大的横坐标值 y 也不会超过 $500 + 335 = 835$ 公里，即横坐标的统一坐标值 y 必定是以米为单位的6位数，所以可以判断出任一点所在的带号。

除了国家统一坐标系外，有时根据测量的实际需要，还可以采用任意直角坐标系，它的坐标轴和坐标原点是可以任意选取的。

在地形图上，我们可以看到在图幅的西南角上写有“本图采用1954年北京坐标系”，所指的就是国家统一平面直角坐标系；若是写有“××独立坐标系”，则所指的便是任意直角坐标系。

由上述可见，测量上使用的平面直角坐标与数学上的直角坐标是不同的。测量上的 x 轴、 y 轴及象限顺序正好与数学上的相反；而且，所有直线的方向都是从坐标纵轴北端起顺时针方向量度，经这样变换后，便可直接应用数学上的各个公式，不必作任何改变。

三、高 程

地面点的高低位置用高程表示。高程也称标高，海拔。地质工作者为了作地质剖面图，利用地形图正确判断实地的高低，以及研究地壳升降变化等，都必须知道点的高程。

为了确定地面点的高程，必须选定一个基准起算面，通常采用大地水准面。从地面上某点至大地水准面的铅垂距离称为该点的高程（为绝对高程）。两点之间的高程差，即通过两点水准面间的铅垂距离称为高差。如图1-8所示， H_A 、 H_B 分别为A、B两点的高程， h 为A、B两点之间的高差，则：

$$h = H_A - H_B$$

为了统一全国高程系统，我国采用黄海的平均海水面作为基准起算面。

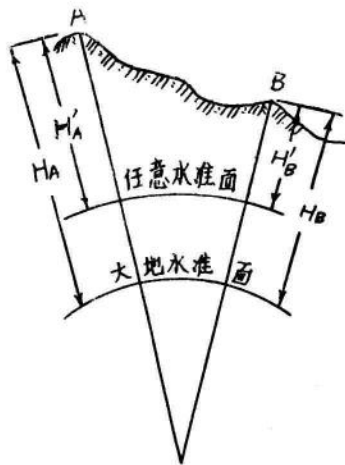


图1-8

在实际工作中,有时不用绝对高程而用假定高程,从地面上任一点至假定水准面的铅垂距离,称为假定高程,如图 1—4 中的 H'_A 、 H'_B 即为 A、B 两点的假定高程。利用假定高程同样可以计算两点之间的真正高差:

$$h = H'_A - H'_B$$

§ 1—5 直线定向

一、直线定向的意义

在地质工作中,经常遇到要确定直线方向的问题。例如,要确定岩层的走向,一般可用罗盘测定。

在测量工作中,要确定地面上各点相互间的位置,也要确定直线的方向。例如,图 1—9 所示为一个已知边长和角度组成的三角形。各点之间的相对位置虽然是固定的,但是这三三角形可以任意转动,因而各点的位置还是不能确定下来。为了确定其位置,除知道边长和角度外,还必须确定一直线与某一标准方向之间的水平夹角。确定一直线与标准方向间的水平夹角的关系,称为直线定向。

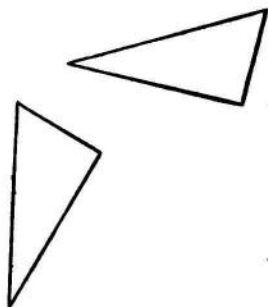


图 1—9

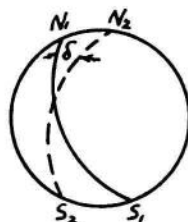


图 1—10

二、标准方向

在测量上,通常采用的标准方向有三种:

1. 真子午线方向:通过地球表面某点的真子午线的切线方向,称为该点的真子午线方向(真北方向)。真子午线方向是通过天文观测的方法测定的。
2. 磁子午线方向:在地球磁场的作用下,磁针处于自由静止状态时所指的方向,称为磁子午线方向(磁北方向)。
3. 坐标纵轴方向:即平面直角坐标中的坐标纵轴(x 轴)方向。

在实地上,通过某一点的这三种方向线往往是不相重合的,它们相互之间组成一定的角度。这是为什么?其关系如何?

