

高等学校土木工程类专业教学用书

土木工程测量

主 编 文孔越 高德慈

副主编 高贵田

*T*UMU GONGCHENG
CELIANG

北京工业大学出版社

土木工程测量

主 编 文孔越 高德慈
副主编 高贵田
参 编 文孔越 高德慈 高贵田
向怀坤 马宏伟

北京工业大学出版社

内 容 简 介

本书共 14 章,全面介绍了光学测量仪器、电子水准仪、电子经纬仪、全站仪的基本知识,控制测量和地形图测绘的理论和方法,测量误差的基本理论及在工程测量中的应用,以及土建类各专业有关的测绘技术;为适应现代科技的发展,对大型复杂建筑物的测设和高速公路的测量,以及全球定位系统、遥感技术、地理信息系统也做了详尽介绍。附录选编了一级注册结构工程师考试北京辅导教材基础考试部分工程测量习题。

本书可作为高等工科院校土建类各专业的测量学教材,也可供有关工程测量人员和教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/文孔越,高德慈编. —北京:北京工业大学出版社, 2002.2

ISBN 7-5639-1077-8

I. 土… II. ①文…②高… III. 土木工程-工程测量
IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 008645 号

土木工程测量

主编 文孔越 高德慈

副主编 高贵田

*

北京工业大学出版社出版发行

邮编:100022 电话:(010) 67392308

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

*

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 16 开 18 印张 450 千字

印数:1~2500 册

ISBN7-5639-1077-8/T·185

定价:24.00 元

前 言

本书是根据国家专业指导委员会 1999 年 10 月制定的土木类专业土木工程测量课程教学大纲要求,结合编者多年的教学经验,并广泛征求同行和土木工程专家的意见,在 1996 年北京工业大学出版社出版的《测量学》的基础上编写而成。本教材适用于土木工程、交通工程、环境工程、市政工程、桥隧工程、建筑学、建筑工程管理、房地产经营管理及农林等专业,也可供有关工程测量人员和教师参考。

全书共 14 章,系统介绍了常规的工程测量仪器的构造、使用、检验与校正;阐明了控制测量和地形测量的理论和方法;论述了测量误差的基本理论及在工程测量中的应用;对大型复杂建筑物的测设、高速公路测量进行了阐述;结合工程实践分别介绍了上述各专业有关测量技术。为了开拓土木工程类专业知识面,结合专业的需要,本教材对测绘领域的新技术、新仪器、新方法如电磁波测距、电子经纬仪、电子水准仪、全站仪、数字化测图及全球定位系统、遥感技术、地理信息系统等都做了较详细的说明。

本书由文孔越、高德慈主编,高贵田副主编。第一、三、九、十二、十三、十四章及附录由文孔越教授执笔,第二、四、五、十、十一章由高德慈教授执笔,第六章由高贵田副教授执笔,第七、八章由向怀坤博士、马宏伟工程师执笔,全书插图由娄隆厚、高德慈描绘。

在编写过程中,王光遐、张新、马国庆、李之闻、洪越、陈之先、赵忠林等专家、教授给予了指导和帮助,谨致衷心感谢!

感谢北京工业大学教材建设委员会和出版社的指导及对本书出版的热情支持!

由于作者水平有限,时间仓促,书中定有不少缺点和错误,谨请读者和同仁提出批评与指正。来信请寄北京工业大学建筑工程学院文孔越收,邮政编码 100022。

编 著 者

2001 年 11 月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 土木工程测量的任务	(1)
§ 1-2 地面点位的确定	(2)
§ 1-3 测量工作的基本概念	(5)
§ 1-4 用水平面代替水准面的范围	(6)
练习题	(8)
第二章 水准测量	(9)
§ 2-1 水准测量原理	(9)
§ 2-2 水准仪及其使用	(10)
§ 2-3 水准测量的实施	(13)
§ 2-4 微倾式水准仪的检验与校正	(18)
§ 2-5 精密水准仪	(20)
§ 2-6 自动安平水准仪	(22)
§ 2-7 水准测量误差及其削减措施	(23)
§ 2-8 电子水准仪	(24)
练习题	(26)
第三章 角度测量	(28)
§ 3-1 水平角和竖直角测量原理	(28)
§ 3-2 光学经纬仪	(29)
§ 3-3 水平角观测	(31)
§ 3-4 水平角观测误差及其削减措施	(34)
§ 3-5 竖直角观测	(36)
§ 3-6 经纬仪的检验与校正	(38)
§ 3-7 电子经纬仪	(41)
练习题	(43)
第四章 距离测量与方向测量	(46)
§ 4-1 钢尺量距	(46)
§ 4-2 视距测量	(50)
§ 4-3 电磁波测距	(53)
§ 4-4 直线定向	(58)
§ 4-5 陀螺经纬仪测定真北方向	(61)
练习题	(64)
第五章 测量误差的理论基础	(66)
§ 5-1 概述	(66)

