



普通高等教育“十三五”系列教材  
浙江省普通高校“十三五”新形态教材

# 工程测量

孔维华 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”系列教材  
浙江省普通高校“十三五”新形态教材

# 工程测量

孔维华 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十三五”系列教材、浙江省普通高校“十三五”新形态教材。本书共分十四章，主要内容有绪论、水准测量、角度测量、距离测量、测量误差的基本理论、控制测量、地形图的基本知识、大比例尺地形图测绘、地形图的应用、施工测量的基本工作、建筑工程测量、线路工程测量、地下工程测量、水利工程测量。各章节均配套相关数字资源。

本书可作为土建类、水利类、交通类、地理类、地矿类等非测绘专业本科学生学习工程测量基本知识和理论的教材。

### 图书在版编目（C I P）数据

工程测量 / 孔维华主编. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2020.9  
普通高等教育“十三五”系列教材 浙江省普通高校  
“十三五”新形态教材  
ISBN 978-7-5170-8849-3

I. ①工... II. ①孔... 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(2020)第171042号

书 名	普通高等教育“十三五”系列教材 浙江省普通高校“十三五”新形态教材 <b>工程测量</b> GONGCHENG CELIANG
作 者	孔维华 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
刷 印	清淞永业(天津)印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.5印张 381千字
版 次	2020年9月第1版 2020年9月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	<b>46.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 编写委员会

主 编：孔维华

副主编：黄伟朵 李爱霞 张海玲

编 委：（按姓氏笔画排列）

毛迎丹 邓愫愫 刘丽峰 赵 红 段祝庚

胥啸宇 徐 工 徐文兵 黄文彬 谢劭峰



# 前 言

本书为满足土建类、水利类、交通类、地理类、地矿类等非测绘专业工程测量课程教学的需要，在总结近年来工程测量教育教学改革成果的基础上，由浙江水利水电学院、山东理工大学、浙江农林大学、桂林理工大学和中南林业科技大学等高等院校的老师编写而成。

随着测绘地理信息技术的快速发展，测绘新仪器、新理论的应用越来越普遍。本书除了对传统测量理论和技术进行了全面的讲解，包括水准测量、角度测量、距离测量、误差基本理论和地形图的测绘与应用等；同时增加了测绘新仪器、新技术的使用，包括全站仪、GNSS和CASS绘图软件；并且结合建筑工程、线路工程、地下工程和水利工程等行业特点，全面介绍了测绘技术在这些行业中的具体应用。本书为浙江省普通高校“十三五”新形态教材，在每个章节加入了课件、教学录像、课堂自测和相关知识点等数字资源，方便读者学习。

本书由孔维华任主编，黄伟朵、李爱霞、张海玲任副主编。具体编写分工如下：第一、三、十、十二章由浙江水利水电学院孔维华编写，第五、六章由浙江水利水电学院黄伟朵编写，第二、四章由浙江水利水电学院李爱霞编写，第七、九章由山东理工大学张海玲编写，第八章由山东理工大学徐工编写，第十一章由桂林理工大学谢劭峰和中南林业科技大学段祝庚编写，第十三章由山东理工大学刘丽峰编写，第十四章由浙江水利水电学院黄文彬编写。浙江农林大学徐文兵、邓愫愫参与了部分章节的编写，浙江水利水电学院赵红、胥啸宇、毛迎丹参与了部分教学录像和插图的绘制。全书由孔维华负责统稿。

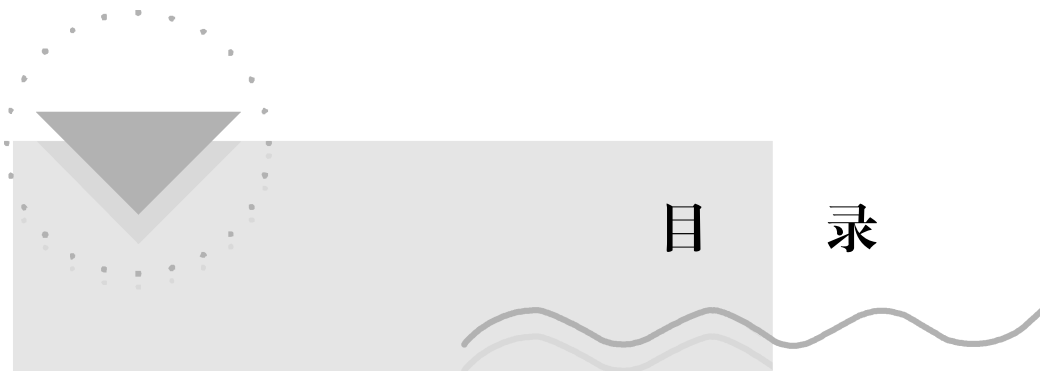
本书在编写过程中得到了浙江南方测绘科技有限公司、浙江华测导航技术有限公司的大力支持，浙江水利水电学院测绘专业的部分同学也参与

