

■ 高职高专土建类专业规划教材

测量学

主编 李 勇

主审 吴文波



东北大学出版社
Northeastern University Press

高职高专土建类专业规划教材

测 量 学

主 编	李 勇		
主 审	吴文波		
副主编	鲁 纯	杨学峰	谭立萍
	张慧慧	王春波	

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 李勇 2011

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学 / 李勇主编. —沈阳: 东北大学出版社, 2011. 2

ISBN 978-7-81102-917-8

I. ①测… II. ①李… III. ①测量学—高等学校: 技术学校—教材

IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 023654 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024-83687331(市场部) 83680267(社务室)

传真: 024-83680180(市场部) 83680265(社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市池陆广告印刷有限公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 12.25

字 数: 301 千字

出版时间: 2011 年 2 月第 1 版

印刷时间: 2011 年 2 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘宗玉 石玉玲 潘佳宁

封面设计: 唐敏智

责任校对: 郎 坤

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-917-8

定 价: 25.00 元

前 言

本教材以高等职业教育要求为宗旨，以重点培养学生的实践技能为目标，将各章划分为多个具有独立技能培养目标的单元。在每个单元中，都有一个或多个技能培养目标，从而构成本教材的主体。

本教材在编写过程中，也参考了许多前人编写的教材。精简了许多理论推导和过时的内容，增加了部分编者认为重要的内容。本教材包括测量学的基本理论、测量仪器的操作和计算方法、小区域控制测量、大比例尺地形图测量、地形图应用、低等级公路测量等内容，是后续课程的基础。

本教材由吴文波教授担任主审，在编写过程中，得到了许多老师的大力帮助。王占武、孙艳崇、王万德老师参与了全站仪单元的编写工作，在此表示感谢！由于编者水平所限，书中的疏漏、错误在所难免，还望广大读者多提宝贵意见。

编 者
2011 年 1 月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 测量学的任务和作用	1
1.2 测量学的发展概况	2
1.3 测量在国民经济建设中的作用	4
第2章 测量的基本知识	5
2.1 地理坐标和高程	5
2.2 坐标系	8
2.3 坐标计算原理	13
2.4 测量工作概述	17
第3章 水准仪及水准测量	19
3.1 水准测量原理及水准仪	19
3.2 水准仪的使用及水准测量的基本方法	24
3.3 等外水准测量的外业	27
3.4 等外水准测量的内业	30
3.5 三、四等水准测量	32
3.6 水准仪的检验与校正	36
第4章 经纬仪及角度测量	42
4.1 经纬仪的认识及使用	42
4.2 测回法水平角观测	48
4.3 方向观测法水平角观测	50
4.4 竖直角观测	52

4.5	三角高程测量	56
4.6	经纬仪的检验与校正	59
第5章	距离测量及全站仪	63
5.1	直线定线与钢尺量距	63
5.2	视距测量	67
5.3	全站型电子速测仪	69
第6章	小区域控制测量	76
6.1	导线测量的外业工作	76
6.2	导线测量的内业工作	82
6.3	交会定点	89
6.4	换带计算	92
第7章	测量误差的基本知识	96
7.1	评定精度的指标	96
7.2	误差传播定律	101
7.3	误差传播定律的应用	108
第8章	大比例尺地形测图	112
8.1	地形图的分幅与编号	112
8.2	地物、地貌在地形图上的表示方法	116
8.3	地形测图的准备工作及方法	122
8.4	地物的测绘	131
8.5	地貌的测绘	134
8.6	地形图的拼接、装饰、检查及验收	140
第9章	地形图的应用	145
9.1	地形图的识读	145
9.2	地形图的应用	147

第 10 章 道路中线测量	154
10.1 交点的测设	154
10.2 路线转角的测定及里程桩的设置	156
10.3 圆曲线主点测设	159
10.4 圆曲线详细测设	161
10.5 缓和曲线测设	165
10.6 道路中线逐桩坐标的计算	170
第 11 章 路线纵、横断面测量	173
11.1 概 述	173
11.2 基本测量	173
11.3 中平测量	174
11.4 横断面测量	178
11.5 道路施工测量	181
参考文献	187

