



“十三五”职业教育建筑类专业规划教材

工程测量

(非测量类)

李志鹏 石永乐◎主编



“十三五”职业教育建筑类专业规划教材

工 程 测 量

(非测量类)

主 编 李志鹏 石永乐
副主编 杨 莹 吴 娜
参 编 刘兆煌 彭晓伟 刘建勋

机 械 工 业 出 版 社

本书以“必需、够用”为原则,以培养技能型人才为目标进行编写。全书分5个单元:“单元1 测量基本知识”主要讲述了工程测量概述、点位表示方法、直线定向、误差的概念、测量工作原则和工作程序等内容;“单元2 测量的三项基本工作”主要讲述了高程测量、角度测量、距离测量的定义及测量原理,各仪器构造、使用方法及检校,内外业数据处理方法,误差分析等内容;“单元3 测图与测设”主要讲述控制测量、测图、测设,以及地形图的识读与应用等内容;“单元4 建筑工程测量”主要讲述施工控制测量、民用建筑施工测量、工业建筑施工测量、曲线形建筑物的施工测量、建筑变形监测和竣工测量等内容;“单元5 矿山工程测量”主要讲述地下控制测量、矿井联系测量、巷道施工测量、巷道贯通测量等内容。

本书还设置了“技能训练”栏目,其可行性高、数量恰当、难度适中,方便各校教师灵活安排教学工作,利于学生掌握工程测量的核心技能。

本书为非测量类工程测量教材,可作为职业院校地下采矿专业、矿建专业、建筑工程专业的教材,也可供煤矿技术人员、矿山测量人员、建筑工程专业人员使用,还可作为企业的初级培训用书。

为方便教学,本书配有电子课件,凡选用本书作为授课教材的教师均可登录 www.cmpedu.com,以教师身份免费注册下载。编辑咨询电话:010-88379934。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量:非测量类/李志鹏,石永乐主编. —北京:机械工业出版社,2016.2

“十三五”职业教育建筑类专业规划教材

ISBN 978-7-111-52536-3

I. ①工… II. ①李… ②石… III. ①工程测量—职业教育—教材
IV. ①TB22

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第028673号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘思海 责任编辑:刘思海 于伟蓉

版式设计:霍永明 责任校对:闫玥红

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京云浩印刷有限责任公司印刷

2016年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12.5印张·306千字

0001—2000册

标准书号:ISBN 978-7-111-52536-3

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前言

为进一步深化职业教育教学改革，提高技能型人才的培养水平，本书在总结多年教学经验，广泛调研及征求同行意见、建议的基础上，以“必需、够用”为原则组织编写。本书的特色如下：

1) 淡化理论，注重基础。本书遵循学生对事物的认知规律，逻辑性强，从测量的基本知识、工作以及测图、测设，逐渐过渡到建筑工程测量、矿山工程测量，淡化了理论，删掉了过难、没必要的内容，力求做到简洁扼要，从而既利于学生从整体上更好地把握知识点，又利于学校灵活安排授课内容。

2) 图文并茂，强调实践，注重技能培养。本书着力突出实践性，采用国家、行业最新标准，在实际课程中合理安排了适当的技能训练，以求能与基本理论有机结合，达到“教、学、做”一体化的目的。

3) 本书配有电子课件，方便教师备课。此外，每个单元后均安排有思考题，方便教师安排习题课。

为方便教师灵活安排教学计划，本课程学时数安排建议如下：

单 元	总 学 时	课 题	建议学时
单元1 测量基本知识	6 学时	课题1 课程概述	1 学时
		课题2 地面点位置的表示	2 学时
		课题3 直线定向	1 学时
		课题4 测量误差及精度标准	1 学时
		课题5 测量工作的基本原则和工作程序	1 学时
单元2 测量的三项基本工作	12 + 10 学时	课题1 水准测量	4 + 4 学时
		课题2 角度测量	6 + 4 学时
		课题3 距离测量	2 + 2 学时
单元3 测图与测设	10 + 6 学时	课题1 图根控制测量	2 + 2 学时
		课题2 地形图测绘	2 学时
		课题3 地形图识读与应用	2 学时
		课题4 测设的基本工作	4 + 4 学时
单元4 建筑工程测量	14 + 4 学时	课题1 施工测量概述	1 学时
		课题2 施工控制测量	2 + 2 学时
		课题3 民用建筑施工测量	4 学时
		课题4 高层建筑物的轴线投测和高程传递	2 + 2 学时
		课题5 工业建筑施工测量	2 学时
		课题6 曲线形建筑物的施工测量	2 学时
		课题7 建筑物的变形观测及竣工测量	1 学时

(续)

