

· 普通高等教育“十三五”规划教材 ·

测量学

SURVEYING

蒋辉 主编



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

· 普通高等教育“十三五”规划教材 ·

测量学

SURVEYING

蒋辉 主编



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书是根据高等学校土木与建筑类各专业“测量学”课程的教学改革需要和“测量学”教学大纲及国家最新测量规范编写,主要介绍了测量学的基本知识、基本理论以及测量仪器的构造和使用方法,控制测量、地形图的常识和使用方法,大比例尺地形图的测绘,建筑工程施工测量,道桥与桥梁工程施工测量以及地下工程施工测量知识。本书较多地融入了当前最新的测绘技术和仪器以及工程中的实用方法,如电子数字水准仪、全站仪、全球卫星定位系统(GPS)以及数字化测图等。

本书可作为高等学校土木与建筑类各专业的通用教材,也可用作自学考试和电大、函大教学参考书,并可供土木与建筑工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量学 / 蒋辉主编. —西安:西安交通大学出版社, 2018.8
ISBN 978-7-5693-0852-5

I. ①测… II. ①蒋… III. ①测量学—高等学校—教材
IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 200721 号

书 名 测量学
著 者 蒋 辉
责任编辑 贺彦峰

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西日报社

开 本 787mm × 1092mm 1/16 印张 16.75 字数 406 千字
版次印次 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5693-0852-5
定 价 38.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82668284

读者信箱:medpress@126.com

版权所有 侵权必究

前言

PREFACE

本书是在南京工业大学测绘工程教研室 2005 年编写出版的《测量学》教材基础上修订而成,全书共 14 章,内容包括:绪论、水准测量、角度测量、距离测量、全站仪的使用、测量误差基本知识、控制测量、全球定位系统、地形图的基本知识和应用、大比例尺地形图的测绘、测设的基本工作、建筑工程施工测量、道路与桥梁施工测量以及地下工程施工测量等。编者结合多年来的教学研究、学术交流和工程实践以及教材使用意见对一些章节的内容进行了适当的删减补充,较多地融入了当前最新的测绘技术和仪器以及工程中的实用方法,如电子数字水准仪、全站仪、全球卫星定位系统(GPS)以及数字化测图等,力求能够将当代测绘学科的最新技术和仪器更好地普及应用到各类工程建设中,更加注重工程的实用性。

全书由蒋辉统稿,参加编写的有南京工业大学李明峰(第 1 章)、刘三枝(第 2 章)、高俊强(第 3 章)、束蝉方(第 4 章)、吴继忠(第 5、8 章)、蒋辉(第 6、9、10、11、12 章)、郑国才(第 7 章)、严伟标(第 11 章)、潘庆林(第 13、14 章)、湖南财政经济学院胡灿(第 9 章)。

尽管我们尽了很大的努力,但书中还可能存在不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2018 年 5 月于南京

目 录 CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 测量学概述	1
1.2 地球的形状和大小	4
1.3 地面点位的确定	6
1.4 测量工作概述	11
习题1	13
第2章 水准测量	14
2.1 水准测量原理	14
2.2 水准测量仪器及其操作	15
2.3 普通水准测量及其成果整理	21
2.4 DS ₃ 型水准仪的检验与校正	28
2.5 水准测量的误差及注意事项	31
2.6 自动安平水准仪	33
2.7 电子数字水准仪	34
习题2	35
第3章 角度测量	37
3.1 水平角和垂直角观测原理	37
3.2 经纬仪构造及使用	38
3.3 水平角和垂直角观测	45
3.4 经纬仪检验与校正	49
习题3	51
第4章 距离测量	53
4.1 量尺量距	53
4.2 电磁波测距	58
习题4	60

第5章 全站仪的使用	62
5.1 全站仪概述	62
5.2 苏一光 RTS322R5 全站仪的基本操作	62
5.3 索佳 SET 210 型全站仪的基本操作	70
习题5	77
第6章 测量误差基本知识	78
6.1 测量误差	78
6.2 评定精度的标准	81
6.3 观测值的成果计算与精度评定	83
6.4 误差传播定律及其应用	86
习题6	89
第7章 控制测量	90
7.1 控制测量概述	90
7.2 导线测量	92
7.3 角度前方交会法	100
7.4 三、四等水准测量	101
7.5 三角高程测量	104
习题7	106
第8章 全球定位系统	108
8.1 全球定位系统概述	108
8.2 GPS 定位的基本原理	111
8.3 GPS RTK 定位	115
习题8	118
第9章 地形图的基本知识和应用	119
9.1 地形图的基本知识	119
9.2 地形图的应用	132
习题9	145
第10章 大比例尺地形图的测绘	147
10.1 地形图传统测绘方法	147
10.2 数字化测图	155
习题10	162

