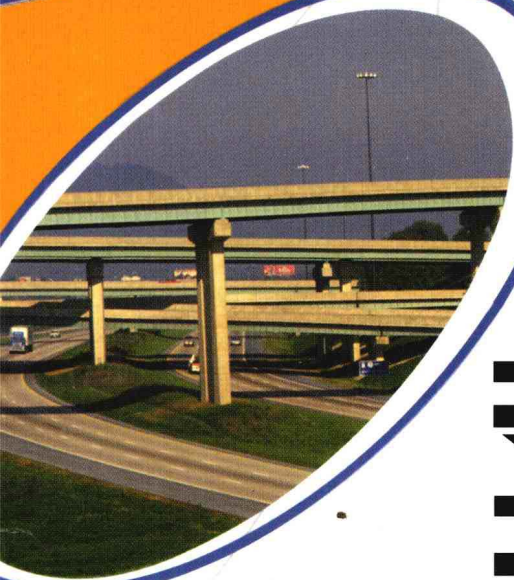




交通土建 工程测量

JIAOTONG
TUJIAN GONGCHENG CELIANG (第二版)

曹智翔 邓明镜 等编著
刘敦侠 主审



西南交通大学 出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

交通土建工程测量

(第二版)

曹智翔 邓明镜 等编著

刘敦侠 主 审

西南交通大学出版社

• 成 都 •

.....
图书在版编目 (C I P) 数据

交通土建工程测量 / 曹智翔等编著. —2 版. —成都: 西南交通大学出版社, 2008.8

ISBN 978-7-81104-851-3

I. 交… II. 曹… III. 道路工程—土木工程—工程测量
IV. U412.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 128747 号
.....

交通土建工程测量

(第二版)

曹智翔 邓明镜 等编著

责任编辑	刘娉婷
封面设计	翼虎书装
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	20.5
字 数	510 千字
印 数	5 001—8 000 册
版 次	2005 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 2 版
印 次	2008 年 8 月第 4 次印刷
书 号	ISBN 978-7-81104-851-3
定 价	32.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

《交通土建工程测量》

编 委 会

编著人（按姓氏汉语拼音顺序排列）

曹智翔 邓明镜 冯 晓 刘国栋 刘 煜

潘国兵 潘建平 张 潇 周祖渊

主 审 刘敦侠

再版前言

随着现代科学技术的迅猛发展，先进技术在测绘学科中得到了广泛的应用。测绘仪器从原来的以精密机械与几何光学器件的组合为主，逐步增加了物理光学和电子器件以及软件系统，成为光、机、电、软结合的现代化电子测量仪器，其功能、精度和自动化程度也大为增加和提高。为适应测绘学科发展新形势，本书增加了电子水准仪、全站仪、GPS 技术及数字测图的内容，删去了一些陈旧的和与交通土木建设联系较少的教学内容，以适应教学改革的需求，期望通过有限时数的学习和实践，使读者在较为全面了解测绘新技术基础上重点掌握测量的基础理论和基本技能。本书在测绘工程应用中重点针对交通土木工程的应用进行了介绍。

本书是在原《交通土建工程测量》（西南交通大学出版社，2004 年 12 月）基础上进行编写的。本次编著对原书中的图表、文字等疏漏和错误进行了校正；增强了全站仪、电子水准仪原理与应用的内容介绍，以期测绘仪器介绍逐渐过渡到电子仪器上来；数字地形测绘已成为地形测量的主要方法，在地形测量中一章中加强了介绍，并增加数字地面模型的应用一节（第 8 章）；第 10 章对路线逐桩坐标计算介绍了实用的计算方法；为适应桥梁建设，特别是大型桥梁建设的需要，对桥梁测量（第 11 章）的内容进行大的修改和与扩充；考虑 GPS 技术已成为工程测量中普遍采用的技术手段，将 GPS 原理及应用单独成章以增强内容介绍（第 14 章）；为开阔学生知识面和培养创新能力，本书增加了遥感和摄影测量的基础知识及测绘新技术简介（第 15 章和第 16 章），希望读者对测绘新技术有一比较全面的了解，以利将来的持续学习；为适应测绘工作施测与管理规范化的要求，在增加的附录 A 和附录 B 中介绍了测绘工程计划书和技术总结编写的主要内容和格式。

