

Principles and Methods of Digital Mapping

数字测图原理与方法

主 编 毛亚纯
副主编 高铁军 何 群



东北大学出版社
Northeastern University Press

数字测图原理与方法

主 编 毛亚纯
副主编 高铁军 何 群

东北大学出版社

© 毛亚纯 2014

图书在版编目 (CIP) 数据

数字测图原理与方法 / 毛亚纯主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2014. 11
ISBN 978 - 7 - 5517 - 0828 - 9

I. ①数… II. ①毛… III. ①数字化测图 IV. ①P231.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 262594 号

出版者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024 - 83687331(市场部) 83680267(社务部)

传真: 024 - 83680180(市场部) 83680265(社务部)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www. neupress. com

印刷者: 沈阳航空发动机研究所印刷厂

发行者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 15

字 数: 377 千字

出版时间: 2014 年 11 月第 1 版

印刷时间: 2014 年 11 月第 1 次印刷

组稿编辑: 霍 楠

责任编辑: 李 佳 霍 楠

封面设计: 刘江旻

责任校对: 潘佳宁

责任出版: 唐敏志

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0828 - 9

定 价: 39.00 元

编委会成员

主 编 毛亚纯

参编人员 高铁军 何 群 徐忠印 贺黎明

刘翠芝 田永纯 修春华

写作分工：

毛亚纯 第1章、第2章(2.2、2.3)、第3章(3.1、
3.2、3.3、3.4、3.6)、第4章(4.1、4.2、
4.3、4.5)、第7章

高铁军 第12章、第13章、第14章

何 群 第2章(2.1)、第5章、第6章

徐忠印 第8章

贺黎明 第10章

刘翠芝 第11章

田永纯 第9章

修春华 第3章(3.5) 第3章(4.4)

目 录

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	4
2.1 地球的形状、大小和地面点位的确定	4
2.2 用水平面代替水准面的限度	11
2.3 测图的基本原理与测量工作概述	12
第 3 章 水准仪及水准测量	14
3.1 水准测量	14
3.2 水准仪及相关工具	15
3.3 水准仪的使用	17
3.4 水准测量的施测	18
3.5 水准仪的检验与校正	24
3.6 水准测量的主要误差来源及减弱措施	26
第 4 章 经纬仪结构、水平角测量及三角高程测量	28
4.1 经纬仪的种类及 DJ6 经纬仪的结构	28
4.2 水平角测量的基本原理及方法	29
4.3 三角高程测量	32
4.4 经纬仪的检验与校正	35
4.5 水平角观测的误差来源及其减弱措施	37
第 5 章 距离测量与直线定向	40
5.1 视距测量	40
5.2 电磁波测距	42
5.3 直线定向与坐标增量的计算	50

第6章 坐标测量	53
6.1 坐标测量概述	53
6.2 全站仪的测量原理	54
6.3 全站仪的操作方法	60
第7章 测量误差理论的基础知识	67
7.1 测量误差概述	67
7.2 偶然误差的特性	68
7.3 衡量精度的指标	70
7.4 同精度观测的算术平均值、改正数及其中误差	71
7.5 误差传播定律	73
7.6 广义算术平均值及权	77
7.7 单位权中误差	81
第8章 小地区控制测量	83
8.1 概 述	83
8.2 图根导线测量	85
8.3 导线测量错误的检查	93
8.4 图根三角测量	94
8.5 交会法测量	103
8.6 高程控制测量	107
第9章 地形图的基本知识	115
9.1 地形图的比例尺	115
9.2 地形图的分幅及其编号、图名与图廓	116
9.3 地物符号	121
9.4 地貌符号——等高线	121
第10章 大比例尺地形图测绘	125
10.1 大比例尺测图技术设计	125
10.2 人员的组织与分组	128
10.3 测区的划分原则与方法	128
10.4 野外数据采集方法	128
10.5 野外测图及内业成图方法	132
10.6 大比例尺数字测图质量控制	143
第11章 地形图的应用	145
11.1 地形图的识读	145

