



凤凰职教

高等职业教育建筑类专业“十三五”规划教材

建筑工程测量

主 编 马潇潇

副主编 陈 荣

JIANZHUGONGCHENGCELIANG



江苏凤凰教育出版社 凤凰职教

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/马潇潇主编. —南京:江苏凤凰教育出版社, 2016. 5(2020. 1 重印)

ISBN 978-7-5499-5793-4

I. ①建… II. ①马… III. ①建筑测量 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 109532 号

书 名	高等职业教育建筑类专业“十三五”规划教材 建筑工程测量
主 编	马潇潇
责任编辑	汪立亮
出版发行	江苏凤凰教育出版社
地 址	南京市湖南路 1 号 A 楼, 邮编: 210009
出 品	江苏凤凰职业教育图书有限公司
网 址	http://www.ppve.cn
照 排	江苏凤凰制版有限公司
印 刷	江苏凤凰数码印务有限公司
厂 址	南京市湖南路 1 号凤凰广场 C 座 1 楼, 邮编: 210009
电 话	025-83657300
开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张	15.5
字 数	379 千字
版 次	2016 年 5 月第 1 版 2020 年 1 月第 4 次印刷
标准书号	ISBN 978-7-5499-5793-4
定 价	36.00 元
批发电话	025-83658830
盗版举报	025-83658873

图书若有印装错误可向江苏凤凰职业教育图书有限公司调换
提供盗版线索者给予重奖

高等职业教育建筑类专业“十三五”规划教材 建设委员会名单

主任：徐 彬(云南省科技厅)

副主任：(按姓氏笔画排序)

马永军(重庆工商职业学院)

汪荣林(江西工程职业学院)

范家茂(合肥职业技术学院)

周晓龙(杭州科技职业学院)

姚志刚(安徽城建学院)

曹 明(上海开放大学)

委员：(按姓氏笔画排序)

万连建(扬州江海职业学院)

王晓玲(厦门城市职业学院)

江科文(重庆工商职业学院)

李 伟(成都广播电视大学)

李 煜(云南国防职业技术学院)

闫志港(宿迁泽达职业技术学院)

吴延风(厦门城市职业学院)

陈小茵(南京城市职业学院)

黄星华(江苏城市职业学院)

蔡丽丽(郑州信息科技职业学院)

徐德慧(广东理工职业学院)

唐玉文(合肥职业技术学院)

崔 辉(合肥职业技术学院)

梅 钰(江苏建课建设监理有限公司)

秘书长：谢 波(云南开放大学)

汪立亮(凤凰出版传媒集团职教出版中心)

前言



《建筑工程测量》是按照高等职业教育建筑类专业核心课程“十三五”规划教材要求编写的,重点讲解了建筑工程测量的基本知识、测量仪器的使用、建筑工程实地测设以及施工测量等内容,对培养学生的专业能力和上岗能力具有重要的作用。适用于建筑工程技术、工程造价、市政工程、工程管理、环境工程等专业的测量教学,各个专业可根据专业的性质和特点在教学中合理地进行选择。

本教材的编写严格依据教育部行指委最新制定的专业教学标准,将标准制定与教材编写紧密结合起来,吸收标准制定过程中的相关调研和研究成果,体现最新的专业教学要求。根据培养“建筑工程测量能力”的关键是使学生掌握测绘技术中相关仪器、工具、软件在实践中运用的特点,充分吸收项目教学、案例教学、情境教学和问题导向教学等教学设计的研究成果,每个项目前设置【项目导入】,每个项目包括若干任务,项目最后设置【项目小结】、【项目测评】。每个任务下设【学习目标】(知识目标,技能目标)、【任务描述】【相关知识】【任务实施】,设计项目、任务时,从简单到复杂,由浅入深,循序渐进,符合学生认知规律和职业发展规律,知识和技能螺旋式地融于各项目、任务中。以国家职业标准为依据,以“适用”“实用”“够用”为原则,本教材根据“建筑工程测量”课程教学的要求,涵盖典型测量工作任务,与社会生活、实际生产相关联,反映新知识、新技术和新方法。文字叙述通俗易懂、简洁严谨、层次分明、逻辑性强,符合中职学生认知特点。在整个教材编写过程中,教、学、做紧密结合,理论知识为项目及任务实践活动服务。图、文并茂,配合得当,形象生动,趣味性强,直观鲜明,能够提高学生的学习兴趣。

本教材由郑州信息科技职业学院马潇潇担任主编;厦门城市职业学院陈荣担任副主编;河南应用技术职业学院冯娇伟,黄河交通学院陈天丽,郑州信息科技职业学院朱叶参与了部分内容的编写工作。具体编写分工如下:冯娇伟编写

项目一、二；陈天丽编写项目三、四；马潇潇编写项目五、六、七；陈荣编写项目八、九、十；朱叶编写项目十一、十二。全书由马潇潇负责统稿。在此对以上编者的辛勤努力深表感谢！

本教材参阅了大量的文献资料，引用了同类书刊中的部分内容，在此一并表示衷心感谢！尽管我们在探索教材特色建设方面做出了许多努力，但由于编者水平有限，教材中仍可能存在一些错误和不足，恳请各教学单位和读者在使用本教材时多提宝贵意见，以便下次修订时改进。

编者

2016年3月



目录



第一篇 建筑工程测量基础

项目一 建筑工程测量基础知识	2
任务一 建筑工程测量的任务及作用	2
任务二 地面点定位	4
任务三 用水平面代替水准面的限度	9
任务四 测量误差的基本知识	12
任务五 测量工作的基本原则	14
项目二 水准测量	17
任务一 水准测量原理	17
任务二 水准测量的仪器及工具	18
任务三 普通水准测量	22
任务四 水准仪检验与校正	32
任务五 水准测量误差及其消减办法	35
训练一 DS ₃ 型水准仪的认识与使用	38
训练二 普通水准仪测量	40
项目三 角度测量	42
任务一 角度测量原理	43
任务二 经纬仪的构造与使用	46
任务三 水平角测量	54
任务四 竖直角测量	60
任务五 经纬仪的检验与校正	64

