

高等学校土木建筑专业
|应用型本科系列规划教材|

土木工程 测量学

胡伍生 © 主编

T U M U G O N G C H E N G
C E L I A N G X U E



东南大学出版社
Southeast University Press

高等学校土木建筑专业应用型本科系列规划教材

土木工程测量学

主 编 胡伍生

副主编 蒋 辉 范国雄 胡 阳

参 编 钱声源 杨 生 程鹏环

东南大学出版社

·南京·

高等学校土木建筑专业应用型本科系列 规划教材编审委员会

名誉主任 吕志涛
主任 蓝宗建
副主任 (以拼音为序)
陈蓓 陈斌 方达宪 汤鸿
夏军武 肖鹏 宗兰 张三柱
秘书长 戴坚敏
委员 (以拼音为序)
戴望炎 董祥 郭贯成 胡伍生
黄炳生 黄春霞 贾仁甫 李果
李幽铮 廖东斌 刘桐 刘殿华
刘子彤 龙帮云 吕恒林 陶阳
单法明 王照宇 徐德良 殷为民
于习法 余丽武 喻骁 张靖静
张敏莉 张伟郁 赵玲 赵冰华
赵才其 赵庆华 郑廷银 周信
周桂云

总前言

国家颁布的《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》指出,要“适应国家和区域经济社会发展需要,不断优化高等教育结构,重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模”;“学生适应社会和就业创业能力不强,创新型、实用型、复合型人才紧缺”。为了更好地适应我国高等教育的改革和发展,满足高等学校对应用型人才的培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等的要求,东南大学出版社携手国内部分高等院校组建土木建筑专业应用型本科系列规划教材编审委员会。大家认为,目前适用于应用型人才培养的优秀教材还较少,大部分国家级教材对于培养应用型人才的院校来说起点偏高,难度偏大,内容偏多,且结合工程实践的内容往往偏少。因此,组织一批学术水平较高、实践能力较强、培养应用型人才的教学经验丰富的教师,编写出一套适用于应用型人才培养的教材是十分必要的,这将有力地促进应用型本科教学质量的提高。

经编审委员会商讨,对教材的编写达成如下共识:

一、体例要新颖活泼。学习和借鉴优秀教材特别是国外精品教材的写作思路、写作方法以及章节安排。摒弃传统工科教材知识点设置按部就班、理论讲解枯燥无味的弊端,以清新活泼的风格抓住学生的兴趣点,让教材为学生所用,使学生对教材不会产生畏难情绪。

二、人文知识与科技知识渗透。在教材编写中参考一些人文历史和科技知识,进行一些浅显易懂的类比,使教材更具可读性,改变工科教材艰深古板的面貌。

三、以学生为本。在教材编写过程中,“注重学思结合,注重知行统一,注重因材施教”,充分考虑大学生人才就业市场的发展变化,努力站在学生的角度思考问题,考虑学生对教材的感受,考虑学生的学习动力,力求做到教材贴合学生实际,受教师和学生欢迎。同时,考虑到学生考取相关资格证书的需要,教材中还结合各类职业资格资格考试编写了相关习题。

四、理论讲解要简明扼要,文例突出应用。在编写过程中,紧扣“应用”两字创特色,紧紧围绕着应用型人才培养的主题,避免一些高深的理论及公式的推导,大力提倡白话文教材,文字表述清晰明了、一目了然,便于学生理解、接受,能激起学生的学习兴趣,提高学习效率。

五、突出先进性、现实性、实用性、操作性。对于知识更新较快的学科,力求将最新最前沿的知识写进教材,并且对未来发展趋势用阅读材料的方式介绍给学生。同时,努力将教学改革最新成果体现在教材中,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度的基础知识与理论体系覆盖下,着重讲解应用型人才培养所需的知识点和关键点,突出实用性和可操作性。

六、强化案例式教学。在编写过程中,有机融入最新的实例资料以及操作性较强的案例素材,并对这些素材资料进行有效的案例分析,提高教材的可读性和实用性,为教师案例教学提供便利。

