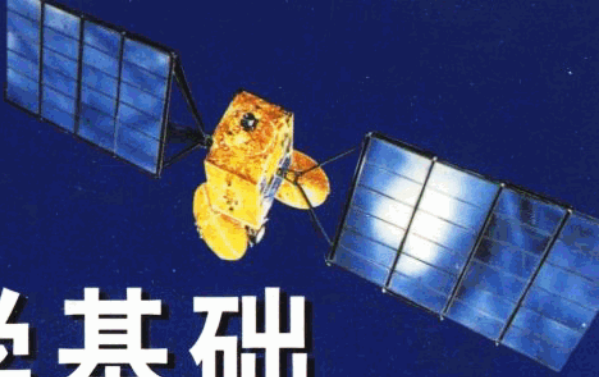




测绘学基础 与 数字化成图

编著 毛亚纯 徐忠印 田永纯等

主审 马洪斌



NEUPRESS
东北大学出版社

前 言

随着测绘仪器的不断发展和测绘软件的日益成熟，地形测量模式和成图方法发生了根本变化。利用常规仪器采集数据及手工成图的时代已经过去，数字化成图的方法日趋成熟，并在各测绘部门中得到了广泛的应用。编者认为，占用大量的时间讲授各种常规测量成图的方法已不符合时代的要求。通过该课程的学习，使学生能正确理解和掌握测绘的有关概念及常规的成图方法是十分必要的，因为设立该课程的目的是为其他相关学科的学习奠定基础，同时也是数字化成图方法的基础。在编写该书时，编者以有效地压缩常规测量的有关知识，大量扩充数字化成图的相关知识为目的，并将两者有机地结合在一起，从而更利于学生对数字化成图原理和方法的理解。受该课程教学时数的限制，因此只能对数字化成图的原理做简要的介绍（使学生对其有概括的了解），而将重点放在野外数据采集的方法及部分数字化成图软件的使用上，以使学生更好地掌握数字化成图的整个过程，并在编写过程中贯彻“少而精”的原则。

全书共分两编。第1编主要介绍测绘学的基础知识及地形测量的基本原理，并结合实例详细地介绍各种小地区图根控制测量方法及计算方法，并根据有关测量规范，介绍了各等级控制及测图的一些限差要求，使学生树立起在进行测量工作时严格执行相关测量规范要求的思想。第2编主要介绍数字化成图系统所必备的软、硬件条件及数字化成图的原理，同时较详尽地介绍了几种数字化成图软件的应用。

本书由毛亚纯、徐忠印任主编，田永纯、赵柏冬任副主编。参加编写的人员有：东北大学毛亚纯

(第 1, 4, 6, 14 章, 第 5 章的 5.1, 5.6, 5.7 节及第 15 章的 7~9 节), 徐忠印 (第 7, 8, 9 章及第 15 章的 1~6 节), 田永纯 (第 11, 12 章及第 13 章的 1~5 节), 沈阳大学赵柏冬 (第 2, 3 章及第 13 章的 6~8 节), 本溪满族自治县地质矿产局许秀成 (第 10 章及第 5 章的 2~5 节和附录 A)。全书由毛亚纯、徐忠印、田永纯统稿和校订, 马洪斌教授主审。

本书在编写过程中, 得到了北京清华山维公司总公司李进强总经理及沈阳分公司经理张志超、南方测绘仪器公司沈阳分公司杨新发经理及上海数维公司的大力支持, 同时也得到了东北大学测量教研室全体同仁的大力支持, 在第 15 章的编写中, 幸蒙得到清华大学杨德麟教授拨冗斧正。此外, 东北大学出版社有关同志为本书的出版付出了大量辛勤的劳动。在此一并向他们致以衷心的感谢。

由于编者水平所限, 疏漏之处在所难免, 敬请使用本教材的教师、工程技术人员及读者给予批评指正, 以便不断完善。

编 者

2002 年 1 月

目 录

前 言

第 1 编 测绘学基础

第 1 章 绪 论	1
1.1 测绘学的任务和作用	1
1.2 测绘学的发展概况	2
第 2 章 测量学的基本知识	3
2.1 地球的形状、大小和地面点位的确定	3
2.2 用水平面代替水准面的限度	8
2.3 测图的基本原理与测量工作概述	9
第 3 章 水准仪及水准测量	11
3.1 水准测量	11
3.2 水准仪及相关工具	12
3.3 水准仪的使用	14
3.4 水准测量的施测	15
3.5 水准仪的检验与校正	20
3.6 水准测量的主要误差来源及减弱措施	22
第 4 章 经纬仪、水平角测量及三角高程测量	25
4.1 经纬仪的种类及 DJ ₆ 经纬仪的构造	25
4.2 水平角测量的基本原理及方法	26
4.3 三角高程测量	29
4.4 经纬仪的检验与校正	31
4.5 水平角观测的误差来源及其减弱措施	33
第 5 章 距离丈量与直线定向	36
5.1 地面点的标定与直线定线	36
5.2 尺长方程与钢尺的检定	37
5.3 直线丈量的成果整理	39

