

教育部高等学校高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”规划教材

YUANLIN CELIANG

园林测量

黎 曦 林长进 主编



黄河水利出版社

教育部高等学校高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”规划教材

园 林 测 量

主 编 黎 曦 林长进
副主编 毛迎丹 王 琴

黄 河 水 利 出 版 社

· 郑 州 ·

内容提要

本书是根据全国高职高专测绘类教学指导委员会教材编写规划,针对园林工程技术专业而编写的。全书共分11章,内容主要包括:测量学基本知识、基本理论及常规仪器的构造、使用和检校方法,距离、角度和高程测量的基本方法,测量的误差知识;小区域控制测量的方法;大比例尺地形图测绘、地形图的识读与应用,全站仪和数字化测图知识;测量在园林工程中的应用、园林工程的施工与放样等;GPS测量原理和应用技术。附录对测量实习过程作了要求,收录了18项课堂实训和综合实习内容。

本教材不仅适用于高职高专园林工程技术专业教学,也可作为林学、园艺、规划、资源环境、设施农业等专业教材,还可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

园林测量/黎曦,林长进主编. —郑州:黄河水利出版社,2012.4

教育部高等学校高职高专测绘类专业教学指导委员会
“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0233 - 6

I. ①园… II. ①黎… ②林… III. ①园林 - 测量学 -
高等职业教育 - 教材 IV. ①TU986

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第067598号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail: hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17.25

字数:420千字

印数:1—4 100

版次:2012年4月第1版

印次:2012年4月第1次印刷

定价:34.00元

前 言

本书是在教育部高等学校高职高专测绘类专业教学指导委员会的统一规划和指导下,针对园林工程技术专业《园林测量》课程教学需要而编写的。

园林测量是园林专业的一门重要的专业基础课程。根据生产一线对园林工程技术人才专业应用型高技能岗位人才的要求,通过课程教学,学生应掌握园林测量的基本理论、方法,能运用其知识、技能解决实际工程问题,并具备一定的工程素质和可持续发展能力,为园林工程建设提供测绘保障。

本教材在编写过程中,充分考虑高等职业教育的特点,理论知识以“必需、够用、实用”为度,重点突出实践技能的培养。在保留传统测绘理论体系的基础上,剔除了部分在生产实践中淘汰的内容,增加了已成熟运用的全站仪、数字化测图、GPS 等测绘新技术。测量过程的操作要求和精度指标都与最新的国家、行业规范一致。本教材不仅可作为园林类专业的高、中等职业院校、大专函授的教材,同样适用于林学、园艺、规划等专业,也可作为园林、林业企业职工职业培训教材。

本教材共 11 章。第一~四章介绍了测量学基本知识、基本理论及常规仪器的构造、使用 and 检校方法,距离、角度和高程测量的基本方法,测量的误差知识;第五章介绍了小区域控制测量的方法;第六~八章介绍了大比例尺地形图测绘、地形图的识读与应用,全站仪和数字化测图知识;第九、十章介绍了测量在园林工程中的应用、园林工程的施工与放样等;第十一章介绍了 GPS 测量原理和应用技术。附录对测量实习过程作了要求,收录了 18 项课堂实训和综合实习内容。

本教材由江西环境工程职业学院黎曦任第一主编,漳州职业技术学院林长进任第二主编,浙江水利水电专科学校毛迎丹、甘肃林业职业技术学院王琴任副主编,参加编写的还有江西环境工程职业学院衣德萍、廖彩霞。具体分工为:第一、五章由黎曦、廖彩霞编写,第二、三章由王琴编写,第四、六章由毛迎丹编写,第七、八章由林长进编写,第九、十章由衣德萍编写,第十一章由黎曦编写,附录实训四、九、十一、十八由黎曦编写,其余实训及综合实训内容由林长进编写。全书由黎曦统稿。

本书编写过程中,参考了大量的文献资料,在此谨向有关作者表示衷心感谢!同时对黄河水利出版社为本书所做的辛勤工作表示衷心感谢!

