

高等学校教学用书

测量学

孙振先 李国顺 编

煤炭工业出版社

高等学校教学用书

测 量 学

孙振先 李国顺 编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书共十五章,分两部分:第一部分包括第1~6、10、11、15共九章,主要介绍《测量学》的基本知识、基本理论以及常用测量仪器的基本使用方法;第二部分主要讨论大比例尺地形图的有关问题,其中第7、8、9三章介绍图根平面控制测量和三角高程测量,第12、13、14三章分别为地形图的基本知识、手工测绘及地形图的应用。另有附录一、二介绍EL-5002程序型电算器及PC-1500袖珍计算机的常用测量计算程序,以供计算测量问题时参考。

本书是煤炭系统高等院校矿山测量专业的教材,亦可供一般测量人员学习参考。

责任编辑:洪 渡

高等学校教学用书

测 量 学

孙振先 李国顺 编

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21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787×1092¹/₁₆

印张 17

字数 400 千字

印数1—6,420

1987年5月第1版

1987年5月第1次印刷

书号15035.2866

定价2.80元

前 言

本书是根据1983年制定的煤炭系统高等院校矿山测量专业《测量学》教学大纲编写的，教学时数为110学时左右。

根据教育要“面向现代化，面向世界，面向未来”的要求，本书在编写过程中，曾努力贯彻教学改革的精神与少而精的原则，精心安排教材体系，精心筛选教材内容，尽量使本教材符合科学性、先进性、系统性、适用性。

本课程是矿山测量专业的一门技术基础课，同时又是学习后续各种测绘类课程的入门课。它从使用常规仪器测绘地形图的需要出发，着重介绍基本的测量理论和测量知识，普通的测量仪器和工具，常用的测量操作和方法。通过《测量学》的学习，使学生初步掌握测量工作的基本理论、基本方法和基本技能，为学习后续测量课程打好基础。因此，本课程的内容基本上与地形测量学的内容相一致，这里采用本课程的名称，只是想突出它作为基础的作用罢了。

本书由中国矿业学院孙振先主编。焦作矿业学院李国顺编写二、三、四、七、八、九、十、十三、十五各章，其余部分由孙振先编写。全书的修改、审校与定稿等工作，都由主编完成。

本书在编写过程中，有关院校与单位给予了大力支持和帮助，郑武臣同志提供了附录二中部分测量程序，在此表示衷心感谢。由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，谨请读者批评指正。

编 者

一九八五年十二月

目 录

绪 论	1
第一章 测量学的基本知识	3
第1-1节 地球的形状和大小	3
第1-2节 地面点位置的确定	4
第1-3节 直线的定向	7
第1-4节 平面图、地图和地形图	9
第1-5节 比例尺	10
第1-6节 测量工作的基本概念	11
第二章 钢尺量距	14
第2-1节 地面点的标志和直线定线	14
第2-2节 钢尺量距	15
第2-3节 钢尺量距的成果整理	18
第2-4节 钢尺量距误差	20
第三章 水平角测量	22
第3-1节 水平角测量原理	22
第3-2节 光学经纬仪	22
第3-3节 水准器	23
第3-4节 望远镜	25
第3-5节 读数设备	29
第3-6节 水平角观测	33
第3-7节 经纬仪的检验和校正	35
第3-8节 水平角观测误差	40
第四章 经纬仪导线测量	45
第4-1节 概述	45
第4-2节 导线测量的外业工作	46
第4-3节 坐标计算的基础	47
第4-4节 导线测量的内业计算	50
第4-5节 导线测量错误的检查	56
第五章 水准测量	58
第5-1节 概述	58
第5-2节 水准仪和水准尺	61
第5-3节 水准测量的实施	62
第5-4节 水准仪的检验与校正	65
第5-5节 四等及等外水准测量	67
第5-6节 水准测量的误差*	74
第5-7节 纵横断面水准测量	76
第5-8节 自动安平水准仪和激光水准仪简介	80

