

建筑工程测量

主 编 刘少春 于瑾佳



北京理工大学出版社



高等职业教育“十三五”规划教材

建筑工程测量

主 编 刘少春 于瑾佳

副主编 李 琳 刘 煜

吴姗姗 郭 娅

参 编 杨广云 袁 源



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书以测量的基本知识点和技能点为基础,以专业的技能技术和应用方法为主要内容,以突出测量技术在实际工程中的应用为核心,进行了教学内容的设计。

本书共分为基本测量知识、基本操作技能(测量仪器操作及使用)、综合操作技能和专业技能模块4个模块。基本测量知识模块包括测量基础、地形图的基本知识、三北方向与坐标正反算、测量误差的基本知识4个单元;基本操作技能(测量仪器操作及使用)模块包括水准仪、经纬仪、钢尺与电磁波测距仪、全站仪、全球卫星定位系统(GPS)、激光仪器及其使用6个单元;综合操作技能模块包括水准测量、全站仪导线测量、大比例地形图测绘及应用3个单元;专业技能模块包括基本测设、民用建筑施工测量、工业建筑施工测量、高层建筑施工测量、特殊建(构)筑物施工测量、建筑物的变形观测、管道与路桥施工测量7个单元。每个模块都有分别与之相对应的知识点、技能点、任务。

本书可作为高等职业院校建筑工程技术、工程监理、工程造价等相关专业的教材,也可作为工程技术人员学习的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/刘少春,于瑾佳主编. —北京:北京理工大学出版社,2017.1(2017.2重印)
ISBN 978-7-5682-3563-1

I. ①建… II. ①刘… ②于… III. ①建筑测量—高等学校—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第009676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/22.5

字 数/601千字

版 次/2017年1月第1版 2017年2月第2次印刷

定 价/49.80元(含配套实训指导)

责任编辑/李玉昌

文案编辑/瞿义勇

责任校对/周瑞红

责任印制/边心超

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

测绘工作包括设计、外业、内业、提供测绘产品等环节,每一环节均对应相应的岗位群。建筑工程测量作为工程测量的一部分,是建筑工程建设中的一项重要基础技术工作,对应着服务于建筑行业测量工作、具有熟练专业技能及较高技术应用能力的中、低职位。

为适应土建类相关专业教学需要,依据高职高专院校工程测量技术课程教学大纲,围绕学生岗位技能的培养,以测量工作中测、绘、算三大基本功为主线,采用模块化的结构编写了《建筑工程测量》一书,作为土建类相关专业学生工程测量技术课程的教学用书。在本书的编写过程中,注重基于工作岗位课程内容的系统化设计,教学内容来自于职业行动领域里用到的基本知识、基本技能,突出教材的实用性,使学习内容与工作岗位实践有机的结合。为了利于学生能力的培养,本书力求以知识点、技能点、任务为载体,做到概念清晰、深入浅出、联系实际、突出实践,注重现代测绘新技术和新方法的应用。

学生知识的学习和能力的培养是一个综合的、时刻处于运动状态之中但结构相对固定的系统,本书力求使学生通过学习达到学以致用。要想学以致用,首先学生要学的有用,学生只有学会了用,将来在工作岗位上才能用,才能成为一个有用的人。在本书的编写过程中始终贯穿了这一理念。

本书由河北能源职业技术学院刘少春、于瑾佳担任主编,河北能源职业技术学院李琳、刘煜、吴珊珊,东北石油大学秦皇岛分校郭娅担任副主编,山西交通职业技术学院杨广云、太原城市职业技术学院袁源参与了本书的编写工作。具体编写分工为:于瑾佳编写模块一单元一、单元二、单元三;郭娅编写模块一单元四;刘少春编写模块二单元一、单元二、单元三、单元四,模块三单元二;杨广云编写模块二单元五、单元六;吴珊珊编写模块三单元一、单元三,模块四单元一;李琳编写模块四单元二;模块四单元四、单元五;袁源编写了模块四单元三;刘煜编写模块四单元六、单元七。另外,本书配套实训指导由刘少春编写。刘少春负责全书统稿工作。

由于编者水平有限,加之时间匆忙,书中难免存在缺点及疏漏之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

模块一 基本测量知识

单元一 测量基础	1
知识点一 测量的概念	1
知识点二 建筑工程测量在工程 中的主要任务	2
知识点三 地面点位的确定	3
知识点四 测量的基本问题	10
知识点五 测量的基本工作	10
知识点六 测量的基本原则	11
思考与练习	12

单元二 地形图的基本知识	13
知识点一 平面图、地图、地形图 和断面图	13
知识点二 比例尺和比例尺的精度	15
知识点三 地形图投影、分幅与 编号	17
知识点四 地形图的图内注记	22
思考与练习	37

单元三 三北方向与坐标正反算	38
知识点一 三北方向	38
知识点二 表示直线方向的方法	39
知识点三 坐标正反算	41
思考与练习	44

单元四 测量误差的基本知识	45
知识点一 观测误差	45
知识点二 衡量精度的标准	49
知识点三 误差传播定律	51
知识点四 同精度观测值的中误差	58
思考与练习	59

模块二 基本操作技能 (测量仪器操作及使用)

