

全国普通高等院校《测量学》使用教材

测 量 学

张 鑫 耿宏锁 李援农 编著



西北农林科技大学出版社

全国普通高等院校《测量学》使用教材

测 量 学

张 鑫 耿宏锁 李援农 编著

西北农林科技大学出版社

内 容 提 要

本书是根据《测量学》教学新大纲而编写的高等学校教材。全书共分十四章。主要内容包括测量仪器的使用及有关测量误差的基本知识；大比例尺地形测量（包括控制测量和碎部测量以及数字测图一体化）及地形图的阅读和应用；施工测量的基本工作、渠道测量、建筑施工测量与变形观测、隧洞测量、大坝施工测量等。

本书主要供水利、水电、土木与建筑工程建设、农业水利工程、水文水资源、水电施工、城镇规划、水土保持与荒漠化治理、资源与环境、观赏花卉、果树、地理信息系统等专业教学使用，也可供从事相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

测量学/张鑫，耿宏锁，李援农编著. —杨凌：西北农林科技大学出版社，2002.11（2006）
ISBN 7-81092-011-1

I. 测… II. ①张… ②耿… ③李… III. 测量学 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 089463 号

测 量 学

张鑫 耿宏锁 李援农 编著

出版发行	西北农林科技大学出版社	
地 址	陕西杨凌杨武路 3 号	邮 编：712100
电 话	总编室：029—87093105	发行部：87093302
电子邮箱	Press0809@163.com	
印 刷	西安华新彩印有限责任公司	
版 次	2002 年 11 月第 1 版	
印 次	2006 年 8 月第 2 次	
开 本	787mm×1092mm	1/16
印 张	17.25	
字 数	420 千字	

ISBN7-81092-011-1/P·1

定价：24.80 元

本书如有印装质量问题，请与本社联系

前 言

测量学课程是水利、水电、土木建筑、林业、观赏园艺、资源与环境类专业的基础技术课。本教材着重阐述了有关测量的基本理论和基本知识,并结合工程实际阐述有关地形图和工程施工测量的基本方法。

本书与传统的测量学教材相比具有以下新的特点:

(1) 摒弃了一些比较陈旧和在当今工程实践中应用较少的内容。如小三角测量、大平板仪测图、小平板与经纬仪联合测图等。

(2) 选增了一些实践中应用比较广泛的新内容。例如 GPS 控制测量、全站仪导线测量、测距仪测绘法、全站仪测绘法、数字化测图一体化等。

(3) 全书的结构安排以“仪器使用——误差理论——地形图测绘——施工放样”为主线,将新仪器新知识融入其中,使前后衔接紧密,剪统性强。如将导线测量划分为普通导线测量和全站仪导线测量,并分别讲述外业数据采集和内业计算方法,使新旧内容浑然一体。

(4) 针对不同专业对施工测量的不同需要,本书编写了渠道或管道测量、建筑施工测量、隧洞施工测量、大坝施工测量等内容。可根据需求选择学习。

(5) 本书注重理论与实践结合,阐述了大量的工程实践应用方法。

(6) 教学内容安排弹性大,可选择性强。适宜学时数为 40~80 学时,其中实验学时为 10~24。另外教学实习学时为 1~4 周。教师可根据专业选择教学、实验和实习学时。

本书由西北农林科技大学张鑫、耿宏锁和李援农主编。执笔人张鑫(第 5、6、10、12 章)、耿宏锁(第 8、11、13、14 章)、李援农、张智韬和李雅素(第 1、2、4、7 章)、王维新(第 3 章)、杨江涛(第 9 章)。本书插图由李晨晓与杨江涛绘制。

全书由张鑫统稿。西北农林科技大学沈君河教授审稿。

在本书编写过程中,参阅了大量的参考文献,在此向原作者和给予帮助的崔新社、刘俊民等一并致谢。

由于编者水平有限,书中可能存在不少缺点和错误,热忱希望广大读者给予批评指正。

编者
2006.8

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 测量学概述	(1)
1.2 地面点位的确定	(3)
1.3 水平面代替水准面的限度	(8)
1.4 测量的基本工作及其原则	(9)
1.5 测量图形简介	(12)
复习题	(13)
第 2 章 水准仪及水准测量	(15)
2.1 水准测量原理	(15)
2.2 水准仪及其使用	(15)
2.3 水准测量的一般方法	(19)
2.4 普通水准测量的精度要求及校核方法	(20)
2.5 DS_3 型水准仪的检验与校正方法	(23)
2.6 DS_1 型水准仪和自动安平水准仪	(26)
2.7 水准测量的误差分析	(29)
复习题	(30)
第 3 章 经纬仪及角度测量	(34)
3.1 水平角及竖直角测量原理	(34)
3.2 光学经纬仪	(35)
3.3 电子经纬仪	(39)
3.4 水平角测量	(43)
3.5 竖直角测量	(47)
3.6 经纬仪的检验和校正	(50)
3.7 经纬仪测量的误差分析	(54)
复习题	(56)
第 4 章 距离测量及直线定向	(59)
4.1 钢尺量距	(59)
4.2 视距测量	(66)
4.3 电磁波测距	(70)

