

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 （第二版）



谢炳科 主 编
来丽芳 赵雪云 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

（第二版）

主 编 谢炳科
副主编 来丽芳 赵雪云
编 写 兰贵亭
主 审 陈福山



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），全书共十一章，主要内容包括水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、地形图的基本知识、小地区的控制测量、地形图测绘、地形图的应用、施工测量的基本工作、建筑施工测量、路线工程测量等。本书根据房屋建筑工程专业对建筑工程测量课程的基本要求，简单地介绍了测量学的基础知识、基本技能和基本方法。各章后面附有思考题和习题。

本书可作为房屋建筑工程专业高职高专教材，也可作为建筑类相关专业培训教材，还可作为工程技术人员自学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

建筑工程测量/谢炳科主编. —2版. —北京：中国电力出版社，2007

普通高等教育“十一五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978-7-5083-5944-1

I. 建... II. 谢... 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 112399 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>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 6 月第一版

2007 年 8 月第二版 2007 年 8 月北京第三次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 333 千字

印数 6001—9000 册 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

第三版前言

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。本书为修订教材。

本书是根据高职、高专房屋建筑工程专业教学大纲的要求,并结合我们多年的教学实践而编写的。书中介绍了测量学的基础理论和基本知识,常用测量仪器的构造和使用方法,角度、距离和高差的测量方法,地形图的测绘和使用方法,以及一般建筑物、构筑物的施工测量方法,并适当地介绍了一部分测绘新仪器、新技术的应用方法。

本书在进行建筑工程测量的内容取舍与难易程度的掌握时,以必须、够用为度。讲解测量仪器的构造与各种测量方法的过程中,基本做到了图文并茂,直观形象。在阐述测量学理论时,力求深入浅出,通俗易懂。全篇的文字叙述简洁,语言精练,简单明了。考虑新的出版规定,原测量教材中许多以中文作下标的公式,采用相应汉语拼音第一个字母作下标,敬请使用者鉴谅。

本书由重庆科技学院谢炳科主编,参加编写的有谢炳科(第一、二、五、七章),山西建筑职业技术学院赵雪云(第八、十一章),山西太原大学兰贵亭(第六、十章),浙江建设工程职业技术学院来丽芳(第三、四、九章)。全书由重庆大学陈福山主审。

编 者

第一版前言

本书是根据高职、高专房屋建筑工程专业教学大纲的要求,并结合我们多年的教学实践而编写的。书中介绍了测量学的基础理论和基本知识,常用测量仪器的构造和使用方法,角度、距离和高差的测量方法,地形图的测绘和使用方法,以及一般建筑物、构筑物的施工测量方法,并适当地介绍了一部分测绘新仪器、新技术的应用方法。

本书在进行建筑工程测量的内容取舍与难易程度的掌握时,以必须、够用为度。讲解测量仪器的构造与各种测量方法的过程中,基本做到了图文并茂,直观形象。在阐述测量学理论时,力求深入浅出,通俗易懂。全篇的文字叙述简洁,语言精练,简单明了。考虑新的出版规定,原测量教材中许多以中文作下标的公式,采用相应汉语拼音第一个字母作下标,敬请使用者鉴谅。

本书由重庆科技学院谢炳科主编,参加编写的有谢炳科(第一、二、五、七章),山西建筑职业技术学院赵雪云(第八、十一章),山西太原大学蓝贵亭(第六、十章),浙江建设工程职业技术学院来丽芳(第三、四、九章)。全书由重庆大学陈福山主审。

编 者

2004年4月

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 绪论	1
第一节 测量学及其应用	1
第二节 地面点位的确定	2
第三节 测量误差与测量程序	4
习题与思考题	8
第二章 水准测量	9
第一节 水准测量的原理	9
第二节 水准测量的仪器和工具	10
第三节 普通水准测量	14
第四节 减少水准测量误差的措施	21
第五节 微倾水准仪的检验与校正	23
第六节 精密水准仪与自动安平水准仪	26
习题与思考题	28
第三章 角度测量	30
第一节 水平角的测量原理	30
第二节 普通光学经纬仪	30
第三节 水平角测量方法	35
第四节 竖直角测量方法	38
第五节 减小角度测量误差的措施	41
第六节 经纬仪的检验与校正	44
第七节 精密经纬仪与电子经纬仪	47
习题与思考题	52
第四章 距离测量与直线定向	54
第一节 量距工具与直线定线	54
第二节 钢尺量距的一般方法	56
第三节 钢尺检定	57
第四节 钢尺量距的精密方法	58
第五节 减少量距误差的措施	60
第六节 光电测距仪测量距离	61
第七节 直线定向	71
习题与思考题	75

