

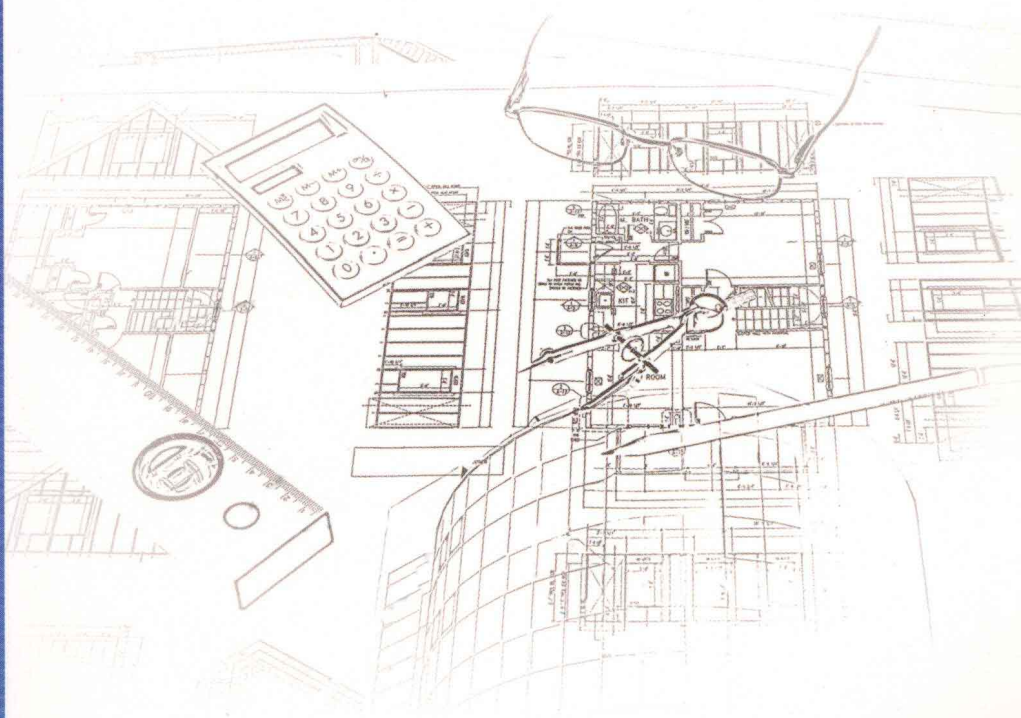


“十二五” 高等教育规划教材

GONGCHENG CELIANG

工程测量

主编 赵玉肖 布亚芳



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十二”

工程测量

主 编 赵玉肖 布亚芳
副主编 任海萍 刘炳华 王道远
王福增
参 编 李现者 袁金秀 孟 闪
主 审 马彦芹

内 容 提 要

本书共分为十四章,第一章至第六章系统讲述工程测量的基本理论知识和各种常用测量仪器、工具的操作使用方法及其检验校正方法。第七章对测量误差的知识进行基础性的介绍。第八章至第十一章分别讲述工程测量中的控制测量、地形测量、道路中线测量以及道路的纵、横断面测量等工作的原理与常用方法。第十二章至第十四章分别介绍道路、桥涵及隧道施工测量的基本技术。

本书可作为高等院校道路桥梁工程技术及相关专业教材,也可供专业工程技术人员和测绘工作者学习参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/赵玉肖,布亚芳主编. —北京:北京理工大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-5640-6672-7

I. ①工… II. ①赵… ②布… III. ①工程测量—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第196627号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1 / 16

印 张 / 18.5

字 数 / 416千字

版 次 / 2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

定 价 / 50.00元

责任编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

对本书内容有任何疑问及建议,请与本书编委会联系。邮箱: bitdayi@sina.com

图书出现印装质量问题,请与本社市场部联系,电话: (010) 68944990

前言

为了顺应高等院校人才培养模式和教学内容体系改革的要求，我们编写了本书。全书按照专业培养目标，进一步加强教材内容的针对性和实用性，合理精简和完善内容，贴近模块式教学要求。我们在编写过程中聘请行业一线专家直接介入教材的编审工作，更加有利于教材基本理论的严格把关，有利于反映生产一线的新技术、新方法、新标准、新规范，同时注重学生基本素质、基本能力的培养，突出培养学生的实际动手能力，从内容上、形式上力求更加贴近工程实际。