由于作者水平所限,加之时间仓促,书中难免有疏漏和不足之处,恳请广大教师、同行专家和读者批评指正。

编 者

2012 年 3 月

目 录

前 言

第一章 测量的基础知识	(1)
第一节 测量学的概念及其在园林建设中的作用	(1)
第二节 地面点位的确定	(3)
第三节 测量工作概述	(9)
第四节 测量误差的基本知识	(11)
习 题	(18)
第二章 水准测量	(20)
第一节 水准测量基本原理	(20)
第二节 水准测量仪器及其使用	(22)
第三节 普通水准测量方法	(28)
第四节 水准测量成果的计算	(32)
第五节 微倾式水准仪的检验与校正	(35)
第六节 水准测量的误差分析	(41)
第七节 自动安平水准仪及电子水准仪简介	(44)
习 题	(47)
第三章 角度测量	(48)
第一节 角度测量原理	(48)
第二节 光学经纬仪及其使用	(49)
第三节 角度测量方法	(51)
第四节 经纬仪的检验与校正	(61)
第五节 电子经纬仪简介	(66)
习 题	(67)
第四章 距离测量和直线定向	(68)
第一节 距离丈量	(68)
第二节 视距测量	(72)
第三节 电磁波测距	(74)
第四节 电子全站仪	(78)
第五节 直线定向	(88)
习 题	(91)
第五章 小区域控制测量	(93)
第一节 控制测量概述	(93)
第二节 导线测量	(94)
第三节 交会定点	(108)

第四节	小区域高程控制测量	(111)
习 题		(115)
第六章	地形图的基本知识	(117)
第一节	地形图的比例尺	(117)
第二节	地形图的图式	(120)
第三节	地形图图外注记	(127)
第四节	地形图的分幅和编号	(130)
习 题		(135)
第七章	大比例尺地形图测绘	(136)
第一节	地形图测图前的准备工作	(136)
第二节	大比例尺地形图的测绘	(137)
习 题		(146)
第八章	地形图的应用	(148)
第一节	地形图的识读	(148)
第二节	地形图应用的基本内容	(150)
第三节	地形图在工程建设中的应用	(152)
第四节	场地平整填挖边界的确定和土方量计算	(156)
习 题		(158)
第九章	园林道路测量	(160)
第一节	概 述	(160)
第二节	园路中线测量	(161)
第三节	园路纵断面测量	(170)
第四节	园路横断面测量	(173)
第五节	路基设计	(176)
第六节	土石方量计算	(177)
习 题		(178)
第十章	园林工程测量	(179)
第一节	概 述	(179)
第二节	园林场地平整测量	(180)
第三节	测设的基本工作和方法	(185)
第四节	施工控制网	(188)
第五节	园林工程施工测量	(190)
习 题		(200)
第十一章	GPS 测量原理与应用	(201)
第一节	GPS 概述	(201)
第二节	GPS 组成及定位原理	(203)
第三节	GPS 测量的实施	(207)
第四节	GPS - RTK 测量	(210)
第五节	手持 GPS 接收机	(218)

习 题	(221)
附录一 测量实训要求	(222)
附录二 测量实训	(225)
实训一 水准仪的认识和使用	(225)
实训二 普通水准测量	(226)
实训三 水准仪的检验与校正	(228)
实训四 四等水准测量	(229)
实训五 经纬仪的认识和使用	(230)
实训六 水平角观测	(231)
实训七 竖直角观测及竖盘指标差检验	(233)
实训八 经纬仪的检验与校正	(234)
实训九 距离测量(钢尺量距和光电测距)与磁方位角测量	(237)
实训十 闭合导线外业测量	(239)
实训十一 全站仪的使用(坐标测量和放样)	(242)
实训十二 经纬仪测绘法测地形图	(243)
实训十三 全站仪测绘大比例尺数字地形图	(245)
实训十四 测设点的平面位置	(246)
实训十五 测设已知高程与已知坡度	(247)
实训十六 圆曲线主点的测设	(249)
实训十七 GPS 接收机静态观测	(251)
实训十八 GPS - RTK 测量	(252)
附录三 园林测量综合实训	(254)
参考文献	(265)

第一章 测量的基础知识

学习目标

本章介绍园林测量的预备知识,应理解和掌握测量的一些基本概念,重点掌握用地理坐标、平面坐标和高程表示地面点位的方法及相关概念;了解测量工作的原则;了解测量误差的种类、特性以及来源,测量精度的标准和误差出现的规律,误差的传播定律,并能用误差传播定律进行平差和评定精度;能在以后的学习和实践中把预备知识加以应用。

第一节 测量学的概念及其在园林建设中的作用

一、测量学概述

测量学是研究地球的形状和大小,确定地面(包括空中、地下和海底)点位,以及将地球表面的地形及其他信息测绘成图的科学。它的内容包括测定和测设两个方面。

测定是指使用测量仪器和工具,通过一定的测量程序和方法,得到一系列测量数据,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,供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。

测设是把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物或其他图形的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。

(一)大地测量学

该学科主要研究整个地球的形状、大小和地球重力场及其变化,地面点的精确定位,解决大范围控制测量问题。大地测量学是整个测绘科学的基础理论学科,为测量学的其他分支提供基础测量数据和资料。