11.2	地形图应用的基本内容	146
11.3	地形图上面积的量算	147
11.4	地形图在工程规划设计中的应用	151
第 12 章	计算机地图绘图基础	161
12.1	坐标系统	161
12.2	规则图形的几何纠正	164
12.3	地图符号的自动绘制	165
12.4	曲线光滑	172
12.5	地图裁剪算法	176
第 13 章	数字地图中 DEM 应用	189
13.1	基本概念	189
13.2	DEM 建立	192
13.3	DEM 应用与数字地形分析	198
第 14 章	地下管线探测	213
14.1	地下管线探测简介	213
14.2	地下管线物理探查	218
14.3	地下管线测量	220
14.4	地下管线测量成果	226

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的几何形状,如房屋、道路、河流、桥梁等地貌的形态为研究对象,如高山、丘陵、盆地、平原等,研究如何将地面上的各种地物、地貌测绘成图,同时将设计、规划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的数据及图纸,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,即地面点的平面坐标 x, y 及高程 H ,并将地球表面局部地区的地物、地貌及有关信息按照一定比例尺测绘成图的一门学科,同时也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。

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,如工业厂房建设、铁路建设、隧道及地下工程建设、水利工程建设和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,并保证工程按照设计图纸进行准确施工。

摄影测量是研究摄影影像与被摄物体之间的内在的几何和物理关系,并对影像进行分析与解译,确定被摄物的几何形状与位置,并判定其性质的一门科学。

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、海洋测绘学等诸多学科。

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、设计和施工的前导性工作。如在公路、铁路的建设过程中,要选择最经济、最合理的路线,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照要求落于实地,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。

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,如在马王堆汉墓出土的西汉初期的《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。

测绘学的发展和测量仪器的发展息息相关,公元前3世纪,中国已经用指南仪——司南——来确定方向,公元400年,中国发明了记里鼓车,用以测量距离。1276年,元朝的郭守敬创制了多种天文仪器,用于测量天体的高度和方位。15世纪,由于航海、地理开发、军事和经济建设的需要,研究地球形状的科学得到了发展,同时对测量仪器提出了更高的精度要求。1608年,荷兰人汉斯发明了望远镜。1667年,法国首先在全圆分度器上安装了望远镜,用于角度测量。1783年,英国制成了度盘直径90cm,重达91kg的经纬仪。17世纪后期,丹麦天文学家奥拉夫将测微器和显微镜用于读取度盘读数,大大提高了读数精度。1858年,意大利工程师波尔勒发明了内对光望远镜,但未能推广应用,直至1892年,减反射涂层的发明,使内对光望远镜的制造及应用得到较大发展。1920年,威特等人成功地制造了世界上第一台光学经纬仪(Theodolite),定名TH1型,1923年生产出T2型经纬仪。1960年,美国贝尔实验室发明了世界上第一台红宝石激光器。1962年砷化镓半导体激光器研制成功,激光的出现,测距仪随即产生,至此,现代光学测量仪器的基本结构已经确定,为测绘科学发展奠定了坚实的基础。自19世纪末航空摄影测量出现以后,又使测绘增添了新的方法。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、绘图机及测绘成图软件的出现,为测绘科学又带来了一次革命性的变革。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、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+计算机的作业模式都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,使地形测量又增加了新的内涵。

数字测图原理与方法是测绘工程专业的技术基础课,通过该课程的学习,学生应该掌握测量的基本概念、理论与方法。掌握各种测绘设备,如经纬仪、水准仪、GPS及全站仪

的使用方法。掌握大比例尺地形测图的外业控制测量与数据处理、碎部点数据采集及内业成图方法。同时通过生产实习将理论与实践相结合，培养学生分析问题、解决问题及实际动手能力，为建立测绘理念、从事测绘工作奠定良好的基础。

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，有高山、盆地、河流、湖泊和海洋等。可以说地球表面是一个极不规则的曲面，但相对整个地球而言，这些高低起伏变化是微小的。在地球表面，海洋面积约占地球表面的71%，而陆地仅占29%。因此，假设有一个静止的海水面向陆地延伸，封闭地球，从而形成一个封闭的曲面，该曲面称为水准面。人们把由此形成的封闭体看作地球的基本形体。

