

测量学

主编

华锡生

田林亚



河海大学出版社

测 量 学

华锡生 田林亚 主编

河海大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

测量学/华锡生等主编. - 南京:河海大学出版社,
2001.2

ISBN 7-5630-1584-1

I.测… II.华… III.测量学-教材 IV.P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 88155 号

书 名 / 测量学

书 号 / ISBN 7 - 5630 - 1584 - 1/P·12

责任编辑 / 毛积孝 许宇鹏

责任校对 / 袁加明 李伟松

封面设计 / 张世立

出 版 / 河海大学出版社

地 址 / 南京西康路 1 号(邮编:210098)

电 话 / (025)3737852(总编室) (025)3722833(发行部)

经 销 / 江苏省新华书店

印 刷 / 丹阳市教育印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16 15.25 印张 380 千字

版 次 / 2001 年 2 月第 1 版 2001 年 2 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4500 册

定 价 / 25.00 元(册)

前 言

近些年来,测绘科技得到了迅速发展,现代测绘技术已在各项建设工程中得到了广泛的应用,使原有的测绘技术发生了根本性的变革。摒弃陈旧的教学内容,吸纳先进的技术,培养掌握现代测绘技术的人才,是测绘教育工作者面临的重大任务。

编者根据测量学的教学大纲和深化测量学教学改革的需要,结合目前各工程建设中广泛使用的先进技术及方法,编写了本教材,以满足非测绘专业的学生学习之用。

全书内容包含五个部分,共 14 章。第一部分即第 1 章,主要介绍测量学的基本概念和基本知识。第二部分为第 2-4 章,介绍了高程、角度和距离测量的基本原理和方法,详细介绍了所用仪器的结构、使用、检验以及目前广泛使用的新仪器、新设备;对测量的误差来源作了较详细的分析,便于学习后在实际作业中提高测量的精度及可靠性。第三部分是第 5-7 章,讲述了测量成果的数据处理方法及平面和高程控制网的建立;介绍了最小二乘法最基本的概念及其在测量数据处理中的应用,并在水准网中引入了间接平差的方法,使学生对严密的平差有初步的了解;介绍了全站仪、GPS 技术等新内容,还在高程控制测量中增添了对实际工作十分有用的跨河水准。第四部分包括第 8-9 章,介绍了地形图的测绘及地形图的应用;增添了目前各生产单位广泛应用的电子平板测图方法等新内容,对水下地形测量及航空摄影测量成图的工作也作了阐述。第五部分包括第 10-14 章,在介绍了施工测量的基本方法后,分别结合土木、交通、水利、港航等各种施工测量内容,给出了相应的方法。第五部分的内容可视不同专业,选择相应章节讲述。希望学生能通过相应章节内容的学习,较好地运用测量理论、方法和技术,处理工程中有关的测量问题。

本书由河海大学土木工程学院测绘工程系提出编写提纲,并经多次反复讨论和修改后定稿。由田林亚编写第 1-3 章;岳东杰编写第 4-6 章;许捍卫编写第 7、11、12 章;李浩编写第 8、9 章;岳建平编写第 10、13、14 章。全书由华锡生、田林亚负责汇总、修改和定稿。在本书的编写过程中,张友静老师做了大量的组织工作,并提出了许多宝贵的建议。

适应深化教育改革的要求,从而对教学内容进行改革,是编写本书的目的。由于水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2001 年 2 月

内容简介

本书在论述测量学的基本概念、基本理论和方法的基础上,系统地介绍了基本测量工作的实际操作技能,以便学生通过本教材的学习,能较好地掌握测绘工作的技术和内容。

本书结合已在各种工程建设中广泛应用的现代测绘技术,在新仪器方面重点介绍全站仪、自动安平水准仪和 GPS 技术;在测量数据处理方面,引入了间接平差方法;在地形图测绘中,介绍了电子平板测图新技术。同时,增添了测距仪的外业检验、跨河水准、水下地形测绘等章节,以适应现代测绘教学的需要。在施工测量章节,详细地介绍各种工程主要构筑物的施工放样技术、竣工测量及变形监测的基本工作,以期学习者能运用所学的测量理论、方法和技术解决工程中有关的测量问题。