第六章 测量误差的基本知识	82
第6-1节 概述	82
第6-2节 偶然误差的特性	83
第6-3节 衡量精度的指标	84
第6-4节 误差传播定律	87
第6-5节 误差传播定律应用举例	91
第6-6节 观测值的算术平均值及其中误差	94
第6-7节 近似值的运算与凑整	96
第七章 交会定点	99
第7-1节 概述	99
第7-2节 前方交会	100
第7-3节 侧方交会	103
第7-4节 后方交会	104
第7-5节 单三角形	109
第7-6节 测边交会	110
第八章 小三角测量	112
第8-1节 概述	112
第8-2节 线形三角锁	114
第8-3节 中点多边形	123
第8-4节 大地四边形	126
第九章 三角高程测量	128
第9-1节 三角高程测量原理	128
第9-2节 竖盘构造及竖直角测定	130
第9-3节 三角高程测量	134
第十章 光学测距与光电测距	137
第10-1节 概述	137
第10-2节 视距测量原理	138
第10-3节 视距常数的测定	142
第10-4节 视距测量的计算工具	143
第10-5节 自计视距仪	145
第10-6节 视距测量的精度	148
第10-7节 等差级数视距尺	151
第10-8节 视差法测距	154
第10-9节 红外光电测距仪	159
第十一章 平板仪测量	169
第11-1节 平板仪测量原理	169
第11-2节 平板仪及其附件	169
第11-3节 平板仪的安置	171
第11-4节 平板仪交会定点	173
第11-5节 平板仪的检验与校正	177
第十二章 地形图的基本知识	180
第12-1节 高斯投影及平面直角坐标系	180
第12-2节 地形图的分幅与编号	182

第12-3节	梯形图幅图廓点的直角坐标	186
第12-4节	地物在地形图上的表示	188
第12-5节	地貌在地形图上的表示	190
第十三章	地形图的测绘	194
第13-1节	概述	194
第13-2节	图根控制测量	195
第13-3节	测图前的准备工作	197
第13-4节	测站点的增补方法	200
第13-5节	碎部点的测定方法	201
第13-6节	地形图的测绘方法	203
第13-7节	地物和地貌的测绘	206
第13-8节	地形图的拼接、检查与验收	209
第十四章	地形图的应用	212
第14-1节	识图的基本知识	212
第14-2节	地形图的基本应用	216
第14-3节	面积计算	221
第14-4节	体积计算	224
第十五章	施工测量的基本工作	228
第15-1节	概述	228
第15-2节	已知距离的标定	228
第15-3节	已知角度的标定	229
第15-4节	已知点位的标定	230
第15-5节	高程的标定	232
第15-6节	圆曲线的测设	233
第15-7节	激光技术在施工放样中的应用	237
附录一	EL-5002电算器常用测量计算程序	240
附录二	PC-1500袖珍电子计算机常用测量计算程序	248
参考文献		263

绪 论

测量学是一门研究如何确定地面、地下和空间目标的相互位置的科学。它是地学的一个分支，同时又是一门技术科学和应用科学。测量学的研究对象主要是地球，其具体任务有三：一是确定地球的形状和大小，二是将地球表面的形态及其它信息测绘成图，三是进行经济建设和国防建设所必需的测绘工作。由于测量学科在经济建设、国防建设和空间研究上所起的作用日益显著，所以，对它的研究日益增多，研究的领域和规模都在逐步扩大。随着测量学科知识的迅速发展和测绘作业的进一步分工，测量学通常又细分为大地测量学、地形测量学、摄影测量学、工程测量学、制图学等学科。

大地测量学 研究在广大地面上建立国家大地控制网，测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术与方法的学科。矿区控制测量就属于大地测量学的范围。它的任务是在矿区范围的地面上精确测定控制点的位置，作为矿区各种测量工作和有关科学研究的基础。近年来，由于人造地球卫星的发射和遥感技术的发展，测量对象由地球表面扩展到空间星球，由静态发展到动态，所以大地测量又分为常规大地测量、卫星大地测量、静态大地测量、动态大地测量等。

地形测量学 研究测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科。根据获得数据或信息的方法不同，测绘地形图的方法可分为常规测量仪器测图、摄影像片成图和卫星像片编图。随着科学技术的发展，利用航空或地面摄影像片成图已成为测绘地形图的主要手段，因而又独立成为摄影测量学。它是通过摄影像片和辐射能的各种图像记录手段，对其进行处理、量测、判释和研究，以测得物体的形状、大小和位置等成果的学科。因此，根据目前对地形测量这一名词的理解，它讨论的内容或者就是地形图测绘，或者就是摄影测量，或者就是低等测量学。

工程测量学 研究工程建设在勘察设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。它的主要内容有：工程控制网的建立，地形测绘，施工放样，设备安装测量，竣工测量，变形观测和维修养护测量的理论、技术与方法。根据工程建设对象的不同，分为：矿山、城市、铁路、公路、水利和国防等工程测量。例如，矿山测量学课程就是工程测量学的一个分支，它是专门为矿山建设和生产服务的。

制图学 又称地图制图学，研究地图（包括地形图）及其制作的理论、工艺和应用的学科。它是利用测量成果或经过处理的信息（数字与图像），研究如何编制、印刷和出版地图等方面的问题。

