



# 地形测量

杨爱琴 赵效祖◎主编



科学技术文献出版社  
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

# 地 形 测 量

主 编 杨爱琴 赵效祖  
副主编 唐 均 邓桂凤 钱伶俐  
参 编 冀念芬 胡智育 陈洪志



科学技术文献出版社  
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北 京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

地形测量/杨爱琴, 赵效祖主编. —北京: 科学技术文献出版社, 2016. 8  
ISBN 978-7-5189-1406-7

I. ①地… II. ①杨… ②赵… III. ①地形测量 IV. ①P217

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 110840 号

## 地形测量

策划编辑: 赵 斌      责任编辑: 赵 斌      责任校对: 赵 瑗      责任出版: 张志平

出 版 者 科学技术文献出版社  
地 址 北京市复兴路 15 号 邮编 100038  
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)  
发 行 部 (010) 58882868, 58882874 (传真)  
邮 购 部 (010) 58882873  
官 方 网 址 [www.stdp.com.cn](http://www.stdp.com.cn)  
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销  
印 刷 者 虎彩印艺股份有限公司  
版 次 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷  
开 本 787 × 1092 1/16  
字 数 386 千  
印 张 16.75  
书 号 ISBN 978-7-5189-1406-7  
定 价 42.00 元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

# 前 言

本书是按照教育部 2012 年印发的《高等职业学校专业教学标准（试行）》——高职测绘地理信息类专业对人才培养的要求及课程设置的，是为高职高专院校编写的地形测量教材。

本书编写中，邀请了生产单位的专业技术人员讨论研究，按照测绘生产过程，形成了编写方案。本书主要以测量学基本知识、平面控制测量、高程控制测量、测量数据简易处理、地形图测绘和地形图应用等 6 个学习情境来具体介绍，详细阐述了测量学的基本理论、基本方法和基本仪器。

本书由易到难，注重以应用为主线，坚持工学结合的思想，强调学习者动手能力的培养；数据处理突出计算机、计算器、测量软件的应用，简化计算过程，拓宽学生视野；同时介绍了测绘新技术及其应用。

本书由甘肃工业职业技术学院杨爱琴和甘肃交通职业技术学院赵效祖担任主编。甘肃工业职业技术学院唐均和甘肃交通职业技术学院赵效祖编写学习情境一；甘肃工业职业技术学院杨爱琴编写学习情境二、学习情境三；湖南安全技术职业学院邓桂凤和长江工程职业技术学院钱伶俐编写学习情境四；甘肃工业职业技术学院冀念芬编写学习情境五；湖南安全技术职业学院胡智育和江西应用工程职业学院陈洪志编写学习情境六；绍兴市城市勘测院工程师郭杭峰与甘肃工业职业技术学院唐均合作编写附录部分。全书由杨爱琴统稿。

本书由广东工贸职业技术学院张坤宜教授主审，特此致谢！

本书参考了国内有关教材的内容，在此，向相关作者表示衷心感谢！由于编者水平有限，书中错误在所难免，恳请读者不吝指正。

编 者

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 学习情境一 课程导入 .....            | 1   |
| 子情境1 测绘科学概述 .....           | 1   |
| 子情境2 测量学基本知识 .....          | 8   |
| 子情境3 测量工作基本内容 .....         | 15  |
| 习题和思考题 .....                | 18  |
| 学习情境二 平面控制测量 .....          | 19  |
| 子情境1 平面控制测量基本知识 .....       | 19  |
| 子情境2 角度测量 .....             | 23  |
| 子情境3 距离测量与直线定向 .....        | 45  |
| 子情境4 全站仪导线测量 .....          | 64  |
| 子情境5 交会测量 .....             | 74  |
| 习题和思考题 .....                | 81  |
| 学习情境三 高程控制测量 .....          | 86  |
| 子情境1 高程控制测量概述 .....         | 86  |
| 子情境2 普通水准测量 .....           | 93  |
| 子情境3 三、四等水准测量 .....         | 94  |
| 子情境4 水准测量成果整理 .....         | 99  |
| 子情境5 水准仪检验校正和水准测量误差分析 ..... | 103 |
| 子情境6 自动安平水准仪和电子水准仪 .....    | 109 |
| 子情境7 三角高程测量 .....           | 111 |
| 习题和思考题 .....                | 114 |
| 学习情境四 测量数据简易处理 .....        | 118 |
| 子情境1 观测值最可靠值计算 .....        | 118 |
| 子情境2 测量结果精度评定 .....         | 122 |
| 习题和思考题 .....                | 126 |

