

21世纪土木工程专业规划教材

●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

TUMU GONGCHENG CELIANG

■ 主编 邓 晖 刘玉珠

■ 主审 彭先进



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪土木工程专业规划教材

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：邓 晖 刘玉珠

副主编：金向农 许国辉

张文基 易又庆

郭祥瑞 覃 辉

参 编：任 超 文鸿雁

刘 军 李伟文



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

内 容 简 介

本书根据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的要求编写。

全书分14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章介绍全球卫星导航系统,第8、第9章介绍大比例尺地形图的测绘方法和应用,第10章介绍地籍测量,第11至第13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14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/邓晖,刘玉珠主编. —广州:华南理工大学出版社,2015.2
21世纪土木工程专业规划教材
ISBN 978-7-5623-4514-5

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第310851号

土木工程测量

邓 晖 刘玉珠 主编

出版人:韩中伟

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)

http://www.scutpress.com.cn E-mail: scutcl3@scut.edu.cn

营销部电话:020-87113487 87111048(传真)

策划编辑:赖淑华

责任编辑:王魁葵 骆 婷

印刷者:广州市怡升印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:18.75 字数:516千

版 次:2015年2月第1版 2015年2月第1次印刷

印 数:1~3000册

定 价:38.50元

前 言

本教材是根据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的要求编写的高等院校土木类测量学教材。适用于普通高等院校土木工程、工程管理、给水排水、土地管理、城市规划、建筑学等专业,也可用于土木工程技术人员继续教育教材,以及供交通、水利、农林等其他相关专业使用。

本教材是华南地区七所高校十二位老师精诚团结、通力合作的结晶,全书汇集总结了各位编者多年来教学经验、科研成果和工程实践,参阅借鉴了国内外院校有关教材和参考书,力求编写出一本适用于我国当前教学改革和课程设置,具有华南地区特色的土木类专业工程测量学教材。

本教材的主要特点如下:

1. 教材建立起传统测绘技术与现代新技术结合的知识框架。教材在着重介绍测绘现代新技术和最新工程实践的同时,根据土木工程专业的特点精选测绘经典内容,努力体现教材的先进性和实用性。

2. 教材编写着力体现教学内容的系统性,贯彻以基本理论和基本概念为重点,以基本技术和方法为主要内容的专业基础课特点,能适应复合型、创新型大土木专业类人才培养的需求。

3. 教材编写还着力体现教学内容的实践性、应用性。在各章理论知识学习后,结合各章知识在工程生产实践中的不同应用,编写例题和习题,同时在教材的附录 I 介绍了测量实验和实习,在附录 II 主要介绍了土木工程专业相关的测量专业名词英汉对照。引导学生注意理论联系实际,培养学习发现问题、分析问题和解决问题的能力。

本教材由邓晖、刘玉珠任主编,由金向农、许国辉、张文基、易又庆、郭祥瑞、覃辉任副主编,具体分工如下:第 1、4 章和附录 II,覃辉;第 2、8 章,易又庆;第 3 章,许国辉;第 5 章和第 9 章第 4 节,邓晖;第 6、7 章,金向农;第 9 章,刘军、李伟文;第 10 章和附录 I,郭祥瑞;第 11 章,刘玉珠、邓晖;第 12、13 章,张文基;第 14 章,任超、文鸿雁。

为了保证教材质量,特邀请广东工业大学彭先进教授担任本教材主审,彭老师对教材的编写提出了许多宝贵意见,在此致以深深的谢意。

限于时间和编者水平，教材中难免存在不足、疏漏甚至错误之处，谨请使用本教材的师生与读者批评指正，将使用中发现的问题和建议发送到 hdeng@sctu.edu.cn，期待着本教材在未来的使用过程中日臻完善。

编 者

2014 年 11 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	(10)
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 水平角度测量原理	(37)
3.2 经纬仪的构造及其测角原理	(37)
3.3 经纬仪的使用	(40)
3.4 水平角观测	(45)
3.5 竖直角测量	(49)
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)
思考题与习题	(58)
第4章 距离测量与直线定向	(61)
4.1 钢尺量距	(61)
4.2 视距测量	(64)
4.3 电磁波测距	(67)
4.4 直线定向	(73)
4.5 坐标方位角的推算和点位坐标计算	(76)
思考题与习题	(78)