测绘科学是以上这些学科的总称，是研究陆地、海洋、空间测量和编绘印制地图的理论与方法的一门科学。

测绘科学是一门古老而又年青的科学。在我国，测绘工作有着悠久的历史。相传公元前两千多年夏代的《九鼎》就是原始地图。《史记·夏本纪》中描写大禹治水时测量情景的“左准绳，右规矩”，西周初年为修建洛邑而绘制的《洛邑地图》，春秋战国时期出现的指南针、《版图》和《土地之图》，马王堆出土的西汉初期的《帛地图》，《海岛算

经》中论述测算海岛距离和高度的方法，西晋裴秀的“制图六体”，唐代僧一行等对子午线弧长的测算，元代郭守敬在全国进行的天文观测，苏州刻石地图《平江图》，明代的《郑和航海图》，以及清康熙时开始的大地测量和编制的《皇舆全览图》等等，都是我国历史上测绘科学技术在理论和实践上的重要成就。进入二十世纪后，开始采用某些新的测量方法，测绘技术也逐步有了发展。但是，作为一门现代科学，还是在中华人民共和国成立后才获得迅速发展。三十多年来，在全国范围内建立了精密的大地控制网，开展了大量基本比例尺地形图、航海图、航空图、工程用图的测量和编制工作，出版了各类地图集，培养和造就了一大批科技人材。在测绘新技术、新方法的应用和新仪器装备的研制方面也取得了显著的成果。

测绘科学技术应用面广。它既要为经济建设，资源勘察、环境保护、能源开发、文化教育、科学研究和国防建设提供精确的测绘数据和地图资料，又要满足人民群众日常生活对各种地图的需要。在社会主义建设的各个领域，无论是经济建设或国防建设，其勘测、设计、施工、验收及保养维修各个阶段，都需要利用地形图，都要有测绘工作与之密切配合，而且还要求测绘工作走在前面。在现代化战争条件下，从指挥员研究地形，拟定作战计划，部署战斗，到指挥各军、兵种联合作战和各种导弹远程武器的发射，无一不需要测量工作和各类地形图。

在矿山，测绘工作也是十分重要的。在矿区的地质勘探和设计、施工阶段，必须预先测绘地形图和进行相应的测绘工作，以保证勘探与施工的质量。到了矿山生产阶段，需要通过测绘工作及时反映矿山生产现状，并在地形图的基础上绘制井上下对照图，为矿山安全生产创造条件。

由此可见，在实现四个现代化的进程中，测绘工作不仅是建设有中国特色的社会主义强国的一项基础技术工作，而且还要为各项基本建设当好先行。在国民经济建设中，人们常说交通是先行，能源是先行，地质勘探是先行。其实，在这些“先行”前边，还有一个开路先锋，那就是测绘。这是测绘工作者的光荣。每个测绘工作者应该兢兢业业，不避艰难，用辛勤劳动的汗水，精心描绘祖国大地，努力做好超前服务，当好建设尖兵，为实现四个现代化多做贡献。

第一章 测量学的基本知识

第1-1节 地球的形状和大小

测绘工作一般是在地球表面上进行的，而地球的自然表面却高低起伏，极不规则。因此，为了合理处理测量成果和测绘地形图，正确认识地球的形状和大小，是很有必要的。

地球的自然表面上有陆地和海洋，陆地面积约占29%，海洋面积约占71%，也就是大部分为海洋。再就陆地上的高低起伏来说，高出海水面的高山，最高的珠穆朗玛峰也只有8848.13m，与地球半径相比，是一个很小的数值，而且这些高山又是稀少的个别山峰，大部分陆地表面比一般海水面并不高出多少。因此，对陆地上的隆起部分可以忽略不计。由上所述，就有理由把平静海水面所包围的形体看作是地球的形体，也就是设想有一个静止的海水面，即向陆地下面延伸而形成的一个封闭曲面，这个曲面称为水准面。海水有潮汐，时高时低，所以水准面有无数个，其中通过平均海水面的那一个，称为大地水准面，它所包围的形体称为大地体。

水准面的特性是，它上面各点的铅垂线都与水准面相垂直。根据这一特性，通过铅垂线上的每一点，都可作一个水准面。从物理学知道，地面点的铅垂线方向决定于地球内部物质的吸引作用。由于地球内部物质分布不均匀，使地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化，因而大地水准面实际上是一个十分复杂和不规则的曲面，它的精确形状，目前还不能用数学形体来表示。为了测量计算和制图的方便，我们采用一个和大地水准面很接近而又规则的数学形体来代替它，这个形体就称为地球椭球，如图1-1所示。地球

