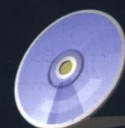


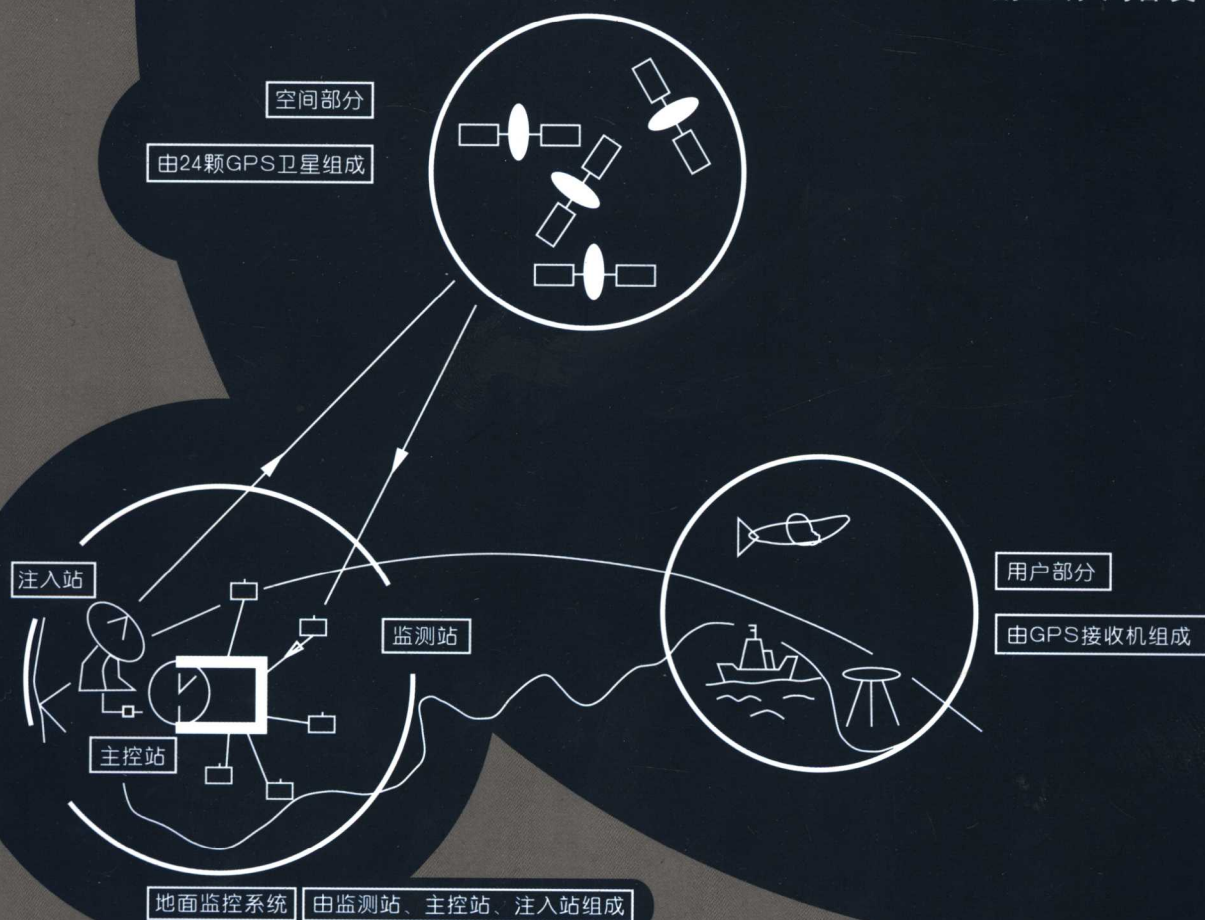
SHIYONG
GONGCHENG
CELIANG

实用工程测量



(附光盘)

主 编 陈学平
副主编 周春发



中国建材工业出版社

实用工程测量

主 编 陈学平
副主编 周春发

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

实用工程测量/陈学平主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2007. 2

ISBN 978-7-80227-202-6

I. 实... II. 陈... III. 工程测量—高等学校—教材
IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 007659 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, 并把测量学中的一般工程测量加以扩充, 以适应众多专业的需要。

本书不仅介绍了测量学的基础知识, 也讲述了各种专业测量, 并对当前测绘的新仪器、新技术进行了阐述。本书最后还附有测量实习指导书。

本教材光盘内容特色明显, 主要包括教学课件、实习表格、测量学试题库等, 便于教师教学、学生自学。

本教材适用于环境资源、城镇规划、土地规划、工民建、水利工程、公路交通、房地产管理、林学、园林绿化等专业, 也可作为工程测量自学考试的参考教材, 对有关工程技术人员具有重要参考价值。