第五章 地形图的基本知识	77
第一节 概述	77
第二节 地形图的比例尺	77
第三节 地形图的图名、图号和图廓	78
第四节 地物符号	80
第五节 地貌符号	83
第六节 航空摄影像片	85
习题与思考题	91
第六章 小地区控制测量	92
第一节 控制测量概述	92
第二节 导线测量的外业	93
第三节 导线测量的内业计算	95
第四节 测角交会法确定点位	101
第五节 高程控制测量	105
习题与思考题	109
第七章 地形图测绘	111
第一节 视距测量	111
第二节 测图前的准备工作	114
第三节 碎部测量	115
第四节 地形图的绘制	120
第五节 地形图的拼接与检查	122
习题与思考题	124
第八章 地形图的应用	125
第一节 地形图的阅读	125
第二节 地形图的基本应用	127
第三节 地形图在规划设计中的应用	129
习题与思考题	137
第九章 施工测量的基本工作	140
第一节 施工测量概述	140
第二节 测设的基本工作	141
第三节 点的平面位置测设	145
第四节 测设已知坡度线	148
第五节 激光仪器在施工测量中的应用	149
习题与思考题	152
第十章 建筑施工测量	153
第一节 建筑场地的施工控制测量	153
第二节 民用建筑施工测量	156
第三节 高层建筑施工测量	162
第四节 工业建筑施工测量	165

第五节 烟囱、水塔施工测量	170
第六节 建筑物的变形观测	171
第七节 竣工总平面图的编绘	176
习题与思考题	178
第十一章 线路工程测量	180
第一节 线路选线与中线测量	180
第二节 线路的纵、横断面图测绘	183
第三节 线路施工测量	192
第四节 线路竣工图测绘	206
习题与思考题	207
附录一 水准仪系列技术参数	210
附录二 经纬仪系列技术参数	211
参考文献	212

第一章 绪 论

第一节 测量学及其应用

一、测量学的概念和任务

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程,将地球表面的地形及其他信息测绘成图,以及确定地球的形状和大小等的科学。

测量学的任务包括测绘和测设两个方面。

测绘就是研究如何采用测量仪器和运用测量方法将地面点测定出来,并用规定的符号表示在图上,绘制成地形图的工作。地形图可用于勘测设计和施工中。

测设就是研究如何运用测量仪器和方法,并按照设计要求,将图纸上已经设计好的建筑物和构筑物的位置在地面上标定出来,给出施工标志的工作。施工标志是施工中各项操作的依据。对一些重要的大型建筑物和构筑物而言,为保证使用中的安全或为某些设计积累资料,在其施工中和施工结束后一段时间,还需要进行沉降变形观测。

二、测量学的分类

根据研究问题的范围和侧重点不同,测量学形成了许多分支学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究在大范围内如何建立国家大地控制网,并测定地球形状大小的学科。根据测量方法不同,又分为常规大地测量和人造卫星大地测量。

2. 普通测量学

普通测量学是研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科,是测量学的基础。主要研究内容有图根控制网的建立、地形图的测绘及一般工程的施工测量。

3. 摄影测量学

摄影测量学是研究如何利用陆地摄影、航空摄影、水下摄影获得的摄影像片,经过分析处理、量测得到物体的形状大小和位置的学科。

4. 工程测量学

工程测量学是指在工程建设勘测设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作。按工作顺序和性质分为勘测设计阶段的控制测量和地形测量、施工阶段的施工测量和设备安装测量、管理阶段的变形观测和维修养护测量。按工程建设的对象分为建筑、水利、铁路、公路、桥梁、隧道、矿山、城市和国防等工程测量。