第1章 绪 论

1.1 测量学的任务和作用

测量学是研究地球的形状、大小和地面点之间相对位置的一门应用型学科。其内容包括测定和测设。测定是将实地测量对象描绘成图形或者获得数据的过程,供科学研究和国民经济建设、规划、设计部门使用;测设是将图纸上设计好的各种工程建筑物、构筑物的位置标定到地面上,作为施工的依据,又称为放样。将测量和制图总称为测绘。

测量学按照研究范围及测量手段的不同,分为以下分支学科。

(1) 大地测量学

研究在广大区域的地球表面上建立大地控制网,测定地球形状、大小和研究地球重力场的理论、技术与方法的学科。包括三角测量、导线测量、水准测量、天文测量、重力测量、卫星大地测量、惯性测量、椭球面大地测量、地球形状理论和测量平差计算等内容。大地测量工作还为地形测量和大型工程测量提供基本的平面和高程起算数据,为研究地球形状与大小、地壳变形、地震预报、空间技术和军事技术提供重要的资料。

(2) 地形测量学

研究较小区域地球表面各类物体形状和大小的基本理论、技术与方法的测绘学科。主要内容包括:普通测绘仪器的构造、性能、检验校正和使用,图根控制网的建立,碎部测量,地形测量、误差分析和观测值数据处理,地形图的测绘与使用等。

(3) 摄影测量学与遥感

通过对摄影像片和辐射能的各种图像记录进行量测、判读与研究,从而确定地球表面形状和大小的学科。按照获得像片方法的不同,摄影测量学又分为地面摄影测量学和航空摄影测量学。此外,还可利用卫星遥感像片绘制 1/100 万 ~ 1/25 万(甚至更大,如 1:500)比例尺地形图。随着科学技术的飞速发展,摄影测量已在许多科学领域得到应用。

(4) 工程测量学

研究工程建设中勘测设计、施工管理与运行各阶段所进行的各种测量工作的学科。工程测量按照工程建设的对象分为矿山、建筑、水利、道桥、铁路、电力、管道安装、地质勘探和国防工程等领域。工程测量的内容主要有工程控制网建立、地形测绘、施工放样、设备安装和变形观测等方面。随着科学技术的发展,在工程测量中,电子计算机、电磁波测距、摄影测量和遥感技术等都得到了广泛的应用。开设的课程有高速公路工程测量、地下工程测量、变形监测技术等。

(5) 地籍测量学

地籍测量学是调查和测定土地及其上附着物的权属、位置、质量、数量和利用现状等基本状况的学科。地籍测量为土地和房屋管理、城乡规划、税收、土地整理等方面提供重要的基础资料。主要内容包括：地籍控制测量，地籍图绘制，界址点坐标值及权属范围的面积计算，调查权属主姓名、住址、土地利用现状、类别和等级，房产情况等。

1.2 测量学的发展概况

测量学是随着人类生产实践的不断发展而形成的一门科学，具有悠久的历史。地球是人类生息繁衍的家园，自从人类进化到具有思维能力，有了求知欲，就要认识地球的形状。但地球的形状是很复杂的，人们对它的认识经历了一个漫长的历史过程，即使到了科学技术高度发达的今天，对于地球形状的认识的细致程度在某些方面还仍然不能满足科学技术的需要。

