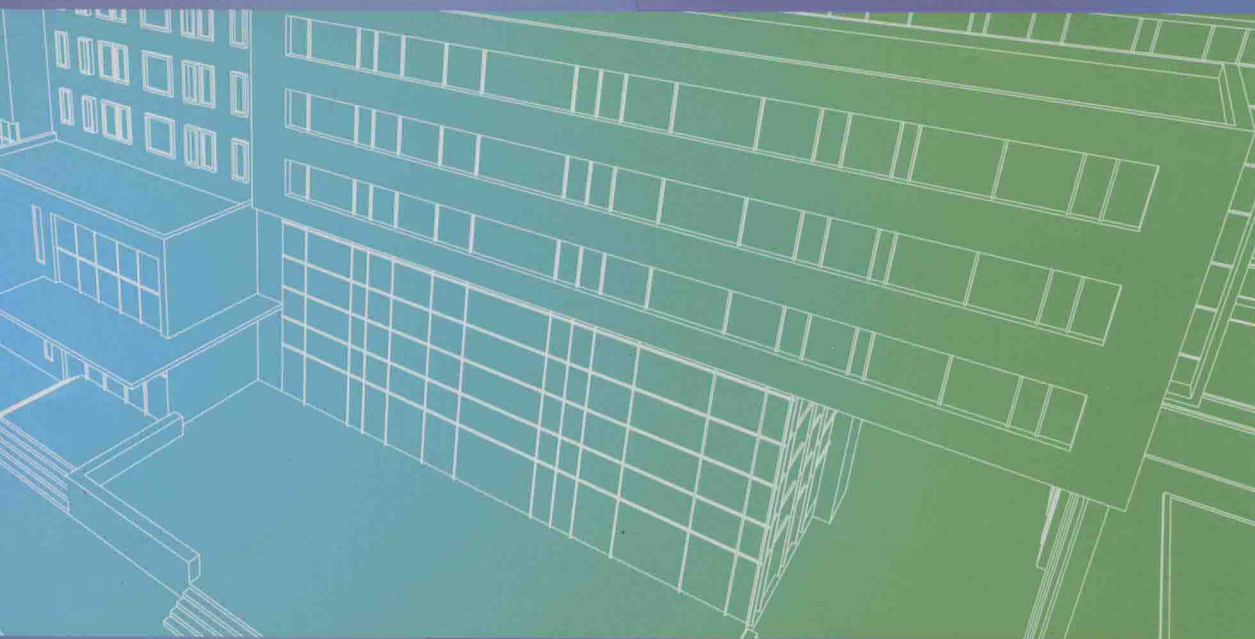


普通高等教育“十二五”规划教材

工程测量

刘茂华 等 编

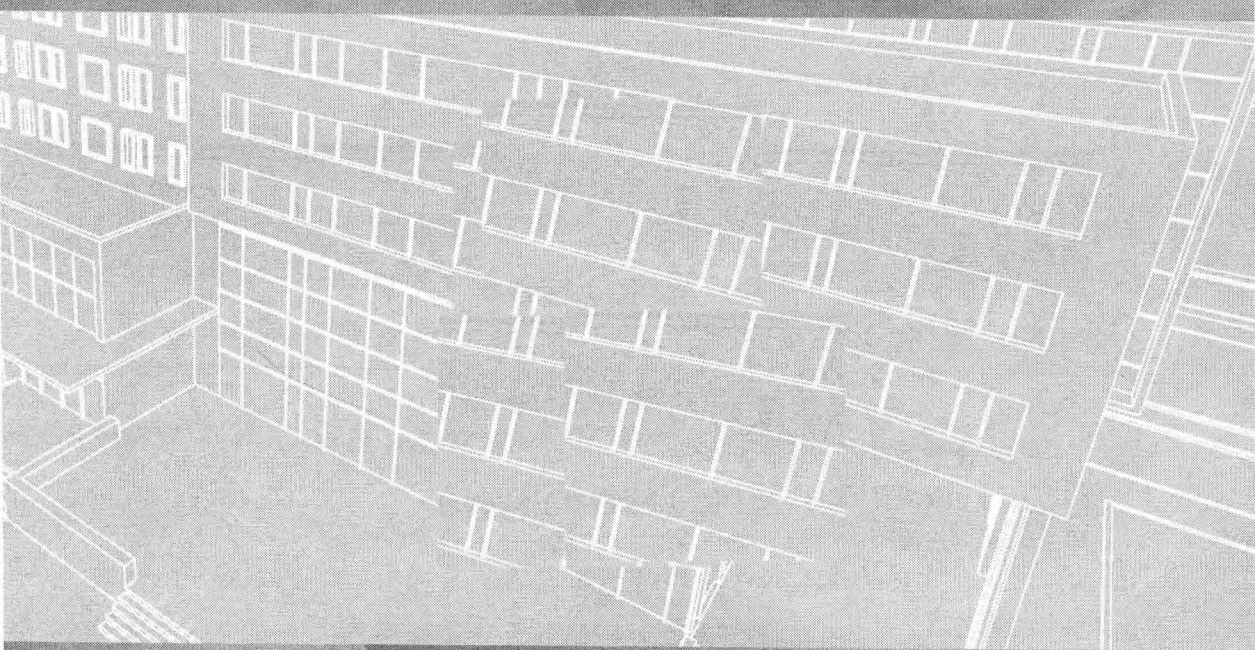


同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

工程测量

刘茂华等 编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书系统地介绍了测绘学的基本理论、技术及方法,应用测绘仪器和设备进行各种测定与测设工作,并运用测量误差与平差理论进行数据处理和计算;针对较常用的各种专业工程测量的特点,详细阐述了施测的方法和技术要求。全书共 13 章,主要内容包括:空间框架基准,高程、角度测量仪器使用,误差理论分析,地形图基本知识及应用,并结合建筑、水利、和线(道路、桥梁、管线)等特点,全面介绍了测绘在这些行业中的具体应用和实施。

本书可作为各行业测绘工程技术人员的参考用书,尤其适合作为工科院校土建类、水利类、道桥类、工程管理类等各本、专科及高等职业教育的教学用书,亦可作为施工现场测量人员的培训教材及参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 刘茂华主编. -- 上海: 同济大学出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-5608-5967-5

I. ①工… II. ①刘… III. ①工程测量—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)201641 号

普通高等教育“十二五”规划教材

工程测量

主编 刘茂华

责任编辑 陈佳蔚 责任校对 徐春莲 封面设计 李志伟 出版策划 武 钢

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(上海市四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 三河市海新印务有限公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 18

字 数 449000

版 次 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5967-5

定 价 39.80 元

