

21 CENTURY

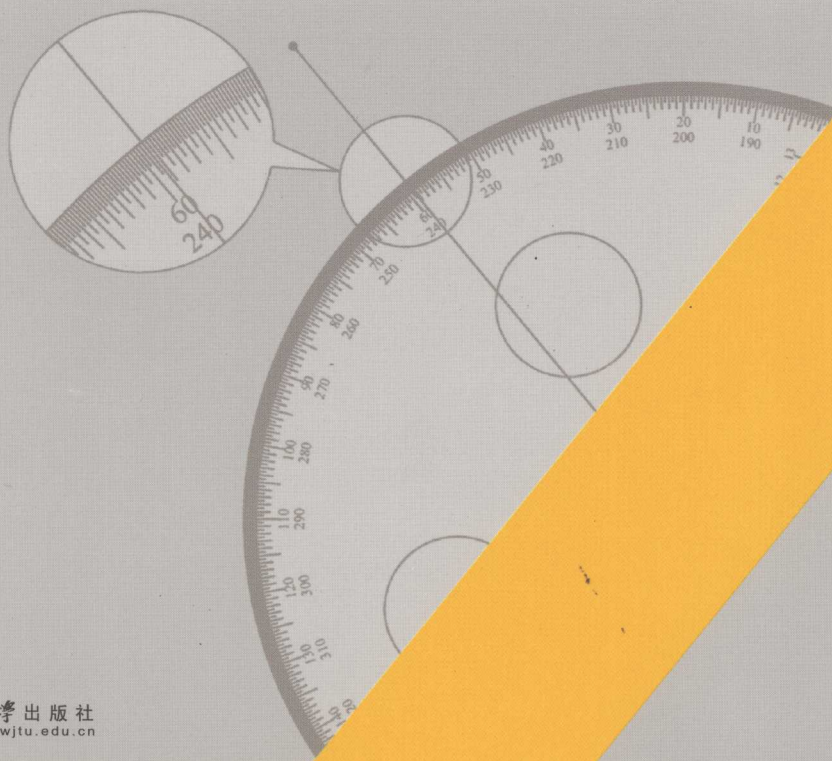
刘秋美 \ 主 编
刘小萤 \ 副主编

21世纪普通高等院校应用型人才培养规划教材——**土木工程类**

ERSHIYI SHIJI PUTONG GAODENG YUANXIAO YINGYONGXING
RENCAI PEIYANG GUIHUA JIAOCAI TUMU GONGCHENGLEI

土木工程测量

TUMU GONGCHENG CELIANG



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21
CENTURY



21世纪普通高等院校应用型人才培养规划教材——土木工程类

ERSHIYI SHIJI PUTONG GAODENG YUANXIAO YINGYONGXING
RENCAI PEIYANG GUIHUA JIAOCAI TUMU GONGCHENGLEI

土木工程测量

TUMU GONGCHENG CELIANG

刘秋美 \ 主 编
刘小萤 \ 副主编



1411379



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

1420012

内容简介

本书根据高等学校土木工程专业测量学教学大纲及国家最新测量规范编写,全书共有 12 章,分为 3 个部分:第 1 部分(1~7 章)介绍测量学基本概念、测量仪器的使用、测量基本工作及测量误差基本知识、电子全站仪与全球定位系统;第 2 部分(8~10 章)介绍大比例尺地形图的基本知识、测绘、识图及应用;第 3 部分(11~12 章)介绍测设的基本工作、土木工程施工测量、线路施工测量及变形观测等内容。本书内容精练、要点突出,既有较为完整的理论,又注重工程实用性,并力求反映当代测量学科的最新技术,且具有较宽的专业适应面,可作为高等学校土木工程、水利工程、环境工程、建筑学、城市规划、道路与桥梁等其他相关专业的教材。本书既适用于本科和专科的教学,也适用于电大、职大、函大、自学考试及各类培训班的教学,还可作为其他相关专业及土木工程技术人员参考用书。

本书由贵州大学刘秋美主编,贵州师范大学刘小萤副主编。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量:含土木工程测量实习指导书 / 刘秋美主编. — 成都:西南交通大学出版社, 2011.4

21 世纪普通高等院校应用型人才培养规划教材. 土木工程类

ISBN 978-7-5643-1063-9

I. ①土… II. ①刘… III. ①土木工程—工程测量—高等学校—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 016970 号

21 世纪普通高等院校应用型人才培养规划教材——土木工程类

土木工程测量

(含土木工程测量实习指导书)

刘秋美 主编

*

责任编辑 高平

特邀编辑 曾荣兵

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 总印张: 22.875

总字数: 566 千字

2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1063-9

套价: 39.80 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是编者根据高等学校土木工程专业测量学教学大纲的要求,并结合在总结多年的教学经验的基础上,按照我国土木工程测量的基本情况和土木工程专业本科人才培养的特点编写的。

