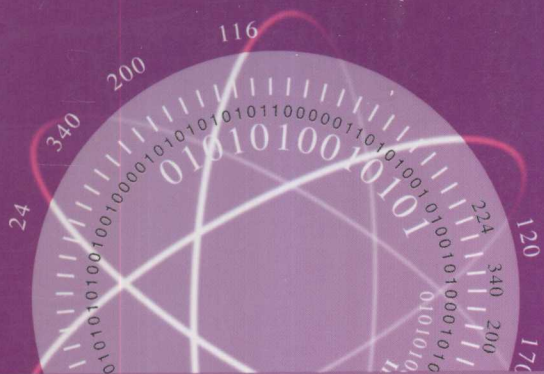
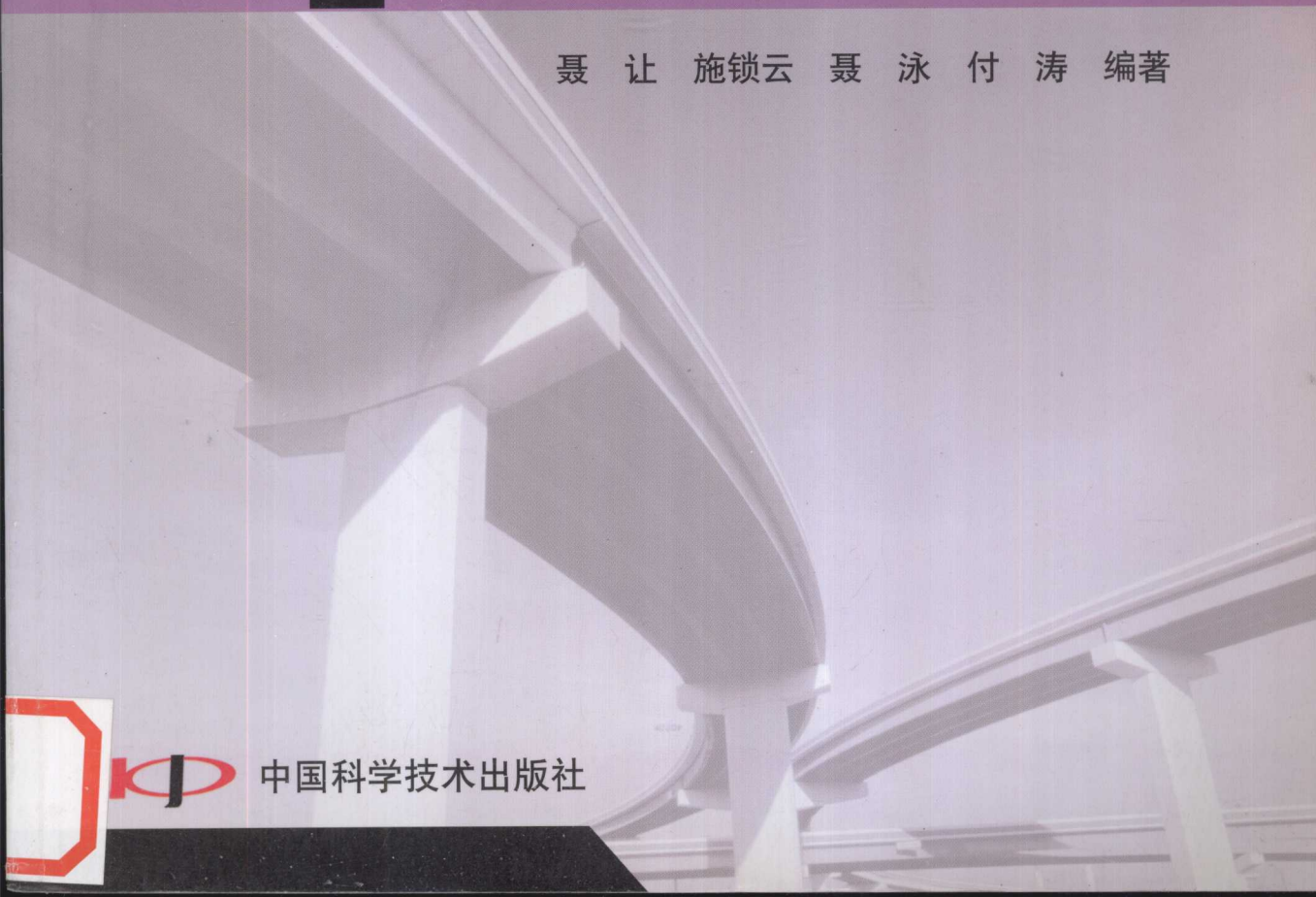




