

测量学

刘文谷 张伟富 游扬声 © 主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

测量学

主 编 刘文谷 张伟富 游扬声

参 编 陈金云 王吉明 高 攀

兰劲松 向世臣

内 容 简 介

本书共分为 16 章,包括测量学概述、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、全站仪及其使用、测量误差及数据处理的基本知识、小区域控制测量、GNSS 测量、地形图基本知识、大比例尺地形图的测绘、地形图的应用、地籍测量和房产测量、施工测量的基本工作、建筑施工测量、线路工程测量、地下工程测量。各章后均附有习题与思考题。

本书可作为高等院校土木工程、工程管理、房地产、给排水、环境工程、城市规划、采矿工程等专业的教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/刘文谷,张伟富,游扬声主编. —北京:北京理工大学出版社, 2018. 9
ISBN 978 - 7 - 5682 - 6174 - 6

I. ①测… II. ①刘… ②张… ③游… III. ①测量学 - 高等学校 - 教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 210329 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 20

字 数 / 486 千字

版 次 / 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 74.00 元

责任编辑 / 江 立

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

在工程建设中,工程测量是保证工程施工质量的关键环节。为了满足培养土木工程专业高级应用型人才对工程测量知识的需要,编者以多年的工程测量课程教学和施工一线的实践经验为基础,对工程测量知识进行重新组织,并参照工程测量相关的最新标准和最新规范编写了本书。

本书具有较强的教学适用性和较宽的专业适应面。在编写过程中,本书注重教学与工程实际相结合,传统理论与现代理论相结合,既兼顾工程建设的仪器现状,又考虑学校的实验条件,将光学仪器与现代仪器纳入介绍范围,将传统测量方法与现代测量方法一并讲解供选用。每章后均有习题与思考题方便教师教学和学生课后复习。

本书由刘文谷、张伟富、游扬声担任主编,陈金云、王吉明、高攀、兰劲松、向世臣参与了编写工作。具体编写分工如下:刘文谷编写第二章、第十六章;张伟富编写第一章、第四章、第十四章,游扬声编写第六章、第十三章以及部分协调工作,陈金云编写第五章、第十章、第十一章,王吉明编写第三章和第十五章,高攀编写第七章和第八章,兰劲松编写第九章,向世臣编写第十二章。全书由刘文谷负责统稿。

本书在编写过程中参阅了其他相关教材,在参考文献中一一列出,在此对各位作者表示衷心感谢。

本书虽经多次修改,但由于编者水平有限和时间仓促,书中难免存在不足之处,恳请专家和广大读者批评指正。

编者

第一章 测量学概述	(1)
第一节 测量学简介	(1)
第二节 地球的形状和大小	(5)
第三节 测量坐标系	(6)
第四节 地球曲率对测量工作的影响	(11)
第五节 测量工作概述	(13)
第二章 水准测量	(15)
第一节 水准测量原理	(15)
第二节 水准测量的仪器与工具	(17)
第三节 普通水准测量的方法与成果整理	(24)
第四节 DS3 型微倾式水准仪及自动安平式水准仪的检验校正	(31)
第五节 水准测量的误差分析及三、四等水准测量方法	(33)
第六节 精密水准仪和精密水准尺简介	(37)
第七节 数字水准仪和条码尺简介	(40)
第三章 角度测量	(44)
第一节 角度测量原理	(44)
第二节 经纬仪的构造	(45)
第三节 测角仪器的使用方法	(53)
第四节 水平角观测	(54)
第五节 竖直角观测	(57)
第六节 测角仪器的检验与校正	(61)
第七节 角度测量误差分析及注意事项	(64)

第四章 距离测量与直线定向	(67)
第一节 钢尺量距	(68)
第二节 光学视距法测距	(72)
第三节 电磁波测距	(75)
第四节 直线定向	(83)
第五节 罗盘仪及其使用	(87)
第五章 全站仪及其使用	(90)
第一节 全站仪概述	(90)
第二节 NTS-312 型全站仪简介	(93)
第六章 测量误差及数据处理的基本知识	(100)
第一节 测量误差概述	(100)
第二节 评定精度的指标	(103)
第三节 误差传播定律及其应用	(105)
第四节 算数平均值及其中误差	(108)
第五节 权、加权平均值及其中误差	(110)
第七章 小区域控制测量	(113)
第一节 控制测量概述	(113)
第二节 导线测量	(117)
第三节 交会定点	(123)
第四节 三角高程测量	(128)
第八章 GNSS 测量	(131)
第一节 GNSS 测量概述	(131)
第二节 GNSS 的坐标系统和时间系统	(136)
第三节 卫星定位的基本原理与误差来源	(139)
第四节 伪距测量和载波相位测量	(144)
第五节 实时动态差分定位	(147)
第九章 地形图基本知识	(150)
第一节 地图的定义、特征及分类	(150)
第二节 地图投影	(153)
第三节 地图的基本内容	(155)
第四节 地图比例尺	(157)

