

# 目 录

5.2 (9/12)

绪论	( 1 )
§ 0-1 测量学与地图学的研究对象与任务	( 1 )
§ 0-2 地球体	( 2 )
§ 0-3 地面点位的确定	( 3 )
§ 0-4 比例尺	( 5 )
§ 0-5 水平面代替水准面的限度	( 7 )
§ 0-6 地图的基本性质	( 7 )
§ 0-7 测绘工作在实现我国四个现代化中的作用	( 8 )
第一章 方向和角度测定	( 10 )
§ 1-1 直线定向	( 10 )
§ 1-2 罗盘仪	( 12 )
§ 1-3 水平角与竖直角	( 13 )
§ 1-4 游标经纬仪	( 14 )
§ 1-5 光学经纬仪	( 17 )
§ 1-6 经纬仪的应用	( 18 )
第二章 距离量测	( 24 )
§ 2-1 直线定线和距离丈量	( 24 )
§ 2-2 视距法测定距离	( 26 )
§ 2-3 视差法测定距离	( 30 )
§ 2-4 电磁波测距	( 31 )
第三章 高程测量	( 34 )
§ 3-1 高程测量概述	( 34 )
§ 3-2 水准测量	( 34 )
§ 3-3 水准测量作业	( 37 )
§ 3-4 三角高程测量	( 41 )
第四章 测量误差	( 43 )
§ 4-1 测量误差的概念	( 43 )
§ 4-2 衡量精度的标准	( 45 )
§ 4-3 观测值函数中误差	( 46 )
第五章 平面控制测量	( 49 )
§ 5-1 控制测量概述	( 49 )
§ 5-2 导线测量的外业	( 50 )

§ 5-3 导线测量的内业	( 51 )
§ 5-4 小三角测量的外业	( 59 )
§ 5-5 小三角测量的内业	( 59 )
§ 5-6 控制点的展绘	( 63 )
第六章 小区域大比例尺测图	( 66 )
§ 6-1 小区域测图概述	( 66 )
§ 6-2 平板仪	( 66 )
§ 6-3 加密控制点的测定	( 69 )
§ 6-4 碎部测量	( 74 )
§ 6-5 地形图的绘制	( 84 )
第七章 专业性测量	( 85 )
§ 7-1 纵断面测量	( 85 )
§ 7-2 微地貌断面测量	( 87 )
§ 7-3 河流断面测定及河底地貌的测绘	( 88 )
§ 7-4 定位观测	( 90 )
§ 7-5 草测	( 91 )
第八章 航空象片	( 96 )
§ 8-1 航空摄影	( 96 )
§ 8-2 航空象片的光学特性	( 100 )
§ 8-3 航空象片的几何特性	( 103 )
§ 8-4 航空象片的判读标志	( 107 )
第九章 遥感技术与卫星象片	( 113 )
§ 9-1 遥感技术概述	( 113 )
§ 9-2 多光谱遥感系统	( 115 )
§ 9-3 资源卫星及卫星象片	( 119 )
§ 9-4 卫星象片的判读	( 122 )
第十章 象片的使用	( 132 )
§ 10-1 航空摄影测量的简要过程	( 132 )
§ 10-2 航空象片和卫星象片略图	( 135 )
§ 10-3 航空象片的立体观察与量测	( 136 )
§ 10-4 航空象片的野外调绘与填图	( 140 )
§ 10-5 象片图形的转绘	( 141 )
第十一章 地图投影	( 145 )

§ 11-1	地图投影及其分类	(145)
§ 11-2	小比例尺地图投影举例	(152)
§ 11-3	地形图的投影——高斯-克吕格 投影	(169)
<b>第十二章</b>	<b>普通地图</b>	(172)
§ 12-1	普通地图的内容和任务	(172)
§ 12-2	地形图的分幅和编号	(173)
§ 12-3	地形图的地理要素	(176)
§ 12-4	地图符号与注记	(183)
§ 12-5	制图综合的概念	(185)
§ 12-6	小比例尺普通地图	(187)
§ 12-7	影像地图	(187)
<b>第十三章</b>	<b>地形图的应用</b>	(190)
§ 13-1	地形图上等高线的分析和 应用	(190)
§ 13-2	地形图上长度、面积和体积的 量算	(194)
§ 13-3	地形图的阅读	(200)
§ 13-4	野外使用地形图	(203)
<b>第十四章</b>	<b>专题地图和地图集</b>	(207)
§ 14-1	专题地图的内容和分类	(207)
§ 14-2	专题内容的表示方法	(207)

§ 14-3	专题地图举例	(218)
§ 14-4	地图集	(235)
<b>第十五章</b>	<b>地图编制</b>	(228)
§ 15-1	地图生产的一般过程	(228)
§ 15-2	编图的技术方法	(231)
§ 15-3	小比例尺普通地图的编绘	(238)
§ 15-4	专题地图的编绘	(238)
<b>第十六章</b>	<b>地图制图自动化</b>	(243)
§ 16-1	自动制图的原理及一般过程	(243)
§ 16-2	图形数字化和地图数字 资料库	(245)
§ 16-3	数学方法和程序设计	(246)
§ 16-4	自动制图设备	(249)
<b>结束语</b>		(255)
<b>附录</b>		(259)
I	地形图主要图例	(259)
II	应用表	(265)
II-1	经差 $1^\circ$ 的纬线弧长和纬差 $1^\circ$ 的经线 弧长以及从赤道起算的经线弧长	(265)
II-2	经纬网格的梯形面积	(268)
II-3	长度、面积单位和换算表	(270)
<b>编后记</b>		(271)