七、重视实践环节。编写中力求优化知识结构,丰富社会实践,强化能力培养,着力提高学生的学习能力、实践能力、创新能力,注重实践操作的训练,通过实际训练加深对理论知识的理解。在实用性和技巧性强的章节中,设计相关的实践操作案例和练习题。

在教材编写过程中,由于编写者的水平和知识局限,难免存在缺陷与不足,恳请各位读者给予批评斧正,以便教材编审委员会重新审定,再版时进一步提升教材的质量。本套教材以“应用型”定位为出发点,适用于高等院校土木建筑、工程管理等相关专业,高校独立学院、民办院校以及成人教育和网络教育均可使用,也可作为相关专业人士的参考资料。

高等学校土木建筑专业应用型
本科系列规划教材编审委员会
2010年8月

前 言

本书是“高等学校土木建筑专业应用型本科系列规划教材”之一。本书根据高等学校土木建筑类专业测量学教学大纲编写。全书共 14 章,分为四大部分。第一部分为第 1~4 章,介绍了测量学的基本知识,主要介绍了测量的三项基本工作:测高、测角和测距;第二部分为第 5~6 章,主要介绍了目前正在工程中广泛应用的测绘先进仪器全站仪和测绘先进技术“全球定位系统”等;第三部分为第 7~10 章,介绍了测量误差基本理论、小区域控制测量及大比例尺地形图的测图、识图和用图;第四部分为第 11~14 章,是施工测量部分,详细介绍了建筑、道路、桥梁、隧道与水利施工测量等内容,各专业可根据需要选用。全书对测量理论力求简单明了,主要以具体实例对测量理论加以说明。

本书按照国家最新测量规范编写,力求做到简明、扼要、实用,并较多地融入当前的测绘新技术。每章开头均有本章知识要点,每章结尾附有习题与思考题,目的是为学生学习提供方便。

本书由主编胡伍生统稿,由副主编蒋辉、范国雄和胡阳协助统稿。参加本书编写工作的有东南大学胡伍生(第 1、13 章、附录 B)、钱声源(第 2 章、附录 A)、范国雄(第 5、12 章),金陵科技学院胡阳(第 3、11 章),盐城工学院程鹏环(第 4、7 章),扬州大学杨生(第 6、14 章),中国矿业大学姚丽慧(第 8 章),南京工业大学蒋辉(第 9、10 章)。

尽管我们尽了很大的努力,但书中还可能存在缺点和错误。本书编者希望使用本教材的教师和读者多提宝贵意见。

编 者

2010 年 10 月于南京

电子信箱:wusheng.hu@163.com

目 录

1 绪论	1
1.1 测量学简介	1
1.2 地球的形状和大小	2
1.3 地面点位的确定	3
1.4 地球曲率对测量工作的影响	7
1.5 测量工作概述	9
习题与思考题	12
2 水准测量	13
2.1 水准测量原理	13
2.2 水准仪及其使用	15
2.3 普通水准测量	20
2.4 微倾式水准仪的检验与校正	25
2.5 水准测量误差分析及注意事项	28
2.6 自动安平水准仪	30
2.7 精密水准仪简介	32
习题与思考题	33
3 角度测量	35
3.1 角度测量原理	35
3.2 光学经纬仪及其使用	36
3.3 水平角测量	41
3.4 竖直角测量	44
3.5 DJ ₆ 型光学经纬仪的检验与校正	48
3.6 角度测量误差分析及注意事项	52
3.7 电子经纬仪的测角原理	55
习题与思考题	58
4 距离测量与直线定向	60
4.1 钢尺量距	60
4.2 视距测量	65
4.3 光电测距	68