三、测量学的应用

测量学的应用遍布于工业、农业、国防和科研各个领域,本书着重介绍测量学在工程建设中的应用。在工程的勘测阶段,需要建立测图控制网,测绘地形图和断面图,以及进行道路桥梁等定线工作,为规划设计提供地形资料;在工程设计阶段,需要在地形图上进行总体规划及技术设计,使工程布局经济合理;在工程施工阶段,需要进行施工放样和设备安装测

设, 给定施工标志, 以作为施工的依据; 施工结束以后, 需要进行竣工测量, 编绘竣工总平面图, 用以评定施工质量和为建筑物或构筑物以后的维修管理、扩建、改建提供资料。对一些重要的大型建筑物或构筑物, 还需要进行沉降变形观测, 以监视运行情况, 确保工程安全。由此可见, 在工程建设的各个阶段, 都需要进行测量工作, 尤其在建设之初的勘测更为重要。

四、学习本课程的要求

测量学是工业与民用建筑、城乡建设规划、给水排水等建筑类专业的一门技术基础课程, 作为一名工程技术人员, 必须掌握测量学的基础理论和基本知识; 学会正确使用和保养常用的测量仪器、工具; 了解在小范围内测绘大比例尺地形图的测图程序; 在工程建设的规划设计和施工中, 能正确使用地形图和各种测量资料; 在一般工程建设的施工中, 具备有测设常见建筑物和构筑物的施工放样能力。这些也是对一名工程技术人员最基本的要求。

第二节 地面点位的确定

一、确定点位的原理

测量工作的实质就是确定地面点的位置。地球表面高低起伏不平, 各种地物的形状千变万化, 确定点的位置就是将地面点沿铅垂线投影到基准面上, 然后在基准面上建立一个平面直角坐标系, 地面点的位置就以它在平面直角坐标系中的坐标和它离开基准面的铅垂距离表示。这就是确定点位的基本原理。

二、测量的基准线和基准面

测量上确定地面点的位置与数学上一样, 首先需要定义一些基准线和基准面。

如前所述的铅垂线就是测量用的基准线, 在测量仪器的对中和分段丈量距离的投点时常常使用。因为地球表面上任何一点都同时受到地心对它的引力和地球自转产生的离心力作用, 这两个力的合力称为重力。在某一点上用细线挂一个铅锤, 铅锤尖总是指向下, 铅垂线也就是该点的重力方向线。

由于地球表面上海洋面积远远大于陆地面积, 测量人员首先想到使用海水面作为测量的基准面。假设海水处于静止不动, 将它延伸穿过大陆内部形成的闭合曲面, 即所谓水准面。由于海水面受潮汐影响, 并非静止不动, 使用时是通过验潮观测, 求出通过某一点的平均海水面位置。再将平均海水面延伸穿过大陆内部形成的闭合曲面, 称为大地水准面。水准面和大地水准面是高程系统的基准面。水准面和大地水准面都是曲面。在半径为 10km 的范围内, 即面积约 314km^2 内, 测量工作可以水平面代替水准面。水平面就是通过水准面上某一点所作的切平面。

三、点的平面直角坐标

地面点的位置是以其在平面直角坐标系中的坐标描述的。根据测量范围的大小, 测量上使用的平面直角坐标系有两种。一是大范围进行测量工作, 使用高斯平面直角坐标系描述地面点的位置。二是小范围进行测量工作, 使用假定的平面直角坐标系描述地面点的位置。本书介绍的是小区域的测量工作, 所以仅介绍假定的平面直角坐标系。如图 1-1 所示, 假定的平面直角坐标系是以经过测区中心某一点的子午线方向作为坐标系的纵轴, 命名为 x 轴, 规定子午线的北方向为 x 轴的正方向, 向南为 x 轴的负方向。以经过该点的东西方向作为

