

Architectural Engineering Surveying

普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）

建筑工程测量



许光 王晓峰 主编
杨文军 王丽 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIYIWU
GUIHUA JIAOCAI

建筑工程测量

主 编	许 光	王晓峰
副主编	杨文军	王 丽
编 写	庞翠平	汤梦玲
主 审	高德慈	



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）。

全书共分四个模块，十八个单元，主要内容包括建筑测量的基本知识、测量仪器及使用、建筑施工测量、地形图测绘及应用。全书内容表述深入浅出，结合工程实践，融入最新规范，介绍新方法和新工艺，突出实用性，强化图文结合，便于提高读者学习的积极性和主动性。

本书可作为高等职业技术教育建筑类相关专业的教材，也可作为工程技术人员及相关人员学习的参考书。

量测工程测量

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑工程测量/许光，王晓峰主编. —北京：中国电力出版社，2008.1

普通高等教育“十一五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978-7-5083-6190-1

I. 建… II. ①许…②王… III. 建筑测量—高等学校：技术学校—教材 IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 174669 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://jc.cepp.com.cn)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14 印张 336 千字

定价 22.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

为深化工学结合的人才培养模式改革，提高教育教学质量，满足国家示范性高等职业院校建设的要求，结合我学院国家级示范院校优质核心课程重点建设课程《建筑工程测量》的建设思路和建设方案，编写此教材。本教材结合课程建设的要求，在充分的行业和企业调研基础上，依据建筑类专业学生职业岗位分析，对课程进行准确定位。在教材内容选择上，以从业中实际应用的经验和实施心得为主，以适度够用的概念和原理为辅，将原有课程内容整合成建筑测量的基本知识、测量仪器及使用、建筑施工测量、地形图测绘及应用等四个知识模块。根据应用方向，每个模块分解出若干的单元，结合该单元内容在课程中承担的能力培养任务，将单元结构细分为课程培养的知识目标和能力目标——知识点和技能点。教材内容结合工程实践，丰富了建筑施工测量模块内容，技能点充分融入最新规范，介绍新方法和新工艺，与建设实际相结合，符合技能型人才培养的要求，突出了教材的实用性。知识点简单明了，结合课程建设的要求和读者自身特点，提供了拓展学习的相关网址，有利于读者的自主学习和专业拓展。在本教材编写过程中，积极吸纳企业技术专家实质性的参与，通过引用企业实际工作案例，整合贯通整体知识体系和能力结构；在内容编排上，结合职业教学的要求，采用5w1h[做什么？(what)、为何要那样做？(why)、何时做？(when)、在何处做？(where)、何人做？(who)，如何做？(how)]法组织教学，针对性强，适合高职高专学生的学习特点。内容介绍深入浅出，强化图文结合，提高学生学习的积极性和主动性。

全书共分四个模块，十八个单元，近80个知识点和技能点。由许光、王晓峰担任主编，杨文军、王丽为副主编。模块一和模块三中的单元十三、十五由杨文军编写，模块二中的单元四、五、六由王丽编写，模块二中的单元七、八、九由庞翠平编写，模块三中的单元十、十一、十二、十四由王晓峰编写，模块四由汤梦玲编写。全书由许光统稿。北京工业大学高德慈主审。本教材模块二中单元四技能点7、8与单元五技能点5、6的具体内容，以及其他相关拓展知识可参考邢台职业技术学院建筑工程测量课程网站，具体操作如下：
www.xpc.edu.cn→精品课程→建设工程测量。

由于编者的水平所限，在编写过程中难免会有错误或不妥之处，恭请读者批评指正。

编 者

2007年7月

目 录

前言

模块一 建筑测量的基本知识

单元一 建筑工程测量基础	1
知识点 1 地球的基本知识	1
知识点 2 测量学的基本知识	2
知识点 3 地面点位置的确定	3
知识点 4 建筑工程测量的基本任务	5
知识点 5 测量的基本原则	5
练习题	6
单元二 测量误差的基本知识	7
知识点 1 测量误差及其表示方法	7
知识点 2 测量误差产生的原因	8
知识点 3 测量误差的分类及测量粗差	8
知识点 4 计算中数字的凑整规则	9
知识点 5 误差传播定律	10
练习题	11
单元三 直线定向	12
知识点 1 标准方向的种类	12
知识点 2 直线方向的表示方法	12
知识点 3 坐标方位角的推算	13
练习题	14

