



普通高等院校土木工程专业“十三五”规划教材
国家应用型创新人才培养系列精品教材

www.jccbs.com
免费下载

土木工程测量

Civil Engineering Surveying

主 编 高 伟 韩兴辉 肖 鸾
副主编 李 曼 许万旻 宋福成



中国建材工业出版社

土木工程专业“十三五”规划教材
创新人才培养系列精品教材

土木工程测量

主 编 高 伟 韩兴辉 肖 鸢

副主编 李 曼 许万旸 宋福成

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程测量/高伟, 韩兴辉, 肖鸾主编. --北京:
中国建材工业出版社, 2017.12

普通高等院校土木工程专业“十三五”规划教材国家
应用型创新人才培养系列精品教材

ISBN 978-7-5160-2035-7

I. ①土… II. ①高… ②韩… ③肖… III. ①土木工
程—工程测量—高等学校—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 241751 号

内 容 简 介

本书作为土木工程专业基础课教材, 注重培养学生应用测量技术的技能 and 创新能力, 具有广泛的适用性。全书共分 14 章, 内容以目前土木工程建设中采用的测量仪器与方法为主线, 在阐述测量学基本理论与技术和传统土木工程测量方法的基础上, 适当介绍了一些测绘新技术、新仪器与新方法, 尤其融入了 GPS-RTK 测图与放样、地图编制、地下管线探测、自动化变形监测等内容。

本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业的教材, 也可供从事测绘工作的工程技术人员学习参考。

土木工程测量

主 编 高 伟 韩兴辉 肖 鸾

副主编 李 曼 许万旻 宋福成

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 18.75

字 数: 460 千字

版 次: 2017 年 12 月第 1 版

印 次: 2017 年 12 月第 1 次

定 价: 59.80 元

本社网址: www.jcbs.com 微信公众号: zgjcgybs

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906



言

本书作为普通高等院校土木工程专业“十三五”规划教材和国家应用型创新人才培养系列精品教材中的一门专业基础课教材,结合土木工程建设领域对测绘技术与方法的应用需求,融入一些正在应用的测绘新技术和新方法,更加注重培养学生测量技术的应用技能和创新能力,有效激发学生的学习热情,力求做到内容和技术方法精炼、理论联系实际、注重实践教学、概念清晰、通俗易懂、适应面广、应用性强。

《土木工程测量》是土建类等非测绘工程专业的一门专业基础课,具有广泛的适用性。本教材面向初学者,强调通过学习测绘理论、技术、仪器与方法,为土木工程建设等领域提供测绘技术支撑,并有助于读者在土木工程与城市建设等领域运用测绘科学与技术知识,去解决实际工作中遇到的决策、规划、管理、工程、研发等问题。按照国家培养应用型创新人才的要求,结合测绘地理信息新技术发展迅猛的特点和教学课时趋于减少以及强化实践的现状,本教材在注重基本原理的基础上,试图妥善处理传统测量学内容与新知识、新仪器和新技术的衔接,凝练和精简传统的测绘理论知识,淡化测量数据与误差处理理论,逐渐调整以地形测图为主线的教学思路,强化测绘技术在土木建筑类专业上的应用,有意识融入一些新的理念和新的土木工程测量方法,比如强化地图信息与数据的获取与应用、地图编制、土木工程施工放样新方法、地下空间工程测量、地下管线探测、建筑物的自动化变形监测等,使读者付出更少的时间和精力,掌握现代土木工程测量的精髓。

本书由天津城建大学高伟、天津大学仁爱学院韩兴辉、湖南工业大学肖鸾、天津城建大学李曼、天津城建大学许万旻、临沂大学宋福成共同完成,全书由高伟负责协调与统稿。

限于时间和编者水平,书中难免有疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2017年12月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 测量学概述	1
1.2 地面点位的确定	4
1.3 用水平面代替水准面的影响	9
1.4 测量的基本工作和原则	10
本章思考题	11
第2章 水准测量	12
2.1 水准测量原理	12
2.2 水准测量的仪器和工具	13
2.3 水准仪的使用	18
2.4 普通水准测量	19
2.5 三、四等水准测量	23
2.6 水准测量的内业计算	26
2.7 水准测量的误差来源分析	28
2.8 电子水准仪	30
本章思考题	37
第3章 角度测量	38
3.1 角度测量原理	38
3.2 光学经纬仪	39
3.3 光学经纬仪的基本操作	47
3.4 水平角测量	49
3.5 竖直角测量	52
3.6 角度测量的误差分析与注意事项	55
3.7 电子经纬仪	57
本章思考题	61
第4章 距离测量与直线定向	62
4.1 钢尺量距	62
4.2 视距测量	65

