

高等学校“十二五”规划教材——测绘地理信息类

数字化测图

曹先革 杨金玲 孙彩敏 主编



数字化测图

主编 曹先革 杨金玲 孙彩敏

内 容 简 介

本书以地形图、地籍图和地下管线图等工程图形的绘制为出发点,针对现代数字化测图的问题及要求,由浅入深地对数字化测图的基本知识、数字化测图的硬件设备(全站仪、GPS RTK 接收机、水准仪、扫描仪、绘图仪、探地雷达等)、软件(LGO, NASEW, CASS, SCAN 等)及数据采集和数据处理的方法进行了详细介绍,重点突出了数字化测图内业数据处理和数字地形图的应用,强化了实践性教学环节。

本书为普通高等学校测绘工程专业的本科教材,也可作为工科相关专业(如土地管理、交通工程、资源与环境管理等)的专业基础课程教材,亦可供从事测绘工程工作及相关工作的技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字化测图/曹先革,杨金玲,孙彩敏主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2015.11

ISBN 978 - 7 - 5661 - 1148 - 7

I. ①数… II. ①曹… ②杨… ③孙… III. ①数字化
测图 IV. ①P231.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 249787 号

选题策划 刘凯元
责任编辑 刘凯元
封面设计 恒润设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 13.5
字 数 340 千字
版 次 2015 年 11 月第 1 版
印 次 2015 年 11 月第 1 次印刷
定 价 29.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前言



随着现代测绘科学技术的迅猛发展,测绘仪器和测绘技术已发生了巨大变化,绘图技术也越来越先进,地形测量已从白纸测图转变为数字化测图。目前,数字化测图已成为应用最广泛、技术最普及、大多数测绘工作人员必须掌握的现代测绘新技术,数字化地形图已成为各类数字工程的基石。

为适应我国数字工程、经济建设和社会发展的需要,我们在参阅国内外专著和论文的基础上,结合教学、工程应用编写了本书。本书以地形图、地籍图、地下管线图等工程图形的绘制为出发点,针对现代化测图的问题及要求,由浅入深地介绍了数字化测图的基本知识,数据采集的手段和方法,地形图、地籍图和地下管线图绘制的基本方法与过程,数字地形图的应用等,强化了实践性教学环节。

全书共分9章,具体编写安排如下:第1章、第4章和第7章由曹先革(黑龙江工程学院)编写(约12万字);第2章、第6章、第8章和第9章由杨金玲(黑龙江工程学院)编写(约12万字);第3章和第5章由孙彩敏(华北科技学院)编写(约10万字);全书由曹先革负责统稿定稿,最后由曲建光、李秀海两位教授分别统审全书。

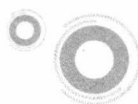
本书在编写过程中参阅了大量文献,引用了同类书刊中的一些资料,在此,谨向有关作者表示衷心的感谢。

本书编写得到了黑龙江省普通高等学校青年学术骨干支持计划项目(编号:1252G052)的基金资助。

由于作者水平有限,书中不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2015年4月



第1章 数字化测图基础知识	1
1.1 常用坐标系及其转换	1
1.2 地形图的分幅与编号	9
1.3 地形要素的分类与编码.....	15
1.4 地形图的辅助内容.....	19
1.5 比例尺.....	21
1.6 图形注记.....	22
1.7 两点间距离、方向与坐标的关系	23
第2章 数字化测图的硬件设备	27
2.1 全站仪的结构及其测量原理.....	27
2.2 全站仪简介.....	33
2.3 GPS RTK 系统简介	37
2.4 电子水准仪简介.....	41
2.5 数字化仪与扫描仪.....	44
2.6 数控绘图仪.....	48
第3章 野外数据采集	53
3.1 GPS 首级控制测量.....	53
3.2 全站仪导线测量.....	64
3.3 水准测量.....	70
3.4 碎部法测量.....	77
3.5 全站仪碎部测图.....	84
3.6 GPS RTK 碎部测图	89
第4章 AutoCAD 图形绘制基础	94
4.1 常用绘图命令.....	94
4.2 常用编辑命令.....	99
4.3 图层、线型、颜色	107
4.4 显示命令与坐标系	113
第5章 数字化测图内业	118
5.1 CASS 数字化测图系统操作主界面及其内容简介.....	118

5.2	数据传输与参数设置	121
5.3	平面图绘制	124
5.4	地物编辑、注记与数据处理	130
5.5	等高线的绘制与编辑	138
5.6	数字地形图的整饰与输出	141
第6章	地图数字化	143
6.1	地图数字化概述	143
6.2	地图扫描屏幕矢量化方法	147
6.3	地图扫描矢量化方法的精度分析	152
第7章	数字地形图的应用和施工放样	154
7.1	数字地形图的基本应用	154
7.2	数字地形图在线路勘察设计中的应用	166
7.3	图数转换	170
7.4	全站仪施工放样	171
7.5	GPS RTK 放样	174
第8章	数字地籍测绘	177
8.1	地籍图基础知识	177
8.2	数字地籍测绘	179
8.3	数字地籍图绘制	182
8.4	宗地图和地籍表格绘制	186
第9章	地下管线图测绘	191
9.1	地下管线探测	191
9.2	地下管线物理探查	193
9.3	数字地下管线图测绘	198
	参考文献	208

