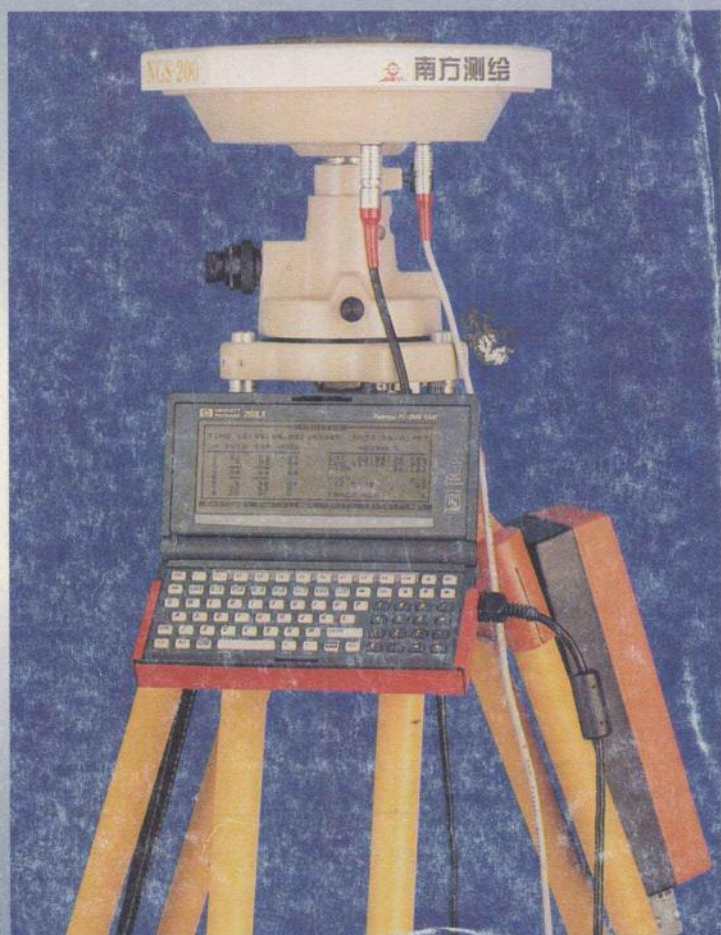


GONGCHENGCELIANG

工程测量

金和钟 陈丽华 主编



浙江大学出版社

工程测量

金和钟 陈丽华 主编

浙江大学出版社

出版发行 浙江大学出版社
(杭州市浙大路 38 号 邮政编码 310027)
(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)
(网址: <http://www.zjupress.com>)

责任编辑 杨晓鸣

经 销 浙江省新华书店

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 浙江上虞印刷厂

开 本 787mm×1092mm 16 开

印 张 16.75

字 数 408 千字

印 数 7001—9000

版 印 次 1998 年 8 月第 1 版 2001 年 1 月第 3 次印刷

书 号 ISBN 7-308-02638-8/TB·013

定 价 21.00 元

内 容 提 要

本书是根据教育部高等学校专业设置目录的调整意见,结合浙江省各高校相关专业多年开设《测量学》的教学实践和《工程测量》学科发展的特点及非测绘专业的培养目标、发展方向等方面的要求而编写的。

从工程测量的实际出发,全书分为十二章,其内容包括:工程测量基本知识、基本原理和方法,常规工程测量仪器和当代新仪器,工程大比例尺测图,工业与民用建筑工程测量,道路及管道工程测量,地籍和房产测量等。

作者考虑到当代电子技术、信息技术和计算技术发展所推动的当代测绘科学及工程测量领域迅速发展的现实,适当介绍 GPS 卫星定位技术、电子经纬仪、全站仪、电子水准仪与数字测图新手段及 PC-E500 计算机应用等,以体现当代以“3S”(GPS, GIS, RS)技术及其集成系统为核心内容的高新测绘科技教学体系的这一特色,并系统、完整地收集了《国家三角测量》、《城市测量》、《工程测量》、《地籍测量》、《房产测量》的最新规范和图式,使其更富有实用性和技术性。为了使学生便于学习、巩固和消化,在每章后附有较多的复习思考题与习题。

本书可作为大专院校的建筑学、建筑工程、城市规划基础工程、城镇建设工程、道路管道土建工程、给水排水工程、市政桥梁工程、林业和规划、房产和地籍测量及港口、水利、国土和资源开发等相关专业的《工程测量》教材。

书中选有较多的测量生产实例,内容更富真实感。本书除了供高等学校非测绘专业“工程测量”、“测量学”课程使用外,也可供测量、土建、水利、交通、农林等测绘工程技术人员学习和参考。

前 言

随着测绘科学的迅速发展,高等学校测量学科的教学面临着新的挑战.如何使经典测量学与当代测绘高科技从理论到实践在非测绘专业测量课程的教学中得到升华和体现,使其与当前市场经济、人才培养、用人机制相适应.这是摆在我们面前的一大课题.为适应上述目标和深化教学改革,测量课程教学第一线的广大教师,在拓宽知识领域,传播新的科学知识,推广、介绍和应用现代测绘先进技术手段、设备及信息获取和计算技术等方面,肩负繁重而艰巨的历史使命和责任.尤其目前在教育部关于高等院校新专业目录调整方针的精神指导下,更是高校教学改革、教材革新所面临的一次新的抉择.