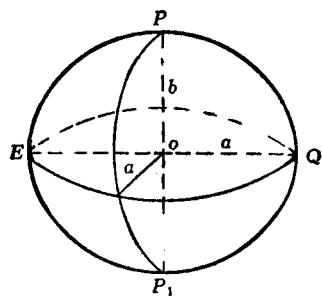


图 1-1

椭球是由椭圆 PEP_1Q 绕其短轴 PP_1 、旋转而成，故又称为旋转椭球或参考椭球。在测量工作中，我们就是用这样的椭球面代替大地水准面，作为测量计算的基准面和研究地球几何形状的参考面，并在地球椭球面上建立大地坐标系。它是地球的数学模型，只有几何意义，而无物理意义。

地球椭球的形状和大小，是由它的长、短半径和扁率决定的。这三个数值实际上只要用两个参数，这两个参数通常取长半径 a 和扁率 α 。如果参数选择合适，并且适当地定位和定向（确定椭球的中心位置与轴向），地球椭球面与大地水准面的差距不致大于100m。

一百多年来，世界上一些大地测量学者，曾经推算出多个不同的地球椭球。我国在测绘工作中，1952年前，采用海福特椭球，从1953年起采用克拉索夫斯基椭球，其数值见表1-1。

1975年国际大地测量协会推荐的地球椭球参数：

表 1-1 地球椭球的大小

推算者	推算年代	长半径 $a(\text{m})$	短半径 $b(\text{m})$	扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$
海福特(美)	1909	6 378 388	6 356 912	1:297.0
克拉索夫斯基(苏)	1940	6 378 245	6 356 863	1:298.3

地球椭球长半径 $a = 6378140 \text{ m}$

地球引力场二阶带谐系数 $J_2 = 1082.63 \times 10^{-9}$

地球总质量(含大气)与引力常数的乘积 $GM = 3.986005 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$

地球自转角速度 $\omega = 7.292115 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$

依据以上四个参数推导出的地球椭球的扁率为 $\alpha = 1/298.257$ 。这样的椭球不仅有数学意义,而且还有物理意义。利用上述四个参数(a 、 J_2 、 GM 、 ω)来定义地球椭球,是不久以前的事,直到1967年才由国际大地测量协会正式通过。

我国目前的测绘工作是在克拉索夫斯基椭球上建立坐标网,并把实地测得的各要素归化到这个椭球面上来处理。考虑到我国幅员辽阔,地势复杂,需要有适合本国情况的椭球参数,以建立自己独立的大地坐标系,为此,我国测绘部门正在进行这方面的研究工作。

由于旋转椭球的扁率很小,基本上接近于一个圆球。因此,在许多具体应用中,特别是当测量的面积不大时,常把地球近似地当作圆球看待,取其平均半径为6371km。

地球的自然表面固然不同于大地水准面和地球椭球面,就是大地水准面与地球椭球面也不是完全吻合的,二者之间互有上下,如图1-2所示。又由于大地水准面上各处铅垂线方向的不规则,同一地面点 P 处的与大地水准面正交的铅垂线 PM ,同与地球椭球面正交的法线 PN 一般是不重合的,两者之间的夹角 ϵ 称为垂线偏差。

如果我们通过水准面上任一点 A 作一切平面,此平面叫做 A 点的水平面。在水平面上,过 A 点的任意直线都是 A 点的水平线(图1-3)。当水准面面积很小时(一般指在 100 km^2 以内),就认为它与水平面重合,亦即可把水准面看成水平面。在这个范围内进行测量,可以不考虑地球曲率对长度和水平角度的影响。

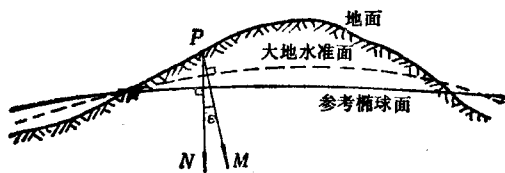


图 1-2

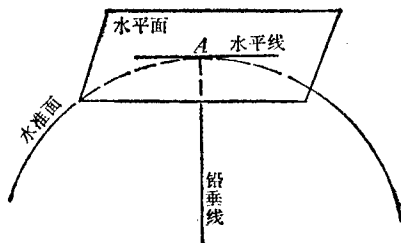


图 1-3

第1-2节 地面点位置的确定

在研究如何表示地球表面时就会发现,尽管地物(指地面上的房屋、道路、河流、桥梁等物体)的轮廓多种多样,地貌(指地面上高低起伏的形态)的变化千姿百态,但是它

们都是由点构成的。只要知道了其上若干点的位置,任何复杂的图形都能测绘出来。所以,测量工作的实质就是确定地面点的位置。

从上节得知,地球的形状和大小是以地球椭球来表示的,那么表示地球自然表面也要以地球椭球面为依据,也就是要以地球椭球面为参考面来确定地球表面上点的位置。如图1-4所示,设要确定地球表面上 A 、 B 、 C 、 D 、 E 各点的位置,可以设想用铅垂线把每一点投影到地球椭球面上,得到地面各点在地球椭球面上的投影位置 a 、 b 、 c 、 d 、 e 。有了地面点在参考面上的位置,再确定地面点到大地水准面的垂线距离,地面点的位置就可以完全确定了。

