

CELIANGXUE

# 测量学

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

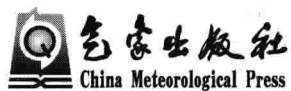
(第三版) 陈改英 主编

# 测 量 学

(第三版)

主 编 陈改英

副主编 徐文兵 李桂苓



## 内容简介

第三版《测量学》在对测量学的基本理论、基本方法及与内容有关的主要仪器的使用作了较为详细阐述的基础上,增加了近年来测绘科学的新仪器及其使用方法和测量新技术方法的介绍。本书力求说理详明、文字浅显,以方便教师教学和使用者的学习。在内容上针对农林院校的专业特点,以地形测量和地形图的应用为重点,对距离、角度、高程的测量,小地区控制测量、大比例尺地形图测绘的传统方法和数字测图方法、地形图应用以及园林施工测量作了较为全面的介绍。另外,本书附录包括测量学实验、实习内容,使教材使用起来更加方便。

本书可作为高等农林院校林学、园林、园艺、资源环境类专业的测量学教材,亦可作为相关专业工作者学习测量学课程的培训教材和参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

测量学/陈改英主编;徐文兵,李桂苓副主编. —3版. —北京:气象出版社,2013.10  
ISBN 978-7-5029-5818-3

I. ①测… II. ①陈… ②徐… ③李… III. ①测量学-高等学校-教材  
IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 239252 号

气象出版社出版

(北京市中关村南大街 46 号 邮编:100081)

总编室:010-68407112

发行部:010-68409198

网址:<http://www.cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcsbs@cma.gov.cn

责任编辑:方益民

终审:章澄昌

封面设计:博雅思企划 责任技编:吴庭芳

\* \* \*

三河市鑫利来印装有限公司

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

开本:720×960 1/16 印张:17 字数:330 千字

2013 年 12 月第 3 版 2013 年 12 月第 7 次印刷

印数:19001—22000 定价:35.00 元

## 第三版前言

第三版《测量学》的修订是在第二版的基础上进行的。本次修订结合高等农林院校的专业特点和现代教育教学理念,精简了传统测绘教学中陈旧的内容,增加了最新的现代测绘科技的新知识和理论,突出了现代测绘科学新仪器和新技术的应用,在章节的编排上也更加合理。

主要修订内容如下:从测绘学发展的角度对第一章绪论的内容进行了修订;第二章增加了几种现代测距仪器的应用,在第四章中加入了全站仪的有关内容,使得角度测量的内容在知识结构上更具系统化,在教学内容的安排上也更适合现代测量教学;第六章小地区控制测量突出了内容的实用性;第七章更新了全球定位系统的理论知识;第八章增加了数字测图的理论和方法,突出了大比例尺地形图测绘内容的系统性和实用性;对原书第十章进行了删除;有关知识编入相关章节。第三版除保留了原书的特点之外,内容较原书更加充实,注重知识理论的实用性,对农林院校各专业使用有更大的适用性。

本书由北京农学院陈改英主编;副主编:徐文兵(浙江农林大学)、李桂苓(嘉兴学院)。由陈改英对全书进行了统一修改定稿。在此向参考文献的作者们致谢。气象出版社的方益民编辑对本书的编写与出版付出了辛勤的劳动,在此表示深深的谢意。