了视频的制作，同时，参考了国内外有关教材、参考书和科技文献，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，欢迎读者批评指正。

编者

2020年6月



# 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 工程测量概述 .....	1
第二节 地球的形状与大小 .....	2
第三节 地面点位的确定 .....	3
第四节 地球曲率对测量工作的影响 .....	8
第五节 测量工作的基本原则 .....	10
本章小结 .....	11
思考与习题 .....	11
<b>第二章 水准测量</b> .....	12
第一节 水准测量原理与方法 .....	12
第二节 水准仪和水准尺 .....	14
第三节 水准测量与成果检核 .....	24
第四节 水准测量成果计算 .....	28
第五节 微倾式水准仪的检验与校正 .....	31
第六节 水准测量误差产生的原因与消减方法 .....	35
本章小结 .....	37
思考与习题 .....	37
<b>第三章 角度测量</b> .....	40
第一节 角度测量原理 .....	40
第二节 经纬仪 .....	41
第三节 全站仪 .....	42
第四节 水平角测量 .....	52
第五节 竖直角测量 .....	55
第六节 全站仪的检验与校正 .....	58

第七节 角度测量的误差及其消减方法·····	62
本章小结·····	64
思考与习题·····	64
<b>第四章 距离测量</b> ·····	<b>66</b>
第一节 视距测量·····	66
第二节 电磁波测距·····	68
本章小结·····	73
思考与习题·····	73
<b>第五章 测量误差的基本理论</b> ·····	<b>74</b>
第一节 误差的基本概念·····	74
第二节 评定精度的标准·····	77
第三节 误差传播定律·····	79
第四节 平差值的计算及精度评定·····	82
本章小结·····	85
思考与习题·····	86
<b>第六章 控制测量</b> ·····	<b>87</b>
第一节 控制测量概述·····	87
第二节 坐标计算原理·····	91
第三节 导线测量·····	96
第四节 GNSS在控制测量中的应用·····	106
第五节 高程控制测量·····	113
本章小结·····	118
思考与习题·····	119
<b>第七章 地形图的基本知识</b> ·····	<b>122</b>
第一节 地形图的比例尺·····	122
第二节 地形图符号·····	123
第三节 地形图的图外注记·····	130
第四节 地形图的分幅与编号·····	131
本章小结·····	134
思考与习题·····	134
<b>第八章 大比例尺地形图测绘</b> ·····	<b>135</b>
第一节 数字测图方法概述·····	135
第二节 野外数字化数据采集方法·····	138
第三节 南方 CASS 数字测图软件介绍·····	146
第四节 地形图的绘制与输出·····	148
本章小结·····	157

思考与习题 .....	157
<b>第九章 地形图的应用 .....</b>	<b>158</b>
第一节 地形图应用的基本内容 .....	158
第二节 数字地形图的应用 .....	164
本章小结 .....	168
思考与习题 .....	169
<b>第十章 施工测量的基本工作 .....</b>	<b>171</b>
第一节 施工测量概述 .....	171
第二节 施工控制网 .....	172
第三节 施工放样的基本工作 .....	175
本章小结 .....	182
思考与习题 .....	182
<b>第十一章 建筑工程测量 .....</b>	<b>183</b>
第一节 建筑工程控制测量 .....	183
第二节 工业与民用建筑施工放样的基本要求 .....	185
第三节 民用建筑施工测量 .....	186
第四节 工业建筑施工测量 .....	193
本章小结 .....	197
思考与习题 .....	198
<b>第十二章 线路工程测量 .....</b>	<b>199</b>
第一节 线路工程测量概述 .....	199
第二节 线路中线测量 .....	200
第三节 曲线测设 .....	203
第四节 纵横断面测绘 .....	208
第五节 道路施工测量 .....	213
本章小结 .....	218
思考与习题 .....	218
<b>第十三章 地下工程测量 .....</b>	<b>220</b>
第一节 地下工程测量概述 .....	220
第二节 地下工程控制测量 .....	221
第三节 竖井联系测量 .....	227
第四节 地下工程施工测量 .....	231
本章小结 .....	235
思考与习题 .....	235
<b>第十四章 水利工程测量 .....</b>	<b>236</b>
第一节 施工控制网的布设 .....	236