4.3 电磁波测距	67
4.4 直线定向	72
4.5 两点间的距离、方向与坐标的关系	74
4.6 全站仪	75
本章思考题	80
第5章 测量误差的基本知识	82
5.1 测量误差及其分类	82
5.2 衡量观测精度的标准	86
5.3 误差传播定律	88
5.4 观测值的算术平均值及其中误差	92
本章思考题	96
第6章 小地区控制测量	97
6.1 控制测量概述	97
6.2 导线测量	100
6.3 导线测量的内业计算	103
6.4 高程控制测量	110
6.5 GPS 测量	113
本章思考题	122
第7章 大比例尺地形图测绘	123
7.1 地形图及其比例尺	123
7.2 地物、地貌的表示方法	125
7.3 碎部测量	132
7.4 地形图的拼接、检查与整饰	145
7.5 地形图的数字化	146
本章思考题	147
第8章 地形图的应用与编制	148
8.1 地形图的分幅与编号	148
8.2 地形图的基本内容	152
8.3 地形图应用的基本内容	154
8.4 地图编制	161
本章思考题	177
第9章 测设的基本工作	178
9.1 概述	178

9.2	角度、距离和高程的测设	178
9.3	点的平面位置的测设	181
9.4	坡度线和圆曲线的测设	186
	本章思考题	190
第 10 章	建筑工程施工测量	191
10.1	施工测量概述	191
10.2	建筑场地施工控制测量	192
10.3	民用建筑施工测量	197
10.4	工业建筑施工测量	206
10.5	高层建筑施工测量	214
10.6	竣工总平面图的编绘	218
	本章思考题	220
第 11 章	路线工程测量	221
11.1	踏勘选线	221
11.2	中线测量	223
11.3	曲线测设	227
11.4	路线纵断面测量	227
11.5	路线横断面测量	232
	本章思考题	235
第 12 章	道路和桥隧施工测量	236
12.1	公路、铁路线路测量概述	236
12.2	桥梁施工测量	237
12.3	竖曲线的测设	249
12.4	路基边桩与边坡的测设	251
12.5	隧道施工测量	253
	本章思考题	267
第 13 章	地下管线工程测量	268
13.1	概述	268
13.2	地下管道中线测量	269
13.3	地下管道施工测量	272
13.4	地下管线探测	276
	本章思考题	280
第 14 章	建筑物变形测量	281
14.1	变形和变形测量概述	281

14.2	垂直位移测量.....	283
14.3	水平位移测量.....	285
14.4	倾斜测量.....	286
14.5	裂缝测量.....	288
14.6	日照变形测量.....	288
14.7	变形测量新技术.....	289
	本章思考题.....	291
	参考文献	292



第1章 绪论

本章导读

本章主要介绍测量学的内容与任务、地面点位的确定、用水平面代替水准面的影响、测量的基本工作与原则等内容；其中水准面、大地水准面、高斯投影、坐标系与高程系是学习的重点与难点；采取课堂讲授与课下练习相结合的学习方法，建议2~4个学时。

1.1 测量学概述

测量学是研究地球的形状、大小以及测定地球表面各种物体的形状、大小和空间位置的一门应用科学。测量学是测绘科学的重要组成部分。

测量学按照研究对象和应用范围以及采用的技术手段不同，可分为大地测量学、地形测量学、摄影测量学、地图制图学、工程测量学和海洋测量学。

1.1.1 测量学的内容与分支学科

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变化的理论和技术的学科。由于研究范围较大，在其研究过程中要顾及地球曲率的影响。大地测量学是测量学的理论基础，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，为地形测图提供控制基础，为各类工程施工测量提供依据，为研究地球形状、大小、重力场及其变化、地壳形变及地震监测预警提供信息。现代大地测量学可分为三个基本分支：几何大地测量学、物理大地测量学和卫星大地测量学。

2. 地形测量学

地形测量学是研究将地球表面局部区域的起伏形状和各种物体按一定比例尺测制成地形图的理论和方法的学科。由于范围较小，在研究过程中不考虑地球曲率的影响，也称为普通测量学。其主要任务包括小区域图根控制网的建立、地形图测绘及一般工程施工测量。