由于编者水平有限,书中有不妥之处,恳请批评、指正,以便再版时修订参考。

编 者

2012 年 12 月

## 修订版前言

随着测绘技术的迅速发展,先进的仪器设备和测绘产品不断问世,传统的测绘技术逐渐为现代测绘技术所取代。更新教材内容,充实测量学教学内容,在测量教学中显得尤为重要。

此次修订对原教材在体系和内容上进行了较大改革。针对现代农林生产的实际需要和高等农林院校的专业特点,一方面保留了传统测绘教学中经典的内容,另一方面增加了现代测绘新技术的内容。主要修订内容如下:加强了第一章绪论的内容;第二章删除了钢尺量距的成果整理,第三章水准测量补充了数字水准仪;第四章增删了电子经纬仪的有关内容,以便适应当前的测量教学;第六章小地区控制测量删除了小三角测量的内容;将原书第十一章调整为第七章,并在内容的实用性上加强;对原书第七章小地区大比例尺地形图测绘的内容进行了调整,对原书第九、第十二章进行了删除;增加了地面数字测量等新内容。修订本除保留了原书的特点之外,内容较原书更加充实,文字篇幅略有减少,对农林院校各专业使用有更大的适用性。

本书由北京农学院陈改英主编,参编人员有:徐文兵(浙江林学院)、赵群(北京农学院)、肖武(北京农学院)。全书共分十一章,第一至第六章、第八章、第九章、第十一章由陈改英编写,第七章由赵群编写,第十章由徐文兵编写;附录由陈改英、赵群、肖武编写。最后由陈改英对全书进行了统一修改定稿。在此向参考文献的作者们致谢。气象出版社的方益民编辑对本书的编写与出版付出了辛勤的劳动,在此表示深深的谢意。

由于编者水平有限,书中有不妥之处,恳请批评、指正,以便再版时修订参考。

编 者

2006 年 12 月

## 第一版前言

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)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

第三版前言

修订版前言

第一版前言

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 第 1 章 绪论                 | (1)  |
| 1.1 测量学概述                | (1)  |
| 1.2 地球的形状和大小             | (4)  |
| 1.3 确定地面点位置的坐标系统和国家大地坐标系 | (6)  |
| 1.4 地面点的高程               | (11) |
| 1.5 地球曲率对水平距离和高差的影响      | (12) |
| 第 2 章 距离测量与直线定向          | (15) |
| 2.1 钢尺量距                 | (15) |
| 2.2 光电测距                 | (18) |
| 2.3 直线定向                 | (21) |
| 2.4 罗盘仪测定磁方位角            | (24) |
| 第 3 章 水准测量               | (27) |
| 3.1 水准测量原理               | (27) |
| 3.2 水准测量仪器设备及使用          | (28) |
| 3.3 水准测量的外业              | (33) |
| 3.4 水准测量的内业              | (38) |
| 3.5 自动安平水准仪              | (40) |
| 3.6 微倾式水准仪的检验与校正         | (42) |
| 3.7 水准测量的误差分析            | (45) |
| 3.8 数字水准仪简介              | (48) |
| 第 4 章 角度测量               | (50) |
| 4.1 角度测量原理               | (50) |
| 4.2 光学经纬仪                | (51) |
| 4.3 经纬仪观测水平角             | (57) |

|            |                         |              |
|------------|-------------------------|--------------|
| 4.4        | 水平角观测误差分析·····          | (62)         |
| 4.5        | 竖直角观测·····              | (66)         |
| 4.6        | 经纬仪的检验和校正·····          | (70)         |
| 4.7        | 视距测量·····               | (74)         |
| 4.8        | 电子经纬仪·····              | (77)         |
| 4.9        | 全站仪及其使用·····            | (78)         |
| <b>第5章</b> | <b>测量误差的基本知识</b> ·····  | <b>(85)</b>  |
| 5.1        | 测量误差概述·····             | (85)         |
| 5.2        | 衡量精度的指标·····            | (89)         |
| 5.3        | 误差传播定律·····             | (92)         |
| 5.4        | 等精度直接观测值的最可靠值·····      | (95)         |
| <b>第6章</b> | <b>小地区控制测量</b> ·····    | <b>(100)</b> |
| 6.1        | 控制测量概述·····             | (100)        |
| 6.2        | 导线测量·····               | (106)        |
| 6.3        | 小地区高程控制测量·····          | (115)        |
| <b>第7章</b> | <b>全球卫星导航系统</b> ·····   | <b>(124)</b> |
| 7.1        | 全球卫星导航系统概述·····         | (124)        |
| 7.2        | GPS定位系统·····            | (127)        |
| 7.3        | GPS控制测量·····            | (132)        |
| 7.4        | 手持GPS机及其使用·····         | (135)        |
| 7.5        | 实时动态定位技术简介·····         | (136)        |
| <b>第8章</b> | <b>大比例尺地形图的测绘</b> ····· | <b>(139)</b> |
| 8.1        | 地形图的基本知识·····           | (139)        |
| 8.2        | 传统的大比例尺地形图的测绘方法·····    | (148)        |
| 8.3        | 数字化测图技术·····            | (161)        |
| 8.4        | 普通地形图的数字化·····          | (169)        |
| <b>第9章</b> | <b>地形图的应用</b> ·····     | <b>(172)</b> |
| 9.1        | 地形图的分幅与编号·····          | (172)        |
| 9.2        | 地形图的识读·····             | (176)        |
| 9.3        | 地形图的野外应用·····           | (178)        |
| 9.4        | 地形图的一般应用·····           | (182)        |
| 9.5        | 地形图在工程建设中的应用·····       | (187)        |
| 9.6        | 工程建设中土石方工程量的估算·····     | (188)        |

