

高等职业技术教育“十二五”规划教材

地形测量

DIXING CELIANG

张慧慧 主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等职业技术教育“十二五”规划教材

地形测量

主编 张慧慧

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书采用项目教学法,全面阐述了地形测量的基础理论和基本技能,确保学生在项目实践中掌握地形测量的基础知识与技能。全书共分为八个项目,主要包括地形测量的基础知识、高程测量、角度测量、距离测量、测量误差、小区域控制测量、地形图测绘、地形图应用等。

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参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地形测量 / 张慧慧主编. —成都:西南交通大学出版社, 2014.4

高等职业技术教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5643-3002-6

I. ①地… II. ①张… III. ①地形测量—高等职业教育—教材 IV. ①P217

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第063235号

高等职业技术教育“十二五”规划教材

地 形 测 量

主 编 张慧慧

*

责任编辑 杨 勇

助理编辑 姜锡伟

特邀编辑 曾荣兵

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市金牛区交大路146号 邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸:185 mm×260 mm 印张:12.25

字数:304千字

2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-3002-6

定价:25.00元

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

地形测量是高职高专测绘类及其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原则，探索培养高职高专学生应用能力的教学理念，突出实践技能的特点，充分体现以项目为主线、以任务为载体的职业课程培养模式，以满足高职院校学生能力的培养的需要。

本书采用项目教学法，全书共分为八个项目，主要包括地形测量的基础知识、高程测量、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。通过本书的学习，使学生掌握测量基础理论知识、测量常用仪器及其操作、测量基本工作及其作业方法、地形图测绘的方法及其地形图在工程建设中的应用等知识点及技能点，以适应测绘、道路、交通、国土资源、水利、农林业、地质等企事业单位地形测量岗位职业培养要求。

本书由辽宁省交通高等专科学校张慧慧主编，辽宁工程技术大学范强、辽宁林业职业技术学院刘丹丹任副主编。具体编写分工如下：项目一、项目二、项目三、项目六由张慧慧编写，项目四、项目五、项目七由范强编写，项目八由刘丹丹编写。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！

由于编者水平有限和时间仓促，书中难免存在不足之处，恳请广大师生给予批评指正。

编 者

2013 年 12 月

目 录

项目一 地形测量基础知识	1
任务一 测量学及地形测量的任务与作用	1
任务二 地形测量基础知识	7
项目二 高程测量	18
任务一 水准测量原理及水准仪的使用	18
任务二 等外水准测量	27
任务三 用水准仪完成三、四等水准测量	34
任务四 水准测量误差分析	38
任务五 精密水准仪和电子水准仪	41
项目三 角度测量	51
任务一 经纬仪测角原理及使用方法	51
任务二 水平角观测	59
任务三 竖直角观测	63
任务四 角度测量误差分析	65
任务五 电子经纬仪	69
项目四 距离测量	76
任务一 钢尺量距	76
任务二 视距测量	80
任务三 光电测距仪原理及全站仪使用	84
项目五 测量误差的基础知识	97
任务一 观测值与观测误差	97
任务二 偶然误差统计特性	101
任务三 衡量精度的指标	105
任务四 协方差传播律及其应用	109
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	138
任务五 三角高程测量	142
项目七 地形图测绘与应用	148
任务一 认识地形图	148
任务二 大比例尺地形图测绘	158
任务三 航空摄影测量测图	169
项目八 地形图应用	175
任务一 地形图的识读与基本应用	175
任务二 地形图在工程上的应用	180
参考文献	189

项目一 地形测量基础知识

本项目主要阐述了测量学以及地形测量学的研究任务与作用,测量学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,促使学生掌握测量的一些基础知识,对本学科有个初步的了解,明确今后学习的思路,为后续的学习奠定基础。

任务一 测量学及地形测量的任务与作用

【任务介绍】

本任务主要通过了解测量学这门学科的研究任务、目的及未来发展方向,地形测量主要解决什么问题,从而使学生明确学习这门课程的目的及学习思路。

【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;

⊙ 掌握地形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;

⊙ 理解地形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个部分。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，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。

（一）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、卫星大地测量学和物理大地测量学。

（二）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。

（三）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。

（四）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。

（五）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。主要内容有：工程控制网的建立、地形测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测和维修养护测量等。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。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。

