

土木工程系列教材

全国高等学校测绘类专业教学指导委员会推荐教材

土 木 工 程 测 量

主编：刘玉珠

参编：(按姓氏笔画排序)

邓 晖 文鸿雁 许国辉

张文基 李伟文 易又庆

金向农 郭祥瑞 覃 辉

华南理工大学出版社

·广州·

内 容 简 介

本书根据土木工程专业指导委员会 1999 年 10 月制定的“测量学”教学大纲编写。

全书分 13 章,在第 1 至第 4 章中介绍测量学的基本知识、测量仪器的构造和使用技术;第 5 章介绍测量误差基本知识;第 6 章介绍控制测量;第 7、第 8 章介绍大比例尺地形图的测绘方法和应用;第 9 章介绍地籍测量;第 10 至第 12 章分别介绍建筑工程、线路工程、桥梁隧道工程等施工中的测量工作;第 13 章介绍摄影测量与遥感的基本知识。附录包括测量实验与实习和土木工程测量专业名词汉英对照表两部分。

本书可作为高等院校土木类各专业“测量学”课程的教材,也可供土木工程技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/刘玉珠主编. —2 版. —广州:华南理工大学出版社,2007. 7
(土木工程系列教材)

ISBN 978-7-5623-2618-2

I. 土... II. 刘... 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(2007)第 104694 号

总 发 行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼,邮编 510640)

营销部电话:020-87113487 87110964 87111048(传真)

E-mail: scutc13@scut.edu.cn

http://www.scutpress.com.cn

责任编辑:王魁葵

印 刷 者:湛江日报社印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:18.25 字数:456 千

版 次:2007 年 7 月第 2 版 2007 年 7 月第 7 次印刷

印 数:15 001~17 000 册

定 价:28.00 元

版权所有 盗版必究

前 言

本书是根据国家专业指导委员会 1999 年 10 月制定的“测量学”课程教学大纲编写的高等院校土木类测量学（48～70 学时）教材，适用于建筑工程、建筑学、城市规划、城镇建设、交通土建工程、地下工程、给水排水、土地管理、房地产经营与管理等专业，亦可供土木工程技术人员参考阅读。

为顺应传统测量学向现代测量学转变的潮流，满足大土木各专业拓宽知识面所需，本教材尽量建立实用测量知识与新技术相结合的知识框架，精选测绘经典内容，删去原土建教材中陈旧、落后、脱离实际的部分，增加了测绘领域的新仪器、新方法、新技术等方面的内容，如电子水准仪、全站仪、激光仪器、GPS 和数字地面模型及摄影测量与遥感等，此外，还补充了地籍测量和路桥、隧道测量。

本教材是华南理工大学、广东工业大学、广州大学、深圳大学、五邑大学、佛山科学技术学院、桂林工学院等七所大学十位老师精诚团结、通力合作的结晶。编者凭借多年的教学体会、驾驭测绘新科技的能力和较丰富的工程实践经验，汲取先进的测绘科研成果，参阅借鉴国内外兄弟院校有关教材和参考书，力求编写出一本适合建设发展及教学改革所需、具有华南地区特色和 21 世纪先进性和适用性的土木类专业用的测量学教材。

本书由刘玉珠主编，具体分工如下：第 1、4 章和附录 II：覃辉；第 2、7 章：易又庆；第 3 章：许国辉；第 5 章和第 8 章第 4 节：邓晖；第 6 章：金向农；第 8 章：李伟文；第 9 章和附录 I：郭祥瑞；第 10 章：刘玉珠；第 11、12 章：张文基；第 13 章：文鸿雁。

广东工业大学彭先进教授欣然应邀担任本教材的主审，武汉测绘科技大学吴栋材教授、华南理工大学建筑设计研究院王修远高级工程师复审，他们对教材的编写提出了许多宝贵的意见，在此，诚致深深的谢意。

本教材经全国高等学校测绘类专业教学指导委员会组织专家评审后推荐出版。

谨请使用本教材的师生与读者批评指正，期待着此教材在教学改革实践中日臻完善。

编 者

2000 年 9 月

第二版前言

本教材从 2001 年初版以来，受到广大师生的一致欢迎，至今已 6 次重印。

现以开阔学生视野、扩展学生思路为目的，在原版的基础上进行修订，吐故纳新，使其更系统、更实用和更先进。第二版除了保持第一版的定位外，主要作了以下的调整和修订。

- (1) 更新了一些章节的内容，如第 2、6、7、8、10、11 章；
- (2) 调整了个别章节的结构及内容，如第 1、4 章；
- (3) 删去了一些过时或繁琐、冗长的叙述；
- (4) 补充了较多目前测绘界的新技术、新仪器及其应用。

