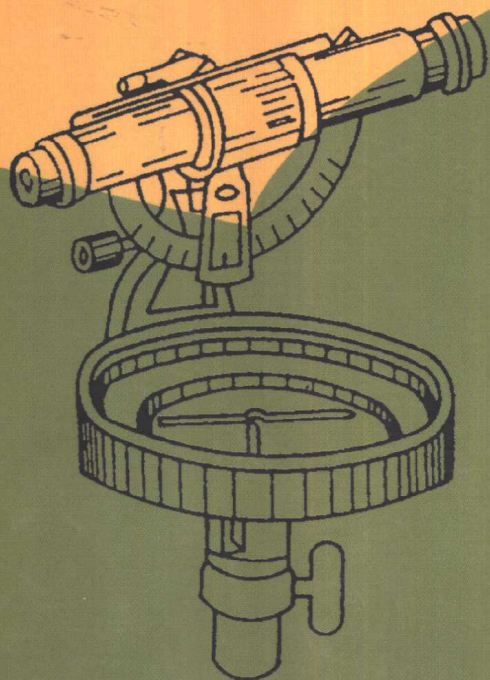


高等院校土木工程专业系列教材
GAODENG YUANXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI

测量学

c e l i a n g x u e

主 编：潘延玲 副主编：颜树强 杨小明 主 审：熊春宝



中国建材工业出版社

高等院校土木工程专业系列教材

测 量 学

主 编 潘延玲
副主编 颜树强 杨小明
主 审 熊春宝

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/潘延玲主编. —北京: 中国建材工业出版社,
2001.2

ISBN 7-80159-073-2

I. 测… II. 潘… III. 测量学 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 00485 号

内 容 提 要

本书共分十章, 介绍了水准测量、角度测量、距离测量、直线定向、控制测量、碎部测量、测量误差的基本理论、地形图的基本知识、地形图的测绘与应用以及建筑工程、线路工程测量。本书以讲解测量学的基本概念、原理、方法为重点, 同时引入了代表当今测绘学科发展水平的高新技术, 如电子水准仪、电子经纬仪、电子全站仪、电子求积仪、全球定位系统 (GPS)、地理信息系统 (GIS)、地籍测量、数字化测图等新仪器和新技术的介绍。

全书内容精炼, 要点突出, 适用专业面广, 既可作为高等学校非测量专业的测量学教材, 也可供广大工程技术人员工作时参考使用。

测 量 学

主编 潘延玲

*

中国建材工业出版社出版 (北京海淀区三里河路 11 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京丽源印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14.25 字数: 331.5 千字

2001 年 2 月第 1 版 2001 年 8 月第 2 次印刷

印数: 4001—7000 册 定价: 20.00 元

ISBN 7-80159-073-2/TU·046

前 言

随着国家建设形势的发展和 21 世纪国家建设对专业人才的需求,我国近期对高等教育专业设置进行了较大幅度的调整,其中新设置的土木工程专业取代了过去的建筑工程、交通土建工程等四个相近专业。根据国家教育部门的安排,全国各高校从 1999 年起已按新专业目录进行新生录取工作。建设部专业指导委员会也于 1999 年初下达了新土木工程专业的课程设置指导意见。比较而言,土木工程专业较过去各专业覆盖面要广泛得多,涵盖了原来近 8 个专业的内容,因此新专业的教学计划、课程内容调整以及新教材的编写就成为当前一项较为紧迫的任务。为适应这一形势的要求,河北工业大学、天津大学、天津城市建设学院等院校经过充分协商和研究,本着“探索、科学、先进”的原则和符合“大土木”的专业要求,联合编写了一套大土木系列教材,由中国建材工业出版社向全国出版发行。

本书由河北工业大学阎西康、许炳权统稿,潘延玲主编,颜树强、杨小明为副主编,天津大学熊春宝主审,执笔人为杨小明(第一、二、三章),潘延玲(第四、五、六、八章),颜树强(第七、九、十章)。全书编写过程中得到了河北工业大学有关部门大力支持和部分兄弟院校同行的热情帮助,谨此表示感谢。

由于编写时间仓促,加之水平所限,书中遗漏和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2000 年 5 月

土木工程专业系列教材编辑委员会

主 任：窦远明

副主任：姜忻良 许炳权

委 员：(按姓氏笔划排列)

