

中等职业教育国家规划教材

员煤自精爽早悦笔聚早

# 工程测量

(公路与桥梁专业)

主摇摇编摇摇张保成

责任主审摇摇胡大琳

审摇摇稿摇摇张碧琴  
许娅娅

人民交通出版社

摇摇为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》,落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的“职业教育课程改革和教材建设规划”,教育部全面启动了中等职业教育国家规划教材建设工作。交通职业教育教学指导委员会路桥工程学科委员会组织全国交通职业学校(院)的教师,根据教育部最新颁布的公路与桥梁专业的主干课程教学基本要求,编写了中等职业教育公路与桥梁专业国家规划教材共 8 册,并通过了全国中等职业教育教材审定委员会的审定。

本套教材的编写融入了全国各交通职业学校(院)公路与桥梁专业的教学改革成果,并结合了最新的技术标准、规范以及公路科技进步等情况,具有较强的针对性。新教材较好地贯彻了素质教育的思想,力求体现以人为本的现代理念,从交通行业岗位群的知识 and 技能要求出发,并结合对培养学生创新能力、职业道德方面的要求,提出教学目标并组织教学内容,在教材的理论体系、组织结构、内容描述上与传统教材有了明显的区别。

《工程测量》是中等职业教育公路与桥梁专业国家规划教材之一,内容包括绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识、导线测量、小三角测量、地形图测绘与应用、公路路线测量、平曲线测设、施工放样的基本方法、测量新仪器和新技术简介共 8 章。

参加本书编写工作的有:内蒙古大学职业技术学院张保成(编写第一、二、三、四、五、六、七、九章和第十章的第一、二、三节)、湖北交通职业技术学院田文(编写第八、十二章)、河南省交通学校王平安(编写第四章的第四节、第十章的第四、五、六、七节和第十一章),全书由内蒙古大学职业技术学院张保成担任主编,四川交通职业技术学院李全文担任责任编委。人民交通出版社聘请湖南交通职业技术学院文德云高级讲师担任本套教材的总统稿人。

本书由长安大学胡大琳教授担任责任主审,长安大学张碧琴、许娅娅副教授审稿。他们对书稿提出了宝贵意见,在此,表示衷心感谢。摇摇摇

# 前 摇 言

摇摇限于编者经历及水平,教材内容很难覆盖全国各地的实际情况,希望各教学单位在积极选用和推广国家规划教材的同时,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,以便再版修订时改正。

交通职业教育教学指导委员会  
路桥工程学科委员会  
二〇〇二年五月

# 第一章 绪论

## 第一节 工程测量的任务和作用

### 一、测量学的一般概念

测量学是测定地面点的空间位置,将地球表面地形和其他地理信息测绘成图,研究并确定地球形状和大小的科学。随着近代科学技术的迅猛发展和社会生产的广泛需要,测量学已发展为以下几门彼此紧密联系又自成体系的分支学科,它包括:

普通测量学——研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技能、方法及普通测量仪器的使用技术和大比例尺地形图测绘与应用的学科,是测量学的基础部分。

大地测量学——研究在较大区域内建立高精度大地控制网,测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术及方法的学科。由于人造地球卫星的发射和空间技术的发展,大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学以及空间大地测量学。大地测量工作为其他测量工作提供高精度的起算数据,也为空间科学技术和国防建设提供精确的点位坐标、距离、方位及地球重力场资料,并为与地球有关的科学研究提供重要的资料。

摄影测量学——研究利用摄影手段来获得被测物体的图像信息,从几何和物理方面进行分析处理,对所摄对象的本质提供各种资料的一门学科。由于摄影取得的信息能真实和详尽地记录摄影瞬间客观景物的形态,具有良好的量测精度和判读性能,因此摄影测量除用于常规测绘摄影区域的地形图外,还广泛应用于建筑、考古、生物、医学、工业等领域,如桥梁变形观测、汽车碰撞试验、爆炸过程监视和动态目标测量等方面。

工程测量学——研究工程建设在勘测设计、施工过程和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。主要内容有:工程控制网的建立、地形测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测和维修养护测量等。工程测量学是一门应用科学。它是在数学、物理学等有关学科的基础上应用各种测量技术解决工程建设中实际测量问题的学科。随着激光技术、光电测距技术、工程摄影测量技术、快速高精度空间定位技术在工程测量中的应用,工程测量学的服务面愈来愈广,特别是现代大型工程的建设,大大促进了工程测量学的发展。

我国的测量技术有着悠久的历史,在几千年的文明历史中有着许多关于测量的记载,如战国时期就发明了世界上最早的指南针;东汉张衡发明的浑天仪;西晋裴秀提出的《制图体系》;到17世纪初清康熙年间,进行了大规模的大地测量,于1718年完成了世界上最早的地形图之一——《皇舆全图》。新中国成立后,测绘事业得到了迅速的发展,成立了国家和地方测绘管理机构,建立了全国天文大地控制网,统一了全国大地坐标和高程系统,测绘了国家基本地形图,在测绘人才培养、测绘科研等方面都取得了巨大的成就。尤其是现代科学技术的发展,测量内容由常规的大地测量发展到人造卫星大地测量;由空中摄影测量发展到遥感技术的应用;被测对象由地球表面扩展到空间,由静态发展到动态,测量仪器已广泛趋向电子化和自动化。

## 二、公路工程测量的任务和作用

测量在公路工程建设中占有非常重要的地位,从公路与桥梁的勘测设计,到施工放样、竣工检测无不用到测绘技术。例如公路在建设之前,为了确定一条经济合理的路线,必须进行路线勘测,绘制带状地形图和纵、横断面图,并在图上进行路线设计,然后将设计路线的位置标定在地面上,以便进行施工。当路线跨越河流时,必须建造桥梁,在建桥之前,测绘桥址河流两岸的地形图,测量河床断面、水位、流速、流量和桥梁轴线的长度,以便设计桥台和桥墩的位置,最后将设计位置测设到实地。当路线跨越高山时,为了降低路线的坡度,减少路线的长度,多采用隧道穿越高山。在隧道修建之前,应测绘隧道大比例尺地形图,测定隧道轴线、洞口、竖井等位置,为隧道设计提供必要的的数据。在隧道施工过程中还需要不断地进行贯通测量以保证隧道构造物的平面位置和高程正确贯通。