高等学校路桥工程
实例法学习丛书

测量学

聂 让 施锁云 聂 泳 付 涛 编著



中国科学技术出版社



THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTOR LENOX TILDEN FOUNDATION
125 WEST 47TH STREET
NEW YORK, N. Y. 10036

測量學

測量學

高等学校路桥工程实例法学习丛书

测 量 学

聂 让 施锁云
聂 泳 付 涛 编著

中国科学技术出版社
·北 京·

图书在版编目(CIP)数据

测量学/聂让等编著. —北京:中国科学技术出版社,
2004.5

(高等学校路桥工程实例法学习丛书)

ISBN 7-5046-3776-9

I.测... II.聂... III.工程测量-高等学校-教
学参考资料 IV.TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 033208 号

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081
电话:010-62103210 传真:010-62183872
科学普及出版社发行部发行
北京市卫顺印刷厂印刷

*

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16 印张:21.5 字数:510 千字
2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷
印数:1—4000 册 定价:44.00 元

内 容 提 要

本书旨在为土木工程专业大、中专院校学习工程测量学的师生提供一部十分有益的参考书。

本书的特点是:重视理论联系实际,力求与我国土木工程的生产实际相结合,同时也力求反映测量领域的最新科学技术成果。先对每个章节的重点内容讲解并对其难点进行分析,然后通过典型例题及工程实例来加强理论知识和实际应用能力,最后附有思考题及习题,以供学生自检对本课程的学习效果和掌握程度。

本书共分十三章。第二、三、四章由付涛编写;第九、十二章由聂泳编写;第七、八章由施锁云编写;其余由聂让编写。全书由聂让负责统一校订。

由于作者水平所限,书中难免有不妥、疏漏和错误之处,恳请读者指正。

责任编辑:张晓林

封面设计:王 环

责任校对:林 华

责任印制:李春利

目 录

第一章 测量学的基础知识	(1)
第一节 重要内容讲解及难点分析	(1)
一、测量学的任务与作用	(1)
二、地球的形状和大小	(1)
三、测量的基准面	(1)
四、坐标系统和高程系统	(3)
五、用水平面代替水准面的限度	(8)
六、测量工作的基本原则和程序	(8)
第二节 典型例题分析	(9)
第三节 思考题与习题	(10)
第二章 水准测量	(11)
第一节 重要内容讲解及难点分析	(11)
一、高程测量的概念	(11)
二、水准测量原理	(11)
三、水准仪和水准尺	(13)
四、水准仪的使用	(15)
五、水准测量的实施	(15)
六、水准测量的成果整理	(16)
七、水准仪的检验与校正	(17)
八、自动安平水准仪	(19)
九、水准测量误差及其消除、减弱影响的方法	(21)
第二节 典型例题分析	(23)
第三节 思考题与习题	(30)
第三章 角度测量	(33)
第一节 重要内容讲解及难点分析	(33)
一、角度测量原理	(33)
二、光学经纬仪	(33)
三、水平角测量	(35)