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

编审委员会

(姓名不分先后, 以姓氏拼音为序)

- 主 编 刘茂华 (沈阳建筑大学)
- 副 主 编 高振东 (沈阳农业大学)
- 王金刚 (自贡职业技术学院)
- 王照雯 (大连海洋大学)
- 仲晓雷 (辽宁工学院)
- 编 委 成 遣 (沈阳农业大学)
- 郭克晶 (周口科技职业学院)
- 李佳维 (沈阳工学院)
- 李 新 (大连海洋大学)
- 孟凡超 (辽源职业技术学院)
- 曲亚南 (山东农业工程学院)
- 孙立双 (沈阳建筑大学)
- 孙秀波 (辽宁省有色地质局勘查总院)
- 杨 慧 (郑州成功财经学院)
- 王 刚 (广州南方测绘仪器有限公司沈阳分公司)
- 王 岩 (沈阳建筑大学)
- 于树良 (大连金源勘测技术有限公司)
- 张福燕 (大连海洋大学)
- 主 审 马振利 (中国矿业大学银川学院)

前 言

随着科学技术的发展,现代测绘科学应运而生,由于空间技术、计算机技术、通信技术和地理信息技术的发展,致使测绘学的理论基础、工程技术体系、研究领域和科学目标正在适应新形势的需要而发生深刻的变化。测绘学已经成为研究对地球和其他实体与空间分布有关的信息进行采集、量测、分析、显示、管理和利用的一门科学技术。它涵盖了传统测绘理论及技术,同时包含全球定位系统(GNSS)、遥感(RS)及地理信息系统(GIS)等“3S”相关学科,内容更加丰富、形式更加多样。

本书对传统测绘理论和技术进行了全面的讲解,包括高程测量、角度测量、距离测量、平差基础理论、地形图测绘与应用等,同时,增加了测绘新技术、新理论、新设备、新方法,包括全站仪、GNSS测量,并且结合建筑、路线(道路、桥梁、管线)及水利等特点,全面介绍了测绘在这些行业中的具体应用和实施,以满足各类工程专业学生毕业后工作岗位的需求。

本书还介绍了现代测绘科学中的“3S”相关理论和技术,阐述现代测绘科学技术的相关理念,由“3S”技术(GNSS、RS、GIS)支撑的测绘科学技术在信息采集、数据处理和成果应用等方面也进入了数字化、网络化、智能化、实时化和可视化的新阶段,此部分内容保证了本书的现势性。在实际教学实践中,任课老师可以根据具体情况,对本书内容进行选择教学。

本书由十多所高校与两家企事业单位合作编写,充分发挥了高校与企、事业单位之间的优势互补,力求将理论知识与实践相结合。本书可作为各行业测绘工程技术人员的参考用书,尤其适合作为工科院校土建类、水利类、道桥类、工程管理类等各本、专科及高等职业教育的教学用书;亦可作为施工现场测量人员的培训教材及参考资料。