浙江省有关高校的广大测量学教师,为适应当前高校测量学科的发展需要,在多年深层次的教学研讨、学术交流、多次教材编写的实践基础上,发挥各校优势,同时吸取测绘生产科技人员的实践经验,集思广益,几经努力,终于联合编写、出版了这本《工程测量》教材.这在浙江测绘史上又迈出新的第一步.

出版后,经有关兄弟院校的试用,普遍反映该教材比较适合当前各高校相关专业的教学实际,但鉴于测绘学科的发展以及如《城市测量规范》等的更改和再版,本书也因此在第一版的基础上作再次修改,使其日臻完善,更好地适应教学和实践的需要.

本书由金和钟、陈丽华主编.具体编写人员为:金和钟(第一章、第六章及内容提要、前言等)、朱丽芳(第二章)、杨继林(第三章)、祁巍峰(第四章)、赵良荣(第五章、第八章)、杜国标(第七章)、陈丽华(第九章、第十章)、施拥军(第十一章)、吴宇哲(第十二章).

在编写和出版过程中得到了浙江省测绘学会、南方测绘仪器公司等单位和很多同志的帮助与支持,在此一并致谢.

由于条件的限制及作者的水平有限,书中有不妥之处在所难免,恳请读者批评指正.

《工程测量》编写组

2000年11月于杭州

目 录

第一章 工程测量基本知识	(1)
§ 1.1 测量学的任务、内容和作用	(1)
§ 1.2 测量工作的基准面	(3)
§ 1.3 地面点位的确定	(4)
§ 1.4 用水平面代替水准面的限度	(7)
§ 1.5 测量工作的基本概念	(9)
第二章 水准测量	(13)
§ 2.1 水准测量的原理	(13)
§ 2.2 水准测量的仪器、工具及其使用	(14)
§ 2.3 水准测量的实施	(22)
§ 2.4 微倾式水准仪的检验与校正	(32)
§ 2.5 水准测量的误差及注意事项	(34)
第三章 角度测量	(39)
§ 3.1 角度测量的原理	(39)
§ 3.2 经纬仪的结构和使用	(40)
§ 3.3 水平角观测	(50)
§ 3.4 竖直角观测与三角高程测量	(53)
§ 3.5 经纬仪的检验与校正	(58)
§ 3.6 电子速测仪	(61)
§ 3.7 角度观测的误差来源及注意事项	(66)
第四章 距离测量与直线定向	(71)
§ 4.1 钢尺、皮尺直接量距	(71)
§ 4.2 电磁波测距	(77)
§ 4.3 直线定向与罗盘仪的使用	(82)
第五章 测量误差的基本知识	(87)
§ 5.1 测量误差的基本概念	(87)
§ 5.2 衡量测量精度的指标	(90)
§ 5.3 等精度观测值的中误差	(92)
§ 5.4 非等精度观测值的中误差	(95)
§ 5.5 误差传播定律	(98)
第六章 工程小地区控制测量	(104)
§ 6.1 控制测量概述	(104)
§ 6.2 导线测量	(111)
§ 6.3 交会定点	(129)

§ 6.4	GPS 定位技术及其在控制测量中的应用	(132)
第七章	大比例尺地形图测绘	(138)
§ 7.1	大比例尺地形图基本知识	(138)
§ 7.2	测图前的准备工作	(148)
§ 7.3	视距测量	(150)
§ 7.4	平板仪的使用与碎部测量	(153)
§ 7.5	等高线勾绘	(161)
§ 7.6	地形图编制	(162)
§ 7.7	数字测图概述	(163)
§ 7.8	航空摄影测量概述	(166)
第八章	地形图的应用	(169)
§ 8.1	地形图应用的基本内容	(169)
§ 8.2	地形图在工程建设中的应用	(171)
§ 8.3	地形图上的面积量算	(173)
§ 8.4	地形图在平整土地中的应用及土方量计算	(177)
第九章	施工测量基本工作	(182)
§ 9.1	施工测量概述	(182)
§ 9.2	已知水平距离的测设	(183)
§ 9.3	已知水平角的测设	(185)
§ 9.4	已知高程的测设	(186)
§ 9.5	已知坡度的测设	(186)
§ 9.6	点的平面位置的测设	(187)
第十章	工业与民用建筑施工测量	(192)
§ 10.1	施工控制测量	(192)
§ 10.2	民用建筑施工放样	(196)
§ 10.3	工业建筑施工放样	(204)
§ 10.4	建筑物的变形观测	(209)
第十一章	道路与管道工程测量	(215)
§ 11.1	中线测量	(215)
§ 11.2	圆曲线测设	(217)
§ 11.3	纵横断面测量	(221)
§ 11.4	道路与管道施工测量	(227)
§ 11.5	竣工测量	(235)
第十二章	地籍和房产测量	(238)
§ 12.1	概述	(238)
§ 12.2	土地权属调查	(241)
§ 12.3	地籍图测绘	(247)
§ 12.4	房产调查和测量	(253)
附录	《工程测量》考试要求	(260)