§ 5-2 偶然误差的特性	(67)
§ 5-3 评定精度的标准	(69)
§ 5-4 误差传播定律	(72)
§ 5-5 等精度观测	(75)
§ 5-6 不等精度观测	(78)
练习题	(83)
第六章 控制测量	(85)
§ 6-1 控制测量概述	(85)
§ 6-2 导线测量的外业	(87)
§ 6-3 单一导线的计算	(89)
§ 6-4 结点导线的平差计算	(96)
§ 6-5 小三角测量的外业	(98)
§ 6-6 单三角锁的平差计算	(99)
§ 6-7 交会定点	(103)
§ 6-8 三、四等水准测量	(107)
§ 6-9 三角高程测量	(109)
§ 6-10 电子全站仪及其在控制测量中的应用	(111)
§ 6-11 距离的改化与坐标的换带	(113)
练习题	(118)
第七章 地形图测绘	(122)
§ 7-1 地形图的基本知识	(122)
§ 7-2 地物的表示方法	(125)
§ 7-3 地貌的表示方法	(126)
§ 7-4 平板仪的构造与使用	(129)
§ 7-5 地形图测绘前的准备工作	(131)
§ 7-6 地形图的施测方法	(132)
§ 7-7 地形图的绘制	(134)
§ 7-8 地籍测量	(136)
§ 7-9 全站仪数字化测图	(138)
练习题	(139)
第八章 地形图的应用	(140)
§ 8-1 地形图应用的基本内容	(140)
§ 8-2 地形图在工程设计中的应用	(142)
§ 8-3 地形图在土地平整中的应用	(143)
§ 8-4 地形图在城市建设中的应用	(146)
§ 8-5 数字地形图的应用	(147)
§ 8-6 面积计算	(148)
练习题	(152)
第九章 3S 技术简介	(155)

§ 9-1 全球定位系统 (GPS) 简介	(155)
§ 9-2 遥感技术及其应用	(159)
§ 9-3 摄影测量	(161)
§ 9-4 地理信息系统	(168)
练习题	(171)
第十章 测设的基本工作	(172)
§ 10-1 测设已知水平距离的直线	(172)
§ 10-2 测设已知角值的水平角	(173)
§ 10-3 测设已知高程	(174)
§ 10-4 测设已知坡度的直线	(175)
§ 10-5 点的平面位置的测设	(176)
§ 10-6 用全站仪测设点的平面位置和高程	(178)
练习题	(178)
第十一章 建筑施工测量	(180)
§ 11-1 概述	(180)
§ 11-2 建筑场地的施工平面控制测量	(180)
§ 11-3 建筑物平面位置的测设	(183)
§ 11-4 厂房构件的安装测量	(185)
§ 11-5 建筑场地的高程控制与高程传递	(187)
§ 11-6 高层建筑物的竖向投测	(188)
§ 11-7 高耸建(构)筑物的施工测量	(191)
§ 11-8 大型复杂建筑物定位测量	(192)
练习题	(199)
第十二章 线路工程定线测量	(201)
§ 12-1 概述	(201)
§ 12-2 交点测设和转角测定	(202)
§ 12-3 单圆曲线和复曲线主点的测设	(204)
§ 12-4 圆曲线的详细测设	(206)
§ 12-5 缓和曲线的测设	(209)
§ 12-6 回头曲线的测设	(216)
§ 12-7 困难地段圆曲线及缓和曲线的测设	(220)
§ 12-8 高速公路平面线型和对测量的要求	(223)
§ 12-9 线路工程中线桩坐标推算	(225)
§ 12-10 路线纵断面水准测量	(229)
§ 12-11 横断面测量	(233)
§ 12-12 全站仪在线路工程中线测量中的应用	(236)
练习题	(236)
第十三章 线路工程施工测量	(239)
§ 13-1 线路工程路基施工测量	(239)

§ 13-2 桥梁工程施工测量	(243)
§ 13-3 隧道工程施工测量	(247)
§ 13-4 管道工程施工测量	(250)
练习题	(253)
第十四章 变形观测	(256)
§ 14-1 变形观测的目的与精度要求	(256)
§ 14-2 垂直位移测量	(257)
§ 14-3 水平位移观测	(259)
§ 14-4 倾斜观测	(261)
§ 14-5 裂缝观测	(263)
§ 14-6 日照变形观测	(263)
§ 14-7 滑动式测斜仪在变形观测中的应用	(264)
练习题	(268)
附录 一级注册结构工程师考试北京辅导教材基础考试部分工程测量习题选编	(269)
主要参考文献	(278)

