

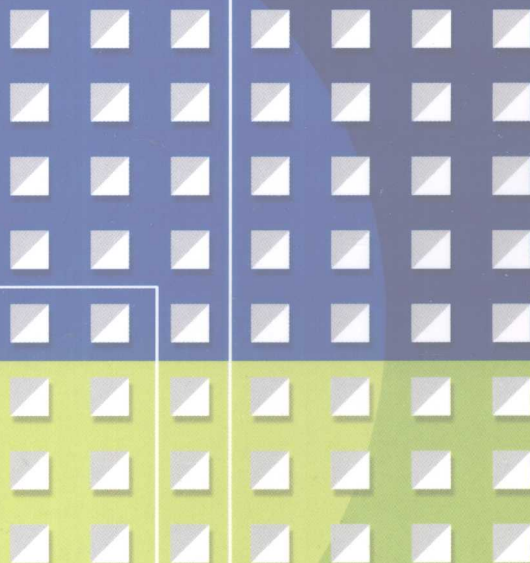


高等学校“十一五”精品规划教材

测量学

主编 张剑锋 邵黎霞

CELIANGXUE



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校“十一五”精品规划教材

测 量 学

主 编 张剑锋 邵黎霞

副主编 刘干斌 叶 明



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为高等学校“十一五”精品规划教材之一。主要内容有：绪论，水准测量，角度测量，距离测量与直线定向，测量误差的基本知识，控制测量，地形图的基本知识，地形图的应用，大比例尺地形图测绘，测设的基本工作，工业与民用建筑中的施工测量，线路测量，全站型电子速测仪，GPS全球定位系统简介，以及实验、实习指导书。本书主要特色为强调新设备、新技术的应用，结合现有的标准、规范，以达到理论与实践的紧密联系。

本书可作为土木工程、建筑学、城市规划、给排水、房地产经营与管理以及测绘工程等专业的测量学课程教材，也可作为土建工程技术人员继续教育教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学 / 张剑锋, 邵黎霞主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2009

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 978-7-5084-6170-0

I. 测… II. ①张…②邵… III. 测量学—高等学校—教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 204593 号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 测量学
作 者	主编 张剑锋 邵黎霞
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 21.5 印张 510 千字
版 次	2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	38.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



测量学

房屋建筑学

土木工程施工

土木工程地质

建筑钢结构

建筑工程制图

建筑工程制图习题集

土力学

钢结构

理论力学

计算机辅助设计—AutoCAD

土木工程材料

建筑工程施工组织与管理

流体力学

建设工程项目管理

土木工程建设监理

弹性力学

高层建筑结构设计

结构力学

材料力学

建筑设备工程

建筑结构抗震

混凝土结构设计原理

混凝土结构设计

高屋建筑结构设计

建筑力学

工程制图

工程制图习题集

机械制图

机械制图习题集

水利工程监理

水利水电工程测量

工程水文学

地下水利用

灌溉排水工程学

水利工程施工

水利水电工程概预算

工程力学(高职高专适用)

水利工程监理

水资源规划及利用

前 言

1999年1月1日颁布实施的《中华人民共和国高等教育法》规定：“高等教育的任务是培养具有创新精神和实践能力的高级专门人才。”实践能力一般是指综合应用专业技术知识完成某项任务的能力，衡量其强弱的标准是完成任务的质量和效率。测量学作为土建类专业一门重要的专业基础课程，培养学生工程实践能力主要体现在测、算、绘三个方面。正如宁津生院士在各种学术会议上多次强调的：测绘学科是受新技术影响最大的传统学科之一，3S技术——GPS（全球定位系统）、GIS（地理信息系统）和RS（遥感系统）的不断发展、成熟与应用的日益普及，赋予了测量学传统教学内容测、算、绘崭新的诠释。在21世纪，如果不将测绘新技术，尤其是市场上已经非常成熟的新技术引入到测量学课程的教学，是很难让工程界信服我们高等学校培养的学生具有较强的实践能力。

本书编写的基本思路是：顺应高等教育改革的形势，不但要满足土木工程专业测量教学的需要，而且应适应宽口径、复合型人才培养的需要；注重学生基本素质、基本能力的培养，据此本书各部分的内容组织分为基本知识技能培养、知识技能拓宽与提高两个层次；综合考虑教学需求多样性的要求，内容具有多层次、系统而全面的特点；在总结已有教学经验的基础上，把握好技术发展与教学需要的关系，在体系和内容上争取达到先进性和实用性兼备的要求。

