



普通高等学校土木类系列教材

● 熊春宝 姬玉华 主编

测量学

CELIANGXUE

天津大学出版社



普通高等学校土木类系列教材

测 量 学

主 编	熊春宝(天津大学)
	姬玉华(哈尔滨建筑大学)
副主编	马洪洲(青岛建筑工程学院)
	董宇阳(太原理工大学)

天津大学出版社

内容简介

本书共分十一章,系统介绍了水准测量、角度测量、距离测量、直线定向、控制测量、碎部测量、测量误差等基本理论,地形图的基本知识与测绘方法以及建筑工程、线路工程、地下工程的测量。本书以讲解测量学的基本概念、原理和方法为重点,同时也讲述了代表当今测绘学科发展水平的高新技术。

该书内容精炼、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参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量学/熊春宝,姬玉华主编. — 天津:天津大学出版社, 2001.1 (2002.3重印)
ISBN 7-5618-1379-1

I. 测... II. ①熊... ②姬... III. 测量—基本知识
IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 82693 号

出 版 天津大学出版社
出版人 杨风和
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
印 刷 天津大学印刷厂
发 行 新华书店天津发行所
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 14.25
字 数 388 千
版 次 2001 年 1 月第 1 版
印 次 2002 年 3 月第 3 次
印 数 9 001—14 000
定 价 19.00 元

前 言

近年来,随着光电子、计算机等高新技术的迅猛发展,测量学也取得了巨大的发展。新的科学技术使测量仪器以及测量技术和方法都取得了长足的进步,以前的测量知识已不能满足今后学习和工作的需要。本书可以让读者及时了解和掌握新的测量仪器、测量技术和测量方法,具有较强的先进性和通用性。全书共分十一章,除系统介绍了测量学的基本知识、基础理论、测量仪器的构造和使用、控制测量、地形图的测绘和应用外,还介绍了上述各专业所需的专业测量知识。另外,在有关章节中还介绍了电子水准仪、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。本书可作为建筑工程、建筑学、城市规划、城镇建设、地下建筑、矿井建设、交通土建工程、给水排水工程、环境工程、水利工程、供热通风与空调工程等专业学生的教材,也可供广大的工程技术人员参考。

本书由天津大学、哈尔滨建筑大学、太原理工大学、青岛建筑工程学院和河北工业大学等院校联合编写。熊春宝、姬玉华主编,马洪洲、董宇阳副主编。各章参编人员为董宇阳(第一、七章)、姬玉华(第二章)、李红(第三章)、夏冬君(第四章)、熊春宝(第五、八章)、潘延玲(第六章)、孔凡玉(第九章)、马洪洲(第十、十一章)。

天津大学郭传镇教授审阅了全书,并提了宝贵的修改意见。对此,我们表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中可能存在不少疏漏和错误之处,谨请读者批评指正。

编 者
2000 年 12 月

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 测量学概述	(1)
1.2 地面点位的确定	(3)
1.3 用水平面代替水准面的限度	(6)
1.4 测量工作概述	(7)
第二章 水准测量	(9)
2.1 水准测量的原理	(9)
2.2 水准测量的仪器和工具	(9)
2.3 DS ₃ 级微倾式水准仪的使用	(13)
2.4 普通水准测量	(14)
2.5 微倾式水准仪的检验与校正	(20)
2.6 精密水准仪与水准尺	(23)
2.7 电子水准仪简介	(24)
第三章 角度测量	(29)
3.1 水平角与竖直角测量原理	(29)
3.2 光学经纬仪	(30)
3.3 水平角测量	(36)
3.4 竖直角测量	(40)
3.5 经纬仪的检验与校正	(42)
3.6 电子经纬仪简介	(45)
第四章 距离测量与直线定向	(48)
4.1 钢尺量距	(48)
4.2 视距测量	(54)
4.3 电磁波测距	(57)
4.4 直线定向	(62)
4.5 罗盘仪及其使用	(65)
第五章 测量误差的基本理论	(68)
5.1 测量误差概述	(68)
5.2 偶然误差的统计特性	(69)
5.3 衡量精度的指标	(70)
5.4 误差传播定律及其应用	(74)
5.5 等精度直接平差	(77)
5.6 非等精度直接平差	(80)