学习情境五 地形图测绘..... 127

子情境1 地形图基本知识 ..... 127

子情境2 地形图测量方法 ..... 142

子情境3 地形数据采集 ..... 150

子情境4 地形成图软件简介 ..... 160

子情境5 地形成图方法 ..... 167

子情境6 地形图检查验收 ..... 184

子情境7 地形测量技术设计 ..... 188

习题和思考题..... 190

学习情境六 地形图应用..... 192

子情境1 地形图基本应用 ..... 192

子情境2 地形图在工程规划中的应用 ..... 198

习题和思考题..... 210

附录 A 数字地形图测绘技术设计书示例..... 213

附录 B 数字地形图测绘技术总结示例 ..... 235

参考文献..... 261

# 学习情境一 课程导入

## 子情境 1 测绘科学概述

### 一、测绘科学技术在社会发展中的作用

测绘科学是人类认识和研究我们赖以生存的地球不可缺少的手段。伴随人类文明的不断进步，人类对自己的唯一家园——地球给予了越来越多的关注。人类需要保护地球，推进可持续发展。要关注和探索大区域或全球性的问题，必须由测绘提供基础数据的支持。地球的形状和大小，本身的变化如地壳板块的运动、地震预测、重力场的时空变化、地球的潮汐、自转的变化等也需要观测，这些观测将对人类进一步认识地球发挥着不可缺少的作用，要实现这些观测需要测绘技术的支持。

在国家建设中，包括发展规划，资源调查、开发与利用，环境保护，城市、交通、水利、能源、通信等任何建设工程，大到正负电子对撞机、核电站的建设，小到新农村的建设，建设工程的全部建设过程都需要测绘提供保障。

在信息化建设不断推进的今天，国家经济建设的各方面对测绘保障提出了越来越高的要求。要求测绘提供精确、实时的数据资料，并要求提供的地理空间信息数据和专业数据结合，来推进信息化进程。面向社会公众服务的相关公司和政府部门，也可以通过基于地理空间位置信息的指挥运作系统，来实现及时的服务和最大效率的发挥。如出租车公司的车辆管理，急救、消防的调度管理等；又如在物流管理中，利用地理空间信息数据和相关自动识别技术等的结合，构建零库存和最低物流成本的现代物流管理系统。基于地理空间信息建立的各种专业信息系统，进行信息共享平台的建设，来构建数字城市、数字区域和数字国家。

在国防建设和公众安全保障中，测绘提供准确、及时的定位和相关保障，其作用也在不断地发挥。现代化战争中的精确打击，需要提供高质量的测绘保障，提供实时、足够精度的定位数据。如战前作战方案的优化制定，作战过程中的战场态势评估及作战指挥，以及战后评估都需要在基于测绘获得的地理空间信息的基础上，建立作战指挥系统。人造地球卫星、航天器、远程导弹的发射等，都要随时观测、跟踪、校正飞行轨道，保证它们精确入轨飞行。在国界勘测中，通过测绘提供的国界线地理空间信息数据则是关系到国家主权和利益的重要数据，在国际交往和合作中发挥重要作用。在保障公众安全中，借助测绘提供的地理空间信息，可以使警力的作用得以最好的发挥。社会公众出于对个人财产或监控物的动态监控，对财产定位及其必要跟踪的需求也开始出现，并且不断增长；个人出游中也需要定位和指向。

在经济社会发展中，特别是在全世界都强调人与自然和谐发展、经济社会的可持续发展的今天，政府部门及相关机构越来越需要及时掌握自然与社会经济要素的分布状况及其变化特征，来制定和调整相关的政策，以实现对社会经济发展最大推动的期望。也希望在某种自然、社会危机或者风险事件出现的情况下，能够及时地获得地理空间信息数据的支持，以便迅速形成相关的决策和指挥系统，使全社会在防灾、减灾方面，将损失降低到最小。

由此，社会政治、经济的发展，使很多的部门和社会组成的各个层面都需要测绘的支持，测绘工作也将发挥越来越重要、不可缺少的作用。

## 二、测绘科学发展历史简介

在人类发展的历史长河中，人类的活动中产生了确定点的位置及其相互关系的需要。例如：远在公元前 1400 多年，古埃及尼罗河畔的农田在每次河水泛滥后的地界恢复需要测量；公元前 3 世纪，中国人的祖先已经认识并利用天然磁石的磁性，制成了“司南”磁罗盘用于方向的确定；而在公元前 2 世纪，大禹治水时就已经制造了“准绳，规矩”等测量工具，并成功地用于治水工程中。

随着人类对世界认识视野的拓宽，测绘科学也逐步完善形成。公元前 6 世纪，古希腊的毕达哥拉斯提出地球体的概念，200 多年后，亚里士多德进行了进一步的论证，又过了 100 年，埃拉托斯特尼（Eratosthenes）测算了地球子午圈的长度，并推算了地球的半径。现代全球测绘数据显示，地球的扁率（长短半径差与长半径之比）约为 298.3 分之一，已经是比较准确的描述了。公元 8 世纪，我国的南宫说在今河南境内进行了子午圈实地弧度测量。到 17 世纪末，牛顿和惠更斯提出了地扁说，并在 18 世纪中由法国科学院测量证实了地扁说，使人类对地球的认识从球体推进到了椭球体。19 世纪初，法国的拉普拉斯和德国的高斯都提出了对地球更精确的描述，即地球是椭球性，总体应该为梨状。1873 年，利斯廷创造了大地水准面一词，以此面封闭形成的球体大地体来描述地球。1945 年，苏联的莫洛坚斯基创立了用地面重力测量数据直接研究真实地球表面形状的理论。由此，人类对地球的认识，经历了由天圆地方到圆形、椭球形、梨状的这样一个越来越准确的过程。

