

国家高技能实训基地校企合作教材

公路测量工

虞卫国 谢忠安 主 编

董亚辉 关春洁 副主编

孙海乾 段国胜 主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

国家高技能实训基地校企合作教材

Gonglu Celianggong 公路测量工

虞卫国 谢忠安 主 编
董亚辉 关春洁 副主编
孙海乾 段国胜 主 审

常州大学图书馆
藏书章



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书是公路施工企业技术人员岗位培训教材之一,按照以工作任务为导向、以综合职业能力培养为目标的“校企合作、工学结合”的培训模式,结合青藏高原特殊地区公路建设实际,针对公路施工与养护专业高技能人才培养的特点来编写。全书共八个模块,内容包括:测量工作认知,平面控制测量,高程测量,小区域控制测量,地形图的测绘与应用,道路中线测量,道路纵、横断面测量,施工测量基本知识。

本书是提高公路测量工业务水平的专业教材,既可满足施工生产实际需要,又可满足职业技能鉴定培训需要,是公路施工企业技术人员岗位培训用书,也可作为各级各类公路专业技术学校师生的教学和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

公路测量工 / 虞卫国, 谢忠安主编. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014. 10
ISBN 978-7-114-11432-8

I. ①公… II. ①虞… ②谢… III. ①道路测量—岗位培训—教材 IV. ①U412.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 105421 号

国家高技能实训基地校企合作教材

书 名: 公路测量工

著 作 者: 虞卫国 谢忠安

责任编辑: 刘 倩

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 9.5

字 数: 240 千

版 次: 2014 年 10 月 第 1 版

印 次: 2014 年 10 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11432-8

印 数: 0001-2000 册

定 价: 35.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

本系列教材由公路施工与养护专业国家级高技能人才培训基地建设项目提供支持,公路施工与养护专业形成了以国家职业标准为依据、以工作任务为导向、以综合职业能力培养为目标的“校企合作、工学结合”的培训模式,成立了专业建设项目组。

专业建设项目组通过充分的调研和论证,结合青藏高原特殊地区公路建设实际,以公路桥梁建设项目为载体,以公路建设过程中的典型工作任务为导向,以综合职业能力培养为目标,构建“职业标准与培训目标”相对接、“工作场景与实训场景”相对接、“工作任务与培训内容”相对接的课程体系。专业建设项目组组织本专业骨干教师及行业专家、企业技术骨干共同编写工学结合系列教材。

《公路测量工》是公路施工企业技术工人岗位培训教材之一,本书着眼于测量学的基本知识、测量常规仪器的使用到中线测量,由浅入深,突出实用性,突出施工现场实用知识和职业技能鉴定知识的有机结合。

本书由虞卫国、谢忠安担任主编,董亚辉、关春洁担任副主编。参加编写的人员有:青海交通职业技术学院虞卫国编写模块二、模块三、模块四、模块六、模块七;青海交通职业技术学院董亚辉编写模块五;青海交通职业技术学院关春洁编写模块八;青海省湟源公路工程建设总公司谢忠安编写模块一。

全书由虞卫国统稿,青海交通职业技术学院高级工程师孙海乾、副教授段国胜主审,青海交通职业技术学院土木工程系的相关领导和同行在本书编写过程中给予了宝贵的支持,在此一并致谢!

由于编者水平有限,编写时间紧迫,书中不妥和错误之外在所难免,敬请读者批评指正,在此表示衷心感谢。

编 者

2014年7月

目 录

模块一 测量工作认知	1
工作任务一 测量学的相关知识	1
工作任务二 地面点的定位体系	3
模块二 平面控制测量	10
工作任务一 经纬仪测角	10
工作任务二 钢尺量距	24
工作任务三 直线定线	27
模块三 高程测量	32
工作任务一 水准测量	32
工作任务二 普通水准测量	40
工作任务三 水准仪检验与校正	48
模块四 小区域控制测量	52
工作任务一 导线测量	52
工作任务二 交会法定点	64
工作任务三 三、四等水准测量	68
工作任务四 三角高程测量	71
工作任务五 全站仪及其使用	72
模块五 地形图的测绘与应用	75
工作任务一 大比例尺地形图的测绘	75
工作任务二 地形图的应用	93
模块六 道路中线测量	103
工作任务一 路线转角的测设与里程桩的设置	103
工作任务二 圆曲线的测设	110
工作任务三 虚交曲线的计算与测设	114
工作任务四 缓和曲线的计算与测设	116
工作任务五 复曲线与回头曲线的测设	121
模块七 道路纵、横断面测量	125
工作任务一 基平测量	125
工作任务二 中平测量	127
工作任务三 纵断面图的绘制	130
工作任务四 道路横断面测量	132
模块八 施工测量的基本知识	137
参考文献	146

模块一 测量工作认知



学习目标

学习本模块,要求掌握测量学的研究对象及工程测量的任务;了解测量学的学科分支;理解测量工作的基准面和基准线;理解用水平面代替水准面的限度;掌握地面点位的确定方法,包括地面点的坐标和高程的表示方法;掌握测量的基本工作和测量工作的基本原则。