任务六	水平角度观测误差	66
训练一	水平角测量任务	69
训练二	竖直角测量任务	70
项目四	距离测量	72
任务一	钢尺量距	72
任务二	视距测量	80
任务三	电磁波测距	83
任务四	直线定向	85
训练一	直线定线	90
训练二	钢尺一般量距	91
训练三	视距测量——距离丈量及楼高的测定	92
训练四	红外测距仪的使用	93
项目五	全站仪及其操作	94
任务一	全站仪及其辅助设备	94
任务二	全站仪的测量原理、基本功能及其操作	98
任务三	全站仪的模块测量	102
任务四	全站仪测量误差	106
训练一	全站仪点的坐标测量	108
训练二	全站仪距离测量	109
项目六	GNSS 卫星定位系统	111
任务一	卫星定位系统概述	111
任务二	GPS 全球定位系统的组成	113
任务三	GPS 坐标系统及 GPS 定位原理	115
任务四	GPS 测量实施	119
任务五	常规 RTK 技术	122
任务六	CORS 技术应用	125
任务七	中海达 RTK 在 CORS 系统中的应用简介	126
训练	GPS 的认识与使用	128
项目七	小地区控制测量	130
任务一	小地区控制测量基本概念	130

任务二 导线测量·····	132
任务三 交会测量·····	145
任务四 高程控制测量·····	149
任务五 三角高程测量·····	153
训练 导线测量·····	155
项目八 大比例尺地形图测绘及应用 ·····	157
任务一 地形图的比例尺·····	157
任务二 地形图的分幅和编号·····	159
任务三 地形图图外注记·····	160
任务四 大比例尺地形图图式·····	161
任务五 地貌符号——等高线·····	166
任务六 大比例尺地形图的测绘·····	170
任务七 大比例尺地形图的应用·····	174

第二篇 建筑工程施工测量应用

项目九 建筑施工测量基本知识 ·····	180
任务一 建筑施工测量概述·····	180
任务二 测设的基本工作·····	182
任务三 点的平面位置的测设·····	185
任务四 建筑施工控制测量·····	188
训练一 平面点位的测设·····	192
训练二 高程及坡度线的测设·····	193
项目十 民用建筑工程施工测量 ·····	196
任务一 施工测量概述·····	196
任务二 建筑物的定位与放线·····	197
任务三 基础施工测量·····	199
任务四 主体施工测量·····	201
任务五 高层建筑施工测量·····	203

项目十一 工业建筑施工测量	209
任务一 工业建筑控制网的测设.....	209
任务二 厂房柱列轴线的测设和柱基施工测量.....	211
任务三 工业厂房构件的安装测量.....	213
任务四 烟囱、水塔施工放样	220
项目十二 建筑物变形观测和竣工平面图编绘	224
任务一 建筑物变形观测概述.....	224
任务二 建筑物沉降观测.....	225
任务三 建筑物倾斜观测.....	228
任务四 建筑物裂缝和位移观测.....	230
任务五 竣工总平面图的编绘.....	233
训练 高层建筑物沉降监测及其数据处理.....	235
参考文献	237

第 一 篇

建筑工程测量基础





项目导入

测量学是研究获取反映地球形状、地球重力场、地球上自然和社会要素的位置、形状、空间关系、区域空间结构的数据的科学和技术。它的主要任务有三个方面:一是研究确定地球的形状和大小,为地球科学提供必要的数据和资料;二是将地球表面的地物地貌测绘成图;三是将图纸上的设计成果测设至现场。根据研究的具体对象及任务的不同,传统上又将测量学分为以下几个主要分支学科:大地测量学(Geodesy)、地形测量学(Topography)、摄影测量与遥感学(Photogrammetry and Remote Sensing)、工程测量学(Engineering Surveying)、地图制图学(Cartography)。

学习目标

知识目标	技能目标	参考学时
<ol style="list-style-type: none"> 1. 掌握测量学的定义和建筑测量的主要任务; 2. 了解地球形状和大小的概念; 3. 掌握确定地面点位的测量原理和方法; 4. 掌握测量工作的基本原则和基本内容; 5. 了解测量误差的基本知识 	学会采用测量原理和方法确定地面点位	4 学时

任务一 建筑工程测量的任务及作用

任务描述

本任务主要介绍建筑工程测量的任务、作用等内容,使学生通过该任务的完成能够对建筑工程测量的基本知识有全面的认识。

相关知识

工程测量学是测量学的主要学科分支,主要任务包括测定、测设两个部分,是建筑施工中一项非常重要的工作。

 任务实施

一、工程测量学的概念

工程测量学是研究在工程建设的设计、施工和管理各阶段中进行测量工作的理论、方法和技术。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。

按工程建设的进行程序,工程测量可分为规划设计阶段的测量、施工兴建阶段的测量和竣工后的运营管理阶段的测量。规划设计阶段的测量主要是提供地形资料。取得地形资料的方法是,在所建立的控制测量的基础上进行地面测图或航空摄影测量。施工兴建阶段的测量的主要任务是,按照设计要求在实地准确地标定建筑物各部分的平面位置和高程,作为施工与安装的依据。一般也要求先建立施工控制网,然后根据工程的要求进行各种测量工作。竣工后的运营管理阶段的测量,包括竣工测量以及为监视工程安全状况的变形观测与维修养护等测量工作。

