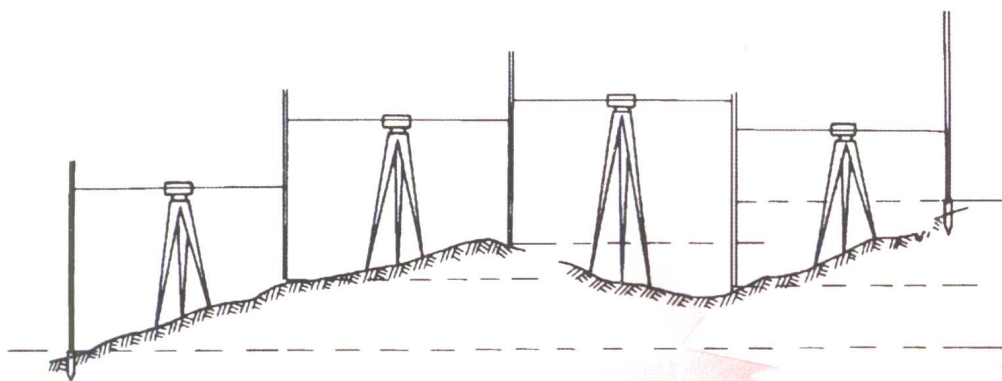



高等院校土木工程系列教材

土木工程测量

杨俊 赵西安 主编



 科学出版社
www.sciencep.com

高等院校土木工程系列教材

土木工程测量

杨俊 赵西安 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为高等学校土木工程类专业技术基础课教材。全书共十二章:第一章绪论,介绍测绘学与土木工程、地面点位及土木工程测量任务;第二章测量的基本工作,介绍高程(高差)、角度(水平角与竖直角)、距离和方向的传统测量仪器、工具及量测方法;第三章现代测量技术,介绍当代测绘新仪器(光电测距仪、全站仪以及GPS全球定位系统)及其测绘技术;第四章测量误差及其精度评定,介绍基本测量误差与精度评定标准;第五章小地区控制测量,介绍控制测量概念和导线外业及内业计算;第六、七章地形图认识、测绘和应用;第八至十二章介绍房屋建筑、道路与管道施工测量,以及建(构)筑物变形测量。

本书可作为普通高等学校、成人高等学校和高等职业技术学校土木工程类专业各学制本、专科教学用书,也可供土木工程在职人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/杨俊,赵西安 主编. —北京:科学出版社,2003
(高等院校土木工程系列教材)
ISBN 7-03-011223-7

I. 土… II. ①杨…②赵… III. 土木工程-工程测量-高等学校-教材
IV. TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第014440号

责任编辑:杨家禧/责任校对:柏连海
责任印制:刘士平/封面设计:张 放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2003年8月第一版 开本:B5(720×1000)
2003年8月第一次印刷 印张:16 1/4
印数:1-3 500 字数:318 000

定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

随着高等学校专业改革的进行和土木工程专业新的教学计划的实施,以及测绘新技术、新设备的不断出现,作为土木工程类专业的技术基础课——工程测量,如何适应这个变化?近几年,我们一直在思考这样两个问题:①土木工程专业改革后对本门课程的要求有什么新的变化?②测绘新技术、新设备的出现和应用在教材内容中如何适当增删?为此,我们深入土木工程实际进行调研,参阅同行专家、教授的有关论述,认真总结多年的教学实践,不断改进教学,反复研讨,最后形成编写本书的指导思想,这就是:

(1)新教材要为土木工程专业适当扩大知识面,以利于学生将来从事多种土木工程、复杂土木工程的设计与施工,开阔眼界和扩展思路。为此,本书增加了现代测量技术、城市道路施工测量、建(构)筑物变形测量等三章及其他相关内容。

(2)新教材要为教学内容的进一步更新留有适当空间,以利于教学与工程实用的自然同步。为此,本书将传统教材中的水准测量、角度测量、距离测量与直线定向等三章适当精简,删除一些叙述性的内容,将其合并为测量的基本工作。从当前的教学安排与长远的教学改革方面看,它既不破坏全书的结构体系,也不会影响正常的教学进程,但却为今后教学内容的选取和转换创造了有利的条件。

基于上述思考,我们力图使本教材有新的特点,使之既符合专业要求,又适合当前高校的教学实际,从而有利于进一步推进教学改革和提高教学质量。

参加本教材编写的人员有赵西安(第一、五章及第三章第3.4节)、撒利伟(第二章)、杨鑫(第三章第3.1~3.3节及第十一章)、唐冬梅(第四章)、曹建农(第六、七章)、库向阳(第八、九章)、杨俊(第十章)、刘明星(第十二章)。