第五节	地图分幅与编号	(159)
第六节	地物的表达	(162)
第七节	地貌(形)的表达	(167)
第十章	大比例尺地形图的测绘	(172)
第一节	大比例尺地形图的图解法测绘	(172)
第二节	地形图的绘制	(175)
第三节	数字化测图方法	(177)
第十一章	地形图的应用	(185)
第一节	地形图应用的基本内容	(185)
第二节	工程建设中地形图的应用	(188)
第三节	数字化地形图的应用	(192)
第十二章	地籍测量和房产测量	(197)
第一节	地籍测量	(197)
第二节	房产测量	(211)
第十三章	施工测量的基本工作	(232)
第一节	施工放样的基本内容和方法	(232)
第二节	点的平面位置放样	(236)
第十四章	建筑施工测量	(240)
第一节	施工测量概述	(240)
第二节	施工控制测量	(241)
第三节	民用建筑施工测量	(244)
第四节	工业厂房施工测量	(249)
第五节	建筑物变形测量	(254)
第六节	竣工总平面图的编绘	(260)
第十五章	线路工程测量	(263)
第一节	线路工程测量概述	(263)
第二节	中线测量	(265)
第三节	圆曲线的测设	(269)
第四节	缓和曲线的测设	(271)
第五节	道路纵、横断面测量	(275)
第六节	道路工程施工测量	(278)

第七节 桥梁施工测量	(282)
第十六章 地下工程测量	(292)
第一节 地下工程概述	(292)
第二节 地下工程控制测量	(293)
第三节 联系测量	(295)
第四节 地下工程施工测量	(303)
第五节 贯通测量	(304)
参考文献	(310)

测量学概述

第一节 测量学简介

一、测量学的概念

测量学是研究地球和其他实体与时空分布的有关信息采集、处理、分析、管理、存储、传输、表达和应用的一门科学与技术。其主要内容是研究测定和推算地面点的几何位置、地球形状及地球重力场，测量地球表面自然形态和人工设施的几何分布，结合某些社会信息和自然信息的地理分布编制全球和局部地区各种比例尺的地图与专题地图，建立有关信息系统，研究地表形态以及它们的各种变化。测量学包括测量和制图两项主要内容。有的国家称为测量学，有的国家称为测量与制图学，在我国称为测量学。现代测量学的部分技术已应用于其他行星和月球上，在我国一级学科中称之为测绘科学与技术，它包括以下主要内容。

（一）大地测量

大地测量是研究地球及其邻近星体的形状和外部重力场及其随时间变化规律的科学，以及应用卫星、航空和地面测量传感器对空间点位置进行精密测定、对城市和工程建设以及资源环境的规划设计进行施工放样测量并进行变形监测的技术。其主要内容包括卫星大地测量、几何大地测量、物理大地测量、天文测量、精密工程与工业测量等。其主要任务是：研究地球与其他空间实体的形状、大小与重力场，为灾害、资源环境等地学研究提供数据和技术保障；研究航天、航空测量理论与技术，为空间科学和国防建设提供精确的点位坐标、距离、方位角和地球重力场数据；研究空间基准测定、维持与更新技术，为地理国情监测和大型工程测量提供测绘基准数据；研究精密工程与工业测量技术，直接为工程建设进行精密定位、施工放样与变形监测。

（二）遥感

遥感是利用航天、航空和地面传感器对地球表面及环境、其他目标及过程获取成像或非

成像的信息,并进行记录、量测、解译、表达与应用的科学与技术。其主要内容包括成像机理与模型、数字图像处理技术、数字摄影测量技术、解析摄影测量与区域网平差、遥感信息处理与解译、遥感应用、空间信息管理与服务等。其主要任务是:通过摄影测量方法获得数字线划地图、数字正射影像和数字高程模型等地理空间信息,并制作相应的地图产品;获取空间目标位置、形状、大小、属性、运动及属性变化信息;通过对遥感信息的解译与推演得到地球表面及环境的物理属性与参数变化,为国土、农林、水利、环保等部门提供资源、生态、环境、灾害等信息服务。

