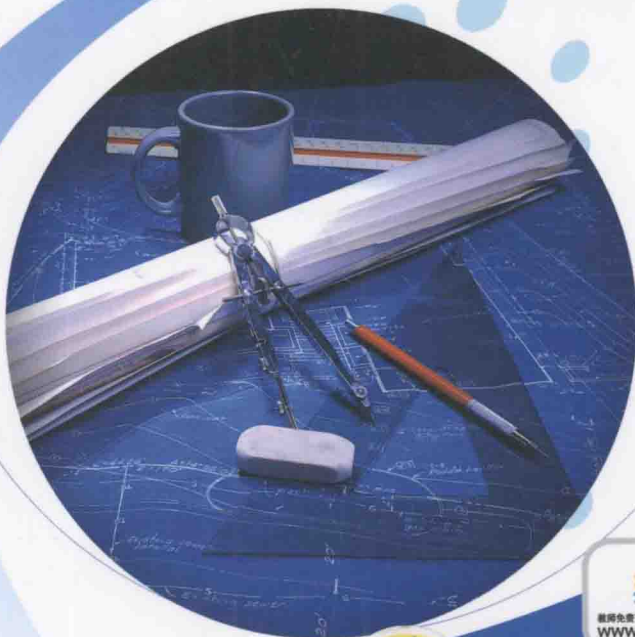




高等职业教育土建类专业规划教材

工程测量

张慧锋 主编



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



配电子课件

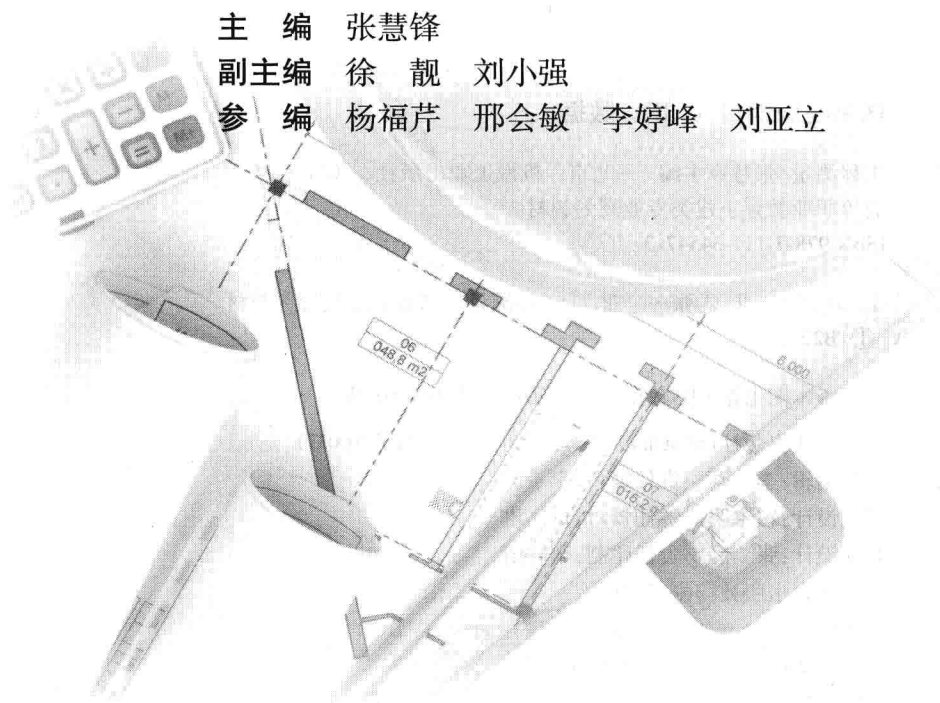
高等职业教育土建类专业规划教材

工程测量

主 编 张慧锋

副主编 徐 靓 刘小强

参 编 杨福芹 邢会敏 李婷峰 刘亚立



机械工业出版社

本书共分 11 章, 遵循理论联系实际和应用性的原则, 介绍了工程测量的定位原理和方法, 特征点、线、面的测量方法。主要内容包含: 工程测量的基本知识、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、控制测量、大比例尺地形图及其测绘、地形图的应用、建筑工程施工测量、线路工程测量、桥梁和隧道工程施工测量、测量新技术在工程中的应用及附录。在介绍测量原理、方法和常规测量仪器的基础上, 对新型电子仪器的测量原理和使用方法、现代测绘技术的应用也作了相应介绍。在附录中, 加入了测量学实验、实习指导的内容, 供不同要求的院校教学时选用。

本书适用于高等职业院校工程测量专业、土木工程专业、环境工程专业、采矿工程专业等的学生使用, 同时也可作为建筑工程技术人员的进修和参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程测量/张慧锋主编. —北京: 机械工业出版社, 2011. 9

高等职业教育土建类专业规划教材

ISBN 978-7-111-34547-3

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 (2011) 第 198780 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: 李 莉 责任编辑: 李 莉 常金锋