第 1 章 数字化测图基础知识

1.1 常用坐标系及其转换

1.1.1 测量坐标系概述

地面和空间点位的确定总是要参照于某一给定的坐标系统。坐标系统是由坐标原点、坐标轴的指向和尺度所定义的。坐标参考系统分为天球坐标系和地球坐标系(亦称地固坐标系)。天球坐标系用于研究天体和人造卫星的定位与运动,地球坐标系用于研究地球上物体的定位与运动。确定地球表面点的空间位置时,采用地固坐标系更为方便。根据坐标系原点位置的不同,地固坐标系分为地心坐标系(原点与地球质心重合)和参心坐标系(原点与参考椭球中心重合),前者以总地球椭球为基准,后者以参考椭球为基准。无论是地心坐标系还是参心坐标系均可分为空间直角坐标系和大地坐标系,它们都与地球固连在一起,与地球同步运动。不同基准的坐标系的点位坐标是不同的。

建立某一基准的地固坐标系统(简称坐标系),必须解决以下问题:①确定椭球的形状和大小(长半径 a 和扁率 α);②确定椭球中心的位置(椭球定位);③确定椭球短轴的指向(椭球定向);④建立大地原点。对于地固坐标系,坐标原点通常选在参考椭球中心或地心,坐标轴的指向具有一定的选择性,国际上通用的坐标系一般采用协议地极方向 CTP (Conventional Terrestrial Pole) 作为 Z 轴指向。

1. 不同基准的坐标系统

(1) 1954 年北京坐标系

1954 年北京坐标系是我国目前广泛采用的大地测量坐标系,源自于苏联采用过的 1942 年普尔科沃坐标系。

新中国成立前,我国没有统一的大地坐标系统。新中国成立初期,在苏联专家的建议下,我国根据当时的具体情况,建立起了全国统一的 1954 年北京坐标系。该坐标系采用的参考椭球是克拉索夫斯基椭球。这是一个只用几何量表示的椭球,其椭球的参数为 $a = 6\,378\,245\text{ m}$, $\alpha = 1:298.3$ 。

遗憾的是,该椭球并未依据当时我国的天文观测资料进行重新定位,而是直接由苏联西伯利亚地区的一等锁,经我国的东北地区传算过来。

限于当时的条件,1954 年北京坐标系存在着很多缺点,主要表现在以下几个方面。

①克拉索夫斯基椭球参数同现代精确的椭球参数的差异较大,并且不包含表示地球物理特性的参数,因而给理论和实际工作带来了许多不便。

②椭球定向不十分明确,椭球的短半轴既不指向国际通用的 CIO 极,也不指向目前我国使用的 JYD 极。参考椭球面与我国大地水准面呈西高东低的系统性倾斜,东部高程异常在 60 m 以上,最大达 67 m。

③该坐标系统的大地点坐标是经过局部分区平差得到的,因此,全国的天文大地控制网实际上不能形成一个整体,区与区之间存在较大的隙距。如接合部中的有些点,在不同区的

坐标值相差 1~2 m。不同分区的尺度差异也较大。因为坐标是按东北—西北—西南的路线分区传递的,后一区的坐标起算点是前一区的最弱坐标点,因而一等锁的坐标积累误差较大。

鉴于此,国家测绘局和总参测绘局于 1978 年 4 月在西安召开会议,决定建立我国自己的坐标系统。

(2) 1980 年国家大地坐标系

1978 年,我国决定建立新的国家大地坐标系,并重新对全国天文大地网实施整体平差,要求整体平差在新大地坐标系中进行,这个坐标系统就是 1980 年国家大地坐标系(亦称 1980 年西安坐标系)。

1980 年国家大地坐标系采用国际大地测量协会 1975 年推荐的参考椭球 IAG-75 国际椭球,其 4 个几何和物理参数值为:

- ① 椭球长半径 $a = 6\,378\,140\text{ m}$;
- ② 引力常数与地球质量的乘积 $GM = 3.986\,005 \times 10^{14}\text{ m}^3/\text{s}^2$;
- ③ 地球重力场二阶带球谐系数 $J_2 = 108\,263 \times 10^{-8}$;
- ④ 地球自转角速度 $\omega = 7.292\,115 \times 10^{-5}\text{ rad/s}$ 。

椭球的短轴平行于地球的自转轴(由地球质心指向 1968.0 JYD 地极原点方向),起始子午面平行于格林尼治平均天文子午面。按照椭球面与似大地水准面在我国境内符合最好的约束条件进行定位,并将大地原点确定在我国中部——陕西省泾阳县永乐镇,高程系统以 1956 年黄海平均海面为高程起算基准。

1980 年国家大地坐标系中的大地点成果与原 1954 年北京坐标系中的大地点成果是不同的。差异的产生除了因为前者是经过整体平差,而后者只是作了局部平差以外,主要还是由于它们各属于不同椭球与不同的椭球定位与定向。

(3) 中国地心坐标系统 CGCS2000

基于“中国地壳运动观测网络”工程 1999 年至 2005 年共 7 年的 24 个 GPS 连续运行基准站观测数据,并联合 47 个国际 IGS 核心站,得到这些点于 2000.0 历元在 ITRF2000 框架中的坐标及速度,以及其相对于 NNR-NUVELIA 板块模型的速度,以此建立起中国地心坐标系的基准点。CGCS2000 坐标系采用的地球椭球参数如下:

- ① 地球椭球长半径 $a = 6\,378\,137\text{ m}$;
- ② 引力常数与地球质量的乘积 $GM = 3.986\,004\,418 \times 10^{14}\text{ m}^3/\text{s}^2$;
- ③ 地球自转角速度 $\omega = 7.292\,115 \times 10^{-5}\text{ rad/s}$ 。

2008 年 7 月 1 日起实施的中国地心坐标系统 CGCS2000 是全球地心坐标系在我国的具体体现,其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。以地球质心为大地坐标系的原点,可以更好地阐明地球上各种地理和物理现象,特别是空间物体的运动。现在利用空间技术所得到的定位和影像等成果,都是以地心坐标系为参照系。采用地心坐标系可以充分利用现代最新科技成果,它对满足国民经济建设、社会发展、国防建设和科学研究的需求,有着十分重要的意义。

(4) WGS-84 坐标系

WGS-84 坐标系的全称是 World Geodetical System-84(世界大地坐标系-84),它属于地心地固坐标系统。WGS-84 坐标系统由美国国防部制图局建立,于 1987 年取代了当时 GPS 所采用的坐标系统——WGS72 坐标系统而成为新的 GPS 所使用的坐标系统。坐标系

的原点是地球的质心, 椭球面与大地水准面在全球范围内最佳符合, Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极 (CTP) 方向, X 轴指向 BIH1984.0 的零度子午面和 CTP 赤道的交点, Y 轴与 Z 、 X 轴构成右手坐标系。

对应 WGS-84 坐标系有一个 WGS-84 椭球, 该椭球的参数为:

- ①地球椭球长半径 $a = 6\,378\,137\text{ m}$;
- ②引力常数与地球质量的乘积 $GM = 3.986\,005 \times 10^{14}\text{ m}^3/\text{s}^2$;
- ③地球重力场二阶带球谐系数 $J_2 = 1\,082.629\,989\,05 \times 10^{-6}$;
- ④地球自转角速度 $\omega = 7.292\,115 \times 10^{-5}\text{ rad/s}$ 。

GPS 的星历坐标及由 GPS 观测值直接计算的坐标, 都是 WGS-84 坐标系下的坐标。

(5) 站心坐标系

以测站为原点, 测站上的法线 (或垂线) 为 Z 轴方向, 北方向为 X 轴, 东方向为 Y 轴, 建立的坐标系称为法线 (或垂线) 站心坐标系, 常用来描述参照于测站点的相对空间位置关系, 或者作为坐标转换的过渡坐标系。工程上在小范围内有时也直接采用站心坐标系。

2. 同一基准中几种常用的坐标系

根据不同的表达方式及要求, 表示地面点位的空间位置, 就产生了不同的坐标系。在大地测量中, 常用的坐标系有以下几种。

(1) 空间直角坐标系

空间直角坐标系如图 1-1 所示, 空间任意点的坐标用 (X, Y, Z) 表示, 坐标原点位于地球椭球质心或参考椭球中心, Z 轴 (短轴) 与地球平均自转轴相重合, 亦即指向某一时刻的平均北极点, X 轴指向平均自转轴与格林尼治天文台所决定的子午面与赤道面的交点 G_c , 而 Y 轴与 XOZ 平面垂直, 且指向东为正。

(2) 大地坐标系

大地坐标系 (亦称地理坐标系) 如图 1-2 所示, 可采用大地经度 L 、大地纬度 B 和大地高 H 来描述地面上一点的空间位置。地面上一点的大地经度 L 为大地起始子午面与该点所在的子午面所构成的二面角, 由起始子午面起算, 向东为正, 称为东经 ($0^\circ \sim 180^\circ$), 向西为负, 称为西经 ($0^\circ \sim 180^\circ$); 大地纬度 B 是过该点作椭球面的法线与赤道面的夹角, 由赤道面起算, 向北为正, 称为北纬 ($0^\circ \sim 90^\circ$), 向南为负, 称为南纬 ($0^\circ \sim 90^\circ$); 大地高 H 是地面点沿椭球的法线到椭球面的距离。

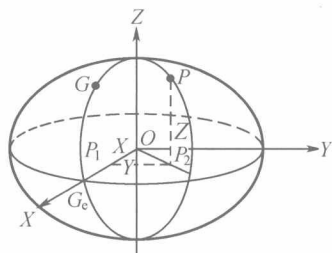


图 1-1 空间直角坐标系

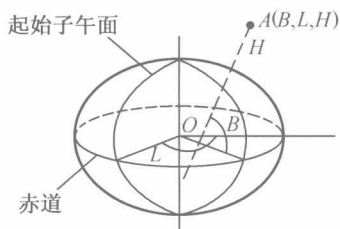


图 1-2 大地坐标系

(3) 高斯平面直角坐标系

在地球椭球面上进行大地坐标的计算, 是相当烦琐的, 远不如在平面上简便。为适应测量定位的应用, 需要将大地坐标转换为某种平面直角坐标; 为测绘在平面上的地图, 也必须

将地球椭球面上各元素按一定的数学法则归算(投影)到某个平面。将大地坐标通过某种数学变换映射到平面上,这就是坐标投影变换。投影变换的方法很多,如 UTM 投影、Lambert 投影等。我国采用的是高斯-克吕格投影,简称高斯投影。