本书由张剑锋、邵黎霞担任主编并统稿，刘干斌和叶明任副主编。各章编写分工如下：张剑锋编写第一～四章和第十～十三章及第十四章的第一～四节以及实验、实习指导书。邵黎霞编写第五章，刘干斌编写第六章，叶明编写第七～九章，戴文琰编写第十四章的第五～七节。感谢蔡泽伟、劳晓荔、邹逸江、乐瑞君、陈瑶峰、樊斐、高峰、葛笑扬、李斯琦、卢利萍、庞文斌、邢园俊、杨玲巍、张雪梅、章喆懿等给予的帮助。

本书适用于土木工程专业各方向和建筑学、城市规划、给排水、房地产经营与管理以及测绘工程等专业作为测量学课程教材。也可用于土建工程技术人员的继续教育教材。

由于编者水平有限，书中存在不足之处，有待不断总结经验 and 提高，同时恳请有关读者和专家批评指正。

编 者

2008年11月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 测量学概述	1
第二节 国内外测量学发展概况	2
第三节 地面点位的确定及坐标系统	4
第四节 水平面代替水准面的限度	9
第五节 测量工作的原则和程序	11
思考题与习题	13
第二章 水准测量	14
第一节 水准测量原理	14
第二节 水准测量的仪器和工具	17
第三节 自动安平水准仪的原理	20
第四节 水准仪的使用	21
第五节 水准测量的外业	23
第六节 水准测量的内业	28
第七节 自动安平水准仪的检验与校正	31
第八节 微倾式水准仪	32
第九节 水准测量的误差分析	36
第十节 其他水准测量工具简介	39
思考题与习题	41
第三章 角度测量	43
第一节 水平角测量原理	43
第二节 电子经纬仪	43
第三节 水平角观测	49
第四节 竖直角观测	54
第五节 电子经纬仪的检验和校正	56
第六节 水平角测量的误差	62
第七节 光学经纬仪简介	65
思考题与习题	70
第四章 距离测量与直线定向	72
第一节 钢尺量距的方法	72

第二节	钢尺的检定	76
第三节	钢尺量距误差分析	76
第四节	视距测量	78
第五节	光电测距	81
第六节	直线定向	84
第七节	罗盘仪测定磁方位角	87
第八节	陀螺经纬仪测定真方位角	90
思考题与习题		91
第五章	测量误差的基本知识	93
第一节	概述	93
第二节	衡量精度的指标	96
第三节	等精度观测值的最可靠值	100
第四节	误差传播定律	102
第五节	不等精度观测的最可靠值及中误差	106
思考题与习题		109
第六章	控制测量	110
第一节	概述	110
第二节	导线测量	112
第三节	小三角测量	123
第四节	交会定点	130
第五节	三、四等水准测量	133
第六节	三角高程测量	136
思考题与习题		139
第七章	地形图的基本知识	141
第一节	概述	141
第二节	国家基本比例尺地形图	143
第三节	国家基本比例尺地形图的分幅和编号	145
第四节	地形图辅助要素	149
第五节	地物的表示	151
第六节	地貌的表示	156
第七节	地籍图的基本知识	160
思考题与习题		162
第八章	地形图的应用	163
第一节	地形图判读	163
第二节	地形图的基本应用	169
第三节	地形图在规划设计中的应用	177
第四节	地形图在平整土地中的应用	179
第五节	地形图在城市规划中的应用	183

第六节 地形图的野外应用·····	185
思考题与习题·····	189
第九章 大比例尺地形图测绘·····	190
第一节 大比例尺地形图的传统测绘方法·····	190
第二节 大比例尺地形图的数字化测图方法·····	195
第三节 地形图的绘制·····	197
第四节 地籍测量简介·····	199
第五节 航空摄影测量简介·····	203
第六节 “3S”技术简介·····	207
思考题与习题·····	210
第十章 测设的基本工作·····	212
第一节 水平距离、水平角和高程的测设·····	212
第二节 点的平面位置的测设·····	216
第三节 已知坡度直线的测设·····	221
第四节 圆曲线测设·····	222
思考题与习题·····	227
第十一章 建筑施工测量·····	228
第一节 概述·····	228
第二节 建筑场地上的施工控制测量·····	230
第三节 建筑施工中建筑物的测量工作·····	234
第四节 高层建筑物施工测量·····	238
第五节 建筑物的变形观测·····	241
第六节 竣工总平面图的编绘·····	247
思考题与习题·····	249
第十二章 线路测量·····	251
第一节 线路测量的基本要求·····	251
第二节 铁路、公路测量·····	252
第三节 架空索道测量·····	255
第四节 自流和压力管线测量·····	256
第五节 架空送电线路测量·····	258
第十三章 全站型电子速测仪·····	261
第一节 概述·····	261
第二节 全站仪结构及原理·····	262
第三节 全站仪测量功能·····	263
第四节 全站仪的使用方法·····	267
第五节 全站仪的检校·····	276
第六节 误差分析·····	279

