

测量学

CE LIANG XUE

卢西魁 张保东 主编

哈尔滨地图出版社

测 量 学

CEL IANGXUE

主 编 卢西魁 张保东
副主编 豆秀梅 杨丽坤 李海军

哈尔滨地图出版社
· 哈尔滨 ·

内 容 简 介

随着测绘技术的发展,为适应当前职业教育的需要,本书根据现行的测量规范、规程和相关要求,系统地介绍了测量学的基本理论知识,重点介绍了地质与矿产、工程与交通中相关的测量知识以及常规测量仪器和新仪器的使用方法。阐述了水准测量、三角高程测量、角度测量、距离测量的原理和方法及图根测量的方法及解算,对传统的大比例测图进行了系统介绍,对全站仪数字化测图进行了简要介绍,阐述了地形图在工程中的具体应用、手持 GPS 在地质工作中的应用。介绍了地质勘探工程测量和地下坑道测量的基础知识,本书适用于专科、中专及成人教育等各个层次的学生使用,可作为测量学、建筑工程测量、土木工程测量、工程测量等课程的基本教材,也可供测绘和工程测量的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

测量学 / 卢西魁, 张保东主编. — 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2006. 1

ISBN 7-80717-240-1

I. 测... II. ①卢... ②张... III. 测量学—高等学校—教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 001763 号

哈尔滨地图出版社出版、发行

(地址: 哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮政编码: 150086)

河南彩虹光印刷有限公司印刷

开本: 787 mm×1092mm 1/16 印张: 15.75 字数: 400 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1~3000 定价: 26.80 元

前 言

我们针对职业教育的特点,在总结多年从事测绘工作和地矿类测绘教学实践和经验的基础上编写了此书。在此书的编写过程中,充分考虑学生的学习特点,力求全书内容简明扼要、通俗易懂,详细介绍各种测量作业的程序、方法及注意事项,省略了公式推导的繁杂过程,注重学生实际能力的培养。

全书共 13 章,由卢西魁、张保东任主编,豆秀梅、杨丽坤、李海军任副主编,豆秀梅还担任了本书的主审工作。全书编写分工如下:豆秀梅编写第 1、3、12 章,李海军编写第 2、6 章,杨丽坤编写了第 4、13 章,卢西魁编写第 5、10、11 章,张保东编写了第 7、8、9 章。

本书在编写过程中,参考了相关院校的教材,并得到了郑州工业贸易学校领导和老师们的大力支持和帮助,赵玉老师在校对过程中做了不少工作,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中定有一些缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者
2005 年 12 月

目 录

第1章 绪论.....	1
1.1 测量学概述.....	1
1.1.1 测量学的概念.....	1
1.1.2 测量学的分类.....	1
1.1.3 测量学的任务.....	1
1.2 地面点位的确定.....	2
1.2.1 地球的形状和大小.....	2
1.2.2 确定地面点位的方法.....	3
1.3 用水平面代替水准面的限度.....	6
1.3.1 对水平距离的影响.....	6
1.3.2 对高程的影响.....	7
1.3.3 对水平角的影响.....	7
1.4 测量工作概述.....	8
1.4.1 测量工作的基本内容.....	8
1.4.2 测量工作的原则.....	8
【习 题】.....	8
第2章 高程测量.....	10
2.1 水准测量原理.....	10
2.2 水准测量的仪器和工具.....	10
2.2.1 DS3 水准仪简介.....	11
2.2.2 水准尺、尺垫和三角架.....	13
2.3 水准仪的使用.....	13
2.4 水准测量的实测方法.....	14
2.4.1 水准点.....	14
2.4.2 水准测量的方法.....	15
2.4.3 水准路线及成果检核.....	17
2.4.4 水准测量的成果计算.....	18
2.5 三、四等水准测量.....	20
2.5.1 双面尺法.....	20
2.5.2 变动仪器高法.....	21
2.6 水准仪的检验与校正.....	22
2.6.1 水准仪应满足的几何条件.....	22
2.6.2 水准仪的检校.....	23
2.7 水准测量误差与注意事项.....	26
2.7.1 仪器误差.....	26
2.7.2 观测误差.....	26
2.7.3 外界条件的影响.....	26
2.7.4 水准测量注意事项.....	27
2.8 三角高程测量.....	28
2.8.1 三角高程测量的计算公式.....	28
2.8.2 三角高程测量的观测与计算.....	30

