

土建工程测量

(附光盘)

陈学平 周春发 编

T U J I A N
GONGCHENG CELIANG

中国建材工业出版社

高等院校土木工程教材

土建工程测量

陈学平 周春发 编

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

· 土建工程测量/陈学平,周春发编. —北京:中国建材
工业出版社,2008.1
ISBN 978-7-80227-361-0

I. 土… II. ①陈… ②周… III. 土木工程—工程测
量—教材 IV. TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第188951号

内 容 简 介

测量学是一门极其实用的工程技术。本教材涵盖测量学的全部内容,突出土建
中的专业测量,增加了适用于土建工程中的土地整理测量。

对仪器的操作使用叙述详细,点出技巧,每章后附有学习辅导,为学生自学提
供要领与方法。

本教材附带多媒体教学光盘,盘中有供教师授课使用的幻灯教学片;有各种实
际测量表格,供学生实习直接打印使用;有供学生实习、参考使用的视频教学片
段,还有测绘法、工程测量规范等测绘资料。

本教材适用于土木建筑、交通工程、环境工程、城镇规划、土地管理等专业,
也可作为工程测量自学考试参考书和供土建工程技术人员参考。

土建工程测量

陈学平 周春发 编

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市西城区车公庄大街6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:20.25

字 数:501千字

版 次:2008年1月第1版

印 次:2008年1月第1次

书 号:ISBN 978-7-80227-361-0

ISBN 978-7-89992-273-6(光盘)

定 价:36.00元(含光盘)

本社网址:www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906

前 言

本教材第一版书名为《测量学》，于2004年1月出版后，经各兄弟院校测量课教学使用，认为该教材符合土建类专业教学大纲的要求，内容充实、实用，叙述通俗，出版后两年间曾重印过两次。为使教材更能满足土建类各专业的要求，加强基础性，突出实践性，反映先进性，此次对原教材的结构、叙述作了较大的调整，故把《测量学》更名为《土木工程测量》，以满足工民建、土木建筑以及城镇规划等专业开设测量课的要求。

本教材主要特点有：

1. 注重测量学基础知识和基本技能的叙述，概念阐述准确、简明扼要。仪器操作叙述突出其关键点及技巧。注意讲解操作中的道理，从而避免操作的盲目性，促使学生实践更理性，操作更规范。

2. 叙述由浅入深，深入浅出，图文并茂。教材不同于学术专著，其主要对象是学生，要使他们看得懂，做得来。为使学生明确各章的目的与要求以及各章的要点，以启发学生思考，本教材在每章末，除练习题外，还附有学习辅导。

3. 对传统测绘的内容进行补充、改进与提高。传统的测量方法和计算方法通常有多种，书中取其最佳并提出改进措施。例如，水准仪构造的叙述更科学，经纬仪测站对中，提出粗对中与精对中的概念，竖盘指标差的计算提出通用公式，误差理论补充等精度双观测量的精度评定，对传统测图法提出一些改进，公路缓和曲线计算补充了更好的方法，等等。

4. 对于测绘新技术的介绍，突出其原理与特点，不去泛泛地全面介绍各项新技术，而以一种型号的仪器叙述其使用方法、步骤。例如全站仪介绍原理与特点之后，讲一种型号的仪器，使学生照着就能做。对于GPS也按同样办法处理。

5. 增加“土地整理测量”一章，把土地面积测量与土地平整测量单独列成一章，突显其重要性，又便于增加新内容。例如，土地面积测量增加“几何图形解析法与坐标解析法”，平整土地增加“散点法”以及“DTM模型平整土地”。

6. 教材附一张光盘，内有15章教学课件，供教师授课参考和学生自学使用。还有测绘资料与Word编制的各种实习表格（空表）以及教学资料。

本教材由陈学平教授（北京林业大学）、周春发副教授（中国农业大学）编写，陈负责全书策划，并编写除第8、15两章外的各章及其课件，周编写第8、15两章及其课件。

本教材编写时间匆促，编者水平有限，错漏之处在所难免，望读者批评指正。如发现问题的、有待改进之处或建议，请发电邮至 chenxpbj@yahoo.cn，在此特表谢意。

编 者

2007年10月

光盘使用说明

本光盘有三部分内容:

1. 课件文件夹: 全书 15 章, 用 PowerPoint 软件编制 15 章课件, 其内容较教材略多些, 增加图片、动画和视频文件, 有的章内容比教材要多许多, 例如第 10 章地形图应用, 课件中增加中、小比例尺地形图分幅编号与识图。在安装有 Windows 软件的电脑均可运行, 最好把电脑显示分辨率调高一些, 以便获得更加清晰的图片。

2. 测绘资料文件夹:

- ①中华人民共和国测绘法 (.doc 文件);
- ②工程测量规范 (GB 50026—93) (.pdf 文件);
- ③全球定位系统 (GPS) 测量规范 (.pdf 文件);
- ④苏州一光 OTS 全站仪使用说明书 (.pdf 文件);
- ⑤日本托普康 GTS-710 全站仪使用说明书 (.pdf 文件)。

打开 pdf 文件要求电脑中必须安装 Adobe Reader 软件。如您的电脑未安装此软件, 光盘提供了该软件 6.0 版本, 文件名为 AdbeRdr60_chs_full.exe, 请首先安装它。

3. 教学资料文件夹 (有 4 个子文件夹):

- ①测量实习表格, 内有课堂学习用表格和教学实习用表格等;
- ②对教材的补充, 内有对第 4、第 6 及第 10 章内容的补充;
- ③未进教材的章, 内有园林工程施工测量 (.doc 文件);
- ④新增课件, 内有计算器的使用课件、水利工程测量课件及第 6 章测量误差理论基本知识补充课件。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 测量学与土木工程测量	1
1.2 地面点位的测定	2
1.3 用水平面代替水准面的限度	7
1.4 测量工作概述	8
1.5 测量常用计量单位及换算	10
练习题	11
学习辅导	11
第2章 水准测量	13
2.1 水准测量的原理	13
2.2 水准测量的仪器与工具	14
2.3 水准仪的使用	17
2.4 水准测量外业	20
2.5 水准测量的检核	21
2.6 水准测量内业计算	23
2.7 微倾水准仪的检验与校正	25
2.8 水准测量误差的分析	27
2.9 几种新式的水准仪	29
练习题	33
学习辅导	33
第3章 角度测量	35
3.1 水平角测量的原理	35
3.2 DJ ₆ 级光学经纬仪的构造与读数	35
3.3 DJ ₂ 级光学经纬仪的构造与读数	38
3.4 经纬仪的使用	39
3.5 水平角的观测	42
3.6 竖角测量原理与观测法	45
3.7 经纬仪的检验与校正	49

3.8 如何将经纬仪作为水准仪使用	53
3.9 角度测量误差分析	53
3.10 电子经纬仪	56
练习题	58
学习辅导	59
第4章 距离测量与直线定向	61
4.1 直接量距工具	61
4.2 卷尺量距方法	62
4.3 视距测量	68
4.4 电磁波测距	72
4.5 直线定向	77
练习题	81
学习辅导	82
第5章 全站仪及其使用	84
5.1 概述	84
5.2 苏一光 OTS 全站仪及其辅助设备	85
5.3 苏一光 OTS 全站仪的使用	88
练习题	102
学习辅导	102
第6章 测量误差理论的基本知识	103
6.1 测量误差概述	103
6.2 衡量观测值精度的标准	106
6.3 误差传播定律	108
6.4 等精度观测值的平差	113
练习题	117
学习辅导	117
第7章 小地区控制测量	119
7.1 控制测量概述	119
7.2 导线测量外业工作	125
7.3 导线测量内业计算	126
7.4 控制点的加密	132
7.5 三、四等水准测量	136
7.6 三角高程测量	138
练习题	141
学习辅导	142

第 8 章 全球卫星定位测量	144
8.1 全球卫星定位系统的组成	144
8.2 GPS 卫星定位的基本原理	146
8.3 GPS 小区域控制测量	150
练习题	154
学习辅导	154
第 9 章 地形图的测绘	156
9.1 地形图的基本知识	156
9.2 地物表示方法	158
9.3 地貌表示方法	164
9.4 测图前的准备工作	168
9.5 地形图的测绘方法	169
9.6 地形图的绘制	176
9.7 数字测图	178
练习题	180
学习辅导	181
第 10 章 地形图的应用	183
10.1 概述	183
10.2 大比例尺地形图的识读	183
10.3 地形图应用的基本内容	186
10.4 地形图在工程建设中的应用	189
练习题	191
学习辅导	191
第 11 章 测设的基本工作	193
11.1 水平距离、水平角和高程的测设	193
11.2 点的平面位置的测设方法	196
11.3 已知设计坡度线的测设方法	197
练习题	199
学习辅导	199
第 12 章 土地整理测量	201
12.1 概述	201
12.2 图上面积量测方法	201
12.3 土地面积野外实测方法	208
12.4 土地平整测量与土方计算	211