由于编者水平有限,书中必然存在谬误之处,敬请各位专家和读者不吝赐教。

编 者

2015年9月

◆ 第1章 绪论	(1)
1.1 测量学的概念与分类	(1)
1.2 测量学的基本知识	(3)
1.3 测量工作的内容与原则	(11)
思考与练习	(13)
◆ 第2章 水准测量	(14)
2.1 水准测量原理	(14)
2.2 水准仪和水准尺	(16)
2.3 水准测量与成果计算	(22)
2.4 水准测量的误差及注意事项	(29)
2.5 微倾式水准仪的检验与校正	(32)
2.6 自动安平水准仪与精密水准仪	(34)
思考与练习	(38)
◆ 第3章 角度测量	(41)
3.1 光学经纬仪的构造与使用方法	(41)
3.2 水平角测量	(46)
3.3 竖直角测量	(50)
3.4 角度测量的误差与注意事项	(53)
3.5 经纬仪的检验与校正	(56)
3.6 电子经纬仪及使用	(58)
思考与练习	(61)
◆ 第4章 距离测量与方向测量	(63)
4.1 距离测量	(63)
4.2 视距测量	(71)
4.3 光电测距	(74)
4.4 直线定向	(77)
思考与练习	(81)
◆ 第5章 测量误差的基本理论	(82)
5.1 测量误差产生的原因及其分类	(82)
5.2 等精度条件下观测值的算术平均值	(85)
5.3 衡量精度的标准	(86)
5.4 误差传播定律	(88)

5.5 观测值及算术平均值的中误差	(92)
5.6 不等精度观测	(95)
思考与练习	(98)
◆ 第6章 控制测量	(99)
6.1 控制测量概述	(99)
6.2 导线测量	(102)
6.3 交会法测量	(116)
6.4 高程控制测量	(118)
思考与练习	(122)
◆ 第7章 测设的基础知识	(125)
7.1 施工测量概述	(125)
7.2 点位测设的基本工作	(126)
7.3 点位平面位置测设的方法	(130)
7.4 建筑基线的测设	(134)
7.5 全站仪及其使用	(135)
思考与练习	(151)
◆ 第8章 地形图的基础知识	(153)
8.1 地形图的基本知识	(153)
8.2 地形图的符号与表示	(159)
8.3 地形图应用概述	(164)
8.4 地形图应用的基本内容	(165)
8.5 地形图在工程建设中的应用	(169)
思考与练习	(176)
◆ 第9章 大比例尺地形图的测绘	(177)
9.1 测图前的准备工作	(177)
9.2 地形图测绘	(179)
9.3 地形图的拼接与整饰	(183)
9.4 数字化测图技术	(184)
思考与练习	(188)
◆ 第10章 建筑工程测量	(189)
10.1 建筑场地施工控制网概述	(189)
10.2 民用建筑放样	(192)
10.3 工业厂房放样	(197)

10.4	建筑物的变形观测	(200)
10.5	竣工总平面图的编绘	(204)
	思考与练习	(205)
◆	第 11 章 水利工程测量	(206)
11.1	水利工程测量概述	(206)
11.2	施工控制网的布设	(208)
11.3	混凝土重力坝的放样	(210)
11.4	渠道的选线及中线测量	(214)
11.5	渠道横断面测量	(215)
11.6	渠道纵横断面图绘制	(216)
11.7	渠道施工断面放样	(218)
11.8	河道测量	(219)
11.9	水位观测	(223)
	思考与练习	(227)
◆	第 12 章 路线工程测量	(228)
12.1	道路中线测量	(228)
12.2	圆曲线测设	(229)
12.3	纵横断面图测量	(234)
12.4	道路施工测量	(238)
12.5	GPS 在路线测量中的应用	(242)
12.6	桥梁工程测量	(245)
12.7	管线工程测量	(249)
	思考与练习	(261)
◆	第 13 章 现代测绘科学技术之“3S”	(263)
13.1	全球卫星导航系统	(263)
13.2	遥感	(268)
13.3	地理信息系统	(272)
13.4	“3S”集成	(274)
	思考与练习	(276)
◆	参考文献	(277)

内容提要

1. 测量学的定义、任务和分类;
2. 地球的形状和大小;
3. 测量坐标系统,高程系统;
4. 测图的定位要素及测量工作的基本原则。

1.1 测量学的概念与分类

1.1.1 测量学的概念

测量学是研究地球的形状和大小,确定地面(包括空中、地下河海底)点位的科学。为了对地球及其地表进行研究,在测量学中,将地表构成分为地物和地貌两个部分。

所谓地物是指地面上天然或人工形成的物体,包括平原、湖泊、河流、海洋、房屋、道路及桥梁等;而地貌则是指地表高低起伏的形态,包括山地、丘陵和平原等。地物和地貌总称为地形。

测量学的主要任务是测定和测设。测定又称地形测绘,是指使用测量仪器和工具,用一定的测绘程序和方法对地表或其上局部地区的地形进行量测,计算出地物和地貌的位置(通常用三维坐标表示),按一定比例尺、规定的符号将其缩小并绘制成地形图,供科学研究和工程建设规划设计使用。而测设则刚好相反,它是使用测量仪器和工具,按照设计要求,采用一定的方法,将在地形图上设计出的建筑物和构筑物的位置在实地标定出来,作为施工的依据。

因测量学的主要技术表现为测量与绘图,所以测量学也被称为“测绘学”。

1.1.2 测量学分类

测量学是测绘科学技术的总称,它的研究对象非常广泛,从地球的形状、大小至地球

以外的空间,到地面上局部的面积和点位等的有关数据及信息,按照研究范围、对象以及测量手段的不同,通常又将测量学分为许多分支学科。

◆ 1. 大地测量学

大地测量学是研究地球的形状、大小、重力场及其变化,通过建立区域和全球的三维控制网、重力网及利用卫星测量等方法测定地球各种动态的理论和技術学科。其基本任务是建立地面控制网、重力网,精确测定控制点的空间三维位置,为地形测量提供控制基础,为各类工程建设施工测量提供依据,为研究地球形状大小、重力场及其变化、地壳变形及地震预报提供信息。