第六章 小区域控制测量	(85)
6.1 控制测量概述	(85)
6.2 导线测量	(87)
6.3 小三角测量	(93)
6.4 高程控制测量	(100)
6.5 经纬仪交会法定位	(103)
6.6 全球定位系统(GPS)简介	(104)
第七章 地形图的基本知识与测绘	(110)
7.1 地形图的基本知识	(110)
7.2 大比例尺地形图的测绘	(116)
7.3 电子全站仪与数字化测图	(123)
7.4 摄影测量与遥感简介	(125)
7.5 地籍测量简介	(131)
7.6 水下地形测绘	(135)
第八章 地形图的应用	(140)
8.1 地形图的分幅与编号	(140)
8.2 地形图的识读和基本用法	(142)
8.3 面积量算与电子求积仪	(146)
8.4 土地平整时的土方量计算	(148)
8.5 规划设计时的用地分析	(151)
8.6 地理信息系统(GIS)简介	(153)
第九章 建筑工程测量	(159)
9.1 测设的基本工作	(159)
9.2 建筑场地的施工控制测量	(164)
9.3 民用建筑的施工测量	(167)
9.4 工业建筑的施工测量	(173)
9.5 大坝施工测量	(176)
9.6 建筑物的变形观测	(179)
9.7 竣工测量	(183)
第十章 线路工程测量	(187)
10.1 概述	(187)
10.2 中线测量	(187)
10.3 线路纵横断面测量	(197)
10.4 道路施工测量	(201)
10.5 管线工程测量	(205)
10.6 桥梁施工测量	(206)
10.7 数字地面模型(DTM)在线路勘测设计中的应用	(209)
第十一章 地下工程测量	(211)
11.1 概述	(211)
11.2 地面控制测量	(211)

11.3	隧道施工测量.....	(213)
11.4	地下控制测量.....	(215)
11.5	竖井联系测量.....	(215)

第一章 绪 论

1.1 测量学概述

一、测量学的定义

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面点位的科学。它的内容主要包括测定和测设两个部分:测定是指用测量仪器通过对地球表面上的点进行测量、计算,从而获得一系列的测量数据,或根据测得的数据将地球表面的地形缩绘成地形图;测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置通过测量在地面上标定出来。

二、测量学的任务

从宏观方面考虑,测量学的任务为:进行精密控制测量和建立国家控制网;提供地形测图和大型工程测量所需要的基本控制;为空间科技和军事工作提供精确的坐标资料;作为技术手段参与对地球形状、大小、地壳形变及地震预报等方面的科学研究。从微观方面考虑,测量学的任务为:按照需求测绘各种比例尺地形图;为各个领域提供定位和定向服务;管理开发土地、建立工程控制网、进行施工放样、辅助设备安装、监测建筑物变形以及为工程竣工服务等。

从本质上讲,测量学的任务就是确定地面目标在三维空间的位置以及随时间的变化。这一般是通过测量角度、距离和高程等几何量来实现的。

三、测量学的作用

测量是国家经济建设和国防建设的一项重要的基础性、先行性工作,从建设规划设计到每项具体工程的建设,都需要有准确的测量成果作依据。伴随社会和科学技术的发展,测量的重要性日益增强,应用的领域不断扩大,在国民经济和国防建设中已成为不可缺少的工具。社会主义现代化建设越向前发展,就越需要测量工作及时为之提供准确而有效的服务。

在经济建设中,从资源勘察、能源开发、城乡建设、交通运输、江河治理、土地整治、环境保护、行政界线勘定直到经营管理都需要测量;在国防事业中,国界勘定、军用地图测制、航天测控、弹道计算等都离不开测量;在科学研究方面,对地壳升降、海陆变迁、地震监测、灾害预警、宇宙探测、航空航天技术的研究等,也都依赖于测量技术。

在信息社会里,测量成果作为地理信息系统的基础,提供了最基本的空间位置信息。国家信息高速公路、基础地理信息系统及各种专题的和专业的地理信息系统均迫切要求建立具有统一标准、可共享的测量数据库和测量成果信息系统。因此,测量成为获取和更新基础地理信息最可靠、最准确的手段。

四、测量学的分类

测量学包括普通测量学、大地测量学、摄影测量学、工程测量学和水道测量学等分支学科。

普通测量学是研究地球表面较小区域内测绘工作的理论、技术和方法的学科,是测量学的基础。

大地测量学是研究在广阔地面上建立国家大地控制网,测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术和方法的学科。

摄影测量学是通过摄影、扫描等各种图像记录方法,获取物体模拟的和数字的影像信息,并对这些影像信息进行处理、量测、判释和研究,从而确定被测物体的形状、大小、位置、性质等的理论、技术和方法的学科。