王立久	王铁成	许炳权	刘春原	史三元
戎 贤	朱赛鸿	吴建有	陆培毅	杨春风
苏幼坡	赵方冉	姜忻良	阎西康	窦远明
潘延龄	魏连雨			

秘 书：刘春原 阎西康

顾 问：陈 环 顾晓鲁 黄世昌 陈章洪 崔冠英

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 测量学的任务及其作用	(1)
第二节 测量工作的基准面	(1)
第三节 地面点位的表示方法	(3)
第四节 用水平面作基准面的限度	(6)
第五节 测量工作的程序与原则	(7)
第二章 水准测量	(10)
第一节 水准测量的原理	(10)
第二节 水准测量的仪器和工具	(10)
第三节 DS_3 级微倾式水准仪的使用	(14)
第四节 普通水准测量	(15)
第五节 微倾式水准仪的检验与校正	(22)
第六节 精密水准仪与水准尺	(24)
第七节 电子水准仪简介	(25)
第三章 角度测量	(30)
第一节 角度测量原则	(30)
第二节 DJ_6 光学经纬仪	(31)
第三节 经纬仪的基本操作	(34)
第四节 水平角观测	(36)
第五节 竖直角观测	(39)
第六节 DJ_6 经纬仪的检验与校正	(41)
第七节 角度观测的误差及注意事项	(46)
第八节 DJ_2 经纬仪及电子经纬仪	(49)
第四章 距离测量与直线定向	(54)
第一节 钢尺量距	(54)
第二节 视距测量	(61)
第三节 电磁波测量距离	(64)
第四节 直线定向	(69)
第五节 罗盘仪及其使用	(72)
第五章 测量误差的基本理论	(75)
第一节 测量误差概述	(75)
第二节 偶然误差的统计特性	(76)
第三节 衡量精度的指标	(77)
第四节 误差传播定律及其应用	(82)

第五节 等精度直接平差	(85)
第六节 非等精度直接平差	(88)
第六章 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	(95)
第三节 小三角测量	(103)
第四节 高程控制测量	(109)
第五节 经纬仪交会法定位	(112)
第六节 全球定位系统 (GPS) 简介	(114)
第七章 地形图的基本知识与测绘	(119)
第一节 地形图的基本知识	(119)
第二节 大比例尺地形图的测绘	(126)
第三节 电子全站仪与数字化测图	(133)
第四节 摄影测量与遥感简介	(135)
第五节 地籍测量简介	(142)
第八章 地形图的应用	(148)
第一节 地形图的分幅与编号	(148)
第二节 地形图的识读和基本用法	(150)
第三节 面积量算与电子求积仪	(154)
第四节 土地平整时的土方量计算	(156)
第五节 规划设计时的用地分析	(160)
第六节 地理信息系统 (GIS) 简介	(162)
第九章 建筑工程测量	(168)
第一节 测设的基本工作	(168)
第二节 建筑场地的施工控制测量	(173)
第三节 民用建筑的施工测量	(177)
第四节 工业建筑的施工测量	(183)
第五节 大坝施工测量	(187)
第六节 建筑物的变形观测	(190)
第七节 竣工测量	(194)
第十章 线路工程测量	(197)
第一节 概述	(197)
第二节 中线测量	(197)
第三节 线路纵横断面测量	(208)
第四节 道路施工测量	(212)
第五节 管线工程测量	(217)
第六节 桥梁施工测量	(218)
第七节 数字地面模型 (DTM) 在线路勘测设计中的应用	(220)

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务及其作用

测量学是研究地球的形状、大小以及确定地面点位的科学。它的内容包括两个部分，即测定和测设。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，得到一系列测量数据，或把地球表面的地形缩绘成地形图，供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来，作为施工的依据。