本书编写尽量做到精炼内涵、通俗易懂，最大限度地适应高等教育的特点，以更好地培养学生分析问题、解决问题的能力。考虑到当前工程实际需要，本书引用新规范并对部分内容进行适当增减，较全面地介绍了工程测量近年来的科学技术成就，并重点介绍其在公路、桥涵、隧道等工程中的应用。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论 / 1

第一节 测量学的任务及其在公路建设中的应用 / 1

第二节 地球的形状和大小 / 3

第三节 地面点位的表示方法 / 4

第四节 用水平面代替水准面的限度 / 9

第五节 测量工作的原则 / 10

第二章 水准测量 / 13

第一节 水准测量的原理 / 13

第二节 水准测量的仪器和工具及其使用 / 14

第三节 水准测量的实测方法 / 19

第四节 微倾式水准仪的检验与校正 / 26

第五节 自动安平水准仪 / 29

第六节 水准测量的误差及注意事项 / 32

第三章 角度测量 / 36

第一节 角度测量概述 / 36

第二节 光学经纬仪及其技术操作 / 37

第三节 水平角观测 / 43

第四节 竖直角观测 / 47

第五节 光学经纬仪的检验与校正 / 49

第六节 角度测量的误差及注意事项 / 53

第四章 距离测量与直线定向 / 58

第一节 卷尺量距 / 58

第二节	视距测量 / 66
第三节	直线定向 / 69
第四节	罗盘仪的构造与使用 / 71
第五章	全站仪测量技术 / 74
第一节	全站仪概述 / 74
第二节	全站仪及其辅助设备 / 75
第三节	全站仪的基本测量方法 / 78
第四节	全站仪坐标放样 / 82
第六章	GPS测量简介 / 86
第一节	GPS系统组成 / 86
第二节	GPS轨道的大地参考坐标系 / 88
第三节	GPS定位的概念及特点 / 91
第四节	GPS—RTK测量 / 92
第五节	GPS测量作业模式 / 96
第六节	GPS测量误差及其对定位精度的影响 / 98
第七章	测量误差基本知识 / 104
第一节	测量误差概述 / 104
第二节	大量偶然误差的特性 / 106
第三节	无真值条件下的最或是值 / 107
第四节	观测值精度评价指标 / 108
第五节	误差传播定律及应用 / 111
第八章	小区域控制测量 / 117
第一节	控制测量概述 / 117
第二节	导线测量 / 121
第三节	全站仪导线测量 / 133
第四节	GPS测量 / 136