练习题·····	219
学习辅导·····	220
第 13 章 工民建施工测量 ·····	222
13.1 施工测量概述·····	222
13.2 施工控制网测量·····	223
13.3 民用建筑施工测量·····	227
13.4 高层建筑施工测量·····	233
13.5 工业厂房施工测量·····	235
13.6 厂房预制构件安装测量·····	237
13.7 建筑物的变形观测·····	240
13.8 竣工总平面图的编绘·····	244
练习题·····	245
学习辅导·····	246
第 14 章 公路工程测量 ·····	248
14.1 公路测量概述·····	248
14.2 公路踏勘选线及中线测量·····	248
14.3 圆曲线主点计算与测设·····	252
14.4 圆曲线细部测设·····	254
14.5 复曲线与反向曲线的测设·····	258
14.6 缓和曲线的测设·····	259
14.7 路线纵断面水准测量·····	267
14.8 路线横断面水准测量·····	271
14.9 公路竖曲线测设·····	274
14.10 土石方的计算·····	276
练习题·····	277
学习辅导·····	277
第 15 章 管道工程测量 ·····	279
15.1 管道工程测量概述·····	279
15.2 管道中线测量·····	279
15.3 管道纵横断面测量·····	282
练习题·····	285
学习辅导·····	286
附录 1 测量实习指导书 ·····	287
第一部分 实习须知·····	287
第二部分 实习项目及作业·····	288

实习一	水准测量	288
实习二	经纬仪的认识及水平角测量	290
实习三	经纬仪方向观测法及竖角测量	292
实习四	视距测量与罗盘仪测量	293
实习五	经纬仪导线测量内业计算及绘图作业	295
实习六	碎部测量	296
实习七	地形图的应用作业	297
实习八	求积仪测定面积	298
实习九	圆曲线测设	300
实习十	民用建筑物定位测量	303
实习十一	电子经纬仪与全站仪的使用	303
第三部分	测量教学实习	305
附录 2	带复测扳手的 6" 光学经纬仪	311
参考文献		313

第1章 绪 论

1.1 测量学与土木工程测量

1.1.1 测量学的定义、任务与分科

测量学是研究地面点空间位置的测定、采集、数据处理、存储与管理的一门应用科学。其核心问题是研究如何测定点的空间位置。其任务是：

1) 测绘：使用测量仪器，通过测量与计算，将地面的地物、地貌缩绘成图，供工程建设和行政管理之用。

2) 测设：将图上设计的建（构）筑物的位置在实地标定出来，作为施工或定界的依据，又称放样。

测量学是测绘学科中的一个基础分科。按照测绘学科所研究的对象与范围的不同，可以分成若干分科。现重点介绍下列几个分科：

(1) 大地测量学

研究地球的大小和形状，研究大范围地区的控制测量和地形测量。由于人造卫星科学技术的发展，大地测量学又分为常规大地测量学与卫星大地测量学，后者是研究观测卫星确定地面点位，即 GPS 全球定位。

(2) 普通测量学

研究地球表面局局部区域的测绘工作，主要包括小区域控制测量、地形图测绘和一般工程测设。通常所称的测量学就是指普通测量学。

(3) 工程测量学

研究各种工程在规划设计、施工放样和运营中测量的理论和方法。

(4) 摄影测量学

研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息，以确定物体的形状、大小和空间位置等信息的理论和方法。

(5) 地图制图学

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。

1.1.2 土木工程测量

土木工程测量全称为土木建筑工程测量，它包括普通测量学以及工程测量学的部分内容。土木工程测量教材除了叙述一般各种测量仪器的构造与使用，控制测量，地形测量及地形图应用外，还包括土木工程相关的土地整理（即面积、平整）测量、工业与民用建筑施工测量、公路工程测量、管道工程测量等。