（六）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。地籍测量为土地与房屋管理、城乡规划、税收、土地整理等方面提供重要的基础资料。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。

测量学各分支学科之间互相渗透、相互补充、相辅相成。本书主要讲述地形测量学的内容，主要介绍常用的测量仪器的构造与使用方法、小区域大比例尺地形图的测绘及应用。

二、测量学的发展概况及未来发展趋势

测量学是在人类生产实践中不断发展而形成的一门科学，有着悠久的历史。

地球是人类生息繁衍的家园，自从人类进化到具有思维能力，有了求知欲，就想认识地球的形状。但地球的形状是很复杂的，人们对它的认识经历了一个漫长的历史过程，即使到了科技高度发达的今天，对于地球形状的认识的细致程度在某些方面也仍然不能满足科学技术的需要。

在世界上，早在公元前 18 世纪，古埃及就进行过土地丈量；公元前 6 世纪，埃及人民在开凿尼罗河与红海之间的工程中已运用了测量技术；公元 17 世纪，哥白尼、伽利略、开普勒及牛顿等科学家的发现与发明，如望远镜、显微镜、水准器等，光学和力学上的成就，以及三角学在测量上的应用；19 世纪德国人高斯提出的平均海面概念，并在地图投影和按条件观测的三角测量整网平差理论等方面，为测量科学的发展作出了重大贡献。1903 年飞机的发明，促进了航空摄影测量学的发展，从而使测图的部分工作由野外转移到室内，相应地减小了劳动强度，特别有利于高山地区的测绘工作。

我国是世界上著名的文化古国之一。早在夏禹治水时期，我国劳动人民就发明和使用了“准、绳、规、矩”等测量工具。春秋战国时代发明的指南针直到现在还被应用着。3 000 多年前管仲在其所著的《管子》一书中，收集有我国早期地图 27 幅，对地图的作用已有了论述。战国时期，李冰父子在四川修建了都江堰，这一伟大工程若没有进行大量的测量工作是无法完成的。1973 年，长沙马王堆三号汉墓出土的西汉初期编著的《地形图》、《城戍图》、《驻军图》，是目前发现的我国最早的局部地区地形图。西晋裴秀在《禹贡地形图》序言中阐明的“制图六体”，提供了绘图的六条原则，这是世界上最早的地形测量和绘制的规范。裴秀编绘的《禹贡地域图》是世界上最早的历史图集，《地形方丈图》是我国全国大地图。唐代开元年间，张遂（一行）和南宫说等人在河南开封等地组织了人类历史上首次大规模的、相对比较完善的子午线弧长测量，确定了地球的形状和大小，这是世界上最早子午线弧长测量。宋代的沈括绘制了“天下州县图”，在他的《梦溪笔谈》中曾记载了磁偏角现象，这比哥伦布发现磁偏角早 400 年左右。13 世纪和 18 世纪初，我国曾进行过大规模的大地测量工作。18 世纪初还根据大地测量成果，编制了全国地图。我们的先人对测量学科的发展作出了卓越的贡献，但自 1840 年鸦片战争到新中国成立前的近百年中，我国的科学技术和生产力的发展受到极大的阻碍，测绘学科的发展也处于停滞状态，我国的测绘学科的发展在世界上逐渐发展到处于十分落后的境地。

自新中国成立以来，随着国民经济建设和国防建设的发展，我国测绘事业进入了一个蓬勃发展的崭新阶段，短期内取得了不少成就。1950 年中国人民解放军总参谋部测绘局成立。

1952年,清华大学等6所高等院校设置了测量专业,积极培养测绘人才;1956年建立了全国统一的测绘机构——国家测绘总局,统一组织领导全国的测绘工作。此外,还建立了专门的测绘科学研究机构和测绘院校。多年来,完成了全国范围的大地控制网,基本上统一了全国的平面坐标和高程系统;同时施测了大量的国家基本地形图,在进行工矿、农田水利、城市、交通等各项经济建设中,测绘了各种大比例尺地形图,并进行了大量的工程测量工作。我国的测绘工作者克服了艰难险阻,精确地测定了珠穆朗玛峰的高程为8 844.43 m(2005年5月22日国家测绘局公布);1980年国家大地坐标系的建成和我国天文大地网的整体平差举世瞩目;在对青藏高原、地球南极等的综合考察以及多次人造地球卫星的发射工作中,测绘人员都作出了卓越的贡献。我国的测绘仪器制造业近年来生产的大地测量、电磁波测距和航空摄影测量仪器,不少已达到国外同类型仪器的先进水平。

