

园林建设管理丛书

YUANLIN JIANSHE GUANLI CONGSHU

测量学

陈改英 主编



气象出版社

园林建设管理丛书

测 量 学

陈改英 赵 群 编著

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

测量学/陈改英主编. —北京:气象出版社, 2001. 6

(园林建设管理丛书)

ISBN 7-5029-3178-3

I. 测… II. 陈… III. 测量学 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 034568 号

内 容 简 介

本书对测量学的基本理论、基本方法及有关的主要仪器的使用作了较为详细的阐述,力求说理详明、文字浅显。在内容上还针对园林专业的专业特点,以地形测量为重点,对小地区控制测量、小地区大比例尺地形图的测绘、地形图的应用以及各种类型的专业测量作了较为全面的介绍,并对 GPS 测量等测量新技术作了简单的介绍。本书可作为大专院校园林专业及其相近专业的测量学教材,亦可作为广大园林工作者学习测量学课程的培训教材和参考书。

气象出版社出版

(北京市中关村南大街 46 号 邮编:100081)

责任编辑:方益民 宋 群 终审:黄润恒

封面设计:刘 扬 责任技编:陈 红 责任校对:高 萍

* * *

北京市宏远兴旺印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:12.625 字数:323 千字

2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—6000 定价:25.00 元

《园林建设管理丛书》编委会

主 任:刘克锋

副主任:赵祥云 贾 稊 石爱平 赵和文 李金鸣

编 委:(以姓氏笔画为序)

马晓燕	王沛永	王树栋	于建军	云其芳	石爱平
卢 圣	关雪莲	李 征	李金鸣	李月华	江幸福
刘克锋	刘建斌	刘月秋	陈改英	陈新露	陈之欢
冷平生	肖 武	杨晓红	张红梅	张克中	张维妮
张祥平	郑 强	郝玉兰	柳振亮	侯芳梅	赵 群
赵和文	赵祥云	贾 稊	高润清	韩 劲	黄 凯
梁伊任					

出版说明

随着我国城市建设迅速发展及小城镇建设的长足进步,人们的环保意识不断加强,对环境的要求越来越高,环境绿化美化已成为人们的普遍要求。为了适应我国园林事业迅速发展的需要,我们自1992年开始举办了18期园林花卉函授班和6期园林规划设计及工程培训班,培养学生近万名。结合多年的函授教学及本院本、专科的教学及科研和生产经验,经《园林建设管理丛书》编委会研究决定,在原有《园林植物·营建·管理丛书》及《园林营建丛书》的基础上,修改编写了这套《园林建设管理丛书》。本丛书共有16册,包括:《园林树木学》、《园林生态学》、《园林苗圃学》、《园林植物病虫害》、《植物生物学》、《土壤肥料学》、《园林建筑》、《园林经济管理》、《测量学》、《花卉学》、《计算机辅助园林设计》、《园林景观设计》、《园林植物育种学》、《园林制图》(修订版)、《园林工程》(修订版)及《城市园林绿地规划》(修订版)。

这是目前国内一套较系统的园林科技丛书,它既包括了园林专业的基本知识、基本理论和基本技能,又有最新的应用技术和研究成果,内容翔实,文字精练,许多书中配有大量的黑白实物图及彩色照片,使其内容更加直观丰富。可供园林、城市森林、园艺等专业的科技人员参考,也可作为农林院校有关专业的教材。

本丛书由北京农学院园林系及北京林业大学园林学院有多年教学经验和实践技能的教师编写审定。在编写中参考了大量的国内外价值较高的图书文献,故本丛书的内容具有一定的先进性。考虑到学习的同志水平不一等情况,在编写中注意由浅入深,程度适宜,所以本丛书又具有一定的普及性。由于编写者的水平及篇幅限制,书中不足之处定有不少,请广大读者批评指正。

本丛书在出版过程中得到了气象出版社方益民同志的大力支持及协助,在此一并表示致谢。

《园林建设管理丛书》编委会
2001年1月

序

测绘学是一门研究对地球整体及其表面与外层空间中的各种自然和人造物体上与地理空间分布有关的信息进行采集、处理、管理、更新和利用的科学和技术,其主要学科内容有:大地测量学、摄影测量与遥感学、地图学、工程测量学、矿山测量学、海洋测量学、土地信息学和地理信息学等,测绘学的服务范围和对象为国民经济和国防建设中与利用空间信息有关的各个领域。