坐标系的横轴,命名为 y 轴,规定向东为 y 轴的正方向,向西为 y 轴的负方向。纵、横坐标轴的交点作为坐标系的原点,记为 o 点。由于测量坐标系 x 轴、 y 轴的位置正好与数学坐标系相反,为了使数学计算公式能够在测量上运用,测量坐标系各象限的编号顺序也与数学上相反,即从 x 、 y 轴的正方向夹角开始,按顺时针方向编号。为了使点的坐标书写和标注方便而避免点的坐标出现负值,如图1-2所示,通常将 x 轴、 y 轴向西和向南平移一段距离,使坐标系的原点位于测区的西南角。这样,即可保证测区内各点的平面直角坐标均为正值。

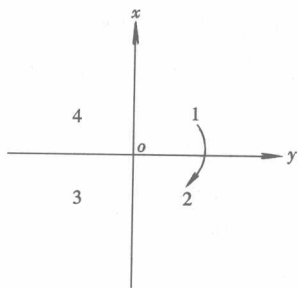


图1-1 坐标系原理图

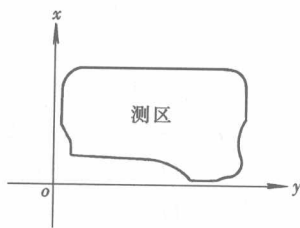


图1-2 坐标系应用示意图

四、点的高程

地面点位置的高低用地面点的高程来描述。地面点的高程,即地面点离开基准面的铅垂距离。由于使用的基准面不一样,通常用于描述地面点的高程有两种。

(一) 绝对高程

如图1-3所示,从地面点开始,沿铅垂线量至大地水准面的铅垂距离,称为地面点的绝对高程。国家高程系统就是以大地水准面作为基准面建立起来的高程系统,它属于绝对高程系统。为了求出合适的大地水准面,我国在青岛附近设立了验潮观测站,利用1956年以前的验潮资料,求出黄海的平均海面位置,作为大地水准面建立起来的高程系统,称为1956年黄海高程系统。在1956年黄海高程系统中,国家水准原点的高程为72.289m。由于本次验潮资料较少,求出的大地水准面位置欠准确。直至1985年以前,我国又利用该验潮站的验潮资料,再一次求出黄海的平均海面位置,重新建立了国家高程系统,该高程系统称为1985年国家高程基准。在1985年国家高程基准中,国家水准原点的高程为72.260m。绝对高程通常用 H 表示,如 A 点的绝对高程表示为 H_A , B 点的绝对高程表示为 H_B 。绝对高程,又称为海拔。使用绝对高程描述地面点的位置高低,必须以国家高程点作为起算数据或与国家高程系统发生联系。除了绝对高程,有时候也使用相对高程描述地面点的位置高低。

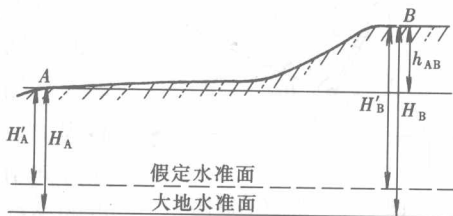


图1-3 高程示意图

(二) 相对高程

相对高程的应用也比较广泛。例如,在某些边远地区进行测量工作,仅仅为了比较地面点的位置高低,若使用绝对高程,则需要从很远的地方引测高程点,非常麻烦。若使用相对高程,则非常简单。又如用在建筑设计的剖面图上,若使用绝对高程注记,比较烦琐,若使用相对高程,既非常简单,又很容易求得建筑物各部件之间的高差。

相对高程指的是,从地面点开始,沿铅垂线量至任意(或假定)水准面的铅垂距离。相

对高程通常用 H' 表示, 如 A 点的相对高程表示为 H'_A , B 点的相对高程表示为 H'_B 。

(三) 高差

高差指的是地面上两点的高程之差, 一般用 h 表示, 如地面上 A、B 两点的高差表示为 h_{AB} 。高差的计算与高程系统无关, 即

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

该式常用于不同高程系统的高程换算。

【例 1-1】 已知地面上 A、B、C 三点的绝对高程分别为 235.583m、235.673m、235.892m, 又已知 A 点的相对高程为 3.500m, 求 B、C 两点的相对高程。

