

建筑工程测量

(第三版)

● 华南理工大学测量教研室 编



图书在版编目 (CIP) 数据

建筑工程测量/华南理工大学测量教研室编.—3 版.—广州: 华南理工大学出版社,
2002.6 (2007.8 重印)
(21 世纪土木工程教材)
ISBN 978-7-5623-0184-4

I. 建… II. 华… III. 建筑测量 IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 039751 号

总 发 行: 华南理工大学出版社 (广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

营销部电话: 020-87113487 87110964 87111048 (传真)

E-mail: scutc13@scut.edu.cn

<http://www.scutpress.com.cn>

责任编辑: 欧建岸

印 刷 者: 湛江日报社印刷厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 15.375 字数: 369 千

版 次: 2002 年 6 月第 3 版 2007 年 8 月第 13 次印刷

印 数: 79001~81500 册

定 价: 23.00 元

版权所有 盗版必究

初版前言

本书是根据土建类测量学教学大纲并结合作者多年的教学经验和生产实践的体会编写而成的。全书共十四章，分别介绍测量学的基本知识、基本理论、测量仪器的构造和使用、控制测量、大比例尺地形图的测绘和应用以及有关建筑工地的施工测量等。

本书由冯友蓉、郑炳礼主编。参加编写的同志有：吴潮第（第三、五章）、李植强（第二章）、刘克民（第八章）、杨平（第四、十二、十三章）、郑炳礼（第六、七、九章）、冯友蓉（第一、十、十一、十四章及第四章的第五节）。本书的图大多由李植强描绘。

在本书的编写过程中，得到华南理工大学施工教研室老师们热诚帮助和指导，在此致以衷心感谢。由于思想和业务水平所限，谬误在所难免，谨请读者批评指正。

编 者

1985年3月

再版前言

本书自 1985 年出版以来，受到广大读者热情的支持并提出了许多宝贵意见。现根据读者的建议和适应工程建设日益发展的需要，我们对本书作了修改和补充。

主要增加及改写部分是：角度测量一章中增加了电子经纬仪简介；距离测量和直线定向一章中第 5 节改写为光电测距仪；测量误差的基本知识一章中增加了加权平均值及其中误差；小地区控制测量一章中增加了全球定位系统（GPS）测量；施工测量基本工作一章中增加了全站型电子速测仪的应用和圆曲线测设。此外，本书某些部分还作了修改和删减。本书增加及改写部分由郭祥瑞同志执笔编写。

藉此机会，我们向在本书改写过程中给予大力协助，提出宝贵意见和建议的有关单位、兄弟院校和广大读者，致以衷心的感谢！

华南理工大学测量教研室

1996 年 3 月

第三版前言

为了适应工程建设日益发展的需要，满足新教学大纲的要求，我们在第二版的基础上进行修改和补充，出版第三版。

本书自 1985 年出版至今，受到广大师生和工程技术人员的肯定，已发行近 7 万册。这说明本书在满足高等院校“测量学”课程的教学需要，为土木工程技术人员提供技术参考等方面具有一定的价值。

随着科学技术的迅猛发展，测绘技术也发生了根本的变革，作为教材应反映现代测量技术及其发展方向。本次修订在听取广大读者意见的基础上，充分尊重出版社的有关建议，保持了教材的原有体系，兼顾了专业知识的深度和广度以及先进技术与传统技术之间的关系，对书中第一至第四章、第六至第九章、第十二至第十四章内容进行了修改。