按工程测量所服务的工程种类,也可分为建筑工程测量、线路测量、桥梁与隧道测量、矿山测量、城市测量和水利工程测量等。此外,还将用于大型设备的高精度定位和变形观测称为高精度工程测量;将摄影测量技术应用于工程建设称为工程摄影测量;而将以电子全站仪或地面摄影仪为传感器在电子计算机支持下的测量系统称为三维工业测量。

二、工程测量学的任务

工程测量包括测定和测设两部分的内容:

(1) 测定。也称为测绘,是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算将地物和地貌的位置按一定比例尺、规定的符号缩小绘制成地形图,供科学研究和工程建设规划设计使用。

(2) 测设。也称为放样或施工放样,是指使用测量仪器和工具,按设计要求,采用一定的方法将在地形图上设计出建筑物和构筑物的位置在实地标定出来,作为工程施工的依据。

建筑工程测量是测量学的一个组成部分。它是研究建筑工程在勘测设计、施工和运营管理阶段所进行的各种测量工作的理论、技术和方法的学科。

对工程类专业的学生,通过本课程的学习,应掌握下列有关测定和测设的基本内容:

(1) 测绘大比例尺地形图。运用各种测量仪器、软件和工具,通过实地测量和计算,把小范围内地面上的地物、地貌按一定的比例尺测绘成图。

(2) 地形图的应用。在工程设计中,从地形图中获取设计所需要的资料,例如点的坐标和高程、两点间的水平距离、地块的面积、土方量、地面的坡度、地形的断面和进行地形分析等。

(3) 建筑物的施工测量。在施工阶段所进行的测量工作称为施工测量,将图上设计的建(构)筑物标定在实地上,作为施工的依据。

(4) 建筑物的变形观测。监测建(构)筑物水平位移和垂直沉降,以便采取措施,保证建(构)筑物的安全。

(5) 竣工测量。测绘竣工图。

工程测量是建筑施工中一项非常重要的工作,服务于建筑工程建设的每个阶段,贯穿于整个建筑工程的始终,测量工作的质量直接关系到工程建设的速度和质量。所以,每一位从事工程建设的人员,都必须掌握必要的测量知识和技能。

知识拓展

从工程测量学的发展历史可以看出,它的发展经历了一条从简单到复杂、从手工操作到测量自动化、从常规测量到精密测量的发展道路,它的发展始终与当时的生产力水平相同步,并且能够满足大型特种精密工程中对测量所提出的愈来愈高的需求。举世瞩目的三峡水利枢纽工程,小浪底、二滩和溪洛渡等水利枢纽工程;长达 30 多公里的杭州湾大桥和东海大桥工程;已竣工的秦岭隧道(18.4 km),山西省引黄工程南干线 5 井隧洞(长 26.5 km),7 井隧洞(长 42.6 km),以及辽宁省大伙房引水工程隧道(长达 85.3 km);上海磁悬浮铁路;北京国家大剧院等大型精密特种工程,都堪称世界之最。大型特种精密工程建设和对测绘的要求是工程测量学发展的动力。

工程测量的发展趋势和特点可概括为:测量内外业作业的一体化;数据获取及处理的自动化;测量过程控制和系统行为的智能化;测量成果和产品的数字化;测量信息管理的可视化;信息共享和传播的网络化。现代工程测量发展的特点可概括为:精确、可靠、快速、简便、连续、动态、遥测、实时。

任务二 地面点定位**任务描述**

本任务主要介绍地面点位置的确定,使学生了解地面点定位的基础知识,掌握地面点空间位置的表达方法。

相关知识

确定、表达地面点位置要了解测量学中的几个基础概念和地理要素,包括水准面、水平面、大地水准面、铅垂线、地球椭球体以及相对高程、绝对高程等。

任务实施**一、地面点确定的基础知识**

地面点的位置需用坐标和高程三维量来确定。坐标表示地面点投影到基准面上的位置,高程表示地面点沿投影方向到基准面的距离。根据不同的需要可以采用不同的坐标系和高程系。

1. 水准面和水平面

人们设想以一个静止不动的海水面延伸穿越陆地,形成一个闭合的曲面包围了整个地球,这个闭合曲面称为水准面。

水准面的特点是水准面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。

与水准面相切的平面,称为水平面。

2. 大地水准面

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,它是测量工作的基准面。

由大地水准面所包围的形体,称为大地体。

3. 铅垂线

重力的方向线称为铅垂线,它是测量工作的基准线。在测量工作中,取得铅垂线的方法如图 1-1 所示。

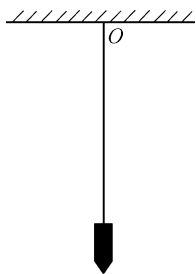


图 1-1 铅垂线

4. 地球椭球体

由于地球内部质量分布不均匀,致使大地水准面成为一个有微小起伏的复杂曲面,如图 1-2(a)所示。选用地球椭球体来代替地球总的形状。地球椭球体是由椭圆 *NWSE* 绕其短轴 *NS* 旋转而成的,又称旋转椭球体,如图 1-2(b)所示。