3. 摄影测量学

摄影测量学是研究利用摄影影像测定地表物体的形状、大小及空间位置关系的学科。

按照摄影距离远近不同,摄影测量主要分为近景摄影测量、地面摄影测量、航空摄影测量和航天摄影测量。

4. 地图制图学

地图制图学是研究利用测量数据资料绘制模拟和数字地图的基础理论、地图设计、地图编绘、地图复制的技术方法以及应用的学科。地图是测量工作的重要产品形式。地图制图学主要有地图投影与制图理论、制图方法和地图应用三部分组成。

5. 工程测量学

工程测量学是研究在工程建设和自然资源开发中的规划、勘测设计、施工、竣工验收和运营管理等各个阶段所需要的测量理论和技术的学科。

6. 海洋测量学

海洋测量学是以海洋水体、海岸线、港口、航道和海底地形为对象,研究海洋定位、测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、海洋磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布及编制各种海图的理论和技术的学科。

本书作为土建、地理、资源、环境等各类专业的一门技术基础课教材,统称为土木工程测量,主要介绍测量学的基本概念、基本理论和方法、测量的基本工作、大比例尺地形图测绘、地形图的识读与应用、地图编制、土木建筑施工测量以及变形监测等方面的技术与方法。

1.1.2 测量学的发展概况

测量学有着悠久的历史。测量技术起源于社会的生产需求,随着社会的进步而发展。在上古时代,人类为了丈量土地,兴修水利,就已发明和使用了测量工具和方法。据历史记载,我国著名的夏禹治水所用的“左准绳、右规矩”,就是当时的测量工具。我国秦朝李冰父子修建的四川都江堰,如此宏伟的水利工程,若没有相当水平的测量技术,是不可能完成的。

公元1492年欧洲哥伦布发现美洲新大陆,促进了航海事业的发展,从而对测量学提出了新的要求,也激发了人们对制图学以及地球形状和大小的研究。公元17世纪,人类发明了望远镜,扩大了测量工作者的眼界,使测量工作的仪器和方法有了很大的改进。随着测量仪器和方法的不断完善,测量学科的内容逐步得到充实和加深。公元19世纪,德国数学家高斯,应用已有的或然率理论得出了依最小二乘法进行测量平差的方法,并著有横圆柱投影的学说,进一步完善了测量科学的基本理论。20世纪初,摄影技术用于测量领域,使测量手段有了新的发展。从20世纪中叶开始,随着电磁波测距仪、电子计算机、全站仪等仪器设备的出现,测量仪器又朝着电子化和自动化的方向发展,使测量工作更为简便、快速和精确。

测量学的主要研究对象是地球以及地球表面上的各种物体。随着人类认识的逐步深化以及对测量精度要求的不断提高,测量学的内涵不断发生变化,测量学逐渐从概念上演变成内涵更为丰富的测绘学。20世纪50年代以来,尤其进入21世纪后,随着空间技术、计算机技术和信息技术以及通信技术的发展,测绘学这一古老的学科在这些新技术的支撑和推动下,出现了以全球导航卫星系统(GPS或GNSS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)的“3S”技术为代表的现代测绘科学技术,使得测绘学科从理论到手段发生了根

本性的变化。

传统的测绘技术由于受到观测仪器和方法的限制,只能在地球的某一局部区域进行测量工作,而空间定位、航空(航天)遥感、地理信息系统和数据通信等现代信息技术的发展及其相互渗透和集成,则提供了对地球整体进行观察和测绘的工具,推动了现代测绘高新技术日新月异的迅猛发展,使得测绘学的理论基础、测绘工程技术体系、研究领域和科学目标等正在适应形势的需要而发生深刻的变化。从测绘学的现代发展可以看出,现代测绘学是指空间数据的测量、分析、管理、存储和显示的综合研究,这些空间数据来源于人造地球卫星、空载和船载的传感器以及地面的各种测量仪器。通过信息技术,利用计算机的硬件和软件对这些空间数据进行处理和使用。这是应现代社会对空间信息有极大需求这一特点形成的一个更全面且综合的学科体系,它更准确地描述了测绘学科在现代信息社会中的作用。测绘学的现代概念就是研究地球和其他实体的与地理空间分布有关的信息的采集、量测、分析、显示、管理和利用的科学和技术。测绘学科的发展促使测绘学中出现若干新学科,如卫星大地测量(或空间大地测量)、遥感测绘(或航天测绘)、地图制图与地理信息工程等。由于将空间数据与其他专业数据进行综合分析,使测绘学科从单一学科走向多学科的交叉,其应用已扩展到与空间分布信息有关的众多领域,显示出现代测绘学正向着近二十年来兴起的一门新兴学科——地球空间信息科学(Geo-Spatial Information Science,简称 Geomatics)跨越和融合。