在世界上，早在公元前 18 世纪，古埃及就进行过土地丈量；公元前 6 世纪，埃及人在开凿尼罗河与红海之间运河的工程中，已经运用了测量技术；17 世纪，随着哥白尼、伽利略、开普勒及牛顿等科学家的发现与发明，如望远镜、显微镜、水准器等，光学、力学和三角学在测量上得到应用；19 世纪，德国人高斯提出了平均海水面的概念，并在地图投影和按条件观测的三角测量整网平差理论等方面，为测量科学的发展作出了重大贡献。1903 年飞机的发明，促进了航空摄影测量学的发展，从而使测图的部分工作由野外转移到室内，相应地减轻了劳动强度，特别有利于高山地区的测绘工作。

我国是世界上著名的文明古国之一。早在夏禹治水时期，我国劳动人民就发明和使用了“准、绳、规、矩”等测量工具。春秋战国时代发明的指南针直到现在还被应用着。三千多年前，管仲在其著作《管子》一书中，收集了我国早期地图 27 幅，对地图的作用进行了论述。战国时期，李冰父子修建了四川都江堰，这一伟大工程若没有大量的测量工作是无法完成的。1973 年，长沙马王堆三号汉墓出土的西汉初期编著的《地形图》《城戍图》《驻军图》，是目前发现的我国最早的局部地区地形图。西晋裴秀在《禹贡地形图》序言中阐明的“制图六体”，提供了绘图的六条原则，这是世界上最早的地形测量和绘制的规范。裴秀编绘的《禹贡地域图》是世界上最早的历史图集，《地形方丈图》是我国全国大地图。唐代开元年间，张遂（一行）和南宫说等人在河南开封等地组织了人类历史上首次大规模的、相对比较完善的子午线弧长测量，确定了地球的形状和大小，这是世界上最早的子午线弧长测量。宋代的沈括绘制了“天下州县图”，在他的《梦溪笔谈》中曾记载了磁偏角现象，这比哥伦布发现磁偏角早了四百年左右。13 世纪和 18 世纪初，我国曾进行过大规模的大地测量工作。18 世纪初还根据大地测量成果，编制了全国地图。我国的先民对测量学科的发展作出了卓越的贡献，但自 1840 年鸦片战争到新中国成立前的近百年中，我国的科学技术和生产力的发展受到极大的阻碍，测绘学科的发展也处于停滞状态，我国的测绘学科的发展在世界上逐渐处于十分落后的状态。

自新中国成立以来，随着国民经济建设和国防建设的发展，祖国的测绘事业进入了一个蓬勃发展的崭新阶段，短期内取得了不少成就。1950 年，中国人民解放军总参谋部测绘

局成立；1952年，清华大学等6所高等院校设置了测量专业，积极培养测绘人才；1956年建立了全国统一的测绘机构——国家测绘总局，统一组织领导全国的测绘工作。此外，我国还建立了专门的测绘科学研究机构和测绘院校。多年来，完成了全国范围的大地控制网，基本上统一了全国的平面坐标和高程系统，同时施测了大量的国家基本地形图，在进行工矿、农田水利、城市、交通等各项经济建设的过程中，测绘了各种大比例尺地形图，并进行了大量的工程测量工作。我国的测绘工作者克服了艰难险阻，精确地测定了珠穆朗玛峰的高程为8844.43 m（2005年5月22日国家测绘局公布）；1980年国家大地坐标系的建成和我国天文大地网的整体平差举世瞩目；在对青藏高原、地球南极等的综合考察和多次人造地球卫星的发射工作中，测绘人员都作出了卓越的贡献。我国的测绘仪器制造业近年来生产的大地测量、电磁波测距和航空摄影测量仪器，不少已经达到国外同类型仪器的先进水平。

20世纪60年代以来，近代光学、电子技术、电子计算机技术、人造卫星和航天技术的迅猛发展，为测量科学技术开辟了广阔的道路。

（1）测量仪器的发展

全站型仪器的出现和应用为测量工作自动化奠定了基础。该类型仪器的特点是具备测角和测距的功能，并由微机进行系统控制。它的使用实现了野外测量数据的自动采集，为测图朝着数字化、自动化方向发展开辟了道路。