作为测绘主要成果形式的地图，在表现形式和制作方式上也发生了重大的进步。公元前 3 世纪之前，人类只是在陶片上记录一些地形的示意略图。公元前 2 世纪，中国人已经能在锦帛上绘制有比例和方位的地图，有了一定的精度。公元 2 世纪，古希腊的脱勒密在《地理学指南》中收集、整理了当时关于地球的认识，阐述了编制地图的方法，并提出了地区曲面在地图制图中投影的问题。中国西晋初年，裴秀编绘的《禹贡地域图》是世界最早的历史图集，他汇编的《地形方丈图》是中国全国大地图，并以“制图六体”奠定了制图的理论基础。16 世纪，测量仪器的技术上有了一个大进步，以荷兰墨卡托的《世界地图集》和中国罗洪先的《广舆图》为代表，达到新的水平，已经可以利用仪器直接测绘图件，再缩绘为不同比例的图。清初康熙年间我国首次用仪器测绘完成全国范围的《皇舆全览图》。

1930 年，我国首次与德国汉莎航空公司合作，进行了航空摄影测量。1933 年，同济大学设立测量系开始培养专业技术人才。1954 年，我国建立了 54 北京坐标系，并建立了青岛水准原点。1956 年，建立了黄海高程系。1958 年，颁布了我国《1 : 10 000、1 : 25 000、

1:50 000、1:100 000 比例尺地形图测绘基本原则(草案)》。1988年1月1日,我国正式启用“1985国家高程基准”,并在西安市泾阳县永乐镇建立了新的大地坐标原点,并用IUGG(国际大地测量与地球物理学联合会)75参考椭球,建立了我国独立的参心坐标系,称为1980西安坐标系。20世纪90年代以来,以全球卫星定位系统为主的现代空间定位技术快速发展,导致获得位置的测量技术和方法迅速变革。空间技术的迅速发展与广泛应用,迫切要求国家提供高精度、地心、动态、实用、统一的大地坐标系,作为各项社会经济活动的基础性保障。

2008年7月1日起,我国启用2000国家大地坐标系(简称2000坐标系)。2000坐标系是全球地心坐标系在我国的具体体现,其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。为测绘事业国际接轨奠定了良好的基础,如图1-1和图1-2所示。



图 1-1 国家大地坐标原点

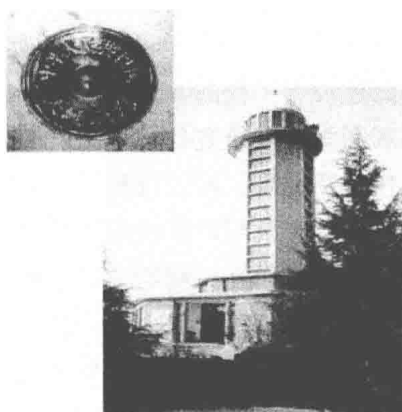


图 1-2 国家水准原点

### 三、测绘科学及其分类

从研究的内容看,测绘科学是一门研究对地球整体及其表面形态、地理分布,以及外层空间物体有关信息的采集、处理、分析、描述、管理和利用的科学与技术。按照研究的重点内容和应用范围,测量学可分为以下多个学科:

**大地测量学**——研究地球的形状、大小、重力场及其变化,通过建立区域和全球的三维控制网、重力网及利用卫星测量等方法,测定地球各种动态的理论和技術学科。其基本任务是建立地面控制网、重力网,精确测定控制点的空间三维位置,为地形测量提供控制基础,为各类工程建设施工测量提供依据,为研究地球形状、大小、重力场及其变化、地壳变形及地震预报提供信息。

**摄影测量与遥感学**——研究利用摄影和遥感技术获取被测物体的信息,以确定物体的形状、大小和空间位置的理论和方法。由于获得相片的方法不同,摄影测量又分为航空摄影测量(简称航测,如图1-3所示),陆地摄影测量(简称陆摄),水下摄影测量和航空、航天遥感等。

**工程测量学**——研究在工程建设和自然资源开发的规划、设计、施工、竣工验收和运营



图 1-3 航摄立体像对

中测量的理论和方法。工程测量学包括工程控制测量、地形测绘、变形监测及建立相应的信息系统等内容。

**海洋测量学**——以海洋和陆地水域为研究对象，研究海洋水下地形测量、航道及相关港口、码头的建设等工程的测量理论和方法。

**地图制图学**——研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的一门科学。研究内容主要包括地图编制、地图投影学、地图整饰、地图印刷等。现代地图制图学向着制图自动化、电子地图制作及与计算机信息科学的结合，以及建立地理信息系统方向发展。

**地球空间信息学**——测绘学科的理论、技术、方法及其学科内涵不断地发生变化。当代由于空间技术、计算机技术、通信技术和地理信息技术的发展，致使测绘学的理论基础、工程技术体系、研究领域和科学目标为适应新形势的需要而发生深刻的变化。由“3S”技术（全球卫星定位系统 GPS、遥感 RS、地理信息系统 GIS）支撑的测绘科学技术在信息采集、数据处理和成果应用等方面也在进入数字化、网络化、智能化、实时化和可视化的新阶段。测绘学已经成为研究对地球和其他实体与空间分布有关的信息进行采集、量测、分析、显示、管理和利用的一门科学技术。它的服务对象远远超出传统测绘学比较狭窄的应用领域，扩大到国民经济和国防建设中与地理空间信息有关的各个领域，成为当代兴起的一门新兴学科——地球空间信息学。