参加本书编著的有重庆交通大学曹智翔、邓明镜、冯晓、刘国栋、刘煜、潘国兵、潘建平、张潇（武汉长江水利委员会）、周祖渊。曹智翔编写第 1 章和第 10 章，刘煜编写第 2 章和第 4 章，邓明镜编写第 3 章、第 5 章和第 6 章，刘国栋编写第 7 章和第 8 章，周祖渊编写第 9 章，张潇编写第 11 章和第 16 章及附录 A、附录 B，冯晓编写第 12 章和 13 章，潘国兵编写第 14 章，潘建平编写第 15 章。

重庆交通大学刘敦侠老师在本书编写过程中给予了作者热情的支持和帮助，并提出了许多宝贵的意见，并对本书进行了全面审阅，谨在此表示感谢。

本书一定存在许多疏漏和不当之处，谨请使用本教材的师生和其他读者能提出批评指正，以利再版时改进。

编 者

2008 年 7 月

前 言

随着现代科学技术的飞速发展,先进技术在测绘学科中得到了广泛的应用。测绘仪器从原来的以精密机械与几何光学器件的组合为主,逐步增加了物理光学和电子器件以及软件系统,成为光、机、电、软结合的现代化电子测量仪器,其功能、精度和自动化程度也大为增加和提高。为适应测绘学科发展新形势,本书增加了电子经纬仪、全站仪、GPS 及数字测图的内容,删去了一些陈旧的和与交通土木建设联系较少的教学内容,以适应教学改革的需求,期望通过有限时数的学习和实践,使学生在较为全面了解测绘新技术基础上重点掌握测量的基础理论和基本技能。本书在测绘的工程应用中重点针对交通土木工程的应用进行了介绍。

本教材由重庆交通大学曹智翔、谢远光,重庆大学刘星主编。参加编写工作的有曹智翔(第1章、第10章、第11章和第6章的第7节)、刘煜(第2章、第4章)、谢远光(第5章、第6章)、张凤龙(第3章)、周祖渊(第9章)、冯晓(第12章、第13章),刘星(第7章、第8章)。刘国栋、邓明镜也参加了本书的部分编写和校对工作。全书由曹智翔统稿和修订。

重庆交通大学刘敦侠老师对本书进行了全面审阅。刘老师在本书编写过程中给予了编者热情的支持和帮助,并提出了许多宝贵的意见,谨在此表示感谢。

由于编者水平有限和成书时间的仓促,本书一定存在许多疏漏和错误之处,恳请使用本教材的师生能提出批评指正,以利再版时改进。

编 者

2004年9月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 测量学的任务与作用	1
1.2 地球的形状和大小	2
1.3 地面点位的确定	4
1.4 地球曲率对测量工作的影响	8
1.5 测量工作概述	9
1.6 测量上常用的计量单位	11
第2章 水准测量	12
2.1 水准测量原理	12
2.2 DS ₃ 型水准仪及水准尺	13
2.3 水准测量的实施	17
2.4 水准测量的成果整理	20
2.5 水准仪的检验与校正	22
2.6 水准测量的误差分析	25
2.7 自动安平水准仪	27
2.8 精密水准仪	28
2.9 电子水准仪简介	30
第3章 角度测量	35
3.1 角度测量原理	35
3.2 光学经纬仪的基本结构	36
3.3 光学经纬仪的读数设备及读数方法	37
3.4 水平角的测量	39
3.5 竖直角测量	43
3.6 竖直度盘指标线自动归零原理	46
3.7 经纬仪的检验与校正	47
3.8 角度测量的误差分析及注意事项	51
3.9 电子经纬仪测角原理	56
第4章 距离测量和直线定向	60
4.1 普通钢尺量距	60

4.2	精密钢尺量距	63
4.3	视距测量	65
4.4	光电测距	67
4.5	电子全站仪介绍	71
4.6	直线定向	76
第 5 章	测量误差的基本知识	81
5.1	测量误差概述	81
5.2	偶然误差的统计特性	83
5.3	评定精度的标准	84
5.4	等精度观测值的精度评定	86
5.5	误差传播定律及其应用	89
5.6	带权平均值及其中误差	93
5.7	最小二乘法原理简述	99
第 6 章	小区域控制测量	101
6.1	概 述	101
6.2	导线测量	102
6.3	经纬仪导线测量的外业工作	104
6.4	经纬仪导线测量的内业工作	107
6.5	三角形网概述	112
6.6	测角交会	112
6.7	高程控制测量	115
6.8	全站仪三维导线测量	122
第 7 章	地形图的基本知识与测绘	125
7.1	地形图的基本知识	125
7.2	大比例尺地形图的测绘	136
第 8 章	地形图在工程中的应用	144
8.1	地形图的识读及应用	144
8.2	确定图形面积	149
8.3	土地平整时的土石方计算	150
8.4	城市用地的地形分析	154
8.5	数字地面模型建立及应用	156
第 9 章	测设的基本工作	161
9.1	已知水平距离、水平角和高程的测设	161
9.2	点的平面位置的测设方法	164
9.3	已知坡度线的测设	165