第一章 绪 论

§ 1-1 土木工程测量的任务

一、测量学的分类

测量学是一门研究地球形状、大小和确定地面、空中、地下、海洋物体位置以及对这些位置信息进行研究、处理、存储、管理和应用的科学。根据研究对象、采用技术手段和应用的不同，分为以下几个学科。

(1) 大地测量学 研究地球形状、大小、地球重力场以及广阔地面上建立国家大地控制网的理论、技术和方法的科学，是整个测量学的基础理论学科。在计算与制图过程中都要考虑地球曲率的影响。大地测量学又可分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

(2) 普通测量学 研究地球表面较小区内测量与制图的理论、技术和方法的科学。在测绘过程中不考虑地球曲率的影响，用平面代替地球曲面，根据需要建立小地区的控制网，并测绘各种比例尺地形图，及进行一般的施工测量。

(3) 摄影测量学 研究利用摄影或遥感技术获取被摄物体的信息，以确定物体的形状、大小、性质及空间位置的理论、技术和方法的科学。由于摄影方式的不同，又分为航空摄影测量、地面摄影测量、航天摄影测量及水下摄影测量等。遥感技术正高速发展，摄影方式和研究对象日益多样化。

(4) 工程测量学 研究工程建设在勘测、设计、施工、竣工验收和运行管理中进行各种测量的理论、技术和方法的科学。由于对象不同，分为建筑工程测量、线路工程测量、桥隧测量和矿山测量等。

(5) 海洋测量学 研究地球表面水体（江、湖和海洋）、港口、航道及水下地貌等测量的理论、技术和方法的科学。

(6) 地图制图学 研究利用测量成果制作各种地图的理论、工艺和方法的科学。其研究内容包括地图编制、地图投影、地图整饰及电子地图的制作与应用。

在国民经济建设中，例如铁路和公路线路的选线与修建、城市居民点以及工业企业的布置与建设、水利灌溉工程的建设、各种资源的勘察开发、农业基本建设等，都需要利用测量提供的资料和图纸进行规划设计，选定经济合理的方案，并通过测量配合各项工程的施工，保证设计意图正确执行。竣工后还要编绘竣工图，以满足工程的使用、管理、维修以至扩建的需要。在国防建设上，国界的划定、国防工程的修建、战略战术的部署和具体军事行动的指挥等，都需要详细、准确的地形图和测量数据作为依据。在科学研究方面，一些以地球为研究对象或与地球有密切关系的学科，如地球形状和大小的研究、地壳升降、海陆变迁、地震预报，以及近代航天技术的发展，都需要测量提供资料或作为研究手段。

二、土木工程测量的任务

土木工程测量属于普通测量学和工程测量学的范畴，其主要任务是：

(1) 研究局部区域的控制测量和平差计算的理论及方法 控制测量及误差知识是所有测量的基础,这里将具体研究讨论平面控制和高程控制的布设、施测、平差计算、数据处理,还要讨论角度、距离、高差、坐标等测量的仪器和方法。

(2) 研究局部区域测绘地形图的理论和方法 地形图是土木工程勘测、规划、设计的依据,研究局部地区投影理论以及将测量资料按需要制作成地形图或电子地图的原理和方法。

(3) 研究讨论在地形图上进行规划和设计的方法 研究线路工程例如铁路和公路利用地形图选线、房屋设计和区域规划利用地形图定位、利用地形图进行土地平整和土方计算等。

(4) 研究建筑物施工放样及建筑物质量检验技术 施工放样测量是工程施工的依据,土木工程测量是研究和讨论将设计好的图纸以规定精度把建筑物、构筑物标定在实地上的测设工作的理论和方法;还要研究施工安装中的监测技术,以保证施工质量。

(5) 研究讨论大型建筑物施工和运行过程中的变形观测技术和观测方法 建筑物、构筑物在施工和运行阶段,由于受自重和外力的影响,很可能发生水平和垂直位移,变形观测理论和方法是土木工程测量的重要内容。

土木工程测量在土木建筑工程、交通工程、市政工程、水利工程、环境工程、桥隧工程、工程管理及农林建设中有着广泛的应用,学习本课程的目的是要求掌握土木工程测量的基本知识、基本理论和基本操作技能,并灵活应用于有关专业工作中。