高斯平面直角坐标系的原点是高斯投影某一带的中央子午线与赤道投影的交点; x 轴为中央子午线的描写形,指向北; y 轴为赤道的描写形,指向东,如图 1-3(a)所示。在我国 x 坐标都是正的, y 坐标的最大值(在赤道上)约为 330 km。为了避免出现负的横坐标,可在横坐标上加上 500 km,如图 1-3(b)所示;此外还应在坐标前面再冠以带号。这种坐标称为国家统一坐标(亦称通用坐标)。例如,有一点 $Y=19\ 123\ 456.789\text{ m}$,该点位于 19 带内,其相对于中央子午线而言的横坐标则是首先去掉带号,再减去 500 000 m,最后得到 $Y=-376\ 543.211\text{ m}$ 。

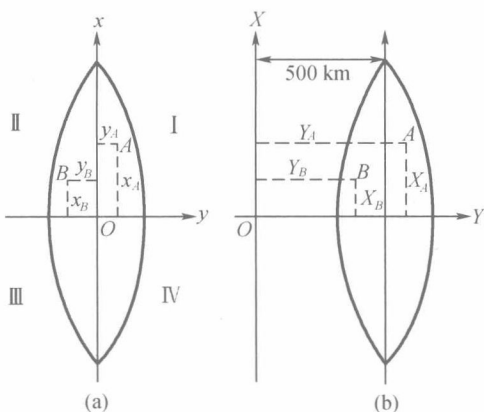


图 1-3 高斯平面直角坐标系

(4) 平面直角坐标系

当测图的范围较小时(半径 10 km 以内区域),可把该部分的球面视为水平面。将地面点直接沿铅垂线方向投影到水平面上。如图 1-4 所示,以互相垂直的纵横轴建立平面直角坐标系:纵轴为 x 轴,与南北方向一致,以向北为正,向南为负;横轴为 y 轴,与东西方向一致,以向东为正,向西为负。这样任一点平面位置可用其纵横坐标 x, y 表示。如果坐标原点 O 是任意假定的,则为独立的平面直角坐标系。

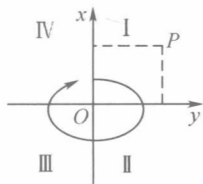


图 1-4 平面直角坐标系

1.1.2 测量坐标的转换

1. 不同基准间的坐标转换

不同基准间的坐标转换本质上是不同坐标系统的转换。不同基准间的坐标转换,既可以在不同空间直角坐标系之间转换也可以在不同大地坐标系之间转换。在两空间直角坐标系之间转换比较简便,应用广泛,下面仅介绍两空间直角坐标系之间转换方法。

不同空间直角坐标系的转换应包括不同参心空间直角坐标系间的转换,同时也包括参心空间直角坐标系与地心空间直角坐标系间的转换。在进行两个空间直角坐标系间的转换时,要对坐标原点实施 3 个平移变换,对 3 个坐标轴实施 3 个旋转变换(这 3 个旋转角称为欧拉角),除此之外,还有两个坐标系尺度之间不一样的一个尺度变换参数。以上 3 个坐标原点平移参数、3 个坐标轴旋转参数、1 个尺度变换参数统称为七参数。进行空间直角坐标系转换主要有布尔莎模型、莫洛斯基模型和范士公式(武测模型),因各有不同的前提条件,故七参数数值是不同的,坐标转换的结果差别很小。下面以布尔莎模型为例介绍空间直角坐标系的转换。

设有三维空间直角坐标系 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 和 $O_B - X_B Y_B Z_B$ 的相互关系见图 1-5。

令: C 点在 A 空间直角坐标系的坐标为 (X_A, Y_A, Z_A) , 在 B 空间直角坐标系的坐标为 (X_B, Y_B, Z_B) 。

两空间直角坐标系间的七个转换参数为:

3个平移参数($\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$)为A空间直角坐标系原点平移到B空间直角坐标系原点的坐标差,保证两个坐标系的原点重合。

3个旋转参数($\omega_x, \omega_y, \omega_z$)为A空间直角坐标系的三轴指向分别旋转到B空间直角坐标系的三轴指向的旋转角,使得旋转后3个坐标轴的指向一致。

1个尺度参数 m 为B基准与A基准两个长度的比,强行将A基准的尺度拉伸或压缩至B基准的长度标准。

由A空间直角坐标系到B空间直角坐标系的转换参数为

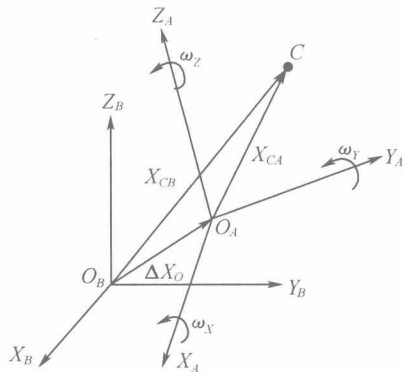


图 1-5 坐标系转换示意图

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + (1+m)\mathbf{R}(\omega) \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} \quad (1-1)$$

式中

$$\mathbf{R}(\omega) = \mathbf{R}(\omega_z)\mathbf{R}(\omega_y)\mathbf{R}(\omega_x) \quad (1-2)$$

$$\mathbf{R}(\omega_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega_x & \sin\omega_x \\ 0 & -\sin\omega_x & \cos\omega_x \end{bmatrix} \quad (1-3)$$

$$\mathbf{R}(\omega_y) = \begin{bmatrix} \cos\omega_y & 0 & -\sin\omega_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\omega_y & 0 & \cos\omega_y \end{bmatrix} \quad (1-4)$$

$$\mathbf{R}(\omega_z) = \begin{bmatrix} \cos\omega_z & \sin\omega_z & 0 \\ -\sin\omega_z & \cos\omega_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-5)$$