第 5 章 测量误差基本知识	(80)
5.1 测量误差的来源及其分类	(80)
5.2 衡量精度的指标	(83)
5.3 算术平均值及其中误差	(85)
5.4 误差传播定律	(89)
5.5 加权平均值及其中误差	(94)
思考题与习题	(97)
第 6 章 控制测量	(99)
6.1 控制测量概述	(99)
6.2 导线测量	(101)
6.3 交会定点	(112)
6.4 电子全站仪	(115)
思考题与习题	(119)
第 7 章 GNSS——全球导航卫星系统	(121)
7.1 GNSS 概述	(121)
7.2 GPS 的组成	(122)
7.3 GPS 卫星信号及坐标系统	(124)
7.4 GPS 定位原理	(125)
7.5 CORS 系统	(131)
7.6 GPS 测量的实施	(133)
思考题与习题	(134)
第 8 章 大比例尺地形图测绘	(135)
8.1 地形图的基础知识	(135)
8.2 大比例尺地形图的测绘	(145)
8.3 地面数字化测图简介	(152)
思考题与习题	(156)
第 9 章 地形图应用	(158)
9.1 地形图应用的基本内容	(158)
9.2 工程建设中的地形图应用	(161)
9.3 地形图上的面积测定	(167)
9.4 数字地面模型	(168)
思考题与习题	(169)
第 10 章 地籍测量	(171)
10.1 地籍测量的任务和特点	(171)
10.2 土地权属调查	(171)
10.3 地籍测量	(175)
10.4 面积的量算和精度	(178)
思考题与习题	(178)

第 11 章 建筑施工测量	(179)
11.1 建筑施工测量概述	(179)
11.2 施工测设的基本工作	(179)
11.3 建筑场地施工控制测量	(184)
11.4 工业与民用建筑施工放样	(186)
11.5 高层建筑垂直测量控制	(193)
11.6 建筑物的变形观测	(197)
思考题与习题	(204)
第 12 章 线路工程测量	(206)
12.1 概述	(206)
12.2 圆曲线的测设	(209)
12.3 缓和曲线的测设	(213)
12.4 线路逐桩坐标的计算与极坐标法测设中线	(217)
12.5 线路纵、横断面测量	(219)
12.6 线路施工测量	(226)
思考题与习题	(227)
第 13 章 桥梁、隧道施工测量	(229)
13.1 桥梁施工测量	(229)
13.2 隧道施工测量	(237)
思考题与习题	(245)
第 14 章 摄影测量与遥感	(247)
14.1 概述	(247)
14.2 航空摄影基本知识	(248)
14.3 航空摄影测量与地面摄影测量应用	(250)
14.4 遥感的基本知识	(255)
14.5 遥感技术的应用	(257)
思考题与习题	(259)
附录 I 测量实验与实习	(260)
附录 II 土木工程测量专业名词汉英对照表	(279)
参考文献	(291)

第1章 绪 论

1.1 测量学简介

测量学是研究地球表面局部地区内测绘工作的基本原理、技术、方法和应用的学科。

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制成地形图,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,利用遥感相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:

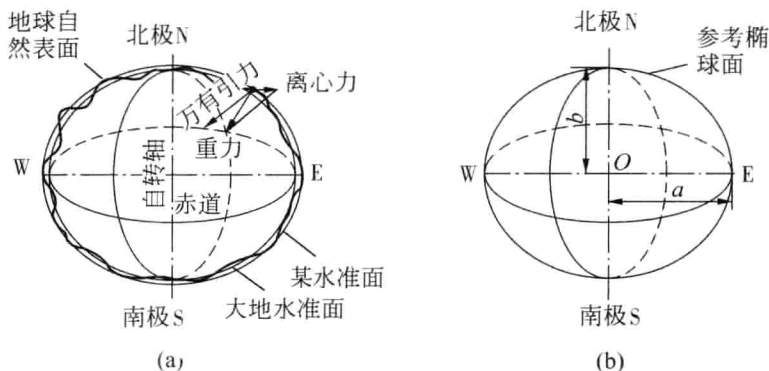


图 1-1 地球自然表面、大地水准面和参考椭球面

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

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 and 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,过地表任一点 P 的铅垂线与地球旋转轴 NS 平行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。