测量学又称“普通测量学”,是研究地球表面局部地区内测绘工作的基本理论、技术、方法的应用学科,其内容包括:控制网的建立、地形图的测绘和一般工程的测定。实质上,测量学是一门小范畴内的测绘学。

随着计算机技术、微电子技术、激光技术和空间技术的发展,GPS、RS、GIS 和数字测绘技术以及先进光电仪器的应用,给测绘学带来了革命性的变革,新理论、新技术、新工艺不断涌现,同时把测量的成果、成图纳入到电子计算机中成为数字成果、数字地图,并直接输出和传送电子地图等数字产品,而 3S 技术又是“地理信息工程”学科中主干分支学科。所以王之卓教授精辟地认为:地理信息工程就是当代的测绘学。

由四个国际组织共同组织成立的“国际测量师联合会”(IUSM)在 1990 年制定的章程中对测绘学的新定义为:测绘学是采集、量测、处理、分析、解译、描述、分发、利用和评价与地理和空间分布有关的数据的一门科学、工艺、技术和经济实体。这一定义阐述了当代测绘学的实质内容。

北京农学院陈改英等教师,结合园林专业的特点与要求编写的测量学,保留了原有测量学的基本理论、技术与方法等内容,同时把当代测绘新技术融入到传统的测量学中,使这本测量学具有新的时代气息,更加符合当前测量生产的实际,将使学生能掌握和了解更多的测绘知识与技能,产生更好的效应。本书编写文字流畅、通顺,对一些新技术的介绍深入浅出,内容适中,可满足园林专业对测量学知识的需求。

洪立波
2001 年 3 月 4 日

前 言

本书为适合园林专业的需要而编写,可作为大专院校园林专业及其相近专业的教科书使用,也可供园林工程施工人员学习参考。本书内容可分为六大部分:第一部分(第一章至第五章)为测量学基本知识、基本理论和基本方法;第二部分(第六章至第七章)为小地区地形测量;第三部分(第八章)为地形图的应用;第四部分(第九章)介绍本专业常用的几种专业测量;第五部分(第十章)为园林工程施工测量;第六部分(第十一章至第十二章)为介绍测量学的新技术。

本书第一至第十一章由陈改英编写,第十二章由赵群编写。在此向参考文献的作者及审阅本书原稿的北京测绘设计研究院洪立波先生致谢。

由于编者园林专业知识水平有限,书中有不妥之处,恳请批评、指正。

编著者
2001年1月

目 录

出版说明

序

前言

第一章 绪论	(1)
第一节 测量学的任务、分类及其在园林工作中的作用	(1)
第二节 地面点位置确定的原理	(2)
第三节 测量上的基准线和基准面	(3)
第四节 地理坐标、高斯直角坐标及平面直角坐标	(4)
第五节 地面点的高程	(7)
第二章 距离测量与直线定向	(9)
第一节 量距的工具	(9)
第二节 直线丈量	(10)
第三节 钢尺量距成果的整理	(12)
第四节 钢尺量距的误差来源	(13)
第五节 电磁波测距	(14)
第六节 直线定向	(16)
第七节 用罗盘仪测定磁方位角	(18)
第三章 水准测量	(20)
第一节 水准测量原理	(20)
第二节 水准测量仪器和工具	(20)
第三节 水准仪的使用	(23)
第四节 水准测量的外业	(25)
第五节 水准测量的内业	(28)
第六节 自动安平水准仪	(30)
第七节 微倾式水准仪的检验与校正	(31)
第八节 水准测量的误差分析	(34)
第四章 经纬仪及其使用	(37)
第一节 角度测量原理	(37)
第二节 DJ6 级光学经纬仪	(38)
第三节 水平角观测	(42)
第四节 水平角观测误差分析	(45)
第五节 竖直角观测	(49)
第六节 经纬仪的检验和校正	(52)
第七节 视距测量	(54)