1.1.3 测量在工程各阶段建设中的作用

各种工程规划与建设，测绘信息是最重要的基础信息之一，从工程规划设计、建筑施工直至运营管理各个阶段，自始至终都离不开测量。

(1) 在工程规划设计阶段

要进行规划设计，首先需要规划区的地形图。有精确的地形图和测绘结果，才能保证工程的选址、选线、设计得出经济、合理的方案。因此，测绘是一种前期性、基础性的工作。

(2) 在工程施工阶段

工程的施工，主要目的是把工程的设计精确地在地面上标定出来，这就需要使用测量的仪器，按一定的方法进行施工测量。精确地进行施工测量是确保工程质量最为重要的手段之一。

(3) 在工程运营与管理阶段

为了保证工程完工后，能够正常运营或日后改进与扩建的需要，应进行竣工测量，编绘竣工图。对于大型或特殊的建筑物，还需进行周期性的重复观测，观测建筑物的沉降、倾斜、位移等，即变形观测，从而判断建筑物的稳定性，防止灾害事故的发生。

1.2 地面点位的测定

1.2.1 测量的基准线与基准面

(1) 基准线

测量工作是在地球表面上进行的，地球上任一点都要受到离心力和地球引力的双重的作用。这两个力的合力称重力，重力的方向线称为铅垂线。测量仪器悬挂垂球，指向重力方向，铅垂线就是测量的基准线。

测量的计算要求投影到地球的椭球面上进行处理，椭球面上各点的曲率半径方向就是该点的法线。在数据处理时要用到法线，因此，法线又是测量的另一种基准线。

(2) 基准面

测量工作开始时，通常要把仪器安置在水平的状态。是否水平要借助于仪器上的水准气泡来判断。对很小的范围而言，水面是一个水平面，实际上是一个曲面，我们把水面称为水准面。水准面上任意一点都和重力的方向垂直。空间任何一点都有水准面，处处和重力方向垂直的曲面均称为水准面，水准面就是测量的基准面。和水准面相切的平面则称为水平面。由于水准面的高度不同，水准面有无穷多个，其中一个和平均的海水面重合，我们称之为大地水准面，它是又一个测量的基准面。中学地理所讲的海拔高度就是从大地水准面起算的高度。

我们知道海水面约占地球表面的71%，大地水准面延伸所包围的整个地球的形体最能代表地球的形状，这个形体称为大地体。但是由于地球内部质量分布不均匀，使铅垂线方向变化无规律性，因而使大地水准面成为一个不规则的复杂曲面，如图1-1a所示。

大地水准面不规则的起伏，形成的大地体不是规则的几何球体，其表面不是数学曲面，如图1-1b虚线所示。在这样复杂的曲面上无法进行测量数据的处理。地球非常接近一个旋转椭球（由椭圆旋转而得），所以测量上选择可用数学公式描述的旋转椭球代替大地体，如

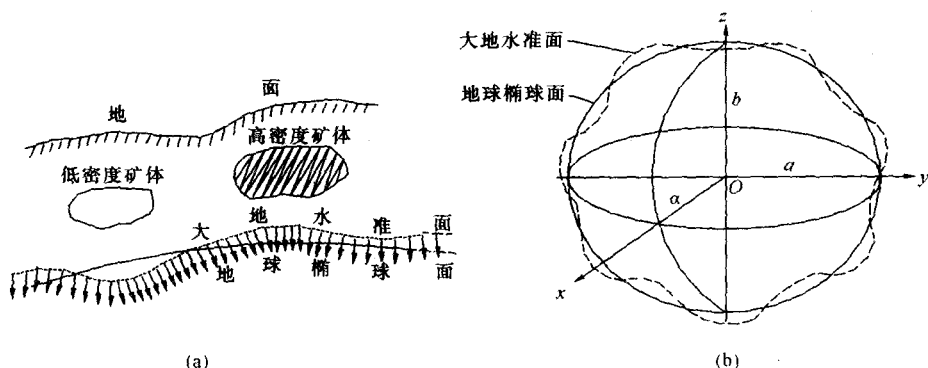


图 1-1 大地水准面与地球椭球面

(a) 大地水准面起伏原因；(b) 大地水准面与地球椭球面关系

图 1-1b 实线所示。地球椭球的参数可用 a (长半径)、 b (短半径) 及 α (扁率) 表示。扁率 α 为

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

1979 年国际大地测量与地球物理联合会推荐的地球椭球参数 $a = 6378140\text{m}$, $b = 6356755.3\text{m}$, $\alpha = 1 : 298.257$ 。

