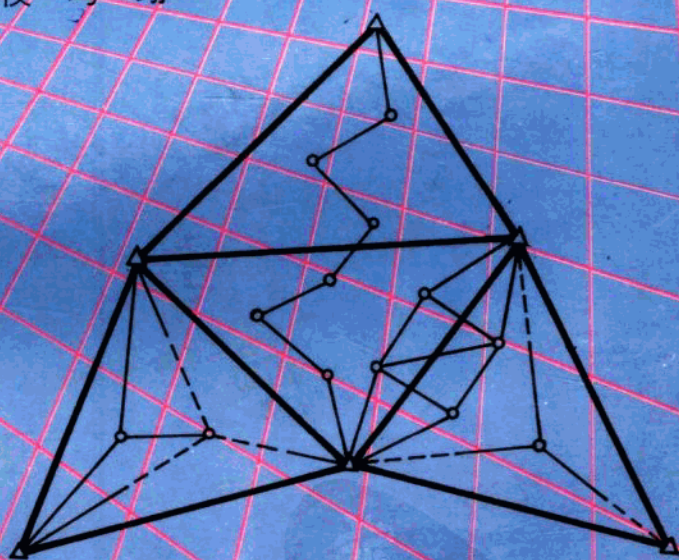


高等学校教学用书

测量学

主 编 高德慈 文孔越
副主编 高贵田
审 校 冯 翊



北京工业大学出版社

测量学

主 编 高德慈 文孔越
副主编 高贵田
审 校 冯 翊

北京工业大学出版社

(京)登 95 第 212 号

内 容 简 介

本书共十四章,全面介绍了测量仪器的基本知识,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测量工作中的应用以及土建类各专业有关的测绘技术;
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摄影测量、建筑
物变形观测等也做了详尽介绍。本书可作为高等工科院校土建类各专业及城乡规划、土
地管理等专业的测量学教材,也可供有关工程测量人员和教师参考。

测 量 学

主 编 高德慈 文孔越

副主编 高贵田

※

北京工业大学出版社出版发行

各地新华书店经销

北京育才印刷厂印刷

※

1996 年 3 月第 1 版 1996 年 3 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 16 开本 20 印张 496 千字

印数: 1~4000 册

ISBN7-5639-0493-X/T·50

定价: 14.20 元

序 言

本书是以工业与民用建筑工程、交通工程、路桥隧工程、给水与排水工程、市政工程、涉外建筑工程、建筑学、现代建筑工程管理、城乡规划、土地管理等多个专业的测量学教学大纲为依据编写的。在编写过程中，作者竭力将多年来的教学经验与工程实践经验融会贯通于书中，并吸收了国内外同类教材的精华，经多次修改而成。

全书共十四章，介绍了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图测绘的理论和方法；论述了测量误差的理论基础及在测量工作中的应用；对光电测距、陀螺仪测定真方位角、电子经纬仪等也做了详尽说明；结合工程实践分别介绍了上面提到的各专业有关的测绘技术；对大型复杂建筑物的测设及高速公路测量做了阐述；对摄影测量、建筑物变形观测做了详细介绍。本书可作为上述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。

本书由高德慈、文孔越主编，高贵田副主编，冯翊审校。第二、四、五、九、十和十三章由高德慈执笔，第一、三、十一、十二和十四章由文孔越执笔，第六章由高贵田执笔，第七章由陈之先执笔，第八章由赵忠林执笔；全书插图由娄隆厚、高德慈描绘。

在编写过程中，蔺尚义、王光遐、申根宝、张新、马国庆、李之闻、洪越等教授、专家给予了指导、帮助并提供资料，谨致衷心感谢！

在本书出版之际，感谢施长衡、黄志文教授对本书稿的美好评议！

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土木工程学系文孔越收，邮政编码 100022。

编 著 者

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 测量学的任务、分类及作用	(1)
§ 1-2 地面点位的确定	(2)
§ 1-3 测量工作的基本概念	(4)
§ 1-4 用水平面代替水准面的范围	(6)
练习题	(7)
第二章 水准测量	(8)
§ 2-1 水准测量原理	(8)
§ 2-2 水准仪及其使用	(9)
§ 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)
练习题	(25)
第三章 角度测量	(27)
§ 3-1 水平角和竖直角测量原理	(27)
§ 3-2 光学经纬仪	(27)
§ 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	(45)
§ 4-1 钢尺量距	(45)
§ 4-2 视距测量	(50)
§ 4-3 视差法测距	(53)
§ 4-4 电磁波测距	(54)
§ 4-5 直线定向	(60)
§ 4-6 陀螺经纬仪测定真北方向	(63)
练习题	(66)
第五章 测量误差的理论基础	(69)
§ 5-1 概述	(69)