因为地球是个巨大的磁体,地磁的南北极和地球自转轴的南北极是不相重合的,如图 1—6 所示, N_1 为地理北极, N_2 为磁北极。所以地面上同一点的磁子午线方向和真子午线方向也不相重合,它们组成一个角度 δ , 称磁偏角(图 1—10)。磁偏角随地区而异,因时而

变。若磁子午线方向在真子午线方向以东，称为东偏；若磁子午线方向是真子午线方向以西，称为西偏。

由于地面上所有的真子午线都收敛于南北极，即真子午线之间是互相不平行的。而平面直角坐标的坐标纵轴方向互相平行，所以通过地面上任一点A（图1—11）所作的坐标纵轴方向与真子午线方向之间组成一个角度 γ ，称为子午线收敛角。地点不同，子午线收敛角也不一样，子午线收敛角也可以分为东偏与西偏（视坐标纵轴方向在真子午线方向之东或西）。

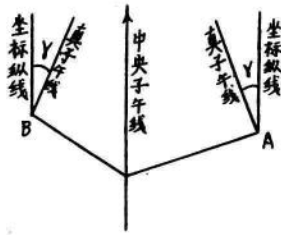


图 1—11

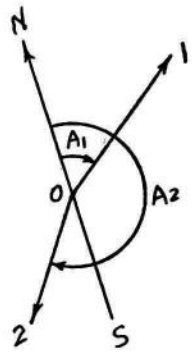


图 1—12

三、方位角与象限角

1. 方位角

为了确定一直线与标准方向之间的关系，一般用方位角表示。由标准方向的北端起，顺时针方向转到一直线的水平夹角，称为该直线的方位角。角度由 0° 到 360° ，如图1—12所示。设NS为通过O点的标准方向，01、02为通过O点的两条直线，则水平角 A_1 、 A_2 分别为相应的方位角。若NS为真子午线的方向，则角度 A_1 、 A_2 为真方位角，若NS为磁子午线方向，则相应的角为磁方位角（用 A'_i 表示）；若NS为坐标纵轴方向，则相应的角为坐标方位角（用 α_i 表示）。

如果已知某一地区的磁偏角和子午线收敛角，则可由某一种方位角求出另一种方位角。如图1—13所示，为某地区三种标准方向的关系图（称三北方向图），已知直线OP的磁方位角 $A_{OP}' = 120^\circ 30'$ ，求真方位角和坐标方位角。

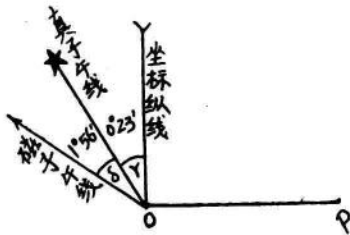


图 1—13

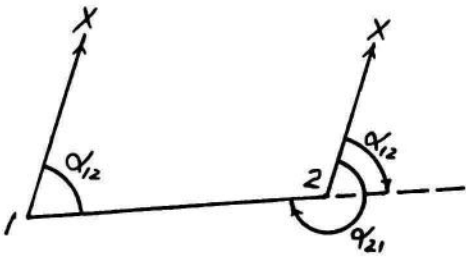


图 1—14

由图可知：

真方位角 $A_{OP} = A_{OP}' - \delta = 120^\circ 30' - 1^\circ 56' = 118^\circ 34'$

$$\begin{aligned}\text{坐标方位角 } \alpha_{OP} &= A_{OP}' - (\delta + \gamma) \\ &= 120^\circ 30' - (1^\circ 56' + 0^\circ 23') = 118^\circ 11'\end{aligned}$$