本书是高等工程院校土木工程、水利、交通、港航、地质等非测绘专业的本科测量学教材,亦可供有关工程技术人员学习参考之用。

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 测量学的研究对象及其作用	(1)
第二节 地球的形状和大小	(2)
第三节 地面点位置的表示方法	(2)
第四节 用水平面代替水准面的限度	(6)
第五节 测量的基本工作和原则	(7)
思考题	(8)
第二章 水准测量	(9)
第一节 水准测量的基本原理	(9)
第二节 水准测量的仪器和工具及其使用	(10)
第三节 水准测量的基本方法	(14)
第四节 水准测量的高程计算	(16)
第五节 水准仪检查和校正	(20)
第六节 水准测量的误差来源及注意事项	(23)
第七节 其它水准仪简介	(26)
思考题	(29)
第三章 角度测量	(30)
第一节 水平角和竖直角测量原理	(30)
第二节 光学经纬仪的构造及读数原理	(30)
第三节 水平角测量	(36)
第四节 竖直角测量	(41)
第五节 经纬仪检查和校正	(44)
第六节 角度测量的误差来源及注意事项	(47)
第七节 电子经纬仪测角原理	(49)
思考题	(52)
第四章 距离测量与直线定向	(53)
第一节 卷尺丈量	(53)
第二节 视距测量	(59)
第三节 光电测距	(62)
第四节 光电测距仪的检验	(66)
第五节 光电测距的成果整理	(68)
第六节 光电测距的误差分析	(69)
第七节 直线定向	(70)
思考题	(73)
第五章 测量误差的基本知识	(74)
第一节 测量误差的概念	(74)

第二节	衡量精度的指标	(78)
第三节	误差传播定律	(81)
第四节	观测值算术平均值及其中误差	(83)
第五节	观测值的加权平均值及其中误差	(86)
第六节	测量误差理论的应用	(87)
思考题		(89)
第六章	平面控制测量	(90)
第一节	平面测量控制网的建立	(90)
第二节	导线测量	(92)
第三节	三角测量	(98)
第四节	交会定点	(99)
第五节	全站仪在平面控制测量中的应用	(101)
第六节	GPS 在平面控制测量中的应用	(103)
思考题		(106)
第七章	高程控制测量	(107)
第一节	概述	(107)
第二节	三(四)等水准测量	(108)
第三节	水准网平差	(110)
第四节	三角高程测量	(113)
第五节	跨河水准测量	(116)
思考题		(118)
第八章	地形图的测绘	(119)
第一节	地形图的基本知识	(119)
第二节	测图前的准备工作	(126)
第三节	常规测图	(127)
第四节	电子平板测图	(131)
第五节	航空摄影测量成图	(138)
第六节	水下地形测绘	(146)
第七节	地形图拼接、整饰、检查及验收	(149)
思考题		(151)
第九章	地形图应用	(152)
第一节	地形图的阅读	(152)
第二节	地形图上的基本信息	(153)
第三节	地形图在工程建设中的应用	(153)
第四节	地形图上的面积量算	(158)
思考题		(160)
第十章	施工测量的基本工作	(161)
第一节	施工控制测量	(161)
第二节	距离和水平角的放样	(164)

第三节	点的平面位置的放样	(167)
第四节	点的高程放样	(170)
第五节	纵横断面测量	(172)
第六节	施工期间的变形观测	(178)
思考题		(182)
第十一章	线路和桥梁施工测量	(183)
第一节	道路平面放样	(183)
第二节	特殊条件下的曲线测设	(190)
第三节	道路施工测量	(191)
第四节	地下管线	(195)
第五节	桥梁施工测量	(198)
第六节	全站仪在线路测设中的应用	(201)
思考题		(202)
第十二章	工业和民用建筑施工测量	(203)
第一节	施工格网的建立	(203)
第二节	工业厂房施工测量	(205)
第三节	民用建筑施工测量	(209)
第四节	竣工测量	(212)
思考题		(213)
第十三章	大坝和渠道施工测量	(214)
第一节	大坝的施工测量	(214)
第二节	大坝的变形观测	(217)
第三节	渠道选线和中线测量	(222)
第四节	渠道边坡放样	(224)
思考题		(225)
第十四章	港口工程施工测量	(226)
第一节	施工控制网的建立	(226)
第二节	高桩码头的施测	(229)
第三节	重力式码头和防波堤的施工测量	(231)
第四节	干船坞的施工测量	(233)
思考题		(235)
参考文献		(236)

第一章 绪 论

第一节 测量学的研究对象及其作用

测量学是研究地球的形状、大小以及地球表面各种形态的科学。其任务主要表现为:确定地球的形状和大小;确定地面点的平面位置和高程;将地球表面的起伏状态和其它信息测绘成图。

随着社会生产的发展和科学技术的进步,测量学随之而发展为多个分支学科:

大地测量学——是研究在地球表面大范围内建立国家大地控制网,精确测定地球形状和大小以及地球重力场的理论、技术和方法的学科。随着卫星定位技术的发展,大地测量学不仅为空间科学和军事服务,还将为研究地球的形状、大小以及地表形变和地震预报等提供可靠的资料。