地面点在地球椭球面上的投影位置一般是用地理坐标表示的,地面点到大地水准面的垂线距离则是用高程来表示的。

一、地面点的投影位置

(一) 地理坐标

地面点在地球椭球面上的投影位置,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 ,分别称为北极和南极。通过地轴和地球上任意点 L 的平面 $PLKP_1$,称为 L 点的子午面,它与地球表面的交线称为子午线或经线。国际上公认通过英国格林尼治天文台的子午面为首子午面,相应的子午线为首子午线。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。上述首子午面和赤道平面,是确定地面点经度和纬度的两个基本平面。

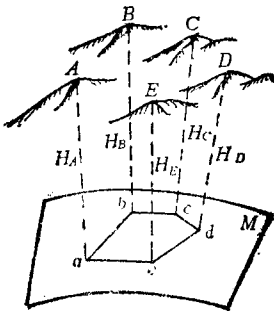


图 1-4

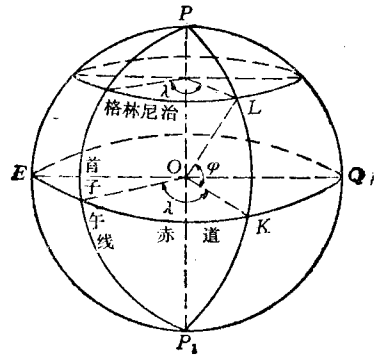


图 1-5

过地面上任一点 L 的子午面与首子午面所组成的两面角,称为 L 点的经度,用 λ 表示。经度由首子午线向东量,从 0° 到 180° ,称为东经;由首子午线向西量,也是从 0° 到 180° ,称为西经。过 L 点的铅垂线与赤道平面的夹角称为 L 点的纬度,用 φ 表示,它从赤道面起算,其值从 0° 到 90° ,在赤道以北的称北纬,以南的称南纬。

上述经纬度是以铅垂线为依据而用天文观测的方法测定的,称为天文经纬度或天文地理坐标,通常以 λ 、 φ 表示。还有一种经纬度是以地球椭球面的法线为依据而用大地测量的方法确定的,称为大地经纬度或大地地理坐标,通常以 L 、 B 表示。同一点的天文经纬度

和大地经纬度的差异一般很小。在地形图上使用的经纬度、是大地经纬度。

上面已经谈到,有了椭球参数,还要对它进行定位和定向,即依据一定的条件,将具有确定参数的椭球与地球的相关位置确定下来,建立大地测量坐标系,从而确定计算基准面,确定大地原点上的起算数据。

解放初期,我国采用了克拉索夫斯基椭球参数,并经过东北边境的呼玛、吉拉林、东宁三个基线网,同苏联的天文大地网相联结,定名为“1954年北京坐标系”。它实际上是苏联1942年坐标系的延伸,它的原点不在北京,而在苏联的普尔科沃。这个坐标系一直使用到现在。由于它存在一些缺点,所以1978年4月国家测绘局决定建立我国新的国家大地坐标系,定名为“1980年国家大地坐标系”。这个坐标系采用1975年国际大地测量协会推荐的椭球参数值,它的原点设在陕西省西安市西北方向的泾阳县(简称西安原点)。可以预期,新的国家坐标系将逐步取代1954年北京坐标系。

(二) 平面直角坐标

将地球自然表面测绘成图,图纸是平面,如果地面点仍用其在地球椭球面上的投影位置来表示,显然是不方便的。因此,在实际测绘工作中,地面点的位置常用它在平面上的投影位置,也就是平面直角坐标表示。

由于测量上某些特殊性,它所采用的平面直角坐标系与数学中的直角坐标系有所不同,如图1-6所示,除了 X 与 Y 轴纵横互换外,象限的顺序(测量上按顺时针方向依次排列)也是相反的。这样的改变,既符合测量本身的特殊性,又可使数学中的有关公式在测量计算中照样应用。

地面上任一点 A 的平面位置,是由该点到纵、横坐标轴的垂距 Aa_1 和 Aa_2 确定的。 Aa_1 称为点 A 的纵坐标,以 x 表示; Aa_2 称为点 A 的横坐标,以 y 表示。