学习要求

知识要点	能力要求	相关知识
工程测量的任务	(1)掌握测量学的研究对象 (2)了解测量学的学科分支 (3)掌握工程测量的任务	(1)测量学的概念及研究对象 (2)测量学的学科分支 (3)测绘和测设的概念
测量工作的基准线和基准面	(1)能够理解铅垂线是测量工作的基准线 (2)能够理解大地水准面是测量工作的基准面	(1)地球的形状和大小 (2)水准面以及大地水准面 (3)水准面的特性 (4)旋转椭球体
地面点位确定	(1)能够根据经度、纬度确定地面点的大地坐标 (2)能够建立独立平面直角坐标系 (3)能够计算各投影带中央子午线的经度 (4)能够确定地面点的高程	(1)经度和纬度的概念 (2)测量独立平面直角坐标系 (3)高斯投影 (4)中央子午线经度的计算 (5)高斯平面直角坐标系的建立 (6)绝对高程和相对高程的定义 (7)高差的定义
用水平面代替水准面的限度	(1)能够根据距离确定用水平面代替水准面的距离误差和高差误差 (2)能够理解用水平面代替水准面的限度	(1)水平面代替水准面对距离的影响 (2)水平面代替水准面对高差的影响
测量基本工作和测量工作的基本原则	(1)能够根据三个基本要素确定地面点相对位置关系 (2)能够根据测量工作的基本原则实施测量工作	(1)测量的三项基本工作 (2)测量工作的基本原则

工作任务一 测量学的相关知识

1. 测量学的定义及分类

测量学是研究地球的形状、大小以及确定地面点位的科学,包括测绘和测设两个方

面。测绘是指使用测量仪器,通过一定的测量程序和方法,把地球表面的形状和大小缩绘成地形图或建立有关的数字信息,为国民经济建设的规划、设计和管理阶段提供资料;测设是指把图纸上设计好的建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。

测量学按照研究对象和研究范围的不同,划分为以下几个学科:

(1)大地测量学:该学科主要是研究整个地球的形状、大小和外部重力场及其变化、地面点的精确定位等,解决大范围控制测量工作。大地测量学是整个测绘科学的基础理论学科,它的主要任务是为测绘地形图和工程建设提供基本的平面控制和高程控制。

(2)普通测量学:该学科主要是研究地球表面局部区域的形状和大小,不考虑地球曲率的影响,把地球表面较小范围当作平面看待所进行的测量工作。其主要内容有图根控制网的建立、地形图的测绘及工程的施工测量。

(3)摄影测量学:该学科主要是利用摄影或遥感技术获取地面物体的影像,进行分析处理后建立相应的数字模型或直接绘制成地形图。按获取影像的方式不同,又分为水下摄影测量学、地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天遥感等。

(4)工程测量学:该学科主要是研究工程建设在规划、勘测设计、施工和运营管理各阶段所进行的测量工作。按工程建设的对象不同,又分为水利、建筑、公路、铁路、矿山、隧道、桥梁、城市和国防等工程测量。工程测量贯穿于工程建设的全过程。

2. 测量学的任务与作用

测量学的任务包括测量和测设两个方面。测量是指使用测量仪器设备和工具,按照一定的方法,通过距离、角度、高差等要素的测量和计算,将地物和地貌的位置按一定比例尺,用规定的符号缩小绘制成地形图,供科学研究和工程建设规划设计使用。测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置,通过放样的方法在实地标定出来,作为施工的依据。

测量学是一门历史悠久的学科,随着现代科学技术的发展,测量学的发展也极为迅速,目前在国民经济建设的各个领域都有着广泛的应用。

随着测绘科技的不断进步和发展,在各个行业和人民日常生活中,其必将提供更为全面、准确、及时和适用的测绘成果和技术服务。

3. 测量学在公路建设中的地位

测量在交通土木工程建设中占有重要的地位,主要表现在:

(1)测量是交通土木工程规划选线的重要依据。例如,规划一个地区的交通网络,确定一条交通线的走向,必须有测量提供的地形图和有关的地理信息参数作为基础。

(2)测量是交通土木工程勘察设计的重要基础工作。在进行交通土木工程设计之前,必须对一个区域或者一条待定交通线地面的高低平斜、河川宽窄深浅以及地面附属物进行详细测量,并获得大量地面基础信息。

(3)测量是交通土木工程顺利施工的基本保证。一条公路中心线的标定、一座建筑物实际位置的确定等,测量技术工作在其中发挥重要的保证作用。

(4)测量是检验工程质量和保障重要交通土木工程设施安全运营的必要技术手段。

交通土木工程测量是交通土木工程专业的核心技术。土木工程技术人员应明确测量学科在交通土木工程建设中的重要地位,熟练掌握和应用测量基本理论、技术原理和测量方法,这是进行交通土木工程技术工作的基本条件。

工作任务二 地面点的定位体系

纵观测量学的研究内容和应用情况,无论是地形图测绘或是施工放样测量,最基本的测量内容是确定地面的空间位置,因此,有必要建立一个能表达地面点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、相关知识

1. 测量的基准面

测量工作是在地球表面进行的,而地球自然表面很不规则,有高山、丘陵、平原和海洋等。其中最高的珠穆朗玛峰高出海水面达 8 844.43m,最低的位于太平洋西部的马里亚纳海沟,低于海水面达 11 022m。但是这样的高低起伏,相对于地球近似半径 6 371km 来说还是很小的。又由于海洋约占整个地球表面的 71%,因此,可以把海水面所包围的地球形体看作地球的形状。即设想一个静止的海水面,向陆地延伸而形成一个闭合曲面,这个曲面称为水准面。水准面作为流体的水面是受地球重力影响而形成的重力等势面,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。由于水面可高可低,因此,水准面有无数多个,我们将其中与平均的海水面吻合的一个水准面,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。另外,我们将重力的方向线称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。