第 11 章 测设的基本工作	163
11.1 已知水平距离、水平角和高程的测设	163
11.2 点的平面位置测设方法	166
11.3 已知坡度线的测设	169
11.4 测设直线	170
习题 11	171
第 12 章 建筑工程施工测量	173
12.1 概述	173
12.2 施工场地的控制测量	174
12.3 民用建筑施工测量	177
12.4 工业厂房施工测量	181
12.5 建筑物的变形观测	184
12.6 竣工总平面图的编绘	189
习题 12	190
第 13 章 道路与桥梁施工测量	191
13.1 概述	191
13.2 道路中线测量	191
13.3 圆曲线的测设	195
13.4 缓和曲线的测设	201
13.5 路线纵、横断面测量	206
13.6 道路施工测量	213
13.7 桥梁施工测量	218
习题 13	223
第 14 章 地下工程施工测量	224
14.1 概述	224
14.2 地面平面与高程控制测量	225
14.3 竖井联系测量	227
14.4 地下洞内施工控制测量	231
14.5 隧道贯通误差的测定与调整	235
14.6 隧道竣工测量	235
习题 14	236
附录 测量课间实验指导	237
参考文献	260

第1章 绪论

1.1 测量学概述

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面点位的科学。其内容包括测定和测设两部分。测定是指利用测量仪器和工具,通过测量、计算和绘图,获得描述地面点绝对位置或相对位置的数据或成果,包括点的坐标或高程、两点间的距离或方位、描述整个地形情况的地形图等。测设是指按照一定的测量方法,把设计图纸上规划设计好的建(构)筑物的平面位置和高程标定在实地上,作为施工的依据。

1.1.1 测量学的分类

按照研究的范围和对象的不同,测量学可分为大地测量学、普通测量学、摄影测量与遥感、海洋测量学、工程测量学及地图制图学等。

1. 大地测量学

大地测量学是研究地球的形状与大小、地球的重力场和地面点几何位置的测量方法及地球整体与局部运动的理论和技术的科学。在大地测量学中,测定地球大小是指测定地球椭球的大小;研究地球的形状是指研究大地水准面的形状和地球椭球的扁率;测定地面点的几何位置是指测定以地球椭球面为参考面的地面点位置;研究地球重力场是指利用地球的重力作用研究地球的形状。

2. 普通测量学

普通测量学是研究地球表面小区域内测绘工作的基本理论、技术和方法的学科。由于范围较小,在研究过程中不考虑地球曲率的影响。普通测量学也叫做地形测量学。

3. 摄影测量与遥感

摄影测量与遥感是研究利用航天、航空、地面的摄影和遥感信息进行测量的方法和理论的学科。由于航天技术和电子计算机技术的发展,现代遥感技术可以提供比化学摄影所获得的相片更为丰富的信息,因此在摄影测量中引进了遥感技术,促进了航天测绘的发展。

4. 海洋测量学

海洋测量学是以海岸和海底地形为对象,研究海洋定位、测定大地水准面、海底地形、海洋重力、海洋磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布及其海图编制的理论和技术的学科。

5. 工程测量学

工程测量学是研究在工程建设和自然资源开发各个阶段进行测量工作的理论和技术的学科。工程测量学是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用,包括建设与开发项目规划设计、施工兴建和运营管理等三个阶段的各种测量。

6. 地图制图学

地图制图学是研究利用测量的数据资料,编制、印刷、出版地图、地形图和专题图的理论和方法的学科。地图是测绘工作的重要产品形式,地图制图学为生产国标的地图产品提供理论、技术和方法。

1.1.2 测量技术的发展

1. 测量技术的历史发展

测量学是一门古老而又年轻的学科。我国古代大禹治水、古埃及尼罗河泛滥后农田边界整理就已经使用了简单的测量工具和方法。

据历史记载,我国测量工作始于公元前7世纪前后。西汉初期的《地形图》是我国目前发现的最早的地图。到了西晋,裴秀就提出了绘制地图的6条原则,即《制图六体》,它是世界上最早的制图理论。早期的地图不论是精度和内容,还是制图的手段都是很低的,随着人们对自然界的认识不断深入,生产力水平不断发展,测绘科学也不断发展和进步。17世纪,荷兰人汉斯发明了望远镜,克服了测绘工作者的视觉局限,是测绘科学发展史上一次较大的变革。1903年,飞机的出现和摄影测量理论的发展,航空摄影技术开始应用于测绘领域,极大地推动了测绘科学的发展。

2. 测量技术的现代发展

20世纪中期,随着电子、计算机和空间科学等技术的迅速发展,测量学从理论到手段都发生了根本变化,形成了以“3S”技术为代表的现代测量技术。

1957年,苏联成功发射人类历史上第一颗人造地球卫星。20世纪80年代,美国的全球定位系统(GPS)问世,因其具有全球、全天候、快速、高精度、不受通视条件限制等优点,GPS技术被广泛应用于大地测量、工程测量、地形测量,以及导航、通信、定位等军事和管理领域。目前,全球卫星导航系统(GNSS)包含了美国的GPS、中国的BDS(北斗系统)、俄罗斯的GLONASS和欧盟的Galileo等系统(如图1-1所示)。