本书第三版由郭祥瑞主持修订并执笔编写，郑炳礼和李植强参与审定。

本书的配套教材为《〈建筑工程测量〉实习指导及习题集》，由华南理工大学出版社出版发行。

本版吸取了本书出版 16 年来许多专家、同行及读者的宝贵意见，在此表示深切的谢忱！同时感谢华南理工大学出版社对本书的重视，对我们工作的支持！

华南理工大学测量教研室

2001 年 10 月

目 录

第一篇 测量学的基本原理和方法

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 测量学的一般概念	(1)
§ 1-2 建筑工程测量的任务及作用	(2)
§ 1-3 铅垂线、水平线、水平面和水准面	(2)
§ 1-4 地球的形状和大小	(3)
§ 1-5 地面上点位的确定	(4)
§ 1-6 水平面代替水准面的限度	(7)
§ 1-7 测量工作概述	(8)
§ 1-8 测量的计量单位	(9)
思考题与习题	(10)
第二章 水准测量	(11)
§ 2-1 高程测量概述	(11)
§ 2-2 水准测量原理	(11)
§ 2-3 测量仪器和工具	(12)
§ 2-4 水准仪的使用	(15)
§ 2-5 水准测量的基本方法	(16)
§ 2-6 水准测量的精度要求和内业计算	(20)
§ 2-7 地球曲率和大气折光对水准测量的影响	(23)
§ 2-8 水准测量误差及注意事项	(24)
§ 2-9 水准仪的检验校正	(26)
§ 2-10 自动安平水准仪简介	(29)
§ 2-11 精密水准仪简介	(30)
§ 2-12 电子水准仪简介	(31)
思考题与习题	(31)
第三章 角度测量	(34)
§ 3-1 角度测量的概念	(34)
§ 3-2 DJ ₆ 级光学经纬仪	(36)
§ 3-3 DJ ₂ 级光学经纬仪	(41)
§ 3-4 经纬仪的使用	(43)
§ 3-5 水平角观测	(45)
§ 3-6 竖直角观测	(49)

§ 3-7 经纬仪的检验校正	(53)
§ 3-8 水平角观测的误差及其消减方法	(57)
§ 3-9 仪器的维护	(59)
§ 3-10 电子经纬仪简介	(60)
思考题与习题	(63)
第四章 距离测量及直线定向	(65)
§ 4-1 距离测量的工具和直线定线	(65)
§ 4-2 钢尺量距的一般方法	(66)
§ 4-3 钢尺量距的精密方法	(68)
§ 4-4 距离测量的误差及注意事项	(71)
§ 4-5 光电测距仪	(72)
§ 4-6 直线定向	(77)
§ 4-7 用罗盘仪测定直线的磁方位角	(79)
思考题与习题	(80)
第五章 测量误差的基本知识	(82)
§ 5-1 测量误差及其分类	(82)
§ 5-2 衡量精度的指标	(85)
§ 5-3 算术平均值及其中误差	(87)
§ 5-4 误差传播定律	(91)
§ 5-5 加权平均值及其中误差	(98)
思考题与习题	(101)
第六章 地形图的基本知识	(103)
§ 6-1 地图、平面图和地形图	(103)
§ 6-2 比例尺	(103)
§ 6-3 图幅分幅、图名与图号	(105)
§ 6-4 地形图图式	(106)
§ 6-5 等高线	(108)
§ 6-6 高斯平面直角坐标的概念	(112)
思考题与习题	(113)

第二篇 大比例尺地形图的测绘

第七章 小地区控制测量	(114)
§ 7-1 控制测量概述	(114)
§ 7-2 导线测量的外业工作	(117)
§ 7-3 导线测量的内业计算	(118)
§ 7-4 坐标反算问题	(126)

§ 7-5 小三角测量	(127)
§ 7-6 交会定点	(132)
§ 7-7 高程控制测量	(138)
§ 7-8 全球定位系统 (GPS) 测量	(142)
思考题与习题	(144)

第八章 大比例尺地形图的测绘..... (147)

§ 8-1 视距测量	(147)
§ 8-2 小平板仪测量	(152)
§ 8-3 测图前的准备工作	(154)
§ 8-4 增设测站点的方法	(155)
§ 8-5 碎部测量	(157)
§ 8-6 等高线的勾绘	(162)
§ 8-7 地形图的检查、清绘、拼接与整饰	(163)
思考题与习题	(164)

第九章 地形图的应用..... (166)

§ 9-1 地形图的阅读	(166)
§ 9-2 地形图应用的基本内容	(166)
§ 9-3 根据等高线绘制指定方向断面图	(168)
§ 9-4 面积计算	(169)
§ 9-5 建筑场地的平整	(171)
思考题与习题	(175)