第五节 交会法定点 / 142

第六节 高程控制测量 / 144

第九章 大比例尺地形图测绘及应用 / 154

第一节 地形图的基本知识 / 155

第二节 地物和地貌在地形图上的表示方法 / 160

第三节 测图前的准备工作 / 168

第四节 大比例尺地形图测绘 / 171

第五节 地形图的检查、拼接与整饰 / 175

第六节 全站仪数字化测图 / 177

第七节 地形图的应用 / 180

第十章 道路中线测量 / 189

第一节 交点和转点的测设 / 190

第二节 测角组的工作内容 / 193

第三节 里程桩的设置 / 196

第四节 圆曲线的测设 / 199

第五节 虚交 / 204

第六节 缓和曲线的测设 / 208

第七节 复曲线的测设 / 215

第八节 回头曲线的测设 / 218

第九节 道路中线逐桩坐标计算 / 219

第十一章 路线的纵、横断面测量 / 225

第一节 基平测量 / 225

第二节 中平测量 / 226

第三节 路线的纵断面图 / 231

第四节 横断面测量 / 233

第五节 横断面图的绘制 / 237

第十二章 道路施工测量 / 239

第一节 施工测量概述 / 239

第二节 施工测量的基本方法 / 240

第三节 点的平面位置的测设 / 245

第四节 公路路线施工测量 / 247

第十三章 桥涵测量 / 254

第一节 桥涵测量概述 / 254

第二节 涵洞施工测量 / 255

第三节 桥梁控制网的形式 / 257

第四节 桥梁轴线和墩台中心定位测量 / 266

第五节 桥涵附属工程放样测量 / 275

第十四章 隧道施工测量 / 277

第一节 隧道概述 / 277

第二节 洞外控制测量 / 278

第三节 隧道施工测量 / 280

第四节 洞内控制测量 / 282

第五节 隧道断面测量 / 283

第六节 竖井联系测量 / 283

第七节 隧道贯通误差测量 / 285

参考文献 / 287

第一章 绪 论

知识目标

①了解：测量学的任务及测量学的分类。

②理解：大地水准面的含义、地面点位的表示方法及测量工作的原则。

③掌握：地面点高程的含义及用水平面代替基准面的限度。

技能目标

④能应用高斯投影平面直角坐标系进行计算。

⑤能解释地面点高程的概念。

第一节 测量学的任务及其在公路建设中的应用

一、测量学及其任务

测量学是一门研究如何确定地球表面上点的位置，如何将地球表面的地貌、地物、行政和权属界线测绘成图，如何确定地球的形状和大小，以及将规划设计的点和线在实地上定位的科学。它的任务包括两个部分——测绘和测设。

测绘是指使用测量仪器和工具，通过实地测量和计算得到一系列测量信息，通过把地球表面的地形绘成地形图或编制成数据资料，供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设等使用。

测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构造物的位置在地面上用特定的方式标定出来，作为施工的依据。测设又称施工放样。

二、测量学的分类

从广义的测量学角度来说，测量学按研究范围可划分为大地测量学和普通测量学。其中，研究整个地球的形状和大小，解决大地区控制测量和地球重力场问题的测量分支称为大地测量学；相反，测量地球表面局部形状，不考虑地球曲率的影响，而把地球局部表面当做平面而进行的测量工作称为普通测量学。

按研究目的划分，测量学又可以分为：

(1)天文测量学：编制历法的基础。

(2)海洋测绘学：航海定向与导航的基础。

(3)重力测量学：测定重力场及其分布特征，具有重大的基础科学与应用价值。

(4)军事测量学：为包括远程导弹、空间武器、人造卫星等在内的各种武器提供测量和控制，随时校正轨道以命中目标。除应测算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外，还必须掌握地球的形状、大小、重力场分布等精确数据。

(5)工程测量学：研究工程结构在设计、施工和运营各阶段的测量理论和技术。

本书讨论普通测量学和工程测量学的有关内容。

三、工程测量在公路建设中的应用

测量工作对于国家的经济建设和国防建设具有非常重要的作用，在道路、桥梁和隧道工程建设中有着广泛的应用。公路工程测量是指公路建设在设计、施工和管理等各阶段，所进行的各种测量工作。

在公路建设中，为了选择一条安全、迅速、经济、美观、合理的路线，首先要进行路线勘测，即在沿着路线可能经过的范围内布设控制点，进行控制测量，测绘路线带状地形图、纵断面图，收集沿线地质、水文、资源等资料，作为纸上定线、编制比较方案和初步设计的依据。根据测量得到的数据资料进行路线选线。确定路线方案后，还要进行路线的详细测设，也就是进行路线的中线测量、纵断面测量、横断面测量和有关调查测量等，以便为路线设计提供准确、详细的外业资料。当路线跨越河流时，拟设置桥梁之前，应测绘河流两岸的地形图，测定桥轴线的长度及桥位处的河床断面，为桥梁方案选择及结构设计提供必要的的数据。当路线采用隧道形式穿越高山时，应测绘隧址处地形图，测定隧道的轴线、洞口、竖井等位置，为隧道设计提供必要的的数据。

公路经过技术设计后，其平面线形、纵坡、横断面及其他内容等便有了设计图纸和数据，据此即可进行公路施工。施工前，需要恢复中线，公路中线测定后，一般情况要过一段时间才能施工，在这段时间内，部分标志桩被破坏或丢失，因此，施工前必须进行一次复测工作，以恢复公路中线的位置。需要将已设计好的路线、桥涵和隧道等构造物的图纸中的各项元素，按规定的精度准确无误地测设于实地，即施工前必须进行的施工放样测量。施工过程中，要经常通过各种测量来检查工程的进度和质量。在隧道施工过程中还要不断地进行贯通测量，以保证隧道的平面位置和高程正确贯通。道路、桥梁、隧道工程结束后，还要用测量来检查竣工情况，即进行竣工验收，并通过必要的测量来编制竣工图，以满足工程的验收、维护、加固以及扩建的需要。