4.4 直线定向·····	(75)
复习题·····	(78)
第5章 观测误差理论 ·····	(80)
5.1 观测误差·····	(80)
5.2 精度评定标准·····	(83)
5.3 观测值函数的中误差·····	(84)
5.4 等精度观测值的平差·····	(89)
5.5 误差传播定律在测量中的应用·····	(92)
5.6 不等精度观测的平差·····	(96)
复习题·····	(99)
第6章 控制测量 ·····	(102)
6.1 控制测量概述·····	(102)
6.2 普通导线测量·····	(105)
6.3 全站仪导线测量·····	(114)
6.4 交会定点测量·····	(116)
6.5 三、四等水准测量·····	(119)
6.6 三角高程测量·····	(123)
6.7 GPS 全球定位系统·····	(125)
复习题·····	(129)
第7章 碎部测量 ·····	(133)
7.1 地形图的基本知识·····	(133)
7.2 测图前的准备工作·····	(140)
7.3 测量碎部点平面位置的基本方法·····	(142)
7.4 碎部测量·····	(142)
7.5 地形图的绘制·····	(145)
复习题·····	(148)
第8章 数字测图 ·····	(151)
8.1 数字测图原理及其优点·····	(151)
8.2 数字测图系统及其配置·····	(156)
8.3 数字测图软件的功能与结构·····	(158)
8.4 全站仪及其使用·····	(161)
8.5 数字测图作业模式与作业过程·····	(166)
8.6 内外业一体化测图·····	(170)
复习题·····	(173)

第 9 章 地形图的应用	(175)
9.1 概述	(175)
9.2 地形图的阅读	(175)
9.3 地形图的选用	(177)
9.4 地形图应用的基本内容	(180)
9.5 地形图在水利工程规划设计工作中的应用	(181)
9.6 面积计算	(184)
9.7 城市用地的地形分析	(188)
9.8 建筑设计中的地形图应用	(190)
9.9 土地整理中的地形图应用	(190)
复习题	(192)
第 10 章 施工放样的基本工作	(195)
10.1 概述	(195)
10.2 水平距离、水平角和高程的放样	(196)
10.3 点的平面位置的放样	(199)
10.4 圆曲线的测设	(201)
10.5 已知坡度直线的测设	(205)
复习题	(206)
第 11 章 渠道或管道测量	(208)
11.1 渠道或管道选线测量	(208)
11.2 中线测量	(209)
11.3 纵断面测量	(211)
11.4 横断面测量	(214)
11.5 渠道的工程量计算	(215)
11.6 渠道施工放样及验收测量	(217)
复习题	(219)
第 12 章 建筑施工测量	(221)
12.1 施工测量概述	(221)
12.2 建筑场地的平整测量	(222)
12.3 民用建筑施工测量	(226)
12.4 工业建筑施工测量	(231)
12.5 圆筒形构筑物的施工测量	(237)
12.6 建筑物的沉降观测与倾斜观测	(240)
12.7 竣工总图的编绘	(244)

复习题·····	(245)
第 13 章 隧洞贯通测量 ·····	(246)
13.1 概述·····	(246)
13.2 地面控制测量·····	(247)
13.3 隧洞内的控制测量及施工放样·····	(251)
13.4 竖井和旁洞的测量·····	(255)
13.5 隧洞贯通后的测量工作·····	(257)
复习题·····	(260)
第 14 章 大坝施工测量 ·····	(261)
14.1 土坝施工测量·····	(261)
14.2 混凝土坝的施工控制测量·····	(265)
复习题·····	(265)
主要参考文献 ·····	(268)

第1章 绪论

1.1 测量学概述

1.1.1 测量学发展史

“测量”一词来源于希腊字“ $\gamma\eta\delta a i \omega$ ”，是“土地划分”的意思。古埃及尼罗河每年洪水泛滥，淹没了土地界限，水退后需要重新划界，从而开始了测量工作。

