



普通高等教育土建学科“十三五”规划教材

工程测量



张福燕 王照雯 主编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



普通高等教育土建学科“十三五”规划教材

工程测量



主 审 冯玉祥
主 编 张福燕 王照雯
副主编 李 新 李 莉 党 斌 徐 敏



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书围绕对“应用型创新人才”的培养要求,结合最新的工程测量相关规范精心编写而成。全书内容包括地面点位确定、高程测量、角度测量、距离测量、控制测量、地形图测量、建筑施工测量、道路与桥梁施工测量等训练项目和操作任务,并配有综合技能测试项目。

本书内容精炼、形式新颖,注重“应用”,可作为普通高等院校、高职高专和成人高校相关专业的教材,也可作为测量工作者的参考用书。

为了方便教学,本书还配有教学课件等教学资源包,相关教师和学生可以登录“我们爱读书”网(www.ibook4us.com)免费注册并浏览,或者发邮件至 husttujian@163.com 免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/张福燕,王照雯主编. —武汉:华中科技大学出版社,2017.2

普通高等教育土建学科“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5680-2105-0

I. ①工… II. ①张… ②王… III. ①工程测量-高等学校-教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 185981 号

工程测量

Gongcheng Celiang

张福燕 王照雯 主编

策划编辑:康 序

责任编辑:王 莹

封面设计:抱 子

责任监印:朱 玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:12.75

字 数:340 千字

版 次:2017 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:35.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前言

FACE

随着科学技术的发展,现代测绘科学应运而生,由于计算机科学、空间技术、通信技术和地理信息技术的发展,原有的测绘学理论基础和工程技术体系发生了深刻变化。目前,国家大力发展应用型人才教育,鼓励部分本科院校转型为应用型本科院校,我国应用型人才培养呈现勃勃生机。与此同时,以往的《工程测量》教材的内容严重滞后,远远不能满足新形势下社会对应用型人才的培养要求和教学改革需要。为此,我们依据现代测绘技术的发展,配合当前教学改革,结合多年教学实践经验编写了本书。

本书从工程实际应用出发,以项目训练为主线,以任务驱动学生学习,引导学生探究知识和解决实际问题,从而达到提高学生综合能力的目的。全书分为9个章节,分别为地面点位确定、高程测量、角度测量、距离测量、控制测量、地形图测量、建筑施工测量、道路与桥梁施工测量和综合技能测试,共有20个任务和5个综合测试项目,涵盖了土木工程中常用的测量内容。

本书特色鲜明、涵盖面广、内容精炼、图文并茂、强调实践性、注重提高学生的综合能力。大项目通过小任务来实现,任务中包含知识准备、任务实施、任务小结、知识拓展和任务延伸等内容,可以供不同层次的教学和学习使用。在项目后配有课后练习题,并配备了5项综合技能测试,可以在不同学习阶段对学生进行考核,便于教学使用。

本书由黑龙江省公路勘察设计院冯玉祥高工担任主审,由大连海洋大学应用技术学院张福燕、王照雯担任主编,由大连海洋大学应用技术学院李新、重庆三峡学院李莉、商洛学院党斌、甘肃建筑职业技术学院徐敏担任副主编。具体分工如下:第2章、第4章、第7章由张福燕编写;第1章、第5章、第8章由王照雯编写;第9章由李新编写;第3章由李莉编写;第6章由党斌编写;徐敏为本书的编写提供了大量的素材。全书由张福燕统稿。

本书在编写过程中得到了华中科技大学出版社和大连海洋大学应用技术学院领导的大力支持,在此表示衷心的感谢!另外,在编写过程中参考了大量同类教材、专著和有关资料,在此对相关作者一并表示谢意!

为了方便教学,本书还配有教学课件等教学资源包,相关教师和学生可以登录“我们爱读书”网(www.ibook4us.com)免费注册并浏览,或者发邮件至 husttujian@163.com 免费索取。

由于作者的水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者在使用过程中给予指正并提出宝贵意见!

编者

2016年12月

目录

CONTENTS

第 1 章 地面点位确定	1
1.1 概述	1
1.2 我国目前使用的测量坐标系	6
1.3 小结	7
课后练习题	8
第 2 章 高程测量	9
2.1 用水准仪测量相距 30 m 左右 A、B 两点的高差	9
2.2 用水准仪进行一个闭合四边形水准路线测量	19
2.3 用四等水准测量的方法从 800 m 外引测高程点	32
2.4 用水准仪在室内测量 0.5 m 高的水平线	36
课后练习题	39
第 3 章 角度测量	43
3.1 光学经纬仪的安置与读数	43
3.2 用 DJ ₆ 型光学经纬仪测量一水平角	52
3.3 用 DJ ₆ 型光学经纬仪测量竖直角	57
3.4 用经纬仪测设 60° 的水平角	65
课后练习题	67
第 4 章 距离测量	69
4.1 测量 A、B 两点间的水平距离	69
4.2 在 AB 方向线上测设一点 C, 使 AC 水平距离为 21.660 m	77
课后练习题	79

