

21世纪高职高专土建类专业规划教材



JIANZHU SHIGONG CELIANG

建筑施工测量

主 编 ◎ 李 楠 王云江

主 审 ◎ 王作成

中国建材工业出版社

21 世纪高职高专土建类专业规划教材

建筑施工测量

主 编 ◎ 李 楠 王云江

主 审 ◎ 王作成

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑施工测量/李楠, 王云江主编. --北京: 中国建材工业出版社, 2016. 9

21 世纪高职高专土建类专业规划教材

ISBN 978-7-5160-1644-2

I. ①建… II. ①李… ②王… III. ①建筑测量—高等职业教育—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 214560 号

内 容 简 介

全书共十五章。第一章~第五章主要介绍测量的基本知识、水准测量、角度和距离测量的基本原理和方法; 测量仪器的构造、使用、检校以及目前建筑施工使用较广泛的全站仪及 GPS 应用; 第六章讲述了控制测量; 第七章~第十一章介绍了工业与民用建筑的施工测量方法; 工程变形监测; 管道与道路施工测量。第十二章~第十五章为建筑施工测量实训与习题。

本书力求叙述简明、通俗易懂、注重实用、图文并茂, 突出了课程的基础性、实用性、技能性, 可供高职高专院校建筑工程技术专业师生使用, 也适合上述专业的函授、高教自考教学之用, 还可供建筑施工技术人员学习和参考。

建筑施工测量

李楠 王云江 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 20.25

字 数: 500 千字

版 次: 2016 年 9 月第 1 版

印 次: 2016 年 9 月第 1 次

定 价: 52.80 元

本社网址: www.jcbs.com 微信公众号: zgjcgybs

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

本书是按照高等院校建筑工程技术专业教育标准、培养目标及建筑施工测量课程的教学大纲编写的一本教材。

本书在编写中根据高职高专教学的特点,从培养应用型人才目标出发,在论述基础理论和方法的同时,重视基本技能的训练与实践性教学环节,并力求叙述简明、通俗易懂、注重实用、图文并茂,突出了课程的基础性、实用性、技能性。在保留必需的测绘基础知识和理论的前提下,摒弃陈旧的教学内容,吸纳了先进的测量技术与方法。本书注重建筑施工测量的内容,列举了大量施工现场实际放样的案例,各项测量观测、记录、计算均有实例和表格。为加强学生测、算等基本技能,配套实训与习题。测量基本技能训练、综合技能训练和课后习题练习有助于学生将所学测量技术知识进一步系统化,同时增强学生“认真、负责、严格、精细、实事求是”的科学态度和良好学风,提高学生的全面素质。

全书共十五章。第一章~第五章主要介绍了测量的基本知识、水准测量、角度和距离测量的基本原理和方法,测量仪器的构造、使用、检校以及目前建筑施工使用较广泛的全站仪及GPS应用,由李楠编写。第六章介绍了控制测量,由王云江编写。第七章~第十一章介绍了工业与民用建筑的施工测量方法,工程变形监测、管道与道路施工测量,由李楠编写。第十二章~第十五章为建筑施工测量实训与习题,由王云江编写。本书由李楠统稿,由王作成担任主审。

本书可供高等院校建筑施工专业师生使用,也适合上述专业的函授、高教自考教学之用,还可供测绘和土木类工程技术人员学习和参考。

限于笔者的水平,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

编者

2016年8月

目 录

第一章 测量基本知识	1
第一节 建筑施工测量的任务与作用	1
第二节 地面点位的确定	2
第三节 地形图的认识	5
第四节 测量误差的基本概念	7
第五节 测量工作的原则和程序	11
第二章 水准测量	13
第一节 水准测量原理	13
第二节 水准测量的仪器及工具	15
第三节 水准仪的使用	19
第四节 水准测量方法	21
第五节 水准测量成果计算	26
第六节 水准仪的检验与校正	31
第七节 水准测量误差及注意事项	35
第八节 自动安平水准仪、精密水准仪与数字水准仪	37
第三章 角度测量	43
第一节 水平角的测量原理	43
第二节 经纬仪的构造	44
第三节 经纬仪的使用	48
第四节 水平角测量	50
第五节 竖直角测量	53
第六节 经纬仪的检验与校正	57
第七节 水平角测量误差与注意事项	61
第八节 电子经纬仪简介	63
第四章 距离测量与直线定向	67
第一节 钢尺量距	67
第二节 直线定向	70