第一章 工程测量基本知识

§ 1.1 测量学的任务、内容和作用

测量学是一门应用科学,主要研究和确定地球的形状和大小,它用一定的方法和设备来测定地面点的平面位置和高程,并将研究区域地表的地形及其他信息用一定的表示手段和比例尺测绘成图——地形图、地图、平面图和工程用图等。

测量学的任务是:

1. 研究和确定地球的形状和大小;
2. 根据测量内容和要求将所测区域的地物和地貌,按某种比例尺绘制成各种图件;
3. 为工程建设项目中,在图上设计好的各种建筑物或构筑物测设或桩钉到实地,供工程施工应用;
4. 为政府或决策部门提供各种测绘信息资料,为政治、经济、国防、科研等事业服务。

由上述任务可以看出,测量学的内容主要包括测图和测设两部分。测图是用各种方法测定地球表面的形态(地貌)及地物位置,并绘成各种地图资料。测设(又称放样)是用一定的方法将图上设计的建(构)筑物的平面位置及高程等数据标定在实地上,作为施工的依据。

测量学按其研究的目的、对象和方法的不同,可分为:大地测量学、地形测量学、摄影测量学、工程测量学及地图制图学等。

1. 大地测量学 大地测量学科的形成始于公元17世纪初,经历了几何大地测量学、物理大地测量学、天文大地测量学及空间大地测量学等几个发展阶段的演变。随着现代科学技术的飞跃发展,特别是空间大地测量技术的崛起,如甚长基线干涉测量(VLBI)、激光测月(LLR)和激光测卫(SLR)、卫星雷达测高、全球定位系统(GPS)及跨世纪的卫星测量,使得大地测量学比过去任何时候更有能力为解决地学中许多重大研究课题作出贡献。这一情况改变了大地测量的职能,使得它的主要任务不仅是为测制地图和工程建设建立控制网,研究地球形状和大小,而且还要为解决当前人类社会面临的有关地球的重大问题(如减灾、监测环境和寻找新的矿产资源)服务。大地测量学是研究一个较大的区域,故必须考虑地球的曲率、平面角与球面角的差异等。

2. 地形测量学 研究地球表面较小的区域的形状和大小。在一定的范围内(一般在半径为10千米的圆面积内)进行长度的测量工作时,就不考虑地球的曲率。这样,用水平面代替地球曲面,可根据需要测绘各种比例尺的地形图。

3. 摄影测量学 是通过摄影获得的像片来研究地表形状和大小的测绘科学。根据获得像片的方法不同,又可分为地面摄影测量学和航空摄影测量学。此外,还可利用人造卫星摄影像片编制1:100万至1:25万等中小比例尺的普通地图及各类专业地图。航空摄影所获得的地表各种信息需经过常规的外业控制和调绘,内业纠正和其他方面的技术处理,才能绘制成地形图。

4. 工程测量学 工程测量学是测绘科学的主要内容之一,指在工程建设的勘察设计、施工和运营阶段所进行的各种测量和研究的学科,如城市建设、工矿、水利、交通、林业、农业工程建设及土地管理等领域.按测量工作的先后和作业性质,可分为勘测设计阶段的控制测量和地形测量,施工阶段的放样测量,工程完成后的竣工测量和监视建筑物安全阶段的变形观测等.

5. 地图制图学 利用上述各种方法所得到的资料、信息,根据用图目的,研究如何投影编绘成地图,以及地图制作的理论、工艺和应用等方面的测绘科学,是测绘科学的重要内容之一.

综上所述,测绘科学一方面需要以数学和物理为基础,另一方面联系到地球空间的各门科学,广泛应用于经济建设、科学研究和军事技术等领域.测绘是了解自然、改造自然的重要手段.测绘工作是经济建设中的一项基础性、前期和超前期的工作,测绘工作者常被人们称为建设的尖兵.测绘在经济建设中,为城市规划、市政工程、土地开发规划与管理、地籍与房地产管理、农业、防灾、港口、电站、铁路、公路、桥梁建设、隧洞开挖等方面提供各种比例尺的现状地形图等测绘信息资料.按照规划设计部门的要求进行规划道路定线、建筑用地界址的拨地测量、给水排水、煤气管道及工业民用建筑工程的勘察测量等,是直接为建设工程项目设计、施工服务.在工程施工过程和运营管理阶段,对一些高层、大型建筑产生的沉降、位移、倾斜等进行变形观测,为确保建筑物结构和地基基础提供各种可靠的测量数据,直接关系到建设的科学性、工程质量和预期效益的实现.在科学研究中,板块运动和地壳运动的监测、地球重力场研究和重力测量、海洋大地测量和海面变化、地壳升降、地震预测预报、海陆变迁、航天和空间技术、气象、埃尔尼诺现象等都有赖于现代测量技术和手段的运用.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、航天器精确入轨更离不开精确的坐标、方位、距离及地球形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料等.