(二)普通测量学

该学科主要是研究地球表面小范围测绘的基本理论、技术和方法,不考虑地球曲率的影响,把地球局部表面当做平面看待,是测量学的基础。

(三)摄影测量与遥感学

该学科主要是研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息(影像或数字形式),进行分析处理,绘制地形图或建立相应的数字模型的理论和方法的学科。由于获取像片的方法不同,摄影测量学又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学等。

(四)海洋测绘学

该学科主要是以海洋和陆地水域为对象所进行的测量和海图编绘工作,目前在军事、跨海工程、码头建设等方面有应用。

(五)工程测量学

该学科主要是研究工程建设和资源开发中,在规划、设计、施工、运营管理各阶段进行的

控制测量、地形测绘和施工放样、变形监测等各种测量工作的理论、技术和方法的学科。由于建设工程的不同,工程测量又可分为园林测量学、建筑工程测量学、矿山测量学、水利工程测量学、公路测量学及铁路测量学等。

(六)制图学

该学科主要是利用测量所得的成果资料,研究如何投影编绘和制印各种地图的工作,属于制图学的范畴。

园林测量学是园林工程专业的技术基础课,其内容包括普通测量学和工程测量学的基本内容。通过学习园林测量相应的基本知识、基本理论和基本技能,使学生具备使用常规测量仪器的操作技能,了解现代测绘仪器的功能、基本构造和使用方法;掌握大比例尺地形图的测绘过程和方法,对数字化测图有所了解和运用;在园林规划、设计和施工中能正确使用地形图和测量信息,掌握处理测量数据的理论和评定精度的方法,能进行一般园林工程的施工放样工作,为学习园林工程、园林绿地规划设计、园林工程招标投标与预决算等专业课程打下基础。

二、测量在园林工程建设中的作用

测量在国民经济建设中发挥着极其重要的作用,在铁路、公路、水运等交通建设,城市规划与建设,矿山,园林,水利,农田基本建设及各种资源的勘察开发中,勘测、设计、施工都需要测量工作紧密配合,测量贯穿工程建设的各个阶段。测量是设计与施工质量的根本保证。

测量在园林建设中的应用非常广泛。

园林工程建设一般分三个阶段:规划设计、施工和运营管理。

(一)规划设计阶段

通过测量工作绘制成的地形图、平面图和断面图获得该地区的高低起伏、坡向和坡度变化情况及道路、水系、房屋、管线、植被等地物的分布情况,以合理地进行山、水、植物、路和园林建筑的综合规划与设计,把规划设计的结果标绘到地形图上,成为规划设计图。

(二)施工阶段

把图上已设计好的各项园林工程的位置,准确地标定在实地上,以便工程施工。

(三)运营管理阶段

当园林工程施工完毕后,有时还要测绘竣工图和进行一些测量工作,满足园林工程使用期间的管理、维修、改建、扩建的需要。

三、测绘技术发展

测绘是受新技术影响最大的传统学科之一,全站仪、GPS 定位、数字测图、计算机技术的应用与普及,对测量的方法与效率产生了重要的影响。以全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)和遥感技术(RS)为代表的测绘新技术的迅猛发展与应用,使测绘的产品基本由传统的纸质地图转变为“4D”(数字高程模型 DEM,数字正射影像图 DOM,数字栅格地图 DRG,数字线划地图 DLG)产品。“4D”产品在网络技术的支持下,成为国家空间数据基础设施(NSDI)的基础,为相关领域的研究工作及国民经济建设的各行业、各部门应用地理信息技术带来了巨大的方便。测绘技术体系从模拟转向数字、从地面转向空间,并进一步向网络化和智能化方向发展。

第二节 地面点位的确定

确定地面点位就是确定地面点的平面位置和高程。园林测量与其他测量工作一样,其本质工作就是地面点位的确定,因为地球表面上的地物和地貌的形状即使再复杂,也可以认为是由点、线、面构成的,其中点是最基本的单元,合理选择一些点进行测量,就可以准确地表示出地物和地貌的位置、形状和大小。因此,地面点位的确定是测量工作最基本的问题。

一、地球的形状与大小

为了确定地面点位,应有相应的基准面和基准线作为依据。测量工作是在地球表面上进行的,故测量的基准面和基准线与地球的形状和大小有关。

地球的形状似一个椭球,它的自然表面是一个极其复杂的不规则的曲面,有高山、丘陵、平地、凹地和海洋等;在陆地上,最高点珠穆朗玛峰高出平均海水面 8 844.43 m;在海洋中,最深点马里亚纳海沟,低于平均海水面 11 022 m;但这样的高低起伏,相对于地球巨大的半径来说还是很小的。由于海洋约占整个地球表面的 71%,人们就设想有一个静止的海平面,向陆地延伸包围整个地球,形成一个封闭的曲面,把这个被海水所覆盖的曲面看做地球的形状,这个封闭的曲面就称为水准面。由于潮汐的影响,海水面有涨有落,所以水准面有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面,称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。大地水准面所包围的地球形体称为大地体。