§ 5-2 偶然误差的特性	(70)
§ 5-3 评定精度的标准	(72)
§ 5-4 误差传播定律	(75)
§ 5-5 等精度观测	(78)
§ 5-6 不等精度观测	(81)
§ 5-7 最小二乘法原理	(87)
练习题	(89)
第六章 控制测量	(92)
§ 6-1 控制测量概述	(92)
§ 6-2 导线测量的外业	(95)
§ 6-3 单一导线的计算	(97)
§ 6-4 结点导线的平差计算	(104)
§ 6-5 小三角测量的外业	(106)
§ 6-6 单三角锁的平差计算	(108)
§ 6-7 中心多边形的平差计算	(111)
§ 6-8 大地四边形的平差计算	(114)
§ 6-9 交会定点	(116)
§ 6-10 三、四等水准测量	(120)
§ 6-11 三角高程测量	(122)
§ 6-12 电磁波测距三角高程测量	(123)
§ 6-13 距离的改化与坐标的换带	(125)
§ 6-14 全球定位系统 (GPS) 简介	(129)
练习题	(133)
第七章 地形图测绘	(138)
§ 7-1 地形图的基本知识	(138)
§ 7-2 地物的表示方法	(141)
§ 7-3 地貌的表示方法	(143)
§ 7-4 平板仪的构造与使用	(146)
§ 7-5 地形图测绘前的准备工作	(148)
§ 7-6 地形图的施测方法	(149)
§ 7-7 地形图的绘制	(152)
§ 7-8 地籍测量	(153)
练习题	(155)
第八章 地形图的应用	(157)
§ 8-1 地形图的阅读	(157)
§ 8-2 地形图应用的基本内容	(157)
§ 8-3 地形图在工程设计中的应用	(159)
§ 8-4 地形图在土地平整中的应用	(161)
§ 8-5 地形图在城市建设中的应用	(164)

§ 8-6 面积计算	(165)
练习题	(170)
第九章 摄影测量的基本知识	(174)
§ 9-1 概述	(174)
§ 9-2 航空摄影与航摄像片	(174)
§ 9-3 象片的立体观察与量测	(176)
§ 9-4 航空摄影测量的程序	(180)
§ 9-5 地面立体摄影测量	(183)
§ 9-6 摄影测量在工程建设中的应用	(187)
练习题	(188)
第十章 测设的基本工作	(189)
§ 10-1 测设已知水平距离的直线	(189)
§ 10-2 测设已知角值的水平角	(190)
§ 10-3 测设已知高程	(191)
§ 10-4 测设已知坡度的直线	(193)
§ 10-5 点的平面位置的测设	(193)
练习题	(195)
第十一章 道路工程测量	(196)
§ 11-1 概述	(196)
§ 11-2 交点测设和转角测定	(197)
§ 11-3 单圆曲线和复曲线主点的测设	(200)
§ 11-4 圆曲线的详细测设	(202)
§ 11-5 缓和曲线的测设	(208)
§ 11-6 回头曲线的测设	(217)
§ 11-7 困难地段圆曲线及缓和曲线的测设	(222)
§ 11-8 曲线测设误差分析与长大曲线的分段测设	(225)
§ 11-9 高速公路平面线型和对测量的要求	(227)
§ 11-10 路线纵断面水准测量	(231)
§ 11-11 横断面测量	(235)
§ 11-12 地形图测绘	(238)
§ 11-13 道路施工测量	(240)
§ 11-14 桥梁施工测量	(245)
§ 11-15 隧道施工测量	(249)
练习题	(253)
第十二章 建筑施工测量	(256)
§ 12-1 概述	(256)
§ 12-2 建筑场地的施工平面控制测量	(256)
§ 12-3 建筑物平面位置的测设	(259)
§ 12-4 厂房构件的安装测量	(262)

