

全国高职高专工程测量技术专业规划教材

测量学基础

王金玲 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

全国高职高专工程测量技术专业规划教材

测量学基础

王金玲 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

本书为全国高职高专院校工程测量技术专业系列教材。共分 12 章，内容包括绪论、测量学的基本知识、水准测量、角度测量、距离测量、误差理论基本知识、方向测量、平面控制测量、三角高程测量、大比例尺地形图测绘、地形图的分幅与编号以及地形图的应用。

本书可作为测量学相关专业的专业基础课教材，也可作为建筑、土木、交通、水利、农林等专业的高职高专教材，也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学基础/王金玲主编. —北京: 中国电力出版社, 2007

全国高职高专工程测量技术专业规划教材

ISBN 978-7-5083-5492-7

I. 测… II. 王… III. 测量学-高等学校: 技术学校-教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 055200 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

策划编辑: 王晓蕾 责任编辑: 侯 伟

责任印制: 陈焊彬 责任校对: 黄 蓓

北京丰源印刷厂印刷·各地新华书店经售

2007 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·11.5 印张·283 千字

定价: 25.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)

前 言

本书是全国高职高专工程测量技术专业统编系列教材，全国各地十余所相关院校参编该系列教材。本书是根据 2006 年 9 月武汉“全国高职高专工程测量技术专业系列教材编审会议”的安排和要求，在各院校教师讨论交流的基础上，制订编写大纲后，进行编写的。

测量学基础是工程测量技术及其相关专业的专业基础课，该课程在各学校都是作为测量学的入门课程开设的。因此，在编写大纲中充分考虑了这一因素，首先使学生建立起测量学的整体概念，由浅入深，由测量学的基本知识、测量常规仪器的使用到控制测量、地形测量的理论和方法，最后以地形图的应用结束，为后续课程的学习奠定了基础。同时，考虑到高职高专的教学特点，在内容安排上力求理论与实践相结合，理论教学以“必须、够用”为度，注重测绘基本技能的训练。

作为系列教材，在内容安排上也注意了与相关课程（如测量平差、数字化测图等）的内容不重复。

本书由王金玲主编，杨晓平、张庆宽、周无极、刘飞、黎晶晶任副主编。参加编写的人员有：张庆宽（第 8 章）、李秋香（第 12 章）、王金玲（第 2 章、第 3 章）、周无极（第 7 章）、黎晶晶（第 10 章、第 11 章）、孙荣鸿（第 5 章），杨晓平（第 1 章、第 4 章）、刘飞（第 9 章），李强（第 5 章），蔡金（第 6 章）。全书由王金玲统稿。

本书由武汉大学龚玉珍教授主审，特此致谢。

由于编者业务水平有限以及时间仓促，书中缺点和错误在所难免，恳请各兄弟院校的同行及广大读者批评指正，以便修改和完善。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 测量学的基本内容和任务	1
1.2 测绘工作在社会发展中的作用	2
1.3 测绘科学的发展概况	3
1.4 学习测量学基础的目的和要求	5
小结	5
习题	6
第 2 章 测量学的基本知识	7
2.1 地球的形状和大小	7
2.2 地面点位的确定	8
2.3 测量工作的基本内容和原则	12
2.4 用水平面代替水准面的限度	14
2.5 地形图的认识	16
小结	17
习题	18
第 3 章 水准测量	19
3.1 水准测量的原理	19
3.2 水准测量的仪器和工具	21
3.3 水准仪的使用	24
3.4 普通水准测量	26
3.5 三、四等水准测量	30
3.6 水准测量成果的计算	33
3.7 水准仪的检验与校正	35
3.8 水准测量的误差分析	39
3.9 自动安平水准仪和电子水准仪简介	42
小结	44
习题	44
第 4 章 角度测量	47
4.1 角度的概念及角度测量原理	47
4.2 DJ ₆ 光学经纬仪	48
4.3 DJ ₆ 光学经纬仪的使用	51
4.4 水平角观测	53
4.5 竖直角测量	56