当扁率 $\alpha=0$ 时, 即 $a=b$, 此时椭球就成了圆球, 圆球的半径 $R=6371\text{km}$ 。

旋转椭球面是数学表面, 可用如下的公式表示:

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{a}\right)^2 + \left(\frac{z}{b}\right)^2 = 1 \quad (1-2)$$

按一定的规则将旋转椭球与大地体套合在一起, 这项工作称为椭球定位。定位时让椭球中心与地球质心重合, 椭球短轴与地球短轴重合, 椭球赤道面与地球赤道面重合, 椭球与全球大地水准面差距的平方和最小, 这样的椭球被称为总地球椭球。

但是各国为测绘本国领土而采用另一种定位法, 如图 1-2 所示, 地面上选一点 P , 由 P 点投影到大地水准面得 P' 点, 在 P 点定位椭球使其法线与 P' 点的铅垂线重合, 并要求 P' 上的椭球面与大地水准面相切, 该点称为大地原点。同时还要使旋

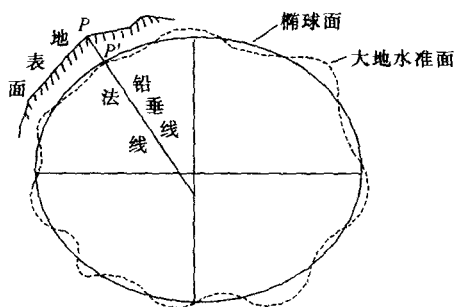


图 1-2 大地原点

转椭球短轴与地球短轴相平行 (不要求重合), 达到本国范围内的大地水准面与椭球面十分接近, 该椭球面称为参考椭球面。我国大地原点选在我国中部陕西省泾阳县永乐镇。

1.2.2 地面点位的确定

确定地面点的空间位置需 3 个参数: x (纵坐标), y (横坐标), H (高程) 或 λ (经度), φ (纬度), H (高程)。

从整个地球考虑点的位置, 通常是用经纬度表示。用经纬度表示点的位置, 称为地理

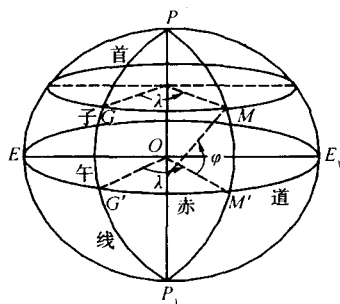


图 1-3 地理坐标

坐标。

如图 1-3, PP_1 为地球旋转轴, O 为地心。通过地球旋转轴的平面称子午面, 子午面与地球表面的交线称子午线 (经线)。通过格林威治天文台 G 的子午线称首子午线。 M 点的子午面 $PMM'P_1$ 与首子午面所组成的二面角, 用 λ 表示, 称为 M 点的经度。经度由首子午面向东向西各 180° , 向东的称东经, 向西的称为西经。我国在东半球, 各地的经度都是东经。通过地心 O 与地球旋转轴 PP_1 垂直的平面 EE_1 , 称为赤道平面。赤道平面与地球表面的交线称为赤道。过 M 点的铅垂线与赤道面 $EG'M'E_1$ 的夹角 φ 称 M 点的纬度。向北向南

各 90° , 向北称北纬, 向南称南纬。我国在北半球, 各地的纬度都是北纬。

(1) 地面点在投影面上的坐标

1) 独立平面直角坐标系

大地水准面虽是曲面, 但当测量区域较小时 (半径小于 10km 范围), 可以用测区的切平面代替椭球面作为基准面。在切平面上建立独立平面直角坐标系。如图 1-4 所示, 规定南北方向为纵轴, 记为 x 轴, x 轴向北为正, 向南为负。

x 轴选取的方式有 3 种: ①真南北方向, ②磁南北方向, ③建筑上的南北主轴线。以东西方向为横轴, 记为 y 轴。 y 轴向东为正, 向西为负。象限按顺时针排列编号。这些规定与数学上平面直角坐标系正相反, x 轴与 y 轴互换, 象限排列也不同, 其目的是为了把数学的公式可以直接运用到测量上。为避免坐标出现负值, 将原点选在测区的西南角。