5.4	钢尺丈量的有关技术要求	39
5.5	直线丈量的误差来源	40
5.6	视距测量	41
5.7	直线定向与坐标增量的计算	42
第6章	测量误差理论的基础知识	45
6.1	测量误差概述	45
6.2	偶然误差的特性	46
6.3	评定精度的指标	48
6.4	同精度观测的算术平均值、改正数及其中误差	49
6.5	误差传播定律	50
6.6	广义算术平均值及权	54
6.7	单位权中误差	57
第7章	小地区控制测量	60
7.1	概述	60
7.2	图根导线测量	62
7.3	导线测量错误的检查	69
7.4	图根三角测量	70
7.5	角度前方交会	78
7.6	三角高程测量	80
第8章	地形图的基本知识	84
8.1	地形图的比例尺	84
8.2	地形图的分幅及其编号、图名与图廓	85
8.3	地物符号	89
8.4	地貌符号——等高线	91
第9章	大比例尺地形图测绘	94
9.1	测图前的准备工作	94
9.2	经纬仪法测绘地形图	96
9.3	地形图的绘制	99
9.4	地形图的拼接、检查与整饰	100
第10章	地形图的应用	103
10.1	地形图的识读	103
10.2	地形图应用的基本内容	103
10.3	地形图上面积的量算	105
10.4	地形图在工程规划设计中的应用	107

第2编 数字化成图系统

第11章 绪论	111
11.1 概述	111
11.2 数字测图系统的基本概念	113
11.3 数字测图系统的软硬件基础	118
第12章 机助绘图的基本原理	133
12.1 关于坐标系统的理论	133
12.2 基本元素的绘图方法	134
12.3 建立DTM的原理和方法	137
第13章 数字测图的模式与流程	146
13.1 基本概念	147
13.2 测图前的准备工作	150
13.3 编辑成图的流程	162
13.4 等高线绘制	172
13.5 GPS-RTK作业	177
13.6 后期管理与应用	178
13.7 GIS接口与文件结构	182
13.8 扫描矢量化软件	189
第14章 Walk成图软件的特点及其使用	195
14.1 Walk成图软件的特点与基本概念	195
14.2 Walk的使用	199
14.3 数据编辑与制图、制表	212
14.4 数据管理	219
14.5 基本GIS应用	220
14.6 Walk产品中的数据交换	222
14.7 Walk快捷键的使用	224
第15章 EPSW2000电子平板测图系统的使用	227
15.1 概述	227
15.2 系统安装、运行、注册及升级	227
15.3 作业准备	228
15.4 数据采集	237
15.5 图形及属性编辑	241
15.6 拓扑及数据检查	256

15.7 等高线测量与编辑.....	258
15.8 量算与查询.....	262
15.9 成果输出.....	263
附录 A 数字化成图规范.....	265
参考文献.....	270

第1编 测绘学基础

第1章 绪论

1.1 测绘学的任务和作用

测绘学是以地球形状、大小及地球表面上的各种地物(如房屋、道路、河流、桥梁等)的几何形状和地貌(如高山、丘陵、盆地、平原等)的形态为研究对象,并研究如何将地面上的各种地物、地貌测绘成图及将设计在图纸上的各种建筑物放样于实地的有关理论与方法的一门科学。其作用在于为人们了解自然、改造自然提供各种有效数据及图纸,帮助人们把改造自然的种种想法付诸于实际,从而实现人们的宏伟蓝图。

随着人类社会的不断发展,人们对测绘学也不断提出新的课题,因而测绘学也相继产生了较多的分支学科。

地形测量学 是研究小区域地面点的位置(平面位置 x, y 及 H 高程),并将地球表面局部地区的地物、地貌及有关信息按一定比例尺测绘成图的一门学科。是测绘专业的一门技术基础课。通过对地形进行测绘可以得到各种不同比例尺的地形图,以供科学研究、国防和工程建设、规划、设计等使用,同时也为 GIS 提供有效数据。

大地测量学 是以大区域或整个地球为研究对象,其基本任务是建立国家大地控制网,测定地球形状、大小和研究地球重力场的理论、技术和方法。通过大地测量可取得不同等级控制点的有关成果,一方面为科学研究提供有效数据,另一方面也是其他学科的基础性工作。

工程测量学 是以各种工程(工业厂房建设、铁路建设、隧道及地下工程建设、水利工程建设及城市规划建设等)为研究对象,为各种工程的勘探设计、施工放样、竣工验收和工程监测、保养等方面提供理论及方法的一门学科。通过工程测量可将人们设计在图纸上的各种工程放样于实地并保证工程按设计图纸施工。