4.4	直线定向	73
4.5	陀螺经纬仪简介	74
	习题与思考题	76
5	全站仪及其使用	77
5.1	全站仪概述	77
5.2	GTS-332 全站仪的基本操作	80
5.3	GTS-332 全站仪的存储管理	88
5.4	GTS-332 全站仪数据采集与点位放样	93
	习题与思考题	97
6	全球定位系统的定位技术	98
6.1	GPS 全球定位系统概述	98
6.2	GPS 定位原理及实施	103
6.3	GPS RTK 定位原理及应用	112
	习题与思考题	116
7	测量误差及数据处理的基本知识	117
7.1	测量误差概述	117
7.2	评定精度的指标	121
7.3	误差传播定律及其应用	123
7.4	等精度观测值的精度评定	127
7.5	非等精度观测值的精度评定	130
	习题与思考题	134
8	小区域控制测量	136
8.1	控制测量概述	136
8.2	坐标方位角的推算与坐标计算	138
8.3	导线测量	141
8.4	交会测量	150
8.5	三、四等水准测量	157
8.6	光电测距三角高程测量	159
	习题与思考题	163
9	地形图测绘	165
9.1	地形图的基本知识	165
9.2	地形图传统测绘方法	175
9.3	数字化测图	183

习题与思考题	190
10 地形图的应用	191
10.1 地形图应用的基本内容	191
10.2 数字化地形图的应用	196
习题与思考题	200
11 施工测量的基本知识	203
11.1 施工测量概述	203
11.2 测设的基本内容和方法	205
11.3 点的平面位置测设方法	208
习题与思考题	211
12 建筑施工测量	212
12.1 施工控制测量	212
12.2 民用建筑施工测量	216
12.3 高层建筑施工测量	221
12.4 工业厂房施工测量	226
12.5 建筑变形测量	229
12.6 竣工总平面图的编绘与实测	237
习题与思考题	239
13 道路施工测量	240
13.1 道路工程测量概述	240
13.2 道路中线测量	240
13.3 圆曲线测设	243
13.4 缓和曲线测设	247
13.5 纵横断面测量	254
13.6 道路边桩与边坡的放样	259
13.7 竖曲线的测设	262
习题与思考题	264
14 桥隧及水利施工测量	265
14.1 桥梁施工测量	265
14.2 隧道施工测量	275
14.3 水利施工测量	283
习题与思考题	291

附录A 测量实习指导	292
A.1 水准仪练习	292
A.2 普通水准测量	294
A.3 经纬仪练习	297
A.4 水平角观测	299
A.5 竖直角观测	301
A.6 全站仪练习	302
A.7 全站仪导线测量	304
A.8 四等水准测量	306
A.9 全站仪测记法数字测图	309
A.10 GPS接收机使用练习	310
附录B 测量常用计量单位	313
参考文献	315

1 绪论

【本章知识要点】 测量学的定义;测定与测设的概念;地球椭球参数;高斯平面直角坐标系;绝对高程;地球曲率对距离的影响;地球曲率对高差的影响;测量工作的两个基本原则;测量的三项基本工作。

1.1 测量学简介

1) 测量学的定义

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。它的内容包括两部分,即测定和测设。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成果,将地球表面的地形缩绘成地形图,供经济建设、国防建设、规划设计及科学研究使用。测设(放样)是指用一定的测量方法,按要求的精度,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。

2) 测量学的发展概况

测量学是一门历史悠久的科学,早在几千年前,由于当时社会生产发展的需要,中国、埃及、希腊等国家的劳动人民就开始创造与运用测量工具进行测量。我国在古代就发明了指南针、浑天仪等测量仪器,为天文、航海及测绘地图作出了重要的贡献。随着人类社会需求和近代科学技术的发展,测绘技术已由常规的大地测量发展到空间卫星大地测量,由航空摄影测量发展到航天遥感技术的应用;测量对象由地球表面扩展到空间星球,由静态发展到动态;测量仪器已广泛趋向精密化、电子化和自动化。从20世纪50年代起,我国的测绘事业进一步得到了蓬勃发展,在天文大地测量、人造卫星大地测量、航空摄影与遥感、精密工程测量、近代平差计算、测量仪器研制及测绘人才培养等方面,都取得了令人鼓舞的成就。我国的测绘科学技术已居世界先进行列。