9.4 测量坐标系与施工坐标系的转换	166
第 10 章 线路工程测量	168
10.1 中线测量	168
10.2 圆曲线测设	172
10.3 缓和曲线测设	178
10.4 线路逐桩坐标的计算与极坐标法测设中线	182
10.5 线路纵、横断面测量	188
10.6 道路施工测量	194
第 11 章 桥梁测量	198
11.1 概述	198
11.2 桥梁工程勘测	199
11.3 定线测量	203
11.4 河流比降测量	206
11.5 桥梁施工控制网	207
11.6 桥梁施工测量	215
11.7 涵洞施工测量	222
第 12 章 隧道施工测量	224
12.1 隧道施工测量的内容及作用	224
12.2 隧道地面控制测量	227
12.3 地下控制测量	231
12.4 隧道开挖中的测量工作	235
12.5 竖井联系测量	236
第 13 章 变形观测	240
13.1 变形观测概述	240
13.2 垂直位移测量	243
13.3 水平位移测量	248
13.4 挠度观测	250
13.5 裂缝观测	251
13.6 变形观测的成果整理	252
第 14 章 全球定位系统在公路工程中的应用	254
14.1 全球定位系统概述	254
14.2 全球定位系统的组成	255
14.3 GPS 卫星信号	256
14.4 GPS 定位基本原理	256
14.5 GPS 观测量及定位计算概述	257

14.6	GPS 测量的观测工作和作业模式	258
14.7	坐标转换	260
14.8	用 GPS 测定点位高程	261
14.9	GPS 测量实施	262
14.10	GPS 定位技术在公路测量中的应用	271
第 15 章	遥感与摄影测量	274
15.1	遥感	274
15.2	摄影测量学	279
第 16 章	测绘新技术简介	290
16.1	信息化测绘	290
16.2	三维激光扫描技术	292
16.3	GPS RTK 线路放样	294
16.4	地面近景数字摄影测量	296
16.5	自动化监测技术	296
16.6	水文测验技术	302
附录 A	测绘工程计划书	304
附录 B	技术总结报告	308
参考文献		317

第1章 绪 论

1.1 测量学的任务与作用

测量学的研究内容包括确定地球和其他实体的形状、大小和重力场，并在此基础上建立一个统一的坐标系统，利用各种测量仪器、传感器及其组合系统获取地球及其他实体在一定坐标系中有关空间定位和分布的信息，制成各种地形图和专题图以及建立地理、土地等各种空间信息系统，为研究地球自然和人文现象，解决人口、资源、环境和灾害等社会可持续发展中的重大问题以及为国民经济和国防建设提供技术支撑和数据保障。

测量学的主要任务包括测定和测设两个方面：

① 测定是使用测量仪器和工具，通过测量和计算将地球表面的各种物体的位置按一定的比例尺缩小绘制成地形图，供科学研究、国防和工程建设规划设计使用。

② 测设是将地形图上设计出的工程建筑物和构筑物的位置在实地标定出来，作为施工的依据。它也称施工放样。

测量学可大体分为普通测量学、大地测量学、摄影测量与遥感学、地图制图学与地理信息工程、工程测量学和海洋测绘学等主要分支学科。

假如要研究的只是地球自然表面上的一个小区域，则由于地球半径很大，就可以把这块球面当做平面看待而不考虑其曲率。研究这类小区域地表面各类物体形状和大小的测绘科学是普通测量学的范畴。地形测量学研究的内容可以用文字和数字记录下来，也可用图表示。