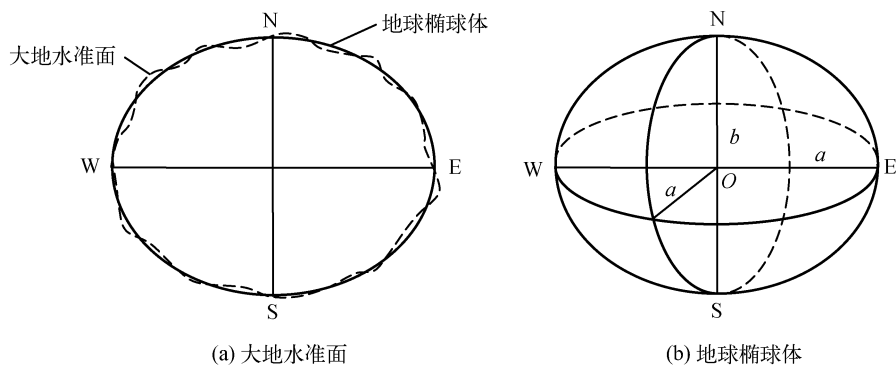


图 1-2 大地水准面与地球椭球体

决定地球椭球体形状和大小的参数:椭圆的长半径 *a*、短半径 *b* 和扁率 α 。

其关系式为:

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

我国目前采用的地球椭球体的参数值为:

$$a = 6\,378\,140 \text{ m}, b = 6\,356\,755 \text{ m}, \alpha = 1 : 298.257.$$

由于地球椭球体的扁率 α 很小,当测量的区域不大时,可将地球看作半径为 6 371 km 的圆球。在小范围内进行测量工作时,可以用水平面代替大地水准面。

二、地面点平面和高程位置的确定

地面点的空间位置应由三个参数来确定,即该点在大地水准面上的投影位置(两个参数)和该点的高程。

1. 地面点在大地水准面上的投影位置

地面点在大地水准面上的投影位置,可用地理坐标和平面直角坐标表示。

(1) 地理坐标是用经度 λ 和纬度 φ 表示地面点在大地水准面上的投影位置,由于地理坐标是球面坐标,不便于直接进行各种计算。

(2) 高斯平面直角坐标是指利用高斯投影法建立的平面直角坐标系。在广大区域内确定点的平面位置,一般采用高斯平面直角坐标。

高斯投影法是将地球划分成若干带,然后将每带投影到平面上。

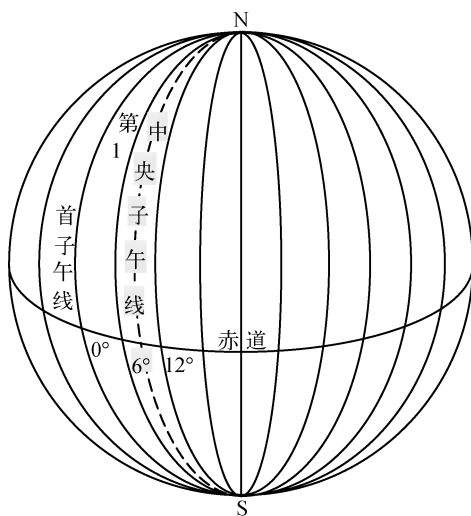


图 1-3 高斯平面直角坐标的分带

如图 1-3 所示,投影带是从首子午线起,每隔经度 6° 划分一带,称为 6° 带,将整个地球划分成 60 个带。带号从首子午线起自西向东编, $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第 1 号带, $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第 2 号带,……。位于各带中央的子午线,称为中央子午线,第 1 号带中央子午线的经度为 3° ,任意号带中央子午线的经度 λ_0 ,可按式(1-2)计算。

$$\lambda_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-2)$$

式中: N —— 6° 带的带号。

我们把地球看作圆球,并设想把投影面卷成圆柱面套在地球上,如图 1-4 所示,使圆柱的轴心通过圆球的中心,并与某 6° 带的中央子午线相切。将该 6° 带上的图形投影到圆柱面上。然后,将圆柱面沿过南、北极的母线 KK' 、 LL' 剪开,并展开成平面,这个平面称为高斯投影平面。中央子午线和赤道的投影是两条互相垂直的直线。

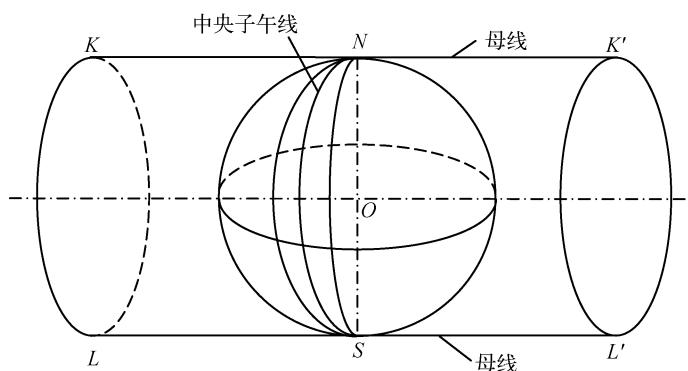
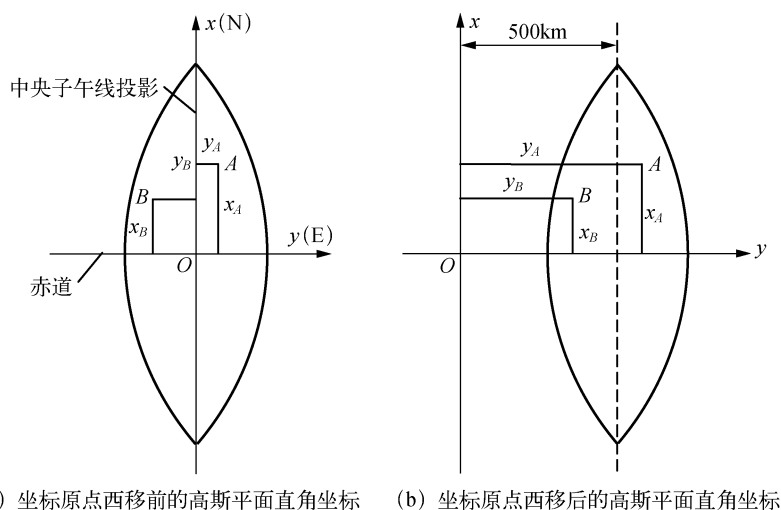


