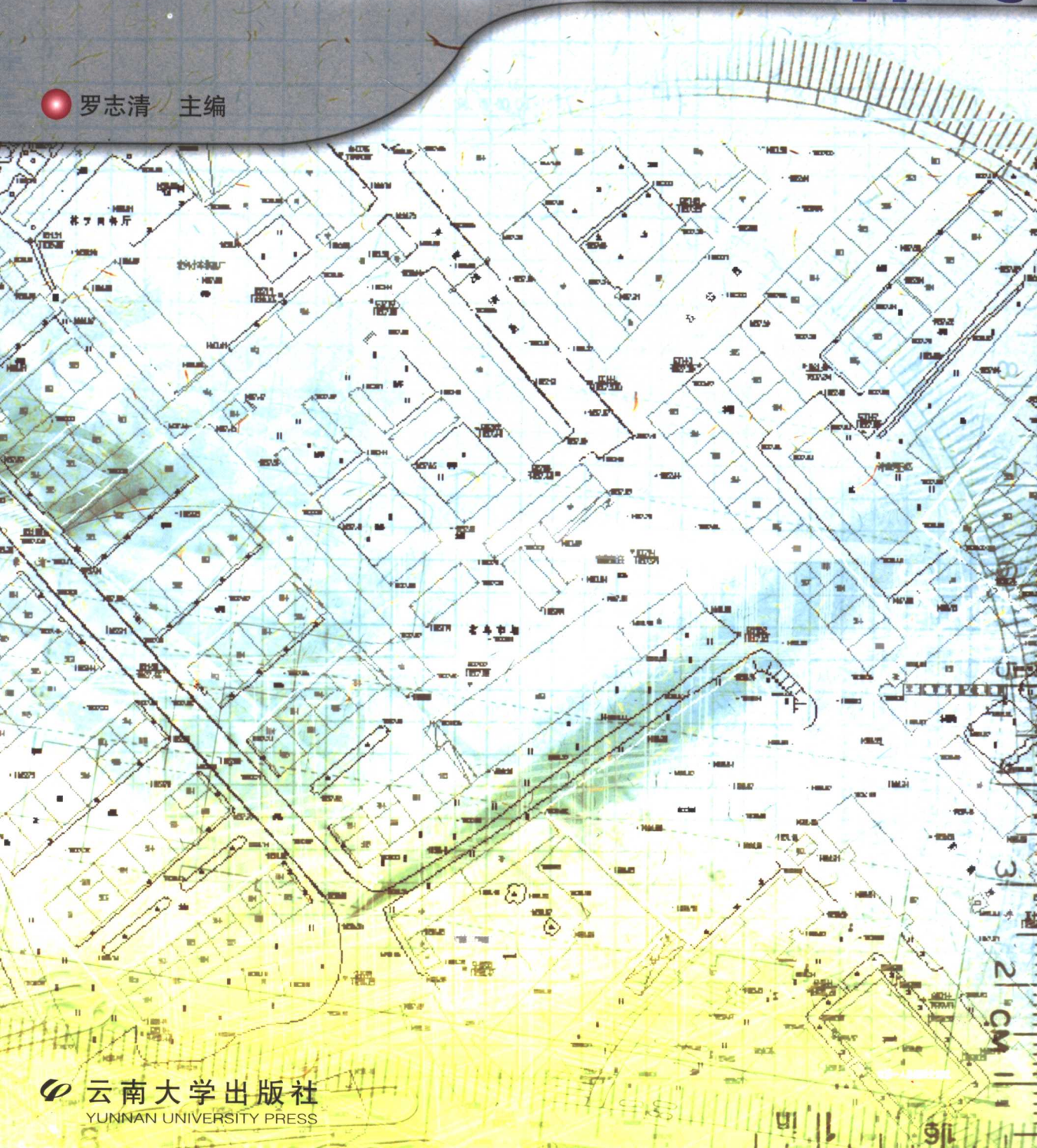


测量学

Surveying and Mapping

● 罗志清 主编



云南大学出版社
YUNNAN UNIVERSITY PRESS

测 量 学

主 编	罗志清		
编 委	龚欣繁	肖建虹	张东明
	莫南明	米鸿燕	董 菲
	董 燕	陈建保	吴学群

云南大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/罗志清主编. —昆明: 云南大学出版社,
2006

ISBN 7-81112-097-6

I. 测... II. 罗... III. 测量学 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 014646

测量学

主 编: 罗志清

策划编辑: 徐 曼

责任编辑: 徐 曼 朱光辉

封面设计: 刘 雨

出版发行: 云南大学出版社

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 19.5

字 数: 471 千

印 装: 云南福保东陆印刷股份有限公司

版 次: 2006 年 2 月第 1 版

印 次: 2006 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-81112-097-6/TB · 0