随着科学技术的发展,新技术的开发应用,测绘部门以数据、线画图、影像图、电子地图等多种形式的测绘产品,为各行各业提供信息服务和科学依据,为现代化建设和社会的发展提供测绘保障.

现代测绘科学,实际上已是“3S”(GPS, GIS, RS)技术及其集成系统为核心内容的高新测绘科技的体系.随着人造卫星、空间定位及航天技术的不断发展及电子技术、计算技术的发展和运用,为测量学提供了新的手段和方法.全天候、快速度和高精度的定位技术及测量仪器的发展,电子经纬仪、全站仪及数字化测图、计算机自动成图技术的广泛应用,使经典的测量学正在朝着一个崭新的阶段飞跃.

工程测量主要是应用大地测量和摄影测量的仪器、工具、方法、计算和平差理论,解决工程建设中测量问题的一门应用科学,与其他测量学的关系非常密切,所以定本书为工程测量.各章内容将从实用观点出发进行介绍.

近年来,工程测量领域的技术日新月异,如地形图的测绘、精密工程的施工、定线、准直、地下坑道贯通及建筑物变形观测等,正朝着数据的自动获取、自动记录和自动处理的方向发展.

工程测量工作者除掌握测量学的基本知识外,还必须学习工程设计和工程施工方面的有关知识,例如具备读图、识图和校核图纸的能力等.工程测量在一定意义上讲是一门测量

和工程施工相结合的学科,既有测量理论又有工程建设的实际知识.

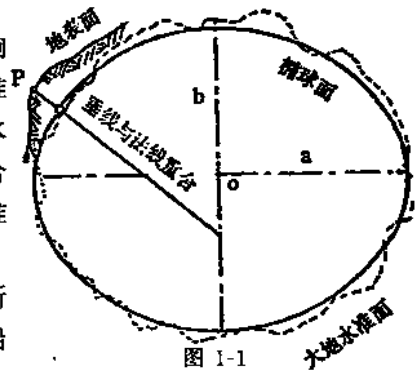
§ 1.2 测量工作的基准面

测量工作是在地球表面进行的,而地球的自然表面是个极不规则的曲面,有高山、丘陵、深谷、平原、江河、湖泊及海洋等.海洋占地表的 71%,陆地约占 29%.其中最高的珠穆朗玛峰高出海水面 8848.13 米,最低的马里亚纳海沟低于海水面 11022 米.但是,这样的高低起伏,相对于半径为 6371 千米的地球来说还是很小的.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.在研究地球科学领域中,为便于处理测量成果,必须找出一个能代表地球形状和大小的地球形体,这个地球体就是通常由大地水准面所提供的参考椭球体.

一、大地水准面

静止的水面称为水准面,它是由于受地球重力影响而形成的,是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之为水平面.由于水面高低不一,因此水准面也就有无数多个,其中与平均静止的海水面相吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面,称为大地水准面,如图 1-1 所示.

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,称之为大地体.将重力的方向线称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线.由于海水面受风浪、潮汐的影响,平均静止的海水面在大自然中不可能存在,为此我国在青岛观象山设立一个验潮站,长期观测和记录黄海海水面的高低变化,取其平均值作为我国大地水准面的起点位置(其高程为零),并在青岛建立了水准原点.从 1950 年开始,经过几十年观测黄海水位变化及经过几个阶段对高程基准的经历.目前,我国采用“1985 国家高程基准”,青岛水准原点的高程为 72.260 米,全国各地的高程以它为准进行测量计算.对过去所用的黄海高程系,因两者差异不大,现在也统称“1985 国家高程基准”.



二、参考椭球体

由于地球内部质量分布不均,使铅垂线的方向处处发生变化,致使大地水准面成为一个复杂的曲面.因此,无法将地球表面投影到这个复杂的曲面上进行测量数据的处理.在测量计算与地图制图中也难以用数学公式来表达.为此就需要选择一个非常接近于大地体,并可用数学公式表达的几何形体来代替地球的形状,其表面作为测量计算工作的基准面.这一几何形体就称为参考椭球体,如图 1-1 所示.它是由一个椭圆绕其短轴旋转而成,故又称旋转椭球.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.