解 利用式 (1-1), 首先计算 AB、AC 的高差 h_{AB} 和 h_{AC} , 然后分别计算两点的相对高程, 即

$$h_{AB} = H_B - H_A = 235.673 - 235.583 = +0.090\text{m}$$

$$h_{AC} = H_C - H_A = 235.892 - 235.583 = +0.309\text{m}$$

$$H'_B = H'_A + h_{AB} = 3.500 + 0.090 = 3.590\text{m}$$

$$H'_C = H'_A + h_{AC} = 3.500 + 0.309 = 3.809\text{m}$$

五、确定点位的基本要素

地面点的平面位置和高低位置, 分别使用点的坐标和点的高程描述。而点的坐标和点的高程都不能直接利用测量仪器测定, 只能通过观测未知点与

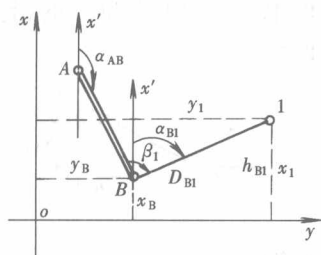


图 1-4 点位示意图

已知点之间的相互位置关系及已知点的坐标和高程, 利用公式推算未知点的坐标和高程。如图 1-4 所示, A、B 为地面上两已知点, 其坐标 (x_A, y_A) 、 (x_B, y_B) 和高程 H_A 、 H_B 均为已知, 欲确定 1 点的位置, 即 1 点的坐标 (x_1, y_1) 和高程 H_1 。若观测了未知方向的水平距离 D_{B1} 、高差 h_{B1} 和未知方向与已知方向之间的水平角 β_1 , 则可利用公式推算出 1 点的坐标 (x_1, y_1) 和高程 H_1 , 即

$$\alpha_{B1} = \alpha_{AB} + 180^\circ + \beta_1$$

$$\Delta x_{B1} = D_{B1} \cos \alpha_{B1}$$

$$\Delta y_{B1} = D_{B1} \sin \alpha_{B1}$$

$$x_1 = x_B + \Delta x_{B1}$$

$$y_1 = y_B + \Delta y_{B1}$$

$$H_1 = H_B + h_{B1}$$

水平角、水平距离和高差 (或高程) 称为确定点位的三个基本要素。水平角测量、水平距离测量和高差 (高程) 测量就是测量的三项基本工作。

第三节 测量误差与测量程序

一、误差的概念与种类

(一) 误差的概念

水平角、水平距离和高差 (高程) 等测量数据, 是测量人员利用测量仪器工具, 在外界

条件的影响下进行观测取得的。测量人员、仪器和外界条件三者，称为观测条件。由于人员技术水平的差异，测量仪器不够精密，以及外界条件的影响，使得测量结果与其理论值之间存在有差异，这种差异测量上称其为误差或真误差。即

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

式中 Δ ——真误差；

L ——观测值；

X ——理论值。

例如，三角形的内角和理论值为 $180^{\circ}00'00''$ ，已知某三角形观测三内角和为 $179^{\circ}59'48''$ ，则其真误差 $\Delta = 179^{\circ}59'48'' - 180^{\circ}00'00'' = -12''$ 。

某些观测量可以很容易地求得其理论值，而另一些量则不能求得其理论值，但本身有客观存在的真值。误差亦即观测值与其客观存在的真值之间的差值。

测量误差越小，测量的精度越高。测量误差越大，测量的精度越低。精度，通常指测量结果的准确程度。

观测条件相同的一组观测值，称为等精度观测。观测条件不同的一组观测值，称为不等精度观测。

减小测量误差，提高测量成果的精度，首先要充分认识测量误差的性质。

(二) 误差的种类

根据误差的性质不同，误差可分为两类。

1. 系统误差

在相同观测条件下，对某个量进行一系列观测，若误差出现的符号和数值大小都表现出明显的规律性，这类误差称为系统误差。如钢尺的尺长误差引起的距离丈量误差。设某钢尺的真实长度 l 小于钢尺的名义长度 l_0 ，则每丈量一段距离，含有误差 $\Delta = l_0 - l$ ，符号均为正值。若使用该钢尺对某段距离进行多次丈量，则该组距离中所含尺长误差的符号均为正。而且，每次丈量距离所含误差与一尺段的尺长误差成正比例关系。除此之外，水准仪的 i 角误差、经纬仪的视准轴误差等对测量结果的影响也是这样。