第 5 章 控制测量	81
5.1 用全站仪测量闭合四边形导线	81
5.2 利用 RTK 做静态控制测量	99
课后练习题	104
第 6 章 地形图测量	105
6.1 用全站仪测量测站点 A 周围的地物和地貌	105
6.2 用全站仪、RTK 测量面积至少为 2 000 m ² 的地形图	111
课后练习题	119
第 7 章 建筑施工测量	121
7.1 平面点位放样	121
7.2 建筑物定位放线	127
7.3 多层建筑物的轴线投测和高程传递	137
7.4 工业厂房柱列轴线放样	142
课后练习题	148
第 8 章 道路与桥梁施工测量	151
8.1 道路工程测量	151
8.2 用全站仪进行桥梁、墩台定位测量	172
课后练习题	179
第 9 章 综合技能测试	181
9.1 普通水准测量(闭合水准路线)	181
9.2 测回法观测水平角	185
9.3 全站仪的使用	187
9.4 四等水准测量(闭合水准测量)	191
9.5 全站仪测图	194
参考文献	197

Chapter 1

第 1 章 地面点位确定

人类生存在地球表面上,我们就有必要了解地球的形状和大小,将地球表面的整个或局部的形状和大小测绘成图;另外,对于已经规划设计好的建筑物和构筑物,如何才能按规划设计的位置建成呢?这就需要研究地面点位如何确定,地面点位的确定是测量工作的实质性问题。

1.1 概述

一、测量学概述

(一) 测量学的定义

早期的定义:研究地球的形状和大小并确定地面点位的科学。

目前的定义:研究三维空间中各种物体的形状、大小、位置、方向和其分布的科学。

(二) 测量学的任务

测定: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。

测设:把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

(三) 测量学的分类

总的来说,测量学分为以下几类。

(1) 大地测量学:研究地球表面上一个较大区域甚至整个地球表面的形状和大小的学科,必须考虑地球曲率的影响。

(2) 普通测量学(地形测量学):研究地球自然表面小区域内测绘工作的学科。

(3) 摄影测量学:研究利用航天、航空、地面的摄影和遥感信息进行测量的方法和理论的学科。

(4) 工程测量学:研究工程建设在勘察设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。

(5) 地图学:研究地图制图的理论和方法的学科。

随着科学技术的发展,测量学的分支越来越多,出现了许多新的分支,如海洋测量学、地球空间信息科学等。



二、地面点位的确定

(一) 地球的形状和大小

1. 几个相关概念

- (1) 铅垂线:重力的方向线,它是测量工作中的基准线。
- (2) 水准面:静止的水面。
- (3) 水平面:与水准面相切的平面。
- (4) 大地水准面:假想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,大地水准面是测量工作中的基准面。
- (5) 大地体:大地水准面所包围的地球形体。

2. 地球的形状

为了方便研究,测量学上把地球的形状看成是大地体,或近似成参考椭球体,再进一步近似成圆球体。

3. 地球的大小

- (1) 参考椭球体: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)以代替地球的形状作为测量计算工作的基准面,它是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体。旋转椭球体由长半径 a (或短半径 b)和扁率 α 所决定,其数值如下: $a=6\,378\,140\text{ m}$, $b=6\,356\,752\text{ m}$, $\alpha=1:298.257$ 。
- (2) 近似圆球:当测区范围不大时,可近似地把地球椭球看作圆球,其半径为: $R=(2a+b)/3=6\,371\text{ km}$ 。

(二) 确定地面点位的方法

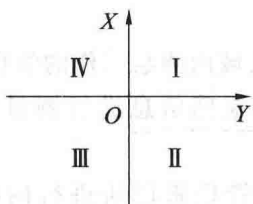
在测量工作中,为了确定地面点的空间位置,分别用点的平面坐标和高程来表示。

1. 地面点的平面坐标

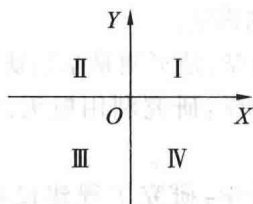
地面点的平面坐标包括地理坐标、平面直角坐标、高斯平面直角坐标。

- (1) 地理坐标:用经度、纬度表示的地面点的绝对位置。纬度用 ϕ 、经度用 λ 表示。
- (2) 平面直角坐标:当测区范围较小时,可采用平面直角坐标,以 X 轴为纵轴,一般用它表示南北方向,以 Y 轴为横轴,表示东西方向。