由于地球的自转运动，地球上任何一质点同时受到地球引力与离心力的作用，两者的合力就是我们所说的重力，重力的方向线称为铅垂线，铅垂线也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向吻合并向大陆、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且不规则的曲面，如果在这个复杂的曲面上进行数据处理非常困难。为了解决这个问题，在测绘工作中常选用一个表面非常接近大地水准面、并且可用数学模型表达的几何形体来代替地球的几何形状，此几何形体通常称为地球椭球体，其表面作为测量计算工作的基准面。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。如图2-2所示为地球表面、大地水准面、参考椭球面的相对关系。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

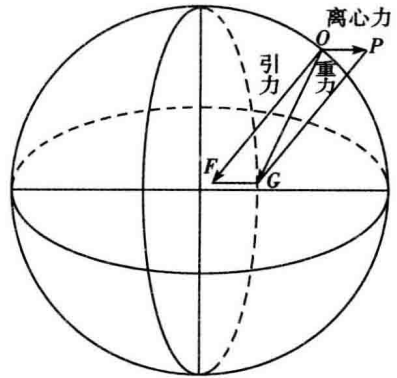


图2-1 引力、离心力和重力

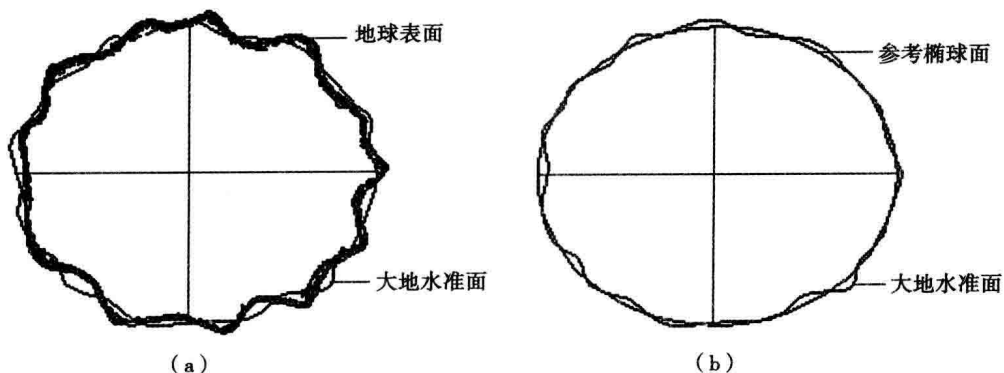


图 2-2 地球表面、大地水准面和参考椭球面

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, 通常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。在小范围测量, 对测量成果要求不高时可以不必要转化。旋转椭球体形状及大小通常由长半轴 a 和扁率 f 来表示, 如图 2-3, 其中扁率 f 为

$$f = \frac{a - b}{a}$$

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, 也在适当的地点选择一地面点 M 作为大地原点, 如图 2-4, 并对该点进行天文测量和高程测量, 将 M 点沿铅垂线方向投影到大地水准面上, 得到投影点 M' , 如果在 M' 点大地水准面与参考椭球面相切, 在 M' 点椭球面法线与大地水准面的铅垂线重合, 如果使椭球短轴与地球自转轴平行, 其赤道面将与地球赤道面平行。这样 M 点大地经度和纬度与该点的天文经度与纬度相同, M 点至另一点的大地方位角和天文方位角相同, M 点到椭球面的高度也等于其到大地水准面的高度。这样的定位方法称为单点定位法。