第五章 全站仪及 GPS	76
第一节 全站仪及其应用	76
第二节 GPS 定位原理	90
第六章 小地区控制测量	96
第一节 控制测量概述	96
第二节 导线测量的外业工作	98
第三节 导线测量的内业工作	101
第四节 全站仪导线测量	108
第五节 高程控制测量	110
第七章 施工测量的基本工作	117
第一节 施工测量概述	117
第二节 测设的基本工作	118
第三节 测设平面点位的方法	122
第四节 已知坡度直线的测设	127
第八章 民用建筑施工测量	131
第一节 建筑施工控制测量	131
第二节 测设前准备工作	136
第三节 民用建筑物的定位与放线	139
第四节 建筑物基础施工测量	149
第五节 墙体施工测量	151
第六节 高层建筑施工测量	152
第七节 复杂建(构)筑物施工测量	162
第八节 竣工总平面图的绘制	175
第九章 工业建筑施工测量	178
第一节 厂房矩形控制网与柱列轴线的测设	178
第二节 基础施工测量	180
第三节 厂房构件安装测量	182
第四节 钢结构施工测量	189
第五节 烟囱施工测量	193
第十章 工程变形监测	196
第一节 工程变形监测概述	196
第二节 基坑监测	197
第三节 建筑物的沉降观测	207

第四节	建筑物的倾斜观测	212
第五节	建筑物的裂缝、位移与挠度观测	214
第六节	建筑场地滑坡观测	217
第七节	GPS 定位技术在工程监测中的应用	218
第十一章	管道与道路施工测量	223
第一节	管道施工测量	223
第二节	道路施工测量	229
第十二章	建筑施工测量实训须知	241
一、	测量实训的目的	241
二、	测量实训的要求	241
三、	测量仪器、工具的借用规则	242
四、	实训报告填写与计算要求	242
五、	测量仪器、工具的操作规程	243
六、	测量课间实训成绩考核办法	245
第十三章	建筑施工测量课间实训	246
实训一	DS ₃ 水准仪的认识与使用	246
实训二	普通水准测量	249
实训三	DS ₃ 水准仪的检验与校正	251
实训四	光学经纬仪的认识与使用	253
实训五	测回法观测水平角	256
实训六	DJ ₂ 经纬仪的认识与使用	258
实训七	测回法观测三角形的内角	260
实训八	全圆方向法观测水平角	262
实训九	光学经纬仪的检验与校正	264
实训十	距离测量	267
实训十一	全站仪的认识与使用	270
实训十二	四等水准测量	274
实训十三	点位测设与坡度线测设	276
第十四章	建筑施工测量教学综合实训	280
一、	实训组织、计划及注意事项	280
二、	控制测量	281
三、	建筑物轴线测设和高程测设	289
四、	圆曲线主点测设和偏角法测设圆曲线	293
第十五章	建筑施工测量习题	295
第一节	测量基本知识	295

第二节	水准测量	296
第三节	角度测量	299
第四节	距离测量与直线定向	301
第五节	全站仪及 GPS	302
第六节	小地区控制测量	304
第七节	施工测量的基本工作	308
第八节	民用建筑施工测量	310
第九节	工业建筑施工测量	311
第十节	工程变形监测	312
第十一节	管道与道路施工测量	314
参 考 文 献		315

第一章 测量基本知识

教学要求

通过本章学习,了解建筑施工测量的任务与作用,熟悉测量工作中的平面坐标系及高程系,熟悉地面点位的确定方法及基本测量工作方法,了解地形图的基本知识,了解测量误差的基本知识,熟悉测量工作的原则和程序。

第一节 建筑施工测量的任务与作用

一、建筑施工测量的任务

建筑施工测量属于工程测量学的范畴,是工程测量学在建筑工程建设领域中的具体表现。建筑施工测量的任务包括测定、测设两方面,建筑施工测量的主要工作是测设。

1. 测定

测定又称测图,是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算,并按照一定的测量程序和方法将地物和地貌按一定的比例尺和特定的符号缩绘成地形图,以供工程建设的规划、设计、施工和管理使用。

2. 测设

测设又称放样,是指使用测量仪器和工具,按照设计要求,采用一定的方法将设计图纸上设计好的建筑物、构筑物的位置测设到实地,作为工程施工的依据。

此外,施工中各施工工序的交接和检查、校核、验收工程质量的施工测量,工程竣工后的竣工测量,监视重要建筑物或构筑物在施工、运营阶段的沉降、位移和倾斜所进行的变形观测等,也是施工测量的主要任务。

