



“十三五”应用型规划教材

GONGCHENG CELIANG

工程测量

主 编 陶成云 王志强 孟显成

副主编 唐福永 高国权



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

应用型规划教材

工程测量

主 编 陶成云 王志强 孟显成

副主编 唐福永 高国权



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为高等教育“十三五”应用型规划教材，全书共分12个项目，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、地形图的测绘、地形图的应用、施工测量的基本方法、道路工程测量、建筑施工测量、管道工程测量等。每个项目都有与知识点相对应的引例和应用案例，具有较强的实用性和针对性。

本书侧重工程测量的基本原理与技术方法的理解和掌握，强调典型工程案例分析。为了满足教学的需要，便于学生掌握和理解课程内容，每一项目均提供了学习指导和练习题目。

本书可作为高等院校建筑工程技术、道路桥梁工程技术、工程监理、工程造价和建筑测绘等土建类专业的教材，也可作为相关工程技术人员培训、自学的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 陶成云, 王志强, 孟显成主编. —北京:

人民交通出版社股份有限公司, 2017.8

ISBN 978-7-114-14121-8

I. ①工… II. ①陶… ②王… ③孟… III. ①工程测量-高等学校-教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第210920号

Gongcheng Celiang

书 名: 工程测量

著 作 者: 陶成云 王志强 孟显成

责任编辑: 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市华审彩色印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 15.5

字 数: 387千

版 次: 2017年8月第1版

印 次: 2017年8月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14121-8

定 价: 35.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

测量学是一门古老的科学。随着科学技术的发展和社会的进步,工程测量学逐渐从普通的测量学中分离并成为一门相对独立的学科,其目的主要是为各种工程建设进行测量和测设工作,并提供空间位置信息。由于不同领域的工程各有其特点,因此工程测量的方法也就各有千秋。

本书是高等教育“十三五”应用型规划教材之一,以测量的基本理论和概念为基础,以基本技能和技术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,加强了实践环节的教学内容。

从工程的角度审视,常见的工程有建筑工程,公路、城市道路与铁路工程,水利工程,管道工程等。因此,在同一本教材中同时介绍各类典型工程的测量方法,对于学生面向社会,应对职业变化具有一定的实用性和灵活性。

从应用的角度看,工程测量是一门服务性技术。除了其本身的理论与技术体系外,主要面向广泛的工程应用,为工程建设服务。因此,学生必须具备扎实的测量理论基础,同时还应具备一定的工程知识背景。有鉴于此,本教材项目一至项目六主要介绍测量学的基本知识,包括水准测量、角度测量和距离测量的基本原理和方法,以及测量误差的基础知识,并在此基础上介绍了控制测量的基本理论与方法。项目七至项目十二介绍几个典型领域的工程测量应用。教师可以根据学生的专业特点选择几个应用领域的工程测量内容进行讲授,旨在扩大学生视野,同时培养学生举一反三的能力。

本书由哈尔滨学院陶成云、内蒙古大学交通学院王志强、内蒙古交通职业技术学院孟显成担任主编,黄淮学院唐福永、中招国诚项目管理有限公司高国权担任副主编。全书由陶成云、王志强、孟显成统编定稿,具体编写分工如下:项目一、项目三、项目六、项目十二由陶成云编写;项目七、项目十由王志强编写;项目二、项目五、项目八由孟显成编写;项目四由唐福永编写;项目九、项目十一由高国权编写。

本书可作为高等院校建筑工程技术、道路桥梁工程技术、工程监理、工程造价和建筑测绘等土建类专业的教材,也可作为相关工程技术人员培训、自学的参考用书。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2017年8月

目 录

项目一 绪论	1
任务一 工程测量的任务	1
任务二 测量工作本质	3
任务三 地面点位的确定	6
项目二 水准测量	14
任务一 水准测量原理及工具	14
任务二 普通水准测量	24
任务三 水准仪的检校	31
任务四 水准测量的误差	37
任务五 自动安平水准仪	39
任务六 电子水准仪与精密水准仪	40
项目三 角度测量	44
任务一 角度测量的基本概念	44
任务二 角度测量	51
任务三 竖直角观测的方法	56
任务四 光学经纬仪的检验与校正	62
任务五 角度测量的误差来源及注意事项	67
任务六 电子经纬仪的构造及使用	68
项目四 距离测量与直线定向	72
任务一 钢尺量距	72
任务二 直线定向及方位角测量	82
任务三 视距测量	87
任务四 全站仪的使用	89
任务五 电磁波测距简介	99
任务六 GPS 定位原理及 RTK 简介	100
项目五 测量误差的基本知识	110
任务一 测量误差概述	110
任务二 评定误差精度的标准	112
项目六 控制测量	117
任务一 控制测量概述	117
任务二 导线测量	120
任务三 导线测量的内业计算	122
任务四 高程控制测量	132