20世纪70年代末,遥感技术趋于成熟,并在资源勘查、环境监测、自然灾害预警、军事等领域得到广泛应用,摄影测量发展为摄影测量与遥感。目前,遥感技术正向高光谱、超光谱遥感方向发展,其应用前景更为广阔。

随着计算机的发展,20世纪80年代出现了地理信息系统(GIS),因其具有数据综合、

模拟与分析评价等技术优势,已被广泛应用在社会、经济、军事等领域。随着网络技术的迅速发展,GIS 正朝着一个可运行的、分布式的、开放的、网络化的全球 GIS 发展,其中三维 GIS、移动 GIS 和 WebGIS 已经成为 GIS 的发展趋势和研究热点。

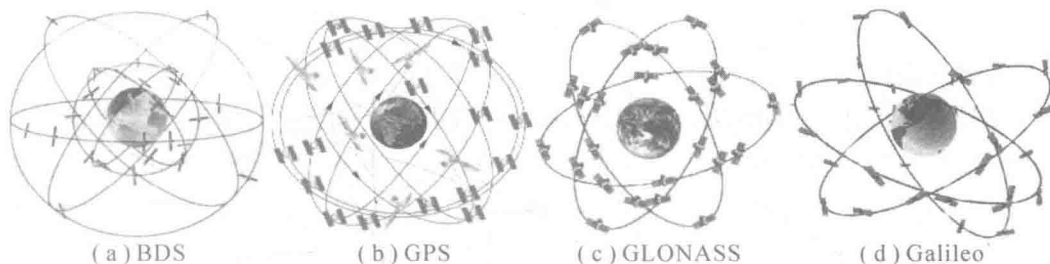


图 1-1 全球卫星导航系统

1.1.3 测量技术的应用

测量作为了解自然和改造自然的重要手段,不仅是国民经济建设中一项基础性、前期和超前期的工作,而且在国防建设和科学研究中起着十分重要的作用,应用十分广泛。

1. 地形测图

通过测量和绘图,可以形成各种比例尺的现状地形图或专题图,为建筑设计、城镇规划、市政工程、城市交通与旅游、土地与房地产开发、农业、林业、防灾等提供测绘资料。例如,为了出让某地块的使用权,必须标明其地理位置、地形、面积以及与周围建筑的关系等,这些要素可通过地形图简便、直观地表示出来;要设计一条道路,必须根据地形图设计出最佳路线;土木工程的设计和工程土方量的计算必须依赖现状地形图;农业与林业的调查与规划,必须根据地形图估算现有各类农作物或树林所占面积;城市的交通和旅游在很大程度上反映了城市的现代化进程和投资环境,绘制现时性强的交通图和旅游图是进行城市交通规划设计和开发城市旅游业的基础性工作,实现城市智能化交通管理必须以城市现时电子交通图为基础。

2. 定线、拨地、勘察测量

按照规划设计部门的要求,进行道路规划定线、拨地测量以及各种土木工程的勘察测量,直接为建设工程项目的设计与施工服务。规划定线、拨地测量可确保规划实施的准确性和完整性,勘察测量可保证地质勘察报告的准确性,为提高建设工程项目的经济效益和社会效益提供测量依据。

3. 施工测量

在各项土木工程如建筑物、构筑物、道路、桥梁、地铁、过江隧道等的施工中,测量工作贯穿着全过程,起着十分重要的作用。点位平面位置、高程、轴线位置的误差,都会影响工程的质量。若误差较大,则可能造成工程质量不合格,甚至造成重大经济损失,带来严重的社会影响。

4. 变形监测

在工程施工过程和运营管理阶段,对高层、大型建(构)筑物进行沉降、位移、倾斜等

变形观测,可以检验设计方案的可行性和施工过程的严密性,确保建(构)筑物的安全,并为建(构)筑物结构和地基基础的研究提供多种可靠的测量数据。变形监测是否规范、及时、准确,将直接关系到工程的质量和经济效益,是各项土木工程、交通工程建设中不可缺少的一项重要工作。

5. 国防建设

测绘地理信息科学在国防建设和科学研究中发挥着十分重要的作用:军事地图的制作、空间武器和人造卫星的发射,都必须依靠准确和全面的测绘与计算 GNSS 导航定位技术、航天遥感技术(RS)、基于 GIS 的军事情报分析与辅助决策系统已成为现代化战争的必备技术武器。