摄影测量 是利用摄影相片来研究地表形状及大小的一门学科。随着遥感技术的不断发展,其应用范围越来越广。

除上述学科外,测绘学还包括矿山测量学、制图学、海洋测量学、地籍测量学等许多学科。

在国民经济建设和国防建设中,测绘工作常被人们称为尖兵,这是因为测绘工作是一切大型工程建设、设计、施工的前导性工作。如在公路、铁路的建设过程中,要选择最经济、合理的路线,要计算填挖的土方量、隧道长度、桥涵的孔径大小(其与计算汇水面积有关)等都离不开相应的图纸。在城市建设中,如规划、设计有关道路、房屋、上、下水管线,电力

线、供暖管线等相关设施也都离不开相应的图纸。而在具体施工阶段又要将规划、设计的内容按要求落于实地,更离不开测绘工作。可以说测绘工作是一切大型工程建设、规划、设计不可缺少的基础性工作。

由于我国幅员辽阔,又正处于高速发展阶段,因此测绘工作十分繁重,这就要求我们每一位测绘工作者对待测绘工作要兢兢业业,不畏艰辛,为把我国建设成为高度发达的社会主义强国作出自己应有的贡献。

1.2 测绘学的发展概况

测绘学是一门发展历史悠久的科学。在我国各个历史时期都有关于测量方面的史料记载,如在公元前7世纪前后的《管子》,西汉初期的《地形图》及《驻军图》,东汉时期的《灵宪》,魏晋时期的《海岛算经》,西晋时期的《制图六体》、《禹贡地域图》、《地形方丈图》,唐代时期的《海内华夷图》,宋代时期的《华夷图》、《禹迹图》、《天下州县图》,清代时期的《皇舆全图》等。

世界各国测绘科学的发展主要是在17世纪初逐步发展起来的。在17世纪望远镜发明以后,各种测量仪器在结构上有了质的变化,在精度上有了大幅度的提高,为测绘科学带来了一次飞跃。自19世纪末航空摄影测量出现以后,测绘又增添了新的方法。在20世纪80年代以后,随着计算机、测距仪、电子经纬仪、全站仪、GPS(GRS-RTK技术)绘图机及测绘成图软件的出现,为测绘科学又带来了一次飞跃。如在地形图测绘方面,在数据的采集和成图速度与质量上都有了质的飞跃,使自动化成图得以实现。加之国内各种成图软件(如清华三维的EPSW电子平板、上海数维的WALK、南方公司的CASS)的日益成熟,使地形测量的作业模式发生了根本性变化。如电子平板的作业模式可以实现现场实时成图。全站仪+草图+计算机、GPS-RTK+草图+计算机的作业模式也可以实现地形测量的内外业一体化。随着GIS的出现,对地形测量与成图又提出了更高的要求,不但要有准确的平面图,而且要配有相应的数字地图;不但要有丰富的信息,而且要为使用部门对图形及数据的管理提供各种有效的数据,使地形测量又增加了新的内涵。

我国加入了WTO,大多数测绘部门在不远的将来都将拥有更先进的测绘设备,因此我们每一位测绘工作者,特别是在校学习的大学生,更应该掌握这些先进设备的使用和新的相关理论,推动我国的测绘事业不断向前发展,以适应社会主义现代化建设的需要。

第2章 测量学的基本知识

2.1 地球的形状、大小和地面点位的确定

2.1.1 地球的形状和大小

在地球表面既有高山、盆地，又有陆地、海洋。可以说地球表面是一个极不规则的曲面，但就整个地球而言，海洋面积约占地球表面的71%，而陆地仅占29%。因此假设有一个静止的水面，将其向陆地延伸，从而形成一个封闭的曲面，该曲面称为水准面。

由于地球的自转运动，地球上任何一质点受到的地球引力就是我们所说的重力，重力的方向线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。水准面是受地球重力影响而形成的，是一个处处与重力方向垂直的连续曲面，并且是一个重力场的等位面。与水准面相切的平面称为水平面。水准面可高可低，因此符合上述特点的水准面有无数多个，我们把其中与平均海水面相吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面，称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。大地水准面所包围的地球形体，称为大地体。