§ 1-2 地面点位的确定

一、基准线和基准面

在测量学中,某点的基准线就是通过该点的铅垂线。所谓铅垂线,就是地面上一点的重力方向线。如果悬挂一垂球,当它静止时所指的方向就是重力方向。

测量主要是以地球为工作对象,地球表面起伏不平,有高山、深谷、平原、海洋等,称之为地球的自然表面。由于地球表面 71% 是海洋,可以假想把静止不动的海平面延伸穿过陆地,包围了整个地球,形成一个闭合的曲面,这个曲面称为水准面;水准面的特点是面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。位于不同高度的水准面可以有无数个,而以通过平均海水面的那个称为大地水准面,它就是点位投影和计算高程的基准面,由这个面所围成的几何形状称为大地球体,可以把它看作是地球的实际形状。

由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线方向变化,以致大地水准面的形状相当复杂,为便于计算及制图,测量学上就选用一个和大地水准面总的形状非常接近的数学形体来代表

地球形体。如图 1-1 所示,这个数学形体是椭圆 PQP_1E 绕其短轴 PP_1 旋转而成的旋转椭球体,又称地球椭球体。数个世纪以来,许多学者曾分别测算出确定地球椭球体形状和大小的元素值,即长半径 a 、短半径 b 及扁率 α 。目前,中国采用了 1979 年第 17 届国际大地测量与地球物理联合会的推荐值:

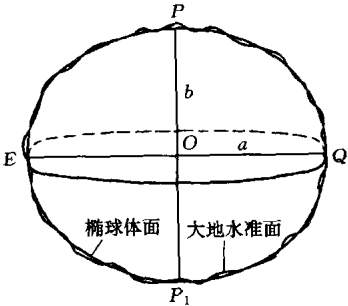


图 1-1

$$a = 6378.137\text{km}$$
$$\alpha = \frac{a - b}{a} \approx \frac{1}{298.257}$$

为了在精度许可下便于计算,可把地球近似地看成圆球,取其半径 $R = (2a + b) / 3 \approx 6371\text{km}$, 此值已能满足一般工程测量的精度要求。

二、确定点位的坐标系

测量工作的基本任务是确定地面点位,通常是求出地面点相对于某基准面、基准线的三维坐标。下面介绍几种确定点位的坐标系,它们之间可以通过相应的关系式进行换算。

(一) 天文地理坐标系

地理坐标系是以经度和纬度表示点在大地水准面上投影的球面位置,它把整个地球置于一个坐标系中,所以又称为绝对位置。

如图 1-2 所示,地面上一点 D 的经度,即通过该点的子午面与通过格林威治天文台的首子午面所夹的二面角,一般用 λ 表示;自首子午线以东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为东经,以西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为西经。通过 D 点的铅垂线和赤道平面所组成的角度称为 D 点的纬度,一般用 φ 表示;自赤道向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为北纬,向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为南纬。一点的经纬度确定后,它的绝对位置也就确定了。例如北京某点的地理坐标为东经 $116^\circ 28'$, 北纬 $39^\circ 54'$ 。天文地理坐标系在地面上用天文观测方法测定出来。

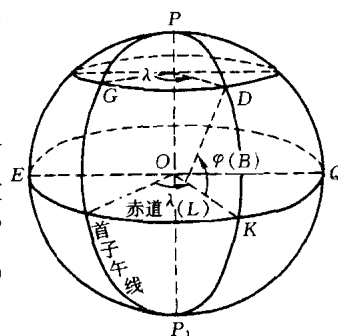


图 1-2

(二) 大地地理坐标系

大地地理坐标是用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点投影在地球椭球面的位置。确定球面经度和纬度的基准线是椭球面的法线,基本面是包括法线及南北极的大地子午面,如图 1-2 所示,某点的大地经度 L 是该点的大地子午面与首子午面的夹角,某点的大地纬度 B 是过该点椭球面法线与赤道平面的夹角。大地经纬度是根据一个起始的大地原点(该点的大地经纬度与天文经纬度一致)的大地坐标,根据大地测量所得数据推算而得到的。