3) 测量学的分类

测量学按其研究的范围和对象的不同,可分为大地测量学、普通测量学、摄影测量学、海洋测量学、工程测量学及地图制图学等。

4) 土木工程测量概述

本教材主要介绍土木工程在各个阶段所进行的测绘工作。它与普通测量学、工程测量学等学科都有着密切的联系,主要有绘图、用图、放样和变形观测等项内容。

在土木工程施工测量中,测量技术的应用比较广泛。例如,铁路、公路在建造之前,为了确定一条最经济、最合理的路线,事先必须进行该地带的测量工作,由测量的成果绘制带状地形图,在地形图上进行线路设计,然后将设计路线的位置标定在地面上,以便进行施工;在

路线跨越河流时,必须建造桥梁,在造桥之前,要绘制河流两岸的地形图,以及测定河流的水位、流速、流量和桥梁轴线长度等,为桥梁设计提供必要的资料,最后将设计的桥台、桥墩的位置用测量的方法在实地标定;路线穿过山地,需要开挖隧道,开挖之前,也必须在地形图上确定隧道的位置,并由测量数据来计算隧道的长度和方向,在隧道施工期间,通常从隧道两端开挖,这就需要根据测量的成果指示开挖方向等,使之符合设计的要求。又例如,城市规划、给水排水、煤气管道等市政工程的建设,工业厂房和高层建筑的建造,在设计阶段,要测绘各种比例尺的地形图,供结构物的平面及竖向设计之用;在施工阶段,要将设计的结构物的平面位置和高程在实地标定出来,作为施工的依据;待工程完工后,还要测绘竣工图,供日后扩建、改建和维修之用,对某些重要的建筑物,在其建成以后,还需要进行变形观测,以保证建筑物的安全使用。

在房地产的开发、管理和经营中,房地产测绘起着重要的作用。地籍图和房产图以及其他测量资料准确地提供了土地的行政和权属界址,每个权属单元(宗地)的位置、界线和面积,每幢房屋与每层房屋的几何尺寸和建筑面积,经土地管理和房屋管理部门确认后具有法律效力,可以保护土地使用权人和房屋所有权人的合法权益,可为合理开发、利用和管理土地和房产提供可靠的图纸和数据资料,并为国家对房地产的合理税收提供依据。

5) 土木工程测量的基本要求

本教材的主要目的是让土木工程技术人员学习和掌握下列内容:

(1) 地形图测绘——运用测量学的理论、方法和工具,将小范围内地面上的地物和地貌测绘成地形图、地籍图等,这项任务简称为测图。

(2) 地形图应用——为工程建设的规划设计,从地形图中获取所需要的资料,例如点的坐标和高程、两点间的距离、地块的面积、地面的坡度、地形的断面和进行地形分析等,这项任务简称为图的应用。

(3) 施工放样——把图上设计的工程结构物的位置在实地标定,作为施工的依据,这项任务简称为测设或放样。

1.2 地球的形状和大小

1) 地球概况

测绘工作是在地球的自然表面上进行的,而地球自然表面是极不平坦和不规则的,其中有高达 8 844.43 m 的珠穆朗玛峰,也有深至 11 022 m 的马里亚纳海沟,尽管它们高低起伏悬殊,但与庞大的地球比较,还是可以忽略不计的。

下面介绍一下测量学中最重要概念——大地水准面。地球表面海洋面积约占 71%,陆地面积仅占 29%。因此,人们设想以一个静止不动的海水面延伸穿越陆地,形成一个闭合的曲面包围整个地球,这个闭合的曲面称为水准面。由于海水面在涨落变化,水准面可有无数个,其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面,它是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体,称为大地体,如图 1-1(a)所示。

水准面是受地球重力影响而形成的,它的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。由于地球内部质量分布不均匀,重力也受影响,故引起了铅垂线

方向的变动,致使大地水准面成为一个有微小起伏的复杂曲面。如果将地球表面的图形投影到这个复杂曲面上,对于地形制图或测量计算工作都是非常困难的。为此,人们经过几个世纪的观测和推算,选用一个既非常接近大地体又能用数学公式表示的规则几何形状来代表地球的实际形体,这个几何形体是由一个椭圆 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而成的形体,称为地球椭球体或旋转椭球体,如图 1-1(b)所示。