陀螺经纬仪朝着自动化方向迈进。在矿山、隧道等地下工程的施工现场进行定向时，陀螺经纬仪的应用使定向工作大量简化。新一代陀螺经纬仪由微机控制，仪器自动、连续地观测陀螺摆动，观测时间短，精度高。

几何水准测量仪器向自动化、数字化方向发展。目前，在水准测量中，已经出现具有自动安平、自动读数记录、自动检核数据等功能的电子水准仪，为几何水准测量提供了方便。

（2）大比例尺数字化测图技术迅速发展

常规大比例尺地形测图的测量工序多、劳动强度大、手工绘图和成图周期长。数字化测图技术的广泛普及与应用，使上述问题迎刃而解。数字化测图系统由全站仪、电子计算机、绘图仪和绘图软件组成。在野外采集的数据，通过计算机的处理，可以自动地在绘图仪上描绘出来。改变了传统的成图方法，提高了测图精度、质量和效率。

（3）卫星定位系统（GPS）在测量中的应用

卫星定位技术能够实时、快速地提供目标的空间位置，为测量工作提供了一种崭新的技术方法和手段。目前已有许多测量生产单位和科研单位拥有GPS接收机，在许多大型工程中，已经广泛采用卫星定位技术进行等级控制测量，并以其独特的优势取代了传统的测量模式。我国具有自主知识产权的北斗卫星定位系统正在组网建设，不久的将来，就可使用我国具有自主知识产权的卫星定位系统，打破外国在高端导航技术方面对我国的限制和垄断。

（4）遥感技术（RS）在测量中的应用

遥感技术能够实时、快速地提供大面积地表物体及其环境的几何及物理信息，又为测

量工作提供了新的手段和方法。20 世纪 80 年代以来,遥感技术在测量中的应用发展很快,服务面也很广。

(5) 地理信息系统 (GIS) 的应用与发展

从美国前副总统戈尔提出“数字地球”的概念以来,以 GIS 为代表的新兴测量技术逐渐涉及各个领域。地理信息系统是对多种来源时空数据进行综合分析、处理和应用的平台。该系统的特点是将大量测量数据、地图和其他信息进行存储,并使其在检索、使用、管理方面更加科学化、现代化和实时化,更好地为经济建设和国防建设服务。近年来,我国 GIS 技术的应用发展很快,已初步显示了其巨大的优势和潜力。例如,一些科研单位和有关部门开发、建立的“城市电信线路管理信息系统”“北京市地下管网图形信息系统”等。GIS 技术在测量中的应用,使得现代的测量学已成为一门跨越学科的综合性科学。

(6) 3S 技术的应用与发展

由我国学者提出的 3S 技术(即 GIS, GPS, RS 三者的集成)是一个有机的结合体。现在 3S 技术已经渗透至工业、农业、国防、交通、铁路等各个研究、设计和施工领域,正在被广大的技术人员所利用,并在各行各业中发挥其不可替代的作用。

1.3 测量在国民经济建设中的作用

在国民经济建设中,包括资源勘探、工矿建设、城市规划、地质勘探、农田水利及铁路选线与施工、飞机场的修建,乃至地震预测、科学考察等,无不需测量工作。

测量学在道路、桥梁、隧道等工程建设中,起着重要的作用。为了获得一条经济、合理的路线,首先要进行路线的勘测,绘制带状地形图和纵、横断面图,进行纸上定线和路线设计,并将设计好的路线平面位置、纵坡及路基边坡等在实地标定出来,根据现场的实际,进行必要的调整和优化,确定设计方案,而后进行施工放样。

当路线跨越河流时,拟设计桥梁前,应该绘制河流两岸的地形图、测量桥梁轴线长度及河床的断面图,测量桥位的河流比降,为桥梁方案的选取和设计提供必要的的数据。施工时,将桥墩、桥台的位置标定在实地,同样需要进行测设工作。