地形测量学——是研究将地球表面的起伏状态和其它信息测绘成图的理论、技术和方法的学科。各种比例尺地形图的测绘,为社会发展的规划设计提供了重要的资料。随着社会和经济的发展,地籍测量和房地产测量也得到迅猛发展,为地籍管理和房地产管理提供了有力的保证。

摄影测量学——是研究利用摄影像片等手段测定物体的形状、大小及其空间位置的学科。由于摄影像片包含的信息全面细致,现已广泛应用于其它科学领域。根据获取像片方式的不同,又分为地面摄影测量、航空摄影测量、航天摄影测量、水下摄影测量等。

工程测量学——是研究各项工程建设在规划设计、施工和竣工运营阶段所进行的各种测量工作的学科。它把各种测量理论应用于不同的工程建设,并研究各种测量新技术和新方法。

制图学——是研究地图及其制作理论、工艺和应用的学科。根据已测得的成果成图,编制各种基本图和专业地图,完成各种地图的复制和印刷出版。

测量学在我国现代化建设中起着非常重要的作用,它不仅体现在国防建设中,更多地体现在地质采矿、农田水利、交通运输及各种城市建设工程中,还体现在对地震和滑坡等灾害的预测和监测中。从工程建设的角度出发,其作用表现在工程建设的三个阶段,即规划设计阶段提供所需的地形资料和地形图,施工阶段进行必要的施工放样与施工监测,运营阶段进行建筑物的稳定性监测和变形情况分析等。

测量学是一门古老的科学。相传早在公元前 21 世纪夏禹治水时,就已采用了准、绳、规、矩等简单的测量工具,公元前 18 世纪,古埃及就进行过土地丈量。中国人发明的指南针、浑天仪,外国人发明的望远镜、显微镜和水准器,以及三角学的应用和地图投影技术的改进,大大推动了测量学的发展。特别是近几十年来,电子学和空间技术的飞速发展,使测量技术逐步趋于自动化和数字化,使数据处理趋于程序化。可以期待,测量学这个历史悠久的学科,必将焕发出新的活力。

第二节 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的,要确定地面点之间的相互关系,将地球表面测绘成图,需了解地球的形状和大小,这也是测量学研究的重要内容之一。

地球的自然表面高低起伏,是一个复杂的不规则的表面。海洋面积约占地球表面积的 71%,而陆地约占表面积的 29%。世界上最高的珠穆朗玛峰高出海平面 8 848.13 米,最低的马里亚纳海沟低于海平面 11 022 米,因地球的半径约为 6 371 公里,故地表起伏相对于庞大的地球来说是微不足道的。由于地球表面上大部分为海洋,所以海水所包围的形体基本表示了地球的形状。假想有一个静止的海水面,向陆地延伸形成一个封闭的曲面,这个曲面称为水准面。水准面上每一个点的铅垂线均与该点的重力方向重合。由于海水面受潮汐影响而有涨有落,所以水准面有无数个。为此,人们在海滨设立验潮站,通过长期观测,求出平均高度的海水面,这个水准面与重力方向处处垂直,称为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体,大地体即代表地球的一般形状。

由于地球表面起伏不平和地球内部质量分布不均匀,地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化,大地水准面仍然是一个十分复杂和不规则的曲面,目前尚不能用数学模型表达,在这个曲面上也无法进行有关的测量计算。为了测量计算和制图的方便,人们选择一个非常接近大地水准面且能用数学模型表达的曲面代替大地水准面,这个曲面称作旋转椭球面,旋转椭球面所包围的数学形体称作旋转椭球体。旋转椭球体是由椭球面 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而成的形体(图 1-1),其形状和大小取决于长半径 a 、短半径 b 和扁率 $\alpha = (a - b)/a$ 。目前我国

采用 1975 年第 16 届国际大地测量与地球物理协会联合推荐的椭球体参数,即 $a = 6378140$ m, $b = 6356740$ m, $\alpha = 1/298.257$ 。

为了将观测成果准确地化算到椭球面上,各国都根据本国的实际情况,采用与大地体非常接近的自己的椭球体,并选择地面上一点或多点使椭球旋转定位。如图 1-1 所示,地面上选一点 P ,令 P 的铅垂线和椭球面上相应 P_0 点的法线重合,并使 P_0 点的椭球面与大地水准面相切。这里的 P 点称为大地原点,旋转后的椭球面称作参考椭球面,其包围的形体称作参考椭球体。从这个意义来说,大地水准面和铅垂线是测量外业所依据的基准面和基准线,参考椭球面和法线是测量内业计算所依据的基准面和基准线。