6. 科学研究

随着人类活动范围的扩大,研究地球和外部空间已成为开发自然资源、提高人民生活质量、保证人民生命安全的前沿性工作。探索星际奥秘、研究地极周期性运动和地壳形变、预报地震及其他自然灾害等,都要应用精密测量技术和建立系统的测绘资料库。只有不断发展与应用测绘技术,使测绘能提供更多、更准确、更及时的信息服务,才能加快人类探索自然、开发自然与应用自然的步伐。

1.2 地球的形状和大小

测量工作是在地球的自然表面上进行的,而地球的自然表面很不规则,既有高达 8844.43m 的珠穆朗玛峰,也有深至 11034m 的马里亚纳海沟。因此,要描述地面点的位置,采用地球自然表面是无法建立数学模型和直接描述的。

尽管地球的表面高低起伏悬殊,但对于平均半径为 6371km 的地球而言,这种高低起伏还是可以忽略不计的。此外,海洋面积约占地球表面总面积的 71%,陆地面积仅占 29%。因此,人们设想以一个静止不动的水面向陆地延伸,形成一个闭合的曲面包围整个地球,称这个闭合曲面为水准面。

水准面有无数个,其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面,由大地水准面所包围的地球形体称为大地体(如图 1-2(a)所示)。大地水准面是测量工作的基准面。

水准面是受地球重力影响而形成的重力等势面,其特点是水准面上任意一点的铅垂线(重力作用线)都垂直于该点的曲面。铅垂线是测量工作的基准线。

由于地球内部质量分布的不均匀,重力的大小和方向也受其影响,故引起了铅垂线方向的改变,致使大地水准面成为一个有微小起伏的复杂曲面(如图 1-2(b)所示),它是一个物理概念的曲面。若将地球表面的图形投影到这个复杂曲面上,则其测量计算或地形绘图工作都是非常困难的。为此,人们经过几个世纪的观测和计算,选用一个既非常接近大地体,又能用数学式表示的规则几何形体来代表地球的形状。该几何形体是由一个椭圆 $NWSE$ 绕其短轴 NS 旋转而成的形体,称为地球椭球或旋转椭球(如图 1-2(c)所示)。

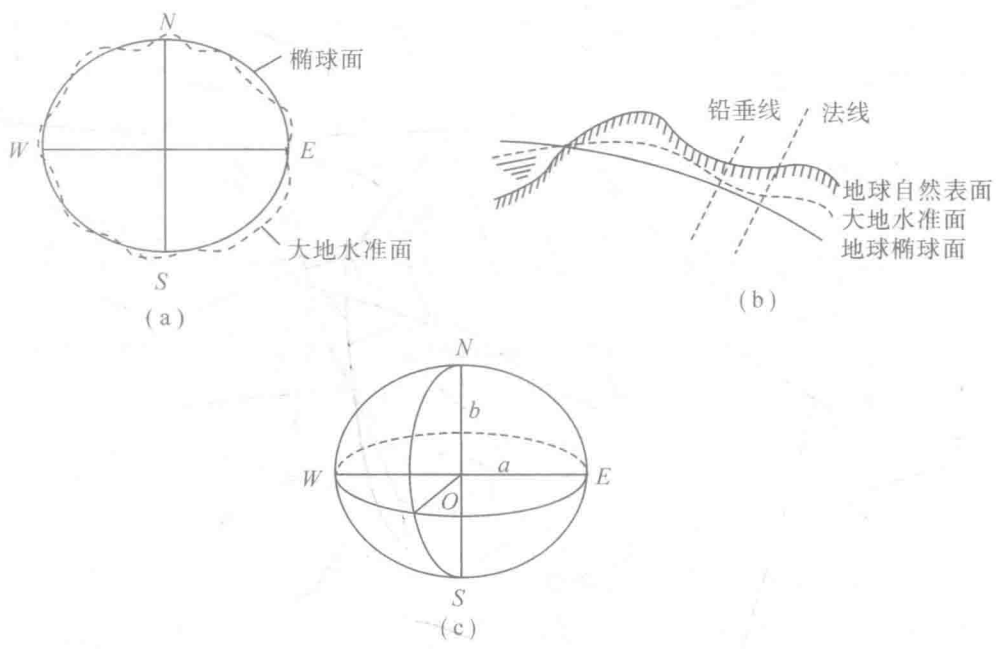


图 1-2 大地水准面与地球椭球

地球椭球的形状和大小取决于椭圆的长半径 a 、短半径 b 及扁率 α ，其关系式为

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \tag{1-1}$$

中华人民共和国成立初期，我国完成了北京天文原点的测定，采用了克拉索夫斯基椭球参数（见表 1-1），并与苏联 1942 年坐标系进行联测，建立了“1954 年北京坐标系”，大地原点位于苏联的普尔科沃。