数学中的平面直角坐标系与测量学中的平面直角坐标系的异同点如图 1.1 所示。



(a)测量学中的平面直角坐标系



(b)数学中的平面直角坐标系

图 1.1 平面直角坐标系

(3) 高斯平面直角坐标。

- (a) 高斯平面直角坐标系的建立:进行大区域测图时,不能将地球的球面当作平面看待,测

图时可采用高斯平面直角坐标系,它是以互相垂直的中央子午线和赤道的投影为轴线的,中央子午线的投影是 X 轴,赤道的投影是 Y 轴,其交点是坐标原点。

(b) 高斯平面直角坐标系的性质:中央子午线的投影为一条直线,且投影后长度无变形,其余经线的投影为凹向中央子午线的对称曲线。赤道的投影也为一直线,其余纬线的投影为凸向赤道的对称曲线。中央子午线和赤道投影后为互相垂直的直线,成为其他经纬线投影的对称轴,而其他经纬线投影后仍保持互相垂直的关系,即投影前后角度无变形,故称为正形投影。

(c) 6° 带的划分:从格林尼治子午线(首子午线)起,依次每隔经度 6° 分为一带,整个地球被分为 60 带,用数字 1~60 顺序编号,可按下式计算:

$$\lambda = (6N - 3)$$

其中, λ 为投影带中央子午线的经度, N 为投影带带号。

为了满足大比例尺测图和某些工程建设需要,常以经度差 3° 分带。从东经 1.5° 的子午线起,自西向东按经度每隔 3° 划分为一个投影带,这样整个地球被划分为 120 个投影带,简称为 3° 带。 3° 带的带号与中央子午线经度的关系为:

$$\lambda = 3N$$

(d) 点在高斯平面直角坐标系中的坐标值:理论上中央子午线的投影是 X 轴,赤道的投影是 Y 轴,其交点是坐标原点。点的 X 坐标是点至赤道的距离;点的 Y 坐标是点至中央子午线的距离,设为 y' ;在我国, X 坐标都为正, y' 有正有负。为了避免 Y 坐标出现负值,把坐标原点向西平移 500 km。为了区分不同投影带中的点,在点的 Y 坐标值上加带号 N ,所以点的横坐标通用值为:

$$y = N \times 1\,000\,000 + 500\,000 + y'$$

我国幅员辽阔,东西横跨 11 个(13~23 带) 6° 带,21 个(25~45 带) 3° 带,并且各自独立构成直角坐标系。如我国地面上某点,在高斯平面直角坐标系的坐标为: $x = 3\,430\,152\text{ m}$, $y = 20\,637\,680\text{ m}$,则该点位于 20 投影带(6° 带),其中央子午线经度是 $\lambda = 6N - 3 = 117^\circ$ 。

2. 地面点的高程

高程有绝对高程和相对高程之分。

(1) 绝对高程:地面点沿铅垂线方向至大地水准面的距离称为绝对高程,简称为高程。如图 1.2 所示,地面点 A 和 B 的绝对高程分别为 H_A 和 H_B 。

(2) 相对高程:地面点到任意水准面的铅直距离称为相对高程。如图 1.2 所示,地面点 A 和 B 的相对高程分别为 H'_A 和 H'_B 。

(3) 高差:地面两点的高程之差称为高差。高差有正负之分。如图 1.2 所示,地面点 A 和 B 的高差为 $h_{AB} = H_A - H_B = H'_A - H'_B$ 。

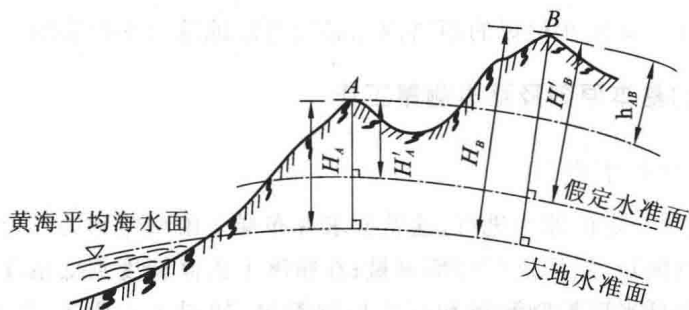


图 1.2 高程和高差



(4) 高程零点。

高程测量的任务是求出点的高程,为了建立一个全国统一的高程系统,必须确定一个统一的高程基准面,通常采用大地水准面即平均海水面作为高程基准面。我国采用青岛验潮站 1950~1956 年的观测结果求得的黄海平均海水面作为高程基准面。根据这个基准面得出的高程称为“1956 黄海高程系”。为了确定高程基准面的位置,在青岛建立了一个与验潮站相联系的水准原点,并测得其高程为 72.289 m,水准原点作为全国高程测量的基准点。从 1989 年起,国家规定采用根据青岛验潮站 1952~1979 年的观测资料,计算得出的平均海水面作为新的高程基准面,即目前使用的 1985 国家高程基准。