工程测量学是研究工程建设在勘测、设计、施工和管理阶段进行的各种测量工作的学科,包括建筑工程测量、矿山测量、城乡建设测量、地籍测量以及精密工程测量等。

水道测量学是研究测量地球表面水体(海洋、江河、湖泊等)及水下地貌的学科。

本教材主要介绍普通测量学及部分工程测量学的内容。

五、测量学的发展简史及趋势

测量学是伴随人类对自然的了解、利用和改造发展起来的。在我国的历史上,测量技术的应用可追溯到四千年以前。在《史记·夏本纪》中记载了大禹治水“左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道,陂九泽,度九山”的情况,充分说明公元前 21 世纪我国已经开始使用测量工具。《周髀算经》、《九章算术》、《管子·地图篇》、《孙子兵法》等历史文献均记载着我国测量技术、计算技术和军事地形图应用与发展的内容。长沙马王堆汉墓出土的公元前 2 世纪的地形图、驻军图和城邑图,是迄今发现的最古老、最翔实的地图。魏晋时期刘徽就在《海岛算经》中阐述了测算海岛之间距离和高度的方法。西晋的裴秀编制的《禹贡地域图十八篇》反映了晋十六州郡国县邑、山川原泽及境界,并总结出分率、准望、道里、高下、方斜、迁直的“制图六体”,归纳了地图制图的标准和原则。公元 724 年唐代高僧一行主持了世界最早的子午线测量,在河南平原沿南北方向伸展的四个点上(这四个点近似位于同一子午线上,子午线长约 200 km),测量了春分、夏至、秋分、冬至四个时段正午的日影长度和北极高,用步弓丈量了四个点间的实地距离,推算出北极星每差一度相应的地面距离。北宋沈括发展了裴秀的制图理论,编绘了比例尺为“一寸折一百里”(相当于 1:90 万)的《天下州县图》,并发明发展了许多精密易行的测量技术。例如,用分级筑堰静水水位法测量汴渠高差;用平望尺、千尺和罗盘测量地形,并最早发现了磁偏角。现存在西安碑林的南宋石刻《华夷图》、《禹迹图》为我国最早的“计里画方”地图,图上每方折百里。苏州的南宋石刻《平江图》表现了完整的城市规划图。元代郭守敬在全国进行了天文测量,还通过修渠治水,总结了水准测量的经验,创造性地提出海拔高程的概念。明代郑和七下西洋,首次绘制了航海图。清康熙年间开展了大规模的经纬度测量和地形测量,编成了著名的《皇舆全览图》。

17 世纪工业革命,发明了望远镜,使人类能够利用光学仪器进行测量。20 世纪初随着飞机和照相机的产生,创立了航空摄影测量,使测量学得到一次革命,把大量的野外测量工作转入室内,改变了测量的技术途径,减轻了劳动强度,缩短了成图周期,提高了工作效率。测量之本在于仪器。20 世纪 50 年代,得益于微电子学、光学,以及激光、计算机、摄影和空间技术的迅猛发展,电磁波测距仪、电子全站仪、数字摄影测量系统等问世的问世无疑是测量界的又一次重大革命,把地形测量从白纸测图变革为数字测图,使测量工作迅速向内外业一体化、自动化、智能化和数字化的方向迈进,成为信息时代不可缺少的组成部分。人造卫星的发射成功及航天技术的不断发展,出现了 1966 年开始进行的卫星大地测量及 1972 年开始利用卫星影像对地球进行

遥感。这些现代技术再次向传统的测量技术发起挑战。美国全球定位系统可向全球任何用户实时地提供精密的三维空间相对位置、三维速度和时间信息,从根本上改变了三维空间数据的获取方法。

特别需指出的是,在信息革命的过程中,由测量学、摄影测量与遥感学、地图学、地理科学、计算机科学、卫星定位技术、专家系统技术与现代通讯技术的有机集成和综合,产生了应用各种现代化方法来采集、量测、分析、存储、管理、显示、传播和应用空间分布数据的综合的计算机信息科学、技术及产业,形成了一门新型的地理信息科学(Geomatics)。测量学正以全新的面貌展现于更广阔的应用领域。

1.2 地面点位的确定

地面点位置的确定,是在基准面上建立坐标系后,通过测量点位之间的距离、角度和高差这三个基本要素实现的。

一、基准面

进行测量,必须首先建立坐标系。由于地球具有广阔的表面,在其上建立坐标系,必须选择有利于数据处理、能够统一坐标计算的基准面。这个基准面应具备两个基本条件:第一,其形状、大小能与地球总形体拟合;第二,必须是一个能用简单几何体和方程式描述的规则数学面。

地球自然表面是不规则的,上面分布着江河湖海、平原丘陵和高山深谷,其中世界第一峰珠穆朗玛峰高出海面 8 848.13 m,最深的马里亚纳海沟深 11 022 m,相对高差接近 20 km,但与地球半径 6 371 km 相比,可以忽略不计。整个地球表面约有 71% 的面积由海水面包裹,因此,由海水面延伸穿过大陆与岛屿的闭合曲面与地球的总形体最拟合。在测量学中,把自由静止的水面称为水准面。在地球重力场中水准面处处与重力方向正交,重力的方向线称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。海水水位是动态的,因此水准面有无穷多个,通常把通过平均海水面并向大陆、岛屿延伸而形成的闭合曲面称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。大地水准面包裹的地球形体称为大地体。