# 绪 论

## § 0-1 测量学与地图学的研究对象与任务

测量学与地图学是两门彼此密切联系的学科。没有精密的测量就没有精确的地图。

由于社会生产力的不断提高,促进了科学的向前发展。因而测量学与地图学也就逐步地确定了各自的研究对象和任务范围;同时,也使它们之间的分工与联系愈加明确。

现代测量学是研究用什么工具和手段,直接或间接地从地球表面获得量度数据或信息,通过怎样的科学处理,确定地面的点位、方向及其相互关系;从而将地球表面的主要现象和物体正确地表示在平面(地图)上的一门科学。测量学的任务,具体有:1)确定地球的形状和大小;2)确定地面上各点的相对位置或某一坐标系统的统一位置;3)将地面上施测区域绘制成图。

以整个地球或某一广大地区为对象,而进行测量和成果处理,研究其有关的技术和理论的一系列的问题,属于大地测量学的范围。五十年代以来,由于航天技术的发展,已使大地测量者可以确定地球的真正的大小和形状;卫星大地测量已经应用于世界上大陆之间的联测,从而扩大了大地测量学的界限。

以小地区为对象,详细处理地球陆地部分的几何关系并绘制成图,研究其有关的技术和理论问题,属于地形测量学范围。随着摄影学和航空技术与装备的发展,形成了如何在航空摄影象片上进行测量,并用以制成完整的地形图的科学——航空摄影测量学。以航天卫星对地球进行遥感,利用卫星象片制图为现代测绘技术进一步的新发展。

为了满足城市建设和工农业、交通、矿山等生产上的需要,又发展成了为某项专业服务的工程测量学。

地图学是关于地图的科学。它研究地图的实质、地图各要素的表示方法及其发展特点,探讨地图编绘和复制的理论和技术方法以及地图的使用等问题。

测量学和地图学都是密切联系生产实际的科学,它们都以如何将地球表面的自然地理和社会经济现象表示成图为己任。但是,前者侧重于实地的测绘工作方面,而后者则侧重于利用测量成果、已成地图以及用其他手段所取得的地面资料或经过处理的信息(数字与图象)进行地图的编篡(编辑与编绘)。根据当前的测绘仪器和方法,实测地形图的最小比例尺一般为1:10万。而那些更小比例尺的地形图或专题地图,大都是根据大比例尺的实测地图、航空象片、卫星象片和其他资料编篡而成。

概括起来地图学的任务是:1)以历史唯物主义观点和唯物辩证的方法,研究地图本身及其各要素的表示方法的演变以及今后的发展趋向;2)研究地球椭球体(或球体)表面描写到平面上的理论与方法,研究地图投影的变形规律以及不同投影的转换问题;3)研究地图的内容与形式的统一,各要素的制图综合,地图的编绘和复制等一系列的理论与技术方法,并尽可能运用当代最

新科学技术于地图的生产,以缩短成图周期,提高成图质量和增加新的地图品种;4) 研究地图的使用、量算以及对地图成品的评价问题等。

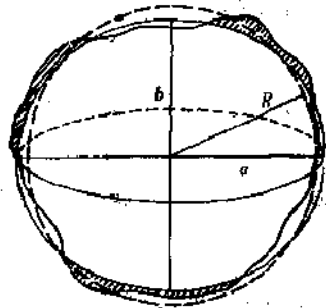
地图学的上述研究内容,一般包括如下几个部分: 地图概论、数学制图学、地图编制、地图描绘与整饰、地图制印和地图制图自动化等。

一个地理工作者首先要能够分析和运用各种测量成果,在必要时能够自己测绘某些必需的数据和资料以至小面积的地图。因此,地理工作者必须了解测量学的基本原理,掌握测绘的基本方法和技能。

地理研究不论在室内或野外进行工作,都不能离开地图这个有效工具。如果对地图学的基本理论、地图的实质、地图的生产过程等不具备相当的知识,就很难正确地分析和使用地图。同时,地图又是反映区域资料和地理科研成果的最好形式,它比文字描述具有方位准确、质量数量直观、对比明显、一览性强等优点。因此地理工作者至少应具备编绘专题地图的技能。

## §0-2 地球体

地球的自然表面,是一个极不规则的曲面,有高出海面 8848.13 米的珠穆朗玛峰,有深凹在海水下 11022 米的马里亚纳海渊。海洋面积约占地球总面积的 71%。在测绘工作中是假设以平静的海洋面包围整个地球。这个假想的平滑的物理面,叫做大地水准面。由于潮汐和风浪的作用,平静的海洋面是不可能有的。为此,常以某一个验潮站积多年观测的平均海面作为大地水准面,并以这个面作为地面高程的起算面。我国是以 1956 年公布的黄海平均海面作为大地水准面的,故称 1956 年黄海高程系。



——自然表面;      - - - - - 大地水准面;  
——地球椭球体面;      R 地球半径;  
a 地球椭球体长半径; b 地球椭球体短半径

图 0-1 地球椭球体

大地水准面的特点是处处与铅垂线垂直。由于铅垂线方向受地球表面和内部质量分布不一的影响,大地水准面还是一个具有起伏的曲面,故仍不能用已知的简单数学公式来表达。所以在大地测量的最后换算中和制图的实践中,是用一个极近似于大地水准面的旋转椭球体来代替。这种椭球体的形状和大小取决于它的长(赤道)、短(极)半径和扁率(图 0-1)。

一百多年来,世界上一些大地测量学者推算出了几个不同的地球椭球体,我国在测绘工作中,1952 年以前采用海福特椭球体,从 1963 年起采用克拉索夫斯基椭球体,其数据见表 0-1。

表 0-1 地球椭球体的大小

椭球体推算者	推算年代	长半径 a (米)	短半径 b (米)	扁率 $\frac{a-b}{a}$
海福特	1909	6 378 388	6 356 912	1:297.0
克拉索夫斯基	1940	6 378 245	6 356 803	1:298.3

1975 年第 16 届国际大地测量及地球物理联合会建议的大地参考值为:

长半径  $a = 6\,378\,140 \pm 5$  米

$$\text{扁率} \frac{a-b}{a} = 1/298.257 \pm 0.0015$$

我国目前的测绘工作是在克拉索夫斯基椭球体上建立坐标网，并把实地测得的各要素归化到这个椭球体面上来处理。地球各要素间的相对位置，就是根据这一坐标网来确定的。

自从1957年以来，世界上发射了大约一万多颗人造卫星。通过许多卫星资料的分析，揭示了地球赤道重力场的不对称性，但仍以旋转椭球体描述地球的形状。

由于我国幅员辽阔，地势复杂，应有适合本国情况的参考椭球体。我国在赶超世界先进水平的规划中，计划在近期推算出新的地球椭球体参数，建立自己的独立的大地坐标系。

### § 0-3 地面点位的确定

当决定采用某一地球椭球体时，必须使椭球的中心与地球重心一致，使地球赤道面与椭球体赤道面一致，而且两者之间在高度上差值的平方和为最小。这样才可以正确确定地面各点的位置。

确定地面的点位，也就是求出实际地面各点对大地水准面的关系。首先把地面点沿铅垂线方向投影到大地水准面上，其次确定地面到大地水准面沿铅垂线方向的高度。

#### 0-3-1 地理坐标

地面上任一点在大地水准面上垂直投影的位置是用地理坐标(纬度、经度)来表示的。

若把大地水准面看作椭球体(或球体)的表面，如图 0-2， $S, N$  为地球的南北两极， $O$  为地球体中心，通过球心连接两极的直线  $NS$  为椭球体的旋转轴。通过旋转轴的平面与椭球体表面相交所截成的大环线  $NMSG$ ，叫做子午线(经线)。过球心  $O$  垂直于旋转轴的平面，叫做赤道面，它与椭球面相交所截成的大环线  $WMEG$ ，叫做赤道。与赤道平行的平面同椭球面相交所截成的小环线  $abcd$ ，叫做纬线。

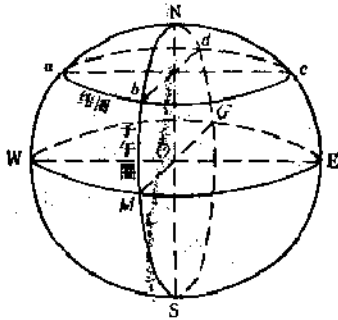


图 0-2 地理坐标

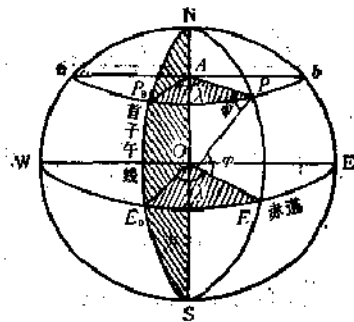


图 0-3 确定地面点的地理坐标

经过国际会议决定，以通过英国格林威治天文台的子午线为  $0^\circ$ ，作为首子午线(起始子午线)。地面上任一点  $P$  的子午线平面与首子午线平面所夹的两面角就是该点的地理经度(图 0-3)，以  $\lambda$  表示。经度绕地球一周划分  $360^\circ$ ，首子午线以东  $0^\circ-180^\circ$  为东经，以西  $0^\circ-180^\circ$  为

西经。

地面上任一点  $P$  的法线 (同  $P$  点的切平面相垂直的直线) 与赤道面的交角, 叫做该点的 纬度, 以  $\varphi$  表示。纬度以赤道为零度, 从赤道至南北两极各为  $90^\circ$ , 在赤道以南叫南纬, 赤道以北叫北纬。

这样, 地面上任一点的地理位置就可以用经、纬度来确定了。如南京市在地球上的位置大致可以用东经  $118^\circ 47' 30''$ , 北纬  $32^\circ 03' 50''$  来确定它的中心位置。

### 0.3.2 平面直角坐标

地面上的地理坐标是一种球面坐标, 不论把地球视作椭球体或正球体, 其表面都是不可展平的曲面。也就是说曲面上各点不能直接表示在平面上。这是地图的基本矛盾之一 (曲面同平面的矛盾)。正确解决的方法, 是运用数学法则将地球体表面的经纬网点投影到平面或可展曲面上, 然后展平成为地图上的经纬网点。这种将地球椭球体或球体面上的地理坐标网点转写到平面上的数学法则, 叫做地图投影 (详见第十一章)。任一种地图投影, 都是建立在地球表面同平面上点的对应关系上, 即椭球体面上任一个由地理坐标  $\varphi, \lambda$  确定的点, 在平面上必然有一个由平面直角坐标  $x, y$  完全确定的点同它相对应, 这种函数关系的一般形式为:

$$x = f_1(\varphi, \lambda)$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda)$$

在定义域内,  $f_1, f_2$  是单值, 有限而连续的。

通过地图投影计算所得出的平面直角坐标, 既是在平面上表示地球体上地理坐标的一种手段, 也是地图上表示地理坐标的另一种形式。在小比例尺地图上一般只表示地理坐标网 (即通过平面直角坐标把经纬网展绘在地图上, 而不表示直角坐标本身); 在较大比例尺地形图上, 则两种坐标网 都要表示出来。

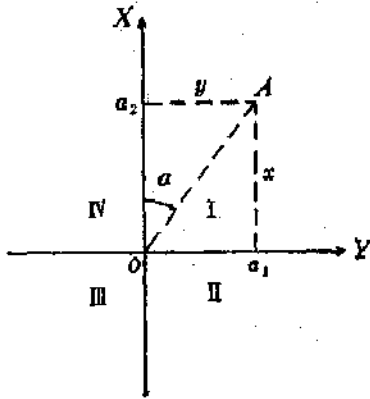


图 0-4 确定地面点的直角坐标

公式进行计算时, 不需要任何改变。

### 0.3.3 高程

地面点位的确定, 除了用地理坐标确定地面点在大地水准面上的垂直投影位置外, 还要确定地面点到大地水准面的高度。地面点对于大地水准面的高度, 称为绝对高程, 对于其他任一水准面的高度, 称为相对高程。如图 0-5,  $P_0P_0$  为大地水准面 (即平均海面), 地面点  $A$  和  $B$  至  $P_0P_0$  垂直距离  $H_A$  和  $H_B$  为该两点的绝对高程 (海拔);  $A, B$  两点至任一假定水准面  $P_1P_1$  的垂直距