第八节 电子经纬仪	(57)
第五章 测量误差的基本知识	(60)
第一节 测量误差概述	(60)
第二节 衡量精度的指标	(62)
第三节 误差传播定律	(65)
第四节 等精度直接观测值的最可靠值	(68)
第六章 小地区控制测量	(72)
第一节 控制测量概述	(72)
第二节 导线测量外业	(73)
第三节 导线测量内业计算	(75)
第四节 小三角测量	(81)
第五节 角度前方交会法	(85)
第六节 三、四等水准测量	(86)
第七节 三角高程测量	(89)
第七章 小地区大比例地形图的测绘	(93)
第一节 地物和地貌在地形图上的表示方法	(93)
第二节 测图的准备工作	(101)
第三节 经纬仪测绘法	(103)
第四节 平板测图法	(104)
第五节 碎部点的选择与立尺线路	(107)
第六节 地物和地貌的勾绘	(110)
第七节 地形图的拼接、整饰和检查	(112)
第八节 全站型电子速测测绘法	(113)
第九节 航空摄影测量简介	(115)
第十节 数字地面模型简介	(118)
第八章 地形图的应用	(122)
第一节 地形图的识读	(122)
第二节 野外使用地形图	(123)
第三节 地形图的一般应用	(125)
第四节 地形图上求面积	(128)
第五节 土地整理中地形图的应用	(132)
第九章 专业性测量	(138)
第一节 面水准测量	(138)
第二节 纵断面测量	(139)
第三节 微地貌断面测量	(142)
第四节 小面积一次测图法	(142)
第五节 草测	(143)
第十章 园林工程施工测量	(145)
第一节 放样的基本工作	(145)

第二节	测设点的平面位置·····	(148)
第三节	圆曲线测设·····	(149)
第四节	施工控制测量·····	(152)
第五节	园林建筑的放样·····	(156)
第六节	园路、公园水体、堆山和平整场地的放样·····	(164)
第七节	树木种植定点放样·····	(166)
第十一章	全球定位系统(GPS)简介·····	(170)
第一节	GPS 定位系统概述·····	(170)
第二节	GPS 定位系统的组成·····	(171)
第三节	GPS 的坐标系和 WGS-84·····	(173)
第四节	GPS 定位的基本原理·····	(174)
第五节	美国政府的 GPS 政策及其政策调整·····	(176)
第六节	GPS 测量工作概述·····	(177)
第十二章	地理信息系统简介·····	(178)
第一节	概述·····	(178)
第二节	基本原理·····	(179)
第三节	应用城市公园分布是否合理·····	(184)
参考文献	·····	(188)

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务、分类及其在园林工作中的作用

测量学是一门研究地球形状和大小以及确定空间点位的科学,其任务概括起来有三个方面,一是精确地测定地面点的位置,以及整个地球的形状和大小;二是将地球表面局部范围的形状和大小测绘到图纸上,使之成为与地面保持相似的图形;三是保证国民经济建设和国防建设所需要的测量工作。

测量学和其他科学一样都是随着人们生产实践需要而产生,同时亦随生产和科学技术的发展而发展的,这门科学主要可分以下几类:

一、大地测量学

它是从地球整体考虑,并顾及地球曲率影响来精确地测定地面点的位置,建立国家大地控制网,测量地球重力场的分布与变化,其测量成果用以研究地球的形状和大小、地壳的升降、大陆变迁、地震预报以及作为各种测量的依据。由于现代空间技术的发展,大地测量与空间技术相结合,而产生一门新的卫星大地测量学,借助于卫星技术来解决大地测量问题。

二、地形测量学

它是从地球表面小区域范围为研究对象,不考虑地球曲率影响,视地面为平面,将地面上的物体及地表高低起伏形状测绘成地形图,供经济建设及国防建设各方面需要之用,亦称为普通测量学。

三、摄影测量学

它是利用摄影像片测定物体的形状、大小和空间位置的科学。过去研究的对象是地球表面,用以测绘成地形图。现在则利用像片的信息量大、内容丰富、显示客观而细致等特点,被广泛地应用到其他领域,而形成一门新的分支,称为“非地形摄影测量”。摄影测量又因为像片获取的方式不同,可以分为“地面摄影测量”、“航空摄影测量”及“航天摄影测量”。前者由于像片是在地面上摄得的,所以会受到地形条件的限制,现已不作为大规模测绘地形图的手段,但可用于某些工程建设方面的测量。航空摄影测量因为是用从飞机上摄得的像片,地球表面形状能充分客观地获得显示,故被作为目前测绘地形图的主要方法。航天摄影测量是从人造地球卫星或宇宙飞船上进行摄影,故可有效地研究地球、月亮和其他星体。

四、工程测量学

它是研究工程建设在勘测设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作的科学。其主要任务有三个方面,一是将地面上地形、地物测绘到图纸上;二是将图纸上设计的建筑物测设到实地,亦即在地面上标定出位置;三是对建筑物在施工过程中和竣工后产生的变化而进行的变形观测。