参考椭球体的形状和大小取决于它的长半径 a , 扁平率 f (或短半径 b).我国从 1952 年起,采用克拉索夫斯基椭球体元素,后又经卫星大地测量计算.目前,我国对地球参考椭球体所采用的参数值为:

$$a = 6378140 \text{ 米,}$$

$$f = (a - b) : a = 1 : 298.257,$$

由此进行大地定位。

由于参考椭圆体的扁平率很小,因此当测区范围不大时,可以把参考椭圆体当作圆球来看待,其半径 $R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6371$ 千米。

§ 1.3 地面点位的确定

确定地面点的位置是测量工作的基本任务。地面点空间位置通常由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,即由坐标和高程来确定。

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来表示的,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, PP_1 为地球的自转轴(或称地轴), O 为地球中心,地轴和地球表面的交点为 P 和 P_1 ,并分别称为北极和南极。垂直于地轴的平面与地球表面的交线称为纬线。通过地轴和地球上任一点 L 的平面 $PLKP_1$,称为 L 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)。国际上规定通过英国格林尼治天文台原址的子午面为首子午线,作为计算经度的起始线。自首子午线向东和向西自 0° 起算各至 180° ,在首子午线以东者为东经,以西者为西经。图 1-2 中过地面上任一点 L 的子午面(如 $PLKP_1$)和首子午面(如 PMP_1)所组成的二面角称为 L 点的经度,用 λ 表示。同一子午线上各点的经度相同。

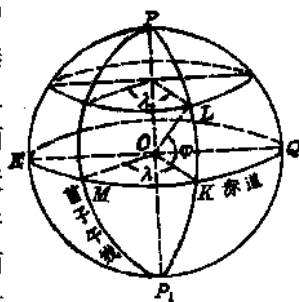


图 1-2

过点 L 的铅垂线(LO) 和赤道面($EMKQ$) 之间的夹角称为 L 点的纬度,用 ϕ 表示。自赤道算起,向南、向北各分为 $0^\circ \sim 90^\circ$,在赤道以北为北纬,以南为南纬。

研究地球形状或进行大区域测量时,点的坐标用经度或纬度表示,其值由天文测量测定。

(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(参考椭圆体)上的位置,用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。 L 点的大地经度 L ,就是指 L 点的子午面和首子午面所夹的两面角; L 点的大地纬度 B ,就是过 L 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.我国选择在陕西省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”。

地面上一点的天文坐标和大地坐标是不相同的,这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,而后者依据的是旋转椭球面和法线。

2. 高斯平面直角坐标

当测量工作范围较大时,不能把水准面作为水平面,如将旋转椭球面上的图形展绘到平面图纸上来,必将产生变形.如何采用适当的方法使这种变形减小,测量工作中通常采用高斯投影的方法。

高斯投影法是将地球划分成为60或120个带,分别采用每6°或3°一个带投影到平面上,如图1-3所示.6°分带的投影带从首子午线起,每经差6°划分为一个带,各带从首子午线

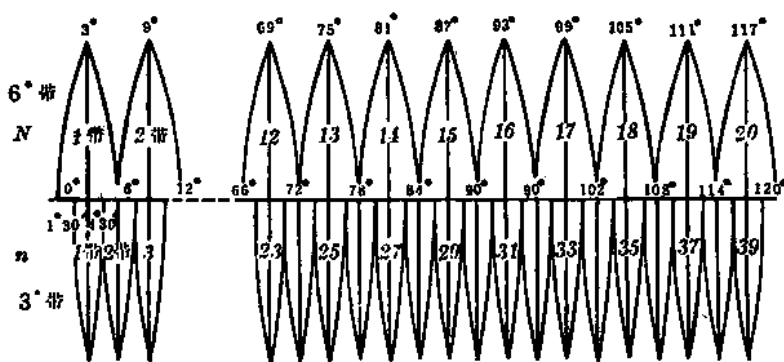


图 1-3

起自西向东用数字1,2,⋯,60表示或3°分带从东经1°30′起,自西向东分,每经差3°为一带,用数字1,2,⋯,120表示.位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线.如第1个6°带的中央子午线为3°,则东经范围内6°分带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 为投影带的带号数。

按上述方法划分投影带后,即可进行投影.如图1-4(a)所示,设想用一个椭圆柱横切于椭球面上投影带的中央子午线,先将中央子午线两侧一定经差范围内的椭球面正形投影于

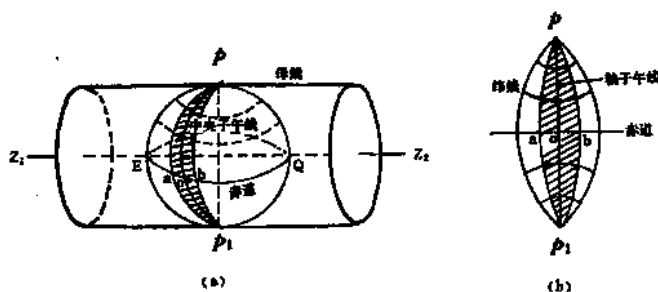


图 1-4

椭圆柱上,再将椭圆柱面过南北极剪开展平,即为高斯投影面,如图1-4(b)所示.中央子午线经过投影后展开的是一条直线,规定以此直线作为纵轴,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;两轴的交点作为原点,由此就组成了高斯平面直角坐标系.将投影后具有高斯平面直角坐标系的 6° 或 3° 带一个个拼接起来,便得到图 1-3 所示的图形.