第十四章 GPS 全球定位系统简介	283
第一节 概述	283
第二节 GPS 全球定位系统的组成	285
第三节 GPS 坐标系	288
第四节 GPS 定位的基本原理	289
第五节 GPS 的外业测量	294
第六节 GPS 的内业工作	300
第七节 误差分析	302

实验、实习指导书

第一部分 测量实验指导书	305
实验一 水准仪的使用和水准测量	305
{一} 自动安平水准仪的使用和水准测量	305
{二} 微倾式水准仪的使用	307
实验二 水准仪的检验和校正	308
实验三 经纬仪的使用和水平角测量	309
{一} 经纬仪的使用	309
{二} 水平角测量	313
实验四 竖直角测量	314
实验五 电子经纬仪的检验与校正	315
实验六 视距测量	320
实验七 距离丈量与磁方位角的测定	321
{一} 距离丈量 (钢尺量距)	321
{二} 磁方位角的测定	322
实验八 经纬仪配合小平板仪测绘地形	322
实验九 测设水平角、水平距离和已知高程	324
实验十 全站仪的使用	326
实验十一 GPS 的使用	326
第二部分 测量实习指导书	330
参考文献	334

第一章 绪 论

第一节 测量学概述

一、测量学的内容

测量学是研究地球及其表面各种形态的学科，主要任务是测定地球表面的点位和几何形状，并绘制成图，以及测定和研究地球的形状和大小。测量学的内容包括测定和测设两个部分。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，得到一系列测量数据，或把地球表面的地形缩绘成地形图，供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用；测设是指把图纸上规划设计好的建筑物的位置在地面上标定出来，作为施工的依据。

测绘是测量和绘图的简称。测量是用水准仪、经纬仪等仪器测出某一地区的地形和地貌；绘图是将测量取得的成果按照一定的比例画到图纸上的过程。

二、测量学的分类

测量学涉及到地球科学和测绘科学技术等学科。

地球科学包含大地测量学和地图学等学科。大地测量学研究的是地球的大小和形状，解决大范围地区的控制测量和地球重力场问题，大地测量必须考虑地球曲率的影响。其中几何大地测量学、物理大地测量学、动力大地测量学和空间大地测量学等都属于大地测量学的范畴。

测绘科学技术包含大地测量技术、摄影测量与遥感技术、地图制图技术、工程测量技术、海洋测绘、测绘仪器等。大地测量定位、重力测量、测量平差等属于大地测量技术的范畴；摄影测量与遥感技术是一门通过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，其中地物波谱学、近景摄影测量、航空摄影测量、遥感信息工程等属于其范畴；地图制图技术是一门研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的一门学科，其中地图投影、地图设计与编绘、图形图像复制技术和地理信息系统等属于其范畴；工程测量技术是研究各种工程在规划设计、施工放样和运营管理等阶段中的测量方法，其中地籍测量、精密工程测量等属于其范畴；海洋测绘是测量海洋底部地球物理场的性质及其变化特征，并绘制成不同比例尺的海图和专题海图，其中海洋大地测量、海洋重力测量、海洋磁力测量、海洋跃层测量和海洋声速测量等属于其范畴。

三、测量学的应用

在国民经济和社会发展规划中，测量信息是最重要的基础信息之一，各种规划及地籍管理，首先要有地形图和地籍图。另外，在各项工农业基本建设中，从勘测设计阶段到施

工、竣工阶段,都需要进行大量的测绘工作。在国防建设中,军事测量和军用地图是现代大规模诸兵种协同作战不可缺少的重要保障。至于远程导弹、空间武器、人造卫星或航天器的发射,要保证其精确入轨,随时校正轨道和命中目标,除了应测设出发射点相应目标的精确坐标、方位、距离外,还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料。在科学实验方面,如空间科学技术的研究,地壳的形变、地震预报以及地极周期性运动的研究等,都要应用测绘资料。即使在国家的各级管理工作中,测量和地图资料也是不可缺少的重要工具。

本书主要介绍普通测量学和土木工程测量学等有关知识。土木工程测量学属于工程测量学的范畴,它主要面向土木建筑环境、道路、桥梁、水利等学科。主要研究方面如下:

(1) 研究测绘地形图的理论和方法。地形图是土木工程勘察、规划、设计的依据。土木工程测量是研究确定地球表面局部区域地物和地貌的空间三维坐标的原理和方法。研究局部地区地图投影理论,以及将测量资料按比例绘制成地形图或制作成电子地图的原理和方法。