第三篇 工业与民用建筑中的施工测量

第十章 施工测量的基本工作..... (177)

§ 10-1 施工测量概述	(177)
§ 10-2 测设的基本工作	(178)
§ 10-3 测设点位的方法	(181)
§ 10-4 测设已知坡度的直线	(184)
§ 10-5 圆曲线测设	(185)
§ 10-6 全站型电子速测仪的应用	(188)
思考题与习题	(193)

第十一章 建筑场地的施工控制测量..... (195)

§ 11-1 概述	(195)
§ 11-2 建筑基线	(196)
§ 11-3 建筑方格网	(198)
§ 11-4 坐标换算	(199)

§ 11-5 建筑场地的高程控制测量	(201)
思考题与习题	(202)
第十二章 工程建筑物的施工测量	(203)
§ 12-1 民用建筑施工中的测量工作	(203)
§ 12-2 工业厂房的施测	(206)
§ 12-3 高层建筑物的施工测量	(210)
思考题与习题	(214)
第十三章 管道工程测量	(215)
§ 13-1 概述	(215)
§ 13-2 管道中线定位	(215)
§ 13-3 管道纵断面图的测绘	(216)
§ 13-4 管道横断面图的测绘	(219)
§ 13-5 面积和土方量计算	(221)
§ 13-6 管道施工测量	(222)
思考题与习题	(224)
第十四章 建筑物变形观测及竣工总平面图的编绘	(225)
§ 14-1 建筑物变形观测概述	(225)
§ 14-2 建筑物的沉降观测	(225)
§ 14-3 建筑物的倾斜观测	(229)
§ 14-4 建筑物的裂缝观测	(232)
§ 14-5 建筑物的位移观测	(233)
§ 14-6 竣工总平面图的编绘	(233)
思考题与习题	(234)
参考文献	(236)

第一篇 测量学的基本原理和方法

第一章 绪 论

§ 1-1 测量学的一般概念

测量学是一门量测地球表面形状和大小以及确定地面点位位置的科学。其主要内容包括测定和测设两个方面：测定是应用各种测量方法研究施测地区的大小、形状及其有关情况，所得结果，可以直接用数值表示，也可以将其按比例缩绘成图，以满足生产、科研、国防和工程建设规划设计使用；测设是将设计图纸上的工程建筑物的位置在实地标定出来，作为施工的依据。

测量学按其研究的对象和应用范围的不同可以分为以下几个主要学科：

(1) 大地测量学：研究整个地球或地表大区域的形状、大小以及地球重力场测定理论和方法的学科。由于人造地球卫星和遥感技术的发展，大地测量学又分为常规大地测量和卫星大地测量。

(2) 普通测量学（又称地形测量学）：将地球表面局部地区的地物和地貌按一定比例尺测绘成大比例尺地形图的基本理论和方法的学科。由于涉及的区域相对较小，所以可以把地球曲面近似地作为平面看待，此时不考虑地球曲率的影响。

(3) 摄影测量学：研究利用摄影或遥感技术获取地物和地貌的影像并进行分析处理，以绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科。摄影测量学又分为航空摄影测量和近景摄影测量。前者主要用于各种比例尺地形图的测绘，后者用于古建筑物的测绘和建筑物的变形观测等方面。

(4) 工程测量学：研究工程建设在勘察设计、施工和运营管理阶段中进行测量工作的理论和方法的学科。建筑工程测量属于工程测量学的范畴。

现代科学技术的高速发展促进了测绘科学的发展。从 20 世纪 60 年代开始，光电技术和电子计算机技术等引入测绘领域后，测量仪器已广泛趋向于电子化和自动化，产生了电子水准仪、电子经纬仪、全站型电子速测仪等自动化程度很高的仪器。利用这些仪器，可对野外观测数据进行自动存储，并与计算机连接自动处理数据和绘图。随着卫星遥感技术的不断发展，可以全天候和全天时对地观测，获得覆盖面积大、信息丰富的地面数据。遥感信息的应用分析也已从静态分析向动态监测过渡，从对资源与环境的定性调查向计算机辅助的定量自动制图过渡，从对各种现象的表面描述向软件分析和计量探索过渡。20 世