式(1-3)~式(1-5)为分别绕 X, Y, Z 轴旋转的旋转矩阵。三个旋转角 $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ 通常为小角度,称为欧拉角。令

$$\left. \begin{array}{l} \cos\omega \approx 1 \\ \sin\omega \approx \omega \end{array} \right\}$$

则有

$$\mathbf{R}(\omega) = \mathbf{R}(\omega_z)\mathbf{R}(\omega_y)\mathbf{R}(\omega_x) = \begin{bmatrix} 1 & \omega_z & \omega_y \\ -\omega_z & 1 & \omega_x \\ \omega_y & -\omega_x & 1 \end{bmatrix} \quad (1-6)$$

必须指出,3个旋转矩阵的顺序不能颠倒。

布尔莎模型的另一种形式为

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X_A \\ \Delta Y_A \\ \Delta Z_A \end{bmatrix} + \mathbf{K} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (1-7)$$

式中
$$K = \begin{bmatrix} 0 & -Z_A & Y_A & X_A \\ Z_A & 0 & -X_A & Y_A \\ -Y_A & X_A & 0 & Z_A \end{bmatrix} \quad (1-8)$$

在作业中,一般把既有 A 坐标系的坐标,又有 B 坐标系的坐标的点称为公共点。转换参数就是根据两坐标系的公共点按最小二乘法原理来确定的。

2. 同一基准内坐标的相互转换

(1) 空间直角坐标系与大地坐标系间的转换

①在相同的基准下,大地坐标系向空间直角坐标系的转换方法为

$$\left. \begin{aligned} X &= (N + H) \cos B \cos L \\ Y &= (N + H) \cos B \sin L \\ Z &= [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

式中, $N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$ 为卯酉圈的曲率半径; $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$, 其中 a 为地球椭球长半轴, b 为地球椭球的短半轴, e 为椭球第一偏心率。

②在相同的基准下,空间直角坐标系向大地坐标系的转换方法为

$$\left. \begin{aligned} L &= \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \\ B &= \arctan\left\{ \frac{Z(N + H)}{\sqrt{(X^2 + Y^2)[N(1 - e^2) + H]}} \right\} \\ H &= \frac{Z}{\sin B} - N(1 - e^2) \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

在采用上式进行转换时,大地纬度 B 需要用迭代的方法求解。当两次迭代结果之差 $\Delta B \leq \varepsilon$ 时,就得到了 B , 然后就可确定 H 。

(2) 大地坐标系与高斯平面直角坐标系间的转换

把大地坐标 (B, L) 转换至高斯平面直角坐标 (x, y) 称为高斯投影坐标正算, 高斯平面直角坐标 (x, y) 转换为大地坐标 (B, L) 称为高斯投影坐标反算。在测绘工程中通常需要进行高斯投影坐标正算, 其转换方法为

$$\left. \begin{aligned} x &= X + \frac{N}{2} \sin B \cos B l^2 + \frac{N}{24} \sin B \cos^3 B (5 - t + 9\eta^2 + 4\eta^4) l^4 + \frac{N}{720} \sin B \cos^5 B (61 - 58t^2 + t^4) l^6 \\ y &= N \cos B l + \frac{N}{6} \cos^3 B (1 - t^2 + \eta^2) l^3 + \frac{N}{120} \cos^5 B (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58t^2 \eta^2) l^5 \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

式中, $N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$ 为卯酉圈的曲率半径; $t = \tan B$; $\eta^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \cos^2 B$; $l = L - L_0$, L_0 为中央子午线。

因为分带的原因,使得不同带上的点坐标可能有相同的值。还需将高斯坐标换算成国家统一坐标 (X, Y) , 其方法是

$$\left. \begin{aligned} X &= x \\ Y &= \text{带号} + 500 \text{ km} + y \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

1.1.3 测量坐标系到屏幕坐标系和绘图仪坐标系的转换

计算机地图制图是指在计算机屏幕上显示地图图形,在绘图仪上输出地图。图形显示是数字地图的主要输出形式之一,数字测图过程和结果的可视化也都是通过图形显示来实现的,因此图形显示是数字测图系统的主要功能之一。在图形显示中要考虑的主要问题是如何将采样点的测量坐标转换为屏幕窗口坐标。另外,在对图形进行缩放显示时,还要进行同一窗口内不同比例条件下的坐标变换。

1. 测量坐标系与屏幕坐标系间的转换

在数字测图过程中所获取的采样点坐标通常是测量坐标系中的坐标,要将图形显示到计算机屏幕上,必须将测量坐标转换为相应的屏幕坐标;而在图形编辑过程中,又需要根据所显示图形在采样点中查询相应的点位,这就要求将屏幕坐标转换为相应的测量坐标。计算机屏幕坐标系是以屏幕左上角为原点,以从左至右的水平方向为 x 轴,以从上至下的垂直方向为 y 轴的直角坐标系,屏幕坐标系的坐标单位为像素,其取值一般只能是零和正整数,具体取值范围与屏幕分辨率有关,如对分辨率为 $1\,024 \times 768$ 的显示器而言, x 的取值范围为 $0 \sim 1\,023$, y 的取值范围为 $0 \sim 767$ 。