当路线跨越高山时,为了降低路线的纵坡,减少路线的长度,多采用隧道施工穿越高山。在隧道设计前,应测绘隧道经过处山体的大比例尺地形图,进而确定隧道的曲线线形、洞口位置等,为隧道的设计提供必要的的数据。在隧道施工期间,除为隧道施工提供必要的中心、腰线数据外,还包括贯通测量、变形监测。其中,贯通测量是隧道施工的关键,是关系到隧道能否按照设计要求,在准确位置贯通的保证。

测量学在道路、桥梁、隧道等工程的设计、施工和运营阶段,是至关重要、必不可少的一环。为此,作为从事与测量相关工作的技术人员,如果认真学好本门课程,会为将来走向工作岗位打下良好的基础。

思考题与习题

1.1 测量学的主要任务有哪些?

1.2 测量在工程建设中有哪些作用?

第2章 测量的基本知识

2.1 地理坐标和高程

内容介绍

本节学习的主要目的是使学生掌握测量学的一些基本概念，对测量学有初步的了解，为以后章节的学习奠定基础。本节的主要内容为：

- ① 地球的形状和大小；
- ② 地面点的地理坐标和高程。

考核内容

知识考核：大地水准面、参考椭球面、地理坐标、高程。

2.1.1 地球的形状和大小

测量学的基本任务之一是确定地面点的空间位置。这与地球的形状和大小密切相关。

(1) 地球的自然表面

地球表面是很不平坦的复杂曲面，上面自然地分布着高山、深谷、陆地、海洋、丘陵和平原等，呈现出高低起伏的状态。此表面被称为地球的自然表面。

地球的自然表面不可能用某种数学公式来精确地表达，因此，在地球的自然表面上进行测量的成果整理、计算与绘图，也将是不可能的。这就要求人们找出一个与地球形状近似且又规则的曲面来代替地球的自然表面，作为测量工作的基准面。

(2) 大地水准面

在地球的自然表面上，海洋占 71%，陆地占 29%，海洋中最深的马里亚纳海沟深 11022 m，陆地上最高的珠穆朗玛峰高出海面 8844.43 m（2005 年 5 月 22 日国家测绘局公布）。这样的高低起伏相对于庞大的、半径约为 6371 km 的地球来说，是微不足道的。因此，可以将地球的形状看成一个被海水包围的球体。

设想有一个静止的海水面，延伸到陆地而形成一个封闭的曲面，这个静止的海水面被称为水准面。由于海水面有高潮位和低潮位的差别，所以设想静止的海水面有无数多个，即水准面有无数多个，其中通过平均海水面的一个水准面被称为大地水准面。

从物理学知识知道，地球表面上任何物体同时受到地球引力和地球自转离心力的作用，这两种力的合力被称为重力。重力的作用方向便是铅垂线方向。当海水面处于静止状态时，液面必与重力方向垂直。因此，水准面具有这样的特性：过水准面上任意一点所作

的铅垂线必与其曲面正交。

由于地球内部质量分布不均匀,使大地水准面上各点受到的地球吸引力的方向发生不规则的变化,也就是引起各点的铅垂线产生不规则的变化,从而使大地水准面成为一个十分复杂而又不规则的曲面,在这样的曲面上进行测量计算也是行不通的。为此,实际工作中要求选用一个与大地水准面相近的、可用数学公式来表达的几何面来代替它。

(3) 参考椭球体

牛顿根据万有引力定律研究地球的形状后认为,绕太阳旋转着的地球,当它的物质处于平衡状态时,地球表面必然是一个接近于圆而两极略扁的旋转体。测量上就选用一个与大地水准面非常接近,绕椭圆短轴旋转而成的旋转椭圆体来代替地球的形状,这种旋转椭圆体被称为地球椭球(也被称为地球椭圆体)。地球椭球表面是一个规则的几何面,便于测量成果的计算和制图工作。