2.9 精密水准仪简介	32
2.10 自动安平水准仪和激光扫平仪	34
2.10.1 自动安平水准仪的基本原理	34
2.10.2 自动安平补偿器	34
2.10.3 激光扫平仪	34
2.11 数字水准仪和条码水准尺	36
2.11.1 概述	36
2.11.2 数字水准仪的原理	36
2.11.3 条码水准尺	36
2.11.4 徕卡 DNA03 中文精密数字水准仪简介	37
【习 题】	37
第3章 角度测量.....	39
3.1 角度测量概述	39
3.1.1 水平角测量原理	39
3.1.2 竖直角测量原理	39
3.2 DJ6 光学经纬仪简介	40
3.3 经纬仪的使用	43
3.4 水平角测量	44
3.5 竖直角测量	47
3.5.1 竖盘构造	47
3.5.2 竖直角观测和计算	48
3.5.3 竖盘指标差	48
3.6.1 经纬仪应满足的几何条件	49
3.6.2 经纬仪的检校	50
3.7 水平角测量误差与注意事项	53
3.7.1 仪器误差	53
3.7.2 观测误差	54
3.7.3 外界条件的影响	55
3.7.4 角度测量的注意事项	56
3.8 激光经纬仪简介	56
3.9 电子经纬仪简介	57
3.9.1 电子经纬仪的测角原理	57
3.9.2 ET-02 电子经纬仪的使用	58
【习 题】	59
第4章 距离测量.....	61
4.1 距离测量概述	61
4.1.1 钢尺量距	61
4.1.2 钢尺量距的精密方法	64
4.1.3 钢尺量距误差	68
4.1.4 钢尺的维护	68
4.2 普通视距测量	68
4.2.1 视距测量原理	69
4.2.2 视线水平时视距测量公式	69
4.2.3 视线倾斜时视距测量公式	71
4.2.4 视距常数测定	71

4.2.5 视距测量的观测与计算	72
4.2.6 视距测量误差及注意事项	72
4.3 电磁波测距	72
4.3.1 电磁波测距技术发展简介	72
4.3.2 电磁波测距仪测距原理	73
4.3.3 测距成果计算	76
4.3.4 光电测距仪的使用	77
4.3.5 光电测距精度分析及注意事项	78
【习 题】	79
第5章 测量误差的基本知识	80
5.1 观测误差	80
5.1.1 误差产生的原因	80
5.1.2 测量误差的分类	80
5.1.3 偶然误差的特性	81
5.2 衡量精度的标准	82
5.2.1 中误差	82
5.2.2 相对误差	83
5.2.3 容许误差	83
5.3 误差传播定律	84
5.3.1 倍数函数	84
5.3.2 和差函数	84
5.3.3 一般线性函数	85
5.3.4 一般函数	85
5.3.5 应用举例	86
5.4 算术平均值及其中误差	87
5.4.1 算术平均值	87
5.4.2 算术平均值的中误差	88
5.5 用观测值的改正数计算中误差	88
【习 题】	89
第6章 小地区控制测量	90
6.1 控制测量概述	90
6.2 直线定向	91
6.2.1 直线定向的概念	91
6.2.2 方位角与象限角	92
6.2.3 用罗盘仪测定磁方位角	94
6.3 导线测量的外业	95
6.3.1 导线的布设形式	95
6.3.2 导线测量的等级与技术要求	96
6.3.3 导线测量外业工作	97
6.4 导线测量的内业计算	98
6.4.1 坐标计算的基本公式	99
6.4.2 闭合导线坐标计算	99
6.4.3 附和导线坐标计算	101
6.4.4 支导线坐标计算	105
6.4.5 导线测量错误的查找方法	105

6.5 交会定点	106
6.5.1 前方交会	106
6.5.2 计算实例 (表 6-8)	107
6.5.3 距离交会	108
6.5.4 计算实例 (表 6-9)	109
【习 题】	109
第 7 章 地形图的基本知识	110
7.1 地形图概述	110
7.1.1 比例尺的表示方法和种类	110
7.1.2 比例尺的精度	112
7.2 地形图的分幅与编号	112
7.2.1 梯形分幅与编号	112
7.2.2 国家基本比例尺地形图新的分幅与编号	114
7.2.3 矩形分幅和编号	115
7.3 地形图图外注记	116
7.3.1 图名和图号	116
7.3.2 接图表	117
7.3.3 图廓和坐标格网线	117
7.3.4 三北方向线及坡度尺	118
7.3.5 投影方式、坐标系统、高程系统	119
7.3.6 成图方法和测绘单位	119
7.4 地形图图式	119
7.4.1 地物符号	119
7.4.2 地貌符号	122
7.5 地籍图的基本知识	125
7.5.1 地籍图比例尺及其分幅	127
7.5.2 地籍要素	127
7.5.3 地理要素	130
【习 题】	130
第 8 章 大比例尺地形图测绘	131
8.1 测图前的准备工作	131
8.2 碎部点平面位置的测绘方法	132
8.2.1 极坐标法	132
8.2.2 方向交会法	133
8.2.3 距离交会法	133
8.2.4 直角坐标法	133
8.3 经纬仪测绘法	134
8.3.1 碎部点的选择	134
8.3.2 测站的测绘工作	134
8.4 平板仪测图	136
8.4.1 平板仪测图原理	136
8.4.2 平板仪的构造	137
8.4.3 平板仪的安置	138
8.4.4 经纬仪配合平板仪测图法	139
8.4.5 测站点的增设	140