本书在内容上力求讲清基本概念,做到理论知识适度,突出理论的实际应用,详细介绍测绘仪器的操作技能和施工现场的应用方法,并注重运用图表说明内容和作业技巧,使读者易于理解、加深印象、便于应用;且每章后均附有结合实际的思考题与练习题,便于学生巩固理论知识、培养生产实际应用的综合能力。本书具有较宽的专业适应面,可作为高等学校土木工程、水利工程、环境工程、建筑学、城市规划、道路与桥梁等相关专业的教材,既适用于本科和专科的教学,也适用于电大、职大、函大、自学考试及各类培训班的教学,还可作为其他相关专业及土木工程技术人员参考用书。

为了让读者掌握先进的测量技术和方法,本书详细介绍了电子水准仪、电子经纬仪、光电测距仪、全站仪等最新测绘仪器和现代的数字化技术、全球定位技术(GPS)、地理信息技术(GIS)、遥感技术(RS)等各种新技术在工程测量中的应用和研究。

本书由贵州大学刘秋美主编,贵州师范大学刘小萤为副主编;另外,参编的还有贵州大学汤斌、贵州省有色勘测设计院杨长金。本书第1、3、6、8、9章由刘秋美编写,第2、4、10章由刘小萤编写,第5、7章由杨长金编写,第11、12章由汤斌编写。

本书由贵州省有色勘测设计院杨长金高级工程师主审,并对编者工作提出了宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。

因编者水平有限,书中难免存在缺点和不足之处,谨请使用本书的教师与读者批评、指正。

编 者

2010年11月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 测量学概述	1
1.2 地面点位的确定	2
1.3 用水平面代替水准面及其限定	8
1.4 测量工作概述	10
习 题	14
第2章 水准测量	15
2.1 水准测量原理	15
2.2 水准测量的仪器和工具	16
2.3 水准仪的使用	19
2.4 水准测量的方法	21
2.5 水准测量的成果计算	25
2.6 微倾式水准仪的检验与校正	28
2.7 水准测量误差	31
2.8 精密水准仪、自动安平水准仪和电子水准仪	33
习 题	37
第3章 角度测量	38
3.1 水平角和竖直角测量原理	38
3.2 光学经纬仪和角度测量工具	39
3.3 经纬仪的使用	45
3.4 水平角测量	48
3.5 竖直角测量	52
3.6 经纬仪的检验和校正	57
3.7 角度测量的误差来源及注意事项	62
3.8 其他经纬仪简介	64
习 题	67
第4章 距离测量	69
4.1 钢尺量距	69
4.2 视距测量	79
4.3 光电测距仪	82
4.4 直线定向	85

4.5 用罗盘仪测定磁方位角	88
习 题	89
第 5 章 测量误差理论的基本知识	92
5.1 测量误差概述	92
5.2 偶然误差的特性	93
5.3 衡量精度的标准	95
5.4 观测值的算术平均值及改正值	97
5.5 误差传播定律	99
习 题	103
第 6 章 小地区控制测量	105
6.1 控制测量概述	105
6.2 导线测量	109
6.3 导线测量内业计算	112
6.4 小三角测量	121
6.5 交会定点	128
6.6 高程控制测量	133
习 题	138
第 7 章 电子全站仪测量与全球定位系统	141
7.1 电子全站仪概述	141
7.2 电子全站仪的特殊部件及其功能	143
7.3 电子全站仪的使用	145
7.4 新型全站仪介绍	154
7.5 全球定位系统	158
习 题	165
第 8 章 地形图的基本知识	166
8.1 比例尺	166
8.2 地形图的分幅和编号	168
8.3 地物符号	171
8.4 地貌符号	174
8.5 地形图图外注记	181
习 题	182
第 9 章 地形图的测绘	183
9.1 大比例尺地形图的测绘	183
9.2 航空摄影测量简介	195
9.3 遥感 (RS) 技术简介	196
习 题	199

第 10 章 地形图的应用	200
10.1 地形图的识读	200
10.2 地形图应用的基本内容	201
10.3 地形图在工程规划设计中的应用	205
10.4 面积的计算	210
10.5 地理信息系统简介	214
习 题	217
第 11 章 土木施工测量	219
11.1 测设的基本工作	219
11.2 建筑场地的施工控制测量	227
11.3 民用建筑施工测量	231
11.4 工业建筑施工测量	245
11.5 烟囱、水塔施工测量	252
11.6 建筑物的变形观测	254
11.7 竣工测量	259
习 题	261
第 12 章 线路工程测量	262
12.1 线路中线测量	262
12.2 线路纵、横断面图测绘	273
12.3 道路施工测量	280
12.4 管道工程测量	283
12.5 桥梁施工测量	288
12.6 隧道工程施工测量	291
习 题	297
参考文献	298