实用工程测量

主编 陈学平 副主编 周春发

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: 23.75

字 数: 600 千字

版 次: 2007 年 2 月第 1 版

印 次: 2007 年 2 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-202-6

定 价: 39.50 元

网上书店: www.ecool100.com

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

测量学是研究空间点位的定位技术，是一门极其实用的工程技术。本教材《实用工程测量》涵盖测量学的全部内容，并把测量学中的一般工程测量章节加以扩充，以适应高校众多专业开设测量课而选择教材的需要。

打开目录一看，您会发现这本教材与众不同。全书共分四篇：第一篇为基础篇，共 8 章，无论哪个专业都必须学。第二篇为应用篇，讲解各种专业测量，以供不同专业选用。第三篇为提高篇，介绍当前测绘的新仪器新技术，各校可根据自身情况选用。最后，第四篇为实训篇，即测量实习指导书。每章后附有本章补充、练习题与学习辅导。

我们编教材的指导思想是：内容上，突出基础性，体现通用性；取材上，体现科学性、实用性、先进性；叙述上，深入浅出，图文并茂，概念阐述清晰准确，操作叙述条理化；内容编排上，方便教学，使教材适用于自学。

1. 内容突出基础性，体现通用性。教材的第 1 章至第 8 章是测量学基础知识，详述测量的基本知识、基础理论和基本技能，学好这八章就为学习专业测量以及进一步提高打下基础。

应用篇中列入 6 个不同的专业测绘，适用于环境资源、城镇规划、土地规划、工民建、水利工程、公路交通、房地产管理、林学、园林绿化等众多专业的需求。

2. 取材体现科学性、实用性与先进性。对测量仪器的选择，淘汰实践中已不用的经纬仪型号，突出现行的型号；对国产全站仪和国外全站仪各介绍一种，以适应不同学校的设备；突出地形图应用，不仅讲大比例尺的，而且还介绍中、小比例尺图的识读以及实地对图、填图等内容，以满足不同行业对用图的要求；测量方法和计算方法通常有多种，取其最佳的，或对传统方法提出一些改进。例如，经纬仪光学对中操作法，竖盘指标差的通用公式，等精度双观测值的精度评定，对传统测图法的一些改良措施，公路缓和曲线计算的改进等。

教材内容要反映当代测绘的新仪器新技术，本教材的做法是，区别对待，有详有简。对全站仪在提高篇中详述日本托普康 GTS—700 全站仪及我国苏一光厂激光免棱镜全站仪 OTS 的结构及使用法。详述数字化测图的原理、基本配置及外业实施的主要步骤。对卫星定位测量，采用简述，省略许多公式，突出基本概念、定位原理、特点、方法及外业施测的主要步骤。对于当前尚未普及而很有发展前途的先进的三维激光扫描系统也作了简略的介绍。

3. 叙述深入浅出，力求图文并茂，概念阐述清晰准确，操作叙述条理化。教材不同于学术专著，它除供教师用之外，主要是为学生所用，因此叙述必须由浅入深，全书收录 398 张插图，力求做到图文并茂。本教材的对象是非测绘专业的学生，因而内容不着力理论分析与公式推导，而突出实践和操作，以提高学生实践能力。有一些理论、公式推导、精度分析等问题放在章末补充项目中加以补充解释。

4. 方便教学，使教材适用于自学。全书分成四篇，目的就是方便教学，第二篇（应用篇）可供不同专业从中选择。本教材编写尽量做到使学生自学看得懂、做得来。把实习指

导书作为第四篇（实训篇）详细叙述，更方便教学使用，不必另行编写。每章后不仅有练习题，而且有学习辅导，对于学生复习及自学考试的学生将会带来一定的帮助。本教材附光盘，制作了全书 20 章的课件，更便于学生自学。