纵坐标轴 X 通常与子午线方向一致,表示南北方向,以横坐标轴 Y 表示东西方向,纵、横坐标轴的交点,即坐标原点 O ,一般选在某特定子午线与赤道的交点上。由原点向上、向右为正,向下、向左为负。

二、地面点的高程

为了确定地面点的空间位置,除了点的坐标外,还要测定点的高程。

地面上任一点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,简称高程或海拔,以 H 表示,如图1-7所示, H_A 和 H_B 表示 A 点和 B 点的高程。我国采用青岛验潮站1950~1956年观测成果推算的平均海水面(大地水准面)作为高程起算面,其绝对高程为零。根据这个起算面推算的高程,称为“1956年黄海高程系”。为了明显而稳固地表示高程起算面的位置,还须建立一个与平均海水面相联系的水准点,作为推算国家高程控制网的高程起算点,称为水准原点。我国水准原点设在青岛附近。

有时,点的高程是从任意一个水准面起算的,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或相对高程,用 H' 表示。图1-7中的 H'_A 和 H'_B ,表示 A 点和 B 点的假定高程。

两点的高程之差称为高差,图1-7中 A 点到 B 点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-1)$$

高差有正、负之分,如 B 点高于 A 点,则 A 点到 B 点的高差为正;反之,则为负。

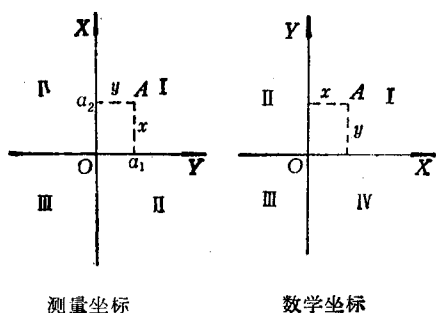


图 1-6

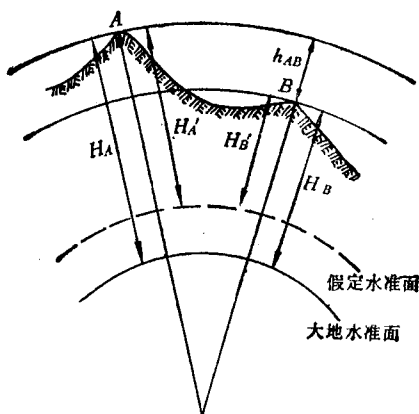


图 1-7

第1-3节 直线的定向

在实际工作中，常常需要确定两点间平面位置的相对关系。要确定这种关系，除了两点间的距离外，还要知道直线的方向。一条直线的方向是根据某一基本方向来确定的。确定一条直线对于基本方向的关系，称为直线的定向。

一、真方位角和磁方位角

测量中常以真子午线或磁子午线方向作为基本方向。过地面上某点的地球南北极的连线方向，称为该点的真子午线方向。过地面上某点的静止磁针所指的方向，称为该点的磁子午线方向。

由过直线起点的子午线北端起，顺时针方向量到直线的角度，称为该直线的方位角，如图1-8所示。 NS 为过 O 点的子午线方向，则 OA 、 OB 、 OC 、 OD 的方位角分别为 A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_4 ，其数值由 0° 到 360° 。如果基本方向是真子午线方向，则量得的方位角叫做真方位角，可用天文观测方法测定；若基本方向是磁子午线方向，则量得的方位角叫做磁方位角，可由罗盘仪量出。

一点的磁子午线方向与真子午线方向通常是不一致的，其夹角 δ 称为磁偏角。磁针北端偏向真子午线以东的，叫做东偏；偏在真子午线以西的，叫做西偏。通常以东偏为正，西偏为负。由图1-9不难看出，真方位角、磁方位角和磁偏角三者的关系为

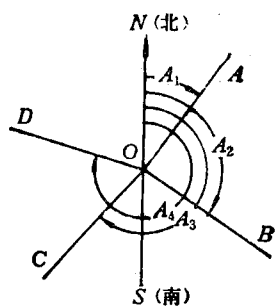


图 1-8

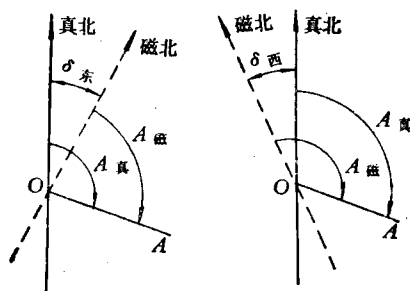


图 1-9

$$A_{真} = A_{磁} + \delta$$

(1-2)