系统误差主要是由于测量仪器误差、测量方法误差和外界条件的影响而产生的。因此消除或减小系统误差多采用如下措施。

(1) 选用精密的测量仪器观测，仪器越精密，所含误差越小。

(2) 在测量之前，对使用的仪器工具进行检验和校正，将仪器误差降低到最小。

(3) 在测量中，采用适当的观测方法和操作程序，使系统误差在观测结果中得以抵消。

(4) 找出系统误差的大小和变化规律，然后往观测结果中加入改正数，获得接近理论值的测量成果。

2. 偶然误差

在相同的观测条件下，对某一个量进行了一系列观测，若误差出现的符号和数值大小表面看没有明显的规律性，而实质上是服从一定的统计规律的，这种误差称为偶然误差。通过研究和实践发现，偶然误差的统计规律可以概括如下：

(1) 偶然误差的绝对值不会超过一定的限值。

(2) 绝对值小的误差比绝对值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也相等。

(4) 随着观测次数无限增多, 偶然误差的算术平均值趋近于零。

因此, 用于减小偶然误差的措施, 除了提高观测人员的技术水平以外, 主要的就是采用适当的方法处理观测成果, 使经过处理后的测量成果接近于理论值或客观存在的真值。

二、精度标准

为了正确地评价不同观测量测量结果的准确程度, 对不同的观测量应使用不同的精度标准。所谓精度高低, 亦即误差的大小。

(一) 中误差

中误差, 指一组观测值的真误差平方和的平均值的平方根, 即

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (1-3)$$

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

式中 m ——中误差;

n ——真误差的个数;

Δ ——真误差。

【例 1-2】 设对某一个角度进行了两组观测, 其中一组观测的真误差为 $+2''$ 、 $-2''$ 、 $0''$ 、 $-3''$ 、 $-8''$ 、 $+3''$ 、 $-8''$ 、 $+2''$, 另一组观测值的真误差分别为 $+3''$ 、 $-4''$ 、 $-5''$ 、 $+4''$ 、 $+3''$ 、 $-5''$ 、 $-4''$ 、 $-4''$, 求两组观测值的精度。

解 根据式 (1-3) 分别计算两组观测值的中误差, 即

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{4+4+0+9+64+9+64+4}{8}} = \pm 4.4''$$

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{9+16+25+16+9+25+16+16}{8}} = \pm 4.1''$$

由此可见, 真误差反映的是个别观测值的误差大小, 只能用于评价某个量某次观测的精度。而中误差反映的是某个量的一组观测值的误差大小或对多个观测量的一次观测值的误差大小, 它可以用于评价某种测量方法的精度, 这正是测量工作中所需要的。同时, 中误差也不同于简单的平均误差 (即真误差的绝对值的平均值), 中误差的大小不仅反映了真误差的大小, 也反映了真误差分布的离散程度, 使用中误差评价观测值或测量结果的精度也更准确、更可靠。

(二) 允许误差

允许误差亦即容许误差, 指的是测量误差允许的限值, 常见于测量规范之中。

在水平角测量、水平距离测量和高差测量工作中, 测量误差是不可避免的。为了满足不同工程建设的需要, 规范中给出了不同测量工作的允许误差大小。例如, 工程测量规范中规定一级导线的测角中误差不超过 $\pm 5''$, 即水平角测量的允许误差。