施工测量主要包括施工放样(定位、放线、抄平)与工程变形监测内容。

二、建筑施工测量的作用

建筑施工测量是工程施工中一项非常重要的工作。它服务于工程建设的每一个

阶段，贯穿于工程的始终。在工程勘测阶段，测绘地形图为规划设计提供各种比例尺的地形图和测绘资料；在工程设计阶段，应用地形图进行总体规划和设计；在工程施工阶段，要将图纸上设计好的建筑物、构筑物的平面位置和高程按设计要求测设于实地，以此作为施工的依据；在施工过程中进行土方开挖、基础和主体工程的施工测量；在施工中还要经常对施工和安装工作进行检验、校核，以保证所建工程符合设计要求；施工竣工后，还要进行竣工测量，施测竣工图，供日后扩建和维修之用；在工程管理阶段，对建筑物和构筑物进行变形观测，以保证工程的安全使用。由此可见，在工程建设的各个阶段都需要进行测量工作，而且测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量和进度。因此，工程技术人员必须掌握工程测量的基本理论、基本知识和基本技能，掌握常用的测量仪器和工具的使用方法，初步掌握小地区大比例尺地形图的测绘方法，正确掌握地形图应用的方法，以及具有一般土建工程施工测量的能力。

三、建筑施工测量的现状与发展方向

建筑施工测量为建筑业的发展作出了重要的贡献，同时建筑业的发展也为施工测量的技术水平得到了很大的提高。目前，除常规测量仪器和工具如光学经纬仪、光学水准仪和钢尺等在工程测量中继续使用外，现代化的测量仪器如电子经纬仪、电子水准仪和电子全站仪等也已普及，提高了测量工作的速度、精度、可靠度和自动化程度。一些专用激光测量仪器设备如用于高层建筑竖直投点的激光铅直仪、用于大面积场地精确自动找平的激光扫平仪和用于地下开挖指向的激光经纬仪等的应用，为建筑施工提供了更高效、准确的测量技术服务。利用卫星测定地面点坐标的新技术——全球定位系统（GPS），也逐渐被应用于工程测量中，该技术作业时不受气候、地形和通视条件的影响，只需将卫星接收机安置在已知点和待定点上，通过接收不同的卫星信号，就可计算出该点的三维坐标，这与传统测量技术相比是质的飞跃，目前在施工测量中，一般用于大范围和长距离施工场地中的控制性测量工作。计算机技术也正被应用到测量数据处理、测量仪器自动控制等方面，进一步推动建筑施工测量从手工化向电子化、数字化、自动化和智能化方向发展。

第二节 地面点位的确定

测量工作的基本任务（即实质）是确定地面点的位置。地面点的空间位置由点的平面位置 x 、 y 和点的高程位置 H 来确定。

一、地面点平面位置的确定

在普通测量工作中，当测量区域较小（一般半径不大于 10km 的面积内），可将这

个区域的地球表面当作水平面，用平面直角坐标来确定地面点的平面位置，如图 1-1 所示。

测量平面直角坐标规定纵坐标为 x ，向北为正，向南为负；横坐标为 y ，向东为正，向西为负；地面上某点 M 的位置可用 x_M 和 y_M 来表示。平面直角坐标系的原点 O 一般选在测区的西南角，使测区内所有点的坐标均为正值。象限以北东开始按顺时针方向依次为 I、II、III、IV。与数学坐标的区别在于坐标轴互换，象限顺序相反，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。

在大地测量和地图制图中要用到大地坐标。用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在旋转椭球面上的位置，称为大地地理坐标，简称大地坐标。如图 1-2 所示，地面上任意点 P 的大地经度 L 是该点的子午面与首子午面所夹的两面角； P 点的大地纬度 B 是过该点的法线（与旋转椭球面垂直的线）与赤道面的夹角。