本书承蒙武汉大学测绘科学与技术学院陶本藻教授审阅,特此致谢。

本书在编写过程中得到西安建筑科技大学教材建设委员会的指导与支持,特此说明并致谢。

由于编者业务水平所限,书中谬误难免,敬请读者不吝指正。

目 录

前 言

第一章 绪 论	1
1.1 测绘学及其发展.....	1
1.2 测绘学与土木工程.....	2
1.3 地面点位的确定.....	4
1.4 水平面代替水准面的限度.....	10
1.5 土木工程测量概述.....	11
复习思考题.....	12
第二章 测量的基本工作	14
2.1 距离测量及钢尺的使用.....	14
2.2 高程测量及水准仪使用.....	17
2.3 角度测量及经纬仪使用.....	30
2.4 基本测量仪器、工具的检验与校正.....	36
2.5 方向测量及罗盘仪使用.....	40
复习思考题.....	44
第三章 现代测量技术	48
3.1 概述.....	48
3.2 红外光电测距仪.....	48
3.3 全站仪.....	54
3.4 GPS 全球定位系统.....	61
复习思考题.....	66
第四章 测量误差及其精度评定	68
4.1 概述.....	68
4.2 基本测量误差.....	71
4.3 评定测量精度的标准.....	75
4.4 观测值函数的中误差.....	79
复习思考题.....	82
第五章 小地区控制测量	84
5.1 概述.....	84

5.2	交会法测量	86
5.3	导线测量外业	88
5.4	导线测量内业计算	91
5.5	高程控制测量	99
	复习思考题	101
第六章	地形图的认识	104
6.1	地形图的基本内容	104
6.2	地形图的比例尺	106
6.3	地形图的分幅与编号	108
6.4	地物符号	113
6.5	地貌符号	115
6.6	数字地图的认识	120
	复习思考题	123
第七章	地形图的测绘与应用	125
7.1	图纸准备及控制点展绘	125
7.2	地形图的测绘方法	127
7.3	视距测量	130
7.4	地形图的绘制	133
7.5	地形图应用的基本内容	136
7.6	图形面积的量测	138
7.7	根据地形图绘制剖面图	140
7.8	按给定坡度在地形图上选线	140
7.9	在地形图上确定汇水边界	142
7.10	在地形图上作平整土地设计	143
	复习思考题	146
第八章	施工测量基本工作	149
8.1	概述	149
8.2	施工测量的基本工作	150
8.3	点的平面位置测设	154
8.4	施工控制测量	157
	复习思考题	162
第九章	房屋建筑施工测量	164
9.1	民用建筑施工测量	164
9.2	高层建筑施工测量	167
9.3	工业厂房施工测量	174

复习思考题	182
第十章 城市道路施工测量	183
10.1 城市道路构成	183
10.2 道路中线复测	184
10.3 圆曲线测设	188
10.4 圆曲线详细测设	191
10.5 复曲线及缓和曲线测设	196
10.6 道路纵、横断面测量	204
10.7 道路路基边桩及竖曲线测设	208
10.8 立交桥及高架路的施工测量	212
复习思考题	217
第十一章 管道工程测量	218
11.1 概述	218
11.2 管道中线测量	218
11.3 管道纵断面图的测绘	220
11.4 管道施工测量	224
11.5 顶管施工测量	227
11.6 管道竣工测量	229
复习思考题	230
第十二章 建(构)筑物变形测量	232
12.1 概述	232
12.2 建(构)筑物变形测量的内容	232
12.3 变形观测工作的实施步骤	233
12.4 建(构)筑物沉降观测	235
12.5 建(构)筑物基坑回弹观测	241
12.6 建(构)筑物倾斜观测	243
12.7 建筑场地沉降观测	245
12.8 建(构)筑物水平位移观测	247
12.9 建(构)筑物裂缝观测	250
复习思考题	250
参考文献	252

第一章 绪 论

1.1 测绘学及其发展

测绘学是研究测定和推算地面点的几何位置、地球形状及地球重力场,据此测量地球表面自然形态和人工建(构)筑物的几何分布,编制全球或局部地区各种比例尺的地形图和专题图的理论与技术的学科。由于政治、经济和科学文化发展的需要,测绘学科在人类历史进程中很早就产生了,并与人们的生产和生活紧密联系。根据史料记载,4000多年前,埃及尼罗河水经常泛滥,洪水消退后为了重新测定土地边界,就曾用到了测量学的知识。公元前6世纪希腊哲学家毕达哥拉斯提出地球为圆球形的学说,直至公元前3世纪由希腊天文学家埃拉托色尼初步测定,公元15世纪哥伦布发现新大陆才得以证明。公元16世纪墨卡托创造了著名的地图制图方法,称为墨卡托投影。公元18世纪初,测定地面高低起伏形状的水准高程测量方法产生了。公元19世纪德国著名数学家、天文学家和测量学家高斯提出了横轴椭圆柱面投影学说(高斯投影),并创立了最小二乘法,这些学说与方法至今仍是测量与地图学的基础。第一次世界大战期间,为了快速解决军事用图的需要,航空摄影测量诞生了。至今,正由光学模拟测量,解析摄影测量,发展成为全自动数字摄影测量。