由于海水面受潮汐和风浪的影响,是个动态的曲面,平均静止的海水面实际在大自然中是不存在的。为此,我国在青岛设立验潮站,长期观测和记录黄海海水面的高低变化,取其平均值作为我国的大地水准面的位置(其高程为零),并在青岛建立了水准原点。目前,我国采用“1985 国家高程基准”为基准,青岛水准原点的高程为 72.260m,全国各地的高程都以它为基准进行测算。

用大地体表示地球的形状是比较恰当的,但是由于地球内部质量分布不均匀,引起局部重力异常,导致铅垂线的方向产生不规则的变化,使得大地水准面上也有微小的起伏,成为一个复杂的曲面,如图 1-2-1a) 所示,因此无法在这个复杂的曲面上进行测量数据的处理。为了测量计算工作的方便,通常用一个非常接近于大地水准面,并可用数学式表示的纯几何形体来代替地球的形状作为测量计算工作的基准面,这一几何形体称为地球椭球,它是由一个椭圆绕其

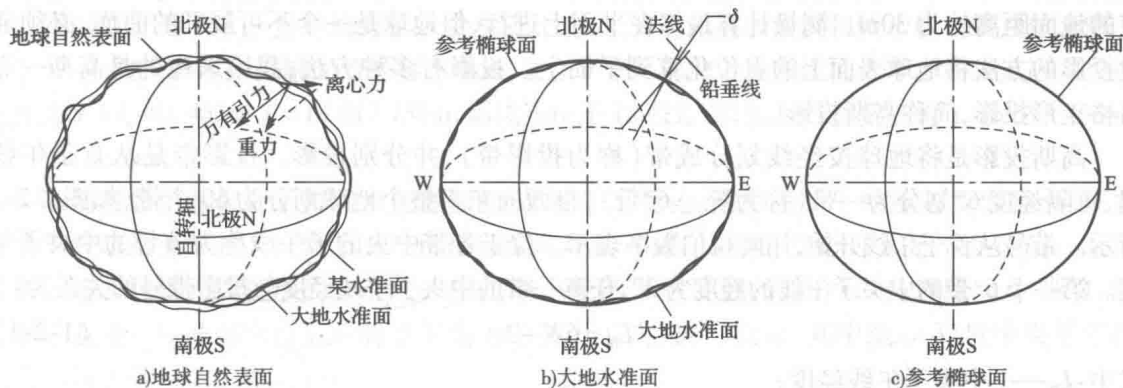


图 1-2-1 地球自然表面、大地水准面和参考椭球面

短轴旋转而成,故地球椭球又称为旋转椭球,如图 1-2-1c)所示。这样,测量工作的基准面为大地水准面,而测量计算工作的基准面为旋转椭球面(参考椭球面)。

旋转椭球的形状和大小可由其长半轴 a (或短半轴 b)和扁率 α 来表示。我国的旋转椭球体目前采用的参数值为:

长半轴

$$a = 6\,378.137\text{km}$$

短半轴

$$b = 6\,356.752\text{km}$$

扁率

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \approx \frac{1}{298.253}$$

由于旋转椭球的扁率很小,因此当测区范围不大时,可近似地把旋转椭球作为圆球,其半径近似值为 $R = \frac{1}{3}(2a+b) \approx 6\,371\text{km}$ 。

2. 坐标系

坐标是表示地面点位置并从属于某种坐标系统的技术参数。用途不同,表示地面点位置的坐标系也各有不同。在工程建设中经常应用的有三种坐标系,即大地坐标系、高斯平面直角坐标系和独立平面直角坐标系。

(1) 大地坐标系

大地坐标系是以参考椭球面为基准面的球面坐标系,通常以大地经度和大地纬度表示,

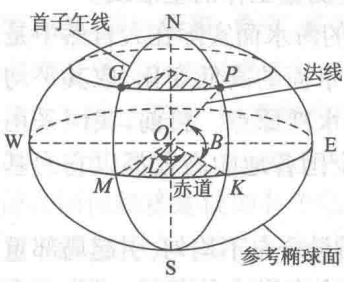


图 1-2-2 大地坐标

简称经度(L)和纬度(B)。图 1-2-2 表示以 O 为中心的大地椭球体, N 为北极, S 为南极, $WMKE$ 是地球赤道面。 p 是地球上的地面点,经 NSP 的平面称为子午面。 P 是地面点 p 在参考椭球面的投影位置, $NSKP$ 是过 P 点的子午线。图中设 $NSMG$ 为经过英国格林尼治天文台 G 的本初子午线(起始子午线,1884 年国际经度会议决议确定),其子午面 NSG 与子午面 NSP 的夹角 L 是 P 点的大地经度, PO 线(法线)与赤道平面的夹角 B 是 P 点的大地纬度。 L 、 B 称为 P 点的大地坐标。

(2) 高斯平面直角坐标系

地理坐标对局部测量工作来说是非常不方便的。例如,在赤道上 $1''$ 的经度差或纬度差,对应的地面距离约为 30m 。测量计算最好在平面上进行,但地球是一个不可展开的曲面,必须通过投影的方法将地球表面上的点位化算到平面上。投影有多种方法,我国采用的是高斯—克吕格正形投影,简称高斯投影。