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| <b>第 10 章 园林工程测量 .....</b>    | <b>(192)</b> |
| 10.1 测设的基本工作 .....            | (192)        |
| 10.2 圆曲线测设 .....              | (195)        |
| 10.3 测设点的平面位置 .....           | (198)        |
| 10.4 施工控制测量 .....             | (199)        |
| 10.5 园林建筑的放样 .....            | (205)        |
| 10.6 园路、公园水体、堆山和平整场地的放样 ..... | (211)        |
| 10.7 树木种植定点放样 .....           | (214)        |
| <b>附录:测量学实验与实习指导书 .....</b>   | <b>(219)</b> |
| 第一部分 实验实习须知 .....             | (219)        |
| 第二部分 测量学实验 .....              | (223)        |
| 第三部分 测量学教学实习 .....            | (251)        |
| <b>主要参考文献 .....</b>           | <b>(257)</b> |

## 第1章 绪论



测量学是随着生产、生活的需要而产生,同时亦随着生产力和科学技术的发展而发展的学科,在其发展的不同时期,具有各个时代的特征。

本章介绍了测量学和测绘学的概念、测量学的发展简况、测量学的任务及其作用,重点讲述了地球的形状、大小,确定地面点位置的坐标系统和高程系统,简述了地球曲率对测量工作的影响。

### 1.1 测量学概述

#### 1.1.1 测量学与测绘学

测量学(Surveying)概括为研究地球形状、大小以及确定空间点位的科学。随着现代技术(计算机技术、空间技术及通信技术)的发展,作为测绘科学的基础学科,测量学的概念具有了新的内涵。现代测量学概括为研究与地球有关的空间数据采集、传输、处理、变换、存储、分析、制图、显示的科学。“国际测绘联合会”(IUSM, International Union of Surveying and Mapping)在1990年制定的章程中将其定义为新的测绘学(Geomatics),即测绘学是采集、量测、处理、分析、解译、描述、分发、利用和评价与地理及空间分布有关的数据的一门科学、工艺、技术和经济实体。

按照研究对象和范围的不同,测量学主要分为以下几个分支科学:

##### 1. 大地测量学(Geodesy)

大地测量学是从地球整体考虑,并顾及地球曲率影响,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、大陆的变迁、地震预报以及作为各种测量的依据。按照测量手段的不同,大地测量学又分为常规大地测量学、卫星大地测量学及物理大地测量学等。