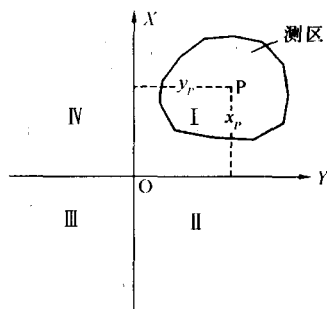


图 1-4 独立平面直角坐标系

2) 高斯独立平面直角坐标系

当测区范围较大, 不能把水准面当做水平面。把地球椭球面上的图形展绘到平面上, 必然产生变形。为了减少变形误差, 采用一种适当的投影方法, 这就是高斯投影。

①高斯投影的方法

高斯投影是将地球划分为若干个带, 先将每个带投影到圆柱面上。然后展成平面。我们可以设想将一个空心的椭圆柱横套地球, 使椭圆柱的中心轴线位于赤道面内并通过球心。将地球按 6° 分带, 从 0° 起往东划分, $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第 1 带, $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第 2 带, $\dots\dots 174^\circ \sim 180^\circ$ 为第 30 带, 东半球共分 30 个投影, 按带进行投影。各带中央的一条经线, 例如第 1 带的 3° 经线, 第二带的 9° 经线, 称为中央经线。进行第 1 带投影时, 使地球 3° 经线与圆柱面相切, 3° 经线不变形。进行第 2 带投影时, 则旋转地球, 使 9° 经线与圆柱面相切, 9° 经线不变形。因各带中央经线与圆柱面相切, 所以中央经线投影后不变形, 而两边经线投影后有变形。由于 6° 分带, 所以变形很小。赤道投影后成一条直线。图 1-5 为高斯投影分带情况, 图中上半部为 6° 带分带情况; 图中下半部为 3° 带分带情况。我国领土从 13 带起到 23 带。

②高斯投影的特点有:

a. 等角: 即椭球面上图形的角度投影到平面之后, 其角度相等, 无角度变形, 但距离与面积稍有变形。

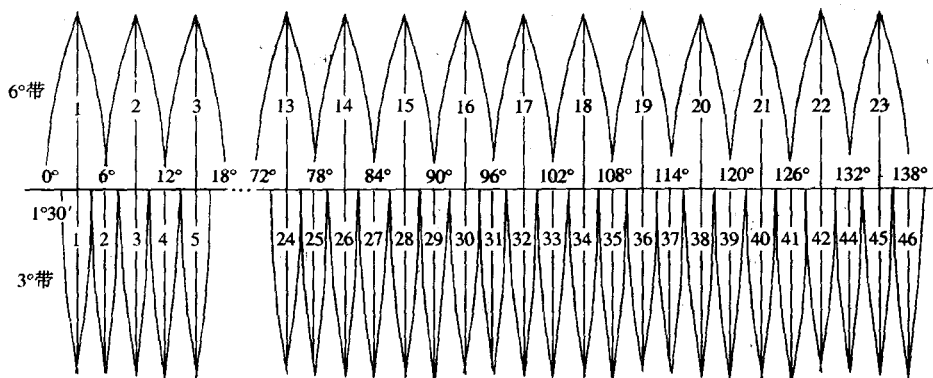


图 1-5 高斯投影 6°带与 3°带

b. 中央经线投影后仍为直线，且长度不变形，见图 1-6，因此用这条直线作为平面直角坐标系的纵轴— x 轴。而两侧其他经线投影后呈向两极收敛的曲线，并与中央经线对称，距中央经线越远长度变形越大。

c. 赤道投影也为直线。因此，这条直线作为平面直角坐标的横轴— y 轴。南北纬线投影后呈离开两极的曲线，且与赤道投影对称。

③高斯平面直角坐标系定义

高斯投影按 6°分带或 3°分带，各带构成独立的坐标系，各带的中央经线为 x 轴，赤道投影为 y 轴，两轴的交点为坐标原点。我国位于北半球，所以纵坐标 x 均为正。横坐标有正有负，如图 1-7a。

例如，设 $y_A = +137680\text{m}$ ， $y_B = -274240\text{m}$ 。为了避免横坐标出现负值，故规定把坐标纵轴向西移 500km。如图 1-7b 所示。

$$y_A = 500000 + 137680 = 637680\text{m}, \quad y_B = 500000 - 274240 = 225760\text{m}.$$