测量学按照研究范围和对象的不同，可分为如下几个分支学科：

大地测量学：研究整个地球的形状和大小，解决大地区控制测量和地球重力场问题的学科。

普通测量学：不顾及地球曲率的影响，研究小范围地球表面形状的测绘工作的学科。

摄影测量学：研究利用摄影或遥感的手段来测物体的形状、大小和空间位置的学科。

海洋测量学：研究以海洋和陆地水域为对象所进行的测量和制图工作的学科。

工程测量学：研究工程建设在设计、施工和管理阶段时的各种测量工作的学科。

本教材主要介绍普通测量学及部分工程测量学的内容。

测量工作对于国家的经济建设和国防建设具有非常重要的作用。在经济建设中，例如，土地规划与管理、房地产管理需要用到地形图，另外，港口、水电站、铁路、公路、桥梁的建造，隧道的开挖，城市规划、给水排水、煤气管道等市政工程的建设，工业厂房和民用建筑的建造等等。在它们的设计阶段要测绘各种比例尺的地形图，供结构物的平面及竖向设计之用；在施工阶段，要将设计的结构物的平面位置和高程在实地标定出来，作为施工的依据；待工程完工后，还要测绘竣工图，供日后扩建、改建和维修之用；对某些重要的建筑物在建成以后需要进行变形观测，以保证建筑物的安全使用。在国防建设中，军事测量和军用地图是现代大规模的诸兵种协同作战不可缺少的重要工具。至于远程导弹、空间武器、人造卫星或航天器的发射，要保证它精确入轨，随时校正轨道和命中目标，除了应测出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外，还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料。

第二节 测量工作的基准面

一、大地水准面

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，见图1-1(a)。其中最高的珠穆朗玛峰高出海水面达8848.13m，最低的马里亚纳海沟低于海水面达11022m。但是这样的高低起伏，相对于地球半径6371km来说还是很小的。又由于海洋约占整个地球表面的71%，因此人们习惯上把海水面所包围的地球形体看作地球的形状。

静止的水面称为水准面，水准面是受地球重力影响而形成的，是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。与水准面相切的平面称为水平面。由于水面可高可低，因此水准面有无数多个，我们将其中与平均静止的海水面吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面，称为大地水准面，如图 1-1 (a)。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，长期观察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。

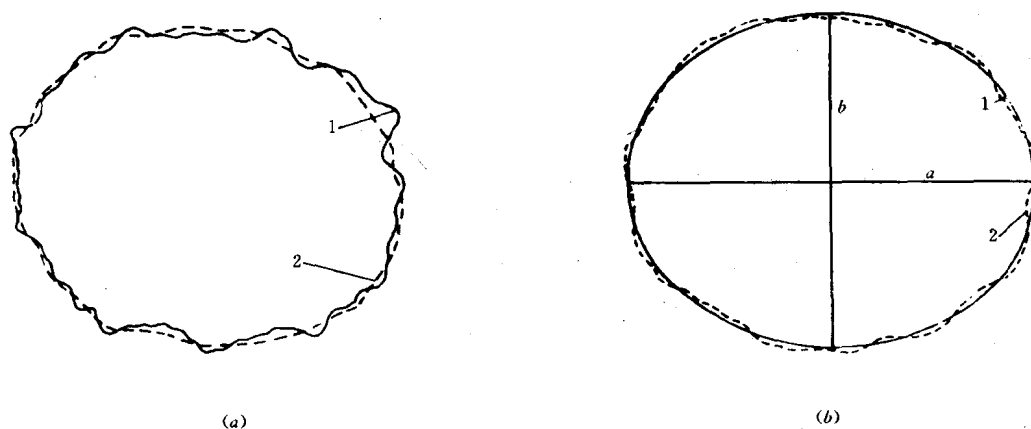


图 1-1

1—地球自然表面；2—大地水准面

1—旋转椭球面；2—大地水准面

二、旋转椭球面

用大地体表示地球的形体是比较恰当的，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，如图 1-1 (b) 所示，成为一个复杂的曲面，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短轴旋转而成，故地球椭球又称为旋转椭球，见图 1-1 (b)。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。

旋转椭球的形状和大小可由其长半径 a （或短半径 b ）和扁率 α 来表示。我国的旋转椭球目前采用的参数值为： $a = 6378130\text{m}$ ， $\alpha = \frac{a-b}{a} = 1:298.257$ ，并选择陕西泾阳县永乐镇某点为大地原点，进行了大地定位。由此而建立起来的全国统一坐标系，也就是目前使用的“1980 年国家大地坐标系”。

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，其半径为 6371km。

第三节 地面点位的表示方法

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置。确定地面点的空间位置，通常需用三个量，即该点的二维球面坐标或投影到平面上的二维平面坐标，以及该点到大地水准面的铅垂距离，也就是确定地面点的坐标和高程。

一、地面点的坐标

地面点的坐标，根据实际情况，可选用下列三种坐标系统中的一种来确定。

1. 地理坐标

地面点在球面上的位置是用经纬度表示的，称为地理坐标。地理坐标又按坐标所依据的基准线和基准面的不同以及求坐标方法的不同，可分为天文坐标和大地坐标两种。

(1) 天文坐标

天文坐标又称天文地理坐标，是表示地面点在大地水准面上的位置，用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。