1.1.3 测量学的任务

1. 测图

测图就是使用测量仪器和工具,测量测区内地形点的平面位置和高程,对测区内的地形进行测量,根据地形形态规律及其信息,按一定的比例尺、规定的符号绘制成图,供规划设计、工程建设和科学研究使用。

2. 测设

测设也叫放样,就是将图上已规划设计好的工程建(构)筑物的平面位置和高程,准确地测定到实地上,作为工程建设施工的依据。

3. 用图

用图就是指识别并使用地形图的知识、方法和技能,进行地形判读、地图标定、确定站立点和利用地图研究地形、地图编制等,以解决各类工程建设中遇到的问题,为各行各业绘制专题图和获得空间位置数据提供支撑。

1.1.4 测量学的作用

测量学有着广泛的应用,在国民经济建设、国防建设、科学研究以及社会发展等领域,都占有重要的地位,既有社会公益性,又有市场价值。测绘工作常被人们称为建设的尖兵,无论是国民经济建设还是国防建设,其勘测、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”。

在国民经济建设方面,测绘信息是最重要的基础信息之一,测绘学应用广泛。在经济发展规划、土地资源调查和利用、海洋开发、农林牧渔业的发展、生态环境保护、疆界的划定以及各种工程、矿山和城镇建设等各个方面都必须进行相应的测量工作,编制各种地

图和建立相应的地理信息系统,以供规划、设计、施工、管理和决策使用。尤其是土建类工程,测绘工作要贯穿于工程建设的全过程。如施工前的图纸测绘,施工中的标定放样,施工后的竣工验收,以及工程运营中的变形监测等。而测量的精度与速度,也将直接影响工程的质量与进度。因此说测绘工作对于保证工程质量与安全运行有着十分重要的意义。

在国防建设方面,测绘工作为打赢现代化战争可持续、实时地提供战场环境,为作战指挥和武器定位与制导提供测绘保障。各种国防工程的规划、设计和施工需要测绘工作,战略部署、战役指挥离不开地形图,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。

在科学研究方面,是测定地球的动态变化,研究地壳运动及其机制的重要手段。各种测绘资料又可用于探索某些自然规律,研究地球内部构造、环境变化、资源勘探、灾害监测和防治等。测绘学在探索地球的奥秘和规律、深入认识和研究地球的各种问题中发挥着重要作用。

在社会发展方面,当今人类正面临环境日趋恶化、自然灾害频繁、不可再生能源和矿产资源匮乏及人口膨胀等社会问题,社会、经济迅速发展和自然环境之间产生了巨大矛盾。要解决这些矛盾,维持社会的可持续发展,则必须了解地球的各种现象及其变化和相互关系,采取必要措施来约束和规范人类自身的活动,减少或防范全球变化向不利于人类社会方面演变,指导人类合理利用和开发资源,有效地保护和改善环境,积极防治和抵御各种自然灾害,不断改善人类生存和的生活环境质量。各种测绘和地理信息可用于规划、方案的制订,灾害、环境监测系统的建立,风险的分析,资源、环境调查与评估、可视化的显示以及决策指挥等。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作的绝大部分是在地球表面上进行的,所以有必要首先来讨论地球的形状和大小。地球是一个两极稍扁、赤道略鼓的不规则椭圆球体,平均半径约为 6371km。地球的自然表面高低起伏,错综复杂,极不规则,有高山、丘陵、平原、海洋、河流和湖泊等。最高的山峰珠穆朗玛峰高达 8844.43m,地球海水面下最深处是位于太平洋的马里亚纳海沟深达 11034m。尽管有这样大的高低起伏,但相对地球庞大的体积来说仍可忽略不计。在太空中看地球呈蓝色,海洋约占整个地球表面积的 71%,陆地约占 29%。因此,测量工作者假设静止的海水面延伸穿过陆地和岛屿,包围整个地球,形成一闭合的曲面,这个闭合曲面称为水准面。如图 1-1 所示。