对第二版的修订工作，原参编的各位作者提出了部分修改意见，并提供了一些资料图片，其余工作由刘玉珠完成。

谨请使用本教材的师生与读者批评指正，期待本教材在教学改革实践中更臻完善。

编者

2007 年 5 月

目 录

第 1 章 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)
1.6 测量常用的计量单位.....	(11)
思考题与习题	(11)
第 2 章 水准测量	(12)
2.1 水准测量原理.....	(12)
2.2 水准测量的仪器和工具.....	(13)
2.3 水准测量方法.....	(19)
2.4 三、四等水准测量	(25)
2.5 水准仪的检验与校正.....	(27)
2.6 水准测量的误差及其消减方法.....	(30)
2.7 精密水准仪和电子水准仪简介.....	(32)
思考题与习题	(34)
第 3 章 角度测量	(37)
3.1 角度测量原理.....	(37)
3.2 光学经纬仪.....	(38)
3.3 经纬仪的使用.....	(40)
3.4 水平角观测.....	(44)
3.5 竖直角观测.....	(48)
3.6 三角高程测量.....	(52)
3.7 经纬仪的检验与校正.....	(53)
3.8 水平角测量误差.....	(56)
3.9 电子经纬仪简介.....	(58)
思考题与习题	(60)
第 4 章 距离测量与直线定向	(62)
4.1 钢尺量距.....	(62)
4.2 视距测量.....	(65)
4.3 电磁波测距.....	(68)
4.4 直线定向.....	(74)
4.5 坐标方位角的推算和点位坐标计算.....	(77)

思考题与习题	(79)
第5章 测量误差基本知识	(81)
5.1 测量误差的来源及其分类	(81)
5.2 衡量精度的指标	(84)
5.3 算术平均值及其中误差	(86)
5.4 误差传播定律	(90)
5.5 加权平均值及其中误差	(96)
思考题与习题	(98)
第6章 控制测量	(100)
6.1 控制测量概述	(100)
6.2 导线测量	(103)
6.3 交会定点	(114)
6.4 电子全站仪	(117)
6.5 全球定位系统(GPS)测量	(120)
思考题与习题	(124)
第7章 大比例尺地形图测绘	(126)
7.1 地形图的基础知识	(126)
7.2 大比例尺地形图的测绘	(135)
7.3 地面数字化测图简介	(142)
思考题与习题	(146)
第8章 地形图应用	(148)
8.1 地形图应用的基本内容	(148)
8.2 工程建设中的地形图应用	(150)
8.3 地形图上的面积测定	(156)
8.4 数字地面模型	(158)
思考题与习题	(159)
第9章 地籍测量	(161)
9.1 地籍测量的任务和特点	(161)
9.2 地籍调查	(161)
9.3 地籍测量	(165)
9.4 面积的量算和精度	(168)
思考题与习题	(170)
第10章 建筑施工测量	(171)
10.1 建筑施工测量概述	(171)
10.2 施工测设的基本工作	(171)
10.3 建筑场地施工控制测量	(176)
10.4 工业与民用建筑施工放样	(178)
10.5 高层建筑垂直测量控制	(185)
10.6 建筑物的变形观测	(189)

思考题与习题.....	(196)
第 11 章 线路工程测量	(197)
11.1 中线测量.....	(197)
11.2 圆曲线的测设.....	(202)
11.3 缓和曲线的测设.....	(208)
11.4 线路逐桩坐标的计算与极坐标法测设中线.....	(212)
11.5 线路纵、横断面测量	(214)
11.6 线路施工测量.....	(221)
思考题与习题.....	(224)
第 12 章 桥梁、隧道工程测量.....	(226)
12.1 概述.....	(226)
12.2 桥梁施工测量.....	(227)
12.3 隧道施工测量.....	(230)
思考题与习题.....	(236)
第 13 章 摄影测量与遥感	(237)
13.1 概述.....	(237)
13.2 航空摄影基本知识.....	(238)
13.3 航空摄影测量与地面摄影测量应用.....	(240)
13.4 遥感的基本知识.....	(244)
13.5 遥感技术的应用.....	(247)
思考题与习题.....	(249)
附录 I 测量实验与实习.....	(250)
附录 II 土木工程测量专业名词汉英对照表.....	(269)
参考文献.....	(281)

第 1 章 绪 论

1.1 测量学简介

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地球表面点位关系的科学。

按照研究的对象范围、技术手段和应用上的不同,测量学包括以下几个主要学科:

(1)普通测量学:研究将地球自然表面局部地区的地物和地貌按一定比例尺测绘成大比例尺地形图的基本理论和方法的学科,属测量学的基础部分。

(2)大地测量学:研究地球整体的形状、大小、地球重力场测定和按一定坐标系建立国家统一的点位控制网,以满足测绘地形图、国防和工程建设需要的理论和方法的学科。

(3)摄影测量学:研究利用摄影或遥感技术获取地物和地貌的影像并进行分析处理,以绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科。其中航空摄影测量是测绘中、小比例尺国家基本地形图的主要方法,现也应用到大比例尺地形图的测绘中,而近景摄影测量已经在古建筑测绘、建(构)筑物的变形观测、动态目标测量等许多方面得到了广泛的应用。