单元一 水准仪	61
技能点一 水准仪的基本结构及 功能	61
技能点二 水准仪的使用方法	67
技能点三 水准仪的检校	71
思考与练习	75

单元二 经纬仪	78	技能点六 全站仪坐标测量	133
技能点一 经纬仪的基本结构及 功能	78	技能点七 全站仪坐标放样	136
技能点二 经纬仪的安置方法	86	思考与练习	139
技能点三 经纬仪观测水平角	90	单元五 全球卫星定位系统(GPS)	140
技能点四 经纬仪观测竖直角	94	技能点一 GPS全球定位系统	140
技能点五 经纬仪的检校	98	技能点二 GPS定位原理	142
思考与练习	103	技能点三 GPS定位方法	144
单元三 钢尺与电磁波测距仪	106	思考与练习	149
技能点一 钢尺量距	106	单元六 激光仪器及其使用	150
技能点二 钢尺量距的精密 方法	109	技能点一 激光铅垂仪的认识与 使用	150
技能点三 光学视距法测距	111	技能点二 激光扫平仪的认识与 使用	151
技能点四 电磁波测距仪的基本 原理与结构	113	技能点三 激光投线仪的认识与 使用	152
技能点五 电磁波测距仪的操作 技术	115	思考与练习	153
技能点六 电磁波测距仪的参数 设置	116	模块三 综合操作技能	
技能点七 水平距离及高差测量 ...	119	单元一 水准测量	154
思考与练习	121	任务一 普通水准测量	154
单元四 全站仪	123	任务二 四等水准测量	162
技能点一 电子全站仪的基本结构	123	思考与练习	165
技能点二 电子全站仪的主要系统 单元结构及功能	124	单元二 全站仪导线测量	167
技能点三 电子全站仪的系统配置 及安置	125	任务一 导线外业施测步骤	168
技能点四 电子全站仪的参数设置...	126	任务二 导线内业计算平差	173
技能点五 全站仪基本元素测量 ...	128	任务三 导线测量错误的检查	180
		思考与练习	182

单元三 大比例地形图测绘及应用·····	185
任务一 地形图的测绘 ·····	185
任务二 地形图的基本应用 ·····	195
任务三 地形图在工程设计中的 应用 ·····	197
思考与练习·····	203

模块四 专业技能

单元一 基本测设·····	204
任务一 水平距离的测设 ·····	204
任务二 水平角的测设 ·····	206
任务三 高程的测设与传递 ·····	206
任务四 点的平面位置测设 ·····	207
任务五 已知水平线与坡度线的 测设 ·····	210
任务六 已知直线的测设 ·····	210
任务七 圆曲线测设 ·····	211
思考与练习·····	217

单元二 民用建筑施工测量·····	218
任务一 场地平整施工测量 ·····	218
任务二 施工控制测量 ·····	226
任务三 建筑物的定位 ·····	230
任务四 建筑物的测量 ·····	232
任务五 基础施工测量 ·····	234
任务六 主体结构施工测量 ·····	235
任务七 建筑施工测量方案的编制 ···	237
思考与练习·····	238

单元三 工业建筑施工测量·····	239
任务一 厂房控制网及柱列轴线 的测设 ·····	239
任务二 杯形基础施工测量 ·····	240
任务三 厂房构件安装测量 ·····	241
任务四 竣工总平面图的编绘 ·····	245
思考与练习·····	245

单元四 高层建筑施工测量·····	246
任务一 高层建筑施工测量概述 ···	246
任务二 高层建筑的轴线投测 ·····	247
任务三 高层建筑的高程传递 ·····	248
思考与练习·····	249

单元五 特殊建(构)筑物施工测量 ·····	250
任务一 钢结构建筑的施工测量 ···	250
任务二 烟囱(水塔)的施工测量 ···	252
思考与练习·····	254

单元六 建筑物的变形观测·····	255
任务一 建筑物的沉降观测 ·····	255
任务二 建筑物的倾斜观测 ·····	259
任务三 建筑物的裂缝观测 ·····	260
任务四 建筑物的水平位移观测 ···	261
思考与练习·····	262

单元七 管道与路桥施工测量·····	263
任务一 管道中线测量及纵横 断面测量 ·····	263

任务二	管道施工测量	268	任务七	桥涵施工测量	282
任务三	顶管施工测量	270	思考与练习.....		294
任务四	管道竣工测量	271			
任务五	道路中线测量	272	参考文献.....		295
任务六	道路施工测量	278			

模块一 基本测量知识

本模块共包括测量基础、地形图的基本知识、三北方向与坐标正反算和测量误差的基本知识4个单元，是学好建筑工程测量课程的基本知识，也是进行施工测量的理论基础。

单元一 测量基础

教学内容

本单元包括测量的概念、建筑工程测量在工程中的主要任务、地面点位的确定、测量的基本问题、测量的基本工作、测量的基本原则等内容。

教学目标

通过本单元的学习，学生可以了解本课程的学习内容、任务和学习方法，掌握测绘学的定义、测绘学的分支、测绘学的作用、测绘学的发展、大地坐标的定义、平面直角坐标的定义、高斯投影6度分带和3度分带的规定及带号计算、高程的定义等概念。本单元以测量基本知识为主，为学生学习本课程打好理论基础。