第二节 水利工程施工测量 .....	238
第三节 水工建筑物的变形观测 .....	247
本章小结 .....	250
思考与习题 .....	250
参考文献 .....	251

# 第一章

## 绪论

### 第一节 工程测量概述

#### 一、测绘学

测绘学是一门古老的学科，有着悠久的历史。随着科技水平的提高，特别是“3S”技术（GPS、RS、GIS）的发展与应用，测绘学科的理论、技术、方法及其学科内涵也不断地发生变化，形成测绘学的现代概念。测绘学是研究地球和其他实体与时空分布有关的信息采集、量测、处理、显示、管理和利用的科学和技术。

根据研究的具体对象、研究范围及采用的技术手段不同，传统意义上又将测绘学分为以下几个主要学科分支。

##### 1. 大地测量学

大地测量学主要研究地球表面及其外层空间点位的精密测定、地球的形状、大小和重力场、地球整体与局部运动以及它们变化的理论和技术。按照测量手段的不同，大地测量学又分为实用大地测量学、椭球面大地测量学、卫星大地测量学及物理大地测量学等。

##### 2. 摄影测量学与遥感

摄影测量学与遥感主要利用摄影或遥感手段获取被测物体的影像数据，对摄影像片或遥感图像进行处理、量测、解译，以测定物体的形状、大小和位置，进而制作成图。

##### 3. 工程测量学

工程测量学是研究各种工程在规划设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作的学科。工程测量是测绘科学与技术国民经济和国防建设中的直接应用，是综合性的应用测绘科学与技术。工程测量按所服务的工程种类分为：建筑工程测量、水利工程测量、线路工程测量、桥梁工程测量、地下工程测量等。

##### 4. 地图制图学

地图制图学是研究地图的设计、投影、编制、制印等理论、技术、方法以及应用的学科。其主要内容包括地图的基本特征、地图投影的理论与方法、地图数据和地图符号、制图综合、地图的编辑与编绘、地图的出版印制与分析应用等。

##### 5. 海洋测绘学

海洋测绘学是研究以海洋及其邻近陆地和江河湖泊为对象所进行的测量和海图编制的理论和方法。主要包括海洋大地测量、海道测量、海底地形测量等内容。

测绘学是地球学科的一个分支学科，其研究内容很多，涉及诸多方面。本课程讲



课件 1-1

述的主要内容属于工程测量学的范畴。

## 二、工程测量

工程测量是一门历史悠久的学科，早在公元前二十七世纪建设的埃及大金字塔，其形状与方向都很准确，说明当时人们对长度和角度已有比较精确的测量手段。早在公元前 2070 年的夏朝时代，为了治水，我国已开始了水利工程测量工作。在古代，工程测量学与测量学并没有严格的界限，后来随着工程建设和测绘技术的发展，才逐渐形成了工程测量学。

随着我国经济建设和社会发展不断加快，工程测量的作用越来越突出，应用领域和服务范围越来越广，包括城市建设、交通工程、矿山、管线工程、水利水电等。目前，人们把工程建设中的所有测绘工作统称为工程测量。

工程测量的主要任务包括测定和测设。测定是指使用测量仪器和工具，运用一定的测绘程序和方法测定地球表面的地物和地貌的位置，按一定的比例尺、规定的符号缩绘成地形图。测设是将图纸上设计好的建筑物的平面位置和高程，按设计要求标定在地面上，作为施工依据。测设又称为放样。