为了方便计算，有时需要知道直线的正方位角和反方位角及其相互关系。

过直线起点的标准方向与直线所成的方位角，称为正方位角；过直线终点的标准方向与直线所成的方位角，称为反方位角。如图 1—14 所示，若标准方向为坐标纵轴方向，则 α_{12} 为正坐标方位角， α_{21} 为反坐标方位角，因过 1 点和过 2 点的坐标纵轴方向互相平行，故关系为： $\alpha_{12} = \alpha_{21} - 180^\circ$ ，即：当以坐标纵轴方向为标准方向时，一直线的正、反坐标方位角相差 180° 。

2. 象限角

为了计算方便起见，直线的方向常取该直线与标准方向线之间所夹的锐角。即从标准方向线的北端或南端起量至该直线的锐角，并标出所在象限的名称，称为象限角。角度由 0° 至 90° ，用 R 表示。如图 1—15 所示：直线 OA 、 OB 、 OC 和 OD 的象限角分别为北东 R_{OA} 、南东 R_{OB} 、南西 R_{OC} 、北西 R_{OD} 。

若标准方向为真子午线方向，则称为真象限角；若标准方向为磁子午线方向，则称为磁象限角，若标准方向为坐标纵轴方向，则称为坐标象限角

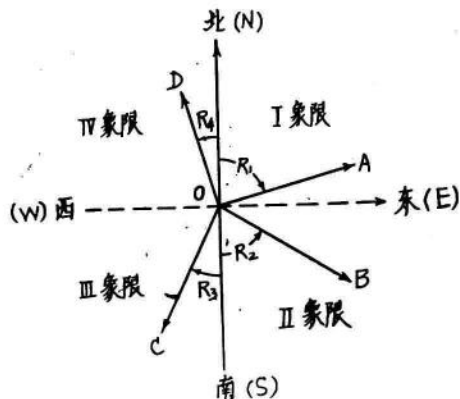


图 1—15

方位角与象限角是可以互相换算的（表 1—1）。

表 1—1

直 线 方 向	按 象 限 角 求 方 位 角	按 方 位 角 求 象 限 角
北 东 (I 象限)	$d = R$	$R = d$
南 东 (II 象限)	$A = 180^\circ - R$	$R = 180^\circ - A$
南 西 (III 象限)	$A = 180^\circ + R$	$R = A - 180^\circ$
北 西 (IV 象限)	$A = 360^\circ - R$	$R = 360^\circ - A$

§ 1—6 比 例 尺

为了使用方便，地面上各种地物均按一定倍数缩小在图纸上，这种缩小的程度，称为比例尺。具体来说，就是图纸上的直线长度与地面上相应线段水平投影长度之比。

比例尺可分为数字比例尺、三棱尺和图示比例尺等几种。

一、数字比例尺

设某直线在图上的长度为 s ，相应于地面上的水平投影长度为 S ，则图的比例尺为：

$$\frac{s}{S} = \frac{1}{M}$$

式中 $M = \frac{S}{s}$

M 为比例尺的分母，即缩小的倍数。这种分子为 1 的分数形式称为数字比例尺。比例尺的大小，视分数值的大小而定。分数值愈大（即分母愈小），则比例尺愈大；分数值愈小（即分母愈大），则比例尺愈小。

已知某一图的比例尺，就可根据实地长度求其相应的图上长度；反之，也可根据图上已知长度求其相应的实地长度。

二、三棱比例尺

在实际测绘中，应用数字比例尺需要经常换算，很不方便。为了减少这种换算的麻烦，可以应用图 1—16 所示的三棱比例尺（简称三棱尺）。该尺有六种比例尺，常见的有：1：

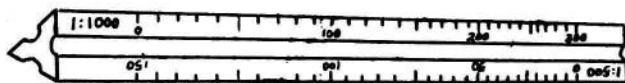


图 1—16

500、1：1000、1：1500、1：2000、1：2500、1：3000。尺上注记均为实地之长度。如果遇到测图比例尺超出三棱尺的范围，还可在原尺上灵活运用。例如，当测图比例尺为 1：200 时，可以用 1：2000 的刻度，只要在注记上减去一个“0”；若测图比例尺为 1：5000 时，则可用 1：500 的刻度，而在其注记上加一个“0”即可。