知识点一 测量的概念

测量学是一门很古老的科学，至少有四千年的历史。古埃及的尼罗河泛滥后，消灭了土地界限，洪水过后需要重新划定地界，这样，就需要测量学与几何学的理论与技能。在中国，早在春秋战国时期，已经制成了利用磁石的指南仪器“司南”，其是沿用了几千年的指南针与罗盘的雏形。大约是公元前2200年，夏禹治水时，就使用了“左准绳，右规矩”的测量工具和方法。司马迁在《史记》中写到大禹治水时有这样一段话：“(禹)陆行乘车，水行乘舟，泥行乘橇，山行乘攀，左准绳，右规矩，载四行，以开九州，通九道”，展现了禹带领测量队治水的生动画卷。“准”是古代用的水准器，这在《汉书》上就有记载。“绳”是一种测量距离、引画直线和定平用的工具，是最早的长度度量和定平工具之一。禹治水时，“左准绳”就是用“准”和“绳”来测量地势的高低，比较地势之间高低的差别。“规”是校正圆形的用具；“矩”是古代画方形的用具，也就是曲尺。

随着人类生产和科技的发展，测量学由早期的定义：研究地球的形状和大小，确定地面点坐标的学科，发展到当前的定义：研究三维空间中各种物体的形状、大小、位置、方向和其分布的学科。其内容包括测定和测设两部分。测定就是将测区内的地物和地貌测绘成图，供设计使用；测设就是将设计图上设计好的建筑物和构筑物测绘到实地，供施工使用。

测量学因研究的范围和对象不同，产生了许多分支学科。

一、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。研究地球表面上较大区域，甚至地球的形状、大小以及大范围控制的测量问题，必须考虑地球曲率的影响。

二、地形测量学

地形测量学研究地球表面上较小区域的地表形态，是研究将地球表面的起伏状态和其他信息测绘成图的理论、技术和方法的学科。其研究测绘小范围地形图，把地球表面看作平面而不考虑地球曲率的影响，研究内容主要是图根控制网的建立和地形图的测绘。其表示形式主要有数字、文字、图等。

三、摄影测量学

摄影测量学是研究摄影影像与被摄物体之间的内在几何与物理关系，进行分析、处理和解释，以确定被摄物体的形状、大小和空间位置，并判定其性质的一门学科。其利用摄影像片来测定物体的形状、大小和空间位置。其可分为航空摄影测量学、地面摄影测量学、水下摄影测量学、航天摄影测量学等分支学科。

四、海洋测绘学

海洋测绘学是以海洋水体和海底为对象，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、海洋环境等自然与社会信息的地理分布，以及编制各种海图的理论和技术的学科。其是以海洋和陆地水域为对象进行的测量工作。

五、工程测量学

工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中，在规划、勘测设计、施工和运营管理各个阶段进行的控制测量、大比例尺地形图测绘、地籍测绘、施工放样、设备安装、变形监测及分析与预报等的理论和技术的学科。其为满足工程建设的需要，结合各种工程建设的特点而进行测量工作。

六、矿山测量学

矿山测量学是研究如何保护矿产资源的合理开发、安全生产和矿区环境治理的学科。

另外，与测量学相关的还有制图学。制图学是研究利用所获得的测量成果资料，编绘和印制各种地图的学科。

随着 RS、GPS 和 GIS(简称“3S”技术)等新技术的不断发展，新的测量分支学科将不断涌现。

知识点二 建筑工程测量在工程中的主要任务

建筑工程测量是测量学的一个组成部分。其包括建筑工程在勘测设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作。其主要作用如下。

1. 测绘大比例尺地形图

测绘大比例尺地形图是把工程建设区域内的地貌和各种物体的几何形状及其空间位置，依照规定的符号和比例尺绘成地形图，并把建筑工程所需的数据用数字表示出来，为规划设计提供图纸和资料。

2. 施工放样和竣工测量

施工放样和竣工测量是把图纸上设计的建(构)筑物，按照设计要求在现场标定出来，作为施工依据；配合建筑施工，进行各种测量工作，保证施工质量；开展竣工测量，为工程验收、日后扩建和维修管理提供资料。

3. 建筑物变形观测

对于一些重要的建(构)筑物，在施工和运营期间，定期进行变形观测，以了解建(构)筑物的变形规律，监视其安全施工和运营。

由此可见，测量工作贯穿于工程建设的全过程，其工作质量直接关系到工程建设的速度和质量。因此，建筑工程专业的学生必须掌握必要的测量知识和技能。

知识点三 地面点位的确定

多数测量工作都是在地球表面进行的，且测量学的主要研究对象是地球的自然表面。因此，其必然会涉及地球的形状和大小问题。

地球的自然表面(图 1-1-1)有海洋、陆地，有高山、深沟，是一个十分复杂且不规则的表面，不便于用公式表达。在这样一个不规则的几何体表面既无法进行测量的计算、绘图，也无法确定点间的相对位置。但我们知道，在地球的自然表面，海洋面积约占其表面积的 71%，而陆地仅占约 29%。陆地表面虽然高低起伏，但最高的珠穆朗玛峰高出海面也不过 8 844.43 m；而最深的马里亚纳海沟也不过比海面低 11 022 m。这些最大的高低起伏，相对于地球的体积来说是极其微小的。因此，我们可以设想有一个静止的海洋面(图 1-1-2)，将它扩展延伸使其穿过陆地和岛屿，形成一个包围地球的封闭的海水面，我们将这个静止的海水面叫作水准面。由于海水受潮汐影响，时高时低，故水准面有无穷多个。我们取一个与平均海水面高度一致，穿过大陆和岛屿，包围地球的封闭水准面，来代替地球的自然表面，这个假想的水准面叫作大地水准面。大地水准面包围的球体叫作大地体，通常用大地体代表地球的形状和大小。

