



高等职业技术教育“十三五”规划教材
普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材

工程 测量



张慧慧 / 主编



西南交通大学出版社

高等职业技术教育“十三五”规划教材

普通高等教育“十三五”应用

工程测量

张慧慧 主编

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第039607号

工程测量
张慧慧 主编

责任编辑：张慧慧
封面设计：张慧慧

出版发行：西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段111号)
西南交通大学创新大厦21楼
电话：028-87600284 028-87600233
邮编：610031
网址：<http://www.swjdpbs.com>

印刷：成都蜀都印务有限公司

印 张：12
字 数：300千字
定 价：35.00元

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书采用项目教学法,全面介绍了工程测量的基础理论和基本技能训练项目,确保学生在项目实践中掌握工程测量的基础知识与技能。全书共分为10个项目,主要包括工程测量概论、水准测量、角度测量、距离测量、测量误差、小区域控制测量、地形图测绘与应用、施工放样的基本工作、道路工程测量、建筑工程测量等。

本书注重理论与实践相结合,突出能力培养的目标,可作为高职高专测绘类、路桥、建工及其相关专业的教材,也可作为施工单位测绘工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 张慧慧主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2016.2

高等职业技术教育“十三五”规划教材 普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材

ISBN 978-7-5643-4588-4

I. ①工… II. ①张… III. ①工程测量—高等职业教育—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第039607号

高等职业技术教育“十三五”规划教材
普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材

工程测量

张慧慧 主编

责任编辑 曾荣兵
封面设计 墨创文化

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段111号
西南交通大学创新大厦21楼)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 成都蓉军广告印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印 张 16.5

字 数 412 千

版 次 2016年2月第1版

印 次 2016年2月第1次

书 号 ISBN 978-7-5643-4588-4

定 价 36.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

“工程测量”是高职高专测绘、路桥、建工及相关专业的一门专业基础课程，是专业核心能力模块的重要组成部分。本书的编写本着以学生为中心、以就业为导向、以能力为本位、以岗位需求和职业标准为依据，力求满足学生职业生涯发展的需求，适应测绘、建筑、交通等工程单位测量岗位的要求。为使本书具有较强的技能性、实用性和先进性，编写人员多次深入施工现场，与现场施工技术人员进行探讨，征求了部分测绘单位和施工单位专家的意见，突出了高职高专教育的特点，注重理论与实践相结合，尤其强调学生实际动手能力的基本素质培养。

本书共分 10 个项目：项目一为工程测量概论；项目二为水准测量；项目三为导线测量；项目四为距离测量；项目五为测量误差；项目六为小区域控制测量；项目七为地形图测绘与应用；项目八为施工放样的基本工作；项目九为道路工程测量；项目十为建筑工程测量。通过本课程的学习，学生可掌握工程测量基础理论知识、基本测量仪器及其操作、基本测量工作及其作业方法、地形图测绘的方法、建筑工程测量、道路工程测量等相关知识。通过项目法来组织教学，倡导学生在项目活动中掌握工程测量的基本知识与技能，培养学生初步具备工程测量需要的基本职业能力。

本书由辽宁省交通高等专科学校张慧慧主编。在书稿编订过程中参阅了大量的书籍和文献资料，引用了部分专家、学者的研究成果，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和疏忽，敬请读者批评指正。

编 者

2015 年 12 月

目 录

项目一 工程测量概论	1
任务一 测量学及工程测量的任务与作用	1
任务二 工程测量基础知识	6
项目二 水准测量	16
任务一 水准仪的使用	16
任务二 等外水准测量	25
任务三 用水准仪完成三、四等水准测量	32
任务四 水准测量误差分析	35
任务五 精密水准仪和电子水准仪简介	39
项目三 角度测量	49
任务一 经纬仪测角原理及使用方法	49
任务二 水平角观测	58
任务三 竖直角观测	61
任务四 角度测量误差分析	64
任务五 电子经纬仪	69
项目四 距离测量	75
任务一 钢尺量距	75
任务二 视距测量	79
任务三 光电测距仪原理及全站仪使用	83
项目五 测量误差的基础知识	96
任务一 观测值与观测误差	96
任务二 偶然误差统计特性	101
任务三 衡量精度的指标	104
任务四 协方差传播律及其应用	108
项目六 小区域控制测量	120
任务一 小区域控制测量基础知识	120
任务二 导线测量外业	126
任务三 导线测量内业计算	130
任务四 交会测量	139
任务五 三角高程测量	143