1985 国家高程基准所定的平均海水面为高程零点,根据高程基准面,得出青岛水准原点的高程为 72.260 m。

图 1.3 所示为 1985 国家高程基准示意图。

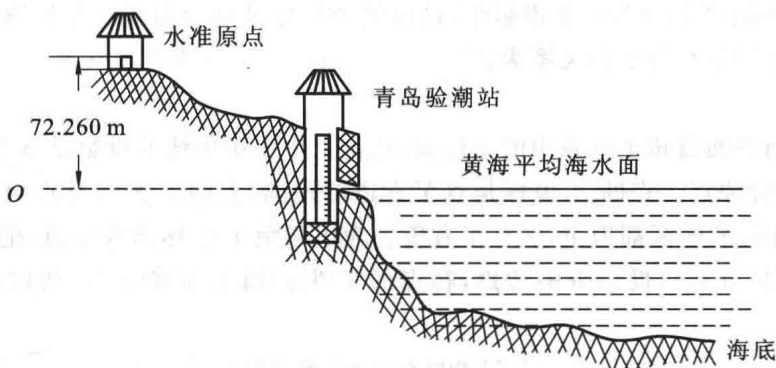


图 1.3 1985 国家高程基准示意图

(三) 以水平面代替水准面的限度

1. 对水平距离的影响

当精度要求较高时,在测区半径 R 不大于 10 km 的范围内,可不考虑地球曲率的影响,即可把水平面当作水准面看待。在精度要求较低时,其半径可扩大到 25 km。

2. 对水平角度的影响

在面积 P 不大于 100 km^2 的范围内进行水平角测量时,可不考虑地球曲率的影响。

以上两项分析说明:在面积为 100 km^2 范围内,不论是进行水平距离的测量还是进行水平角度的测量,都可以不顾及地球曲率的影响。在精度要求较低的情况下,这个范围还可以相应扩大。

3. 对高程的影响

在进行高程测量时,即使在很短的距离内也必须考虑地球曲率的影响。

三、测量工作的基本原则及基本测量工作

(一) 测量工作的基本原则

测量工作必须按照一定的原则进行,这就要求在布局上由整体到局部;在工作步骤上先控制后碎部,即先进行控制测量,然后进行碎部测量;在精度上由高精度到低精度。

其中,控制测量包括平面控制测量和高程控制测量,如图 1.4 所示,先在测区内部设 A、B、C、D、E、F 等控制点并连成控制网(图中为闭合多边形),再用较精密的方法测定这些点的平面位

置和高程以控制整个测区,并依一定的比例尺将它们缩绘到图纸上,然后以控制点为依据进行碎部测量。

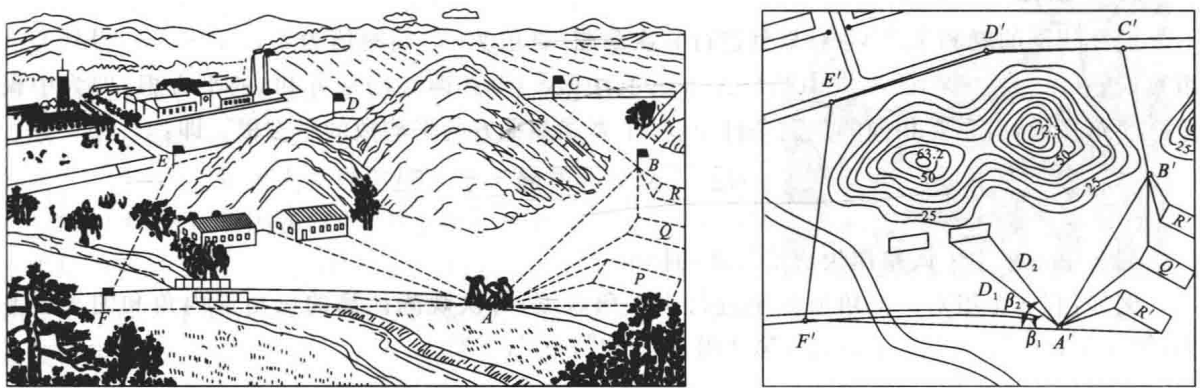


图 1.4 测量工作步骤示意

(二) 基本测量工作

不论是控制测量还是碎部测量,实质都是确定地面点的位置,也就是要测定三个元素,即水平角、水平距离和高差(或者高程),因此测量水平角、测量水平距离和测量高程是测量工作的三项基本工作。

