

土木工程测量

● 刘玉珠 主编
● 彭先进 主审



华航Z0196386

土

木

工

程

系

列

教

华南理工大学出版社

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。

全书分十三章,在第一至第四章中介绍测量学的基本知识、测量仪器的构造和使用技术;第五章介绍测量误差基本知识;第六章介绍控制测量;第七、第八章介绍大比例尺地形图的测绘方法和应用;第九章介绍地籍测量;第十至第十二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;第十三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. —广州:华南理工大学出版社,2001.3

(土木工程系列教材)

ISBN 7-5623-1637-6

I. 土…

II. 刘…

III. 建筑测量

IV. TU198

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮编:510640)

责任编辑 王魁葵

各地新华书店经销

中山市新华印刷厂印装

2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:18 字数:450 千

印数:1—5000 册

定价:26.50 元

编辑委员会

顾问:

容柏生 (工程院院士、设计大师,广东省建筑设计研究院总工程师、高工)
何镜堂 (工程院院士、设计大师,华南理工大学教授、博导)
曾庆元 (工程院院士,长沙铁道学院教授、博导)
方秦汉 (工程院院士,华中科技大学教授、博导)
陈宗弼 (设计大师、高工,广东省建筑设计研究院副总工程师)
陈家辉 (高工,广东省建筑工程总公司总工程师)
江见鲸 (清华大学教授、博导,全国土木工程专业教学指导委员会副主任)
蒋永生 (东南大学教授、博导,全国土木工程专业教学指导委员会副主任)
沈浦生 (湖南大学教授、博导,全国土木工程专业教学指导委员会委员)
钟善桐 (哈尔滨工业大学教授、博导)
吴仁培 (华南理工大学教授)
姚玲森 (同济大学教授)
秦 荣 (广西大学教授、博导)
叶国铮 (广州大学教授)
卢 谦 (清华大学教授)

主任:蔡 健

副主任:卫 军 张学文

委员:(以姓氏笔划为序)

于 布	文鸿雁	王元汉	王仕统	王 勇	王祖华
邓志恒	叶伟年	叶作楷	刘玉珠	李汝庚	李丽娟
李惠强	杨小平	杨昭茂	杨 锐	张中权	张 原
吴瑞麟	陈存恩	陈雅福	陈超核	罗旗帜	周 云
金仁和	金康宁	资建民	徐礼华	梁启智	梁昌俊
覃 辉	谭宇胜	裴 刚	熊光晶		

策划编辑:赖淑华 杨昭茂

项目执行:赖淑华

出版说明

为了适应高等学校专业调整后教学改革的需要,我社在华南理工大学土木工程系的协助下,组织出版这套适合大土木专业本科使用的“土木工程系列教材”。本系列教材按教育部颁布的专业目录中土木工程专业课程设置要求编写,以土木工程专业指导委员会 1999 年 10 月定稿的教学大纲为依据,立足华南,面向全国。整套书的编写讲求完整性和系统性,相关课程的内容经过充分的讨论,在此基础上进行了整合和优化,力求做到课程内容完整、信息量大。在参编作者的选择上尽量考虑中南地区的区域特色,也充分考虑了大土木专业的特点,以求本系列教材真正适合大土木专业的教学要求。

首批出版书目如下:

- 《土木工程材料》(陈雅福主编)
- 《土木工程测量》(刘玉珠主编)
- 《土力学》(杨小平主编)
- 《水力学》(于布主编)
- 《混凝土结构理论》(蔡健主编)
- 《混凝土结构设计》(王祖华主编)
- 《钢结构基本原理》(王仕统主编)
- 《钢结构设计》(王仕统主编)
- 《砌体结构》(卫军主编)
- 《土木工程荷载及设计方法》(张学文主编)
- 《高层建筑结构设计》(梁启智主编)
- 《土木工程施工》(叶作楷主编)
- 《土木工程项目管理》(李惠强主编)
- 《土木工程概预算》(张原主编)
- 《建筑结构选型》(张学文主编)
- 《钢-混凝土组合结构》(蔡健主编)
- 《基础工程》(杨小平主编)
- 《桥梁工程》(罗旗帜主编)
- 《道路勘察设计》(吴瑞麟主编)
- 《路基路面工程》(资建民主编)
- 《房屋建筑学》(裴刚 沈粤编著)
- 《土木工程防灾减灾学》(周云主编)
- 《有限元法基础与程序设计》(王元汉主编)
- 《结构分析的计算机方法》(王勇主编)
- 《国际工程合同管理》(李惠强主编)