模块二 测量仪器及使用

单元四 水准仪	15
技能点 1 水准仪测量原理	15
技能点 2 水准仪与水准尺的认识	17
技能点 3 水准仪的使用	20
技能点 4 普通水准测量	21
技能点 5 三、四等水准测量	23
技能点 6 水准测量的内业计算	25
技能点 7 水准仪测量误差及注意事项	28

技能点 8* 水准仪的校检	28
技能点 9 电子数字水准仪、激光水准仪的认识	28
练习题	31
单元五 经纬仪	33
技能点 1 经纬仪测角原理	33
技能点 2 DJ6 型光学经纬仪的认识与使用	34
技能点 3 水平角的测量	38
技能点 4 竖直角测量	42
技能点 5* 经纬仪的校检	44
技能点 6* 经纬仪测量误差及注意事项	45
技能点 7 电子经纬仪	45
练习题	49
单元六 测距仪器及使用	51
技能点 1 钢尺量距	51
技能点 2 光电测距仪	56
技能点 3 视距测量	60
练习题	62
单元七 全站仪	63
技能点 1 全站仪工作原理	63
技能点 2 BTS-3000 系列全站仪的认识	65
技能点 3 全站仪的使用	68
技能点 4 全站仪的应用测量	73
技能点 5 全站仪的检验与校正	75
练习题	77
单元八 GPS 系统	78
技能点 1 GPS 系统	78
技能点 2 GLONASS 系统	81
技能点 3 博飞 F30 静态 GPS 接收机使用简介	82
练习题	92
单元九 其他仪器	93
技能点 1 激光水准仪的使用	93
技能点 2 激光扫平仪的使用	99
练习题	101
模块三 建筑施工测量	
单元十 建筑施工测量的基本工作	102
技能点 1 施工测量基本工作概述	102
技能点 2 水平距离测设与水平角测设	103

技能点 3	高程测设与高程传递	104
技能点 4	水平线测设与坡度线测设	106
技能点 5	测设地面点位方法	108
技能点 6	直线上定点	112
练习题		113
单元十一	民用建筑施工测量	115
技能点 1	民用建筑施工测量内容	115
技能点 2	场地平整施工测量	116
技能点 3	建筑施工场地的控制测量概述	120
技能点 4	控制测量的方法	122
技能点 5	建筑物定位	125
技能点 6	建筑物放线	129
技能点 7	基础施工测量	131
技能点 8	墙体施工测量	135
技能点 9	建筑施工测量案例	137
练习题		144
单元十二	工业建筑施工测量	145
技能点 1	工业建筑控制网及柱列轴线的测设	145
技能点 2	基础测设	147
技能点 3	柱的测设	149
技能点 4	吊车梁的测设	155
技能点 5	屋架的测设	160
技能点 6	竣工总平面图的编绘	162
练习题		163
单元十三	高层建筑施工测量	164
技能点 1	高层建筑施工测量概述	164
技能点 2	高层建筑桩位放样与基坑标定	166
技能点 3	高层建筑基础施工测量	167
技能点 4	高层建筑的轴线投测	168
技能点 5	高层建筑的高程传递	173
练习题		174
单元十四	特殊建筑物施工测量	175
技能点	钢结构的施工测量	175
练习题		178
单元十五	建筑物的变形观测	179
技能点 1	建筑物的沉降观测	179
技能点 2	建筑物的倾斜观测与裂缝观测	184
技能点 3	建筑物的水平位移观测	186
练习题		187

模块四 地形图测绘及应用

单元十六 控制测量	188
技能点 1 控制测量概述	188
技能点 2 导线测量的外业工作	190
技能点 3 导线测量的内业计算	191
技能点 4 高程控制测量	196
练习题	196
单元十七 大比例尺地形图的测绘	198
技能点 1 地形图的基本知识	198
技能点 2 地形测图	204
练习题	208
单元十八 地形图的应用	210
技能点 1 地形图的应用	210
技能点 2 地形图在工程设计中的应用	211
练习题	213
参考文献	215