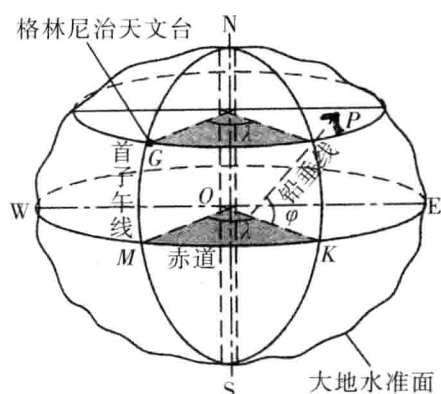


图 1-2 天文地理坐标

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

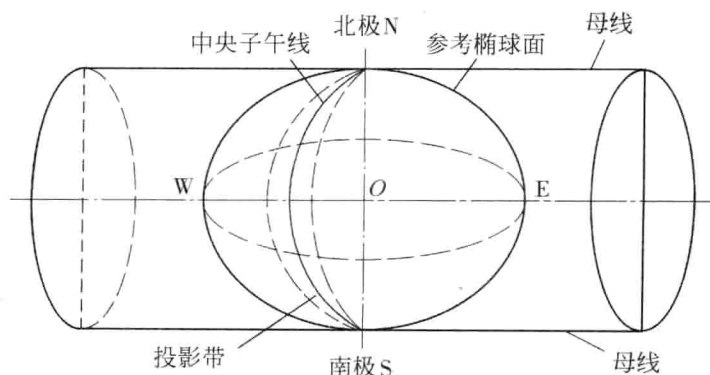


图 1-3 高斯平面直角坐标系的投影图

从首子午线开始,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°,任意一个带的中央子午线经度 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椭圆柱横套在参考椭球体外面,使椭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。例如图1-4a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,最小的 y 坐标负值约为-334 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。

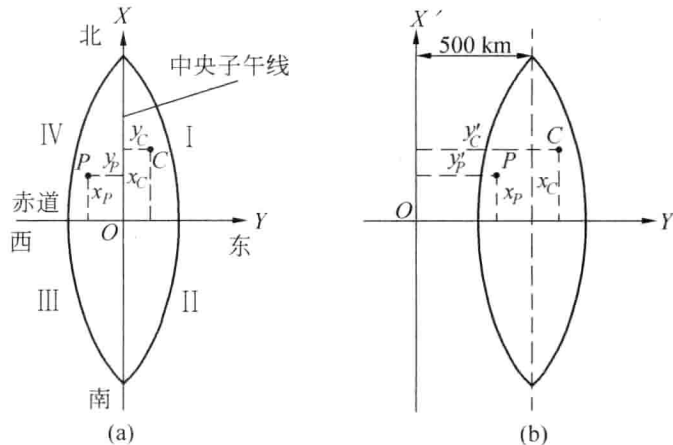


图1-4 高斯平面直角坐标

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, $y_p = -265\,214\text{ m}$,则有 $y'_p = 19234\,786\text{ m}$ 。

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办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:

$$L'_0 = 3n \quad (1-4)$$

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:

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

6° 带投影与 3° 带投影的关系如图 1-5 所示。

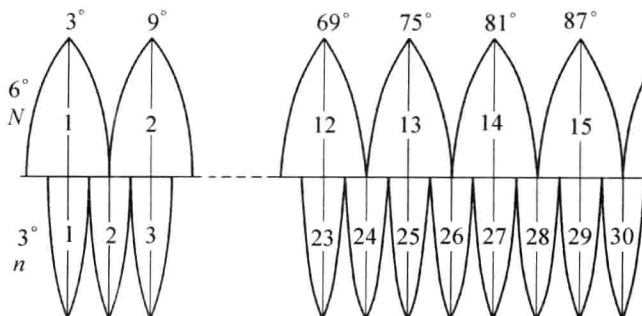


图 1-5 高斯平面直角坐标系 6° 带投影与 3° 带投影的关系

我国领土所处的概略经度范围是东经 $73^\circ 27'$ 至东经 $135^\circ 09'$, 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。