实际横坐标值加 500km 后，通常称为通用横坐标。它与实际横坐标的关系如下：

$$y_{\text{通}} = y_{\text{实际}} + 500000\text{m}$$

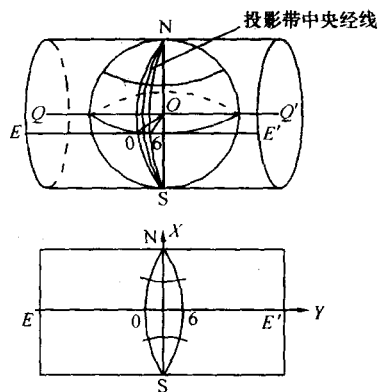


图 1-6 高斯投影的特点

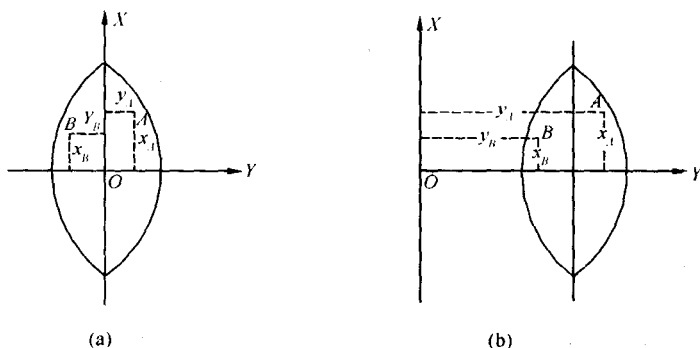


图 1-7 高斯平面直角坐标

(a) 实际高斯平面直角坐标系；(b) 横坐标值加 500km 后

为了根据横坐标能确定位于哪一个 6° 带内, 还要在横坐标值前冠以带号。例如 A 点位于 20 带内, 则 A 点通用横坐标 $y_{A\text{通用}} = 20637680\text{m}$, B 点通用横坐标 $y_{B\text{通用}} = 20225760\text{m}$ 。因此, 实际横坐标换算为通用横坐标的公式为

$$y_{\text{通}} = \text{带号} + y_{\text{实际}} + 500000\text{m} \quad (1-3)$$

当通用横坐标换算为实际横坐标时, 要判别通用横坐标数中的哪一个数是带号。由于通用横坐标整数部分的数均为 6 位数, 故从小数点起向左数第 7、8 位数才是带号。例如, $y_{\text{通}} = 2123456.77\text{m}$, 从小数点起向左数第 7 位数为 2, 即带号, 千万不要看成是 21 带。我国领土是从 13~23 带, 我国领土范围的通用横坐标换算为实际横坐标时, 通用横坐标数中第 1、2 两位均为带号。

3) 高程

地面上任意点至水准面的垂直距离, 称为该点的高程。某点至大地水准面的垂直距离称该点的绝对高程 (海拔)。如图 1-8 所示, A 点和 B 点的绝对高程分别为 H_A 和 H_B 。我国规定青岛验潮站 1950~1956 年共 7 年统计资料所确定的黄海平均海水面作为统一全国基准面, 并在青岛观象山建了水准原点。水准原点至黄海平均海水面的高程为 72.289m, 这个高程系统称为“1956 年黄海高程系”。