(三) 地图制图

地图制图是指设计与制作地图、开发与建立地理信息系统的理论、方法和技术。它根据应用需要,研究如何用地图的形式科学地、抽象概括地反映自然和人类社会各种现象的空间分布、相互联系、空间关系及其动态变化,并对空间地理环境信息进行获取、智能抽象、储存、管理、分析、处理和可视化,建立相应的地理信息系统,以数字、图形和图像方式传输空间地理环境信息,为各种应用和地学分析提供地理环境信息平台,提供精确数字地图数据和空间地理环境信息及相关技术支持。其主要内容包括地图设计,地图投影,地图编绘,地图制图与出版的一体化,多源地理数据的采集、输入与更新,海量地理数据库的管理和高效检索,空间分析建模,空间数据挖掘与知识发现,空间信息可视化与虚拟现实,空间数据不确定性与质量控制等。其主要任务是:根据实际应用需要,利用数字地图技术设计和制作各类纸质地图和电子地图;进行各类地理空间信息处理、生产与更新,生产各种地理信息产品,建立一定形式的地图数据库和空间基础设施;建立各种地理信息系统,进行地理信息发布,满足各行业对地理信息的应用需求;利用虚拟现实和图形图像技术,实现地理空间数据的可视化。

(四) 导航

导航是研究、建立人、事、物在统一的时空基准下的位置、速度和时间等信息及关联关系,并利用这些信息提供位置相关服务的技术与方法,其重点大部分:导航和基于位置应用的技术及方法。导航是研究确定各类载体位置并引导其从一地向另一地运动的理论、技术和方法;位置服务是研究位置与时间等信息的获取,以及与位置相关信息的建立、搜索、挖掘与服务等理论、技术和方法,其主要内容包括卫星导航定位系统、天文导航、惯性导航、组合与匹配导航、位置服务等。导航与位置服务的应用涉及国家和社会经济的方方面面,在新一代信息技术及其战略性新兴产业中,具有举足轻重和不可或缺的地位;在智能武器、物联网、智慧地球、节能减排、救灾减灾等领域发挥着重要的基础性支撑作用。其主要任务是:建立卫星导航定位系统及其增强系统,为精密测量和精密授时服务;发展多模导航技术及组合方法,为航天、航空、地面和水上及水下各种运动目标提供实时导航定位服务;与地理信息系统集成为各种用户提供基于位置的信息服务。

(五) 矿山与地下测量

矿山与地下测量是综合应用光学、声学、惯性、重力、电磁等手段及空间信息等理论方法,研究与矿产资源、地下空间开发利用有关的从地面到地下、从矿体到围岩的动静态空间信息监测监控、定向定位、集成分析、数字表达、智能感知和调控决策等的科学与技术。其主要内容包括矿山与地下空间信息采集与三维表达,地下定位与导航,多源复杂信息集成处

理,数字矿山与物联感知,沉陷监测与变形控制,矿体几何与储量动态管理,土地复垦与环境整治,地下空间环境评估等。其主要任务是:构建矿山与地下空间基准,提供(测设)地下坐标、距离与方位;建立矿山与地下空间信息系统,进行数字表达、制图、分析与动态更新;评价及管理矿体与地下空间资源,监督其合理开发;预测开采沉陷、地表变形与环境破坏,提出灾害防治措施。

(六) 海洋测绘

海洋测绘是对海洋及其毗邻陆地和江河湖泊时空信息进行测量、处理、管理、表达和应用的一门科学和技术。其主要内容包括海洋大地测量、水深测量、海洋潮汐、海洋底质探测、海洋工程测量、海洋地球物理勘测、海洋水文调查、海洋遥感测绘、航海图制图、专题海图制图以及海洋地理信息分析、处理与应用等。其主要任务是:建立海洋时空基准维持框架,测定和研究海洋重力场、地磁场和相关海洋过程的精细结构及其变化;利用船载、水下、陆基和航空航天多种观测技术,获取水深、障碍航物、海底底质和海洋水文等信息;通过编制航海图、专题海图等各类图件和开发海洋地理信息产品,为航海、海洋权益维护、海洋资源开发、海洋工程建设、海洋环境保护、海上军事活动和海洋科学研究等提供海洋地理信息服务。