如图 1-6 所示, XOY 是测量坐标系, xoy 是屏幕坐标系,若屏幕水平方向和垂直方向的长度分别为 s_x 和 s_y ,相应的实地长度分别为 S_Y 和 S_X ,屏幕左下角的测量坐标为 (X_0, Y_0) ,任一点 P 的测量坐标 (X, Y) 和相应的屏幕坐标 (x, y) 之间存在如下关系,即

$$\left. \begin{aligned} x &= k_x (Y - Y_0) \\ y &= s_y - k_y (X - X_0) \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

式中, k_x 为 x 方向的比例系数, $k_x = s_x/S_Y$; k_y 为 y 方向的比例系数, $k_y = s_y/S_X$ 。

$$\left. \begin{aligned} X &= K_X (s_y - y) + X_0 \\ Y &= K_Y x + Y_0 \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

式中, K_X 为 X 方向的比例系数, $K_X = S_X/s_y$; K_Y 为 Y 的方向比例系数, $K_Y = S_Y/s_x$ 。

式(1-13)是由测量坐标到屏幕坐标的变换公式,式(1-14)是由屏幕坐标到测量坐标的变换公式。

在实际应用中,一般不会将整个屏幕都用于显示图形,而是在屏幕上设置一个显示窗口,并将其他部分用于显示菜单、工具条和状态栏。这时,只需将式(1-13)和式(1-14)中的 s_x 和 s_y ,定义为窗口的水平方向和垂直方向的长度, (X_0, Y_0) 定义为窗口左下角相应的测量坐标,则式(1-13)和式(1-14)即为测量坐标系和窗口坐标系之间的变换公式。

2. 图形缩放时的坐标转换

在数字测图过程中,经常需要对图形进行放大或缩小显示。图形缩放显示的方式主要有两种:一种是以窗口内某点为中心进行给定倍数的放大或者缩小显示,即定倍数缩放显示;另一种是对选定区域内的图形进行放大显示,即开窗放大显示。

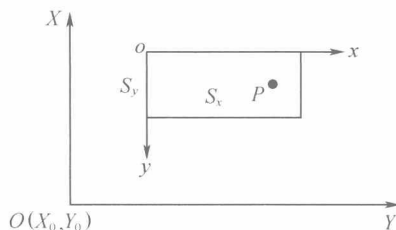


图 1-6 测量坐标系与屏幕坐标系的关系

(1) 定倍数缩放显示

定倍数缩放显示是在原窗口中选定某点为中心并给定缩放倍数,缩放后将该点移至窗口中心并按给定的缩放倍数来显示该图形。设所选点在原窗口中的坐标为 (x_m, y_m) ,其相应的测量坐标为 (X_M, Y_M) ,缩放倍数为 k ,则原窗口中任一点 P 的坐标 (x, y) 与缩放后窗口中的坐标 (x', y') 之间存在如下关系

$$\left. \begin{aligned} x' &= k(x - x_m) + \frac{s_x}{2} \\ y' &= k(y - y_m) + \frac{s_y}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

缩放窗口中的坐标 (x', y') 与相应高斯坐标 (X, Y) 之间存在如下关系

$$\left. \begin{aligned} X &= -\frac{k_x}{k}(y' - \frac{s_y}{2}) + X_M \\ Y &= \frac{k_y}{k}(x' - \frac{s_x}{2}) + Y_M \end{aligned} \right\} \quad (1-16)$$

$$\left. \begin{aligned} x' &= k k_x (Y - Y_M) + \frac{s_x}{2} \\ y' &= -k k_y (X - X_M) + \frac{s_y}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1-17)$$

(2) 开窗放大显示

开窗放大显示是在原窗口中选定以某点为中心的矩形区域,放大后将所选矩形区域内的图形显示到整个窗口中。设所选点在原窗口中的坐标为 (x_m, y_m) ,其相应测量坐标为 (X_M, Y_M) ,所选矩形区域在 x 方向和 y 方向上的长度分别和 s'_x 和 s'_y ,则所选区域原窗口中任一点坐标 (x, y) 与放大后窗口中的坐标 (x', y') 之间的关系为

$$\left. \begin{aligned} x' &= k'_x(x - x_m) + \frac{s_x}{2} \\ y' &= k'_y(y - y_m) + \frac{s_y}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

式中, k'_x 为 x 方向上的放大倍数, $k'_x = s_x/s'_x$; k'_y 为 y 方向上的放大倍数, $k'_y = s_y/s'_y$ 。放大后窗口中的坐标 (x', y') 与相应高斯坐标之间的关系为

$$\left. \begin{aligned} X &= -\frac{k_x}{k'_y} \left(y' - \frac{s_y}{2} \right) + X_M \\ Y &= \frac{k_y}{k'_x} \left(x' - \frac{s_x}{2} \right) + Y_M \end{aligned} \right\} \quad (1-19)$$

$$\left. \begin{aligned} x' &= k'_x k_x (Y - Y_M) + \frac{s_x}{2} \\ y' &= -k'_y k_y (X - X_M) + \frac{s_y}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1-20)$$

3. 测量坐标系到绘图仪坐标系的转换

绘图仪坐标系和数学中的笛卡儿坐标系是相同的。它的坐标原点对不同的绘图仪硬件缺省值不尽相同,有的位于绘图仪的左下角,有的位于绘图仪的中心,但一般都可通过软件将绘图仪的坐标原点设于绘图仪有效绘图区的任意位置。绘图仪的坐标单位为绘图仪脉冲