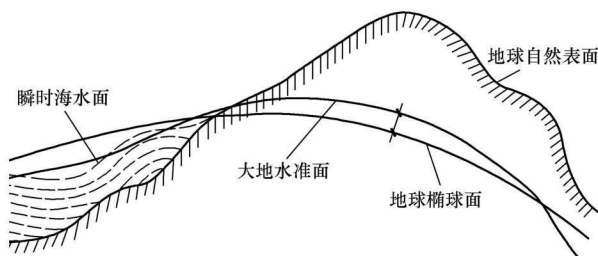


图 1-1-1 地球自然表面

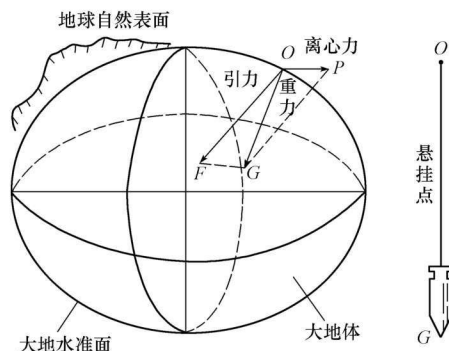


图 1-1-2 假想的静止海洋面

地球上的任一质点，均会受到地球引力和因地球自转产生的离心力的作用，地球引力与离心力的合力，就是大家所熟悉的重力，重力的方向也就是所说的铅垂线方向。水准面的物理特征就是一个重力的等位面，等位面处处与产生等位能的力的方向垂直，即水准面是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。

由于地球引力的大小与地球内部的质量有关，而地球内部的质量分布又不均匀，这引起地面上点的各个重力方向产生不规则变化，因此，大地水准面实际上是一个有微小起伏变化的不规则曲面。大地体也就是一个无法用数学公式表达的不规则的球体。在这样一个不规则的形体表面还是无法进行测量工作的量测和计算。

长期的测量和研究结果表明，大地体与一个以椭圆的短轴为旋转轴的旋转椭球的形状十分近似。我们用一个可以用数学式表示的且与大地体非常接近的旋转椭球体来代替大地体，将它作为测量工作中实际应用的地球形状。定位后的旋转椭球体称为参考椭球体，其表面就称为参考椭球面。对参考椭球面的数学式加入地球重力异常变化参数的改正，便可得到大地水准面的近似的数学式。这样，从严格的意义上讲，测绘工作是取参考椭球面为测量的基准面，但在实际测量工作中，仍取大地水准面作为测量的基准面。对测量成果要求不是十分严格时，则不必改正到参考椭球面上。另一方面，实际工作中又可以十分方便地得到水准面和铅垂线，所以，用大地水准面作为测量的基准面便大大简化了计算和操作。因此，水准面和铅垂线便成为测绘外业工作的基准面和基准线。

一个国家为了处理自己的大地测量成果，确定大地水准面与参考椭球面的关系，在适当地点选择一点 P ，如图 1-1-3 所示。设想把椭球体和大地体相切，切点 P 位于 P 点的铅垂线上，这时，椭球面上的 P 点的法线与该点的大地水准面的铅垂线相重合，并使椭球的短轴与地球自转轴平行。这项确定椭球体与大地体之间相互关系的工作，称为参考椭球体定位， P 点则称为大地原点。

椭球体是绕椭圆的短轴 NS 旋转而成的，如图 1-1-4 所示。也就是说包含旋转轴 NS 的平面与椭球面相截的线是一个椭圆，而垂直于旋转轴的平面与椭球面相截的线是一个圆。旋转椭球体的大小和形状，是由它的长半轴 a 和短半轴 b 所决定的，也可由任一长半轴和扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 来决定，参考椭球体的长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 α ，叫作参考椭球体元素。

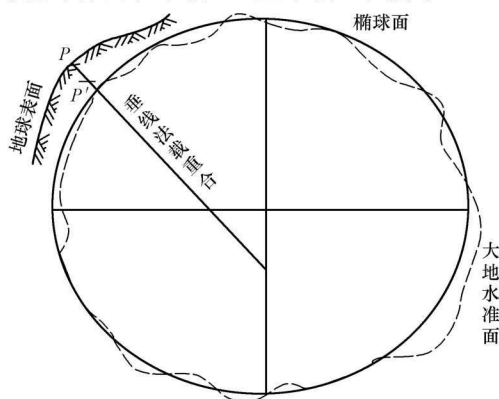


图 1-1-3 地球自然表面、大地水准面、椭球体面

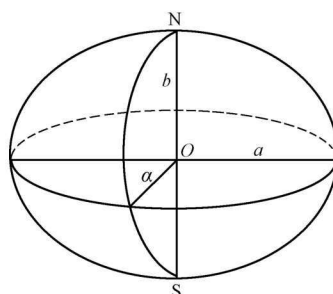


图 1-1-4 参考椭球形状和大小

世界各国的科学家，对地球的形状和大小进行了不断的测定和研究，推导和采用的地球椭球体元素很多。随着空间技术的不断发展和完善，各国之间观测资料的交流和综合应用的发展，测定的结果无疑日趋精确。表 1-1-1 列出了几个有代表性的测算结果。