为了适应我国经济建设和国防建设发展的需要，在 1972—1982 年期间，我国以陕西省西安市泾阳县永乐镇某点为大地原点（东经 $108^{\circ}55'$ ，北纬 $34^{\circ}32'$ ），采用国际上通用的 IAG-75 地球椭球参数（见表 1-1），进行了大地定位和全国天文大地网联合平差，建立了新的全国统一坐标系“1980 年国家大地坐标系”。

随着社会的进步，国民经济建设、国防建设、社会发展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作为国家大地坐标系。2000 国家大地坐标系（简称 CGCS2000）是一种地心坐标系，其坐标原点在地球质心，采用的椭球参数：长半轴 $a = 6\,378\,137\text{m}$ ， $\alpha = 1:298.257\,222\,101$ 。我国自 2008 年 7 月 1 日起启用 2000 国家大地坐标系。

表 1-1 地球椭球几何参数

椭球名称	年代	长半径 a/m	短半径 b/m	扁率 f
克拉索夫斯基	1940	6 378 245	6 356 863	1:298.3
IAG-75	1975	6 378 140	6 356 755.288 2	1:298.257
WGS-84	1984	6 378 137	6 356 752.314 2	1:298.257 223 563

目前，旧坐标系的成果仍然在一些领域应用着，实际存在着 1954 北京坐标系、新

1954 北京坐标系、1980 国家大地坐标系、2000 国家大地坐标系并存的局面。因此,在实际测量中,特别要注意坐标系统的转换和统一。

1.3 地面点位的确定

测量工作的实质是确定地面点的位置,地面点的空间位置需要用三维表示。对于空间大地测量而言,通常是采用三维空间直角坐标表示;对于常规测量研究和应用而言,通常是用二维的平面(或球面)坐标和一维的高程来表示。二维平面(或球面)坐标分为地理坐标、高斯平面直角坐标和独立平面直角坐标等三种;高程系统则分为国家高程基准和相对高程基准两种。

1.3.1 地理坐标

地理坐标是表示地面点在球面(水准面)上的位置,用经度和纬度表示。按照基准面和基准线及推算坐标方法的不同,地理坐标又分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

1. 天文地理坐标

天文地理坐标是表示地面点在大地水准面上的位置,用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示(如图 1-3 所示)。天文经度和天文纬度是用天文测量的方法直接测定的。

2. 大地地理坐标

大地地理坐标是表示地面点在地球椭球面上的位置,用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。大地经度和大地纬度则根据大地测量所得数据推算求得。经度是从首子午线(首子午面)向东或向西自 0° 起算至 180° ,向东者为东经,向西者为西经;纬度是从赤道(赤道面)向北或向南自 0° 起算至 90° ,分别称为北纬和南纬。我国国土均在北纬,例如,南京市中心区的大地地理坐标为东经 $118^\circ 47'$ 、北纬 $32^\circ 03'$ 。

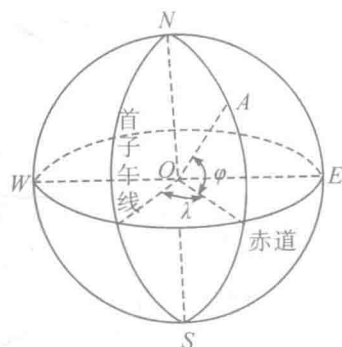


图 1-3 天文地理坐标

1.3.2 高斯平面直角坐标

地理坐标只能确定地面点在大地水准面或地球椭球面上的位置,不能直接用于测图和工程测量。测量的最佳计算基准面是平面,而地球椭球面是一个曲面,不能简单地展开为平面,应按照一定的数学方法将其展开成平面,从而建立其平面直角坐标系。我国是采用高斯投影来实现这一目标的。

首先,将地球按经线分为若干带,称为投影带。投影带按照规定经差的不同分为 6° 带和 3° 带两种。 6° 带是从首子午线(零子午线)开始,自西向东每隔 6° 划为一带,每带均有统一编排的带号,用 N 表示,位于各投影带中央的子午线称为中央子午线,中央子午线经度 $L_0 = 6N - 3$ (如图 1-4 所示)。 3° 带是由东经 $1^\circ 30'$ 开始,自西向东每隔 3° 划为一

带,其带号用 n 表示,中央子午线经度 $L'_0 = 3n$ 。我国国土所属范围大约为 6° 带的第 13 号带至第 23 号带,即带号 N 为 13~23。相应地,在 3° 带中大约为第 24 号带至第 46 号带,即带号 n 为 24~46。