四、测量误差的基本知识

(一) 误差及其产生原因

误差是测量值与真值之间的差异。在工程测量中,误差的来源可归纳为以下三方面。

- (1) 仪器和工具本身的误差;
- (2) 外界环境的影响;
- (3) 观测误差。

通常我们把以上这三方面综合起来,称为观测条件。

(二) 测量误差的分类

根据误差产生的原因和误差性质的不同,测量误差可分为系统误差和偶然误差两类。

(1) 系统误差:在相同的观测条件下(同样的仪器和工具、同样的技术与操作方法、同样的外界条件),对某量进行一系列观测,其误差保持同一数值、同一符号,或遵循一定的变化规律,这种误差称为系统误差。

(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,其误差的大小和符号均不一致,从表面上看没有任何规律,这种误差称为偶然误差。

(3) 偶然误差的特性。

(a) 在一定的观测条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定的限值,即超过一定限值的偶然误差出现的概率为零;

(b) 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的概率大;

(c) 绝对值相等的正误差与负误差出现的概率相同;

(d) 对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的无限增加而趋近于零。



(三) 衡量精度的标准

1. 中误差

设在相同的观测条件下,对某量进行 n 次观测(真值为 X ,观测值为 $l_1, l_2, \dots, l_n$),得到的一组真误差($\Delta_n = l_n - X$)的平方中数($[\Delta^2]/n$,其中 $[\Delta^2]$ 为真误差的平方和)的平方根,即为中误差。简单来说,就是在相同的观测条件下,各个真误差平方的平均数的平方根。即:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} \quad (1.1)$$

测量中常采用中误差作为衡量精度的标准。

例如:有 2 个组对一三角形分别进行水平角观测,每次观测计算的三角形内角和的真误差为:第 1 组, $+3''$, $-2''$, $-4''$, $+2''$;第 2 组, $0''$, $-1''$, $-7''$, $+3''$ 。

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{3^2 + 2^2 + 4^2 + 2^2}{4}} = \pm 2.87''$$

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{0^2 + 1^2 + 7^2 + 2^2}{4}} = \pm 3.84''$$

显然,第 1 组的测量精度高于第 2 组。

2. 容许误差

测量中,通常以中误差的 2~3 倍作为偶然误差的容许误差。观测中出现偶然误差大于容许误差的概率极小,如果发生,则为非偶然因素造成,测量结果被认为不合格。

容许误差的应用:限差检核,判断成果是否合格。

3. 相对误差

某些观测成果,如水平距离测量,其精度与观测量的大小相关,用中误差不能完全描述其精度,因此用相对误差进行评定。

相对误差等于绝对误差的绝对值与观测值之比。

1.2 我国目前使用的测量坐标系

一、北京 54 坐标系

中华人民共和国成立以后,我国大地测量进入了全面发展时期,在全国范围内开展的正规的、全面的大地测量和测图工作,迫切需要一个参心大地坐标系,故我国采用了苏联的克拉索夫斯基椭球参数,并与苏联 1942 年坐标系统进行联测,通过计算建立了我国大地坐标系,定名为 1954 年北京坐标系,简称北京 54 坐标系。因此,1954 年北京坐标系可以认为是苏联 1942 年坐标系的延伸,它的原点不在北京而是在苏联的普尔科沃。

二、西安 80 坐标系

1978 年 4 月在西安召开全国天文大地网平差会议,会议决定重新定位,建立我国新的坐标系,因此有了 1980 年国家大地坐标系,简称西安 80 坐标系。西安 80 坐标系采用的地球椭球基本参数为 1975 年国际大地测量与地球物理联合会第十六届大会推荐的数据,即 IAG75 地球椭

球体。西安 80 坐标系的大地原点设在我国中部的陕西省泾阳县永乐镇,位于西安市西北方向约 60 km 处。

中华人民共和国大地原点(见图 1.5),由主体建筑、中心标志、仪器台、投影台四部分组成。主体为 7 层塔楼式圆顶建筑,高 25.8 m;半球形玻璃钢屋顶,可自动开启,以便天文观测。中心标志是原点的核心部分,用玛瑙做成,半球顶部刻有“十”字线,它被镶嵌在稳定埋入地下的花岗岩标石外露部分的中央,永久稳固保留,“十”字中心就是测量起算中心,其坐标为东经 $108^{\circ}55'$,北纬 $34^{\circ}32'$,海拔 417.20 m。仪器台建在中心标志上方,为空心圆柱形,高 21.8 m,顶部供安置测量仪器用。