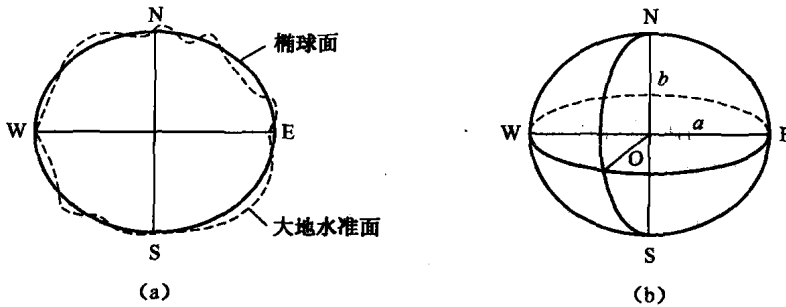


图 1-1 大地水准面与地球椭球体

2) 地球椭球参数

决定地球椭球体形状和大小的参数为椭圆的长半径 a 、短半径 b 及扁率 f , 其关系式为:

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

我国目前采用的参数数据为: $a = 6\,378\,140\text{ m}$, $b = 6\,356\,755\text{ m}$, $f = 1 : 298.257$, 并以陕西省西安市泾阳县永乐镇某点为大地原点, 进行大地定位, 由此建立了新的全国统一坐标系, 即目前使用的“1980 西安坐标系”。

由于地球椭球体的扁率 f 很小, 当测区面积不大时, 可以把地球当作圆球来看待, 其圆球半径为:

$$R = \frac{1}{3}(2a + b) \approx 6\,371\text{ km}$$

1.3 地面点位的确定

测量工作的根本任务是确定地面点位。要确定某地面点的空间位置, 通常是求出该点相对于某基准面和基准线的三维坐标或二维坐标。下面介绍几种用以确定地面点位的坐标系。

1.3.1 地理坐标系

地理坐标系属球面坐标系, 根据不同的投影面, 又分为天文地理坐标系和大地地理坐标系(见图 1-2)。

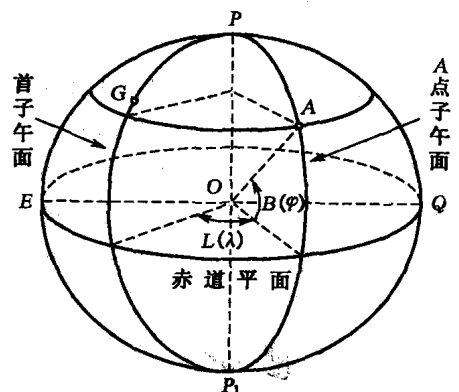


图 1-2 大地地理坐标系

1) 天文地理坐标系

天文地理坐标又称天文坐标,用天文经度 λ 和天文纬度 φ 来表示地面点投影在大地水准面上的位置。A 点的经度 λ 是 A 点的子午面与首子午面所组成的二面角。其计算方法为自首子午线向东或向西计算,数值在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之间,向东为东经,向西为西经。A 点的纬度 φ 是过 A 点的铅垂线与赤道平面之间的交角,其计算方法为自赤道起向北或向南计算,数值在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间,在赤道以北为北纬,在赤道以南为南纬。天文地理坐标可以在地面点上用天文测量的方法测定。

2) 大地地理坐标系

大地地理坐标系用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点投影在地球椭球面上的位置。确定球面坐标 (L, B) 所依据的基准线为椭球面的法线,基准面为包含法线及南北极的大地子午面。大地经纬度是根据一个起始的大地点(称为大地原点,该点的大地经纬度与天文经纬度相一致)的大地坐标,按大地测量所得数据推算而得。“大地高 H ”是沿地面点的椭球面法线计算,点位在椭球面之上为正,点位在椭球面之下为负。大地坐标 (L, B, H) 可用于确定地面点在大地坐标系中的空间位置。