中国已在陕西省泾阳县永乐镇建立了大地原点,据此建立起的全国统一坐标系称“1980 国家大地坐标系”。

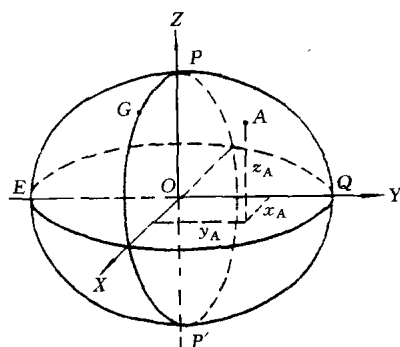


图 1-3

(三) 地心坐标系

地心坐标系是空间三维直角坐标系,用于卫星大地测量。由于人造地球卫星围绕地球旋转,则这种坐标系采用地球的质量中心为坐标原点, X 轴、 Y 轴在地球赤道平面内,首子午面与赤道平面的交线为 X 轴, Z 轴与地球自转轴相重合,如图 1-3 所示,地面点 A 的空间位置用三维直角坐标 x_A 、 y_A 、 z_A 表示。

(四) 高斯直角坐标系

高斯直角坐标系是采用高斯横圆柱投影的方法建立的平面直角坐标系,是一种球面坐标与平面坐标相关联的坐标系。

高斯投影方法是将地球划分为若干带,如图 1-4 (a) 所示。从首子午线起,每隔经差 6° 为一带,将地球自西向东等分为 60 带,带号 N 依次为 1, 2, ..., 60。位于各带边缘的子

午线称为分带子午线，位于各带中央的子午线称为中央子午线，设其经度为 λ ，则在东半球第 N 带中央子午线的经度为

$$\lambda = 6N - 3 \tag{1-1}$$

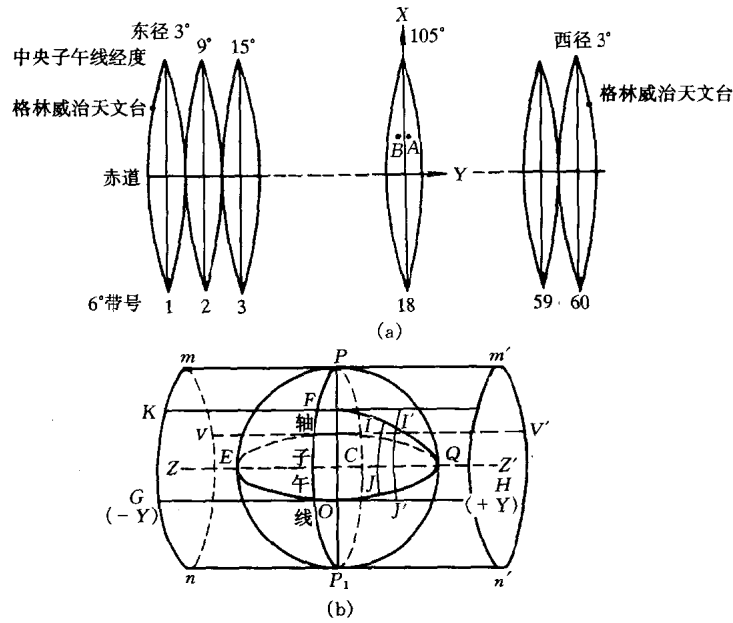


图 1-4

每带独立进行投影，如图 1-4 (b) 所示。投影时使地球椭球上某 6°带的中央子午线与横椭圆柱面相切，在椭球面上的图形与椭圆柱面上的图形保持等角的条件下，将整个 6°带投影到椭圆柱面上，然后将椭圆柱沿通过南北极的母线 (mm' 及 nn') 切开并展成平面，即得到 6°带在平面上的形象。中央子午线和赤道为互相垂直的直线，分别为 X 轴和 Y 轴，交点为原点，即组成高斯平面直角坐标系。投影中，离中央子午线越远处变形越大，为减小变形也可采用 3°带。

中国位于北半球，纵坐标均为正值，而横坐标则有正有负，为避免横坐标出现负值，规定把纵轴向西平移 500km，并在横坐标值上冠以带号，以区别不同带的坐标。例如图 1-4 (a)， A 、 B 点位于第 18 带，其纵坐标值 $x_A = x_B = 3\,236\,107.860\text{m}$ ；横坐标 $y_A = -y_B = 056\,103.445\text{m}$ ，则横坐标应写为 $y_A = 18\,556\,103.445\text{m}$ ， $y_B = 18\,443\,896.555\text{m}$ ，此坐标称为通用坐标。

(五) 独立直角坐标系

当测区面积较小时，可不考虑地球曲率的影响，就不必进行复杂投影计算，可以直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上，由平面直角坐标表示其投影位置。

独立平面直角坐标系如图 1-5 所示。规定以南北方向为纵轴，记为 X 轴，原点以北为正，原点以南为负；以东西方向为横轴，记为 Y 轴，原点以东为正，原点以西为负。原点 O 一般设定在测区的西南角，以使测区内各点的 x 、 y 坐标均为正值。坐标系的象限按顺时针方向编号。直线的方向按 X 轴的正向起顺时针量取夹角。虽然 X 轴与 Y 轴的位置、象限顺序和直线方向的量取均与数学中不同，而数学中的公式却可直接应用到测量计算中，不需