#### 四、测绘新技术的发展

近十几年来，随着空间科学技术、计算机技术和信息科学的发展，GPS、RS、GIS、图形的显示形式等方面都发生了革命性的变化。测绘科学正从模拟走向数字化、信息化，从静态走向动态，从三维走向四维，地形图从单一的平面图纸走向动态的 3D 显示（如图 1-4 所示），使之更加直观，从仅向专业部门和单位服务，拓展到逐步向公众服务。测绘成果的价值更加显现，测绘工作效率革命性的提高，使测绘为公众服务成为可能。

全球卫星定位系统（GPS）的全称是 Navigation Satellite Timing And Ranging Global Position System，也被称作 NAVSTAR GPS，其意为“导航星测时与测距全球定位系统”，或简称全球卫星定位系统，如图 1-5 所示。GPS 是以卫星为基础的无线电导航定位系统，具有全能性（陆地、海洋、航空和航天），全球性，全天候，连续性和实时性的导航、定位和定时的功能，能为各类用户提供精密的三维坐标、速度和时间。GPS 是 20 世纪 70 年代美国军方组

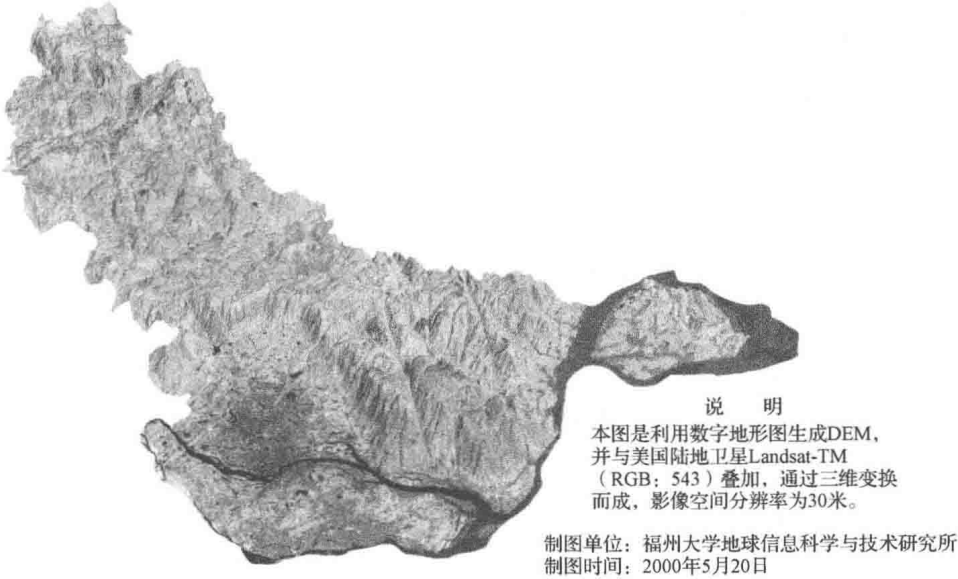


图 1-4 福州市三维景观图

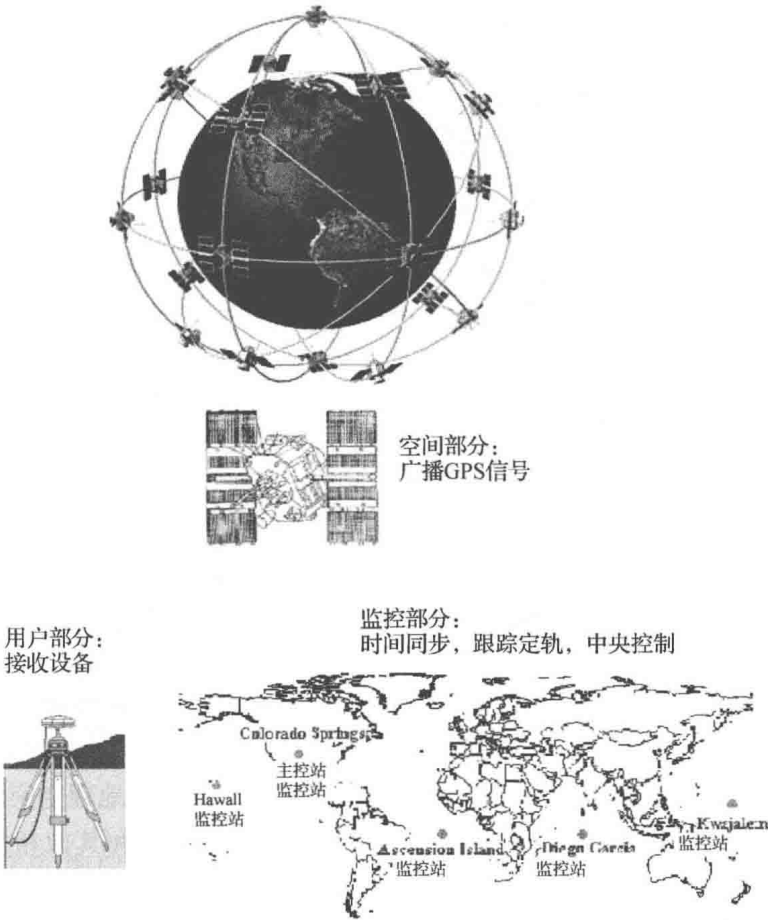


图 1-5 GPS 卫星与卫星系统

织开发的原主要用于军事的导航和定位系统，80 年代初开始用于大地测量。其基本原理是电磁波数码测距定位，即利用分布在 6 个轨道上的 24 颗 GPS 卫星，将其在参照系中的位置及时间数据电文向地球播报。