项目七 地形图的测绘	138
任务一 地形图的基本知识	138
任务二 大比例尺地形图的测绘	147
项目八 地形图的应用	153
任务一 地形图的分幅和编号	153
任务二 地形图应用的基本知识	156
项目九 施工测量的基本方法	161
任务一 施工放样的基本方法	161
任务二 点的平面位置的测设方法	167
项目十 道路工程测量	173
任务一 公路路线测量概述	173
任务二 公路工程施工测量的依据	176
任务三 公路施工测量仪器	182
任务四 导线点的复测与加密	183
任务五 水准点的复测和加密	186
任务六 中线定线测量	189
任务七 交点和转点的测设	191
任务八 缓和曲线的测设	196
任务九 困难地段的曲线测设	201
任务十 道路纵断面测量	203
任务十一 竖曲线的计算	206
项目十一 建筑施工测量	209
任务一 施工测量概述	209
任务二 建筑施工场地的控制测量	210
任务三 多层民用建筑施工测量	215
任务四 高层建筑施工测量	222
任务五 工业建筑施工测量	225
项目十二 管道工程测量	235
任务一 管道工程概述	235
任务二 管道工程的施工测量	236
参考文献	242

项目一 绪 论



学习目标

掌握测量的基本概念、任务与作用，点位确定方法。理解水准面、大地水准面、地理坐标系（大地、天文）、独立平面直角坐标系、高斯平面直角坐标系、绝对高程、相对高程和高差的概念。



重点难点

工程测量坐标系的运用与点位确定方法。

- ◆ 重点：测量平面直角坐标系与数学平面直角坐标系的异同；测量工作的组织原则和程序。
- ◆ 难点：大地水准面、高斯平面直角坐标系的概念；地面上点位的确定方法。

任务一 工程测量的任务



知识精讲

一、工程测量的概念

工程测量是测量学的一个分支，是研究工程建设在勘测、规划、设计施工、运行管理各阶段的测量工作理论、技术和方法。

当代人对工程测量学的定义是：工程测量技术指在工程建设的勘测设计、施工和管理阶段中运用的各种测量理论、方法和技术的总称。传统工程测量技术的服务领域包括建筑、水利、交通、矿山等部门，其基本内容有测图和放样两部分。现代工程测量已经远远突破了仅仅为工程建设服务的概念，它不仅涉及工程的静态、动态几何与物理量测定，而且包括对测量结果的分析，甚至对物体发展变化趋势的预报。苏黎世工业大学马西斯教授指出：“一切不属于地球测量，不属于国家地图集的陆地测量和不属于法定测量的应用测量都属于工程测量”。我国近代以来，工程测量可追溯至 1932 年，同济大学工学院高等测量系正式成立，成为当时国内大学中唯一的测量系，并成为我国民用测绘高等教育事业的发祥地。

随着传统测绘技术向数字化测绘技术转化,我国工程测量的发展可以概括为“四化”和“十六字”,所谓“四化”是:工程测量内外业作业的一体化,数据获取及其处理的自动化,测量过程控制和系统行为的智能化,测量成果和产品的数字化。“十六字”是:连续、动态、遥测、实时、精确、可靠、快速、简便。

二、测量学的任务

测量学是研究地球的形状、大小和确定地球表面点位的一门学科。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、空间位置关系以及其他信息。测量学的主要任务有三个方面:一是研究确定地球的形状和大小,为地球科学提供必要的数据和资料;二是将地球表面的地物、地貌测绘成图;三是将图纸上的设计成果测设到现场。