光盘内容包括：

（1）全书 20 章课件，该课件是编者使用 PowerPoint 与 AutoCAD 等软件自行编制，供教师学生使用。

（2）光盘中有 Word 编制的各种实习表格（空表），以供实习直接打印使用。

（3）光盘中有测量学试题库，并附有试题答案，但章节安排与本教材不同，还有航空摄影测量与遥感的基础知识试题，编写时间较早，基础部分没有变化，仅供参考。

陈学平教授（北京林业大学）担任本书主编，周春发副教授（中国农业大学）担任本书副主编。参编者有秦皇岛石油学院杨桂芳副教授，特聘北京林业大学张远智博士编写三维激光扫描系统。具体分工是：周春发编写第 11、13、14、15、17、19、20 章。杨桂芳编写第 12 章，张远智编写第 18 章，并制作课件。其余各章均由陈学平编写。课件大部分由陈学平编制，部分由周春发编制。

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、有待改进之处或建议，请发电邮至 chenxpbj@yahoo.com.cn，在此特表谢意。

编 者

2007 年 1 月于北京

目 录

第一篇 基础篇

第1章 绪 论	1
1.1 测量学与实用工程测量	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	6
1.4 测量工作概述	8
1.5 测量常用计量单位及换算	9
第2章 水准测量	12
2.1 水准测量的原理	12
2.2 水准测量的仪器与工具	12
2.3 水准仪的使用	15
2.4 水准测量外业	17
2.5 水准测量的检核	19
2.6 水准测量内业计算	20
2.7 微倾水准仪的检验与校正	22
2.8 水准测量误差的分析	24
2.9 几种新式的水准仪	26
第3章 角度测量	30
3.1 水平角测量的原理	30
3.2 DJ ₆ 级光学经纬仪的构造与读数	30
3.3 DJ ₂ 级光学经纬仪的构造与读数	32
3.4 经纬仪的使用	33
3.5 水平角的观测	35
3.6 竖角测量原理与观测法	38
3.7 经纬仪的检验与校正	41
3.8 如何将经纬仪作为水准仪使用	45
3.9 角度测量误差分析	45
3.10 电子经纬仪	47
第4章 距离测量与直线定向	54
4.1 直接量距工具	54

4.2	卷尺量距方法	55
4.3	视距测量	61
4.4	电磁波测距	64
4.5	直线定向	69
第5章	测量误差理论的基本知识	76
5.1	测量误差概述	76
5.2	衡量观测值精度的标准	78
5.3	误差传播定律	80
5.4	等精度观测值的平差	85
5.5	不等精度观测值的平差	88
第6章	小地区控制测量	94
6.1	控制测量概述	94
6.2	导线测量的外业工作	99
6.3	导线测量的内业计算	101
6.4	控制点的加密	106
6.5	三、四等水准测量	109
6.6	三角高程测量	111
第7章	地形图的测绘	116
7.1	地形图的基本知识	116
7.2	地物表示方法	118
7.3	地貌表示方法	121
7.4	测图前的准备工作	124
7.5	地形图的测绘方法	125
7.6	地形图的绘制	130
第8章	测设的基本工作	135
8.1	水平距离、水平角和高程的测设	135
8.2	点的平面位置的测设方法	137
8.3	已知设计坡度线的测设方法	139

第二篇 应用篇

第9章	地形图的应用	142
9.1	概述	142
9.2	大比例尺地形图的识读	142
9.3	中小比例尺地形图的识读	144
9.4	地形图应用的基本内容	149

9.5	地形图在工程设计中的应用	151
9.6	地形图在平整土地中的应用	152
9.7	地形图的野外应用	156
9.8	地形图在工程建设中的应用	160
第10章	面积测定	165
10.1	面积测定概述	165
10.2	图解法与解析法	165
10.3	网格法	167
10.4	平行线法	167
10.5	机械求积仪法	168
10.6	控制法	170
10.7	电子求积法	171
第11章	房地产图的测绘	176
11.1	概述	176
11.2	界址点测量	178
11.3	房产分幅平面图的测绘	180
11.4	房产分丘图和分层分户图测绘	186
11.5	房屋建筑面积和用地面积的量算	189
第12章	工业与民用建筑中施工测量	195
12.1	施工测量概述	195
12.2	施工控制网测量	196
12.3	民用建筑施工测量	200
12.4	高层建筑施工测量	206
12.5	工业厂房施工测量	208
12.6	厂房预制构件安装测量	210
12.7	建筑物的变形观测	213
12.8	竣工总平面图的编绘	217
第13章	公路工程测量	220
13.1	公路测量概述	220
13.2	公路中线测量	221
13.3	圆曲线主点测设	225
13.4	圆曲线细部测设	227
13.5	复曲线与反向曲线的测设	231
13.6	缓和曲线的测设	232
13.7	高速公路测量简介	240
13.8	路线纵断面水准测量	243