水准面是水在地球重力的作用下形成的静止闭合曲面,因此,水准面处处与铅垂线垂直。但因海水面是动态变化的,时高时低,所以水准面有无数个,测量上把通过平均海水面的水准面叫作大地水准面,作为确定高程的基准面。大地水准面所包围的形体叫作大地体。

由于地球表面起伏不平 and 内部质量分布不均匀, 引起铅垂方向不规则变化, 所以大地水准面实际上是一个略有起伏的不规则曲面, 无法用公式表达。为此, 人们用一个可以用数学公式表示又很接近大地水准面的参考椭球面来代替它。如图 1-2 所示, 参考椭球面是由一个椭圆绕其短轴旋转而形成的椭球面, 参考椭球面所围成的球体称为参考椭球体, 其形状和大小由椭圆的长半轴 a 和短半轴 b (或扁率 e) 决定。其中, 我国采用过的 1975 年国际大地测量与地球物理联合会通过并推荐的椭球元素, 其值为:

$$a=6378140\text{m}, b=6356755\text{m}, e=1:298.257$$

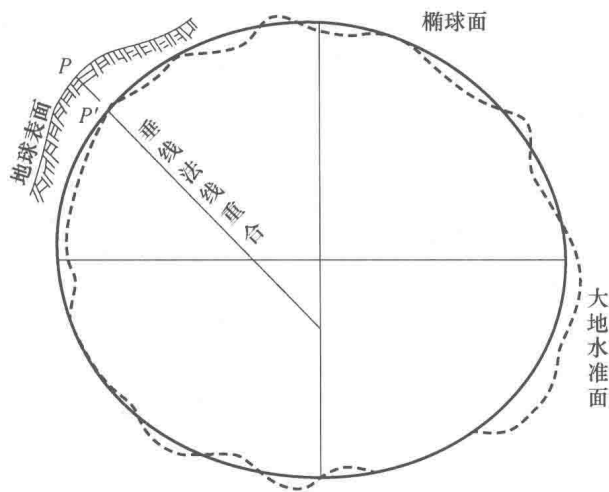


图 1-1 地球表面和大地水准面

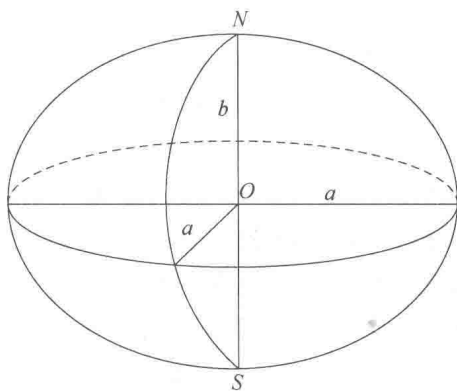


图 1-2 参考椭球体

由于地球的扁率很小, 接近于圆球, 因此在精度要求不高的情况下, 可以近似的将其当作一个圆球, 取其半径为 $R=6371\text{km}$ 。

1.2.2 地面点位置的表示方式

测量工作的根本任务是确定地面点的位置。为了确定地面点的位置, 需要建立坐标系。按照数学理论来确定一个点在空间的位置, 需要 3 个坐标量来表示。在测量工作中, 一般常将地面点的空间位置用平面位置和高程表示, 其中平面位置常用地理坐标或者平面直角坐标来表示, 而高程常采用指定的高程系统中的高程值表示。由于基准面不同, 这 3 个量的表达形式也不尽一致。

1. 地面点的平面位置

(1) 地理坐标

地面点的地理坐标是用经纬度来表示的。过地面上某点的子午面与首子午面的夹角, 称为该点的经度。经度从首子午面向东 $0^\circ\sim 180^\circ$ 称为东经, 从首子午面向西 $0^\circ\sim 180^\circ$ 称为西经。

过地面上某点的铅垂线 (或者法线) 与赤道面的夹角, 称为该点的纬度, 纬度从赤道面向北 $0^\circ\sim 90^\circ$ 称为北纬, 从赤道面向南 $0^\circ\sim 90^\circ$ 称为南纬。

如果基准投影面为大地水准面, 即以铅垂线为依据, 则该坐标称为天文地理坐标, 简称为天文坐标, 用 λ 、 φ 表示。如果基准投影面为参考椭球面, 即以法线为依据, 则该坐标称为大地地理坐标, 简称为大地坐标, 用 L 、 B 表示。