版式设计: 霍永明 责任校对: 肖 琳

封面设计: 张 静 责任印制: 李 妍

高等教育出版社印刷厂印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.25 印张 · 374 千字

0001 - 3000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 34547 - 3

定价: 32.00 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

社 服 务 中 心: (010)88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部: (010)88379649

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据高等职业院校测绘工程类专业工程测量教学大纲的要求,结合我国高等教育改革、专业范围和方向调整、课程设置及学时的实际分配而编写的。为适应培养土木工程的设计、施工、管理及项目规划、研究开发能力的高科技人才的需要,教材编写立足于基本理论、基本知识、基本技能,着重于新技术、新方法、新设备、新内容、新规范的介绍,以拓宽知识面、增强适应性。为满足培养公路、城市道路、桥梁、建筑、隧道与地下建筑等工程的设计、施工、管理、研究等方面的 21 世纪高新测绘工程技术人才的需求,将工程测量的“点、线、面、平、纵、横”定位以及解决工程建设中相关放样、测图、用图等测量技术问题融为一体,由浅入深、由表及里、循序渐进地介绍了工程测量的系列知识。

本书由张慧锋任主编,负责大纲的拟定及全书的审核和统稿。徐靓、刘小强任副主编。绪论和第七章由商丘师范学院邢会敏编写,第一、四、十一章由河南工程学院徐靓编写,第二、三章由河南工程学院杨福芹编写,第五章、第六章前三节、测量学实验、实习指导由河南工程学院张慧锋编写,第六章第四节由石家庄经济学院刘亚立编写,第八、九章由河南工程学院刘小强编写,第十章由湖北交通职业技术学院李婷峰编写。

本书编写过程中,得到了各方面的支持和帮助,在此一并表示真挚的谢意。由于编者水平有限,书中难免存在缺点和疏忽,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
第一节 测量学的任务与作用	1
第二节 工程测量的发展及现状	3
第一章 工程测量的基本知识	5
第一节 工程测量概述	5
第二节 地面点位的确定	8
第三节 测量误差的基本知识	13
本章小结	20
思考题	20
第二章 水准测量	22
第一节 水准测量原理	22
第二节 水准测量的仪器和工具	24
第三节 DS_3 微倾式水准仪的使用	28
第四节 水准测量的方法	29
第五节 DS_3 微倾式水准仪的检验与校正	36
第六节 水准测量的误差及其注意事项	39
本章小结	42
思考题	42
第三章 角度测量	44
第一节 角度测量原理	44
第二节 DJ_6 型光学经纬仪	45
第三节 经纬仪的使用	47
第四节 水平角观测	49
第五节 竖直角观测	52
第六节 经纬仪的检验与校正	55
第七节 水平角观测的误差来源及消减措施	59
第八节 电子经纬仪	61
本章小结	65
思考题	65
第四章 距离测量与直线定向	67
第一节 钢卷尺量距	67

第二节 视距测量	73
第三节 光电测距	76
第四节 直线定向	79
本章小结	82
思考题	83
第五章 控制测量	84
第一节 控制测量概述	84
第二节 导线测量	88
第三节 交会测量	97
第四节 高程控制测量	100
本章小结	103
思考题	103
第六章 大比例尺地形图及其测绘	106
第一节 地形图的基本知识	106
第二节 测图前的准备工作	116
第三节 经纬仪测图法	117
第四节 数字化测图	124
本章小结	132
思考题	133
第七章 地形图的应用	134
第一节 地形图的阅读	134
第二节 地形图的基本应用	135
第三节 地形图在工程建设中的应用	137
本章小结	144
思考题	144
第八章 建筑工程施工测量	146
第一节 施工测量概述	146
第二节 施工测量的基本工作	147
第三节 建筑施工控制测量	152
第四节 民用建筑施工测量	155
第五节 工业建筑施工测量	162
第六节 建筑物变形观测	165
本章小结	171
思考题	171
第九章 线路工程测量	173
第一节 线路工程测量概述	173
第二节 线路中线测量	174
第三节 曲线测设	178
第四节 线路纵、横断面测量	183

第五节 道路施工测量	190
本章小结	195
思考题	195
第十章 桥梁和隧道工程施工测量	197
第一节 桥梁工程施工测量	197
第二节 隧道工程施工测量	201
本章小结	206
思考题	207
第十一章 测量新技术在工程测量中的应用	208
第一节 3S 技术在工程测量中的应用	208
第二节 激光技术在工程测量中的应用	213
本章小结	216
思考题	216
附录 工程测量实验、实习指导	217
附录 A 实验须知	217
附录 B 实验指导	219
附录 C 测量实习指导	230
参考文献	236

绪 论



学习目标:

1. 了解工程测量的发展及现状。
2. 理解工程测量的任务和作用。
3. 掌握测量学的概念。

第一节 测量学的任务与作用

一、测量学的概念

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面、水下及空间点位的科学，它的主要内容
包括测定和测设两部分。测定是指用测量仪器对被测点进行测量、数据处理，从而得到被测
点的位置坐标，或根据测得的数据绘制地形图；测设是指把图样上设计好的工程建筑物、构
筑物的位置通过测量在实地标定出来。