为此,本教材将重点讲述普通测量学和公路工程测量学的基本理论、方法、仪器和技能,适当介绍测量新技术和新仪器在公路工程建设中的应用,如全球卫星定位系统(GPS)、电子经纬仪、全站式光电速测仪在高等级公路路线测量中的应用等内容。

学完本课程之后,学生应能够:

- (1)完成外业测量准备工作;
- (2)用水准仪测量高程;
- (3)用光学经纬仪测量角度;
- (4)用视距法进行地形测量;
- (5)操作、使用、维护、检校常规测绘仪器;
- (6)操作和使用全站仪;
- (7)记录和计算测量成果;
- (8)实施大比例尺地形图的测绘和公路中线与纵、横断面测量;
- (9)计算并设置圆曲线和缓和曲线;
- (10)进行工程施工放样。

## 第二节 地面点的定位体系

纵观测量学的研究内容和应用情况,无论是普通测量或是工程测量,最基本的测量内容是确定地面点的空间位置,因此有必要建立一个能表达地面点的空间位置的定位体系。

我们知道,地面点是相对于地球定位的。如果选择一个能代表地球形状和大小且相对固定的理想曲面作为测量的基准面,就可以用地面点在基准面上的投影位置和高度来确定地面点的空间位置。

### 一、测量的基准面

实际测量工作是在地球的自然表面上进行的,而地球自然表面是很不规则的,有陆地、海洋、高山和高原,通过长期的测绘工作和科学调查了解到,地球表面上海洋面积约占 70%,陆地面积占 30%。人们把地球总的形状看作是被海水包围的球体,也就是设想有一个自由平静的海水面,向陆地延伸而形成一个封闭的曲面,我们把这个自由平静的海水面称为水准面。水准面是一个处处与重力方向垂直的连续曲面,如图 1-1 所示。

圆

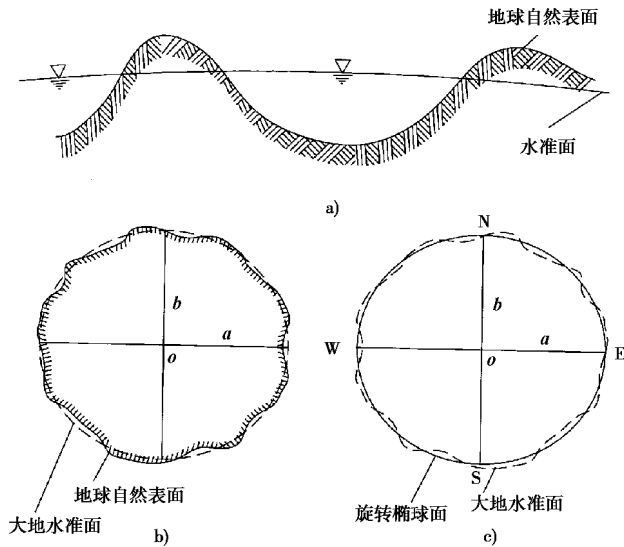


图 1-1

水准面在小范围内近似一个平面，而完整的水准面是被海水包围的封闭曲面。因为符合上述水准面特性的水准面有无数个，其中最接近地球形状和大小的是通过平均海水面的那个水准面，这个惟一而确定的水准面叫大地水准面，大地水准面就是测量的基准面，如图 1-1 所示。

由于地球内部质量分布不均匀，导致地面上各点的重力方向（即铅垂线方向）产生不规则的变化，因而大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面。如果将地面上的图形投影到这个不规则的曲面上，将无法进行测量计算和绘图，为此必须用一个和大地水准面的形状非常接近的可用数学公式表达的几何形体来代替大地水准面。在测量上是选用椭圆绕其短轴旋转而成的参考旋转椭球体面作为测量计算的基准面，如图 1-2 所示。

目前我国所采用的参考椭球体是“1980 年国家大地坐标系”，其参考椭球体元素为：

- |     |          |         |
|-----|----------|---------|
| 长半轴 | $a$      | } (1-1) |
| 短半轴 | $b$      |         |
| 扁率  | $\alpha$ |         |

通常把地球椭球体当作圆球看待，取其半径为  $R$ 。

## 二、地面点的测量坐标系

地面点在投影面上的坐标，根据具体情况，可选用下列三种坐标系中的一种来表示。

### 大地坐标系

在大地坐标系中，地面点在旋转椭球面上的投影位置用大地经度  $\lambda$  和大地纬度  $\varphi$  来表示，如图 1-3 所示。 $Z$  为椭球的旋转轴， $N$  表示北极， $S$  表示南极， $O$  为椭球中心。

通过椭球中心与椭球旋转轴正交的平面称为赤道平面。赤道平面与地球表面的交线称为赤道。

通过椭球旋转轴的平面称为子午面。其中通过英国伦敦格林尼治天文台的子午面称为起始子午面。子午面与椭球面的交线称为子午线。

图 1-3 中  $P$  点的大地经度就是通过该点的子午面与起始子午面的夹角，用  $\lambda$  表示，从起始子午面算起，向东自  $Z$  起，称为东经，向西自  $Z$  起，称为西经。