8.5 地形图的绘制	140
8.5.1 地物描绘	140
8.5.2 地貌勾绘	141
8.5.3 地形图的拼接	142
8.5.4 地形图的检查	142
8.5.5 地形图的整饰	143
8.5.6 验收	143
8.6 全站仪简介	143
8.6.1 全站仪概述	143
8.6.2 全站仪的结构	143
8.6.3 NTS-355 型全站仪及基本操作	144
8.7 内外业一体化数字测图	150
8.7.1 数字测图概述	150
8.7.2 数字化测图	150
【习 题】	156
第9章 地形图应用	157
9.1 地形图概述	157
9.2 地形图识读	157
9.2.1 地形图注记的识读	157
9.2.2 地物和地貌的识读	157
9.3 地形图应用的基本内容	160
9.3.1 确定图上某点的平面坐标和高程	160
9.3.2 确定图上直线的长度、坐标方位角和坡度	161
9.3.3 图形面积的量算	161
9.3.4 按设计线路绘制纵断面图	165
9.3.5 在图上设计等坡度线	166
9.3.6 确定汇水面积	166
9.3.7 平整场地中的土石方估算	166
9.3.8 建筑设计中的地形图应用	169
9.3.9 给排水工程中的地形图应用	170
【习 题】	170
第10章 施工测量的基本工作	171
10.1 施工测量概述	171
10.1.1 施工测量的目的和内容	171
10.1.2 施工测量的特点	171
10.1.3 施工测量的原则	172
10.1.4 施工测量的精度	172
10.2 建筑施工控制测量	173
10.2.1 建筑基线	173
10.2.2 建筑方格网	175
10.2.3 施工场地高程控制测量	176
10.3 放样的基本工作	177
10.3.1 放样已知水平距离	177
10.3.2 放样已知水平角	178
10.3.3 放样已知高程	179

10.4 点的平面位置放样	180
10.4.1 直角坐标法	180
10.4.2 极坐标法	180
10.4.3 角度交会法	181
10.4.4 距离交会法	181
10.4.5 全站仪坐标放样法	181
10.5 圆曲线放样	181
10.5.1 圆曲线要素及其计算	181
10.5.2 圆曲线主点的放样	182
10.5.3 圆曲线详细放样	183
【习 题】	185
第 11 章 地质勘探工程测量	186
11.1 地质勘探工程测量	186
11.1.1 概述	186
11.1.2 联系原点坐标和勘探基线方位的确定	187
11.2 钻探工程测量	188
11.2.1 初测	188
11.2.2 复测	188
11.2.3 定测	189
11.3 地质剖面测量	189
11.3.1 剖面定线	190
11.3.2 剖面测量方法	190
11.3.3 剖面图的绘制	191
11.4 地质点测量	194
【习 题】	195
第 12 章 地下坑道测量	196
12.1 概述	196
12.1.1 勘探坑道工程的类型	196
12.1.2 坑道测量的内容和特点	196
12.2 井下测量	197
12.2.1 竖井平面联系测量	197
12.2.2 竖井高程联系测量	199
12.2.3 井下经纬仪导线测量	199
12.2.4 井下高程测量	201
12.3 坑道施工测量	201
12.3.1 井下坑道中线的标定	201
12.3.2 井下坑道腰线的标定	202
12.3.3 贯通测量	203
【习 题】	204
第 13 章 GPS 定位测量	206
13.1 GPS 系统	206
13.1.1 GPS 发展历程	206
13.1.2 GPS 系统的组成	206
13.1.3 GPS 系统的特点	207