纪 90 年代以来，GPS (Global Positioning System) 卫星定位和导航技术与现代通信技术相结合，在空间定位技术方面引起了革命性的变化。用 GPS 同时测定三维坐标的方法将测绘定位技术从陆地和近海扩展到整个海洋和外层空间，从静态扩展到动态，从单点定位扩展到局部与广域差分，从事后处理扩展到实时（准实时）定位与导航，相对精度大大提高，绝对精度扩展到米级、厘米级乃至亚毫米级。

随着现代科学技术的不断进步，测量科学也必然会向更高层次的电子化、自动化和智能化方向发展。

§ 1-2 建筑工程测量的任务及作用

建筑工程测量是研究工业与民用建筑的勘察、设计、施工和管理等阶段中所需进行的各种测量工作。它的任务是：

(1) 利用各种测量仪器和工具测定地面点的相互位置，将地面的形状和大小按一定比例尺描绘成地形图等供规划设计之用。

(2) 将拟建建筑物的位置和大小按设计图纸的要求测设在地面上以便施工，这种工作通常称为测设，又称施工放样或放线。

(3) 竣工以后，为工程验收、扩建和改建提供可靠资料，需要进行竣工测量。有时为了鉴定建筑物的工程质量及监护建筑物的运营，或为建筑结构及地基基础科学研究提供资料，还要在施工过程和使用管理各阶段中对这些建筑物进行沉降、位移和倾斜等变形观测。

如上所述，测量工作实际上贯穿于建筑工程的全过程，其质量直接关系着工程建设的速度和质量。随着我国现代化建设事业的蓬勃发展，工程建设的速度和复杂程度越来越高，因而测量工作的精度和速度也要相应不断提高。

§ 1-3 铅垂线、水平线、水平面和水准面

铅垂线就是重力方向线，可用悬挂垂球的细线方向来表示。垂球为金属制成的倒圆锥（图 1-1），将一端打结的细线的另一端穿过一个空心螺旋，并旋于倒圆锥底部用以悬挂垂球，垂球悬挂时细线的延长线应通过垂球尖端。

与铅垂线正交的直线称为水平线；与铅垂线正交的平面称为水平面。

海水面在没有风浪、潮汐影响而处于静止状态时称为水准面。湖泊的水面处于静止状态时也是一个水准面。水准面是一个曲面（图 1-2），其特性是：曲面上任一点的铅垂线

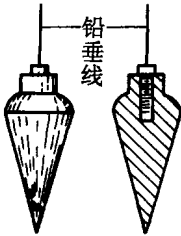


图 1-1



图 1-2

都垂直于这个曲面。所有满足这个特性的曲面都是水准面，因此水准面可以有无限多个，其中与静止状态的平均海水面相吻合并延伸到大陆内部的水准面称为大地水准面。

§ 1-4 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的，所以必须了解地球的形状和大小。众所周知，地球表面是不平坦、不规则的，有高山峻岭、万丈深渊，有一望无际的平原、纵横交错的江河湖泊和浩瀚的海洋等等。其中海洋水面占整个地球表面的 71%，而陆地仅占 29%。世界上最高的珠穆朗玛峰高出海面 8 848.13 m，最低的海底深渊（位于太平洋西部马里亚纳海沟的斐查兹 Vitiaz 海渊）比海面低 11 034 m。但这些高低起伏幅度与地球大小比较是微不足道的，可以忽略不计。