五、制图学

它是研究利用测量所得的资料,如何投影编绘成地图,以及地图制作的理论、工艺技术

和应用等方面的科学。一般包括地图投影、编制、整饰和印制等内容。现代制图学还利用空间遥感技术获取地球、月球、火星等的信息编制各种地图和天体图。

如果说经典的测量学定义为“研究地球形状大小及确定空间点位的科学”,那么现代测量学则定义为“研究空间数据采集、传输、处理、变换、存贮、分析、制图、显示的科学技术”。现代技术(计算机技术、空间技术)的发展,为测绘科技注入了新的生命力,为测绘科学带来了革命性的变革,使测绘科学渗透到国民经济和国防建设的各个领域。

在国民经济建设和科学研究实践中,测量学都得到广泛的应用。如城市的扩建和改建,村镇居民点的兴建和改造,各种类型工矿企业的建设,铁路、公路、桥梁、机场、港口等各项工程的建设,从勘测设计到施工、竣工,各阶段都需要进行大量的测量工作。另外,在土地规划和管理、地下矿藏的勘探和开采、森林资源的调整和采伐都要以地形图和各种测量数据为依据。在国防建设中,如各项国防工程的修建,以及作战时的战役布署和具体军事行动的指挥等,也都需要精确的地形图和各种观测数据。

在园林绿化建设中,测量工作是直接为规划、设计、施工服务的。

园林规划设计是运用园林艺术手法,对园林用地的平面和竖向进行综合考虑。把山、水、林、路和园林建筑合理地、因地制宜地进行空间布局,使其成为有机的整体。这就必须首先通过测量取得规划地区的地形图,了解地面高低起伏、坡度变化、地物的分布位置以及用地面积等等基本情况,然后把园林规划设计的项目标绘到地形图上而成为规划设计图。

在园林工程施工中,测量包括施工前的测量和施工过程中的测量。施工前的测量工作如:施工控制网的建立,建筑物主轴线的定位,建筑物细部的放样,园路、水系、堆山的放线,树木定植点的测设等等。施工中的测量是随着工程的进展,在每道工序之前所进行的测量工作。如建筑物基槽底部设计高的测设,堆山设计高、挖湖等深线标志的测设,路面设计高的测设,给排水工程中管道施工测量等等。

有些园林工程施工完后,还要进行竣工测量。其目的一方面检查各项工程是否达到了预期的要求;另一方面,将验收测量所得到的图纸资料存入档案,为将来的利用、改建打下基础。此阶段的测量工作包括:竣工图的测绘,各项具体工程的标准验收测量,各种表格和文字说明书的编写等等。

现代测绘技术的集成化(外业、内业、用图集成一体)、数字化和智能化,使得园林规划设计更为科学便捷。例如在实时的数字地图上进行计算机辅助绘图,进行规划、设计的各项工作;直接利用测绘数据信息解决园林工程的问题;用“3S”系统对园林景观进行监测、管理等。因此,在一定意义上可以说现代的测绘技术必将推动园林绿化建设朝着现代化方向发展。

第二节 地面点位置确定的原理

在测量上,将地面上的房屋、河流、道路等称为地物;将地面上高低起伏的形态称为地貌;地物和地貌总称为地形。地形的变化是多种多样、十分复杂的。如何将地形测绘到图纸上呢?这就需要在地物和地貌的轮廓线上选择一些具有特征意义的点,只要将这些点测绘到图纸上,就可以参照实地情况比较准确地将地物、地貌描绘出来而获得地形图。那么,什么是地物特征点和地貌特征点呢?现举例说明如下:从图 1-1(a)中可以看出,房屋的平面位置就

是房屋的轮廓线,而房屋的轮廓线则是1、2、3、4、5、6点的平面位置测绘到图纸上,相应地连接这些点,就可以获得房屋在图上的平面位置。一条河流,如图1-1(b),它的边线虽然不规则,但弯曲部分仍可以看成是由许多短直线所组成,只要确定了7、8、9、10、11……这些点在图上的位置,那么,这条河流的平面位置也就确定了。上例中的1、2、3、4……这些点即为地物特征点。