20世纪60年代以来,近代光学、电子技术、电子计算机技术、人造卫星和航天技术的迅猛发展,为测量科学技术开辟了广阔的道路。

(一) 测量仪器的发展

全站型仪器的出现和应用为测量工作自动化奠定了基础。该类型仪器的特点是具备测角和测距的功能,并有微机控制系统。它的使用实现了野外测量数据的自动采集,为测图向数字化、自动化方向发展开辟了道路。

陀螺经纬仪朝着自动化方向迈进。在矿山、隧道等地下工程的施工现场进行定向时,陀螺经纬仪的应用使定向工作大为简化。新一代陀螺经纬仪由微机控制,仪器自动、连续地观测陀螺摆动,观测时间短,精度高。

几何水准测量仪器向自动化、数字化方向发展。目前,在水准测量中,已经出现具有自动安平、自动读数记录、自动检核数据等功能的电子水准仪,为几何水准测量提供了方便。

(二) 大比例尺数字化测图技术迅速发展

常规大比例尺地形测图的测量工序多,劳动强度大,手工绘图和成图周期长。数字化测图技术的广泛普及与应用,使上述问题迎刃而解。数字化测图系统由全站仪、电子计算机、绘图仪和绘图软件组成。在野外采集的数据,通过计算机的处理,可以自动地在绘图仪上描绘出来,改变了传统的成图方法,提高了测图精度、质量和效率。

(三) 3S集成技术的应用与发展

由我国学者提出的3S技术,即GIS、GPS、RS三者的集成,是一个有机的结合体。它是一门非常有效的空间信息技术。就在集成体中的作用及地位而言:GIS相当于人的大脑,对所得的信息加以管理和分析;RS和GPS相当于人的两只眼睛,负责获取海量信息及其空间定位。RS、GPS、和GIS三者的有机结合,构成了整体上的实时动态对地观测、分析和应用的运行系统,为科学研究、政府管理、社会生产提供了新一代的观测手段、描述语言和思维工具。目前,3S技术已经渗透至工业、农业、国防、交通、铁路等各个研究、设计、施工领域,正被广大的技术人员所利用,并在各行各业中发挥着不可替代的作用。

1. GPS 全球定位系统

全球定位系统是美国国防部为满足其军事部门海、陆、空高精度导航、定位和定时的要求而建立的一种卫星定位和导航系统。它由 24 颗工作卫星组成,其中包括 3 颗可随时启动的备用卫星。工作卫星均匀分布在六个相对于赤道面倾角为 55° 的近似圆形轨道面内,每个轨道面上有 4 颗卫星,轨道之间的夹角为 60° ,轨道平均高度为 20 200 km,卫星运行周期为 11 h 58 min。同时在地平线以上的卫星数目随时间和地点而异,最少为 4 颗,最多时达 11 颗。保证在地球任一点任一时刻均可收到 4 颗以上卫星的信息,实现实时定位。

我国 GPS 技术研究和应用可分为两个阶段:第一阶段是 20 世纪 80 年代,以测绘领域的应用为主,引进 GPS 技术和接收机,开发 GPS 测量数据处理软件,以静态定位为主,现在全国施测了几千个各种精度的 GPS 点,其中包括国家 A、B 级网点。第二阶段是进入 90 年代后,随着差分 GPS 技术的发展,GPS 定位从静态扩展到动态,从事后处理扩展到实时或准实时定位和导航。

2. 遥感技术

遥感是指从远距离高空以信外层空间的各种平台上利用可见光、红外、微波等电磁波探测仪器,通过摄影和扫描、信息感应、传输和处理,从而研究地面物体的形状、大小、位置及其环境相互关系与变化的现代科学技术。

现代遥感技术具有以下特点:

(1) 传感器的不断更新。目前除了框幅式可见光黑白摄影、多谱摄影、彩色摄影、新红外摄影、紫外摄影仪器外,还有全景摄影机、红外扫描仪、红外辐射仪、多谱段扫描仪、成像光谱仪、合成孔径雷达和激光测高仪等。这些传感器用不同的方式,对电磁波不同的谱段所获得的对地观测数据,以硬拷贝的返回方式和软拷贝的传输方式提供原始的遥感数据。

(2) 影像分辨率形成多级序列,可提供从粗到精的对地观测数据,全面体现在空间分辨率方面。例如:美国空间成像地球观测卫星公司,其卫星影像分辨率可达到 1 m。多级分辨率的实现,人们可以在粗分辨率的影像上快速发现可能发生变化的地区,进而在精分辨率的影像上详细分析研究这些变化情况。

(3) 多时相特征,可以反复获得同一地区的影像数据。这种多时相性为人们提供了长期、系统、全面和动态研究地球表面变化规律的可能性、客观性和科学性。

我国遥感技术如发展,已从单纯地应用国外卫星资料到发射自主设计的遥感卫星,如气象研究的风云系列卫星;同时,遥感图像处理技术也取得很大发展,如机载 224 波段成像光谱仪、全数字摄影测量系统等。

3. GIS 地理信息系统

地理信息系统是以采集、存储、描述、检索、分析和应用与空间位置有关的相应属性信息的计算机系统,是集计算机、地理、测绘、环境科学、空间技术、信息科学、管理科学、网络技术、现代通信技术、多媒体技术为一体的多学科综合而成的新兴学科。

GIS 有两个显著特征:一是,不仅可以像传统的数据库管理系统那样管理数字和属性信息,而且可以管理空间图形信息;二是,可以利用各种空间分析的方法,对多种不同的信息进行综合分析、寻求空间实体间的相互关系,分析处理在一定区域内分布的现象和过程。

目前, GIS 正向多功能、高精度、现势性强的方向发展。例如: TGIS, 研究区域随时间的演变来推测和预报其未来, 并作出科学的分析。3D GIS (三维 GIS), 研究图像可视性, 利用空间位置来探索空间影响。多媒体技术导入 GIS 中, 使 GIS 的功能更强大, 具有声音、动画等效果, 可以模拟人类、动物的特征, 更具智能化。网络 GIS (WebGIS) 也是当前研究领域中另一个热门课题, 使 GIS 的媒介对象更丰富, 从而与社会、人类生活密不可分。

我国 GIS 的发展和应用较为迅速和广泛。在软件方面, 已经成功开发 MapGIS、Geostar、Citystar 等, 综合和专题 GIS 开发更是数不胜数。

三、测量学在工程建设中的作用

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、农田水利以及铁路选线与施工、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; 然后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, 还要进行贯通测量、变形监测。其中, 贯通测量是隧道施工的关键, 是关系到隧道能否按照设计要求, 在准确位置贯通的保证。

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。

四、地形测量的任务

地形测量作为测量学的一个组成部分, 是根据规范和图式的要求, 对地物、地貌及其他地理要素进行的测量。它是对地球表面的地物、地貌在水平面上的投影位置和高程进行测定, 并按一定比例缩小, 用符号和注记绘制成图的工作。

地形测量包括控制测量和碎部测量。

控制测量是测定一定数量的平面和高程控制点, 为地形测图的依据。碎部测量是测绘地物地形的作业, 按所用仪器不同可分为平板仪测图法、经纬仪和小平板仪联合测图法、经纬仪 (配合轻便展点工具) 测图法、全站仪数字化测图等。大面积地形图的测绘基本上采用航空摄影测量的方法; 但对面积较小的或者专用于某项工程建设的地形图, 一般是在聚酯薄膜或白纸裱糊的测图板上测绘或全站仪数字化测图。

任务二 地形测量基础知识

【任务介绍】

本任务主要介绍地球的形状与大小、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:**
- ◎培养学生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

(一) 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,我们知道地球表面海洋面积约占 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个封闭的曲面。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。

(二) 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。测量上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。