从测量学的角度讲,其任务包括测绘和测设两个方面。测绘就是使用各种测量仪器和工具,运用各种测量方法测定地球表面的地物和地貌的位置,按一定的比例尺缩绘成图。广义上讲测绘的过程是从实物到图的过程。测设是将图纸上设计好的建筑物的平面位置和高程,按设计要求标定在地面上,作为施工依据,又称施工放样。

三、测量学的分类

测量学是一门综合性的学科,根据其研究对象和工作任务的不同可分为大地测量学、地形测量学、摄影测量与遥感学、工程测量学以及地图制图学等学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究和确定地球形状、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。其基本任务是建立国家大地控制网,测定地球的形状、大小和重力场,为地形测图和各种工程测量提供基础起算数据;为空间科学、军事科学、研究地壳变形、地震预报等提供重要资料。按照测量手段的不同,大地测量学又分为常规大地测量学、卫星大地测量学及物理大地测量学。

2. 地形测量学

地形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测图和数字化测图。

3. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学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。其基本任务是通过对摄影相片或遥感图像进行处理、量测、解译,以测定物体的形状、大小和位置进而制作成图。根据获得影像的方式及遥感距离的不同,该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。

4. 工程测量学

工程测量学是研究各种工程在规划设计、施工建设和运营管理各阶段所进行的各种测量工作的学科。工程测量是测绘科学与技术 in 国民经济和国防建设中的直接应用。

5. 地图制图学

地图制图学是利用测量所得的资料,研究如何编绘成图以及地图制作的理论、方法和应用等方面的学科。

测量学各分支学科之间互相渗透、相互补充、相辅相成。本课程主要讲述工程测量学的部分内容,主要介绍建筑工程、道路工程中常用的测量仪器的构造与使用方法,小区域大比例尺地形图的测绘及应用,建筑物和道路工程的施工测量以及管道工程测量新技术在这些方面的应用。



课堂讨论

工程测量的主要任务是什么?



素养拓展

我国是世界文明古国,由于生活和生产的需要,测量工作开始得很早,在测量方面也取得了辉煌的成就。现举出以下几例。

(1) 长沙马王堆三号汉墓出土的西汉时期长沙国地图——世界上发现最早的军用地图。

(2) 北宋时沈括的《梦溪笔谈》中记载了磁偏角的发现。

(3) 清朝康熙年间,1718 年完成了世界上最早的地形图之一《皇舆全图》。在清朝康熙、雍正、乾隆三位皇帝的先后主持下,自康熙十七年至乾隆二十五年,即 1708 年至 1760 年的五十余年间,是中国大地测量工作取得辉煌成就,绘制全国地图、省区地图和各项专门地图最多的兴盛时期,亦是世界测绘史上首创中外人士合作先例,在一千余万平方公里的中国大地上完成了大规模三角测量的宏伟业绩。



实训基地

查阅上海金茂大厦测量方案。

任务二 测量工作本质



知识精讲

一、工程测量研究的对象

工程测量研究的最基本对象是空间上的点。测量工作的主要目的是确定点的坐标和高程。只要将确定点的要素弄清楚,测量工作的基本要点就抓住了。空间点的投影如图 1-1 所示,规定空间点在 XOY 坐标平面的投影的坐标为 $a(x,y)$,其极坐标为 (θ,r) ,点的高程

用 Z 坐标表示，在测量学中用高程来标定。如图 1-2 所示为点在测量坐标系中的平面直角坐标。

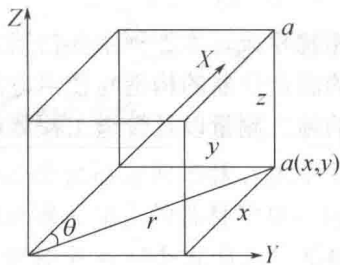


图 1-1 点的投影

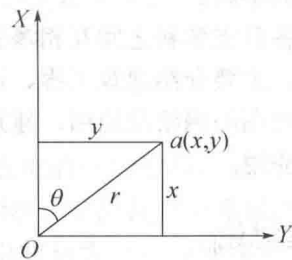


图 1-2 点的平面直角坐标

二、工程测量的基本工作

1. 测量的基本工作

控制测量、碎部测量以及施工放样的实质都是为了确定点的位置，而点位的确定都离不开距离、角度和高差这三个基本观测量。因此，测量的三项基本工作是：距离测量、角度测量、高差测量；确定地面点位置的三个基本要素为距离、角度和高程。