三、图示比例尺

由于图纸不可避免的会有些伸缩，所以采用三棱尺等现成的比例尺在图上量测距离时，往往得不到准确的结果。为此，通常都在绘制地形图的同时，也在图纸上精确地绘一个比例尺，称为图示比例尺。该图示比例尺也随图纸一同伸缩，因而用它在同一幅图上量测距离时，就可以基本上消除因图纸伸缩而带来的量测误差。图示比例尺分为直线比例尺和斜线比例尺两种形式。

1. 直线比例尺

绘直线比例尺时，首先在图纸上画一直线，把它分成若干相等的线段，称为比例尺的基本单位，如图 1—17 所示。基本单位的长度是以换算为实地距离后是一个应用方便的整数为原则。如对于 1：1000 比例尺可取 1 厘米为单位，对于 1：5000 比例尺可取 2 厘米为基本单位，前者相当于实地 10 米，后者相当于实地 100 米。前者也可取 2 厘米为基本单位，则相当于实地 20 米。

然后把左面第一个基本单位分为 10 等分，在第一个基本单位右端分划上注以“0”字，

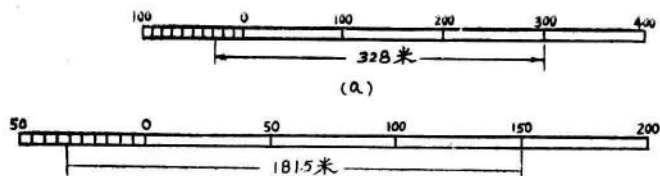


图 1—17

并在其它单位分划线上注出相应比例尺的实地长。如图 1—17(a) 为 1:5000 的直线比例尺，其基本单位（2 厘米）相当于实地 100 米；图 1—17(b) 为 1:2000 的直线比例尺，其基本单位（取 2.5 厘米）相当于实地 50 米。

应用直线比例尺时，张开两脚规对准图上的两点，然后将其移至直线比例尺上，使其一脚尖对准 0 右边的适当分划线，从另一脚尖读取小分划线，并估读零数。如图 1—17(a) 上的读数为 328 米；图 1—17(b) 上的读数为 181.5 米。

2. 斜线比例尺（又称复式比例尺）

绘制斜线比例尺时，首先绘水平直线，并将其分成若干个基本单位线段；在每个线段分点上作适当长度（一般为 2~3 厘米）的垂线，将其分成十等分，并联成与底边相平行的水平直线；把左边第一个基本单位线段分成十等分，上下错开 $\frac{1}{10}$ 基本单位联成斜线，即构成斜线比例尺。如图 1—18 所示，为 1:1000 比例尺，其基本单位为 2 厘米。由 $\triangle CEF$ 中，根据

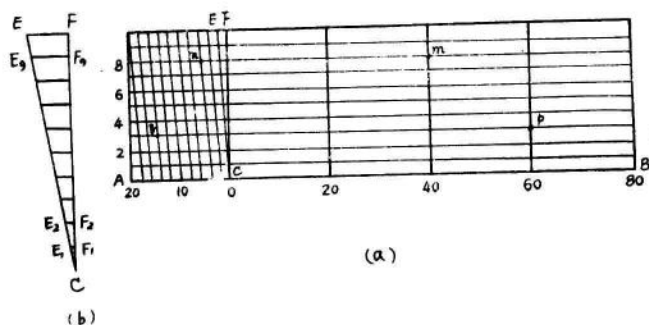


图 1—18

相似三角形原理可知，由下向上的水平线段分别为

$$E_1F_1 = \frac{1}{100} \text{ 比例尺基本单位}$$

$$E_2F_2 = \frac{2}{100} \text{ 比例尺基本单位}$$

.....