第1章 绪论

1.1 测量学概述

测量学是研究地球形状、大小及确定地球表面空间点位,以及对空间点位信息进行采集、处理、储存、管理的学科。按照研究的范围、对象及技术手段不同,又分为诸多学科。

普通测量学,是在不考虑地球曲率影响的情况下,研究地球自然表面局部区域的地形、确定地面点位的基础理论、基本技术方法与应用的学科,是测量学的基础部分。其内容是将地表的地物、地貌及人工建(构)筑物等测绘成地形图,为各建设部门直接提供数据和资料。

大地测量学,是研究地球的大小、形状、地球重力场以及建立国家大地控制网的学科。现代大地测量学已进入以空间大地测量为主的领域,可提供高精度、高分辨率,适时、动态的定量空间信息,是研究地壳运动与形变、地球动力学、海平面变化、地质灾害预测等的重要手段之一。

摄影测量学,是利用摄影或遥感技术获取被测物体的影像或数字信息,进行分析、处理后以确定物体的形状、大小和空间位置,并判断其性质的学科。按获取影像方式的不同,摄影测量学又分水下、地面、航空摄影测量学和航天遥感等。随着空间、数字和全息影像技术的发展,它可方便地为人们提供数字图件、建立各种数据库、虚拟现实,已成为测量学的关键技术。

海洋测量学,是以海洋和陆地水域为对象,研究港口、码头、航道、水下地形的测量以及海图绘制的理论、技术和方法的学科。

工程测量学,是研究工程建设中设计、施工和管理各阶段测量工作的理论、技术和方法的学科。其主要为工程建设提供精确的测量数据和大比例尺地图,保障工程选址合理,按设计施工和进行有效管理;并在工程运营阶段对工程进行形变观测和沉降监测以保证工程正常运行。按研究的对象可以分为:建筑工程测量、水利工程测量、矿山工程测量、铁路工程测量、公路工程测量、输电线路与输油管道测量、桥梁工程测量、隧道工程测量、军事工程测量等。

地图制图学,是研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的学科。其主要内容包括地图的编制、投影、整饰和印刷等。自动化、电子化、系统化已成为其主要发展方向。

GPS 卫星测量,又称导航全球定位系统,是通过地面上 GPS 卫星信号接收机接收太空 GPS 卫星发射的导航信息,快捷地确定(解算)接收机天线中心的位置。由于其高精度、高效率、多功能、操作简便,已在包括土木工程在内的众多领域中广泛应用。

本书主要介绍普通测量学的基本理论、方法和土木工程测量学中有关施工测量的基本内容以及现代测绘技术的基本理论,因此可以称之为“土木工程测量”。

从本质上来讲,测量学的实质就是确定点的位置,并对点的位置信息进行处理、储存、管理。

测量学任务主要有两方面的内容:测定和测设。

测定——使用测量仪器和工具,通过测量和计算,得到一系列测量数据;或把地球表面的地形缩绘成地形图,供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。

测设——把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

测绘科学应用很广:在国民经济和社会发展规划中,测量信息是最重要的基础信息之一,各种规划及地籍管理,都需要有地形图和地籍图。另外,在各项工农业基本建设中,从勘测设计阶段到施工、竣工阶段,都需要进行大量的测绘工作。在国防建设中,军事测量和军用地图是现代大规模的诸兵种协同作战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,要保证它们精确入轨、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、大小的精确数据和相关地域的重力场资料。在科学实验方面,诸如空间科学技术的研究,地壳的变形、地震的预报等都要应用测绘资料。即使在国家的各级管理工作中,测量和地图资料也是不可缺少的重要工具。例如,在勘测设计的各个阶段,要求有各种比例尺的地形图,供城镇规划、选择厂址、管道及交通线路选线以及总平面图设计和竖向设计之用。

在施工阶段,要将设计好的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设于实地,以便进行施工。施工结束后,还要进行竣工测量,绘制竣工图,供日后扩建和维修之用。即使是竣工以后,对某些大型及重要的建筑物和构筑物还要进行变形、沉降观测,以保证建筑物能安全使用。

土木工程测量学的主要任务:

- (1) 研究测绘地形图的理论和方法。
- (2) 研究在地形图上进行规划、设计的基本原理和方法。
- (3) 研究建(构)筑物施工放样、建筑质量检验的技术和方法。
- (4) 对大型建筑物的安全性进行位移和变形监测。

学习本课程之后,要求初学者:掌握普通测量学的基本知识和基础理论,能正确使用工程水准仪、工程经纬仪等仪器和工具;了解大比例尺地形图的成图原理和方法,在工程设计和施工中,具有正确应用地形图和有关测量资料以及进行一般工程施工测设的能力,以便能灵活应用所学的测量知识为专业工作服务。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面进行的,而地球自然表面很不规则,有高山、丘陵、平原和海洋。其中,最高的珠穆朗玛峰高出海面达 8 844.43 m;海底最深的海沟是太平洋西部的马里亚纳和菲律宾附近的海沟,低于海面达 11 022 m。但是这样的高低起伏,相对于地球半径