作任何变更。

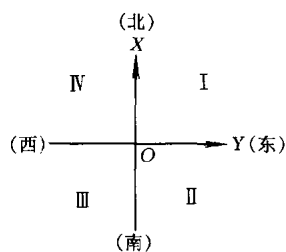


图 1-5

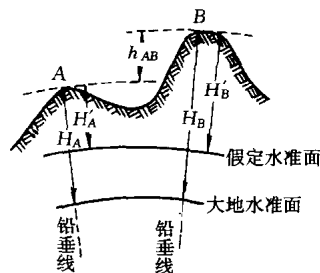


图 1-6

三、点的高程

地面上任一点到水准面的铅垂距离就是该点的高程。地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程，又称为海拔。例如珠穆朗玛峰海拔 8848.13m，就是按 1956 年黄海高程系统，它高出大地水准面 8848.13m。目前中国采用的是“1985 国家高程基准”，这个大地水准面是以青岛验潮站 1952 年至 1979 年所测定的黄海平均海水面作为全国高程的统一起标面，并推得青岛水准原点高程为 72.260m，全国各地的高程则以它为准进行测算。原施行的 1956 年黄海高程系（青岛水准原点高程为 72.289m）已废止。

在局部地区，也可以假定一个水准面作为高程起算面，地面上一点到假定水准面的铅垂距离称为相对高程。两点高程之差称为高差。如图 1-6 所示，A、B 两点的绝对高程为 H_A 、 H_B ，两点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B ，A、B 两点高差为 $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ 。

§ 1-3 测量工作的基本概念

一、测量工作的基本原则

当进行测量工作时，测量成果都将不可避免地带有误差，而测量成果的使用都有一定精度要求，因此，就要有一系列的操作规定和校核方法来保证成果的质量。精度不够将不能满足工程设计需要，甚至发生质量事故；另一方面，如果不顾工程实际需要而盲目追求高精度，则将给测量工作中的人力、物力和时间带来损失和浪费。

为了防止测量误差的逐渐传递、累积增大到不能容许的程度，首先要用较严密的方法、较精密的仪器和较严格的计算，施测一些“骨干”点子，以保证整体的精度，再从这些点施测另外的点子。也就是：在测量布局上“由整体到局部”，在精度上“由高级到低级”，在程序上要“先控制后碎部”，这是测量工作应遵守的一个很重要的原则。

二、控制测量、碎部测量、施工放样

(一) 控制测量

控制测量分为平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量是将前面所说的“骨干”点子组成连续的三角形，称为三角网；或组成相互连接的折线形，称为导线。用精密的仪器和较精确的方法测量它们的相对位置，并推算其坐标，这项工作称为平面控制测量，这些“骨

干”点子即是平面控制点。高程控制测量是由一系列水准点或三角高程点构成，亦可将三角网、导线等平面控制点兼作高程控制点位，一般用水准测量或三角高程测量的方法测定它们的高程。这项工作称为高程控制测量。控制测量是带有全局性的工作，在比较大的测区，应根据需要按照不同的精度要求分成各种等级，逐层加密直至满足应用要求。

(二) 碎部测量

地表的外形是很复杂的，各种物体类别多种多样，地势高低起伏千差万别，在测量中将它们分为地物和地貌两种。地物是指人工构筑物 and 自然形成的有明显轮廓的物体，如房屋、道路、沟渠、电杆、河流和湖泊等；地貌是指地面高低起伏的形态，如平原、丘陵、山岭、河谷和洼地等。地物和地貌统称为地形。碎部测量是以控制点为依据测定碎部点（地物和地貌的特征点）对控制点的关系。如果测量的目的只为获得地物水平投影的位置，则这种测量称为地物测量。如果既要获得地物的水平投影位置，又要获得地面的高低起伏情况，则这种测量称为地形测量。碎部测量最后成果是将测得的地物、地貌缩绘到图纸上。地物测量所取得的图称为平面图，地形测量取得的图称为地形图。

(三) 施工放样

在配合工程施工的施工测量中以控制点为依据，把图上设计的建筑位置测设到实地上称为施工放样。由于控制网是一个整体，因此，不论建筑物的范围有多大，形状有多么复杂，由各控制点测设出来的建筑物位置必能联系成为一个整体。在放样过程中，仍然要遵循从整体到局部的测量工作原则，先放样建筑物的主要轴线，再进行细部放样。