在投入使用后的营运阶段，还要应用测量进行一些常规检查和定期进行变形观测，进行必要的养护和维修，以确保道路、桥梁和隧道等构造物的安全使用。

可以说，道路、桥梁、隧道的勘测、设计、施工、竣工及养护维修的各个阶段都离不开测量技术。因此，作为一名从事道桥建设的技术人员，必须具备测量学的基本理论、基本知识和基本技能，才能为我国的交通事业多作贡献。

四、学习目标

根据公路工程的特点,结合我国交通事业的发展,学生在学习完该课程以后,要求达到以下目标:

(1)掌握普通测量学及公路工程测量学的基本理论和基本方法;

(2)随着科技的发展,测量仪器不断地更新换代,要求不仅能正确地使用各种测量仪器和工具,而且要掌握各类仪器测量的原理,以便在将来的工程中能适时地应用每一种新型仪器和工具,适应测量方面新技术、新理论的发展;

(3)能采用不同的仪器及利用多种方法正确地进行小区域大比例尺的地形测绘;

(4)在公路勘测、设计和施工中,具有正确应用地形图和有关测量资料的能力,如能根据图纸进行地形分析、施工前的放样分析等;

(5)掌握公路工程中公路中线测量、基平测量、中平测量、纵横断面图测绘以及施工放样的基本方法,能完成路基边桩、边坡、竖曲线以及涵洞的放样,能测定桥梁中线,能进行桥梁墩台中心的定位,了解隧道的有关测量,具有较强的测、算、绘的测量基本功。

第二节 地球的形状和大小

测量工作是在地球自然表面上进行的,而地球自然表面有高山、丘陵、平原和海洋等,其形态高低不平,很不规则。为了确定地面点的位置和绘制地形图,有必要把直接观测的数据结果归化到一个参考面上,而这个参考面必须尽可能与地球形体的表面相吻合,因此有必要认识地球的形体和与测量有关的坐标系问题。

一、大地水准面

尽管地球的表面高低不平,很不规则,甚至高低相差较大,如最高的珠穆朗玛峰高出海平面达 8 844.43 m,最低的太平洋西部的马里亚纳海沟低于海平面达 11 022 m,但是这样的高低起伏,相对于半径近似为 6 371 km 的地球来说还是很小的。由于海洋面积约占整个地球表面的 71%,陆地面积只占 29%,因此,可以把海水面延伸至陆地所包围的地球形体看做地球的形状。设想有一个静止的海水面,向陆地延伸而形成一闭合曲面,这个曲面称为水准面。水准面作为流体的水面是受地球重力影响而形成的重力等势面,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。由于海水有潮汐,海水面时高时低,因此,水准面有无数多个,我们将其中一个与平均海水面相吻合的水准面,称为大地水准面,如图 1-1(a)所示。大地水准面是测量工作的基准面,由大地水准面所包围的地球形体,称为大地体,可作为地球形状和大小的标准。

由于地球自转,地球上的任一质点,均受地球引力和离心力影响,一个质点实际上所受到的力是地球引力与离心力的合力,即重力的影响。重力的作用线称为铅垂线,是测量的基准线。

由于海水面是个动态的曲面，平均静止的海水面是不存在的。为此，我国在青岛设立验潮站，长期观察和记录黄海海水面的高低变化，取其平均值作为我国的大地水准面的位置(其高程为零)，并在青岛建立了水准原点。

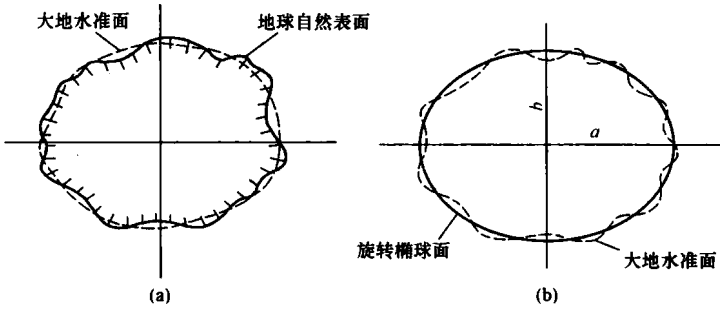


图 1-1 地球的自然表面、大地水准面和旋转椭球面
(a)大地水准面;(b)旋转椭球面

二、旋转椭球面

用大地体表示地球的形状是比较恰当的，但是由于地球内部质量分布不均匀，引起局部重力异常，导致铅垂线的方向产生不规则的变化，使大地水准面上也有微小的起伏，成为一个复杂的曲面，如图 1-1(b)所示。因此无法在这个复杂的曲面上进行测量数据的处理。为了测量计算工作的方便，通常用一个非常接近于大地水准面，并可用数学式表示的几何形体来代替地球的形状作为测量计算工作的基准面。这一几何形体称为地球椭球，它由一个椭圆绕其短轴旋转而成，故地球椭球又称为旋转椭球。这样，测量工作的基准面为大地水准面，而测量计算工作的基准面为旋转椭球面，如图 1-1(b)所示。