(4)工程测量学:研究工程建设在勘察设计、施工放样和运营管理等各阶段中进行测量工作的理论和方法的学科。其主要内容包括:测绘满足工程规划和勘察设计需要的大比例尺地形图,将图纸上设计的建(构)筑物轴线桩位标定到地面上,对在施工过程中及竣工后建(构)筑物的变形进行监测。

土木工程测量属于普通测量学与工程测量学的范畴,从测量目的和技术来看,其主要任务是测定和测设。

测定:使用测量仪器和工具,通过测量和计算将地物和地貌的位置按一定比例尺缩小绘成地形图,供科研、国防和工程建设规划设计使用。其中,地面上天然或人工形成的物体称地物,如湖泊、河流、海洋、房屋、道路、桥梁等;地表面高低起伏的形态称地貌,如山地、平原、丘陵等。地物和地貌统称为地形。

测设:将在地形图上设计出的工程建筑物和构筑物的位置在实地标定出来,作为工程建设的依据。

随着现代科技水平和经济实力的提高,测绘技术与应用迅猛发展。由电子测角、光电测距和数据微处理系统组成的全站仪,能测算出所求点位的三维坐标或进行自动测设及自动绘出各种图形,实现了地形测量与绘图的数字化。目前,已普及的利用卫星测定地面点位坐标的新技术——全球定位系统(Global Positioning System, GPS)彻底改变了传统的通过测角量边计算坐标的方法,测量人员只需将 GPS 接收机安置在测点上,通过接收卫星信号,使用专门的数据处理软件就可获取测点的三维坐标。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,利用遥感像片及扫描资料测绘地形图,极大地提高了测绘工作效率。随着电子计算机硬件、软件技术的发展,航空摄影和遥感技术及机助制图和地图

数据库的发展,传统的地图、地形图已进化为信息丰富、现势性强、能以三维立体地图表达的**数字地图**,并在此基础上形成**地理信息系统**(Geography Information System, GIS)。GPS、RS、GIS等高新技术集成产生了**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作用更显重要,被广泛应用于土地利用、资源管理、环境监测、交通运输、城市规划、经济建设以及政府各职能部门。

上述测绘科学的各项高新技术,已在土木工程各专业中得到广泛的应用。在工程建设的规划设计阶段,为了选址恰当、布局合理,需各种比例尺的地形图、数字地图及有关的GIS信息,用于城镇规划设计、道路选线、建(构)筑物的平面和竖向设计等;在施工阶段,需将拟建工程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。对一些大型或重要的建(构)筑物,已使用GPS技术进行施工测设,并进行变形监测,以保证建筑物的安全;在工程管理方面,竣工测量资料,是日后扩建、改建、维修和城市管理的基础资料。

土木工程专业的学生通过本课程学习,要掌握下列有关测定和测设的基本内容:

(1)地形图测绘:运用各种测量仪器和工具,通过实地测量和计算,把小范围内地面上的地物、地貌按一定的比例尺测绘成图。

(2)地形图应用:在工程设计中,从地形图上获取设计所需要的资料,例如点的坐标和高程、两点间的水平距离、地块的面积、地面的坡度、地形的断面和进行地形分析等。

(3)施工放样:把图上设计好的建筑物或构筑物的位置标定在实地上,作为施工的依据。

(4)变形观测:监测建筑物或构筑物的水平位移和垂直沉降,以便采取措施,保证建筑物的安全。

(5)竣工测量。

本教材主要介绍《普通测量学》和部分《工程测量学》的内容。

1.2 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的,地球的自然表面极为复杂,有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等高低起伏的形态,其中海洋面积约占71%,陆地面积约占29%。

如图1-1a所示,由于地球的自转,其表面的质点同时受到万有引力与离心力的合力即重力的影响,重力的方向线又称铅垂线,是测量上的基准线。

假想静止不动的水面延伸穿过陆地,包围整个地球,形成一个闭合的曲面,这个水面称为水准面。水准面是受地球重力影响形成的,它的特点是其面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。由于水准面的高度可变,因此符合这个特点的水准面有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面,大地水准面是测量工作的一个基准面。

由于地球内部的质量分布不均匀,地球各处引力的大小不同,致使重力方向发生变化,所以大地水准面实际上是一个复杂的曲面,人们无法在这个曲面上直接进行测绘和数据处理。为此,选择一个与大地水准面非常接近的、能用数学方程表示的旋转椭球体来代表地球的形体。这个旋转椭球体称参考椭球体。相应的规则曲面称为参考椭球面。