1.3.2 地心坐标系

地心坐标系属空间三维直角坐标系,用于卫星大地测量。由于人造地球卫星围绕地球运动,地心坐标系取地球质心(地球的质量中心)为坐标系原点, x 、 y 轴在地球赤道平面内,首子午面与赤道平面的交线为 x 轴, z 轴与地球自转轴相重合,如图 1-3 所示。地面点 A 的空间位置用三维直角坐标 x_A 、 y_A 、 z_A 表示。全球定位系统(GPS)采用的就是地心坐标系。地心坐标系和大地坐标系可以通过一定的数学公式进行换算。

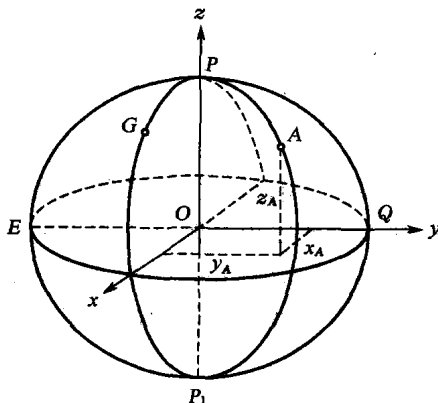


图 1-3 地心坐标系

1.3.3 平面直角坐标系

1) 高斯平面直角坐标

地理坐标系只能确定地面点在大地水准面或地球椭球面上的位置,不能直接用来测图。测量上的计算最好是在平面上进行,而地球椭球面是一个曲面,不能简单地展开成平面,那么如何建立一个平面直角坐标系呢?我国是采用高斯投影来实现的。

高斯投影首先是将地球按经线分为若干带,称为投影带。它从首子午线(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(L_0),也可由东经 $1^\circ 30'$ 开始,自西向东每隔 3° 划为一带,其带号用 n 表示,如图 1-4 所示。我国国土所属范围大约为 6° 带第 13 号带至第 23 号带,即带号 $N = 13 \sim 23$ 。相应 3° 带大约为第 24 号带至第 46 号带,即带号 $n = 24 \sim 46$ 。 6° 带中央子午线经度 $L_0 = 6N - 3$, 3° 带中央子午线经度 $L'_0 = 3n$ 。

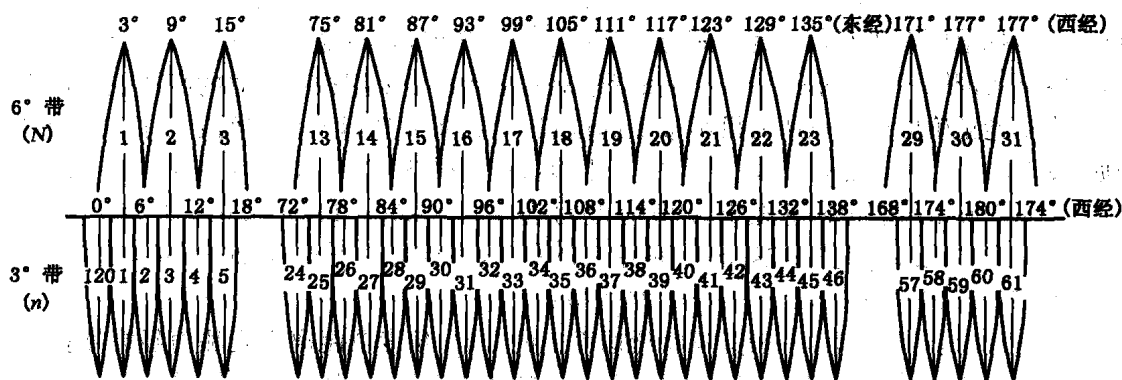


图 1-4 投影分带与 6°(3°)带

设想一个横圆柱体套在椭球外面,使横圆柱的轴心通过椭球的中心,并与椭球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)的椭球面上的点、线投影到横圆柱面上,如图 1-5 所示。再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。规定中央子午线的投影为 x 轴,赤道的投影为 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。在图 1-6(a)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 、 y 来表示。