二、工程测量的任务

各项经济建设和国防工程建设的规划设计、施工和部分建筑物建成后的运营管理中,都需要一定的测绘资料或利用测绘手段来指导工作,这些测绘工作一般是在面积不大的区域内进行的,在较小的区域内可以既不考虑地球曲率,也不顾及地球重力场的微小影响,所以测量学在建设工程领域又称工程测量。其主要任务是测定和测设。

(一) 测定

测定是采集描述地面物体的空间位置信息的工作,即通过使用仪器和工具对地面点进行测量和计算,从而获得一系列的数据,或根据测得的数据将地球表面的地形缩绘成地形图,供科学研究和工程建设规划设计使用。

(二) 测设

测设是将在地形图上设计出的建筑物、构筑物的位置通过测量在实地标定出来,以作为施工的依据。

三、测量学的作用

人类从原始社会后期,就在生产劳动、部落间交往和战争中逐步学会使用测量手段来了解和利用周围的自然环境,以使自己的活动能获得尽可能好的效果。随着社会的发展,测量在军事活动、国土管理、工程建设、防灾减灾、数字地球和科学研究等各个方面得到广泛的应用。现代社会,测量工作在各个国家已具有日益重要的地位和作用。

(一) 在军事活动中的作用

地图一直在军事活动中起着重要的作用。这对于行军、布防以及了解敌情等都是十分重要的。因此,地图很早就成为军事上不可缺少的工具。地图上详细标示着山脉、河流、道路、居民点等地貌和地物,具有确定位置、辨识方向的作用。人造卫星定位技术早期用于军

事部门,后逐步解密才在测绘及其他众多部门中获得应用。至今军事测绘部门仍在测量领域科技前沿对重大课题进行探索和研究。

特别是对于现代大规模的诸兵种协同作战,精确的测量成果成图更是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,要保证它精确入轨,随时校正轨道和命中目标,除了应测算出发射点和目标点的精确坐标、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。

(二) 在国土管理中的作用

测量学的起源和土地界线的划定紧密联系。非洲尼罗河每年泛滥会把土地的界线冲刷掉,为了恢复土地的界线,埃及人很早就采用了测量技术,早期亦称“土地测量”“土地清丈”等,用以测定地块的边界和坐落,求算地块的面积。在农业为主的社会里,国家为了征税而开展地籍测量,同时记录业主姓名和土地用途等。地籍测量的成果不仅用于征税,还用于管理土地的权属以保障用地的秩序,为了提高土地利用的效益,合理和节约利用十分珍贵与有限的土地。

测量学还服务于国家领土的管理。例如,《战国策·燕策》中关于荆轲刺秦王“图穷而匕首见”的记述,表明在战国时期地图在政治上象征着国家的领土和主权。

(三) 在工程建设中的作用

在修建房屋时,需要平整地基;在开凿渠道、修建运河时,需要了解地形的起伏;在建造城市时,中心线常要定向;在开挖地道时,需仔细地定向、定位、定高度;粒子加速器的磁块必须以 0.1 mm 的精度安放在设计的位置上;建筑物在施工期间和建成后要知道它的沉降倾斜位移等情况等,这些都离不开测量工作。在工程建设和使用过程中,测量工作大概可以分为以下四个阶段:

(1) 勘测设计阶段,测量现状地形图并做好控制测量等工作。

(2) 施工阶段,把设计好的建构筑物正确地测设到地面上,确定土石方工程量,施工期间进行变形测量等。

(3) 竣工验收阶段,对建筑物进行竣工测量,对工程量进行核对。

(4) 运营阶段,为改扩建而进行的各种测量,为安全运营,防止灾害需进行变形测量。

(四) 在国民经济和社会发展规划中的作用

例如,以地形图为基础,补充农业专题调查资料编制各种专题图,从中可以了解到各类土地利用的现状,土地变化趋势,农田开发建设的水、土、气候等条件,农田和林地、牧地及工业、交通、城镇建设的关系等情况,这些都是农业规划的依据。城镇规划、农村规划等各种规划首先要有规划区的地形图。