图 1-4 高斯平面直角坐标的投影

规定:中央子午线的投影为高斯平面直角坐标系的纵轴 x ,向北为正;赤道的投影为高斯平面直角坐标系的横轴 y ,向东为正;两坐标轴的交点为坐标原点 O 。由此建立了高斯平面直角坐标系,如图 1-5 所示。



(a) 坐标原点西移前的高斯平面直角坐标 (b) 坐标原点西移后的高斯平面直角坐标

图 1-5 高斯平面直角坐标

地面点的平面位置,可用高斯平面直角坐标 x 、 y 来表示。由于我国位于北半球, x 坐标均为正值, y 坐标则有正有负,如图 1-5a 所示, $y_A = +136\ 780\ \text{m}$, $y_B = -272\ 440\ \text{m}$ 。为了避免 y 坐标出现负值,将每带的坐标原点向西移 500 km,如图 1-5b 所示,纵轴西移后,则

$$y_A = 500\ 000 + 136\ 780 = 636\ 780\ \text{m},$$

$$y_B = 500\ 000 - 272\ 440 = 227\ 560\ \text{m}$$

规定在横坐标值前冠以投影带带号。如 A 、 B 两点均位于第 20 号带,则

$$y_A = 20\ 636\ 780\ \text{m},$$

$$y_B = 20\ 227\ 560\ \text{m}$$

当要求投影变形更小时,可采用 3° 带投影。如图 1-6 所示, 3° 带是从东经 $1^\circ 30'$ 开始,每

隔经度 3° 划分一带, 将整个地球划分成 120 个带。每一带按前面所叙方法, 建立各自的高斯平面直角坐标系。各带中央子午线的经度 λ'_0 , 可按式(1-3)计算。

$$\lambda'_0 = 3^\circ n \quad (1-3)$$

式中: n —— 3° 带的带号。

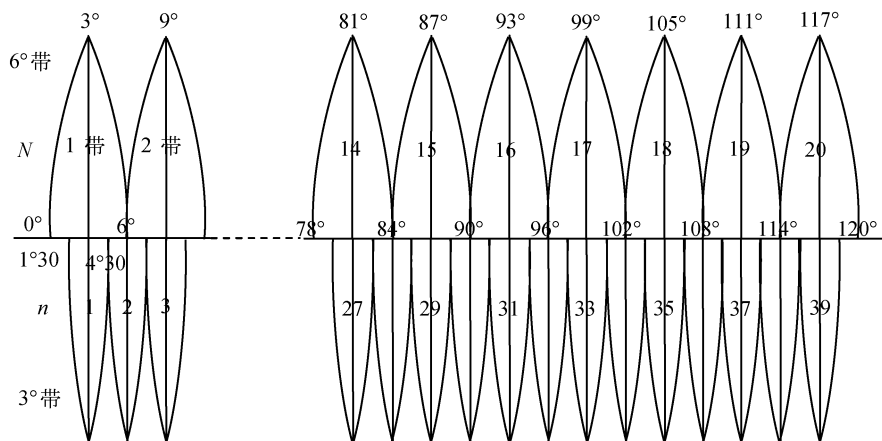


图 1-6 高斯平面直角坐标系 6° 带投影与 3° 带投影的关系

(3) 独立平面直角坐标当测区范围较小时, 可以用测区中心点 a 的水平面来代替大地水准面, 如图 1-7 所示。在这个平面上建立的测区平面直角坐标系, 称为独立平面直角坐标系。在局部区域内确定点的平面位置, 可以采用独立平面直角坐标。

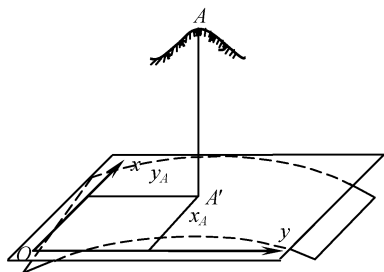


图 1-7 独立平面直角坐标系

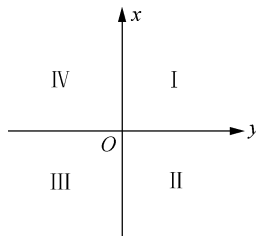


图 1-8 坐标象限

如图 1-7 所示, 在独立平面直角坐标系中, 规定南北方向为纵坐标轴, 记作 x 轴, x 轴向北为正, 向南为负; 以东西方向为横坐标轴, 记作 y 轴, y 轴向东为正, 向西为负; 坐标原点 O 一般选在测区的西南角, 使测区内各点的 x 、 y 坐标均为正值; 坐标象限按顺时针方向编号, 如图 1-8 所示, 其目的是便于将数学中的公式直接应用到测量计算中, 而不需作任何变更。

2. 地面点的高程

(1) 绝对高程。地面点到大地水准面的铅垂距离, 称为该点的绝对高程, 简称高程, 用 H 表示。如图 1-9 所示, 地面点 A 、 B 的高程分别为 H_A 、 H_B 。