如前所述，大地水准面是静止的平均海面延伸穿过大陆岛屿所形成的闭合曲面，人们将大地水准面所包围的形体称为大地球体，因而用大地球体代替地球形状本来是恰当的，只是由于地球内部质量分布不均匀，所以地面上各点的铅垂线方向随之产生不规则的变化，致使大地水准面成为有微小起伏的、不规则的曲面。如果将地球表面上的图形投影到这个不规则的曲面上，则在制图和测量计算上会造成很大的困难。测量科学工作者根据大量的观测数据，推算了一个非常接近大地水准面，并且可以用数学式表示的几何形体来代替实际的地球形体，作为测量工作的基准面，这就是所谓地球椭球体（又称参考椭球体），如图 1-3 所示。地球椭圆体系一椭圆 PQP_1Q_1 绕其短轴 PP_1 旋转而成，故又称旋转椭球体，其大小是由长半轴 a 及扁率 α 所决定的。国内外的测量工作者曾多次测定了这两个元素的数值。我国从 1953 年起至 1975 年间采用前苏联克拉索夫斯基（Ф.Н.Красовски й）的旋转参考椭球体，其长半轴与扁率如下

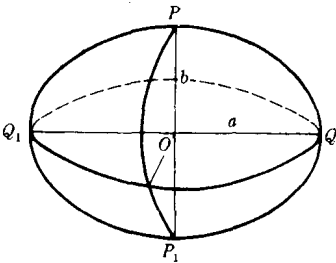


图 1-3

$$a = 6\,378\,245\text{ m}$$

$$\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298.3}$$

并建立了“1954 年北京坐标系”。我国目前采用的数值为 1975 年“国际大地测量与地球物理联合会”（IUGG）通过并推荐的值：

$$a = 6\,378\,140\text{ m}$$

$$\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298.257}$$

大地原点设在陕西泾阳县永乐镇，由此在参考椭球体上建立了全国统一的坐标系，即目前使用的“1980 年国家大地坐标系”。

地球的扁率是很小的。可以设想，如以 3 m 长作为地球模型的长轴，其短半轴仅比长半轴少 1 cm，这样的形体与圆球体差别很小。因此，当测区面积不大时，可以把地球椭球体（即地球形体）看作圆球体，其半径 R 为 6 371 km。

§ 1-5 地面上点位的确定

一、确定地面点位的方法

众所周知,所有几何形状都是由一系列连续不断的线和面组成的。地球表面形态很不规则,用常规的方法不容易直接测得地表连续的线和面的形状。因此,为了测得地面上各种图形的位置和形状,通常只能适当选择地面上图形的有限个特征点并测定其位置来加以确定。

如图 1-4 所示,设将地面上不同高度的三点 A , B 及 C 分别沿铅垂线方向投影到大地水准面 P' 上可得 a' , b' 及 c' 三点。这些点分别表示地面 A , B , C 各点在球面上的相应位置。

可以设想在测区的中央作水平面 P 并与水准面 P' 相切,过地面上 A , B , C 的铅垂线与水平面相交于 a , b , c , 这些交点便代表地面相应点的平面位置。 a , b , c 是地面上 A , B , C 点的水平投影。

因此,地面点的空间位置可以用点在水准面上或水平面上的位置及点到大地球水准面的铅垂距离来确定。

因此,确定地面上一点的位置通常是指确定点的坐标和点的高程。

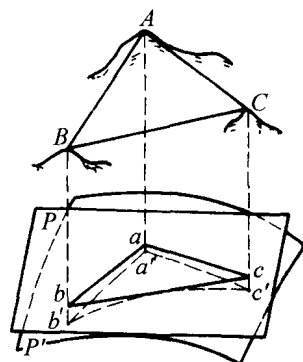


图 1-4

二、地面点的高程

地面点高低的位置是用点的高程表示的。

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程或海拔。如图 1-5 所示, A , B 点的绝对高程或海拔分别为 H_A , H_B 。在 1987 年以前,我国统一的绝对高程是青岛验潮站 1956 年及其以前所测资料,经统计计算后确定的黄海平均海水面作为高程起算面,特称为“1956 年黄海高程系统”。广东省假定珠江的平均海水面比黄海的平均海水面高 0.586 m。