$P$  点的大地纬度就是该点的法线（与椭球面垂直的线）与赤道面的交角，用  $\varphi$  表示。从赤道面算起，向北自  $Z$  起，称为

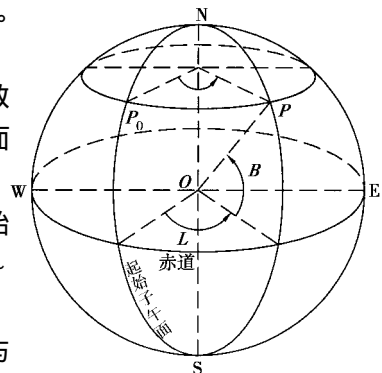


图 1-3

为北纬,向南自圆投,称为南纬。

大地经度  $\lambda$  和大地纬度  $\varphi$  统称大地坐标。地面点的大地坐标是根据大地测量数据由大地原点(大地坐标原点)推算而得的。我国“1954年国家大地坐标系”的大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇境内,在西安市以北约 100 公里处。以前使用的“1952年北京坐标系”是建国初期从原苏联引测过来的。

### 圆高斯平面直角坐标系

在研究大范围的地球形状和大小时,必须用大地坐标表示地面点的位置才符合实际。但在绘制地形图时,只能将参考椭球面上的图形用地图投影的方法描绘到纸的平面上,这就需要相应的地图投影方法建立一个平面直角坐标系。我国从 1954 年开始采用高斯投影作为地形图的基本投影,并以高斯投影的方法建立了高斯平面直角坐标系。由于投影具有规律性,因而地面点的高斯平面坐标与大地坐标可以相互转换。

高斯投影是地球椭球体面正形投影于平面的一种数学转换过程。为说明简单起见,可以用下面形象的投影过程来解说这种投影规律。

如图 1-1 所示,设想将截面为椭圆的一个圆柱面横套在地球椭球体外面,并与椭球体面上某一条子午线(如  $AA'$ )相切,同时使圆柱的轴位于赤道面内并通过椭球体中心。圆柱面与椭球体面相切的子午线称为中央子午线。若以椭球中心为投影中心,将中央子午线两侧一定经差范围内的椭球图形投影到圆柱面上,再顺着过南、北极点的圆柱母线将圆柱柱面剪开,展成平面,如图 1-2 所示,这个平面就是高斯投影平面。

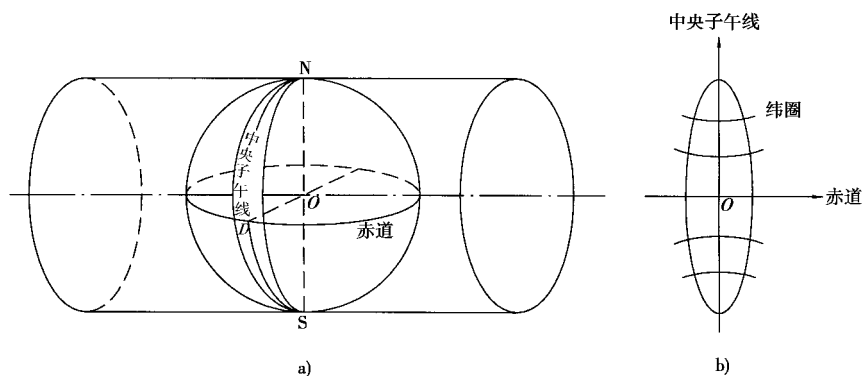


图 1-1 高斯投影

在高斯投影平面上,中央子午线投影为直线且长度不变,赤道投影后为一条与中央子午线正交的直线,离开中央子午线的线段投影后均要发生变形,且均较投影前长一些。离开中央子午线愈远,长度变形愈大。

为了使投影误差不至影响测图精度,规定以经差  $\Delta\lambda$  更小的经差为准来限定高斯投影的范围,每一投影范围叫一个投影带。如图 1-3 所示,投影带是从中央子午线算起,以经度每隔  $\Delta\lambda$  为一带,将整个地球划分成  $n$  个投影带,并用阿拉伯数字 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 顺次编号,叫做高斯  $n$  度投影带(简称  $n$  度带)。投影带中央子午线经度  $\lambda_0$  与投影带号  $N$  之间的关系式为:

$$\lambda_0 = \Delta\lambda(N - 0.5) + \lambda_{180} \quad (1-1)$$

例:某城市中心的经度为  $\lambda$ ,求其所在高斯投影  $n$  度带的中央子午线经度  $\lambda_0$  和投影带号  $N$ 。

解:根据题意,其高斯投影  $n$  度带的带号为:

源 此为试读,需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)



测量上选用的平面直角坐标系,规定纵坐标轴为 载轴,表示南北方向,向北为正;横坐标轴为 再轴,表示东西方向,向东为正;坐标原点可假定,也可选在测区的已知点上。象限按顺时针方向编号。测量所用的平面直角坐标系之所以与数学上常用的直角坐标系不同,是因为测量上的直线方向都是从纵坐标轴北端顺时针方向量度的,而三角学中三角函数的角则是从横坐标轴正端按逆时针方向量度。把 载轴与 再轴互换后,全部三角公式都能在测量计算中应用。

### 三、地面点的高程系统

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程或海拔,简称高程。它与地面点的坐标共同确定地面点的空间位置。在图 员中,粤月两点的高程分别为 匀、匀。