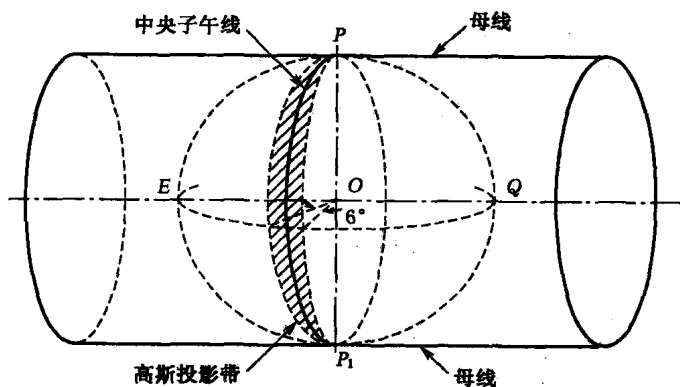


图 1-5 高斯平面直角坐标的投影

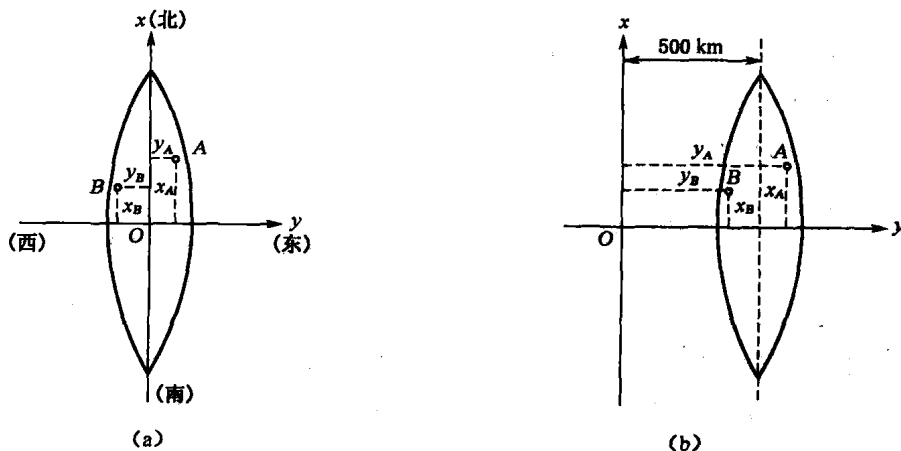


图 1-6 高斯平面直角坐标

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 500 km,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上的位置,规定在横坐标 y 值前面冠以投影带带号。例如,图 1-6(a)中 B 点位于高斯投影 6° 带,第 20 号带内($N=20$),其真正横坐标 $y_B = -113\,424.690\text{ m}$,按照上述规定 y 值应改写为 $Y_B = 20(-113\,424.690 + 500\,000) = 20\,386\,575.310$ 。反之,人们从这个 Y_B 值中可以知道,该点是位于 6° 第 20 号带,其真正坐标 $y_B = 386\,575.310 - 500\,000 = -113\,424.690\text{ m}$ 。

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中的坐标。

2) 独立平面直角坐标

当测量的范围较小时,可以把该测区的地表一小块球面当作平面看待。将坐标原点选在测区西南角使坐标均为正值,以该地区中心的子午线为 x 轴方向来建立该地区的独立平面直角坐标系。

3) 建筑坐标系

在房屋建筑或其他工程工地,为了对其平面位置进行施工放样的方便,使所采用的平面直角坐标系与建筑设计的轴线相平行或垂直,对于左右、前后对称的建筑物,甚至可以把坐标原点设置于其对称中心,以简化计算。

1.3.4 高程系统

地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程(简称高程,又称为海拔)。图 1-7 中 A 、 B 两点的绝对高程分别为 H_A 、 H_B 。