6 371 km 来说,是可以忽略不计的。海洋面积约占整个地球表面的 71%,陆地面积占 29%,因此,人们把海水面所包围的地球形体看做地球的形状。由于地球的自转运动,地球上任一点都要受到离心力和地球引力的双重作用,这两个力的合力称为重力,重力的方向线称铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线,如图 1.1 所示。

静止的水面称为水准面,与水准面相切的平面称为水平面。水面可高可低,因此符合上述特点的水准面有无数个。其中,与平均海水面吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面,称为大地水准面,大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体,称为大地体。

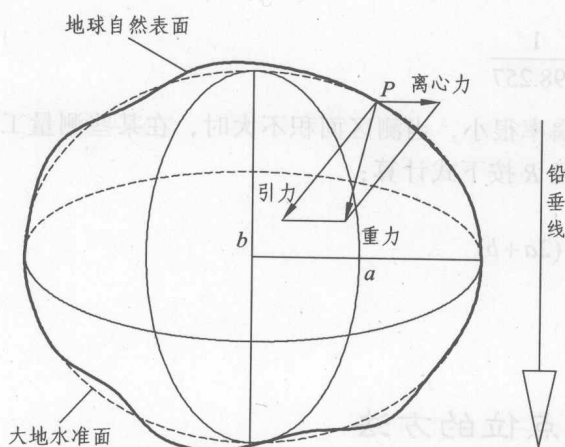


图 1.1 地球重力线

由于地球内部质量分布不均匀,重力也受其影响引起铅垂线方向的变动,致使达到水准面成为一个复杂的曲面。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上,在计算上是非常困难的。为了使用方便,通常用一个非常接近于大地水准面,并可用数学式表示的几何形体来代替地球的形状,作为测量计算工作的基准面称参考椭球面,如图 1.2 所示。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。其旋转轴与地球自转轴重合,其表面称为旋转椭球面(参考椭球面)。

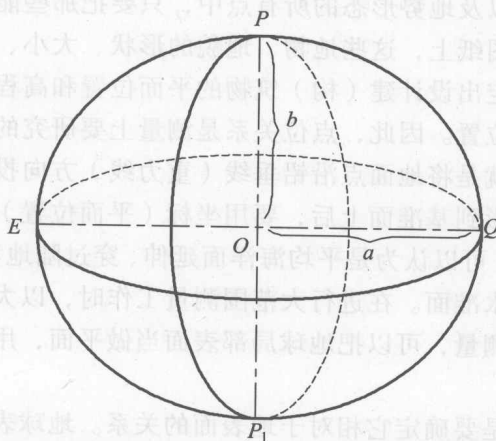


图 1.2 大地水准面与地球旋转椭球体面示意图

决定地球椭球体的大小和形状的参数为椭圆的长半径 a 和短半径 b ，由此可以计算出另一个参数——扁率 f ：

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (1.1)$$

随着科学技术的进步，可以越来越精确地确定这些参数。到目前为止，已知其精确值为：

$$a = 6\,378\,137 \text{ m}$$

$$b = 6\,356\,752 \text{ m}$$

$$f = \frac{1}{298.257}$$

由于地球椭球体的扁率很小，当测区面积不大时，在某些测量工作的计算中，可以把地球当做圆球看待，其半径 R 按下式计算：

$$R = \frac{1}{3}(2a+b) \quad (1.2)$$

其近似值为 6 371 km。

1.2.2 确定地面点位的方法

由几何学原理可知，由点组成线，线组成面，面组成体。因此构成物体形状最基本元素是点。在测量上，把地面上的各种固定性物体称为地物，如房屋、道路、河流等；地面起伏变化的形态称为地貌，如高山、丘陵、平原等。地物和地貌总称为地形。以地形测绘为例，虽然地面上各种地物种类繁多，地势起伏千差万别，但它们的形状、大小及位置完全可以看成是由一系列连续不断的点所组成。就房屋而言，平面位置是由房屋轮廓线的交点（棱角点）决定的。道路、河流的边线虽然很不规则，但弯曲部分可看成是由一些转折点相连接而成。至于起伏变化的地势，是由方向变化线与坡度变化线的交点所决定的。因此，无论地物或地貌在反映他们形状、大小以及地势形态的所有点中，只要把那些能够突出方向转折和坡度变化的特征点的位置测绘到图纸上，这些地物、地貌的形状、大小、位置就可以确定了。放样是在实地（施工现场）标定出设计建（构）筑物的平面位置和高程的测量工作，虽与测图相反，但实质也是确定点的位置。因此，点位关系是测量上要研究的基本关系。