模块一 建筑测量的基本知识

本模块主要包括建筑工程测量基础、测量误差的基本知识和直线定向等三个单元内容,是开展建筑工程测量工作的理论基础。

单元一 建筑工程测量基础

本单元主要包括地球的基本知识、测量学的基本知识、地面点位置的确定、建筑工程测量的基本任务及测量的基本原则等五个知识点。

学习目标 通过本单元的学习,学生应了解地球和测量学的基本知识,掌握地面点位置的确定方法、建筑工程测量的基本任务、测量工作的基本内容和工作原则;了解本课程的知识体系、基本要求和学习方法。

能力标准 建筑工程测量课程的核心能力就是结合工程特点,确定工程所需要的地面点位。本单元以陈述性的知识为主,讲授建筑工程测量工作的基础知识,是学生在开展本课程学习前的知识铺垫,为建筑施工测量工作提供理论知识储备。

知识点1 地球的基本知识

测绘工作大多是在地球表面上进行的,测量基准的确定、测量成果的计算及处理都与地球的形状和大小有关。因此,在学习建筑工程测量课程之前需先认识人类的母亲——地球。

地球是一个表面形状极不规则的球体,其上有高山、深谷、丘陵、平原、江湖、海洋等。地球上最高的珠穆朗玛峰岩面高出海平面 8844.43m,最低的太平洋马里亚纳海沟低于海平面约 11022m,其高差将近 20km,但是与地球的平均半径相比,是微不足道的。在地球表面,陆地面积约占 29%,海洋面积约占 71%。因此人们把海水包围的地球形体看作地球的形状。

由于地球的自转运动,地球上任一点都要受到离心力和地球引力的双重作用,这两个力的合力称为重力。重力的方向线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。静止的水面称为水准面。水准面是受地球重力影响而形成的,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面,并且是一个重力场的等位面。与水准面相切的平面称为水平面。水平面可高可低,因此符合上述特点的水准面有无数多个,其中与平均海水面吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面,称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体,称为大地体。通常用大地体来代表地球的真实形状和大小。

用大地体表示地球形体是恰当的,但由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线的方向产生不规则的变化,所以大地水准面是一个复杂的曲面,无法用数学式表述,也就无法在这

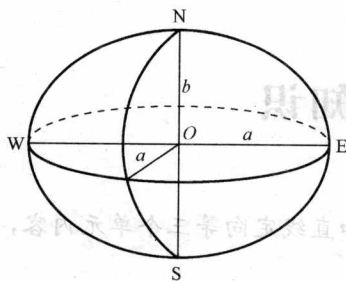


图 1-1 旋转椭球体

个曲面上进行测量数据的计算和处理。为了方便,人们通常用一个非常接近于大地水准面,并可用数学式表示的几何形体(即地球椭球)来代替地球的形状(如图 1-1 所示),作为测量计算工作的基准面。它是由椭圆绕其短轴旋转而成的。旋转椭球体的形状和大小由椭球基本元素确定,即长半径为 a ,短半径为 b ,则扁率为 $\alpha = \frac{a-b}{b}$ 。

某一国家或地区为处理测量成果而采用与大地体的形状大小最接近,又适合本国或本地区要求的旋转椭球,这样的椭球体称为参考椭球体。确定参考椭球体与大地体之间的相对位置关系,称为椭球体定位。参考椭球体面只具有几何意义而无物理意义,它是严格意义上的测量计算基准面。

几个世纪以来,许多学者分别测算出了许多椭球体元素值。我国 1954 年建立的北京坐标系采用克拉索夫斯基椭球,1980 年建立的国家大地坐标系采用 1975 年国际椭球,而全球定位系统(GPS)采用的是 WGS-84 椭球。

目前,我国采用 1980 国家大地坐标系,即以陕西省泾阳县永乐镇某点为大地原点,建立起的全国统一的坐标系。其元素值分别为: $a = 6278140\text{m}$,扁率 $\alpha = 1 : 298.257$ 。由于参考椭球体的扁率很小,在小区域的普通测量中可将地球看作是圆球,其半径 $R = (a + a + b)/3 = 6371(\text{km})$ 。