##### 2. 地形测量学(Topography)

地形测量学是以地球表面小区域范围为研究对象,不考虑地球曲率影响,把地球表面当做平面,将地面上的物体以及地球表面高低起伏的形态测绘成图,供国民经济建设

及国防建设各方面需要之用,亦称为普通测量学。

### 3. 摄影测量学(Photogrammetry)

摄影测量学是通过拍摄相片经量测、解译等图像处理,测定物体的形状、大小和空间位置的科学。摄影测量又因为相片获取的方式不同,可以分为“地面摄影测量”、“航空摄影测量”及“航天摄影测量”。地面摄影测量由于会受到地形条件的限制,主要用于某些工程建设方面的测量;航空摄影测量利用从飞机上摄得的地面相片成图,是目前测绘地形图的主要方法之一;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及其他星体。

### 4. 工程测量学(Engineering surveying)

工程测量学是研究各项工程建设在勘测设计、施工建设和管理运营各阶段所进行的各种测量工作的科学。各项工程包括:工业建设、铁路、公路、桥梁、隧道、水利工程、地下工程、管线(输电线、输油管)工程、矿山和城市建设等。工程测量学主要任务有三个方面,一是将地面上的地形、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所测设点的位置;三是对建筑物在施工过程中和竣工后会产生变化而进行的变形观测。

### 5. 地图制图学(Cartography)

地图制图学是研究地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术、方法以及应用的科学。它的基本任务是利用各种测量成果编制各类地图,其内容一般包括地图投影、地图编制、地图整饰和地图制印等分支。现代地图制图学多利用空间遥感技术获取信息编制各种地图。

#### 1.1.2 测绘学发展简况

纵观测量学发展的历史,其发展阶段可概括为古代测量、近代三角测量和现代测绘科学技术三个阶段。古老的测量学是人们在生产、生活实践活动中产生的。在以农业为主的社会里,测量学在土地勘丈、划界、建筑、农田水利建设等活动中广泛应用,并使测量学得到发展促进。公元前14世纪,在幼发拉底河与尼罗河流域曾进行过土地边界的划分测量。司马迁在《史记·夏本纪》中记载:“左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道,陂九泽,度九山。”记录了公元前2000多年前夏禹治水时用测量工具进行水利工程勘测的情景。中国的地籍管理和土地测量从殷周时期出现,经秦、汉、隋唐,清丈土地,建立户籍册。宋朝按乡登记和清丈土地,出现地块图。明朝洪武年间,全国进行了土地大清查和勘丈,编制的鱼鳞图册是世界最早的地籍图册。

从16世纪起,随着测量技术的发展,尤其是三角测量方法的创立,西方一些国家纷纷进行了大地测量工作,并根据实地测量结果绘制国家规模的地形图。17世纪初发明了望远镜。1617年,荷兰的斯涅耳(W. Snell)为了进行弧度测量而首创三角测量法,以

代替在地面上直接测量弧长,从此测绘工作不仅量测距离,而且开始了角度测量。约于1730年,英国的西森(Sisson)制成测角用的第一架经纬仪,大大促进了三角测量的发展,使它成为建立各种等级测量控制网的主要方法。19世纪初,随着测量方法和仪器的不断改进,测量数据的精度也不断提高,精确的测量计算就成为研究的中心问题。从17世纪末到20世纪中叶,测绘仪器主要在光学领域内发展,测绘学的传统理论和方法也已发展成熟。

从20世纪50年代起,测绘技术又朝电子化和自动化的方向发展。首先是测距仪器的变革。1948年起陆续发展起来的各种电磁波测距仪,由于可用来直接精密测量长达几十千米的距离,因而使得大地测量定位方法除了采用三角测量外,还可采用精密导线测量和三边测量。电子计算机的出现,很快便应用到测绘学中。这不仅加快了测量计算的速度,而且还改变了测绘仪器和方法,使测绘工作更为简便和精确。自从1957年第一颗人造地球卫星发射成功后,测绘工作有了新的飞跃,在测绘学中开辟了卫星大地测量学这一新领域,用以研究地球形状和重力场,并测定地面点的地心坐标,建立全球统一的大地坐标系统。同时,由于利用卫星可从空间对地面进行遥感,随着脉冲星和类星体的发现,又有可能利用这些射电源进行无线电干涉测量,以测定相距很远的地面点的相对位置(甚长基线干涉测量),测绘仪器的电子化和自动化以及许多空间技术的出现,不仅实现了测绘作业的自动化,提高了测绘成果的质量,而且使传统的测绘学理论和技术发生了巨大的变革。