单 元	总 学 时	课 题	建 议 学 时
单元5 矿山工程测量	12 + 4 学时	课题1 矿山工程测量概述	1 学时
		课题2 地下控制测量	2 + 2 学时
		课题3 矿井联系测量	3 学时
		课题4 巷道施工测量	4 + 2 学时
		课题5 巷道贯通测量	2 学时

本书由李志鹏、石永乐任主编，杨莹、吴娜任副主编。参加编写人员及分工如下：单元1、5由石永乐、彭晓伟编写，单元2由杨莹、吴娜编写，单元3由刘兆煌、刘建勋编写，单元4由李志鹏编写。

在本书编写过程中，参阅了大量的文献资料及书籍，引用了各类测量书刊中的部分内容，在此谨向有关作者表示衷心感谢。四川泸县建筑学校张尚平、华北理工大学王蕾、河南建筑职业技术学院王伟等对本书编写提供了大量帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点、错误、疏漏，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

单元 1 测量基本知识	1
课题 1 课程概述	1
训练 初步认知工程测量	3
课题 2 地面点位置的表示	4
训练 认知地面点位置的表示	10
课题 3 直线定向	11
训练 认知直线定向	13
课题 4 测量误差及精度标准	14
训练 辨别各类误差及精度计算	18
课题 5 测量工作的基本原则和工作程序	19
训练 掌握测量工作的基本原则和工作程序	21
单元练习题	21
单元 2 测量的三项基本工作	23
课题 1 水准测量	23
训练 1 认识水准仪	29
训练 2 水准仪基本操作训练	29
训练 3 闭合水准路线测量	38
训练 4 支水准路线测量	39
训练 5 微倾式水准仪的检验与校正	45
课题 2 角度测量	46
训练 1 结合实际描述并区分水平角与竖直角	47
训练 2 认识经纬仪	50
训练 3 制动螺旋、微动螺旋、目镜、调焦透镜、读数显微镜等操作训练	51
训练 4 光学对中器操作训练	51
训练 5 脚螺旋、水准器操作训练	52
训练 6 电子经纬仪认识使用	52
训练 7 经纬仪对中训练	54
训练 8 经纬仪整平训练	55
训练 9 经纬仪照准训练	55
训练 10 经纬仪读数训练	56

训练 11 经纬仪安置训练	59
训练 12 测回法观测水平角训练	59
训练 13 计算水平角训练	59
训练 14 竖直角观测训练	63
训练 15 计算竖直角训练	63
课题 3 距离测量	64
训练 学会使用全站仪	82
单元练习题	83
单元 3 测图与测设	88
课题 1 图根控制测量	88
训练 1 导线测量	96
训练 2 等外水准测量	96
课题 2 地形图测绘	100
课题 3 地形图识读与应用	109
课题 4 测设的基本工作	116
训练 1 角度、距离、高程测设	121
训练 2 点位测设	122
单元练习题	126
单元 4 建筑工程测量	128
课题 1 施工测量概述	128
训练 了解施工测量	129
课题 2 施工控制测量	130
训练 1 认识建筑施工的平面和高程控制	133
训练 2 建筑主轴线及方格网放样	134
课题 3 民用建筑施工测量	134
训练 了解建筑放线	138
课题 4 高层建筑物的轴线投测和高程传递	139
训练 拟定高层建筑轴线和高程引测传递方案	142
课题 5 工业建筑施工测量	142
课题 6 曲线形建筑物的施工测量	147
课题 7 建筑物的变形观测及竣工测量	150
训练 了解竣工测量	154
单元练习题	154
单元 5 矿山工程测量	155
课题 1 矿山工程测量概述	155
课题 2 地下控制测量	156

训练 1 井下经纬仪导线测量	161
训练 2 井下水准测量	164
课题 3 矿井联系测量	167
课题 4 巷道施工测量	174
训练 直线巷道中线、平巷道腰线、倾斜巷道腰线等的标定	184
课题 5 巷道贯通测量	185
单元练习题	189
参考文献	191

单元 1

测量基本知识

本单元学习测量的任务、点位表示方法、直线定向、测量误差概念、精度评定标准、测量工作内容及测量工作应遵循的基本原则。这些内容是学习测量技术的基本知识，要求学生必须掌握。

