

高等农林院校试用教材

测量学

南京林业大学 内蒙古林学院
江西农业大学等 编著

江西科学技术出版社

前 言

本书的编写是在1984年5月全国高等农林院校测量学教学经验交流会后提出来的。目的是本着百花齐放的精神，取长补短，以促进测量学的教学改革，活跃学术空气，共同进步，提高教学质量。

本书总结了南京林业大学、内蒙林学院、江西农业大学、东北林业大学、福建林学院、华南农业大学、安徽农学院等院校数十年的教学经验，并吸取了与会兄弟院校的经验，贯彻少而精的精神，精心编写而成的。内容力求结合农林业的生产实际，加强对测量基本概念、基础理论和基本操作的论述，并适当介绍了当前测绘科学的新仪器和新技术。

编写本书时，已考虑到林业有关专业的教学、科研与生产的需要。面对林业专业，照顾水保、园林、采运等专业，同时亦可作为农林其他专业的教学与参考用书。

本书由南京林业大学陶绍训、内蒙林学院周道忠、江西农业大学齐开山主编。参加编写的还有南京林业大学蒋庆榆、袁维清，东北林业大学黄定宇，福建林学院林振民，华南农业大学陈宇宽和安徽农学院杨承振。

本书由江西农业大学周蓄源教授、内蒙林学院张世英副教授主审。参加审订工作的除编写人员外，还有福建林学院陈端云、内蒙林学院刘广勋等同志。

在编写过程中，一些院校测量教研组的老师参加了讨论和审稿。一些兄弟院校、生产科研单位以及华南农业大学石斌同志提供了资料并大力协助，使本书的编写工作得以顺利完成。在此表示衷心的感谢。

由于我们水平所限，缺点和错误难免，希望使用本书的单位和读者提出意见和建议，以便改正。

编 者

一九八五年九月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1—1 测量学的任务和分类	(1)
§ 1—2 地球的形状和大小	(2)
§ 1—3 地面点位的确定	(3)
§ 1—4 用水平面代替水准面的限度	(7)
§ 1—5 地形图的初步知识	(8)
§ 1—6 测量工作的基本概念	(10)
复习思考题	(11)
第二章 直线丈量及罗盘仪测量	(12)
§ 2—1 直线定线	(12)
§ 2—2 直线丈量	(13)
§ 2—3 直线丈量的误差来源及注意事项	(15)
§ 2—4 直线定向的基本概念	(15)
§ 2—5 罗盘仪的构造	(18)
§ 2—6 用罗盘仪测定直线的方向	(19)
§ 2—7 罗盘仪的检验与校正	(19)
§ 2—8 罗盘仪测量	(20)
复习思考题	(23)
第三章 水准测量	(24)
§ 3—1 概述	(24)
§ 3—2 微倾水准仪及水准尺	(25)
§ 3—3 水准测量	(30)
§ 3—4 水准测量的校核和高程计算	(31)
§ 3—5 微倾水准仪的检验与校正	(34)
§ 3—6 水准测量误差及注意事项	(35)
§ 3—7 自动安平水准仪简介	(37)
复习思考题	(39)
第四章 角度测量	(40)
§ 4—1 测量水平角的原理	(40)
§ 4—2 6"级光学经纬仪	(40)
§ 4—3 2"级光学经纬仪	(44)
§ 4—4 水平角测量	(45)
§ 4—5 竖直角测量	(48)

§ 4—6	6"级光学经纬仪的检验与校正	(52)
§ 4—7	水平角测量误差及注意事项	(54)
§ 4—8	电子经纬仪简介	(56)
	复习思考题	(56)
第五章	视距测量及电磁波测距	(58)
§ 5—1	视距测量原理	(58)
§ 5—2	视距测量方法与计算	(60)
§ 5—3	视距测量误差及注意事项	(62)
§ 5—4	视差法测距	(63)
§ 5—5	电磁波测距	(65)
	复习思考题	(70)
第六章	测量误差的基本知识	(72)
§ 6—1	测量误差的分类及其特性	(72)
§ 6—2	衡量精度的标准	(74)
§ 6—3	观测值函数的中误差	(75)
§ 6—4	算术平均值及其中误差	(80)
§ 6—5	同精度观测值的中误差	(81)
	复习思考题	(84)
第七章	测角交会和小三角测量	(85)
§ 7—1	国家平面控制的概念	(85)
§ 7—2	前方交会	(87)
§ 7—3	后方交会	(91)
§ 7—4	小三角测量的外业工作	(93)
§ 7—5	中点多边形	(96)
§ 7—6	线形三角锁	(101)
§ 7—7	中点多边形测边网	(104)
	复习思考题	(108)
第八章	导线测量	(109)
§ 8—1	概述	(109)
§ 8—2	导线测量的外业工作	(110)
§ 8—3	导线测量的内业工作	(111)
§ 8—4	视距导线测量	(116)
	复习思考题	(118)
第九章	高程控制测量	(120)
§ 9—1	概述	(120)
§ 9—2	四等水准测量	(120)
§ 9—3	三角高程测量	(124)
	复习思考题	(128)