地球椭球的形状和大小,只有在整个地球上进行连成一体的天文大地测量和重力测量才能决定。有些国家为了便于测量成果和制图的处理,只好根据局部地区所进行的天文大地测量和重力测量资料,来确定适合本国领土范围的地球椭球的形状和大小,一般称这样的地球椭球为参考椭圆体,如图 2-1(a) 所示。

参考椭圆体面与大地水准面并不完全一致,有的地方稍高一些,有的地方稍低一些。两个面之间的最大差异不超过 $\pm 100\text{ m}$, 如图 2-1(b) 所示。

参考椭圆体的大小由长半径 a 和短半径 b 或者由一个半径和扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 来决定。其中, a, b, α 被称为参考椭圆体元素。

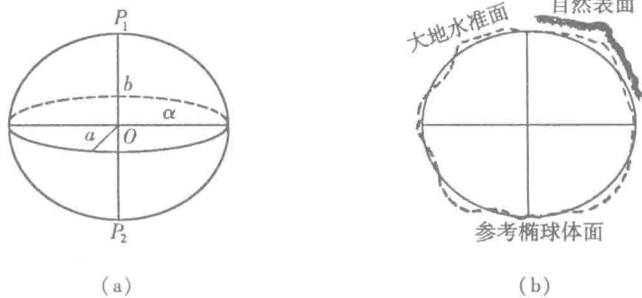


图 2-1 参考椭圆体

历史上,许多测量学者曾分别测算出参考椭圆体的元素值。新中国成立后,我国采用苏联克拉索夫斯基计算的元素值

$$a = 6378245\text{ m}$$

$$b = 6356863\text{ m}$$

$$\alpha = \frac{1}{298.3}$$

我国 1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年的国际椭球,该椭球的基本元素为

$$a = 6378140\text{ m}$$

$$b = 6356755.3\text{ m}$$

$$\alpha = \frac{1}{298.257}$$

由于参考椭圆体的扁率很小,在地形测量的计算中,可以把地球近似当做球体对待,取其3个半轴的平均值作为地球的半径,即

$$R = \frac{a + a + b}{3} = 6371014.7 \text{ m}$$

实际上,近似地取 $R = 6371 \text{ km}$,其精度也足以满足一般地形测量的要求。

2.1.2 地面的地理坐标和高程

2.1.2.1 地理坐标

选定了参考椭圆体以后,就可以在它上面建立统一的坐标系,确定地面点的球面坐标了。

地理坐标就是用经纬度来表示地面点的球面坐标,坐标值都是角值。为了便于了解地理坐标,必须首先了解有关参考椭圆体的点、线、面的概念。

(1) 地轴和两极

地球的数学形体是参考椭圆体。地球的自转轴也就是参考椭圆体的短轴,该短轴被称为地轴。地轴与参考椭圆体面相交的两点 P_1 , P_2 被称为两极, P_1 为北极, P_2 为南极,如图 2-2 所示。

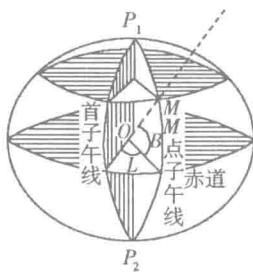


图 2-2 地轴和两极

(2) 子午面与子午线

过地轴的任一平面被称为子午面。子午面与参考椭圆体面的交线被称为子午线,又称经线。通过英国格林尼治天文台的子午面及子午线,国际公认为首子午面和首子午线。首子午面将地球分成东、西两个半球。所有子午线都是大小相同的椭圆。

(3) 赤道和纬线

过地球中心且与地轴垂直的平面被称为赤道面。赤道面与参考椭圆体面的交线被称为赤道。其他凡垂直于地轴的平面与参考椭圆体面的交线被称为纬线。赤道面将地球分为南、北两个半球。所有纬线在各自的半球内,是大小不同且互相平行的圆圈。