旋转椭球的形状和大小可由其长半轴 a (或短半轴 b) 和扁率 α 来表示。我国 1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球，该椭球的基本元素为：

$$\text{长半轴: } a = 6\,378.140 \text{ km}$$

$$\text{短半轴: } b = 6\,356.755 \text{ km}$$

$$\text{扁率: } \alpha = \frac{a-b}{a} \approx \frac{1}{298.257}$$

由于旋转椭球的扁率很小，因此当测区范围不大时，可近似地把旋转椭球作为圆球，其半径近似值为： $R = \frac{1}{3}(2a+b) \approx 6\,371 \text{ km}$ 。

第三节 地面点位的表示方法

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置。在一般工程测量中，确定地面点的空间位置，通常需用三个量，即该点在一定坐标系下的三维坐标，或该点的二维球面坐标或投影到平面上的二维平面坐标，以及该点到大地水准面的铅垂距离(高程)。

一、确定地面点位的坐标系

地面点的坐标，根据不同的用途可选用不同的坐标系，下面介绍几种常用的坐标系。

1. 大地坐标系

用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点投影到旋转椭球面上位置的坐标，称为大地坐标系，亦称为大地地理坐标系。该坐标系以参考椭球面和法线作为基准面和基准线。

如图 1-2 所示，NS 为地球的自转轴(或称地轴)，N 为北极，S 为南极。过地面任一点与地轴 NS 所组成的平面称为该点的子午面。子午面与球面的交线称为子午线或称经线。国际公认通过英国格林尼治(Greenwich)天文台的子午面，是计算经度的起算面，称为首子午面。过 F 点的子午面 NFKSON 与首子午面 NGMSON 所成的两面角，称为 F 点的大地经度。大地经度自首子午线向东或向西由 0° 起算至 180° ，在首子午线以东者为东经，可写成 $0^\circ \sim 180^\circ \text{E}$ ；以西者为西经，可写成 $0^\circ \sim 180^\circ \text{W}$ 。

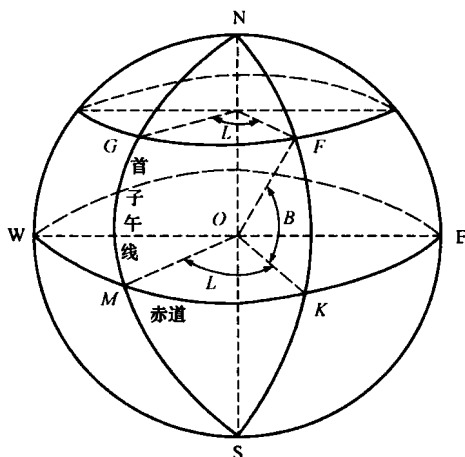


图 1-2 大地坐标系

垂直于地轴 NS 的平面与地球球面的交线，称为纬线；通过球心 O 并垂直于地轴 NS 的平面，称为赤道平面。赤道平面与球面相交的纬线，称为赤道。过 F 点的法线(与旋转椭球面垂直的线)与赤道平面的夹角，称为 F 点的大地纬度。在赤道以北者为北纬，可写成 $0^\circ \sim 90^\circ \text{N}$ ；在赤道以南者为南纬，可写成 $0^\circ \sim 90^\circ \text{S}$ 。

例如，我国首都北京位于北纬 40° 、东经 116° ，也可用 $B=40^\circ \text{N}$ 、 $L=116^\circ \text{E}$ 表示。

用大地坐标表示的地面点，统称大地点。

一般而言，大地坐标由大地经度 L 、大地纬度 B 和大地高 H 三个量组成，用以表示地面点的空间位置。

新中国成立初期，我国采用大地坐标系为“1954 年北京坐标系”，亦称“北京—54 坐标系”(简称 P_{54})。该坐标系采用了前苏联的克拉索夫斯基椭球体，其参数是：长半轴 $a=6\,378.245\text{ km}$ ；扁率 $\alpha=1/298.3$ ；坐标原点位于前苏联的普尔科沃。