由于地球质量巨大,地球上任何一点都要受到地心引力的作用,同时地球又不停地作自转运动,这个点又产生离心力的作用,这两个力的合力称为重力,重力的方向线又称为铅垂线。铅垂线具有处处与水准面垂直的特性,因此把铅垂线作为测量工作的基准线。

用大地水准面表示地球的形状和大小是恰当的,但由于地球内部质量分布不均匀引起铅垂线的方向产生不规则的变化,致使大地水准面成为一个非常复杂的曲面(如图 1-1 所示)。

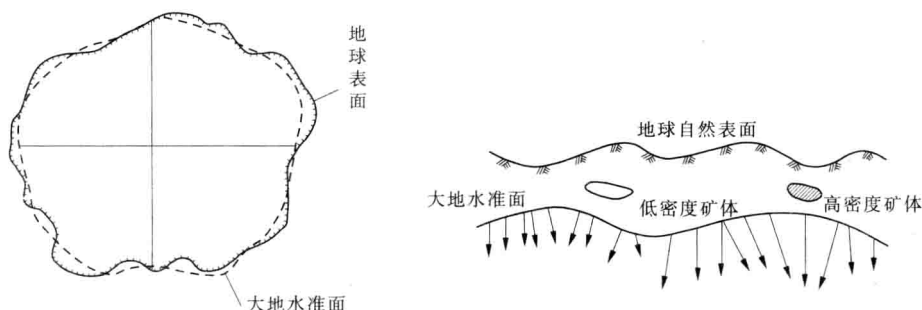


图 1-1 地球自然表面、大地水准面

如果把地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上,无法完成测量计算和绘图工作。为此,选择一个与大地水准面非常接近的规则几何曲面来表示地球的形状与大小,即地球参考椭球面,作为测量计算工作的基准面。

地球参考椭球是由一椭圆绕其短半轴旋转而成的椭球体(如图 1-2 所示)。地球椭球面

的形状与大小由其长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 α 决定。

$$\left. \begin{aligned} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} &= 1 \\ \alpha &= \frac{a-b}{a} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

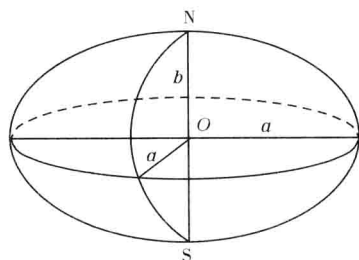


图 1-2 地球参考椭球

几个世纪以来,许多学者曾分别测算出参考椭球体的元素值。我国采用 1975 年国际大地测量与地球物理联合会 16 届大会推荐的椭球元素值。即长半轴 $a = 6\,378\,140\text{ m}$,短半轴 $b = 6\,356\,755.288\text{ m}$,扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a} = 1/298.257$ 。

采用椭球定位得到的坐标系为国家大地坐标系,我国大地坐标系的原点在陕西省泾阳县永乐镇。

由于地球参考椭球的扁率很小,因此可以把地球当做是一个圆球,其半径的近似值为 $6\,371\text{ km}$ 。当测区面积更小(半径小于 20 km 的范围)时,还可以把地球看成是平面,使计算工作更为简单。一般的园林测量工作都是把地球看成是平面。

二、确定地面点位的方法

我们知道,确定一个点的空间位置须用三维坐标来表示,在测量工作中,一般将点空间位置用球面或平面位置(二维)和高程(一维)来表示,分别属于大地坐标系、平面直角坐标系和高程系统。

(一)地面点坐标的确定

确定地面点的位置就是确定点的空间位置。其中两个量是地面点沿投影线在投影面上的投影位置,另一个量是点沿着投影线到投影面的距离。地面点的空间位置与选用的椭球及坐标系有关。测量上常用的坐标系有大地坐标系、高斯-克吕格平面直角坐标系、独立平面坐标系。