定 价: 30.00 元

云南大学出版社地址: 云南大学英华园内

电话: 0871-5033244 网址: <http://www.ynup.com>

邮编: 650091 E-mail: market@ynup.com

前 言

本书介绍了测量坐标系统的分类,水准仪、经纬仪、全站仪的构造及使用方法,高差、角度、距离的观测方法,误差理论基本知识,单一导线平面坐标计算方法,三角高程路线高程计算方法,大比例尺地形图测绘方法,地图制图基本知识,地形图基本知识,测量学的应用,测绘新技术简介等内容。

本书第一篇由董燕完成;第二篇由龚欣繁、米鸿燕完成;第三篇、第四篇由罗志清完成;第五篇由莫南明、罗志清完成;第六篇由董菲、陈建保完成,插图由罗志清制作完成;第七篇由罗志清完成;第八篇由张东明、肖建虹、龚欣繁完成;第九篇由吴学群、董菲完成。

本书可适应以下专业的《测量学》授课需要:测绘工程、地理信息系统、土木工程、给排水工程、水利水电工程、建筑学、城市规划、地质学、地理科学、资源环境与城乡规划管理、采矿工程、勘查技术与工程、资源勘查与开发、水文与水资源工程、农业水利工程、房屋建筑工程、工业与民用建筑等。本书也可作为测量技术人员的参考书。

该书逻辑清晰,叙述详细,内容丰富,对3S(GPS、GIS、RS)、数字制图等测绘新技术也作了简单介绍,这为非测绘专业人员了解这方面的知识提供了一个较好的平台。

不同专业对《测量学》的要求是不一样的,但基本内容相同,这就是:测量坐标系,常规测量仪器的操作、误差基本知识、高程及坐标的计算、地形图的测绘及应用等。这些内容正是本书的重点。正因为如此,该书适应面较广。不同专业可根据教学计划确定的学时数合理选择授课内容。

目 录

第一篇 坐标系统	(1)
1.1 地球形状及大小	(1)
1.1.1 地球的形状	(1)
1.1.2 地球的大小	(2)
1.1 习 题	(3)
1.2 测量常用坐标系	(4)
1.2.1 球面坐标系	(4)
1.2.2 独立平面直角坐标系	(6)
1.2.3 高斯—克吕格平面直角坐标系	(6)
1.2 习 题	(9)
1.3 高程系统	(10)
1.3 习 题	(11)
1.4 用水平面代替水准面的限度	(11)
1.4.1 地球曲率对水平距离的影响	(11)
1.4.2 地球曲率对水平角的影响	(12)
1.4.3 地球曲率对高差的影响	(13)
1.4.4 地球形状的近似	(13)
1.4 习 题	(14)
第二篇 仪器操作	(15)
2.1 水准仪	(15)
2.1.1 水准测量原理	(15)
2.1.1 习 题	(17)
2.1.2 水准仪的构造及使用	(17)
2.1.2 习 题	(22)
2.1.3 水准测量方法及成果整理	(22)
2.1.3 习 题	(26)
2.1.4 水准仪的检验和校正	(27)
2.1.4 习 题	(29)
2.1.5 水准测量的误差分析和注意事项	(29)
2.1.5 习 题	(31)
2.2 经纬仪	(32)
2.2.1 角度测量原理	(32)
2.2.1 习 题	(33)

2.2.2	经纬仪的构造及各部件的作用	(34)
2.2.2	习 题	(37)
2.2.3	水平角观测	(37)
2.2.3	习 题	(41)
2.2.4	竖直角测量	(41)
2.2.4	习 题	(43)
2.2.5	经纬仪的检验与校正	(44)
2.2.5	习 题	(47)
2.2.6	水平角观测的误差来源	(47)
2.2.6	习 题	(53)
2.2.7	视距测量	(53)
2.2.7	习 题	(54)
2.3	全站仪	(54)
2.3.1	全站仪概述	(55)
2.3.1	习 题	(56)
2.3.2	全站仪工作原理	(56)
2.3.2	习 题	(58)
2.3.3	全站仪的特殊部件及特性	(58)
2.3.3	习 题	(62)
2.3.4	全站仪的使用	(62)
2.3.4	习 题	(66)
2.3.5	全站仪程序功能及其应用	(67)
2.3.5	习 题	(70)
2.3.6	全站仪的误差分析检验	(71)
2.3.6	习 题	(72)
2.3.7	全站仪使用的注意事项及其使用要点	(72)
2.3.7	习 题	(72)
第三篇	误差理论基本知识	(73)
3.1	误差理论基本知识	(73)
3.1.1	观测误差	(73)
3.1.1	习 题	(75)
3.1.2	偶然误差的特性	(75)
3.1.2	习 题	(77)
3.1.3	评定精度的指标	(77)
3.1.3	习 题	(79)
3.1.4	误差传播定律	(79)
3.1.4	习 题	(82)
3.2	平差基本知识	(82)