§ 12-5	建筑场地的高程控制与高程传递	(264)
§ 12-6	高层建筑物的竖向投测	(265)
§ 12-7	高耸建(构)筑物的施工测量	(269)
§ 12-8	大型复杂建筑物定位测量	(270)
练习题		(278)
第十三章	管道工程测量	(280)
§ 13-1	概述	(280)
§ 13-2	准备工作与踏勘定线	(280)
§ 13-3	管道中线测量	(281)
§ 13-4	管道纵横断面图的测绘	(282)
§ 13-5	土方估算	(286)
§ 13-6	管道施工测量	(286)
§ 13-7	顶管施工测量	(290)
§ 13-8	管道竣工测量	(291)
练习题		(293)
第十四章	变形观测	(295)
§ 14-1	变形观测的目的与精度要求	(295)
§ 14-2	垂直位移测量	(296)
§ 14-3	水平位移观测	(299)
§ 14-4	倾斜观测	(301)
§ 14-5	裂缝观测	(303)
§ 14-6	日照变形观测	(304)
§ 14-7	滑动式测斜仪在变形观测中的应用	(304)
练习题		(308)
参考文献		(310)

第一章 绪 论

§ 1-1 测量学的任务、分类及作用

测量学是一门研究地球形状和大小以及确定地面、空中、地下点位的科学。其主要任务一是确定点位和测绘地形图，称为“测定”，另外是建筑物放样，称为“测设”。前者是研究如何对地球表面的形状进行观测、计算，并用各种图形符号绘制成图，或提出一系列数据，为国民经济建设、国防建设及科学研究提供资料；后者是指研究如何把图纸上设计的各种工程建筑物图形测设到地面上，作为施工的依据。

根据测量研究的对象及应用，测量学基本上可以分为五个分支学科。

1. 大地测量学

研究地球表面较大范围甚至整个地球的形状和大小，建立国家大地控制网以及协助解决与地球形状、性质有关的科学问题，在计算与绘图过程中要考虑到地球的曲率。大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

2. 普通测量学

研究对象是小区域地球表面的形状和大小，不考虑地球曲率，用平面代替地球曲面，根据需要建立小区域内的控制测量和测绘各种比例尺的地形图，以及一般的施工测量。

3. 摄影测量学

研究利用摄影取得的象片来确定物体形状、大小和位置。由于摄影方式不同，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；近年来随着遥感技术的发展，摄影方式和研究对象日益多样化。

4. 工程测量学

研究测量学在各种工程建设中的应用，由于对象不同，分为公路测量、建筑测量、市政工程测量、桥梁和隧道测量、矿山测量等等。

5. 数学制图学

研究利用测量的成果，采用一定的投影方式，编绘和制印各种地图。

国民经济建设中，例如铁路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。

测量学在工业与民用建筑、道路与桥梁、隧道、给排水、市政工程、建筑学、城市规划，

以及有关建筑工程管理等专业中有着广泛的应用,学习本课程的目的是要掌握测量学的基本知识、基础理论及实际操作、数据处理的基本技能,并能灵活运用于有关专业的工作中。

§ 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。如果在地面上悬挂一垂球,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。

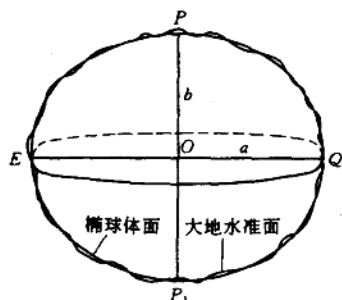


图 1-1

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,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。数世纪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 。目前我国采用了 1979 年第 17 届国际大地测量与地球物理联合会的推荐值:

$$a = 6378.137 \text{ km}$$

$$\alpha = (a - b)/a \approx 1/298.257$$

我国目前正在利用人造卫星观测成果进行椭球元素的求算,预计不久的将来,将会得出更符合我国情况的元素值。

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、确定地面点位的方法

地面上各种物体都是由一系列连续不断的点组成。确定地面上一点的位置是以基准面为准,用三维坐标表示。在小范围内用平面直角坐标系中两个坐标 x 、 y 表示点投影到水平面上的位置;在大范围内,用球面坐标系的两个坐标值表示点投影到椭球表面上的位置。第三个坐标值是用点到大地水准面的铅垂距离表示。

三、点的地理坐标系

地理坐标系是以经度和纬度表示点在大地上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,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 $39^\circ 54'$ 。