地面接收机如果能同时接收 4 颗卫星的数据，就可以解算出地面接收机的三维位置和接收机与卫星时差 4 个未知数。由于其作业不受气候影响，而且解决了传统测量中的一些困难和问题，被广泛应用于测量工作中。根据其定位误差的特点，利用现代通信技术，已经在技术上有了很多的突破而被广泛应用。

广义的 GPS，包括美国 GPS、欧洲伽利略、俄罗斯格洛纳斯（GLONASS）、中国北斗等全球卫星定位系统，也称全球导航卫星系统（GNSS，Global Navigation Satellite System）。

遥感（RS）就是在一定的平台上，利用电磁波对观察对象的信息进行非接触的感知、采集、分析、识别、揭示其几何空间位置形状、物理性质的特征及相互联系，并用定期的遥感获得所采集信息的变化规律。由于遥感设备都采用飞机、卫星等高速运转的运载工具，在高空进行，视场大，可在大范围观察、采集信息，效率非常高，可以说为全面、及时、动态地观察地球提供了技术手段。近年来，由于技术的进步，遥感的分辨率不断提高，民用的遥感图片几何分辨率已经到米级、分米级，因此应用范围在不断扩大，如图 1-6 和图 1-7 所示。

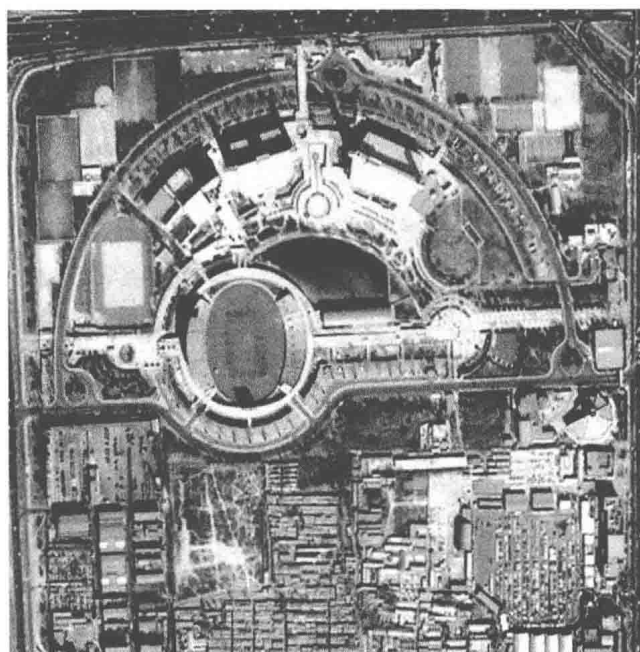


图 1-6 北京奥体中心遥感图

地理信息系统（GIS）是在计算机技术支持下，把采集的各种地理空间信息按照空间分布及属性，进行输入、存储、检索、更新、显示、制图，并提供和其他相关专业的专家系统、咨询系统相结合，以便综合应用的技术系统。通过 GIS 系统，利用互联网可将采集的地理信息数据实现共享，针对政府、各种社会经济组织，乃至个人对地理信息的需求提供服务。从而使采集的地理信息数据最大限度地发挥作用。