学习目标

知识目标

- 掌握测量的定义、分类。
- 能正确理解地面点位的表示方法、坐标系的建立等概念。
- 能正确理解地球曲率对测量工作的影响。
- 掌握测量工作的程序和原则。

技能目标

- ❖ 能看懂学校平面图，了解图和测量的关系。
- ❖ 了解测量的作用。

课题 1 课程概述

一、测量学的定义和分类

测量学是一门研究地球形状、大小和确定物体空间位置以及对这些位置信息进行研究、处理、存储、管理和应用的科学。测量学研究的对象是点的空间位置。

测量学在工程建设中的主要任务是测定和测设。测定也叫测图，是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，确定地球表面的地物（房屋、道路、河流、桥梁等人工构筑物）和地貌（山地、丘陵等地表自然起伏形态）的位置，按一定比例缩绘成地形图，供科学研究、经济建设和国防建设使用。测设是指通过用一定的测量方法，按照要求的精度，把设计图样上规划设计好的建筑物、构筑物的平面位置和高程在地面上标定出来，作为施工的依据。通俗来说，测定→测设，是由图样到地面；测设→测定，是由地面到图样。

测量学和其他科学一样，都是随着人们生产实践的需要而产生，并随着社会生产和科学技术的发展而发展。由于科学研究的深入和各学科间的渗透，测量学所涉及的内容及应用范围越来越广，形成了相互独立的学科。根据研究对象、技术手段和应用的不同，可分为以下几个学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究地球形状和大小、地球重力场以及广阔地面上建立国家大地控制网的理论、技术和方法的科学。在计算与制图过程中都要考虑地球曲率的影响。大地测量学又可分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

2. 普通测量学

普通测量学是研究地球表面较小区域内测量与制图的理论、技术和方法的科学。在测绘过程中不考虑地球曲率的影响。

3. 摄影测量学

摄影测量学是研究利用摄影或遥感技术获取被摄物体的信息，以确定物体的形状、大小、性质及空间位置的理论、技术和方法的科学。根据摄影方式的不同可分为航空摄影测量、地面摄影测量、航天摄影测量及水下摄影测量等。

4. 工程测量学

工程测量学是研究在工程建设的勘测、设计、施工、竣工验收和运行管理中进行各种测量的理论、技术和方法的科学。

5. 海洋测量学

海洋测量学是研究用于地球表面水体（江、河、湖、海）、港口、航道及水下地貌等的测量的理论、技术和方法的科学。

6. 地图制图学

地图制图学是研究利用测量成果制作各种地图的理论、工艺和方法的科学。

二、工程测量的任务

工程测量的任务有：

- 1) 在勘测设计阶段：为工程设计提供详细的地面资料（控制点坐标、地形图和纵、横断面图）。
- 2) 在施工阶段：将设计好的建筑物（平面位置与高程）测设标定于实地并指导施工。
- 3) 在竣工阶段：进行竣工测量，为工程的竣工、扩建、改建提供竣工图。
- 4) 在运营阶段：进行维护测量和变形监测，以便对建筑物、构筑物进行维护保养，确保运营安全。

测量工作是土木工程、土地管理、环境保护等专业的基础工作。工程测量的学习是要求掌握工程测量的基本知识、基本理论和基本操作技能，并能够灵活应用于有关专业工作中。

三、测量科学的发展概况

测量学是一门很古老的科学，有四千多年的历史。古埃及的尼罗河泛滥后，消除了土地界限，洪水过后需要重新划定地界，这就需要测量学与几何学的理论与技能。

我国早在春秋战国时期就制成了利用磁石的指南仪器“司南”，它是沿用几千年的指南针与罗盘的雏形。大约在公元前 2200 年，夏禹治水时，使用了“左准绳，右规矩”的测量工具和方法。长沙马王堆 3 号汉墓出土了西汉时期的《地形图》和《驻军图》。东汉张衡研制的天球仪与候风地动仪、魏晋时期刘徽的《海岛算经》、西晋裴秀的“制图六体”、唐代李吉甫的《元和群县图志》等一系列成就都在我国测绘史上留下了光辉的篇章。清代初期

我国开展了全国性测图工作,1708—1718年完成了《皇舆全图》。

20世纪50年代前后,不少新的科学技术迅速发展,如电子学、信息论、相干光理论、电子计算机、空间科学技术等,它们又推动了测绘科学的发展。从1947年研究利用光波进行测距,到20世纪60年代中期利用氦氖激光器作为光源的电磁波测距仪问世,这是量距工作的一大变革。在20世纪80年代,电磁波测距仪在白天和黑夜的最大测程已到60km,而且精度可达 $\pm(5\text{mm}+1\times10^{-6}\text{mm})^{\circ}$;短测程的测距仪,测程为1~2km,误差仅及厘米。