图 1.5 中华人民共和国大地原点

三、2000 国家大地坐标系

简称为 CGCS2000,即 China geodetic coordinate system 2000。随着社会的进步,国民经济建设、国防建设、科学研究等方面的发展对国家大地坐标系提出了新的要求,迫切需要采用原点位于地球质量中心的坐标系统(以下简称地心坐标系)作为国家大地坐标系。采用地心坐标,有利于采用现代空间技术对坐标系进行维护和快速更新,有利于测定更高精度的控制点三维坐标,并能提高测图工作的效率。

2008 年 3 月,由国土资源部正式上报国务院《关于中国采用 2000 国家大地坐标系的请示》,并于 2008 年 4 月获得国务院批准。自 2008 年 7 月 1 日起,我国全面启用 2000 国家大地坐标系。

2000 国家大地坐标系是全球地心坐标系在我国应用的具体体现,其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。 Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议极地方向(BIH 为国际时间局), X 轴指向 BIH1984.0 定义的零子午线与协议赤道的交点, Y 轴按右手坐标系确定。

07

1.3 小结.....

本章需掌握的基本概念比较多,如测量学、水准面、大地水准面、旋转椭球体、地理坐标、平面直角坐标、高斯平面直角坐标、绝对高程、相对高程等。

地球是个旋转椭球体,在地形测量范围内,为计算方便,可把地球视为圆球,其半径为 6 371 km。当测区范围在 10 km 以内时,如测量水平距离,可不考虑地球的曲率,用水平面代替球面;但在高程测量时,即使测距很短,也必须考虑地球曲率的影响。

地面点的位置是由其平面位置和点的高程决定的,平面位置一般用平面直角坐标表示,即用 X 、 Y 代表纵、横坐标。正如一张电影票,若上面印着“12 排 7 号”,12 排则表示其在 X 方向上的位置,7 号则表示其在 Y 方向上的位置。若电影院有楼,前面要加“楼上”或“楼下”二字,以表示它们的空间位置,测量上用高程“ H ”表示。测定地面点相对位置的基本工作是距离测量、水平角测量和高程测量。

“从整体到局部”和“先控制后碎部”是测量工作所遵循的原则。无论是地形测量还是施工测量,都必须遵循此原则。



课后练习题

1. 选择题

(1) 两点之间高程的差称为()。

A. 相对高程

B. 绝对高程

C. 高差

(2) 地面点的空间位置是用()来表示的。

A. 地理坐标

B. 平面直角坐标

C. 坐标和高程

(3) 绝对高程的起算面是()。

A. 水平面

B. 大地水准面

C. 假定水准面

(4) 1985 国家高程基准中,水准原点的高程为()m。

A. 72.289

B. 72.260

C. 0

(5) 地面上某点,在高斯平面直角坐标系(6°带)的坐标为: $x=3\,429\,085\text{ m}$, $y=21\,634\,560\text{ m}$ 。则该点位于()投影带,其中央子午线经度是()。

A. 第 21

B. 123°

C. 第 34

D. 第 20

E. 117°

(6) 北京某地区的地理坐标为:北纬 $39^\circ54'$,东经 $116^\circ28''$ 。按高斯 6°带投影,该地区位于()投影带,其中央子午线经度是()。

A. 第 20

B. 117°

C. 第 19

D. 115°

E. 120°

2. 简答题

(1) 什么是大地水准面?

(2) 什么是高程? 绝对高程和相对高程有何区别?

(3) 我国水准原点在哪里? 其高程为多少?

(4) 测量工作的基本原则是什么?

(5) 测量的三项基本工作是什么?

(6) 误差是由哪些因素引起的? 误差能否避免?

(7) 什么是系统误差、偶然误差? 二者有何区别?

(8) 偶然误差的特性有哪些?

(9) 什么是中误差?

Chapter 2

第 2 章 高程测量

2.1 用水准仪测量相距 30 m 左右 A、B 两点的高差

2.1.1 知识准备

一、水准测量的基本原理

水准测量的原理是借助水准仪提供的水平视线,配合水准尺测定地面上两点间的高差,然后根据已知点的高程来推算出未知点的高程。

如图 2.1 所示,已知 A 点高程为 H_A ,要测出 B 点高程 H_B ,在 A、B 两点间安置能提供水平视线的仪器——水准仪,并在 A、B 两点各竖立水准尺,利用水平视线分别读出 A 点尺子上的读数 a 及 B 点尺子上的读数 b ,则 A、B 两点间的高差为