第十章 大比例尺地形图的测绘	(129)
§ 10—1 概述	(129)
§ 10—2 地形图上地物和地貌的表示方法	(129)
§ 10—3 平板仪及其使用	(135)
§ 10—4 测图前的准备工作	(138)
§ 10—5 测站点的加密	(140)
§ 10—6 地形测图	(142)
§ 10—7 地形图的拼接、检查、整饰和复制	(144)
§ 10—8 地形图的修测	(145)
复习思考题	(146)
第十一章 面积计算	(147)
§ 11—1 用图解法测定面积	(147)
§ 11—2 求积仪的构造和用法	(148)
§ 11—3 大地区的面积测定	(151)
§ 11—4 电子求积仪简介	(153)
复习思考题	(155)
第十二章 地形图的识图与应用	(156)
§ 12—1 地形图的分幅与编号	(156)
§ 12—2 识图的基本知识	(159)
§ 12—3 地形图的应用	(162)
§ 12—4 在地形图上设计水库	(164)
§ 12—5 在地形图上计算土方	(165)
复习思考题	(167)
第十三章 林区公路测量	(169)
§ 13—1 概述	(169)
§ 13—2 选线	(169)
§ 13—3 中线测量	(171)
§ 13—4 圆曲线测设	(172)
§ 13—5 路线水准测量	(179)
§ 13—6 路线纵断面图的绘制及路线设计	(181)
§ 13—7 路线横断面测量	(183)
§ 13—8 路基横断面设计及土石方计算	(186)
§ 13—9 路基放样	(190)
复习思考题	(193)
第十四章 渠道测量	(195)
§ 14—1 踏勘选线	(195)
§ 14—2 盘山渠道	(196)
§ 14—3 渠道测量的外业	(197)

§ 14—4	渠道设计.....	(197)
§ 14—5	渠道土方计算和放样.....	(200)
	复习思考题.....	(200)
第十五章	施工测量的基本工作.....	(201)
§ 15—1	概述.....	(201)
§ 15—2	已知长度和水平角的放样.....	(201)
§ 15—3	测设点的平面位置的方法.....	(203)
§ 15—4	测设点的高程的方法.....	(204)
§ 15—5	测设坡度线和水平面.....	(205)
§ 15—6	建筑放样.....	(206)
	复习思考题.....	(209)
第十六章	航摄像片的林业判读和应用.....	(210)
§ 16—1	概述.....	(210)
§ 16—2	航空摄影的一般知识.....	(211)
§ 16—3	航摄像片的几何特性.....	(212)
§ 16—4	航摄像片的立体观察与测量.....	(216)
§ 16—5	航摄像片的判读.....	(219)
	复习思考题.....	(222)
附录一	电子计算器在测量计算中的应用.....	(223)
附录二	定极求积仪原理.....	(228)

第一章 绪 论

§ 1—1 测量学的任务和分类

测量学 (Surveying) 是研究整个地球的形状及大小和确定地球表面点位关系的一门科学。其主要任务包括两个方面:

一、测定整个地球和地球表面上局部区域的形状和大小。

测定整个地球形状和大小, 可以给测绘工作中的计算和绘图提供必要的数 据, 还可以用来研究地壳的升降、大陆的变迁、海岸的移动等; 测定地球表面局部地区的形状和大小, 绘制成图, 可为工程建设的规划、设计和施工提供重要资料。

二、建筑物的测设。

是将图纸上设计好的建筑物位置, 在地面上确定下来以便进行施工, 因此又称施工放样。

随着测绘科学的发展, 测量学的分科也越来越细, 目前按研究的对象及任务的不同, 可分为以下几个学科:

1. 大地测量学 (geodetic surveying) 是研究地球整体的形状、大小和解决在大区域内建立国家大地控制网及地球重力场的理论、技术与方法的学科。它要顾及到地球曲率的影响。

2. 地形测量学 (topographic surveying) 是研究地球表面上局部地区的形状和大小, 解决测绘小区域地形图的学科。

3. 摄影测量学 (photographic surveying) 是研究利用地面的摄影片来绘制成地形图的学科。在地面上进行摄影的称为地面摄影测量; 在空中进行摄影的称为航空摄影测量。