更多相关知识请参考邢台职业技术学院建筑工程测量课程网站。

知识点 2 测量学的基本知识

“测量”(surveying)一词最早出现于古希腊,是“土地划分”的意思。在中国,早在夏禹治水的时候就已产生了测量,《史记·夏本纪》中记载:“左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道,破九泽,度九山”说的就是当时测量的情景。随着人类生产和科学技术的发展,测量的定义也有了更深的内容。目前,从工程建设的角度来讲,测量学是研究地球的形状、大小以及确定地面点位(这里所说的地面包括空中、陆地和水下)的科学。它的内容包括测定和测设两个部分。测定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,供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的平面位置和高程位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

测量学按照研究范围和对象的不同,产生了许多分支科学。

一、大地测量学

研究整个地球的形状和大小,解决大区域控制测量和地球重力场问题,属于大地测量学的范畴。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、军事科学及研究地壳变形、地震预报等提供重要资料。近年来,因人造地球卫星的发射和科学技术的发展,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等。

二、普通测量学

研究小范围地球表面形状时,不顾及地球曲率的影响,把地球局部表面当作平面看待所

进行的测量工作,属于普通测量学的范畴。

三、摄影测量学

利用摄影像片来测定物体的形状、大小和空间位置的工作,属于摄影测量学的范畴。根据获得影像的方式及遥感距离的不同,摄影测量学又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学、水下摄影测量学和航天摄影测量学等。

四、海洋测量学

以海洋和陆地水域为对象所进行的测量和海图编制工作,属于海洋测量学的范畴。

五、工程测量学

研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制和地形测绘、施工放样、变形监测的理论等及各种与测量相关的工作,属于工程测量学的范畴。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。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。工程测量按所服务的工程种类,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。

六、地图学

利用测量所得的成果资料,研究如何投影,编绘和制、印各种地图的工作,属于地图制图学的范畴。其基本任务是利用各种测量成果编制各类地图,其内容包括地图投影、地图编制、地图整饰和地图印制等。

本教材主要介绍普通测量学及部分工程测量学的内容。

知识点3 地面点位置的确定

一、测量的基准线和基准面

1. 基准线

地球上的任何物体都受到地球自转产生的离心力和地心吸引力的作用,这两个力的合力称为重力。重力的作用线常称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。

2. 基准面

测量上确定地面点的空间位置,是采用在基准面上建立坐标系,通过对距离、角度、高差三个基本量的测量来实现的。由于测量工作是在地球表面上进行的,因此,选择作为测量数据处理、统一坐标计算的基准面,必须具备两个条件:一是这个面的形状和大小要尽可能地接近地球总的形体;二是要能用简单的几何形体和数学式表达。

二、确定地面点位置的方法

确定地面点的位置是测量工作的基本任务。在三维空间中,地面点的位置需用三个变量来确定,其中 x 、 y 两个变量用来确定地面点的平面位置,另一个变量 H 用来确定地面点的高程位置。

1. 地面点的高程

(1) 绝对高程。地面上任意一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,用字母 H 表示。如图1-2中的 H_A 、 H_B ,分别表示 A 点和 B 点的高程。

为了建立全国统一的高程系统,我国在青岛设立验潮站,长期观测黄海海水面的高低变

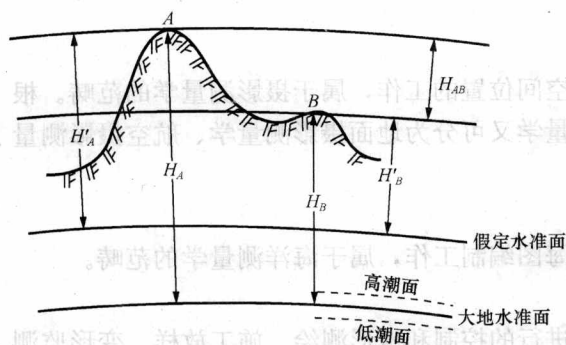


图 1-2 地面点高程确定

化并取其平均值作为大地水准面的位置, 将其作为全国高程的起算面 (其高程为零)。在青岛验潮站附近的观象山埋设固定标志, 用精密水准测量方法与验潮站所求出的平均海面进行连测, 测出其高程为 72.289m, 把它的高程作为全国高程的起算点, 称为水准原点。根据这个面起算的高程称为“1956 年黄海高程系统”。