$$h_{AB} = a - b \quad (2.1)$$

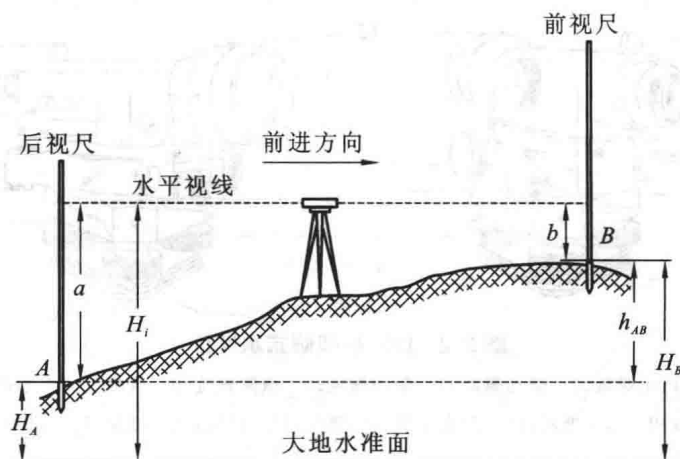
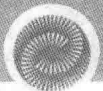


图 2.1 水准测量原理图

当水准测量由 A 点向 B 点方向前进观测时,A 点位于水准仪后视方向,称 a 为后视读数;B 点位于水准仪前视方向,称 b 为前视读数。



由式(2.1)可以得出,两点间的高差等于后视读数减去前视读数。当 $a > b$ 时,高差为正值,说明 A 点低于 B 点;当 $a < b$ 时,高差为负值,说明 A 点高于 B 点;当 $a = b$ 时,高差为零,说明 A 点与 B 点同高。

测得 A、B 两点高差 h_{AB} 后,则未知点 B 的高程 H_B 为

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + a - b \quad (2.2)$$

由图 2.1 可知,B 点高程也可以通过水准仪的视线高程 H_i (也称为仪器高程)来计算,视线高程为 H_i ,等于 A 点高程加 A 点水准尺上的后视读数,即

$$H_i = H_A + a \quad (2.3)$$

则

$$H_B = H_A + a - b = H_i - b \quad (2.4)$$

一般情况下,用式(2.2)直接利用高差 h_{AB} 计算待求点高程,称为高差法,常用于各种控制测量与监测。式(2.4)利用水准仪视线高程计算待求点高程,称为视线高法,这种方法只需要观测一次后视,就可以通过观测若干个前视计算出多点高程,该法主要用于各种工程勘测与施工测量。

二、水准仪和水准尺

水准仪是水准测量的主要仪器。按水准仪所能达到的精度,它分为 DS_{05} 、 DS_1 、 DS_3 及 DS_{10} 等型号。其中“D”和“S”表示“大地测量”和“水准仪”中“大”和“水”的汉语拼音的首字母,数字“05”“1”“3”及“10”表示仪器所能达到的精度,如 05、3 表示对应型号的水准仪进行 1 km 往返水准测量的高差中误差分别能达到 ± 0.5 mm 和 ± 3 mm。仪器型号中的数字越小,仪器精度越高。 DS_{05} 、 DS_1 型水准仪属于精密水准仪,用于高精度水准测量, DS_3 和 DS_{10} 属于普通水准仪,主要用于国家三、四等水准测量或一般工程测量。本节主要介绍 DS_3 型水准仪及其使用。

(一) DS_3 型水准仪的构造与使用

DS_3 型微倾式水准仪,主要由望远镜、水准器及基座三部分组成,如图 2.2 所示。

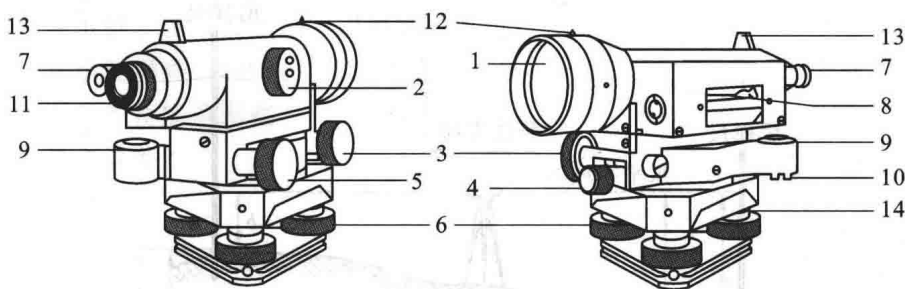


图 2.2 DS_3 型微倾式水准仪

- 1—物镜;2—物镜调焦螺旋;3—微动螺旋;4—制动螺旋;5—微倾螺旋;6—脚螺旋;7—水准管气泡观察窗;
8—管水准器;9—圆水准器;10—圆水准器校正螺丝;11—目镜;12—准星;13—照门;14—基座