项目七 地形图测绘与应用	150
任务一 地形图基础知识	150
任务二 地形图测绘	161
任务三 地形图的识读与应用	183
项目八 施工放样的基本工作	192
任务一 施工放样概述	192
任务二 测设的基本工作	194
任务三 点的平面位置测设	201
项目九 道路工程测量	206
任务一 圆曲线测设	206
任务二 缓和曲线测设	213
任务三 道路纵、横断面测量	224
项目十 建筑工程测量	233
任务一 民用建筑施工测量	233
任务二 工业建筑施工测量	245
任务三 高层建筑施工测量	251
参考文献	258

项目一 工程测量概论

本项目主要介绍工程测量研究的任务与作用，工程测量发展概况及未来发展趋势，地面点平面位置、高程的表示方法，常用坐标系统的建立及其特点，高斯平面直角坐标系的建立、地球曲率对距离及高程的影响，测量工作的基本原则。通过本项目的学习，学生可掌握测量的一些基础知识，对工程测量这门学科有初步的了解，明确今后学习的思路，为后续的学习奠定基础。

任务一 测量学及工程测量的任务与作用

【任务介绍】

本任务主要介绍“工程测量学”这门学科的研究任务、目的及未来发展方向，工程测量主要解决什么问题，从而明确这门课程的学习目的及思路。

【任务目标】

知识目标：◎ 掌握测量学的研究对象、分类及作用；

◎ 明确测量学的发展历程与现状；

◎ 掌握工程测量研究目的与任务。

能力目标：◎ 理解测量的学科分类与未来发展趋势；

◎ 理解工程测量与其他测量的区别与联系。

【任务实施】

一、测量学任务及分类

测量学是测绘科学的重要组成部分，是研究地球的形状和大小以及确定地球表面（含空

中、地表、地下和海洋)物体的空间位置,并对这些空间位置信息进行处理、储存、管理的科学。

测量学的内容包括测绘和测设两部分。测绘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,或把地球表面的地形缩绘成地形图。测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

测量学是一门既古老而又在不断发展的综合性学科。按照研究范围和对象及采用技术的不同,测量学分为大地测量学、地形测量学、摄影测量与遥感学、工程测量学、海洋测绘学以及地图制图学等多个学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究测定地球的形状和大小及地球重力场的测量方法、分布情况及其应用的学科。其基本任务是建立国家大地控制网,测定地球的形状、大小和重力场,为地形测图和各种工程测量提供基础起算数据;为空间科学、军事科学以及研究地壳变形、地震预报等提供重要的资料。按照测量手段的不同,大地测量学又分为常规大地测量学、卫星大地测量学及物理大地测量学。

2. 摄影测量学与遥感

摄影测量与遥感学是研究利用电磁波传感器获取目标物的影像数据,从中提取语义和非语义信息,并用图形、图像和数字形式表达的学科。其基本任务是通过对摄影相片或遥感图像进行处理、量测、解译,以测定物体的形状、大小和位置进而制作成图。根据获得影像的方式及遥感距离的不同,该学科又分为地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天遥感测量学。随着科学技术的飞速发展,摄影测量与遥感已在许多科学领域得到应用。

3. 地形测量学

地形测量学是研究如何将地球表面局部区域内的地物、地貌及其他有关信息测绘成地形图的理论、方法和技术的学科。按照成图方式的不同,地形测图可分为模拟测图和数字化测图。

4. 地图制图学

地图制图学是利用测量、采集和计算所得的成果资料,研究各种地图的制图理论、原理、工艺技术和应用的学科。其研究内容包括地图编制、地图投影学、地图整饰、印刷等。这门学科正在向制图自动化、电子地图制作及地理信息系统方向发展。

5. 地籍测量学

地籍测量学是调查和测定土地及其上附着物的权属、位置、质量、数量和利用现状等基本状况的学科。地籍测量为土地和房屋管理、城乡规划、税收、土地整理等方面提供重要的基础资料。它的主要内容包括:地籍控制测量,地籍图绘制,界址点坐标值及权属范围的面积计算,调查权属主姓名、住址、土地利用现状、类别和等级,房产情况等。