测绘科学在我国的发展始于公元前21世纪。《史记·夏本纪》中著名的夏禹治水所用的“准、绳、规、矩”就是实际测量的工具。春秋战国时期,测绘学科有了新的发展,从《周髀算经》、《海岛算经》、《管子》(地图篇)、《孙子兵法》等有关论述,可以说明我国测绘学科在当时已经达到了相当高的水平。公元前3世纪,我们的祖先已利用磁石制成了世界最先进的指南工具“司南”。西晋裴秀(公元224~271)在总结前人制图经验的基础上,编制了小比例尺地图法则,称为《制图六体》,是世界上最早的地图制图规范。魏晋的刘徽著“重差术”是世界上最早的地形测量规范。唐代的张遂于公元724年主持在今河南境内直接丈量了长达300km的子午弧长,并用日圭测定太阳阴影以确定纬度,在世界上最早用子午线弧长测量方法测定地球形状与大小。到公元11世纪,我国已有四种指南针装置与制作方法。元代郭守敬(公元1231~1316)拟定了全国纬度测量计划。清康熙年间(公元1684~1718)开展了大规模的经纬度测量和地形测绘,编制了著名的《皇舆全览图》。

中华人民共和国成立后,我国测绘事业有了长足发展,已经在全国范围内建立了国家大地控制网、水准网、基本重力网和卫星多普勒网。应用GPS卫星全球定位

系统测量技术(Global Positioning System, GPS),北起大兴安岭,南至南沙群岛,西自塔克拉玛干沙漠,东到沿海地区大陆架,测定了 700 多个 GPS 定位点,定位精度已经达到国际先进水平。完成了珠穆朗玛峰高程测量和南极长城站及中山站地形图测绘。在举世瞩目的长江三峡水利工程、北京正负电子对撞机安装、上海越江隧道、秦山核电站等大型工程建设中,测绘工作者都做出了卓越的贡献。

随着现代科学技术的发展,测量手段正由传统的高程测量、角度测量、距离测量发展为激光测量、全自动测量和 GPS 定位测量,正在对大地测量学、工程测量学等的理论和方法产生革命性影响。星载或机载 GPS 卫星测量还在航天航空摄影测量中起着重要作用。我国 GPS 局域或广域差分技术研究与应用,将实现覆盖全国及周边地区的实时、可靠的定位和导航服务。摄影测量由获取航空摄影照片的解析摄影测量发展为航空航天遥感测量(Remote Sensing, RS),直接获取被测物的数字影像信息。人们熟悉的地图、地形图等正在发展成为数字地图,并在此基础上形成地理信息系统(Geography Information System, GIS)。GPS、GIS、RS 等高新技术的集成产生了地球空间信息学。随着“数字地球”的建立,测绘学科在国民经济、工程建设和国防建设中的应用将更加广泛。例如,在 1998 年长江百年不遇的大洪水中,利用 GPS 卫星测量技术实时可靠地提供长江荆江段大堤的变形监测数据,保证了两岸数十万人民的生命财产安全。同时 GPS 测量用于大型施工控制网建立,高层建筑、大型构筑物的变形监测;遥感技术用于对地观测与全球变化研究,使人类对于自己生存的地球有了新的认识。其中差分干涉雷达成像技术的发展,正在为地震监测、城市大型工程安全性运行以及快速生成数字地面模型提供又一高新技术手段和方法;地理信息系统用于政府管理决策、大型工程的仿真研究;地理信息系统与计算机虚拟现实技术结合,使城市规划研究正在发展成为规划专家、政府决策人员与普通市民共同参与的城市规划。

1.2 测绘学与土木工程

在土木工程应用中,测绘学的任务主要包括地形测绘、施工测设和监测三个方面内容。地形测绘是通过一定的测量方法将地球表面的一定区域缩绘成图,供国防和国家经济建设的需要。施工测设是将设计在图纸上的建(构)筑物位置标定到实地,作为建筑施工的依据。监测则是对各类建(构)筑物(例如高层建筑、大型水工构筑物、城市高架桥等)、山体、地壳等因各种荷载变化或外力作用后产生的变形进行实时测量。

测绘学根据其研究对象、要求和手段不同,已经形成了一些分支。**普通测量学**是研究地球表面较小范围内测量的基本技术、方法与应用的学科。当前,大比例尺地形图的数字成图和可视化技术应用将使普通测量学得到进一步发展。**大地测量学**是研究和测定地球形状、大小、地球重力场以及建立国家大地控制网。现代大地