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。

高斯投影方法是地球划分为若干带，如图 1-3 (a)。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 ，则第 N 带中央子午线的经度为

$$\lambda = 6N - 3 \quad (1-1)$$

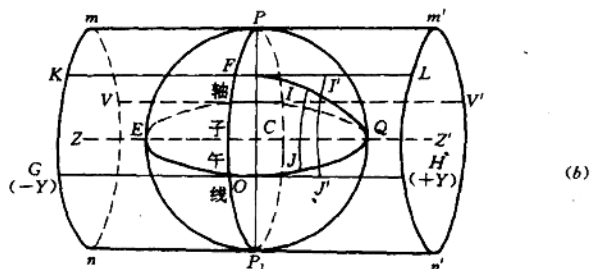
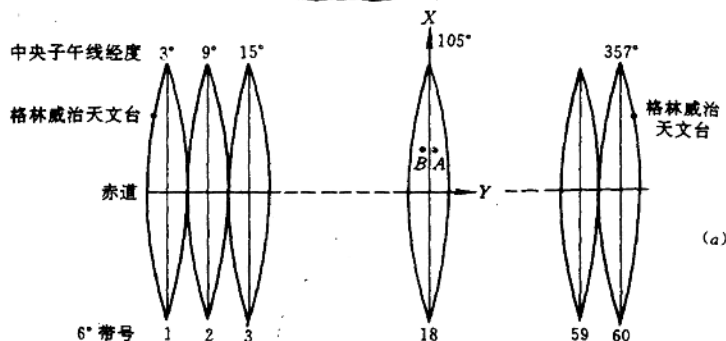


图 1-3

每带独立进行投影，如图 1-3 (b)。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，为控制变形也可采用 3° 带。

我国位于北半球，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 1-3 (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。

现在我国已在陕西省距西安市 60km 的泾阳县永乐镇建立了大地原点, 据此建立起全国统一坐标系, 称为 1980 国家大地坐标系。

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 1-4 所示。规定以南北方向为纵轴, 记为 X 轴, 原点以北为正, 以南为负; 以东西方向为横轴, 记为 Y 轴, 原点以东为正, 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。

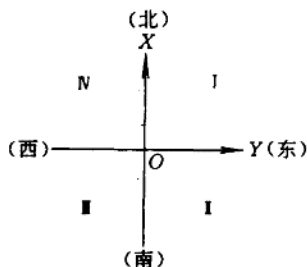


图 1-4

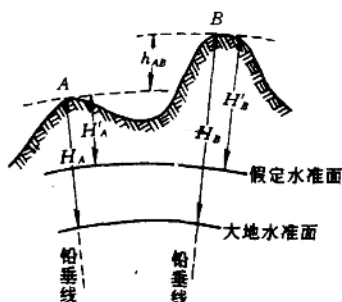


图 1-5

六、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。目前我国采用的是“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 年验潮资料计算确定的, 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基准进行测算。原施行的 1956 年黄海高程系 (青岛水准原点高程为 72.289m) 已由国测发 [1987] 198 号文件通告废止。

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 1-5, 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, 因之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,则会给测量人力、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,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

1. 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构成,或将三角网、导线等平面控制点兼作高程控制点,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。

2. 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和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。

3. 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。

三、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 1-6 所示,地面点 A、B 在投影面上的位置是 a 和 b ,实际工作中,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。

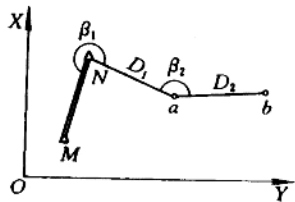


图 1-6

§ 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，曲线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。

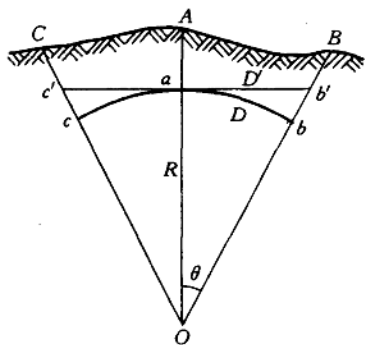


图 1-7

图 1-7 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

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

$$\because \tan \theta \approx \theta + \frac{\theta^3}{3} \quad (\text{此为 } \tan \theta \text{ 级数展开式, 因 } \theta \text{ 角很小, 已略去其高次项})$$

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，通常化为分子为 1 的分式表示。当 $D=10\text{km}$ 时，相对误差为 $1/1\,220\,000$ ，这在最精密的距离丈量中也是容许的，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。

二、高程的变化及许可范围

如图 1-7，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 $\Delta h = b'b$ 。

则

$$(\Delta h + R)^2 = R^2 + D'^2$$

$$\Delta h = \frac{D'^2}{2R + \Delta h}$$

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)，求得对应的 Δh 分别为 3mm 、 8cm 和 31cm 。而即使进行中等精度的高程测量时， 1km 长度的路线水准测量高程误差也不允许超