我国是世界文明古国，测绘方法出现很早，最早可以追溯到四千年以前。在《史记·夏本纪》中叙述了夏禹治理洪水的情况：“左准绳，右规矩。载四时，以开九州，通九道，坡九泽，度九山”。这说明在公元前 21 世纪已经使用简单的测量工具进行测量工作。春秋战国时期，测绘有了新的发展。从《周髀算经》、《九章算术》、《管子·地图篇》、《孙子兵法》等书的有关论述中都说明了我国的测量、计算技术和军事地形图的内容已经达到了相当高的水平。在长沙马王堆汉墓出土的公元前 2 世纪的地形图、驻军图和城邑图，是迄今发现的最古老最翔实的地图。魏晋时刘徽著《海岛算经》，阐述了测算海岛之间的距离和高度的方法。西晋的裴秀主持编制了反映晋十六州的郡国县邑、山川原泽和境界的大型地图集——《禹贡地域图十八篇》，并总结出分率、准望、道里、高下、方斜、迂直的“制图六体”，从此地图制图有了标准和原则。唐代高僧一行（俗名张遂）于公元 724 年主持进行了世界最早的子午线测量，在河南平原南北伸展约 200 公里近似位于同一子午线上的四个点上，测量冬至、夏至、春分、秋分中午的日影长度和北极高，又用步弓实地丈量了四点间的距离，推算北极星每差一度相应的地面距离。北宋沈括发展了裴秀的制图理论。他编绘了“二寸折一百里”（相当于 1:90 万比例尺）的《天下州县图》；他还发明和发展了许多精密易行的测量技术，如用分级筑堰静水水位方法，测量了汴渠的高差，用平望尺、千尺和罗盘测量地形，并在世界上最早发现了磁偏角。陕西西安碑林的《华夷图》和《禹迹图》是南宋末时的石刻，图上有方格，每方折百里，为我国现存最早的“计里画方”地图。苏州的南宋石刻《平江图》是我国现存最完整的古代城市规划图。元代郭守敬在全国进行了天文测量，并在长期修渠治水实践中，总结出一套水准测量的经验，首先提出了海拔高程的概念。明代郑和七下西洋首次绘制了航海图。清康熙年间（1708~1718 年）开展了大规模的经纬度测量和地形图测绘，编成著名的《皇舆全图》。

在世界上，17 世纪望远镜的发明和应用对测量技术的发展起到了很大的促进作用。1683 年，法国进行了弧度测量，证明了地球是两极略扁的椭球体。1794 年德国高斯提出了最小二乘法原理，以后又提出了横圆柱投影学说，对测量学的发展做出了很大贡献。1903 年飞机的发明对航空摄影测量的发展起到了决定性作用，并大大减小了测量的劳动强度。二十世纪以来，电子计算机的出现，不仅加快了计算速度，并且改变了测绘仪器和方法。特别是 1957 年人造地球卫星的发射，促使测绘工作有了新的飞跃，开辟了卫星大地测量学这一新领域。多普勒定位是空间技术用于大地测量并得到普遍应用的一种先进技术。到了 70 年代，又出现了全球定位系统（GPS），用它进行精密控制测量能达到厘米级精度。

人们利用遥感、遥测技术获得丰富的图像信息,编制大区域的小比例尺影像地图和专题地图。同时还出现了惯性测量系统和长基线干涉测量,前者是根据惯性原理设计的测定地面点大地元素的装置,后者是一种独立站射电干涉测量技术,用来测定相距很远地面点的相对位置。

建国以来,测绘事业有了很大的发展,主要成就有:

1.控制网建设

在全国范围内建立了国家大地网(平面控制)、国家水准网、国家基本重力网和卫星多普勒网,并对国家大地网进行了整体平差。

2.仪器开发

研制成功卫星摄影仪、卫星激光测距仪、多普勒接收机、精密光学经纬仪、精密水准仪、光电测距仪和解析测图仪等仪器,促进了我国测绘事业的进一步发展。从 70 年代中期起,激光技术开始用于施工测量和变形观测。例如激光铅垂仪用于烟囱和高层建筑的施工;激光扫平仪用于场地平整,激光导向仪用于控制施工机械的前进方向,激光准直仪用于大坝的变形监测等。

3.新技术应用方面

目前,随着 GPS、全站仪、计算机等在测量领域的普遍应用,全国正在构建数字中国。数字中国的建设不仅为以后国民经济建设提供必要的地形图件,而且将为更好的管理、合理的利用国家的水土资源等提供必要的图件保障。这些技术改革和硬件设备的改进将使得测量结果的获得过程大为简化,使测量过程实现了测量过程一体化,使测量成果现势性大为提高,并在必要时可随时对测量图件及成果进行修正。

1.1.2 测量学的概念与分类

测量学是研究测定地面点的平面坐标和高程,将地球表面的地形和其他信息测绘成图,以及确定地球形状和大小等的科学。

测量学按照研究范围和对象的不同主要可分为:

大地测量学——研究和测定地球形状、大小和地球重力场,以及测定地面点几何位置的学科。

普通测量学——研究地球表面较小区域的形状和大小,不考虑地球的曲率,用水平面代替地球局部表面所进行的地形图或平面图测绘的学科。

摄影测量学——研究利用摄影或遥感的手段获取被测物体的信息(影像的或数字形式的),进行分析和处理,以确定被测物体的形状、大小和位置,并判断其性质的学科。摄影测量学可分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量和水下摄影测量。

工程测量学——研究工程建设在勘察设计、施工放样、竣工验收和管理阶段所进行的测量工作的理论、技术和方法的学科。

地籍测量学——研究测定土地及其上面附着物权属界限的位置、形状、面积并反映其使用状况为主要目的所进行的测量工作的理论、技术和方法的学科。

制图学——利用测量所得的资料,研究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测绘科学。

本书主要介绍普通测量学和部分工程测量学的基本内容。

1.1.3 测量学的任务及其在工程建设中的作用

1. 测量学的任务

测量学的主要任务可大致分为：

- (1) 研究和确定地球的形状与大小；
- (2) 地形图的测绘或测定；
- (3) 施工放样或测设；
- (4) 变形观测。

2. 测量学在工程建设中的作用

测量工作对我国的社会主义经济建设和国防建设具有重要的意义。在铁路、公路、水利工程、水土保持工程、植树造林和土地平整等工程建设中都起着不可忽视的作用，并且贯穿于工程建设的始终：

(1) 为工程规划设计提供所需的地形资料。规划时提供中、小比例尺地形图及有关信息，建筑物设计时要测绘大比例尺的地形图。

(2) 施工阶段要将图上设计好的建筑物或构筑物按其位置、大小测设于地面上，以便据此施工。

(3) 在施工过程和工程建成后的运行管理中，需要对建筑物的稳定性及变化情况进行监测——变形观测，确保工程安全。

例如在铁路、公路、渠道、管道等工程建设之前，为了确定一条经济合理的路线，必须进行路线勘测，绘制带状地形图、纵断面图和横断面图，并在图上进行路线设计，然后将设计路线的位置标定在地面上，以便进行施工；当路线跨越河流、沟道等时，必须修建桥梁或涵洞等，在建造这些建筑物之前，要测绘河流或沟道两岸的地形图，测量河床或沟道断面、水位、流速、流量和桥梁轴线的长度，以便设计桥台和桥墩的位置，最后将设计位置测设到实地。又如城市规划、给水排水、煤气管道等市政工程建设，工业厂房和高层建筑的建造，各项水利工程的兴建，地下矿藏的勘探和开采，森林资源的调查和采伐，地籍测量和土地管理等都要以地形图和各种测量数据为依据。在国防建设中，除了各项国防工程的修建、战役部署和军事行动都需要军用地图外，还要为大炮和导弹等武器发射的准确性，提供精确的测量数据。

总之，任何工程建设都离不开测量工作。从事工程建设的技术人员必须了解掌握测量学的基本知识和基本技能，为国民经济建设服务。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的，许多测量基本理论和数据都涉及地球的形体，因此，必须了解地球的形状和大小。地球的自然表面极为复杂，有高山、丘陵、平原和海洋等，所以，地球是起伏不平的不规则曲面。地面上最高的珠穆朗玛峰，高出海平面 8 848.13m，海洋最深处是太平洋西部的马里亚纳海沟，深达 11 022m，但因地球的半径约为 6 371km，

故地球表面的起伏相对与地球庞大的体积来说是极微小的。同时，整个地球表面上海洋面积约占 71%，陆地仅占 29%，所以海水面所包围的形体基本上表示了地球的形状。人们通常用一个向陆地内部延伸的静止海水面所包围的形体来表示地球的形状。这种静止海水面称为水准面。随着静止海水面高度的不同，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。为此，我国规定以 1956 年由青岛验潮站求出的黄海平均海水面（即从青岛验潮站的高程零点）称为我国大地水准面，如图 1.1 所示。该表面是一个处处与重力方向垂直的曲面。重力方向线是铅垂线，也是测量工作的基准线，而大地水准面是测量高程的基准面。由此基准面推算各水准点的高程称为 1956 年黄海高程系。大地水准面为一个复杂的曲面。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上，这在测量计算上极为困难，且不利于各种工程建设。因此，人们又选择一个与大地水准面非常接近的数学面——旋转椭球体来代替地球的形状和大小。