(2) 研究在地形图上进行规划、设计的基本原理和方法。研究在地形图上进行土地平整、土方计算、道路悬线和区域规划的基本原理和方法。

(3) 研究建筑物施工放样、建筑质量检测的技术和方法。施工放样是工程施工的依据。土木工程测量研究是将规划设计在图纸上的建筑物位置准确地标定在地面上的技术和方法。研究施工过程及大型结构建筑物安装过程中的监测技术,以保证施工质量和安全。

(4) 对大型建筑物的安全性进行变形监测。在大型建筑物施工过程中或竣工后,为确保工程进度和安全,应对建筑物进行位移和变形监测。

学习本课程之后,要求达到掌握普通测量学的基本知识和基础理论;能正确使用工程水准仪、工程经纬仪等仪器和工具;了解大比例尺地形图的成图原理和方法;在工程设计和施工中,具有正确应用地形图和有关测量资料的能力和进行一般工程施工测设的能力,以便能灵活应用所学的测量知识为其专业工作服务。

第二节 国内外测量学发展概况

一、我国测量学的发展概况

我国是世界文明古国,由于生产和生活的需要,测量工作开始得很早。在测时方面,为了不误农时,远在颛顼高阳氏时就已开始观测日、月、五星,定一年的长短。春秋战国时编制了四分历,一年为 365.25 日,与罗马人采用的儒略历相同。在地图测绘方面,由于行军作战的需要,历代皇帝都很重视。现在能见到的最早的古地图是长沙马王堆三号墓出土的公元前 168 年陪葬的古长沙国地图和驻军图,图上有山脉、河流、居民地、道路和军事要素。清代康熙年间绘制的《皇舆全览图》,又名《皇舆遍览全图》,是康熙朝绘制全国舆图中刊刻年代较早而又罕见的善本舆图。此图所绘地域幅员辽阔,东北至萨哈连岛(库页岛),东南至台湾,西至阿克苏以西叶勒肯城,北至白尔鄂博(贝加尔湖),南至崖州(海南岛)。图上注有经纬线,用梯形投影法,以北京为本初子午线,东经 320° 至西经

360°, 北纬 180°至 550°。

我国古代测量长度的工具有丈杆、测绳、步车和记里鼓车;测量高程的仪器工具有矩和水平(水准仪);测量方向的仪器有望筒和指南针(战国时期利用天然磁石制成指南工具——司南,宋代出现人工磁铁制成的指南针)。测量技术的发展与数理知识紧密关联。公元前问世的《周髀算经》和《九章算术》都有利用相似三角形进行测量的记载。

中华人民共和国成立后,我国测绘事业有了很大的发展。建立和统一了全国坐标系统和高程系统;建立了遍及全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网和卫星多普勒网,完成了国家大地网和水准网的整体平差;完成了国家基本图的测绘工作。

2005 年国家测绘局测量珠穆朗玛峰高度采用了经典测量与卫星 GPS 测量结合的技术方案,并首次在珠峰测量中使用了冰雪深雷达探测仪。测量结果:峰顶岩石面海拔为 8844.43m。珠穆朗玛峰峰顶岩石面高程测量精度为 $\pm 0.21\text{m}$,峰顶冰雪深度 3.50m。

2008 年建成的杭州湾跨海大桥,北起浙江嘉兴海盐郑家埭,南至宁波慈溪水路湾,全长 36km,是世界上最长的跨海大桥。GPS 参考站在杭州湾跨海大桥的成功应用及在实践中形成的规程和细则,弥补了中国跨海大桥这方面的空白;创造性地提出过渡曲面拟合法,使海中 GPS 拟合高程的精度达到三等水准的精度;用测距三角高程法配合 GPS 拟合高程法进行连续多跨跨海高程贯通测量,创造出一种快速海中高程贯通测量的方法;杭州湾跨海大桥在国内首次采用 GIS 技术研制成基于 B/S 模式的大型桥梁测绘资料管理系统。

我国航天远洋测量船基地自 1978 年组建以来,先后实现了中国航天测量从陆地到海洋,海上测控技术从火箭测量到卫星测量,从仅能跟踪测量到能测能控,从仅测国内卫星到提供国外商业测控支持,从卫星测控到载人航天器测控,从地球轨道测控到月球轨道测控的六大历史跨越。第三代航天测量船远望六号船舶上装有 S 波段统一测控系统、C 波段统一测控系统和 C 波段脉冲雷达通信等大型测控通信设备,能够完成对火箭、卫星、飞船等各类航天飞行器的海上跟踪测控任务,并能与任务中心进行实时通信和数据交换。