决定旋转椭球面形状和大小的元素是椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 α ,如图1-1b所示,其关系为:

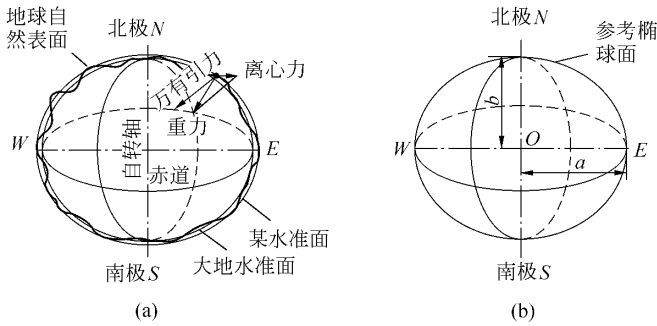


图 1-1 地球自然表面、大地水准面和参考椭球面

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \quad (1-1)$$

目前,我国采用的参考椭球体元素值是 1975 年“国际大地测量与地球物理联合会”(IUGG)通过并推荐的值:

$$a = 6\,378\,140 \text{ m}, \quad b = 6\,356\,755 \text{ m}, \quad \alpha = 1 : 298.257$$

由于参考椭球体的扁率很小,当测量的区域(以下简称测区)不大时,可以将地球看作半径为 6 371 km 的圆球。

1.3 地面点位的确定

测量学的主要任务是测定和测设,无论测定还是测设都需要通过确定地面点的空间位置来实现。空间是三维的,所以表示地面点在某个空间坐标系中的位置需要三个参数,确定地面点位的实质就是确定其在某个空间坐标系中的三维坐标。考虑到地球是一个椭球体,一般是通过求出该点投影到参考球面上的位置(两个参数)和该点到大地水准面的铅垂距离(简称该点的高程)的方法来实现,为此测量上将空间三维坐标系分解成确定点的球面位置的坐标系(二维)和高程系(一维)。

1.3.1 确定点的球面位置的坐标系

确定点的球面位置的坐标系有地理坐标系和平面直角坐标系两类。

1.3.1.1 地理坐标系

按坐标所依据的基本线和基本面的不同以及求坐标方法的不同,地理坐标系又可分为天文地理坐标系和大地地理坐标系两种。

(1) 天文地理坐标系

天文地理坐标系又称天文坐标,表示地面点在大地水准面上的位置,它的基准是铅垂线和大地水准面,它用天文经度 λ 和天文纬度 φ 两个参数来表示地面点在球面上的位置。

如图 1-2 所示,过地面上任一点 P 的铅垂线与地球的旋转轴 NS 所组成的平面称为该点的天文子午面,天文子午面与大地水准面的交线称为天文子午线(也称经线)。设 G 点为英国格林尼治天文台的位置,称过 G 点的天文子午面为首子午面。 P 点天文经度 λ 的定义

是过 P 点的天文子午面 $NPKS$ 与首子午面 $NGMS$ 的两面角,从首子午线向东或向西计算,取值范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$,在首子午线以东者为东经,以西者为西经。同一子午线上各点的经度相同。过 P 点垂直于地球旋转轴的平面与地球表面的交线称为 P 点的纬线,其所在平面过球心 O 的纬线称为赤道。 P 点天文纬度 φ 的定义是:过 P 的铅垂线与赤道平面的夹角,自赤道起向南或向北计算,取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$,在赤道以北为北纬,以南为南纬。

应用天文测量方法可以测定地面点的天文经度 λ 和天文纬度 φ 。例如广州地区的概略天文地理坐标为东经 $113^\circ 18'$,北纬 $23^\circ 07'$ 。

(2)大地地理坐标系

大地地理坐标系又称大地坐标,是表示地面点在参考椭球面上的位置,它的基准是法线和参考椭球面,它用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。 P 点的大地经度 L 是过 P 点的大地子午面和首子午面所夹的两面角, P 点的大地纬度 B 是过 P 点的法线与赤道面的夹角。大地经、纬度是根据一个起始的大地点(又称大地原点,该点的大地经纬度与天文经纬度一致)的大地坐标,再按大地测量所得的数据推算而得的。我国以陕西省泾阳县永乐镇大地原点为起算点,由此建立新的大地坐标系,称为“1980 年国家大地坐标系”,简称 80 系。

1.3.1.2 平面直角坐标系

(1)高斯平面直角坐标系

地理坐标对局部测量工作来说是不方便的,例如,在赤道上,1"的经度差或纬度差对应的地面距离约为 30 m。测量计算最好在平面上进行。但地球是一个不可展的曲面,必须通过投影的方法将地球面上的点位换算到平面上。地图投影有多种方法,我国采用的是高斯投影方法。