6. 工程测量学

工程测量学是研究各种工程在规划设计、施工建设和运营管理各阶段所进行的各种测量工作的学科。工程测量是测绘科学与技术国民经济和国防建设中的直接应用,是综合性的应用测绘科学与技术,它直接为工程建设服务。随着激光技术、光电测距技术、工程摄影测量技术、快速高精度空间定位技术在工程测量中的应用,工程测量学的服务面越来越广,特别是现代大型工程的建设,大大促进了工程测量学的发展。按工程测量所服务的工程种类可将工程测量分为建筑工程测量、道路工程测量、桥梁与隧道测量、矿山测量、城市测量和水利工程测量等。

测量学各分支学科之间互相渗透、相互补充、相辅相成。本课程主要讲述工程测量学的内容。

二、工程测量的发展概况及未来发展趋势

(一) 工程测量仪器的发展现状

工程测量仪器可分通用仪器和专用仪器。

1. 通用仪器的发展

(1) 通用仪器中常规的光学经纬仪、光学水准仪和电磁波测距仪将逐渐被电子全站仪、电子水准仪所替代。

(2) 电脑型全站仪配合丰富的软件,正在向全能型和智能化方向发展。带电动马达驱动和程序控制的全站仪结合激光、通信及 CCD 技术,可实现测量的全自动化,被称作测量机器人。测量机器人可自动寻找并精确照准目标,在 1s 内完成一目标点的观测,像机器人一样对成百上千个目标作持续和重复观测,可广泛用于变形监测和施工测量。

(3) GPS 接收机已逐渐成为一种通用的定位仪器在工程测量中得到广泛应用。将 GPS 接收机与电子全站仪或测量机器人连接在一起,称超全站仪或超测量机器人。它将 GPS 的实时动态定位技术与全站仪灵活的三维极坐标测量技术完美结合,可实现无控制网的各种工程测量。

2. 专用仪器的发展

专用仪器是工程测量仪器发展最活跃的,主要应用于精密工程测量领域。其中,包括机械式、光电式及光机电(子)结合式的仪器或测量系统。其主要特点是:高精度、自动化、遥测和持续观测。

(1) 用于建立水平的或竖直的基准线或基准面,测量目标点相对于基准线(或基准面)的偏距(垂距),称为基准线测量或准直测量。这方面的仪器有正、倒锤与垂线观测仪,金属丝引张线,各种激光准直仪、铅直仪(向下、向上)、自准直仪,以及尼龙丝或金属丝准直测量系统等。

(2) 在距离测量方面,包括中长距离(数十米至数公里)、短距离(数米至数十米)和微

距离（毫米至数米）及其变化量的精密测量。以 ME5000 为代表的精密激光测距仪和 TERRAMETER LDM2 双频激光测距仪，中长距离测量精度可达亚毫米级；许多短距离、微距离测量都实现了测量数据采集的自动化，其中最典型的代表是因瓦线尺测距仪 DISTINVAR、应变仪 DISTERMETER ISETH、石英伸缩仪、各种光学应变计、位移与振动激光快速遥测仪等。采用多普勒效应的双频激光干涉仪，能在数十米范围内达到 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 的计量精度，为重要的长度检校和精密测量设备；采用 CCD 线列传感器测量微距离可达到百分之几微米的精度，使距离测量精度从毫米、微米级进入到纳米级世界。

（3）高程测量方面，最显著的发展应数液体静力水准测量系统。这种系统通过各种类型的传感器测量容器的液面高度，可同时获取数十乃至数百个监测点的高程，具有高精度、遥测、自动化、可移动和持续测量等特点。两容器间的距离可达数十千米，可用于跨河与跨海峡的水准测量，通过一种压力传感器，允许两容器之间的高差从过去的数厘米达到数米。

（4）与高程测量有关的是倾斜测量（又称挠度曲线测量），即确定被测对象（如桥、塔）在竖直平面内相对于水平或铅直基准线的挠度曲线。各种机械式测斜（倾）仪、电子测倾仪都向着数字显示、自动记录和灵活移动等方向发展，其精度达微米级。

（5）具有多种功能的混合测量系统是工程测量专用仪器发展的显著特点，采用多传感器的高速铁路轨道测量系统，用测量机器人自动跟踪沿铁路轨道前进的测量车。测量车上装有棱镜、斜倾传感器、长度传感器和微机，可用于测量轨道的三维坐标、轨道的宽度和倾角。液体静力水准测量与金属丝准直集成的混合测量系统在数百米长的基准线上可精确测量测点的高程和偏距。