2. 测量的基本原则、方法和作用

(1) 基本原则：

- ① 在测量布局上，“由整体到局部”；
- ② 在测量精度上，“由高级到低级”；
- ③ 在测量程序上，“先控制后碎部”。

(2) 方法：在测量过程中，“随时检查，杜绝错误”。

(3) 作用：防止错、漏的发生，以免影响后续工作。

3. 从事测量工作的要求

(1) 测量成果质量的优劣，直接影响到工程质量，无论是测量误差超限或产生错误，都会使工程质量降低或造成经济损失。因此，从事测量的工作人员，应具备扎实的测量技能和高度的责任心，对工作精益求精，严格按照设计和规范要求的精度、方法进行测量工作。

(2) 严格检核制度，无论是内业或外业，对测量成果都必须进行必要的检核，防止错误的发生。

(3) 测量记录要清楚，注意保持原始记录和计算结果的原始性，实事求是，尊重事实，不合格时，应分析原因，进行重测。

(4) 测量工作者要爱护测量仪器和工具，轻拿轻放，避免震动，要掌握正确的操作方法。

三、测量常用的度量单位

1. 角度单位：度、分、秒

1 个圆周角 = 360° ； $1^\circ = 60'$ ； $1' = 60''$ 。

2. 弧度

等于半径的弧长所对应的圆心角，称为 1 弧度角。以一个弧度角作为角度的单位称为弧度制。

$$\rho = 180/\pi$$

$$\rho = 180/\pi = 57.2957795^\circ$$

$$\rho' = 180 \times 60/\pi = 3437'.74677 \approx 3488'$$

$$\rho'' = 180 \times 60 \times 60/\pi = 206264.806'' \approx 206265''$$

四、测量坐标与数学坐标的关系

测量坐标与数学坐标系如图 1-3、图 1-4 所示。

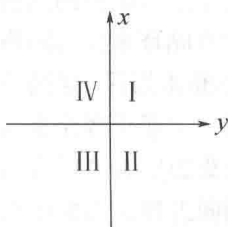


图 1-3 测量坐标系

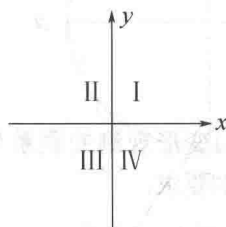


图 1-4 数学坐标系

1. 区别

(1) 两类坐标系的轴正好相反

数学中的平面直角坐标以纵轴为 y 轴，自原点向上为正，向下为负；以横轴为 x 轴，自原点向右为正，向左为负。测量上的平面直角坐标系以南北方向的纵轴为 x 轴，自原点向北为正，向南为负；以东西方向的横轴为 y 轴，自原点向东为正，向西为负。

(2) 测量与数学上关于坐标象限的规定也有所不同，二者均以北东为第一象限，但数学上的四个象限为逆时针递增编号，而测量上则为顺时针递增编号。

2. 联系

由于测量工作中以极坐标表示点位时，其角度值是以北方向为准按顺时针方向计算的，而数学中则是以横轴为准按逆时针方向计算的，因此把 x 轴与 y 轴纵横互换后，数学中的全部三角公式都同样能在测量中直接应用，不需做任何变更。

五、测量工作在工程建设中的主要任务

一般的工程建设基本上可以分为三个阶段，即规划设计阶段、施工阶段与经营管理阶段。

第一，工程建设规划设计阶段的测量工作。在本阶段中，主要是提供各种比例尺的地形图与地形数字资料，另外还要为工程地质勘探、水文地质勘探及水文测验进行测量。对重要的工程或地质条件不良的地区进行建设，则还要对地层的稳定性进行观测。

第二，工程建设施工阶段的测量工作。每项工程建设的设计经过讨论审查和批准之后即进入施工阶段，这时首先要将所设计的建（构）筑物，按施工要求在现场标定出来，作为实地建设的依据。为此，根据工程现场的地形、工程的性质，建立不同的施工控制网，作为定线放样的基础，然后采用不同的放样方法，逐一将设计图纸转化为地上实物。