从 1987 年开始我国采用新的高程基准, 采用青岛验潮站 1952—1979 年潮汐观测资料计算的平均海面为国家高程起算面, 称为“1985 年国家高程基准”。根据新的高程基准推算的青岛水准原点高程为 72.260m, 比“1956 年黄海高程系统”的高程低 0.029m。

(2) 相对高程。当局部地区采用绝对高程有困难或者为了应用方便, 也可不用绝对高程, 而是假定某一水准面作为高程的起算面。地面点到假定水准面的铅垂距离称为该点的相对高程, 如图 1-2 所示的 H'_A 、 H'_B 。

(3) 建筑标高。在建筑设计中, 每一个独立的单项工程都有它自身的高程起算面, 叫做 ± 0.000 。一般取建筑物首层室内地坪标高为 ± 0.000 , 建筑物各部位的高度都是以 ± 0.000 为高程起算面的相对高程, 称为建筑标高。例如, 某建筑物 ± 0.000 的绝对高程为 40.000m, 一层窗台比 ± 0.000 高 0.900m, 即窗台标高是 0.900m, 而不再写窗台标高是 40.900m。 ± 0.000 的绝对高程是施工放样时测设 ± 0.000 位置的依据。

(4) 高差。两个地面点之间的高程之差称为高差, 常用 h 表示。图 1-2 中 B 点相对于 A 点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-1)$$

B 点比 A 点高时, 高差 h_{AB} 为正, 反之为负。

例如, 已知 A 点高程 $H_A = 27.236\text{m}$, B 点高程 $H_B = 18.547\text{m}$, 则 B 点相对于 A 点的高差 $h_{AB} = 18.547 - 27.236 = -8.689 (\text{m})$, B 点低于 A 点; 而 A 点相对于 B 点的高差应为 $h_{BA} = 27.236 - 18.547 = 8.689 (\text{m})$, A 点高于 B 点。

由此可得

$$h_{AB} = -h_{BA} \quad (1-2)$$

2. 地面点的坐标

(1) 地理坐标。当研究整个地球的形状或进行大区域范围的测量工作时, 可采用如图 1-3 所示的球面坐标系来确定点的位置。地面点的坐标可用经度 λ 和纬度 φ 表示。经度 λ 和纬度 φ 称为该地面点的地理坐标。例如, 北京某点 P 的地理坐标为东经 $116^\circ 28'$, 北纬 $39^\circ 54'$ 。

(2) 平面直角坐标。在小区域的范围内, 将大地水准面作水平面看待, 由此而产生的误差不大时, 便可以用平面直角坐标来代替球面坐标。根据研究分析, 在以 10km 为半径的范围内, 可以用水平面代替水准面, 由此产生的变形误差对一般测量工作而言, 可以忽略不计。

因此,在进行一般工程项目的测量工作时,可以采用平面直角坐标系,即将小块区域直接投射到平面上进行有关计算;在满足测量工作精度的基础上,简化计算。图 1-4 为一平面直角坐标系。规定坐标纵轴为 x 轴且表示南北方向,向北为正,向南为负;横轴为 y 轴且表示东西方向,向东为正,向西为负。为了避免测区内的坐标出现负值,可将坐标原点选择在测区的西南角上。