测量已经突破了经典大地测量的时空限制,进入以空间大地测量为主的新阶段,它将为人类提供高精度、高分辨率,适时、动态的定量空间信息,是研究地壳运动与形变、地球动力学、海平面变化、地质灾害预测等的重要手段之一。**摄影与遥感测量**是通过航空、航天遥感的手段获取被测物影像或数字信息,进行分析处理后得到被测物的位置、形状、大小及其他属性特征,进而生成各种比例尺地图、地形图和专题图;全数字摄影测量、机载实时测图、航空航天遥感影像信息融合、数据挖掘、图形和图像数据库、数字地面模型、数字表面模型和虚拟现实正在成为这门学科的关键技术。**工程测量学**研究大型工程建设在勘测、规划、设计、施工和管理阶段的测量技术和方法。工程测量学面向大型、特种工程建设。从电磁波测距、电子测角到全站仪以及测量机器人技术、卫星测量技术等都在大型土木工程施工与监测中得到大量应用。测量自动化、测量数据的三维可视化和激光技术等在大及特种工程中起着重要作用。

GPS 卫星测量又称导航卫星全球定位系统,通过安置在地面(或车、机载平台)上的 GPS 卫星信号接收机,接收来自太空的 GPS 卫星发射回地球的导航电文。据此,可在很短时间内计算得到接收机天线中心的三维坐标。地理信息系统是利用计算机数据库技术将与地球有关的空间位置和属性特征(例如地面植被分布、地表水质量、地下矿藏储量等数据)存放在数据库中,在此基础上实现智能化应用。由于地理信息系统管理着丰富的与地球空间位置有关的地理、环境、资源、人文等属性数据,已经在包括土木工程在内的众多领域有着广泛应用。

人类随着对于自己生存的地球的认识的加深,将会越来越多地依赖于测绘遥感信息与技术。在工农业生产方面,从工程的勘测、规划、设计到施工组织、竣工验收、工程安全性监测等都要进行大量的测量工作。GPS、GIS 技术还在大型水工构筑物变形监测与仿真研究中起着重要作用。在国防建设中,军事测绘、GPS 实时定位技术正在成为大规模诸兵种协同作战的技术保障之一。GPS、GIS、RS 与计算机虚拟现实技术结合使远距离精确制导武器的威力越来越大。在空间武器、人造卫星或航天器发射中,测绘学科除了提供精确的空间坐标外,还要提供有关的空间重力场资料。在科学研究方面,随着各类航天器的发射,特别是高空间分辨率、高光谱分辨率和高时相分辨率遥感卫星的发展,使全球监测与预报研究在国民经济中的地位更加凸显。

上述有关测绘科学的各项高新技术,已在或正在土木工程各专业中得到广泛应用。在工程建设的规划设计阶段,各种比例尺地形图、数字地形图或有关 GIS,用于城镇规划设计、管理、道路选线以及总平面图设计和竖向设计等,以保障建设选址得当,规划布局科学合理;在施工阶段,特别是大型特大型工程的施工,GPS 技术和测量机器人技术已经用于高精度建(构)筑物的施工测设,并适时对施工、安装工作进行检验校正,以保证施工符合设计要求;在工程管理方面,竣工测量资料是扩建、改建和管理维护必须的资料。对于大型或重要建(构)筑物还要定期进行变形

监测,以确保其安全可靠。

土木工程测量属于普通测量学与工程测量学的范畴,有关土木类专业的学生通过本课程的学习,要求掌握测绘学的基本知识和理论,掌握土木工程中常用仪器的使用,了解大比例尺测图原理和方法,在工程施工方面,具有正确使用地形图和有关测绘成果的能力,具有进行一般施工测量的能力,了解建(构)筑物变形监测的原理和方法。

1.3 地面点位的确定

1.3.1 地球的形状与大小

地球的自然表面如图 1.1(a)所示,有高山、丘陵、平原、江、河、湖、海等,高低不平,很不规则。最高的山峰珠穆朗玛峰高出平均海面 8846m,最低的马里亚纳海沟在海平面以下 11022m。但是,相对于总的地球形体(平均半径为 6371km)而言,这种自然表面的起伏变化还是很有限的。由于地球的质量和自转运动,地球上任何一点都同时受到地心引力和地球自转运动的离心力影响,这两个力的合力称为地球重力,重力的方向线称为铅垂线。地球表面 71%是被海水所覆盖;设想一个自由静止的海水面(只有重力作用,无潮汐、风浪影响),并延伸通过大陆、岛屿形成一个包围地球的封闭曲面,这个曲面就称为水准面。水准面是一个处处与重力线方向垂直的连续曲面。重力线方向(铅垂线)是测量工作中的基准线。水准面有无数