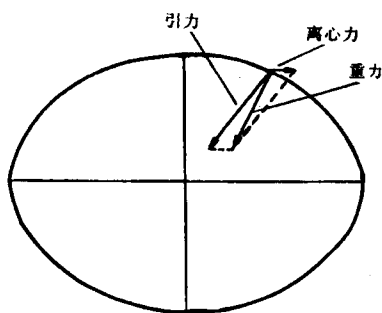


图 1.1 大地水准面

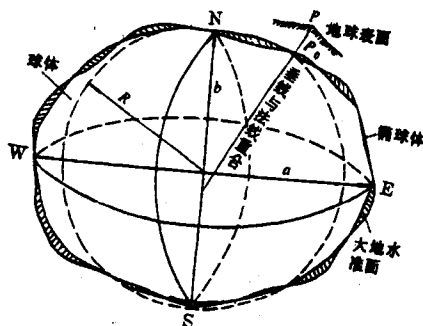


图 1.2 大地体与椭球体

由于地球内部质量分布不均匀，从而引起铅垂线方向呈不规则变化。因此，绕其短轴而成的球体。其旋转轴与地球自转轴相重合，如图 1.1 所示，其表面称为旋转椭球面。旋转椭球体的形状和大小取决于长半径（赤道半径） a ，短半径（旋转轴半径） b 和扁率 α ($\alpha = (a - b) / a$)。我国 1978 年推算值为： $a = 6\,378\,143\text{m}$ ， $\alpha = 1:298.255$ 。

当地球的形状和大小确定之后，还要将椭球面与大地水准面的相互位置固定下来，才能将地面上的观测成果换算到椭球体上。如图 1.2 所示，地面上选定一点 P 称为大地基准点，使 P 点的铅垂线与椭球面上相应 P_0 点的法线相重合，并且在 P_0 点上椭球面与大地水准面相切，处在这个位置的椭球体与大地体（由大地水准面所包围的形体）相接近，并将它与大地水准面的相对位置固定下来，这个椭球体，称为参考椭球体。实际上每个国家都采用与本国领土比较合适的椭球体，并且独自确定椭球体与大地体的关系。我国于 1954 年建立北京坐标系。近几年来，又根据最新测量数据，将坐标系的原点设在陕西泾阳县永乐镇，即以该点作为大地原点进行定位，称为 1980 年国家大地坐标系。

参考椭球体是测量成果换算的依据。在一般测量中，为了计算方便，可近似把地球当作球体看待，其平均半径约为 $6\,371\text{km}$ 。当测区范围较小时，又可把球面视为平面看待。

1.2.2 地面上点位的表示方法

确定地面上的一点的空间位置，包括确定它在球面上的位置（以坐标表示）及其到大

地水准面的垂直距离（即高程）。

1. 坐标

(1) 地理坐标

以经度和纬度表示地面点位置的，称地理坐标。如图 1.3 所示， N 和 S 分别为地球北极和南极， N 和 S 为地球的自转轴。设地球上有点 M ，过 M 点和地球自转轴所构成的平面称 M 点的子午面，子午面与地球表面的交线称为子午线，又称经线。按照国际天文学会规定，通过英国格林尼治天文台的子午面称为起始子午面，以它作为计算经度的起点，向东从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称东经，向西从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称西经。 M 点的子午面与起始子午面之间的夹角 λ 即为 M 点的经度。 M 点的铅垂线与赤道平面之间的夹角 φ 即为 M 点的纬度。赤道以北从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称北纬，赤道以南从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称南纬。 M 点的经度和纬度已知，该点在地球表面上的投影位置即可确定。

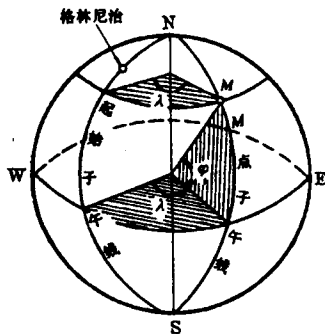


图 1.3 地理坐标系

(2) 平面直角坐标

当测量的范围较小时（半径不大于 10km 的区域内），可把该部分的球面视为水平面，将地面点直接沿铅垂线方向投影于水平面上。如图 1.4 所示，以相互垂直的纵横轴建立平面直角坐标系。纵轴为 x 轴，与南北方向一致，以向北为正，向南为负。横轴为 y 轴，与东西方向一致，以向东为正，向西为负。这样任一点平面位置可以其纵横坐标表示，如坐标原点 O 是任意假定的，则为独立的平面直角坐标系。

由于测量上所用的方向是从北方向（纵轴方向）起按顺时针方向以角度计值（象限也按顺时针编号，如图 1.4）。因此，将数学上平面直角坐标系（角值从横轴正方向起按逆时针方向计值）的 x 和 y 轴互换后，数学上三角函数的计数公式可不加改变直接用于测量的计算中。