高斯投影首先是将地球按经线划分成带,称为投影带,投影带是从首子午线起,每隔经度 6° 划分为一带(称为 6° 带),如图 1-3 所示,自西向东将整个地球划分为 60 个带。带号从

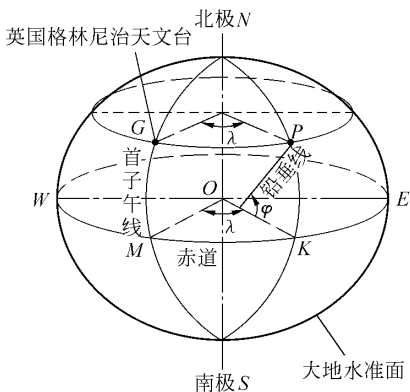


图 1-2 天文地理坐标

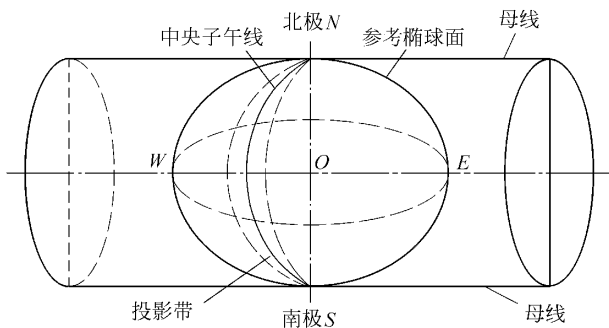


图 1-3 高斯平面直角坐标系的投影图

首子午线开始,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。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 L_0 与投影带号 N 的关系为:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-2)$$

反之,已知地面任一点的经度 L ,要求计算该点所在的 6° 带编号的公式为:

$$N = \text{Int}\left(\frac{L + 3}{6} + 0.5\right) \quad (1-3)$$

式中,Int为取整函数。

投影时是设想用一个空心圆柱横套在参考椭球体外面,使圆柱与某一中央子午线相切,将球面上的图形按保角投影的原理投影到圆柱体面上,然后将圆柱体沿着过南北极的母线切开,展开成为平面,并在该平面上定义平面直角坐标系,如图1-4a所示。

投影后的中央子午线与赤道均为直线。由于在参考椭球体面上,中央子午线与赤道相互垂直,所以经保角投影后的中央子午线与赤道也相互垂直。以中央子午线为坐标纵轴(X 轴),向北为正;赤道为坐标横轴(Y 轴),向东为正,中央子午线与赤道的交点为坐标原点 O ,组成的平面直角坐标系称为高斯平面直角坐标系。

与数学上的笛卡儿坐标系比较,在高斯平面直角坐标系中,为了定向的方便,定义纵轴为 X 轴,横轴为 Y 轴,这与数学上常用的笛卡儿坐标不同。象限按顺时针方向编号,目的是便于数学上定义的各类函数公式直接应用到测量计算,不需做任何变更。

我国位于北半球, x 坐标值均为正, y 坐标值则有正有负,当点位于中央子午线以东时为正,以西时为负。例如如图1-4的 P 点位于中央子午线以西,其 y 坐标值为负值。对于 6° 带高斯坐标系,最大的 y 坐标负值约为365 km。为了避免 y 坐标出现负值,我国统一规定将每带的坐标原点向西移500 km,也就是给每点的 y 坐标值加上500 km,使之均为正值,如图1-4b所示。

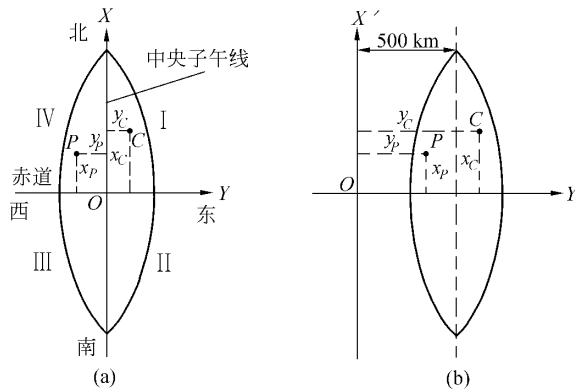


图1-4 高斯平面直角坐标

为了通过横坐标值确定某点位于哪一个 6° 带内,还要在 y 坐标值前冠以带的编号。将经过加500 km和冠以带号处理后的横坐标值用 y' 表示。例如,图1-4b中的 P 点位于第19带内, $y_p = -265214$ m,则有 $y'_p = 19234786$ m。

高斯投影是保角投影,它能够保证球面图形的角度与投影后的该平面图形的角度不变,但球面上任意两点间的距离经投影后会产生变形。距离变形的规律是:除了中央子午线没有距离变形以外,其他位置的直线均存在距离变形,且投影在平面上的距离大于球面上的相应距离,离开中央子午线愈远变形愈大,投影带边缘部分的距离变形最大。