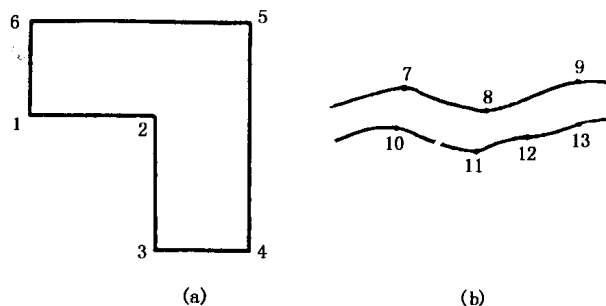


图 1-1

同理,如图1-2所示,地面的起伏形态(地貌)也可以用地面坡度变化点1、2、3、4……这些点所组成的线段来表示,因为各线段内的坡度是一致的,所以测量工作只要把1、2、3、4……这些点的平面位置和高程确定下来,地貌的形态也就容易描绘出来了。图中的1、2、3、4……这些点即为地貌特征点。

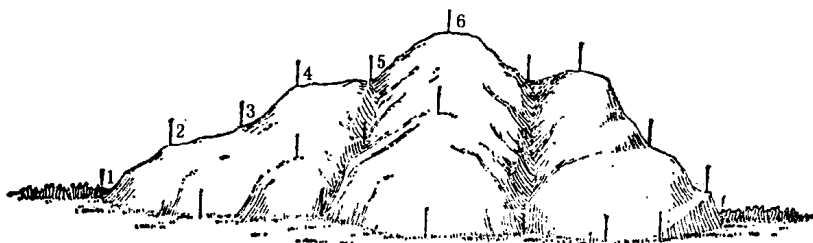


图 1-2

由此可见,测量工作的根本任务就是确定地面点的位置。无论是地形图的测绘还是建(构)筑物的放样,都可以归结为确定点位的问题。

所谓确定地面上某一点的点位,就是确定它的平面位置和高程。如图1-3,首先要确定一个投影基准面(简称基准面)及投影基准线(简称基准线)。地面点A、B沿基准线投影到基准面上的位置a、b即为相应点的平面位置;沿基准线量出的高度Aa、Bb即为相应点的高程,这样就可以把地面点的空间位置确定下来。

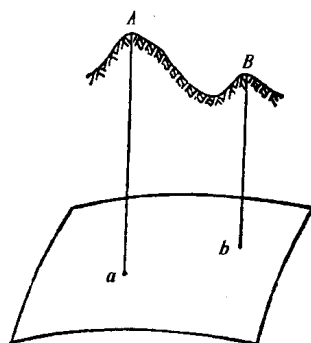


图 1-3

第三节 测量上的基准线和基准面

一、基准线

任何地面点都受着地球上各种力的作用,其中主要的有地球质心的吸引力和地球自转所产生的离心力,这两个力的合力称为重力,如图1-4(a)所示。如果在地面点上悬一个垂球,其静止时所指的方向就是重力方向,这时的垂球线,称为铅垂线,如图1-4(b)所示。

在测量上,以通过地面上某一点的铅垂线作为该点的基准线。所谓铅垂线就是地面上一点的重力方向线。

二、基准面

地球重力场中处处与重力方向垂直的面,叫做水准面。如静止的水表面,见图 1-5(a),它的每一个质点都受到重力的作用,因此,该表面必然处处与重力方向垂直,这就是一个水准面。

由于地球内部质量分布的不均匀,所以作为处处与重力方向垂直的水准面,是一个有微小起伏的复杂的曲面。水准面可以处于不同的高度位置,可以有无穷个。

所谓大地水准面,如图 1-5(a),就是设想将静止的海水面延伸,穿过整个大陆和岛屿所形成的一个闭合曲面。由大地水准面包围起来的椭球体叫大地体。显然,大地水准面具有水准面的特性,是一个表面处处与重力方向垂直的、有微小起伏的、复杂的曲面。