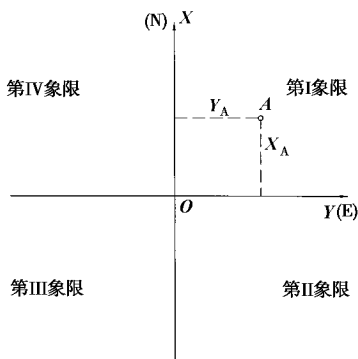


图 员

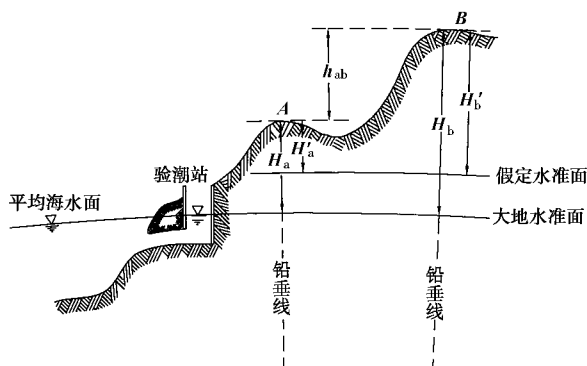


图 员

国家高程系统的建立通常是在海边设立验潮站,经过长期观测推算出平均海水面的高度,并以此为基准在陆地上设立稳定的国家水准原点。我国曾采用青岛验潮站 员~ 员年观测资料推算黄海平均海水面作为高程基准面,称为“员年黄海高程系”,并在青岛观象山的一个山洞里建立了国家水准原点,其高程为 苑。由于验潮资料不足等原因,我国自 员年启用“员年国家高程基准”。它是采用青岛大港验潮站 员~ 员的潮汐观测资料计算的平均海水面,依此推算的国家水准原点高程为 苑。

当在局部地区进行高程测量时,也可以假定一个水准面作为高程起算面。地面点到假定水准面的铅垂距离称为假定高程或相对高程。在图 员中,粤月两点的相对高程为 匀、匀。

地面上两点高程之差称为这两点的高差。图 员中,粤月两点间的高差为:

$$h_{ab} = H_b - H_a \quad (员)$$

## 第三节 测量工作概述

### 一、测量的基本工作

根据前面所述,测量工作的基本内容是确定地面点的位置。它有两方面的含义,一方面是将地面点的实际位置用坐标和高程表示出来;另一方面是根据点位的设计坐标和高程将其在实地上的位置标定出来。要完成上述任务,必须用测量仪器通过一定的观测方法和手段测出已知点与未知点之间所构成的几何元素,才能由已知点导出未知点的位置。

点与点之间构成的几何元素有:距离、角度和高差,这三个基本元素称之为测量三要素。

如图 1-1 所示, 水准测量为地面点在水面上的投影位置, 确定这些点的位置不是直接在地面上测定它们的坐标和高程, 而是首先测定相邻点间的几何元素, 即距离  $D_1, D_2, D_3$ , 水平角  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  和高差  $h_1, h_2, h_3$ , 再根据已知点  $E$  的坐标及高程来推算  $F, a, b, c$  各点的坐标和高程。由此可见, 距离、角度和高差是确定地面点位置的三个基本元素, 而距离测量、角度测量和高差测量是测量的基本工作。这部分内容在本书中将占有大量的篇幅。

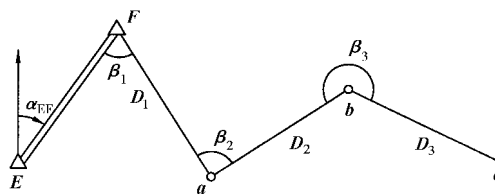


图 1-1 水准测量

## 二、测量工作的原则和方法

在进行某项测量工作时, 往往需要确定许多地面点的位置。假如从一个已知点出发, 逐点进行测量和推导, 最后虽可得到欲测各点的位置, 但这些点很可能是不正确的, 因为前一点的测量误差将会传递到下一点。误差经传递积累起来, 最后可能达到不可允许的程度。因此测量工作必须依照一定的原则和方法来防止测量误差的积累。

在实际测量工作中应遵循的原则是: 在测量布局上要“从整体到局部”; 在测量精度上要“由高级到低级”; 在测量程序上要“先控制后碎部”。也就是在测区整体范围内选择一些有“控制”意义的点, 首先把它们的坐标和高程精确地测定出来, 然后以这些点作为已知点来确定其他地面点的位置。这些有控制意义的点组成了测区的测量骨干, 称之为控制点。

采用上述原则和方法进行测量, 可以有效控制误差的传递和积累, 使整个测区的精度较为均匀和统一。

## 三、控制测量的概念

为了测定控制点的坐标和高程所进行的测量工作称之为控制测量。它包括平面控制测量和高程控制测量。

控制测量是整个测量过程中的重要环节, 它起着控制全局的作用。对于任何一项测量任务, 必须先进行整体性的控制测量, 然后以控制点为基础进行局部的碎部测量。例如大桥的施工测量, 首先建立施工控制网, 进行符合精度要求的控制测量, 然后在控制点上安置仪器进行桥梁墩台位置等的放样。

在国家广大的区域内, 测绘部门已布设了高精度的国家平面控制网和国家高程控制网。国家基本的平面和高程控制按照精度的不同, 分为一、二、三、四等, 由高级到低级逐级布设。

由于国家基本的平面和高程控制点的密度(如四等平面控制点的平均间距为 10km)远不能满足地形测图和工程建设的需要, 因此, 在国家基本控制点的基础上还须进行小区域的平面和高程控制测量。本书在后续章节中将详细讲述小区域控制测量(即平面控制测量——导线和小三角测量; 高程控制测量——水准测量)的布网形式和测量与计算方法。

## 本章小结

通过本章的学习, 学生应重点理解和掌握下列基本知识:

## 一、基准面的概念

水准面——自由平静的海水面。

大地水准面——通过平均海水面的水准面。

高程基准面——地面点高程的起算面。

## 二、测量坐标系

高斯平面直角坐标系——采用分带投影后,以中央子午线的投影线为 载轴,向北为正;以赤道投影线为 再轴,向东为正;以两轴交点 韵为原点的坐标系。

高斯平面直角坐标系中,中央子午线经度  $\lambda_0$  与投影带号  $n$  之间的关系式为:

$$\lambda_0 = (n - 1) \times 6^\circ + \lambda_{\text{带首中央子午线}}$$

高斯平面直角坐标的通用值是指在横坐标 再的自然值上再加 缘,并在坐标值最前面加上投影带带号。

平面直角坐标系——当测区范围较小时,把测区面当作平面看待,直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上,用平面直角坐标来表示它的投影位置。坐标纵轴为 载轴,向北为正;坐标横轴为 再轴,向东为正;坐标原点可假定,也可选在测区的已知点上。象限按顺时针编号。

## 三、高程系统

以高程基准面(大地水准面)或假定水准面为地面点高程起算面的系统。

## 四、测量工作的原则

测量工作遵循“从整体到局部;由高级到低级;先控制后碎部”的原则。

## 思考题与习题

### 一、思考题

为什么说测量在公路工程建设中占有非常重要的地位?