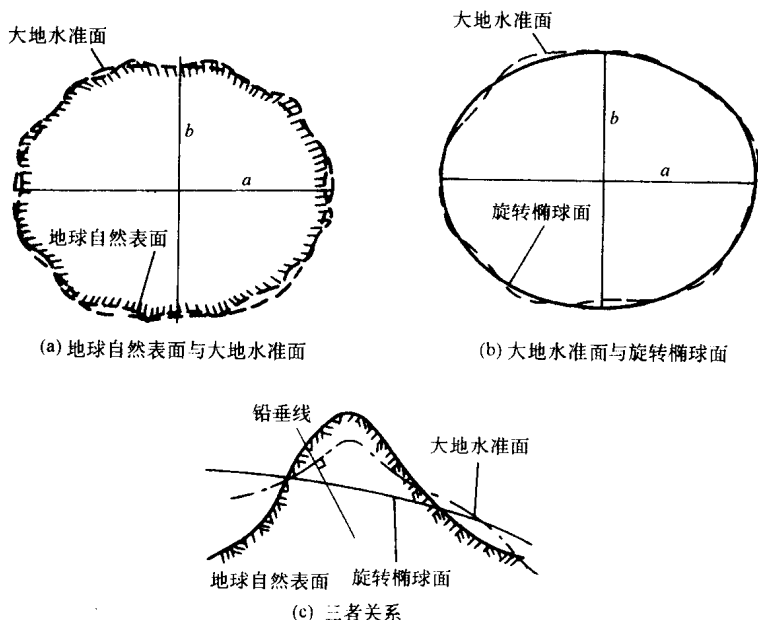


图 1.1 地球形状

多个,其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面,大地水准面包围的地球形体称为大地体。

地球内部质量分布不均匀,使铅垂线的方向产生不规则变化[图 1.1(c)]。因此,大地水准面仍然是一个复杂的曲面,人们还是无法在这个曲面上直接进行测量的数据处理。从地球动力学的角度看,地球是一个旋转的均质流体,其平衡状态是一个旋转椭球体[图 1.1(b)],大地测量也证明了地球是一个沿赤道稍稍膨起和两极略扁的椭球体。为此,通常用一个非常接近大地水准面的旋转椭球面代替地球表面。旋转椭球体的表面是一数学面,可以作为测量计算工作的基准面。其参数方程为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (1.1)$$

式中: a ——椭球体的长半轴;

b ——其短半轴。

定义椭球体的扁率 α 为

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1.2)$$

目前,我国采用的椭球参数为: $a=6\,378\,137\text{m}$, $\alpha=1:298.57$ 。

经过椭球体定位,得到我国的大地坐标系,称为国家大地坐标系。我国大地坐标的原点在陕西省泾阳县永乐镇。由于旋转椭球体的扁率很小,当测区面积不太大时,可以把地球近似当作圆球看待,其平均半径为 6371km 。

1.3.2 确定地面点位的方法

测量工作的根本任务是确定地面点的位置。众所周知,表示地面点的空间位置需要三个分量。测量工作中用该点投影到椭球面上或水平面上的位置和该点到大地水准面的铅垂距离表示,即地面点的坐标和高程。为了方便起见,通常分别是测量点在投影面上的坐标和到大地水准面的距离。

1. 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程,或称海拔。如图 1.2 所示,地面上 A 、 B 两点沿铅垂线方向到大地水准面的距离为 H_A 和 H_B ,即绝对高程。由于海水面是一个随时间发生变化的动态曲面,为此,在我国青岛海边设立海水涨落观测站,称为验潮站,长期观测海水面的升降变化,同时,建立一个与验潮站相联系的水准基点,作为高程起算点;这个水准基点称为水准原点。

目前,我国采用的“1985 国家高程基准”,是根据青岛验潮站 1952~1979 年验潮资料等确定的我国黄海平均海水面起算的高程系统。依此推算出国家水准原点高程值为 72.260m 。

在局部地区或根据工程需要,也可以假设一个水准面作为高程起算面。如图

1.2 所示,地面点到该水准面的铅垂距离称为假定高程,或者叫做相对高程。地面点 A 的绝对高程为 H_A ,相对高程为 H'_A 。两个地面点间的高程之差称为高差。地面点 A, B 之间的高差可写为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