4. 工程测量学 (engineering surveying) 是研究城镇和某种工程建设项目, 如农田水利、林业建设、交通运输、厂矿建设等服务的测绘科学。

5. 制图学 (cartography) 是运用测绘所得成果, 研究地图及其制作的理论、工艺技术和应用的学科。

本书主要讲述在小区域内的测绘工作和一般工程测量。

测绘科学是人们在征服和改造自然的斗争中, 由于生产发展的需要而产生和发展的。随着近代科学技术如电子学、物理光学、精密机械工艺、电子计算技术等的发展, 测绘技术也得到了迅速发展。利用电磁波测距仪测距, 将逐步替代钢尺量距。电子经纬仪、电子水准仪已经问世, 它的出现将大大加快工作速度, 提高工效。全能经纬仪的出现, 将把测和绘两方

面有机的结合在一起,从而代替了繁重的野外劳动。

在计算技术方面,电子计算机的应用,对计算方法产生很大影响。它可以解决大规模的严密平差,把人们从繁重的计算工作中解放出来,且计算迅速、准确。

摄影测量将逐步代替野外地形测图工作。目前在利用地面摄影测量获得大比例尺地形图方面已取得良好的效果。近年来,近景摄影测量(short distance photogrammetry)也得到很快发展。它广泛应用于非地形目标方面,以确定其外形、状态和几何位置。

在编制地图方面,采用“刻图法”新工艺,使编制地图的清绘工艺推进了一大步。地图制图自动化的出现,将为制图工作开创新纪元。

人造地球卫星的发射,航天技术有了飞速发展,利用卫星进行测量,形成了卫星大地测量(satellite geodesy)这一门新兴学科,不仅解决了常规大地测量中的精度和时间问题,同时还可能解决洲际岛屿与大陆之间、岛屿与岛屿之间的联测问题,为大地测量提供新技术。

§ 1—2 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的,这就要对地球的形状和大小有一个初步的了解。

地球的自然表面有陆地、海洋。海洋约占71%,陆地约占29%。陆地上有高山、丘陵和高原,是一个极不平坦,不规则的曲面。世界上最高的山峰是珠穆朗玛峰,海拔8848.13米(metre),太平洋西部的马里亚纳海沟深达11022米。两者相差约20公里(kilometre),但和地球半径的概值6371公里相比,是一个很小的数值,因此可以设想以一个均衡的面来代表地球的表面。人们把地球总的形状看作是海水包围的球体,也就是设想有一个静止的海水面,向陆地延伸而形成个封闭的曲面,这个静止的海水面称为水准面(level surface)。海水有潮汐,所以水准面有无数个,其中通过平均海水面的一个称为大地水准面(geoid surface),它所包围的形体称为大地体(geoid),如图1—1所示。

水准面的特性是处处与铅垂线相垂直。铅垂线和水准面是测量工作所依据的线和面。因水准面有无数个,实际作为基准的面是大地水准面。但由于铅垂线的方向取决于地球的吸引力,吸引力的大小又与地球内部的质量有关,而地球内部的质量分布又不均匀,引起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有微小起伏的不规则的曲面。这样一个不规则的大地水准面,目前仍是不能用数学公式来表达。为此,我们用一个与大地水准面非常接近而能用数学公式表达的规则曲面来表示地球的形状,这个规则的曲面就是旋转椭球体面或称为大地参考面(geodetic reference surface)。在测量工作中就是用这样一个规则的曲面代替大地水准面作为测量计算的基准面,并在这个曲面上建立大地坐标系(geodetic coordinate system)。

通过几个世纪的测绘实践和研究之后,逐渐认识到地球是一个两极略扁的旋转椭球体,而且地球的南北极是不对称的,其形状似梨形。

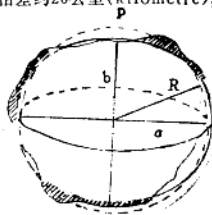


图 1—1

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

地球的形状确定后,还应进一步确定大地水准面与椭球面的相对关系,才能将观测成果化算到椭球面上。这个椭球形体其形状和大小与大地体相近,在相应位置上与大地水准面的关系固定下来的椭球体称为参考椭球体。这项工作称为参考椭球体的定位。

由图 1—1 可以看出,旋转椭球体是椭圆绕短轴 pp' 旋转而成。旋转椭球体的形状和大小,是由下述三元素决定的。

长半径 a (赤道半径)

短半径 b (地轴半径)