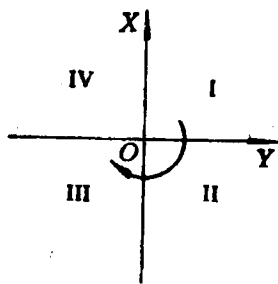


图 1.4 测量平面直角坐标系

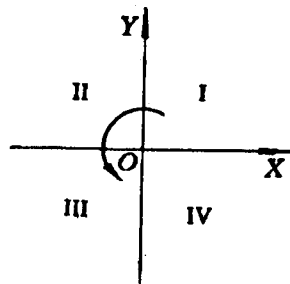


图 1.5 数学平面直角坐标系

(3) 高斯投影的概念及高斯平面直角坐标

① 高斯投影概念

设想用一横圆柱体套在地球外面，使圆柱体的轴心通过地球的中心，把地球某一条子午线（称为中央子午线）与圆柱体相切，如图 1.6 (a) 所示。将该子午线两侧的球面上的图形按一定的数学关系投影到圆柱面上，然后将圆柱面沿通过南北极的 TT' 和 KK' 切开，

展成平面就得到投影到平面上的相应图形。这种投影具有下列性质：

- 1) 中央子午线 POP_1 的投影为一条直线，且投影后长度无变形，其余经线的投影为凹向中央子午线的对称曲线，如图 1.6 (b)。
- 2) 赤道的投影也为一直线，其余纬线的投影为凸向赤道的对称曲线（见图 1.6 (b)）。
- 3) 中央子午线和赤道投影后为互相垂直的直线，成为其他经纬线投影的对称轴。

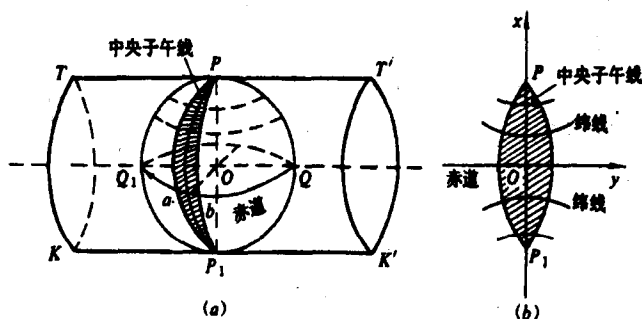


图 1.6 高斯投影原理

而其他经纬线投影后仍保持互相垂直，即投影前后角度无变形，故称为正形投影。

②高斯平面直角坐标

高斯投影的角度无变形，其长度除中央子午线无变形外，离中央子午线越远其变形就越大，为此应采用分带投影来限制其影响。

如图 1.7，从格林尼治子午线（首子午线）起，依次每隔经度 6° 分为一带，称为六度带。整个地球分为 60 带，用数字 1~60 顺序编号，每带中央子午线的经度顺序为 3° 、 9° 、 15° ……，可按下式计算

$$\lambda_0 = 6N - 3 \quad (1-1)$$

式中： λ_0 ——投影带中央子午线的经度；

N ——投影带的号数。

由于中央子午线和赤道的投影为互相垂直的直线，以中央子午线为 x 轴，赤道为 y 轴。两轴的交点作为坐标原点，就组成了高斯平面直角坐标系，如图 1.8 (a) 所示。

我国位于北半球， x 坐标值均为正， y 坐标值则有正有负。为了避免横坐标出现负值，所以将该带的坐标原点向西移动 500km，如图 1.8 (b) 中的 O 点。这样每一带中所有各点的横坐标值均能得到正值。在图 1.8 (a) 中，设 $y_A = +37680.1\text{m}$ ， $y_B = -34240.5\text{m}$ 移动原点则 $y_A = 500000 + 37680.1 = 537680.1\text{m}$ ， $y_B = 500000 - 34240.5 = 465759.5\text{m}$ ，如图 1.8 (b) 所示。为了表明一个点位于哪一带内，所以在横坐标前面加上带号，例如 A 点位于中央子午线 117° 的 20° 带内， $y_A = 20537680.1\text{m}$ 。

用 6° 分带投影其长度变形能满足 1:25 000 或更小比例尺测图的精度要求。而用 1:10 000 以上的大比例尺测图，采用 6° 分带不能满足测图精度的要求，应采用 3° 分带法。