确定地面点的位置，就是将地面点沿铅垂线（重力线）方向投影到一个代表地球表面形状的基准面上，地面点投影到基准面上后，要用坐标（平面位置）和高程来表示点位。测绘过程及测量计算的基准面，可以认为是平均海洋面延伸、穿过陆地和岛屿所形成的闭合曲面，这个闭合的曲面称为大地水准面。在进行大范围测量工作时，以大地水准面作为地面点投影的基准面；若在小范围内测量，可以把地球局部表面当做平面，用水平面作为地面点投影的基准面。

确定地面点的位置就是要确定它相对于地表面的关系。地球表面高低起伏，所以地面点是三维空间点，需要三个独立的量来确定。这三个量就是地面点在地球表面的摄影位置和该

点到地球表面的距离。而地球表面凸凹不平,其本身不规则,所以确定以上三个量,须首先明确以下几个概念。

1. 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程(又称为海拔),用 H 表示。如图1.3所示, A 、 B 两点的绝对高程分别为 H_A 、 H_B 。海水受潮汐和风浪的影响,海平面是个动态的曲面。我国在青岛设立验潮站,长期观察和记录黄海海水面的高低变化,取平均值作为大地水准面的位置(其高程为零),并在青岛建立水准原点。目前我国采用的“1985年高程基准”青岛水准原点高程为72.260 m。为了统一全国各高程系统,测绘部门以青岛水准原点为起算,通过精密水准测量方法,在全国设置了很多水准点,这些水准点是工程建设引测绝对高程的依据。

在局部地区,如果引测绝对高程有困难时,也可以假定一个水准面作为起算的基准面(指定该地区某一个固定点,并假定其高程为零),地面点到假定水准面的铅垂距离,称为该点的相对高程或假定高程。如图1.3所示, A 、 B 两点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。建筑工程施工中经常遇到某部位的标高,即某部位的相对高程,它是将建筑物的室内地坪高程定为零,记为 ± 0.000 ,其余部位的高程均从 ± 0.000 起算。

两个地面点之间的高程之差称为高差,用 h 表示。如图1.3所示, A 、 B 两点之间的高差为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.3)$$

式(1.3)表示 B 点相对于 A 点的高程之差。高差有方向和正负。

由此说明,高差的大小与高程起算面无关。

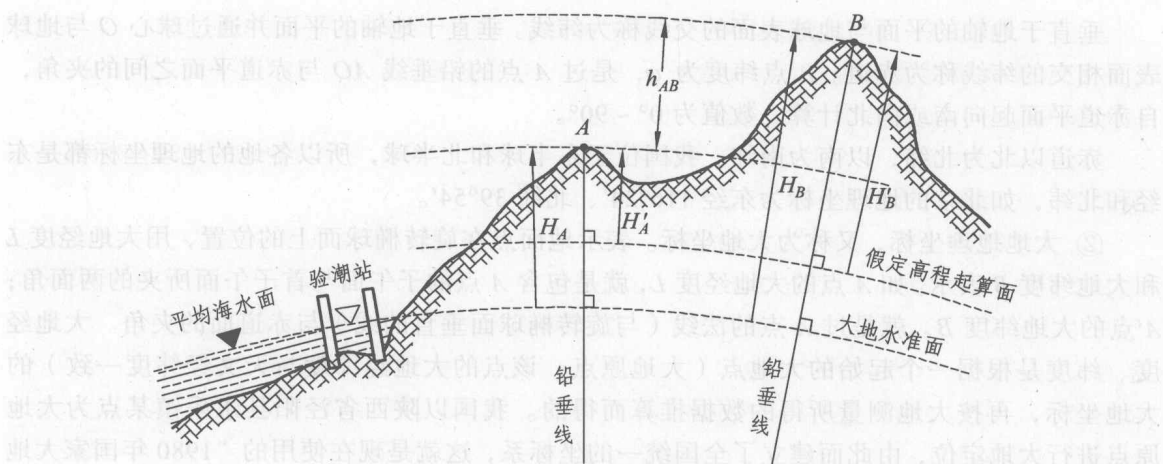


图 1.3 高程和高差

2. 地面点的坐标

地面点的坐标常用地理坐标或平面直角坐标来表示。

(1) 地理坐标系。

地理坐标系按坐标所依据的基本线和基本面的不同以及求坐标方法的不同而分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

① 天文地理坐标, 又称天文坐标, 是表示地面点在大地水准面上的位置, 并用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。

如图 1.4 所示, PP_1 为地球的自转轴 (简称地轴), P 为北极, P_1 为南极。过地面上任意一点的铅垂线与地轴 PP_1 所组成的平面称为该点的子午面。子午面与球面的交线称为子午线 (或称经线)。经度 λ 是过 A 点的子午面 $PA P_1 O P$ 与 $PG P_1 O P$ (国际公认的通过英国格林尼治天文台的子午面为计算经度的起始面) 所组成的夹角 (两面角), 自首子午线向东或向西计算, 数值为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。自首子午线以东为东经, 以西为西经, 同一子午线上各点的经度相同。