地理坐标系是以首子午面和赤道面作为起算面的。

(4) 点的经度

通过地面上任一点 M 的子午面与首子午面的夹角 L , 被称为该点的经度。经度由首子午面向东、向西各有 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。在首子午面以东者被称为东经,以西者被称为西经。同一子午线上各点的经度相同。

(5) 点的纬度

过地面上任一点 M 的法线，即垂直于 M 点切平面的直线，与赤道面的交角，被称为 M 点的纬度。纬度由赤道面向北、向南分别计算，各有 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。在赤道以北者被称为北纬，以南者被称为南纬。同一纬线上各点的纬度相同。

地面上任一点的地理坐标用经度和纬度两个量量度，就能完全确定该点在参考椭圆体面上的位置。例如，北京地区某点的地理坐标为东经 $116^\circ 20' 44''$ ，北纬 $39^\circ 55' 48''$ 。

2.1.2.2 地面点的高程

由高程基准面（或称高程起算面）起算的地面点的高度叫做高程。由于选用的基准面不同而有不同的高程系统。如图 2-3 所示，当以大地水准面为高程基准面时，叫做绝对高程，简称高程（又称标高或海拔）。某点的绝对高程（或海拔）是指该点沿铅垂线方向到大地水准面的距离。在图 2-3 中， A 、 B 两点的绝对高程为 H_A 和 H_B 。当以某一任意水准面为基准面时，叫做相对高程，或称为假定高程。图中 A 、 B 两点的相对高程为 H'_A 和 H'_B 。

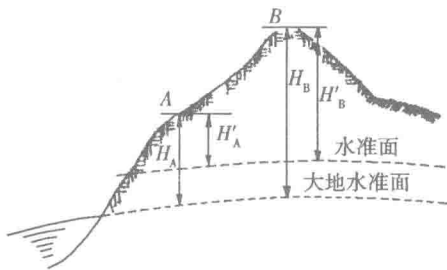


图 2-3 绝对高程

地面两点间的高程之差被称为高差。图 2-3 中 B 点相对于 A 点的高差为

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

我国曾采用青岛验潮站 1950—1956 年的观测成果推算的黄海平均海水面作为全国统一高程基准面，由此为基础建立的高程系统称为 1956 年黄海高程系统。

从 1987 年开始，我国采用新的高程基准，即国家高程起算面，采用青岛验潮站 1952—1979 年潮汐观测资料，用中数法计算该水域的平均海水面，并在青岛市内一个山洞里建立了水准原点，其高程为 72.260 m，被称为“1985 年国家高程基准”。全国布置的国家高程控制点——水准点都以这个水准原点为准。它在科学性、实用性上都优于“1956 年黄海高程系统”（其水准原点高程为 72.289 m）。新系统的高程比原系统小 0.029 m，在利用旧的水准测量成果时，要注意高程基准的统一换算。

2.2 坐标系

内容介绍

本节的主要任务是了解高斯投影概念，掌握高斯投影直角坐标的建立方法。主要内容为高斯平面直角坐标。

考核内容

知识考核：投影分带、通用坐标、自然坐标。

2.2.1 用水平面代替水准面的限度

如果在一定的范围内将水准面看成水平面，将地面点位置投影到平面上，在不影响用图精度要求的条件下，会为地形测量工作带来很大的方便。用水平面代替水准面是会产生误差的，测量范围愈大，误差也愈大，因此，有必要分析用水平面代替水准面的限度，下面将从地球曲率对水平距离、高差的影响上进行讨论。

2.2.1.1 地球曲率对水平距离的影响

如图 2-4 所示，设球面 P 与水平面 P' 在 A 点相切。由 2-4 图可知，设 AB 的弧长为 D ，地球的半径为 R ，弧 AB 所对的圆心角为 θ ，它在水平面上的长度为 D' ，则以水平长度代替球面上圆弧所产生的距离误差

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta$$

(2-1)