在测量上,作为计算点位高度的基准面就是大地水准面。

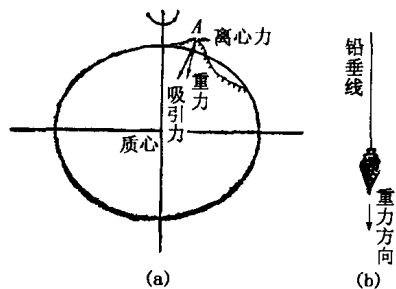


图 1-4

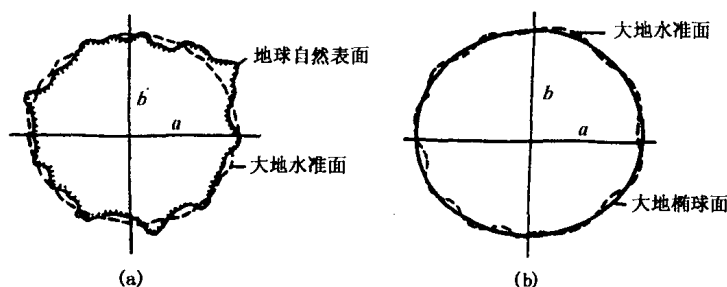


图 1-5

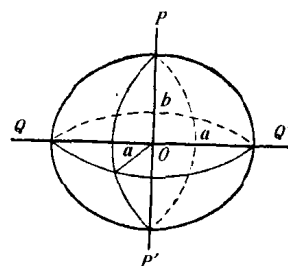


图 1-6

尽管地面上测得的结果是以大地水准面为基准的,但由于大地水准面是一个不规则的、复杂的曲面,它不可能通过一个数学式子精确地表达出来,因此在测量的计算和制图工作中,通常用一个非常接近大地水准面的规则的几何表面,即旋转椭球面(又称参考椭球面)来代替大地水准面作为计算和制图的基准面。图 1-5(b)为大地水准面与旋转椭球面的差别示意图。

旋转椭球面是一个数学表面,如图 1-6,它的大小可由长半径 a ,短半径 b 和扁率 e 来表示。我国 1980 年以后采用 1975 年国际大地测量协会(IGG)推荐的全球坐标系的数值为:

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

$$e = \frac{a - b}{a} \approx \frac{1}{298.257}$$

由于地球的扁率很小,接近于圆球,因此在要求精度不高的情况下,可以近似地将其当作一个圆球体,半径 $R = 6371\text{km}$ 。

第四节 地理坐标、高斯直角坐标及平面直角坐标

测量上确定地面点平面位置的坐标系有地理坐标、高斯直角坐标及平面直角坐标三种。

一、地理坐标

地面上一点的平面位置在椭球面上通常用经度和纬度来表示,称为地理坐标。

如图 1-7 所示, O 为地心, PP' 旋转椭球体的旋转轴,又称地轴,它的两端点为北南两极。过地轴的平面称为子午面。子午面与旋转椭球体面的交线称为子午线或经线。过地轴中心且垂直于地轴的平面称为赤道面。赤道面与旋转椭球面的交线称为赤道。

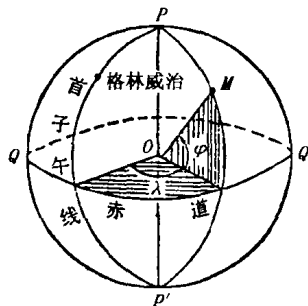


图 1-7

世界各国统一将通过英国格林尼治天文台的子午面作为经度起算面,称为首子午面。首子午面与旋转椭球面的交线,称为首子午线。地面上某一点 M 的经度,就是过该点的子午面与首子午面的夹角,以 λ 表示。经度从首子午线起向东 180° 称东经;向西 180° 称西经。 M 点的纬度,就是该点的法线与赤道平面的交角,以 ϕ 表示。纬度从赤道起,向北由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称北纬;向南由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称南纬。例如,北京的地理坐标,经度是东经 $116^\circ 28'$,纬度是北纬 $39^\circ 54'$ 。