凡研究的对象是地表上一个较大的区域甚至整个地球时，就必须考虑地球的曲率。这种研究以广大地区为对象的测绘科学是大地测量学。大地测量学是研究和测定地球的形状、大小和重力场、地球的整体与局部运动和地面点的几何位置以及它们的变化的理论和技术的学科。由于全球定位系统（GPS）、卫星激光测距（SLR）、甚长基线干涉（VLBI）和卫星测高（SA）等新技术的引进，导致大地测量从分维式发展到整体式，从静态发展到动态，从描述地球的几何空间发展到描述地球的物理——几何空间，从地表层测量发展到地球内部结构的反演，从局部参考坐标系中的地区性大地测量发展到统一地心坐标系中的全球性大地测量。这门学科的基本任务是建立国家大地控制网，测定地球的形状、大小和研究地球重力场的理论、技术和方法。大地控制网是为研究地球有关的各种科学服务的，并且是施测地形图的重要依据。由于人造地球卫星的发射及遥感技术的发展，大地测量学又可分为常规大地测量学与卫星大地测量学。

摄影测量与遥感学是研究利用电磁波传感器获取目标物的影像数据，从中提取语义或非语义的信息，并用图形、图像和数字形式表达的学科。这一学科过去叫摄影测量学。摄影测量本身已完成了模拟摄影测量与解析摄影测量的发展历程，现在正进入数字摄影测量阶段。由于现代航天技术和计算机技术的发展，当代遥感技术可以提供比光学摄影所获得

的黑白像片更丰富的影像信息，因此在摄影测量中引进了遥感技术。遥感技术不仅自身在飞速发展，而且与卫星定位技术和地理信息技术相集成，成为地球空间信息科学与技术。

地图制图学与地理信息工程是研究用地图图形科学、抽象、概括地反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互关系及其动态变化，并对空间信息进行获取、智能抽象、存储、管理、分析、处理、可视化及其应用的学科。当今，随着计算机地图制图和地图数据库技术的快速发展，作为人们认知地理环境和利用地理条件的工具，地图制图学已经进入数字（电子）制图和动态制图的阶段，成为地理信息系统的支撑技术，已发展成为研究空间地理环境信息和建立相应的空间信息系统的学科。

工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制测量、地形测绘、施工放样和变形监测的理论和技术的学科。它是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。而现在工程测量已远远突破了为工程建设服务的狭隘概念，向着所谓“广义工程测量学”发展，即“一切不属于地球测量不属于国家地图集的陆地测量和不属于公务测量的应用测量，都属于工程测量”。工程测量的发展可概括为“四化”和“十六字”：前者即工程测量一体化、数据获取及处理自动化、测量过程控制和系统行为的智能化、测量成果和产品的数字化；后者为连续、动态、遥测、实时、精确、可靠、快速、简便。

海洋测绘学是研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制的理论和方法的学科。同陆地测绘相比，海洋测绘具有独自的特点，主要有：测量内容综合性强，要同时完成多种观测项目，需多种仪器配合施测；测区条件复杂，大多为动态作业；肉眼不能通视水域底部，精确测量难度较大等。因此海洋测绘的基本理论、技术方法和测量仪器设备有许多不同于陆地测量之处。

本书主要介绍普通测量学，同时还介绍工程测量学的基本内容。

在国民经济建设中，测量技术的应用十分广泛。例如，铁路、公路在建造之前，为了确定一条最经济、最合理的路线，必须预先进行该地带的测量工作，由测量的成果绘制带状地形图，在地形图上进行线路设计，然后将设计路线的位置标定在地面上，以便进行施工。当路线跨越河流时，必须建造桥梁，在建桥之前，要绘制河流两岸的地形图，测定河流的水位、流速、流量和河床地形图以及桥梁轴线长度等，为桥梁设计提供必要的资料，最后将设计的桥台、桥墩的位置用测量的方法在实地标定；当路线穿过山地需要开挖隧道时，开挖之前，必须在地形图上确定隧道的位置，并由测量数据来计算隧道的长度和方向。隧道施工通常从隧道两端开挖，这就需要根据测量的成果指示开挖的方向等，使之符合设计要求。又例如，城市规划、给水排水、煤气管道等市政工程的建设，工业厂房和高层建筑的建造，在设计阶段要测绘各种比例尺的地形图，供结构物的平面及竖向设计之用；在施工阶段，要将设计结构物的平面位置和高程在实地标定出来，作为施工的依据；待工程完工后，还要测绘竣工图，供日后扩建、改建、维修和城市管理应用。对某些重要的建筑物或构筑物在建设中和建成以后都需要进行变形观测，以保证建筑物的安全。

1.2 地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面。地球的自然表面极不规则，极为复杂，有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等高低起伏的形态，我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰 2005 年复测数据高达 8 844.43 m，而在太平洋西部的马里亚纳海沟深达