允许误差的确定是根据误差分布规律, 并按照正常观测值产生真误差所计算的中误差的 2 倍确定, 也有采用 3 倍中误差作为允许误差的, 即

$$\Delta_y = 2m$$

式中 Δ_y ——允许误差;

m ——中误差。

(三) 相对误差

相对误差,指的是观测量的误差与观测值本身的比值。用观测量的中误差与观测量相比,其比值称为相对中误差。用观测量的允许误差与观测量相比,其比值称为相对允许误差。

在实际工作中,某些观测量使用中误差评价测量的精度很不合适。例如,有两条直线,分别进行了一系列的距离丈量,其中一条直线长 100m,另一条直线长 200m,根据其真误差计算出距离的中误差 m_D 均为 $\pm 5\text{mm}$ 。若使用中误差评价距离丈量的精度,则这两条直线丈量距离的精度相同,但事实并非如此。如前所述,钢尺的尺长误差对距离丈量的影响与距离的长度成正比例,其他误差影响也基本如此。所以,能达到相同的中误差,距离越长的那一条直线测量操作应该越仔细,其精度也应该越高。以观测值的中误差与观测值本身的比值表示距离丈量的精度,正好能解决这个问题。

相对误差一般用 K 表示,而且用一个分子为一的分数表示,即

$$K = |m_D| / D = 1/D / |m_D| \quad (1-4)$$

式中 K ——相对中误差;

m_D ——中误差;

D ——直线的距离。

按照式 (1-4) 可计算出, 100m 长的直线距离丈量的精度为 $K_1 = |\pm 5| / 100000 = 1/20000$, 200m 长的直线距离丈量的精度为 $K_2 = |\pm 5| / 200000 = 1/40000$, 200m 长的直线量距精度远远高于 100m 长的直线, 这正好符合实际。

三、算术平均值

在实际工作中,大部分测量工作都是按等精度观测的。设对某一个量 L 进行了一系列等精度观测,取得了一组观测值 $L_1, L_2, \dots, L_n$, 通过研究发现,该组观测值的算术平均值最接近其客观存在的真值。所以,在实际测量工作中,通常取 n 次观测值的算术平均值作为该观测量的测量成果,即

$$x = [L] / n \quad (1-5)$$

$$[L] = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

式中 x ——算术平均值;

n ——观测值的个数。

【例 1-3】 有一条直线,使用钢尺进行了四次等精度测量,观测值分别为 235.243m、235.227m、235.231m、235.235m,试计算该直线的距离。

解 等精度测量的成果为各次观测值的算术平均值,根据式 (1-5) 得直线的距离为

$$D = [235.243 + 235.227 + 235.231 + 235.235] / 4 = 235.234\text{m}$$

四、测量工作程序

确定地面点位的基本测量工作有水平角测量、水平距离测量和高差测量三项。由于测量的水平角、水平距离和高差存在有误差,使得确定的点位也有误差,而且点位误差是累积的。如图 1-5 所示,设 A 、 B 为地面上两已知点, 1、2 为未知点,根据观测的水平角、水平距离,通过公式计算可求得未知点 1、2 的坐标 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) , 即

$$\alpha_{B1} = \alpha_{AB} + 180^\circ + \beta_1$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{B1} + 180^\circ + \beta_2$$

$$x_1 = x_B + D_1 \cos \alpha_{B1}$$

$$y_1 = y_B + D_1 \sin \alpha_{B1}$$

$$x_2 = x_1 + D_2 \cos \alpha_{12}$$

$$y_2 = y_1 + D_2 \sin \alpha_{12}$$

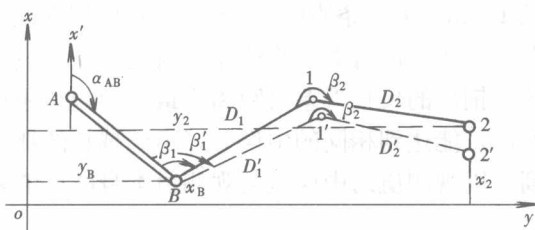


图 1-5 误差累积示意图

由于水平角 β_1 和水平距离 D_1 的测量误差,使得计算的 1 点的坐标 (x_1, y_1) 也产生了误差,1 点移到了 1' 点的位置,而计算的 2 点的坐标,不仅受到水平角 β_1 、水平距离 D_1 的误差影响,还受到水平角 β_2 、水平距离 D_2 的误差影响,2 点会比 1 点的位置误差更大。由图 1-5 可知,经过中间传递的点越多,误差累积越大,甚至