综上所述，工程测量专用仪器具有高精度（亚毫米、微米乃至纳米）、快速、遥测、无接触、可移动、连续、自动记录、微机控制等特点，可作精密定位和准直测量，可测量倾斜度、厚度、表面粗糙度和平直度，还可测振动频率以及物体的动态行为。

（二）工程测量学科的发展趋势

（1）测量机器人将作为多传感器集成系统在人工智能方面得到进一步发展，其应用范围将进一步扩大，影像、图形和数据处理方面的能力将会进一步增强。

（2）在变形观测数据处理和大型工程建设中，将发展基于知识的信息系统，并进一步与大地测量、地球物理、工程与水文地质以及土木建筑等学科相结合，解决工程建设中以及运行期间的安全监测、灾害防治和环境保护的各种问题。

（3）工程测量将从土木工程测量、三维工业测量扩展到人体科学测量，如人体各器官或部位的显微测量和显微图像处理。

（4）多传感器的混合测量系统将得到迅速发展和广泛应用，如 GPS 接收机与电子全站仪或测量机器人集成，可在大区域乃至国家范围内进行无控制网的各种测量工作。

（5）GPS、GIS 技术将紧密结合工程项目，在勘测、设计、施工管理一体化方面发挥重大作用。

（6）大型和复杂结构建筑、设备的三维测量、几何重构以及质量控制将是工程测量学发展的一个特点。

(7) 数据处理中数学物理模型的建立、分析和辨识将成为工程测量学专业教学的重要内容。

工程技术的发展不断对测量工作提出新的要求,同时,现代科学技术和测绘新技术的发展,给直接为经济建设服务的工程测量带来了严峻的挑战和极好的机遇。特别是全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、摄影测量与遥感(RS)以及数字化测绘和地面测量先进技术的发展,使工程测量的手段、方法和理论产生了深刻的变化。工程测量的领域在进一步扩展,而且正朝着测量数据采集和处理的自动化、实时化和数字化方向发展。

三、工程测量学在工程建设中的作用

(一) 工程测量在道路工程测量中的作用

在国民经济建设中,包括资源勘探、工矿建设、城市规划、地质勘探、农田水利及铁路选线与施工、飞机场的修建,乃至地震预测、科学考察等,无不需要测量工作。

测量学在道路、桥梁、隧道等工程建设中,起着重要的作用。为了获得一条经济、合理的路线,首先要进行路线的勘测,绘制带状地形图和纵、横断面图,进行纸上定线和路线设计,并将设计好的路线平面位置、纵坡及路基边坡等在实地标定出来,再根据现场的实际进行必要的调整和优化,最后确定设计方案,进行施工放样。

当路线跨越河流时,拟设计桥梁前,应绘制河流两岸的地形图、测量桥梁轴线长度及河床的断面图,测量桥位的河流比降,为桥梁方案的选取和设计提供必要的的数据。施工时,将桥墩、桥台的位置标定在实地,同样需要进行测设工作。

当路线跨越高山时,为了降低路线的纵坡,减少路线的长度,多采用隧道施工穿越高山。在隧道设计前,应测绘隧道经过处山体的大比例尺地形图,进而确定隧道的曲线线形、洞口位置等,为隧道的设计提供必要的的数据。在隧道施工期间,除为隧道施工提供必要的中心线、腰线数据外,还包括贯通测量、变形监测。其中,贯通测量是隧道施工的关键,关系到隧道能否按照设计要求在准确位置贯通。

工程测量学在道路、桥梁、隧道等工程的设计、施工和运营阶段,是至关重要、必不可少的一环。

(二) 工程测量在建筑工程测量中的作用

建筑工程测量在工程建设中有着广泛的应用,起着重要的作用。例如,建筑用地的选择,道路、管线位置的确定等,都要利用测量所提供的资料和图纸进行规划设计;在施工阶段,需要通过测量工作来衔接、配合各项工序的施工,才能保证设计意图的正确执行;施工竣工后的竣工测量,可为工程的验收、日后的扩建和维修管理提供资料;在工程管理阶段,对建(构)筑物进行变形观测,以确保工程的安全使用。因此,建筑工程测量贯穿于建筑工程建设的始终,服务于施工过程中的每个环节,而且测量的精度和进度直接影响整个工程的质量与进度。

1. 施工准备阶段

校核设计图纸与建设单位移交的测量点位、数据等测量依据。根据设计与施工要求编制施工测量方案,并按施工要求进行施工场地及暂设工程测量。根据批准后的施工测量方案,测设场地平面控制网与高程控制网。场地控制网的坐标系统与高程系统应与设计一致。