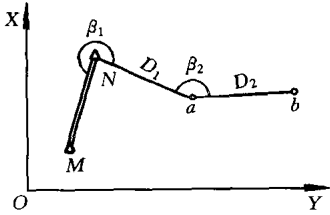


图 1-7

三、传统测量工作的三个基本观测量

测量工作的任务是确定地面点的位置，而点与点之间的相对位置关系可用距离、角度和高差来确定。如图 1-7 所示，地面点 A、B 在投影面上的位置是 a 和 b，传统的测量仪器和方法，并不能直接测出它们的坐标和高程，而是观测水平角 β_1 、 β_2 和丈量水平距离 D_1 、 D_2 ，以及施测各点之间的高差，再根据已知点 N 的坐标及高程，推算各点的点位。由此可见，角度、距离和高差是传统测量工作的基本观测量，也是确定地面点位的基本要素，称为测量三要素。

应该指出，由于全站仪和电子水准仪的应用，它们都可通过仪器内部的计算机自动计算出结果，对我们来说，则可以直接观测到待定点的坐标和高程。

§ 1-4 用水平面代替水准面的范围

如果将一个曲面铺开成平面，曲面上的图形必然产生变形。当把大地水准面上的图形测绘到平面图纸上时，只有当图形的变形不超过测量与制图误差才是许可的，因此，要研究在多大范围内才许可用水平面代替水准面。

在图 1-8 中，A、B 和 C 为地球自然表面上的点，把它们投影到大地水准面上，得到 a、b 和 c 点，此三点再投影到区域中心点 A 的大地水准面的切平面上，得到 a'、b' 和 c' 点。

一、距离的变化及许可范围

用水平面上的长度 D' 代替大地水准面 (近似地认为它是圆球面, 半径 $R = 6371\text{km}$) 上的弧长 D 所产生的误差为

$$\begin{aligned}\Delta D &= D' - D = R \operatorname{tg} \theta - R \theta \\ &= R (\operatorname{tg} \theta - \theta)\end{aligned}\quad (1-2)$$

因为 $\operatorname{tg} \theta \approx \theta + \frac{\theta^3}{3}$ (此为 $\operatorname{tg} \theta$ 的级数展开式, 因 θ 角很小, 已略去其高次项), 则

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

以 $\theta = D/R$ 代入上式, 则

$$\Delta D \approx \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-3)$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} \approx \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-4)$$

以 R 值和不同的 D 值代入上式右边, 即可得到各对应的距离误差与该距离之比值 $\Delta D/D$, 称为相对误差, 相对误差通常化为分子为 1 的分式表示。当 $D = 10\text{km}$ 时, 距离误差为 8.2mm , 相对误差为 $1/122000$, 这在最精密的距离丈量中也是允许的, 因而在半径 10km 的范围内用水平面代替水准面产生的距离误差可以忽略不计, 即不考虑地球曲率对距离的影响。

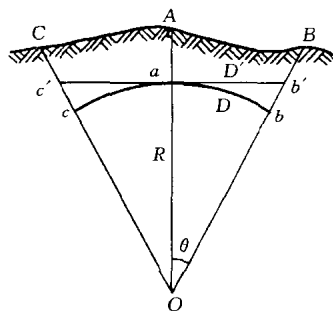


图 1-8

二、高程的变化及许可范围

如图 1-8 所示, B 点对水平面的高程为 Bb' , 对水准面的高程为 Bb , 则用水平面代替水准面产生的高程误差为 $\Delta h = b'b$, 于是

$$\begin{aligned}(\Delta h + R)^2 &= R^2 + D'^2 \\ \Delta h &= \frac{D'^2}{2R + \Delta h}\end{aligned}$$

上式分母中, Δh 与 $2R$ 相比可以忽略不计, 再以 D 代替分子中的 D' , 则

$$\Delta h \approx \frac{D^2}{2R} \quad (1-5)$$

当 D 分别为 0.2km 、 1km 和 2km 时, 代入式 (1-5), 求得相应的 Δh 分别为 3mm 、 8cm 和 31cm 。因此, 用水平面代替水准面对高程的影响在较小范围内也不能忽略, 而要采取一定的操作措施或加曲率改正。

三、平面角的变化及许可范围

由于球面三角形内角和与平面三角形内角和之差为球面角超

$$\epsilon'' = \frac{S}{R^2} \cdot \rho'' \quad (1-6)$$

式中 S ——三角形面积。

当 $S = 100\text{km}^2$ 时, $\epsilon \approx 0.5''$ 。这在一般工程测量中可忽略不计。因此, 在 100km^2 的范