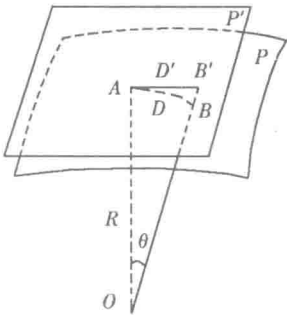


图 2-4 地球曲率对水平距离的影响

对于给定的球面上的距离 D ，就有与其对应的角度，从而可以计算出式 (2-1) 的计算结果，见表 2-1。

表 2-1

球面距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	1:1220000
25	12.8	1:200000
50	102.6	1:49000
100	821.3	1:12000

现代最精密的距离测量容许误差为其长度的 1/1000000，所以在半径为 10 km 的范围内，可以用水平面上的距离代替水准面的距离。在地形图测量中，因为精度要求较低，当测量范围半径在 25 km 以内时，也不需要考虑地球曲率对水平距离的影响。

2.2.1.2 地球曲率对高程的影响

如图 2-4 所示， A, B 两点在同一水平面上，高程应该相等。 B 点投影到水平面上得到 B' 点，则 BB' 即为利用水平面代替水准面所产生的高程误差，或地球曲率对高程的影响值。

设 $BB' = \Delta h$ ，则有

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$$

简化并近似得到

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

将不同的 D 代入式 (2-2), 就得到如表 2-2 所示的计算结果。

表 2-2

D/km	0.1	0.5	1	2	5	10
$\Delta h/\text{cm}$	0.08	2	8	31	196	785

由表 2-2 可见, 地球曲率对高程的影响是很大的。因此, 即使在较短的距离内, 也应考虑地球曲率的影响。

2.2.2 平面直角坐标

地面点在参考椭圆体上的投影位置可以用地理坐标的经、纬度来表示。但要测量和计算点的经、纬度, 其工作是相当烦琐的。为了实用, 在一定的范围内, 可把球面当做平面看待, 用平面直角坐标来表示地面点的位置, 无论是测量、计算, 还是绘图, 都将是很方便的。

2.2.2.1 独立平面直角坐标系

当测区较小时 (如半径不大于 10 km), 可以用测区水平面代替水准面。既然把投影面看做平面, 地面点在平面上的位置就可以用平面直角坐标来确定。这种平面直角坐标如图 2-5 所示, 规定南北方向为纵轴, 记为 x 轴, x 轴向北为正, 向南为负; 东西方向为横轴, 记为 y 轴, y 轴向东为正, 向西为负。为了避免使坐标值出现负号, 建立这种坐标系时, 可将其坐标原点选择在测区的西南角, 如图 2-6 所示。坐标系中的象限按照顺时针方向编号, 这与数学上通常用的平面直角坐标有所不同, 其目的是便于将数学中的公式直接应用到测量计算中。

这种平面直角坐标系之所以被称做独立平面直角坐标系, 主要是为了区别于全国统一使用的高斯平面直角坐标系。

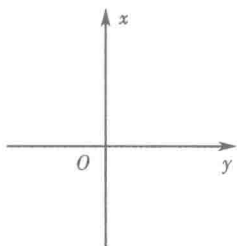


图 2-5 平面直角坐标系

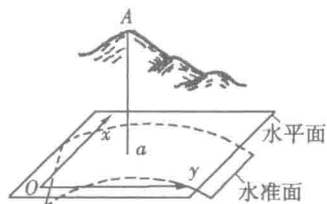


图 2-6 建立坐标轴示例

2.2.2.2 高斯平面直角坐标系

当测区范围较小时, 用水平面代替水准面是可以接受的; 如果测区范围较大, 那么就不能把地球表面的很大一块地表当成平面看待, 必须采用适当的投影方法来解决这个问题。投影方法有很多种, 在我国的测量工作中, 通常采用高斯投影。

(1) 高斯投影概念

参考椭球面是一个曲面, 因此, 要将参考椭圆体上的图形绘于平面上, 只有采用某种