13.9	路线横断面水准测量	247
13.10	公路竖曲线测设	250
13.11	土石方的计算	251
13.12	桥梁施工测量	252
第14章	管道工程测量	257
14.1	管道工程测量概述	257
14.2	管道中线测量	257
14.3	管道纵横断面测量	259
14.4	管道施工测量	262
第15章	水利工程施工测量	267
15.1	概述	267
15.2	土坝施工测量	267
15.3	混凝土重力坝施工测量	269
第16章	园林工程施工测量	272
16.1	园林工程施工测量概述	272
16.2	园林工程施工控制测量	272
16.3	园林建筑物定位测量	274
16.4	园林建筑基础施工测量	277
16.5	园林建筑墙体施工测量	278
16.6	外形特殊建筑的定位测量	279
16.7	园林道路及其设计知识	282
16.8	园林道路测量	284
16.9	造园土方工程测量	286
16.10	园林树木种植点测设	287

第三篇 提高篇

第17章	全站仪及其使用	291
17.1	概述	291
17.2	日本拓普康电子全站仪 GTS-710 的结构	292
17.3	全站仪 GTS-710 的使用	294
17.4	数据通讯 T-COM 的功能及其使用方法	304
17.5	苏一光 OTS 全站仪的结构	306
17.6	苏一光 OTS 全站仪的使用	308
第18章	三维激光扫描系统	318
18.1	系统组成与工作过程	318

18.2	三维激光扫描原理	319
18.3	三维模型的生成与处理	320
18.4	三维激光扫描与近景摄影测量的比较	322
18.5	实际应用举例	322
第19章	数字化测图	325
19.1	数字化测图概述	325
19.2	数字化测图实施	327
第20章	全球卫星定位测量	337
20.1	全球卫星定位系统的组成	337
20.2	GPS 卫星定位的基本原理	339
20.3	GPS 小区域控制测量	342

第四篇 实训篇

第21章	测量实习指导书	347
第一部分	实习须知	347
第二部分	实习项目及作业	348
实习一	水准测量	348
实习二	经纬仪的认识及水平角测量	350
实习三	经纬仪方向观测法及竖角测量	352
实习四	视距测量与罗盘仪测量	353
实习五	经纬仪导线测量内业计算及绘图作业	354
实习六	碎部测量	355
实习七	地形图的应用作业	356
实习八	求积仪测定面积	357
实习九	圆曲线测设	359
实习十	民用建筑物定位测量实习	361
实习十一	电子经纬仪与全站仪的使用	361
第三部分	测量教学实习	363
参考文献		367

第一篇 基础篇

第1章 绪 论

1.1 测量学与实用工程测量

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。通常称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 实用工程测量

实用工程测量包括普通测量学，并把普测中工程测量内容加以扩充。其内容除了包括一般各种测量仪器的构造与使用、控制测量、地形测量外，对面积测量、工业与民用建筑施工测量、公路测量、管道工程施工测量、农田水利工程施工测量、房地产测量、园林工程施工测量等多种工程所需的测量加以详细叙述。

实用工程测量学涵盖普通测量学的全部内容，实质上还是普通测量学。它不是工程测量学，后者是一门专门的学科，专门研究各种工程测量的理论、方法和精度。

1.1.3 实用工程测量在工程各阶段建设中的作用

各种工程规划与建设中，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成果，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建与扩建的需要，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，即测量仪器悬挂垂球，指向重力方向。铅垂线就是测量的基准线。

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。是否为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相垂直。空间任何一点都有水准面，处处和重力方向相垂直的曲面均称水准面，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 71%，把大地水准面延伸所包围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。

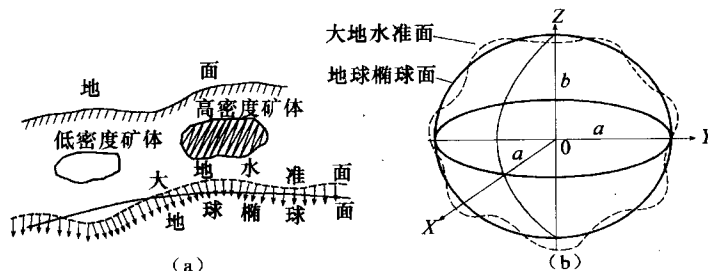


图 1-1 大地水准面与地球椭球面

(a) 大地水准面起伏原因；(b) 大地水准面与地球椭球面关系

大地水准面不规则的起伏,形成的地球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 1-1b 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。