在 2008 年神舟七号任务的测控通信中,科技人员通过利用我国自行研制的光电望远镜、反射式脉冲雷达共同解决了非合作方式的测量难题,实现了多目标的测量控制和管理,保证了伴星、飞船以及留轨舱相互之间不发生碰撞,精确地完成了对它们飞行轨道的测量与控制;我国的“天链一号”中继卫星首次参加,标志着我国真正走出了天地基一体化测控通信系统发展道路的第一步。与单纯的地基测控通信系统相比,天基测控系统的优势是几乎不受地球曲率的影响,一颗地球同步轨道卫星就可以覆盖 1/3 地球面积,比远洋船和测控站覆盖的范围要大得多。

二、国外测量学的发展概况

在国外,17 世纪初测量学在欧洲得到较大发展。1617 年荷兰斯纳留斯首次进行了三角测量。1608 年荷兰的汉斯发明了望远镜,随后被应用到测量仪器上,使测绘学科产生了巨大变革。随着第一次产业革命的兴起,测量的理论和方法不断得到发展。1687 年牛顿发现了万有引力,提出了地球是一个旋转的椭球体。1794 年高斯提出的最小二乘法理论,以及随后提出的精确椭圆柱投影,对测绘科学理论的发展起到了重要的推动作用。在 19 世纪中许多国家都进行了全国地形测量。20 世纪初随着飞机的出现和摄影测量理论的发展,产生了航空摄影测量,给测绘科学又一次带来巨大的变革。

20 世纪 50 年代以来,测绘技术又朝电子化和自动化方向发展。例如利用电磁波测距仪可精密测量远达几十公里的距离;电子计算机的出现,不仅加快了计算速度,并且改变了测量仪器和方法。特别是 1957 年人造地球卫星的发射,促使测绘工作有了新的飞跃,开辟了卫星大地测量学这一新领域。多普勒定位是空间技术用于大地测量并得到普遍应用的一种先进技术。70 年代,出现了全球定位系统 (GPS),它能使精密控制测量达到厘米级精度。人们还可以利用遥感、遥测技术获得丰富的图像信息,编制大区域的小比例尺影像地图和专题地图。同时还出现了惯性测量系统和甚长基线干涉测量,前者是根据惯性原理设计的测定地面点大地元素的装置,后者是一种独立站射电干涉测量技术,用来测定相距很远的地面的相对位置。总之,20 世纪 50 年代以来,测量学的理论和技术发生了巨大的变化。

2007 年建成的法国米约大桥桥面距地面高 270m,索塔最高点距地面高 343m,是目前世界上最高的桥。大桥总共有 7 根桥墩,14 组共 154 条钢索,整个桥面在各种力的精致平衡中躺着。2001 年测绘专家皮埃尔·诺丁负责大桥的测绘。他建立了一套卫星定位系统的坐标体系,用全球卫星定位系统 GPS530RTK 固定观测站,加上德国莱卡移动 GPS 系统,对整个施工现场和大桥的建筑进程都作了准确的跟踪定位。除了卫星定位以外,还在大桥和山谷中设置了 300 多个测量反射棱镜。通过这些措施,保证了桥墩、桥身即使有 0.3mm 微弱的走样,也能够很容易被察觉。大桥历时 3 年建成,建筑物的垂直误差不超过 5mm。

瑞士阿尔卑斯山的特长双线铁路隧道哥特哈德长达 57km,为进行该工程,特地重新作了国家大地测量 (LV95),采用 GPS 技术施测的控制网,平面精度达 $\pm 7\text{mm}$,高程精度约 $\pm 2\text{cm}$ 。以厘米级的精度确定出了整个地区的大地水准面。为加快进度和避开不良地质段,中间设了 3 个竖井,共 4 个贯通面,横向贯通误差允许值为 69~92mm (较只设一个贯通面可缩短工期 11 年)。

第三节 地面点位的确定及坐标系统

既然测量学是研究如何测定地面点位的学科,因此首先应了解地面点位的表示方法,了解确定地面点位的基准。由于测量工作都是在地球表面上进行的,所以先介绍关于地球形状和大小的知识。

一、地球的形状和大小

地球自然表面很不规则,有高山、丘陵、平原和海洋。其中最高的珠穆朗玛峰高出海面达 8844.43m,最低的马里亚纳海沟低于海面达 11022m。这样的高低起伏,相对于地球半径 6371km 来说还是很小的,再顾及到海洋约占整个地球表面的 71%,因此,人们把海面所包围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。静止的水面称为水准面,水准面是受地球重力影响而形成的,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位面。与水准面相切的平面称为水平面。水面可高可低,因此符合上述特点的水准面有无数多个,其中与平均海面吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面,称为大地水准面。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，称为大地体。