第三，工程建设经营管理阶段的测量工作。在工程建筑物运营期间，为了监视其安全和技术状况，了解其设计是否合理，验证设计理论是否正确，需定期地对建筑物、构筑物进行位移、沉陷、倾斜以及摆动进行观测，并及时反馈测量数据、图表等，具体表现为：①测绘大比例尺地形图；②施工放样和竣工测量；③变形观测。

由此可见，工程测量学就是研究各项工程建设在勘测、设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作的学科，它是直接为工程建设服务的，而且在土木工程中具有极其重要的作用。



课堂讨论

1. 施工测量与变形观测的联系与区别。
2. 测量的基本要求。



素养拓展

为什么测量坐标系与数学坐标系有所区别？



实训基地

熟悉测量坐标系。

任务三 地面点位的确定



知识精讲

测量工作是在地球自然表面上进行的，而地球表面是一个极不规则的封闭曲面，为了确定地面点的空间位置，首先要选择测量的基准面和基准线。

地球表面最高的珠穆朗玛峰高达 8 844.43m，最低的太平洋西部马里亚纳海沟深达 11 095m，两者相比，起伏变化很大，高低相差约 20km，但与平均半径约为 6371km 的地球相比，这样的高低起伏仍然可以忽略不计。此外，地球表面上海洋面积约占 71%，而陆地面积约占 29%，所以地球总的形状可以认为是被海水包围的球体。

一、测量学的基准线和基准面

1. 铅垂线

离心力和地心引力的合力称为重力，重力的作用线即为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。

2. 水准面

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（无数个）。在无数个水准面中，其中与平均海水面相吻合的称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面，如图 1-5 所示。

我们可以设想有一个静止的海洋面向陆地无限延伸，从而形成一个封闭的曲面，这个封闭的曲面（静止的海洋面）称为水准面。海水有潮汐涨落、时高时低，水准面就位于不同的高度，所以水准面有无数个。另外，由于潮汐波浪关系，完全处于静止平衡状态的海水面是难以求得的。因此，人们在海岸边设立验潮站，用验潮站所测得的平均海洋面来代替静止的海洋面，这个唯一的平均海洋面称为大地水准面，它所包围的形体称为大地体，大地体代表了地球的形状和大小。

当液体表面处于静止状态时，液面必然与铅垂线（重力的作用线）垂直，否则液体会流动。因此，水准面的特点是曲面上各点均与铅垂线垂直。大地水准面具有同样的特点。大地水准面与铅垂线是测量的基准面和基准线。

（1）大地水准面的特性：

- ① 不规则性（但处处与铅垂线垂直）；
- ② 唯一性。

（2）大地水准面的作用：一是点位的投影面；二是高程的起算面。

3. 总椭球体

由于地球的内部质量分布不均匀，引起各处铅垂线方向不规则的变化，所以大地水准面仍然是一个有微小起伏的不规则曲面，在这个不规则的曲面上无法进行测量计算。为了能在地球表面上进行各种测量计算，必须要寻找一个与大地水准面较吻合，而且能用数学公式表达的规则曲面来代替大地水准面，作为测量计算的基准面。经过长期研究发现，这个面是数学中的一个椭球面，非常接近大地水准面，并可用数学表达式表示的规则几何形体来表示地球总的形状。这个数学形体就是由一个椭圆，绕其短轴旋转所形成的椭球体。

长半轴 $a \approx 6378140\text{m}$

短半轴 $b \approx 6356755\text{m}$

扁率 $f = \frac{a-b}{a} \approx \frac{1}{298.257}$

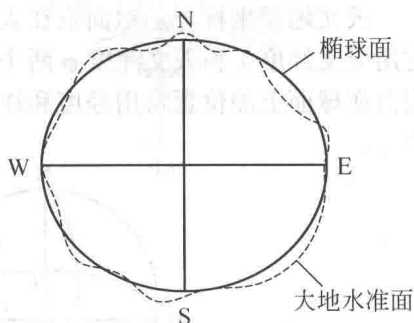


图 1-5 大地水准面与椭球体

我国 1980 年宣布, 在陕西省泾阳县永乐镇新设立大地坐标原点, 并采用 1975 年国际大地测量协会推荐的大地参考椭球体, 通过椭球定位, 建立了中国自己的大地坐标系, 称为 1980 国家大地坐标系。