3.2.1	平差的原则	(83)
3.2.1	习 题	(84)
3.2.2	算术平均值及其中误差	(84)
3.2.2	习 题	(87)
3.2.3	广义算术平均值及其权	(88)
3.2.3	习 题	(90)
3.2.4	加权平均值的应用	(91)
3.2.4	习 题	(92)
3.3	单位权中误差的计算公式	(92)
3.3	习 题	(94)
3.4	某些特殊情况下中误差的计算	(95)
3.4.1	由三角形闭合差求测角中误差	(95)
3.4.2	由同精度双观测值的差数求观测值中误差	(96)
3.4.3	由不同精度双观测值的差数求中误差	(97)
3.4	习 题	(99)
第四篇	小范围控制测量	(100)
4.1	平面控制测量	(100)
4.1.1	导线测量	(101)
4.1.1	习 题	(107)
4.1.2	单一导线计算方法	(107)
4.1.2	习 题	(123)
4.2	高程控制测量	(125)
4.2.1	三、四等水准测量	(125)
4.2.1	习 题	(128)
4.2.2	三角高程测量	(129)
4.2.2	习 题	(133)
4.2.3	等权代替法平差	(134)
4.2.3	习 题	(139)
第五篇	大比例尺地形测量	(141)
5.1	碎部测量	(141)
5.2	大比例尺测图的技术计划	(142)
5.3	地形控制(图根控制)测量	(143)
5.4	地形测图的准备工作	(143)
5.4.1	图纸的准备	(143)
5.4.2	展绘控制点	(143)
5.5	测站点的测定	(144)
5.6	经纬仪测图	(145)

5.6.1	碎部点的选择	(145)
5.6.2	一个测站上的测绘工作	(145)
5.6.3	碎部测量计算公式	(146)
5.6	习 题	(149)
5.7	地物、地貌的测绘	(149)
5.7.1	地物的测绘	(149)
5.7.1	习 题	(151)
5.7.2	地貌在地形图上的表示	(151)
5.7.2	习 题	(159)
5.7.3	地形图测绘内容及取舍	(159)
5.7.3	习 题	(161)
5.7.4	地形图上各种要素配合表示原则	(161)
5.8	图边测图及图的拼接	(163)
5.8	习 题	(164)
5.9	地形图的检查	(164)
5.9.1	地形图的检查与验收	(164)
5.9.2	地形图的清绘与整饰	(166)
5.9.3	成果、成图资料的上交	(166)
5.9	习 题	(166)

第六篇	地图制图基本知识	(167)
6.1	概 述	(167)
6.1.1	地 图	(167)
6.1.1	习 题	(171)
6.1.2	地图学	(171)
6.1.2	习 题	(172)
6.2	地图符号	(172)
6.2.1	概 述	(173)
6.2.1	习 题	(175)
6.2.2	地图符号的量表	(175)
6.2.2	习 题	(178)
6.3	地图概括	(179)
6.3.1	地图概括的性质	(179)
6.3.1	习 题	(180)
6.3.2	地图概括的基本方法	(180)
6.3.2	习 题	(181)
6.4	地图表示	(181)
6.4.1	普通地图的表示	(181)
6.4.1	习 题	(184)

6.4.2 专题地图的设计与编制	(184)
6.4.2 习 题	(187)
6.5 数字地图制图	(188)
6.5.1 数字地图制图技术	(188)
6.5.1 习 题	(189)
6.5.2 电子地图	(189)
6.5.2 习 题	(190)
第七篇 地形图基本知识	(191)
7.1 地形图基本知识	(191)
7.1.1 地形图的分幅及编号	(191)
7.1.1 习 题	(201)
7.1.2 大比例尺地形图绘制	(201)
7.1.2 习 题	(210)
7.2 地形图图式	(211)
7.2.1 概 述	(211)
7.2.1 习 题	(213)
7.2.2 符号示意图	(213)
7.2.2 习 题	(230)
第八篇 测量学的应用	(231)
8.1 公路工程测量	(231)
8.1.1 公路工程测量概述	(231)
8.1.2 公路初测	(232)
8.1.2 习 题	(237)
8.1.3 公路定测	(238)
8.1.3 习 题	(243)
8.1.4 曲线测设	(244)
8.1.4 习 题	(255)
8.1.5 用全站仪测设公路中线	(256)
8.1.5 习 题	(259)
8.1.6 纵横断面测绘	(259)
8.1.6 习 题	(264)
8.1.7 路基土方量计算	(264)
8.1.7 习 题	(266)
8.1.8 公路工程施工测量	(266)
8.1.8 习 题	(270)
8.2 矿山测量	(270)
8.2.1 井下控制测量	(270)