如图 1-2 所示，NS 为地球的自转轴（或称地轴）。N 为北极，S 为南极。过地面任一点与地轴 NS 所组成的平面称为该点的子午面，子午面与球面的交线称为子午线（或称经线）。F 点的天文经度 λ ，是过 F 点的子午面 NFKSO 与首子午面 NGMSO（即通过英国格林尼治天文台的子午面）所成的夹角。它自首子午线向东或向西自 0° 起算至 180° ，在首子午线以东者为东经，以西者为西经。同一子午线上各点的经度相同。

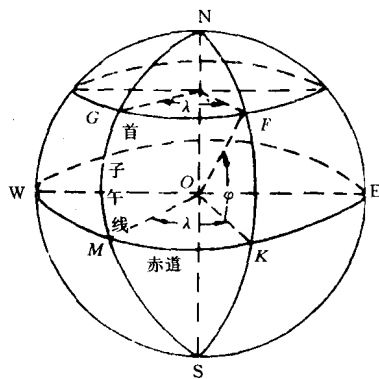


图 1-2

垂直于地轴的平面与球面的交线称为纬线，垂直于地轴的平面并通过球心 O 与球面相交的纬线称为赤道。经过 F 点的铅垂线和赤道平面的夹角，称为 F 点的纬度，常以 φ 表示。由于地球是椭球体，所以地面点的铅垂线不一定经过地球中心。纬度从赤道向北或向南自 0° 起算至 90° ，分别称为北纬或南纬。

(2) 大地坐标

大地坐标又称大地地理坐标，是表示地面点在旋转椭球面上的位置，用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。F 点的大地经度 L ，就是包含 F 点的子午面和首子午面所夹的两面角；F 点的大地纬度 B ，就是过 F 点的法线（与旋转椭球面垂直的线）与赤道面的交角。

天文经纬度是用天文测量的方法直接测定的，而大地经纬度是根据按大地测量所得的数据推算而得的。地面上一点的天文坐标和大地坐标之所以不同，是因为各自依据的基准面和基准线不同，前者依据的是大地水准面和铅垂线，后者是旋转椭球面和法线。

2. 独立平面直角坐标

大地水准面虽然是曲面，但当测量区域（如半径不大于 10km 的范围）较小时，可以用测区中心点 a 的切平面来代替曲面，如图 1-3 所示。地面点在切平面上的投影位置就可以用平面直角坐标来确定。测量工作中采用的平面直角坐标如图 1-4 所示。规定南北方向为纵轴，并记为 X 轴，X 轴向北为正，向南为负；以东西为横轴，并记为 Y 轴，Y 轴向东为

正,向西为负。地面上某点 P 的位置可用 X_p 和 Y_p 表示。平面直角坐标系中象限按顺时针方向编号。 X 轴与 Y 轴和数学上规定的互换,其目的是为了定向方便(测量上习惯以北方向为起始方向),且将数学上的公式直接照搬到测量的计算工作中,不需作任何变更。原点 O 一般选在测区的西南角,见图 1-3,使测区内各点的坐标均为正值。

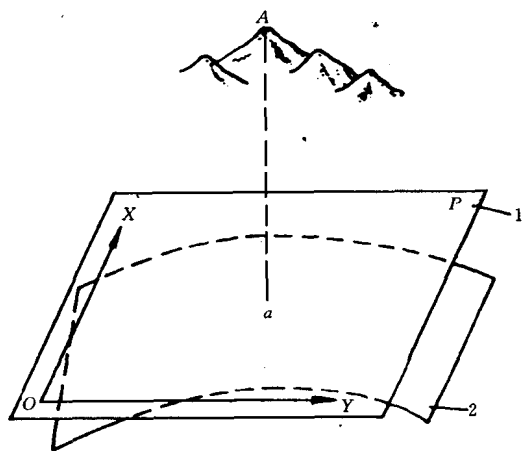


图 1-3

1—水平面; 2—大地水准面

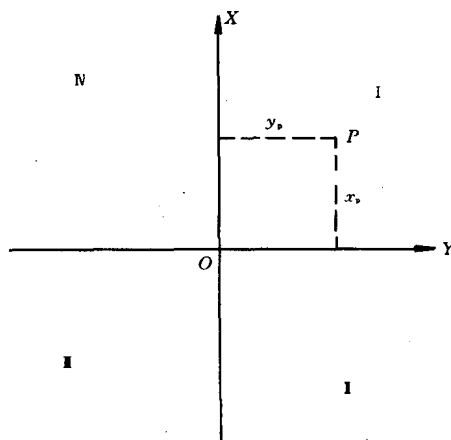


图 1-4

3. 高斯平面直角坐标

当测区范围较大时,就不能把水准面当作水平面,但把旋转椭球面上的图形展绘到平面图纸上来,又必将产生变形,因此必须采用适当的方法使其变形减小。测量工作中通常采用高斯投影法。