当量。多数绘图仪的一个脉冲当量等于 0.025 mm, 即 1 mm 相当于 40 个绘图仪坐标单位。下面以绘图仪坐标系原点位于图板中央为例说明测量坐标到绘图仪坐标的换算。

如图 1-7 所示, XOY 为测量坐标系, xoy 为绘图仪坐标系, $A(X_1, Y_1)$, $B(X_2, Y_2)$, $C(X_3, Y_3)$ 和 $D(X_4, Y_4)$ 是 4 个图廓点的测量坐标, 则图幅中心的测量坐标为

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 X_i \\ Y_0 &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 Y_i \end{aligned} \right\} \quad (1-21)$$

则图幅中任一点 P 的测量坐标与相应的绘图仪坐标存在如下关系, 即

$$\left. \begin{aligned} x &= 40\,000(Y - Y_0) \cdot \frac{1}{M} \\ y &= 40\,000(X - X_0) \cdot \frac{1}{M} \end{aligned} \right\} \quad (1-22)$$

式中, x, y 为 P 点的绘图仪坐标; X, Y 为 P 点的测量坐标; M 为测图的比例尺分母。

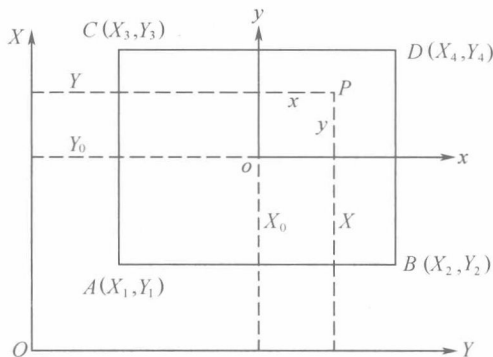


图 1-7 测量坐标系与绘图仪坐标系的关系

1.2 地形图的分幅与编号

进行大面积的地形图测绘, 需要将整个测区分成若干幅图, 进行统一作业。为了便于测绘、使用和管理, 需要将地形图按一定的规则进行分幅和编号。地形图的分幅与编号有两种类型, 一种是按经纬线划分的梯形分幅与编号, 另一种是按坐标格网划分的正方形(或矩形)分幅与编号。

1.2.1 梯形分幅与编号

地形图的梯形分幅又称为国际分幅, 以国际统一规定的经线为图的东西边界、纬线为图的南北边界。由于各条经线(子午线)向南北极收敛, 因此整个图幅呈梯形, 其分幅与编号的方法随比例尺不同而不同。1992 年《国家基本比例尺地形图分幅和编号》颁布后, 出现了新、旧两种分幅与编号方法并存的情况, 下面将两种方法分别介绍如下。

1. 旧的梯形分幅与编号方法

(1) 1:100 万地形图的分幅与编号

1:100 万地形图的分幅与编号是由国际统一规定的, 是梯形分幅的基础。其分幅方法是: 将整个地球表面用子午线分成 60 个 6° 的纵列, 从经度 180° 起, 自西向东, 每隔 6° 作为一个纵列, 全球共分成 60 个纵列, 依次编号为 1, 2, \dots , 60; 同时, 从赤道起分别向南北两方, 纬度从 $0^\circ \sim 88^\circ$ 止, 每隔 4° 作为一个横行, 南北两半球各分成 22 个横行, 依次编号为 A, B, \dots , V。以两极为中心, 以纬度 88° 为界的圆, 则用 Z 标明。一幅 1:100 万的地形图是由经差 6° 的经线和纬差 4° 纬线所围成的梯形, 它的编号是用横行的字母和纵列的号数组成。例如,

在我国甲地的经度为东经 $122^{\circ}28'25''$ ，纬度为北纬 $39^{\circ}54'30''$ ，它所在的 1:100 万的地形图的图幅编号为 J-51，如图 1-8 所示。北半球和南半球的图幅，需分别在编号前加 N 或 S 予以区别。因我国领域全部位于北半球，故将 N 省去。