随着现代科学技术的发展和不同学科的交叉融合，现代测量学产生了许多分支学科：大
地测量学；地形测量学；摄影测量学；工程测量学；地图制图学；遥感（RS）；全球定位系
统（GPS）和地理信息系统（GIS）等。

大地测量学：研究地球表面广大地区的点位测定及整个地球的形状、大小和变化以及地
球重力场测定的理论和方法的学科。由于人造地球卫星和空间技术的利用，大地测量又分为
常规大地测量和卫星大地测量两种。

地形测量学：研究将地球表面局部地区的自然地貌、人工建筑和行政权属界线等测绘成
地形图、地籍图等的基本理论和方法的学科。

摄影测量学：研究利用航空或航天器对地面摄影或遥感，以获取地物和地貌的影像和光
谱，并进行分析处理，从而绘制成地形图等的基本理论和方法的学科。根据获得照片的方式
不同，摄影测量学又可以分为航空摄影测量学、航天摄影测量学、地面摄影测量学和水下摄
影测量学。

工程测量学：研究在工程建设和自然资源开发各个阶段进行测量工作的理论和技术的学
科。它是测量学在国民经济和国防建设中的直接应用，包括规划设计阶段的测量、施工兴建
阶段的测量、竣工验收阶段的测量和运行管理阶段的测量。每个阶段的测量工作，其内容、

方法和要求也各不相同。

地图制图学：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、工程技术和应用的学科。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。

遥感 (RS)：它是不接触物体本身，用传感器采集目标物的电磁波信息，经处理分析后，识别目标物，并揭示其几何、物理性质和相互联系及其变化规律的现代科学技术。

全球定位系统 (GPS)：最初它是美国国防部主要为满足军事部门对海上、陆地和空中设施进行高精度导航和定位的要求而建立的，是目前世界上最先进、最完善的卫星导航与定位系统，它不仅具有全球性、全天候、实时精密三维导航与定位能力，而且具有良好的抗干扰性和保密性。

地理信息系统 (GIS)：它是在计算机软件和硬件的支持下，把各种地理信息按照空间分布及属性以一定的格式输入、存储、检索、更新、显示、制图和综合分析应用的技术系统。

二、工程测量的任务

工程测量学，按其对象分为工业建设工程测量、城市建设工程测量、公路铁路工程测量、桥梁工程测量、隧道与地下工程测量、水利水电工程测量、管线工程测量等。在工程建设过程中，工程项目一般分规划与勘测设计、施工、营运管理三个阶段，测量工作贯穿于工程项目建设的全过程，根据不同的施测对象和阶段，工程测量学具有以下任务。

1. 测绘大比例尺地形图

把工程建设区域内的各种地面物体的位置、形状以及地面的起伏形态，依据规定的符号和比例绘制成地形图，为工程建设的规划设计提供必要的图纸和资料。

2. 施工测量

把图样上已设计好的各种工程的平面位置和高程，按设计要求在地面上标定出来，作为施工的依据并配合施工，进行各种施工标志的测设工作，确保施工质量；施工竣工图为工程验收、日后扩建和维修提供资料。

3. 变形观测

对于一些重要的工程，在施工和运营期间，为了确保安全，还需要进行变形观测，以监视其安全施工和运营，并为以后改进设计、优化施工和加强管理提供资料。

三、工程测量的作用

测绘技术及成果应用十分广泛，对于国民经济建设、国防建设和科学研究起着重要的作用。国民经济建设发展的整体规划，城镇和工矿企业的建设与改（扩）建，交通、水利水电、各种管线的修建，农业、林业、矿产资源等的规划、开发、保护和管理，以及灾情监测等都需要测量工作；在国防建设中，测绘技术对国防工程建设、战略部署和战役指挥、诸兵种协同作战、现代化技术装备和武器装备应用等都起着重要作用；对于空间技术研究、地壳形变、海岸变迁、地极运动、地震预报、地球动力学、卫星发射与回收等科学研究方面，测绘信息资料也是不可缺少的。同时，测绘资料是重要的基础信息，其成果是信息产业的重要组成部分。

测绘科学的各项高新技术,在工程测量中得到广泛应用。在工程建设的规划设计阶段,各种比例尺地形图、数字地形图或有关 GIS,用于城镇规划设计、管理、道路选线以及总平面和竖向设计等,以保障建设选址得当,规划布局科学合理;在施工阶段,特别是大型、特大型工程的施工,GPS 技术和测量机器人技术已经用于高精度建(构)筑物的施工测设,并适时对施工、安装工作进行检验校正,以保证施工符合设计要求;在工程管理方面,竣工测量资料是扩建、改建和管理维护必需的资料;对于大型或重要建(构)筑物还要定期进行变形监测,以确保其安全可靠;在土地资源管理方面,地籍图、房产图对土地资源开发、综合利用、管理和权属确认等方面具有重要作用。