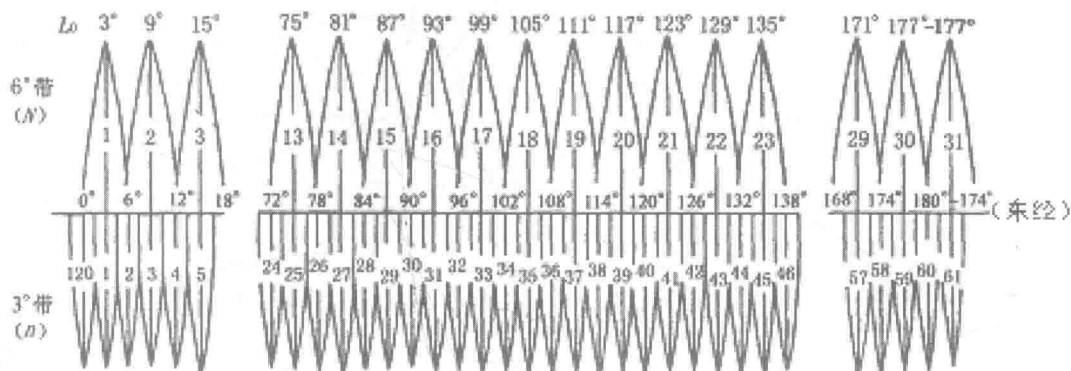


图 1-4 投影分带与 $6^\circ(3^\circ)$ 带

确定某点所在投影带带号的计算公式为

$$6^\circ\text{带}: N = (L + 3^\circ) / 6^\circ \text{ (四舍五入取整数)} \quad (1-2)$$

$$3^\circ\text{带}: n = L / 3^\circ \text{ (四舍五入取整数)} \quad (1-3)$$

例如,陕西省泾阳县永乐镇处于东经 $108^\circ 55'$,在 6° 带中, $N = (108^\circ 55' + 3^\circ) / 6 = 19$ (四舍五入取整数), $L_0 = 6N - 3 = 6 \times 19 - 3 = 111^\circ$;在 3° 带中, $n = 36$, $L'_0 = 108^\circ$ 。同理,南京市处于东经 $118^\circ 47'$,则有 $N = 20$, $L_0 = 117^\circ$; $n = 40$, $L'_0 = 120^\circ$ 。

高斯投影的几何解释是,设想将一个横椭圆柱体套在椭球外面,使横椭圆柱的轴心通过椭球的中心,并与椭球面上某投影带的中央子午线相切,然后将中央子午线附近(即本带东、西边缘子午线构成的范围)椭球面上的点、线投影到横椭圆柱面上(如图 1-5 所示)。然后,顺着过南北极的母线将圆柱面剪开,并展开为平面,这个平面称为高斯投影平面。在高斯投影平面上,中央子午线和赤道的投影是两条相互垂直的直线。我们规定中央子午线的投影为高斯平面直角坐标系的 x 轴,赤道的投影为高斯平面直角坐标系的 y 轴,两轴交点 o 为坐标原点,并令 x 轴上原点以北为正, y 轴上原点以东为正,由此建立了高斯平面直角坐标系(如图 1-6(a)所示)。在该图中,地面点 A 、 B 在高斯平面上的位置,可用高斯平面直角坐标 x_a 、 y_a , x_b 、 y_b 来表示。

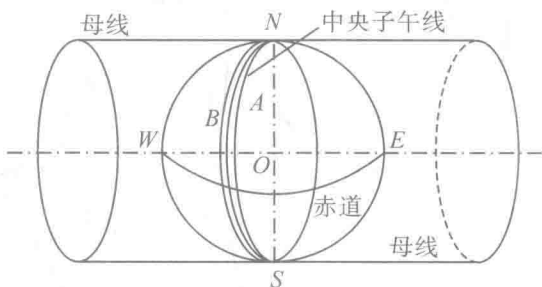


图 1-5 高斯平面直角坐标的投影

由于我国国土全部位于北半球(赤道以北),故我国国土上全部点位的 x 坐标值均为正值,而 y 坐标值则有正有负。为了避免 y 坐标值出现负值,我国规定将每带的坐标原点向西移 500km(如图 1-6(b)所示)。由于各投影带上的坐标系是采用相对独立的高斯平面直角坐标系,为了能正确区分某点所处投影带的位置,规定在横坐标 y 值前面冠以投影带带号。

由于我国国土全部位于北半球(赤道以北),故我国国土上全部点位的 x 坐标值均为正值,而 y 坐标值则有正有负。为了避免 y 坐标值出现负值,我国规定将每带的坐标原点向西移 500km(如图 1-6(b)所示)。由于各投影带上的坐标系是采用相对独立的高斯平面直角坐标系,为了能正确区分某点所处投影带的位置,规定在横坐标 y 值前面冠以投影带带号。

例如,在图 1-6(a)中, B 点位于高斯投影 6° 带的第 20 号带内 ($N = 20$), 其真正横坐标 $y_b = -124\ 625.723\text{m}$, 按照上述规定, y 值应改写为 $y_b = 20\ 375\ 374.277\text{m}$ 。