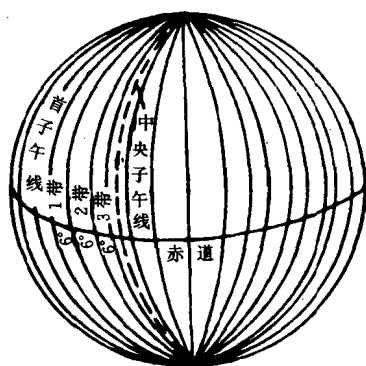


图 1-5

高斯投影法是将地球划分成若干带,然后将每带投影到平面上。如图 1-5,投影带是从首子午线起,每经差 6° 划一带(称为六度带),自西向东将整个地球划分成经差相等的 60 个带,各带从首子午线起自西向东编号,用数字 1、2、3、……、60 表示。位于各带中央的子午线,称为该带中央子午线。第一个六度带的中央子午线的经度为 3° ,任意带的中央子午线经度 L_0 可按下式计算:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-1)$$

式中 N ——投影带的号数。

高斯投影法按上述方法划分投影带后,即可进行投影。如图 1-6 (a) 所示,设想用一个平面卷成一个空心圆柱,把它横着套在旋转椭球外面,使圆柱的中心轴线位于赤道面内并且通过球心,并使旋转椭球上某六度带的中央子午线与圆柱面相切。在椭球面上的图形与圆柱面上的图形保持等角的条件下,将整个六度带投影到圆柱面上。然后将圆柱沿着通过南北极的母线切开并展成平面,便得到六度带在平面上的影像,图 1-6 (b)。中央子午线经投影展开后是一条直线,以此直线作为纵轴,即 X 轴;赤道是一条与中央子午线相垂直的直线,将它作为横轴,即 Y 轴;两直线的交点作为原点,则组成了高斯平面直角坐标系。将投影后具

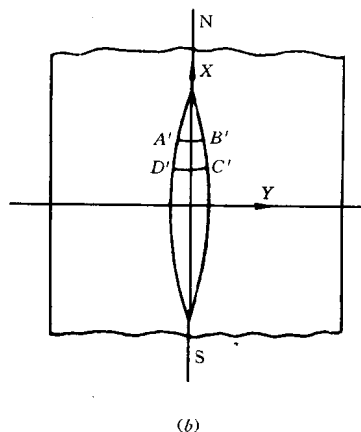
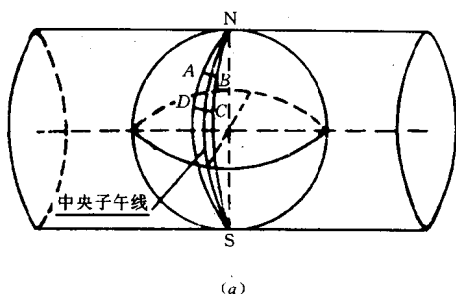


图 1-6

有高斯平面直角坐标系的六度带一个个拼接起来，便得到图 1-7 所示的图形。

我国位于北半球，X 坐标均为正值，而 Y 坐标有正有负。为避免横坐标 Y 出现负值，故规定把坐标纵轴向西平移 500km。另外，为了根据横坐标能确定该点位于哪一个六度带内，还规定在横坐标值前冠以带号，例如： $Y_A = 20225760\text{m}$ ，表示 A 点位于第 20 带内，其真正的横坐标值为 -274240m 。