13.1.4 GPS 定位原理.....	208
13.1.5 GPS 的广泛应用.....	208
13.2 手持 GPS—GARMIN 传奇 (ETREX LEGEND) 的功能简介	209
13.2.1 常见名词及其含义.....	209
13.2.2 GARMIN 传奇 (eTrex Legend) 的特点	209
13.2.3 GARMIN 传奇 (eTrex Legend) 简介	209
13.3 GARMIN 传奇 (ETREX LEGEND) 详细使用方法.....	216
13.3.1 卫星页面	216
13.3.2 地图页面	218
13.3.3 导航页面	223
13.3.4 旅行计算机页面	225
13.3.5 主菜单页面	226
【习 题】	246
参考文献.....	247

第1章 绪论

【本章提要】本章主要介绍测量学的研究内容和测量学的基础知识。简要概述地球的形状、大小及研究方法。重点讲述测量中常用的坐标系统及地球表面点位置的确定方法及测量原则，分析用水平面代替水准面的限度。

1.1 测量学概述

1.1.1 测量学的概念

测量学（亦称测绘学）是研究地球的形状、大小和地表（包括地面上各种物体）的几何形状及其空间位置的学科。它的内容包括测定和测设两部分。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算得到一系列测量数据，或把地球表面的地物和地貌缩绘成地形图，供规划设计、经济建设、国防建设和科学研究使用。测设（放样）是指将图上规划设计好的建（构）筑物的位置在地面上标定出来，作为施工的依据。

1.1.2 测量学的分类

测量学按照研究对象及采用技术的不同，又分为如下几类：

大地测量学——研究地球的形状和大小，解决大范围地区的控制测量和地球重力场问题。近年来随着空间技术的发展，大地测量正在向空间大地测量和卫星大地测量方向发展。

摄影测量学——研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息，以确定物体的形状、大小和空间位置的理论和方法。由于获取相片的方式不同，摄影测量又分为航空摄影测量、水下摄影测量、地面摄影测量和航天遥感等。

海洋测量学——以海洋和陆地水域为研究对象，研究港口、码头、航道及水下地形测量的理论和方法。

工程测量学——研究各种工程在规划设计、施工放样、竣工验收和运营中测量的理论和方法。

地图制图学——研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的一门学科。研究内容主要包括地图编制、地图投影学、地图整饰、印刷等。现代地图制图学向着制图自动化、电子地图制作及地理信息系统方向发展。

1.1.3 测量学的任务

测量学的主要任务有如下方面。

（1）研究测绘大比例尺地形图的理论和方法

大比例尺地形图是工程勘察、规划、设计的依据。本课程是研究确定地面局部区域建筑物、构筑物、天然地物和地貌的空间三维坐标的原理和方法，研究局部地区地图投影理论，以及将测绘资料按比例尺绘制成地形图或电子地图的原理和方法。

（2）研究在地形图上进行规划、设计的基本原理和方法

本课程主要介绍在地形图上进行土地平整、土方计算、道路选线、房屋设计和区域规划的基本原理和方法。

（3）研究建筑物、道路和桥梁的施工放样及施工质量检验的技术和方法

施工放样测量是工程施工的依据。测量学研究将规划设计在图纸上的建（构）筑物准确地放样和标定在地面上的技术和方法；研究施工过程中的监测技术，以保证施工的质量和安

（4）研究建筑物变形观测的技术和方法

对于一些重要建（构）筑物，在施工和运营期间，定期进行变形观测，以了解建（构）筑物的变形规律，监视其安全施工和运营。主要讲解位移和变形监测的技术和方法。

测量学是土木建筑、地质矿产类专业技术、管理人员必修的一门专业技术基础课。测量工作贯穿于工程建设的整个过程之中。离开了测绘资料，就难以进行科学合理的规划、设计；离开了施工测量，就不能安全、优质地施工；离开了位移和变形观测，就不能有效地研究规划设计和施工的技术质量，也不能及时采取有效的安全措施。因此，从事土木建筑、地质矿产类专业的技术人员和相关的管理人员，必须掌握测量学的基本知识和技能。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面，但地球表面是不规则的。它上面有高山、平原、江河和湖泊，有位于我国西藏与尼泊尔交界处高达 8 844.43 m 的珠穆朗玛峰，有位于太平洋西部深达 11 022 m 的马里亚纳海沟。尽管有这么大的高低起伏，但这样的高低差距与地球平均半径 6 371 000 m 相比只有 1/6 000，相比之下起伏是微小的，所以仍可以将地球作为球体看待。地球表面大部分是海洋，占地球表面的 71%，陆地仅占 29%，因此，人们设想将静止的海水面向整个陆地延伸，用所形成的封闭曲面代替地球表面，这个曲面称为大地水准面。大地水准面所包含的形体，称为大地体，它代表了地球的自然形状和大小。