由于地球引力的大小与其内部质量分布有关，而地球内部质量的分布又不均匀，从而引起地面点的铅垂线产生了不规则的变化，因此大地水准面实际上是一个有一定起伏的不规则曲面，如果在这个复杂的曲面上进行数据处理就非常困难。为了解决这个问题，在测绘工作中常选用一个非常接近大地水准面、并且可用数学式表达的几何形体来代替地球的形状作为测量计算工作的基准面，此几何形体通常称为地球椭球体。地球椭球体是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体，地球椭球体又称旋转椭球体。其旋转轴与地球自转轴重合，其表面称为旋转椭球面，又称为参考椭球面。地球表面、大地水准面、参考椭球面的关系见图2-1。参考椭球面是测量工作的基准面，若对参考椭球面的数学式加入地球重力异常变化参数的改正，便得到大地水准面的近似的数学式。但在实际工作中，我们是以大地水准面作为测量的基准面，以铅垂线为基准线，因此在大范围测量时需进行转化。但在小范围测量，对测量成果要求不高时可以不必要转化。

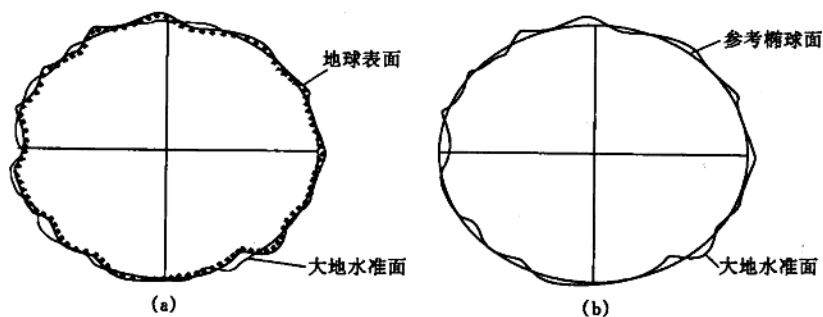


图 2-1

旋转椭球体由长半径 a (或短半径 b) 和扁率 α 所决定，见图 2-2，其中扁率 α 为

$$\alpha = (a - b)/a$$

每个国家为了整理测量数据的方便,都各自采用最适合于本国范围的地球椭球元素,即确定椭球体与大地体之间的相互关系,又称参考椭球体定位。如图 2-3 所示,为确定大地水准面与参考椭球面的相对关系,可在适当地点选择一点 M ,设想使参考椭球体和大地体相切,切点 M' 位于 M 点的铅垂线方向上。这时,参考椭球面的法线与该点对大地水准面的铅垂线相重合,并使椭球的短轴与地球自转轴平行。

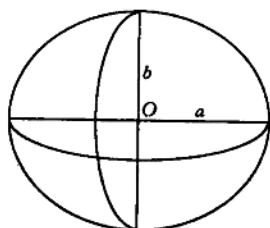


图 2-2

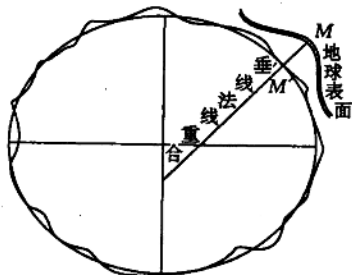


图 2-3

我国目前所采用的参考椭球体为 1980 年国家大地测量参考系,其原点在山西省泾阳县永乐镇,称为国家大地原点。采用的椭球元素值为

$$a = 6378140\text{m}$$

$$b = 6356755\text{m}$$

$$\alpha = 1 : 298.257$$

因地球扁率很小,当测区不大时,可以把地球看做圆球,其半径为

$$R = \frac{1}{3}(2a + b) \approx 6371\text{km}$$

2.1.2 地面点位的确定

测量工作的基本任务就是确定地面点的空间位置。确定一个点的空间位置必须有三个量才能确定。在测量学中,地面点的位置是以点的坐标(该点在投影面上的投影位置)和高程(该点到大地水准面的铅垂距离)表示。

2.1.2.1 地理坐标系

地理坐标按坐标所依据的基准线和基准面的不同以及求坐标方法的不同又可分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

(1) 天文地理坐标

天文地理坐标又称天文坐标,是表示地面点沿铅垂线方向投影到大地水准面上的位置。即天文地理坐标是以大地水准面为基准面,以铅垂线为基准线,用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。

如图 2-4 所示, N 为地球北极, S 为南极。 NS 为地球的自转轴(简称地轴)。通过地球中心 O 且与地轴垂直的平面,称为赤道面。它与地球表面的交线,称为赤道。平行于赤道面的平面与地球表面的交线,

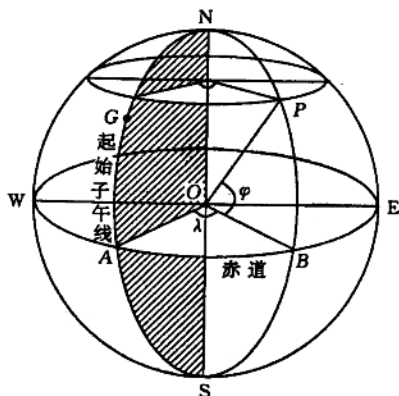


图 2-4

称为平行圈或纬圈。通过地轴的平面，称为子午面。它与地球表面的交线，称为子午线或子午圈。子午面有许多个，其中通过原格林尼治天文台的子午面称为起始子午面(或称首子午面)。