离 $H'_0$ 和 $H'_1$ ，为该两点的相对高程或假定高程。而 $B$ 点对 $A$ 点的高差，即 $B$ 、 $A$ 两点高程之差，用 $h$ 表示。高差有正有负，若测点高于起算点则高差为正，反之为负。知道了地面点的经度、纬度和绝对高程，则该点的位置就可以确定了。

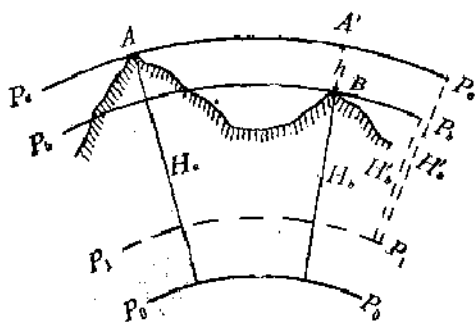


图 0-5 高程

### § 0-4 比例尺

测绘地图时，必须把实地缩小若干倍才能够描绘在有限面积的图纸上。这种把实地的长度缩小的倍数就是地图的比例尺，也就是地图上一定直线段的长度与地面上相应距离的水平投影长度之比，即：

$$\frac{\text{图上直线长度}}{\text{相应距离的水平投影长度}} = \text{比例尺}$$

如果以 $l$ 表示图上长度，以 $L$ 表示实地水平长度，以 $M$ 表示比例尺分母，则有如下关系：

$$\frac{l}{L} = \frac{1}{M}$$

式中 $l$ 、 $L$ 、 $M$ 三个数，只要知道其中任意两个，便容易推知其余的一个。例如，在二万五千分之一地图上，量取12厘米长的一段直线灌溉，其实地距离应为：

$$L = l \cdot M = 12 \text{厘米} \times 25000 = 3 \text{公里}。$$

地图比例尺常见的表示形式有以下几种：

数字式 如 $1:50000$ ， $\frac{1}{25000}$ ，二万五千分之一等。

说明式 只在地图的适当位置注明一个长度单位相当于实地某一长度单位，例如“1厘米等于10公里”（其比例尺为 $1:100$ 万）。

图解式 分直线比例尺、斜分比例尺和复式比例尺三种。

直线比例尺是在地图的适当位置绘一个直线图形，划分若干个图上的长度单位，并注明相应的实地长度数字（图 0-6）。

斜分比例尺可以直接用来量取 $1/100$ 的单位长

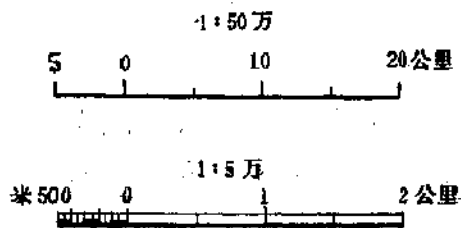


图 0-6 直线比例尺



向线的比例尺,离开这种主点或标准纬线,其比例尺则增大或缩小。一般在大比例尺的地形图上,由于一幅图所包含的实地面积较小,在图幅范围内比例尺的变化很微小,就只注明主比例尺就可以了。但是,在包括面积广大的小比例尺地图(例如中国全图或亚洲全图等)上,为了使用图者能在图上量取较精确的数据和反映投影变形情况,常加绘复式比例尺。

### § 0-5 水平面代替水准面的限度

在较小的地区内进行测图时,可以将大地水准面近似地当作球面看待。在实际测量工作中,当测区面积不大时,往往以水平面直接代替水准面,即把很小一部分地球表面上的点投影到水平面上来确定其位置。下面讨论平面代替球面可以容许的界限。如图 0-9,设  $amb$  是水准面,  $mb'$  是  $m$  点的水平面,水准面上的距离  $\widehat{mb}$  与水平面上的距离  $mb'$  对着同一个地心角  $\alpha$ , 因此把  $\widehat{mb}$  当作  $mb'$  时, 距离的误差为  $\Delta S = mb' - \widehat{mb} = R \operatorname{tg}\left(\frac{\widehat{mb}}{R} \rho''\right) - \widehat{mb}$

若令  $\Delta h = b'b$ , 则  $b$  点的高程误差为

$$\Delta h = R \left( \sec \frac{\widehat{mb}}{R} \rho'' - 1 \right)$$

式中,  $R$  为地球半径, 等于 6371 公里,  $\rho''$  为一弧度之值, 用角度的秒表示, 等于  $206265''$ 。给予  $\widehat{mb}$  以不同的值, 则可计算出距离误差和高程误差, 如表 0-2。

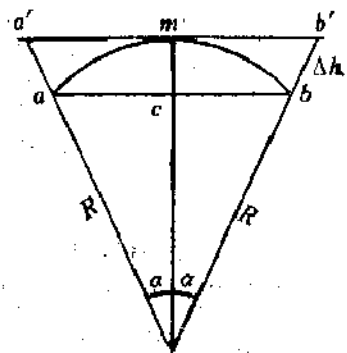


表 0-2 用水平面代替水准面的误差 图 0-9 水平面代替水准面的限度

水准面上距离 $\widehat{mb}$ (公里)	当作水平面时距离误差 $\Delta S$ (厘米)	高程误差 $\Delta h$ (米)
1	0.0008	0.08
10	0.82	7.8
25	12.83	49.0
100	821.20	784.8

由表 0-2 可见当水准面上距离  $\widehat{mb}$  为 25 公里时, 距离误差为 12.83 厘米, 高程误差为 49 米。如果比例尺缩小 1000 倍, 绘到地图上距离误差仅有 0.13 毫米, 小于绘图容许的误差 0.2 毫米。因此测绘 1:1000 比例尺的地形图时, 在半径不大于 25 公里的水准面(地表面)可以当作平面。但是高程误差是不随比例尺缩小的, 即使距离很短也必须加以改正。