8.2.1 习 题	(271)
8.2.2 联系测量	(271)
8.2.2 习 题	(277)
8.2.3 贯通测量	(277)
8.2.3 习 题	(279)
8.2.4 采场测量	(280)
8.2.4 习 题	(282)
第九篇 测绘新技术简介	(283)
9.1 GPS 基本知识	(283)
9.1.1 GPS 定位系统及其组成	(283)
9.1.1 习 题	(286)
9.1.2 GPS 定位的基本原理	(286)
9.1.2 习 题	(287)
9.1.3 GPS 测量的观测工作	(287)
9.1.3 习 题	(288)
9.1.4 GPS 定位系统的应用特点	(289)
9.1.4 习 题	(290)
9.2 GIS 基本知识	(291)
9.2.1 地理信息系统概述	(291)
9.2.1 习 题	(292)
9.2.2 地理信息系统的数据处理	(292)
9.2.2 习 题	(294)
9.2.3 地理信息系统开发与应用	(294)
9.2.3 习 题	(295)
9.3 RS 基本知识	(295)
9.3.1 遥感概述	(295)
9.3.1 习 题	(296)
9.3.2 遥感信息获取	(296)
9.3.2 习 题	(297)
9.3.3 遥感图像处理	(297)
9.3.3 习 题	(297)
9.3.4 遥感技术的应用	(297)
9.3.4 习 题	(298)
参考文献	(299)

第一篇 坐标系统

1.1 地球形状及大小

本章基本概念：水准面；大地水准面；水平面；大地体；旋转椭球；椭球定位；大地原点等。

本章难点内容：地球形状和大小确定的意义；大地水准面和铅垂线；旋转椭球面和法线之间的关系以及它们的应用范畴等。

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面，而地球表面又是高低起伏极不规则的，有高山、丘陵、平原、荒漠、河流、湖泊和海洋等。因此，为了使地面点相对定位、合理处理测量数据和测绘地形图，就必须选择适当的基准面（参考体）作为测量的依据。为此，认识地球的形状与大小是非常必要的。

1.1.1 地球的形状

地球的自然表面上有陆地和海洋。位于我国西藏与尼泊尔交界处的喜马拉雅山的主峰——珠穆朗玛峰，海拔达 8844.43m（2005 年 10 月 9 日经国务院批准并授权，由国家测绘局公布），而位于太平洋西部的马利亚纳海沟，则低于海平面 11022m，两者之间的高度差近 20000m。这说明地球表面是一个有相当起伏的，极其复杂的不规则曲面。它不可能用一个数学公式概括和表达。这样，在地球表面上进行测量工作所获得的长度、角度等成果，就无法在这样不规则的曲面上进行数据处理和准确绘制地形图。因此，人们就需要寻求一个与地球形状相近而又能用数学模型表达的曲面来概括地球的自然表面，作为进行测量数据处理与制图的基准面。

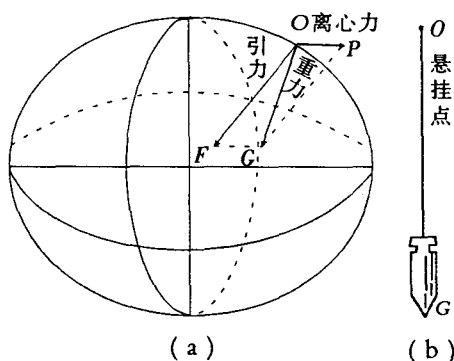


图 1-1-1 铅垂线

通过测绘工作者的长期实践和科学调查，发现地球表面的总面积为 510083042 km²，其中海洋占 70.8%，而陆地仅占 29.2%。因此人们设想把地球总的形状看成是被海水面向陆地延伸，形成一个封闭的曲面，这样，地球的表面就成了一个较地球自然表面规则且光滑的曲面，这个曲面被称为水准面。

地球上的任一质点，因受地球的引力作用而不能脱离地球。同时，地球又在不停地自转，使质点受到离心力的作用，因此，一个质点 O 所受到的力实际上是地球引力 F 与

离心力 P 的合力 G ，这个合力就是大家所熟悉的重力，如图 1-1-1。重力的作用线 OG 又称铅垂线。

水准面是受地球重力影响而形成的，是一个处处与重力方向垂直的连续曲面，并且是一个重力场的等位面。与水准面相切的平面称为水平面。

海水面可高可低，因此符合上述特征的水准面有无穷多个，其中与静止的平均海水面相吻合的一个，称为大地水准面。由大地水准面所包围的地球实体，称为大地体，它代表了地球的自然形状和大小。