2. 施工阶段

根据工程进度对建筑物、构筑物进行定位放线、轴线控制、高程抄平与竖向投测等,所得成果作为各施工阶段按图施工的依据。在施工的不同阶段,做好工序之间的交接检查工作与隐蔽工程验收工作,为处理施工过程中出现的有关工程平面位置、高程和竖直方向等问题提供实测标志与数据。

3. 工程竣工阶段

检测工程各主要部位的实际平面位置、高程和竖直方向及相关尺寸,作为竣工验收的依据。工程全部竣工后,根据竣工验收资料,编绘竣工图,作为工程运行、管理的依据。

4. 变形观测

对设计与施工指定的工程部位,按拟定的周期进行沉降、水平位移与倾斜等变形观测,所得数据作为验证工程设计与施工质量的依据。

任务二 工程测量基础知识

【任务介绍】

本任务主要介绍地球的形状和大小、地面点的平面位置及高程的表示方法、用水平面代替水准面的限度、测量工作的基本原则等内容,为学生后续知识学习奠定基础。

【任务目标】

- 知识目标:**
- ⊙ 掌握地球的基本知识,测量的基准面及基准线;
 - ⊙ 掌握测量中常用的几种平面坐标系统及高程系统;
 - ⊙ 掌握地球曲率对高程、距离的影响及用水平面代替水准面的限度;
 - ⊙ 掌握测量工作的基本工作原则。
- 能力目标:**
- ⊙ 培养确定地面上某一点位置的表示方法的能力;
 - ⊙ 理解高斯投影原则及高斯平面直角坐标系的建立;
 - ⊙ 明确几种常用坐标系统的适用范围与建立方法。

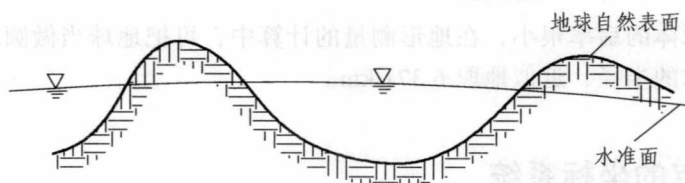
【任务实施】

一、测量工作的基准面

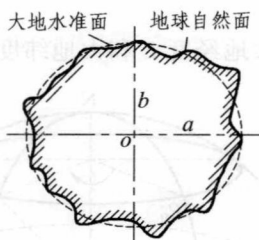
1. 大地水准面

测量工作是在地球表面进行的，然而这个表面是起伏不平的，有陆地、海洋、高山和平原，比如我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰高达 8 844.43 m，而在太平洋西部的马里亚纳海沟深达 11 022 m，两者高度差近 2×10^4 m。尽管有这样大的高差，但相对于半径为 6 371 km 的地球来说还是很小的。就整个地球而言，地球表面上海洋面积约占 71%，陆地面积约占 29%，人们把地球总的形状看做是被海水包围的球体，也就是设想有一个自由平静的海水面，向陆地延伸而形成一封闭的曲面，我们把这个自由平静的海水面称为水准面。水准面是一个处处与重力方向垂直的连续曲面，如图 1-1 (a) 所示。

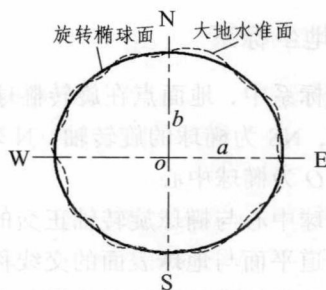
水准面在小范围内近似一个平面，而完整的水准面是被海水包围的封闭曲面。因为符合上述水准面特性的水准面有无数个，其中最接近地球形状和大小的是通过平均海水面的那个水准面，这个唯一而确定的水准面叫大地水准面。大地水准面是测量外业工作的基准面，如图 1-1 (b) 所示。



(a) 地表面与水准面示意图



(b) 地表面与大地水准面示意图



(c) 大地水准面与旋转椭球面示意图

图 1-1 “三面”图

2. 旋转椭球面

由于地球内部质量分布不均匀，导致地面上各点的重力方向（即铅垂线方向）产生不规则的变化，因而大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面。如果将地面上的图形投

影到这个不规则的曲面上,将无法进行测量计算和绘图,为此必须用一个和大地水准面的形状非常接近的可用数学公式表达的几何形体来代替大地水准面。在测量上是选用椭圆绕其短轴旋转而成的参考旋转椭球体面,作为测量计算的基准面,如图 1-1(c) 所示。