望远镜用于照准目标和清晰地观察水准尺上的数据,水准器用于控制视线水平,基座与三脚架连接,用于支撑水准仪使之稳定工作。

1. 望远镜

望远镜的主要作用是瞄准远方目标,使目标成像清晰、扩大视角,以精确照准目标。 DS_3 型水准仪的望远镜基本结构如图 2.3 所示,由物镜系统、十字丝分划板、目镜系统构成。

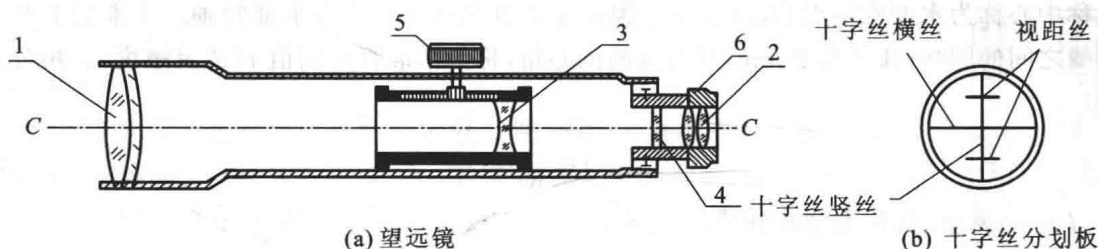


图 2.3 望远镜的结构

1—物镜;2—目镜;3—物镜调焦透镜;4—十字丝分划板;5—物镜调焦螺旋;6—目镜调焦螺旋

十字丝分划板为圆形透明玻璃板,刻有相互垂直、构成十字形状的纵丝和横丝,统称为十字丝。纵丝亦称竖丝,应调整到铅垂线方向,用于瞄准目标;横丝亦称中丝,应调整到水平方向用于读取水准尺的读数。中丝上、下两侧且平行于中丝的两根短横丝分别称为上丝和下丝,统称为视距丝,用于测定水准仪至水准尺的距离。水准尺等目标的影像经过物镜系统,成像到十字丝板上与十字丝重合;人眼通过目镜系统观察目标或读取十字丝处的水准尺的数据。

物镜系统由物镜、物镜调焦透镜、物镜调焦螺旋组成。物镜将水准尺等远处目标,经放大后成像到十字丝分划板附近。由于目标至物镜的距离不同,则通过物镜所形成的影像到十字丝分划板的距离也不同。旋转物镜调焦螺旋,让物镜调焦透镜在视线方向上前后移动,使得目标透过物镜与调焦透镜组合形成的等效物镜后所形成的影像,能与十字丝分划板重合。

目镜系统由目镜、目镜调焦透镜和目镜调焦螺旋组成。目镜和目镜调焦透镜的工作原理与物镜和物镜调焦透镜相同。由于人眼视力的差异,需要旋转目镜调焦螺旋以移动目镜调焦透镜,使人眼能同时看清十字丝和目标的影像。

物镜光学中心与十字丝交点的连线,称为视准轴,用 CC 表示。延长视准轴并控制其水平,便得到水准测量中所需要的水平视线。

2. 水准器

水准器是水准仪上的重要部件,它是利用液体受重力作用后使气泡居于最高处的特性,来指示水准器的水准轴位于水平或竖直位置,从而使水准仪获得一条水平视线的装置。水准器分为圆水准器和水准管两种。

1) 圆水准器

如图 2.4 所示,圆水准器用于粗略整平仪器,它是一个密封玻璃圆盒,里面装有液体并形成一个气泡,其顶面为球面,球面中央小圆圈中心 O 为圆水准器零点,过零点的法线 $L'L'$ 称为圆水准器轴。由于它与仪器的旋转轴(竖轴)平行,所以当圆气泡居中时,圆水准器轴处于竖直(铅垂)位置,表示水准仪的竖轴也大致处于竖直位置了。 DS_3 水准仪圆水准器分划值一般为 $8' \sim 10'$,由于分划值较大,则灵敏度较低,只能用于仪器的粗略整平,为仪器精确整平创造条件。

2) 水准管

如图 2.5 所示,水准管用于精确整平仪器。它是一个密封的玻璃管,里面装有液体并形成一个长形气泡,水准管的内壁为圆弧形,水准管两端各刻有间隔为 2 mm 的分划线,分划线

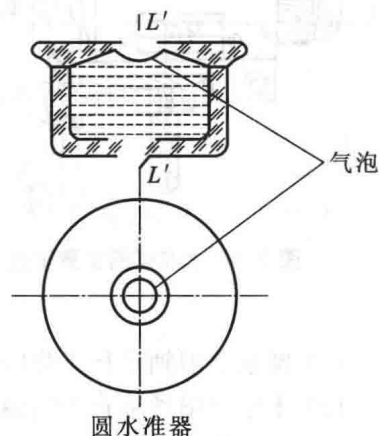


图 2.4 圆水准器