四、竖直角测量	(38)
五、经纬仪的检验与校正	(40)
六、水平角测量误差	(42)
七、光学经纬仪竖盘指标自动归零装置	(44)
八、电子经纬仪测角原理	(44)
第二节 典型例题分析	(48)
第三节 思考题与习题	(52)
第四章 距离测量和直线定向	(55)
第一节 重要内容讲解及难点分析	(55)
一、钢尺量距	(55)
二、直线定向	(58)
三、罗盘仪测定磁方位角	(60)
第二节 典型例题分析	(61)
第三节 思考题与习题	(65)
第五章 全站仪	(67)
第一节 重点内容讲解及难点分析	(67)
一、全站仪及其分类	(67)
二、红外测距原理	(67)
三、全站仪的结构及其辅助设备	(69)
四、全站仪的操作与使用	(72)
五、红外测距误差分析	(76)
六、全站仪测距部的检验	(78)
七、仪器使用的注意事项及维护	(81)
第二节 典型例题分析	(82)
第三节 思考题与习题	(82)
第六章 测量误差的基本知识	(84)
第一节 重要内容讲解及难点分析	(84)
一、测量误差的来源	(84)
二、测量误差的分类	(84)
三、偶然误差的特性	(85)
四、衡量精度的指标	(86)
五、误差传播定律	(88)
六、直接观测平差	(89)

第二节 典型例题分析	(95)
第三节 思考题与习题	(104)
第七章 小区域控制测量	(106)
第一节 重要内容讲解及难点分析	(106)
一、工程控制测量	(106)
二、导线测量	(106)
三、小三角测量	(113)
四、交会定点	(118)
五、坐标换带计算	(123)
六、三等和四等水准测量	(126)
七、三角高程测量	(128)
第二节 典型例题分析	(131)
第三节 思考题与习题	(157)
第八章 地形图的测绘与应用	(165)
第一节 重要内容讲解及难点分析	(165)
一、地形图的基本知识	(165)
二、地形图的分幅与编号	(167)
三、视距测量	(169)
四、平板仪及其使用	(171)
五、测图前的准备工作	(172)
六、碎部测量的方法	(172)
七、地形图的拼接、检查和整饰	(176)
八、地形图的应用	(176)
第二节 典型例题分析	(186)
第三节 思考题与习题	(198)
第九章 测设的基本工作	(203)
第一节 重要内容讲解及难点分析	(203)
一、测设已知水平距离的直线	(203)
二、测设已知水平角	(204)
三、测设已知高程	(205)
四、测设已知坡度线	(205)
五、测设点的平面位置	(206)
第二节 典型例题分析	(208)

第三节 思考题与习题	(215)
第十章 道路中线测量	(218)
第一节 重要内容讲解及难点分析	(218)
一、道路中线测量	(218)
二、交点和转点的测设	(218)
三、路线转角的测定和里程桩设置	(221)
四、圆曲线的主点测设	(223)
五、圆曲线的详细测设	(225)
六、虚交	(227)
七、复曲线的测设	(229)
八、回头曲线的测设	(229)
九、缓和曲线的测设	(231)
十、公路中线逐桩坐标计算	(238)
十一、用全站仪测设公路中线	(240)
第二节 典型例题分析	(241)
第三节 思考题与习题	(257)
第十一章 路线纵、横断面测量	(260)
第一节 重要内容讲解及难点分析	(260)
一、路线纵、横断面测量的概念	(260)
二、基平测量	(260)
三、中平测量	(261)
四、横断面测量	(264)
第二节 典型例题分析	(268)
第三节 思考题与习题	(270)
第十二章 施工测量	(271)
第一节 重要内容讲解及难点分析	(271)
一、道路施工测量	(271)
二、桥梁施工测量	(274)
三、隧道施工测量	(279)
四、建筑施工测量	(294)
第二节 典型例题分析	(308)
第三节 思考题与习题	(314)
第十三章 GPS 卫星定位测量	(316)

第一节 重要内容讲解及难点分析	(316)
一、GPS 全球定位系统的组成	(316)
二、GPS 定位的坐标系统	(318)
三、GPS 卫星信号	(320)
四、GPS 定位原理	(322)
五、GPS 接收机	(325)
六、GPS 测量的实施	(327)
七、GPS 实时动态测量	(330)
第二节 思考题与习题	(331)
参考文献	(333)