我国目前采用的大地坐标为“1980 年国家大地坐标系”，亦称“西安—80 坐标系”(简称 C_{80})，是根据椭球定位的基本原理和我国的实际地理位置建立的。大地原点设在我国中西部的陕西省泾阳县永乐镇。椭球参数采用 1975 年国际大地测量与地球物理联合会推荐值：椭球长半轴 $a=6\,378.140\text{ km}$ ；扁率 $\alpha=1/298.257$ 。

2. 地心坐标系

地心坐标系属于空间三维直角坐标系，用于卫星大地测量。由于人造地球卫星围绕地球运动，地心坐标系取地球质心为坐标原点 O ， 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 1-3 所示。地面点 A 的空间位置用三

维直角坐标 x_A 、 y_A 和 z_A 表示。

地心坐标和大地坐标可以通过一定的数学公式进行换算。

3. 高斯平面直角坐标系

在工程测量中，常将椭球坐标系按一定的数学法则投影到平面上成为平面直角坐标系，为满足工程测量及其他工程的应用，我国采用高斯—克吕格投影，简称高斯(Gauss)投影。

高斯投影法是将地球划分成若干带，然后将每带投影到平面上。如图 1-4 所示，投影带是从首子午线起，每隔经差 6° 划一带(称为 6° 带)，自西向东将整个地球划分成经差相等的 60 个带，各带从首子午线起，自西向东依次编号用数字 1, 2, 3, ..., 60 表示。位于各带中央的子午线，称为该带的中央子午线。

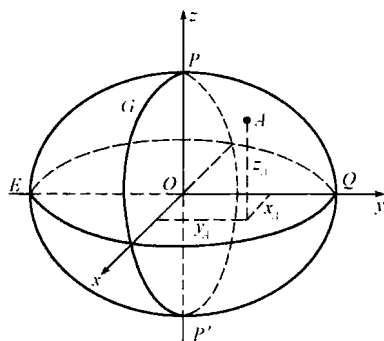


图 1-3 地心坐标系

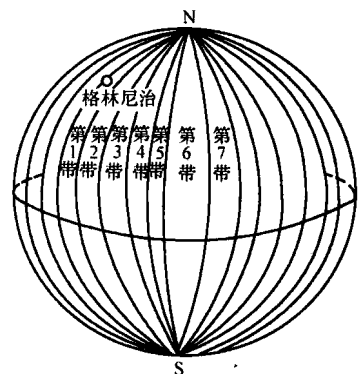


图 1-4 高斯投影分带

第一个 6° 带的中央子午线的经度为 3° ，任意带的中央子午线经度 L_0 可按式计算：

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

式中 N ——投影带的带号。

按上述方法划分投影带后，即可进行高斯投影。如图 1-5(a)所示，设想用一个平面卷成一个空心圆柱，把它横着套在旋转椭球外面，使圆柱的中心轴线位于赤道面内并通过球心，且使旋转椭球上某 6° 带的中央子午线与圆柱面相切。在椭球面上的图形与圆柱柱面上的图形保持等角的情况下，将整个 6° 带投影到圆柱柱面上。然后将圆柱沿着通过南北极的母线切开并展成平面，便得到 6° 带在平面上的影像，如图 1-5(b)所示。这样，在中央子午线处投影误差为零，距离中央子午线越远则投影误差越大。

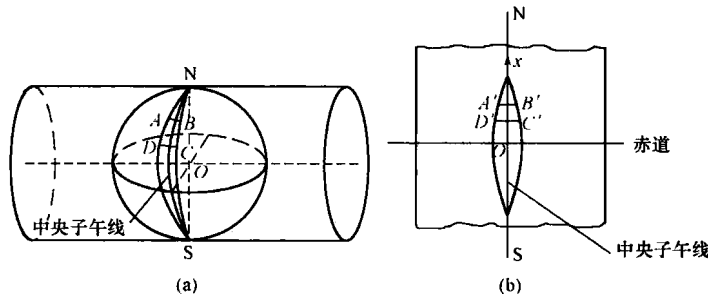


图 1-5 高斯投影

中央子午线经投影展开后是一条直线，以此直线作为纵轴，向北为正，即 x 轴；赤道是一条与中央子午线相垂直的直线，将它作为横轴，向东为正，即 y 轴；两直线的交点作为原点，则组成了高斯平面直角坐标系。