(五) 在发展地球科学和空间科学等现代科学方面的作用

地表形态和地面重力的许多重要变化,有些源于地壳和板块构造的运动,有些源于地球大气圈、生物圈各种因素的影响和变化。因此,通过对地表形态和地面重力的变化进行分析研究,可以探索地球内部的构造及其变化;通过对地表形态变迁的分析研究,可以追溯各个历史时期地球大气圈、生物圈各种因素的变化。许多地球科学新理论的建立,往往是地球物理学者和测量学者共同努力的结果。对空间科学技术的发展来说,测量是不可缺少的基础,同时,空间科学技术的发展也反过来为测量科学技术提供新的手段和新的发展领域。

第二节 地球的形状和大小

由于大多数测量工作是在地球的自然表面进行的,所以有必要知道地球的形状和大小。公元前6世纪毕达哥拉斯首创地圆说,但是,直到1519—1522年麦哲伦探险队绕地球一周后,地圆说才得到公认。随着科技的发展,科学工作者做了大量的精密测量工作,发现地球是一个近似圆球的椭球,测量学上把它命名为椭球体,并较精确地测定了这个椭球体的大小。

地球表面是不规则的,有陆地、海洋、高山和平原,不可能用一个简单的数学公式就描述得很清楚,但人们知道地球表面上海洋的面积约占71%,陆地的面积约占29%。因此人们就把地球的形状看作海水包围的球体,也就是假想静止不动的水面延伸穿过陆地,包围了整个地球,形成一个闭合的曲面,这个曲面称为水准面。水准面是受地球重力影响而形成的,它的特点是面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面,如图1-1(a)所示。

由于水面可高可低,因此符合这个特点的水准面有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面。大地水准面是野外测量工作的基准面,铅垂线是野外测量工作的基准线,如图1-1(b)所示。这个大地水准面所包围的球体,测量上称作大地体。人们用大地体来形容地球是比较形象的。但是,由于地球的密度不均匀,造成地面各点重力方向没有规律,因而大地水准面是个极不规则的曲面,不能直接用来测图。为了解决这个问题,选择一个非常接近大地水准面、并可用数学式表示的几何形体来代表地球总的形状。这个数学形体是由椭圆 PEP_1Q 绕其短轴 PP_1 旋转而成的旋转椭球体,又称地球椭球体,其表面称为旋转椭球面(参考椭球面),如图1-1(c)所示,它是测量内业计算工作的基准面,椭球面的法线是测量内业计算工作的基准线。

地球椭球体的大小和形状可以用长度元素(椭圆的长半轴 a 、椭圆的短半轴 b)和形状元素(椭圆的扁率 α 、椭圆的第一偏心率 e 、椭圆的第二偏心率 e')来描述,它们的关系用式(1-1)表示:

椭圆的第一偏心率:

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (1-1a)$$

椭圆的第二偏心率:

$$e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b} \quad (1-1b)$$

椭圆的扁率:

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \quad (1-1c)$$

世界上各个国家同一时期采用的地球椭球不尽相同,就是一个国家在不同时期也会采用不同的椭球,如海福特椭球、克拉索夫斯基椭球、IUGG 1975 国际椭球、WGS-84 椭球、CGCS 2000 椭球。目前我国 CGCS 2000 (China Geodetic Coordinate System 2000, 中国 2000 国家大地坐标系) 采用的地球椭球体的参数为