11 022 m。尽管有这样大的高低起伏，但相对于地球庞大的体积来说其仍可忽略不计。地球的表面形状十分复杂，不便于用数学式来表达，通过长期的测绘工作和科学调查，了解到地球表面上的海洋面积约占 71%，陆地面积约占 29%，地球总的形状可看作是被海水包围的球体，也就是设想有一个静止的平静海水面，向陆地延伸而形成一个封闭的曲面，称为水准面。由于海水有潮汐，时高时低，因而水准面有无数多个，其中通过平均海水面的一个称为大地水准面。它是测量工作的一个基准面，所包围的形体称为大地体，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，如图 1-1 所示。

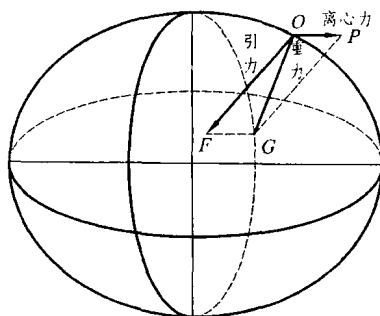


图 1-1

水准面是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。由于地球吸引力的大小与地球内部的质量有关，而地球内部的质量分布又不均匀，引起地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化，因而大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则复杂曲面（见图 1-2），人们无法在这样的曲面上直接进行测绘和数据处理。为了解决这个问题，选择一个与大地水准面非常接近的、能用数学方程表示的几何形体来代表地球的形体。这个几何形体是由椭圆绕其短轴 NS 旋转而成的旋转椭球体（见图 1-3），其表面称旋转椭球面。

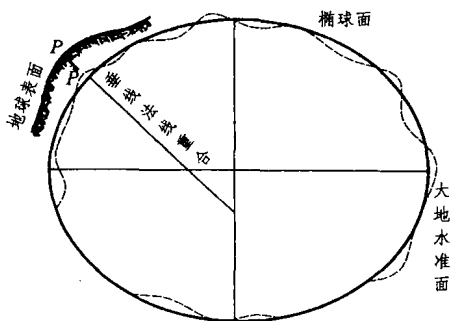


图 1-2

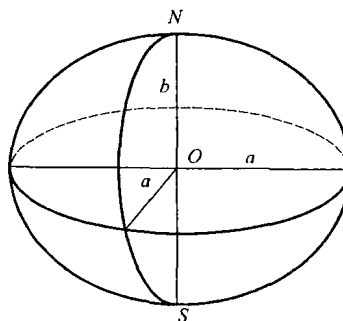


图 1-3

决定旋转椭球体形状和大小的元素是椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 α ，其关系为：

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

目前，我国采用的地球椭球体元素值是 1975 年“国际大地测量与地球物理联合会”（IU-GG）通过并推荐的值：

$$a = 6\,378\,140 \text{ m}, \quad b = 6\,356\,755 \text{ m}, \quad \alpha = 1 : 298.257$$

由于地球椭球体的扁率很小，当测量的区域较小时，可以将地球看作半径为 6 371 km 的圆球。

1.3 地面点位的确定

测量学的主要任务是测定和测设，无论测定还是测设都需要通过确定地面点的空间位置来实现。确定地面点位的实质就是确定其在某个空间坐标系中的三维坐标。考虑到地球是一个椭球体，一般是通过求出该点投影到参考椭球面上的位置和该点到大地水准面的铅垂距离的方法来实现的，为此测量上将空间三维坐标系分解成确定点的球面位置的坐标系（二维）和高程系（一维）。

1.3.1 确定点的球面位置的坐标系

确定点的球面位置的坐标系有地理坐标系和平面直角坐标系两类。

1) 地理坐标系

按坐标所依据的基本线和基本面的不同以及求坐标方法的不同，地理坐标系又可分为天文地理坐标系和大地地理坐标系两种。

(1) 天文地理坐标系。它又称天文坐标，表示地面点在大地水准面上的位置，它的基准是铅垂线和大地水准面，它用天文经度 λ 和天文纬度 φ 两个参数来表示地面点在球面上的位置。