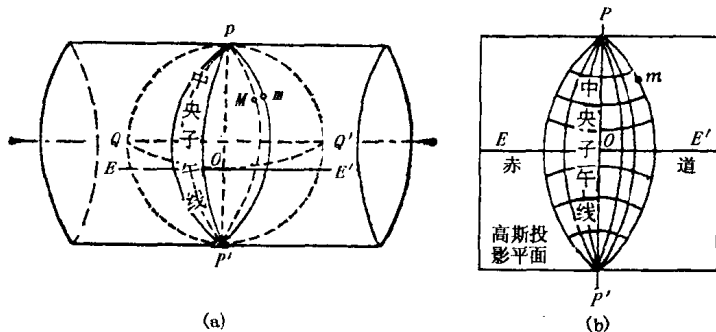


图 1-8

二、高斯直角坐标

地理坐标只能用来确定地面点在旋转椭球面上的位置,但测量上的计算和绘图,要求最好在平面上进行。大家知道,旋转椭球面是个闭合曲面,如何建立一个平面直角坐标系呢?主要应用各种投影方法。我国采用横切圆柱投影—高斯—克吕格投影的方法来建立平面直角坐标系,称为高斯—克吕格直角坐标系,简称为高斯直角坐标系。见图 1-8(a),高斯—克吕格投影就是设想用一个横椭圆柱面,套在旋转椭球体外面,并与旋转椭球体面上某一条子午线(如 POP') 相切,同时使圆柱的轴位于赤道面内并通过椭圆体的中心,相切的子午线称为中央子午线。然后将中央子午线附近的旋转椭球面上的点、线投影到横切圆柱面上去,如将旋转椭球体面上的 M 点,投影到圆柱面上得 m 点,再顺着过极点的母线,将圆柱面剪开,展成平面,如图 1-8(b),这个平面称为高斯—克吕格投影平面,简称高斯投影平面。

高斯投影平面上的中央子午线投影为直线且长度不变,其余的子午线均为凹向中央子午线的曲线,其长度大于投影前的长度,离中央子午线愈远长度变形愈长,为了将长度变化限制在测图精度允许的范围内,通常采用六度分带法,即从首子午线起每隔经度差 6° 为一带。将旋转椭球体面由西向东等分为六十带,即 $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第 1 带, 3° 线为第 1 带的中央子午线; $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第 2 带, 9° 线为第 2 带的中央子午线……,每一带单独进行投影,如图 1-9 所示。

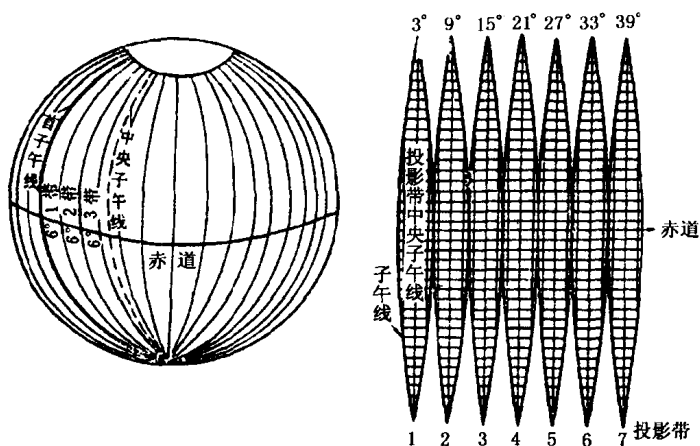


图 1-9

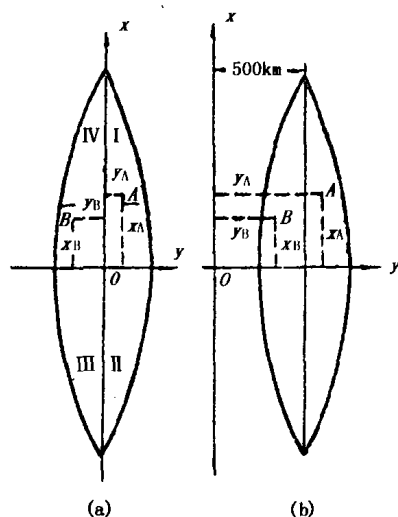


图 1-10

有了高斯投影平面后,怎样建立平面直角坐标系呢?如图 1-10 所示,测量上以每一带的中央子午线的投影为直角坐标系的纵轴 x ,向上(北)为正、向下(南)为负;以赤道的投影为直角坐标系的横轴 y ,向东为正、向西为负,两轴的交点 O 为坐标原点。由于我国领土全部位于赤道以北,因此, x 值均为正值,而 y 值则有正有负,为了使计算中避免 y 值出现负值,故规定每带的中央子午线各自西移 500km,同时为了指示投影是哪一带,还规定在横坐标值前面要加上带号,如:

$$xm = 347\ 218.971\text{m}$$

$$ym = 19\ 667\ 214.556\text{m}$$

上述 ym 等号右边的 19,表示第十九带。

采用高斯直角坐标来表示地面上某点的位置时,需要通过比较复杂的数学(投影)计算才能求得该地面点在高斯投影平面上的坐标值。高斯直角坐标系一般都用于大面积的测区。

三、平面直角坐标系

当测区面积较小时,可不考虑地球曲率而将其当作平面看待。如图 1-11 所示,地面上 A 、 B 两点在球面 P 上的投影为 a 、 b 。今设球面 P 与水平面 P' 在 a 点相切,则 A 、 B 两点在球面上的投影长度 $ab = d$;在水平面上投影的水平距离 $ab' = t$,其差值:

$$\Delta d = t - d = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta)$$

用三角级数公式展开后取主项可得:

$$\Delta d = R\left[\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta\right] = \frac{R\theta^3}{3}$$