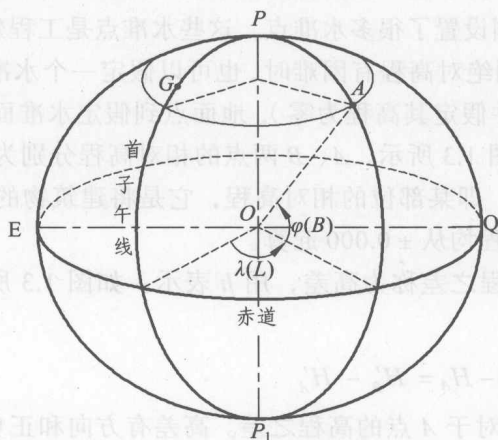


图 1.4 地理坐标系

垂直于地轴的平面与地球表面的交线称为纬线。垂直于地轴的平面并通过球心 O 与地球表面相交的纬线称为赤道。 A 点纬度为 φ , 是过 A 点的铅垂线 AO 与赤道平面之间的夹角, 自赤道平面起向南或向北计算, 数值为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

赤道以北为北纬, 以南为南纬。我国位于东半球和北半球, 所以各地的地理坐标都是东经和北纬, 如北京的地理坐标为东经 $116^\circ 24'$ 、北纬 $39^\circ 54'$ 。

② 大地地理坐标, 又称为大地坐标。表示地面点在旋转椭球面上的位置, 用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。如 A 点的大地经度 L , 就是包含 A 点的子午面与首子午面所夹的两面角; A 点的大地纬度 B , 就是过 A 点的法线 (与旋转椭球面垂直的线) 与赤道面的夹角。大地经度、纬度是根据一个起始的大地点 (大地原点, 该点的大地经纬度与天文经纬度一致) 的大地坐标, 再按大地测量所得的数据推算而得的。我国以陕西省泾阳县永乐镇某点为大地原点进行大地定位, 由此而建立了全国统一的坐标系, 这就是现在使用的“1980 年国家大地坐标系”。

(2) 平面直角坐标系。

地理坐标是球面坐标, 若直接用于工程建设规划、设计、施工, 会带来很多计算和测量上的不便。为此, 需将球面坐标按一定数学法则归算到一个平面上, 但地球是一个不可展的曲面。把地球面上的点位换算到平面上, 称为地图投影, 我国采用高斯投影的方法。为了方便, 测量工作中是采用平面直角坐标表示地面点的平面位置的, 并可根据测量范围的大小选用不同的坐标系。

① 高斯平面直角坐标系。

将地球按经线划分成带，称为投影带，如图 1.5 所示。投影带是从首子午线开始，自西向东将地球划分成经差为 6° 的 60 带（称为 6° 带），并从西向东进行编号，带号用阿拉伯数字表示为 1, 2, ..., 60。位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线，或称主子午线。如第 1 带中央子午线的经度为 3° ，第 2 带为 9° ……用式 (1.4) 可算出各带的中央子午线的经度 λ_0 ，即