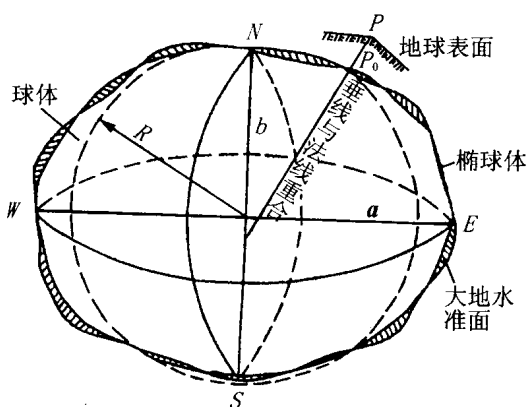


图 1-1 大地水准面和参考椭球体

第三节 地面点位置的表示方法

测量工作的主要任务之一是确定地面点的空间位置,表示的方法为坐标和高程。

一、坐标

(一)地理坐标

地面点的位置如果用经度和纬度表示,则称为地理坐标。经度用 λ 表示,纬度用 φ 表示。如图 1-2 所示, N 和 S 分别为地球的北极和南极, NS 为地球的自转轴,又称地轴。通过地轴和地球表面上任一点 P 的平面,称为过 P 点的子午面,子午面与地球表面的交线称为子午线,又称经线。按照国际天文学会规定,通过英国格林尼治天文台的子午面称为起始子午面,起始子午面和地球表面的交线称为起始子午线。以起始子午面作为计算经度的起点,过 P 点的子午面与起始子午面之间的夹角 λ 即为 P 点的经度,向东从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称东经,向西从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称西经。过 P 点的铅垂线与赤道面之间的夹角 φ 即为 P 点的纬度,赤道以北从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称北纬,赤道以南从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称南纬。 P 点的经度和纬度已知,则该点在地球表面上的位置即已确定。地理坐标系统是全球统一的坐标系统。

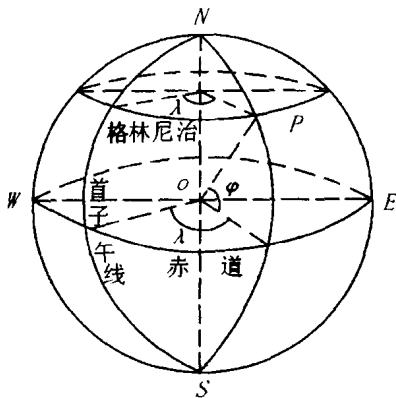


图 1-2 地理坐标

我国于 1954 年将大地原点设在北京,称“1954 年北京坐标系”,实际上是沿用原苏联 1942 年坐标系,由于该坐标系与我国的实际情况相差较大,后于 1980 年将大地原点设在陕西省泾阳县永乐镇,并定名为“1980 年国家大地坐标系”。

(二)高斯平面直角坐标

1. 高斯投影的概念

地球表面是一个曲面,在进行大区域测图时,将球面上的图形投影到平面上,必然会产生变形,这种变形称为地图投影变形(包括角度、长度和面积变形等)。地图投影的方法有等角投影(又称为正形投影)、等积投影和任意投影等多种,测量上采用高斯正形投影。

高斯正形投影就是将地球套于一个空心圆柱体内,圆柱体的轴心通过地球的中心,地球上某一条子午线(称为中央子午线)与圆柱体相切,如图 1-3(a)。按正形投影方法,将中央子午线左右两侧各按 3° 或 1.5° 范围的图形元素投影到横圆柱体表面上,再将横圆柱体面沿两条母线剪开展平,即将圆柱体上每 6° 或 3° 的经纬线转换为平面上的经纬线,如图 1-3(b)。这种投影具有如下性质:

(1) 中央子午线 NOS 投影为一条直线,且长度没有发生变形,其余的子午线凹向对称于中央子午线,且较球面上对应的子午线略长。距离中央子午线越远,长度变形越大。

(2) 赤道也投影为一条直线,其余纬线凸向对称于赤道。

(3) 中央子午线和赤道投影后为相互垂直的直线,其它经纬线投影后也保持相互垂直的性质。

2. 高斯投影分带与编号

高斯投影后角度无变形,但长度发生了变化,且离开中央子午线愈远变形愈大。为了使长度变形满足测图精度的要求,需采用缩小范围的分带投影法控制其影响。目前规定以经差 3° 或 6° 将整个地球划分为 120 个或 60 个投影带,相应地称为 3° 和 6° 投影带。