将投影后具有高斯平面直角坐标系的 6° 带一个个拼接起来，便得到图 1-6 所示的图形。

我国位于北半球， x 坐标均为正值，而 y 坐标有正有负。中央子午线以东为正，以西为负。这种以中央子午线为纵轴确定的坐标值称为自然值。

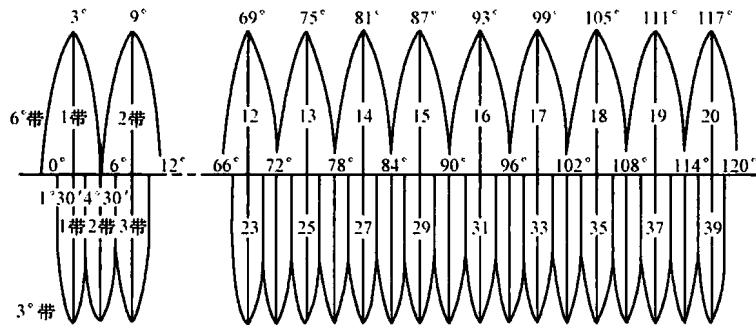


图 1-6 6° 带和 3° 带投影

为避免横坐标 y 出现负值，故规定把坐标纵轴向西平移 500 km，如图 1-7 所示。另外，为了表明该点位于哪一个 6° 带内，还规定在横坐标值前冠以 2 位带号。例如： $y_A = 20\ 225\ 760\text{ m}$ ，表示 A 点位于第 20 带内，其真正的横坐标值为： $225\ 760 - 500\ 000 = -274\ 240(\text{m})$ 。经过这种处理后得到的点的横坐标称为横坐标的通用值(图 1-7)，我国境内 6° 带带号在 13~23 之间。

【例 1-1】 我国某一点 P 的 6° 带通用坐标为 ($x_P = 3\ 276\ 000$ ， $y_P = 19\ 438\ 000$)，问该点在哪一个 6° 带内，距其中央子午线距离为多少？在其中央子午线以东还是以西？

解：该点在第 19 带内，在中央子午线以西，距离为 62 000 m。

高斯投影中，离中央子午线近的部分变形小，离中央子午线愈远变形愈大。当测绘大比例尺图要求投影变形更小时，可采用三度分带投影法。它是从东经 $1^\circ 30'$ 起，自西向东每隔经差 3° 划分一带，将整个地球划分为 120 个带，每带中央子午线的经度 L'_0 可按下式计算：

$$L'_0 = 3 \times n \tag{1-2}$$

式中 n —— 3° 带的带号。

4. 独立平面直角坐标系

大地水准面虽然是曲面，但当测量区域较小(如半径不大于 10 km 的范围)时，可以用测区中心点 a 的切平面来代替曲面，如图 1-8 所示。地面点在切平面上的投影位置就可以用平面直角坐标来确定。测量工作中采用的平面直角坐标如图 1-9 所示，以两条互相垂直的直线为坐标轴，两轴的垂点为坐标原点，规定南北方向为纵轴，并记为 x 轴， x 轴向北为

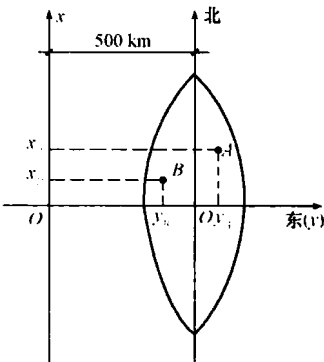


图 1-7 高斯平面直角坐标

正，向南为负；以东西为横轴，并记为 y 轴， y 轴向东为正，向西为负。地面上某点 P 的位置可用 x_P 和 y_P 表示。平面直角坐标系中象限按顺时针方向编号。