目前,测绘学的不同学科都在飞速发展:仪器制造业,已生产出了GPS接收机、各种测程的电磁波测距仪、全站仪、超站仪(测量机器人)等,仪器制造业将趋于重量轻、体积小、功能多、自动化程度高、易于安置和携带、能够全天候作业、耗能低的产品。地面点的平面位置确定方法,将由卫星定位(或者说GPS定位)所取代,地图编绘、地形图测绘将由数字化测图所取代,遥感(RS)技术将得到越来越广泛的应用,地理信息系统(GIS)将成为未来人文、地理信息管理的主流。

### 1.1.3 测绘学的任务及作用

测量学的任务概括起来有三个方面的,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成图;三是保证国民经济建设和国防建设所需要的测量工作。

在国民经济建设和科学研究实践中,测量学得到了广泛的应用。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各种测量数据为依据。在国防建设中,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。这就必须通过测量获取所规划设计地区的地形情况,即了解地面高低起伏、坡度变化、地物的分布位置以及用地面积等基本情况,然后进行园林规划、设计而成为规划、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。施工中的测量是随着工程的进展,在每道工序之前进行的测量工作,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。

有些园林工程施工完后,还要进行竣工测量。其目的是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。

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。利用航摄、遥感、一体化数字化成图技术,在数字地图上进行计算机辅助设计,并进行园林规划、设计的各项工作;利用数字地形图可生成电子地图和数字地面模型(DTM),虚拟实现园林规划、设计的场景;用“3S”(RS、GIS、GPS)系统对园林、景观进行监测、管理等;数字地形信息作为地理空间数据的基本信息之一,成为数字园林建设的重要组成部分。“4D”(DEM、DOM、DLG、DRG)数字产品的应用范围不断拓宽,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。

## 1.2 地球的形状和大小

### 1.2.1 地球的形状和大小

纵观古今,由坐地观天到在太空观测地球,人类对地球的形状和大小认识经历了漫长的岁月。作为测量学研究的对象,地球表面形状极其复杂。世界第一高峰珠穆朗玛峰高达 8 844.43m,而太平洋西部的马里亚纳海沟深达 11 022m。地球上海洋面积约 占 71%,陆地面积约占 29%。

然而,地球表面的高低起伏与 6 371km 的地球半径相比,显得微不足道。在测量中把地球形状看作是由静止的海水面向陆地延伸并围绕整个地球所形成的形状。

#### 1. 基准线

如图 1-1 所示,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 and 地球自转所产生的离心力,这两个力的合力称为重力。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。

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,即铅垂线是测量外业所依据的基准线。

## 2. 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,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。

在测量工作中,把一个假想的、与静止的海水面重合,并向陆地延伸且包围整个地球的特定重力等位面称为大地水准面。

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。大地水准面是测量外业所依据的基准面。

### 1.2.2 参考椭球体

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,即参考椭球面(又称旋转椭球面)来代替大地水准面作为计算和制图的基准面。