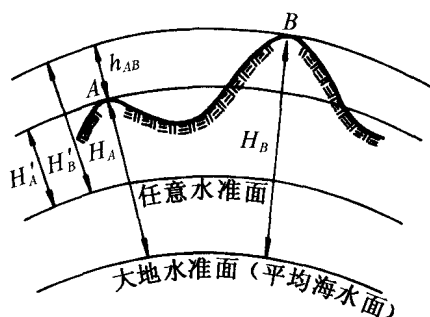


图 1-5

目前,我国采用“1985 国家高程基准”,它是采用青岛验潮站 1953 年至 1979 年验潮资料计算确定的,并推算得青岛水准原点高程为 72.260 m,全国各地高程都以它为基准进行测量。利用旧的高程测量成果时,要注意高程基准的统一和换算。

如果以任意一个水准面作为高程的起算面,则由地面点到任意水准面的铅垂距离为该点的相对高程或假定高程。如图 1-5, A , B 的假定高程分别为 H'_A , H'_B 。

两个地面点之间的高程差称为高差。A, B 点之间的高差 h_{AB} 为

$$h_{AB} = H_B - H_A$$

或

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

高差有正负之分, 如图 1-5 中的 B 点比 A 点高, AB 的高差 h_{AB} 为正; 而 BA 的高差 h_{BA} 则为负。

三、地面点的坐标

点的位置常用坐标值来表示。坐标系分为地理坐标、平面直角坐标和地心坐标。

1. 地理坐标

地理坐标是用经度和纬度来表示地面点的位置。按坐标所依据的基本线 and 基本面的不同以及求坐标方法的不同, 地理坐标又可分为天文地理坐标 (依据的是铅垂线 and 大地水准面) 和大地地理坐标 (依据的是法线 and 参考椭球体) 两种。

(1) 天文地理坐标 天文地理坐标又称天文坐标, 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。天文坐标可用天文测量的方法测定。

如图 1-6 所示, 地球旋转轴为地轴 (PP_1), 地轴与地球表面相交于 P, P_1 点, 在北半球的 P 称为北极, 在南半球的 P_1 称为南极。地轴的中点 O 称为地心。通过地心与地轴垂直的平面称为赤道面, 赤道面与地球表面的交线称为赤道。其他平行于赤道面的平面与地球表面的交线称为纬线。

通过地球表面上任一点 M 与地轴 PP_1 所组成的平面, 称为 M 点的真子午面或天文子午面。真子午面与地球表面的交线, 称为真子午线或天文子午线 (PMM_1P_1), 又称经线。通过英国格林尼治天文台的子午面, 称为本初子午面 (或称首子午面), 该子午线称为本初子午线 (PKK_1P_1) 或称首子午线。

地面上某点的天文经度, 即通过该点的天文子午面与本初子午面之间的夹角, 用 λ 表示。由本初子午面起算向东或向西量度, 向东量度为东经, 向西量度为西经, 各由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。如图 1-6 中 M 点的经度为东经 λ 度。

地面上某点的天文纬度, 即通过该点的铅垂线与赤道面间的夹角, 用 φ 表示。纬度是从赤道向北或向南量度。向北量度的称为北纬, 向南量度的称为南纬。南北纬度各从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。如图 1-6 中 M 点的纬度为北纬 φ 度。

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, 例如广州的地理坐标为东经 $113^\circ 18'$, 北纬 $23^\circ 07'$ 。

(2) 大地地理坐标 大地地理坐标又称大地坐标, 是表示地面点在旋转椭球面上的位置, 它的基准是法线 and 旋转椭球面, 它用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。P 点的大地经

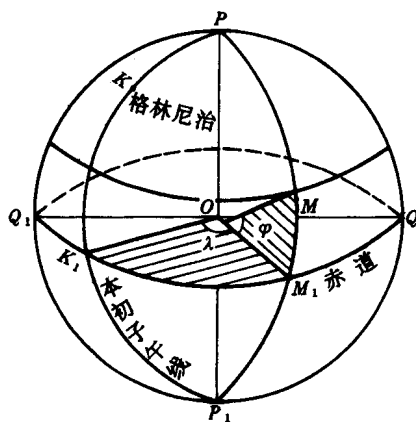


图 1-6

度 L 是过 P 点的大地子午面和首子午面所夹的两面角, P 点的大地纬度 B 是过 P 点的法线与赤道面的夹角。大地经、纬度是根据一个起始的大地点 (又称大地原点, 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大地原点为起算点, 由此建立新的大地坐标系, 称为 “1980 年国家大地坐标系”。