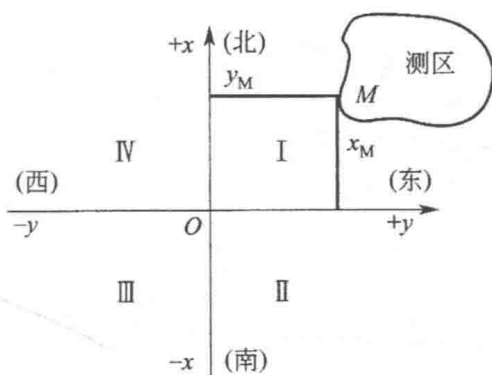


图 1-1 平面直角坐标

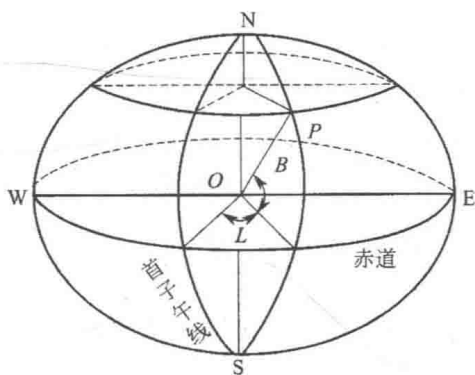


图 1-2 大地坐标

大地经纬度是根据大地测量所得的数据推算而得出的。我国现采用陕西省泾阳县境内的国家大地原点为起算点，由此建立新的统一坐标系，称为“1980 年国家大地坐标系”。

随着国民经济建设、国防建设和社会发展等对国家大地坐标提出了新的要求，迫切需要采用原点位于地球质量中心的坐标系（地心坐标系）作为国家大地坐标系，因此，我国规定自 2008 年 7 月 1 日起，将全面启用“2000 国家大地坐标系”（CGCS2000），与现行国家大地坐标系转换、衔接的过渡期为 8~10 年。

二、地面点高程位置的确定

地球自然表面很不规则，有高山、丘陵、平原和海洋。海洋面积约占地表的 71%，而陆地约占 29%，其中最高的珠穆朗玛峰高出大地水准面 8844.43m，最低的马里亚纳海沟低于大地水准面 11022m。但是，这样的高低起伏，相对于地球半径 6371km 来说还是很小的。

地球上自由静止的海水面称为水准面，它是个处处与重力方向垂直的连续曲面。与水准面相切的平面称为水平面。由于水面高低不一，因此水准面有无限多个，其中与平均海水面相吻合并向大陆、岛屿延伸而形成的闭合曲面，称为大地水准面，如图

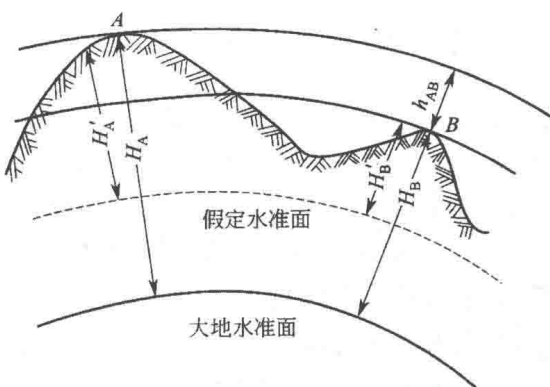


图 1-3 大地水准面

为该点的绝对高程，亦称海拔或标高。如图 1-3 所示， H_A 、 H_B 即为地面点 A、B 的绝对高程。

当在局部地区引用绝对高程有困难时，可采用假定高程系统，即假定任意水准面为起算高程的基准面。地面点到假定水准面的铅垂距离，称为相对高程。如图 1-3 所示， H'_A 、 H'_B 即为地面点 A、B 的相对高程。例如，工业民用建筑工程中常选定底层室内地坪面为该工程地面点高程起算的基准面，记为 (± 0.000) 。建筑物某部位的标高，是指某部位的相对高程，即某部位距室内地坪 (± 0.000) 的垂直间距。

两个地面点之间的高程差称为高差，用 h 表示。 $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ 。

三、用水平面代替水准面的限度

在测量中，当测区范围很小时才允许以水平面代替水准面。那么，究竟测区范围多大时，可用水平面代替水准面呢？

(一) 水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-4 所示，A、B 两点在水准面上的距离为 D ，在水平面上的距离为 D' ，则 ΔD ($\Delta D = D' - D$) 是用水平面代替水准面对距离的影响值。

它们与地球半径 R 的关系为：

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

根据地球半径 $R = 6371\text{km}$ 及不同的距离 D 值，代入式 (1-1)，得到表 1-1 所列的结果。

由表 1-1 可见，当 $D = 10\text{km}$ 时，所产生的相对误差为 $1/1250000$ 。目前最精密的距离丈量时的相对误差为 $1/1000000$ 。因此，可以得出结论：在半径为 10km 的圆面积内进行距离测量，可以用水平面代替水准面，不考虑地球曲率对距离的影响。