1. 大地坐标系

大地坐标系又称为地理坐标系,是以参考椭球面作为基准面,以起始子午面(即通过格林尼治天文台的子午面)和赤道面作为在椭球面上确定某一点投影位置的两个参考面。

地理坐标是从整个地球考虑某点的位置,通常用经纬度来表示。

如图 1-3 所示,NS 为椭球的旋转轴,由椭球旋转轴引出的半平面称为子午面,通过英国伦敦格林尼治天文台的子午面,称为首子午面;子午面与椭球面的交线叫子午线,又称经线。过 P 点的子午面与首子午面所夹的二面角称为该点的经度,用 L 表示。同一经线上各点的经度相同。经线在首子午面以东者为东经,以西者为西经,其值都在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。通过椭球中心且与椭球旋转轴正交的平面,称为赤道面,它和椭球面的交线称为赤道;与椭球旋转轴正交但不通过球心的其他平面,和椭球面的交线称为纬圈或纬线。过 P 点作一与椭球体相切的平面,再过 P 点作一与此平面垂直的直线,这条直线称为 P 点的法线(不通过椭球中心),它与赤道面的夹角称为该点的纬度,用 B 表示。同一纬线上的各点的纬度相同。在赤道以北者为北纬,以南者为南纬,其值在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

这样,地面上一点的位置,可用大地坐标 L, B 表示。

2. 高斯平面坐标系

当测区范围较大时,不能把水准面当做水平面。把地球椭球面上的图形展绘到平面上,必然产生变形。为了减少变形误差,我国采用了一种适当的投影方法,就是高斯投影(如图 1-4 所示)。

高斯投影的方法首先是按经线划分成带,称为投影带。投影带是从首子午线(经度为 0°)起,每隔经度 6° 划为一带,称为 6° 带(如图 1-5 所示),自西向东将整个地球划分为 60 个带,依次以 1, 2, 3, ..., 60 进行编号,位于各带中央的子午线称为该带的中央经线,其经度 L_0 与其相应投影带带号 N 的关系为

$$L_0 = 6^\circ \times N - 3^\circ \quad (1-2)$$

高斯投影能使球面图形的角度与投影在平面上的角度一致,但任意两点间的长度投影后会产生变形,离中央子午线越远,变形越大。在投影精度要求较高时,可以把投影带划分再小一些,例如采用 3° 分带,第 n 带的中央子午线经度为

$$L_0 = 3^\circ \times n \quad (1-3)$$

如果投影精度要求更高,还可以采用 1.5° 分带。 1.5° 分带不必全球统一划分,可以将中央子午线的经度设置在测区的中心,因此也称为任意分带。

我国在大地坐标系中的经度位置在 $73^\circ \sim 135^\circ$, 6° 带编号时,在我国 N 为 13 ~ 23, 3° 带编号时,在我国 n 为 24 ~ 45。

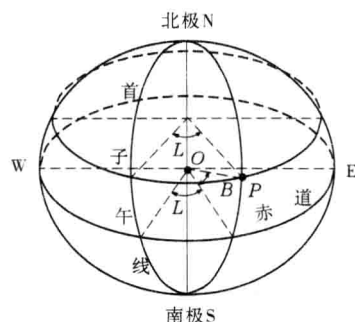


图 1-3 地理坐标

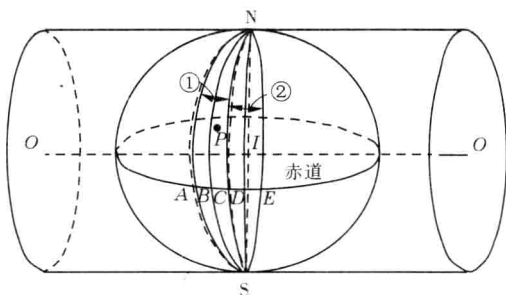


图 1-4 高斯投影

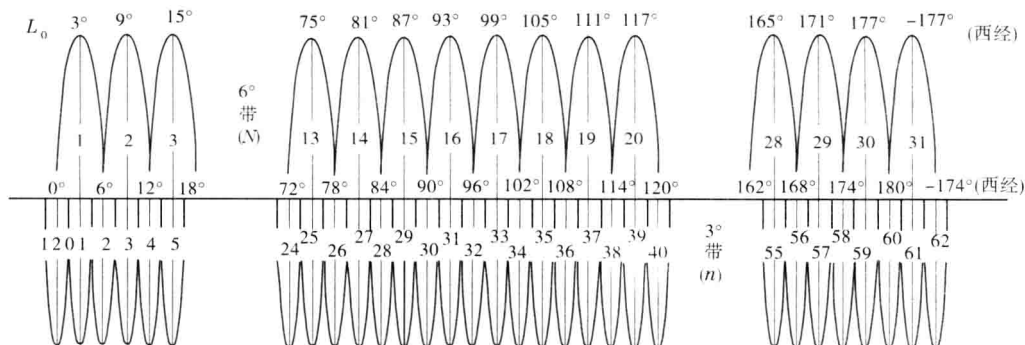


图 1-5 高斯投影分带

高斯投影的基本方法是:设想用一个椭圆柱横切套在地球椭球外面,并与椭球的某一中央子午线相切,如图 1-4 所示,在保持等角的条件下,将中央经线东、西各一定经差范围内的经线和纬线投影到椭圆柱面上,再将圆柱分别沿通过南北极的母线剪开展成平面,即得高斯