第二节 工程测量的发展及现状

一、我国工程测量技术现状

20 世纪 80 年代以来出现许多先进的地面测量仪器,为工程测量提供了先进的技术工具和手段,如:光电测距仪、精密测距仪、电子经纬仪、全站仪、电子水准仪、数字水准仪,为工程测量向现代化、自动化、数字化方向发展创造了有利的条件,改变了传统的工程控制网布网、地形测量、道路测量和施工测量等的作业方法。三角网已被三边网、边角网、测距导线网所替代;光电测距三角高程测量代替三、四等水准测量;具有自动跟踪和连续显示功能的测距仪用于施工放样测量;无需棱镜的测距仪解决了难以攀登和无法到达的测量点的测距工作。

20 世纪 80 年代以来,随着 GPS 定位技术的出现和不断发展完善,测绘定位技术发生了革命性的变革,为工程测量提供了崭新的技术手段和方法。长期使用的以测角、测距、测水准为主体的常规地面定位技术,正在逐步被以一次性确定三维坐标的高速度、高精度、费用省、操作简单的 GPS 技术代替。

在我国,GPS 定位技术的应用已深入各个领域,国家大地网、城市控制网、工程控制网的建立与改造已普遍地应用 GPS 技术,在高速公路、地下铁路、隧道贯通、建筑变形、大坝监测、山体滑坡、地震的形变监测、海岛或海域测量等方面也已广泛地使用 GPS 技术。随着 DGPS 差分定位技术和 RTK 实时差分定位系统的发展和美国 AS 技术的解除,单点定位精度不断提高,GPS 技术在导航、运载工具实时监控、石油物探点定位、地质勘查剖面测量、碎部点的测绘与放样等领域将有广泛的应用前景。

数字化测绘技术在测绘工程领域得以广泛应用,使大比例尺测图技术向数字化、信息化发展。随着电子经纬仪、全站仪的应用和 GEOMAP 系统的出现,把野外数据采集的先进设备与微机及数控绘图仪三者结合起来,形成一个从野外或室内数据采集、数据处理、图形编辑和绘图的自动测图系统。

20 世纪 80 年代以来,我国数字化测绘技术的开发研究和应用发展很快,成效显著。1987 年北京市测绘设计研究院在国内首先完成了“大比例尺数字化测图系统”(即 DGJ)的软件开发,并通过技术鉴定,1990 年被建设部列为第一批技术推广应用项目之一,在 80 多个城市及工程测量单位推广应用,同时又有十几个大专院校、仪器公司和工程测量单位,先后开发和研制出多个类似的数字测图系统软件。

摄影测量技术已越来越广泛地在城市和工程测绘领域中得以应用,由于高质量、高精度的摄影测量仪器的研制生产,结合计算机技术的应用,使得摄影测量能够提供完全的、实时的三维空间信息。不仅不需要接触物体,而且减少了外业工作量,具有测量高效、高精度,成果品种繁多等特点。在城市和工程大比例尺地形测绘、地籍测绘、公路、铁路、建筑物变形监测中都起到了一般测量难以起到的作用,具有广泛的应用前景。全数字摄影测量工作站的出现,为摄影测量技术应用提供了新的技术手段和方法,该技术已在一些大中城市和大型工程勘察单位得以引进和应用。

航空摄影测量是进行城市大面积大比例尺地形图、地籍图测绘与更新以及大型工程勘测的重要手段与方法,它可以提供数字的、影像的、线划的等多种形式的地图成果。目前,我国有 100 多个城市或工测单位利用航测技术测制大比例尺地形图和地籍图,最大比例尺为 1/500。除利用高精度的模拟测图仪和解析测图仪成图方法外,还用立体坐标测图仪与微机连接进行数据采集,经微机数据处理输入绘图机自动绘图。

二、工程测量发展展望

21 世纪,工程测量将在以下方面将得到显著发展:

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进一步增强。

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。

大型复杂结构建筑、设备的三维测量、几何重构及质量控制将是工程测量学发展的一个特点。

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。

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。

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。

第一章

工程测量的基本知识



学习目标:

1. 了解测量工作的基本内容。
2. 理解地球形状和大小，测量工作应遵循的原则，地球曲率对测量工作的影响。
3. 掌握地面点位置的表示方法，测量误差的基本知识。

第一节 工程测量概述

一、地球的形状和大小

(一) 大地水准面

地球表面是极其不规则的，山地、丘陵、平原、盆地、海洋等起伏变化，陆地上最高处珠穆朗玛峰高出海水面 8848.43m，海洋最深处马利亚纳海沟深达 11022m，起伏变化非常大，但是这种起伏变化和庞大的地球（半径约 6371km）比较起来是微不足道的；同时，就地球表面而言，海洋的面积约占 71%，陆地仅占 29%，所以海水所包围的形体基本上代表了地球的形状和大小。