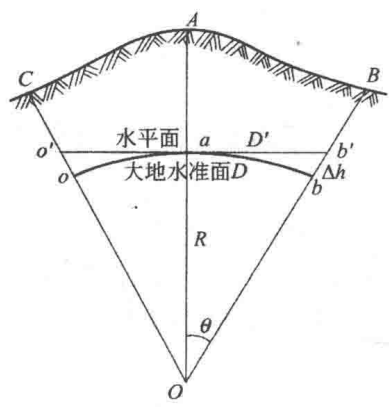


图 1-4 水平面替代水准面对距离和高程的影响

表 1-1 水平面代替水准面对距离的影响值

D (km)	ΔD (cm)	$\Delta D/D$
10	0.8	1 : 1250000
20	6.6	1 : 300000
50	102	1 : 49000

(二) 水平面代替水准面对高程的影响

如图 1-4 所示， $\Delta h=bB-b'B$ ，这是用水平面代替水准面对高程的测量影响值。其值为

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

用不同的距离代入式（1-2）中，得到表 1-2 所列结果。

从表 1-2 可以看出，用水平面代替水准面，在距离 1km 内就有 8cm 的高程误差。由此可见，地球曲率对高程的影响很大。在高程测量中，即使距离很短，也要考虑地球曲率对高程的影响。实际测量中，应该考虑通过加以改正计算或采用正确的观测方法，消除地球曲率对高程测量的影响。

表 1-2 水平面代替水准面对高程的影响值

D (km)	0.2	0.5	1	2	3	4	5
Δh (cm)	0.31	2	8	31	71	125	196

四、确定地面点位的三个基本要素

地面点的空间位置是以地面点在投影平面上的坐标 x 、 y 和高程 H 决定的。在实际测量中， x 、 y 和 H 的值不能直接测定，而是通过测定水平角 β_a 、 β_b ...和水平距离 D_1 、 D_2 ...以及各点间的高差，再根据已知点 A 的坐标、高程和 AB 边的方位角计算出 B 、 C 、 D 、 E 各点的坐标和高程，如图 1-5 所示。

由此可见，水平距离、水平角和高程是确定地面点的三个基本要素。水平距离测量、水平角测量和高程测量是测量的三项基本工作。

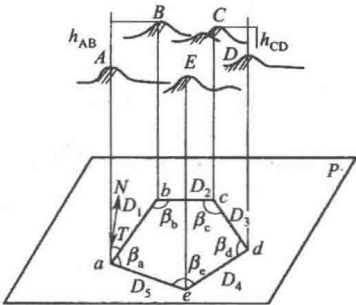


图 1-5 确定地面点位

第三节 地形图的认识

地球表面固定不动的物体称为地物，如河流、湖泊、道路、建筑等。地球表面高低起伏的形态称为地貌。地物与地貌合称为地形。地形图指的是地表起伏形态和地物

位置、形状在水平面上的投影图。具体来讲，地形图就是将地面上的地物和地貌以正投影的方法，并按一定的比例尺、用规定的符号及方法缩绘到图纸上。地形图包括了地物与地貌的平面位置以及它们的高程。如果仅表达地物的平面位置，而省略表达地貌的则称为平面图。

一、地形图的比例尺

1. 比例尺表达及分类

图上一段直线的长度与地面上相应线段真实长度的比值，称为地形图的比例尺。数字比例尺是常见的比例尺表示方法，它用分子为 1，分母为整数的分数表示，如图上一线段的长度为 d ，对应实际地面上的水平长度为 D ，则其比例尺可以表示为：

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{D/d} = \frac{1}{M} \tag{1-3}$$

式中， M 称为比例尺分母，该值越小即式（1-3）中分数越大，则比例尺越大，图上表示的内容越详细，但是相同图面表达内容的范围越小。

我国一般把地形图按比例尺的大小分为大比例尺地形图、中比例尺地形图和小比例尺地形图三类。通常将比例尺分母值小于 10000 的地形图称为大比例尺地形图，如 1 : 500、1 : 1000、1 : 2000、1 : 5000。城市管理和工程建设等普遍采用大比例尺地形图，可以通过全站仪或者动态 GPS 内外业一体化数字成图。采用比例尺分母值在 10000~100000 之间的比例尺的地形图称为中比例尺地形图。采用比例尺分母值大于 100000 的地形图称为小比例尺地形图。小比例尺地形图一般由中比例尺地形图缩小编绘而成。