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。

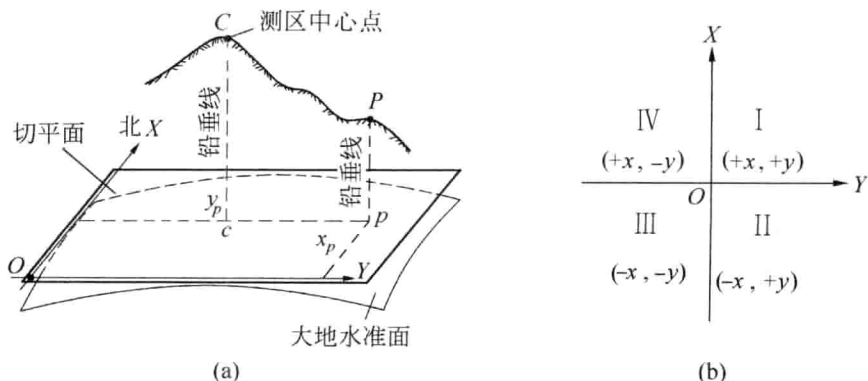


图 1-6 独立平面直角坐标系原理图

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 两点的高程分别表示为 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。

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面建立的高程系称为“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 两点的相对高程分别表示为 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不会超过测量误差的允许范围。

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 点和 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 $R = 6\,371\text{ km}$ 。

将 $\tan \theta$ 按三角级数展开并略去高次项得

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

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

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

则有

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

以不同的 D 值代入式(1-9)和式(1-10), 分别求出水平距离误差 ΔD 和水平距离相对误差 $\frac{\Delta D}{D}$ 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 (km)	距离误差 ΔD (cm)	距离相对误差 $\frac{\Delta D}{D}$
10	0.8	1 : 1 200 000
25	12.8	1 : 200 000
50	102.7	1 : 49 000
100	821.2	1 : 12 000

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 : 1 200 000, 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

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

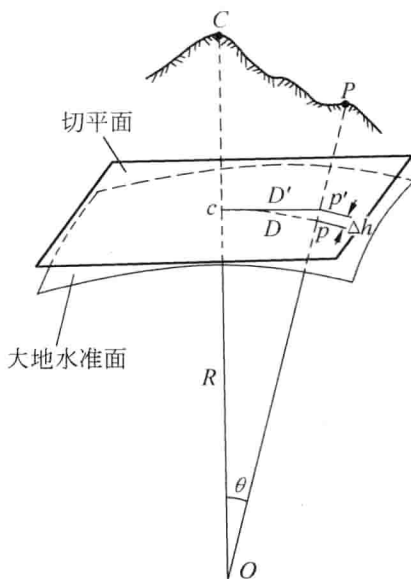


图 1-8 水平面代替大地水准面的影响

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的高程误差,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。

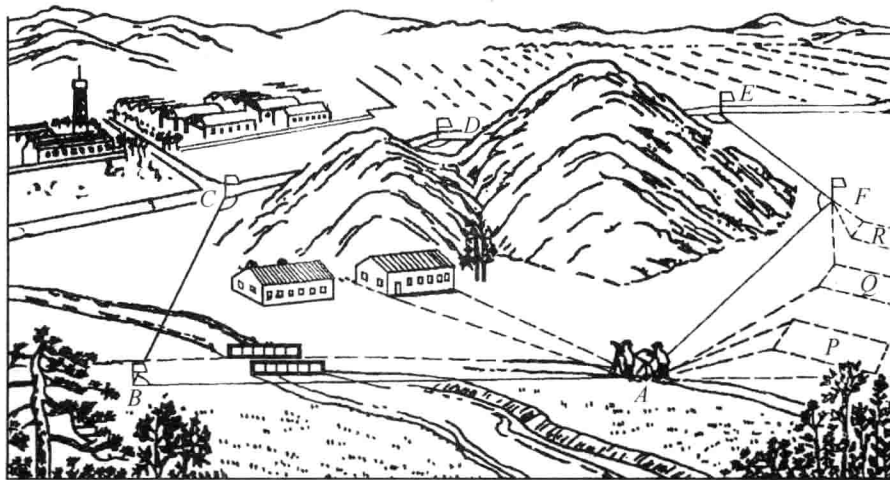


图1-9 地形测量示意图

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。