高斯投影是将地球按经线划分成带(称为投影带),并分别投影。投影带是从首子午线起,每隔经度 6° 划分为一带(称为统一 6° 带),自西向东将整个地球划分为 60 个带,如图 1-2-3 所示。带号从首子午线开始,用阿拉伯数字表示。位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线。第一个 6° 带的中央子午线的经度为 3° ,任意一带的中央子午线经度与投影带号的关系为:

$$L_0 = 6N - 3 \tag{1-2-1}$$

式中: L_0 ——中央子午线经度;

N ——投影带的带号。

投影时,设想用一个空心圆柱横套在参考椭球外面,使圆柱与某一中央子午线相切,将椭球面上的图形按保角投影(投影后角度大小不变)的原理投影到圆柱体面上,然后将圆柱体沿着过南北极的母线切开,展开成为平面,并在该平面上定义平面直角坐标系,如图 1-2-4 所示。

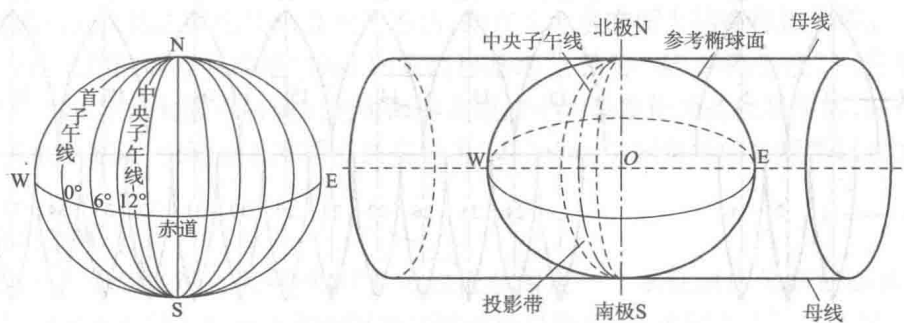


图 1-2-3 高斯平面直角坐标系的投影

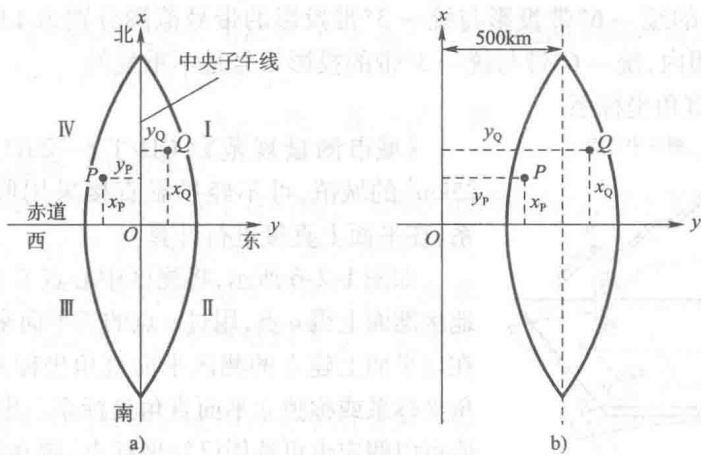


图 1-2-4 高斯平面直角坐标

投影后的中央子午线和赤道均为直线且保持垂直,以中央子午线为坐标纵轴(x 轴),向北为正,以赤道为坐标横轴(y 轴),向东为正,中央子午线与赤道的交点为坐标原点 O ,这样组成的平面直角坐标系称为高斯平面直角坐标系。

高斯平面直角坐标系与数学中平面直角坐标系相比,不同点为: x 轴与 y 轴互换位置,南北方向为纵轴(x 轴),东西方向为横轴(y 轴);角度方向以纵坐标 x 的北端起顺时针度量;象限顺时针编号。相同点:数学上定义的三角函数在测量计算中可直接应用。

我国位于北半球, x 坐标均为正, y 坐标有正有负,为避免出现负值和便于确定该点位于哪一个 6° 带内,规定将纵坐标轴向西平移 500km ,并在 y 坐标前加上投影带的带号。如某点国家投影坐标为 $x = 3\,395\,451\text{m}$, $y = 18\,417\,739\text{m}$,则该点位于 18 投影带内,且自然坐标为 $x = 3\,395\,451\text{m}$, $y = -82\,261\text{m}$ 。

高斯投影虽然保证了角度不变,但距离却发生了变化,离中央子午线越近变形越小,离中央子午线越远变形越大。对于大比例尺地形图测绘和施工测量,变形过大是不允许的。减小投影带边缘位置距离变形的的方法之一就是缩小投影带的带宽,例如可以选择统一 3° 带、 1.5° 带或任意带(以城市中心某点的子午线为中央子午线)进行投影,其中统一 3° 带中央子午线经度与投影带号的关系为:

$$L'_0 = 3n \tag{1-2-2}$$

式中: n —— 3° 带号。

统一 3° 带与统一 6° 带的关系如图 1-2-5 所示。

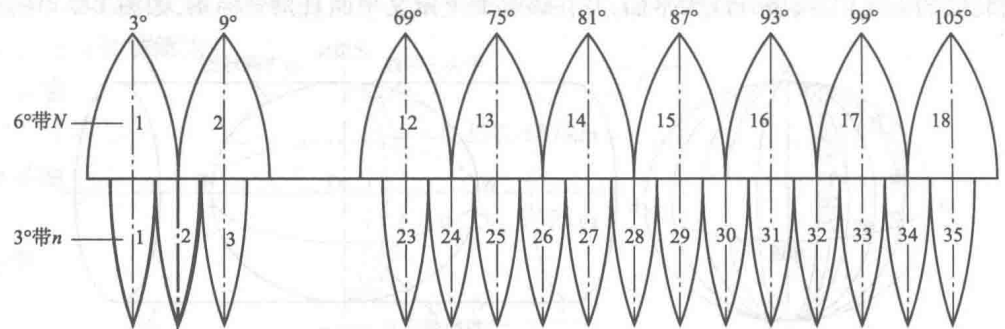


图 1-2-5 高斯投影分带

我国领土所处的统一 6° 带投影与统一 3° 带投影的带号范围分别为 13 ~ 23、25 ~ 45。可见,在我国领土范围内,统一 6° 带与统一 3° 带的投影带号是不重复的。

(3) 假定平面直角坐标系

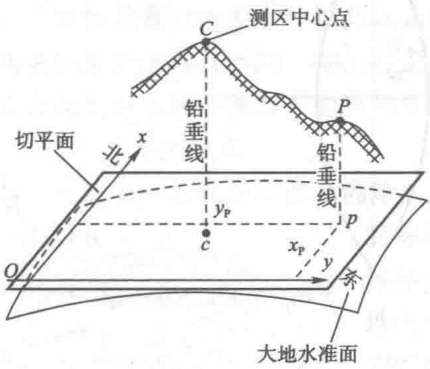


图 1-2-6 假定平面直角坐标系

《城市测量规范》(CJJ/T 8—2011)规定,面积小于 25km^2 的城镇,可不经投影直接采用假定平面直角坐标系,在平面上直接进行计算。

如图 1-2-6 所示,将测区中心点 C 沿铅垂线投影到大地水准面上得 c 点,用过 c 点的切平面来代替大地水准面,在切平面上建立的测区平面直角坐标系称为假定平面直角坐标系或称独立平面直角坐标系。坐标系的原点(坐标值可以假定也可选用已知坐标点)选在测区西南角以使测区内点的坐标均为正值,以过测区中心的子午线方向为纵轴(x 轴),向北方为正;横轴(y 轴)与 x 轴垂直,向东为正。

3. 高程系

(1) 绝对高程

地面点沿铅垂线到大地水准面的距离称为该点的绝对高程(简称高程)或海拔,通常用 H 表示。如图 1-2-7 所示, H_A 和 H_B 即为 A 点和 B 点的绝对高程。

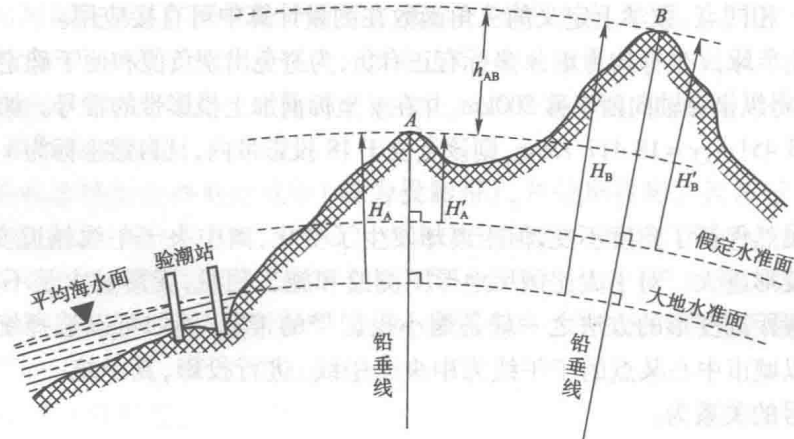


图 1-2-7 高程和高差

高程系是一维坐标系,它的基准是大地水准面,要获得地面点的高程,必须要确定大地水准面的位置。由于海水面受潮汐、风浪等影响,它的高低时刻在变化。为确定大地水准面的位置,通常是在海边设立验潮站,对海平面位置进行长期观测,求得海平面的平均高度作为高程零点,把过该点的大地水准面作为高程基准面,即在大地水准面上的高程恒为零。

我国现在采用的高程基准是“1985 国家高程基准”(简称“85 高程基准”),它是以青岛验潮站 1952 ~ 1979 年的验潮资料确定的黄海海水面的平均高度作为高程基准面,并在青岛市观象山建立了水准原点,引测出水准原点的高程为 72.260m,全国各地的高程都以它为准进行测算。

(2) 相对高程

在局部地区引用绝对高程有困难时,可以任意假定一个水准面作为高程起算的基准面。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,通常用 H' 表示,如图 1-2-7 所示,如 A、B 两点的相对高程表示为 H'_A 、 H'_B 。

两个地面点之间的高程之差称为高差,用 h 表示。两点之间的高差有方向性和正负,但与高程起算面无关。如 A、B 两点的高差为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-2-3)$$

4. 用水平面代替水准面的限度

所有测量工作都是在地球表面上进行的。当测区范围较小时,可不考虑地球曲率的影响,将大地水准面近似当作水平面来看待,以简化测量和绘图工作。那么当测区范围多大时,用水平面代替大地水准面所产生的距离、角度和高程的测量误差才不会超过允许范围。