◆ 2. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是研究利用电磁波传感器获取目标物的影像数据,从中提取语义和非语义信息,并用图形、图像和数字形式表达的学科。其基本任务是通过摄影像片或遥感图像进行处理、量测、解译,测定物体的形状、大小和位置并制作成图。根据获得影像的方式及遥感距离的不同,该学科又分为地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天遥感测量学等。

◆ 3. 工程测量学

工程测量学是研究在工程建设、工业和城市建设以及资源开发中,在规划、勘测设计、施工建设和运营管理各个阶段所进行的控制测量、地形和有关信息的采集和处理(即大比例尺地形图测绘)、地籍测绘、施工放样、设备安装、变形监测及分析和预报等的理论、技术和方法,以及研究对测量和工程建设有关的信息进行管理和使用的学科。它是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。

工程测量学是一门应用学科,按其研究对象可分为:建筑工程测量、铁路工程测量、公路工程测量、桥梁工程测量、隧道工程测量、水利工程测量、地下工程测量、管线(输电线、输油管)工程测量、矿山测量、军事工程测量、城市建设测量以及三维工业测量、精密工程测量、工程摄影测量等。

一般的工程建设分为规划设计、施工建设和运营管理三个阶段。工程测量学研究这三阶段所进行的各种测量工作。

◆ 4. 地图制图学

地图制图学是研究数字地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术、方法以及应用的学科。它的基本任务是利用各种测量成果编制各类地图,该学科一般包括地图投影、地图编制、地图整饰和地图制印等分支。

地图是测绘工作的重要产品形式。该学科的发展促使地图产品从传统的模拟地图向数字地图转变,从二维静态向三维立体、四维动态(增加了时间维度)转变。计算机制图技术和地图数据库的发展,促使地理信息系统(GIS)产生。数字地图的发展及其广泛应用为地图学的发展展现出无限前景,使数字地图成为21世纪测绘工作的基础和支柱。

◆ 5. 海洋测量学

海洋测量学是以海洋和陆地水域为研究对象,研究海洋水下地形测量、航道及相关的

港口、码头的建设等工程相关的测量理论和方法。

◆ 6. 地球空间信息科学

地球空间信息科学是测绘学科的理论、技术、方法及其学科内涵不断发生变化的产物。当代由于空间技术、计算机技术、通信技术和地理信息技术的发展,致使测绘学的理论基础、工程技术体系、研究领域和科学目标正在适应新形势的需要而发生深刻的变化。由“3S”技术(GNSS,RS,GIS)支撑的测绘科学技术在信息采集、数据处理和成果应用等方面也在进入数字化、网络化、智能化、实时化和可视化的新阶段。测绘学已经成为研究对地球和其他实体的与空间分布有关的信息进行采集、量测、分析、显示、管理和应用的一门科学技术。它的服务对象远远超出传统测绘学比较狭窄的应用领域,扩大到国民经济和国防建设中与地理空间信息有关的各个领域,成为当代兴起的一门新型学科——地球空间信息科学。

1.2 测量学的基本知识

1.2.1 地球的形状与大小

测量工作是在地球表面上进行的,因此必须知道地表的形状和大小。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地及海洋等,呈复杂的起伏形态,通过长期的测绘工作和科学调查,人们了解到地球表面上海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。世界上最高的珠穆朗玛峰高达 8 844.43 m,世界上最深的马里亚纳海沟深达 11 022 m。地球的自然表面高低起伏近 20 km,但这种起伏变化相对于地球半径 6 371 km 来说,仍可忽略不计。因此,测量中可以把海水所覆盖的地球形体看作地球的形状。

由于地球的自转运动,地球上任一点都要受到离心力和地球引力的双重作用,这两个力的合力称为重力,重力的方向线称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。设想有一静止的海水面向陆地延伸,通过大陆和岛屿形成一个包围地球的封闭曲面,这个曲面称为水准面。水准面是受重力影响而形成的,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面,并且是一个重力场的等势面。与水准面相切的平面称为水平面。由于潮汐的影响,海水面有高低,所以水准面有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面,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。大地水准面所包围的地球形体称为大地体。

用大地水准面代表地球表面的形状和大小是恰当的,但由于地球内部物质的质量分布不均匀,引起铅垂线的方向产生不规则的变化,致使大地水准面成为一个复杂的曲面,如图 1-1 所示。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上,会给测量计算和绘图带来很多困难。为了解决这一问题,选用一个非常接近大地水准面,并可用数学式表示的规则几何形体来代表地球的总形状,这个数学形体称为“参考椭球体”。包围旋转椭