4.6	经纬仪的检验与校正	59
4.7	角度测量的误差分析	63
	小结	66
	习题	66
第5章	距离测量	69
5.1	直线定线	69
5.2	钢尺量距	69
5.3	视距测量	74
5.4	光电测距	76
	小结	81
	习题	81
第6章	误差理论基本知识	83
6.1	测量误差基本知识	83
6.2	衡量精度的指标	86
6.3	误差传播定律	87
6.4	平差值的计算及精度评定	91
	小结	95
	习题	96
第7章	方向测量	98
7.1	直线定向	98
7.2	坐标方位角的推算	101
7.3	坐标计算原理	103
	小结	104
	习题	105
第8章	平面控制测量	106
8.1	概述	106
8.2	导线测量	108
8.3	交会测量	115
	小结	121
	习题	122
第9章	三角高程测量	124
9.1	三角高程测量原理	124
9.2	三角高程测量的施测	126
9.3	三角高程测量误差来源与精度	129
	小结	131
	习题	131
第10章	大比例尺地形图测绘	133
10.1	概述	133
10.2	大比例尺地形图测绘的技术计划	134

10.3	测图前的准备工作	136
10.4	碎部点的测定方法	137
10.5	碎部测量的方法	139
10.6	地物的测绘	140
10.7	地貌的测绘	146
10.8	碎部测量的一般要求	152
10.9	图边测绘、图幅的拼接及整饰	154
10.10	地形图的检查与验收	155
	小结	156
	习题	157
第 11 章	地形图的分幅与编号	158
11.1	地形图的分幅与编号	158
11.2	地形图的图幅元素	163
	小结	163
	习题	164
第 12 章	地形图的应用	165
12.1	地形图应用的基本内容	165
12.2	在图上量算面积	167
12.3	地形图在工程建设中的应用	169
12.4	地形图在平整土地中的应用及土石方的估算	171
	小结	174
	习题	175
	参考文献	176

第 1 章 绪 论

1.1 测量学的基本内容和任务

1.1.1 测量学的研究对象和任务

测量学是研究地球的形状和大小,以及确定地球表面点位关系的一门学科。其研究的对象主要是地球和地球表面上的各种物体,包括它们的几何形状及空间位置关系。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部分。

所谓地物是指地面上天然或人工形成的物体,它包括平原、湖泊、河流、海洋、房屋、道路、桥梁等;而地貌则是指地表高低起伏的形态,它包括山地、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。

1.1.2 测量学的学科分类

测量学按照研究范围、研究对象及其采用的技术手段的不同,分为以下几个分支学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究和确定地球的形状、大小、重力场、整体与局部运动和地表面点的几何位置以及它们的变化的理论和技术的学科。它是测量学各分支学科的理论基础,其基本任务是建立地面控制网和重力网,精确测定控制点的空间三维坐标,为确定地球的形状和大小、为地形测图和各种工程测量提供基础数据;为空间科学、军事科学及研究地壳变形、地震等提供重要资料。按照测量手段的不同,大地测量学又分为常规大地测量学、空间大地测量学及物理大地测量学等。

2. 地形测量学

地形测量学又称为普通测量学或测量学,是研究如何将地球表面局部区域内的地物、地貌及其他有关信息测绘成地形图的理论、方法和技术的学科。按成图方式的不同,地形测图可分为模拟化测图和数字化测图。

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个阶段所进行的各种测量工作。

4. 摄影测量与遥感

摄影测量与遥感技术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，本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。

5. 地图制图学

地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，其内容一般包括地图投影、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。数字地图的发展及广泛的应用领域为地图学的发展和地图的应用展现出无限的前景，使数字地图成为 21 世纪测绘工作的基础和支柱。

6. 海洋测量学

海洋测量学是研究海洋定位、海底和海面地形、海洋重力、磁力、环境等信息，以及编制各种海图的理论和技术的学科。

7. 测量仪器学

测量仪器学是研究测量仪器的制造、改进和创新的学科。

20 世纪 80 年代，随着全站仪以及计算机软、硬件技术的迅速发展，大比例尺地形图测绘技术已由传统的白纸测图向自动化的数字测图方向发展。现在，地面数字测图已取代了传统的白纸测图技术，使测量学的内容得到了发展和更新。

1.2 测绘工作在社会发展中的作用

测绘科学技术的应用范围极其广阔，在国民经济建设、国防建设以及科学研究领域，都占有重要地位，对国家可持续发展发挥着愈来愈重要的作用。

1.2.1 测绘工作在工程建设中的作用

测绘工作常被人们称为工程建设的尖兵，不论是国民经济建设还是国防建设，其工程建设的勘测、设计、施工、竣工及运营等阶段都需要测绘工作，而且都要求测绘工作“先行”。勘测设计阶段，为建筑设计测绘地形图；施工阶段，把设计的各种建筑物正确地测设到地面上；竣工测量阶段，对建筑物进行竣工测量；运营阶段，为改建、扩建而进行的各种测量；