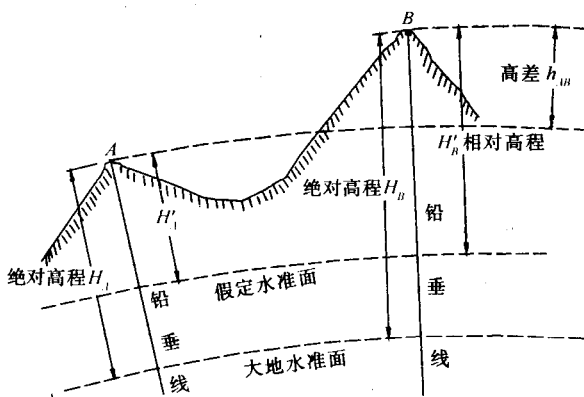


图 1-8 绝对高程与相对高程

(又称相对高程), 如图 1-8 中, A 点假定高程为 H'_A , B 点假定高程为 H'_B 。

两点之间高程之差称为高差:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

h_{AB} 有正负, B 点高于 A 点时, h_{AB} 为 (+), 表示上坡。B 点低于 A 点时, h_{AB} 为 (-), 表示下坡。

高差 h_{AB} 表示 A 点至 B 点的高差, 而高差 h_{BA} 表示 B 点至 A 点的高差, 两者数值相等, 而符号相反。

(2) 我国常用坐标系

1) 1954 北京坐标系

我国在建国初期采用苏联克拉索夫斯基教授提出的地球椭球体元素建立坐标系, 从苏联普尔科伐大地原点连测到北京某三角点所求得的大地坐标作为我国大地坐标的起算数据, 称 1954 年北京坐标系。该系统的参考椭球面与大地水准面差异存在着自西向东系统倾斜, 最

20 世纪 80 年代初, 国家又根据 1952~1979 年青岛验潮站 28 年观测资料, 算得水准原点高程为 72.2604m, 该高程系统称为“1985 年国家高程基准”。从 1985 年 1 月 1 日起执行新的高程基准。

有了国家统一的高程系, 从而解决了历史遗留的问题。历史上有“北京地方高程系”、“吴淞高程基准”、“珠江高程基准”等。

有些工程可以采用假定高程系统, 即用任意假定水准面为高程基准面。某点至假定水准面的垂直距离称该点的假定高程

大达到 65 米，平均差达 29 米。

2) 1980 国家大地坐标系

1980 年坐标系采用国际大地测量协会 1975 年推荐的椭球参数，确定新的大地原点，大地原点选在我国中部陕西省泾阳县永乐镇。通过重新定位、定向，进行整体平差后求得的。1980 系统比 1954 系统精度更高，参考椭球面与大地水准面平均差仅 10 米。

3) WGS-84 世界坐标系

用 GPS 卫星定位系统得到的地面点位是 WGS-84 世界坐标系，其坐标原点在地球质量中心，本书第 8 章将详细介绍。

1.3 用水平面代替水准面的限度

当测区较小，或工程对测量精度要求较低时，可用平面代替水准面，直接把地面点投影到平面上，以确定其位置。但是以平面代替水准面有一定的限度，只要投影后产生的误差不超过测量限差即可。下面讨论水平面代替水准面对距离、水平角、高差的影响。

1.3.1 对距离的影响

如图 1-9 所示，在测区中选一点 A，沿垂线投影到水平面 P 上为 a，过 a 点作切平面 P'，地面上 A、B 两点投影到水准面上的弧长为 D，在水平面上的距离为 D'，则

$$\left. \begin{aligned} D &= R \cdot \theta \\ D' &= R \tan \theta \end{aligned} \right\} \tag{1-4}$$

以水平长度 D' 代替球上的弧长 D 产生的误差为

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \tag{1-5}$$

将 tanθ 按级数展开，略去高次项，得

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3 + \dots \tag{1-6}$$

将式 (1-6) 代入式 (1-5) 并考虑

$$\theta = \frac{D}{R}$$

得

$$\Delta D = R\left(\theta + \frac{\theta^3}{3} + \dots - \theta\right) = R \frac{\theta^3}{3} = \frac{D^3}{3R^2} \tag{1-7}$$

二端除以 D，得相对误差

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R}\right)^2 \tag{1-8}$$

地球半径 R=6371km，并用不同的 D 值代入，可计算出水平面代替水准面的距离误差和相对误差，列于表 1-1。

表 1-1 水平面代替水准面对距离影响

距离 D (km)	距离误差 ΔD (cm)	距离相对误差 (ΔD/D)	距离 D (km)	距离误差 ΔD (cm)	距离相对误差 (ΔD/D)
1	0.00	-	15	2.77	1 : 541516
5	0.10	1 : 5000000	20	6.60	1 : 305000
10	0.82	1 : 1217700			

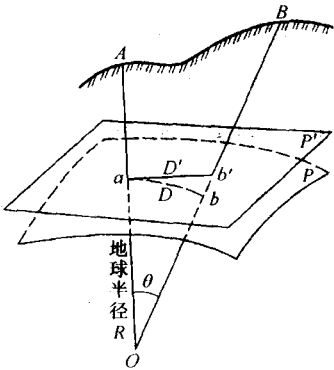


图 1-9 水平面代替水准面