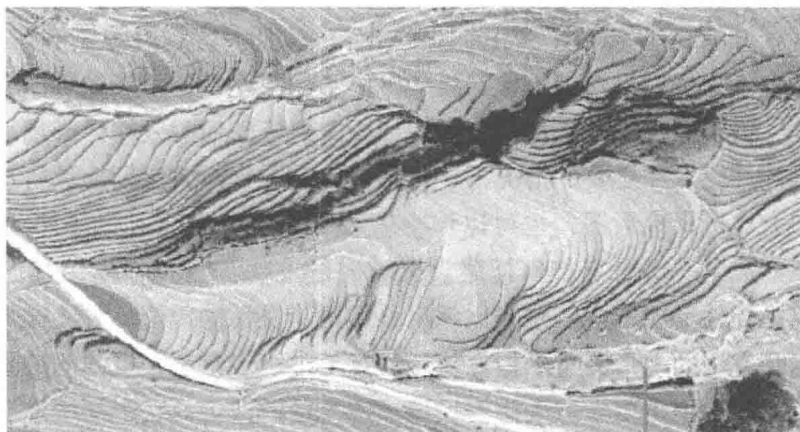


图 1-7 某农村地区遥感图

3S 技术集成（如图 1-8 所示），即利用 GPS 实时高精度定位，利用 RS 大面积进行遥感，处理后生产并提供地理空间信息服务产品，用 GIS 构建地理空间信息服务规范体系，利用 3S 技术集成及互联网全面提供地理空间信息服务，推进在信息化建设进程中地理空间信息基础数据平台的建设。作为支撑信息化的支柱之一，3S 技术集成，是当前国内外的发展趋势，将使测绘工作中，从地理空间信息数据采集到提供服务的整个流程都发生革命性的进步，使全球性大面积、从静态到动态、快速高效的地理空间信息数据采集、处理、分发和服务得以实现。同时，也将使测绘在社会经济发展中的地位和作用得到空前的提升，并向地球空间信息科学跨越和融合。

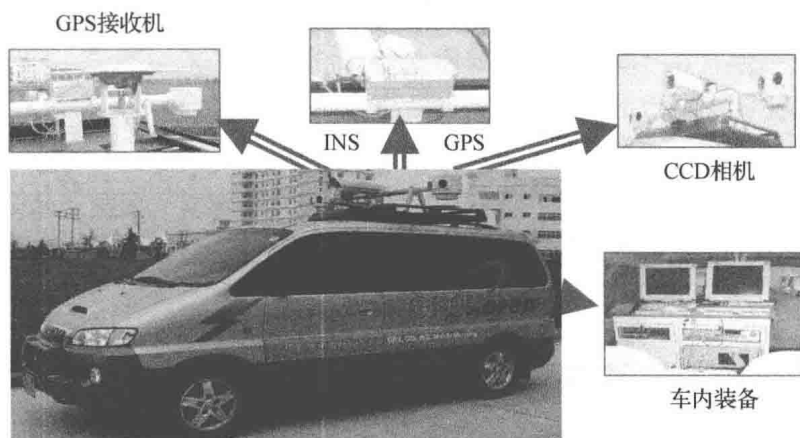


图 1-8 3S 技术集成

## 五、本课程的地位与作用

在研究全球性测绘的同时，在所有的建设工程中，依然需要工程测量给予保障服务。在所有的工程建设中，从勘测、规划和设计各个阶段，需要工程及相关区域的高精度、大比例

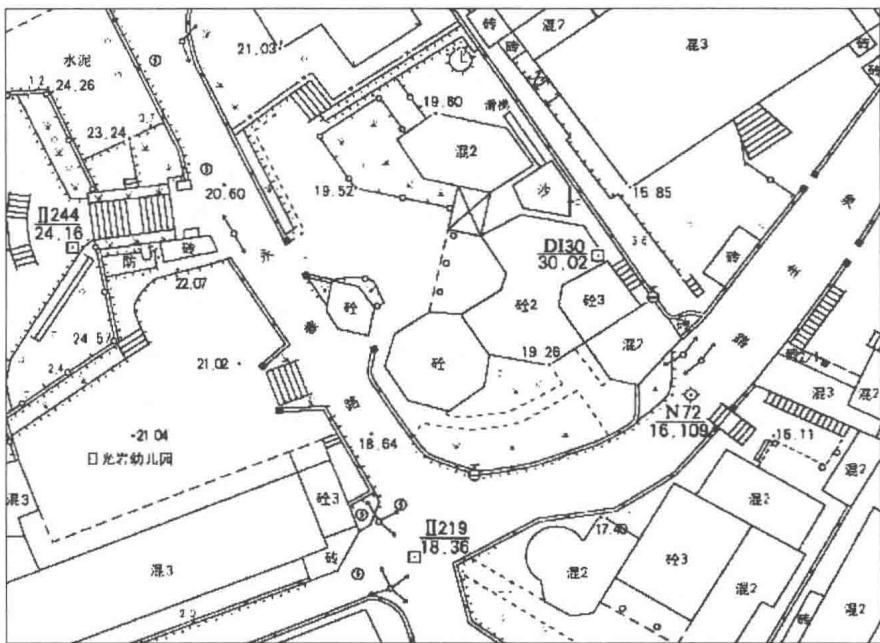


图 1-9 某城区居民地 1:500 地形图样图

## 子情境2 测量学基本知识

## 一、地球形状与坐标系建立

### （一）地球的形狀和大小

地球是一个南北稍扁、赤道稍长、平均半径约为 6371km 的椭球体。测量工作是在地球表面进行的，而地球的自然表面有高山、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%。下面先介绍重力、铅垂线、水准面、

大地水准面、参考椭球面的概念及关系。

如图 1-10 所示, 由于地球的自转, 其表面的质点  $P$  除受万有引力的作用外, 还受到离心力的影响。  $P$  点所受的万有引力与离心力的合力称为重力, 重力的方向称为铅垂线方向。测量工作取得重力方向的一般方法是, 用细线悬挂一个垂球  $G$ , 细线即为悬挂点  $O$  的重力方向, 通常称它为垂线或铅垂线方向。