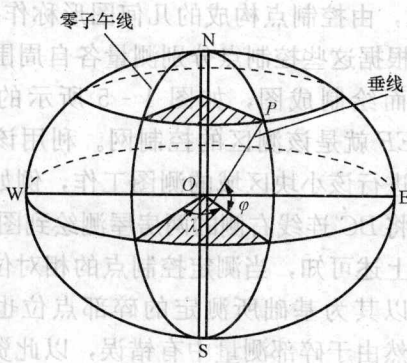


图 1-3 球面坐标系

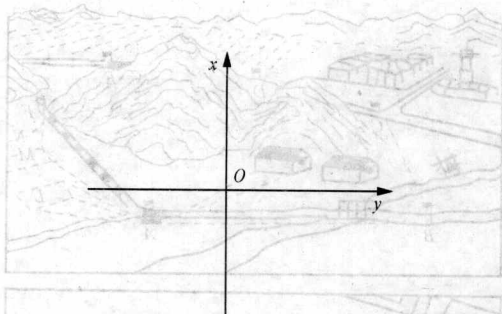


图 1-4 平面直角坐标系

(3) 高斯平面直角坐标。当测区范围较大,将水准面看作水平面开展测量工作则不符合精度要求。此时可采用高斯投影的方法,建立高斯平面直角坐标系。本章课程网站中详细介绍这一坐标系。

如前所述,地面点的空间位置是以投影平面上的坐标 (x, y) 和高程 H 决定的,而点的坐标一般是通过水平角测量和水平距离测量来确定的,点的高程是通过测定高差来确定的。所以,测角、量距和测高差是测量的三项基本工作。

知识点 4 建筑工程测量的基本任务

建筑工程测量是测量学的一个组成部分。它是一门测定地面点位的科学,广泛用于建筑工程的勘测、设计、施工和管理各个阶段。其主要任务如下:

(1) 测绘大比例尺地形图。将地面上的地物、地貌的几何形状及其空间位置,按照规定的符号和比例尺缩绘成地形图,为建筑工程的规划、设计提供图纸和资料。

(2) 施工放样和竣工测量。把图纸上设计好的建(构)筑物,按照设计要求在地面上标定出来,作为施工的依据;在施工过程中,进行测量工作,保证施工符合设计要求;开展竣工测量,为工程竣工验收、以后扩建和维修提供资料。

(3) 变形观测。对于一些重要的建(构)筑物,在施工和运营期间,定期进行变形观测,以了解其变形规律,确保工程的安全施工和运营。

知识点 5 测量的基本原则

测定点位,不可避免地会产生误差。如果定位从一点开始,逐点施测,不加任何控制和检查,一点的误差传播到后一点,逐点累积,点位误差愈来愈大,最后达到不可容许的程

度。为了限制误差的传播,测量通常按照“从整体到局部”,“先控制后碎部”的原则,该原则也称为测量工作必须遵循的第一条基本原则。

测量工作的目的之一是测绘地形图,地形图是通过测量一系列碎部点(地物点和地貌点)的平面位置和高程,然后按一定的比例,应用地形图符号和注记缩绘而成。测量工作不能一开始就测量碎部点,而是先在测区内统一选择一些起控制作用的点,将它们的平面位置和高程精确地测量计算出来,这些点被称作控制点,由控制点构成的几何图形称作控制网,

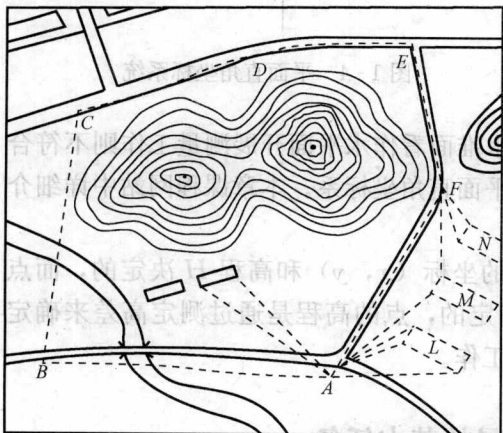
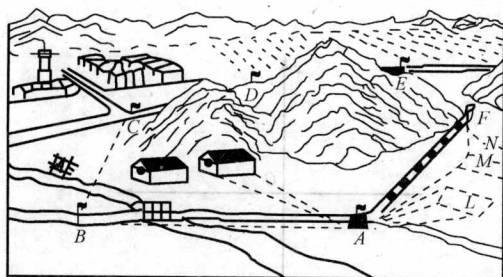