地面一点 P 的天文经度 λ 是指过该点的铅垂线与地轴所组成的子午面与首子午面所夹的两面角。天文纬度 φ 是指过该点的铅垂线与赤道面所夹的角度。如图 2-4 所示。经度 λ 和纬度 φ 的值是用天文测量方法测定。

(2) 大地地理坐标

大地地理坐标又称大地坐标。把地面上的点沿着椭球面法线方向投影到椭球面上并用经纬度(L, B)来表示其位置的坐标系叫大地坐标系。如图 2-5 所示，地表任意一点沿椭球面法线(与旋转椭球面垂直的直线，此法线不通过椭球中心点 O)方向投影，其投影点所在的大地子午面与首子午面(即过格林尼治天文台的子午面)之间所夹的两面角 L 就是该点的大地经度；法线与赤道面间的夹角 B 就是该点的大地纬度。地球表面任意一点的位置都可以用其大地经度 L 与纬度 B 及大地高(MM')表示。大地坐标系是以椭球面为基准面，以法线为基准线。但在实际测量工作中则是以大地水准面作为基准面，以铅垂线作为基准线(即天文坐标系)，两坐标系存在着转换关系。在普通测量中，由于精度要求不高，因此在计算时可不必转换。

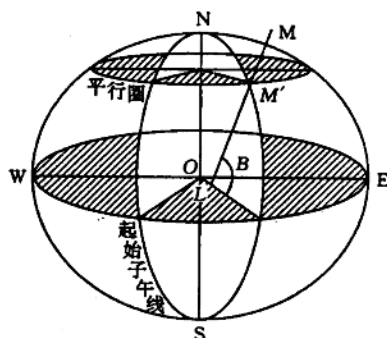


图 2-5

无论大地经度 L 还是天文经度 λ ，都要从起始子午面算起。在原格林尼治以东的点从起始子午面向东计，由 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，称为东经；在原格林尼治以西的点从起始子午面向西计，由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。无论大地纬度 B 还是天文纬度 φ ，都从赤道面算起。在赤道以北的点的纬度由赤道面向北计，由 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，称为北纬；在赤道以南的点的纬度由赤道面向南计，由 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，称为南纬。

2.1.2.2 独立平面直角坐标系

在研究小范围(半径不大于 10km 的范围)地表形状与大小，可以用通过测区中心 a 的切平面来代替曲面，如图 2-6 所示。这样一来，地面点在投影面上的位置就可以用平面直角坐标来确定。测绘工作中所采用的平面直角坐标系如图 2-7 所示。规定南北方向为纵轴，记为 x 轴， x 轴向北为正，向南为负；东西方向为横轴，并记为 y 轴， y 轴向东为正，向西为负。

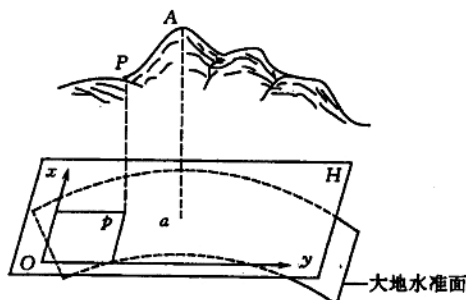


图 2-6

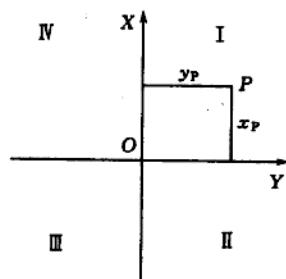


图 2-7

与数学上所使用的直角坐标系相比其不同处在于：平面直角坐标系中象限按顺时针方向编号， x 轴与 y 轴互换，其目的是为了定向方便。将数学中的公式直接应用到测量计算中，不需作任何变更。地面上某点 P 的位置在平面直角坐标系中的位置可用 x_p 和 y_p 来表示。坐标系的原点 O 一般选在测区的西南角(见图 2-6)，使测区内各点的坐标值均为正值。