尽管大地水准面的形状和大小与地球总形体最拟合,但是由于地球内部质量分布的不均匀性,使得重力方向产生不规则变化,处处与重力方向正交的大地水准面也就不是一个规则的数学面,而是一个其表面也有微小起伏的复杂曲面,缺乏上述用于统一坐标计算的基准面的第二条件。所以还必须选择一个能与大地水准面总形非常拟合且能用数学模型表达的面,才能作为计算工作的基准面。这个面通常是用一个椭圆绕其短轴旋转而成的,称为旋转椭球面。测量学中把拟合地球总形体的旋转椭球面称为地球椭球面,把拟合一个区域的旋转椭球面称为参考椭球面。椭球的形状与大小用其长半轴 a 和扁率 α

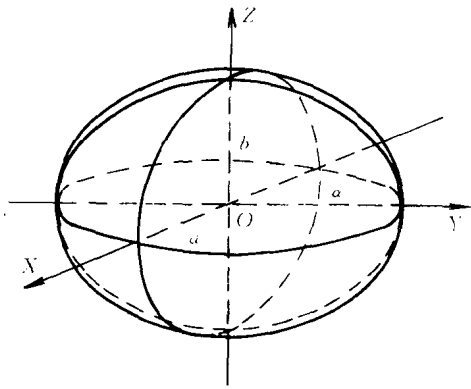


图 1-1

描述(图 1-1)。目前我国采用的地球椭球参数: $a = 6\,378.140\text{ km}$, $\alpha = (a - b)/a = 1 : 298.257$, 式中 b 为其短半轴。

由于地球椭球的扁率很小,因此当测区范围不大时,可近似地把椭球作为圆球,其半径为 6 371 km。

二、确定地面点位的方法

1. 地面点的高程

地面点沿投影方向(即铅垂方向)到高程基准面的距离称为高程。最常用的高程系统是以大地水准面作为高程基准面起算的。地面点至大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程或海拔,用 H 表示(图 1-2)。在局部地区或独立的工程项目中,如果引测绝对高程存在困难时,可以假定一个水准面,作为假定高程基准面。地面点至假定水准面的铅垂距离,称为该点的相对高程或假定高程,用 H' 表示。地面上两个点的高程之差称为两点之间的高差,以 h 表示,即

$$h_{ab} = H_b - H_a = H'_b - H'_a \quad (1-1)$$

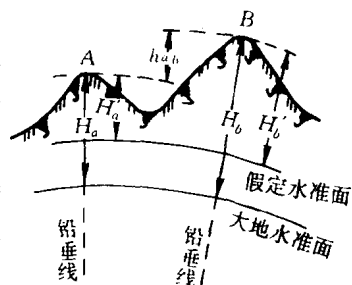


图 1-2

由此可知,只要 A 点的高程及 A 至 B 点的高差已知的话,B 点的高程即可求得。

目前,我国采用“1985 年国家高程基准”,它是根据青岛验潮站 1952 ~ 1979 年的观测资料确定的黄海平均海水面(其高程为零)作起算面的高程系统,并在青岛建立了水准原点,水准原点的高程为 72.260 m,全国各地的高程都以它为基准进行测算。

2. 地面点的坐标

(1) 地理坐标

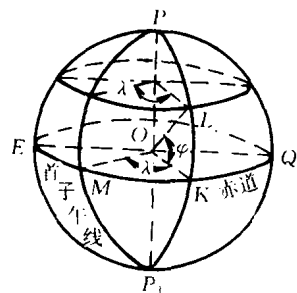


图 1-3

地理坐标是表示地面点在球面上位置的坐标系,按坐标依据的基准线和基准面的不同以及解算方法的不同,进一步分为大地地理坐标和天文地理坐标(图 1-3)。

地面点与地球南北极所共的面为过该点的子午面,通过地心 O 垂直于地球自转轴的平面为赤道面。子午面与地球面相交的线为子午线,或称为真子午线;赤道面与地球面相交的线为赤道。过地球面某点 L 的子午面 $PLKP_1$ 与过伦敦格林尼治天文台的首子午面 PMP_1 组成的二面角,为该点的经度。经度由首子午面起算,分别向东西方向各度量 $0^\circ \sim 180^\circ$,对东半球称为东经,对西半球称为西经。

过球面某点 L 的法线或铅垂线 OL 与赤道面 $EMKQ$ 的夹角,为该点的纬度。纬度以赤道起算,分别向南北方向各度量 $0^\circ \sim 90^\circ$,对北半球称为北纬,对南半球称为南纬。