2. 比例尺精度

在正常情况下，人肉眼可以在图上进行分辨的最小距离是 0.1mm，当图上两点之间的距离小于 0.1mm 时，人眼将无法进行分辨而将其认成为同一点。因此可以将相当于图上长度 0.1mm 的实际地面水平距离称为地形图的比例尺精度。

表 1-3 常用比例尺对应的比例尺精度

比例尺	1 : 500	1 : 1000	1 : 2000	1 : 5000	1 : 10000
比例尺精度 (m)	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0

表 1-3 为常用比例尺的比例尺精度。比例尺精度对测图非常重要。如选用比例尺为 1 : 500，对应的比例尺精度为 0.05m，在实际地面测量时仅需测量距离大于 0.05m 的物体与距离，而即使测量的再精细，小于 0.05m 的物体也无法在图纸上表达，因此可以根据比例尺精度来确定实地量距的最小尺寸。再比如，在测图上需反映地面上大于 0.1m 细节，则可以根据比例尺精度选择测图比例尺为 1 : 1000，即根据需求来确定合适的比例尺。

二、地形图的表示方法

1. 地物符号在图上的表示方法

地物在图中用地物符号表示，地物符号可以分为比例符号、半依比例符号、非比例符号和文字或数字注记。

(1) 比例符号。

按照测图比例尺缩小后，用规定的符号画出的为比例符号。如房屋、草地、湖泊及较宽的道路等在大比例尺地形图中均可以用比例符号表示。其特点是可以根据比例尺直接进行度量与确定位置。

(2) 半依比例符号。

对于一些呈长带状延伸的地物，其长度方向可以按比例缩小后绘制，而宽度方向缩小后无法直接在图中表示的符号称为半依比例符号，也称为线性符号。如小路、通信线路、管道、篱笆或围墙等。其特点是长度方向可以按比例度量。

(3) 非比例符号。

对于有些地物，其轮廓尺寸较小，无法将其形状与大小按比例缩小后展绘到地形图上，则不考虑其实际大小，仅在其中心点位置按规定符号表示，称为非比例符号。如导线点、水准点、路灯、检修井或旗杆墩等。

(4) 文字或数字注记。

有些地物用相应符号表示还无法表达清楚，则对其相应的特性、名称等用文字或数字加以注记。如建筑物层数、地名、路名、控制点的编号与水准点的高程等。

2. 地貌符号的表示方法

地形图上表示地貌的主要方法为等高线。地面上高程相同的相邻点依次首尾相连而形成的封闭曲线称为等高线。如图 1-6 所示，有一静止水面包围的小山，水面与山坡形成的交线为封闭曲线，曲线上各点的高程是相等的。随着水位的不断上升，形成不同高度的闭合曲线，将其投影到平面上，并按比例缩小后绘制的图形，即为该山头用等高线表示的地貌图。

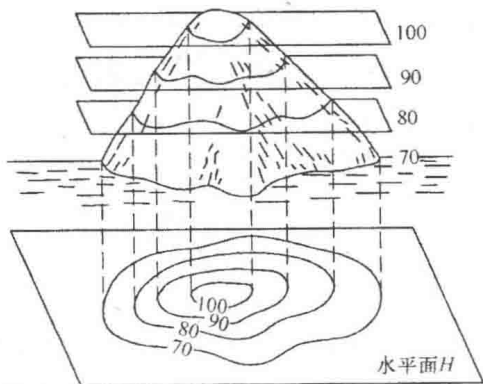


图 1-6 等高线形成示意

第四节 测量误差的基本概念

在测量工作实践中我们发现，不论测量仪器多么精密，观测者多么仔细认真，当对某一未知量，如一段距离、一个角度或两点间的高差进行多次重复观测时，所测得

的各次结果总是存在着差异。这些现象说明观测结果中不可避免地存在着测量误差。

需要指出的是，错误（粗差）在观测结果中是不允许存在的。例如：水准测量时，转点上的水准尺发生了移动；测角时测错目标；读数时将 9 误读成 6；记录或计算中产生的差错等。所以，含有错误的观测值应舍去不用。为了杜绝和及时发现错误，测量时必须严格按测量规范去操作，工作中要认真仔细，同时必须对观测结果采取必要的检核措施。