在高斯平面直角坐标系内,规定 x 轴向北为正,向南为负; y 轴向东为正,向西为负,如图 1-5(a) 所示.象限按顺时针方向编号,这是因为在测量工作中规定所有直线的方向都是从纵坐标轴北端顺时针方向量度的.这种规定与数学上的象限规定虽然相反(如图 1-5(b) 所示),但经变换可使各象限的坐标值符号与数学上的完全一样,因此数学上的计算公式仍可直接用于测量的计算中,不必作变动.

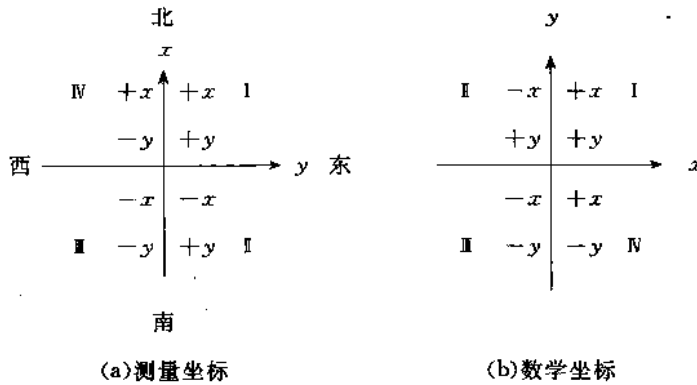


图 1-5

我国位于北半球,纵坐标值为正,横坐标值则有正有负.为了避免出现横坐标值为负,规定将每带的坐标原点向西移 500 千米.这样每点的横坐标值都为正值,如图 1-6 所示.

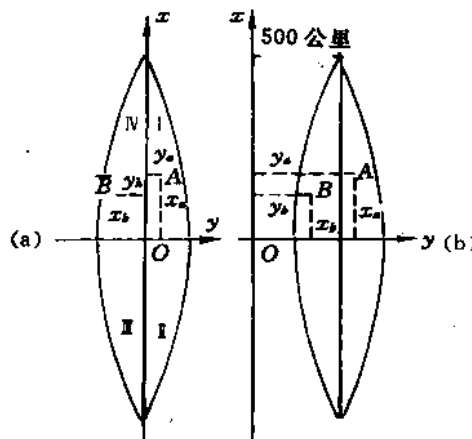


图 1-6

为了根据横坐标值能确定某点位于哪一个 6° 带内,则在横坐标值前冠以带的编号.如某点的横坐标值 $y = 37143$ 米,该点位于第 20 带内,则其横坐标值 $y = 2037143$ 米,其真正的横坐标值应是: -462857 米.

在高斯投影中,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.当测绘大比例尺图时要求投影变形更小时,一般均用 3° 分带投影.它是从东经 $1^\circ 30'$ 起,自西

向东分带编号,则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 表示 3° 带的带号数.

3. 独立平面直角坐标

大地水准面虽然是曲面,但当测量区域较小时(一般半径不大于 10 千米的面积内),可以用测区中心点的切平面来代替曲面;而采用独立平面直角坐标系来表示地面点在投影面上的位置. 同样以 x 轴为纵坐标轴,向北为正,向南为负; y 轴为横坐标轴,向东为正,向西为负. 原点一般可选在测区的西南角,其值可以假设,这样使测区内各点的坐标均为正值. 这就是通常在小地区测量时,当测区没有国家坐标点时常用的独立平面直角坐标.

有了以上三种坐标系统的表示方法,地面上任何一点在投影面上的二维坐标位置就确定了.

二、地面点的高程

为了确定点的空间位置,除了确定其平面坐标外,还需要确定其高程,即确定地面点沿投影方向到基准面的铅垂距离. 在一般测量工作中,均采用大地水准面为基准面的高程系统. 地面上任何一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,以 H 表示. 如图 1-7 所示, A, B 为地面上两点, P_0P_0 为大地水准面,则 H_A, H_B 分别为 A, B 两点的绝对高程.

当某些工程从技术上分析或引用绝对高程有困难时,也可以不采用绝对高程,此时可采用假定高程系统,即可以任意取一个水准面,如图 1-7 中的 P_1P_1 为任意水准面,这个水准面称为假定水准面,此时从某点到该水准面的铅垂距离,称为该点的相对高程或假定高程,用 H' 表示. 如图 1-7 中的 H'_A 和 H'_B 分别表示 A, B 两点的相对高程. 一个工程仅可假设一个起算面,通常的作法是在所确定的某点位置上,首先假设一个起算高程,以此来推算测区的其他高程.

两个地面点之间的高程差称为高差. 如图 1-7 中, A, B 两点的高差 h_{AB} 为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A,$$

由此可见两点间的高差与高程的起算面无关.