由于地球的自转运动、地球上任一点都同时受到两个力的作用，即离心力和地球引力，它们的合力即为重力，重力的作用线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。处于静止状态的水面称为水准面，例如，平静湖泊中的水面就是一个水准面。水准面处处与重力方向（即铅垂线）垂直，在地球表面上重力作用的范围内，任何高度的点上都有一个水准面，因此水准面有无数多个。

根据上面所述，由于水准面有无数多个，而野外测量工作将在不同的水准面上进行，因此产生了对于同一个观测对象（角度、距离、高程），如果选用不同的水准面作为测量工作基准面，所得出的观测结果是否相同的问题。研究表明，对于两个方向之间的夹角，在不同高度的水准面上，其大小可以认为是不变的，但对于距离和点的高程而言，其结果将随着所选取的基准面的不同而发生变化。因此，为了使不同测量部门所得出的外业成果能互相比较、互相统一、互相利用，有必要选择一个最有代表性的水准面作为外业作业的共同基准面。这个基准面是如何确定的呢？

假想把这个静止的平均海平面延伸，穿过大陆和岛屿所形成的闭合曲面称为大地水准

面。由于大地水准面的形状和大地体的大小均接近地球的自然表面的形状和大小，因此可选取大地水准面作为测量工作的基准面，如图 1-1 所示。

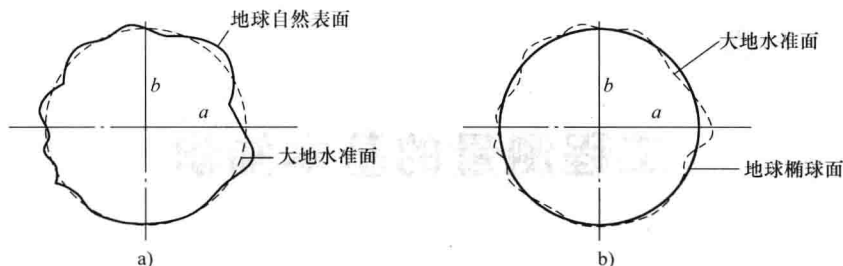


图 1-1 大地水准面的确定

(二) 参考椭球面

虽然将大地水准面作为测量工作的基准面可使观测结果有了共同的标准，但是测量的最终目的是要精确测定地球表面的位置，而要计算点的位置必须知道所依据的基准面的形状是否能用数学模型准确表达出来。由于地球内部物质构造分布的不均匀，地球表面起伏不平，所以大地水准面是一个略有起伏的不规则的物理表面，无法用数学公式精确表达出来，因而也就无法进行测量数据的处理。

为了便于正确地计算测量成果，准确表示地面点的位置，测量上选用一个大小和形状都非常接近于大地体的旋转椭球体作为地球的参考形状和大小，这个旋转椭球体称为参考椭球体，又称地球椭球。它是一个规则的曲面体，可以用较简单的数学公式来表达。它的大小和形状可以用长半径 a (或短半径 b) 和扁率 α 来表示，如图 1-1b 所示。其中扁率 α 的计算式为

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

我国 1980 年以后，国家大地坐标系采用国际大地测量协会与地球物理协会在 1975 年推荐的 IUGG—1975 地球椭球为基准，其参数为：

$$a = 6378140\text{m}, \alpha = 1:298.257$$

由于旋转椭球体的扁率较小，所以在测量精度要求不高的情况下，可以把地球近似地当做圆球，其半径 R 采用地球半径的平均值 6371km。

按严格要求，在地球表面进行测量工作时应选取参考椭球面作为基准面，但实用上大多采用与重力方向垂直的大地水准面作为基准面。因为重力方向便于获得，所以以大地水准面和铅垂线作为测量工作的基准面和基准线，可以大大简化操作和计算。但大范围、高精度的测量工作，仍应以参考椭球面作为测量计算的基准。

二、测量工作的基本内容

测量工作的实质是确定地面点的位置。一个点的位置由其平面坐标 (x, y) 和高程 H 三个数值来确定。在实际工作中，常常不是直接测量点的坐标和高程，而是观测坐标和高程已知的点与坐标、高程未知的待定点之间的几何位置关系，然后计算出待定点的坐标和高程。

如图 1-2 所示,地面点 A 、 B 是已知点。为了得到 P_1 、 P_2 点的坐标和高程,可先观测出水平角 β_1 、 β_2 , 水平距离 S_1 、 S_2 以及高差 h_{BP_1} 、 $h_{P_1P_2}$, 再根据已知点 B 的坐标、方向 $A \rightarrow B$ 和 B 点的高程 H_B , 便可推算出 P_1 和 P_2 点的位置。