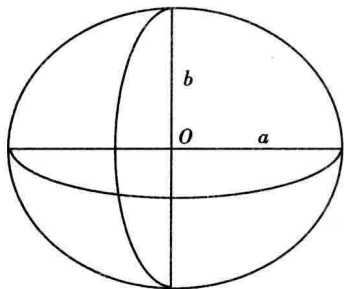


图 2-3 旋转椭球体的形状

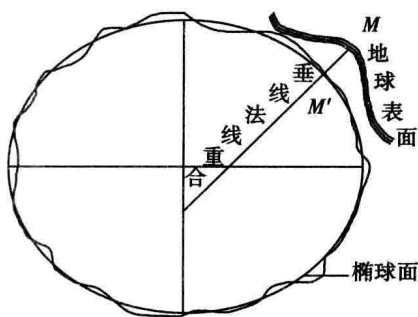


图 2-4 参考椭球体定位

在领土较大的国家, 在大地控制网发展到一定阶段, 并取得了相当数量的天文大地和重力测量数据, 即可利用天文大地网中的多个天文点观测成果和已有的椭球参数进行椭球定位, 这种定位方法称为多点定位。多点定位可使天文大地网范围内的椭球面与大地水准面达到最佳密合, 但在大地原点处的椭球法线方向和铅垂线方向不再重合, 椭球面与大地水准面也不再相切。这种确定参考椭球面与大地水准面的相对位置关系, 在一个国家和地域范围内使参考椭球面与大地水准面达到最佳密合的方法, 称为参考椭球体的定位。

新中国成立以后,我国采用过1954年北京坐标系、1980年国家大地坐标系和2000国家大地坐标系。1954年北京坐标系采用了克拉索夫斯基椭球体参数,是前苏联1942年坐标系的延伸,其大地原点位于前苏联的普尔科沃。后期我国依据天文大地网平差结果,建立了新的大地基准,建立了1980国家大地坐标系,椭球参数采用1975年国际大地测量与地球物理联合会(IUGG)推荐的地球椭球参数,综合利用天文、大地与重力测量成果;以地球椭球体面在中国境内与大地水准面能达到最佳吻合为条件,利用多点定位方法而建立的国家大地坐标系统。其原点位于山西省泾阳县永乐镇,简称西安原点。

随着社会的进步,国民经济建设、国防建设和科学研究等对国家大地坐标系提出了新的要求,迫切需要采用原点位于地球质量中心的坐标系统(简称地心坐标系)作为国家大地坐标系。采用地心坐标系,有利于采用现代空间技术对坐标系进行维护和快速更新,测定高精度大地控制点三维坐标,并提高测图的工作效率。

2008年3月,由国土资源部正式上报国务院《关于中国采用2000国家大地坐标系的请示》,并于2008年4月获得国务院批准。自2008年7月1日起,中国全面启用了2000国家大地坐标系,国家测绘局授权组织实施。

2000国家大地坐标系的有关参数如下。

长半轴: $a = 6378137\text{m}$;

扁率: $f = 1/298.257222101$;

地心引力常数: $GM = 3.986004418 \times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2$;

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

几个世纪以来,人们测算出了不同的参考椭球的参数值,如表2-1。

表2-1 地球椭球几何参数

椭球名称	年代	长半轴 a/m	扁率 f	附注
德兰布尔	1800	6375653	1:334.0	法国
白塞尔	1841	6377379.155	1:299.1528128	德国
克拉克	1880	6378249	1:293.459	英国
海福特	1909	6378388	1:297.0	美国
克拉索夫斯基	1940	6378245	1:298.3	前苏联
1975大地测量参考系统	1975	6378140	1:298.257	IUGG第16届大会推荐值
1980大地测量参考系统	1979	6378137	1:298.257	IUGG第17届大会推荐值
WGS-84系统	1984	6378137	1:298.257223563	美国国防部制图局(DMA)

注: IUGG——国际大地测量与地球物理联合会(International Union of Geodesy and Geophysics)。

因地球扁率很小,当测区不大时,可以把地球看作圆球,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之一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平面坐标和高程来表示。

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 2-5 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，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首子午面。

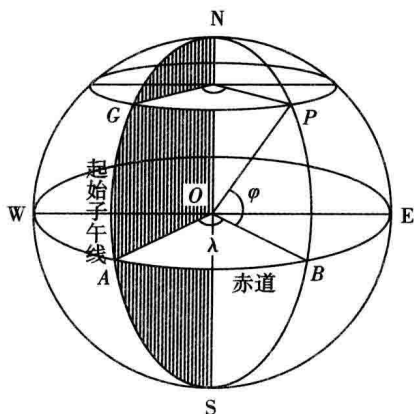


图 2-5 天文地理坐标

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。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来 (L, B) 表示其位置的坐标系叫大地坐标系。如图 2-6 所示，地表任意一点沿椭球面法线方向投影，其投影点所在的大地子午面与首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，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。