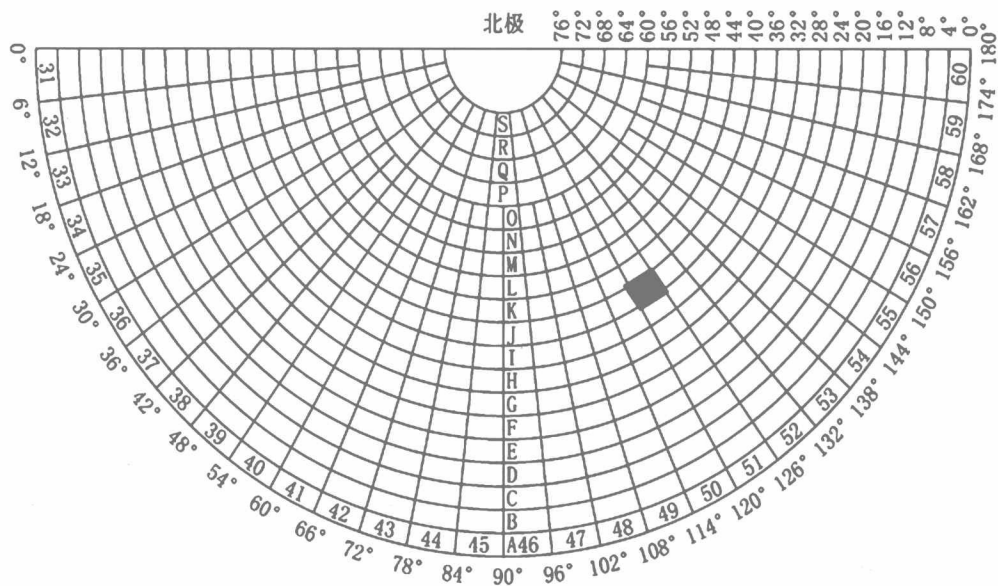


图 1-8 1:100 万地形图的分幅与编号

(2) 1:10 万地形图的分幅与编号

将一幅 1:100 万地形图按经差 $30'$ 、纬差 $20'$ 分成 144 幅 1:10 万地形图，其编号是从左到右、从上到下，依次以序号 1, 2, ..., 144 表示。例如，上述甲地所在的 1:10 万地形图的编号为 J-51-5，如图 1-9 所示。

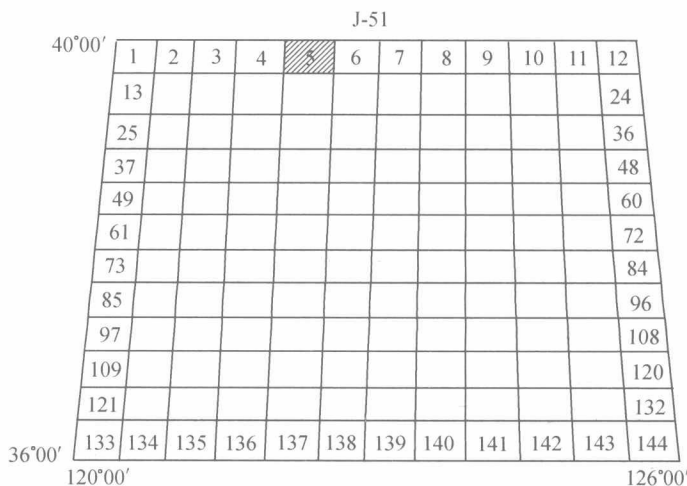


图 1-9 1:10 万地形图的分幅与编号

(3) 1:5万和1:2.5万地形图的分幅与编号

将一幅1:10万地形图,按经差 $15'$ 、纬差 $10'$ 分成4幅1:5万地形图,其编号是从左到右、从上到下,依次以序号A,B,C,D表示。例如,上述甲地所在的1:5万地形图的编号为J-51-5-B,如图1-10所示。

将一幅1:5万地形图,按经差 $7'30''$ 、纬差 $5'$ 分成4幅1:2.5万地形图,其编号是从左到右、从上到下,依次以序号1,2,3,4表示。例如,上述甲地所在的1:2.5万地形图的编号为J-51-5-B-4,如图1-10所示。

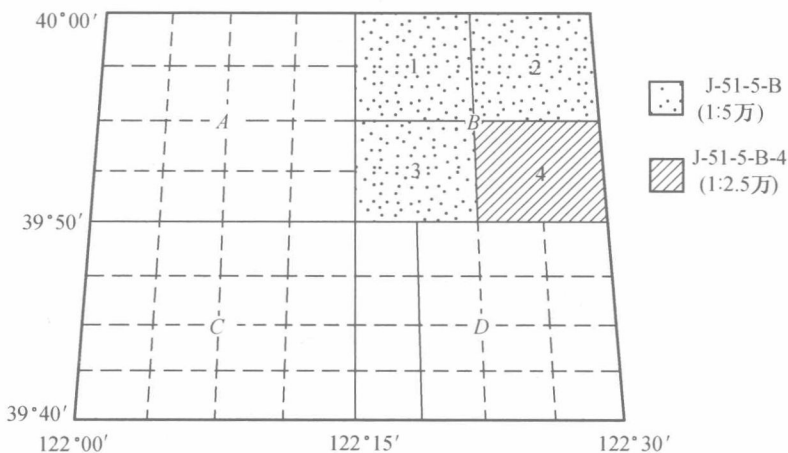


图 1-10 1:5万、1:2.5万地形图的分幅与编号

(4) 1:1万和1:5000地形图的分幅与编号

将一幅1:10万地形图,按经差 $3'45''$ 、纬差 $2'30''$,分成64幅1:1万地形图,其编号是从左到右、从上到下,依次以序号(1),(2),…,(64)表示。例如,上述甲地所在的1:1万地形图的编号为J-51-5-(24),如图1-11所示。

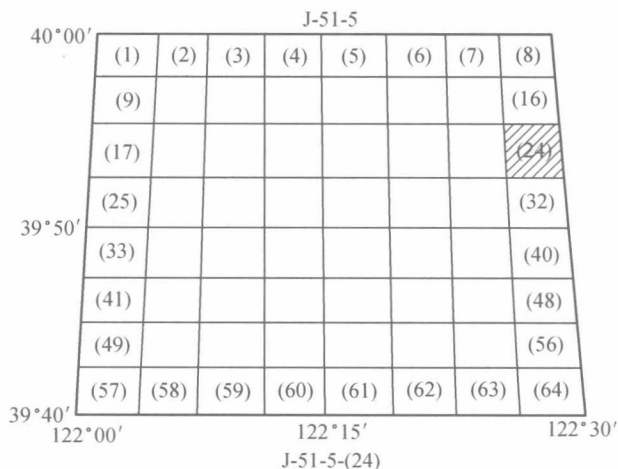


图 1-11 1:1万地形图的分幅与编号