假想静止不动的水面延伸穿过陆地, 包围整个地球, 形成一个封闭曲面, 这个封闭曲面称为水准面。水准面是受地球重力影响形成的, 是重力等位面, 物体沿该面运动时, 重力不做功 (如水在这个面上不会流动), 其特点是曲面上任意一点的铅垂线垂直于该点的曲面。根据这个特点, 水准面也可定义为: 处处与铅垂线垂直的连续封闭曲面。由于水准面的高度可变, 因此, 符合该定义的水准面有无数个, 其中与平均海面相吻合的水准面称为大地水准面, 大地水准面是唯一的。大地水准面围成的空间形体称为大地体, 它可以近似地代表地球的形状。

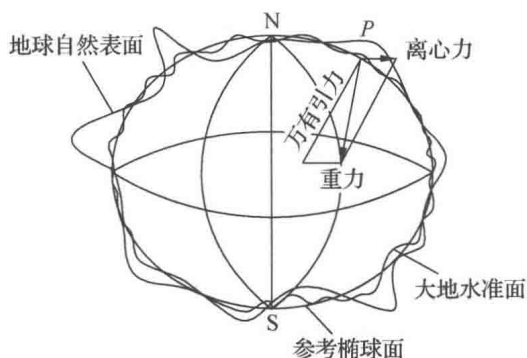


图 1-10 地球的自然表面、  
大地水准面、参考椭球面

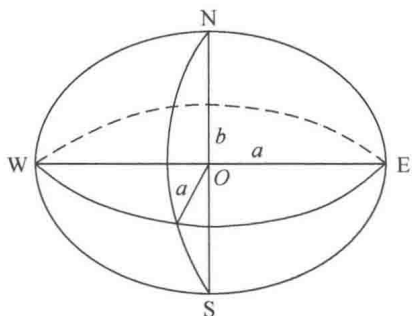


图 1-11 地球椭球体

由于地球内部质量分布不均匀及自转和公转, 使得重力受其影响, 大地水准面成为一个不规则、复杂的曲面, 因此, 大地体成为一个无法用数学公式描述的物理体。如果将地球表面上的点位投影到大地水准面上, 由于它不是数学体面, 在计算上是无法实现的。经过长期测量实践数据表明, 大地体近似于一个以赤道半径为长半轴, 以地轴为短轴的椭圆, 并以短轴为旋转轴, 旋转形成的椭球。所以测绘工作取大小与大地体很接近的旋转椭球作为地球的参考形状和大小, 如图 1-11 所示。

旋转椭球又称为参考椭球, 其表面称为参考椭球面。

我国目前采用的旋转椭球体的参数值为:

$$\text{长半径 } a = 6\,378\,137\text{m}$$

$$\text{短半径 } b = 6\,356\,752\text{m}$$

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

由于旋转椭球的扁率很小, 在测区面积不大, 可以近似地把地球当作圆球, 其平均半径  $R$  可按下式计算:

$$R = \frac{1}{3}(2a + b) \quad (1-1)$$

在测量精度要求不高时, 其平均半径  $R$  近似值取 6371km。

若对参考椭球面的数学式加入地球重力异常变化参数的改正, 便可得到大地水准面的较为近似的数学式。这样从严格意义上讲, 测绘工作是取参考椭球面为测量的基准面, 但在实

际工作中仍取大地水准面作为测量工作的基准面。当对测量成果的要求不十分严格时，则不必改正到参考椭球面上。另外，实际工作中又十分容易地得到水准面和铅垂线，所以用大地水准面作为测量的基准面便大为简化了操作和计算工作。因而，水准面和铅垂线便成为实际测绘工作的基准面和基准线。

(二) 测量坐标系与地面点位的确定

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置，需要用 3 个量来确定。在测量工作中，这 3 个量通常用该点在基准面（参考椭球面）上的投影位置和该点沿投影方向到基准面（一般是用大地水准面）的距离来表示。测量工作中，通常用下面几种坐标系来确定地面点位。

1. 地理坐标系

按坐标系所依据的基本线和基本面不同及求坐标的方法不同，地理坐标系又分为天文地理坐标系和大地地理坐标系。

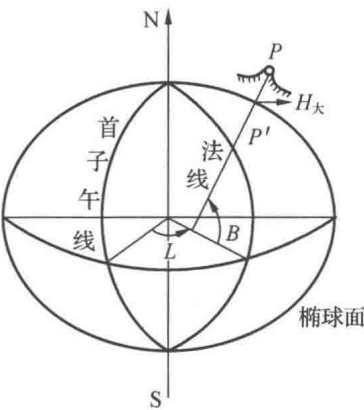


图 1-12 大地地理坐标系

如图 1-12 所示，N、S 分别是地球的北极和南极，NS 称为自转轴，包含自转轴的平面称为子午面，子午面与地球表面的交线称为子午线，通过格林尼治天文台的子午面称为首子午面，通过地心垂直于地球自转轴的平面称为赤道面，赤道面与椭球面的交线称为赤道。

如图 1-12 所示，以通过地面点位的法线为依据，以地球椭球面为基准面的球面坐标系称为大地地理坐标系，地面点的大地地理坐标用大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  来表示。某点  $P'$  的大地经度为过  $P'$  点的子午面与首子午面的夹角  $L$ ；某点  $P$  的大地纬度为通过  $P$  点的法线与赤道平面的夹角  $B$ 。