什么叫水准面、大地水准面、水平面?

高斯平面直角坐标系纵横坐标的确立原则是什么?

什么叫绝对高程(海拔)?什么叫相对高程?什么叫高差?

确定地面上点的位置需要哪些元素?

测量工作应遵循怎样的原则?

### 二、习题

已知某点所在高斯平面直角坐标系中的坐标为  $x = 12345678.9$ ,  $y = 98765432.1$ 。问该点位于高斯 分带投影的第几带?该带中央子午线的经度是多少?该点位于中央子午线的东侧还是西侧?

某地区采用独立的假定高程系统,已测得 粤、月、悦三点的假定高程为  $h_{\text{粤}} = 123.456$ ,  $h_{\text{月}} = 234.567$ ,  $h_{\text{悦}} = 345.678$ , 今由国家水准点引测,求得 粤点高程为  $H_{\text{粤}} = 456.789$ , 试计算 月、悦点的绝对高程是多少?

## 第二章 水准测量

水准测量的主要目的是测出一系列点的高程。这些点称为水准点。为了适应各种工程对水准点密度和精度的需要，国家测绘部门对全国的水准测量作了统一的规定，分为四个等级。以精度分：一等水准测量精度最高，四等水准测量精度最低；以用途分：一、二等水准测量主要用于国家精密水准点高程的测定和科学研究，也作为三、四等水准测量的起算高程，三、四等水准测量主要用于国防建设、工程建设和测绘地形图。为了进一步满足工程施工和测绘大比例尺地形图的需要，以三、四等水准点为起始点，尚须再用普通水准测量即五等水准测量方法布设和测定工程水准点或图根水准点的高程。普通水准测量（也称五等水准测量）的精度低于国家等级水准测量，而水准路线的布设及水准点的密度可根据具体工程和地形测图的要求有较大的灵活性。

本章主要介绍三、四等和普通水准测量的仪器、施测和成果处理方法。

### 第一节 水准测量原理

水准测量的基本测法是：在图 2-1 中，已知 A 点的高程为  $H_A$ ，只要能测出 A 点至 B 点的高程之差，简称高差  $h_{AB}$ ，则 B 点的高程  $H_B$  就可用下式计算求得：

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-1)$$

由此可知，要测量 B 点的高程，除需有一已知高程的 A 点外，关键是如何测出 A、B 两点之间的高差  $h_{AB}$ 。

用水准测量方法测定高差  $h_{AB}$  的原理简述如下：如图 2-2 所示，在 A、B 两点上竖立水准尺，并在 A、B 两点之间安置一架可以得到水平视线的仪器即水准仪，设水准仪的水平视线截在尺上的位置分别为 a、b，过 A 点作一水平线与过 B 点的竖线相交于 c，因为 ac 的高度就是 A、B 两点之间的高差  $h_{AB}$ ，所以由矩形 acBc 就可以得到计算  $h_{AB}$  的公式：

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

测量时，a、b 的值是用水准仪瞄准水准尺时直接读取的读数值。因为 A 点为已知高程点，通常称为后视点，其读数 a 为后视读数，而 B 点称为前视点，其读数 b 为前视读数，则有：

$$h_{AB} = \text{后视读数} - \text{前视读数}$$

实际上高差  $h_{AB}$  有正有负。由式(2-2)知，当 a 大于 b 时， $h_{AB}$  值为正，这种情况是 B 点高于 A 点，地形为上坡；当 a 小于 b 时， $h_{AB}$  值为负，即 B 点低于 A 点，地形为下坡。但无论  $h_{AB}$  值为正或为负，式(2-1)始终成立。为了避免计算中发生正负符号上的错觉，在书写高差  $h_{AB}$  时必

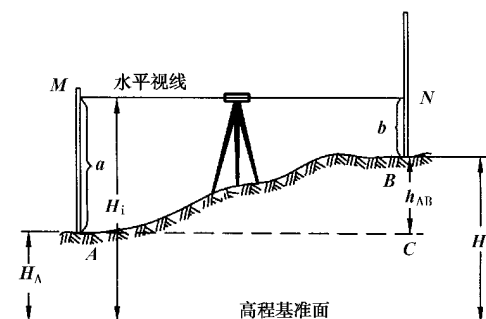


图 2-2 水准测量原理

须注意 澡下面的小字脚标 粤,前面的字母代表了已知后视点的点号 ,也就是说 澡是表示由已知高程的后视点 粤推算至未知高程的前视点 月的高差。

有时安置一次仪器须测算出较多点的高程 ,为了方便起见 ,可先求出水准仪的视线高程 ,然后再分别计算各点高程。从图 圆中可以看出 :

$$\begin{aligned} \text{视线高程} &= \text{粤} + \text{越} && \text{圆} \\ \text{月点高程} &= \text{粤} + \text{越} - \text{原} && \text{圆} \end{aligned}$$