2. 平面直角坐标

在小区域范围内, 将大地水准面作水平面看待, 由此产生的误差不大时 (即误差在容许范围内), 便可以用平面直角坐标来代替球面坐标。这样做可以给测量和计算工作带来方便。

所谓平面直角坐标是由两条互相垂直的坐标轴 X 和 Y 所构成的。如图 1-7 所示, X 轴代表纵轴, Y 轴代表横轴, 两轴线的交点 O 称为坐标原点。地面上任一点 M 在平面上的位置, 是由该点至纵横轴的垂距 Mm_1 , Mm_2 来确定的。

通常纵坐标轴的方向与通过坐标原点的子午线方向重合, 即纵轴与南北方向线重合, 横轴与东西方向线重合。而且规定纵坐标 x , 从横轴起向北为正, 向南为负; 横坐标 y 从纵轴起向东为正, 向西为负。如图 1-7 中 M 点, X 值为正 ($+x_m$), 其 Y 值为负 ($-y_m$); A 点的 X 值为负 ($-x_a$), Y 值为正 ($+y_a$)。

象限按顺时针方向编号。其编号顺序与数学上直角坐标系的象限编号顺序相反, 且 X , Y 两轴线与数学上直角坐标系的 X , Y 轴互换。这是为了使测量计算时可以直接应用三角公式, 而无需作任何修改。

3. 高斯平面直角坐标

如果测区范围较大, 就不能把水准面当作水平面, 必须采用高斯投影的方法, 建立高斯平面直角坐标系。本书将在 § 6-6 中介绍这一坐标系统。

4. 地心坐标

地心坐标用于卫星大地测量, 它用三维直角坐标 x, y, z 表示地面点的空间位置。地心坐标的原点设在地球的质量中心, X, Y 轴在地球赤道平面内, 首子午面与赤道平面的交线为 X 轴, Z 轴与地球自转轴相重合, 如图 1-8 所示。地心坐标与大地坐标可以进行相互换算。

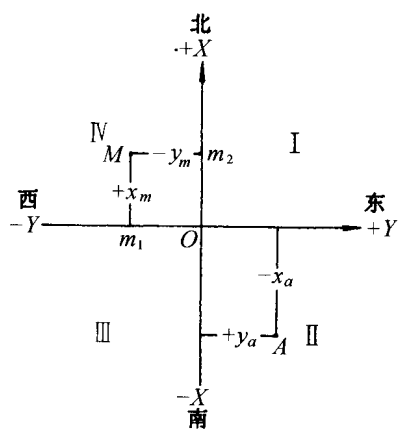


图 1-7

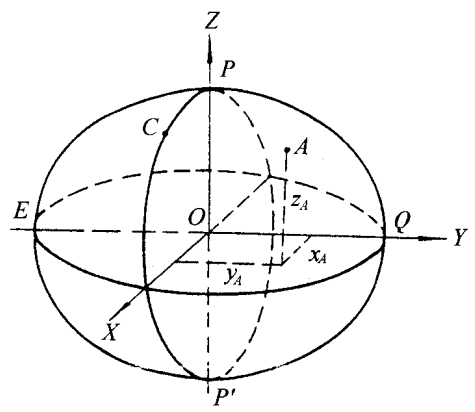


图 1-8

§ 1-6 水平面代替水准面的限度

当测区范围小，用水平面代替水准面所产生的误差不超过测量与制图的误差时，允许以水平面代替水准面，允许用平面直角坐标系统来代替球面坐标系统。那么，这个小区域的范围究竟可以多大呢？它的影响如何？以下将分别讨论这些问题。

一、对距离的影响

如图 1-9 所示， A, B 为大地水准面上两点，它们在大地上水准面上的长度为 AB 弧长 D ；过切点 A 作一水平面，以 D' 表示直线 AB' 的长度。 D' 与 D 的差值就是用水平面代替水准面时在距离方面的误差值。