天文坐标和大地坐标可以互相换算。在测绘工作中, 某点的位置一般用大地坐标表

示。但实际进行观测时,如量距、测角都是以铅垂线为基准,因而所测得的数据若要求精确地换算成大地坐标则必须经过改化,在普通测绘工作中,由于精度要求不高,可不考虑这种改化。

在我国天文大地网建立初期,经过与苏联天文大地网联测,确定了一个临时性的坐标系,称为 1954 年北京坐标系。由于其有关定位参数与我国实际情况出入较大,国家测绘局根据我国实际情况建立了 1980 年国家大地坐标系,其原点设在陕西省泾阳县永乐镇。

(2) 高斯平面直角坐标

地理坐标可以使全球的坐标统一,但对局部的工程测量来说是不方便的。在工程建设中,测量计算和绘图多采用平面直角坐标,但球面是一个不可展的曲面,把地球表面上的点换算到平面上,称为地图投影。地图投影的方法很多,我国采用高斯横圆柱投影的方法来建立平面直角坐标系统,称为高斯平面直角坐标。高斯投影的最大特点是等角投影,可以保证在有限的范围内使地图上图形同椭球上的原形保持相似。

高斯投影的基本思想是:设想用一个大小合适的圆柱面,横套在参考椭球体的外面,如图 1-3 所示。椭球表面上只有一条子午线与圆柱面相切,在保持投影前后相应图形等角的条件下,将椭球面上的图形投影到圆柱面上,然后将圆柱面沿过南北极的母线切开,并展成平面,就得一张平面图形了。椭球面上的点与平面上的点建立起一一对应的关系。如图 1-4 所示,相切的那条子午线,投影后为直线,长度不变。它两边的子午线投影后为凹向相切的子午线,长度变长,距离相切子午线越远则变形越大。

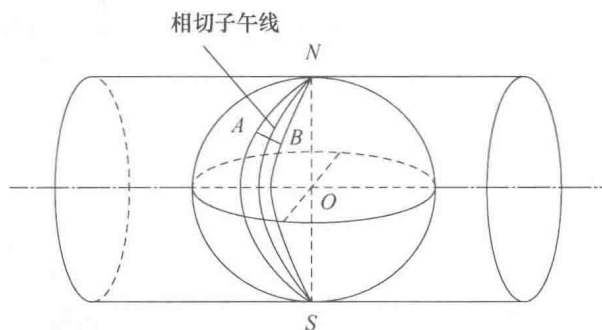


图 1-3 高斯投影

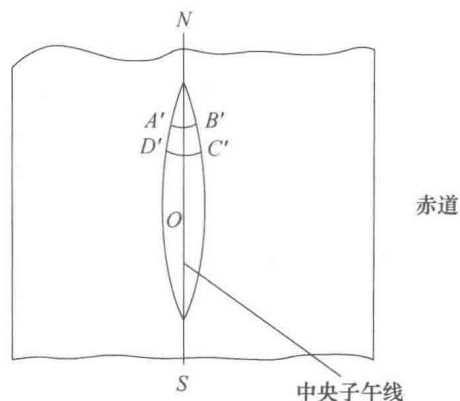


图 1-4 高斯投影特点

高斯投影是正形投影的一种,投影前后的角度相等,除此以外,高斯投影还具有以下特点:

- ① 中央子午线投影后为直线,且长度不变。距中央子午线愈远的子午线,投影后弯曲程度愈大,长度变形也愈大。
- ② 椭球面上除中央子午线外,其他子午线投影后,均向中央子午线弯曲,并向两极收敛,对称于中央子午线和赤道。
- ③ 在椭球面上对称于赤道的纬圈,投影后仍成为对称的曲线,并与子午线的投影曲线互相垂直且凹向两极。

为了限制长度变形在一定的范围之内,通常采用分带投影的办法。如图 1-5 所示,从

首子午面开始,由西向东按经差 6° 进行分带,称为 6° 带。全球共分60个带,带号依次为1、2……60,位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线,第一带的中央子午线的经度为 3° ,第二带为 9° ,以此类推,设带号为 N ,中央子午线的经度为 L_0 ,则