由上式可知,两点间的高差与高程起算面无关。

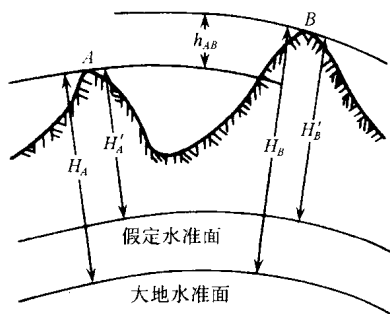


图 1.2 高程系统关系

2. 地面点在投影面上的坐标

(1) 大地坐标系。

当研究整个地球或较大区域的测量工作时,考虑到地球曲率的影响,可建立关于旋转椭球面的大地坐标系(或者建立相应大地直角坐标系)。用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在旋转椭球面上的位置。如图 1.3 所示,以 O 为中心的旋转椭球体,其旋转轴与地球自转轴平行,其起始子午面 $NGDS$ 与英国格林尼治天文台平均子午面平行。起始子午面与旋转椭球体的截线称为首子午线。设地面一点在旋转椭球面上的投影为 P ,则该点的大地经度 L 就是过 P 点的子午面 $NPAS$ 与起始子午面 $NGDS$ 所构成的二面角。该点的大地纬度为过 P 点的法线 PK 与赤道面的夹角。我国目前采用的是 1980 年国家大地坐标系。

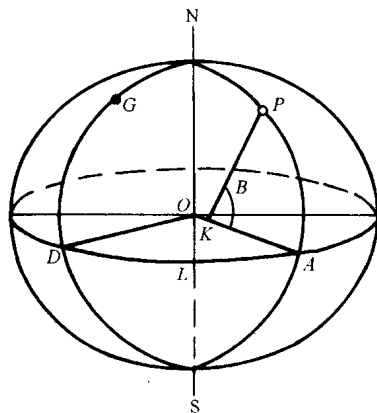


图 1.3 大地坐标系

(2)高斯平面直角坐标系。

大地坐标系只能用来确定地面点在旋转椭球面上的位置,而大比例尺地形图的测绘是相对于水平面而言,其测量计算也是在平面上进行。为此,有必要将旋转椭球面上的点位或图形投影到一平面直角坐标系,这种投影称为地图投影。地图投影的方法很多,我国采用的是高斯-克吕格投影方法(简称高斯投影)。

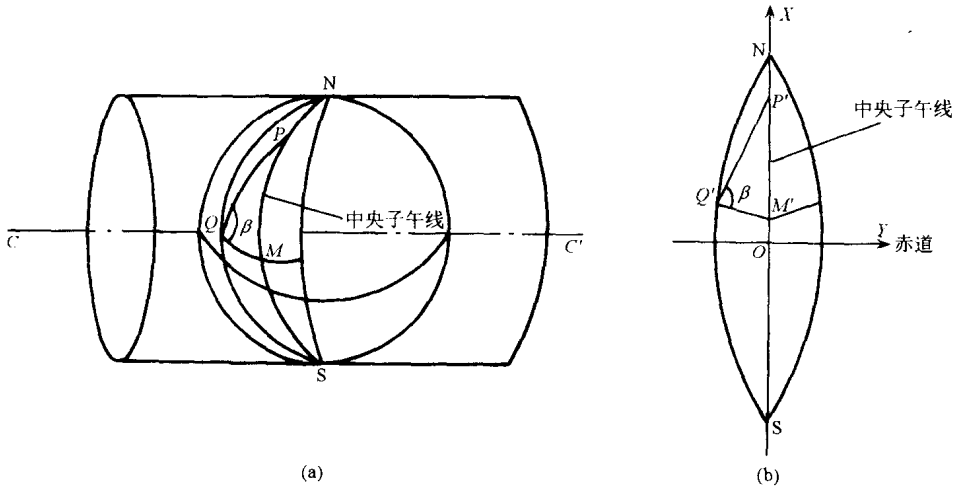


图 1.4 高斯-克吕格投影

如图 1.4 所示,高斯投影是设想用一个椭圆柱面横着套在地球椭球外面,使圆柱的中心轴线 CC' 通过地球椭球中心并与地球自转轴垂直,椭圆柱面与地球椭球上一子午线相切。在保证投影前后角度相等的条件下,将切线两侧一定经度差范围内地球表面投影到该椭圆柱面上,然后沿椭圆柱面上过南北极的母线剪开,将其展开成为平面,即高斯投影平面。在高斯平面上原切线(即子午线)是一条直线且长度不变形,称该子午线为中央子午线。离开中央子午线越远,其长度投影变形越大。为了控制投影变形的程度,通常按经差 6° 分带,即从地球椭球的首子午线(通过英国格林尼治天文台的首子午线)起,将旋转椭球按经差 6° 由西向东划分为 60 个投影带。按每带进行投影,称为 6° 投影带。用数字 1、2、3、...、60 表示投影带的号数。则第 1 带的范围自经度 0° 到经度 6° ,该投影带的中央子午线经度为 3° 。