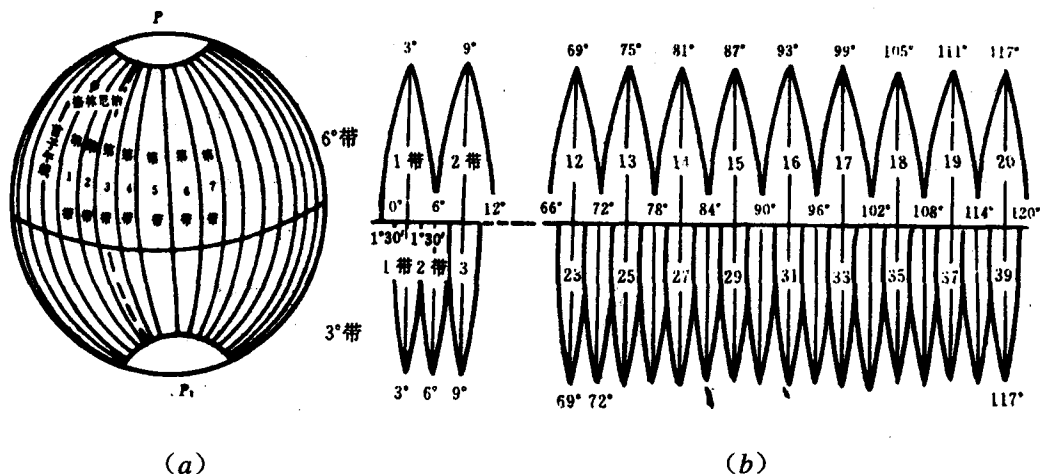


图 1.7 分带投影

3°带是在6°带的基础上划分的。它的宽度为6°带的一半,6°带的中央子午线及其两边缘子午线都是3°带的中央子午线。

3°带中央子午线的经度顺序为3°、6°、9°……,可按式计算

$$\lambda'_0 = 3N' \quad (1-2)$$

式中: λ'_0 ——3°带中央子午线的经度;

N' ——3°带的号数。

为了避免横坐标出现负值,3°带的坐标原点同6°带一样向西移动500km。但y值

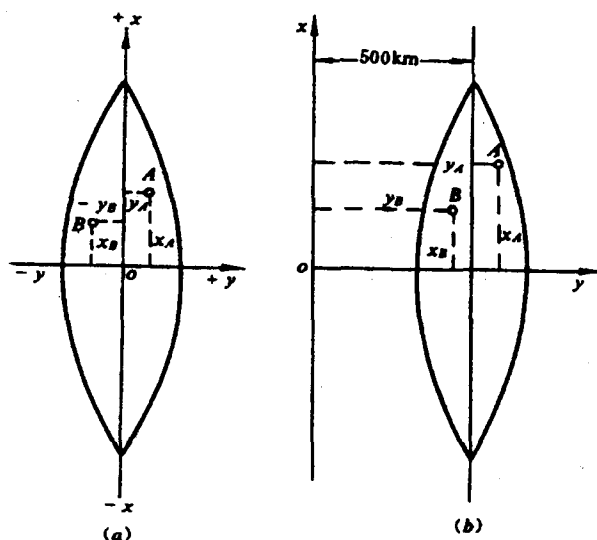


图 1.8 高斯平面直角坐标系

前面的带号不同。上例中央子午线117°时的3°带带号 $N' = \frac{117^\circ}{3^\circ} = 39$ 。因此,y坐标值前面要加“39”。

2. 高程

(1) 绝对高程

地面点沿铅垂线方向至大地水准面的距离称为绝对高程或称海拔。在图1.9中,地面点A和B的绝对高程分别为 H_A 和 H_B 。过去我国采用青岛验潮站1950~1956年观测成果求得的黄海平均海水面作为高程的零点,称为“1956年黄海高程系”。后经复查,发现该高程系验潮资料过短,准确性较差,改用青岛验潮站1950~1979年的观测资料重新推算并命

名为“1985 年国家高程基准”。国家水准原点设于青岛市观象山，作为我国高程测量的依据。它的高程是以“1985 年国家高程基准”所定的平均海水面为零点测算而得，废止了原来“1956 年黄海高程系”的高程。

(2) 相对高程

地面点沿铅垂线方向至任意假定的水准面的距离称为相对高程，亦称为假定高程。在图 1.9 中，地面点的相对高程分别为 H_A' 和 H_B' 。

两点高程之差为高差。如图 1.9 中，A、B 点的高差

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

在测量工作中，一般采用绝对高程，只有在偏僻地区，附近没有已知的绝对高程点可引测时，才采用相对高程。

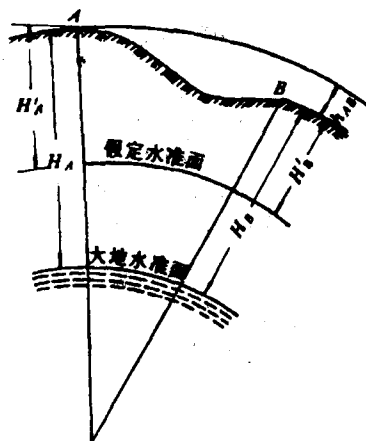


图 1.9 绝对高程与相对高程

1.3 水平面代替水准面的限度

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投影计算才能求得该地面点在高斯投影平面上的坐标值，一般都用于大面积的测区。假如测量区域较小时能否将曲面按照平面对待，即以水平面代替水准面，使计算和绘图工作大为简化。下面分析用水平面代替水准面对距离和高差的影响，以便限制用水平面代替水准面的范围。