第一章 测量学的基础知识

第一节 重要内容讲解及难点分析

一、测量学的任务与作用

测量学是一门测定地面点位,研究地球形状和大小的科学。它包括测绘和测设两个方面:测绘是指测量某一地区地面的现实形状和大小,并按照一定的比例尺缩小绘制成各种比例尺的地形图,供国民经济建设和国防工程使用;测设是将设计图上的工程构造物的位置按照一定的精度在实地标定出来,作为施工的依据。

二、地球的形状和大小

由于一切测量工作都是在地球上进行的,因此必须了解地球的形状和大小。

地球表面是不规则的,有高山、丘陵、平原、峡谷、海洋、湖泊和河流等。其中最高的珠穆朗玛峰高出海水面 8848m;最低的太平洋西部马里亚纳海沟低于海水面 11022m。虽然这样的高低起伏很大,但相对于半径为 6371km 的地球而言,还是微小的。另外,考察到地球表面海洋的面积约占地球总面积的 71%,陆地面积只占 29%,因此设想将由静止的海水面延伸到陆地而围成的封闭的曲面作为地球的形状。自由静止的海水面称为水准面,水准面处处与铅垂线相垂直。由于海水潮起潮落,时高时低,所以水准面有无数个,而其中通过平均海水面的一个称为大地水准面。大地水准面所围成的形体称为大地体。用大地体表示地球形状是恰当的,但大地体是一个非常复杂、不规则的形体(物理面)。为便于处理测量成果,测量上通常就以非常接近于大地体的旋转椭球体作为地球的形状。这是一个可以用数学公式表示的几何形体,称为地球椭球体或参考椭球体。地球椭球体是两极之间略为扁平的椭球体,其扁率约为:

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \approx \frac{1}{298}$$

其中 a, b 分别表示地球椭球体的长半轴和短半轴。

因为地球的扁率很小,当测区面积不大时,可以把地球当作圆球,其半径为 6371km。

三、测量的基准面

(一) 水准面和大地水准面

水准面是一个处处与铅垂线垂直的连续曲面。在观测水平角时,整平经纬仪后,仪器的竖轴即位于铅垂线方向上,水平度盘与竖轴垂直,其所在的平面即是水准面的切平面。因此,所测的水平角实际上就是观测方向线在水准面上的投影线之间的夹角。在测量水平距

离时,也是以铅垂线为依据的,所以所测的水平距离是指不同高度的水准面上的距离。用水准测量方法测定两点之间的高差,所测高差是指过这两点的水准面的铅垂距离。由此可见,铅垂线和水准面是测量外业所依据的基准线和基准面。

前已述及,水准面有无数个。为了使测量成果具有共同的基准面,需要选择一个十分接近地球自然表面而又能代表地球形状和大小的水准面作为统一的标准,这就是大地水准面。

研究证明,在不同水准面上测得的水平角,将其归化到大地水准面上时改换很微小,完全可以忽略不计,因此在地面上测得的角值均可直接作为大地水准面上的角值。对于地面上测得的直线长度,虽然不能直接作为大地水准面上的长度,但可以根据改换公式将其换算到大地水准面上。地面点的高程则是直接由大地水准面起算的。

(二) 参考椭球体

大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面,它不是一个光滑的几何面,无法用数学公式将其精确地表示出来,因而也就不能精确地描绘其形状,也就无法在这个面上进行测量成果的计算。所以,必须用一个与大地体十分相近,并能用数学模型表示的规则形体,作为进行测量成果计算的基准面,这就是旋转椭球体。世界各国通常均以旋转椭球体代表地球的形状,称为地球椭球体。地球椭球体的大小和形状以长半轴 a 和短半轴 b 或扁率 α 来表示。与大地体最接近的地球椭球体称为总地球椭球体。总地球椭球体必须以全球范围的天文测量、大地测量和重力测量资料为依据才有可能确定,然而目前尚难获得占地球面积 71% 的海洋面的测量资料,所以许多国家只能根据本区域局部的测量资料推算出与本国或本区域大地水准面密切配合的地球椭球体,作为测量计算的基准面,这种地球椭球体称为参考椭球体。由此可见,参考椭球体有许多个,而总地球椭球体只有一个。