表 1-1-1 各种参考椭球体元素表

地球椭球名称	长半轴 a/m	短半轴 b/m	扁率 α	年代和国家
德兰布尔	6 375 653	6 356 564	1 : 334	1800 法国
白塞尔	6 377 397	6 356 079	1 : 299.2	1841 德国
克拉克	6 378 249	6 356 515	1 : 293.5	1880 英国
海福特	6 378 388	6 356 912	1 : 297.0	1909 美国
克拉索夫斯基	6 378 245	6 356 863	1 : 298.3	1940 前苏联
我国 1980 年国家大地测量坐标系	6 378 140	6 356 755	1 : 298.257	1975 年国际第三推荐值

各国测绘科技工作者都希望推求适合于本国情况的参考椭球体元素。由于历史所形成的原因，我国采用的参考椭球几经变化，新中国成立后，采用的是克拉索夫斯基椭球体元素，由于克拉索夫斯基椭球体元素与 1975 年国际第三推荐值相比，其长半径相差 105 m，而我国 1978 年根据自己掌握的测量资料推算出的地球椭球为 $a=6\,378\,143\text{ m}$ ， $\alpha=1:298.257$ 。故我国决定自 1980 年起采用 1975 年国际第三推荐值作为参考椭球体元素，它更适合我国大地水准面的情况，从而使测量成果归算更加准确。因此，我国设立了新的国家大地原点，设在陕西省泾阳县永乐镇。由此建立了我国新的国家大地坐标系——通常称为 1980 年国家大地坐标系或 1980 年西安坐标系。

由于参考椭球体的扁率很小，在测区面积不大时可把地球近似地看作圆球，其半径为 $R=6\,371\text{ km}$ 。

由上述可知，地球表面除自然表面外，还有大地水准面、参考椭球体面和圆球面三种表述方法。

测量工作的基本任务是确定地面点的位置。地面上任一点都是位于三维空间的点，地面点的位置通常用坐标和高程表示。坐标是指该点在大地水准面或参考椭球面的位置或投影到水平面的位置；高程是指该点到大地水准面的铅垂距离。

一、地理坐标

用经纬度表示地面点位置的球面坐标称为地理坐标(图 1-1-5)。在测量工作中，通常是以参考椭球面及其法线为依据建立坐标系，称为大地坐标系。参考椭球面上点的大地坐标用大地经度(L)和大地纬度(B)表示，它是用大地测量方法测出地面点的有关数据推算求得。地形图上的经纬度一般都是用大地坐标表示的。

NS 为椭球自转的旋转轴，并通过椭球中心 O ，也称为地轴。N 表示北极，S 表示南极。通过地面点 P 和地轴的平面称为过 P 点的子午面，子午面与椭球面的交线称为子午圈，也称为子午线(或叫作经线)。

国际上公认：通过英国格林尼治天文台的子午面称为首子午面或起始子午面，首子午面与参考椭球面的交线称为首子午线或起始子午线，也称起始经线。

首子午面将地球分为东西两个半球。垂直于地轴的任一平面与参考椭球面的交线称为纬线

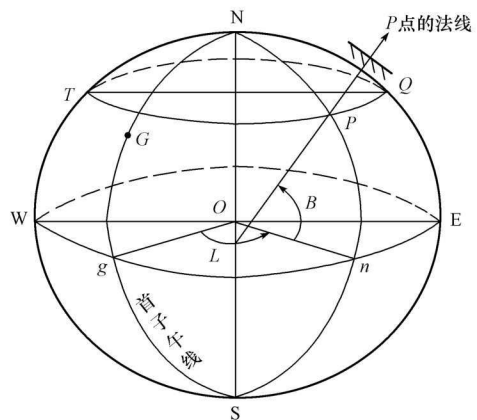


图 1-1-5 地理坐标

或纬圈，各纬圈相互平行，也称为平行圈。我们把通过参考椭球中心且垂直于地轴的平面称为赤道面；赤道面与参考椭球面的交线称为赤道。赤道面将地球分为南北两半球。

地理坐标就是以起始子午面和赤道面作为起算面的。

地面上某点的大地经度(L)，简称经度。通过某点 P (图 1-1-5)的子午面与首子午面之间的二面角 L ，叫作该点的大地经度。经度以首子午面起算，在首子午面以东的点的经度，从首子午面向东度量，称为东经；以西者向西度量，称为西经。其角值均从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。在同一子午线上的各点经度相同，任意两点的经度之差称为经差。我国位于东半球，各地的经度都是东经。