1.3.1 地球曲率对水平距离的影响

如图 1.10 所示，设地面上有 A' 、 B' 两点，它们投影到球面的位置为 A、B，如果用水平面代替水准面，则这两点在水平面上的投影为 A、C。则以水平距离 (AC) 替代球面上的距离 AB 带来的误差为：

$$\Delta d = t - d = Rtg\alpha - R\alpha \quad (1-3)$$

式中：R——地球半径 (6371km)；

α ——AB 圆弧对应的圆心角。

将 $tg\alpha$ 按泰勒级数展开，取前两项，并代入 (1-3) 式得：

$$\Delta d = R\alpha + R\alpha^3/3 - R\alpha = R\alpha^3/3 \quad (1-4)$$

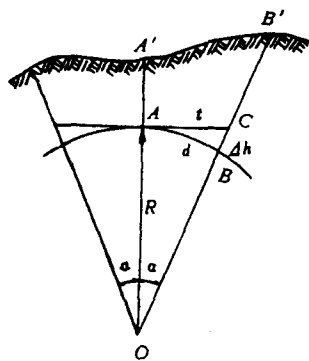


图 1.10 用水平面代替水准面示意图

而 $\alpha = d/R$ ，代入 (1-4) 式得出：

$$\Delta d = d^3 / 3R^2 \quad (1-5)$$

以不同的 d 值代入 (1-5) 算得相应的 Δd 与 $\Delta d/d$ 值列入表 1-1 中，由表中的数据可以看出，不同距离时用水平面代替水准面对水平距离带来的影响。当水平距离 $d \leq 10\text{km}$ 时， $\Delta d/d \leq 1/120$ 万。目前所采用的所有测量手段都达不到这一精度，因此可以得出，在半径为 10km 范围内，用水平面代替水准面对水平距离的影响可以忽略。即可把半径为 10km 范围内的水准面近似看作水平面。

表 1-1 地球曲率对水平距离和高程的影响

距离 d	距离误差 Δd (mm)	距离相对误差 $\Delta d/d$	高程误差 Δh (mm)	距离 d	距离误差 Δd (mm)	距离相对误差 $\Delta d/d$	高程误差 Δh (mm)
100m	0.000008	1/1 250 000 万	0.8	10km	8.2	1/120 万	7 850
1km	0.008	1/12 500 万	78.5	25km	128.3	1/19.5 万	49 050.0

1.3.2 对高程的影响

在图 1.10 中，A、B 两点在同一水准面内，其高程相等。但是，如果用水平面替代水准面，则 B' 投影到水平面上的投影为 C 点，这时，在高程方向上所产生的误差为 Δh ，由图中可见， $\angle CAB = \alpha/2$ ，且 α 很小，则：

$$\Delta h = d \cdot \alpha / 2 \quad (1-6)$$

而： $\alpha = d/R$

$$\Delta h = d^2 / 2R \quad (1-7)$$

以不同的距离 d 代入 (1-7) 式得出 Δh 相应的数据如表 1-1 所示。由计算结果可见，当水平距离 $d=100\text{m}$ 时，对应距离对高差的影响接近于 1mm ，直观判断时可得出结论认为，即使水平距离很短，曲率对高差的影响也不可忽视。但是，水准测量过程中通常让前、后视距离大致相等，则地球曲率对前、后视读数的影响大致相等，因此对高差的影响近似为 0；由此可以得出结论认为，当水平距离在 10km 范围内，水准测量过程中，如果前、后视距离大致相等，用水平面代替水准面对高差的影响可以忽略。

由此可见，在半径为 10km 范围内，用水平面代替水准面是可行的。

1.4 测量的基本工作及其原则

1.4.1 测图原理

前面谈到反映地面情况的地图，是把地面上高低不等的点投影到参考椭球面上的。在测区范围较小的地形图上把投影面作为平面。如图 1.11 所示，上图中 A、B、C、D 和 E 是地面上高低不等的一系列点，构成一个空间多边形。下图 P 是个平面，从 A、B、C、D、E 各点向这个平面作铅垂线，这些铅垂线的垂足在 P 平面上构成多边形 A' B' C' D' E'，