一、测量误差产生的原因

测量误差的来源很多，其产生的原因主要有以下三个方面。

1. 仪器的原因

观测工作中所使用的仪器，由于制造和校正不可能十分完善，受其一定精度的限制，使其观测结果的精确程度也受到一定限制。

2. 人的原因

在观测过程中，由于观测者的感觉器官鉴别能力的限制，如人的眼睛最小辨别的距离为 0.1mm，所以，在仪器的对中、整平、瞄准、读数等工作环节时都会产生一定的误差。

3. 外界条件的原因

观测是在一定的外界自然条件下进行的，如温度、亮度、湿度、风力和大气折光等因素的变化，也会使测量结果产生误差。

观测结果的精度简称为精度，其取决于观测时所处的条件，上述三个方面综合起来就称三观测条件。观测条件相同的各次观测，称为同精度观测；观测条件不同的各次观测，则称为非等精度观测。

二、测量误差的分类

由于测量结果中含有各种误差，除需要分析其产生的原因，采取必要的措施消除或减弱对观测结果的影响之外，还要对误差进行分类。测量误差按照对观测结果影响的性质不同，可分为系统误差和偶然误差两大类。

（一）系统误差

1. 系统误差的概念

在相同的观测条件下，对某量进行一系列的观测，如果误差出现的符号相同，数值大小保持为常数，或按一定的规律变化，这种误差称为系统误差。例如，某钢尺的注记长度为 30m，鉴定后，其实际长度为 30.003m，即每量一整尺段，就会产生 0.003m 的误差，这种误差的数值和符号都是固定的，误差的大小与所量距离成正比。又如，水准仪经检验校正后，水准管轴与视准轴之间仍会存在不平行的残余误差 i 角，这种误差的大小与水准尺至水准仪的距离成正比，也保持同一符号。这些误差都属于

系统误差。

2. 系统误差消除或减弱的方法

系统误差具有积累性，对测量结果的质量影响很大，所以，必须使系统误差从测量结果中消除或减弱到允许范围之内，通常采用以下方法：

(1) 用计算的方法加以改正。对某些误差应求出其大小，加入测量结果中，使其得到改正，消除误差影响。例如，用钢尺量距时，可以对观测值加入尺长改正数和温度改正数，来消除尺长误差和温度变化误差对钢尺的影响。

(2) 检校仪器。对测量时所使用的仪器进行检验与校正，把误差减小到最小程度。例如，水准仪中水准管轴是否平行于视准轴检校后， i 角不得大于 $20''$ 。

(3) 采用合理的观测方法，可使误差自行消除或减弱。例如，在水准测量中，用前后视距离相等的方法能消除 i 角的影响；在水平角测量中，用盘左、盘右观测值取中数的方法，可以消除视准轴不垂直于横轴和横轴不垂直于竖轴及照准部偏心差等影响。

(二) 偶然误差

1. 偶然误差的概念

在相同的观测条件下，对某量进行一系列的观测，如果误差在符号和大小都没有表现出一致的倾向，即每个误差从表面上来看，不论其符号上或数值上都没有任何规律性，这种误差称为偶然误差。例如，测角时照准误差、水准测量在水准尺上的估读误差等。

由于观测结果中系统误差和偶然误差是同时产生的，但系统误差可以用计算改正或适当的观测方法等消除或减弱，所以，本章中讨论的测量误差以偶然误差为主。

2. 偶然误差的特性

偶然误差就其单个而言，看不出有任何规律，但是随着对同一量观测次数的增加，大量的偶然误差就能表现出一种统计规律性，观测次数越多，这种规律性越明显。例如，在相同的观测条件下，观测了某测区内 168 个三角形的全部内角，由于观测值存在着偶然误差，使三角形内角观测值之和 l 不等于真值 180° ，其差值 Δ 称为真误差，可由下式计算，真值用 x 表示。

$$\Delta = l - x \tag{1-4}$$

由式 (1-4) 计算出 168 个真误差，按其绝对值的大小和正负，分区间统计相应真误差的个数，列于表 1-4 中。

表 1-4 误差个数统计表

误差区间	正误差个数	负误差个数	总数
0''~0.4''	25	24	49
0.4''~0.8''	21	22	43
0.8''~1.2''	16	15	31
1.2''~1.6''	10	10	20
1.6''~2.0''	6	7	13