变形监测阶段，为安全运营，防止灾害进行变形测量。

现代的测量学作为一门能采集和表示各种地物和地貌的形状、大小、位置等几何信息；以及能把设计的建筑物、设备等按设计的形状、大小和位置准确地在地标标定出来的技术，在各种工程建设中的应用愈来愈广泛。

对城市规划、给水排水、煤气管道、工业厂房和高层建筑建设而言，其整个实施阶段都必须以测量工作作为先行兵。同样，对铁路、公路、桥梁、隧道工程的建设也是如此。为了确定一条最经济合理的路线，必须预先测绘路线附近的地形图，在地形图上进行路线设计，然后将设计路线的位置标定在地面上以指导施工；当路线跨越河流时，必须建造桥梁，在建桥之前，要测绘河流两岸的地形图，测定河流的水位、流速、流量和河床地形以及桥梁轴线长度等，为桥梁设计提供必要的资料，最后将设计桥台、桥墩的位置用测量的方法在地标标定；当路线穿过山地需要开挖隧道时，开挖之前，必须在地形图上确定隧道的位置，根据测量数据计算隧道的长度和方向；隧道施工通常是从隧道两端相向开挖，这就需要根据测量成果指示开挖方向，保证其正确贯通。

另外，为了保障工程项目的正常施工及使用期间的安全运行，往往需要测量工作者以技术上可行的最高精度来监测工程对象的变形量和变形速度的发展情况。必要时，还要求在一段时间内进行连续监测。在某些特殊情况下，还要使用自动化的监测和记录的仪器。

总之，在国民经济建设的方方面面，测绘信息都是国民经济和社会发展规划中最为重要的基础信息之一。测绘工作为国土资源开发利用，工程设计和施工，城市建设、工业、农业、交通、水利、林业、通信、地矿、土地管理及房产开发等部门的规划和管理提供地形图和测绘资料。土地利用和土壤改良、地籍管理、环境保护、旅游开发等都需要测绘工作，都要应用测绘工作成果。目前，国家各城市都在着手或已建成城市地理信息系统，这便是最好的佐证。

1.2.2 测绘工作在国防建设中的作用

在国防建设方面，测绘工作为赢得现代化战争的胜利提供测绘保障，各种国防工程的规划、设计和施工都需要测绘工作。战略部署、战役指挥离不开地形图，“天时，地利，人和”是打胜仗的三大要素，要有地利就要了解和利用地利。地图上详细表示着山脉、河流、道路、居民点等地形要素，具有确定位置、辨识方向的作用，这对于行军、布防以及了解敌情等军事活动都是十分重要的。所以，地图一直在军事活动中起着重要的作用，早就是军事上不可缺少的工具，获得了广泛的应用。

在现代战争中，现代测绘科学技术对保障远程导弹、人造卫星或航天器的发射及精确入轨起着非常重要的作用，现代军事科学技术与现代测绘科学技术已经紧密结合在一起。

除了上述两方面之外，在科学研究方面，诸如航天技术、地壳形变、地震预报、气象预报、滑坡监测、灾害预测和防治、环境保护、资源调查以及其他科学研究中，都要应用测绘科学技术，需要测绘工作的配合。地理信息系统（GIS）、数字城市、数字中国、数字地球的建设，都需要现代测绘科学技术提供基础数据信息。测绘科学技术对社会的发展具有重要的作用。

1.3 测绘科学的发展概况

测量学是一门历史悠久的学科，是从人类生产实践中逐渐发展起来的。它的发展与人类

的生产、生活息息相关。人类为了认识地球的形状和大小，为了建造一些必需的起居设施，必须对地表进行改造，修建房屋和基本的水利工程，这一切都需要对地表进行基本的测量工作。