球体的面称为“旋转椭球面”。旋转椭球体是由一椭圆绕其短半轴旋转而成的椭球体,如图 1-2 所示。椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 是决定旋转椭球体的形状和大小的元素。随着测绘科学的进步,可以愈来愈精确地测定这些元素。目前,我国采用国际大地测量协会 IAG-75 参数: $a=6\,378\,140\text{ m}$, $\alpha=1:298.257$,推算值 $b=6\,356\,755.288\text{ m}$ 。

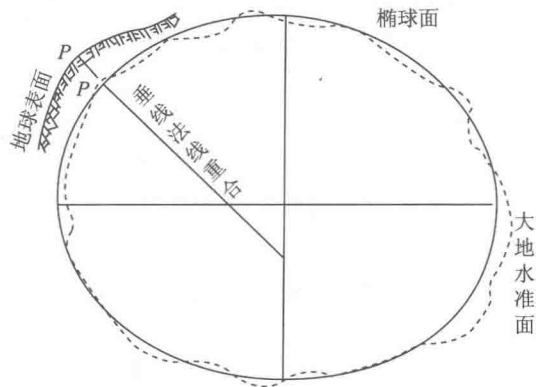


图 1-1 大地水准面

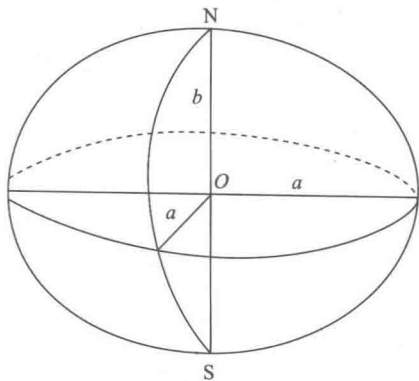


图 1-2 参考椭球

采用椭球体定位得到的坐标系为国家大地坐标系。我国大地坐标系的原点在陕西省泾阳县永乐镇。由于参考椭球体的扁率很小,在测区面积不大时可把地球近似地看作圆球,其半径为 $R=6\,371\text{ km}$ 。

1.2.2 地面点的表示方法

测量工作的基本任务是确定地面点的位置。地面上任一点都是位于三维空间的点。地面点的位置通常用坐标和高程表示:坐标指该点在大地水准面或参考椭球面上的位置或投影到水平面上的位置;高程指该点到大地水准面的铅垂距离。

◆ 1. 地理坐标

用经纬度表示地面点位置的球面坐标称为地理坐标。在测量工作中,通常是以参考椭球面及其法线为依据建立坐标系,称为大地坐标系,参考椭球面上点的大地坐标用大地经度(L)和大地纬度(B)表示,它是用大地测量方法测出地面点的有关数据推算求得。地形图上的经纬度一般都是用大地坐标表示的。

参考椭球如图 1-3 所示, NS 为椭球自转的旋转轴,并通过椭球中心 O ,也称为地轴, N 表示北极, S 表示南极。通过地面点 P 和地轴的平面称为过 P 点的子午面,子午面与椭球面的交线称为子午圈,也称为子午线(或叫经线)。国际上公认:通过英国格林尼治天文台的子午面称为首子午面或起始子午面,首子午面与参考椭球面的交线称为首子午线或起始子午线,也称起始经线。首子午面将地球分为东西两个半球。垂直于地轴的任一平面与参考椭球面的交线称为纬线或纬圈,各纬圈相互平行也称为平行圈。我们把通过参考椭球中心且垂直于地轴的平面称为赤道面,赤道面与参考椭球面的交线称为赤道。赤道面将地球分为南北两半球。

地理坐标就是以起始子午面和赤道面作为起算面的。

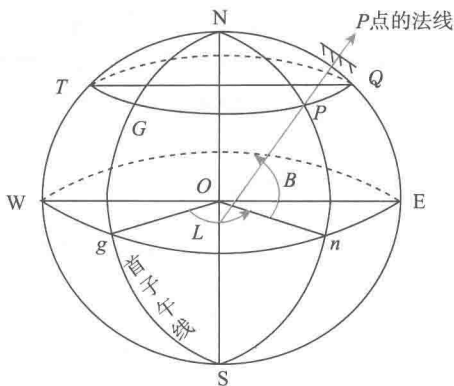


图 1-3 地理坐标

地面上某点的大地经度(L),简称经度。通过某点(如 P)的子午面与首子午面之间的二面角 L ,叫做该点的大地经度。经度是以首子午面起算,在首子午面以东的点的经度,从首子午面向东度量,称为东经。以西者向西度量,称为西经。其角值各从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。在同一子午线上的各点经度相同,任意两点的经度之差称为经差。我国位于东半球,各地的经度都是东经。

大地纬度(B),简称纬度。过椭球面上的任一点(如 P)作一与椭球面相切的平面,过该点作垂直于此切平面的直线,称为该点的法线。某点的法线与赤道面的交角 B ,叫做该点的大地纬度。纬度是以赤道面起算,在赤道面以北的点的纬度,由赤道面向北度量,称为北纬。以南者向南度量,称为南纬,其角值各从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。同一纬线上所有点的纬度相同。我国疆域全部在赤道以北,各地的纬度都是北纬。