任意带的中央子午线经度 L_0 按下式计算:

$$L_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1.3)$$

式中 N 为 6° 投影带的带号。

当测绘大比例尺地形图时,要求投影变形更小,则可将旋转椭球按经差 3° ,从东经 $1^\circ 30'$ 起,由西向东划分为 120 个带,称为 3° 带,如图 1.5 所示。每带中央子午线的经度为

$$L_0 = 3^\circ n \quad (1.4)$$

式中 n 为 3° 带的号数。

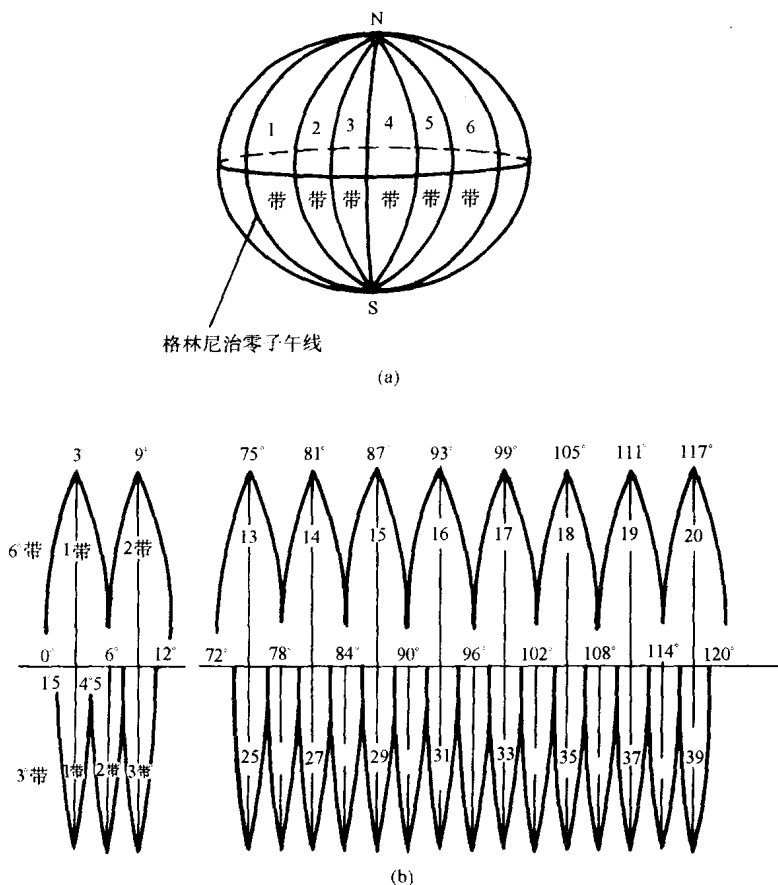


图 1.5 3°/6°分带方法

将各带独立的投影到高斯平面上,以该带中央子午线作为纵轴 X ;由于高斯平面上赤道的投影线是一条与中央子午线相垂直的直线,可定义为横轴 Y 。两直线的交点为坐标原点 O ,由此建立每带独立的高斯平面直角坐标系。我国位于北半球, X 坐标总为正值,而 Y 坐标有正有负。为避免横坐标出现负值,将各带坐标纵轴向西平移 500km。设 A 点 $x=3380\ 240.85\text{m}$, $y=-286\ 250.36\text{m}$,则横坐标为 $y=(-286\ 250.36)+500\ 000=213\ 749.64\text{m}$ 。前者称为自然值,后者称为统一值。因为不同投影带内的点可能会有相同坐标值,也为了区分其所属投影带,规定在横坐标前冠以带号。例如, A 点位于第 18 带,则横坐标为 $y=18\ 213\ 749.64\text{m}$,如图 1.6 所示。

(3) 独立平面直角坐标系。

当测量区域较小时,可以把该区域内球面沿铅垂线方向投影到水平面上,用平面直角坐标来表示它的投影位置。为使测区内各点的坐标均为正值,规定以测区的西南角坐标为原点 O ,南北方向为纵轴(X 轴),向北为正,向南为负;以东西方向为

横轴(Y轴),向东为正,向西为负。这与数学上的规定有所不同,测量中取南北方向为纵轴,目的是为了定向方便。为了将数学中的有关公式直接应用到测量计算中,在平面直角坐标系中将坐标系的象限定义为顺时针方向编号,如图 1.7 所示。