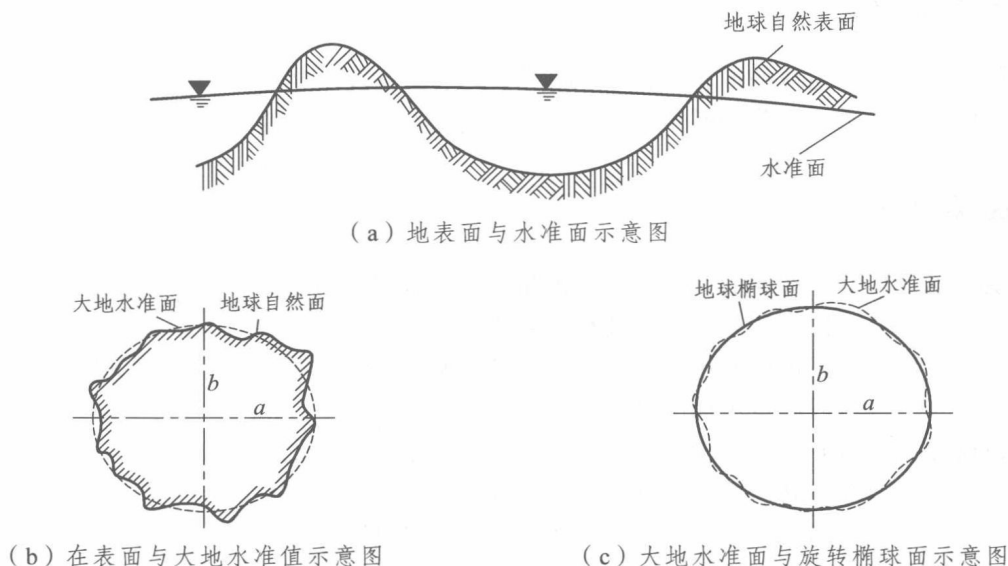


图 1-1 “三面”图

参考椭球体的大小由长半径 a 和短半径 b 和扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 来决定,其中, 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:

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

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

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

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

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

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

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

由于参考椭球体的扁率很小,在地形测量的计算中,可把地球当做圆球对待,取其 3 个半轴的平均值作为地球的半径,近似地取 6 371 km,其精度也足以满足一般地形测量的要求。

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。图中,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,向东自 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经;向西自 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。

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,向北自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬;向南自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 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。

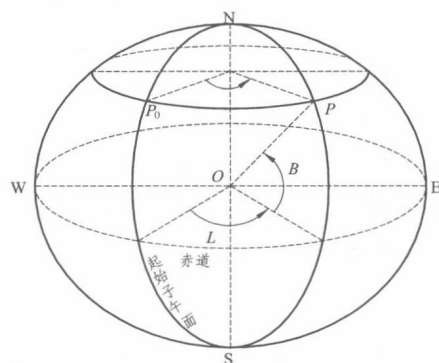


图 1-2 旋转椭球体

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。

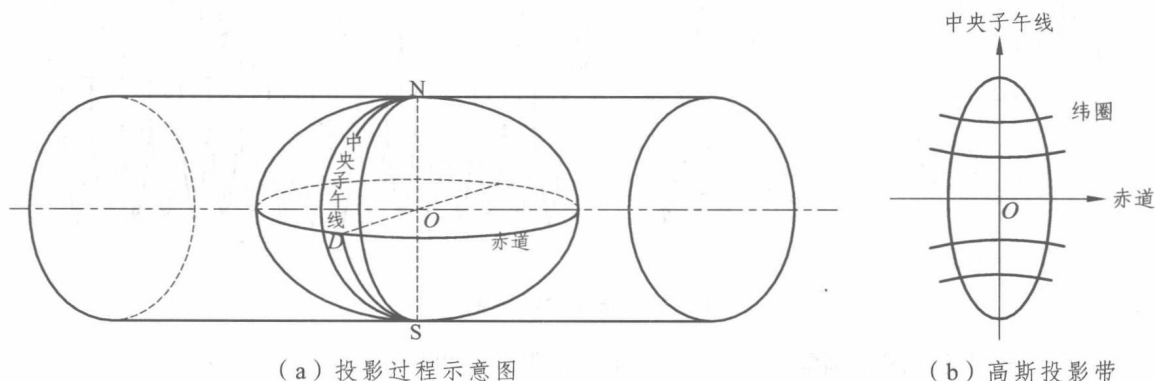


图 1-3 高斯投影

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面上,再顺着过南、北极点的椭圆

柱母线将椭圆柱面剪开,展成平面,如图 1-3 (b) 所示,这个平面就是高斯投影平面。

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, $\dots$, 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_e 之间的关系式为