如图 1-4 所示，过地面上任一点 P 的铅垂线与地球的旋转轴 NS 所组成的平面称为该点的天文子午面，天文子午面与大地水准面的交线称为天文子午线（也称经线）。设 G 点为英国格林威治天文台的位置，称过 G 点的天文子午面为首子午面。 P 点天文经度 λ 的定义是：过 P 点的天文子午面 $NPKS$ 与首子午面 $NGMS$ 的两面角，从首子午线向东或向西计算，取值范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，在首子午线以东者为东经，以西者为西经。同一子午线上各点的经度相同。过 P 点垂直于地球旋转轴的平面与地球表面的交线称为 P 点的纬线，其所在平面过球心 O 的纬线称为赤道。 P 点天文纬度 φ 的定义是：过 P 的铅垂线与赤道平面的夹角，自赤道起向南或向北计算，取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，在赤道以北为北纬，以南为南纬。

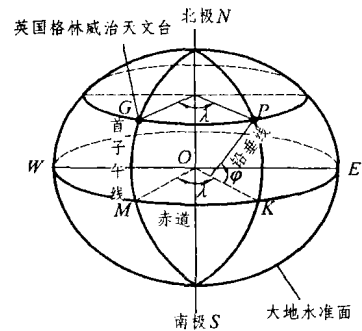


图 1-4

(2) 大地地理坐标系。大地地理坐标系又称大地坐标，是表示地面点在旋转椭球面上的位置，它的基准是法线和旋转椭球面，它用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。 P 点的大地经度 L 是过 P 点的大地子午面和首子午面所夹的两面角， P 点的大地纬度 B 是过 P 点的法线与赤道面的夹角。大地经、纬度是根据一个起始的大地点（又称大地原点，该点的大地经纬度与天文经纬度一致）的大地坐标，再按大地测量所得的数据推算而得的。我国以陕西省泾阳县永乐镇大地原点为起算点，由此建立新的大地坐标系，称为“1980 年国家大地坐标系”，简称 80 系。

2) 平面直角坐标系

(1) 高斯平面直角坐标系。地理坐标对局部测量工作来说是不方便的，例如，在赤道上， $1''$ 的经度差和纬度差对应的地面距离约为 30 m。测量计算最好在平面上进行，但地球

是一个不可展的曲面，必须通过投影的方法将地球面上的点位换算到平面上。地图投影有多种方法，我国采用的是高斯投影方法。

高斯投影首先是将地球按经线划分成带，称为投影带。投影带是从首子午线起，每隔经度 6° 划分为一带（称为 6° 带），自西向东将整个地球划分为 60 个带，如图 1-5 所示。带号从首子午线开始，用阿拉伯数字表示，位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线。第一个 6° 带的中央子午线的经度为 3° ，任意一个带中央子午线经度 L_0 与投影带号 N 的关系为：

$$L_0 = 6N - 3^\circ \quad (1-2)$$

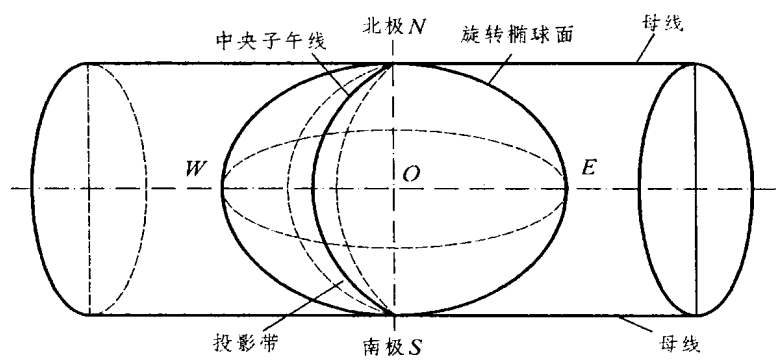


图 1-5

反之，已知地面任一点的经度 L ，要求计算该点所在的 6° 带编号的公式为：

$$N = \text{int} \left(\frac{L+3}{6} + 0.5 \right) \quad (1-3)$$

式中 int 为取整函数。

投影时设想用一个空心椭圆柱横套在旋转椭球体外面，使椭圆柱与某一中央子午线相切，将球面上的图形按保角投影的原理投影到圆柱体面上，然后将圆柱体沿着过南北极的母线切开，展开成为平面，并在该平面上定义平面直角坐标系，如图 1-6 (a) 所示。