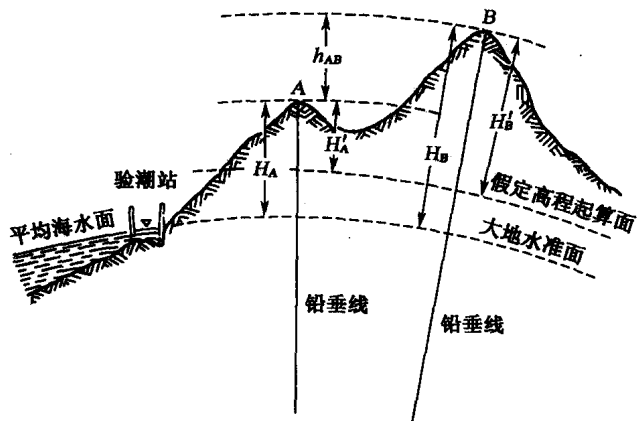


图 1-7 高程和高差

由于海水面受潮汐、风浪等影响,它的高低时刻在变化。通常是在海边设立验潮站,进行长期观测,求得海水面的平均高度作为高程零点,也就是设大地水准面通过该点。在大地水准面上,绝对高程为零。大地水准面为高程的起算面。

在局部地区,有时需要假定一个高程起算面(水准面),地面点到该水准面的垂直距离称为假定高程或相对高程。如图 1-7 所示, A 、 B 点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。建筑工地常以建筑物地面层的设计地坪为高程零点,其他部位的高程均相对于地坪而言,称为标高。标高也是属于相对高程。

地面上两点间绝对高程或相对高程之差称为高差,用 h 表示。如图 1-7 所示, A 、 B 两点间的高差为:

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

式中： h_{AB} 有正有负，下标 AB 表示 A 点至 B 点的高差。上式也表明两点间高差与高程起算面无关。

1.4 地球曲率对测量工作的影响

测量工作的基准面——大地水准面是一个极其复杂的曲面，测量数据要归化计算（投影）到该表面上是很困难的，因此，我们已将其简化为圆球面。

在普通测量范围内，将地面点投影到该圆球面上，然后再投影到平面图纸上描绘，显然这还是很复杂的工作。在实际测量工作中，在一定的精度要求和测量面积不大的情况下，往往以水平面代替水准面，即把较小一部分地球表面上的点投影到水平面上来决定其位置，这样可以简化计算和绘图工作。

从理论上讲，将极小部分的水准面（曲面）当作水平面也是要产生变形的，必然对测量观测值（如距离、高差等）带来影响。当上述这种影响较小，不超过规定的误差范围时，认为用水平面代替水准面是可以的，而且是合理的。本节主要讨论用水平面代替水准面对距离和高差的影响（或称地球曲率的影响），以便给出水平面代替水准面的限度。

1) 地球曲率对距离的影响

如图 1-8 所示，设球面（水准面） P 与水平面 P' 在 A 点相切， A 、 B 两点在球面上弧长为 D ，在水平面上的距离（水平距离）为 D' ，即：

$$\begin{aligned} D &= R \cdot \theta \\ D' &= R \cdot \tan \theta \end{aligned}$$

式中： R ——球面 P 的半径；

θ ——弧长 D 所对角度。

以水平面上距离 D' 代替球面上弧长 D 所产生的误差为 ΔD ，则：

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-2)$$

将式(1-2)中 $\tan \theta$ 按级数展开，并略去高次项，得：

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$$

将上式代入式(1-2)，并顾及 $\theta = \frac{D}{R}$ ，整理可得：

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-3)$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \quad (1-4)$$

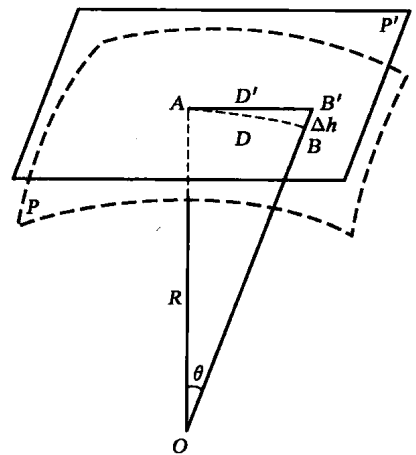


图 1-8 地球曲率的影响