以法线为依据,以参考椭球面为基准面的地理坐标称为大地地理坐标,分别用 L, B 表示;以铅垂线为依据,以大地水准面为基准面的地理坐标称为天文地理坐标,分别用 λ, φ 表示。天文地理坐标是用天文测量方法直接测定的;而大地地理坐标是根据起始的大地原点的坐标推算的。大地原点的天文地理坐标和大地地理坐标是一致的。我国的大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇,根据该原点建立的统一坐标系,称为“1980 年国家大地坐标系”。

(2) 高斯平面直角坐标

地理坐标只能确定点位在球面上的位置,不能直接用于测图,因此必须将其从球面坐标转换成平面直角坐标。把球面上的点位投影到平面上,在我国采用高斯投影的方法,转换后的平面直角坐标是建立在高斯投影面上的,它是一种能将球面坐标与平面坐标相互换算的坐标系。

为控制由球面正射投影到平面引起的长度变形,高斯投影采取分带投影的方法,使带内最大变形能够控制在测量精度允许的范围内。一般采取 6° 分带法,即从格林尼治首子午线起每隔经差 6° 划分为一个投影带,由西向东将椭球面等分为 60 带,并依次编排带号 N 。位于各带边上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。 6° 带中央子午线的经度 L_0 可按式计算

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

高斯投影是设想用一个平面卷成一个空心椭圆柱,把它横着套在地球椭球面上,使椭圆柱的中心轴线位于赤道面内且通过球心,并且使椭球面上需投影的那个 6° 带的中央子午线与椭圆柱面相切,采用等角投影的方式将这个 6° 带投影到椭圆柱面上,然后将椭圆柱面沿着通过南北极的母线切开并展成平面,便得到此 6° 带在平面上的

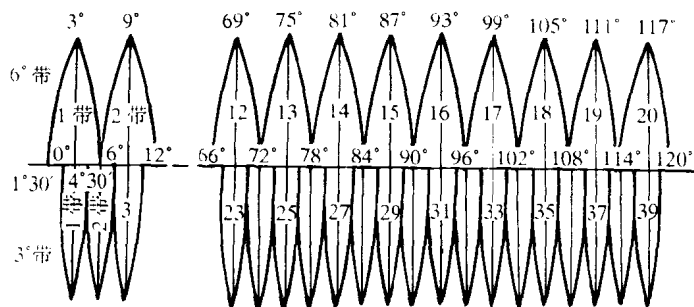


图 1-4

影像。在投影后的高斯平面上,除中央子午线和赤道的投影是直线、且相互垂直外,其余子午线的投影为对称于中央子午线的弧线,而且距离中央子午线越远的,长度变形越大(图 1-4)。为了控制变形满足精密测量和大比例尺测图的需要,还可采取 3° 分带法或 1.5° 分带法进行投影分带。 3° 分带从东经 1.5° 开始,自西向东每隔 3° 划分为 1 个投影带,带号 N' 依次编为 1 ~ 120。在东半球任意 3° 带中央子午线的经度可按下式计算

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

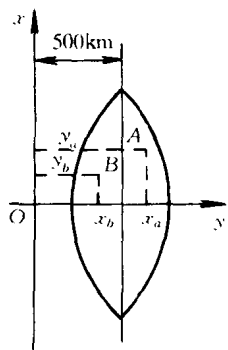


图 1-5

每带的高斯平面直角坐标系均以中央子午线投影为 x 轴,赤道投影为 y 轴,两轴交点为坐标原点。考虑到我国领域全部位于赤道以北,我国领域内各地面点的纵坐标均为正,为避免横坐标出现负值,通常将每带的坐标原点向西移动 500 km,这样无论横坐标自然值是正还是负,加 500 km 后,均保证每点的横坐标也都为正值(图 1-5)。此外,为判明点位所在的投影带,规定横坐标值之前加上投影带号,因此,高斯直角坐标系的横坐标实际由带号、500 km 以及自然坐标值三部分组成。这样的横坐标值称为国家统一坐标系的横坐标通用值。

例如,某点位于 19 带,其横坐标自然值为 $-269\,583.60$ m,加上 500 km 应为 $230\,416.40$ m,再加带号,则该点的横坐标通用值为: $y = 19\,230\,416.40$ m。

由通用值看出,以 km 为单位,小数点前三位数字若小于 500,表示该点位于中央子午线西侧,其横坐标自然值取负;反之,位于东侧,自然值取正。三位数前的数字为带号。由于我国领域内, 6° 带号在 13 ~ 23 之间,而 3° 带号在 25 ~ 45 之间,没有重叠带号,因此,根据横坐标通用值就可判定投影带是 6° 还是 3° 带。