地面上某点的大地纬度(B)，简称纬度。过椭球面上的任一点 P (图 1-1-5)作一与椭球面相切的平面，过该点作垂直于此切平面的直线，称为该点的法线。某点的法线与赤道面的交角 B ，叫作该点的大地纬度。纬度是以赤道面起算，在赤道面以北的点的纬度，由赤道面向北度量，称为北纬；以南者向南度量，称为南纬，其角值均从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。同一纬线上所有点的纬度相同。我国疆域全部在赤道以北，各地的纬度都是北纬。

由此可见，大地经度和大地纬度是以参考椭球面作为基准面。用经度、纬度表示地面点 P (图 1-1-5)位置的坐标系是在球面上建立的，故称为球面坐标，也称为地理坐标。地面上一点的地理坐标(L 、 B)确定了该点在椭球面上的位置。

二、高斯-克吕格平面直角坐标系

地球在总体上是大地体表示的，为了能进行各种运算，又以参考椭球体来代替大地体。但是，椭球体面是一个不可展开的曲面，要将椭球面上的图形描绘在平面上，需要采用地图投影的方法。

我国规定在大地测量和地形测量中采用正形投影的方法。正形投影的特点是：椭球面上的图形转绘到平面上后，保持角度不变形，而且在一定范围内由一点出发的各方向线段的长度变形的比例相同，所以也称等角投影。这就是说，正形投影在一定的范围内可保持投影前、后两图形相似，这正是测图所要求的。我国目前采用的高斯投影是正形投影的一种，首先是由高斯提出这种投影方法，而后克吕格又加以补充完善，所以称为高斯-克吕格投影，简称高斯投影。

(一)高斯投影概述

高斯投影是一种等角横切椭圆柱分带投影。将椭球面上的图形转绘到平面的过程，是一种数学换算过程。为了使初学者对高斯投影有一个直观的印象，故借助与高斯投影有着相同和类似之处的横椭圆柱中心投影作简单介绍。

在图 1-1-6(a)中，设想用一个椭圆柱筒横套于参考椭球的外面，使之与任一子午线相切，这条切线就称为中央子午线或轴子午线，并使椭圆柱中心轴与赤道面重合且通过椭球中心。若以地心为投影中心，用数学方法将椭球面上中央子午线两侧一定经差范围内的点、线、图形投影到椭圆柱面上，并要求其投影必须满足下列三个条件：

- (1)投影是正形的，即投影前后角度不发生变形。
- (2)中央子午线投影后为直线，且为投影的对称轴。
- (3)中央子午线投影后长度不变。

上述三个条件中，第(1)个条件是所有正形投影的共同特点，第(2)、(3)两个条件则是高斯投影本身的特定条件。

将投影后的椭圆柱面沿过南北极的母线剪开并展成平面，这一狭长带的平面就是高斯投影平面，如图 1-1-6(b)所示。根据高斯投影的特点，可以得出椭球面上的主要线段在高斯投影平面上的以下几个特性：

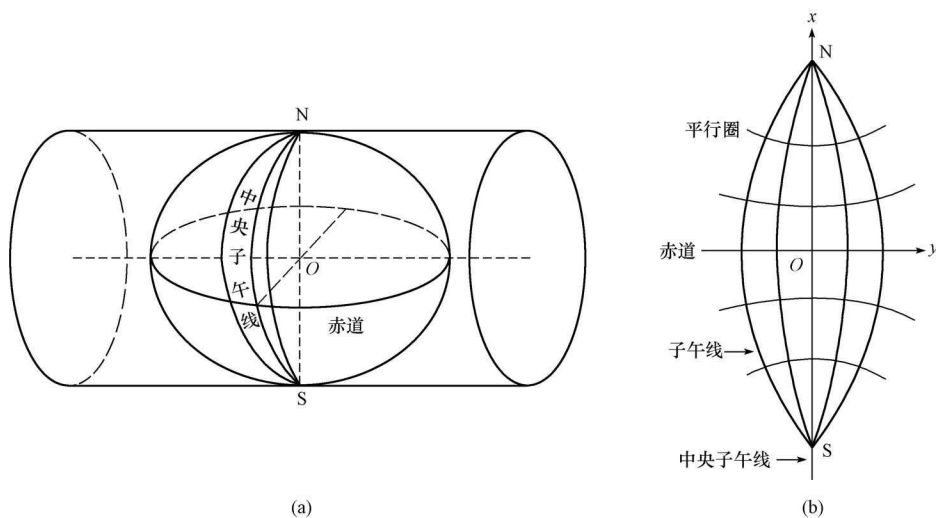


图 1-1-6 横椭圆柱中心投影

(a) 中央子午线(轴子午线); (b) 高斯投影平面

- (1) 中央子午线投影后为直线，并且长度没有变形。
- (2) 除中央子午线外，其余子午线的投影均为凹向中央子午线的曲线，并以中央子午线为对称轴。投影后长度发生变形，离中央子午线越远，长度变形越大。
- (3) 赤道圈投影后为直线，但长度有变形。
- (4) 除赤道外的其余纬圈，投影后为均凸向赤道的曲线，并以赤道为对称轴。
- (5) 所有长度变形的线段，其长度比均大于 1。
- (6) 经线与纬线投影后仍然保持正交。