距离变形过大对于测图尤其是测绘大比例尺地形图是不方便的。减小投影带边缘位置

距离变形的方法之一就是缩小投影带的带宽,例如可以选择采用 3° 带和 1.5° 带进行投影,其中 3° 带每带中央子午线经度 L'_0 与投影带号 n 的关系为:

$$L'_0 = 3n \tag{1-4}$$

反之,已知地面任一点的经度 L ,要求计算该点所在的 3° 带编号的公式为:

$$n = \text{Int}\left(\frac{L}{3} + 0.5\right) \tag{1-5}$$

6° 带投影与 3° 带投影的关系如图1-5所示。

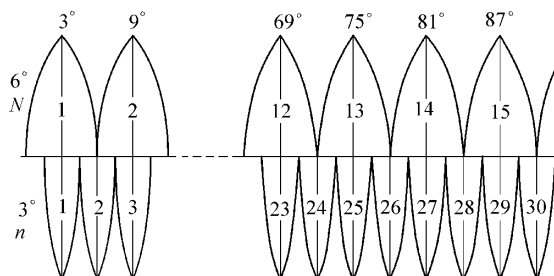


图1-5 高斯平面直角坐标系 6° 带投影与 3° 带投影的关系

我国领土所处的概略经度范围是东经 $73^\circ27'$ 至东经 $135^\circ09'$,根据式(1-3)和式(1-5)求得的 6° 带投影与 3° 带投影的带号范围分别为13~23,25~45。可见,在我国领土范围内, 6° 带与 3° 带的投影带号不重复。

(2)独立平面直角坐标系

如图1-6所示,当测区范围较小时(一般要求测区半径小于10 km),将测区中心点 C 沿铅垂线投影到大地水准面上得 c 点,用过 c 点的切平面来代替大地水准面,在切平面上建立的测区平面直角坐标系 XOY 称为独立平面直角坐标系。其坐标原点选在测区西南角,使坐标值均为正值,过测区中心的子午线为 X 轴方向。将测区内任一点 P 沿铅垂线投影到切平面上得 p 点,通过测量计算出的 p 点坐标 x_p, y_p 就是 P 点在独立平面直角坐标系中的坐标。

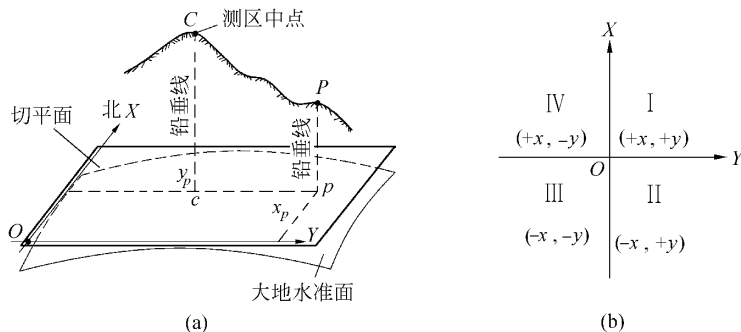


图1-6 独立平面直角坐标系原理图

独立平面直角坐标系的坐标轴方向和象限编号顺序与高斯平面直角坐标系相同,见图 1-6b。

1.3.2 确定点的高程系

地面点沿铅垂线至大地水准面的距离称为该点的绝对高程或海拔,简称高程,用 H 加点名作下标表示。图 1-7 中 A 、 B 两点的高程表示为 H_A 、 H_B 。

高程系是一维坐标系,它的基准是大地水准面。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。通过该点的大地水准面作为高程基准面,也即在大地上水准面上高程为零。

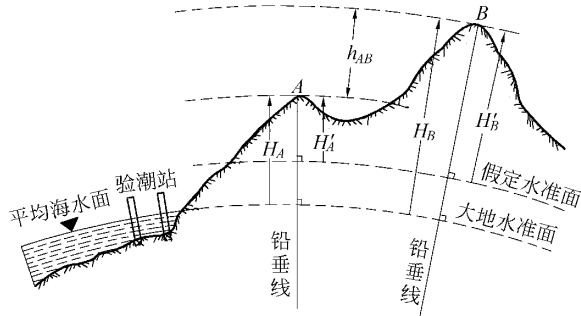


图 1-7 高程与高差的定义及其相互关系

在我国境内测得的高程以青岛验潮站历年观测的黄海平均海水面为基准面。1954 年

在青岛市观象山建立了水准原点,用水准测量的方法将在验潮站确定的高程零点引测到水准原点,也即求出水准原点的高程。1956 年我国采用青岛验潮站的潮汐记录资料推算出的水准原点的高程为 72.289 m,以这个大地水准面为高程基准建立的高程系称为“1956 年黄海高程系”,简称“56 黄海系”。