### § 0-6 地图的基本性质

在地面上进行测量工作所得的成果, 如用解析法表示, 则得到的是各种测量数据, 如用图解法表示, 则得到一张图。根据成图的要求、测量面积的大小、内容表示的特点和制图方法的不同, 又可分为平面图、地形图和地图。

当测绘半径不超过 25 公里的范围时, 可以不考虑地球曲率的影响, 把这部分水准面当作水平

面看待,将地面上的地物按铅垂线投影到水平面上;这样,便可以在图纸上用缩小的相似图形表示出地面上的相应物体及其关系,而且图幅内比例尺处处相同,这种地图叫做平面图。

当测区的面积很大,必须顾及地球的曲率,则需采用一定的地图投影法,按一定的精度要求,

---

到大规模的各兵种联合作战,一刻也不能离开地图,所以说地图是军队的“眼睛”。在国防建设上,不论在腹地还是边防,地形的测绘是首要的工作。在现代化的战争中,武器要发射得远而准,没有精密的各种各样的地图,是难以指挥的。地图又是国际斗争的重要工具,例如涉及到国家的领土主权问题,不仅要有精确的最新地图,而且还需要有详细的历史地图。

测绘工作的成果在科学研究、文教、卫生等各方面,都有着广泛的作用和意义。特别在地学各个研究领域中,对测绘成果和地图的需要是多方面的。例如水土保持、环境保护、生物资源的调查研究、气象气候的研究、沙漠的改造、草原的研究利用等等,都需要地面测量的各种数据资料、航空象片、卫星象片和地图。卫星大地测量学的发展,对大地动力学的研究,如大陆漂移、近代地壳运动等将提供宝贵的资料。

科学研究不仅需要地图来协助进行工作,同时其科研成果往往又可以不断丰富和核实地图的内容,并且能促进产生新的地图品种。

总之,测绘工作对于工业、农业、国防、科学技术的现代化,都有着重大的作用和意义。

# 第一章 方向和角度测定

## §1-1 直线定向

在图 1-1 中,从地面上  $O$  点出发,可引出  $OB$ 、 $OC$ ……等许多直线,要确定  $OB$ 、 $OC$ ……等直线的方向,必须选定一个起始方向作为基本方向。在测量中常以真子午线方向或磁子午线方向作为基本方向。确定一直线与基本方向的关系,称为直线定向。直线方向常以方位角表示。

**真方位角** 通过地面上某一点  $O$  指向地球南北极的方向,叫做过  $O$  点的真子午线方向。从真子午线北端开始顺时针方向量至某一直线的水平角,称为该直线的真方位角。真方位角从  $0^\circ$  变化到  $360^\circ$ ,如图 1-1,  $OB$  直线的真方位角  $A_1 = 55^\circ 16'$ ,  $OC$  直线的真方位角  $A_2 = 126^\circ 25'$ ,  $OD$  直线的真方位角  $A_3 = 258^\circ 58'$ ,  $OE$  直线的真方位角  $A_4 = 330^\circ 18'$ 。直线的真方位角是用天文观测的方法测定的。

**磁方位角** 在地面上某一点磁针静止时所指的方向,叫做过该点的磁子午线方向。从磁子午线北端开始顺时针方向量至某一直线的水平角,称为该直线的磁方位角。磁方位角从  $0^\circ$  变化到  $360^\circ$ 。直线的磁方位角是用罗盘仪直接测定的。

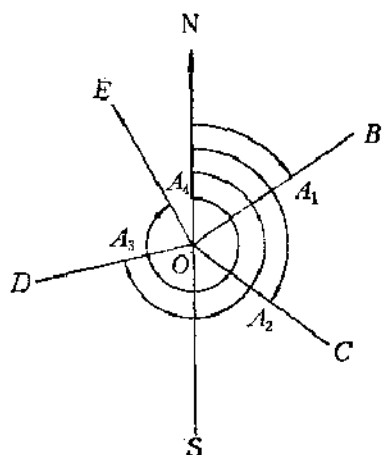


图 1-1 真方位角

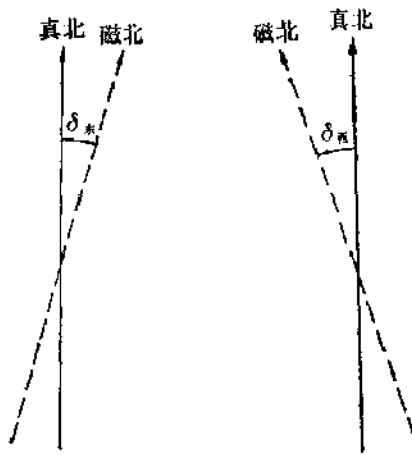


图 1-2 磁偏角

地面上任一点的真子午线和磁子午线方向常不相重合,其间的夹角称为磁偏角,以  $\delta$  表示(图 1-2)。当磁子午线北端偏于真子午线方向以东时,称为东偏( $\delta_E$ ),磁子午线北端偏于真子午线方向以西时,称为西偏( $\delta_W$ )。在测量中常以东偏为正,西偏为负。一直线的真方位角等于磁方位角加磁偏角,用公式表示为

$$A_{\text{真}} = A_{\text{磁}} + \delta \quad (1-1)$$

因为子午线都通过地球两极,因此地球上各点的子午线方向不是互相平行的。如图 1-3 所

示,在直线  $CD$  上  $C$  点的真子午线方向  $N_1S_1$ , 真方位角  $A_1$ ; 在  $D$  点上的真子午线方向  $N_2S_2$ , 真方位角为  $A_2$ 。若在  $D$  点上作  $N'_1S'_1$  平行  $N_1S_1$ , 则  $N'_1S'_1$  与  $N_2S_2$  之间的夹角  $\gamma$ , 称为子午线收敛角。所以