我国从 1949 年起采用前苏联的克拉索夫斯基椭球,其长、短半轴及扁率为:

$$a = 6378245(\text{m})$$

$$b = 6356863(\text{m})$$

$$\alpha = 1/298.3$$

目前我国所采用的参考椭球为 1980 年国家大地测量参考系(1975 年国际椭球),其长、短半轴及扁率为:

$$a = 6378140(\text{m})$$

$$b = 6356755.3(\text{m})$$

$$\alpha = 1/298.257$$

全球定位系统(GPS)所使用的坐标系为 WGS-84。WGS-84 椭球采用国际大地测量与地球物理联合会第 17 届大会大地测量常数推荐值:

$$a = 6378137(\text{m})$$

$$b = 6356752.3142(\text{m})$$

$$\alpha = 1/298.257$$

由于大地水准面是一个无规则的曲面,用任何一个参考椭球面与大地水准面进行配合,都不可能使两个曲面完全重合,因而只能寻求最佳的配合,使各处的差异达到最小,但其差异总是存在。通常表示大地水准面与参考椭球面之间差异的量为垂线偏差和大地水准面差距。垂线偏差是指地面上一点向大地水准面作一铅垂线与该点向参考椭球面作一法线之间的夹角,

如图 1-1 所示。而大地水准面差距是指大地水准面超出参考椭球面的高度,如图 1-2 所示。



图 1-1

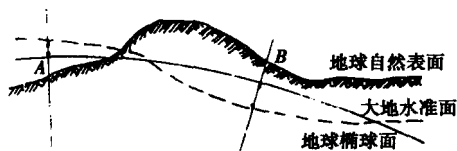


图 1-2

在实际测量中,都以参考椭球面作为计算的基准面,而外业测量都是以大地水准面(铅垂线)为准的。为此,在精密测量中,必须把以大地水准面为准的测量结果归化到参考椭球面上,然后才能进行计算。

四、坐标系统和高程系统

地面上的点是空间点,需要三个量来确定。在测量工作中,这三个量通常用地面点在球面或平面上的投影位置以及地面点到大地水准面的铅垂距离来表示,即确定地面点空间位置的坐标和高程。

(一) 地面点的坐标

根据实际需要,可选用下列三种坐标系统来表示地面点的位置:

1. 地理坐标

地理坐标是以经度和纬度表示的。它可以把整个地球面上的点置于一个坐标系中,故称绝对坐标。由于采用的基准面不同,又可分为天文地理坐标和大地地理坐标。

(1) 天文地理坐标

天文地理坐标是以大地水准面作为基准面的,是以铅垂线为依据的。坐标以天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。

天文子午面和子午线:过地面任一点的铅垂线并与地轴平行的平面,称为该点的天文子午面。其与地面的交线称为该点的天文子午线。

天文经度 λ :过一点的天文子午面与首子午面(过英国格林尼治天文台的子午面,经度的起算点)所夹的二面角,称为该点的天文经度。首子午线上的点经度为 0° ,向东、向西各算至 180° ,在首子午线以东为东经,以西为西经。

天文纬度 φ :通过一点的铅垂线与赤道平面所组成的角度,称为该点的天文纬度。赤道上的点纬度为 0° ,向北、向南各算至 90° ,在赤道以北为北纬,以南为南纬。

(2) 大地地理坐标

大地地理坐标是以参考椭球体作为基准面的,是以法线为依据的。坐标以大地经度 L

和大地纬度 B 表示。

大地子午面和子午线:包含参考椭球面的法线及其短轴的平面,称为大地子午面。其与椭球面的交线称为子午线。

大地经度 L :通过一点的大地子午面与首子午面所夹的二面角,称为该点的大地经度。亦分东经、西经。

大地纬度 B :通过一点的法线和赤道平面所组成的角度,称为该点的大地纬度。亦分北纬和南纬。

大地经度和纬度是根据一个起始的大地点即大地原点的大地坐标,通过大地测量所得的数据推算得到。我国现以位于陕西省泾阳县永乐镇的国家大地原点为起算点,建立了统一坐标系,称为“1980 年国家大地坐标系”。在此之前采用“1954 年北京坐标系”。