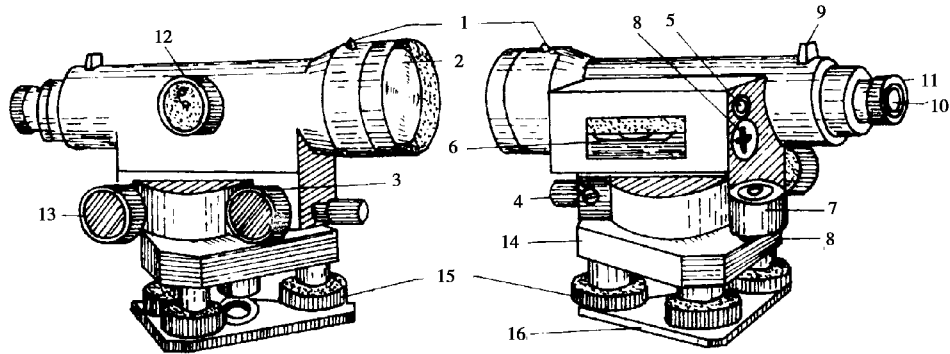
综上所述 ,要测算地面上两点间的高差或点的高程 ,所依据的就是一条水平视线 ,如果视线不水平 ,上述公式不成立 ,测算将发生错误。因此 ,视线必须水平 ,是水准测量中要牢牢记住的操作要领。

## 第二节 水准仪和水准尺

水准仪是水准测量的主要仪器 ,我国生产的水准仪按精度分为 阅, 阅, 阅, 阅, 阅等级 ;“ 杂”和“ 阅”分别为水准仪的“ 水”和大地测量的“ 大”汉语拼音的第一个字母 ,圆和圆是指水准仪每公里往返测高差中数的偶然中误差 ,以 皂皂计。

### 一、微倾式水准仪的构造

如图 圆所示 ,微倾式水准仪主要由望远镜、水准器和基座组成。水准仪的望远镜能绕仪器竖轴在水平方向转动 ,为了能精确地提供水平视线 ,在仪器构造上安置了一个能使望远镜上下作微小运动的微倾螺旋 ,所以称微倾式水准仪。



图圆 微倾式水准仪的构造

圆 望远镜 圆 物镜 圆 微倾螺旋 圆 制动螺旋 圆 符合水准器观测镜 圆 水准管 圆 水准盒 圆 校正螺丝 圆 照门 圆 目镜 圆 目镜对光螺旋 圆 物镜对光螺旋 圆 微倾螺旋 圆 基座 圆 脚螺旋 圆 连接板

#### 圆 望远镜

望远镜由物镜、目镜和十字丝三个主要部分组成 ,它的主要作用是能使我们看清远处的目标 ,并提供一条照准读数值用的视线。图 圆为内对光望远镜构造图 ,图 圆是望远镜的成像原理示意图。当观测目标通过物镜后 ,在镜筒内造成一个倒立的缩小实像 ,转动物镜对光螺旋 ,可以使倒像清晰地反映到十字丝平面上。目镜的作用是放大 ,人眼经目镜看到的是倒立小实像和十字丝一起放大的虚像。十字丝的作用是提供照准目标的标准线。为了提高望远镜成像的质量 ,物镜和目镜以及对光透镜由多块透镜组合而成。放大的虚像与用眼睛直接看到目标大小的比值称为望远镜的放大率 ,它是鉴别望远镜质量的主要指标之一 ,反映了望远镜的

鉴别能力。一般水准仪望远镜放大率为 20 倍, 高精度的仪器达到 30 倍。

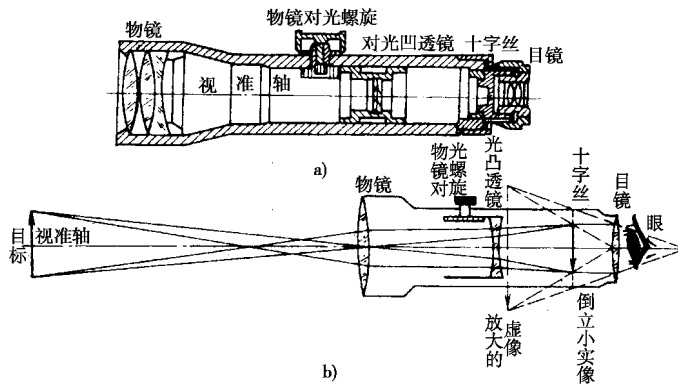


图 1-10 望远镜

十字丝是在玻璃片上刻线后, 装在十字丝环上, 用三个或四个可转动的螺旋固定在望远镜筒上, 如图 1-10 所示。十字丝的上下两条短线称为视距丝。由上丝和下丝在标尺上的读数可求得仪器到标尺间的距离。十字丝横丝与竖丝的交点与物镜光心的连线称为视准轴。

为了控制望远镜的水平转动幅度, 在水准仪上装有一套制动和微动螺旋。当拧紧制动螺旋时, 望远镜就被固定, 此时可转动微动螺旋, 使望远镜在水平方向做微小转动来精确照准目标, 当松开制动螺旋时, 微动就失去作用。有些仪器是靠摩擦制动, 无制动螺旋而只有微动螺旋。

### 圆水准器

水准器的作用是使望远镜的视准轴安置到水平位置。水准器有管水准器和圆水准器两种形式。

圆水准器是一个玻璃圆盒, 圆盒内装有化学液体, 加热密封时留有气泡而成, 如图 1-11 所示。

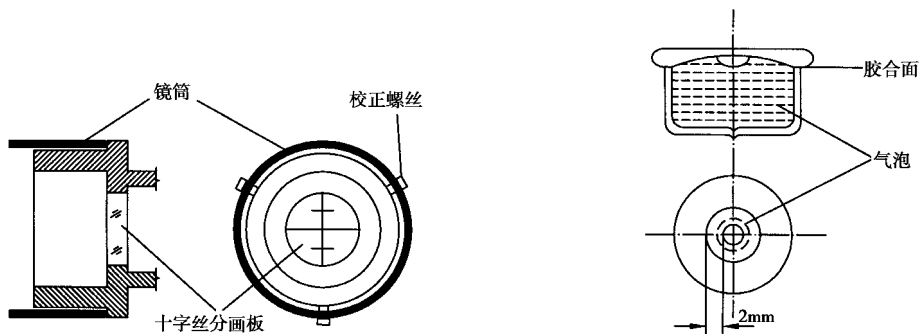


图 1-11 圆水准器

图 1-11 圆水准器

圆水准器内表面是圆球面, 中央画一小圆, 其圆心称为圆水准器的零点, 过此零点的法线称为圆水准器轴。当气泡中心与零点重合时, 即为气泡居中。此时, 圆水准轴线位于铅垂位置。也就是说水准仪竖轴处于铅垂位置, 仪器达到基本水平状态。圆水准器分画值一般为  $1/2$  度。