人类所进行的测量活动从远古时代就开始了，这一点可以从历史长河的痕迹中得到印证。公元前 27 世纪建设的埃及大金字塔，其形状与方向都很准确，这说明当时已有放样的工具和方法。而在我国 2000 多年前的夏商时代，为了治水也开始了水利工程测量工作。在《史记》中，记录了当时的工程勘测情景，并提到当时所用的测量工具——准绳和矩规，“准”是整平的水准器，“绳”是丈量距离的工具，“规”是画圆的器具，“矩”则是一种可定平可测长度、高度、深度和画矩形的通用测量仪器。这些工具，从现在的角度来看，虽然很简陋，谈不上有多高的测量精度，但足以满足当时的生产、生活的需要。早期的水利工程多为河道的疏导，以利防洪和灌溉，其主要的测量工作是确定水位和堤坝的高度。就其建筑工程来说，也相当简单，只需要定出形状，确定大致方向即可，因而，其测量水平不是很高。

测量学的发展在很长的一段时间内是非常缓慢的。直到 20 世纪初，由于西方的第一、二次技术革命和工程建设规模的不断扩大，测量学才受到人们的重视，并迅速地发展起来。

在人类认识地球形状和大小的过程中，在生产、生活和工程建设中，测量学获得了飞速的发展。例如，三角测量和天文测量的理论和技术、高精度经纬仪制作的技术、距离丈量的技术及相关理论、测量数据处理的理论以及误差理论等，均得以形成并应用于工程实践。

以核子、电子和空间技术为标志的第三次技术革命，使测量学获得了迅速的发展。20 世纪 50 年代，世界各国在建设大型水工建筑物、长隧道、城市地铁中，对测绘科学提出了一系列要求；20 世纪 60 年代，空间技术的发展和导弹发射场的建设促使测绘科学进一步发展；20 世纪 70 年代以来，高能物理、天体物理、人造卫星、宇宙飞行、远程武器发射等，都需要建设各种巨型实验室，从测量精度和仪器自动化方面都对测量技术提出了更高的要求。20 世纪末，人类科学技术不断向着宏观宇宙和微观粒子世界延伸，测量对象不再局限于地面，而是深入地下、水域、空间和宇宙，如核电站、摩天大楼、海底隧道、跨海大桥、大型正负电子对撞机等。由于测量仪器的进步和测量精度的提高，测绘科学的领域日益扩大，除了传统的测量工作外，在地震监测、海底探测、巨型机器、车床、设备的荷载试验、高大建筑物（电视发射塔、冷却塔）变形监测、文物保护，甚至在医学上和罪证调查中，都应用了最新的测绘科学技术和方法。

从测量学的发展历史可以看出，它经历了从简单到复杂、从手工操作到自动化、从常规测量到精密测量的发展道路，它的发展始终与当时的生产力水平同步，并且能够满足大型特种精密工程中对测量所提出的愈来愈高的需求。

近十几年来，随着空间科学和信息科学的飞速发展，全球定位系统（GPS）、遥感（RS）、地理信息系统（GIS）技术已成为当前测绘工作的核心技术。计算机和网络通信技术的普遍应用，使测绘领域早已从陆地扩展到海洋、空间，由地球表面延伸到地球内部；测绘技术体系从模拟转向数字、从地面转向空间、从静态转向动态，并进一步向网络化和智能化方向发展；测绘成果已从三维发展到四维、从静态发展到动态。随着新的理论、方法、仪器和技术手段不断出现，测绘科学一定会有更为广阔的发展前景。

1.4 学习测量学基础的目的和要求

本书是全国高职高专工程测量技术专业系列规划教材,是该专业重要的专业基础课。全书以大比例尺地形图测绘为主线,在阐述测量的基本理论、测量方法的基础上,对大比例尺地形图测绘的原理、方法及应用作了全面的介绍。内容包括测量的基本知识、测量误差的基本知识、水准测量和水准仪、角度测量和经纬仪、距离测量和全站仪、控制测量、碎部测量、大比例尺地形图测绘、地形图的分幅和地形图的应用等。

学习本课程的主要目的如下:

掌握测量的基本知识和基本理论,具有操作常规测量仪器的技能。学习大比例尺地形图测绘的原理、方法。熟悉测量误差的基础知识,懂得精度的概念并能进行简单的精度评定,掌握基本测量数据处理的理论和方法,并能够在工程实践活动中正确使用地形图和测绘资料。为学习后期的测量专业课程打下扎实的基础。

测量学基础是一门实践性极强的课程,除理论知识学习外,还必须辅以大量的实验和教学实习。在掌握讲授内容的同时,要认真参加实验学习,以巩固和验证所学的理论知识。教学实习是巩固和深化课堂所学知识的一个系统的实践环节,是知识与技能的综合应用,对学生掌握测量的基本理论、基础知识、基本技能,建立起控制测量和地形图测绘的完整概念是非常必要的。学生在学习中,务必自始至终认真完成各项实验及实习任务,以培养分析问题、解决问题和实际动手的能力,达到高职高专层次教学的根本目的。