首批教材侧重于专业技术基础课程,以后将在专业课程上加以拓展。

华南理工大学出版社

2001 年 2 月

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。编者凭藉多年的教学体会、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:第一、四章和附录 II:覃辉;第二、七章:易又庆;第三章:许国辉;第五章和第八章第四节:邓晖;第六章:金向农;第八章:李伟文;第九章和附录 I:郭祥瑞;第十章:刘玉珠;第十一、十二章:张文基;第十三章: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

2000.9

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	(3)
1.3 地面点位的确定	(4)
1.4 地球曲率对测量工作的影响	(8)
1.5 测量工作概述	(9)
1.6 测量上常用的计量单位	(11)
思考题与习题	(12)
第2章 水准测量	(13)
2.1 水准测量原理	(13)
2.2 水准测量的仪器和工具	(14)
2.3 水准测量方法	(20)
2.4 三、四等水准测量	(26)
2.5 水准仪的检验与校正	(28)
2.6 水准测量的误差及其消减方法	(31)
2.7 精密水准仪和电子水准仪简介	(33)
思考题与习题	(35)
第3章 角度测量	(38)
3.1 角度测量原理	(38)
3.2 光学经纬仪	(39)
3.3 经纬仪的使用	(41)
3.4 水平角观测	(45)
3.5 竖直角观测	(49)
3.6 三角高程测量	(53)
3.7 经纬仪的检验与校正	(54)
3.8 水平角测量误差	(57)
3.9 电子经纬仪简介	(59)
思考题与习题	(60)
第4章 距离测量与直线定向	(63)
4.1 钢尺量距	(63)
4.2 视距测量	(66)
4.3 电磁波测距	(69)
4.4 直线定向	(75)
4.5 坐标方位角的计算	(78)

思考题与习题	(81)
第5章 测量误差基本知识	(82)
5.1 测量误差的来源及其分类	(82)
5.2 衡量精度的指标	(85)
5.3 算术平均值及其中误差	(87)
5.4 误差传播定律	(91)
5.5 加权平均值及其中误差	(97)
思考题与习题	(99)
第6章 控制测量	(101)
6.1 控制测量概述	(101)
6.2 导线测量	(103)
6.3 交会定点	(115)
6.4 电子全站仪	(118)
6.5 全球定位系统(GPS)测量	(121)
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	(147)
8.1 地形图应用的基本内容	(147)
8.2 工程建设中的地形图应用	(149)
8.3 地形图上的面积测定	(155)
8.4 数字地面模型	(157)
思考题与习题	(158)
第9章 地籍测量	(160)
9.1 地籍测量的任务和特点	(160)
9.2 地籍调查	(160)
9.3 地籍测量	(164)
9.4 面积的量算和精度	(167)
思考题与习题	(169)
第10章 建筑施工测量	(170)
10.1 建筑施工测量概述	(170)
10.2 施工测设的基本工作	(170)
10.3 建筑场地施工控制测量	(175)
10.4 工业与民用建筑施工放样	(177)
10.5 高层建筑垂直测量控制	(183)
10.6 建筑物的变形观测	(187)