如图 1-4 上部所示, 6° 带的划分是从起始子午线(零度)开始,自西向东每隔 6° 度分为一

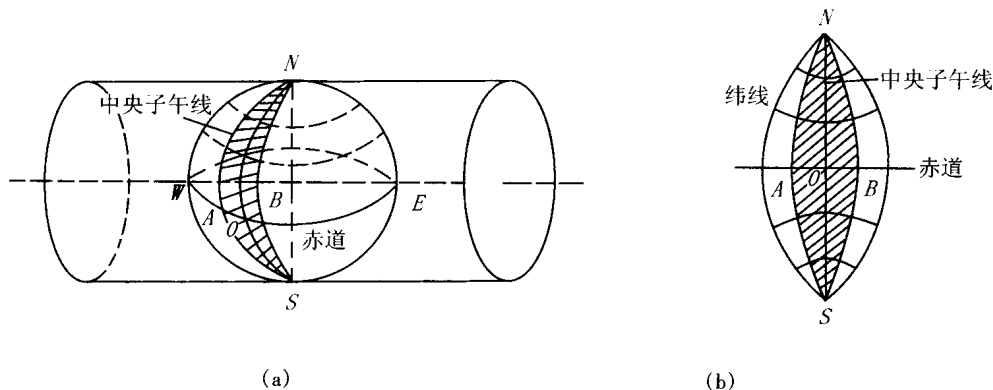


图 1-3

带,其投影带编号顺序为 1、2…60,每带中央子午线的经度顺序为 3°、9°、15°…357°,可依下式计算

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

式中, L_0 ——投影带中央子午线的经度

N ——投影带带号

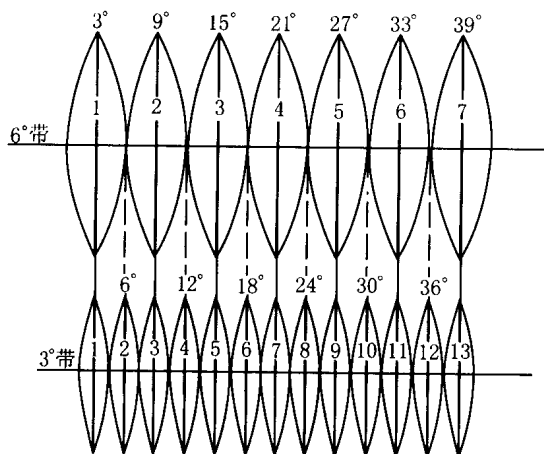


图 1-4 投影分带

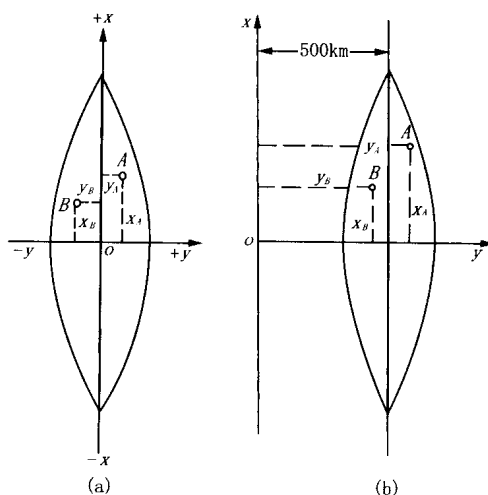


图 1-5 高斯平面直角坐标

如图 1-4 下部所示, 3° 投影带的划分自经度为 1.5° 的子午线起, 自西向东以经差 3° 分为一带, 其投影带编号顺序为 1、2…120, 各带的中央子午线经度分别为 3°、6°、9°…360°, 带号与中央子午线经度的关系为

$$L_0 = 3N \quad (1-2)$$

3. 高斯平面直角坐标

由于中央子午线和赤道的投影为相互垂直的直线, 以中央子午线为 X 轴, 赤道为 Y 轴, 两轴的交点为坐标原点, 就组成了高斯平面直角坐标系, 如图 1-5 (a)。

我国位于北半球, X 坐标均为正, Y 坐标有正有负。为避免横坐标出现负值, 将每带的坐标原点向西移动 500 km, 如图 1-5(b)中的 O 点。这样每一带中各点的 Y 坐标均成为正值。在图 1-5(a)中, 设 $Y_A = +37680.5$, $Y_B = -34240.2$, 坐标原点平移为图 1-5(b)后, $Y_A =$

$500000 + 37680.5 = 537680.5$, $Y_B = 500000 - 34240.2 = 465759.8$ 。为区分某组坐标的点属于哪一带,在横坐标值前面加上带号,例如 B 点位于 6° 带第 20 带内, $Y_B = 20465759.8$, 其中央子午线经度为 117° 。当采用 3° 带时, B 点位于第 39 带, 则 $Y_B = 39465759.8$ 。

通过高斯分带投影方法在全国建立统一的高斯平面直角坐标系,解决了大面积测图时地面点向椭球面投影再向平面展绘带来的一系列问题,又能满足地形图测绘的精度要求。

(三) 平面直角坐标

平面直角坐标系又称为独立坐标系。当测图范围较小时,可以把该区域的球面视为水平面,将地面点直接沿铅垂线方向投影到水平面上。如图 1-6,以相互垂直的纵横轴建立平面直角坐标系。纵轴为 X 轴,向上(北)为正,向下(南)为负;横轴为 Y 轴,向右(东)为正,向左(西)为负;X 轴和 Y 轴的交点 O 为坐标原点;坐标象限自纵轴北方向顺时针顺序编号。