$$\lambda_0 = 6N - 3 \quad (1.4)$$

式中， N 为带号。当要求投影变形更小时，还可按经差 3° 或 1.5° 划分投影带。

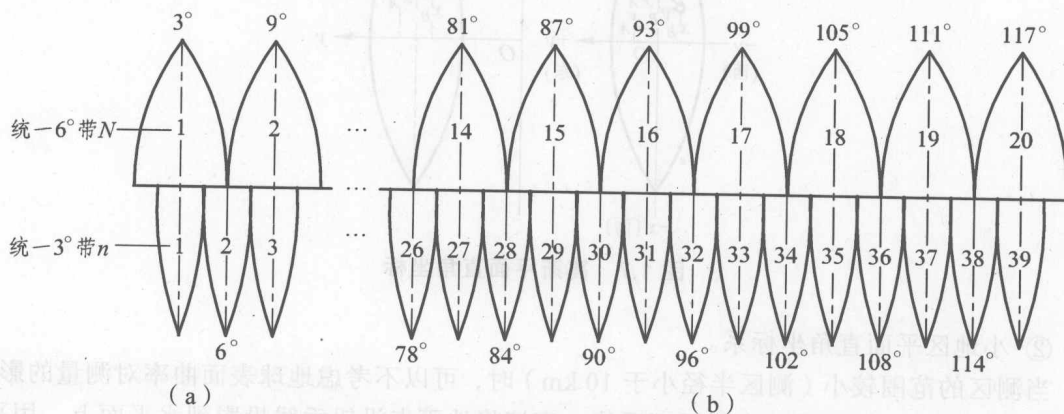


图 1.5 6° 带和 3° 带投影

为了便于说明，将地球看做圆球，设想把一个平面卷成圆柱套在该圆球的外面，使圆柱的轴心通过圆球中心，并使圆球上某 6° 带中央子午线与横圆柱相切，见图 1.6 (a)。中央子午线投影后是一条直线，长度不变；赤道投影后也是一条直线，且与中央子午线相垂直。中央两侧的子午线投影到圆柱面后，将圆柱面沿过南北两极的母线剪开并展平，即得高斯投影平面，如图 1.6 (b) 所示。在此投影面上，除中央子午线和赤道成为互相垂直的直线外，中央两侧的子午线均成为对称于中央子午线的曲线。取中央子午线为纵坐标轴，定为 X 轴；赤道为横坐标轴，定为 Y 轴；两轴的交点为坐标原点，即构成高斯平面直角坐标系。

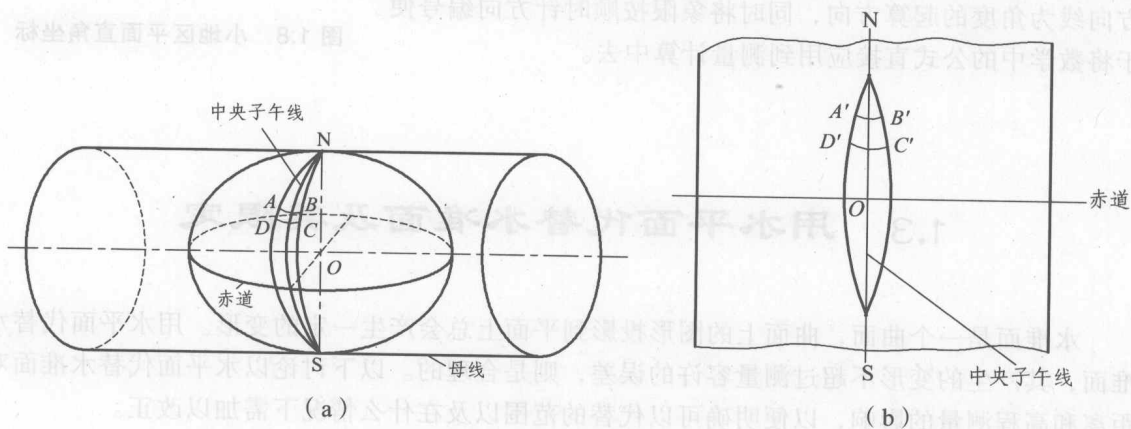


图 1.6 高斯投影

在高斯平面直角坐标系, 纵坐标的正负方向以赤道为界, 向北为正, 向南为负; 横坐标以中央子午线为界, 向东为正, 向西为负。我国位于北半球, 所有纵坐标 x 均为正, 而各带的横坐标 y 则有正有负。如图 1.7 所示, 为了使用方便, 避免坐标出现负值, 将每带的坐标原点向西移 500 km, 则每点的横坐标也均为正值。

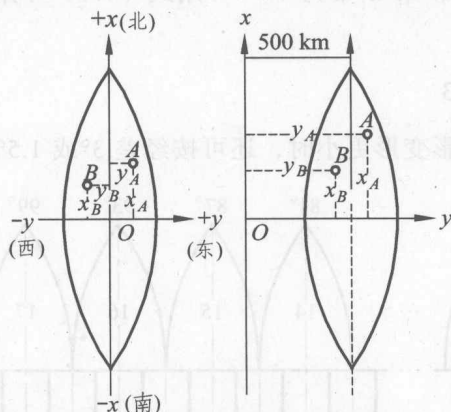


图 1.7 高斯平面直角坐标

② 小地区平面直角坐标系。

当测区的范围较小 (测区半径小于 10 km) 时, 可以不考虑地球表面曲率对测量的影响, 把该测区的地表一小块球面当做平面看待, 直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上, 用平面直角坐标来表示。平面直角坐标原点一般选在测区西南方, 以该测区子午线方向 (真子午线或磁子午线) 为 x 轴, 向北为正; y 轴与 x 轴垂直, 向东为正, 如图 1.8 所示, 地面上 P 点的坐标可用 x_p 和 y_p 来表示。

测量所用的平面直角坐标系和数学所采用的平面直角坐标系有些不同: 数学中的平面直坐标的横轴为 x 轴、纵轴为 y 轴, 象限按逆时针方向编号; 而测量中则横轴为 y 轴, 纵轴为 x 轴, 象限按顺时针方向编号。其原因是测量学中以南北方向线为角度的起算方向, 同时将象限按顺时针方向编号便于将数学中的公式直接应用到测量计算中去。