思考题与习题	(194)
第 11 章 线路工程测量	(195)
11.1 中线测量	(195)
11.2 圆曲线测设	(199)
11.3 缓和曲线测设	(205)
11.4 线路逐桩坐标的计算与极坐标法测设中线	(210)
11.5 线路纵、横断面测量	(212)
11.6 线路施工测量	(219)
思考题与习题	(222)
第 12 章 桥梁、隧道工程测量	(224)
12.1 概述	(224)
12.2 桥梁施工测量	(225)
12.3 隧道施工测量	(228)
思考题与习题	(233)
第 13 章 摄影测量与遥感	(234)
13.1 概述	(234)
13.2 航空摄影基本知识	(235)
13.3 航空摄影测量与地面摄影测量应用	(237)
13.4 遥感的基本知识	(241)
13.5 遥感技术的应用	(244)
思考题与习题	(246)
附录 I 测量实验与实习	(247)
附录 II 土木工程测量专业名词汉英对照表	(266)
参考文献	(278)

第1章 绪 论

1.1 测量学简介

众所周知,地球的自然表面很不规则,有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等。人类为自身生存和发展的需要,还在地球上建立了无数的建筑物和构筑物,如公路、铁路、桥梁、工厂、房屋建筑等。为了学习测量学的需要,首先介绍地物、地貌和地形的概念。

地物:地面上天然或人工形成的物体,它包括平原、湖泊、河流、海洋、房屋、道路、桥梁等。

地貌:地表面高低起伏的形态,它包括山地、丘陵和平原等。

地形:地物和地貌的总称。

1.1.1 概念

测量学是研究地球的形状和大小,确定地球表面各种物体的形状、大小和空间位置的科学。其主要内容包括测定和测设两个方面:

(1)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,供科学研究、国防和工程建设规划设计使用。

(2)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,作为施工的依据。

1.1.2 分类

根据研究的对象和应用上的分类,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。

本书主要属于《普通测量学》的范畴,并包含《工程测量学》的基本内容。

1.1.3 发展历程及应用范围

从20世纪60年代开始,随着社会生产力和经济的发展,世界科技进入高速发展时期,进而促进了测绘科学的发展。光电技术和微型电子计算机引入测绘仪器制造领域后,产生了将电磁波测距与电子测角融为一体的全站型电子速测仪(通常称为全站仪)。它可用电子手簿对野外测量数据进行存储,并通过与计算机连接输入计算机,通过编程解算出所求点位的三维坐标并自动绘出各种图形,实现了地形测量与绘图的数字化。随着航天遥感技术的不断完善,利用航天遥感像片及扫描信息测绘地形图,不仅覆盖面积大,而且不受地理及气候条件的限制,能全天候作业,极大地提高了工作效率。90年代以来发展了一种利用卫星测定地面控制点坐标的新技术——全球定位系统(Global Positioning System, GPS),使用GPS作业时,测量人员不受气候及地形的限制,只需将卫星接收机安置在待测量的点位上,接收卫星信号,并使用专门的软件就可以计算出该点的三维坐标。这种技术彻底改变了传统的通过测角量边计算地面控制点坐标的方法,极大地促进了测量学的发展。我们相信,随着现代科学技术的不断进步,测量科学也必然会向更高层的电子化、自动化和智能化方向发展。

在国民经济建设中,测量技术的应用十分广泛。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,必须预先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。当路线跨越河流时,必须建造桥梁,在建桥之前,要绘制河流两岸的地形图,测定河流的水位、流速、流量和河床地形图以及桥梁轴线长度等,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;当路线穿过山地需要开挖隧道时,开挖之前,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,隧道施工通常从隧道两端开挖,这就需要根据测量的成果指示开挖的方向等,使之符合设计要求。又例如,城市规划、给水排水、煤气管道等市政工程建设,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、维修和城市管理应用,对某些重要的建筑物或构筑物在建设中和建成以后都需要进行变形观测,以保证建筑物的安全。