2.1.2.3 高斯-克吕格平面直角坐标系

大范围测量时，不能把地球表面看做是平面，但在球面上进行计算又很不方便。为解决这一问题，高斯提出了将球面转换为平面的投影方法，即高斯投影。其投影方法是在分带基础上进行的，分带方法有两种：一种自首子午线起由西向东，经差每隔 6° 作为一带，全球共划分为 60 带。带号从起始子午线开始，用阿拉伯数字表示。位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线(或称主子午线)。如图 2-8 所示，第一个 6° 带的中央子午线的经度为 3° ，任意一个带中央子午线经度 λ_6 ，可按式计算：

$$\lambda_6 = 6N - 3$$

式中 N 为投影带号。我国境内 6° 带最西的一带带号为 13，最东的一带带号为 23。

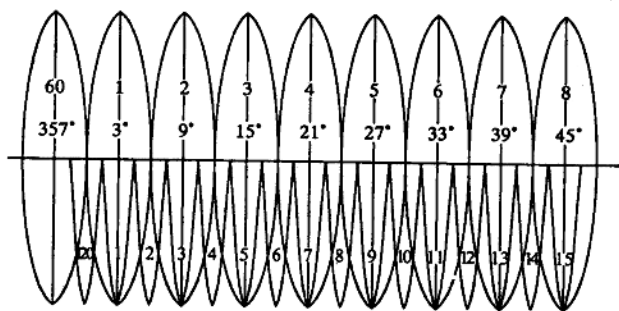


图 2-8

高斯投影的方法是：设想用一截面为椭圆的圆柱，使之与地球椭球上的某一带的中央子午线相切并使圆柱的轴与地球椭球的轴相互垂直，如图 2-9 所示。利用正形投影的方法(保角映射)将该带投影到圆柱面上，然后沿过椭球柱的南北两极的母线剪开，并展成平面。投影后中央子午线与赤道为互相垂直的直线，以中央子午线为 x 轴，赤道为 y 轴，两轴的交点为坐标原点，组成高斯平面直角坐标系，如图 2-10 所示。投影后，中央子午线长度保持不变，其余任意两点间的长度都有变形，而且距中央子午线越远变形越大，变形过大将影响所测地形图的精度，也影响图纸的使用。 6° 带投影后，其边缘部分的变形能满足 1:25000 或更小比例尺测图的精度，当进行 1:10000 或更大比例尺测图时，要将投影带变窄，以限制投影带边缘位置的长度变形。可采用 3° 带或 1.5° 分带投影法。采用 3° 带投影时，是自东经 1.5° 的子午线起由西向东，经差每隔 3° 作为一带，全球共划分为 120 个带，如图 2-8 所示。每带中央子午线的经度可按下式计算：

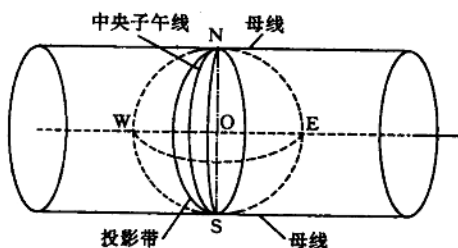


图 2-9 高斯平面直角坐标的投影

投影后，中央子午线长度保持不变，其余任意两点间的长度都有变形，而且距中央子午线越远变形越大，变形过大将影响所测地形图的精度，也影响图纸的使用。 6° 带投影后，其边缘部分的变形能满足 1:25000 或更小比例尺测图的精度，当进行 1:10000 或更大比例尺测图时，要将投影带变窄，以限制投影带边缘位置的长度变形。可采用 3° 带或 1.5° 分带投影法。采用 3° 带投影时，是自东经 1.5° 的子午线起由西向东，经差每隔 3° 作为一带，全球共划分为 120 个带，如图 2-8 所示。每带中央子午线的经度可按下式计算：

$$\lambda_3 = 3n$$

式中 n 为 3° 带的带号。

在坐标系内，规定 x 轴向北为正， y 轴向东为正。由于我国位于北半球， x 坐标总为

正, y 坐标有正有负, 如图 2-10(a) 中 $y_a = +167\,821\text{m}$, $y_b = -210\,348\text{m}$ 。为避免 y 坐标出现负值, 同时考虑到 6° 带中央子午线在赤道到边界最远不超过 334km , 因此我国规定将每带的纵轴(x 轴)向西平移 500km , 以确保 y 坐标都为正值。如图 2-10(b) 所示, 坐标纵轴 x 西移后, $y_a = 500\,000 + 167\,821 = 667\,821\text{m}$, $y_b = 500\,000 - 210\,348 = 289\,652\text{m}$ 。

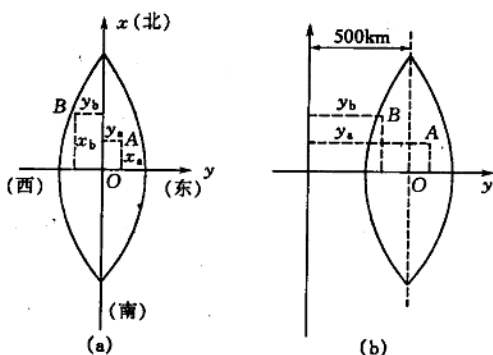


图 2-10

为了根据横坐标确定某点位于哪一个 6° 带内, 则在横坐标值前冠以带的编号。例如 A 点位于 22 带内, 则其横坐标值为 $22\,667\,821\text{m}$ 。在 y 坐标值上加了 500km 和带号后的横坐标值称为通用值, 没有加 500km 和带号的原横坐标值称为自然值。从测绘部门收集来的坐标资料一般都为通用值, 有时为了使用上的方便要换算成自然值。