参考椭球体的大小由长半径 a 、短半径 b 和扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 来决定。 a 、 b 、 α 称为参考椭球体元素。

历史上,许多测量学者曾分别测算出参考椭球体的元素值。新中国成立后,我国采用苏联克拉索夫斯基椭球计算的元素值:

长半轴

$a = 6\,378\,245\text{ m}$

短半轴

$b = 6\,356\,863\text{ m}$

扁率

$\alpha = \frac{(a-b)}{a} = \frac{1}{298.3}$

目前我国所采用的参考椭球体是“1980 年国家大地坐标系”,其参考椭球体元素为:

长半轴

$a = 6\,378\,140\text{ m}$

短半轴

$b = 6\,356\,755.3\text{ m}$

扁率

$\alpha = \frac{(a-b)}{a} = \frac{1}{298.257}$

由于参考椭球体的扁率很小,在地形测量的计算中,可把地球当做圆球,取其 3 个半轴的平均值作为地球的半径,近似地取 6 371 km。

二、地面点的坐标系统

地面点在投影面上的坐标,根据具体情况,可选用下列三种坐标系统中的一种来表示。

1. 大地坐标系

大地坐标系中,地面点在旋转椭球面上的投影位置用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。如图 1-2 所示,NS 为椭球的旋转轴,N 表示北极,S 表示南极,O 为椭球中心。

通过椭球中心与椭球旋转轴正交的平面称为赤道平面。赤道平面与地球表面的交线称为赤道。

通过椭球旋转轴的平面称为子午面。其中通过英国伦敦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。

图 1-2 中 P 点的大地经度就是通过该点的子午面与起始子午面的夹角,用 L 表示,从起始子午面算起,向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经,向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。

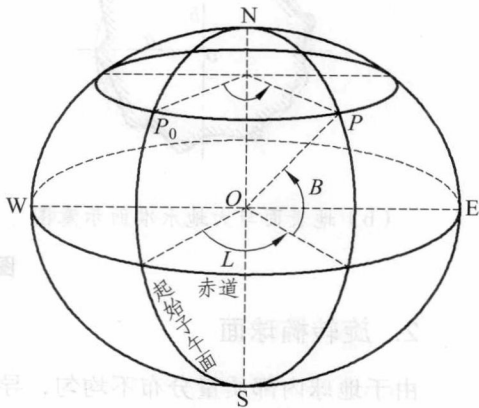


图 1-2 旋转椭球体

P 点的大地纬度就是该点的法线（与椭球面垂直的线）与赤道面的交角，用 B 表示。从赤道面起算，向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬，向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。

大地经度 L 和大地纬度 B 统称大地坐标。地面点的大地坐标是根据大地测量数据由大地原点（大地坐标原点）推算而得的。我国“1980 年国家大地坐标系”的大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇境内，在西安市以北约 40 km 处。以前使用的“1954 年北京坐标系”是新中国成立初期从苏联引测过来的。

2. 高斯平面直角坐标系

高斯投影是地球椭球体面正形投影于平面的一种数学转换过程。为说明简单起见，可以通过下面的投影过程来说明这种投影规律。

如图 1-3 (a) 所示，设想将截面为椭圆的一个圆柱横套在地球椭球体外面，并与椭球体面上某一条子午线（如 NDS ）相切，同时使圆柱的轴位于赤道面内并通过椭球体中心。圆柱柱面与椭球体面相切的子午线称为中央子午线。若以椭球中心为投影中心，将中央子午线两侧一定经差范围内的椭球图形投影到圆柱柱面上，再顺着过南、北极点的圆柱母线将圆柱柱面剪开，展成平面，如图 1-3 (b) 所示，这个平面就是高斯投影平面。