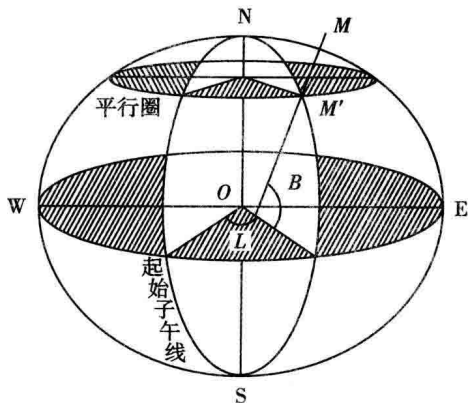


图 2-6 大地地理坐标

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 0° 到 180° ，称为东经。在原格林尼治以西的点从起始子午面向西计， 0° 到 180° 称为西经。不论大地纬度 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 0° 到 90° ，称为北纬。在赤道以南的点的纬度由赤道面向南计 0° 到 90° ，称为南纬。

2.1.2.2 独立平面直角坐标系

在小区域进行测量时，可以用通过测区中心 a 的切平面来代替曲面，如图 2-7 所示。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 2-8 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

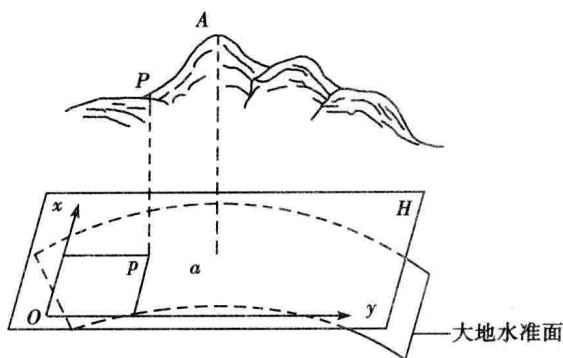


图 2-7 水平面代替水准面

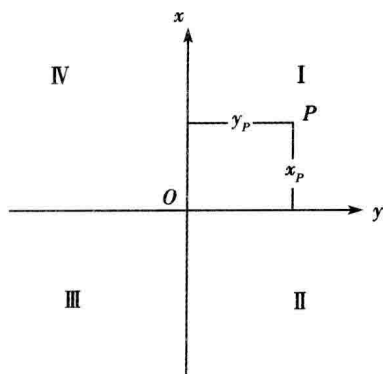


图 2-8 测绘工作中所采用的平面直角坐标系

向为横轴，并记为 y 轴， y 轴向东为正，向西为负。与数学上所使用的直角坐标系相比其不同之处在于：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。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，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，不能把地球表面看作平面，但在球面上进行计算又不方便。为了解决这一问题，高斯提出了将球面转换为平面的投影方法，即高斯投影。高斯-克吕格投影分带方法：按照一定经差将地球椭球面划分成若干投影带，这是高斯投影中限制长度变形的最有效的方法。分带时既要控制长度变形使其不大于测图误差，又要使带数不致过多以减少换带计算工作，据此原则将地球椭球面沿子午线划分成经差相等的方法进行分带，其分带方法为：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。带号从起始子午面线开始，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 2-9 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。 3° 带投

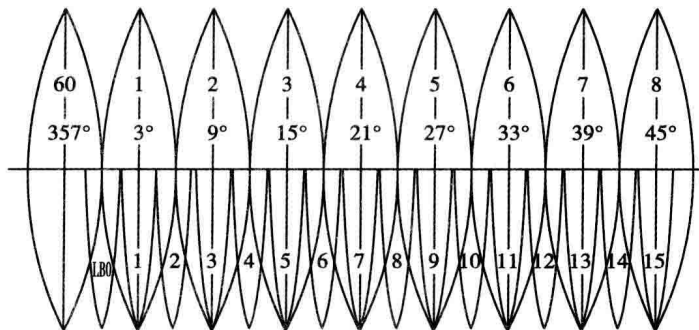


图 2-9 高斯投影分带

影方法为：自东经 $1^{\circ}30'$ 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。每带中央子午线的经度可按式计算

$$\lambda_3 = 3n$$

式中 n 为 3° 带的带号。

高斯投影的方法：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2-10所示。利用正形投影的方法（保角映射）将该带投影到椭球柱面上，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2-11所示。高斯投影具有以下特点：①投影后中央子午线的投影为一直线，且投影之后的长度无变形，其余子午线的投影均为凹向中央子午线的曲线，且以中央子午线为对称轴，离对称轴越远，其长度变形也就越大。②赤道的投影为直线，其余纬线的投影为凸向赤道的曲线，并以赤道为对称轴。③经纬线投影后仍保持相互正交的关系，即投影后无角度变形。④中央子午线和赤道的投影相互垂直。投影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。