由于垂线偏差的存在,地面点的天文地理坐标和大地地理坐标是不相同的。在测量工作中,地面点的投影位置一般用大地地理坐标 L 和 B 表示。但实际测量时,如测距或测角均以铅垂线为准,因而所测得的数据必须经过改化才能得到大地地理坐标。在普通测量工作中,精度要求不很高,则可不考虑这种改化。

大地地理坐标通常称为大地坐标。

2. 高斯(Gauss, K·F)平面直角坐标

当测区范围较小时,可将地球表面视为平面,但若测区范围较大,则不能作平面看待。如何将球面上的点绘在平面上(图纸上),这就要求选用适当的投影方法。我国通常采用高斯投影的方法。

(1) 高斯投影

高斯投影属于正形投影,即在小区域内,椭球面上的图形投影到平面上,其图形保持相似或者说角度保持不变。正形投影在数学上称为等角投影。

如图 1-3 所示,高斯投影是设想将一个圆柱面横套在地球椭球体的外面,并与椭球面上的一条子午线相切,该子午线称为中央子午线。圆柱体的中心轴线通过椭球体的中心并与地轴正交。按照正形投影,将中央子午线两侧各一定经差范围内的地区投影到圆柱面上。再将此圆柱面沿过两极的母线切开展成平面,如图 1-4 所示。这个平面称为高斯投影平面。

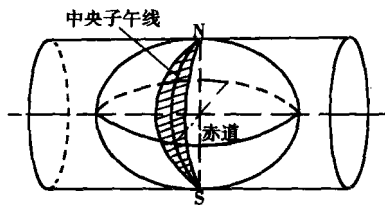


图 1-3

在高斯投影平面上,离中央子午线愈远,长度变形愈大。为了将长度变形限制在测量精度所容许的范围内,必须进行分带投影。通常采用 6° 分带的方法。如图 1-5 所示,即从首子午线起每隔经差 6° 为一带,将椭球面由西向东分为 60 个带,带号依次为 1, 2, 3, ..., 60。我国地处第 13 号带至第 23 号带上,共计 11 带。中央子午线的经度 L_0 可按下式计算:

$$L_0 = 6n - 3 \quad (1-1)$$

式中, n 为带号。

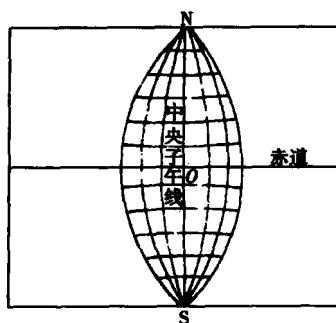


图 1-4

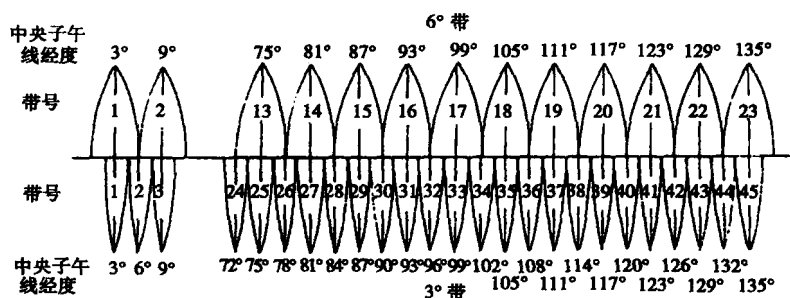


图 1-5

为满足大比例尺测图和工程测量的精度要求,可采用 3°带,如图 1-5 所示。3°带是从东经 1°30′起由西向东每隔经差 3°分为一带,共分 120 个带。这样划分就使得 3°带的中央子午线一部分与 6°带的中央子午线重合,而另一部分与 6°带的分界子午线重合。3°带的中央子午线经度 L'_0 可按下式计算:

$$L'_0 = 3n' \quad (1-2)$$

式中, n' 为 3°带的带号。

(2) 高斯平面直角坐标

在高斯投影平面上,中央子午线和赤道的投影都是直线,而且相互垂直。故以中央子午线与赤道的交点 O 作为坐标原点,以中央子午线的投影为纵坐标轴 x ,向北为正,向南为负。以赤道的投影为横坐标轴 y ,向东为正,向西为负。这样就建立了高斯平面直角坐标系,如图 1-6 所示。

由于我国领土均在赤道以北,因此 x 值均为正值,但 y 值却有正有负。由于 y 坐标的最大值(在赤道上)约为 330km,为了避免出现负值,就将纵坐标轴向西移了 500km(图 1-7),这样就等于在横坐标上加了 500km。此外,为了表明坐标点位于哪一个 6°带内,在横坐标值的前面再冠以带号,这种坐标称为国家统一坐标。

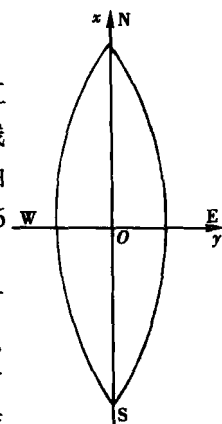


图 1-6

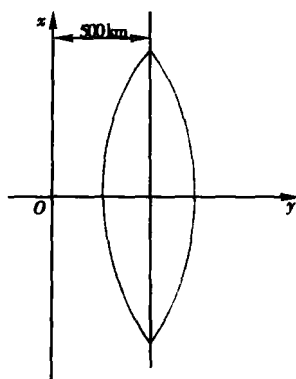


图 1-7

3. 独立平面直角坐标

当测量区域较小(如半径不大于 10km 的范围)时,可以不考虑地球曲率而把球面看作平面,因此可以采用独立平面直角坐标。

由于测量中确定直线方向的角度即坐标方位角是从坐标纵轴北端开始按顺时针方向计量的,而数学上的角度则是从坐标横轴开始逆时针方向计量的,为了与数学保持一致,直接应用数学上的三角公式,测量中就以 x 轴作为纵轴,正向指北; y 轴作为横轴,正向指东。坐标象限按顺时针方向编号,如图 1-8 所示。

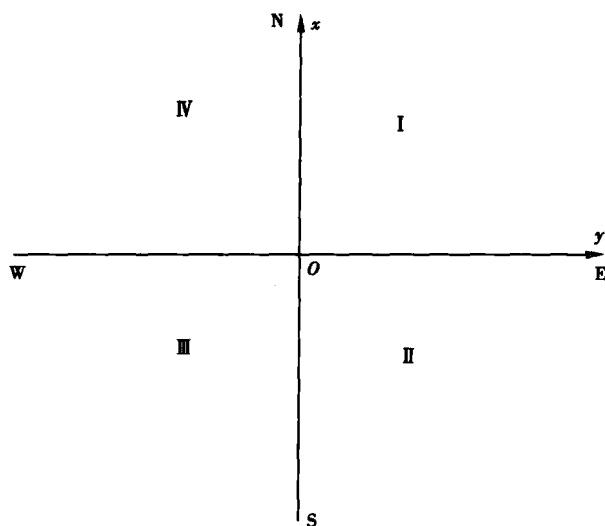


图 1-8

(二) 地面点的高程

1. 绝对高程

绝对高程的基准面是大地水准面。地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,亦称海拔。在图 1-9 中,符号 H 表示高程(一般不用其他符号), H_A 和 H_B 为地面点 A 和 B 的绝对高程。