$$A_2 = A_1 + \gamma \quad (1-2)$$

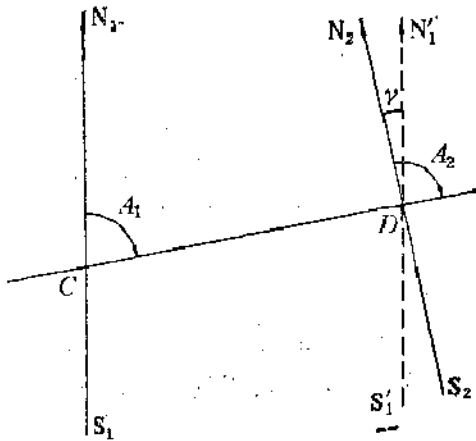


图 1-3 子午线收敛角

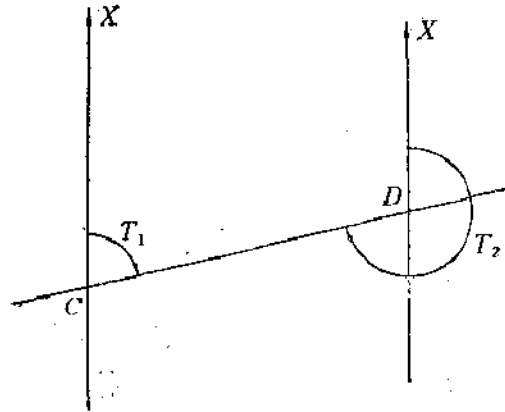


图 1-4 坐标方位角

当  $C$  与  $D$  相距很近时,可认为  $\gamma = 0$ ,即通过  $C, D$  点的子午线方向相互平行,所以  $A_2 = A_1$ 。

由于地球上各点子午线方向不相平行,在方位角计算中常要考虑子午线收敛角的问题,这给计算工作增加不少麻烦,为了简化方位角的计算,并适应地形测量中采用的平面直角坐标系,因此采用坐标方位角来确定直线的方向。

坐标方位角(方向角) 通过地面上某点作纵坐标轴  $X$  (图 1-4),从纵坐标轴方向的北端开始顺时针方向量至某一直线的水平角,称为该直线的坐标方位角,以  $T$  表示。因为在坐标平面上通过各点的坐标纵线都互相平行,所以图 1-4 中  $CD$  直线的正坐标方位角  $T_1$  和反坐标方位角  $T_2$  相差  $180^\circ$  即

$$T_2 = T_1 \pm 180^\circ$$

象限角 在测量内业计算中,为了内业计算方便,常用直线与子午线相交的锐角进行直线定向,这种定向的锐角,称为象限角。象限角是由子午线的北端或南端开始顺时针方向或逆时针方向量至直线的水平角。在图 1-5 中,  $NS$  为经过  $O$  点的子午线方向,  $OM_1, OM_2, OM_3, OM_4$  为地面上四条直线,其象限角分别为  $R_1, R_2, R_3, R_4$ ,象限角只从  $0^\circ$  变化到  $90^\circ$ 。为了区别角度所在的象限,把四个象限中的角度分别命名为北东  $R_1$ ,南东  $R_2$ ,南西  $R_3$  和北西  $R_4$ 。

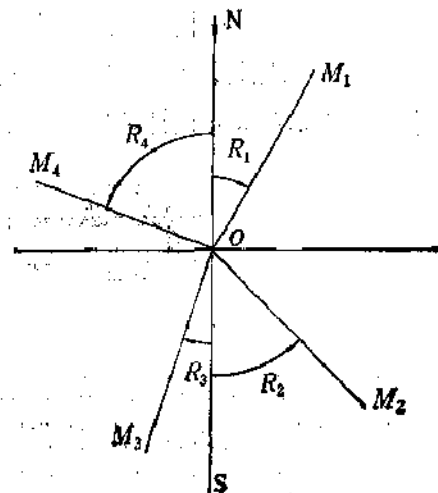


图 1-5 象限角

根据起始方向的不同，有真象限角、磁象限角和坐标象限角之分。  
方位角与象限角的换算关系如下表所示：

直 线 方 向		象 限	由方位角求象限角	由象限角求方位角
方 位				
北 东		I	$R_1 = A_1$	$A_1 = R_1$
南 东		II	$R_2 = 180^\circ - A_2$	$A_2 = 180^\circ - R_2$
南 西		III	$R_3 = A_3 - 180^\circ$	$A_3 = 180^\circ + R_3$
北 西		IV	$R_4 = 360^\circ - A_4$	$A_4 = 360^\circ - R_4$

### § 1-2 罗 盘 仪

罗盘仪是测定直线的磁方位角或磁象限角的仪器。罗盘仪的构造简单，使用方便，但精度较低，一般用于低精度的测量工作和勘测工作，是地学工作者野外调查必备的工具之一。

罗盘仪的构造主要部分有磁针、刻度盘和瞄准设备(图 1-6)。

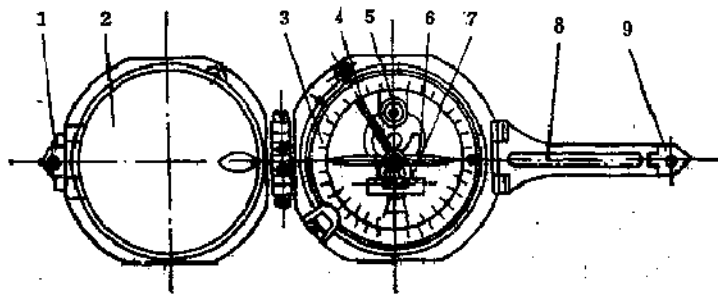


图 1-6 罗盘仪

1: 小照准合页 2: 反光镜 3: 刻度盘 4: 杠杆 5: 圆水准器 6: 磁针 7: 水准管 8: 长照准合页 9: 望远镜合页

磁针系长菱形或长条形的人造磁铁，中央作小帽状并镶有坚硬玛瑙，支承在度盘中心钢质的顶针上，可以灵活转动。罗盘仪上还有一小杠杆(图 1-7)，罗盘仪在不使用时，可旋紧杠杆一端的小螺旋使磁针离开顶针，以减少磨损。