以下就讨论以水平面代替水准面对水平距离和高差的影响,从而明确可以用水平面代替水准面的范围。

(1) 对水平距离的影响

如图 1-2-8 所示, A、B 为地面上两点,它们在大地水准面上的投影为 a 、 b ,弧长为 D 。在水平面上的投影为 a' 、 b' ,其水平距离为 D' ,两者之差 ΔD 即为用水平面代替水准面所产生的水平距离误差。

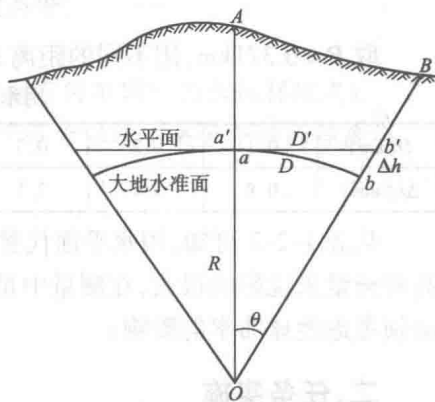


图 1-2-8 水平面代替水准面的影响

设地球的半径为 R , AB 所对的圆心角为 θ , 则:

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-2-4)$$

将 $\tan \theta$ 展开成级数

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{1}{5}\theta^5 + \dots$$

因 θ 角很小,因此可略去三次以上的高次项,只取其前两项代入式(1-2-4)中,得:

$$\Delta D = R\left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta\right)$$

又因 $\theta = D/R$, 故:

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \text{ 或 } \frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-2-5)$$

在式(1-2-5)中,取地球半径 $R = 6371\text{km}$,当距离 D 取不同的值时,则得到不同的 ΔD 和

$\Delta D/D$,其结果列入表 1-2-1 中。

用水平面代替水准面对水平距离的影响

表 1-2-1

距离 D (km)	距离误差 ΔD (cm)	相对误差 $\Delta D/D$	距离 D (km)	距离误差 ΔD (cm)	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	1:1 250 000	50	102.7	1:49 000
25	12.8	1:200 000	100	821.2	1:12 000

从表 1-2-1 可知,当测区半径为 10km 时,以平面代替曲面所产生的距离相对误差为 1:1 250 000。这样小的误差,即使在地面上进行精密测距也是允许的。所以在半径为 10km 范围内,以水平面代替水准面所产生的距离误差可忽略不计。

(2) 对高差的影响

在图 1-2-8 中, A 、 B 两点在同一水准面上,其高差应为零。 B 点投影在水平面上得 b' 点,则 bb' 即为水平面代替水准面所产生的高差误差,或称为地球曲率的影响。

$$\Delta h = bB - b'B = Ob' - Ob = R\sec\theta - R = R(\sec\theta - 1) \tag{1-2-6}$$

将 $\sec\theta$ 展开成级数

$$\sec\theta = 1 + \frac{1}{2}\theta^2 + \frac{5}{24}\theta^4 + \cdots$$

因 θ 角很小,因此只取其前两项代入前式,又因 $\theta = D/R$,则得:

$$\Delta h = R\left(1 + \frac{1}{2}\theta^2 - 1\right) = \frac{1}{2}R\theta^2 = \frac{D^2}{2R} \tag{1-2-7}$$

取 $R = 6\,371\text{km}$,用不同的距离 D 代入式 (1-2-7),得到表 1-2-2 所列的结果。

用水平面代替水准面对高差的影响

表 1-2-2

D (km)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0
Δh (mm)	0.8	3.1	7.1	12.6	19.6	78.5	313.9	1 962.0	7 848.1

从表 1-2-2 可知,用水平面代替水准面时,当距离为 200m 时,高程误差就有 3.1mm,这对高程测量来说影响很大,在测量中是不能允许的。因此,当进行高程测量时,即使距离很短,也必须考虑地球曲率的影响。

二、任务实施

1. 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实际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 1-2-9 所示, a 、 b 、 c 为地面点在水平面上的投影位置,确定这些点的位置不是直接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 β_1 、 β_2 、 β_3 和高差 h_{Fa} 、 h_{ab} 、 h_{bc} ,再根据已知点 E 、 F 的坐标及高程来推算 a 、 b 、 c 各点的坐标和高程。由此可见,距离、角度、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、高差测量是测量的基本工作。

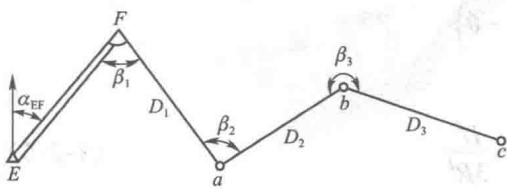


图 1-2-9 测量的三要素

2. 测量工作的基本方法

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,虽可得到欲测各点的位置,但这些位置很可能是不准确的。因为,前一点的量度误差将会传递到下一点,这样积累起来,最后误差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误差积累。

在实际工作中,要求测量工作遵循以下原则:在布局上“从整体到局部”,在精度上“由高级到低级”,在次序上“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称之为测量控制点。

采用上述原则进行测量,可以有效地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。如在公路路线测量中,测设曲线时,就是先进行主点测设,后进行详细测设的;在大桥的施工测量中,首先是建立施工控制网,进行符合精度要求的控制测量,然后在控制点上安置仪器,进行桥梁细部构造的放样。



习题

1. 工程测量的基本任务是什么? 对你所学的专业起什么作用?
2. 什么是水平面? 什么是水准面? 什么是大地水准面? 它们有何区别?
3. 什么是绝对高程(海拔)? 什么是相对高程? 什么是高差?
4. 表示地面点位有哪几种坐标系? 各有什么用途?
5. 测量中的平面直角坐标系和数学中的平面直角坐标系有何不同? 为何这样规定?
6. 某地的大地经度为东经 $109^{\circ}20'$, 试计算它所在的 6° 带带号以及中央子午线的经度。
7. 测量工作的基本原则是什么?