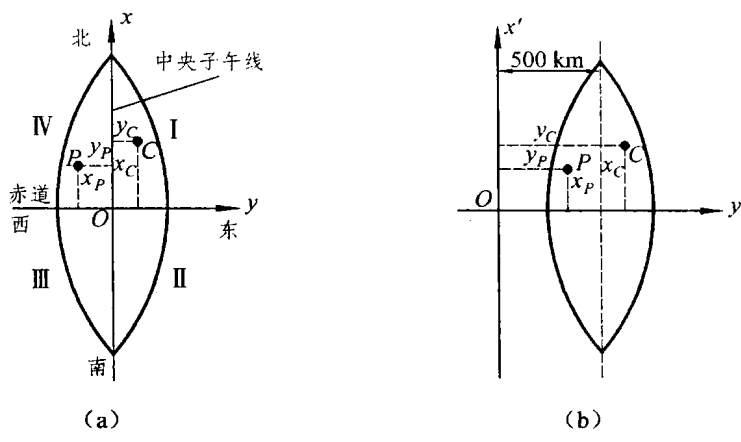


图 1-6

投影后的中央子午线与赤道均为直线。由于在旋转椭球体面上，中央子午线与赤道相互垂直，所以经保角投影后的中央子午线与赤道也相互垂直。以中央子午线为坐标纵轴（ x 轴），向北为正；赤道为坐标横轴（ y 轴），向东为正，中央子午线与赤道的交点为坐标原点 O ，组成的平面直角坐标系称为高斯平面直角坐标系。与数学上的笛卡儿坐标系比较，在高斯平面直角坐标系中，为了定向的方便，定义纵轴为 x 轴，横轴为 y 轴，这与数学上常用的笛卡儿坐标不同。象限按顺时针方向编号，目的是便于数学上定义的各类函数公式直接应用到测量计算，不需做任何变更。

我国位于北半球， x 坐标值均为正， y 坐标值则有正有负，当点位于中央子午线以东时为正，以西时为负。

例如，图 1-6 的 P 点位于中央子午线以西，其 y 坐标值为负值。对于 6° 带高斯坐标系，最大的 y 坐标负值约为 365 km。为了避免 y 坐标出现负值，我国统一规定将每带的坐标原点向西移 500 km，也就是给每点的 y 坐标值加上 500 km，使之均为正值，如图 1-6（b）所示。高斯平面直角坐标为了通过横坐标值确定某点位于哪一个 6° 带内，还要在 y 坐标值前冠以投影带的编号。将经过加 500 km 和冠以带号处理后的横坐标值用 y' 表示。例如，图 1-6（b）中的 P 点位于第 19 带内， $y_P = -265\,214\text{ m}$ ，则 $y'_P = 19\,234\,786\text{ m}$ 。

高斯投影是保角投影，它能够保证球面图形的角度与投影后该平面图形的角度相同，但球面上任意两点间的距离经投影后会产生变形。距离变形的规律是：除了中央子午线和赤道没有距离变形以外，其他位置的直线均存在距离变形，且投影在平面上的距离大于球面上的相应距离，离开中央子午线愈远变形愈大，投影带边缘部分的距离变形最大。

距离变形过大对于测图尤其是测绘大比例尺地形图是不利的。减少投影带边缘位置距离变形的办法之一就是缩小投影带的带宽，例如，可以选择采用 3° 带和 1.5° 带进行投影，其中 3° 带每带中央子午线经度 L'_0 与投影带号 n 的关系为：

$$L'_0 = 3n \tag{1-4}$$

反之，已知地面任一点的经度 L ，要求计算该点所在的 3° 带的编号的公式为：

$$n = \text{int}\left(\frac{L}{3} + 0.5\right) \tag{1-5}$$

我国国土所属范围大约为东经 $73^\circ 27'$ 至东经 $135^\circ 09'$ ， 6° 带投影带号范围为 13~23， 3° 带投影的带号范围为 25~45。可见，在我国领土范围内， 6° 带与 3° 带的投影带号不重复，其关系如图 1-7 所示。