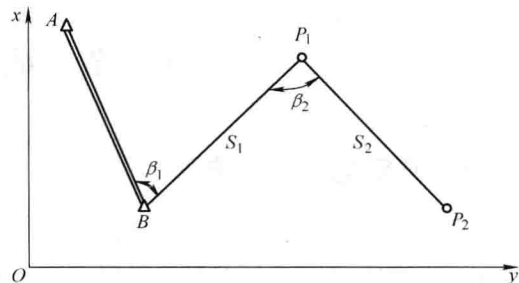


图 1-2 地面点位的确定

地面点间的位置关系是以水平距离、水平角度和高差来确定的,所以距离测量、角度和高差测量是测量工作的三项基本工作。

三、测量工作的基本原则

虽然要测绘的地球表面的形态以及要测设的建筑物复杂多样,但可将其分为地物和地貌两大类。地物指地面上固定性物体,如河流、湖泊、道路和房屋等。地貌指地面上高低起伏的形态,如山岭、谷地和陡崖等。地物、地貌按其形状和大小均可看做是由一些特征点的位置所决定的,这类特征点又称为碎部点。

测定碎部点的平面位置和高程一般分两步进行。第一步是控制测量,如图 1-3 所示,先在测区内选择若干具有控制作用的点 A 、 B 、 C ……,作为控制点,并精确测出这些点的平面位置和高程。控制点不仅要求测量精度高,而且要经过统一严密的数据处理,在测量中起着控制误差累积的作用。

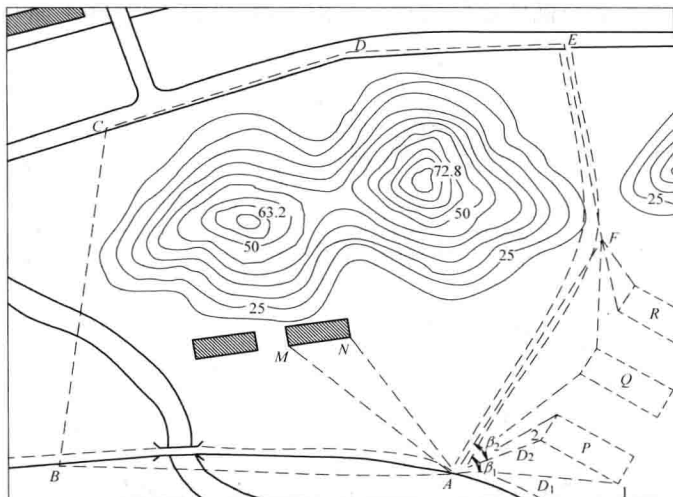


图 1-3 测量工作的程序

第二步进行碎部测量,根据控制点的坐标,测定周围碎部点的平面位置和高程。例如,在控制点 A 上测出房屋的角点 M 、 N 等的的数据,然后根据所测数据,

按一定比例及相应符号描绘到图上,即得到所测地区的地形图。这种“从整体到局部”、“先控制后碎部”的方法是组织测量工作应遵循的基本原则,它可以减少误差的累积,保证测图的精度,而且可以分幅测绘,加快测图进度。另外,测量中应严格进行检核工作,做到“前一步测量工作未作检核,不进行下一步测量工作”,这是组织测量工作应遵循的又一个原则,它可以防止错误发生,保证测量成果的正确性。

上述测量工作的组织原则,也适用于建筑物的测设工作。如图 1-3 所示,欲将图上设计好的建筑物 P 、 Q 、 R 在实地标定出来作为施工的依据,也应先进行控制测量,然后将仪器安置在控制点 A 和 F 上,根据测设数据,进行建筑物的测设。

第二节 地面点位的确定

一、确定地面点的方法

测量工作的基本任务是确定地面点的位置,为此测量上要采用投影的方法加以处理,即一点在空间的位置需要三个量来确定,这三个量通常采用该点在基准面上的投影位置和该点沿投影方向到基准面的距离来表示,如图 1-4 所示。这种确定地面点位的方法又与一定的坐标系相对应。

(一) 大地坐标系

大地坐标系是以参考椭球面为基准面,地面点在参考椭球面上的投影位置用经度 L 、纬度 B 和大地高 H 表示。如图 1-5 所示, NS 为椭球的旋转轴, N 表示北极, S 表示南极。通过椭球旋转轴的平面称为子午面,其中通过格林尼治天文台的子午面称为首子午面。子午面与椭球面的交线称为子午线。某点的大地经度就是通过该点的子午面与首子午面的夹角。通过椭球中心且与椭球旋转轴正交的平面称为赤道面,它与椭球面相截所得的曲线称为赤道。其他平面与椭球旋转轴正交,但不通过球心,这些平面与椭球面相截所得的曲线称为纬线。