于造成后面点位面目全非也是可能的。但是,在工程建设中决不允许这种事情发生。

为了限制测量误差的累积,测量上采用了“从整体到局部、先控制后碎部”的工作程序开展测量工作。也就是说,在某个区域内进行测量工作,首先应该从整体考虑,在测区内选择少量有控制意义的点,组成控制网,采用高精度的测量仪器和精密的测量方法,确定控制点的位置,这项工作被称为控制测量。然后,再以控制点为基准,测量周围碎部点的位置,这项工作被称为碎部测量。这样,不仅可以很好地限制误差的累积,还可以通过控制测量将测区划分成若干小区,各小区的碎部测量工作同时进行,从而加快了测量工作进度,缩短了工期。同时,由于控制点数量少,碎部点数量多,它还可以很好地节省人力、物力和节省经费开支。

习题与思考题

1. 测量学是一门什么样的学科?
2. 测量学的任务是什么?
3. 测量学在工程建设中有什么作用?
4. 测量坐标系与数学坐标系有什么区别?
5. 何谓绝对高程? 何谓相对高程?
6. 已知水准点 A、B、C 的绝对高程分别为 576.823m、823.678m、1022.177m,又知道 B 点在某假定高程系统中的相对高程为 500.295m,求在该系统中 A、C 两点的相对高程是多少?
7. 测量的基本工作是什么?
8. 何谓误差? 如何分类? 有什么特点?
9. 怎样减小误差,提高测量成果的精度?
10. 为什么采用中误差作为衡量测量精度的标准?
11. 何谓等精度观测?
12. 何谓测量工作程序? 按这样的程序开展工作有什么好处?
13. 何谓中误差和相对误差?

第二章 水准测量

测量的三项基本工作,其中之一就是高程测量。高程测量的方法很多,根据使用的仪器不同,可分为水准测量、三角高程测量和气压高程测量。由于水准测量高程的精度高,操作方法也比较简单,所以,在一般工程建设中,经常使用水准测量的方法测定高程。

第一节 水准测量的原理

一、水准测量的概念

水准测量就是根据水准仪提供的一条水平视线,直接测定出地面上两点的高差,再根据其中一点的已知高程,推算另外一点高程的测量工作。

如图 2-1 所示,地面上有 A、B 两点,其中 A 点的高程 H_A 已知,要求 B 点的高程 H_B 。根据水准测量的原理,首先在 A、B 两点上各立一根水准尺,在 A、B 两点之间安置一台水准仪,根据水准仪提供的一条水平视线分别读出 A、B 两尺上的读数 a 、 b ,由图上看出可以很容易地求出未知点 B 的高程。

二、水准测量的简单计算

1. 高差法

如图 2-1 所示,水准测量的观测工作,首先从已知点开始,再到未知点,先读已知点上的后视读数,再读未知点上的前视读数。用后视读数减去前视读数,即得到两点的高差。再根据已知点的高程即可推算出未知点的高程,这种计算方法称为高差法计算。即

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

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-2)$$

式中 a ——后视读数;

b ——前视读数;

h_{AB} ——A、B 两点之间的高差;

H_A ——A 点的高程;

H_B ——B 点的高程。

高差法计算未知点的高程,常用于水准路线的观测计算之中。

2. 视线高法

如图 2-1 所示,计算时也可先根据已知点的高程,以及在它上面立尺所取读数计算出仪器的视线高程,再根据未知点上所取读数计算出未知点的高程,即

$$H_i = H_A + a \quad (2-3)$$

$$H_B = H_i - b \quad (2-4)$$

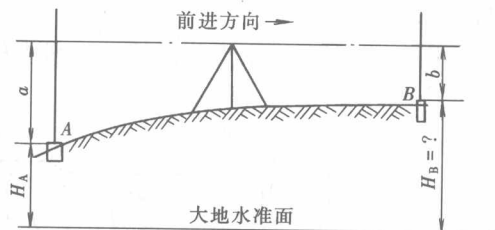


图 2-1 水准测量原理图