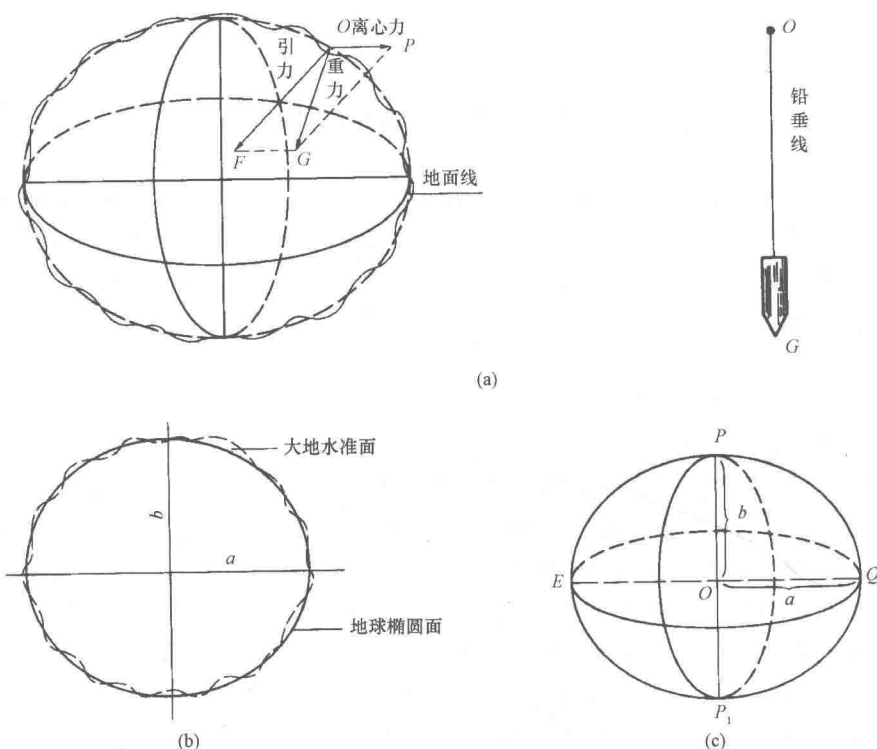


图 1-1 大地水准面与地球椭球

(a) 地球重力线; (b) 大地水准面; (c) 旋转椭球体

长半轴 $a = 6\,378\,137\text{ m}$;扁率 $\alpha = 1/298.257$;地球的地心引力常数 (包含大气层) $G_M = (398\,600.441\,81 \pm 0.000\,3)\text{ km}^3/\text{s}^3$;地球角速度 $\omega = (7.292\,115 \pm 0.000\,000\,15)\text{ rad/s}$ 。

由于地球椭球体的扁率很小,当测区面积不大时,可以将其当作圆球看待,其半径 R 按式 (1-2) 计算:

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

 R 近似值为 $6\,371\text{ km}$ 。

第三节 测量坐标系

测量学的实质是确定点的空间位置进而确定点的相互位置关系,这需要建立一个参考系统——坐标系统,根据研究对象的宽广度可分为天球坐标系、地球坐标系。

一、地球坐标系

在天文学当中,天球坐标系是描述天空中物体位置的坐标系。它以太极和春分点作为天

球定向基准的坐标系,使天空中的物体投影在天球上。由于宇宙中的星体位置远近不一,因此以地球为球心,将星体沿球径投影到某个假想球面上,来表示星体的角位置。天球坐标与半径无关。

地球坐标系是把地球视为理想球体,以其旋转轴两极的最短球面连线为经线,以垂直于经线的为纬线而形成的坐标系。地球坐标系有两种几何表达方式,即地球空间直角坐标系(图 1-2)和地球大地坐标系(图 1-3)。按坐标原点位置及坐标轴的不同又可分为地心坐标系、参心坐标系和站心坐标系。

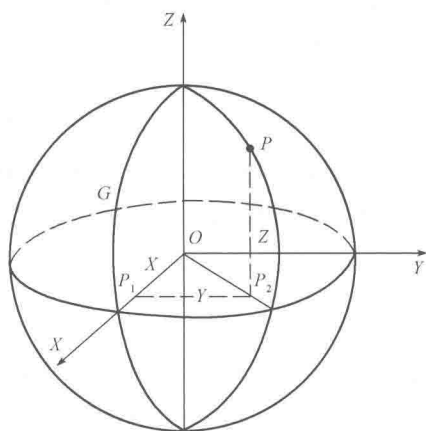


图 1-2 地球空间直角坐标系

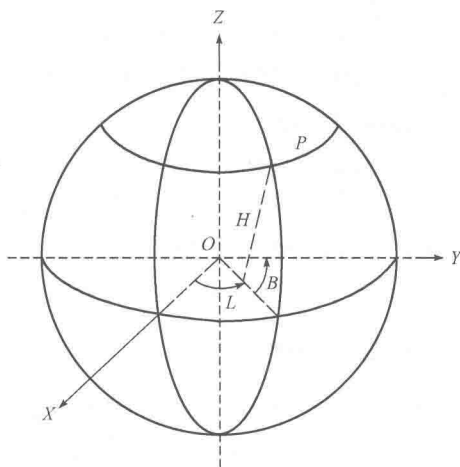


图 1-3 地球大地坐标系

例如地心空间直角坐标系是在大地体内建立的 $O-XYZ$ 坐标系。原点 O 设在大地体的质量中心,用相互垂直的 X 、 Y 、 Z 三个轴来表示; X 轴与首子午面与赤道面的交线重合,向格林尼治为正; Z 轴与地球旋转轴重合,向北为正; Y 轴与 XZ 平面垂直构成右手系。图 1-2 中点 P 的坐标为 $X = OP_1$, $Y = P_1P_2$, $Z = PP_2$ 。