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

例: 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

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

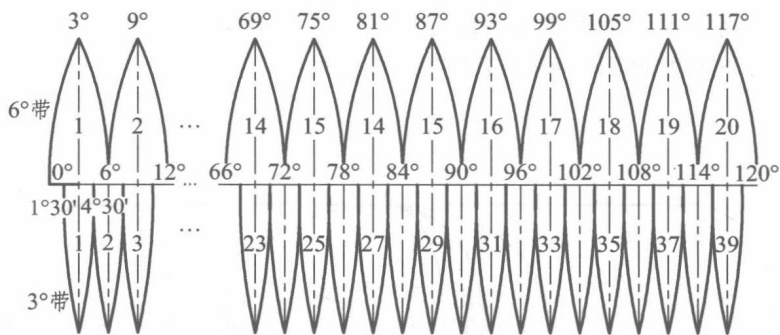
(INT——取整数)

中央子午线经度为

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



(a) 投影分带



(b) 投影平面

图 1-4 高斯投影平面

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。

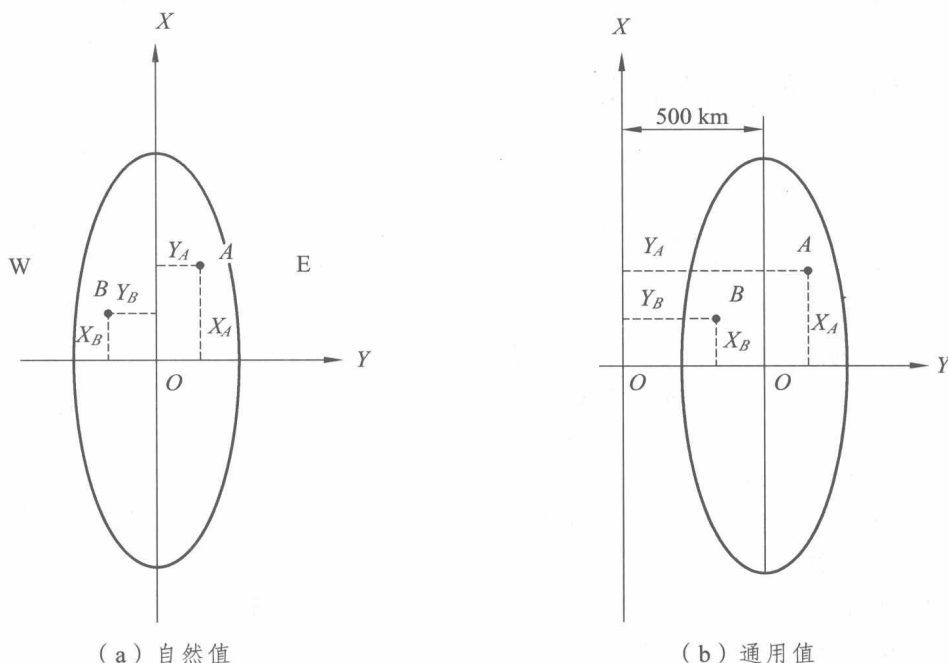


图 1-5 高斯平面直角坐标

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， $Y_A = +148\,680\text{ m}$ ， $Y_B = -134\,240.69\text{ m}$ 。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。

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转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看待，直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上，用平面直角坐标表示其投影位置，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

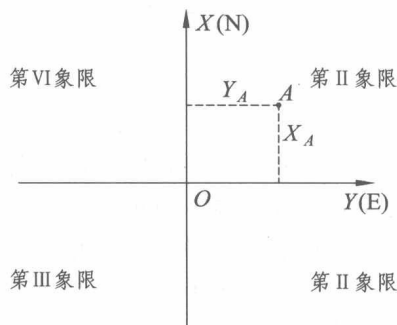


图 1-6 测量中的平面直角坐标系