大地水准面虽然比地球的自然表面要规则得多，但由于地球内部物质分布的不均匀性，导致地球上各点的铅垂线方向产生不规则的变化，这就使得大地水准面实际上是一个有微小起伏变化的不规则曲面。它的精确形态目前还无法用数学模型来描述。如果将地面各点投影到这样复杂的曲面上，根本无法进行测量计算工作。为了使测量计算和制图工作能够进行，可以采用一个和大地水准面非常接近而又能以数学公式表达的曲面来代替大地水准面。

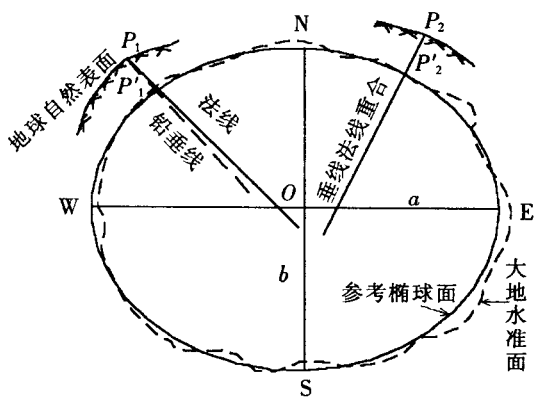


图 1-1-2 大地水准面及参考椭球面

经过大量的测量实践研究证明，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，其横切面接近一个圆，纵切面接近一个椭圆；而旋转椭球是可以数学公式严格表示的，因此，测量上就是用这个旋转椭球体的表面来近似代替大地水准面，并以此作为测量计算和制图的基准面。如图 1-1-2 所示。

根据近年来不同轨道卫星长期观测

结果发现，地球实际上是一个南北两极略扁、北极稍凸、南极稍凹的类似于梨形的形体，称为梨形地球。它的北极较平

均地球椭球凸出 18.9m，南极凹进 25.8m。

1.1.2 地球的大小

地球椭球既然可以概括地球形状，那么，它的大小就可用其基本参数：

$$\text{长半轴 } a、\text{短半轴 } b、\text{扁率 } \alpha = \frac{a-b}{a}$$

来表示。

几个世纪以来，各国学者都在致力于研究这个椭球的元素值，使之能最接近于大地体。由于他们都利用局部资料推算出了表达椭球大小的有关参数 a 和 b ，因此，这些椭球都有局限性，只能作为地球的形状和大小的参考，故称为参考椭球，其外表面称为参考椭球面。表 1-1-1 列出的是几个有代表性的椭球参数计算成果。

椭球的形状和大小确定之后，还应确定大地水准面与椭球面的相对关系，使椭球与大地体间达到最好的密合，这一工作称为椭球定位。当两者相对位置关系确定好之后，就可以将地面测量成果投影到椭球面上进行计算。如图 1-1-2 所示，椭球定位就是在本国范

国内选择一个合适的地点 P_2 ，先将 P_2 点沿铅垂线投影到大地水准面上得 P_2' ，使旋转椭球面与大地水准面在该点相切，这时椭球面上 P_2' 点的法线（过 P_2' 点与椭球面正交的直线）与过该点的大地水准面的铅垂线重合，而且使旋转椭球体的短半轴与地球的自转轴平行，这样，椭球体与大地体之间的关系就确定好了。切点 P_2' 称为大地原点，该点的大地坐标就是全国其它点大地坐标的起算数据。

表 1-1-1 各国推算的椭球参数

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	6375653	6356564	1:334	1800 年 法国
白塞尔	6377397	6356079	1:299.2	1841 年 德国
克拉克	6378249	6356515	1:293.5	1880 年 英国
海福特	6378388	6356912	1:297.0	1909 年 美国
克拉索夫斯基	6378245	6356863	1:298.3	1940 年 前苏联
我国 1980 年国家大地 测量坐标系	6378140	6356755.3	1:298.257	1975 年国际大地测量与地 球物理联合会推荐

各国为处理其大地测量成果，往往根据本国及其它国家所进行的天文、大地、重力测量资料，采用适合本国领土范围的椭球参数并将其定位。我国在解放前采用海福特椭球。解放后，因经济建设、国防建设特别是地形测图的急需，采用了前苏联克拉索夫斯基椭球参数。但从以后在我国广大地区进行的大地测量结果来看，这一参考椭球及其定位与我国大地水准面的符合很不理想。参考椭球面普遍低于大地水准面，平均低 30m，最多低 65m。此外，自 20 世纪 60 年代末以来，国际上利用卫星大地测量技术，得到了当时最佳拟合于全球大地水准面的椭球。因此，我国目前采用的是 1975 年“国际大地测量与地球物理联合会”推荐的椭球，称为“1980 年国家大地测量坐标系”，其大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇境内。