视频 1-1

## 第二节 地球的形状与大小

### 一、地球的自然表面

测量工作大多是在地球表面上进行的，但是地球的自然表面很不规则，分布着高山、丘陵、盆地、平原、江河、湖泊等千姿百态的地貌，有海拔 8844.43m 的珠穆朗玛峰，也有深达 11022m 的马里亚纳海沟。地球表面虽然高低起伏，但是相对于地球平均半径 6371km 是很小的。

### 二、大地水准面

地球表面除了约 29% 的面积是陆地外，约 71% 的面积是海洋。所以在研究地球的形状和大小时，可以把地球看作是一个被海水包围的球体，即假想有一个静止的海水面，向陆地延伸而形成的封闭曲面，称为水准面。由于地表起伏以及地球内质量分布不均匀，水准面是个不规则的曲面。由于海水受潮汐风浪等影响时高时低，故水准面有无穷多个，其中与平均海水面相吻合的水准面称作大地水准面，如图 1-1 所示。

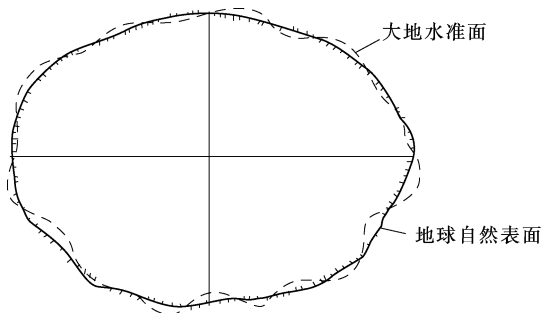


图 1-1 大地水准面

大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的形体称为大地体。

由于地球自转，地球上任一点都受到地球引力和离心力的双重作用，这两个力的合力称为重力。重力的方向线称为铅垂线，铅垂线是测量工作的基准线。大地水准面的特性是处处与铅垂线相垂直。由于地球内部物质

分布不均匀，致使地面上各点的铅垂线方向产生不规则变化，因此大地水准面实际上是略有起伏而不规则的封闭曲面。

### 三、参考椭球面

大地水准面是一个不规则的、无法用数学式表述的曲面，在这样的面上是无法进行测量数据的计算及处理的。因此为了计算和绘图方便，用一个与大地体非常接近的、又能用数学式表示的规则球体（即旋转椭球体）来代表地球的形状。旋转椭球体的基本元素是：长半轴  $a$ ，短半轴  $b$ ，扁率  $f$ ，基本元素间关系式为

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

某一国家或地区为处理测量成果而采用与大地体的形状大小最接近，又适合本国或本地区要求的旋转椭球，这样的椭球体称为参考椭球体，如图 1-2 所示。参考椭球体的表面称为参考椭球面，参考椭球面是处理大地测量成果的基准面。

世界上各个国家采用的参考椭球体都不尽相同，同一个国家在不同时期也会采用不同的椭球。我国采用过克拉索夫斯基椭球、IUGG 1975 国际椭球、CGCS 2000 椭球等。目前我国 CGCS 2000 (China Geodetic Coordinate System 2000, 2000 国家大地坐标系) 采用的椭球参数为长半轴  $a = 6378137\text{m}$ ，短半轴  $b = 6356752.31414\text{m}$ ，扁率  $f = 1 : 298.257$ 。

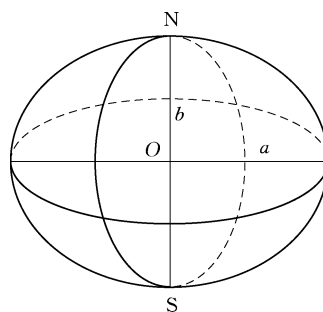


图 1-2 参考椭球体



自测 1-1



课件 1-2

## 第三节 地面点位的确定

测量工作的基本任务是确定地面点的位置，确定地面点的空间位置需要 3 个量，通常是确定地面点在参考椭球面上的投影位置（即地面点的坐标），以及地面点到大地水准面的铅垂距离（即地面点的高程）。

### 一、测量坐标系

#### (一) 大地坐标系

大地坐标又称大地地理坐标，表示地面点沿参考椭球面的法线投影在该基准面上的位置，用大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  表示，如图 1-3 所示。