模块二 平面控制测量

学习目标

本学习模块介绍了三项基本测量工作内容中的角度测量和距离测量的基本方法。角度测量包括水平角测量和竖直角测量。工作任务一介绍了角度测量的基本原理、光学经纬仪的构造及操作步骤、水平角和竖直角测量、经纬仪的检验和校正、角度测量误差及注意事项,要求理解角度测量的基本原理、掌握DJ₆光学经纬仪的使用、掌握水平角和竖直角测量方法、了解经纬仪检验和校正方法、了解角度测量的误差来源。工作任务二介绍了钢尺量距,要求掌握钢尺量距的一般方法和精度评定。掌握直线定线和直线定向的方法。

学习要求

知识要点	能力要求	相关知识
经纬仪及其使用	(1)掌握经纬仪的使用方法 (2)能够正确读取经纬仪的读数	(1)经纬仪的构造和性能 (2)经纬仪的安置:对中和整平 (3)经纬仪刻度盘的读数原理
水平角测量	(1)能够根据工程情况选择合理的水平角测量方法 (2)能够在测量中采取减小测量误差的有效措施 (3)能够观测水平角并正确计算出所测量的水平角	(1)经纬仪的使用 (2)水平角测量的基本方法步骤 (3)影响测角误差的因素
竖直角测量	(1)能够根据经纬仪不同竖盘注记确定竖角的计算公式 (2)能够观测并正确计算竖直角 (3)能够正确计算出竖盘指标差	(1)竖直度盘构造 (2)竖直角测量原理 (3)竖盘指标差的计算
钢尺量距	(1)能够根据实际情况选用钢尺量距方法 (2)能够利用钢尺等工具进行距离丈量	(1)目估定线和经纬仪定线方法 (2)钢尺量距的一般方法 (3)钢尺量距的误差及注意事项

工作任务一 经纬仪测角

一、相关知识

1. 水平角测量原理

水平角是指空间两条直线在水平面上投影所形成的水平夹角。水平角一般用 β 表示,取

值范围为 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 。

如图 2-1-1 所示, A 、 B 、 C 为地面上任意三点, 将三点沿铅垂线方向投影到水平面上, 得到相应的 A_1 、 B_1 、 C_1 , 水平线 B_1A_1 、 B_1C_1 的夹角 $\angle A_1B_1C_1$ 即为 A 、 C 两点对 B 点所形成的水平角 β 。可以看出, β 也就是过直线 BA 和 BC 所做的两个铅垂面之间的夹角。

为了测量水平角, 可以假设在过 B 点的上方水平安置一个有刻度的圆盘 (称为水平度盘), 水平度盘的中心位于过 B 点的铅垂线上, 过 BA 、 BC 的铅垂面与水平度盘交线的相应读数为 a 、 c , 则水平角为:

$$\beta = c - a, \text{ 当 } c > a \text{ 时} \quad (2-1-1)$$

或

$$\beta = c + 360^{\circ} - a, \text{ 当 } c < a \text{ 时}$$

2. 竖直角测量原理

在同一竖直面内, 视线和水平线之间的夹角称为竖直角或垂直角, 通常用 α 表示, 取值范围为 $0^{\circ} \sim \pm 90^{\circ}$ 。如图 2-1-2 所示, 当视线在水平线之上称为仰角, 符号为正; 当视线在水平线之下称为俯角, 符号为负。

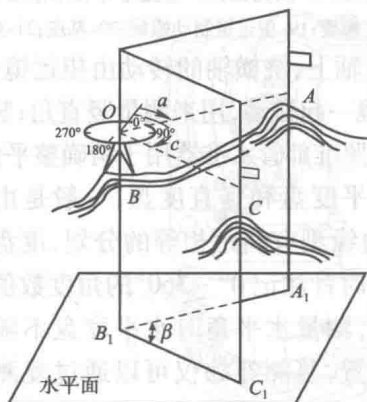


图 2-1-1 水平角测量原理

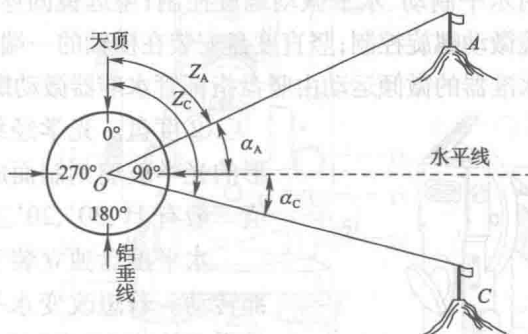


图 2-1-2 竖直角测量原理

在测站点 O 上安置一个带有竖直刻度盘的测角仪器, 其竖盘中心通过水平视线, 设照准目标点 A 时视线的读数为 n , 水平视线的读数为 m , 则竖直角 α 为:

$$\alpha = n - m \quad (2-1-2)$$

3. 光学经纬仪

经纬仪的种类很多, 但基本结构大致相同。按测角精度分为 DJ_{07} 、 DJ_1 、 DJ_2 、 DJ_6 、 DJ_{10} 等几个等级, 其中字母 D 、 J 分别为“大地测量”和“经纬仪”汉语拼音的第一个字母, 其下标的数值为仪器的精度, 以秒计。例如: DJ_6 代表该仪器野外一测回方向观测中误差 $6s$, 以此类推。本节重点介绍工程建设中常用的 DJ_2 、 DJ_6 两种经纬仪的构造和操作方法。