2.1.2.4 地面点的高程

确定地面点的空间位置, 除了确定其在投影面上的投影位置外, 还要确定其高程。地面点到大地水面的铅垂距离, 称为该点的绝对高程, 或称海拔。图 2-11 中的 H_A 和 H_B 即为 A 点和 B 点的绝对高程。

由于海水受潮汐和风浪的影响, 海水面的高低时刻在变化, 是个动态的曲面。我国在青岛设立验潮站, 长期观察和记录黄海海水面的高低变化, 取其平均值作为大地水准面的位置 (即为高程起算基准面, 在大地水准面上高程为零), 并在青岛建立了水准原点。目前, 我国采用 “1985 年高程基准”, 青岛水准原点的高程为 72.260m , 全国各地的高程都以它为基准进行测算。但 1987 年以前使用的是 1956 年高程基准, 水准原点高程为 72.289m 。利用旧的高程测量成果时, 要注意高程基准的统一和换算。

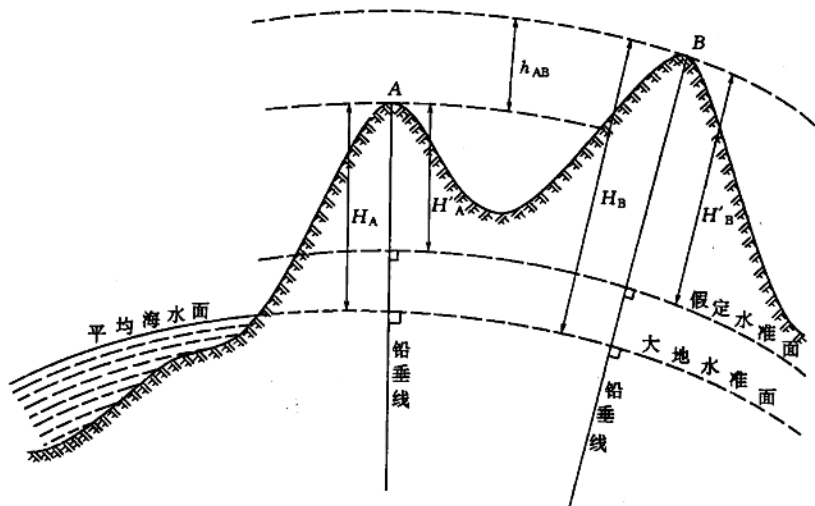


图 2-11

在局部地区, 如果无法知道绝对高程而引用绝对高程又有困难时, 可采用假定高程系统, 即采用任意假定的水准面为高程起算面。地面点到假定水准面的垂直距离, 称为假定高

程或相对高程。图 2-11 中 A, B 两点的假定高程分别为 H_A' 和 H_B' 。

地面两点间的绝对或假定高程之差称为高差, 用 h 表示。A, B 两点高差为:

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

两点间的高差与高程起算面无关。

2.2 用水平面代替水准面的限度

由于水准面是一个曲面, 曲面上的图形投影到平面上就会产生一定的变形, 然而地球半径很大, 当测区较小时, 这种变形就很小, 可以用平面代替水准面, 但随着测区的增大, 这种变形也随之增大。因此, 在多大范围内可以用水平面代替水准面, 而且这种变形引起的误差又不会超过测绘和制图误差的容许范围, 就是我们要讨论的问题。

2.2.1 利用水平面代替水准面对距离的影响

如图 2-12 所示, S 为大地水准面上的一段弧长, L 为过 A 点切线长, 若以 L 代替 S, 则在距离上产生的误差为 ΔS 。

$$\Delta S = L - S$$

$$L = R \cdot \tan \alpha$$

$$S = R \cdot \alpha$$

则

$$\Delta S = R \cdot \tan \alpha - R \cdot \alpha \quad (2-1)$$

因 α 很小, 将 $\tan \alpha$ 按泰勒级数展开, 取前两项

$$\tan \alpha = \alpha + \frac{1}{3} \alpha^3 + \dots \quad (2-2)$$

又因为

$$\alpha = \frac{S}{R} \quad (2-3)$$

将式(2-2)和式(2-3)代入式(2-1)得:

$$\Delta S = \frac{S^3}{3R^2}$$

或

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{S^2}{3R^2} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{S}{R} \right)^2$$

用水平面代替水准面的距离误差和相对误差, 见表 2-1。

表 2-1 水平面代替水准面距离误差和相对误差

距离 S/km	10	25	50	100
距离误差 ΔS /cm	0.8	12.8	102.7	821.2
相对误差 $\Delta S/S$	1/1 200 000	1/200 000	1/49 000	1/12 000