由于地球的自转，地球上任一点都受到离心力和地球引力的作用，这两个力的合力称为重力。重力的作用线常称为铅垂线，测量工作取得重力方向的一般方法是用细绳悬挂一个垂球（图 1-1），细绳即为悬挂点 O 的重力方向。铅垂线是测量工作的基准线。

处处与重力方向垂直的连续曲面称为水准面。任何自由静止的水面都是水准面。与水准面相切的平面称为水平面。水准面因其高度不同而有无数个，其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面。为了确定地面点的位置，必须有一个参照基准面。在实际测量工作中，是以大地水准面作为测量的基准面。

由于地球内部物质构造分布不均，地球表面起伏不平，所以大地水准面各处重力线方向是不规则的，地球重力场是不均匀的。因此大地水准面是一个起伏变化的不规则曲面。这样的曲面很难在其上进行测量数据的处理（图 1-2），为了便于正确计算测量成果，准确表示地面点的位置，测量中选用一个大小和形状接近大地体的旋转椭球作为地球形状和大小的参数。这个旋转椭球体称为参考椭球体，它是一个规则的曲面体。可以用数学公式来表示，即：

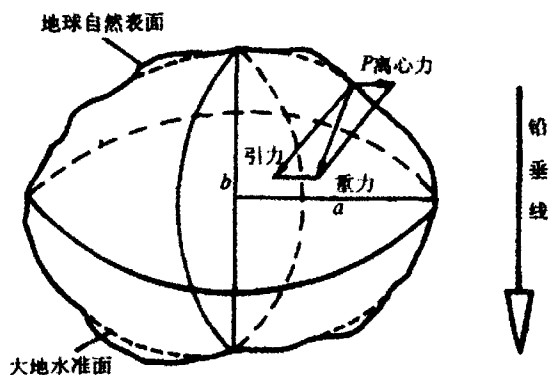


图 1-1 地球重力线

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (1-1)$$

式中 a 、 b 为参考椭球体的几何参数。 a 为长半径， b 为短半径。扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 。我国目前采用的旋转椭球体的参数值为：

$$a=6\,378\,140\text{ m}, \quad b=6\,356\,755\text{ m}, \quad \alpha = (a-b)/a = 1/298.257。$$

由于旋转椭球的扁率很小，所以在测量精度要求不高的情况下，可以近似地把地球当做圆球，其平均半径 R 为 6 371 km。

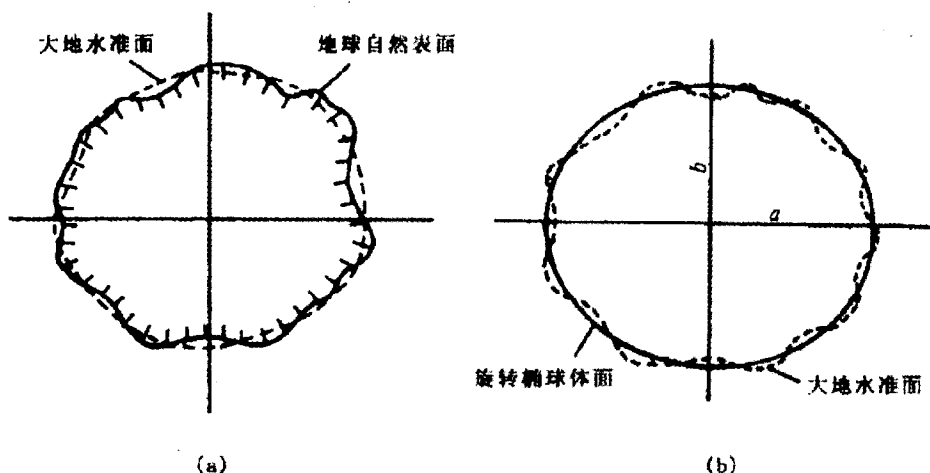


图 1-2 大地水准面与地球旋转椭球体面示意图

1.2.2 确定地面点位的方法

确定地面点的基本方法是数学法，用空间三维坐标表示。测量上常用的坐标系有空间直角坐标系、地理坐标系、高斯投影平面直角坐标系、平面独立直角坐标系等。地面点位在地理坐标系和高斯平面直角坐标系中，两个量为平面坐标，它表示地面点沿着基准线投影到基准面上后在基准面上的位置，基准线可以是铅垂线，也可以是法线。基准面是大地水准面、水平面或椭球面。第三个量为高程，表示地面点沿基准线到基准面的距离。