通过整个教学,要求学生达到“一知四会”的基本要求。

(1) 知原理:对普通测量学的基本理论、基本知识要切实知晓并清楚。

(2) 会用仪器:熟悉钢尺、水准仪、经纬仪、全站仪等仪器的使用方法,能熟练地操作这些仪器。

(3) 会测量方法:掌握水准测量、角度测量、距离测量、全站仪测量以及控制测量等测量操作方法。

(4) 会地形图测绘:掌握大比例尺地形图测绘的理论和方法。

(5) 会识图用图:掌握地形图的识读方法和地形图的应用方法。

小 结

本章作为绪论,首先使学生建立起对测量学的整体概念。学习本章,主要掌握以下几方面的知识内容。

(1) 测量学的基本概念及测量学的研究对象。测量学是研究地球的形状和大小、确定地点位关系的一门学科。其研究的对象主要是地表上的各种物体——地物和地貌。根据测量学的研究范围、研究对象及其采用的技术手段的不同,测量学又形成了各种分科:大地测量学、地形测量学、工程测量学、摄影测量和遥感、地图制图学、海洋测量学、测量仪器学等。

(2) 测量学在社会生产、工程实践活动中的作用及其在国民经济建设中的重要地位,测量学的发展概况。

(3) 学习本课程的目的,主要是掌握测量的基本知识和基本理论;具有操作常规测量仪器的技能;学习大比例尺地形图测绘的基本方法;了解测量误差的基础知识内容,懂得精度的概

念并能进行简单的精度评定；掌握基本测量数据处理的理论和方法。

习 题

1. 测量学研究的对象和任务是什么？
2. 简述测量学有哪些分支学科，各自的研究方向是什么？
3. 简述测绘工作在国民经济建设中的作用。
4. 学习本课程的主要目的是什么？要达到此目的一般有何基本要求？

第 2 章 测量学的基本知识

2.1 地球的形状和大小

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 8844.43m，（这个数据是 2005 年 10 月 9 日国家测绘局公布的最新测量数据，高程测量精度为 $\pm 0.21\text{m}$ ，峰顶冰雪深度为 3.50m）。世界上最深的马里亚纳海沟深达 11 022m。地球的自然表面高低起伏近 20km，但这种起伏变化相对于地球半径 6371km 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，海水面有高有低，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 2-1 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。

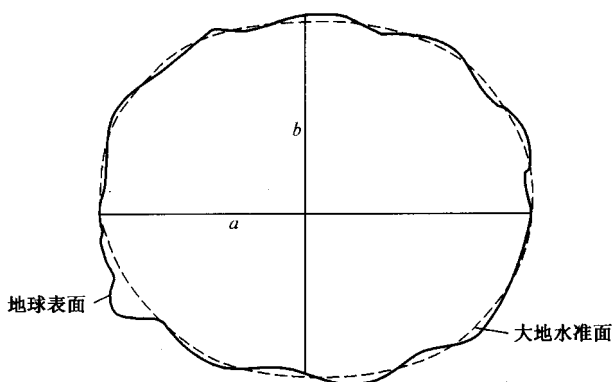


图 2-1 大地水准面

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 2-1 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“旋转椭球体”。包围旋转椭球体的面称为

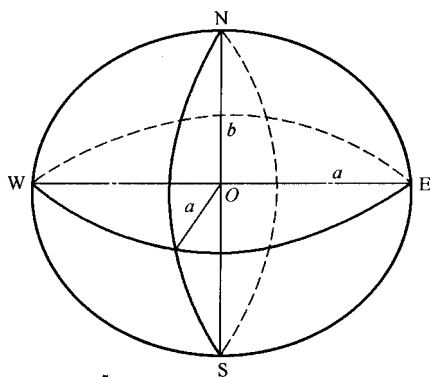


图 2-2 旋转椭球体

“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 2-2 所示。椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 α [$\alpha=(a-b)/a$] 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： $a=6378140\text{m}$ ， $\alpha=1:298.257$ ，推算值 $b=6356755.288\text{m}$ 。