目前, 我国采用的是“1985 年国家高程基准”, 在青岛建立了国家水准原点, 其高程为 72.260 m。

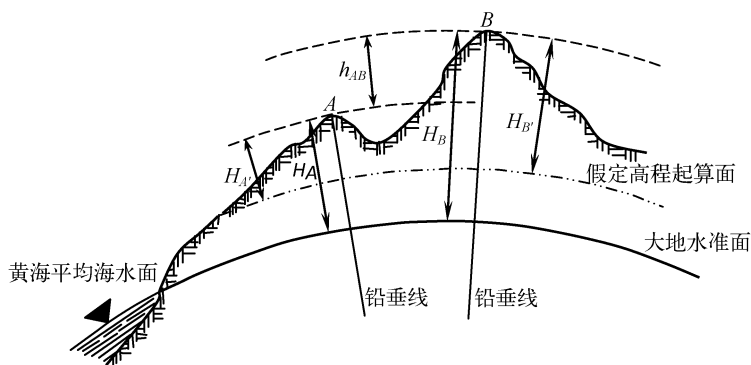


图 1-9 高程和高差

(2) 相对高程。地面点到假定水准面的铅垂距离,称为该点的相对高程或假定高程。如图 1-9 中, A、B 两点的相对高程为 H_A' 、 H_B' 。

(3) 高差。地面两点间的高程之差,称为高差,用 h 表示。高差有方向和正负。A、B 两点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A \quad (1-4)$$

当 h_{AB} 为正时, B 点高于 A 点; 当 h_{AB} 为负时, B 点低于 A 点。B、A 两点的高差为

$$h_{BA} = H_A - H_B \quad (1-5)$$

A、B 两点的高差与 B、A 两点的高差, 绝对值相等, 符号相反, 即

$$h_{AB} = -h_{BA} \quad (1-6)$$

根据地面点的三个参数 x 、 y 、 H , 地面点的空间位置就可以确定了。

知识拓展

在一般的测量工作中都以大地水准面作为高程起算的基准面。因此, 地面任一点沿铅垂线方向到大地水准面的距离就称为该点的绝对高程或海拔, 简称高程, 用 H 表示。我国规定以 1950~1956 年间青岛验潮站多年记录的黄海平均海水面作为我国的大地水准面, 由此建立的高程系统称为“1956 年黄海高程系”。新的国家高程基准面是根据青岛验潮站 1952~1979 年间的验潮资料计算确定的, 依此基准面建立的高程系统称为“1985 国家高程基准”, 并于 1987 年开始启用。

任务三 用水平面代替水准面的限度

任务描述

本任务主要介绍水平面代替水准面的限度, 使学生了解水平面代替水准面对距离、角度和高程的影响。

相关知识

当测区范围较小时,可以把水准面看作水平面。探讨用水平面代替水准面对距离、角度和高差的影响,以便给出用水平面代替水准面的限度。

任务实施

一、对距离的影响

如图 1-10 所示,地面上 A、B 两点在大地水准面上的投影点是 a、b,用过 a 点的水平面代替大地水准面,则 B 点在水平面上的投影为 b'。

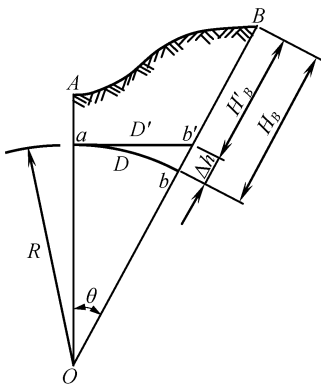


图 1-10 用水平面代替水准面对距离和高程的影响

设 ab 的弧长为 D, ab' 的长度为 D', 球面半径为 R, D 所对圆心角为 θ , 则以水平长度 D' 代替弧长 D 所产生的误差 ΔD 为:

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta) \tag{1-7}$$

将 $\tan \theta$ 用级数展开为:

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{5}{12}\theta^5 + \Delta$$

因为 θ 角很小, 所以只取前两项代入式(1-7)得:

$$\Delta D = R\left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta\right) = \frac{1}{3}R\theta^3 \tag{1-8}$$

又因 $\theta = \frac{D}{R}$, 则

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \tag{1-9}$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1-10}$$

取地球半径 $R=6\,371\text{ km}$, 并以不同的距离 D 值代入式(1-9)和(1-10), 则可求出距离误差 ΔD 和相对误差 $\Delta D/D$, 如表 1-1 所示。

表 1-1 水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{mm}$	相对误差 $\Delta D/D$
10	8	1 : 1 220 000
20	128	1 : 200 000
50	1026	1 : 49 000
100	8212	1 : 12 000

结论:在半径为 10 km 的范围内进行距离测量时,可以用水平面代替水准面,而不必考虑地球曲率对距离的影响。

二、对水平角的影响

从球面三角学可知,同一空间多边形在球面上投影的各内角和,比在平面上投影的各内角和大一个球面角超值 ϵ 。

$$\epsilon = \rho \frac{P}{R^2} \quad (1-11)$$

式中: ϵ ——球面角超值(");

P ——球面多边形的面积(km^2);

R ——地球半径(km);

ρ ——弧度的秒值, $\rho=206\,265''$ 。

以不同的面积 P 代入式(1-11),可求出球面角超值,如表 1-2 所示。

表 1-2 水平面代替水准面的水平角误差

球面多边形面积 P/km^2	球面角超值 $\epsilon/(\prime)$
10	0.05
50	0.25
100	0.51
300	1.52

结论:当面积 P 为 100 km^2 时,进行水平角测量时,可以用水平面代替水准面,而不必考虑地球曲率对距离的影响。

三、对高程的影响

如图 1-10 所示,地面点 B 的绝对高程为 H_B ,用水平面代替水准面后, B 点的高程为 H'_B , H_B 与 H'_B 的差值,即为水平面代替水准面产生的高程误差,用 Δh 表示,则

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$$

$$\Delta h = \frac{D'^2}{2R + \Delta h}$$

上式中,可以用 D 代替 D' ,相对于 $2R$ 很小,可略去不计,则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-12)$$