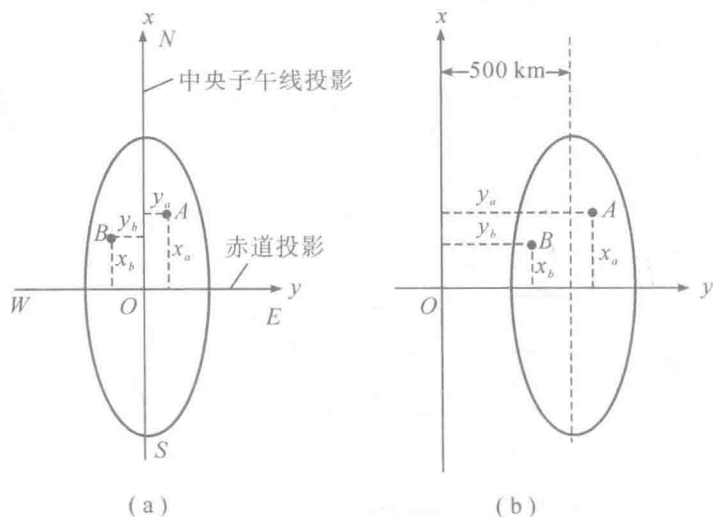


图 1-6 高斯平面直角坐标

高斯投影是正形投影, 一般只需将椭球面上的方向、角度及距离等观测值经高斯投影的方向改化和距离改化后, 归化为高斯投影平面上的相应观测值, 然后在高斯平面直角坐标系内进行平差计算, 从而求得地面点位在高斯平面直角坐标系内的坐标。

1.3.3 独立平面直角坐标

若测量工作是在半径不大于 10km 的范围内进行, 可以将该测区的球面看作平面, 直接将地面点沿铅垂线方向投影至水平面, 用平面直角坐标来表示该点的投影位置。在实际测量中, 一般将坐标原点选在测区的西南角, 使测区内的点位坐标均为正值 (第一象限), 并以该测区的子午线 (或磁子午线) 的投影为 x 轴, 向北为正, 与之相垂直的为 y 轴, 向东为正, 由此建立了该测区的独立平面直角坐标系 (如图 1-7 所示)。

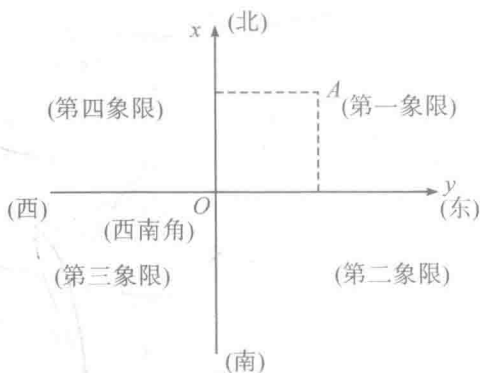


图 1-7 独立平面直角坐标

上述三种坐标系是以不同的方式表示地面点的平面位置, 它们之间是相互联系的, 可以相互转换。例如, 独立平面直角坐标通过平移和旋转也可转换成高斯平面直角坐标。其转换公式为

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} \quad (1-4)$$

式中, (x_0, y_0) 为平移参数, α 为旋转参数。

1.3.4 直线定向

为了要描述两地面点之间的相对关系,必须确定两点间的水平距离和两点间直线与标准方向之间的关系。确定直线与标准方向之间的关系(水平角度)称为直线定向。

1. 标准方向

1) 真子午线方向

通过地球表面某点的真子午面的切线方向,称为该点真子午线方向。真子午线方向用天文测量方法或用陀螺经纬仪测定。

2) 磁子午线方向

磁子午线方向是在地球磁场的作用下,磁针自由静止时其轴线所指的方向。磁子午线方向可用罗盘仪测定。

3) 坐标纵轴方向

对于 6° 带或 3° 带投影得到的高斯平面直角坐标系,以该带的中央子午线的投影作为坐标纵轴,因此,该带内的直线定向采用该带的坐标纵轴方向作为标准方向。若采用假定坐标系,则用假定的坐标纵轴(x 轴)作为标准方向。

2. 方位角

测量工作中,常采用方位角表示直线的方向。由标准方向的北端起,顺时针方向量到某直线的夹角,称为该直线的方位角。方位角的取值范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

方位角可以真方位角、磁方位角或坐标方位角表示。由真子午线方向的北端起算的方位角称为真方位角,用 A 表示;由磁子午线方向的北端起算的方位角称为磁方位角,用 A_m 表示;由坐标纵轴方向的北端起算的方位角称为坐标方位角,用 α 表示。

如图1-8所示,若标准方向 ON 为真子午线,则 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 分别为直线 $O1$ 、 $O2$ 、 $O3$ 、 $O4$ 的真方位角。若 ON 为磁子午线方向,则各角分别为相应直线的磁方位角。若 ON 为坐标纵轴方向,则各角分别为相应直线的坐标方位角。