$$E_9F_9 = \frac{9}{100} \text{ 比例尺基本单位}$$

由此可知,斜线比例尺可直接读至比例尺基本单位分划的 $\frac{1}{100}$,故比直线比例尺的读数精度约提高 10 倍。

使用时,用脚规的两脚尖在图上截取要量的距离,将它移至斜线比例尺上,使一个脚尖置于“0”分划右侧的某基本分划线上,另一脚尖应位于有斜线分划之分段中。然后上下移动两脚规(应使两脚尖在同一条横线上),另一个脚尖恰好落在斜线与横线之某交点上,则两脚尖读数之和就是所量的距离。如图 1—18(a)中的 $pq=74.6$ 米, $mn=45.6$ 米。

四、比例尺的精度

通常认为正常人的肉眼在图上能分辨出的最短距离为 0.1 毫米,就是说小于 0.1 毫米的线段在实际上已不能绘到图上。因此,图上 0.1 毫米按比例尺求得的地面实际长度称为比例尺精度,以 ε 表示,则有

$$\varepsilon = 0.1 \text{ 毫米} \times M$$

式中 M 为比例尺分母。

由上式可以算出不同比例尺的精度:

$$1:500 \quad \varepsilon = 0.05 \text{ 米}$$

$$1:1000 \quad \varepsilon = 0.10 \text{ 米}$$

$$1:2000 \quad \varepsilon = 0.20 \text{ 米}$$

$$1:5000 \quad \varepsilon = 0.50 \text{ 米}$$

所得结果表明:当地面实物分别小于 0.05、0.10、0.20 和 0.50 米时,在相应比例尺的图上是表示不出来的,在图上可以舍去或用规定的符号表示。当测绘相应比例尺的地形图时,测量距离的精度只要分别准确到 0.05、0.10、0.20 及 0.50 米就可以了。

五、地形图的比例尺

根据比例尺的大小,可分为大、中、小比例尺三种。一般把 1:500、1:1000、1:2000、1:5000 称为大比例尺;1:10000、1:25000、1:50000 及 1:100000 称为中比例尺;1:200000、1:500000 及 1:1000000 称为小比例尺。同一地区的地形图,其比例尺愈大,则图上所表示的地面情况就愈详细;比例尺愈小,则图上所表示的地面情况就愈不够详细。在地质工作中,一般在普查阶段和面积较大的地区使用中小比例尺地形图,在勘探设计和面积较小的地区使用大比例尺地形图。

§ 1—7 测量工作概念

地球的表面形状是起伏不平的,复杂多样的,总的可分为地物和地貌两大类。自然物体和人工物体称为地物,如河流、湖泊、道路和房屋等,地表高低起伏的形态称为地貌,如山岭、平原和盆地等。地物和地貌综合起来称为地形。地形测量的目的就是要将地物和地貌测绘成图。测绘地形图的过程就叫做地形测量。

地球表面的地物和地貌变化尽管很复杂,但它们的形状和大小不外是由一系列具有代表性的点的连线所组成,这些点称为特征点,如道路拐弯点、房角点、山顶、山脊及山谷点等

等。测量地形图主要是在实地测量有关的距离、方向（或角度）和高程（或高差），以确定特征点的平面位置和高程。

测定特征点间的相对位置，有不同的测绘程序和方法，如果选择不当，则会影响成图质量和速度。如图 1—19，在测量地面上许多地物点，若采用从 A 点测定 B 点，再从 B 点测量 C 点，如此继续进行到最后一点。这样做虽然也可以得到各点的位置，但会使误差越积越大，以致很快达到不能允许的程度。显然，这种测量方法是不好的。