图 1-5 控制网示意

然后再根据这些控制点分别测量各自周围的碎部点,进而绘制成图,如图 1-5 所示的多边形 ABCDEF 就是该测区的控制网。利用该控制网便可以进行该小块区域的测图工作,例如利用 A 点可以将 BC 连线右侧的两房屋测绘到图纸上。

由上述可知,当测定控制点的相对位置有错误时,以其为基础所测定的碎部点位也就有错误,当然由于碎部测量中有错误,以此资料绘制的地形图也就有错误。因此,测量工作中必须严格进行检核工作,故“前一步测量工作未作检核不进行下一步测量工作”是组织测量工作应遵循的又一个原则,它可以防止错漏发生,保证测量成果的正确性。

测量工作中,有些是在野外使用测量仪器获取数据,称为外业;有些是在室内进行数据处理或绘图,称为内业。无论是内业还是外业,为防止错误的发生,工作中都必须遵循“前一步测量工作未作检核不进行下一步测量工作”这个原则。

练 习 题

1-1 概念解释:测定、测设、水准面、大地水准面、绝对高程、相对高程。

1-2 数学坐标系和测量坐标系有何区别?

1-3 在我国高程原点是如何规定的?

1-4 测量的基本工作是什么?

1-5 建筑工程测量的基本任务有哪些?

1-6 测量工作要遵循的基本原则有哪些?

单元二 测量误差的基本知识

本单元主要包括测量误差及其表示方法、测量误差产生的原因、测量误差的分类、计算中数字的凑整规则和误差传播定律等五个知识点。

学习目标 通过本单元的学习,学生应了解测量误差产生的原因、测量误差的分类及测量粗差和误差传播定律,掌握测量误差的表示方法和数字的凑整规则。

能力标准 通过分析测量工作中误差产生的原因,结合该单元所学内容,在测量工作中能有针对性地采取措施消除和减小误差,保证测量工作的核心要求——精度。

知识点1 测量误差及其表示方法

一、误差

在测量工作中,对某量的观测值与该量的真值间存在着必然的差异,这个差异称为误差。但有时由于人为的疏忽或措施不周也会造成观测值与真值之间的较大差异,这不属于误差而是粗差。误差与粗差的根本区别在于前者是不可避免的,而后者是有可能避免的。

二、误差的表示方法

1. 绝对误差

不考虑被观测量自身的大小,只描述该量的观测值与其真值之差大小的误差称为绝对误差(亦称为真误差)。绝对误差的计算式为

$$\Delta = l - X \quad (2-1)$$

式中 Δ ——绝对误差;

l ——观测值;

X ——被观测量的真值。

2. 相对误差

对某量观测的绝对误差与该量的真值(或近似值)之比称为相对误差。相对误差能够确切描述观测量的精确度。相对误差的计算式为

$$K = \frac{|\Delta|}{X} \quad (2-2)$$

式中 K ——相对误差。

相对误差一般化成分子为1的分数表示。

3. 中误差

若对某量等精度进行了 n 次观测,按式(2-1)可计算出 n 个真误差 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$,将各真误差的平方和的均值再开方即为中误差,即

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (2-3)$$

式中 m ——观测值的中误差;

$$[\Delta\Delta] = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \cdots + \Delta_n^2;$$

n ——观测次数。

4. 容许误差

容许误差亦称限差,在实际工作中,测量规范要求观测值中不容许存在较大的误差,故常以2倍或3倍的中误差作为最大容许值。在测量中以容许误差检核观测质量,并根据观测误差是否超出容许误差而决定观测成果的取舍。容许误差的计算式为

$$|\Delta_{\text{容}}| = 2|m| \quad (2-4)$$

$$|\Delta_{\text{容}}| = 3|m| \quad (2-5)$$

知识点2 测量误差产生的原因

通过测量实践可以发现,无论使用的测量仪器多么精密,观测多么仔细,对同一个量进行多次的观测,其结果总存在着差异。例如,对两点间的高差进行重复观测,测得的高差往往不相等而有差异;观测三角形三个内角,其和往往不等于理论值 180° 。这些现象之所以产生,是由于观测结果中存在着测量误差。