(3) 独立平面直角坐标

当测量范围较小时,可直接把测区的球面作为平面,把地面点沿铅垂线投影到水平面上,用直角坐标系表示点的位置。

测量所用的直角坐标系与数学上的基本相似,但纵坐标轴为 x 轴,正向朝北,横坐标轴为 y 轴,象限编号按顺时针方向,这些与数学上的顺序恰好相反(图 1-6)。测量上对直线方向的表示,以纵轴(x 轴)的北端为准,顺时针方向度量至被定向的直线。这又恰好与数学上以 X 轴为准,逆时针方向度量的角度相反。采取这样的表示方法,目的是为了可以直接采用数学上的三角公式进行坐标计算而不必另行建立计算公式。平面直角坐标系的原点可以假定。

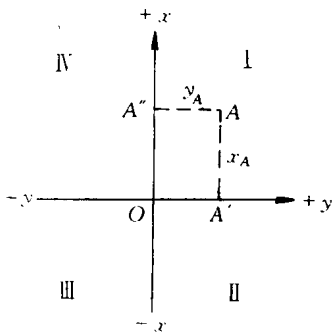


图 1-6

1.3 用水平面代替水准面的限度

用水平面代替水准面,仅在地球曲率影响不超过测量限差时才能允许。当测线距离超过一定长度后,必须考虑地球曲率影响。

一、对距离的影响

如图 1-7,设球面 P 与水平面 P' 在 A 点相切, A, B 两点在球面上的弧长为 D ,在水平面上的距离为 D' ,则

$$D = R\beta \quad D' = R\tan\beta$$

以水平长度 D' 代替弧长 D 所产生的距离误差为

$$\Delta D = D' - D = R\tan\beta - R\beta = R(\tan\beta - \beta)$$

将 $\tan\beta$ 按级数展开,并略去高次项,因而得

$$\Delta D = R[(\beta + \frac{1}{3}\beta^3 + \dots) - \beta] = \frac{1}{3}R\beta^3$$

以 $\beta = \frac{D}{R}$ 代入上式,得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \text{ 或 } \frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2}$$

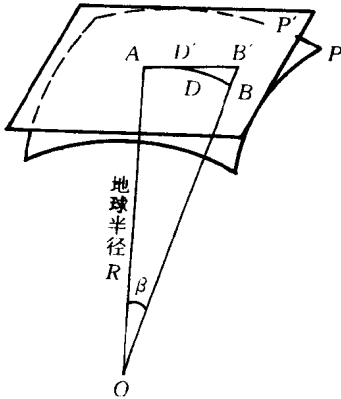


图 1-7

以地球半径 $R = 6\,371\text{ km}$ 及不同距离 D 值代入上式,则可得出表 1-1 的结果。从表 1-1 中可见,当距离为 10 km 时,地球曲率影响距离的相对误差为 $1:1\,220\,000$,而现代最精密的距离丈量容许误差为其长度的 $1:1\,000\,000$ 。故在半径 10 km 的范围内可以不考虑地球曲率对水平距离的影响。

表 1-1

距离 D (km)	距离误差 ΔD (cm)	相对误差 $\frac{\Delta D}{D}$
10	0.8	$1:1\,220\,000$
25	12.8	$1:195\,000$
50	102.6	$1:48\,700$
100	821.2	$1:12\,000$

二、对高程的影响

如图 1-7, A, B 两点在同一水准面上,其高差应为零,即 $\Delta h = 0$ 。但是,当 B 点投影到过 A 点的水平面上得到投影 B' 时,则 $BB' = \Delta h$ 就是水平面代替水准面所产生的高程误差。由图可

知

$$\Delta h = OB' - OB = R \cdot \sec\beta - R = R(\sec\beta - 1)$$

用三角函数的幂级数公式将 $\sec\beta$ 展开,即

$$\sec\beta = 1 + \frac{1}{2}\beta^2 + \frac{5}{24}\beta^4 + \dots$$

只取前两项,并以 $\beta = \frac{D}{R}$ 代入,则

$$\Delta h = R(1 + \frac{1}{2}\beta^2 - 1) = \frac{D^2}{2R} \tag{1-6}$$

以不同的 D 代入上式,就得到表 1-2 列出的相应高程误差值。

表 1-2

$D(\text{km})$	0.1	0.5	1	2	3	4	5	10
$\Delta h(\text{cm})$	0.08	2	8	31	71	125	196	785

由此可见,高程误差与距离的平方成正比,当距离 $D = 1 \text{ km}$ 时,高程误差就有 8 cm。这是高程测量所不允许的。因此,进行高程测量时,即使距离很短也必须顾及地球曲率的影响。