椭球体扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$

我国建国以来采用的旋转椭球体为苏联克拉索夫斯基椭球体(krasovsky's ellipsoid),其三元素为:

$a = 6378.245$ 公里

$b = 6356.863$ 公里

$\alpha = 1:298.3$

1975年16届国际大地测量与地球物理联合会推荐的数据为 $a = 6378.140$ 公里, $b = 6356.743$ 公里, $\alpha = 1/298.257$,它与我国 1978 年推算的数据 $a = 6378.143$ 公里, 及 $\alpha = 1/298.255$ 相差甚微。

由于椭球的扁率很小,在地形测量学的范围内,可以把地球当作半径为 6371 公里的圆球看待。

§ 1—3 地面点位的确定

要确定地面上任一点的位置,通常要用三个量来表示。其中两个量是地理坐标,即经度 λ 、纬度 φ ,或在平面直角坐标中用 x 、 y 表示;另一个量是高程 H 。现分述如下:

一、地面点的坐标

1. 大地原点也称为“大地基准点”(geodetic datum)。是国家大地坐标系统的标志。大地原点有两个作用,一个作用是,在该点上精确测定天文经纬度和至某点的天文方位角,以及该点对大地水准面的高程,这些数据称为“大地基准数据”,作为国家大地坐标系的起始值。另一个作用,是确定定位参数,即确定参考椭球与地球相互关系的数据。

我国大地原点位于陕西省泾县永乐店附近,1980年完工。原点盘石中央有玛瑙标志,在主楼内有高大的大理石标牌,上刻“中华人民共和国大地原点”。根据这个原点推算而得的坐标,定名为“1980年大地坐标系”。

2. 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(经度、纬度)来表示的。

图1—2, S 、 N 分别为地球的南、北极, O 为地球体中心,通过球心联结两极的直线 NS 为地球的旋转轴。通过旋转轴的平面与地球表面相交所截成的大环线 $NWSE$ 称为子午线(meridian)。过球心 O 垂直于旋转轴的平面称为赤道面,它同地球面相交所截成的大环线,称为赤道面(equator)。与赤道平行的平面同地球面相交所截成的小环线称为纬线(parallel)。

国际天文学会决议，以通过英国原格林威治 (Greenwich) 天文台的子午线为 0° ，作为首子午线 (或起始子午线 first meridian)。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经度 (latitude)，以 λ 表示。经度绕地球一周划分 360° ，首子午线以东 $0^\circ-180^\circ$ 为东经，以西， $0^\circ-180^\circ$ 为西经。

地面上任一点的 P 的法线 (同 P 点的切面相垂直的线) 与赤道面的交角，称为该点的纬度 (longitude)，以 φ 表示。纬度以赤道为零度，从赤道至南北两极各为 90° ，赤道以南为南纬，以北为北纬。

这样，地面上任一点的地理位置就可以用经、纬度来确定了。

3. 平面直角坐标

① 假定的平面直角坐标：在小范围内，把局部地球表面上的点，以正射投影 (orthographic projection) 的原理投影到水平面上，在水平面上假定一个直角坐标系，用直角坐标 (rectangular coordinate) 描述点的平面位置。

如图 1-3，在测区中选一点为坐标原点 (true origin)，以通过原点 O 真南北方向 (子午线方向) 为纵坐标轴方向，称 x 轴；以通过原点的东西方向 (垂直于子午线方向) 为横坐标方向，称 y 轴。

地面上任一点 A 在平面上的位置，由该点至纵横坐标轴的垂距 x_A, y_A 来确定。

以坐标原点 O 为起点，规定横轴以北， x 为正，横轴以南 x 为负；纵轴以东， y 为正，纵轴以西， y 为负。测量上还规定平面直角坐标系中的 I、II、III 和 IV 象限的顺序与数学上的象限顺序相反，即按顺时针方向排列。而 x 轴和 y 轴也与数学上的 x 轴和 y 轴的位置互换。

② 高斯-克吕格平面直角坐标：前已述及地球形状接近于椭球，而其表面上的地物和地貌却是在图纸平面上表示出来的。在局部地区测图时，由于测区范围小，可以将球面作为平面看待。若测区范围较大，就不能把球面当作平面，要将球面展成平面，就必须采用适当的投影方法。对测量工作而言，要求投影后的图形与球面上的实地图形相似，这就要求投影后角度保持不变。我国目前在测量工作中采用高斯-克吕格投影，简称高斯投影 (Gauss projection)。