1) DJ_6 级光学经纬仪

(1) DJ_6 级光学经纬仪的一般构造

各种型号光学经纬仪的构造大致相同, 主要由基座、度盘和照准部三大部分组成。 DJ_6 级光学经纬仪如图 2-1-3、图 2-1-4 所示。

①照准部。照准部是指经纬仪上部能绕其旋转轴旋转的部分, 主要包括竖轴、 U 形支架、望远镜、横轴、竖盘装置、水准器、制动微动装置和读数显微镜等。

照准部的旋转轴称为仪器竖轴, 竖轴插入基座内的竖轴轴套中旋转; 照准部在水平方向的

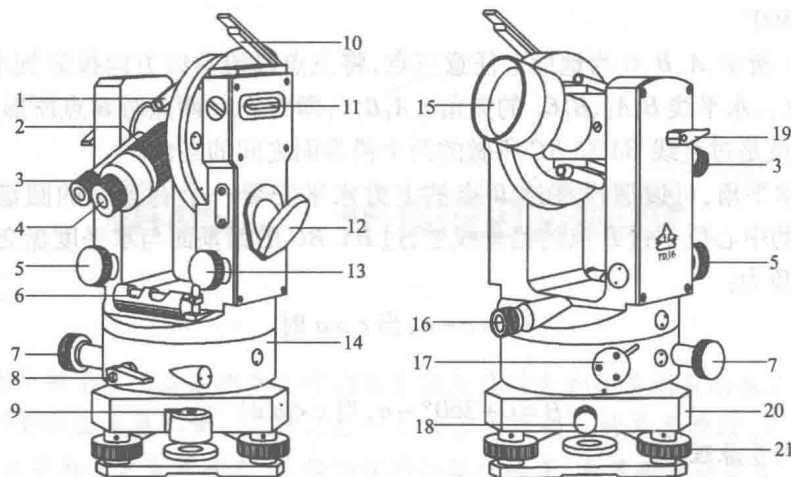


图 2-1-3 DJ₆级光学经纬仪

1-光学瞄准器;2-物镜调焦螺旋;3-读数显微镜;4-目镜;5-望远镜微动螺旋;6-照准部管水准器;7-水平微动螺旋;8-水平制动螺旋;9-基座圆水准器;10-竖盘指标管水准器反射镜;11-竖盘指标管水准器;12-反光镜;13-竖盘指标管水准器微动螺旋;14-水平度盘;15-物镜;16-光学对中器;17-水平度盘变换螺旋;18-轴套固定螺旋;19-望远镜制动螺旋;20-基座;21-脚螺旋
转动由水平制动、水平微动螺旋控制;望远镜固连在仪器横轴上,绕横轴的转动由望远镜制动、望远镜微动螺旋控制;竖直度盘安装在横轴的一端,随望远镜一起转动,用来测量竖直角;竖盘指标管水准器的微倾运动由竖盘指标管水准器微动螺旋控制;照准部管水准器用于精确整平仪器。

②度盘。光学经纬仪有水平度盘和竖直度盘,一般是由圆环形的光学玻璃刻制而成,盘片边缘刻有间距相等的分划,度盘分划值一般有 1° 、 $30'$ 、 $20'$ 三种,按顺时针记 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的角度数值。

水平度盘独立装于竖轴上,测量水平角时水平度盘不随照准部转动。若想改变水平度盘位置,复测经纬仪可以通过复测扳手将水平度盘与照准部连接,照准部转动时就带动水平度盘一起转动;方向经纬仪可利用水平度盘变换手轮将水平度盘转到所需要的位置上。

竖直度盘的构造与水平度盘一样,固定在横轴的一端,随望远镜在铅垂面内转动。

③基座。基座包括轴座、脚螺旋和连接板,轴座是将仪器竖轴与基座连接固定的部件,脚螺旋用于整平仪器。轴座上有一个固定螺旋,可将仪器固定在基座上,旋松该螺旋,可将经纬仪水平度盘连同照准部一起从基座中拔出,因此使用仪器时,切勿松动该螺旋,以免照准部与基座分离而坠落。基座和三脚架头用中心螺旋连接,可将仪器固定在三脚架上。中心螺旋下有一小钩可挂垂球,测角时用于仪器对中。



图 1-2-4 DJ₆ 光学经纬仪的组成部分

(2) DJ₆级光学经纬仪的读数装置

光学经纬仪的读数装置包括度盘、光路系统和测微器。DJ₆级光学经纬仪的测微装置有分微尺测微器和单平板玻璃测微器两种。

分微尺测微器结构简单,读数方便,具有一定的读数精度,广泛应用于 DJ₆级光学经纬仪。它把度盘和分微尺的影像通过光路系统反映到读数显微镜内进行读数。