由于参考椭球的扁率很小，所以在地形测量的研究范围内，可以近似地将地球作为圆球看待，其半径采用椭球曲率半径的平均值，即：

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6371014 \text{ m}$$

若以 km 计，其近似值为 6371km。

1.1 习 题

1. 地球形状是什么？
2. 为什么要引进大地水准面和旋转椭球面？
3. “1980 年国家大地测量坐标系”意味着什么？

1.2 测量常用坐标系

本章基本概念：大地坐标系；地理坐标系；独立平面直角坐标系；高斯-克吕格平面直角坐标系；长度比。

本章基本公式：高斯投影带中各带带号与中央子午线经度的公式转换。

本章难点内容：测量的基准面和基准线；独立平面直角坐标系的坐标轴；正形投影；横坐标的自然值和通用值

研究地球的形状，最终的目的是为了确定地面点的空间位置。研究空间物体的位置，测量上常采用投影的方法加以处理。由几何学可知，一个地面点的空间位置需要三个量来确定，其中两个量表示地面点沿基准线投影到基准面后，在基准面上的位置，所以又将这两个量称为坐标；第三个量表示地面点沿基准线到基准面的距离，在测量上称为高程。在这里，基准线可以是点的铅垂线，也可以是法线；基准面可以是椭球面，也可以是大地水准面或平面。实际测绘工作中，一般采用大地水准面和铅垂线作为基准面和基准线。

在较大区域内进行测量工作时，必须顾及地球的曲率，故地面点的投影位置可采用球面坐标系。而在较小区域范围内，可把地球表面当作平面看待，此时可建立相应的平面直角坐标系。

表示地面点位置的平面坐标和高程，都是针对某一特定坐标系和高程系而言的。测量工作中常用的球面坐标系是大地坐标系，平面坐标系是高斯-克吕格平面直角坐标系，常用的高程系是正高系，下面分别予以介绍。

1.2.1 球面坐标系

(一) 大地坐标系

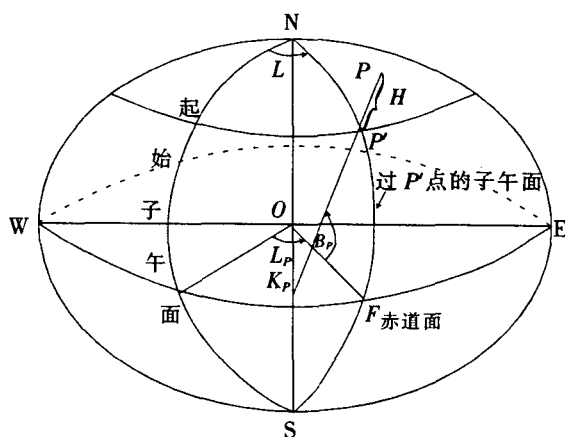


图 1-2-1 大地坐标

如图 1-2-1 所示， NS 表示椭球的旋转轴， N 表示北极、 S 表示南极，包括椭球旋转轴 NS 的平面称为子午面，其中通过英国原格林尼治天文台的子午面称为起始子午面。子午面与椭球面的交线是一个椭圆，称为子午圈或子午线。子午圈也称经圈，它有无数的，图中 $NP'SN$ 为经过 P' 点的子午圈。垂直于旋转轴 NS 的平面与椭球面的交线称为平行圈，平行圈也称纬圈。平行圈也有无数的，其中通过椭球中心 O 且与旋转轴 NS 正交的平面称为赤道面。赤道面与椭球面的交线 $EFWE$ 称为赤道。

以参考椭球面和法线为依据，确定

地面上任一点在参考椭球面上的位置而建立的坐标系，称为大地坐标系。大地坐标系是以大地经度 L 、大地纬度 B 和大地高 H 三个量来表示地面点空间位置的，称为点的大地坐标。图 1-2-1 中， P 为地面上一点，将 P 沿法线 PKp 方向投影到椭球面上，得 P' 点， P 点的大地经度 L 是指过 P' 点的子午面与起始子午面间的夹角，由起始子午面起算，向东为正，称为东经，向西为负，称为西经，其值域为 $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ ，实际上东经 180° 与西经 180° 是同一个子午面； P 点的大地纬度 B 是指过 P 点的法线 PKp 与赤道面的夹角，由赤道面起算，向北为正，称为北纬，向南为负，称为南纬，其值域为 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ ； P 点的大地高 H 是 P 点沿法线到椭球面的距离 PP' ，由椭球面起算，向外大地高为正，向内为负。我国的疆域位于赤道以北的东半球，所以各地的大地经度 L 和大地纬度 B 都是正值。