1985 年,我国又采用青岛验潮站 20 多年的潮汐记录资料推算出水准原点的高程为 72.260 m,此高程系称为“1985 年国家高程基准”,简称“85 高程基准”。

由上可知,85 高程基准使用的大地水准面比 56 黄海系使用的大地水准面高出 0.029 m。

在局部地区,无法知道绝对高程时,也可以假定一个水准面作为高程起算面,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,用 H' 加点名作下标表示。图 1-7 中 A 、 B 两点的相对高程表示为 H'_A 、 H'_B 。

地面两点间的绝对高程或相对高程之差称为高差,用 h 加这两点的点名作下标表示。如 A 、 B 两点高差为:

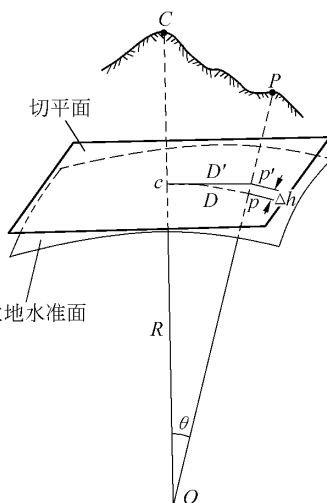
$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-6)$$

1.4 地球曲率对测量工作的影响

在独立平面直角坐标系一节中,我们介绍了:当测区范围较小时,可将大地水准面近似为水平面,这样既可以简化测量计算工作,又不致因曲面和平面的差异过大而产生较大的测量误差。本节继续讨论,测区范围小到何值时,用水平面代替大地水准面所产生的距离和高差变形才会不超过测图误差的允许范围。

如图 1-8,设地面 C 点为测区中心点, P 点为测区内任一点,两点沿铅垂线投影到大地

水准面上的点分别为 c 和 p 点。过 c 点作大地水准面的切平面, P 点在切平面上的投影为 p' 点。图中大地水准面的曲率对水平距离的影响为 $\Delta D = D' - D$, 对高程的影响为 $\Delta h = \overline{pp'}$ 。下面讨论它们的计算公式。



1.4.1 切平面代替大地水准面对水平距离的影响

由图 1-8 可知

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-7)$$

式中 θ ——弧长 D 所对的圆心角, rad;

R ——地球的平均曲率半径, 取 $R = 6371 \text{ km}$ 。

将 $\tan \theta$ 按三角级数展开并略去高次项得

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \dots \approx \theta + \frac{1}{3}\theta^3 \quad (1-8)$$

将式(1-8)代入式(1-7)并考虑到 $\theta = \frac{D}{R}$ 得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-9)$$

图 1-8 水平面代替大地水准面的影响

则有

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-10)$$

以不同的 D 值代入上式, 求出距离误差 ΔD 和相对误差 $\frac{\Delta D}{D}$ 列于表 1-1。

表 1-1 切平面代替大地水准面的距离误差和距离相对误差

距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{cm})$	距离相对误差 $\frac{\Delta D}{D}$
10	0.8	1:1200000
25	12.8	1:200000
50	102.7	1:49000
100	821.2	1:12000

从表 1-1 可以看出, 当距离 D 为 10 km 时, 所产生的距离相对误差为 1:1200000, 这样小的误差, 就是对精密量距来说也是允许的。因此, 在 10 km 为半径的圆面积之内进行距离测量时, 可以用切平面代替大地水准面, 而不必考虑地球曲率对距离的影响。

1.4.2 切平面代替大地水准面对高程的影响

由图 1-8 可知

$$\Delta h = \overline{Op'} - \overline{Op} = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1) \quad (1-11)$$

同理得

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-12)$$

用不同的距离代入式(1-12),可得表 1-2 所列的结果。

表 1-2 切平面代替大地水准面的高程误差

距离 $D(\text{km})$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	5	10
$\Delta h(\text{cm})$	0.08	0.3	0.7	1.3	2	8	31	196	785

由表可知,用切平面代替大地水准面作为高程的起算面,对高程的影响是很大的,距离 200 m 时就有 0.3 cm 的高差误差,这是不允许的。因此,高程的起算面不能用切平面代替,最好使用大地水准面。如果测区内没有国家高程点时,可以假设通过测区内某点的水准面为零高程水准面。

1.5 测量工作概述

测量的主要任务是测定和测设。

测定是将地物和地貌按一定的比例尺缩小绘制成地形图。如图 1-9 所示,测区内有山丘、房屋、河流、小桥、公路等,测绘地形图的过程是先测量出这些地物、地貌特征点的坐标,然后按一定的比例缩小展绘在图纸上。例如要在图纸上绘出一幢房屋,就需要在这幢房屋附近、与房屋通视且坐标已知的点(如图中的 A 点)上安置测量仪器,选择另一个坐标已知的点(如图中的 F 点或 B 点)作为定向方向,才能测量出这幢房屋角点的坐标。测量上将测绘地物和地貌特征点坐标的方法与过程称为碎部测量。