自动安平水准仪的问世,标志着水准测量自动化的开始。1990年研制出的数字水准仪,可以做到读数记录全自动化。1968年生产的电子经纬仪,采用光栅、光学编码来代替刻度分划线,以电信号方式获得测量数据,并可自动记录在存储载体上。陀螺经纬仪与激光经纬仪也已应用于工程测量的定向工作中。1957年第一颗人造地球卫星上天,1966年开始进行的人卫大地测量,能全天候观测,速度快、精度高,对洲际之间、岛屿和岛屿之间及岛屿和大陆之间的联测既快速又准确。20世纪70年代,人类已经能够通过人造卫星拍摄地球的照片,这使航天技术有了广泛发展和应用。20世纪70年代美国开始研制全球定位系统卫星,在90年代全部完成发射任务。

数字化自动成图系统,其中包括航测数字化成图与全站仪数字化成图,它与传统的方法相比,具有成图周期短、劳动强度小、图纸精度高等优点。“3s”技术的崛起,其中包括地理信息系统、全球定位系统和遥感,使测绘科学走向更高层次的电子化与自动化。

我国测绘事业自1949年新中国成立后进入了迅速发展的时期。1956年建立了国家测绘总局,建立了全国统一的坐标系统和高程系统,建立了全国范围的大地控制网,测绘了全国基本图和大量不同比例尺的地形图。

四、本课程的主要任务和目标

测量是土木工程专业学生的一门必修课程,主要为学习后续专业课程和将来从事土木技术管理工作奠定基础,因此,了解测量工作的基本原理、基本方法、精度要求是必要的。

本课程的主要任务是:学习测量学和土木工程测量的基本内容,具备必需的土木测量技术的基本知识和基本技能,为学习专业知识和职业技能、提高全面素质、增强适应职业变化的能力打下一定的基础。学生通过学习应达到下列目标:了解测量技术中的基本概念和基本原理;熟悉测量仪器的结构与使用方法;能用经纬仪导线法布设图根控制点和导线点;掌握测回法测量水平角、竖直角和用水准仪进行野外水准测量的方法,并能用计算器完成坐标和高程计算,会整理测量成果;初步掌握大比例尺地形图的测绘方法,能正确阅读和使用各种测绘资料;具有热爱科学、实事求是的学风和创新意识、创新精神。



技能训练

训练 初步认知工程测量

一、训练内容

观看学校平面图,了解图和测量的关系、测量的作用。

$\circ$ 即精度可达 $\pm(5\text{mm}+1\times10^{-6}D)$, D 是测量距离。

二、训练准备工作

准备好学校平面图（其他平面图也可）。

三、训练方法及要求

分组讨论，观看测量设备录像，了解测量手段，陈述测量的意义、测量工作的性质，仔细思考怎样学好工程测量此门课程。



考核评价

初步认知工程测量考核评价见表 1-1。

表 1-1 初步认知工程测量考核评价

序号	考核内容	分数	评分标准	得分
1	陈述测量的意义	25	叙述简明、准确 15~25 分；叙述不正确酌情扣分	
2	陈述测量工作的性质	35	认知全面、深刻 20~35 分；认知一般 0~20 分；	
3	怎样学好工程测量（决心书）	40	条理清晰、内容完整、方法得当 25~40 分；内容一般 0~25 分	
4	总计	100		

课题 2 地面点位置的表示

一、基准线和基准面

测量工作的实质是确定地面点的空间位置。在大地测量中，点的空间位置用经度、纬度、海拔表示。工程上则常用平面直角坐标（ X , Y ）和高程（ H ）表示，或在空间坐标系里用三维坐标来表示点的空间位置（图 1-1）。若用平面直角坐标（ X , Y ）和高程（ H ）表示点位，由于测量工作是在地球表面上进行的，为了确定点的空间位置，需先选择一个合适的投影面作为基准面，在基准面上建立坐标系，然后将地面点沿铅垂线方向投影到基准面上，用它们在基准面上的坐标和它们到基准面的垂直距离来表示（图 1-2）。如何选择测量工作的基准面？怎样在基准面上建立坐标系？对此，需先研究地球的形状和大小。

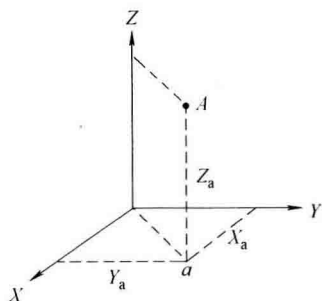


图 1-1 点的空间坐标

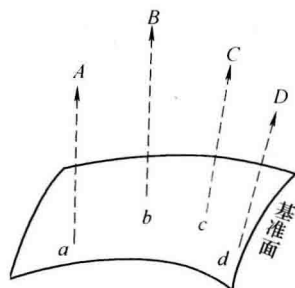


图 1-2 地面点的确定

测量工作的基准面作为测量数据处理、统一坐标计算的基准面，须具备两个基本条件：

一是基准面的形状和大小尽可能接近地球总的形体；二是能用简单的几何体和方程式表达。地球表面的形状复杂，不使用数学式来表达。通过长期实践和科学调查发现地球表面积约为 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，其中海洋占 70.8%，而陆地仅占 29.2%，我国境内的喜马拉雅山的主峰——珠穆朗玛峰，高出海水面 8846.27m，位于太平洋西部的马利亚纳海沟，则低于海平面 11022m，两者之间的高度差近 20000m。这些高低差异与地球半径（平均为 6371km）相比，可以忽略不计。因此，地球总的形体可视为由海水面穿过陆地所包围的形体。