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

对于某些大比例尺测图或有某些特殊要求的测量工作, 6° 带的边缘地区其长度变形不能满足精度要求时,可以采取 3° 的投影带,如图1-5下半部分所示。 3° 带是从东经 $1^\circ 30'$ 开始,每 3° 分为一带,全球共分120个带。设 3° 带的带号为 n ,中央子午线的经度为 l_0 ,则

$$l_0 = 3n \quad (1-2)$$

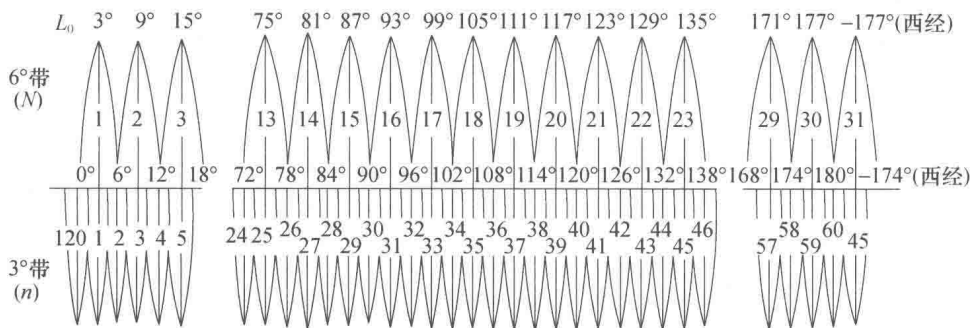


图 1-5 高斯投影的 6° 带和 3° 带

需要说明的是,式(1-1)和(1-2)适用于东半球,西半球则不同,在此不再讨论。我国领土跨11个 6° 投影带,即第13~23带,跨22个 3° 投影带,即第24~45带,投影带号不重叠。

当分带投影时,让每一带中央子午线与圆柱面相切,单独投影。投影后展开在平面上,中央子午线与赤道的投影为相互垂直的直线。以中央子午线的投影作为 x 轴(纵轴),以赤道的投影作为 y 轴(横轴),两轴的交点作为原点,建立一个平面直角坐标系,称为高斯平面直角坐标系。如图1-6所示。它既是平面直角坐标系,又与大地坐标的经纬度发生联系,且是等角投影,因此是世界上应用最广泛的坐标系。由于我国领土全部位于北半球,因此, x 坐标均为正值, y 坐标有正有负,为了避免 y 坐标出现负值,规定每带中央子午线均西移500km,即在每带所有的 y 坐标值上加500km,如图1-6所示。同时,为了表明各点所在的投影带,还规定,在横坐标前加上所在的带号。例如,中国某点 P 的高斯平面直角坐标为:

$$x_P = 4008441.664\text{m}$$

$$y_P = 39510990.242\text{m}$$

式中数值说明,该点位于赤道以北4008441.664m,在 3° 带的第39带的中央子午线以东10990.242m。

(3) 假定平面直角坐标

当测绘区域面积较小时,可以不考虑地球曲率的影响,把该地区的水准面当成平面看待。如果不能或者不需要采用高斯平面直角坐标系,还可以假定一个平面直角坐标系来确定地面点的相对位置。如图1-7所示,坐标系的原点设在测区的西南边界外, x 轴方向尽

量与北方向一致,也可以用罗盘仪测定某起始边的磁方位角,这样整个测区都落在第一象限内,纵横坐标都是正值,且图纸方向与现实符合较好,便于使用。需要注意一点,因为测量上的方位角是顺时针旋转的,与数学上正好相反,为了使数学公式完全应用于测量,规定测量上的平面直角坐标系纵轴为 X 轴,横轴为 Y 轴,象限编号按顺时针排列,如图 1-8 所示。