管水准器简称水准管, 它是把玻璃管纵向内壁磨成曲率半径很大的圆弧面, 管壁上有刻画线, 管内装有酒精与乙醚的混合液, 加热密封时留有气泡而成, 如图 1-12 所示。

水准管内壁圆弧中心为水准管零点, 过零点与内壁圆弧相切的直线称为水准管轴。当气

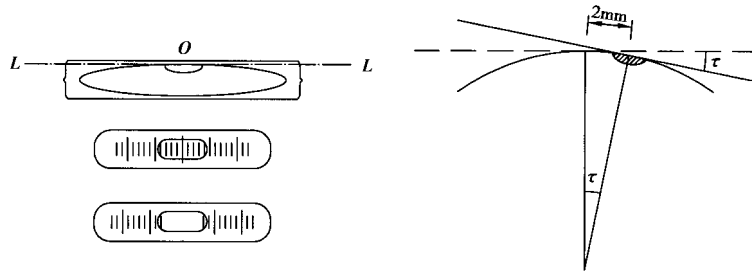


图 1-10 水准管

泡两端与零点对称时称气泡居中,这时的水准管轴处于水平位置,也就是水准仪的视准轴处于水平位置。水准管气泡偏离零点圆弧弧长所对圆心角  $\tau$  称为水准管分画值。即:

$$\tau \text{ 越 大 } \rho \text{ 越 小 } \quad (\text{圆 缘})$$

式中  $\rho$  —— 水准管分画值

$\rho$  —— 水准管圆弧半径,以 mm 为单位。

一般以水准管分画值表示水准管的灵敏度,普通型水准仪的水准管分画值通常为 30''/mm,精密水准仪的水准管分画值通常为 10''/mm。

符合式水准器是在水准管上方装有一组符合棱镜组,如图 1-11 所示,它是提高水准器置平精度的一种装置。气泡两端的半影像经过折反射之后,反映在望远镜旁的观测窗内,其视场如图 1-12 所示。如果两端半影像重合,就表示水准管气泡已居中,如图 1-13 所示,否则就表示气泡没有居中。

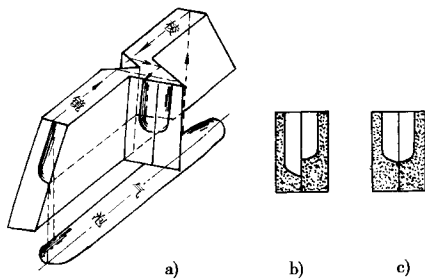


图 1-11 符合式水准器

由于符合式水准器通过符合棱镜组的折光反射把气泡偏移零点的距离放大一倍,因此较小的偏移也能充分反映出来,从而提高了置平精度。

### 基座

基座主要由轴座、脚螺旋和连接板组成。仪器上部通过竖轴插入座内,由基座承托整个仪器,仪器用连接螺旋与三脚架连接。

## 二、水准测量工具

水准尺是与水准仪配合进行水准测量的工具。水准尺分为直尺、折尺和塔尺,如图 1-14 所示。直尺、折尺长为 3m,塔尺有单面尺和双面尺两种。

水准尺的刻画从零开始,每隔 1m 或 2m 涂有黑白或红白相间的分格,每分米处注有数字。分米准确位置有的以字底为准,有的以字顶为准,还有的把数字写在所在分米中间。塔尺是双面刻画,有正字或倒字。

### 水准尺

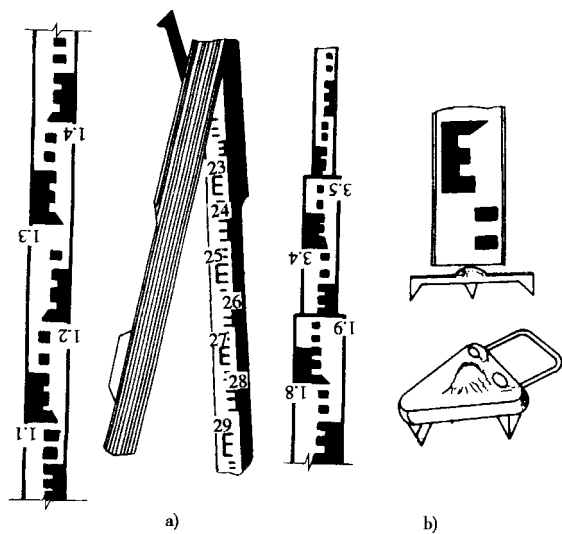


图 1-14 水准尺

双面水准尺的刻画,一面是黑白相间的称黑色面(主尺),黑面刻画尺底为零,另一面是红白相间的称红色面(辅助尺)红面刻画尺底为一常数。源~~源~~或源~~源~~。利用红黑面尺零点差可以对水准尺读数进行校核,以提高水准测量精度。使用水准尺前一定要认清刻画特点。

尺垫是供支承水准尺和传递高程所用的工具,如图 圆~~圆~~所示,一般制成三角形或圆形的铁座,中央有一凸起的半圆球体为置尺的转点,下有三个尖脚可踏入土中。尺子竖立在尺垫上,可防止尺子下沉,转动尺子时不会改变其高度。