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,这项工作称椭球定位。定位时采用椭球中心与地球质心重合,椭球短轴与地球短轴重合,椭球与全球大地水准面差距的平方和最小,这样的椭球称总地球椭球。

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^[1]。我国大地原点选在我国中部陕西省泾阳县永乐镇。

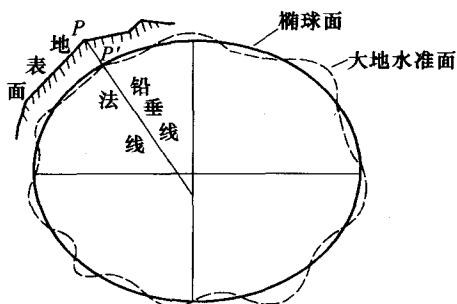


图 1-2 大地原点

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,称为地理坐标。

如图 1-3 所示, 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 $0^\circ \sim 180^\circ$,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 $0^\circ \sim 90^\circ$,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。

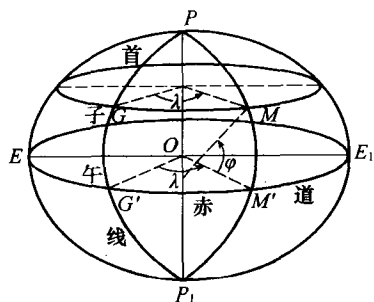


图 1-3 地理坐标

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, 其目的为了把数学的公式直接运用到测量上。为避免坐标出现负值, 将原点选在测区的西南角。

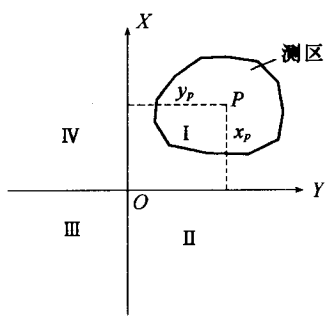


图 1-4 独立平面直角坐标系

(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° 起算往东划分, $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第 1 带, $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第 2 带, ..., $174^\circ \sim 180^\circ$ 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° 经线长不变形。进行第 2 带投影时, 则旋转地球, 使 9° 经线与圆柱面相切, 9° 经线长不变形。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 6° 带是从第 13 带 ~ 第 23 带。

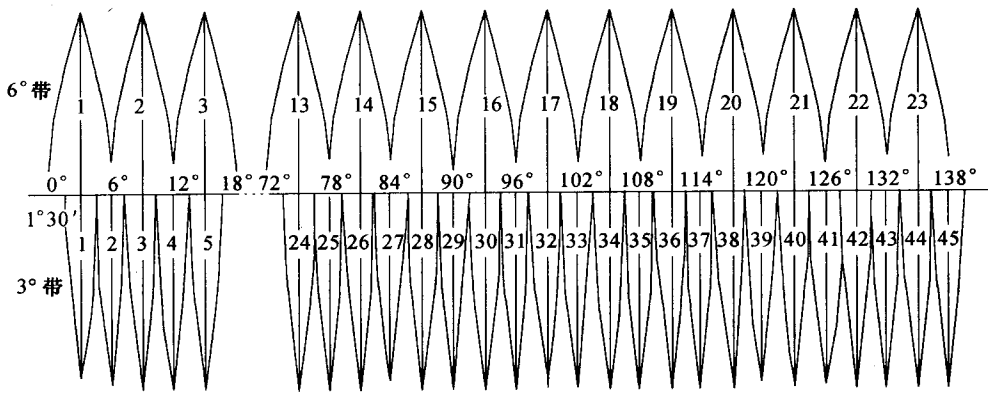


图 1-5 高斯投影 6° 带与 3° 带

②高斯投影的特点

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。

B. 中央经线投影后仍是直线, 且长度不变形, 如图 1-6 所示。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

投影后呈离向两极的曲线，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^{[1][2]}。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 所示。