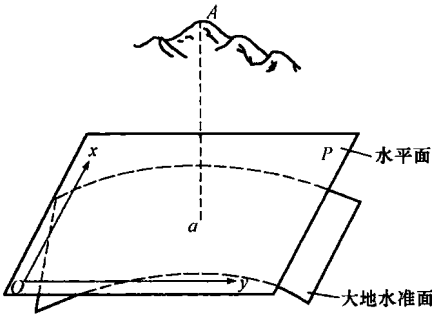


图 1-8 以切平面代替曲面

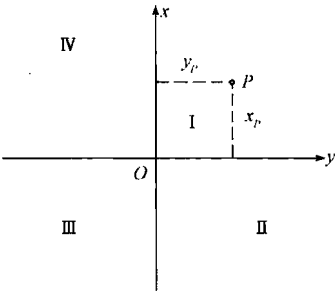


图 1-9 独立平面直角坐标系

x 轴与 y 轴和数学上规定的互换，其目的是为了定向方便(测量上以北方向为坐标方位角起始方向)，且将数学上的公式直接照搬到测量的计算工作中，不需作任何变更。原点 O 一般选在测区的西南角(图 1-8)，使测区内各点的坐标均为正值。

二、地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离，称为该点的绝对高程或称海拔，通常以 H_i 表示。如图 1-10 所示， H_A 和 H_B 即为点 A 和点 B 的绝对高程。

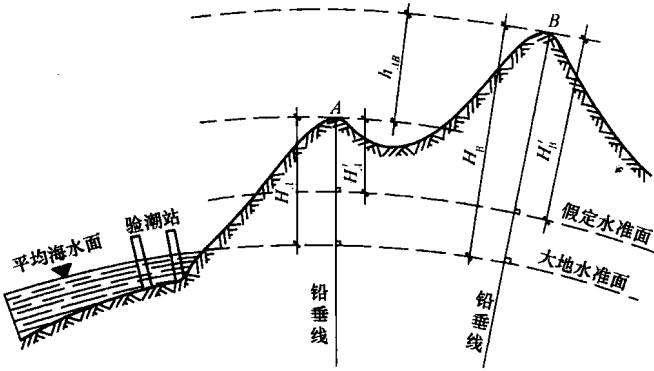


图 1-10 高程和高差

当个别地区引用绝对高程有困难时，可采用假定高程系统，即采用任意假定的水准面作为高程起算的基准面。如图 1-10 所示，地面点到假定水准面的铅垂距离，称为假定高程，如 H'_A 和 H'_B 。

地面上两个点之间的高程差，称为高差，通常用 h_{ij} 表示。如地面点 A 与点 B 之间的高差为 h_{AB} ，即

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-3)$$

由此可见，两点间的高差与高程起算面无关。

第四节 用水平面代替水准面的限度

由前文可知，测量工作的基准面是大地水准面，大地水准面是一个曲面。从理论上讲，将极小部分的水准面当做平面也是要产生变形的，但是由于测量和绘图也都含有不可避免的误差，因此如果将某一测区范围内的水准面当做平面看待，其产生的误差不超过测量和绘图的误差，那么这样做是可以的，而且也是合理的。下面来讨论以水平面代替水准面时对距离、高程和水平角的影响，以便限制水平面作为基准面时的范围。

一、对距离的影响

如图 1-11 所示，A、B、C 是地面点，它们在大地水准面上的投影点是 a、b、c，用该区域中心点的切平面代替大地水准面后，地面点在水平面上的投影点是 a(a')、b'、c'，现分析由此而产生的影响。设 A、B 两点水准面上的距离为 D，在水平面上的距离为 D'，则两者之差为 ΔD，即用水平面代替水准面所引起的距离差异。在推导公式时，近似地将大地水准面视为半径为 R 的球面，则有：

$$\Delta D = D' - D = R(\tan\theta - \theta) \tag{1-4}$$

将 $\tan\theta$ 展开成级数： $\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{1}{5}\theta^5 + \dots$ 。因 θ 角很小，因此可略去三次以上的高次项，只取其前两项代入式(1-4)中，得

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

又因 $\theta = D/R$ ，故：

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \tag{1-5}$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1-6}$$

在上两式中，取地球半径 $R = 6\,371\text{ km}$ ，当距离 D 取不同的值时，则得到不同的 ΔD 和 $\Delta D/D$ ，其结果列入表 1-1 中。

表 1-1 用水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 D/km	距离误差 ΔD/cm	相对误差 ΔD/D	距离 D/km	距离误差 ΔD/cm	相对误差 ΔD/D
10	0.8	1 : 1 250 000	50	102.6	1 : 49 000
25	12.8	1 : 200 000	100	821.2	1 : 12 000

从表 1-1 可以看出，当 $D = 10\text{ km}$ 时，所产生的相对误差为 1 : 1 250 000，这样小的误