(1) 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂线长称为该点的绝对高程，简称高程，用 H 表示。如图 1-3， H_A 、 H_B 分别表示 A 点和 B 点的高程。

我国的高程是以青岛验潮站历年记录的黄海平均海水面为基准，并在青岛建立了国家水准原点，其高程为 72.260 m，称为 1985 年国家高程基准。

局部地区采用绝对高程有困难时，也可假定一个水准面作为高程起算面（指定某个固定点并假设其高程为零），地面点到假定水准面的铅垂线长称为该点的相对高程。如图 1-3， H'_A 、 H'_B 分别表示 A 点和 B 点的相对高程。地面两点之间的高程差称为高差，用 h 表示。 A 、 B 两点的高差为：

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_A - H'_B \quad (1-2)$$

B 、 A 两点的高差为：

$$h_{BA} = H_A - H_B = H'_B - H'_A \quad (1-3)$$

可见

$$h_{AB} = -h_{BA} \quad (1-4)$$

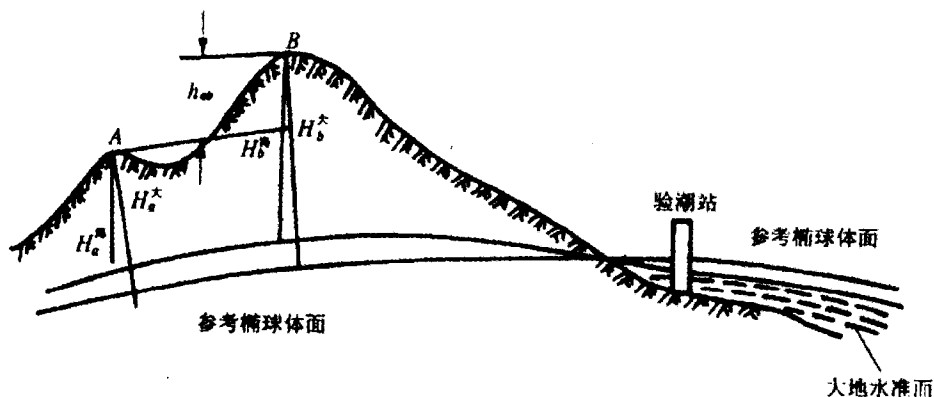


图 1-3 海拔高和大地高

(2) 地面点的坐标

① 地理坐标

地面点在球面上的位置常采用经度 (L) 和纬度 (B) 来表示, 称为大地地理坐标。

如图 1-4, N, S 分别是地球的北极和南极, NS 称为地轴。包含地轴的平面称为子午面。子午面与地球表面的交线称为子午线。通过格林尼治天文台的子午面称为首子午面。过地面上任意一点 P 的子午面与首子午面的夹角 L , 称为 P 点的经度。由首子午面向东量称为东经, 向西量称为西经, 其取值范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。通过地心且垂直于地轴的平面称为赤道面。过 P 点的法线赤道面的夹角 B , 称为 P 点的纬度。由赤道面向北量称为北纬, 向南量称为南纬, 其取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

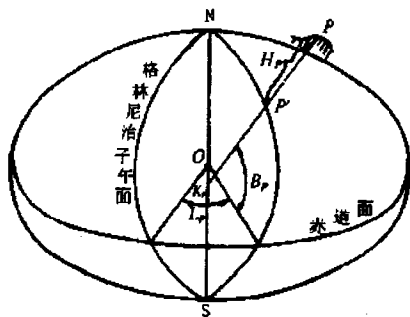


图 1-4 大地地理坐标系

地面上每一点都有一对地理坐标, 例如郑州某点的地理坐标为东经 $113^\circ 39'$, 北纬 $37^\circ 45'$ 。

② 高斯平面直角坐标

地理坐标是球面坐标, 不便于直接进行各种计算。在工程建设的规划、设计与施工中, 宜在平面上进行各项计算, 为此, 须将球面上的图形用平面表现出来, 这就必须采用适当的投影方法。我国采用的是高斯投影法。

高斯投影方法是将地球按 6° 的经差分 60 个带, 从首子午线开始自西向东编号, 东经 $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第一带, $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第二带, 依此类推, 如图 1-5。位于每一带中央的子午线称为中央子午线, 第一带中央子午线的经度为 3° , 任意一带的中央子午线经度为:

$$L_0^6 = 6N - 3 \quad (1-5)$$

式中: N 为 6° 带的带号。

若已知某点大地经度 L , 可按下式计算该点所在的带号:

$$N = \text{int}\left(\frac{L}{6}\right) + 1 \quad (L \text{ 不能被 } 6 \text{ 整除时}) \quad (1-6)$$