高斯投影中，离中央子午线近的部分变形小，离中央子午线愈远变形愈大，两侧对称。当测绘大比例尺图要求投影变形更小时，可采用三度分带投影法。它是从东经 $1^\circ 30'$ 起，自西向东每经差 3° 划分一带，将整个地球划分为 120 个带，每带中央子午线的经度 L'_0 可按下式计算：

$$L'_0 = 3n \quad (1-2)$$

式中 n ——三度带的号数。

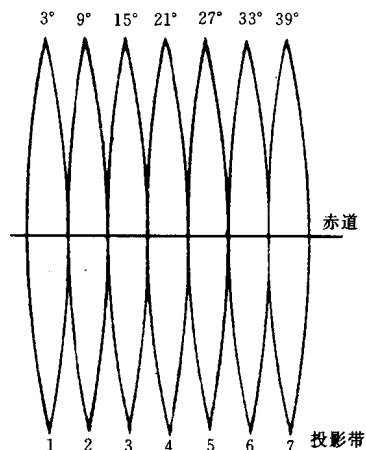


图 1-7

二、地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离，称为该点的绝对高程或称海拔：如图 1-8 所示， H_A 和 H_C 即为 A 点和 C 点的绝对高程。

当个别地区引用绝对高程有困难时，可采用假定高程系统，即采用任意假定的水准面作为起算高程的基准面。图 1-8 中地面点到假定水准面的铅垂距离，称为假定高程，如 H'_A 和 H'_C 。

两个地面点之间的高程差称为高差。地面点 A 与 C 之间的高差 h_{AC} 为：

$$h_{AC} = H_C - H_A = H'_C - H'_A$$

由此可见两点间的高差与高程起算面无关。

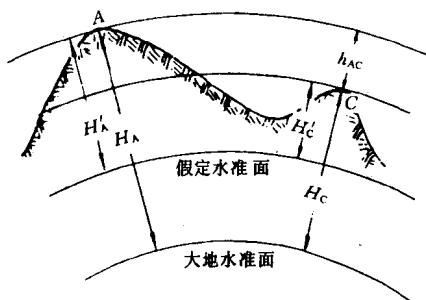


图 1-8

第四节 用水平面作基准面的限度

由第二节可知,测量工作的基准面是大地水准面,大地水准面是一个曲面。从理论上讲,将极小部分的水准面当作平面也是要产生变形的,但是由于测量和绘图也都含有不可避

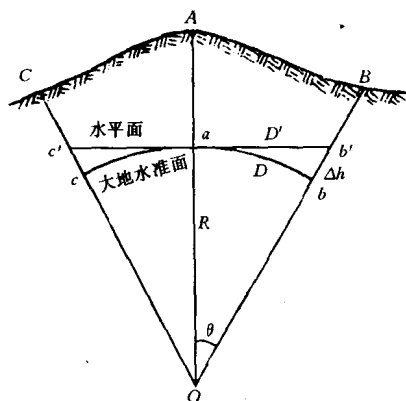


图 1-9

免的误差,因此如果将一块水准面当作平面看待,其产生的误差不超过测量和绘图的误差,那么这样做是可以的,而且也是合理的。下面来讨论以水平面代替水准面时对距离和高程的影响,以便限制水平面作为基准面时的范围。

一、对距离的影响

如图 1-9, A、B、C 是地面点,它们在大地上水准面上的投影点是 a、b、c,用该区域中心点的切平面代替大地水准面后,地面点在水平面上的投影点是 a'、b'、c',现分析由此而产生的影响。设 A、B 两点水准面上的距离为 D,在水平面上的距离为 D',两者之差 ΔD ,既用水平面代替水准面所引起的距离差异。

在推导公式时,近似地将大地水准面视为半径为 R 的球面,则有:

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-3)$$

将 $\tan \theta$ 展开成级数: $\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{1}{15}\theta^5 + \dots$ 因 θ 角很小,因此只取其前两项代入式 (1-3) 中,得:

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

又因 $\theta = \frac{D}{R}$,故:

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

或

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

在上两式中,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 $\frac{\Delta D}{D}$,其结果列入表 1-1 中。

从表 1-1 可以看出,当 $D = 10\text{km}$ 时,所产生的相对误差为 1:1200000,这样小的误差,对精密量距来说也是允许的。因此,在 10km 为半径的圆面积之内进行距离测量时,可以把水准面当作水平面看待,即可不考虑地球曲率对距离的影响。

表 1-1

D (km)	ΔD (cm)	$\Delta D/D$	D (km)	ΔD (cm)	$\Delta D/D$
10	0.8	1:1200000	50	102.6	1:49000
20	6.6	1:300000	100	821.2	1:12000