平面。投影后,中央子午线长度不变,距离中央子午线越远,其长度投影变形越大。

投影后,取中央子午线与赤道交点的投影为原点,中央子午线的投影为纵坐标 X 轴,赤道的投影为 Y 轴,即构成了高斯平面直角坐标系。如图 1-6 所示,在该坐标系内,规定 X 轴向北为正, Y 轴向东为正。我国位于北半球,纵坐标均为正,横坐标有正有负。为了使用方便,避免出现负值,规定将坐标纵轴西移 500 km,则投影带中任一点的横坐标也恒为正值。例如, P 点的高斯平面直角坐标为 $X_P = 3\,275\,611.188\text{ m}$, $Y_P = -376\,543.211\text{ m}$;若该点位于第 19 带内,则 P 点的国家统一坐标表示为 $X_P = 3\,275\,611.188\text{ m}$, $Y_P = 19\,123\,456.789\text{ m}$ ($500\,000 - 376\,543.211 = 123\,456.789$)。前者称为自然值,后者称为统一值。

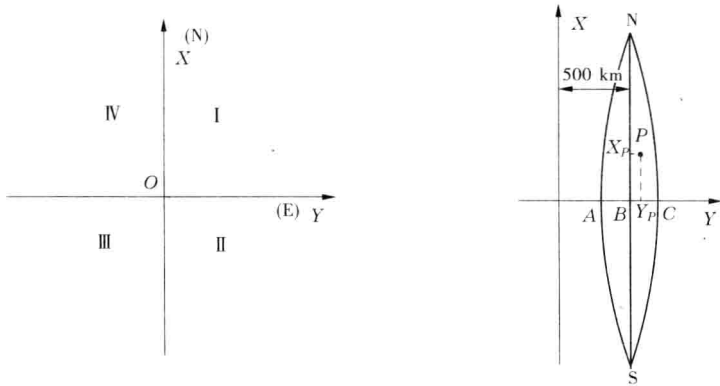


图 1-6 高斯平面直角坐标系

3. 独立平面直角坐标系

当测量区域较小时,可以用测区的切平面代替椭球面作为基准面。在切平面上建立独立平面直角坐标系,测量时可将地面上的点沿铅垂线直接投影到水平面上,并用各点的平面直角坐标来表示其位置。如图 1-7 所示,测量上采用的平面直角坐标系与数学上的平面直角坐标系坐标轴互换,象限顺序相反。纵轴为 X 轴,与南北方向一致,向北为正,向南为负;横轴为 Y 轴,与东西方向一致,向东为正,向西为负。顺时针方向度量,这样便于将数学的三角公式直接应用到测量计算中。原点一般假定在测区西南角,使测区内部点坐标均为正值,以便计算。

数学坐标系与测量平面坐标系见图 1-8。

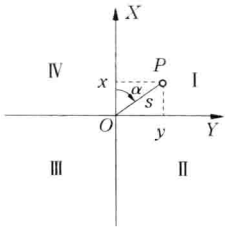
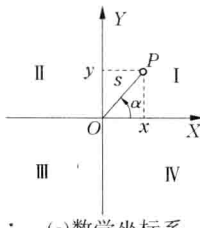
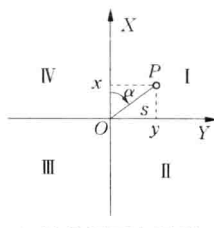


图 1-7 独立平面直角坐标系



(a) 数学坐标系



(b) 测量平面坐标系

图 1-8 数学坐标系与测量平面坐标系

数学上的三角公式适用于测量平面坐标系

$$\left. \begin{aligned} x &= s \cos \alpha \\ y &= s \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

(二) 地面点的高程

1. 绝对高程

绝对高程是指地面上某点到大地水准面的铅垂距离,又称为海拔,用 H 表示。如图 1-9 所示, A 、 B 两点的绝对高程为 H_A 、 H_B 。数值越大,表示地面点越高,当地面点在大地水准面的上方时,高程为正;反之,当地面点在大地水准面的下方时,高程为负。