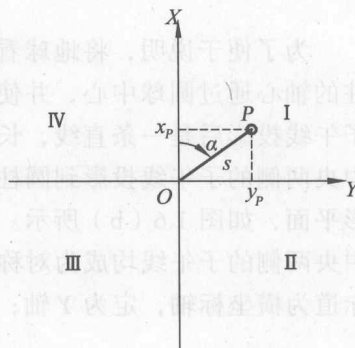


图 1.8 小地区平面直角坐标

1.3 用水平面代替水准面及其限定

水准面是一个曲面, 曲面上的图形投影到平面上总会产生一定的变形。用水平面代替水准面, 其产生的变形不超过测量容许的误差, 则是合理的。以下讨论以水平面代替水准面对距离和高程测量的影响, 以便明确可以代替的范围以及在什么情况下需加以改正。

1.3.1 对水平距离的限定

如图 1.9 所示, 设球面 P 与水平面 P' 在 A 点相切, A 、 B 两点在球面上的弧长为 S , 在水平面上的距离为 D , 球的半径为 R , AB 所对球心角为 θ (弧度), 则

$$D = R \cdot \tan \theta$$

$$S = R \cdot \theta$$

以水平长度 D 代替球面上弧长所产生的误差:

$$\Delta S = D - S = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta)$$

将 $\tan \theta$ 按级数展开, 并略去高次项, 得

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

因而, 近似得到

$$\Delta S = R \left[\left(\theta + \frac{1}{3} \theta^3 + \dots \right) - \theta \right] = R \cdot \frac{\theta^3}{3}$$

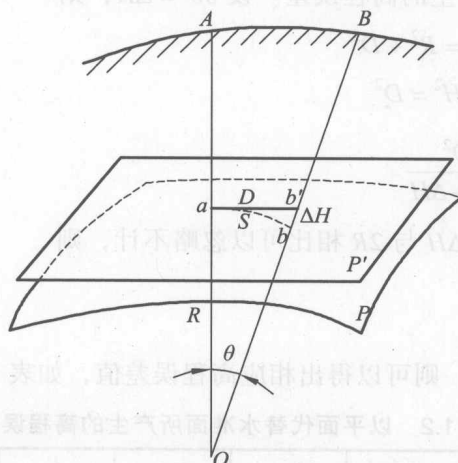


图 1.9 水平面代替水准面

以 $\theta = \frac{S}{R}$ 代入上式, 得

$$\Delta S = \frac{S^3}{3R^2} \quad (1.5)$$

或

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{3} \left(\frac{S}{R} \right)^2 \quad (1.6)$$

取 $R = 6371 \text{ km}$, 并以不同的 S 值代入式 (1.6), 则可以得出距离误差 ΔS 和相对误差 $\frac{\Delta S}{S}$, 如表 1.1 所示。

表 1.1 用水平面代替水准面的距离误差 ΔS 和相对误差 $\frac{\Delta S}{S}$

距离 S/km	距离误差 $\Delta S/\text{cm}$	相对误差 $\frac{\Delta S}{S}$
10	0.8	1 : 1 200 000
25	12.8	1 : 200 000
50	102.7	1 : 49 000
100	821.2	1 : 12 000

由表 1.1 可知, 当距离为 10 km 时, 以平面代替曲面所产生的距离相对误差为 1 : 1 200 000。这样微小的误差, 就是在地面上进行最精密的距离测量也是容许的。因此, 在半径为 10 km 的范围内 (即面积约 300 km² 内), 以水平面代替水准面的距离相对误差可以忽略不计。

1.3.2 对高程测量的限定

在图 1.9 中, A 、 B 两点在同一水准面上, 其高程应相等。 B 点投影到水准面上得 b' , 则 bb' 即以平面代替水准面所产生的高程误差。设 $bb' = \Delta H$, 则

$$(R + \Delta H)^2 = R^2 + D^2$$

$$2R\Delta H + \Delta H^2 = D^2$$

即

$$\Delta H = \frac{D^2}{2R + \Delta H}$$

上式中, 用 S 代替 D , 同时 ΔH 与 $2R$ 相比可以忽略不计, 则

$$\Delta H = \frac{S^2}{2R} \quad (1.7)$$

以不同的距离代入式 (1.7), 则可以得出相应高程误差值, 如表 1.2 所示。

表 1.2 以平面代替水准面所产生的高程误差

S/km	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	5	10
$\Delta H/\text{cm}$	0.08	0.3	0.7	1.3	2	8	31	196	785

由表 1.2 可知, 以平面代替水准面, 在 1 km 的距离上高程误差就有 8 cm。因此, 当进行高程测量时, 应考虑水准面曲率 (又称地球曲率) 的影响。

1.4 测量工作概述

1.4.1 测量工作基本内容

地面点的空间位置是以地面点在投影平面上的坐标 (x , y) 和高程 (H) 来确定的, 但