地心大地坐标系是大地体内建立的 BLH 坐标系。地心大地经度 L ,是过地面点的椭球子午面与格林尼治天文台子午面的夹角;地心大地纬度 B ,是过点的椭球法线和椭球赤道面的夹角;大地高 H ,是地面点沿椭球法线到地球椭球面的距离,如图 1-3 所示。

工程测量中常将三维空间坐标分解成坐标系(二维)和高程系(一维)。确定点的球面位置的坐标系有地理坐标系和平面直角坐标系两类。

二、地理坐标系

对地球椭球体而言,其围绕旋转的轴称为地轴。地轴的北端称为地球的北极,南端称为南极;过地心与地轴垂直的平面与椭球面的交线是一个圆,这就是地球的赤道;过英国格林尼治天文台旧址和地轴的平面与椭球面的交线称为本初子午线。以地球的北极、南极、赤道和本初子午线等为基本要素,即可构成地球椭球面的地理坐标系。其以本初子午线为基准,向东、向西各分 180° ,向东为东经,向西为西经;以赤道为基准,向南、向北各分 90° ,北边为北纬,南边为南纬。地理坐标在航空航天和航海等领域应用较多。在大地测量学中,对于地理坐标系中的经纬度有三种描述,即天文经纬度、大地经纬度和地心经纬度。

(一) 天文经纬度

天文经度在地球上的定义,即本初子午面与过观测点的子午面所夹的二面角;天文纬度在地球上的定义,即过某点的铅垂线与赤道平面之间的夹角。天文经纬度是通过地面天文测量的方法得到的,其以大地水准面和铅垂线为依据。精确的天文测量成果可作为大地测量中定向控制及校核数据。

(二) 大地经纬度

地面上任意一点的位置,也可以用大地经度 L 、大地纬度 B 表示。大地经度是指过参考椭球面上某一点的大地子午面与本初子午面之间的二面角;大地纬度是指过参考椭球面上某一点的法线与赤道面的夹角。大地经纬度以地球椭球面和法线为依据,在大地测量中得到广泛应用。

(三) 地心经纬度

地心,即地球椭球体的质量中心。地心经度等同于大地经度,地心纬度是指参考椭球体面上的任意一点和椭球体中心连线与赤道面之间的夹角。地理研究和小比例尺地图制图对精度要求不高,故常把椭球体当作正球体看待,地理坐标采用地球球面坐标,经纬度均用地心经纬度。在地图学中常采用大地经纬度。

三、平面直角坐标系

地理坐标虽然很准确,但它的计算比较复杂。另外,由于人们日常生活中更习惯认为地表是平面的,所以有必要建立一个平面直角坐标系。由于球面是一个不可直接展成平面的曲面,因此,无论采用什么投影方法,它们与球面上的经纬网形状都是不完全相似的,这表明地图上的经纬网发生了变形。因而根据地理坐标展绘在地图上的各种地面事物,也必然发生了变形。为了正确地使用地图,必须了解投影后产生的变形,投影变形主要包括长度变形、方向变形、角度变形、面积变形等。包括我国在内的很多国家和地区采用角度不变形的投影(等角投影、正形投影),投影后长度、方向等会产生变形,这些变形可以通过计算加以改正。我国测量工作中采用了计算公式相对简单的高斯-克吕格正形投影,简称高斯投影。这样的平面直角坐标系也称为高斯平面直角坐标系。

通过与苏联 1942 年普尔科沃坐标系联测,经我国东北传算过来的坐标系称“1954 北京坐标系”;以 IUGG 1975 椭球建立的大地坐标系经投影后,称为“1980 西安坐标系”;CGCS 2000 投影后叫作“2000 国家坐标系”。