因 $\theta = \frac{d}{R}$

则 $\Delta d = \frac{d^3}{3R^2}$

或 $\frac{\Delta d}{d} = \frac{d^2}{3R^2}$

(1-1)

以 $R = 6\ 371\text{km}$ 和不同的 d 值代入上式可得表 1-1 中的数值。

表 1-1

$d(\text{km})$	$\Delta d(\text{cm})$	$\frac{\Delta d}{d}$ (相对误差)
10	0.82	1 : 1200000
20	6.57	1 : 304000
50	102.65	1 : 49000

由表 1-1 可知当 d 为 10km 时,以切平面上的相应线段 t 代替,其误差不超过 1cm,相对误差为 1 : 1200000,而目前最精密的距离丈量相对误差约为 1 : 1000000,因此可以确认,在半径为 10km 的圆面积内,可忽略地球曲率对距离的影响。

如果将地球表面上的小面积测区当作平面看待,就不必要进行复杂的投影计算,可以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它的投影位置和推算点与点之间的关系。

平面直角坐标系(见图 1-12)的原点记为 O ,规定纵坐标轴为 x 轴,与南北方向一致,自原点 O 起,指北者为正,指南者为负;横坐标轴为 y 轴,与东西方向一致,自原点起,指东者为正,指西者为负。象限 I、II、III、IV 按顺时针方向排列。坐标原点可取用高斯直角坐标值,也可以根据实地情况安置,一般为使测区所有各点的纵横坐标值均为正值,坐标原点大都安置在测区的西南角,使测区全部落在第 I 象限内。如地面上某点 M 的坐标可写为:

$$xm = 384.215\text{m}$$

$$ym = 511.624\text{m}$$

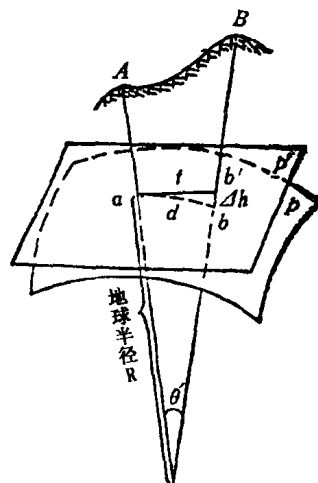


图 1-11

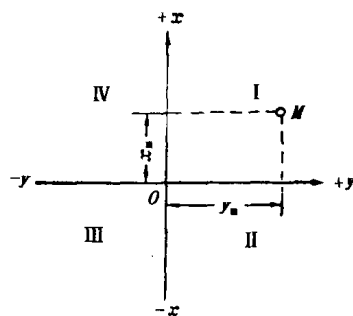


图 1-12

第五节 地面点的高程

确定地面点的空间需要三个量。除了表示点的平面位置的坐标(x, y)外,还需一个空间物理量表示地面点的高低,因此还要确定地面点的高程。

所谓高程,就是地面上一点到大地水准面的铅垂距离,以 H 表示(图 1-13)。由于它是从全国统一的大地水准面起算的,因此又称为绝对高程。如果是从假设的某一个水准面起算的高程,则称为相对高程,用 H' 表示。地面上两点间高程的差值称为高差,用 h 表示。如图 1-13 中, A, C 两点的高差:

$$h_{AC} = H_C - H_A = H'_C - H'_A \quad (1-2)$$

海水面由于受潮汐、风浪等的影响是个动态的曲面,它的高低时刻在变化,通常是在海边设立验潮

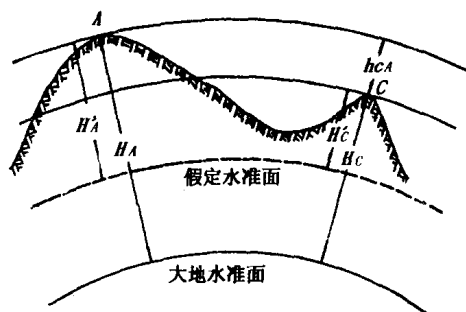


图 1-13