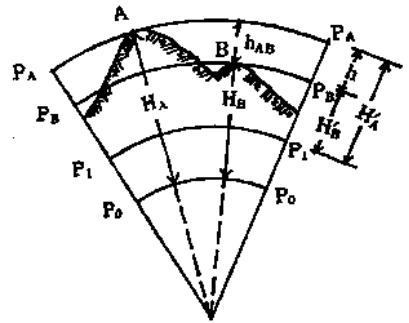


图 1-7

§ 1.4 用水平面代替水准面的限度

由 § 1-2 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水平面也要产生变形,但是由于测量和绘图也都含有不可避免的误差,因此如果将一块水准面当作水平面看待,其产生的误差不超过测量和绘图的误差,这样做是可以的,也是合理的. 但究竟测区范围多大时,可用水平面代替水准面,即如何限制用水平面代替基准面的范围大小. 这是本节所要研究的地球曲率对水平距离和高程的影响

问题.

一、水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-8 所示, A, B 为地面两点在大地水准面上的投影, 用该区域中心点的切平面代替大地水准面后, 此两地面点在水平面上的投影点是 A, C . 设两点在大地水准面上的距离为 D , 圆心角为 θ . 取切于 A 点的水平面代表地表面, 设在此水平面上的距离为 D' , 则 D' 与 D 之差即为水平面代替水准面所产生的距离误差. 在推算下列公式时, 近似地将大地水准面视为半径为 R 的球面, 则有

$$\Delta D = D' - D = R \cdot \operatorname{tg}\theta - R\theta = R(\operatorname{tg}\theta - \theta), \quad (1.3)$$

将 $\operatorname{tg}\theta$ 用级数展开, 即 $\operatorname{tg}\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$

因 θ 角很小, 取其前两项, 并代入公式 (1.3) 中得到

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

因 $\theta = \frac{D}{R}$, 故

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad \text{或} \quad \frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2}, \quad (1.4)$$

取地球半径 $R = 6371$ 千米, 用不同的距离 D 代入 (1.4) 式, 得表 1-1:

表 1-1

$D(\text{km})$	$\Delta D(\text{cm})$	$\Delta D/D$
10	0.8	1 : 125 万
20	6.6	1 : 30 万
50	102.6	1 : 4.9 万
100	821.2	1 : 1.2 万

由表 1-1 可见, 如果 D 为 10 千米, 所产生的相对误差为 1 : 125 万. 现在用最精密的距离丈量时的允许误差也只不过为其长度的 100 万分之一.

因此可以得出结论: 在半径为 10 千米的圆面积内进行长度测量时, 可以把水准面当作水平面看待, 可以不考虑地球曲率对距离的影响, 即实际沿圆弧丈量所得距离作为水平距离, 其误差可忽略不计.

二、水平面代替水准面对高程的影响

如图 1-8 所示, 鉴于 A, B 两点在同一个水准面上, 故其高程相等. 由于 B 点投影到水平面上为 C 点, C, B 之间的垂直距离 Δh , 即为用水平面代替水准面在高程上所产生的误差, 其值为

$$\Delta h = OC - OB = R \cdot \sec\theta - R, \quad (1.5)$$

将 $\sec\theta$ 展开成级数: $\sec\theta = 1 + \frac{\theta^2}{2} + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$

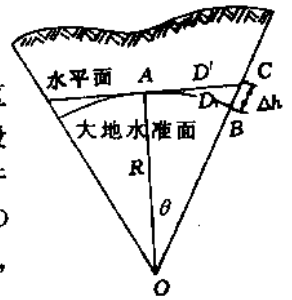


图 1-8

因 θ 较小,取级数公式前两项,并用 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入公式(1.5)中,则得

$$\Delta h = R(1 + \frac{\theta^2}{2} - 1) = \frac{D^2}{2R} \quad (1.6)$$

用不同的 D 值代入公式(1.6)可计算相应的 Δh 值,便得表 1-2.

表 1-2

$D(\text{km})$	0.2	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h(\text{cm})$	0.31	2	8	31	71	125	196

从表 1-2 可以看出,由于地球曲率所产生在高程测量中的误差是随着距离的增加而快速增加,也就是说用水平面作基准面对高程影响是很大的.如表中距离 200 米时就产生 0.31 厘米的高程误差,这是不允许的.因此在高程测量中,即使距离很短,也应用水准面作为测量的基准面,即应顾及地球曲率对高程的影响.

§ 1.5 测量工作的基本概念

由 § 1-1 知道测量工作的主要任务是测绘各种不同比例尺的地形图以及为工程建设服务的各种施工放样的测量.这些测量工作是通过测定地面点的平面位置和高程来实现.但由于在测量过程中不可避免地会产生各种误差,如不采用正确的方法和程序,其误差将会逐步积累,甚至导致无法拼图,达不到所允许的精度.因此,必须采用下述原则和方法,以保证各项测量工作的精度.

一、测量工作的基本原则

地球表面的各种形态是复杂多样的,在测绘工作中一般分为地物和地貌两大类:大部分由人工建造在地面上的附着物,如房屋、道路、桥梁、界标等称为“地物”;地面上高低起伏的形态称为地貌,如山岭、谷地、河海、陡崖等都称为“地貌”.地物和地貌统称为地形.