在高斯投影中, 离中央子午线近的部分变形小, 离中央子午线愈远变形愈大, 两侧对

称。当要求投影变形更小时,可采用 3°带投影。3°带是从东经 1°30'开始,按经差划分,每 3°为一带,全球共分 120 带。每带中央子午线经度 L_0 与带号 N 的关系为:

$$L_0^3 = 3N \quad (1-7)$$

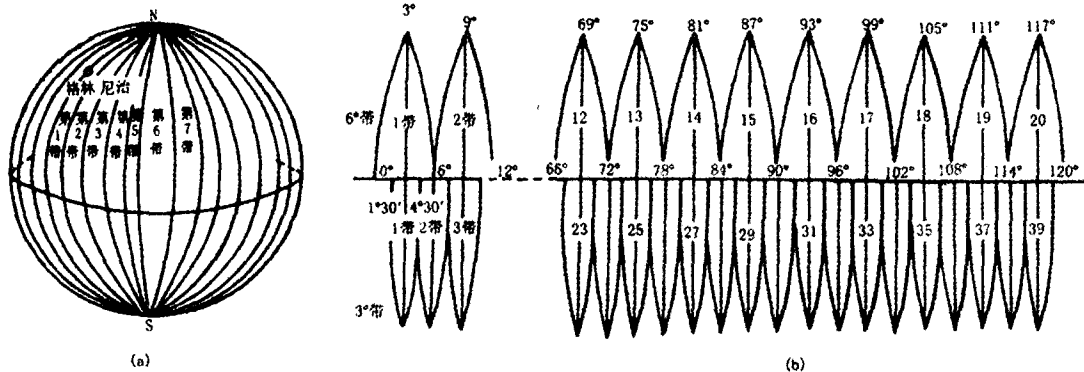


图 1-5 6°带和 3°投影

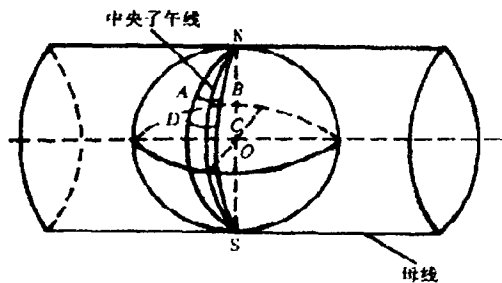


图 1-6

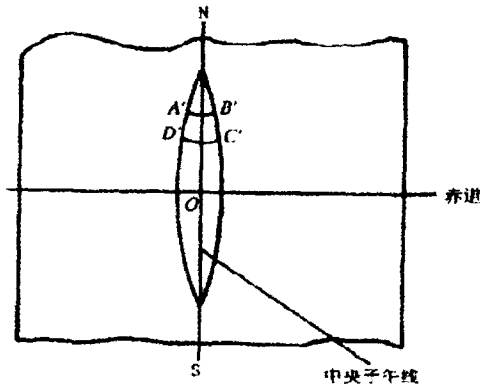


图 1-7

为了便于说明,将地球当成圆球。设想将一个平面卷成横圆柱,套在地球的外面,如图 1-6,使圆柱的轴心通过圆球的中心,将地球上某 6°带的中央子午线与圆柱面相切。在球面图形与柱面图形保持等角的条件下,将球面上的图形投影到圆柱面上,然后将圆柱体沿着通过南、北极的母线切开、展平。投影后如图 1-7,中央子午线与赤道成为相互垂直的直线,其他子午线和纬线成为曲线。取中央子午线为坐标纵轴,取赤道为坐标横轴,两轴交点为坐标原点 O 。组成高斯平面直角坐标系。规定 x 轴向北为正, y 轴向东为正,坐标象限按顺时针编号,以保证三角计算公式在测量计算中能够应用。

我国位于北半球, x 坐标均为正值, y 坐标则有正有负,如图 1-8 所示, $y_A = +136\,780\text{ m}$, $y_B = -272\,440\text{ m}$ 。为了避免出现负值,将纵轴西移 500 km,纵轴西移后 $y_A = 500\,000 + 136\,780 = 636\,780\text{ m}$, $y_B = 500\,000 - 272\,440 = 227\,560\text{ m}$ 。为了确定该点所在的带号,则在横坐标值前冠以带号,如