### 第三节 摇水准仪的技术操作

在水准仪的使用过程中,应首先打开三脚架,把架头大致水平,高度适中,踏实脚架尖后,将水准仪安放在架头上并拧紧中心螺旋。当地面倾斜较大时,应将三脚架的一个脚安置在倾斜方向上,将另两个脚安置在与倾斜方向垂直的方向上,这样安置仪器比较稳固,如图 圆~~圆~~所示。



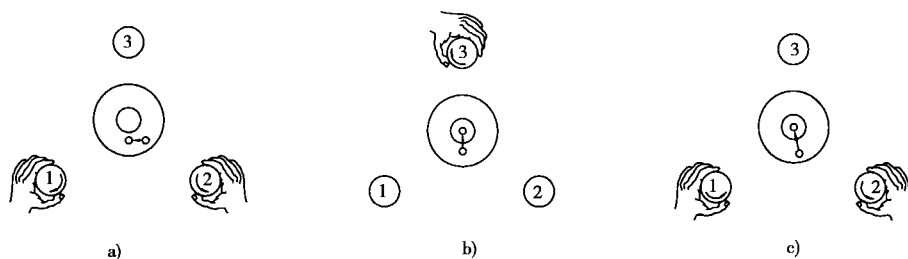
图摇圆~~圆~~

水准仪的技术操作按以下四个步骤进行:粗平—照准—精平—读数。

#### 一、粗摇摇平

粗平就是通过调整脚螺旋,将圆水准气泡居中,使仪器竖轴处于铅垂位置,视线概略水平。具体做法是:用两手同时以相对方向分别转动任意两个脚螺旋,此时气泡移动的方向和左手大拇指旋转方向相同,如图 圆~~圆~~所示。然后再转动第三个脚螺旋使气泡居中,如图 圆~~圆~~所示。如此反复进行,直至在任何位置水准气泡均位于分画圆圈内为止。

在操作熟练后,不必将气泡的移动分解为两步,视气泡的具体位置而转动任两个脚螺旋直接使气泡居中,如图 圆~~圆~~所示。



图摇圆~~圆~~

#### 二、照摇摇准

照准就是用望远镜照准水准尺,清晰地看清目标和十字丝。其做法是:首先转动目镜对光螺旋使十字丝清晰,然后利用照门和准星瞄准水准尺,瞄准后要旋紧制动螺旋,转动物镜对光螺旋使尺像清晰,再转动微动螺旋,使十字丝的竖丝照准尺面中央。在上述操作过程中,由于目镜、物镜对光不精细,目标影像平面与十字丝平面未重合好,当眼睛靠近目镜上下微微晃动时,物像随着眼睛的晃动也上下移动,这就表明存在着视差。有视差就会影响照准和读数精度,如图 圆~~圆~~、圆~~圆~~所示。消除视差的方法是仔细且反复交替地调节目镜和物镜对光螺旋,使

十字丝和目标影像共平面,且同时都十分清晰,如图 10-10 所示。

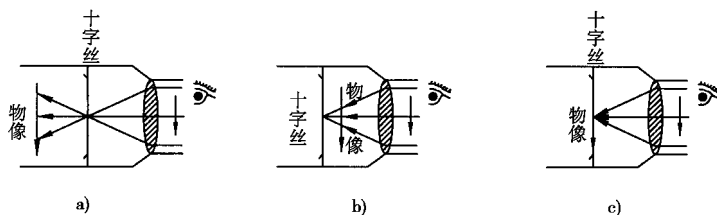


图 10-10

### 三、精摇摇平

精平就是转动微倾螺旋将水准管气泡居中,使视线精确水平。其做法是:慢慢转动微倾螺旋,使观察窗中符合水准气泡的影像符合。左侧影像移动的方向与右手大拇指转动方向相同。摇摇摇

由于气泡影像移动有惯性,在转动微倾螺旋时要慢、稳、轻,速度不宜太快。

必须指出的是:具有微倾螺旋的水准仪粗平后,竖轴不是严格铅垂的,当望远镜由一个目标(后视)转瞄另一目标(前视)时,气泡不一定完全符合,还必须注意重新再精平,直到水准管气泡完全符合才能读数。

### 四、读摇摇数

读数就是在视线水平时,用望远镜十字丝横丝在尺上读数,如图 10-11 所示。读数前要认清水准尺的刻画特征,成像要清晰稳定。为了保证读数的准确性,读数时要按由小到大的方向,先估读毫米数,再读出厘米数。读数前务必检查符合水准气泡影像是否符合好,以保证在水平视线上读取数值。还要特别注意不要错读单位和发生漏零现象。

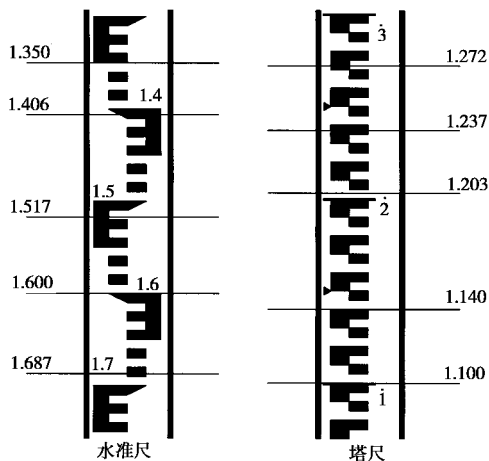


图 10-11

## 第四节 普通水准测量(五等水准测量)

普通水准测量在公路工程测量中也称五等水准测量。其技术要求见表 10-10。

五等水准测量的精度

表 10-10

每公里高差中数中误差 (毫米)		往返较差、附和环线闭合差 (毫米)		检测已测测段高差之差 (毫米)
偶然中误差 $\sigma_{\text{偶}}$	全中误差 $\sigma_{\text{全}}$	平原微丘区	山岭重丘区	
依限	依限	依限/公里	依限/公里	依限/公里

注:计算往返较差时,公里为水准点间的路线长度(公里);计算附和环线闭合差时,公里为附和环线的路线长度(公里)。公里为检测测段长度(公里)。