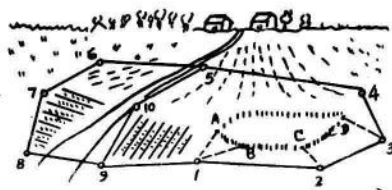


图 1—19

为了防止误差积累和提高成图质量，应该采取“由整体到局部”，“先控制后地形”的测量原则。例如在图 1—19 所示地区内测量，可先在测区内选择若干有控制意义的点（称为控制点，如 1、2、3……点），由控制点所组成的图形，称为控制网。控制点的位置需用精度较高的方法测定。然后根据这些控制点测定附近地物点（如 A 、 B 、 C 、 D 等）的位置，由于前者起着控制地物地貌的作用，故称为控制测量，后者称为地形测图（或称碎部测量）。由于控制点是用精密的仪器和方法进行测量的，易于保证较高的精度。此外，碎部测量的精度虽较控制测量的精度低，但由于各地物地貌点是根据控制点测定的，它们之间不是依赖的，因此误差不会累积，精度也可得到保证。如果测区更大，则可以首先布置精度高一级的控制网，根据这个控制网上的控制点，再测定较低级的控制点，根据这些较低级的控制点，再测定附近的地物地貌地。依照这个原则进行测量，则测量工作便可多快好省地完成。

测量工作是由外业和内业组成的。外业是在野外进行的测量工作；内业是将外业成果在室内进行整理、计算和绘图。

控制测量也是地质勘探工程测量的基础，是勘探设计和矿产储量计算不可缺少的基础工作。在布设控制网时，就应全面考虑勘探区域的面积、勘探网的密度以及地理条件等具体情况，以满足地质勘探工作的需要。

第一章习题与思考题

(1) 测量学在地质勘探工作中有何作用？

(2) 什么叫水准面？大地水准面？静止的池塘水面是不是水准面？

(3) 设长沙某点的经纬度为：东经 $113^{\circ}02'$ ，北纬 $28^{\circ}13'$ 。试按地理坐标绘略图表示该点的位置。

(4) 我国领土东西范围是从东经 73° 起到东经 $135^{\circ}10'$ 止，试求我国位于 6° 投影带的第几带到第几带之间？

(5) 为什么国家统一坐标系统的 x 轴要加 500 公里？设 A 、 B 两点的横坐标自然值为： $y_A = -9655$ 米， $y_B = 325004$ 米，求该两点横坐标的统一坐标值。

(6) 为什么地理坐标不需注明带号？而平面直角坐标却要加注带号？设地面上有 A 、 B 、 C 三点，其横坐标统一坐标值为： $y_A = 13399457$ 米， $y_B = 17499796$ 米， $y_C = 22630026$ 米，求这三点分别位于哪一投影带内？在该带内其横坐标的自然值为多少？

(7) 设地面上的 M 点位于第20带中央子午线以西35433米、赤道以北318655米； N 点位于第14带中央子午线以西56米，赤道以北534276米， P 点位于第18带中央子午线以东234556米，赤道以北62056米，求 M 、 N 、 P 三点的国家统一坐标 x 、 y 是多少？

(8) 什么叫高程（海拔）？假定高程和高差？设 A 、 B 两点的假定高程为 $H_A' = 23.48$ 米， $H_B' = 32.34$ 米， C 点的高程为 $H_C = 42.56$ 米， C 点比 A 点高4.72米，试求 A 、 B 两点的高程。

(9) 设某幅地形图的三北方向线关系如图1—20所示，已知某直线的磁方位角为 $120^\circ 30'$ ，求此直线的真方位角和坐标方位角各为多少？

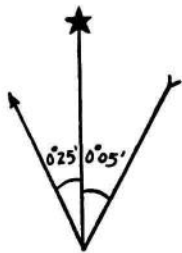


图 1—20

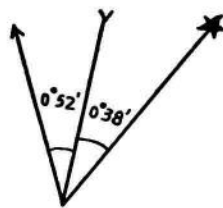


图 1—21

(10) 设某幅地形图的三北方向线关系如图1—21所示，已知某直线的坐标方位角为 $220^\circ 18'$ ，求此直线的磁方位角和真方位角各是多少？磁偏角是东偏或西偏？其角值为多少？

(11) 地形图的比例尺分为哪几种？同一地区的地形图，其比例尺大小与图上表示的地面详细程度有何关系？