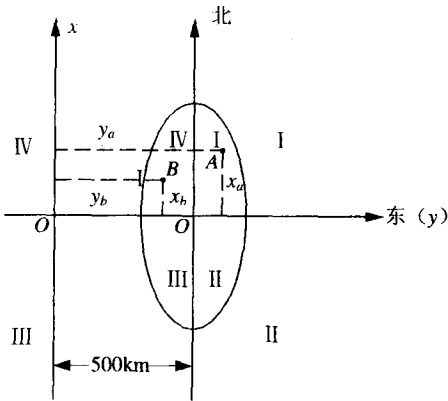


图 1-8 高斯平面直角坐标系

A, B 均位于 20 带, 则 $y_A=20\ 636\ 780\text{ m}$, $y_B=20\ 227\ 560\text{ m}$ 。

高斯平面直角系与数学中的笛卡儿坐标系不同 (见图 1-9)。高斯平面直角坐标系纵坐标为 x 轴, 横坐标为 y 轴, 坐标象限为顺时针编号, 角度起算从 x 轴的正北方向开始, 顺时针计算。这些定义都与数学上的不同, 要注意区分。

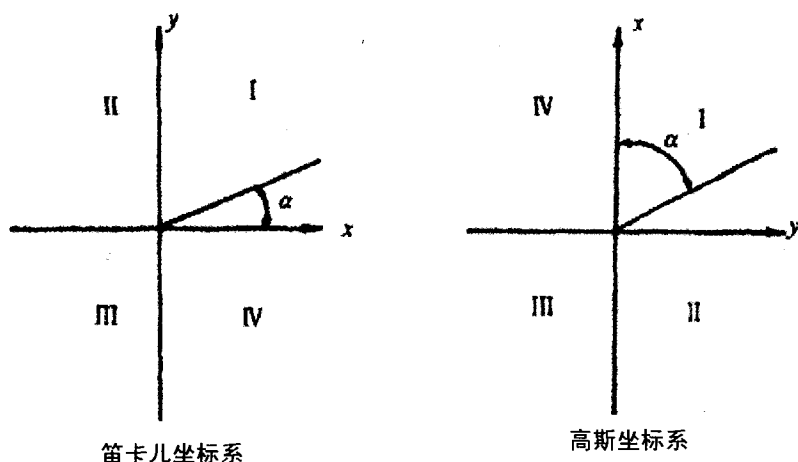


图 1-9 笛卡儿坐标系和高斯平面直角坐标系

(3) 独立平面直角坐标

当测区范围较小时, 可以将大地水准面当做平面看待, 并在该面上建立独立平面直角坐标系。地面点在大地水准面上的投影位置就可以用该平面直角坐标系中的坐标值来确定, 如图 1-10 所示。

上述三种坐标系之间是可以相互转化的, 例如地理坐标系与高斯平面直角坐标之间可以相互换算, 独立平面直角坐标也可与高斯平面直角坐标进行换算。它们都是以不同的方式表示地面点的位置。

我国选择陕西泾阳县永乐镇某点为大地原点, 进行大地定位。利用高斯平面直角坐标的方法建立全国统一坐标系, 即现在使用的“1980 国家大地坐标系”, 简称“80 系”。

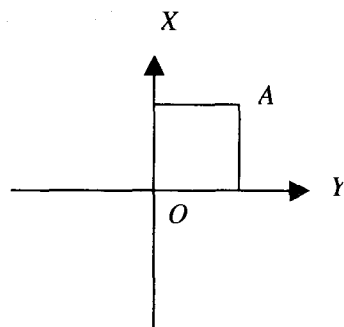


图 1-10 独立平面直角坐标系

1.3 用水平面代替水准面的限度

水准面是一个曲面, 曲面上的图形投影到平面上, 总会产生一定的变形, 当变形不超过测量误差的容许范围时, 可以用水平面代替水准面。但是在多大面积范围内才容许这种代替, 有必要加以讨论。为叙述方便, 假定大地水准面为圆球面。

1.3.1 对水平距离的影响

见图 1-11, 设地面上 A, B 两点在大地水准面上的投影点是 A, B , 用过 A 点的切平面代替大地水准面, 则地面点在水平面上的投影点是 A, B' 。设 AB 的弧长为 s , AB' 的长度为 D' , 球面半径为 R , D 所对的圆心角为 θ , 则以水平长度 D' 代替弧长 D 所产生的误差为:

$$\Delta D = D' - s = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-8)$$