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。由于地球椭球体的扁率很小，当测区面积

不大时，可将地球近似地当作圆球，圆球的平均半径可按下式计算

$$R = \frac{1}{3}(2a + b)$$

当测量精度要求不高时，其近似值为 6371km。

2.2 地面点位的确定

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置。它包括确定地面点在球面或平面上的投影位置，即地面点的坐标，以及地面点到大地水准面的铅垂距离（即地面点的高程）。

2.2.1 测量坐标系

在测量工作中，通常用下面几种坐标系来确定地面点的坐标。

1. 地理坐标系

在大区域内确定地面点的位置，以球面坐标系来表示，用经度和纬度表示地面点在旋转椭球面上的位置，称为地理坐标。地理坐标又因采用的基准面、基准线的不同而分为天文地理坐标和大地地理坐标。NS 为椭球的旋转轴，N 为北极，S 为南极。通过椭球旋转轴的平面称为子午面，子午面与地球表面的交线称为子午线或经线。通过英国格林威治天文台的子午面称为起始子午面，也称首子午面。垂直于地轴并通过球心的平面称为赤道面。赤道面与椭球面的交线称为赤道。垂直于地轴且平行于赤道的平面与地球表面的交线称为纬线或平行圈。

(1) 大地地理坐标系。如图 2-3 所示，以地球椭球面为基准面，以通过地面点的地球椭球法线与赤道面的交角确定纬度的球面坐标称为大地地理坐标，简称大地坐标。地面点的大地地理坐标用大地经度 L 和大地纬度 B 来表示。球面上 P 点的大地经度是过 P 点的子午面与起始子午面的夹角 L ； P 点的大地纬度是过该点的法线（与椭球面相垂直的线）与赤道面的夹角 B 。

大地经度、纬度是根据大地原点的起算数据，再按大地测量得到的数据推算而得到的。我国曾采用 1954 年北京坐标系，并于 1987 年废止，现以陕西省泾阳县永乐镇某点为国家大地原点，由此建立新的统一坐标系，称为 1980 年国家大地坐标系。

(2) 天文地理坐标系。如图 2-4 所示，以大地水准面为基准面，以通过地面点位的铅垂

线与赤道平面的交角确定纬度的球面坐标系称为天文地理坐标，简称天文坐标。地面点的天文地理坐标用天文经度 λ 和天文纬度 φ 来表示。地面上 P 点的天文经度是过 P 点的子午面与起始子午面的夹角 λ ； P 点的天文纬度是通过该点的铅垂线与赤道面的夹角 φ 。

大地坐标和天文坐标，都是自首子午面起，向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经，向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经，从赤道起，向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬，向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。我国地处北半球，各地的纬度都是北纬。

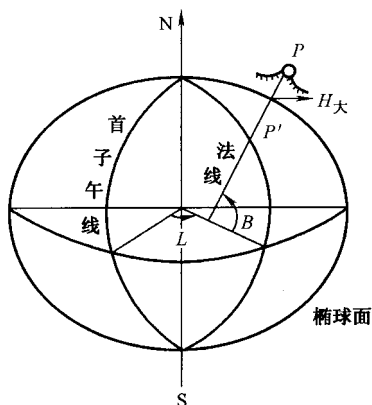


图 2-3 大地地理坐标系

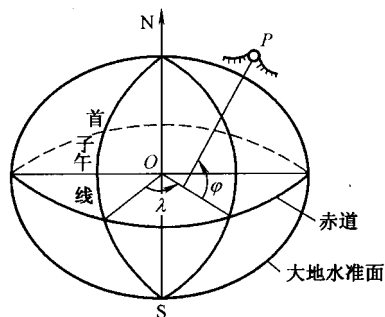


图 2-4 天文地理坐标系

2. 平面直角坐标系

当测量区域较小时，可以将该测区内大地水准面当作平面，用平面直角坐标来确定点位，如图 2-5 所示。测量上采用的平面直角坐标系与数学上的基本相同，但坐标轴互换，象限顺序相反。纵轴为 x 轴，与南北方向一致，向北为正，向南为负；横轴为 y 轴，与东西方向一致，向东为正，向西为负。顺时针方向量度，以便于将数学的三角公式直接应用到测量计算上。原点一般选在测区西南以外，将坐标系的 x 轴选在测区西边，将 y 轴选在测区南边，使测区内部点坐标均为正值，以便计算。