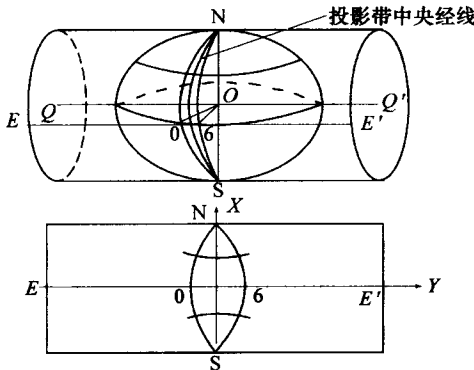


图 1-6 高斯投影的特点

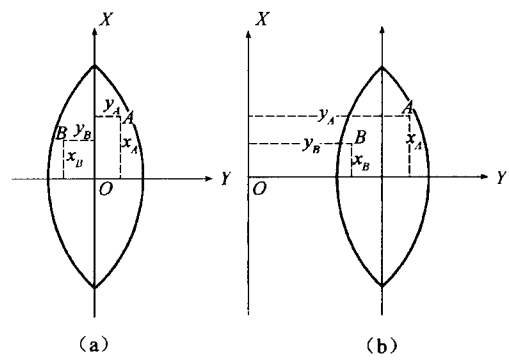


图 1-7 高斯平面直角坐标

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。这时

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

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：

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

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 6° 带是从第 13 带 ~ 第 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。

2. 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 $1950 \sim 1956$ 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”。

20 世纪 80 年代初，国家又根据 $1953 \sim 1979$ 年青

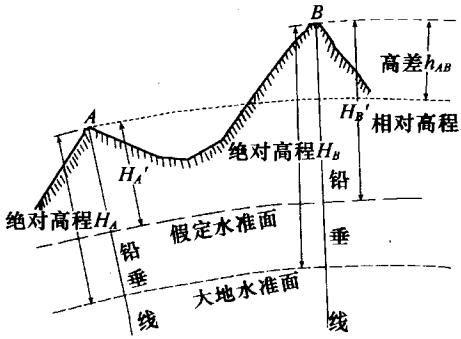


图 1-8 绝对高程与相对高程

岛验潮站观测资料, 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 (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} 为正 (+), 表示上坡。 B 点低于 A 点时, h_{AB} 为负 (-), 表示下坡^[补3]。

3. 我国常用坐标系

(1) 1954 年北京坐标系

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, 最大达到 65m, 平均差达 29m。

(2) 1980 年国家大地坐标系

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 10m。

(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 20 章再详细介绍。

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

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

以水平长度 D' 代替球面上的弧长 D 产生的误差为

$$\Delta D = D' - D = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-5)$$

将 $\tan \theta$ 按级数展开, 略去高次项, 得

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3 + \dots \quad (1-6)$$

将式 (1-6) 代入式 (1-5) 并考虑

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

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

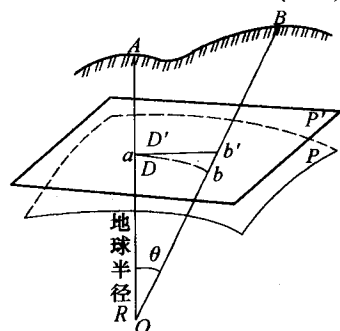


图 1-9 水平面代替水准面

两端除以 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 $R = 6371\text{km}$ ，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 ($\Delta D/D$)
1	0.00	—
5	0.10	1:5000000
10	0.82	1:1217700
15	2.77	1:541516
20	6.60	1:305000

从表 1-1 中可以看出，当距离 D 为 10km 时，所产生的距离相对误差 ($\Delta D/D$) 为 $1/(121 \times 10^4)$ ，因此，在半径为 10km 圆面积内进行距离测量，可以用水平面代替水准面，不必考虑地球曲率的影响。

1.3.2 对水平角的影响

从球面三角形可知，球面上三角形内角之和比平面上相应内角之和多出球面角超，其值为

$$\varepsilon'' = \frac{P}{R^2} \rho'' \tag{1-9}$$

式中 ε'' ——球面角超，单位为秒；

P ——球面三角形面积；

ρ'' ——206265''。

以不同面积的球面三角形算得的球面角超列于表 1-2。

表 1-2 水平面代替水准面对角度的影响

P (km ²)	ε (")	P (km ²)	ε (")
10	0.05	100	0.51
50	0.25	500	2.54

计算结果表明，当测区范围在 100km² 时，对角度的影响仅为 0.51''，在一般的测量工作可以忽略不计。

1.3.3 对高程的影响

由图 1-9 可见， $b'b$ 为水平面代替水准面对高程产生的误差，令其为 Δh ，也称为地球曲率对高程的影响。

$$\begin{aligned} (R + \Delta h)^2 &= R^2 + D'^2 \\ 2R\Delta h + \Delta h^2 &= D'^2 \\ \Delta h &= \frac{D'^2}{2R + \Delta h} \end{aligned}$$

上式中，用 D 代替 D' ，而 Δh 相对于 $2R$ 很小，可略去不计，则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \tag{1-10}$$

以不同的 D 代入上式，则得高程误差，见表 1-3。