在测量中产生误差的原因一般有以下三个方面:

(1) 仪器、工具的影响。由于仪器或工具制造不够精密,校正不可能十分完善,从而使观测结果产生误差。

(2) 人的影响。观测人员的生理、习性,观测者感觉器官的鉴别能力有限、观测习惯各异,而产生的测量误差。

(3) 外界环境的影响。测量过程中外界自然环境,如温度、湿度、风力、阳光照射、大气折光、磁场等因素会给观测结果带来影响,而且外界条件随时发生变化,由此对观测结果的影响也随之变化。这必然会使观测结果带有误差。

仪器、人本身和外界环境这三方面是引起观测误差的主要因素,总称为“观测条件”。由上述可知,观测结果不可避免地含有测量误差。测量误差越小,则测量成果的精度越高。因此,在测量工作中,必须对测量误差进行研究,以便对不同性质的误差采取不同的措施,提高观测成果的质量,满足各类工程建设的需要。

知识点3 测量误差的分类及测量粗差

真误差按其性质可分为系统误差和偶然误差两类。

一、系统误差

在相同的观测条件下,对某量进行一系列观测,如果观测误差的数值大小和正负号按一定的规律变化,或保持一个常数,这种误差称为系统误差。

系统误差有下列特点:

(1) 系统误差的大小(绝对值)为一常数或按一定规律变化。

(2) 系统误差的符号(正、负)保持不变。

(3) 系统误差具有累积性,即误差大小以一定的函数关系累积。

系统误差对测量结果的影响,可以通过分析找出规律,计算出某项系统误差的大小,然后对观测结果加以改正,或者用一定的观测程序和观测方法来消除系统误差的影响,把系统误差的影响尽量从观测结果中消除。

二、偶然误差

在相同的观测条件下,对某量进行一系列的观测,其观测误差的大小和符号,从表面上看没有一定的规律性,但大量的观测结果,表现符合统计规律,这种误差称为偶然误差。

偶然误差有下列特点:

- (1) 在一定的观测条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定的界限。
- (2) 绝对值大的误差比绝对值小的误差出现的可能性要小。
- (3) 绝对值相等的正误差和负误差出现的可能性相等。
- (4) 偶然误差的算术平均值,随着观测次数的无限增加而趋向于零。

实践证明,偶然误差不能用计算改正或用一定的观测方法简单地加以消除,只能根据偶然误差的特性来改进观测方法并合理地处理数据,以减少偶然误差对测量成果的影响。

三、测量粗差

测量过程中,有时由于人为的疏忽或措施不周可能出现粗差。例如,读数错误,记录时误听、误记,计算时弄错符号、点错小数点等。

在一定的观测条件下,误差是不可避免的。而产生粗差的主要原因是工作中的粗心大意造成的,显然,观测结果中不容许存在粗差,并且粗差是可以避免的。

如何及时发现粗差,并把它从观测结果中清除掉,除了测量人员加强工作责任感,认真细致地工作外,通常还要采取各种校核措施,防止产生观测粗差,使在最终结果中发现并剔除它。

知识点4 计算中数字的凑整规则

测量计算过程中,一般都存在数值取位的凑整问题。由于数值取位的取舍而引起的误差称为凑整误差。为了尽量减弱凑整误差对测量结果的影响,避免凑整误差的累积,在计算中通常采用如下凑整规则:

若以保留数字的末位为单位,当其后被舍去的部分大于0.5时,则末位进1;当其后被舍去的部分小于0.5时,则末位不变;当其后被舍去的部分等于0.5时,则末位凑成偶数,即末位为奇数时进1,为偶数或零时末位不变(五前单进双不进)。

例如,将下列数据取舍到小数后三位为

$$3.14159 \rightarrow 3.142$$

$$3.51329 \rightarrow 3.513$$

$$9.75050 \rightarrow 9.750$$

$$4.51350 \rightarrow 4.514$$

$$2.854500 \rightarrow 2.854$$

$$1.258501 \rightarrow 1.259$$

上述的凑整规则对于被舍去的部分恰好等于五时凑成偶数的方法作了规定,其他情况与一般数学计算相同。