大地水准面、参考椭球面与地表面的关系如图 1-2 所示。

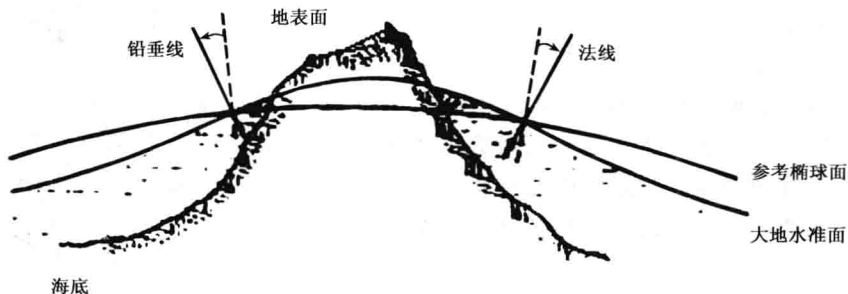


图 1-2 大地水准面、参考椭球面与地表面

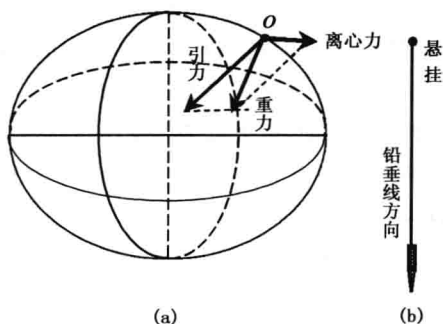


图 1-1 铅垂线方向

如图 1-3 所示,旋转椭球面是一个数学表面,它的大小可由长半径  $a$ 、短半径  $b$  和扁率  $e$  来表示。大地原点位于陕西省泾阳县的大地坐标系“1980 西安坐标系”采用了 1975 年国际大地测量协会(IGG)推荐的全球坐标系的数值为:

$$a=6\,378\,140\text{m}, b=6\,356\,755.3\text{ m}$$

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

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,可以近似地将其当做一个圆球体,半径  $R$  为 6 371km。

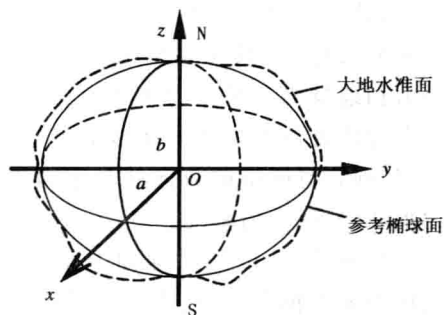


图 1-3 大地水准面与参考椭球面

### 1.3 确定地面点位置的坐标系统和国家大地坐标系

在测量工作中,要将地面上的房屋、河流、道路与地面上高低起伏的形态描绘出来,只要把各地物、地貌特征点的平面位置和高程确定下来即可完成。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。

测量上确定地面点位置的坐标系统有地理坐标系、高斯直角坐标系、平面直角坐标系及地心坐标系。我国的国家大地坐标系有 1954 年北京坐标系、1980 年国家大地坐标系、2000 国家大地坐标系。

#### 1.3.1 确定地面点位置的坐标系统

##### 1. 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 1-4 所示, $O$  为地心, $PP'$  为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。

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

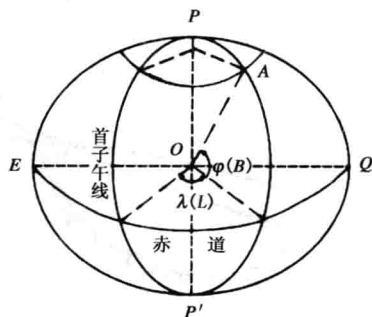


图 1-4 地理坐标系

旋转椭球面的交线,称为首子午线。地面上某一点  $A$  的经度,就是过该点的子午面与首子午面的夹角,以  $\lambda$  表示。经度从首子午线起向东  $180^\circ$  称东经,向西  $180^\circ$  称西经。 $A$  点的纬度,就是该点的法线与赤道平面的交角,以  $\varphi$  表示。纬度从赤道起算,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  $39^\circ 54'$ 。

地理坐标依铅垂线经天文观测方法测定的称天文地理坐标;依椭球面法线经大地测量方法测定的称大地地理坐标。

## 2. 高斯直角坐标

地理坐标用经度和纬度来表示地面点在球面上的位置,但在测量的计算和绘图中,通常需要地面点在平面上表示。旋转椭球面是个闭合曲面,建立一个平面直角坐标系主要应用各种投影方法。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,简称高斯直角坐标系。