自由静止的水面称为水准面，水准面有无数个。海水面有波浪和潮汐，假定其中静止的通过平均海水面的水准面称为大地水准面。大地水准面包围的形体叫大地体，用来代表地球的形状和大小。

由物理知识可知，水准面是个重力等位面，即水准面处处与重力方向垂直，在水准面上移动物体，重力不做功。大地水准面虽然比地球的自然表面规则，但由于地球内部物质分布的不均匀性，导致地球上各点的铅垂线方向产生不规则的变化，这就使得大地水准面实际上是一个略有起伏变化的不规则曲面（图 1-3a），它的精确形态不易用数学模型来描述。因此测量上选择了一个与大地水准面形体非常接近并能用数学表达的面作为基准面，即旋转椭球面。这个面是由一椭圆绕其短轴旋转而成。测量上把概括地球总形的旋转椭球面称为地球椭球面，把适合区域性如一个国家领土的旋转椭球面称为参考椭球面。椭球的形状和大小，可由元素 a 、 b 、 f 来描述（图 1-3b）。1975 年 IUGG（国际大地测量与地球物理联合会）推荐的地球椭球元素为

长半轴： $a = 6378140\text{m}$

短半轴： $b = 6356755.3\text{m}$

扁率： $f = 1/298.257$

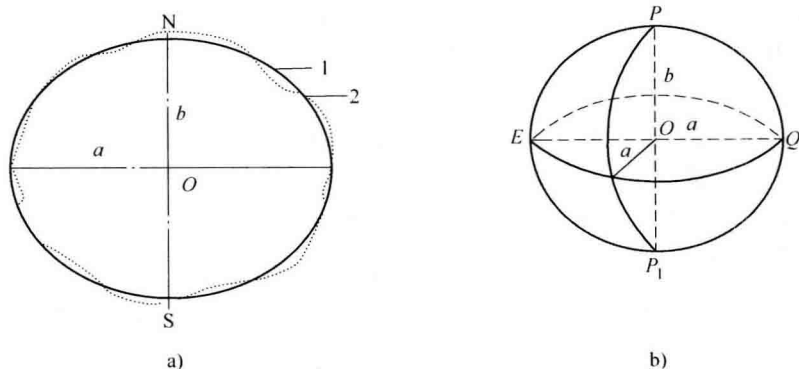


图 1-3 大地水准面和地球椭球

测量工作就是以椭球面作为基准面，并把这个面充当地球的数学模型，在上面建立与地球——对应的坐标系，从而确定地面点的位置的工作。工程测量是把参考椭球用高斯投影理论变成的高斯投影平面作为基准面，面积在 100 km^2 以内的小区域测量可用水平面作为基准面。

汇总常用测量工作的基准面有：

- 1) 水准面：野外测量基准面。
- 2) 大地水准面：高程基准面。

- 3) 参考椭球面：大地测量的基准面。
- 4) 高斯投影面：工程测量的基准面。
- 5) 水平面：小区域测量基准面。

二、测量常用坐标系统

用于确定地面或空间点位的参考系或参照物称为坐标系统。将几何坐标系按一定的关系放入物理坐标系中的一组必要参数称为基准。各种坐标系统及相应的基准参数都有其各自的定义、建立、维持等特点。测绘系统是指由测绘基准延伸，在一定范围内布设的各种测量控制网。测绘系统是各类测绘成果的依据，包括大地坐标系统、平面坐标系统、高程系统、地心坐标系统和重力测量系统。

1. 地理坐标系

地理坐标系是一个球面坐标系。在地理坐标系中，地面点在球面上的位置用地理经度和地理纬度表示的称为地理坐标。在图 1-4 中， PP_1 为椭球的旋转轴， P 表示北极， P_1 表示南极， O 表示球心。通过椭球旋转轴的平面称为子午面，而其中通过英国格林尼治天文台的子午面称为起始子午面。

子午面与椭球面的交线称为子午线。通过椭球中心且与椭球旋转轴正交的平面称为赤道面，赤道面与椭球面的交线称为赤道。与赤道面平行的平面和椭球表面的交线称为纬线。起始子午面和赤道面是确定地面某一点地理坐标的基准面。