由于地球的扁率很小, 所以在局部区域测量工作中, 可以把地球近似看作一个圆球来处理, 其半径为: $R=6371\text{km}$ 。

二、确定地面点的坐标系统

1. 天文地理坐标

天文地理坐标表示地面点在大地水准面上的位置, 它的基准是铅垂线 and 大地水准面, 它用天文经度 λ 和天文纬度 φ 两个参数来表示地面点在球面上的位置, 称为地理坐标。地面点在球面上的位置常用经度和纬度来表示, 如图 1-6 所示。

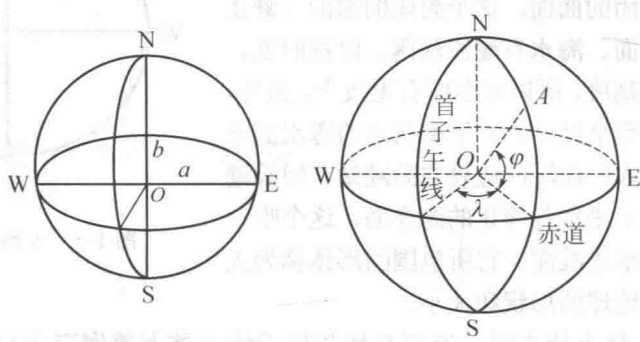


图 1-6 地理坐标

2. 平面直角坐标

(1) 高斯平面直角坐标

为了方便工程的规划、设计与施工, 我们需要把测区投影到平面上来, 使测量计算和绘图更加方便。而地理坐标是球面坐标, 当测区范围较大时, 要建平面坐标系就不能忽略地球曲率的影响。把地球上的点位换算到平面上, 称为地图投影。地图投影的方法有很多, 目前我国采用的是高斯-克吕格投影 (又称高斯正形投影), 简称高斯投影。它是由德国数学家高斯提出的, 由克吕格改进的一种分带投影方法。它成功解决了将椭球面转换为平面的问题。

设想用一横圆柱体套在地球外面, 使圆柱体的轴心通过地球的中心, 把地球某一条子午线 (称为中央子午线) 与圆柱体相切, 如图 1-7 所示。将该子午线两侧的球面上的图形按一定的数字关系投影到圆柱面上, 然后将圆柱面沿通过南北极的线切开, 展成平面就得到投影到平面上的相应图形。这种投影具有下列性质:

- ① 中央子午线 POP_1 投影后长度无变形, 其余经线的投影为凹向中央子午线的对称曲线, 如图 1-7 (a) 所示。
- ② 赤道的投影也为一直线, 其余纬线的投影为凸向赤道的对称曲线, 如图 1-7 (b) 所示。
- ③ 中央子午线和赤道投影后为互相垂直的直线, 成为其他经纬线投影的对称轴。而其他经纬线投影后仍保持互相垂直的关系, 即投影前后角度无变形, 故称为正投影。

a. 定义：从首子午线开始，自西向东每 6° 划分一带，将该带展开，近似看成平面。或是从东经 $1^\circ 30'$ 子午线开始，自西向东每 3° 划分一带，将该带展开，近似看成平面，如图 1-8 所示，位于每带中央的子午线为中央子午线。