围内，用水平面代替水准面，测水平角可不顾及地球曲率的影响。

练习题

1. 土木工程测量的任务是什么？
2. 确定地面点位常采用哪几种坐标系，它们是如何定义的？
3. 什么是大地水准面？它有什么特性？其作用为何？
4. 什么是绝对高程？什么是相对高程？
5. 今测得地面两点 A 、 B 相对高程分别为 $H'_A = 85.324\text{m}$ ， $H'_B = 47.223\text{m}$ ，其作为基准面的假定水准面的绝对高程为 58.721m 。问 A 、 B 两点的绝对高程 H_A 、 H_B 各为多少？试绘图说明。
6. 什么是“1985 国家高程基准”？
7. 设地面点 B 为东经 $121^\circ 48' 18''$ ，问该点位于 6° 投影带的第几带？其中央子午线的经度是多少？
8. A 点高斯平面直角坐标值 $X = 345\,243.91\text{m}$ ， $Y = 20\,231\,108.83\text{m}$ ，问该点是在 6° 带的第几带？该带中央子午线经度是多少？绘图表示 A 点在该带的位置，并指出 A 点与中央子午线和赤道的距离各是多少？ A 点与该带坐标原点的距离是多少？
9. 水准面与水平面有什么区别？在什么范围内可将水准面看作为水平面？
10. 怎样理解测量工作要遵循“从整体到局部”、“由高级到低级”、“先控制后碎部”的原则？
11. 为确定地面点的位置，传统的测量工作有哪几项基本观测量？
12. 测量学在国民经济中有何作用？与你所学的专业有什么关系？

第二章 水准测量

§ 2-1 水准测量原理

一、水准测量原理

水准测量是利用水准仪提供的水平视线对竖立在两点的水准尺进行观测，以测定两点间的高差，如果其中一点高程为已知，另一点高程即可算出，这个方法又称为几何水准测量。

如图 2-1 所示，若要测定 M 、 N 两点高差，可在两点间安置水准仪，在 M 、 N 两点分别铅直竖立水准尺，利用水准仪的水平视线读出 M 点水准尺上读数 a 和 N 点水准尺上读数 b ，则得到高差公式：

$$h_{MN} = a - b \quad (2-1)$$

h_{MN} 即为 N 点对 M 点的高差。如果 M 点高程 H_M 为已知，则 N 点的高程为

$$H_N = H_M + h_{MN} \quad (2-2)$$

式中 a ——已知高程点的水准尺读数，称为后视读数；

b ——欲求高程点的水准尺读数，称为前视读数。

计算高差时，恒为后视读数减前视读数，因此，高差有正负之分。当 $a > b$ 时， h_{MN} 为正，表示前视点比后视点高；当 $a < b$ 时， h_{MN} 为负，表示前视点比后视点低。

在实际工作中，常常需要安置一次仪器测算很多点的高程，可先求出水准仪的视线高程，然后再分别计算各点高程，这种方法称为视线高法。从图 2-1 中可以得出视线高法公式：

$$\text{视线高} \quad H_i = H_M + a \quad (2-3)$$

$$N \text{ 点高程} \quad H_N = H_i - b \quad (2-4)$$

二、连续水准测量（路线水准测量）

如图 2-2 所示，当要测的 M 、 N 两点距离较远或高差较大，或遇有障碍，安置一次仪器不能通视时，须在水准路线中加设若干个临时立尺点，依次按基本方法测定相邻两点间的高差，然后取各高差的代数和，即得起、终两点的高差。这种方法称为连续水准测量，其公式为

$$h_i = a_i - b_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2-5)$$

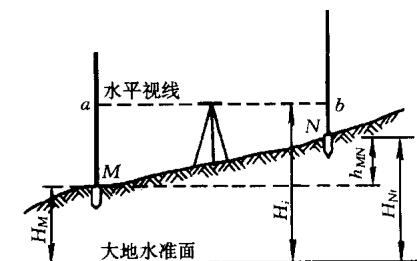


图 2-1

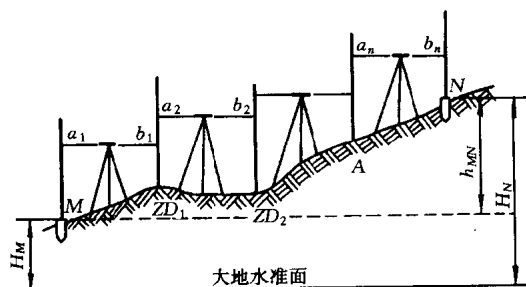


图 2-2