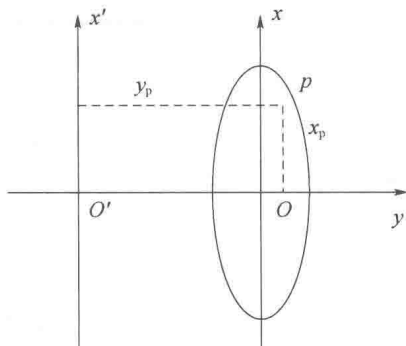


图 1-6 高斯平面直角坐标系

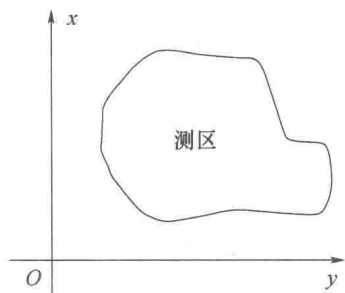


图 1-7 假定平面直角坐标系

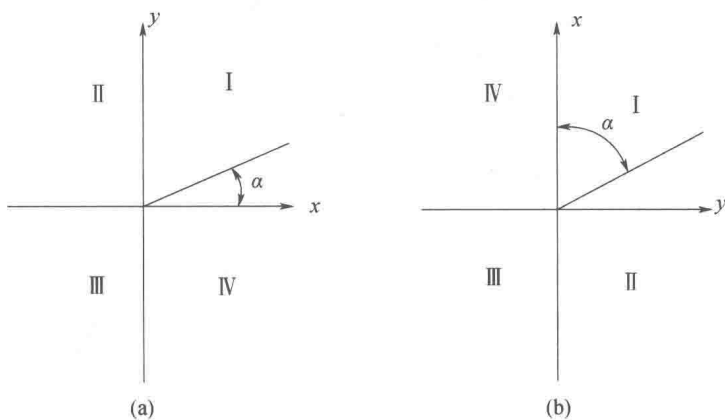


图 1-8 笛卡尔坐标和高斯坐标

(a) 笛卡尔坐标系; (b) 高斯坐标系

2. 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程,简称高程或海拔。地面点到假定水准面的铅垂距离称为相对高程,也称假定高程。绝对高程是全国的统一高程系统,对于某些局部地区,联测统一高程尚有困难时,可采用相对高程。

地面点的高程通常用字母 H 表示,如图 1-9 中, A 、 B 两点的高程分别表示为 H_A 、 H_B 。地面上两点高程之差称为两点间的高差,通常用 h 表示。在图 1-9 中, A 、 B 两点高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A \quad (1-3)$$

新中国成立前,我国的高程系统很不统一。新中国成立后,根据青岛验潮站 1950~1956 年的观测资料,将所推算的黄海平均海水面(大地水准面)作为高程起算的基准面,其绝对高程为零。凡由此基准起算的高程称为 1956 年黄海高程系。并于山东省青岛市附近建立了“中华人民共和国水准原点”,经联测,1956 年黄海高程系的原点高程为

72.289m。1985年,我国又决定自1987年起采用青岛潮站1953~1979年观测资料所推算的黄海平均海水面作为我国高程起算的基准面。命名为“1985年国家高程基准”。根据这个基准推算,“中华人民共和国水准原点”的高程为72.260m。

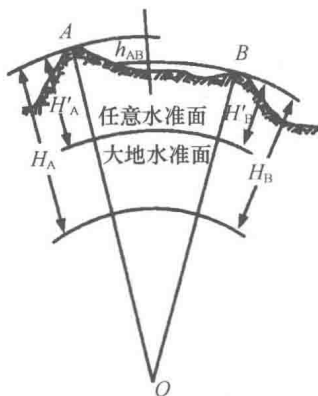


图 1-9 高程

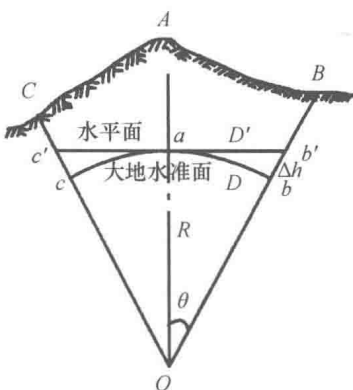


图 1-10 用水平面代替水准面

1.3 用水平面代替水准面的影响

水准面是一个曲面, 曲面上的图形投影到平面上, 总会产生一些变形。以下讨论以水平面代替水准面对距离和高程的影响, 以便明确可以代替的范围, 或必要时加以改正。

1.3.1 对水平距离的影响

在图 1-10 中, A、B 两点在水准面上投影的距离为 D , 在水平面上投影的距离为 D' , 设两者之差为 ΔD , 将水准面近似的看成半径为 R 的圆球面。则

$$\Delta D = D' - D$$

经推导可得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-4)$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2}$$

取 $R=6371\text{km}$, 用不同的 D 值代入上式, 根据计算结果可得出以下结论: 当距离为 20km 时, 以水平面代替水准面所产生的距离之差为 0.0657m, 相对误差为 1:304000。这样小的误差, 对一般精密距离测量是允许的。因此对一般精度要求的距离测量, 在半径为 20km 的范围内, 可以以水平面代替水准面。半径大于 20km, 则必须考虑地球曲率的影响。

1.3.2 对高程的影响

在图 1-10 中, $\Delta h (bb')$ 是由于水平面代替水准面对地面点高程所产生的误差, 也就是地球曲率对地面点高程产生的影响。根据勾股定理可知

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

经推导可得