图 1-4 中， L 点的经度是该点的子午面与首子午面所构成的二面角，以 λ 表示。经度由首子午面起向东、向西度量，各由 0° 至 180° ，在首子午面以东者称为东经，以西者称为西经。

L 点的纬度是通过该点的铅垂线与赤道面之间的夹角，以 φ 表示。纬度以赤道平面为基准，向北、向南各由 0° 至 90° ，在赤道以北者称为北纬，以南者称为南纬。例如，北京的地理坐标 (λ, φ) 为东经 $116^\circ 23'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。

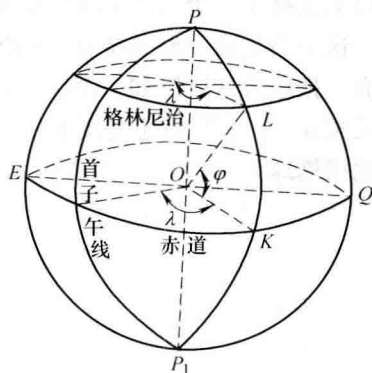


图 1-4 地理坐标

2. 高斯平面直角坐标系

高斯平面直角坐标系是平面坐标系统，如果测区范围较大，就不能把地球表面当作平面看待，需要按照地图投影的方法，将球面上的点移到平面上。高斯提出的横圆柱正形投影理论，经克吕格补充研究，形成了高斯-克吕格坐标，该坐标就是建立在高斯投影面上的直角坐标。椭球面是一个不可展曲面，将椭球面上的图形转换为平面必然产生一定的变形，为了控制由曲面正形投影到平面时引起的长度变形，高斯投影采取了分区分带的投影方法，使带内最大的变形控制在测量允许的范围内。

地球表面在一定情况下可进一步简化为一个圆球（图 1-5a）。设想将一个平面卷成圆柱形，把它套在地球外面，使圆柱面恰好与地面上的某一子午线相切（图 1-5 中与 PP_1 相切），这条子午线称中央子午线或轴子午线。如果在球面上以不同的子午线分别与圆柱面相切，并以地心为投影中心，把地球表面分别投影到圆柱面上，则可以把地球表面分成若干个花瓣形地带，如图 1-6 所示。

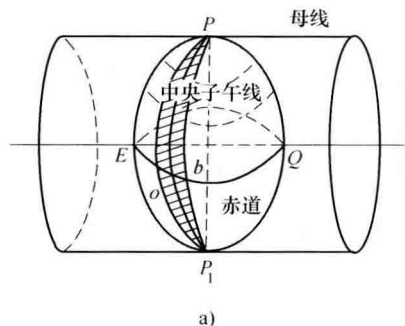


图 1-5 高斯投影

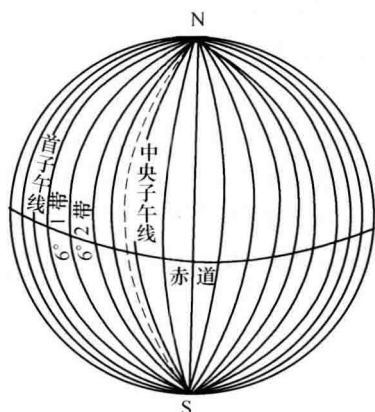
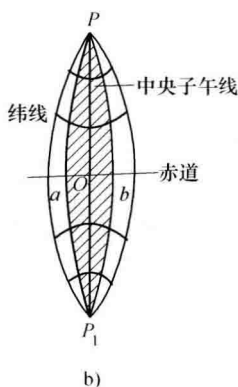