当采用独立坐标系作为测绘某区域地形图的坐标系时,为避免坐标出现负值,通常取该区域外缘的西南点作为坐标原点,并设法使 X 轴的正方向近似于实际的北方向。

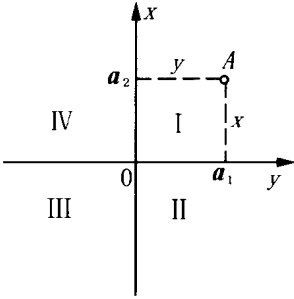


图 1-6 平面直角坐标

二、高程

确定地面一点的空间位置,除了其平面位置外,还需要高程。高程分为绝对高程和相对高程。

(一) 绝对高程

地面上一点沿铅垂线方向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。绝对高程一般用 H 表示,如图 1-7 中的 H_A 和 H_B 。

(二) 相对高程

地面上一点沿铅垂线方向到任意水准面的距离,称为该点的相对高程,或称假定高程。如图 1-7 中 H'_A 和 H'_B 。两点的高程之差,称为高差。图 1-7 中 A、B 两点之间的高差 $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ 。

(三) 高程系统

1980 年以前,我国主要采用“1956 年黄海高程系”,它利用青岛验潮站 1950 - 1956 年观测成果求得的黄海平均海水面作为高程的零点。因观测时间较短,准确性较差,改用 1953 - 1979 年的观测资料重新推算,并定名为“1985 年国家高程基准”。国家水准原点设于青岛市观象山,水准原点在 1956 年黄海高程系中的高程为 72.289 m,在 1985 年黄海高程系中的高程为 72.260 m。如果有一点在 1956 年黄海高程系中的高程为 H_{56} ,在 1985 年国家高程基准中的高程为 H_{85} ,则有 $H_{85} = H_{56} - 0.029$ 。

必须指出,我国在解放前曾采用过以不同地点的平均海水面作为高程基准面,形成不同的高程系统,如废黄河高程系统、吴淞口高程系统等。由于高程基准面不同,因此在收

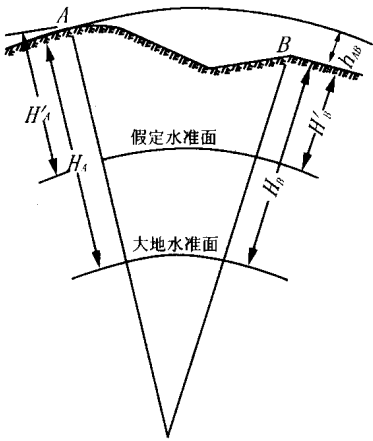


图 1-7 绝对高程和相对高程

集和使用高程资料时,应注意水准点所在的高程系统,不可混用。

第四节 用水平面代替水准面的限度

上节提到,当进行大区域测量工作时,应当把地球表面看作球面,地形测量时应采用高斯平面直角坐标。当测区的面积较小时,又可以把球面视为平面,即以水平面代替水准面,其结果仍能满足精度要求。现在的问题是多大的范围就可以用水平面代替水准面?

一、地球曲率对水平距离的影响

如图 1-8,设地面上有 A'、B' 两点,在球面上的投影分别为 A、B,在水平面上的投影为 A、C。若以平面上的距离 AC (设为 t) 代替球面上的距离 AB (设为 d),其误差为

$$\Delta d = t - d = R \operatorname{tg} \alpha - R \alpha$$

式中 R——地球半径,6 371 km

α ——弧长 d 所对的圆心角

将 $\operatorname{tg} \alpha$ 用级数展开,并取级数前两项,则

$$\Delta d = R \alpha + \frac{R \alpha^3}{3} - R \alpha = \frac{R \alpha^3}{3}$$

$$\begin{aligned} \text{因 } \alpha &= \frac{d}{R}, \\ \text{故 } \Delta d &= \frac{d^3}{3R^2} \end{aligned}$$

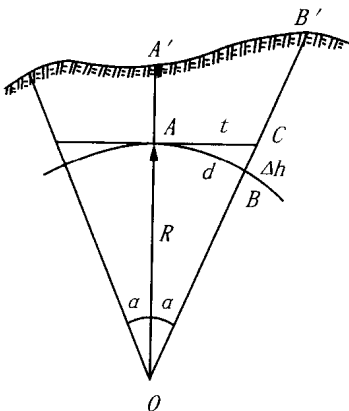


图 1-8 用水平面代替水准面

(1-3)