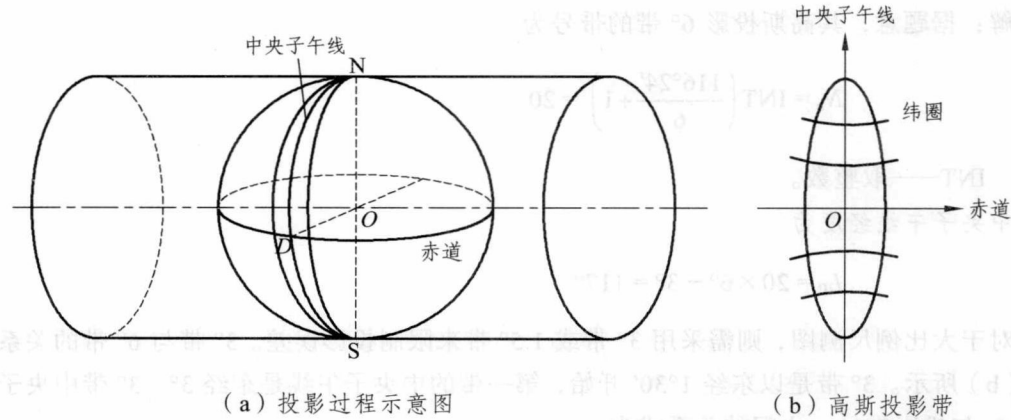


图 1-3 高斯投影

在高斯投影平面上，中央子午线投影为直线且长度不变，赤道投影后为一条与中央子午线正交的直线，离开中央子午线的线段投影后均要发生变形，且均较投影前长一些。离开中央子午线越远，长度变形越大。

为了使投影误差不致影响测图精度，规定以经差 6° 或更小的经差为准来限定高斯投影的范围，每一投影范围叫一个投影带。如图 1-4 (a) 所示， 6° 带是从 0° 子午线算起，以经度每隔 6° 为一带，将整个地球划分成 60 个投影带，并用阿拉伯数字 1, 2, ..., 60 顺次编号，叫做高斯 6° 投影带（简称 6° 带）。 6° 带中央子午线经度 L_0 与投影带号 N_c 之间的关系为

$$L_0 = N_c \times 6^\circ - 3^\circ \quad (1-1)$$

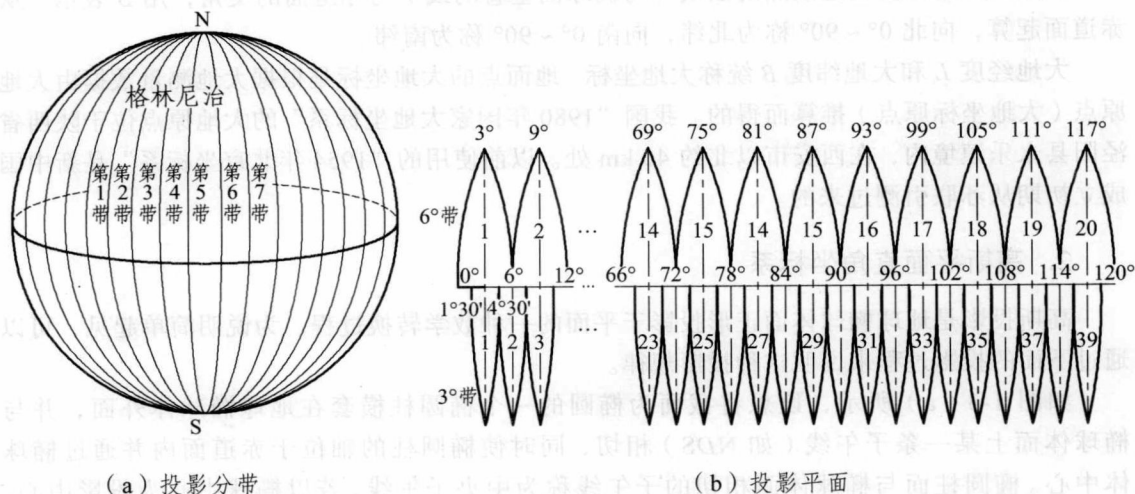


图 1-4 高斯投影平面

例如：某城市中心的经度为 $116^{\circ}24'$ ，求其所在高斯投影 6° 带的中央子午线经度 L_0 和投影带号 N_e 。

解：据题意，其高斯投影 6° 带的带号为

$$N_e = \text{INT} \left(\frac{116^{\circ}24'}{6} + 1 \right) = 20$$

式中 INT——取整数。

中央子午线经度为

$$L_0 = 20 \times 6^{\circ} - 3^{\circ} = 117^{\circ}$$

对于大比例尺测图，则需采用 3° 带或 1.5° 带来限制投影误差。 3° 带与 6° 带的关系如图 1-4 (b) 所示。 3° 带是以东经 $1^{\circ}30'$ 开始，第一带的中央子午线是东经 3° 。 3° 带中央子午线经度 L_0 与投影带号 n 之间的关系式为

$$L_0 = n \times 3^{\circ} \quad (1-2)$$

采用分带投影后，由于每一投影带的中央子午线和赤道的投影为两正交直线，故可取两正交直线的交点为坐标原点。中央子午线的投影线为坐标纵轴 X 轴，向北为正；赤道投影线为坐标横轴 Y 轴，向东为正，这就是全国统一的高斯平面直角坐标系。