二、对高程的影响

在图 1-9 中, 地面点 B 的高程应是铅垂距离 bB , 如果用水平面作基准面, 则 B 点的高程为 $b'B$, 两者之差为 Δh , 即为对高程的影响, 从图中可得:

$$\Delta h = bB - b'B = Ob' - Ob = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1) \quad (1-6)$$

将 $\sec \theta$ 展开成级数: $\sec \theta = 1 + \frac{\theta^2}{2} + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$ 因 θ 角很小, 因此只取其前两项代入式 (1-6), 又因 $\theta = \frac{D}{R}$, 则得:

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

取 $R = 6371\text{km}$, 用不同的距离 D 代入 (1-7) 式, 便得到表 1-2 所列的结果。

表 1-2

D (km)	0.2	0.5	1	2	3	4	5
Δh (cm)	0.31	2	8	31	71	125	196

从表 1-2 可以看出, 用水平面作基准面对高程的影响是很大的, 例如距离为 200m 时就有 0.31cm 的高程误差, 这是不能允许的。因此, 就高程测量而言, 即使距离很短, 也应用水准面作为测量的基准面, 即应考虑地球曲率对高程的影响。

第五节 测量工作的程序与原则

地球表面的各种形态 (或简称为地形), 可分为地物和地貌两大类, 地面上固定性物体称为地物, 如河流、湖泊、道路和房屋等, 地面上高低起伏形态称为地貌, 如山岭、谷地和陡崖等。下面以地物和地貌测绘到图纸上为例, 介绍测量工作的程序和原则。

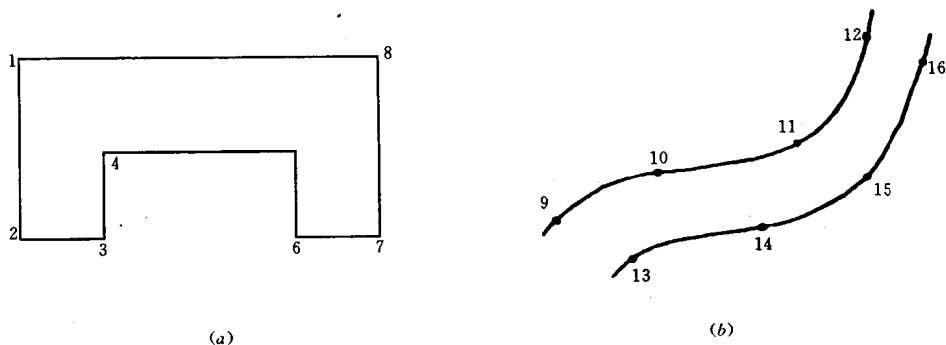


图 1-10

图 1-10 (a) 为一幢房屋。其平面位置由房屋轮廓线的一些折线所组成, 如能确定 1~8 各点的平面位置, 则这幢房屋的位置就确定了。图 1-10 (b) 是一条河流, 它的岸边线虽然很不规则, 但弯曲部分可看成是由折线所组成, 只要确定 9~16 各点的平面位置, 这条河流的位置也就确定了。至于地貌, 其地势起伏变化虽然复杂, 但仍可看成是由许多不同方向、不同坡度的平面相交而成的几何体。相邻平面的交线就是方向变化线和坡度变化线。只要确定出这些方向变化线与坡度变化线上转折点的平面位置和高程, 地貌的形状和大小的基

本情况也就反映出来了。因此，不论地物还是地貌，它们的形状和大小都是由一些特征点的位置所决定，这些特征点也称碎部点。测量时，主要就是测定这些碎部点的平面位置和高程。

测定碎部点的位置，其程序通常分为两步：

第一步为控制测量。如图 1-11，先在测区内选择若干具有控制意义的点 1、2、3、……作为控制点。以较精确的仪器和方法测定各控制点之间的距离 D ，各控制边之间的水平夹角 β ，某一条边（如图 1-11 中的 2~3 边）的方位角 α ，设其中点 2 的坐标已知，则可计算出其它控制点的坐标。另外还要测出各控制点之间的高差，设点 2 的高程为已知，则可求出其它控制点的高程。

第二步为碎部测量。即根据控制点测定碎部点的位置，例如在控制点 1 上测定其周围碎部点 L 、 M 、 N 等，在控制点 2 上测定其周围碎部点 A 、 B 等的平面位置和高程。这种“从整体到局部”、“先控制后碎部”的方法是组织测量工作应遵循的原则。它的优点是可以减少误差累积，保证测图精度，而且还可以分幅测绘，加快测图进度。