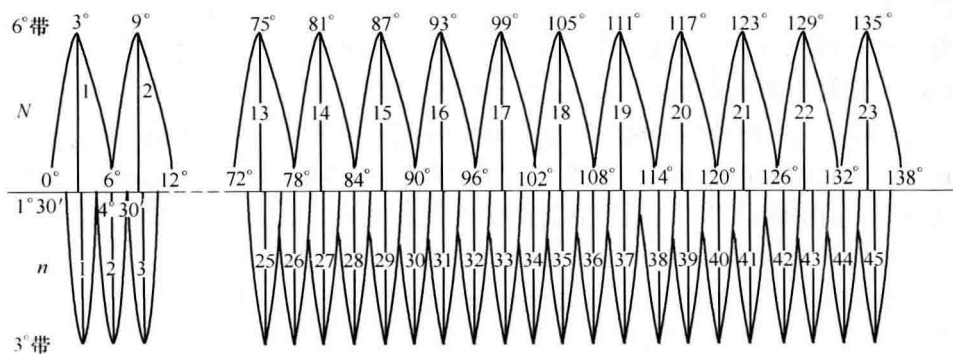
图 1-6 高斯平面直角坐标的分带

如每隔经差 6° 为一带，然后将圆柱的母线剪开展呈平面，即为高斯投影平面，如图 1-5b 所示。我国的分带投影是按照经度将地球划分为 60 个 6° 带，从 0° 子午线开始每隔经度差 6° 划分为一带，即 $0^\circ \sim 6^\circ$ ， $6^\circ \sim 12^\circ$ ， $12^\circ \sim 18^\circ \dots$ 。分带带号 N 自西向东依次为 1 ~ 60。位于各带边上的子午线称为分带子午线，位于各带中央的子午线称为中央子午线，各带中央子午线的经度可按下式计算

$$\lambda_6 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-1)$$

投影时每带独立进行，将投影平面与中央子午线相切，按中央子午线投影为直线，且长度不变形，赤道投影为直线的条件进行投影。投影后，展开投影面，即高斯投影面。在高斯平面上除中央子午线与赤道的投影构成两条相互垂直的直线外，其余子午线均为对称于中央子午线的曲线，而且距离中央子午线越远，长度变形越大，如分带子午线的变形就大于带内其他子午线的变形（图 1-5b）。为了控制变形，满足大比例尺测图和精密测量的需要，也可采用 3° 带。由图 1-7 可知， 3° 带是在 6° 带的基础上划分的， 3° 带是从东经 1.5° 开始，自西向东每隔 3° 为一带，带号 n 依次为 1 ~ 120。各带中央子午线的经度可按下式计算

$$\lambda_3 = 3^\circ n \quad (1-2)$$

图 1-7 高斯直角坐标系 6° 带投影与 3° 带投影的关系

例如，北京位于东经 $116^{\circ}23'$ ，所在 6° 带和 3° 带的中央子午线经度为 $\lambda_6 = \lambda_3 = 117^{\circ}$ ，则由式（1-1）和式（1-2）得

$$N = (\lambda_6 + 3^{\circ}) / 6^{\circ} = (117^{\circ} + 3^{\circ}) / 6^{\circ} = 20$$

$$n = \lambda_3 / 3^{\circ} = 117^{\circ} / 3^{\circ} = 39$$

可见北京的 6° 带号为 20， 3° 带号为 39。

采用分带投影后，取各带的中央子午线为 x 轴，赤道为 y 轴，其交点为原点，从而建立起每个投影带独立的高斯平面直角坐标系。点在 Gauss 平面直角坐标系中的表示方法如图 1-8a 所示。

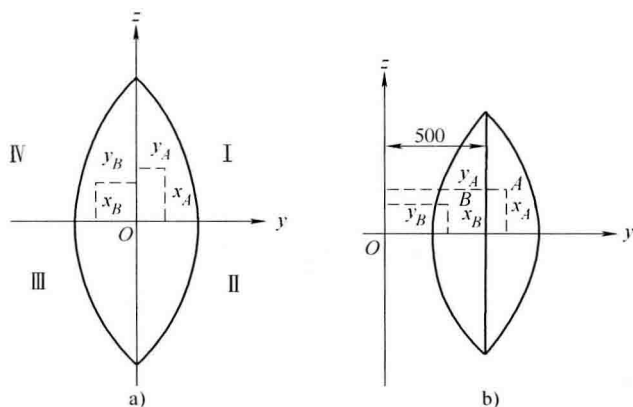


图 1-8 点的平面直角坐标

3. 国家通用坐标

我国位于北半球， x 坐标值为正，横坐标值 y 则有正有负，中央子午线以东为正，以西为负。这种以中央子午线为纵轴的坐标值，称为自然坐标值。为了使横坐标值不出现负值，规定每带坐标纵轴向西平移 500km 计算坐标。这样，无论横坐标自然值为正为负，加上 500km 后均为正值（图 1-8b）。为了判明点位所在的投影带，还规定在横坐标值之前加注投影带带号，这种由带号、500km 和自然值三部分组成的坐标系，称为国家统一坐标系。横坐标值 Y 称为横坐标的统一值或通用值。

例如，设 A 点位于 19 带，其自然坐标值为： $x = 4688\text{km}$ ， $y = 177\text{km}$ 。换算为国家通用坐标值为： $X = 4688\text{km}$ ， $Y = 19677\text{km}$ 。设 B 点也位于 19 带，自然坐标值为： $x = 4168\text{km}$ ， $y = -183\text{km}$ 。换算为国家通用坐标值为： $X = 4168\text{km}$ ， $Y = 19317\text{km}$ 。