我国位于北半球，纵坐标均为正值，横坐标则有正有负，如图 1-5 (a) 所示， $Y_a = +148\,680.69\text{ m}$ ， $Y_b = -134\,240.69\text{ m}$ 。为了避免横坐标出现负值和标明坐标系所处的带号，规定将坐标系中所有点的横坐标值加上 500 km （相当于各带的坐标原点向西平移 500 km ），并在横坐标前冠以带号。如图 1-5 (b) 中所标注的横坐标为： $Y_a = 20\,648\,680.54\text{ m}$ ， $Y_b = 20\,365\,759.31\text{ m}$ 。这就是高斯平面直角坐标的通用值，最前两位数“20”表示带号，不加 500 km 和带号的横坐标值称为自然值。

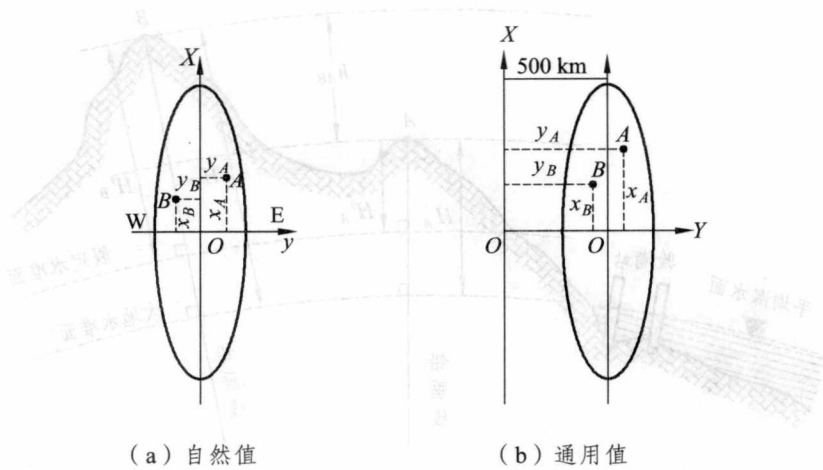


图 1-5 高斯平面直角坐标

高斯平面直角坐标系的应用大大简化了测量计算工作，它把在椭球体面上的观测元素全部改化到高斯平面上进行计算，这比在椭球体面上解算球面图形要简单得多。在公路工程测量中也经常应用高斯平面直角坐标，如高速公路的勘测设计和施工测量就是在高斯平面直角坐标系中进行的。

3. 平面直角坐标系

当测量的范围较小时，可以把该测区的球面当做平面，直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上，用平面直角坐标来表示它的投影位置，如图 1-6 所示。

测量上选用的平面直角坐标系，规定纵坐标轴为 X 轴，表示南北方向，向北为正；横坐标轴为 Y 轴，表示东西方向，向东为正；坐标原点可假定，也可选在测区的已知点上。象限按顺时针方向编号，测量所用的平面直角坐标系之所以与数学上常用的直角坐标系不同，是因为测量上的直线方向都是从纵坐标轴北端顺时针方向量度的，而数学中三角函数的角则是从横坐标轴正端按逆时针方向计量，把 X 轴与 Y 轴互换后，全部的三角函数公式都能在测量计算中应用。

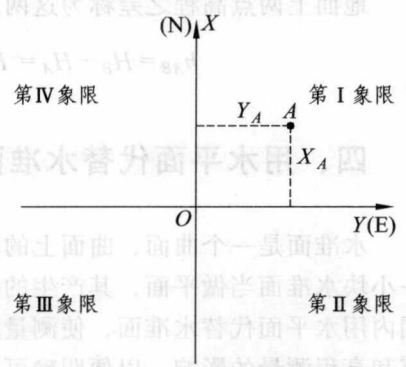


图 1-6 测量中的平面直角坐标系

三、地面点的高程系统

地面点到大地水准面的铅垂距离，称为该点的绝对高程或海拔，简称高程。它与地面点的坐标共同确定地面点的空间位置。在图 1-7 中地面点 A 、 B 的高程分别为 H_A 、 H_B 。