以不同的 d 值带入上式,求得相应的 Δd 和 $\Delta d/d$ 值列于表 1-1。由表中可看出,当距离为 10 km 时,用水平面代替水准面产生的相对误差为 1/120 万。这个误差小于目前最精密量距的允许误差 1/100 万,因此在半径小于 10 km 的区域内,地球曲率对水平距离的影响可以忽略不计,即可以用水平面代替水准面。

表 1-1 地球曲率对水平距离和高程的影响

距 离 d	距离误差 $\Delta d(\text{mm})$	距离相对误差 $\Delta d/d$	高程误差 $\Delta h(\text{mm})$	距 离 d	距离误差 $\Delta d(\text{mm})$	距离相对误差 $\Delta d/d$	高程误差 $\Delta h(\text{mm})$
100 m	0.000008	1/1250000 万	0.8	10 km	8.2	1/12500 万	7850.0
1 km	0.008	1/12500 万	78.5	25 km	128.3	1/19.5 万	49050.0

二、地球曲率对高程的影响

如图 1-8 所示,地面点 B' 在水准面和水平面上的投影分别为 B 和 C, B 和 C 两点的高程显然是不同的,设其高差为 Δh ,从图中可以看出, $\angle CAB = \alpha/2$, 因该角很小,若以弧度表示,则有

$$\Delta h = d \cdot \frac{\alpha}{2}$$

$$\text{因 } \alpha = d/R$$

$$\text{故 } \Delta h = \frac{d^2}{2R} \quad (1-4)$$

以不同的距离 d 带入上式,算得相应的 Δh 值列于表 1-1 中。由表中可见,对高程测量

来说,即使距离很短,也不能忽视地球曲率对高程的影响。

第五节 测量的基本工作和原则

一、测量的基本工作

研究地面点相互位置关系,即确定地面上点与点之间的平面位置和高程位置的关系,是测量学的主要任务之一。

如图 1-9,设 A、B、C 为地面上三个点,如果 A 点的位置已知,要确定 B 点的位置,不仅要知道 B 点在 A 点的哪一个方向,还要知道 B 点到 A 点之间的水平距离。图上 AB 的方向可用通过 A 点的指北方向沿顺时针与 AB 的夹角(水平角) α 表示, α 角称为方位角。如果还要确定 C 点在图上的位置,则要测量 B 点上相邻两边的水平夹角和 B 到 C 点之间的水平距离。

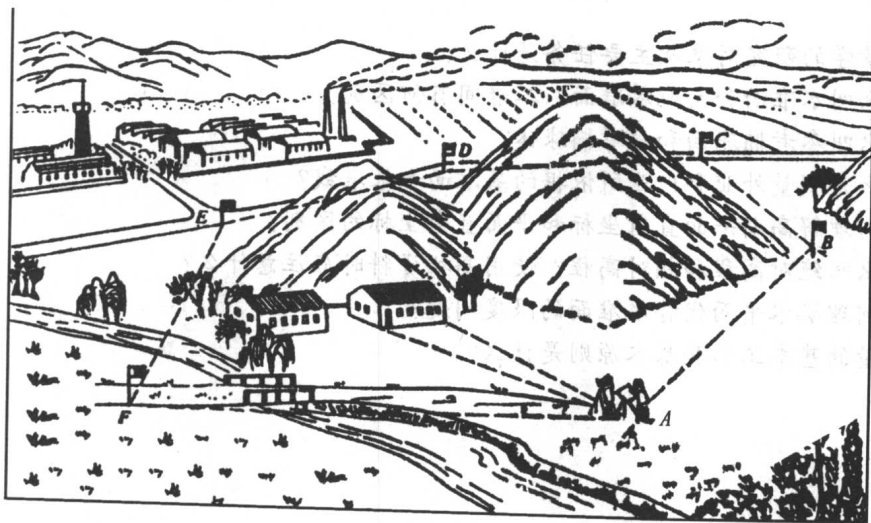


图 1-9 测量工作和原则示意图

实地上, A、B、C 三点的高程可能是不同的,因此要确定它们的位置关系,除平面位置外,还要知道它们的高低关系,即 A、B、C 三点的高程或它们之间的高差,这样 A、B、C 三点之间的位置关系就确定了。

因此,水平角、水平距离和高程是确定地面点位置关系的三个基本几何要素,测量地面点的水平角、水平距离和高程是测量的基本工作。

二、测量的基本原则

测量工作总体上可分为地形测量、施工测量和变形监测。无论哪一种测量工作,其目的都是为了能准确地测量或放样出未知点的平面位置和高程。要测量或放样出许多未知点的平面位置和高程,在一个点上是无法实现的。如图 1-9,在 A 点上只能测量或放样出附近的房屋和道路等平面位置和高程,对于山的另一面或较远的地物就观测不到。对于地形测图来说,总是将一个范围较大的测区划分为同样大小的若干图幅,在保持精度一致的前提下