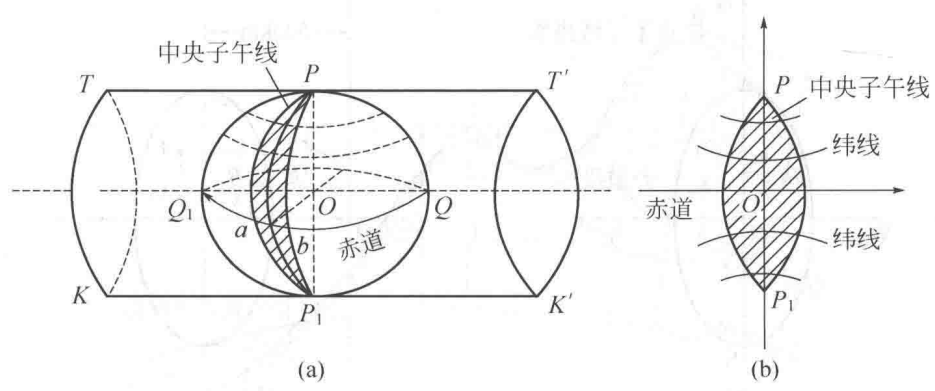


图 1-7 高斯平面投影原理

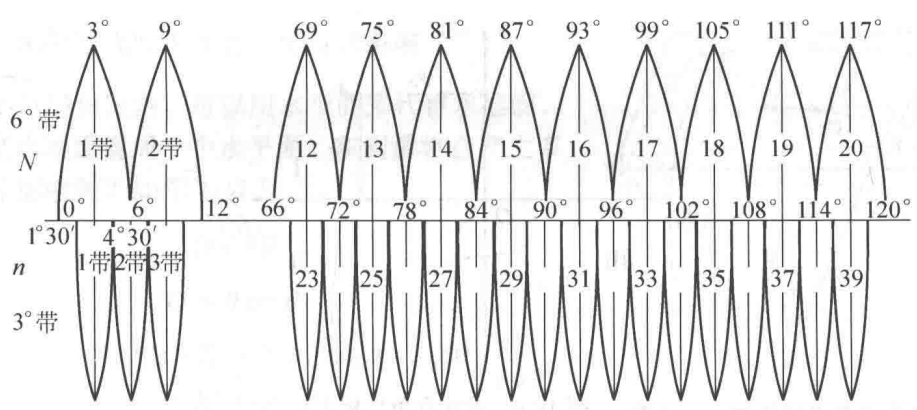


图 1-8 投影带及 6° (3°) 带

b. 中央子午线经度及带号：

- 对于 6° 带，第 N 带的中央子午线经度 $L_0=6N-3^\circ$ ， N 为带的编号；
- 对于 3° 带，第 N 带的中央子午线经度 $L_0=3N$ 。
- 坐标 (X,Y) ： Y 坐标值加上 500km，再冠以带号。

我国位于北半球， x 坐标值均为正， y 坐标值则有正有负。为了避免横坐标出现负值。所以将每带的坐标原点向西移动 500km，这样每一带中所有各点横坐标值均能得到正值。如图 1-9 所示，设 $y_a = +37\,680.1\text{m}$ ， $y_b = -34\,240.5\text{m}$ ，移动原点则 $y_a = 500\,000 + 37\,680.1 = 537\,680.1\text{m}$ ， $y_b = 500\,000 - 34\,240.5 = 465\,759.5\text{m}$ ，为了表明一个点位于哪一带内，所以在横坐标前面加上带号，例如 A 点位于中央子午线 117° 的 20 带内， $y_a = 20\,537\,680.1\text{m}$ 。