图 1-7 磁针

刻度盘一般刻有  $2^\circ$  或  $1^\circ$  的分划，每隔  $10^\circ$  有一注记。若罗盘仪的刻度盘按  $0^\circ$  到  $360^\circ$  反时针方向注记的，称为方位罗盘，方位罗盘可直接测定直线的磁方位角。若刻度盘按  $0^\circ$  到  $90^\circ$  注记的，称为象限罗盘，象限罗盘可直接测定直线的磁象限角。

瞄准设备，有的采用望远镜，有的采用一对觇板，图 1-6 的罗盘仪是觇板和反光镜联合使用，

以瞄准目标。

应用罗盘仪测定直线的磁方位角或磁象限角时,先将罗盘仪安置在直线的起点,使罗盘仪水平后,放下磁针,瞄准直线的另一端点,待磁针静止后,即可在度盘上读数,所得读数为该直线的磁方位角或磁象限角。读数应按下面规则进行:

使用方位罗盘时,若对物觇板位于 $0^\circ$ ,则用磁针的北端读数;若对物觇板位于 $180^\circ$ ,则用磁针的南端读数。如图 1-8 用磁针北端读数得  $A_m = 315^\circ$ , 图 1-9 用磁针南端读数得  $A_m = 310^\circ$ 。

使用象限罗盘时,若对物觇板位于  $N0^\circ$ ,则用磁针北端读数;若对物觇板位于  $S0^\circ$ ,则用磁针南端读数。

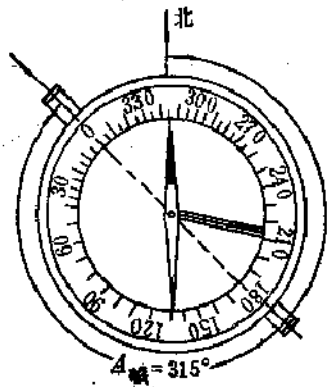


图 1-8 磁针北端读数

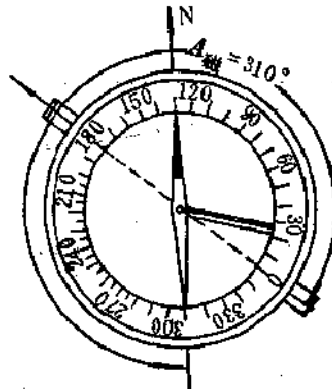


图 1-9 磁针南端读数

在使用罗盘仪测定直线的磁方位角或磁象限角时,罗盘仪附近不能有任何铁器,否则测量结果是不可靠的。

### § 1-3 水平角与竖直角

地面点位置的测定和许多工程建设中都需要角度测量,因此角度测量是测量的基本工作之一。

水平角 在图 1-10 中,  $A, B, C$  为地面上任意三点, 通过  $AB$  和  $AC$  直线各作一垂直面, 构成两面角, 当这两个垂直面被水平面  $P$  所截时, 其交线  $ab$  和  $ac$  的夹角, 叫做两面角的平面角, 即水平角。

为了测出水平角, 测量仪器必须具备一个水平度盘和瞄准目标用的望远镜。测角时要求: 度盘中心应位于角顶点  $A$  的铅垂线上, 并使度盘保持水平。如图 1-10 中  $a'$  在  $A$  点的铅垂线上; 望远镜上、下转动时, 应扫出一个垂直面, 以保证同一垂直面内的任何瞄准方向线在水平度盘上有相同的读数。各种类型的经纬仪都是根据以上要求设计制造的。

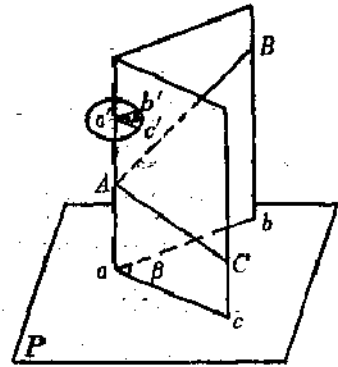


图 1-10 水平角观测原理

竖直角 在一垂直面内望远镜视准轴方向和水平线方向之间的夹角, 称为竖直角(又称垂直

角或倾斜角)。在图 1-11a 中,视线方向位于水平线方向的上方所构成的竖直角,称为仰角。图 1-11b 视线位于水平线方向的下方,所构成的竖直角,称为俯角。一般表示仰角为正角,俯角为负角。