为了简单说明高斯投影，把地球作为一个圆球看待，设想把一个平面卷成一个横圆柱，把它套在圆球外面，把圆球面上某一根子午线与横圆柱相切，被切的子午线称为中央子午线或轴子午线 (central meridian)，如图 1-4 所示。然后将球面上一定范围内的图形投影到圆柱面上，再将其展成平面，就得到球面投影在平面

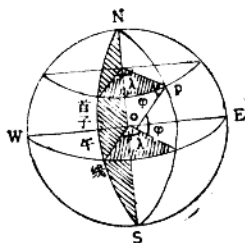


图 1-2

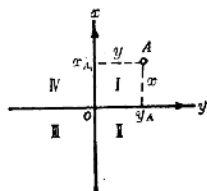


图 1-3



图 1-4

上的图形如图1—5。由图可知，中央子午线的投影不产生长度变形，其余子午线离中央子午线愈远，变形愈大。为了使变形限制在一定范围内，采用分带投影（projection in zone）的办法。投影带通常以 6° 或 3° 划分，称为 6° 带或 3° 带。在每个投影带中两旁边缘的两条子午线称为分带子午线。

6° 带的划分是从格林威治 0° 子午线起，自西向东每隔经差 6° 为一带，全球分为60带，每带中间的一条子午线，就是该带的中央子午线。以东半球而言，第一个 6° 带的中央子午线是东经 3° ，第二带是东经 9° ，依次类推。 3° 带的划分，则是从 $1^\circ 30'$ 子午线起，每 3° 一带，全球分为120带。图1—6表示两种投影带的分带情况。 n 为 6° 带的带号， n' 为 3° 带的带号，每一带的中央子午线经度可用下式计算：

$$6^\circ \text{带 } \lambda_0 = 6^\circ n - 3^\circ$$

$$3^\circ \text{带 } \lambda'_0 = 3^\circ n'$$

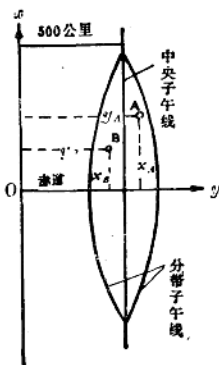


图 1—5

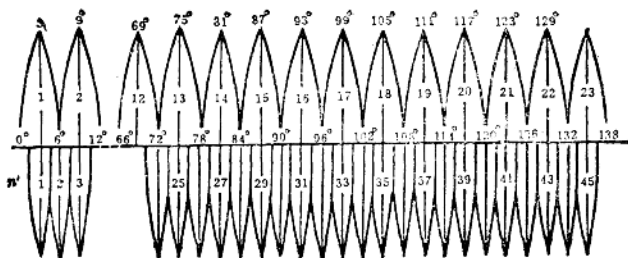


图 1—6

中央子午线投影到横圆柱上是一条长度不变的直线，把这条直线作为平面坐标的纵坐标轴，即 x 轴。将赤道平面扩大，并与柱面相交，赤道在柱面的投影是一条垂直于中央子午线投影象的直线，此线作为投影后的横坐标轴，即 y 轴。两轴的交点 O 作为坐标原点，这样就建立了高斯平面直角坐标系（见图1—5）。

在高斯平面直角坐标中，纵坐标(ordinate)由坐标原点起算，向北为正，向南为负；横坐标(abscissa)由坐标原点起算，向东为正，向西为负。我国位于北半球，纵坐标永为正值。

为了避免横坐标出现负值，将每带的坐标原点向西移动500公里，即每带原点坐标为 $x = 0$ ， $y = 500$ 。同时为了说明点的位置是在那个投影带内，规定在点的横坐标值前面冠以带号。例如A点横坐标 $y = 20637622.38$ 米，可知该点位于第20带内。并在中央子午线以东137622.38米。又如B点横坐标 $y = 19495419.67$ 米，则该点位于第19带，在中央子午线以西4580.33米。

二、高程

前面只说明空间某点在基准面(datum surface)上的投影位置。现还应确定该点沿投影方向到基准面的铅垂直距离。在一般测量工作中，都以大地水准面作为基准面，因而某点到基准面的高度，是指某点沿铅垂线方向到大地水准面的距离，通常称为绝对高程(absolute height)或海拔(altitude)，简称高程(height)。图1—7中，符号H代表高程， H_A 、 H_B 分别表示A、B两点的绝对高程。在局部地区比较点的高低，也可以选一个任意水准面作为高程起算面，称为相对高程(relative height)，如图中的 H'_A 和 H'_B 。在实际工作中是选定一个稳固的点，假定它的高程，附近的点的高程都以它为准进行推算。将来如有需要，只须与国家高程控制点联测，再经换算就可得绝对高程。