(2) 独立平面直角坐标系

当测区面积较小时，可不考虑地球曲率的影响。用平面直角坐标表示其投影位置。坐

标系的原点选在测区西南角，第一象限是测区内任意点的坐标均为正值。规定 x 轴向北为正向， y 轴向东为正向，坐标象限按顺时针方向编号，如图 1-10 所示。

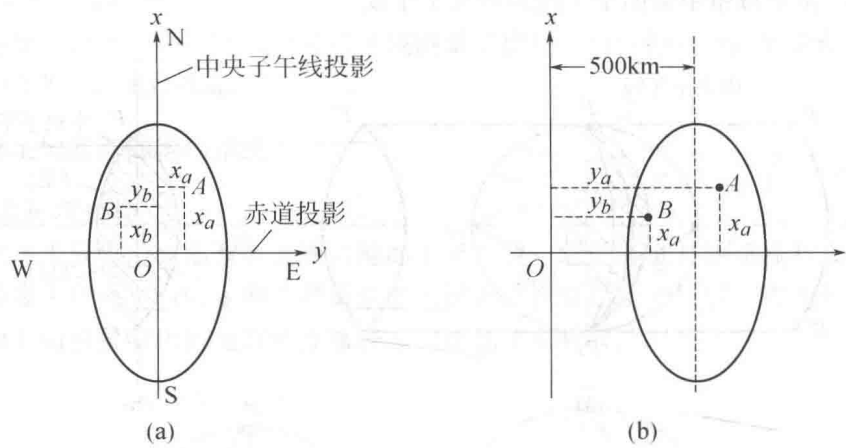


图 1-9 高斯平面直角坐标

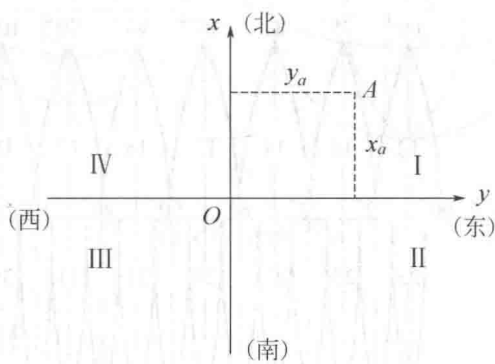


图 1-10 独立直角坐标

3. 高程坐标系

我国于 1956 年规定以黄海（青岛）的多年平均海平面作为统一基面，为中国第一个国家高程系统，从而结束了过去高程系统繁杂的局面。但由于计算这个基面所依据的青岛验潮站的资料系列（1950～1956 年）较短等原因，中国测绘主管部门决定重新计算黄海平均海面，以青岛验潮站 1952～1979 年的潮汐观测资料为计算依据，并用精密水准测量接测位于青岛的中华人民共和国水准原点，得出 1985 年国家高程基准高程和 1956 年黄海高程的关系为：1985 年国家高程基准高程=1956 年黄海高程-0.029m。1985 年国家高程基准已于 1987 年 5 月开始启用，1956 年黄海高程系同时废止。

“1956 国家高程基准”的青岛国家水准基点高程 $H = 72.289\text{m}$ 。

“1985 国家高程基准”的青岛国家水准基点高程 $H = 72.260\text{m}$ 。

高程：地面点到大地水准面的铅垂距离，一般用 H 表示，又称绝对高程或海拔，如图 1-11 所示。

高差：地面上两点高程之差，一般用 h 表示， $h_{AB} = H_B - H_A$ 。

相对高程：地面点到假定水准面的铅垂距离，又称假定高程。

绝对高程：地面上一点到大地水准面的铅垂距离，又称海拔。

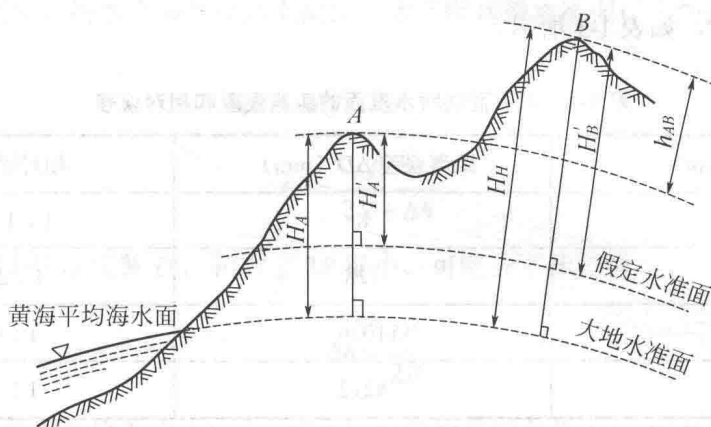


图 1-11 高程和高差

三、水平面代替水准面对距离的影响

在小范围测区内，可以用水平面来代替水准面，那么，把水准面看成一个水平面，在测量将会产生多大的误差影响呢？如图 1-12 所示。

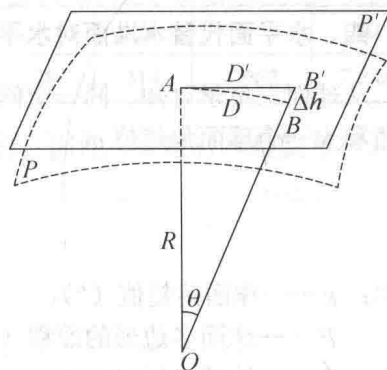


图 1-12 水平面代替水准面对距和高程的影响

$$D = R\theta$$

$$D' = R \tan \theta$$

$$\begin{aligned} \Delta D &= D' - D = R \tan \theta - R\theta \\ &= R(\tan \theta - \theta) \end{aligned} \quad (1-1)$$

将 $\tan \theta$ 用级数展开为：

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{5}{12}\theta^5 + \dots$$

因为 θ 值很小，所以只取前两项代入式 (1-1) 得

$$\Delta D = R \left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta \right) = \frac{1}{3}R\theta^3 \quad (1-2)$$

又因 $\theta = \frac{D}{R}$ ，则

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