由此可见，此种投影在长度和面积上都有变形，只有中央子午线是没有变形的线，自中央子午线向投影带边缘，变形逐渐增加，而且无论直线方向如何，其投影长度均大于球面长度。这是因为要将椭球面上的图形相似地(保持角度不变)表示到平面上，只有将椭球面上的距离拉长才能实现。所以，凡在椭球面上对称于中央子午线或赤道的两点，在高斯投影面上同样相应对称。

(二) 投影带划分

高斯投影虽然保持了等角条件，但其产生了长度变形，且距离中央子午线越远，变形越大。在中央子午线两侧经差 3° 范围内，其长度投影变形最大约为 $1/900$ 。变形过大，对于测图不利，也影响图的使用，甚至是不允许的。

为了限制长度变形，满足各种比例尺的测图精度要求，国际上统一将椭球面沿子午线以经差 6° 或 3° 划分成若干条带，限定高斯投影的范围。每一个投影范围称为一个投影带，并依次编号。如图 1-1-7 所示，从起始子午线开始，自西向东以经差每隔 6° 划分一带，将整个地球划分成 60 个投影带，叫作高斯 6° 投影带(简称 6° 带)。 6° 带各带的中央子午线经度分别为 3° 、 9° 、 15° ... 357° ，中央子午线的经度 L_0 与投影带带号 N_6 的关系式为

$$L_0 = N_6 \times 6^\circ - 3^\circ$$

每一投影带两侧边缘的子午线叫作分带子午线， 6° 带的分带子午线的经度分别为 0° 、 6° 、 12°

为了满足大比例尺测图和某些工程建设需要，常以经差 3° 分带。它是从东经 1.5° 的子午线起，自西向东按经差每隔 3° 划分为一个投影带。这样，整个地球被划分为 120 带，叫作高斯 3°

投影带(简称 3°带),如图 1-1-7 所示。显然,3°带各带的中央子午线经度分别为 3°、6°、9°…360°。即 3°带的带号 N3 与中央子午线经度 L_0 的关系式为

$$L_0 = N3 \times 3^\circ$$

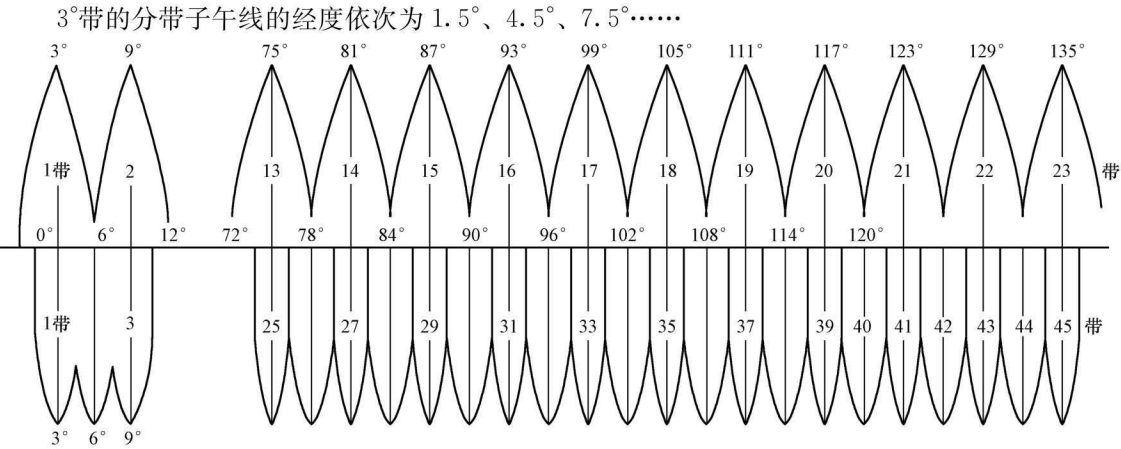


图 1-1-7 6°和 3°投影带的关系

除上述 6°带和 3°带外,有时根据工程需要,要求长度变形更小些,则可采用任意带。任意带的中央子午线一般选在测区中心的子午线,带的宽度为 1.5°。

(三)高斯-克吕格平面直角坐标系建立

采用高斯投影将椭球面上的点、线、图形转换到投影平面上,属于大地控制测量的范畴。我国大地控制测量为地形测量所提供的各级控制点的平面坐标,都已是高斯投影平面上的坐标。

根据高斯投影的原理,参考椭球面上的点均可投影到高斯平面上,为了标明投影点在高斯投影面的位置,可用一个直角坐标系来表示。在高斯投影中,每一个投影带的中央子午线投影和赤道的投影均为正交直线,故可建立直角坐标系。我国规定以每个投影带的中央子午线的投影为坐标纵轴(x 轴),赤道的投影为坐标横轴(y 轴),其交点为坐标原点 O 。 x 轴向北为正,向南为负; y 轴向东为正,向西为负。这就是全国统一的高斯-克吕格平面直角坐标系,也称为自然坐标。