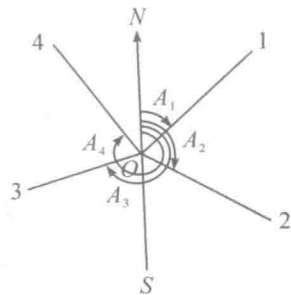


图1-8 直线方位表示方法

3. 几种方位角之间的关系

1) 真方位角与磁方位角之间的关系

由于地磁南北极与地球的南北极并不重合,因此,过地面上某点的真子午线方向与磁子午线方向常不重合,两者之间的夹角称为磁偏角。(如图1-9中的 δ)。磁针北端偏于真子午线以东称东偏,偏于真子午线以西称西偏。直线的真方位角与磁方位角之间可用下式进行换算:

$$A = A_m + \delta \quad (1-5)$$

式中, δ 东偏取正值,西偏取负值。我国磁偏角的变化大约在 $+6^\circ$ 到 -10° 之间。

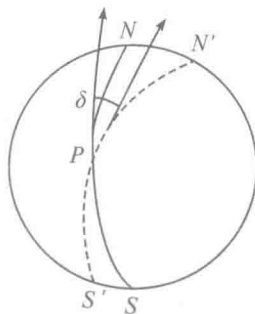


图1-9 磁偏角

2) 真方位角与坐标方位角之间的关系

中央子午线在高斯投影平面上是一条直线,作为该带的坐标纵轴,而其他子午线投影后为收敛于两极的曲线(如图 1-10 所示)。地面点(如 1-10 中的点 M 、 N)的真子午线方向与中央子午线的夹角称为子午线收敛角,用 γ 表示。 γ 角有正有负。在中央子午线以东地区,各点的坐标纵轴偏在真子午线的东边, γ 为正值;在中央子午线以西地区, γ 为负值。某点的子午线收敛角 γ ,可由该点的高斯平面直角坐标为引数,在测量计算用表中查到。也可近似地用下式计算:

$$\gamma = (L - L_0) \sin B \quad (1-6)$$

式中, L_0 为中央子午线的经度, L 、 B 为计算点的经纬度。

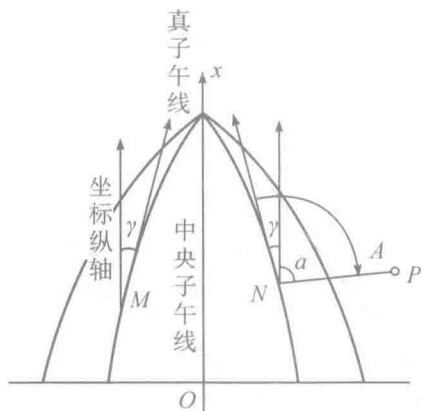


图 1-10 子午线收敛角

真方位角 A 与坐标方位角之间的关系,如图 1-10 所示,可用下式进行换算

$$A_{12} = \alpha_{12} + \gamma \quad (1-7)$$

3) 坐标方位角与磁方位角之间的关系

若已知某点的磁偏角 δ 与子午线收敛角 γ ,则坐标方位角与磁方位角之间的换算式为

$$\alpha = A_m + \delta - \gamma \quad (1-8)$$

1.3.5 高程系统

中华人民共和国成立初期,我国以青岛验潮站多年的观测资料求得黄海平均海面,作为我国的大地水准面(即高程基准面),由此建立了“1956 年黄海高程系”,并在青岛市观象山上建立了国家水准基点,水准基点高程 $H = 72.289\text{m}$ 。通过随后 30 多年对验潮站观测资料的积累和计算,验潮站观测资料的积累与计算,更加精确地确定了黄海平均海面,1987 年开始启用“1985 国家高程基准”,此时测定的国家水准基点高程 $H = 72.260\text{m}$ 。根据国家测绘总局[1987]198 号文件通告,此后全国都应以“1985 国家高程基准”作为统一的国家高程系统。现在仍在使用的“1956 年黄海高程系统”及其他高程系统(如吴淞高程系统)均应统一到“1985 国家高程基准”的高程系统上。在实际测量中,特别要注意高程系统的统一。

地面点的高程分为绝对高程(海拔)和相对高程两种。地面点的绝对高程是指地面点到大地水准面的铅垂距离,通常简称为该点的高程,一般用 H 表示。例如,在图 1-11 中,地面点 A 、 B 的高程分别为 H_A 、 H_B 。在个别测区,若远离已知国家高程控制点或为便于施工,也可以假设一个高程起算面(即假定水准面),此时地面点到假定水准面的铅垂距离,称为该点的假定高程或相对高程。在图 1-11 中, A 、 B 两点的相对高程为 H'_A 、 H'_B 。