用大地体表示地球体是恰当的，但由于地球内部质量分布不均匀，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 [图 1-1 (a)]，无法在这曲面上进行测量数据处理。为了使用方便，通常用一个非常接近于大地水准面，并可用数学式表示的几何形体（即地球椭球）来代替地球的形状 [如图 1-1 (b)]，作为测量计算工作的基准面。地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体，故地球椭球又称旋转椭球。如图 1-2 所示，旋转椭球体由长半径 a （或短半径 b ）和扁率 α 所决定。我国目前采用的元素值为：

- (1) 长半径 $a=6378140\text{m}$
 (2) 扁率 $\alpha=1:298.257$

其中

$$\alpha = \frac{a-b}{a}$$

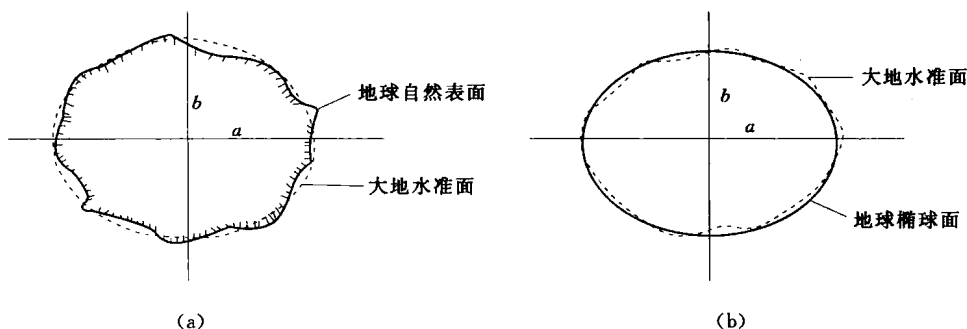


图 1-1 地球自然表面、大地水准面和地球椭球面的关系

(a) 大地水准面；(b) 地球椭球面

1954 年北京坐标系的椭球参数：克拉索夫斯基椭球，长半径 $a=6378245\text{m}$ ，扁率 $\alpha=1/298.3$ ，是从苏联远东控制网引入。我国现在使用的是“1980 国家大地坐标系”，是以陕西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全国统一坐标系。

二、确定地面点位的方法

测量工作的基本任务是确定地面点的位置，确定地面点的空间位置需用三个量。在测量工作中，是将地面点 A 、 B 、 C 、 D 、 E (图 1-3) 沿铅垂线方向投影到大地水准面上，得到 a 、 b 、 c 、 d 、 e 等投影位置。地面点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 的空间位置，就可用 a 、 b 、 c 、 d 、 e 等投影位置在大地水准面上的坐标及到 A 、 B 、 C 、 D 、 E 的铅垂距离 H_A 、 H_B 、... 来表示。

(一) 大地点的高程

地面点到大地水准面的铅垂，称为该点的绝对高程，或称海拔。图 1-4 中的 H_A 和 H_C 即为 A 点和 C 点的绝对高程。海水受潮汐和风浪的影响，是个动态的曲面。我国在青岛设立验潮站，长期观察和记录黄海海水面的高低变化，取其平均值作为大地水准面的位置（其高程为零），并在青岛建立了水准原点。目前，我国采用“1985 年高程基准”，青岛

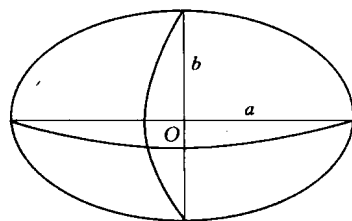


图 1-2 旋转椭球

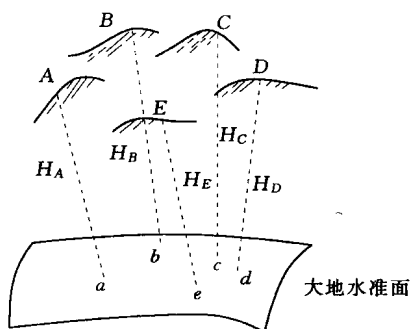


图 1-3 地面点的空间位置表示

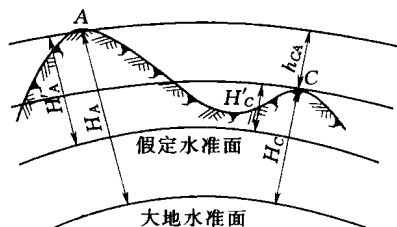


图 1-4 地面点的高程和假定高程

水准原点的高程为 72.260m，全国各地的高程都以它为准进行测算。但 1987 年以前使用的是 1956 年高程基准，利用旧的高程测量成果时，要注意高程基准的统一和换算。