1.1.4 学习要求

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。

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。

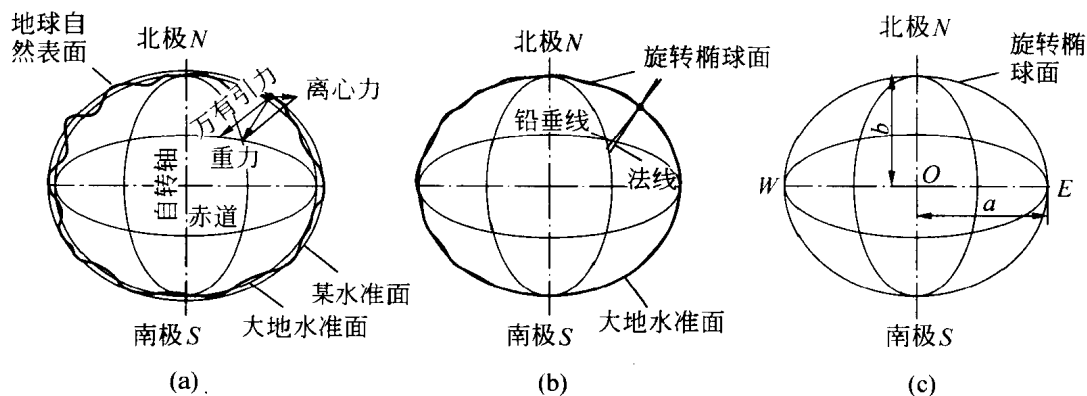


图 1-1 地球自然表面、大地水准面和旋转椭球面

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。为了解决这个问题,选择一个与大地水准面非常接近的、能用数学方程表示的几何形体来代表地球的形体。这个几何形体是由椭圆 NESW 绕其短轴 NS 旋转而成的旋转椭球体(如图 1-1c 所示),旋转椭球体又称地球椭球体,其表面称旋转椭球面。

由地表任一点向旋转椭球面作垂线称法线,除大地原点以外,地表任一点的铅垂线和法线一般不重合,其夹角称为垂线偏差,其值一般在 $10''$ 之内,如图 1-1b 所示。

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 1-1c 所示,其关系为:

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

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

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

由于地球椭球体的扁率很小,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)和该点到大地球水准面的铅垂距离(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,表示地面点在大地球水准面上的位置,它的基准是铅垂线和大地球水准面,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,天文子午面与大地球水准面的交线称为天文子午线(也称经线)。设 G 点为英国格林威治天文台的位置,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,是表示地面点在旋转椭球面上的位置,它的基准是法线和旋转椭球面,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

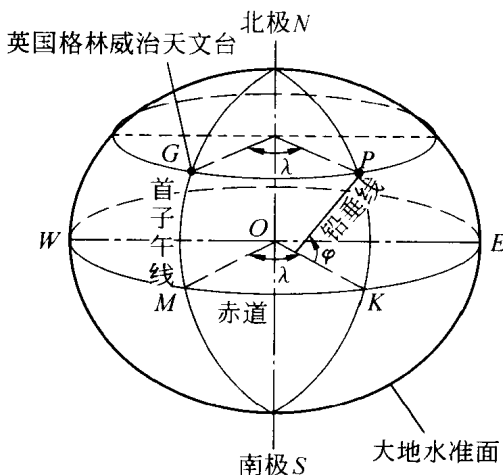


图 1-2 天文地理坐标

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 30m。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。

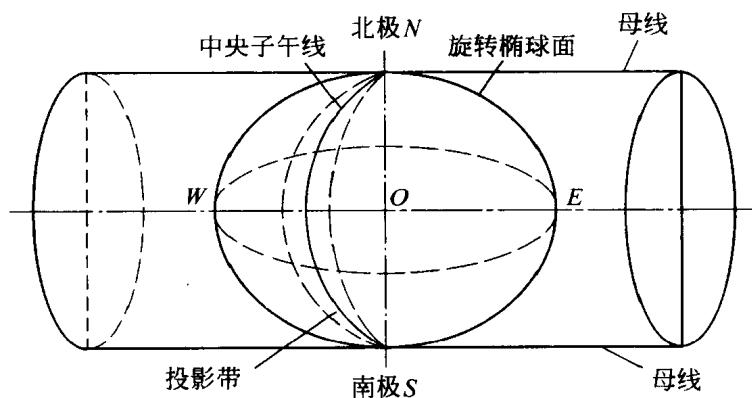


图 1-3 高斯平面直角坐标系的投影图

投影时是设想用一个空心椭圆柱横套在旋转椭球体外面,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。由于在旋转椭球体面上,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 1-4 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。