测绘地形图时,若要在某一点上测绘该测区所有的地物和地貌是不可能的,如图 1-9(a)中的 1 号点,在该点上安置仪器也只能测量附近的地物、地貌,位于屋后及山后的部分地物就无法观测.因此需要在若干点上分区施测,最后才能拼成一幅完整的地形图,如图 1-9(b).因此在实际工作中应采用下述工作程序:首先用较严密的方法和较精密的仪器测定一些控制点(如图中 1,2,⋯,6)的精确位置,以保证整体的精度,然后再根据控制点来施测周围的地物和地貌.也就是说,在布局上是“由整体到局部”,在精度上是“由高级到低级”,在次序上是“先控制后碎部”.这就是测量工作所遵循的原则.

二、控制测量

根据“先控制后碎部”的测量程序,为了测绘地形图,必须先进行控制测量.控制测量分平面控制测量和高程控制测量.国家大地控制网是由平面控制网和高程控制网两部分组成.国家平面控制的方法主要分为导线测量和三角测量,其目的是测定各个平面控制点的坐标 (x, y) .国家高程控制网分为精密水准测量和三角高程测量,其目的是求得各控制点间的高

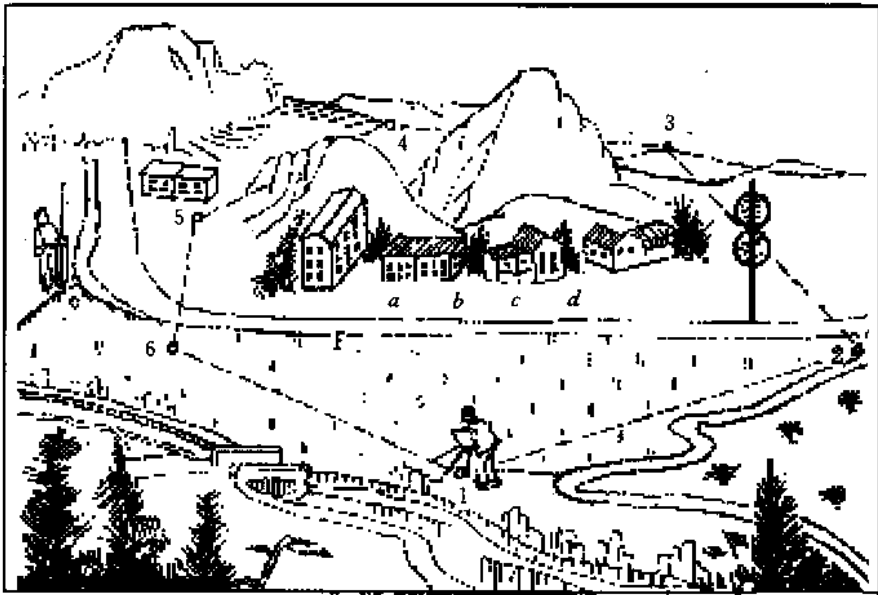


图 1-9(a)

差,然后再根据起始点的高程求出各点的高程.

如图 1-9(a),在测区范围内选择若干个有控制意义的点,如 1,2,3,⋯,6,以连续折线形式构成平面控制网:1—2—3—4—5—6,称之为导线,这些点称为导线点.图 1-9(a)为闭合导线网.测量导线边的长度和两条导线边之间的转折角,称为“导线测量”.由若干三角形组成的平面控制网的测量工作称为“三角测量”.

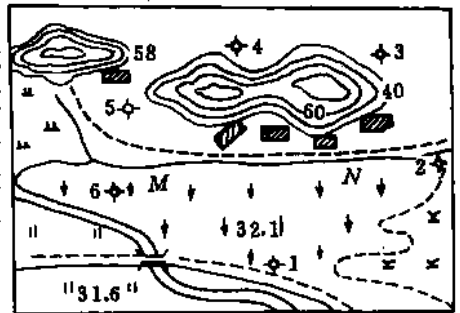


图 1-9(b)

高程控制网一般是由一系列水准点构成的水准网,导线网、三角网则也作为高程控制网.有了平面控制和高程控制才可进行碎部测量.

三、碎部测量

碎部测量是在控制测量的基础上,根据控制点位测定地物和地貌的特征点,如图 1-9(a)在导线点 1 安置仪器,用碎部测量的方法测出房屋的拐角、道路和河岸线的转折点 a, b, c, \dots 点,以及山脊线、山谷线的起点、终点、方向变化点等特征点,然后对照实地以相应的符号在图上进行描绘,最后得到用等高线表示的地形图,如图 1-9(b) 所示.

碎部测量方法有两种:一种是在预先展有控制点、图根控制点的图纸上测绘地形、地物;另一种是以航空像片为依据再进行碎部测量和调绘.

四、点位测设

点位测设也称放样,是把图上设计的工程建筑物或规划指定的红线、地块,按其特征点