另外从上述可知，当测定控制点的相对位置有错误时，以其为基础所测定的碎部点位也就有错误，而当碎部测量中有错误时，以此资料绘制的地形图也就有错误。由此看来，测量工作必须严格进行检核，前一步测量工作未作检核不能进行下一步测量工作，故“步步有检核”是组织测量工作应遵循的又一个原则。它的优点是可以防止错漏发生，保证测量成果的正确性。



图 1-11

上述测量工作的程序和原则，不仅适用于测定工作，也适用于测设工作。如图 1-11 所示，欲将图上设计好的建筑物 P 、 Q 、 R 测设于实地，作为施工的依据，须先于实地进行控制测量，然后安置仪器于控制点 1 和 6 上，进行建筑物测设。在测设工作中也要严格进行检核，以防出错。

另外，由上述还可得知，无论控制测量、碎部测量和施工测设，其实质都是确定地面点的位置，而地面位置往往又是通过测量水平角（方向）、距离和高差来确定的。因此，高程测量、水平角测量和距离测量是测量学的基本工作，水平角（方向）、距离和高差是确定地

面点位的三个基本要素。

思考题与习题

1. 测量学包括哪两部分内容？二者有何区别？
2. 何谓大地水准面？大地水准面和旋转椭球面的意义及其作用如何？
3. 表示地面点的位置有哪几种坐标系统？各起什么作用？
4. 测量上的平面直角坐标系和数学中的平面直角坐标系有什么区别？为什么要这样规定？
5. 北京的大地经度为 $116^{\circ}23'$ ，试计算它所在 6° 带和 3° 带的带号，以及其中央子午线的经度。
6. 用水平面代替水准面作为基准面，对距离和高程有何影响？
7. 测量工作的两个原则及其作用是什么？
8. 确定地面点位的三项基本测量工作是什么？

第二章 水准测量

高程测量是测量的一项基本工作，也是测量三要素之一。确定地面点高程的方法有水准测量、三角高程测量、气压高程测量和 90 年代开始使用的 GPS 定位测量。而水准测量是高程测量中精度较高且常用的方法。

第一节 水准测量的原理

已知地面 A 点高程 H_A ，欲求 B 点高程 H_B ，则必须测出 A、B 两点之间的高差 h_{AB} 。如图 2-1 可将水准仪安置在 A、B 两点之间，利用水准仪建立一条水平视线，在测量时用该视线截取已知高程 A 点上所立水准尺之高度 a ，称为后视读数；再截取未知高程 B 点上所立水准尺之高度 b ，称为前视读数。观测是从 A 向 B 进行，亦称 A 点为后视点，B 点为

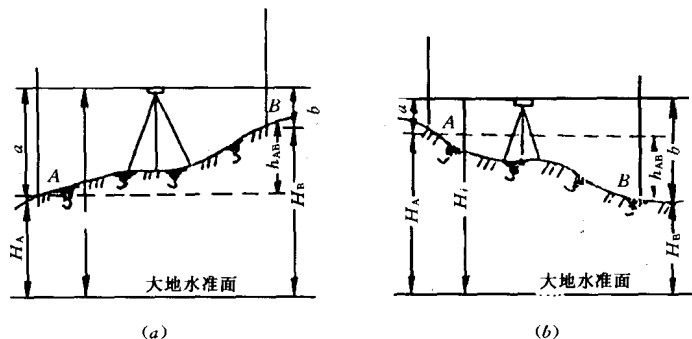


图 2-1

前视点。由图 2-1 可知两点之间高差 h_{AB} 为：

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

即两点之间高差等于后视读数减前视读数。从图中可以看出，当 $a > b$ 时， h_{AB} 为正，当 $a < b$ ， h_{AB} 为负。根据 A 点已知高度 H_A 和测出的高差 h_{AB} ，则 B 点的高程为：

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

亦可通过仪器的视线高程 H_i 求得 B 点高程：

$$H_B = (H_A + a) - b = H_i - b \quad (2-3)$$

公式 (2-2) 是利用高差 h_{AB} 计算 B 点高程，称为高差法；公式 (2-3) 是通过仪器的视线高程 H_i 计算 B 点高程，称仪高法。若在一个测站上要同时测算出许多点的高程，则用公式 (2-3) 计算更显方便。

第二节 水准测量的仪器和工具

水准测量使用的仪器为水准仪，工具为水准尺和尺垫。水准仪按其精度分为 DS₀₅、