大地坐标系是大地测量的基本坐标系，它对于大地测量计算、地球形状大小的研究和地图编制等都非常有用。

(二) 地理坐标系

以大地水准面和铅垂线为依据，用地理经度、地理纬度确定地面任一点在大地水准面上的位置而建立的坐标系，称为地理坐标系。

确定地面某点的位置，通常是在该点上安置仪器，用天文测量的方法来测定的。这时仪器的竖轴与铅垂线重合，即仪器的竖轴与该处的大地水准面相垂直。因此，用天文观测所得到的数据是以铅垂线为准，也就是说以大地水准面为依据。地面点 P 的位置以地理经度 λ_P 和地理纬度 φ_P 表示，如图 1-2-2 所示。我国首都北京某地的地理坐标为东经 $116^\circ 23'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。

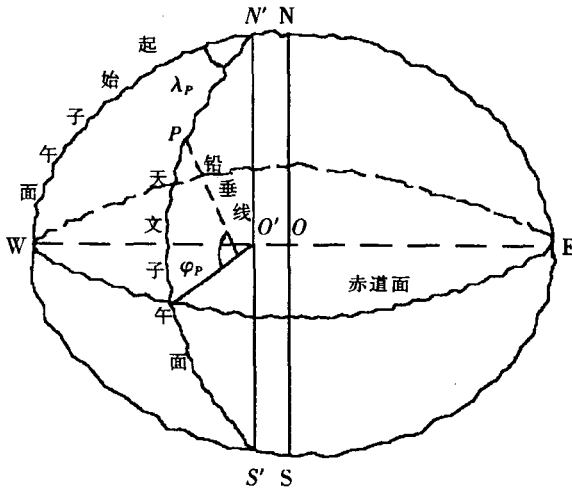


图 1-2-2 地理坐标

各地面点的铅垂线与其在椭球面上对应的法线一般是不重合的，其交角称为垂线偏差。因此，同一地面点的地理坐标与大地坐标是有差异的。一般说来，在不大的区域内各点垂线偏差的相对变化值是很微小的，因此在地形测量中可以忽略不计。

上一节所述的参考椭球的定位，实际上就是在适当的地区选择一个地面点，用较高精度测定该点的天文经纬度，该点到大地水准面的垂直距离（高程）及该点到附近另一点的天文方位角，而后把该点的天文经纬度、该点到另一点的天文方位角及该点到大地水准

面的距离，视为该点在参考椭球面上的大地经纬度、大地方位角和大地高（即地面点沿法线到参考椭球面的距离）。在大地测量的计算工作中，把该点作为全部大地坐标计算的起点，也就是该大地坐标系的“坐标原点”。

1.2.2 独立平面直角坐标系

在小区域内进行测量工作，若采用大地坐标来表示地面点的位置是不方便的，通常采用平面直角坐标。由于地球的半径很大，所以在较小区域内将椭球面看做平面而不失其应有的严密性。既然把投影面当做平面，就可以采用平面直角坐标来表示地面点在投影面上的位置（图 1-2-3）。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，只是坐标轴位置互易。如图 1-2-3 所示，以 X 轴为纵轴，一般用它表示南北方向，以 Y 轴为横轴，表示东西方向。纵横坐标轴的交点称为坐标原点。在象限的编号顺序上，测量坐标系按顺时针编号，而数学坐标系则按逆时针编号。这是因

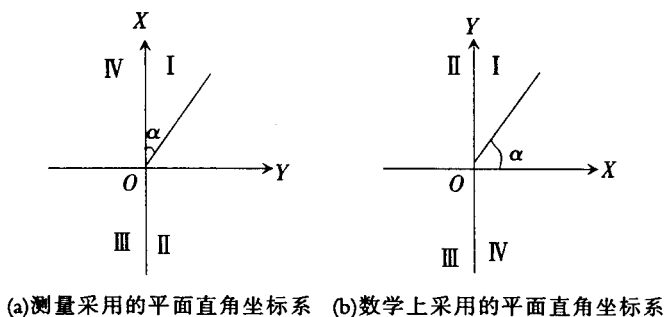


图 1-2-3 平面直角坐标系

为测量上规定所有直线的方向都是从纵坐标轴北端起按顺时针方向量度的，而数学中的角度则是从横轴正方向起按逆时针方向量取的。把 X 轴与 Y 轴互换后，全部三角公式都可在测量计算中直接应用。

实际工作中，为了避免坐标出现负值，通常将平面直角坐标系的原点选在测量区域（测区）的西南角某点上，以北方向或建筑物的主轴线为纵坐标轴。由于这里介绍的平面直角坐标系未与国家统一坐标系相联系，故称为任意坐标系或独立坐标系。在没有国家控制点或不便于与国家控制点联测的小地区测量中，允许暂时建立独立坐标系以保证测绘工作的顺利开展。