二、坐标方位角

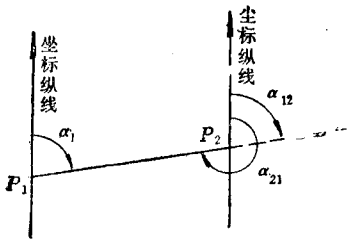


图 1-10

在测量学中，地面点的位置一般是用平面直角坐标确定的。因此，直线定向的基本方向采用纵坐标轴（X轴）的方向，即坐标纵线。从坐标纵线的北端，顺时针方向量到直线的角度，称为该直线的坐标方位角，以 α 表示。在图1-10中，直线 P_1P_2 的坐标方位角为 α_{12} 。

三、子午线收敛角

平面上过某点的真子午线方向，实际是球面上过该点的子午线所作的切线。如图1-11中， M_1T 和 M_2T 就是过 M_1 和 M_2 的子午线的切线。因真子午线都通过地球的两极，亦即地球上各点的真子午线方向不互相平行，所以同一直线上各点的真方位角也不相同。如图1-12所示， N_1S_1 和 N_2S_2 分别为过点 M_1 和 M_2 的真子午线方向， A_1 与 A_2 分别为直线 M_1M_2 在 M_1 与 M_2 的真方位角。由于 N_1S_1 与 N_2S_2 不平行，所以 $A_1 \neq A_2$ 。如在 M_2 作 N_1S_1 的平行线 $N'_1S'_1$ ，则 $N'_1S'_1$ 与 N_2S_2 间的夹角 γ ，即 A_1 与 A_2 之差，称为子午线收敛角。

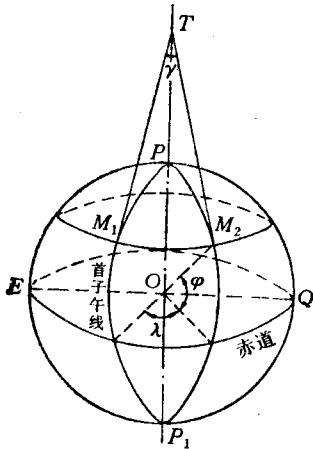


图 1-11

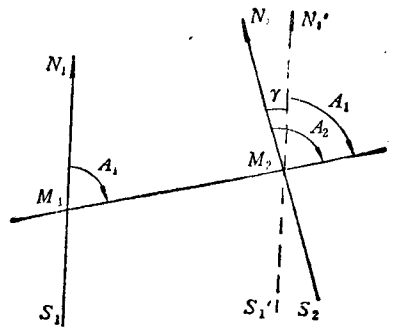


图 1-12

由于坐标方位角所依据的基本方向是X轴方向，而测量学上的X轴方向又是某特定的子午线方向，所以一直线上某点的真方位角与其坐标方位角常不相等，而相差一个子午线收敛角。

四、正方位角和反方位角

任一直线都具有正、反两个方向。直线前进方向的方位角叫做正方位角，其相反方向的方位角叫做反方位角。对于坐标方位角来说，如图1-10所示，若 α_{12} 为直线 P_1P_2 的正坐标方位角，则 α_{21} 就是该直线的反坐标方位角。由于同一直线上各点的基本方向都与X轴平行，故同一直线的正、反坐标方位角正好相差 180° ，即

$$\alpha_{12} = \alpha_{21} \pm 180^\circ$$

(1-3)

五、象限角

从基本方向线的一端量至某一直线的锐角，叫做该直线的象限角。它是由基本方向线的北端或南端，按顺时针或逆时针量至该直线的角度，其值为 $0 \sim 90^\circ$ 。

因象限角值在 $0 \sim 90^\circ$ 之间，在用象限角定向时，除了象限角值外，还要知道它所在的象限名称。例如，图1-13中 OA 的象限角为北偏东 $70^\circ 21'$ ，可以写成 $N70^\circ 21' E$ ，也可以写成北东 $70^\circ 21'$ 。象限角与方位角之间的换算关系见表1-2。

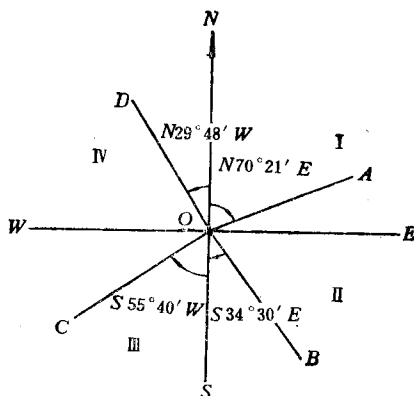


图 1-13

表 1-2

直 线 方 向	象限角 R 与方位角 α 的关系
象限 I 北东 (NE)	$R = \alpha$
象限 II 南东 (SE)	$R = 180^\circ - \alpha$
象限 III 南西 (SW)	$R = \alpha - 180^\circ$
象限 IV 北西 (NW)	$R = 360^\circ - \alpha$