大地经、纬度是根据起始大地点（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，按大地测量所得的数据推算而得的。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（简称 54 坐标系）和 1980 年西安坐标系（简称 80 坐标系）。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。54 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，没有采用中国的数据。该系统在我国范围内符合得不好，不能满足高精度定位及地球科学、空间科学和战略武器发展的需要。20 世纪 80 年代，我国大地测量工作者经过 20 多年的艰巨努力，完成了全国一、二等天文大地网的布测。经过整体平差，采用 1975 年 IUGG（国际大地测量和地球物理学联合会）第 16 届大会推荐的参考椭球参数，建立了我国 80 坐标系。54 坐标系和 80 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。但其成果受技术条件制约，精度偏低，无法满足现代技术发展的要求。经国务院批准，根据《中华人民共和国测绘法》，我国自 2008 年 7 月 1 日起启用 2000 国家大地坐标系（简称 2000 坐标系）。2000 坐标系是全球地心坐标系在我国的具体体现，其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。2000 坐标系采用的地球椭球参数如下：

$$\begin{aligned} \text{长半轴 } a &= 6\,378\,137\text{m} \\ \text{扁率 } f &= 1/298.257\,222\,101 \end{aligned}$$

地心引力常数  $GM = 3.986\ 004\ 418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$

自转角速度  $\omega = 7.292\ 115 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$

如图 1-13 所示,以通过地面点位的铅垂线为依据,以大地水准面为基准面的球面坐标系称天文地理坐标系。地面点的天文地理坐标用天文经度  $\lambda$  和天文纬度  $\varphi$  来表示。某点  $P$  的天文经度为过  $P$  点的子午面与首子午面的夹角  $\lambda$ ;某点  $P$  的纬度为通过  $P$  点的铅垂线与赤道平面的夹角  $\varphi$ 。

大地坐标和天文坐标,自首子午线起,向东  $0^\circ \sim 180^\circ$  称东经,向西  $0^\circ \sim 180^\circ$  称西经;自赤道起,向北  $0^\circ \sim 90^\circ$  称北纬,向南  $0^\circ \sim 90^\circ$  称南纬。例如,北京某点的大地地理坐标为东经  $L = 116^\circ 28'$ ,北纬  $B = 39^\circ 54'$ 。

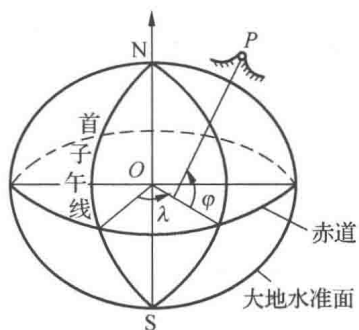


图 1-13 天文地理坐标系

## 2. 高斯平面直角坐标系

当测区范围较小,把地球表面的一部分当作平面看待时,所测得地面点的位置或一系列点所构成的图形,可直接用相似而缩小的方法描绘到平面上去。如果测区范围较大,就不能把地球很大一块地表面当作平面看待,必须采用适当的投影方法来解决这个问题。我国采用的是高斯投影法,并由高斯投影来建立平面直角坐标系。高斯投影又称横轴圆柱等角投影,它是德国数学家高斯于 1825—1830 年首先提出的。实际上,直到 1912 年,由德国的另一位测量学家克吕格推导出实用的坐标投影公式后,这种投影才得到推广。所以,该投影又称为高斯—克吕格投影。如图 1-14 所示,假想有一个圆柱面横套在地球椭球体外面,并与某一条子午线(此子午线称为中央子午线或轴子午线)相切,圆柱体的中心轴通过椭球体中心;然后用一定的投影方法,将中央子午线两侧各一定经差范围内的地区投影到圆柱面上;再将此柱面展开即成为投影面,如图 1-15 所示,此投影为高斯投影,也是正形投影的一种。高斯平面投影的特点:投影后,中央子午线无变形;角度无变形,图形保持相似;离中央子午线越远,投影变形越大。

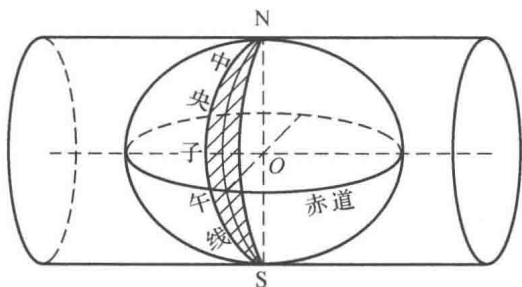


图 1-14 横轴圆柱等角投影

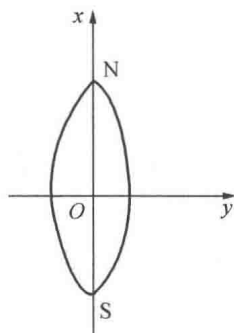


图 1-15 高斯投影

### (1) 高斯投影 $6^\circ$ 分带

如图 1-16 所示,投影带是从首子午线起,每隔经度  $6^\circ$  划分一带,称为  $6^\circ$  带,将整个地