1.2.3 高斯—克吕格平面直角坐标系

当测区范围较小时，可将地球表面看成平面，这时测得的地面数据可直接缩绘到平面图上。但是，如果测区范围较大，就不能再将地球表面当做平面看待，而应将地面点投影到参考椭球面上，按有关理论进行计算和制图。但人们在规划、设计和施工中又习惯使用平面图来反映地面形态，而且在平面上进行计算和绘图要比在球面上方便得多。这样就产生了如何将球面上的物体转换到平面上的技影变换问题。在测量工作中，是采用高斯投影的方法来解决的。

（一）高斯投影的概念

椭球面是一个不可展曲面，将椭球面上的图形转换到平面上，就必然要产生一定的变形。此种变形一般分为角度变形、长度变形和面积变形。尽管投影变形不可避免，但是变形的大小却是可以控制的。根据变形的性质，地图投影可以分为等角投影、等距离投影和等面积投影三种。从地形测图和用图的角度出发，最适宜的投影是等角投影。

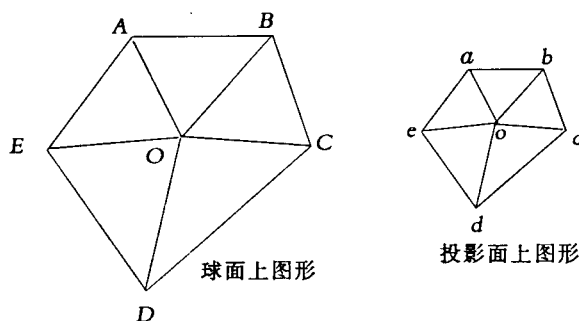


图 1-2-4 高斯投影

等角投影，又叫正形投影，它能保证椭球面的微小图形与其在平面上的投影保持相似，这样测图时可以直接缩绘，用图时可以直接量取。正形投影有两个基本条件，一是保角性，即角度投影前后大小不变，这就保证了微分图形投影后的相似性；二是伸长的固定性，即长度投影后产生变形，但同一点上不同方向的微分线段，投影后长度比为一常数，如图 1-2-4 所示。

球面上无穷小的多边形 $ABCDE$ 和它的正形投影 $abcde$ ，由于角度不变形，故其任意方向的长度比为：

$$m = \frac{ao}{AO} = \frac{bo}{BO} = \frac{co}{CO} = \frac{do}{DO} = \frac{eo}{EO} = \text{常数}$$

即：

$$m = \frac{\text{投影面上长度}}{\text{球面上长度}} = \frac{ds}{dS} = k(\text{常数}) \quad (1-2-1)$$

高斯投影是正形投影的一种，最早由德国数学家高斯提出，后经克吕格加以改进和完善，并应用到参考椭球面上，所以常称这种投影为“高斯-克吕格投影”，简称“高斯投影”。高斯投影是一种横椭圆柱投影。如图 1-2-5 所示，设想将椭球装进一个椭圆柱内，使横椭圆柱内面恰好与椭球面上某个子午线相切，这条切线称为中央子午线或轴子午线。这样，中央子午线就毫无改变地转移到椭圆柱面，即投影面上。然后将中央子午线附近的一定经差（通常为中央子午线左右各 3° 或 $1^\circ 30'$ ）范围内椭球面上的点线按正形投影的条件向横椭圆柱上投影，并从两极将椭圆柱面剪开展为平面，此即高斯投影平面（图 1-2-5）。投影后，中央子午线为一直线，且长度不变，其它子午线投影后均为曲线，且对称地凹向中央子午线。赤道投影后为一直线，且与中央子午线正交，各平行圈投影为曲线，以赤道为对称轴凸向赤道，并与子午线正交。

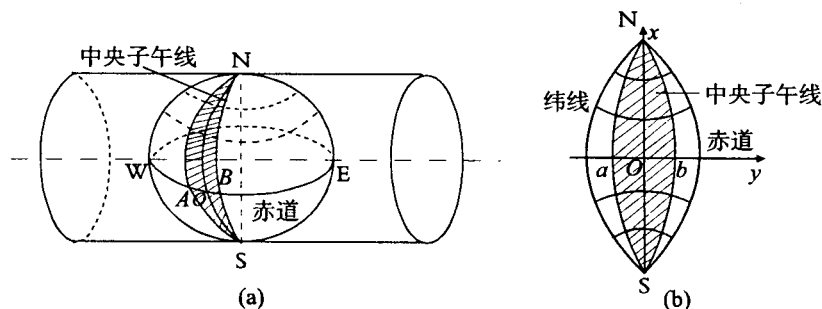


图 1-2-5 横椭圆柱投影及高斯平面坐标系