第1-4节 平面图、地图与地形图

前已述及，在地形测量中，可以把小范围内的水准面看做水平面。这样，垂直于水准面的铅垂线，可认为是彼此平行的。于是，在图1-4中分别过地面各点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 作铅垂线，它们必与水平面正交，交点 a 、 b 、 c 、 d 、 e 即为相应地面点的正射投影（直角投影）。如果将图形 $abcde$ 按一定比例尺缩小，则所得到的相似图形就是地面点所组成的图形的缩影。这种既不考虑地球曲率的影响，又不考虑地面高低起伏的变化，利用正射投影的原理，按一定的比例尺把地面上的地物缩绘在平面上的图形，称为平面图或地物平面图。其特点是：平面图与地面的正射投影的图形相似，即它们的相应角度相等，边长成比例。

如绘制大范围的地面图形时，就不能将水准面看做平面，一定要考虑地球的曲率。这时，参考椭球面上的图形，如仍采用正射投影的方法绘成平面图，图上误差必然很大。为了减少图上误差，通常采用地图投影的方法，将参考椭球面上的图形绘制成平面图形，这种图称为地图，如中国地图、世界地图。地图上的图形，因投影关系都有一定的变形。

如果地图上只表示地面上房屋、道路、河流、耕地、植被等各种物体的位置，这种图称为地物图。若图上除地物外，同时还表示出地面上高低起伏的形态，则称为地形图。有些部门，把大于 $1:100$ 万比例尺的地图也称为地形图。

第1-5节 比例尺

地面上各种物体，不可能按其真实大小描绘在图纸上，而要经过缩小，才能在图上表示出来。图上某线段的长度与地面上相应线段的水平投影长度之比，称为图的比例尺。按其表示方法不同，可分为数字比例尺和图示比例尺。

一、数字比例尺

用分数或数字比例形式表示的比例尺，称为数字比例尺，一般用分子为1的分数表示。设地形图上线段长度为 l ，地面上相应线段的水平投影长度为 L ，则该图的比例尺为

$$\frac{1}{M} = \frac{l}{L} = \frac{1}{L/l} \quad (1-4)$$

式中 M 为比例尺的分母，常取200、500、1000、2000等整数形式，分母愈大，则比例尺愈小。在 M 、 L 、 l 三个数中，只要知道任意两个，便容易推知其余一个。例如，在1:2000的地形图上，量取一段堤坝长43.2mm，则该堤坝的实地水平长度应为

$$L = l \cdot M = 43.2\text{mm} \times 2000 = 86.4\text{m}$$

数字比例尺常见的表示形式有三种，例如，分母为500的可写成1:500、 $\frac{1}{500}$ 、五百分之一。

二、图示比例尺

应用数字比例尺，需要经常换算，这对测绘工作比较麻烦。为了应用上的方便，并避免由于图纸伸缩而引起的误差，可应用图示比例尺。它又分直线比例尺和斜线比例尺。

直线比例尺是在地形图的适当位置绘一个直线图形，划分成若干相等的线段，称为比例尺的基本单位，一般取1或2cm，并按比例尺注记该直线段的实地长度，将左边的一个基本单位又分成十个或二十个等分的小分划。图1-14所示为1:2000的直线比例尺，其基本单位为2cm，代表实地长度40m，而每一小分划为1mm，代表实地长度2m。1mm以下的零数是靠估读的。

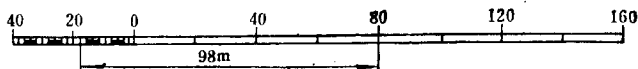


图 1-14

这种直线比例尺直接绘在图上，随图纸一起伸缩，使用方便，又可避免图纸伸缩的影响。测量中常用的三棱尺就是一种含六种不同比例的直线比例尺。

应用直线比例尺，仅能读到基本单位的十分之一，再小的数只有靠估读。为了准确地读到基本单位的百分之一，通常采用斜线比例尺（即复式比例尺）。

图1-15 a 是1:5000斜线比例尺，其绘制方法是：在 MN 直线上按基本单位长截取若干分点，过各分点作 MN 的垂线，将各垂线分成十等分，得十条与 MN 平行的直线。在左边的基本单位里，加绘十条等斜的平行线。最后在各分点上注记实地的水平距离。

图1-15 b 是斜线比例尺中 OAB 的放大图。从相似三角形 OAB 及 Oa_1b_1 得