由上例可以看出：由自然坐标值换算为国家通用坐标值时， x 坐标值不变， y 坐标值加上 500km 后，再在前面加注带号。显然，当 y 坐标的通用值 Y 大于 500km 时，该点位于投影带中央子午线的东侧，当 y 坐标的通用值 Y 小于 500km 时，该点位于投影带中央子午线的西侧。

由于我国境内 6° 带带号在 13 ~ 23 之间，而 3° 带带号则在 24 ~ 45 之间，没有重复带号，故根据某点的通用值，便可知道投影带是 6° 带还是 3° 带。

4. 2000 国家大地坐标系

2000 国家大地坐标系是我国当前最新的国家大地坐标系，英文名称为 China Geodetic Coordinate System 2000，英文缩写为 CGCS2000。

我国于20世纪50年代和80年代分别建立了1954年北京坐标系和1980西安坐标系，它们在国民经济、社会发展和科学研究中发挥了重要作用。限于当时的技术条件，我国大地坐标系基本上是依赖于传统技术手段实现的。1954年北京坐标系采用的是克拉索夫斯基椭球体。该椭球在计算和定位的过程中，没有采用我国的数据，因此该系统在我国范围内符合得不好，不能满足高精度定位以及地球科学、空间科学和战略武器发展的需要。20世纪70年代，我国采用1975年IUGG第十六届大会推荐的参考椭球参数，建立了1980西安坐标系，1980西安坐标系在我国经济建设、国防建设和科学研究中发挥了巨大作用。

20世纪80年代以来，以全球卫星导航定位系统为主的现代空间定位技术快速发展，使得国际上获得位置的测量技术和方法迅速变革。目前我国导航定位也普遍采用了卫星导航定位技术。单纯采用以前参心、二维、低精度、静态的大地坐标系统和相应的基础设施作为我国的测绘基准，必然会带来越来越多不协调的问题，而且制约高新技术的应用。空间技术、信息技术及其应用技术的迅猛发展和广泛普及，对国家大地坐标系提出了新的要求，需要采用原点位于地球质心的坐标系统作为国家大地坐标系。采用质心坐标系，有利于采用现代空间技术对坐标系进行维护和快速更新，测定高精度大地控制点三维坐标，并提高测图工作效率。国家大地坐标系的定义包括坐标系的原点、三个坐标轴的指向、尺度以及地球椭球四个基本参数的定义。2000国家大地坐标系的原点为包括海洋和大陆的整个地球的质量中心。2000国家大地坐标系的 Z 轴由原点指向历元2000.0的地球参考极的方向，该历元的指向由国际时间局给定的历元为1984.0的初始指向推算，定向的时间演化保证相对于地壳不产生残余的全球旋转。2000国家大地坐标系中， X 轴由原点指向格林尼治参考子午线与地球赤道面（历元2000.0）的交点， Y 轴与 Z 轴、 X 轴构成右手正交坐标系，采用广义相对论意义下的尺度。2000国家大地坐标系采用的地球椭球参数的数值为：长半轴 $a = 6378137\text{m}$ ；扁率 $f = 1/298.257222101$ 。其他参数可查阅相关资料。

三、点的高程

为了确定地面点的空间位置，除了要确定其在基准面上的投影位置外，还应确定其沿投影方向到基准面的距离，即确定点的高低位置。地面点沿铅垂线到大地水准面的距离，称为该点的绝对高程，简称高程，军事上称为海拔，工程上称作标高，以 H 表示。如图1-9所示， H_A 、 H_B 表示地面点 A 和 B 的绝对高程。如果基准面不是大地水准面，而是任意假定水准面时，则点到假定水准面的铅垂距离称为相对高程或假定高程，用 H' 表示。图1-9中的 H'_A 和 H'_B 表示 A 、 B 两点的假定高程。

新中国成立后，我国的绝对高程以设在山东省青岛市的国家验潮站1950年到1956年观测的验潮资料推算的黄海平均海水面作为起算基准面。以此基准的高程为零而建立的高程系统，称为“1956年黄海高程系”。为了明显而稳固地表示高程起算面的位置，国家于1956年在青岛建立了一个与平均海水面相联系的水准点，称为水准原点，其高程为72.289m，作为布设国家高程控制网的高程起算点。20世纪80年代初国家又根据青岛验潮站1953年到1979年的观测资料，重新计算水准原点的高程为72.2604m，称为“1985年国家高程基准”，该基准已于1985年1月1日起执行。

全国各地的地面点的高程，都是以青岛国家水准原点的黄海高程为起算数据，因而高程系统是全国统一的。在局部地区，如果远离已知高程的国家水准点，也可建立假定高程系