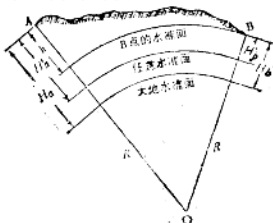


图1—7

我国规定采用青岛验潮站求得的1956年黄海平均海水面作为全国高程的起算面，并建立了高程原点(origin of heights)，其高度为72.289米。全国布设的国家高程控制点—水准点都以这个高程原点为准，称为“1956年黄海高程系统”，

三、卫星多普勒定位

用卫星多普勒(Doppler)定位测定地面点位的原理，是利用多普勒效应。当卫星发射固定频率的电波作为信号源时，由于卫星和地面接收站作相对运动，地面接收的频率中就存在多普勒效应。观测时在地面站安置多普勒定位仪，它能自动接收卫星发射的信号，根据多普勒频移、两相干频率的电离层改正值、卫星轨道参数和精确的时间，计算出属于卫星轨道坐标所在地心坐标系统的测站位置，再将地心坐标与大地坐标进行换算，可求得地面点坐标。

卫星多普勒定位技术采用美国海军导航卫星(NNSS)，4—6颗，在一点上观测时间为1—3天。为了建立瞬时定位系统，现已研制出“导航时距系统”(NAVSTAR)，或简称“全球定位系统”(GPS)。GPS由18颗卫星组成，发播两种相关频率：1227.6和1575.42Mc，目前世界各地都能接收GPS讯号，观测几小时的定位精度为厘米(centimetre)到分米(decimetre)级。

与常规大地测量相比，卫星多普勒定位技术具有全天候、全球性、速度快、精度高、投资少、重量轻等优点。因此已被世界各国广泛采用，它是大地测量发展史上一个很成功的新技术。

§ 1—4 用水平面代替水准面的限度

小测区范围内, 在实际的测量工作中, 和一定的测量精度要求下, 往往以水平面直接代替水准面, 就是把较小一部分地球表面上的点投影到水平面上来决定其位置。但在多大范围内能容许用平面投影代替球面投影的问题就必须加以讨论了。现以假定的大地水准面作为一个球面。

一、水准面的曲率对水平距离的影响

如图 1—8, 设球心为 O , 半径是 R 的球面为水准面, A 、 B 为水准面上的两点, $\widehat{AB}$ 所对的圆心角为 θ 。若过 A 作水准面的切面, 该切面即称水平面(horizon plane)。水平面与 OB 延长线的交点为 B' , 则 A 、 B 两点在水准面上的长度 $\widehat{AB}$ 与在水平面上的长度 $\widehat{AB'}$ 分别为:

$$\widehat{AB} = R \cdot \theta$$

$$\widehat{AB'} = R \cdot \operatorname{tg} \theta$$

距离误差 ΔD 为

$$\Delta D = \widehat{AB'} - \widehat{AB} = R(\operatorname{tg} \theta - \theta)$$

若将 $\operatorname{tg} \theta$ 展开成级数, 即

$$\operatorname{tg} \theta = \theta + \frac{\theta^3}{3} + \dots$$

略去五次方以上各项后, 代入上式得:

$$\Delta D = \frac{1}{3} R \theta^3$$

其中 设 $\widehat{AB} = D$ 则可将 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-1)$$

根据地球半径 $R = 6371$ 公里, 并以不同的 D 值代入上式, 可得下表(表 1—1)。

表 1—1

距 离 D (公里)	10	50	100
距离误差 ΔD (厘米)	0.8	102.6	821.2
相对误差 $\frac{\Delta D}{D}$	$\frac{1}{1220000}$	$\frac{1}{48700}$	$\frac{1}{12100}$

由上表可见, ΔD 仅随 D 的变化而变化。距离为 10 公里时, 用水平面代替水准面所引起的距离误差很小, 仅 1 厘米。所以在地形测量中测距时, 可不考虑地球曲率对距离的影