当个别地区引用绝对高程有困难时，可采用假定高程系统，即采用任意假定的水准面为起算高程的基准面。图 1-4 中地面点到某一假定水准面的铅垂距离，称为假定高程。例如，A 点的假定高程为 H'_A ，C 点的假定高程为 H'_C 。

两个地面点之间的高程差称为高差。地面点 A 与 C 之间的高差 h_{CA} 为

$$h_{CA} = H_A - H_C = H'_A - H'_C$$

由此可见两点间的高差与高程起算面无关。

(二) 地面点在投影面上的坐标

地面点在地球椭球面上的坐标一般采用大地坐标系、地心坐标系、独立平面直角坐标系、高斯平面坐标系来表示，为了实用方便起见，常采用独立平面直角坐标系和高斯平面直角坐标系来表示地面点位。

1. 大地坐标系

地面上一点的位置，可用大地坐标表示。大地坐标系以参考椭球面作为基准面，以本初子午面作为基准面，以本初子午面和赤道面作为椭球面上确定某一点投影位置的两个参考面。

过地面某点的子午面与本初子午面之间的夹角，称为该点大地经度，用 L 表示。规定从本初子午面算起，向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经；向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。过地面某点的椭球面法线与赤道面的夹角，称为该点的大地纬度，用 B 表示。规定从赤道算起，由赤道向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬；由赤道向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。

P 点的大地经度、纬度，可由天文观测方法测得 P 点的天文经度、纬度，如图 1-5 所示，再利用 P 点的法线与铅垂线的相对关系换算为大地经度、纬度。在一般测量工作中，可以考虑这种变化。

2. 地心坐标系

地心坐标系属空间三维直角坐标系，用于卫星大地测量。地心坐标系取地球质心为坐标系原点， x 、 y 轴在地球赤道平面内，本初子午面与赤道平面的交线为 x 轴， z 轴与地球自转轴相重合。地面点的空间位置用三维直角坐标 x_A 、 y_A 、 z_A 表示（见图 1-6）。全

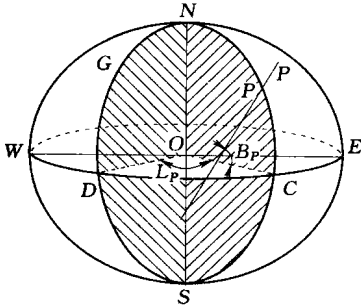


图 1-5 大地坐标系

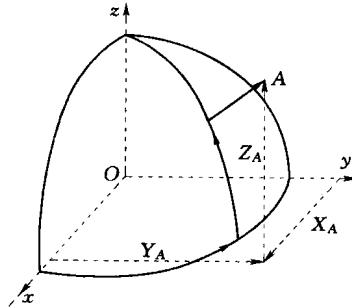


图 1-6 地心坐标系

球定位系统 (GPS) 采用的就是地心坐标系。

地心坐标系和大地坐标系可以通过一定的数学公式进行换算。

3. 独立平面直角坐标系

大地水准面虽是曲面,但当测量区域(如半径不大于 10km 的范围)较小时,可以用测区中心点 a 的切平面来代替曲面(图 1-7),地面点在投影面上的位置就可以用平面直角坐标来确定。测量工作中采用的平面直角坐标如图 1-8 所示。规定南北方向为纵轴。并记为 x 轴, x 轴向北为正,向南为负,以东西方向为横轴,并记为 y 轴, y 轴向东为正,向西为负。地面上某点 P 的位置可用 x_P 和 y_P 来表示。平面直角坐标系中象限按顺时针方向编号, x 轴与 y 轴互换,这与数学上的规定是不同的,其目的是为了定向方便,将数学中的公式直接应用到测量计算中,不需作任何变更。原点 O 一般选在测区的西南角(见图 1-7),使测区内各点的坐标均为正值。

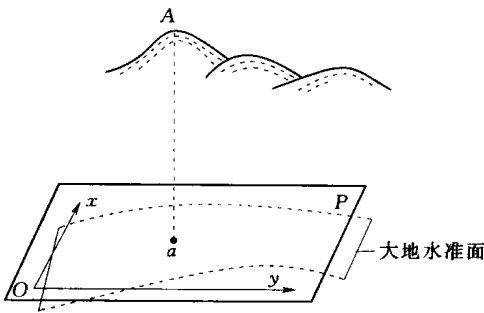


图 1-7 切平面代替曲面

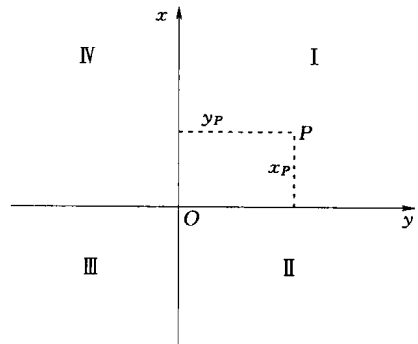


图 1-8 平面直角坐标

4. 高斯平面直角坐标系

当测区范围较大,就不能把水准面当作水平面。把地球椭球面上的图形展绘到平面上来,必然产生变形,为使其变形小于测量误差,必须采用适当的方法来解决这个问题,测量工作中通常采用高斯投影方法。