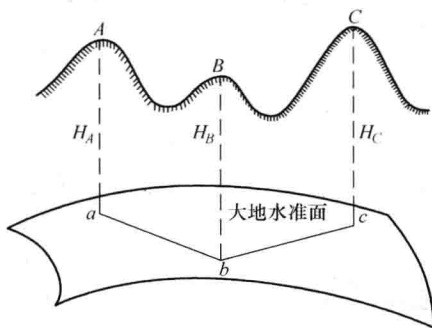


图 1-4 地面点位的确定图

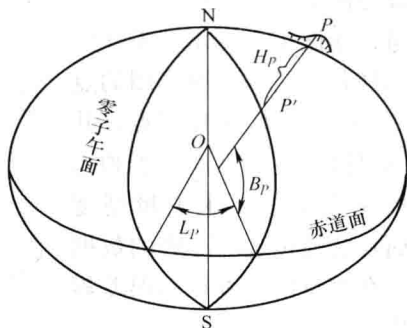


图 1-5 大地坐标系

国际规定,通过格林尼治天文台的子午面为零子午面,向东经度为正,向西为负,其域值为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。大地纬度就是在椭球面上的 P 点作一与椭球体相切的平面,然后过 P 点作一垂直于此平面的直线,这条直线称为 P 点的法线,它与赤道面的交角就是 P 点的大地纬度。向北,称为北纬;向南,称为南纬,其域值为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。椭球体面上的大地高为零。沿法线在椭球体面外为正,在椭球体面内为负。我国版图处于东经 $74^\circ \sim 135^\circ$,北纬 $3^\circ \sim 54^\circ$ 之间,如北京的坐标为北纬 40° ,东经 116° ,用 $B = 40^\circ N$, $L = 116^\circ E$ 表示。

(二) 高斯平面直角坐标系

以上介绍的是大地坐标系,它是以椭球面和法线为基准,将地面观测元素归算至椭球面进行计算的。在实际进行测量时,量距、测角或高程都是在水准面上以铅垂线为准,因此所测得的数据若以大地坐标表示,必须精确地换算成大地坐标系。实践证明,在它上面进行计算是相当复杂和烦琐的,若将其直接用于工程建设规划、设计、施工等,则很不方便。为了便于测量计算和生产实践,要将椭球面上大地坐标按一定数学法则归算到平面上,并在平面

直角坐标系中采用人们熟知的简单计算公式计算平面坐标。由椭球面上的大地坐标向平面直角坐标转化时采用地图投影理论,我国采用高斯—克吕格投影,简称高斯投影。

高斯投影是设想一个横椭圆柱套在参考椭球的外面,如图 1-6a 所示,横椭圆柱的轴线通过椭球心 O ,并与地轴 NS 垂直,这时椭球面上某一子午线正好与横椭圆柱面相切,这条子午线称为中央子午线。然后在椭球面上的图形与椭圆柱面上的图形保持等角的条件下,沿椭圆柱的 N 、 S 点母线将椭球切开,并展成平面,即为高斯投影平面。至此便完成了椭球面向平面的转换工作。在此高斯投影平面上,中央子午线经投影面展开成一条直线,以此直线作为纵轴,即 x 轴;赤道是一条与中央子午线相垂直的直线,将它作为横轴,即 y 轴;两直线的交点作为原点 O ,就组成了高斯平面直角坐标系,如图 1-6b 所示。

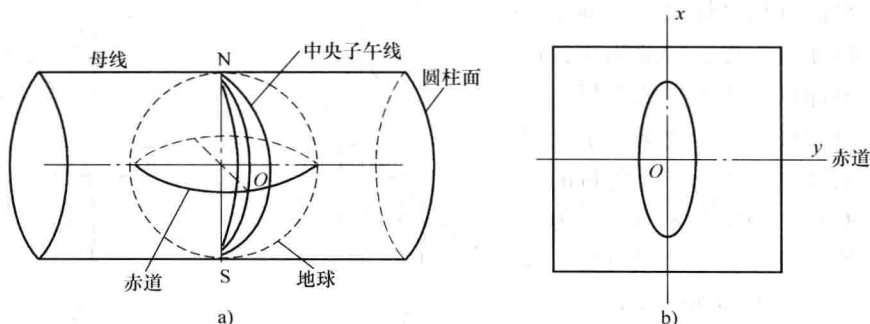


图 1-6 高斯平面直角坐标系

高斯投影虽然不存在角度变形,但存在长度变形,除中央子午线外都要发生变形。离开中央子午线越远,投影后变形越大,这种变形将会影响测图和施工精度。为了把投影后长度变形控制在允许的范围内,测量时采用分带投影的办法来解决这一问题。这种方法是将地球划分成若干投影带,如图 1-7 所示,即把投影区域限制在中央子午线两旁的狭窄区域内,这个区域的范围常选用 6° 或 3° 。这样就能把长度变形限制在一定的范围内。国际上统一把椭球体分成许多 6° 或 3° 带形,并且依次编号。 6° 带投影从英国格林尼治子午线起算,自西向东,每隔经差 6° 投影一次,将地球划分成经差相等的 60 个带,并从西向东进行编号,带号用阿拉伯数字 1、2、3、...、60 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° ,任意带的中央子午线经度为