如图 1-5 所示,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相切,同时使圆柱的轴位于赤道面内并通过椭圆柱体的中心,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点投影到圆柱面上,再顺着过极点的母线,将圆柱面剪开,展成平面。

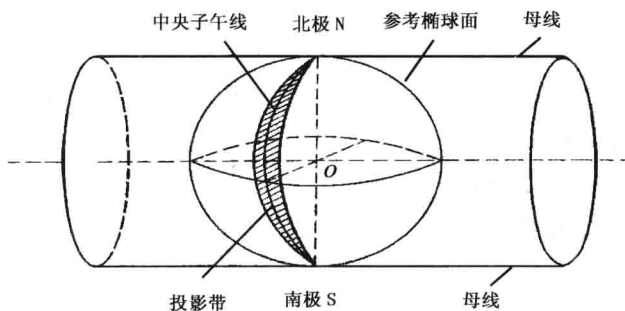


图 1-5 高斯投影

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差  $6^\circ$  为一带。将旋转椭球体面由西向东等分为 60 带,即  $0^\circ \sim 6^\circ$  为第 1 带,  $3^\circ$  线为第 1 带的中央子午线,  $6^\circ \sim 12^\circ$  为第 2 带,  $9^\circ$  线为第 2 带的中央子午线……每一带单独进行投

影,如图 1-6 所示。

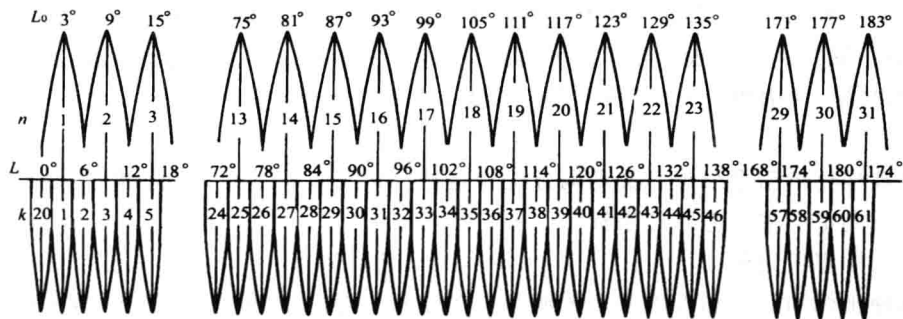


图 1-6 高斯投影带

有了高斯投影平面后,怎样建立平面直角坐标系呢?如图 1-7 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,我国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:  $M$  点在国家统一坐标系中的坐标为:

$$x_M = 347\,218.971\text{m}$$

$$y_M = 19\,667\,214.556\text{m}$$

上述  $y_M$  等号右边的 19,表示第 19 带,  $M$  点在高斯直角坐标系中的  $y$  坐标  $y_M = 167\,214.556$ 。

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。

### 3. 平面直角坐标系

当测区面积较小时,地面点在投影面上的坐标可以用平面直角坐标系来表示。

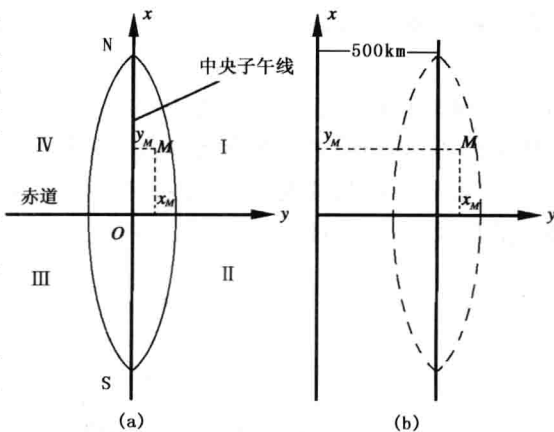


图 1-7 高斯平面直角坐标系