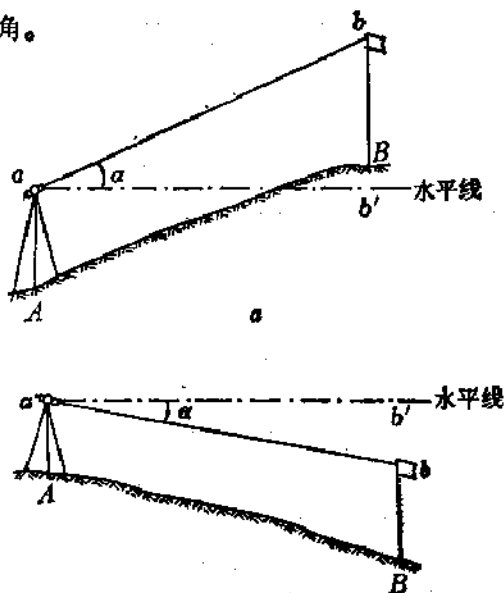


图 1-11 竖直角

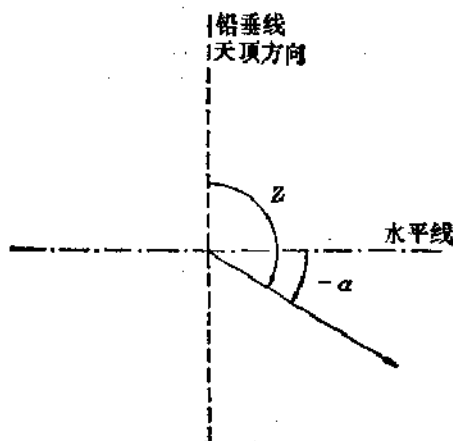


图 1-12 天顶距

天顶距 在一竖直面内望远镜视线方向和铅垂线天顶方向之间的夹角,称为天顶距。如图 1-12 所示,天顶距和竖直角之间的关系为

$$Z + \alpha = 90^\circ \quad (1-3)$$

式中, $Z$ : 天顶距;  $\alpha$ : 竖直角。

竖直角和天顶距是用经纬仪上的竖直度盘测定的。

## § 1-4 游标经纬仪

常用的普通经纬仪有游标经纬仪和光学经纬仪两大类。游标经纬仪主要由望远镜、度盘和基座三部分组成(图 1-13)。

### 1.4.1 望远镜

望远镜主要组成部分有物镜、目镜和十字丝(图 1-14)。望远镜有外对光望远镜和内对光望远镜两种。现在生产的大多是内对光式望远镜。

物镜光心和十字丝交点连成的直线,称为视准轴。望远镜和水平轴连结在一起(图 1-13),当望远镜上、下旋转时,要求视准轴扫出的面是一个竖直面。望远镜配备有制动螺旋和微动螺旋,制动螺旋松开后,望远镜可上下自由转动,当制动螺旋拧紧后,旋转微动螺旋可使望远镜上下微动。

瞄准目标时,望远镜要进行对光,对光包括目镜对光和物镜对光,目镜对光是旋转目镜使十字丝清晰,物镜对光是旋转对光螺旋使物体的象清晰。十字丝的式样很多(图 1-15)。

经物镜对光后,物体的象应落在十字丝平面上,若对光不准确,则物体的象和十字丝面不重合,便产生十字丝视差。检查是否存在十字丝视差,眼睛可在目镜后上下左右移动,若十字丝

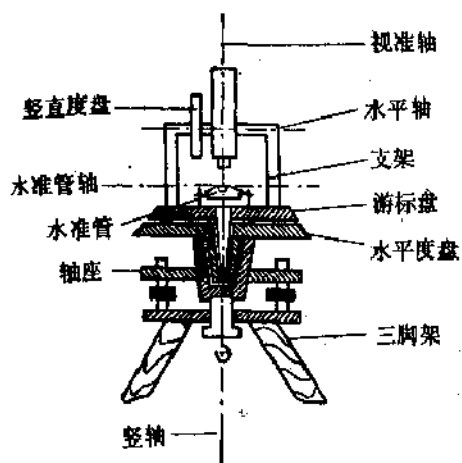


图 1-13 经纬仪的构造

交点始终对准同一目标点,则物象和十字丝面重合,若随眼睛在目镜后的移动而产生物象的视动,则存在十字丝视差。十字丝视差的存在会影响瞄准的精度。故测量时必须消除视差。消除的方法是仔细旋转对光螺旋,直至不出现物象视动为止。

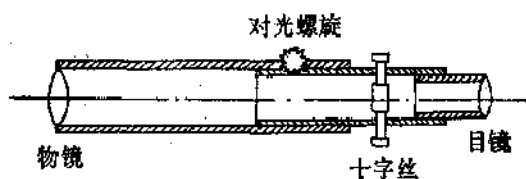


图 1-14 望远镜

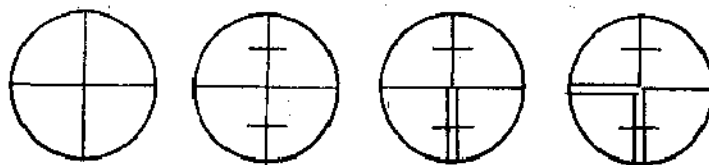


图 1-15 十字丝

### 1.4.2 水准器

水准器是用于导致水平度盘水平的,水准器有水准管和圆水准器两种。

**水准管** 水准管内壁的纵断面是一段圆弧,管内装满酒精,只留一小气泡(图1-16)。水准管的中点  $O$  为水准管的零点,水准管零点的切线  $HH$  称为水准管轴,当气泡居中时,水准管轴水平。水准管上刻有 2 毫米间隔的分划,2 毫米的弧长所对应的圆心角称为水准管分划值。一般有  $20''$ 、 $30''$  和  $60''$  三种分划值。水准管的圆弧半径愈大,分划值愈小,水准管愈灵敏,用来整平仪器的精度愈高。

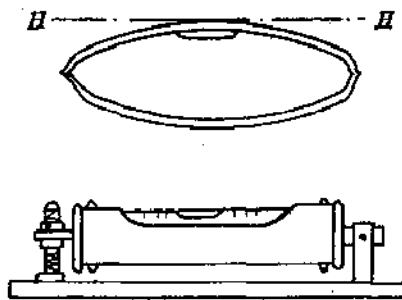


图 1-16 水准管

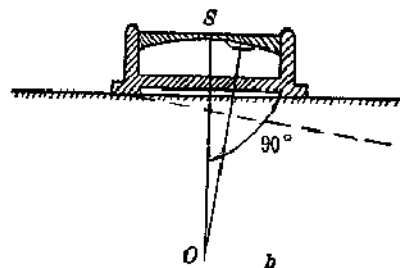
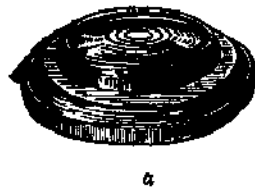


图 1-17 圆水准器

**圆水准器** 圆水准器是一圆柱形的小玻璃盒,盒内装满酒精和留一小气泡(图1-17a),圆盒内顶壁成圆球形,盒面中央有一小圆,其圆心  $S$  即为圆水准器的零点,连接零点  $S$  与球面的球心