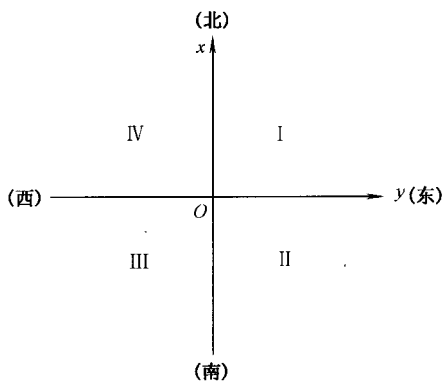


图 2-5 平面直角坐标系

3. 高斯平面直角坐标系

当测区范围较大时，由于存在较大的差异，不能用水平面代替球面。工程设计与计算一般是在平面上进行的，地形图也是平面图形，因此，应将地面点投影到椭球面上，再按一定的条件投影到平面上，形成统一的平面直角坐标系。

(1) 高斯投影的概念。我国现采用的是高斯-克吕格投影方法。它是由德国测量学家高斯于 1825 年至 1830 年首先提出来的，1912 年由德国测量学家克吕格推导出实用的坐标投影公式。

如图 2-6 所示，将地球视为一个圆球，设想用一个横圆柱体套在地球外面，并使横圆柱的轴心通过地球的中心，让圆柱面与圆球面上的某一子午线（该子午线称为中央子午线）相

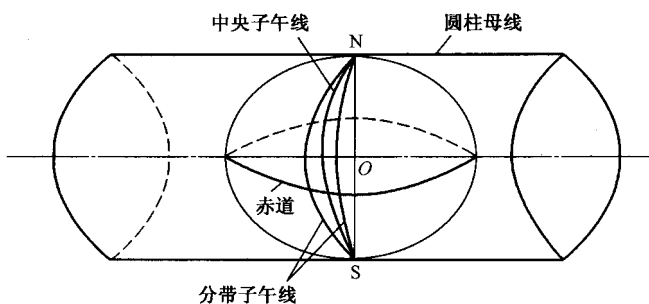


图 2-6 高斯投影原理

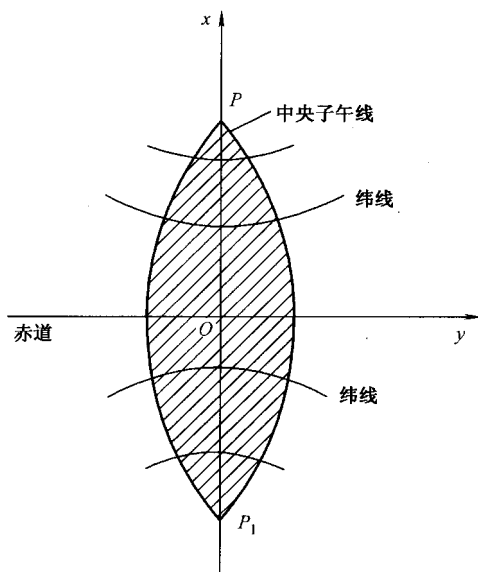


图 2-7 高斯投影面

切，然后按照一定的数学法则，将中央子午线东西两侧球面上的图形投影到圆柱面上，再将圆柱面沿其母线剪开，展成平面，这个平面称为高斯投影面，如图 2-7 所示。

高斯投影有以下特点：

1) 中央子午线投影后为直线且长度不变，其余经线为凹向中央子午线的对称曲线。

2) 赤道投影后为与中央子午线投影正交的直线，其余纬线的投影是凸向赤道的对称曲线。

(2) 投影带的划分。高斯投影中，除中央子午线外，其他各点都发生了长度变形，离开中央子午线越远，其长度投影变形就越大。为了控制长度变形，将地球椭球面按一定的经度差分成若干个范围不大的

瓜瓣形地带，称为投影带。一般以经差 6° (或 3°) 来划分投影带，简称为 6° 带 (或 3° 带)。

如图 2-8 所示， 6° 带是从 0° 子午线起每隔经差 6° ，自西向东将整个地球分成 60 个投影带，用 1~60 依次编号。

6° 带中任意带的中央子午线经度 L_0 为

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

式中 N —— 6° 投影带的带号。

3° 带是在 6° 带的基础上分成的，它是从东经 1.5° 子午线起，每隔经差 3° 自西向东将整个地球分成 120 个投影带，用 1~120 依次编号。

3° 带中任意带的中央子午线经度 L'_0 为

$$L'_0 = 3n \quad (2-2)$$

式中 n —— 3° 投影带的带号。