由表 2-1 可见, 在 10km 的范围内, 以水平面代替水准面对距离影响很小。

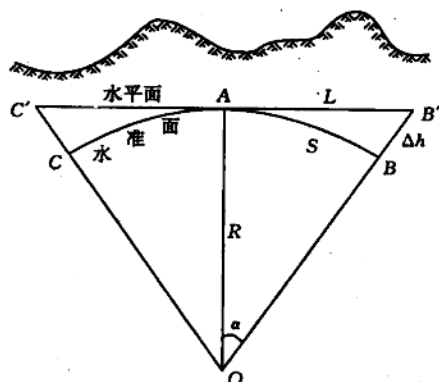


图 2-12

2.2.2 用水平面代替水准面对高差的影响

如图 2-12 所示, 用水平面代替水准面对高差的影响为 Δh

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + L^2$$

$$\Delta h = \frac{L^2}{2R + \Delta h}$$

因 Δh 与 R 相比很小, 故可以写成:

$$\Delta h = \frac{L^2}{2R}, \text{ 取 } R = 6\,371\text{km}, \text{ 代入此式并列出表 2-2。}$$

表 2-2 用水平面代替水准面对高差的影响值

S/m	100	200	300	500	1 000	2 000	5 000
$\Delta h/\text{cm}$	0.08	0.3	0.7	2	8	31	196

由表 2-2 可见, 以水平面代替水准面, 对高程影响较为显著, 因此在进行高程测量时应考虑此影响。

2.2.3 用水平面代替水准面对水平角的影响

由球面三角学的有关知识可知, 一球面多边形的各角之和与与其在平面上的投影的各角之和大一个球面角超 ϵ 的值, 球面角超 ϵ 的计算公式为

$$\epsilon = \rho \frac{P}{R^2}$$

式中 ρ 为一弧度所对应的秒值(206 265"), P 为多边形的面积, R 为地球半径。

表 2-3 不同多边形面积对应的球面角超

P/km^2	10	100	400
$\epsilon/(\text{''})$	0.05	0.51	2.03

由表 2-3 可知, 当面积在 100 km^2 以内时, 以平面代替水准面对角度的影响很小, 因此在一般的测量中可不必考虑。

2.3 测图的基本原理与测量工作概述

2.3.1 测图的基本原理

如图 2-13 所示, 当测区较小时, 投影面可被看做平面, 地面上 A, B, C, D 各点沿铅垂线投向 P 平面, 得其投影为 A', B', C', D' , 将其投影后的图形按比例缩绘到图纸上, 如果把测区内的地物点和地貌点分别投影到 P 平面上并按比例尺缩绘。用地物点绘制地物, 根据地貌点的高程和地性线勾绘等高线表示地貌, 就可得到相应的地形图。

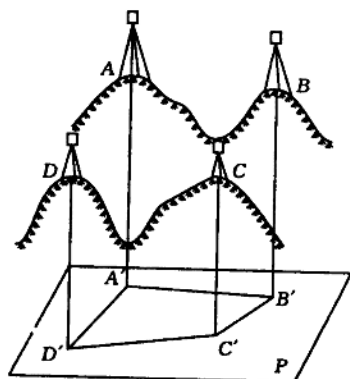


图 2-13

2.3.2 测图比例尺

把地面两点在图上的距离与其实际平距之比称为**测图比例尺**。同时把地图上 0.1mm 所对应的实际距离称为**比例尺精度**。如 1:1000 地形图的比例尺精度为 0.1m。

2.3.3 测量工作概述

(1) 控制测量

测量工作要遵循“先控制、后碎部”、“从整体到局部”的作业程序。如图 2-14，如果我们要将这几个建筑物测于图上，首先根据测区的情况选择 A, B, C, D, E, F 这些有控制意义的点，对这些点进行统一布设、观测、计算，并在这些点(我们称这些点为控制点)的基础上进行碎部测量，便可测得地物点(如建筑物的角点)。因为这些地物点是在统一布设的控制点上测得的，所以这些地物点的精度也较为均匀，并能满足其应有的精度要求。

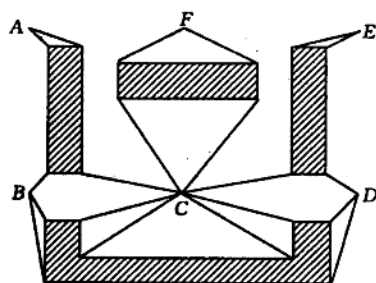


图 2-14

(2) 碎部测量

碎部测量就是在控制测量的基础上，利用各种测量方法将测区内的地物点和地貌点测于图上的过程。(在后面有关章节中将详细介绍)。