由此可见,大地经度和大地纬度是以参考椭球面作为基准面。用经度、纬度表示地面点(如 P)位置的坐标系是在球面上建立的,故称为球面坐标,亦称为地理坐标。地面上一点的地理坐标(L, B)确定了该点在椭球面上的位置。

◆ 2. 高斯投影和高斯平面直角坐标

地球在总体上是大地体表示的,为了能进行各种运算,又以参考椭球体来代替大地体。但是,椭球体面是一个不可展开的曲面,要将椭球面上的图形描绘在平面上,需要采用地图投影的方法。

我国规定在大地测量和地形测量中采用正形投影的方法。正形投影的特点是:椭球面上的图形转绘到平面上后,保持角度不变形,而且在一定范围内由一点出发的各方向线段的长度变形的比例相同,所以也称等角投影。这就是说,正形投影在一定的范围内可保持投影前、后两图形相似,这正是测图所要求的。我国目前采用的高斯投影是正形投影的一种,这种投影方法是由高斯首先提出的,而后克吕格又加以补充完善,所以叫高斯-克吕格投影,简称高斯投影。

(1) 高斯投影

高斯投影是一种等角横切圆柱分带投影。将椭球面上图形转绘到平面的过程,是一种数学换算过程。为了使初学者对高斯投影有一个直观的印象,故借助与高斯投影有

相同和类似之处的横椭圆柱中心投影做一简介。

在图 1-4(a)中,设想用一个椭圆柱筒横套于参考椭球的外面,使之与任一子午线相切,这条切线就称为中央子午线或轴子午线,并使椭球柱中心轴与赤道面重合且通过椭球中心。若以地心为投影中心,用数学方法将椭球面上中央子午线两侧一定经差范围内的点、线、图形投影到椭圆柱面上,并要求其投影必须满足下列三个条件:

- ①投影是正形的,即投影前后角度不发生变形;
- ②中央子午线投影后为直线,且为投影的对称轴;
- ③中央子午线投影后长度不变。

上述三个条件中,条件①是所有正形投影的共同特点,条件②③则是高斯投影本身的特定条件。

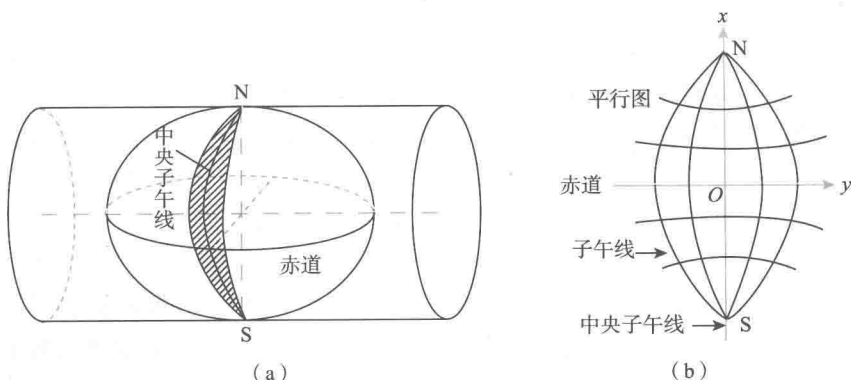


图 1-4 高斯投影

将投影后的椭圆柱面沿过南北极的母线剪开展成平面,这一狭长带的平面就是高斯投影平面,如图 1-4(b)所示。根据高斯投影的特点,可以得出椭球面上的主要线段在高斯投影平面上的几个特性:

- ①中央子午线投影后为直线,并且长度没有变形。
- ②除中央子午线外,其余子午线的投影均为凹向中央子午线的曲线,并以中央子午线为对称轴。投影后长度发生变形,离中央子午线愈远,长度变形愈大。
- ③赤道圈投影后为直线,但长度有变形。
- ④除赤道外的其余纬圈,投影后均为凸向赤道的曲线,并以赤道为对称轴。
- ⑤所有长度变形的线段,其长度比均大于 1。
- ⑥经线与纬线投影后仍保持正交。

由此可见,此种投影在长度和面积上都有变形,只有中央子午线是没有变形的线,自中央子午线向投影带边缘,变形逐渐增加,而且不管直线方向如何,其投影长度均大于球面长度。这是因为要将椭球面上的图形相似地(保持角度不变)表示到平面上,只有将椭球面上的距离拉长才能实现。所以,凡在椭球面上对称于中央子午线或赤道的两点,其在高斯投影面上相应对称。