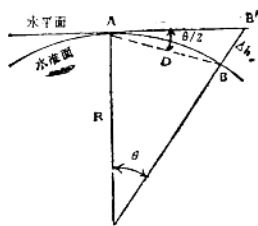


图 1—8

响。

二、地球曲率对高差的影响

高程的起算面是大地水准面，但由水平面代替水准面进行高程测量时，所测得的高程，必然含有因地球曲率而产生的高程误差的影响。在图1—8中，高程误差 $\Delta h = BB'$ ，由于R很大，D很短，即 θ 较小，所以 BB' 可以用弦切角 $\theta/2$ 所对的弧长来表示，即

$$\Delta h = D^2 \frac{\theta}{2}$$

将 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入上式，则

$$\Delta h = \frac{D^3}{2R} \quad (1-2)$$

因R为常数，故 Δh 与 D^3 成正比。地球曲率对高程的影响如下表（表1—2）所示。

表1—2

距 离 D (公里)	0.1	0.5	1	3	5
高程误差 Δh (厘米)	0.078	2	8	71	196

由上表可知，当距离为0.1公里时，高程误差为0.078厘米，随着距离的增大，而高程误差会很快地增大。因此，在进行三角高程测量时，即使在较短的距离内，也必须考虑地球曲率对高程的影响。

§1—5 地形图的初步知识

一、地形图和影象地图

在地面上进行测量工作所获得的成果，如用解析法(analytic method)表示，得到的是各种测量数据；如用图解法(graphic method)则得到一张图。根据成图要求，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。

在小的范围内，可视地球椭球体表面为一平面，如果将地面上地物的轮廓沿铅垂线方向投影到平面上，并按比例尺缩小而成相似的图形，这种图称为平面图(plan)。如果在平面图上，除表示地物的平面位置外，还具有地势的起伏形状，这种图称为地形图(topographic map)。地图(map)是一个总体概念，它包括普通地图和专题地图两大类，而各类地图又有许多品种。上述平面图和地形图也包括在地图之内。影象地图(photographic map)是航空象片（或卫星扫描影象）与图解图形结合起来的一种新型普通地图。目前比较多的影象地图是采用在黑白象片的影象上再加线划的某些符号、实质就是影象与线划的两者结合。

二、地形图的内容

地形图四周都有图框，通常图框的方向是上北下南，左西右东。图上应有比例尺，指北方向标、坐标系、高程系及施测单位和日期。图中地物表示了城市街道、居民区、铁路、江河、湖泊、草地及沼泽等；图中地貌还表示了山地、丘陵、平地 and 沟谷等地面高低起伏情况，它们都以曲线表示的，称为等高线。此外，还以特定的符号表示陡坎、悬崖峭壁及雨裂冲沟等。对于不能用曲线和符号表示的还辅以文字和注记，使之较清楚地反映地面的情况。

关于地形图的详细内容将在第十第十二两章中讲述。

三、比例尺

测图时，通常是把实地尺寸缩小若干倍后描绘在图纸上。图上某一直线的长度与地面上相应线段实际的水平长度之比，称为图的比例尺(scale)即

$$\text{比例尺} = \frac{\text{图上直线长度}}{\text{地面上相应线段的水平长度}}$$

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：

$$\frac{l}{L} = \frac{1}{M} \quad (1-3)$$

比例尺通常化分子为1，分母为整数的形式来表示。如 $\frac{1}{500}$ 、 $\frac{1}{1000}$ 、 $\frac{1}{2000}$ 、 $\frac{1}{5000}$ 等。比例尺的大小视分数值的大小而定，分数值愈大，比例尺亦愈大，分数值愈小，则比例尺亦愈小。以分数形式表示的比例尺称为数字比例尺(numerical scale)。

知道了比例尺，就可以根据图上的长度用公式(1-3)求出地面上相应的水平长度；反过来，也可由地面上的水平长度化成图上相应的长度。

在实际工作中，为了简化计算工作和避免图纸伸缩对用图的影响，通常采用图示比例尺。

图示比例尺有直线比例尺和斜分比例尺两种。

直线比例尺(divided scale)是在一段直线上截取若干相等的线段，称为比例尺的基本单位，一般为1厘米或2厘米，并注明相应实地长度数字。将左边的一段基本单位又分成十个或二十个等分小段，即成直线比例尺。如图1-9，尺上读数为277米。

斜分比例尺(transversal scale)可以直接量取百分之一单位的长度，制作和使用都简单，如图1-10所示。两“×”所指图上线段的实地距离为347米。

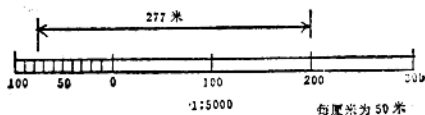


图 1-9

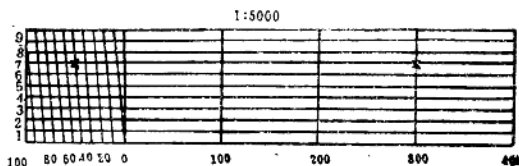


图 1-10

测图用的比例尺愈大，就愈能表示测区的地面情况，但测图所需要的工作量也愈大。因此测图比例尺的决定关系到实际需要、成图时间与测量费用等问题。但一般以在图上需要表

示出的最小地物有多大、点的平面位置或两点间的距离要精确到什么程度为准。人们正常眼睛能分辨的最短距离是0.1毫米，因此，相当于图上0.1毫米的实际平距，称为比例尺的精度(Scale accuracy)。它等于0.1毫米乘比例尺分母M。现选择几种比例尺的精度列于表1—3。