在初高中阶段,学生接触的平面直角坐标系是笛卡尔平面直角坐标系。它与高斯平面直角坐标系有些不同:数学中所采用笛卡尔平面直角坐标系的横轴为 X 轴、纵轴为 Y 轴,象限按逆时针方向编号,两个坐标轴这样的位置关系,称为二维的右手坐标系,或右手系;测量学中的高斯平面直角坐标系横轴为 Y 轴、纵轴为 X 轴,象限按顺时针方向编号。两个坐标轴这样的位置关系,称为二维的左手坐标系,或左手系。数学坐标系与测量坐标系的关系如图 1-4 所示。

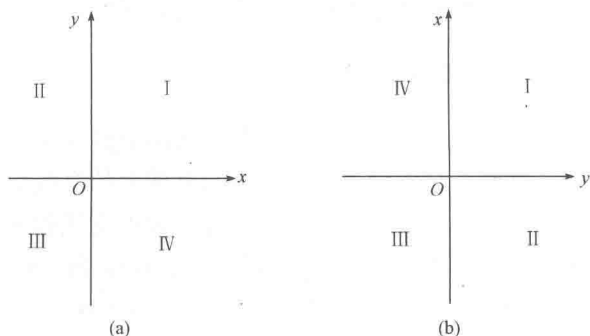


图 1-4 数学坐标系与测量坐标系的关系

(a) 笛卡尔平面直角坐标系; (b) 高斯平面直角坐标系

四、高斯平面直角坐标

高斯-克吕格投影是由德国数学家、物理学家、天文学家高斯于 19 世纪 20 年代拟定，后经德国大地测量学家克吕格于 1912 年对投影公式加以补充，故称为高斯-克吕格投影，又名“等角横切椭圆柱投影”，是地球椭球面和平面间正形投影的一种。

投影时，设想有一个椭圆柱筒（图 1-5），将其套在地球椭球体上旋转，使其中心线通过球心，并且椭圆柱面与要投影的那一带中央子午线相切，在球面图形与柱面图形保持等角的条件下，将球面上图形投影在圆柱面上，然后将圆柱体沿着通过南北极母线切开展成平面。投影后，中央子午线与赤道为互相垂直的直线，以中央子午线为坐标纵轴 x ，以赤道为坐标横轴 y ，两轴的交点作为坐标原点 O ，组成高斯平面直角坐标系，如图 1-6（a）所示。

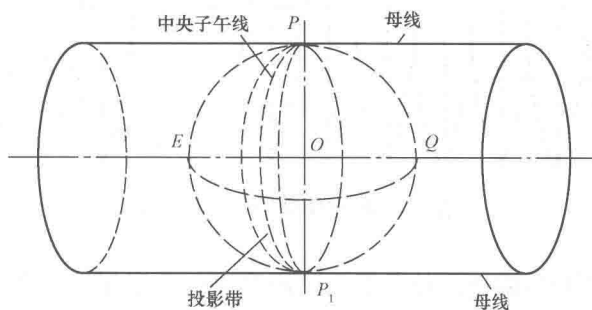


图 1-5 高斯平面直角坐标投影

点位和坐标必须是一一对应的关系，为此在 Y 坐标前面冠以带号；我国 X 坐标都是正的， Y 坐标的最小值（在赤道上， 6° 带）约为 -330 km，为了避免出现负的坐标值，在 Y 坐标上加上 500 km；这种坐标称为国家统一坐标，如图 1-6（b）所示。

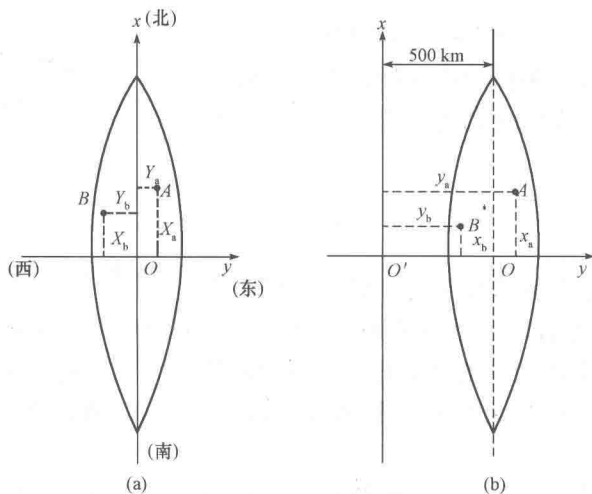


图 1-6 高斯平面直角坐标系

(a) 高斯平面直角坐标；(b) 国家统一坐标