(2) 投影带划分

高斯投影虽然保持了等角条件,但产生了长度变形,且离中央子午线愈远,变形愈大。

在中央子午线两侧经差 3° 范围内,其长度投影变形最大约为 $1/900$ 。变形过大,对于测图用图都不利,也影响图的使用,甚至是不允许的。

为了限制长度变形,满足各种比例尺的测图精度要求,国际上统一将椭球面沿子午线以经差 6° 或 3° 划分成若干条带,限定高斯投影的范围。每一个投影范围就叫一个投影带,并依次编号。如图 1-5 所示,从起始子午线开始,自西向东以经差每隔 6° 划分一带,将整个地球划分成 60 个投影带,叫做高斯 6° 投影带(简称 6° 带)。 6° 带各带的中央子午线经度分别为 $3^\circ, 9^\circ, 15^\circ, \dots, 357^\circ$, 中央子午线的经度 L_0 与投影带带号 N_6 的关系式为

$$L_0 = N_6 \times 6^\circ - 3^\circ \quad (1-1)$$

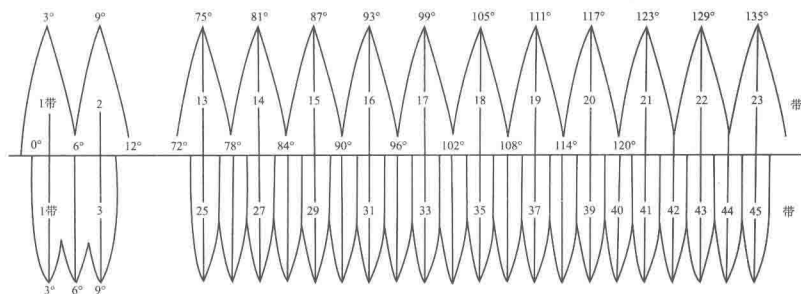


图 1-5 6° 和 3° 投影带的关系

每一投影带两侧边缘的子午线叫做分带子午线, 6° 带的分带子午线的经度分别为 $0^\circ, 6^\circ, 12^\circ, \dots$ 。

为了满足大比例尺测图和某些工程建设需要,常以经差 3° 分带。它是从东经 1.5° 的子午线起,自西向东按经差每隔 3° 划分为一个投影带,这样整个地球被划分为 120 个投影带,叫做高斯 3° 投影带(简称 3° 带),如图 1-5 所示。显然, 3° 带各带的中央子午线经度分别为 $3^\circ, 6^\circ, 9^\circ, \dots, 360^\circ$ 。即 3° 带的带号 N_3 与中央子午线经度 L_0 的关系式为

$$L_0 = N_3 \times 3^\circ \quad (1-2)$$

3° 带的分带子午线的经度依次为 $1.5^\circ, 4.5^\circ, 7.5^\circ, \dots$ 。

除上述 6° 和 3° 带外,有时根据工程需要,要求长度变形更小些,则可采用任意带。任意带的中央子午线一般选在测区中心的子午线,带的宽度为 1.5° 。

(3) 高斯-克吕格平面直角坐标系

采用高斯投影将椭球面上的点、线、图形转换到投影平面上,是属大地控制测量的范畴。我国大地控制测量为地形测量所提供的各级控制点的平面坐标,都已是高斯投影平面上的坐标。

根据高斯投影的原理,参考椭球面上的点均可投影到高斯平面上,为了标明投影点在高斯投影面的位置,可用一个直角坐标系来表示。在高斯投影中,每一个投影带的中央子午线投影和赤道的投影均为正交直线,故可建立直角坐标系。我们国家规定以每个投影带的中央子午线的投影为坐标纵轴(x 轴),赤道的投影为坐标横轴(y 轴),其交点为坐标原点 O 。 x 轴向北为正,向南为负; y 轴向东为正,向西为负。这就是全国统一的高斯-克吕格平面直角坐标系,也称为自然坐标。

由于我国幅员辽阔,东西横跨 11 个(13—23 带) 6° 带,21 个(25—45 带) 3° 带,而各自又独立构成直角坐标系。我国地理位置位于北半球,故所有点的纵坐标值均为正值,而横

坐标值则有正有负。为了便于计算,避免 y 值出现负值,规定将每一投影带的纵坐标轴向西平移 500 km,即所有点的横坐标值均加上 500 km,如图 1-6 所示。为了不引起各带内点位置的混淆,明确点的具体位置,即点所处的投影带,规定在 y 坐标的前面再冠以该点所在投影带的带号。我们把将加上 500 km 并冠以带号的坐标值叫做通用坐标值。

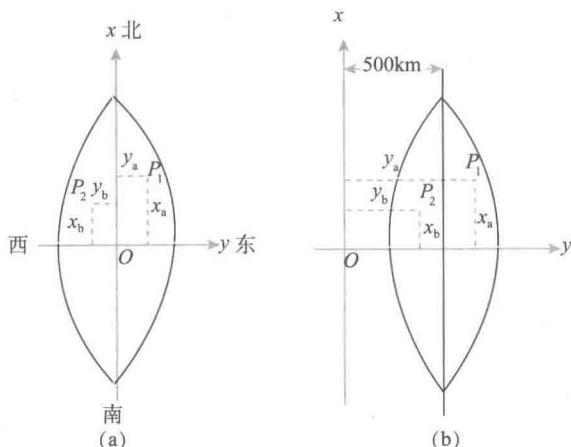


图 1-6 高斯平面直角坐标系

图 1-6 中, P_1, P_2 点均位于第 21 带,其自然坐标 $y'_{P_1} = +189\ 640.8\text{ m}$, $y'_{P_2} = -107\ 453.6\text{ m}$,则其通用坐标 $y_{P_1} = 21\ 689\ 640.8\text{ m}$, $y_{P_2} = 21\ 392\ 546.4\text{ m}$ 。