高斯平面直角坐标系采用高斯投影方法建立。高斯投影是由德国测量学家高斯于 1825~1830 年首先提出,到 1912 年由德国测量学家吕格推导出实用的坐标投影公式,

所以又称高斯—吕格投影。

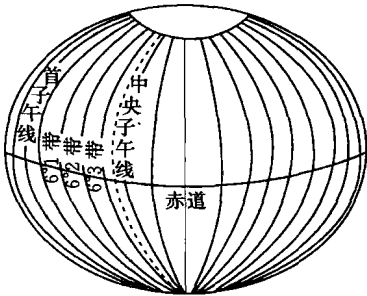


图 1-9 地球投影带划分

高斯投影的方法是将地球划分成若干带，然后将每带投影到平面上。如图 1-9 所示，投影带是从首子午线（通过英国格林尼治天文台的子午线）起，每经差 6° 划一带（称为 6° 带），自西向东将整个地球划分成经差相等的 60 个带。带号从首子午线起自西向东编，用阿拉伯数字 1、2、3、…、60 表示。位于各带中央的子午线，称为该带的中央子午线。第一个 6° 带的中央子午线的经度为 3° ，任意带的中央子午线经度 L_0 ，可按式计算

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

式中 N ——投影带的号数。

如图 1-10 (a) 所示，高斯投影是设想用一个平面卷成一个空心圆柱，把它横着套在地球椭球外面，使圆柱的中心轴线位于赤道面内并且通过球心，使地球椭球上某 6° 带的中央子午线与圆柱面相切，在椭球面上的图形与圆柱面上的图形保持等角的条

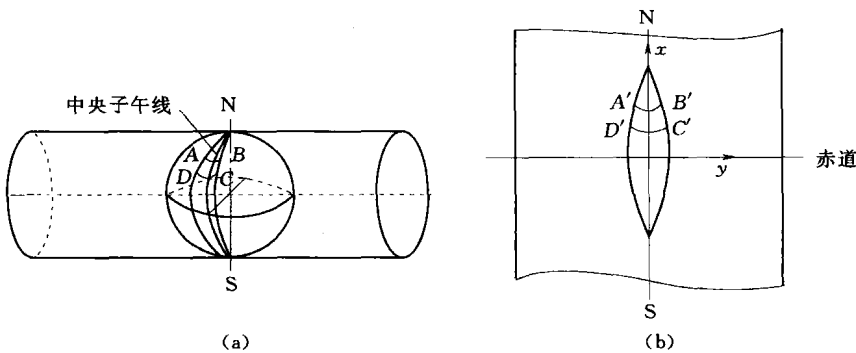


图 1-10 高斯平面直角坐标系

(a) 高斯投影；(b) 6° 带在平面上的影像

件下，将整个 6° 带投影到圆柱面上。然后将圆柱沿着通过南北极的母线切开并展成平面，便得到 6° 带在平面上的影像 [图 1-10 (b)]。中央子午线经投影展开后是一条直线，以此直线作为纵轴，即 x 轴；赤道是条与中央子午线相垂直的直线，将它作为横轴，即 y 轴；两直线的交点作为原点，则组成高斯平面直角坐标系。纬圈 AB 和 CD 投影在高斯平面直角坐标系内仍为曲线 ($A'B'$ 和 $C'D'$)。将投影后具有高斯平面直角坐标系的 6° 带一个个拼接起来，便得到图 1-11 所示的图形。

我国位于北半球， x 坐标均为正值，而 y 坐标值有正有负。如图 1-12 (a) 所示，设 $y_A =$

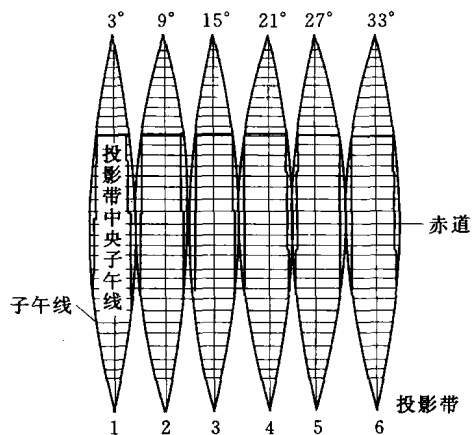


图 1-11 投影后 6° 带拼接图形