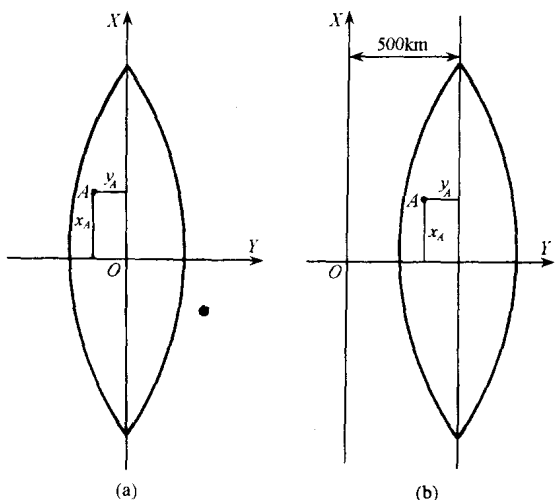


图 1.6 高斯平面直角坐标系

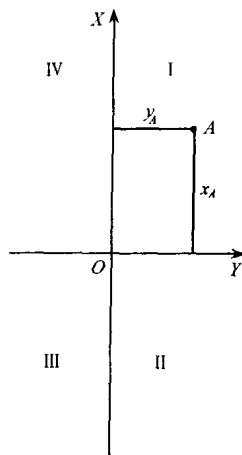


图 1.7 平面直角坐标系

3. 地面点的空间直角坐标

随着空间技术的发展, GPS 卫星测量应用领域非常广泛,特别是在大型土木工程中应用日益增多。GPS 卫星测量获得的是地心空间三维直角坐标,属于 WGS-84 世界大地坐标系 (World Geodetic System, 1984), 由美国国防部建立并公布。WGS-84 世界大地坐标系的几何定义是: 原点在地球质心, Z 轴指向国际时间局 BIH 1984.0 (Bureau International de l'Heure) 定义的协议地球极 (CTP; Conventional Terrestrial Pole) 方向, X 轴指向 BIH 1984.0 的零子午面和 CTP 赤道面的交点, Y 轴与 Z、X 轴构成右手坐标系, 如图 1.8 所示。

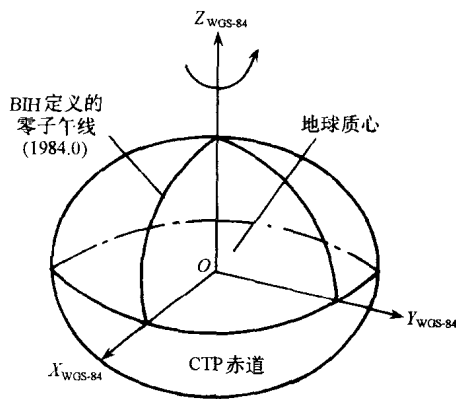


图 1.8 空间直角坐标系

由于地球自转轴在地球内部随着时间而发生位置变化,也称为极移现象。国际时间局(BIH)定期向外公布地极的瞬间位置。WGS-84 世界大地坐标系就是以国际时间局 1984 年首次公布的瞬时地极(BIH 1984.0)作为基准建立的坐标系统。

我国的 1980 年国家大地坐标系、城市坐标系、土木工程中采用的独立平面直角坐标系与 WGS-84 世界大地坐标系之间存在相互转换关系。

1.4 水平面代替水准面的限度

水准面是一不规则曲面,要在这样的曲面上进行测量计算和工程设计,是很不方便的。但是,用水平面代替水准面,必然会在测量和制图工作中带来误差,并且范围越大,这种影响会越大。为简化测量和绘图工作,并顾及到测量与计算本身的误差,选择在一定范围内用水平面来代替水准面,以保证测绘和测设有足够的精度。

1.4.1 对距离的影响

如图 1.9 所示, A 、 B 是地面上的两点,它们在大地水准面上的投影是 a 、 b ,弧长为 S 。在水平面上的投影是 a' 和 b' ,其距离为 D 。现分析由此产生的影响:

$$S = R \cdot \beta \quad D = R \cdot \operatorname{tg}\beta$$

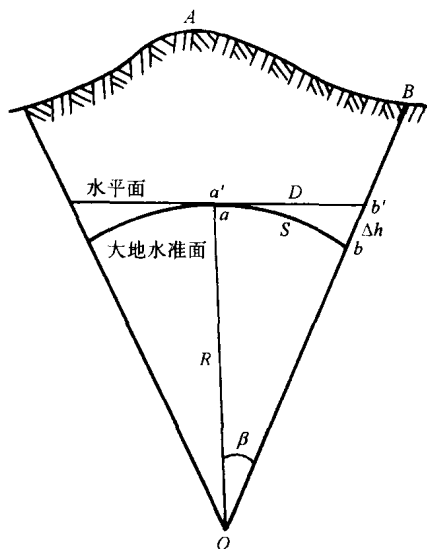


图 1.9

近似地将大地水准面视为半径为 R 的球面,用水平面代替水准面所产生的距离差异

$$\Delta D = D - S = R \cdot (\operatorname{tg}\beta - \beta) \quad (1.5)$$

将式中 $\operatorname{tg}\beta$ 按泰勒级数展开,即

$$\operatorname{tg}\beta = \beta + \frac{1}{3}\beta^3 + \frac{2}{15}\beta^5 + \dots$$

略去高次项,则有

$$\Delta D = R \cdot \left(\beta + \frac{1}{3}\beta^3 - \beta \right) = R \cdot \frac{1}{3}\beta^3 \quad (1.6)$$