过 2cm, 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。

练习题

1. 测量学研究的对象和任务是什么?
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”、“先控制后碎部”的原则?
11. 为确定地面点的位置, 需要做哪几项基本工作?
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。

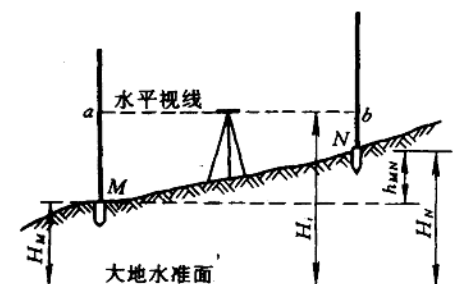


图 2-1

如图 2-1，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，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

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

M 、 N 两点高差计算的一般公式为

$$h_{MN} = \sum_{i=1}^n h_i = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i \quad (2-6a)$$

此式可简化写为

$$h_{MN} = \sum h = \sum a - \sum b \quad (2-6b)$$

水准测量是测量地面点高差的精确方法，也是工程测量中最常用的方法。中间立尺点称为转点(ZD)，起传递高程作用。为保证高程传递正确无误，观测中转点在一个测站是作为前视，而在下一测站作为后视，在这过程中必须保持立尺位置稳定不动。在水准测量中为消除或减少仪器误差、地球曲率和大气折光的影响，应尽可能使各测站前、后视线长度大致相等，称为“中间法”施测高差，是水准测量中很重要的一种操作方法。

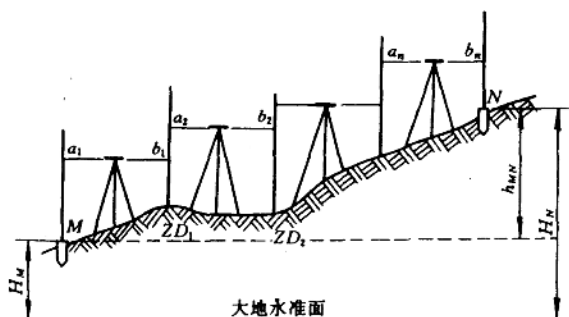


图 2-2

§ 2-2 水准仪及其使用

水准仪是提供水平视线来测定高差的仪器，按其精度分为：DS_{0.5}、DS₁、DS₃、DS₁₀、DS₂₀多种型号，“D”和“S”分别为“大地测量”和“水准仪”汉语拼音第一个字母，数字0.5、1、3、10、20是表示仪器的精度等级，即每公里往返测量高差中数的中误差（以毫米计），数字越小，仪器精度越高。

水准仪主要由望远镜、水准器和基座组成，各部件名称见图 2-3。

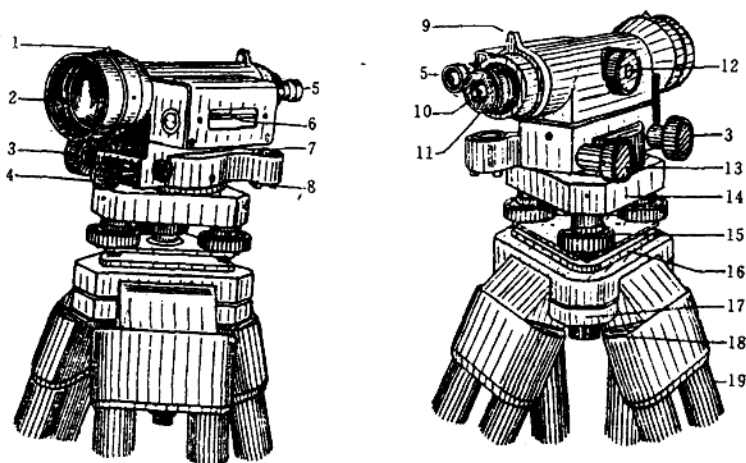


图 2-3

- 1—准星；2—物镜；3—微动螺旋；4—制动螺旋；5—符合水准器观测镜；6—水准管；7—水准盒；8—校正螺丝；9—照门；10—目镜；11—目镜对光螺旋；12—物镜对光螺旋；13—微倾螺旋；14—基座；15—脚螺旋；16—连接板；17—架头；18—连接螺旋；19—三脚架