以不同的距离 D 值代入式(1-12),可求出相应的高程误差 Δh ,如表 1-3 所示。

表 1-3 水平面代替水准面的高程误差

距离 D/km	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	5	10
$\Delta h/\text{mm}$	0.8	3	7	13	20	78	314	1 962	7 848

结论:用水平面代替水准面,对高程的影响是很大的,因此,在进行高程测量时,即使距离很短,也应顾及地球曲率对高程的影响。

任务四 测量误差的基本知识

任务描述

本任务主要介绍测量误差产生的原因、误差的分类、测量成果的精度等。

相关知识

测量误差是客观存在的。测量误差产生的原因:测量仪器和工具、观测者、外界条件的影响等。误差按其特性可分为系统误差和偶然误差两大类。衡量精度的标准有中误差、相对中误差和极限误差。

任务实施

一、测量误差概述

1. 测量误差产生的原因

测量误差产生的原因有测量仪器和工具、观测者及外界条件的影响。人、仪器和外界条件是引起测量误差的主要因素,通常称为观测条件。观测条件相同的各次观测,称为等精度观测;观测条件不相同的各次观测,称为非等精度观测。

在观测结果中,有时还会出现错误,称之为粗差。粗差在观测结果中是不允许出现的,为了杜绝粗差,除认真仔细作业外,还必须采取必要的检核措施。

2. 测量误差的分类

误差按其特性可分为系统误差和偶然误差两大类。

(1) 系统误差。

在相同观测条件下,对某量进行一系列的观测,如果误差出现的符号和大小均相同,或按一定的规律变化,这种误差称为系统误差。

系统误差在测量成果中具有累积性,对测量成果影响较大,但它具有一定的规律性,一般可采用以下两种方法消除或减弱其影响。

- ① 进行计算改正。
- ② 选择适当的观测方法。

(2) 偶然误差。

在相同的观测条件下,对某量进行一系列的观测,如果观测误差的符号和大小都不一致,表面上没有任何规律性,这种误差称为偶然误差。

在观测中,系统误差和偶然误差往往是同时产生的。当系统误差设法消除或减弱后,决定观测精度的关键是偶然误差。所以在测量误差理论中讨论的测量误差,仅指偶然误差。

3. 偶然误差的特性

偶然误差从表面上看没有任何规律性,但是随着对同一量观测次数的增加,大量的偶然误差就表现出一定的统计规律性。通过长期对大量测量数据分析和统计计算,人们总结出了偶然误差的四个特性:

- (1) 在一定观测条件下,偶然误差的绝对值有一定的限值,或者说,超出该限值的误差出现的概率为零。
- (2) 绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的概率大。
- (3) 绝对值相等的正、负误差出现的概率相同。
- (4) 同一量的等精度观测,其偶然误差的算术平均值,随着观测次数 n 的无限增大而趋于零,即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0 \quad (1-13)$$

式中: $[\Delta]$ ——偶然误差的代数和, $[\Delta] = \Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n$ 。

上述第四个特性是由第三个特性导出的,说明偶然误差具有抵偿性。

二、衡量精度的标准

在测量工作中,常采用以下几种标准评定测量成果的精度。

1. 中误差

设在相同的观测条件下,对某量进行 n 次重复观测,其观测值为 l_1, l_2, \dots, l_n , 相应的真误差为 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ 。则观测值的中误差 m 为:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (1-14)$$

式中: $[\Delta\Delta]$ ——真误差的平方和, $[\Delta\Delta] = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2$ 。

【例 1-1】 设有 1、2 两组观测值,各组均为等精度观测,它们的真误差分别为:

甲组: $+3'', -2'', -4'', +2'', 0'', -4'', +3'', +2'', -3'', -1''$;

乙组: $0'', -1'', -7'', +2'', +1'', +1'', -8'', 0'', +3'', -1''$;

试计算 1、2 两组各自的观测精度。

解 根据式(1-14)计算 1、2 两组观测值的中误差为:

$$\begin{aligned} m_1 &= \pm \sqrt{\frac{(+3'')^2 + (-2'')^2 + (-4'')^2 + (+2'')^2 + (0'')^2 + (-4'')^2 + (+3'')^2 + (+2'')^2 + (-3'')^2 + (-1'')^2}{10}} \\ &= \pm 2.7'' \end{aligned}$$

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{(0'')^2 + (-1'')^2 + (-7'')^2 + (+2'')^2 + (+1'')^2 + (+1'')^2 + (-8'')^2 + (0'')^2 + (+3'')^2 + (-1'')^2}{10}}$$

$$= \pm 3.6''$$

比较 m_1 和 m_2 可知, 1 组的观测精度比 2 组高。中误差所代表的是某一组观测值的精度, 而不是这组观测中某一次的观测精度。

2. 相对中误差

中误差是绝对误差。在距离丈量中, 中误差不能准确地反映出观测值的精度。例如丈量两段距离, $D_1 = 100 \text{ m}$, $m_1 = \pm 1 \text{ cm}$ 和 $D_2 = 300 \text{ m}$, $m_2 = \pm 1 \text{ cm}$, 虽然两者中误差相等, 即 $m_1 = m_2$, 显然不能认为这两段距离丈量精度是相同的, 这时应采用相对中误差 m_K 来作为衡量精度的标准。

相对中误差是中误差的绝对值与相应观测结果之比, 并化为分子为 1 的分数, 即

$$m_K = \frac{|m|}{D} = \frac{1}{\frac{D}{|m|}} \quad (1-15)$$

在上面所举例中:

$$m_{K1} = \frac{|m_1|}{D_1} = \frac{0.01 \text{ m}}{100 \text{ m}} = \frac{1}{10\,000}$$

$$m_{K2} = \frac{|m_2|}{D_2} = \frac{0.01 \text{ m}}{30 \text{ m}} = \frac{1}{3\,000}$$