表 1—3

比 例 尺	1:500	1:1000	1:2000	1:5000	1:10000
比 例 尺 精 度	0.05米	0.1米	0.2米	0.5米	1.0米

根据比例尺精度，有两件事可参考决定。

1.按工作需要，多大的地物须在图上表示出来或测量地物要求精确到什么程度，由此参考决定测图的比例尺。

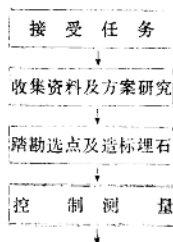
2.当测图比例尺已决定后，可以推算出测量地物时应精确到什么程度。

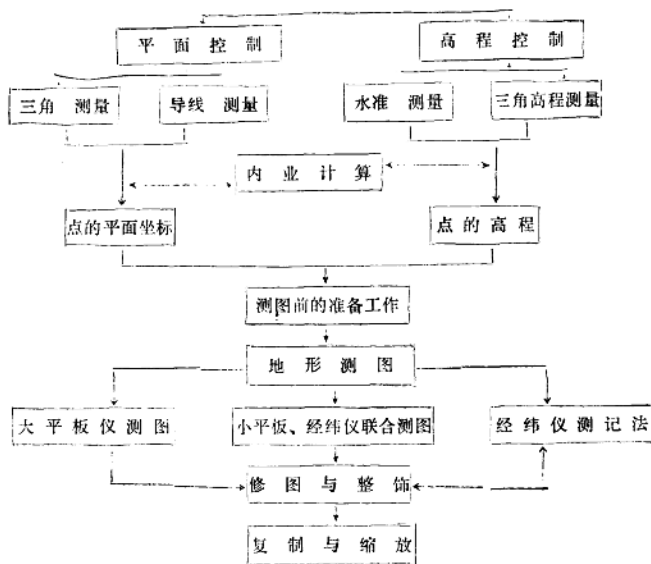
§ 1—6 测量工作的基本概念

地形图的测绘工作包括距离测量、角度测量、高程测量及图的绘制。目的是要确定地面上各特征点的平面位置和高程。测量时，为防止测量误差的积累，提高测量精度，必须遵守由整体到局部和由高级到低级的测量程序。即先在测区内选定一些具有控制意义而又分布适当的点作为全面测量的依据，这些点称为控制点(control point)。由控制点组成的图形，称为控制网(control network)。各控制点的平面位置和高程，用精密的仪器和相应的方法测定，这部分测量工作，称为控制测量(control survey)。控制点测定后，再根据这些控制点同时分别测定其附近的地物和地貌，这部分测量工作，称为碎部测量(detail survey)。

测量工作在野外进行观测时，称为外业(field work)。在室内进行的计算、清绘等工作，称为内业(office work)。野外测量工作完成后，要对测好的图进行检查、整饰、拼接图边后，再清绘、复制，以供各项工作的规划、设计与施工之用。

现将地形测量的简要程序表述如下：





复习思考题

1. 测量学的研究对象是什么？其主要任务包括哪些？
2. 什么叫水准面、大地水准面？它们在测量上有何用途？
3. 地面点的位置用什么元素来确定？
4. 测量上使用的平面直角坐标系是怎样建立的？与数学上的平面直角坐标系有何不同？
5. 已知甲地的经度为 $123^{\circ}20'$ ，求：（1）甲地位于 6° 投影带的带号；（2）该带的中央子午线经度。
6. 已知A点的高斯平面直角坐标值为 $X_a = 2451466.83$ 米， $Y_a = 18265368.48$ 米，问该点位于 6° 投影带的第几带？在该带的中央子午线的东边或西边多少公里？
7. 试述绝对高程、相对高程及高差的定义。
8. 为什么在小区地形测量中，可以用水平面代替水准面？
9. 什么叫比例尺？地面上两点的水平距离为236.57米，在1:5000地形图上是多少厘米？又在1:1000地形图上量得一线段长为5.76厘米，相当于实地距离是多少？
10. 什么叫比例尺精度？要求地面上0.2米的线段能够在地图上画出来，需要选用多大的比例尺？
11. 测量工作一定要从高级到低级，从整体到局部的意义是什么？