◆ 3. 独立平面直角坐标系

当测区的范围较小时,测区内没有国家统一的坐标系,测图只是作为一个独立的工程或其他方面使用,可将该测区的大地水准面看成水平面,在该面上建立独立的平面直角坐标系(图 1-7)。通常将独立直角坐标系的 x 轴选在测区西边,将 y 轴选在测区南边,坐标原点选在独立测区的西南角点上,以使测区内任意点的坐标均为正值。规定 x 轴向北为正, y 轴向东为正,构成独立平面直角坐标系(图 1-8)。

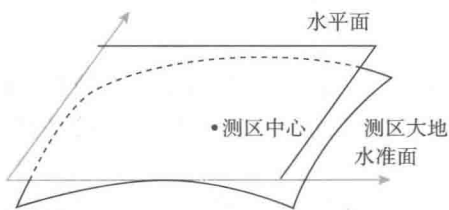


图 1-7 假定平面直角坐标系的建立

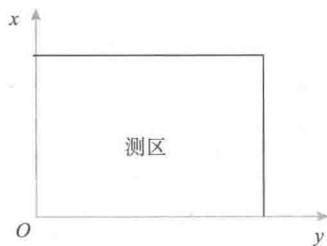


图 1-8 假定平面直角坐标系

无论是高斯平面直角坐标系还是独立平面直角坐标系,均以纵轴为 x 轴,横轴为 y 轴,这与数学上的平面坐标系 x 轴和 y 轴正好相反,其原因在于测量与数学上表示直线方向的方位角定义不同。测量上的方位角为纵轴的指北端起始,顺时针至直线的夹角;数学上的方位角则为横轴的指东端起始,逆时针至直线的夹角。将二者的 x 轴和 y 轴互换,是为了仍旧可以将已有的数学公式用于测量计算。出于同样的原因,测量与数学上关于坐标象限的规定也有所不同。二者均以北东为第一象限,但数学上的四个象限为逆时针递

增,而测量学上则为顺时针递增。

◆ 4. 高程系统

地面点的高程是指地面点至大地水准面的铅垂距离,通常称为绝对高程,简称高程,用 H 表示,如图 1-9 所示。

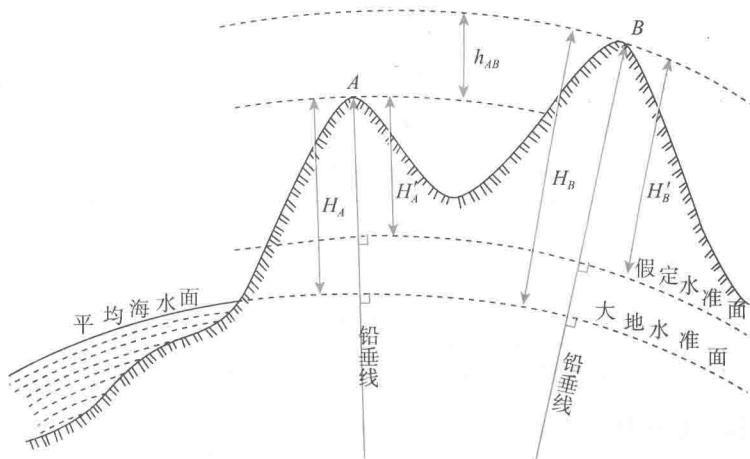


图 1-9 地面点的高程和高差

A, B 两点的绝对高程为 H_A, H_B 。由于受海潮、风浪等影响,海水面的高低时刻在变化,我国的高程是以青岛验潮站历年记录的黄海平均海面为基准,并在青岛建立了国家水准原点。我国最初使用“1956 年黄海高程系”,其青岛国家水准原点高程为 72.289 m,该高程系于 1987 年废止,并启用“1985 年国家高程基准”,原点高程为 72.260 m。在使用测量资料时,一定要注意新旧高程系以及系统间的正确换算。

在局部地区有时可以假定一个水准面作为高程起算面,地面点到假定水准面的铅垂距离称为该点的相对高程。 H'_A, H'_B 分别表示 A 点和 B 点的相对高程。

地面两点之间的高程之差称为高差或比高,用 h 表示。 A, B 两点的高差为

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

地面两点之间的高差与高程系统无关。

1.2.3 地球曲率对测量工作的影响

由于水准面是一个曲面,曲面上的图形投影到平面上就会产生一定的变形,然而地球半径很大。当测区较小时,这种变形就很小,可以用平面代替水准面,但随着测区的增大,这种变形也随之增大。因此,在多大范围内可以用水平面代替水准面,而且这种变形引起的误差又不会超过测绘和制图误差的容许范围,就是我们要讨论的问题。

◆ 1. 地球曲率对距离测量的影响

图 1-10 中,设曲线 DAE 为水准面, AB 为其上的一段弧,长度为 S , 所对的圆心角为 θ , 地球半径为 R 。过 A 点作切线 AC , 长为 t , 如果将切于 A 点的水平面代替水准面,即以相应的切线段 AC 代替圆弧段 AB , 则在距离方面将产生误差 ΔS :