设 R 为地球半径， θ 为 AB 弧所对的圆心角。由图可得

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

将 $\tan \theta$ 展为级数式

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3 + \frac{2}{15} \theta^5 + \dots \quad (1-2)$$

因 θ 角很小，只取式 (1-2) 的前两项，并以之代入式 (1-1)，得

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

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

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

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-4)$$

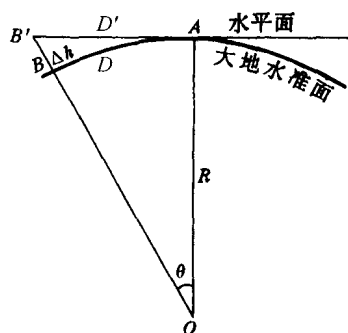


图 1-9

表 1-1 水平面代替水准面对距离测量的影响

D (km)	ΔD (cm)	$\frac{\Delta D}{D}$ (相对误差)
10	1	1:1 000 000
20	7	1:300 000
50	102	1:49 000

取 $R = 6\,371$ km，以不同的 D 值代入式 (1-3) 及式 (1-4) 即得表 1-1 所列的数值。

由表 1-1 可以看出，当 $D = 20$ km 时，用水平面上 D' 的长度代替大地水准面上的弧长 D ，所产生的误差是 7 cm，相对误差为三十万分之一。对常用的精度测量来说，这样小的误差是允许的。所以，对平面位置而言，在半径 20 km 的圆面积内是可以用水平面代替水准面的。

二、对高程的影响

如图 1-9 所示， A, B 两点均在大地水准面上，它们的绝对高程应为零，即 A, B 两点的高差应为零。但用水平面代替大地水准面之后， A, B 两点之高差成为 BB' ，这个差值就是地球曲率对高程的影响，用 Δh 表示

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$$

$$2 \cdot \Delta h \cdot R + \Delta h^2 = D'^2$$

由于 D' 与 D 相差很小，在上式中以 D 代 D' ，移项后可得

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R + \Delta h} \quad (1-5)$$

上式中分母 Δh 与 R 相比较， Δh 显得很微小，在分母中略去微量对分式没有什么影响，因而式 (1-5) 可写成

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-6)$$

取 $R = 6\,371\text{ km}$ ，以不同的 D 值代入上式可得表 1-2 数值。

表 1-2 用水平面代替水准面对高程测量的影响

D (km)	0.1	0.2	0.5	1	2	3	4
Δh (mm)	0.8	3.1	19.6	78.5	314	706	1256

从表 1-2 可以看出，用水平面代替水准面对高程的影响是很大的，距离仅 100 m 时高程的误差已达 0.8mm；对 200 m 的距离，高程的误差达 3.1 mm。这么大的误差，是不允许的，因此在高程测量中，尽管距离很短，也应该考虑地球曲率对高程的影响。

§ 1-7 测量工作概述

一、测量工作内容

测量的主要目的是为了确定点与点之间的相对位置，即确定点的平面位置和高程位置。在实际工作中常常不是直接测量点的坐标值和高程，而是观测点与点之间的距离、角度（或方向）和高程差。因此，高程、角度和距离是确定地面点位的三个基本要素，而高程测量、角度观测和距离测量则是测量工作的基本内容。

测量工作按其性质可分为外业和内业两种。

外业工作的内容包括应用测量仪器和工具在测区内测绘地面点的相对位置，或者把已设计的建筑物或构筑物的轴线按设计位置在地面上测设出来。

内业工作则是将外业观测的结果加以整理、计算，并绘制成图以便于使用。

二、测量工作的组织原则

测量工作的基本原则应该是：从整体到局部，先控制后碎部（或细部）。

为了测定测区地面上各点相对位置，要将房子、道路、耕地、山丘、树林地带等碎部测绘于图上，其作法如下：首先在测区内选定一些点（如图 1-10 中的 $A, B, C, D, \dots$ 等点）作为控制点，将这些点连接成多边形或三角形等图形以构成控制网；用较准确的方法测定控制点之间的距离、角度以及各点的高程差，并通过内业计算来确定这些点的平面