由于受海潮、风浪等影响,海水面时刻在变化,我国在青岛设立验潮站,长期观测和记录黄海水面的高低变化,取其平均值作为高程基准面,并在验潮站附近建立水准原点。1957 年我国采用青岛验潮站 1950 ~ 1956 年验潮资料计算确定出大地水准面,并以此水准面为基准引测出水准原点的高程为 72.289 m,以此数据测量推算全国水准点的高程,这样建立的高程系统称为 1956 年黄海高程系。20 世纪 80 年代中期,我国又从 1987 年开始以采用青岛验潮站 1952 ~ 1979 年验潮资料计算确定的大地水准面为基准引测出水准原点的高程为 72.260 m,以其为基准测算全国各地的高程,称为 1985 国家高程基准。

2. 相对高程

有些测区,引用绝对高程有困难,或为了计算和使用方便,可采用假定的水准面作为高程起算的基准面。那么,地面上一点到假定水准面的垂直距离称为相对高程,由于高程基准面是根据实际情况假定的,故相对高程有时也称为假定高程。

3. 高差

地面两点之间的高程之差称为高差,用 h 表示,高差有方向性和正负,与高程基准无关。如图 1-9 所示, A 、 B 两点高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A \quad (1-5)$$

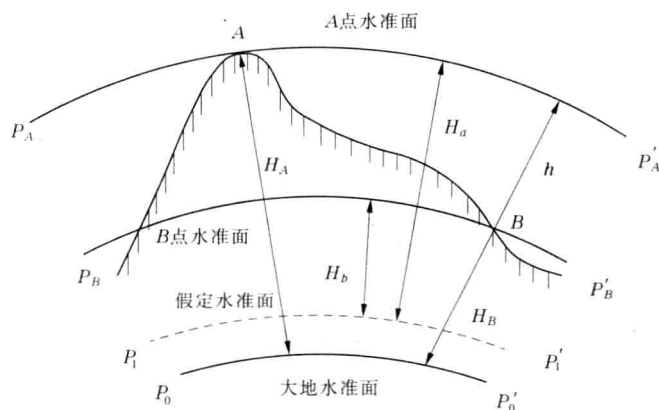


图 1-9 高程与高差

三、地球曲率对测量工作的影响

曲面上的图形投影到平面上会产生变形,变形的程度与曲面的弯曲程度(即曲率)有关。在实际测量工作中,若变形的程度没有超出误差的范围,就可以用平面来代替曲面,否则就不能用平面代替曲面。

(一) 地球曲率对距离测量的影响

如图 1-10 所示, A, B 为地面上的两个点, 它们在大地上水准面上的投影点分别为 a, b , 在水平面上的投影分别为 a', b' 。地球的半径为 R , 假设 ab 的弧长为 D , ab' 的长度为 D' , O 为地球的球心, $\angle AOB$ 的值为 θ , 则用水平面代替曲面所产生的误差为 ΔD , ΔD 可用下式来表示:

$$\Delta D = D' - D = R(\tan\theta - \theta) \quad (1-6)$$

在小区域范围内, θ 一般都很微小, 可将 $\tan\theta$ 用级数展开为

$$\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \dots \quad (1-7)$$

取式(1-7)的前两项, 并与 $\theta = \frac{D}{R}$ 一起代入式(1-6)中, 得

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2 \quad (1-8)$$

将地球半径 $R = 6\,371\text{ km}$ 和不同的数值 D 代入式(1-8)中进行计算, 得到结果见表 1-1。

表 1-1 水平面代替大地水准面对距离的影响

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 $\Delta D/D$
1	0.00	—	20	6.60	1:30 万
5	0.10	1:500 万	50	102.70	1:4.8 万
10	0.82	1:120 万	100	821.20	1:1.2 万
15	2.77	1:54 万			

从表 1-1 中可以看出, 当 $D = 10\text{ km}$ 时, 所产生的距离误差为 0.82 cm, 相对误差为 1:120 万, 即使是精密量距, 这么小的误差也是允许的。因此, 在 10 km 范围内量距, 不用考虑地球曲率对测距产生的影响, 可以用水平面代替地球曲面。

(二) 地球曲率对水平角测量的影响

球面上三角形的内角之和与平面上三角形的内角之和相比较, 其多出的部分称为球面角超, 用 ε 表示, 其值为

$$\varepsilon = \frac{P}{R^2\rho} \quad (1-9)$$

式中 ε ——球面角超(");

P ——球面三角形面积;