1.4 测量工作概述

一、测量的三项基本工作

测量工作最基本的任务就是确定地面点的三维空间位置。最常用的方法是极坐标法。如图 1-8,已知 A 点坐标及 AB 方向,只要测出水平角 β 、水平距离 AP 以及 A, P 两点间的高差,就确定了点 P 的空间位置。

由此可见,水平角、距离和高差是确定地面点位的三个基本要素。角度测量、距离测量及高程测量是测量的三项基本工作。

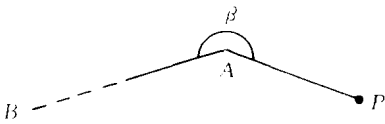


图 1-8

二、测量工作的原则和程序

在实际测量工作中,为防止测量误差的积累,要遵循的基本原则是,在测量布局方面要“从整体到局部”;在工作程序方面要“先控制后碎部”;在精度控制方面要“由高级到低级”。另外,对测量工作的每个工序,都必须坚持“边工作边检核”,以确保测量成果精确可靠。被测区域的地形可分为地物和地貌两大类。地面上的固定性物体,如道路、铁路、河流、桥梁、建筑物、居民地等称为地物;地面上的高低起伏形态,如平原、盆地、丘陵、山地等称为地貌,能够反映地物轮廓和描述地貌特征的点统称为碎部点。在测绘地形图时,不能直接测量这些碎部点,必须首先在测区建立控制骨架,利用这些骨架才能将测量的碎部点彼此连接成严密的整体。

组织测量工作分两大程序进行。首先,在测区必须选取少数点位,用精密仪器和比较精确的方法测定它们的相对位置,作为测区的骨架,这些骨架点称为控制点。测定控制点相对位置的工作称为控制测量。控制测量是带全局性的精度较高的测量工作,在范围较大的测区,要由高级到低级,按不同精度要求逐步进行。其次,在控制点的基础上,对碎部点进一步详细测量。例如,地形测量时,以控制点为依据,分别测定每个控制点周围的碎部点的相对位置。测定碎部

点相对位置的工作称为碎部测量。在控制测量和碎部测量的基础上,最后绘制出整个测区完整的地形图。由于控制点位具有高精度、误差小的特点,且误差传递范围受到限制,因此,整个测区的精度均匀统一。施工测量时,也是以控制点为依据,将图上设计的建筑物位置测设到实际的地面位置。测设碎部点相对位置的工作称为施工放样。

总之,无论地形测量还是施工测量,都必须遵循“从整体到局部”、“先控制后碎部”、“由高级到低级”的工作原则,并做到“步步有检核”。

思考题与习题

1. 名词解释:测量学、大地水准面、旋转椭球面、中央子午线、高斯平面直角坐标、绝对高程、相对高程。
2. 国家统一坐标计算的基准面是什么?为什么不能投影到大地水准面上进行计算?
3. 测量学的平面直角坐标系是怎样建立的?它与数学上的平面直角坐标系有何不同?
4. 国家统一的平面直角坐标系是如何建立的?
5. 设我国某处 A 点的横坐标 $Y = 19\ 689\ 513.12\text{ m}$,问该坐标值是按几度带投影计算而得? A 点位于第几带? A 点在中央子午线东侧还是西侧,距中央子午线多远?
6. 现在我国统一采用的高程系统叫什么?大地原点和高程原点在哪里?
7. 测量的三个基本要素是什么?测量的三项基本工作是什么?
8. 测量工作的基本原则是什么?为什么要遵循这些基本原则?
9. 测量工作中用水平面代替水准面时,地球曲率对距离、高差的影响如何?

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 20 世纪 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最常用的方法。

2.1 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 所示, 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

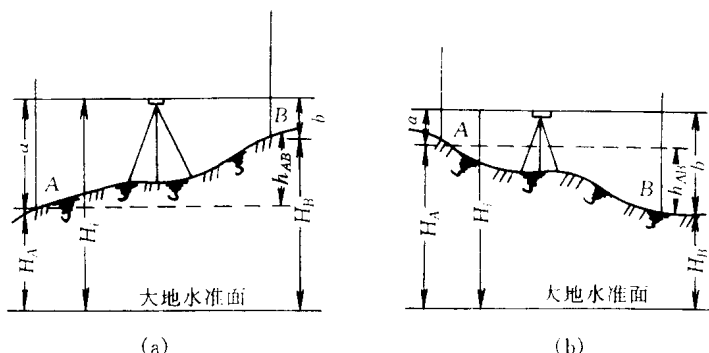


图 2-1

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 点为前视点。由图 2-1 可知两点之间高差

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

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 $a < b$ 时, h_{AB} 为负。根据 A 点已知高程 H_A 和测出的高差 h_{AB} , 则 B 点高程