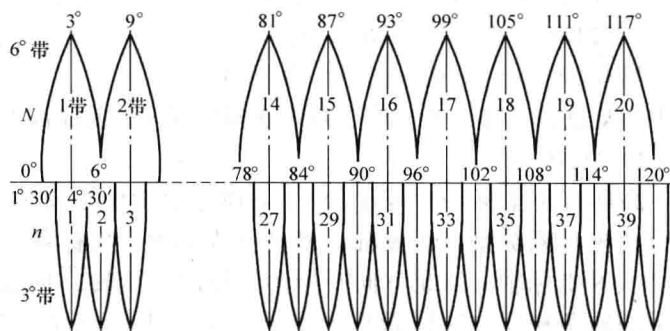


图 1-7 投影带的划分

国际上统一把椭球体分成许多 6° 或 3° 带形,并且依次编号。 6° 带投影从英国格林尼治子午线起算,自西向东,每隔经差 6° 投影一次,将地球划分成经差相等的 60 个带,并从西向东进行编号,带号用阿拉伯数字 1、2、3、...、60 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° ,任意带的中央子午线经度为

$$L_0^6 = 6N - 3 \quad (1-2)$$

式中 N ——带号;

L_0^6 —— 6° 带中央子午线经度。

当要求变形更小时,还可以按经差 3° 或 1.5° 划分投影带。 3° 带是在 6° 带的基础上划分的,其中央子午线在奇数带时与 6° 带中央子午线重合,每隔 3° 为一带,共120带,各带中央子午线经度为

$$L_0^3 = 3n \quad (1-3)$$

式中 n —— 3° 带的带号;

L_0^3 —— 3° 带中央子午线经度。

将投影后具有高斯平面直角坐标系的 6° 带一个个拼接起来,如图1-7所示。我国幅员辽阔,含有11个 6° 带,即在13~23带范围;21个 3° 带,即在25~45带范围。北京位于 6° 带的第20带,中央子午线经度为 117° 。

在高斯平面直角坐标系中,纵坐标的正负方向以赤道为界,向北为正,向南为负;横坐标以中央子午线为界,向东为正,向西为负。由于我国位于北半球,所有纵坐标 x 均为正,而各带的横坐标 y 有正有负。如图1-8所示,为了使用方便,使横坐标 y 不出现负值,规定将纵坐标轴向西平移500km,作为使用坐标,即相当于在实际纵坐标 y 值上加500km。例如, $y_A = 123210\text{m}$, $y_B = -103524\text{m}$,各加500km后,分别成为 $y_A = 623210\text{m}$, $y_B = 396476\text{m}$ 。每一个 6° 带都有其相应的平面直角坐标系。为了表明某点位于哪一个 6° 带,规定在横坐标 y 值前面加上带号,如A点在20带时应表示为 $y_A = 20623210\text{m}$ 。

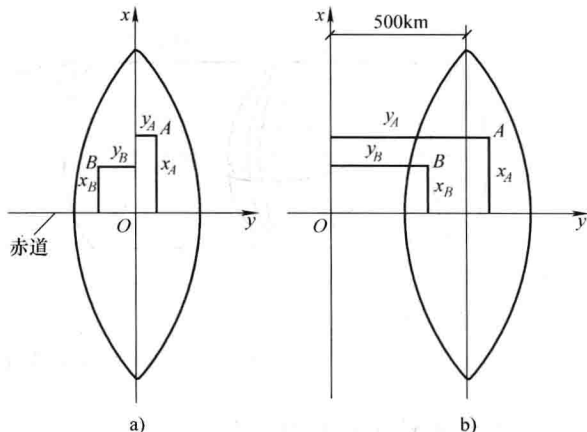


图1-8 高斯平面直角坐标系

高斯直角坐标系中规定的 x 、 y 轴与数学中定义的笛卡儿坐标系的坐标轴不同。高斯直角坐标系纵坐标为 x 轴,横坐标为 y 轴。坐标象限为顺时针划分四个象限,角度起算是从纵坐标轴 x 的北方向开始的,顺时针旋转,形成与起始轴的夹角,这也与数学坐标系的转角相反,这样做是为了能将数学上的三角和解析几何公式直接用到测量的计算上。

(三) 假定平面直角坐标系

在小范围内进行测量工作(测区半径小于10km)时,可以将大地水准面当做水平面看待,即可直接在大地水准面上建立平面直角坐标系和沿铅垂线投影地面点位。为使坐标系内的点位坐标不出现负值,可在测区的西南角以外选定坐标原点。过原点的子午线即为 x 轴;通过原点并与子午线相垂直的直线即为 y 轴,如图1-9所示。建立坐标系后,可假定测区西南角A点的坐标值为: $x_A = 1000\text{m}$, $y_A = 2000\text{m}$ 。这样,整个测区的假定坐标均为正值,以便于使用。

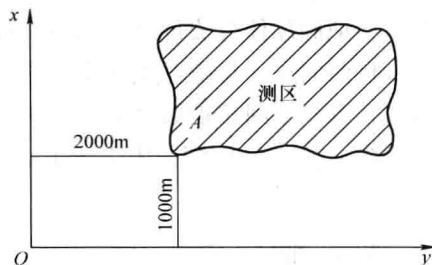


图1-9 假定平面直角坐标系