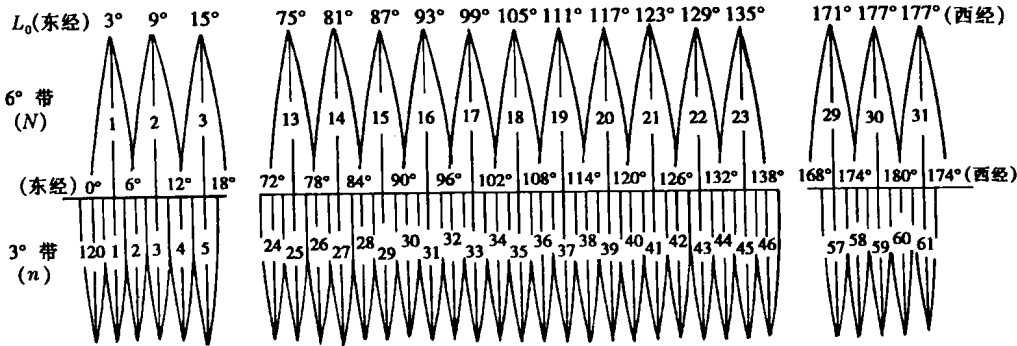


图 1-7

(2) 独立平面直角坐标系。如图 1-8 所示, 当测区范围较小时 (一般要求测区半径小于 10 km), 将测区中点 C 沿铅垂线投影到大地水准面上得 c 点, 用过 c 点的切平面来代替大地水准面, 在切平面上建立的测区平面直角坐标系 xOy 称为独立平面直角坐标系。其坐标原点选在测区西南角使坐标值均为正值, 过测区中心的子午线为 x 轴方向。将测区内任一点 P 沿铅垂线投影到切平面上得 p 点, 通过测量计算出的 p 点坐标 x_p 、 y_p 就是 P 点在独立平面直角坐标系中的坐标。

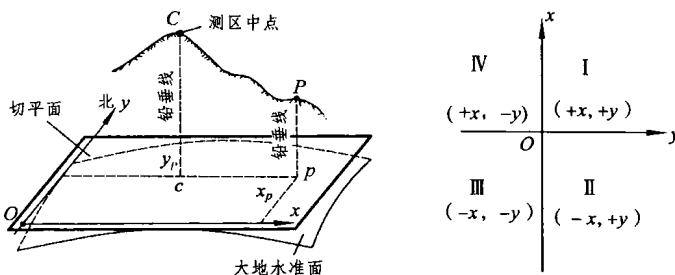


图 1-8

独立平面直角坐标系的坐标轴方向和象限编号顺序与高斯平面直角坐标系相同。

1.3.2 确定点的高程系

地面点沿铅垂线至大地水准面的距离称为该点的绝对高程或海拔, 简称高程, 用 H 加点名作下标表示。图 1-9 中 A 、 B 两点的高程表示为 H_A 、 H_B 。

高程基准是大地水准面。由于海水面受潮汐、风浪等影响, 它的高低时刻在变化。通常是在海边设立验潮站进行长期观测, 将求得的海水面的平均高度作为高程零点。通过该点的大地水准面作为高程基准面, 也即在大地上水准面上高程为零。在我国境内测得的高程以青岛验潮站历年观测的黄海平均海水面为基准面。1954 年在青岛市观象山建立了水准原点, 用水准测量的方法将在验潮站确定的高程零点引测到水准原点, 也即求出水准原点的高程。1956 年我国采用青岛验潮站的潮汐记录资料推算出的水准原点的高程为 72.289 m, 以这个大地水准面为高程基准建立的高程系称为“1956 年黄海高程系”。

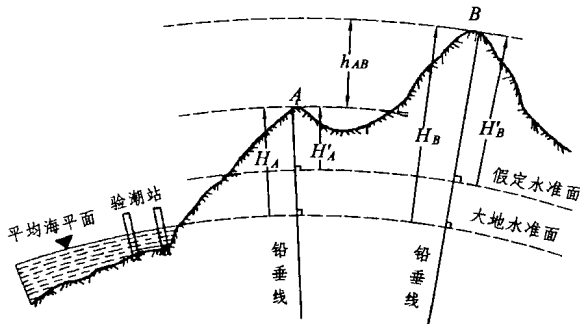


图 1-9

了水准原点, 用水准测量的方法将在验潮站确定的高程零点引测到水准原点, 也即求出水准原点的高程。1956 年我国采用青岛验潮站的潮汐记录资料推算出的水准原点的高程为 72.289 m, 以这个大地水准面为高程基准建立的高程系称为“1956 年黄海高程系”。

1985 年, 我国又采用青岛验潮站 1952—1979 年的潮汐观测资料计算出的平均海水面作为新的高程基准, 此高程系称为“1985 年国家高程基准”, 简称“85 高程基准”。根据新的高程基准, 水准原点的高程为 72.260 m。

在局部地区, 也可以假定任一水准面作为高程起算面, 地面点到假定水准面的垂直距离, 称为假定高程或相对高程, 用 H' 加点名作下标表示。图 1-9 中 A 、 B 两点的相对高程表示为 H'_A 、 H'_B 。地面两点间的绝对高程或相对高程之差称为高差, 用 h 加两点点名作下