由于我国幅员辽阔,东西横跨 11 个(13~23 带) 6°带,21 个(25~45 带) 3°带,而各自又独立构成直角坐标系。我国地理位置位于北半球,故所有点的纵坐标值均为正值,而横坐标值则有正有负。为了便于计算,避免 y 值出现负值,规定将每一投影带的纵坐标轴向西平移 500 km,即所有点的横坐标值均加上 500 km,如图 1-1-8 所示。为了不引起各带内点位置的混淆,明确点的具体位置(点所处的投影带),规定在 y 坐标的前面再冠以该点所在投影带的带号。我们把将加上 500 km 并冠以带号的坐标值叫作通用坐标值。

如图 1-1-8 所示, P_1 、 P_2 点均位于第 20 带,其自然坐标 $y'_{P_1} = +189\ 672.8\text{ m}$, $y'_{P_2} = -105\ 374.6\text{ m}$,则其通用坐标 $y_{P_1} = 20\ 689\ 672.8\text{ m}$, $y_{P_2} = 20\ 394\ 625.4\text{ m}$ 。

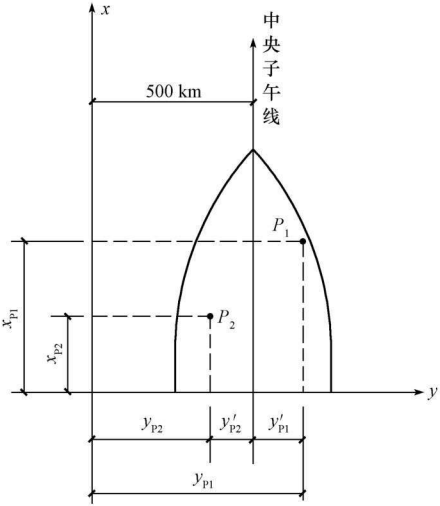


图 1-1-8 高斯平面直角坐标系

(四)独立平面直角坐标系

当测区的范围较小时,测区内没有国家统一的坐标系,测图只是作为一个独立的工程或其他方面使用,可将该测区的大地水准面看成水平面,在该面上建立独立的平面直角坐标系[图 1-1-9(b)]。通常,将独立直角坐标系的 x 轴选在测区西边,将 y 轴选在测区南边,坐标原点选在独立测区的西南角点上,以使测区内任意点的坐标均为正值。规定 x 轴向北为正, y 轴向东为正,构成独立平面直角坐标系。

测量工作中所采用的平面直角坐标系与数学中所介绍的相似,只是坐标轴互易,而且象限划分相反[图 1-1-9(a)]。

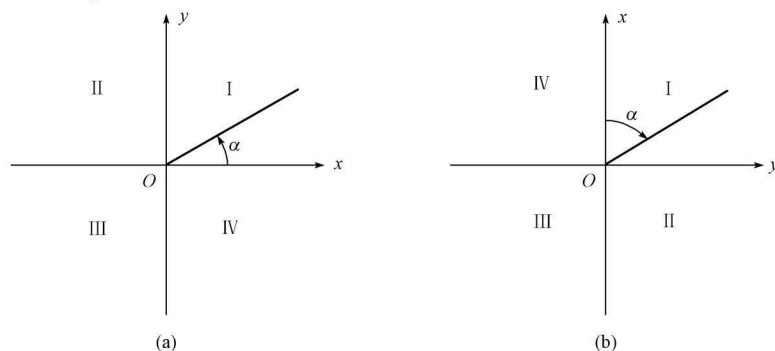


图 1-1-9 数学坐标系与测量工作坐标系

(a)数学坐标系;(b)测量工作坐标系

三、地面点的高程

地面点的高程是指地面点至大地水准面的铅垂距离,通常称为绝对高程,简称高程,用 H 表示,如图 1-1-10 所示。 H_A 、 H_B 分别为 A 点和 B 点的高程。

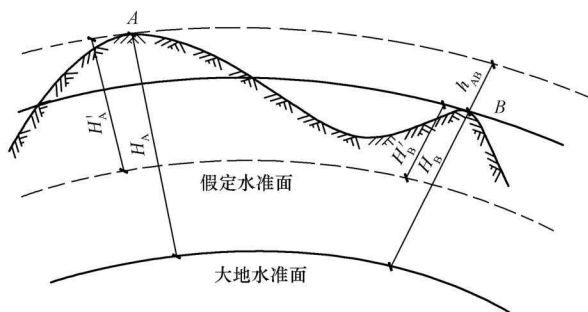


图 1-1-10 地面点的高程和高差

我国的高程系统是以青岛验潮站历年记录的黄海平均海水面为基准,由于平均海水面不便于随时联测使用,故在青岛大港 1 号码头西端青岛观象台的验潮站建立了“中华人民共和国水准原点”作为推算全国高程的依据。1956 年,验潮站根据连续 7 年(1950—1956 年)的潮汐水位观测资料,第一次确定了黄海平均海水面的位置,据此测得水准原点高程为 72.289 m。按这个原点高程推算的高程称为“1956 年黄海高程系”。以后又根据连续 28 年(1952—1979 年)的潮汐水位观测资料,进一步精确地确定了黄海平均海水面的位置,并重新测得水准原点高程为 72.260 4 m,采用这一原点高程值推算的各点高程称为“1985 年国家高程基准”。目前,控制点高程仍可采用两种高程系统的某一种,使用控制点成果时一定注意高程系统的统一。