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

亦可通过仪器的视线高程 H_i 求得 B 点高程, 即

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

式 (2-2) 是利用高差 h_{AB} 计算 B 点高程, 称为高差法; 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, 用 (2-3) 式计算更方便。

2.2 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 DS_{05} 、 DS_1 、 DS_3 和 DS_{10} 等几种等级。“D”和“S”是“大地”和“水准仪”的汉语拼音的第一个字母, 其下标为

仪器本身每公里能达到的精度,以毫米计。建筑工程测量一般使用 DS_3 级水准仪。

一、 DS_3 型(简称 S_3 级)微倾式水准议

图 2-2 为微倾式水准仪。水准仪是能提供一条水平视线的精密光学仪器,它主要由望远镜、水准器和基座三个基本部分组成。

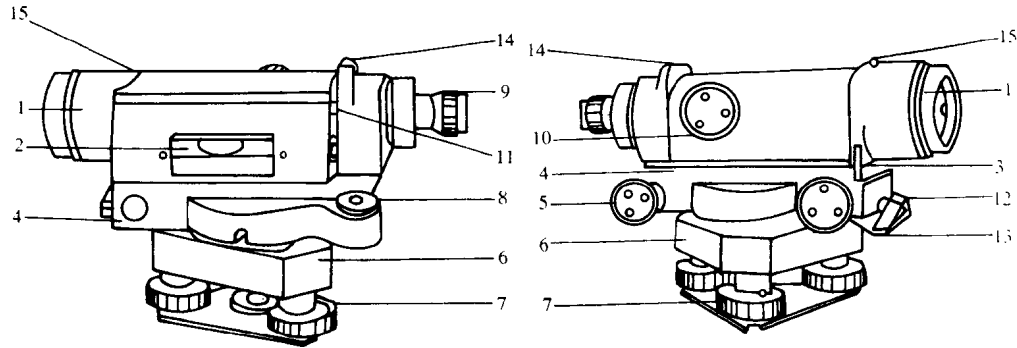
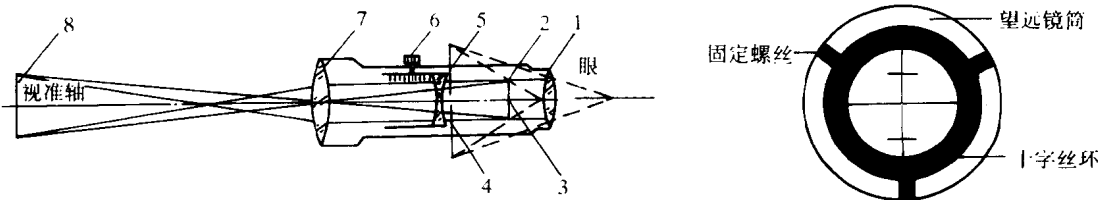


图 2-2

1. 望远镜;2. 水准管;3. 钢片;4. 支架;5. 微倾螺旋;6. 基座;7. 脚螺旋;8. 圆水准器;9. 目镜对光螺旋;
10. 物镜对光螺旋;11. 气泡观察窗;12. 制动扳手;13. 微动螺旋;14. 缺口;15. 准星

1. 望远镜

水准仪的望远镜是用来瞄准水准尺并读数的,它主要由物镜、目镜、对光螺旋和十字丝分划板组成。图 2-3 中物镜 7 的作用是使远处的目标 8 在望远镜内目镜 1 的焦距内形成一个倒立



1. 目镜;2. 十字丝分划板;3. 目标成像;4. 放大后的虚像;
5. 调焦凹透镜;6. 调焦螺旋;7. 物镜;8. 目标

图 2-3

图 2-4

及缩小的实像 3。当目标处在不同距离时,可调节对光螺旋 6,带动一个凹透镜 5 使成像 3 始终落在十字丝分划板 2 上,这时,十字丝和物像同时被目镜放大为虚像 4,以便观测者利用十字丝来瞄准目标。当十字丝的交点瞄准目标上某一点时,该目标点即在十字丝交点与物镜光心的连线上,这条连线称为视准轴,也称为视线。十字丝分划板是用刻有纵横十字丝线的平面玻璃制成,装在十字丝环上,再用固定螺丝固定在望远镜筒内,如图 2-4。

2. 水准器

水准器分为管状水准器(水准管)和圆盒水准器两种,它们都是供整平仪器用的。

(1) 水准管

水准管是由玻璃圆管制成的,其上部内壁的纵向按一定半径磨成圆弧。如图 2-5 所示,管内注满酒精和乙醚的混合液,经加热、封闭、冷却后,管内形成一个气泡。水准管内表面的中点 0 称为零点,通过零点作圆弧的纵向切线 LL' 称为水准管轴。自零点向两侧每隔 2mm 刻一个分