ρ ——常数, 取值 206 265"。

将地球半径 $R = 6\,371\text{ km}$ 和不同球面三角形的面积值代入式(1-9)中进行计算, 得到结果见表 1-2。

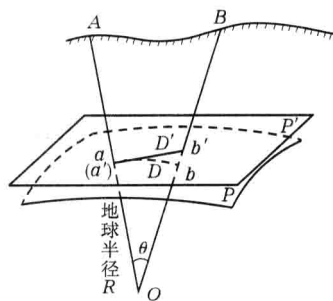


图 1-10 水平面代替曲面对距离和高程的影响

表 1-2 水平面代替水准面对角度的影响

$P(\text{km}^2)$	10	50	100	500
$\varepsilon(^{\circ})$	0.05	0.25	0.51	2.54

从表 1-2 中可以看出,当测区范围在 100 km^2 时,对角度的影响仅为 $0.51''$ 。所以,在一般的测量中,角度的影响可以忽略不计。

(三) 地球曲率对高程测量的影响

如图 1-10 所示,地面上 B 点的高程为铅垂距离 Bb ,若用水平面代替大地水准面,则 B 点的高程为 Bb' ,两者之间的高差用 Δh 表示, Δh 即为对高程的影响。

$$\Delta h = Bb - Bb' = b'O - bO = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1) \quad (1-10)$$

θ 一般都很微小,将 $\sec \theta$ 用级数展开为

$$\sec \theta = 1 + \frac{1}{2} \theta^2 + \dots \quad (1-11)$$

将式(1-11)中的前两项和 $\theta = D/R$ 一起代入式(1-10)中,得

$$\Delta h = R \left(1 + \frac{1}{2} \theta^2 - 1 \right) = R \frac{D^2}{2R^2} = \frac{D^2}{2R} \quad (1-12)$$

将地球半径 $R = 6\,371 \text{ km}$ 代入式(1-12)中,水平距离 D 取不同的值,就会得到不同的 Δh 值,见表 1-3。

表 1-3 水平面代替大地水准面对高程的影响

$D(\text{m})$	10	20	50	100	200	500	1 000
$\Delta h(\text{mm})$	0.01	0.03	0.2	0.8	3.1	19.6	78.5

从表 1-3 中可以看出,用水平面代替大地水准面对高程的影响非常大,200 m 远的距离就会产生 3 mm 的高程误差。根据规定,对于中等精度的高程测量,1 km 长度的高程误差不能超过 2 cm,而表 1-3 中达到了近 8 cm。这就说明,在高程测量中,即使是在短距离或小区域内也必须考虑地球曲率的影响。

第三节 测量工作概述

一、测量工作的基本内容

从本章前述内容知道,测量工作的实质就是确定地面点的位置,地面点位可以用它在投影面上的坐标和高程来确定,但在实际工作中一般不是直接测量坐标和高程,而是通过测量地面点与已知坐标和高程的点之间的几何关系,经过计算间接地得到坐标和高程。因此,测量角度、距离、高差就是测量工作的基本内容,也称为测量工作的三要素,所以高程测量、角度测量、距离测量是测量的三项基本工作。

从事测绘工作的基本步骤是:

(1) 收集资料,根据测区的具体情况制订合理的观测方案;

- (2) 布设控制网,进行控制测量;
- (3) 碎步测量;
- (4) 测绘成果的检验与验收。

二、测量工作的基本原则

不论采取何种方法、使用何种仪器进行测量工作,误差在测量中都是不可避免的。为了防止测量误差的逐渐传递和累积,要求在测量工作中遵循在布局上“由整体到局部”、在工作程序上“先控制后碎步”、在精度上“从高级到低级”的基本原则进行。同时,测量工作必须做到随时检查,步步校核,保证测量成果的准确无误。这也是测量工作的基本要求。

遵循“先控制后碎步”的测量原则,就是先在测区内选择一定数量具有控制作用的点,称为控制点,用精密的仪器和方法精确地测出控制点的位置,这部分工作称为控制测量;然后,根据控制点的位置,再测定控制点周围一定范围内的地物和地貌,这部分工作称为碎步测量。

如图 1-11 所示,先在测区内选择 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 作为该测区的控制点,对其进行测量,并将点分别标在图纸上,然后以 A 点为测站,测定其周围的地物或地貌点,将相关点连接起来,并用一定的符号来表示,该测站的工作完成后,再依次在控制点 B 、 C 、 $\dots$ 开展测量工作,直到整个测区的测量工作完成。



图 1-11 测量工作原则

三、测量常用的计量单位及换算

(一) 长度单位

$$1 \text{ km (千米)} = 1\,000 \text{ m (米)}$$

$$1 \text{ m} = 10 \text{ dm (分米)} = 100 \text{ cm (厘米)} = 1\,000 \text{ mm (毫米)}$$