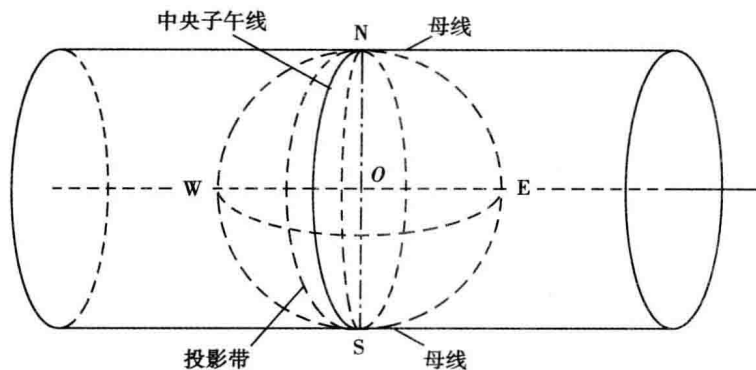


图2-10 高斯投影

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2-11(a)中 $y_a = +167821\text{m}$ ， $y_b = -210348\text{m}$ 。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上到边界最远不超过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2-11(b)所示，坐标纵轴 x 西移后， $y_a = 500000 + 167821 = 667821\text{m}$ ， $y_b = 500000 - 210348 = 289652\text{m}$ 。为了使坐标具有唯一性，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22667821m。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都为通用值，有时为了使用上的方便要换算成自然值。

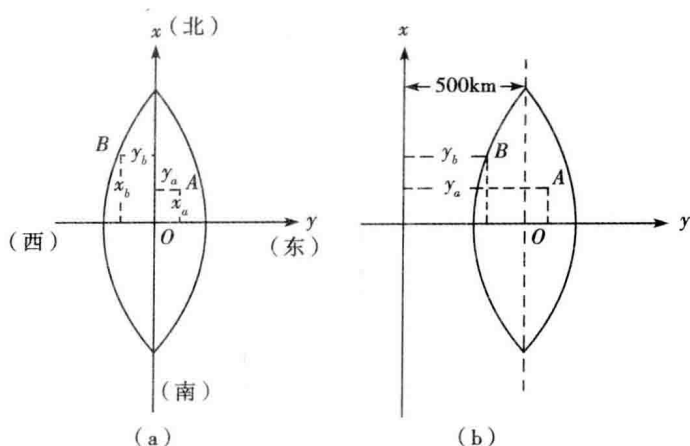


图 2-11 高斯-克吕格平面直角坐标系

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 2-12 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。

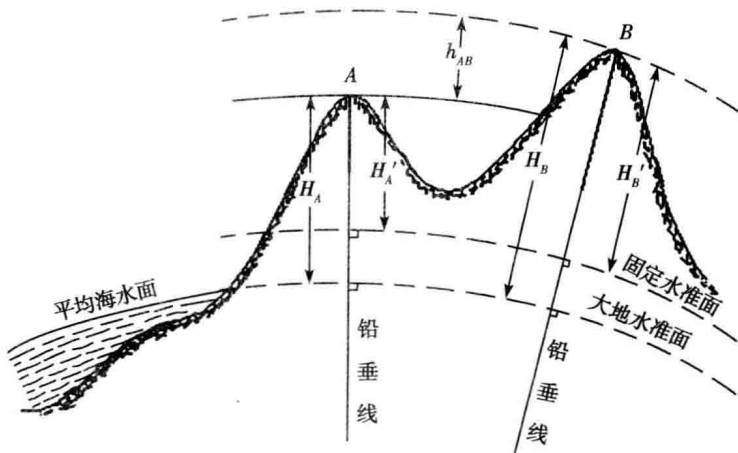


图 2-12 地面点高程

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 2-12 中 A、B 两点的假定高程分别为 H'_A 和 H'_B 。