前者的精度比后者高。

3. 极限误差

在一定观测条件下, 偶然误差的绝对值不应超过的限值, 称为极限误差, 也称限差或容许误差。通常将 2 倍或 3 倍中误差作为偶然误差的容许值, 即

$$\Delta_p = 2m \quad \text{或} \quad \Delta_p = 3m$$

如果某个观测值的偶然误差超过了容许误差, 就可以认为该观测值含有粗差, 应舍去不用或返工重测。

任务五 测量工作的基本原则

任务描述

本任务主要介绍测量工作的基本原则等相关知识。

相关知识

在布局上是“由整体到局部”, 在测量次序上是“先控制后碎部”, 在测量精度上是“从高级到低级”, “前一步工作未作检核不进行下一步工作”的原则, 这就是测绘工作应遵循的基本原则。

任务实施

地球表面的地形是复杂多样的,在测绘工作中将其分为两大类:地面自然形成的高低起伏等变化,例如山、谷、平原、河流等称为“地貌”;地面上由人工建造的固定建(构)筑物,例如房屋、道路、桥梁等称为“地物”。地物和地貌统称为“地形”。

测绘地形图时,要在某一个测站上用测量仪器测绘该测区内所有的地物和地貌是不可能的。同样,在某一工程施工中对整个工程建筑的放样也不可能在一个测站上完成。测图与放样均需要在若干个测站上分别施测,最后才能拼接成一幅完整的地形图或完成整个工程建筑的施工放样。因此,对于某一测区的测量与测设工作,首先要用较严密的方法与较精密的仪器,测定分布在全区的少量控制点的点位用作测站,作为测图或放样的骨架,以保证其整体性和精确性,这种工作称为“控制测量”。然后在每个控制点上分别以较低的精度测定周围局部地区的地形细部,或施工放样建(构)筑物的详细点位,这种工作称为“碎部测量”或“碎部测设”。

施工测量是直接为工程施工服务的,因此它必须与施工组织计划相协调。测量人员必须了解设计的内容、性质及其对测量工作的精度要求,随时掌握工程进度及现场变动,使测设精度和速度满足施工的需要。

施工测量的精度主要取决于建(构)筑物的大小、性质、用途、材料、施工方法等因素。一般高层建筑施工测量精度应高于低层建筑,装配式建筑施工测量精度应高于非装配式,钢结构建筑施工测量精度应高于钢筋混凝土结构建筑。往往局部精度高于整体定位精度。

由于施工现场各工序交叉作业、材料堆放、运输频繁、场地变动及施工机械的震动,使测量标志易遭破坏,因此,测量标志从形式、选点到埋设均应考虑便于使用、保管和检查,如有破坏,应及时恢复。

知识拓展

一、测量工作的基本要求

(1) 做好周密计划,精心组织安排施工测量时,应根据单位工程、分部工程和分项工程直至具体施工工序,对测量工作做好周密计划、分清主次和精心安排,认真组织好每一个施工测量中心环节,使测量环节与施工工序密切衔接。

(2) 把握测量原则,注重工作程序施工测量人员必须遵守基本测量原则,也就是在测量放样布局上,“由整体到局部”;在精度上,“由高级到低级”;在程序上,“先控制后碎部”。

(3) 认真做好记录,以供方便查用所有测量成果必须认真做好记录。人工记录时,为防止因潮湿或雨淋造成数据涂染,按规定都要用铅笔填写并填写在规定的表格内。错误之处不能用橡皮涂擦,而要将其划掉,在旁边重写即可,以分清责任。当用全站仪等自带电子记录簿的仪器记录测量数据时,应配用计算机现场传输并贮存数据。无论人工还是电子记录都应有备份件。

二、测量工作的计量单位

1. 长度单位

$1\text{ km}=1\ 000\text{ m}, 1\text{ m}=10\text{ dm}=100\text{ cm}=1\ 000\text{ mm}$

2. 面积单位

面积单位是 m^2 , 大面积则用公顷或 km^2 表示, 在农业上常用市亩作为面积单位。1 公顷 = $10\,000\text{ m}^2 = 15$ 市亩, $1\text{ km}^2 = 100$ 公顷 = $1\,500$ 市亩, 1 市亩 = 666.67 m^2 。

3. 体积单位

体积单位为 m^3 , 在工程上简称“立方”或“方”。

4. 角度单位

测量上常用的角度单位有度分秒制和弧度制两种。

(1) 度分秒制: 1 圆周角 = 360° , $1^\circ = 60'$, $1' = 60''$

(2) 弧度制: 弧长等于圆半径的圆弧所对的圆心角, 称为一个弧度, 用 ρ 表示。

$$1 \text{ 圆周角} = 2\pi$$

$$1 \text{ 弧度} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57.3^\circ = 3\,438' = 206\,265''$$

项目小结

本项目要求学生掌握测量学的定义和建筑测量的主要任务, 了解地球形状和大小的概念, 了解测量工作的基本原则, 熟悉测量工作的基本内容等。

项目测评

1. 测定与测设有何区别?
2. 测量学研究的对象和任务是什么?
3. 确定地面点位置的三个要素是什么?
4. 绝对高程和相对高程的基准面是什么?
5. 熟悉和理解水准面、大地水准面、铅垂线和地球椭球体的概念。
6. 测量中所使用的高斯平面坐标系与数学上使用的笛卡儿坐标系有何区别?
7. 广东省行政区域所处的概略经度范围是东经 $109^\circ 39'$ ~ 东经 $117^\circ 11'$, 试分别求其在统一 6° 投影带与统一 3° 投影带中的带号范围。
8. 测量工作的基本原则是什么?