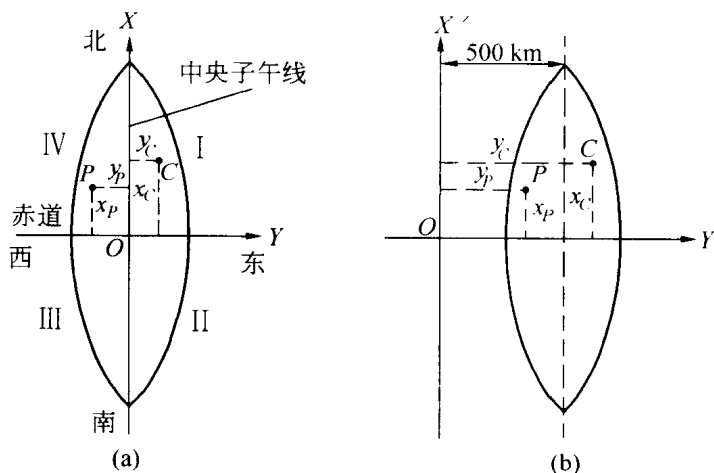


图 1-4 高斯平面直角坐标

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, $y_p = -265\ 214\text{ m}$,则有 $y'_p = 19\ 234\ 786\text{ m}$ 。

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:除了中央子午线和赤道没有距离变形以外,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。

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 10km),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。

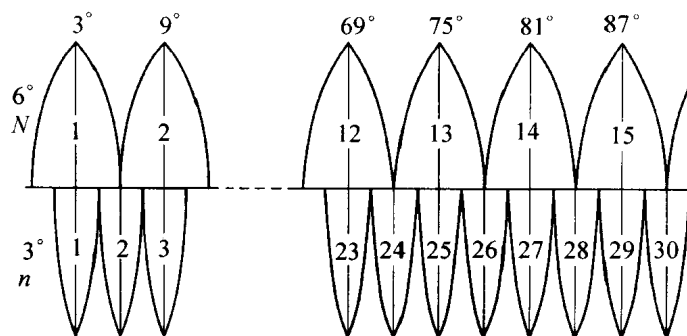


图 1-5 高斯平面直角坐标系 6° 带投影与 3° 带投影的关系

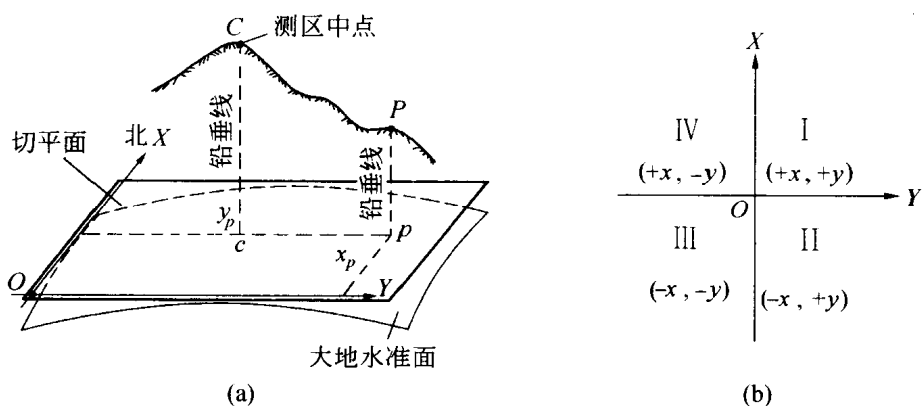


图 1-6 独立平面直角坐标系原理图

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。

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 72.289m,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 72.260m,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 0.029m。