同时平行作业,并要求分散施测的各图幅能拼接成一个整体。要解决这些问题,测量工作中必须按照一定的原则进行,就是“从整体到局部,由高级到低级”,落实到实际工作中就是“先控制测量,后碎部测量”。

控制测量包括平面控制测量和高程控制测量。如图 1-9,根据作业要求和地形条件,在测区内选择一定数量的具有控制作用的地面点 A、B、C、D、E、F 等组成一个控制网,必要时建立固定的测量标志(标石或觐标),用相应精度的仪器和观测方法,测定这些点的平面位置和高程,以控制整个测区。当进行地形测图时,先将这些点按一定的比例尺展绘到图纸上,然后到实地以这些点为依据,测量出附近的房屋、道路等地物和地貌的特征点,对照实地情况,按一定符号描绘成图。当首级控制点的数量不能满足测图需要时,可根据精度要求,采用一定的方法加密控制点,以满足测图要求。由于控制点之间既相互联系,又彼此独立,即使测图过程中局部出现差错,也不会影响到全局。这个道理也同样适用于施工测量和变形观测。

思考题

1. 测量学的研究对象及主要任务是什么?
2. 什么叫水准面和大地水准面?二者间有何区别?
3. 什么叫参考椭球面和参考椭球体?
4. 什么是测量外业和内业所依据的基准面和基准线?
5. 如何理解高斯平面直角坐标和平面直角坐标的区别?
6. 什么叫绝对高程和相对高程?使用高程资料时应注意什么?
7. 如何理解水平面代替水准面的限度问题?
8. 测量的基本工作和基本原则是什么?

第二章 水准测量

高程是确定地面点位置的一个要素,测量地面点高程的方法有水准测量、三角高程测量和气压高程测量等,其中水准测量是测定地面点高程的主要方法。

第一节 水准测量的基本原理

水准测量就是利用水准仪提供的水平视线从竖立在两地面点的标尺上读数,求得两点间的高差,推算出某地面点的高程。

图 2-1,已知 A 点的高程为 H_A ,要测定 B 点的高程 H_B 。在 A、B 两点间安置一台水准仪,在 A、B 两点上各竖立一根有分划的水准标尺,调整水准仪使视线水平,并利用水平视线分别读取两标尺上的读数 a 、 b ,则 A、B 两点之间的高差为

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

这种将仪器安置在两标尺之间的水准测量,也称为中间水准测量。若水准测量路线的方向确定为从 A 到 B,则称 A 点为后视点,其标尺上的读数称为后视读数。称 B 点为前视点,其标尺上的读数称为前视读数。无论观测方向如何,两点之间的高差总是等于后视读数减去前视读数,高差的正、负号在计算中随之确定。高差为正时,表明 B 点高于 A 点,反之则低于 A 点。高差的正、负号与水准路线的观测方向一致,从理论上讲, h_{AB} 和 h_{BA} 应大小相等,符号相反。

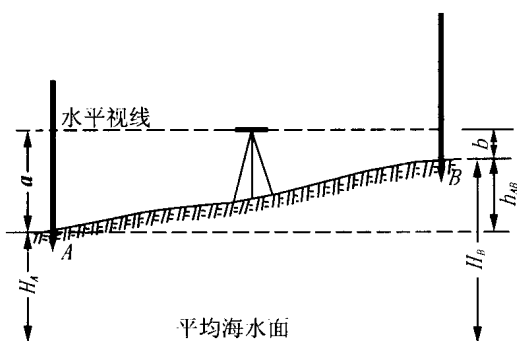


图 2-1 水准测量原理

计算 B 点高程的方法有两种:一是由高差计算高程,即

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

二是由仪器的视线高程计算高程,这种方法通常称为间视水准测量,利用这种方法可以求出一个测站上多个前视点的高程。图中,A 点的视线高程等于 A 点的高程加后视读数,用 H_i 表示,则 B 点的高程为

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

在高程控制测量中,一般采用中间水准测量方法,而间视水准测量通常用于工程测量。

当地面 A、B 两点相距较远或高差较大时,安置一次仪器难以测出两点间高差,可以按图 2-2 所示的连续中间水准测量的方法,即在两点之间连续设置若干次仪器和作为临时传递高程的立尺点(这些过渡性的立尺点称为转点,每设置一次仪器称为一个测站),通过每个测站上测得的高差 h_1 、 h_2 、 h_3 ... ,就可以算出 A、B 两点之间的高差为

$$\begin{aligned} h_{AB} &= h_1 + h_2 + h_3 + \cdots = (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + (a_3 - b_3) + \cdots \\ &= \sum a - \sum b \end{aligned} \quad (2-4)$$