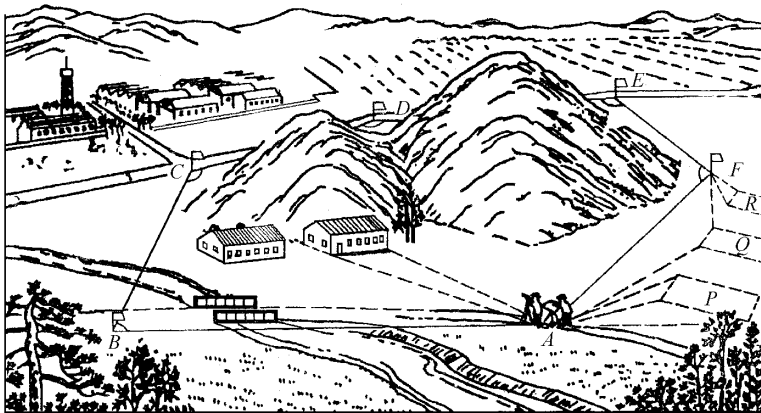


图 1-9 地形测量示意图

由图 1-9 可知,在 A 点安置测量仪器还可以测绘出西面的河流、小桥,北面的山丘,但山北面的工厂区就看不见了。因此还需要在山北面布置一些点,如图中的 C、D、E 点,这些点的坐标须已知。由此可知,要测绘地形图,首先要要在测区内均匀布置一些点,并测量计算

出它们的 x 、 y 、 H 三维坐标。测量上将这些点称为控制点,测量与计算控制点坐标的方法和过程称为控制测量。

测设是将在图纸上设计好的工程建筑物和构筑物的位置在实地标定出来。设图 1-10 是图 1-9 已经测绘出来的地形图。根据需要,设计人员已经在图纸上设计出了 P 、 Q 、 R 三幢建筑物,用极坐标法将它们的位置标定到实地的方法是:在控制点 A 上安置仪器, F 点(或 B 点)定向,由 A 、 F 点(或 B 点)及 P 、 Q 、 R 三幢建筑物轴线点的设计坐标计算出水平夹角 β_1 、 β_2 、 \dots 和水平距离 S_1 、 S_2 、 \dots 。然后用仪器分别定出水平夹角 β_1 、 β_2 、 \dots 所指的方向,并沿这些方向量出水平距离 S_1 、 S_2 、 \dots ,即可在实地上定出 1 、 2 、 \dots 点,它们就是设计建筑物的实地平面位置。

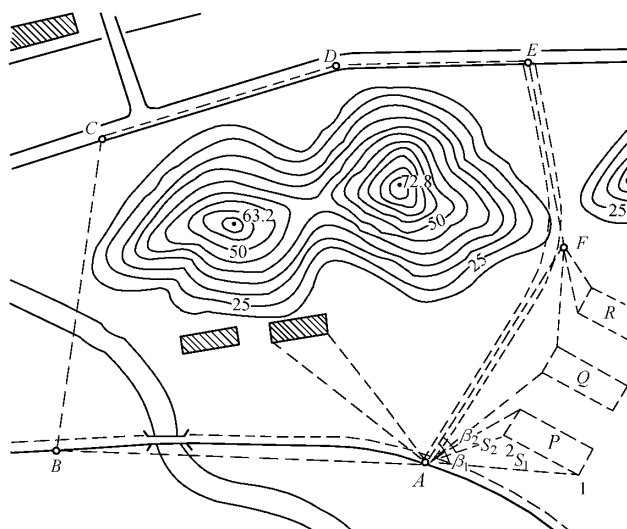


图 1-10 某测区地形图

通过上面的介绍可知,无论测定还是测设都是在控制点上进行的,由此得出测量的工作原则之一是“先控制后碎部”。

我国的控制测量规范规定,测量控制网必须由高级向低级分级布设。如平面三角控制网是按一等、二等、三等、四等、5'、10'和图根网的级别布设,而城市导线网是在国家一等、二等、三等或四等控制网下按一级、二级、三级和图根网的级别布设。一等网的精度最高,图根网的精度最低。控制网的等级越高,网点之间的距离就越大,点的密度也越稀,控制的范围就越大,控制网的等级越低,网点之间的距离就越小,点的密度也越密,控制的范围就越小。如国家一等三角网的平均边长为 20~25 km,而城市一级导线网的平均边长为 300 m。由此可知,控制测量是先布设能控制大范围的高级网,再逐级布设次级网加密,我们将这种测量控制网的布设原则称为“从整体到局部”。所以测量的原则是“从整体到局部,先控制后碎部”。