起始子午面和赤道面是大地坐标系的起算面，经过参考椭球面上任一点  $P$  的子午面与起始子午面的夹角  $L$  为该点的大地经度，简称经度，其取值范围为东经  $0^\circ \sim 180^\circ$  和西经  $0^\circ \sim 180^\circ$ 。经过参考椭球面上任一点  $P$  的法线与赤道面的夹角  $B$ ，称为该点的大地纬度，简称纬度，其值分为北纬  $0^\circ \sim 90^\circ$  和南纬

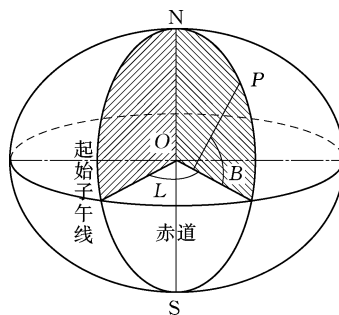


图 1-3 大地坐标系



视频 1-2

$0^\circ \sim 90^\circ$ 。

一般地面点不在参考椭球面上，则地面点沿过该点的法线到参考椭球面的距离，即以参考椭球面为基准面的高程，称为大地高。

由于参考椭球面并不是物理曲面，而是抽象的数学曲面，在测量中无法实际得到某点的法线，因此，大地坐标和大地高都不能直接测量，而只能通过推算得到。

### (二) 空间直角坐标系

以椭球体中心  $O$  为原点，起始子午面与赤道面交线为  $X$  轴，赤道面上与  $X$  轴正交的方向为  $Y$  轴，椭球体的旋转轴为  $Z$  轴，构成右手直角坐标系  $O-XYZ$ 。在该坐标系中，假设存在一点  $P$ ，则  $P$  点的空间直角坐标为  $(X_P, Y_P, Z_P)$ ，如图 1-4 所示。

### (三) 平面直角坐标系

在实际测量工作中，若用球面坐标来表示地面点的位置是不方便的。这是因为，一方面，大地坐标的基准面是参考椭球面，用大地坐标表示点位，不便于表示小范围内点的相对关系；另一方面，椭球面上的计算工作非常复杂，大多数工程应用十分不便。而采用平面直角坐标系计算则十分方便。

测量中采用的平面直角坐标系有：独立平面直角坐标系、高斯平面直角坐标系。

#### 1. 独立平面直角坐标系

当测区的范围较小（面积小于  $100\text{km}^2$ ），能够忽略该区地球曲率的影响而将其看作平面时，可在此平面上建立独立的平面直角坐标系，如图 1-5 所示。测量工作中采用的平面直角坐标系与数学上的笛卡尔坐标系不同，是以纵轴作为  $X$  轴，表示南北方向，自原点向北为正，向南为负；以横轴作为  $Y$  轴，表示东西方向，自原点向东为正，向西为负。除坐标轴方向不同外，两者的象限顺序也相反。

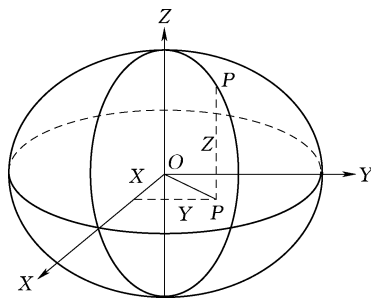


图 1-4 空间直角坐标系

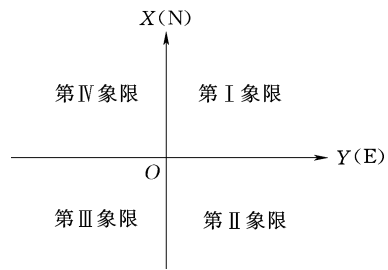


图 1-5 独立平面直角坐标系

#### 2. 高斯平面直角坐标系

当测区范围较大时，要建立平面坐标系，就不能忽略地球曲率的影响。为了解决球面与平面的矛盾，必须采用地图投影的方法将球面上的大地坐标转换为平面直角坐标。目前我国采用的是高斯投影，建立的平面坐标系是高斯平面直角坐标系。

## 二、我国常用的测量坐标系统

### (一) 1954 年北京坐标系

中华人民共和国成立以后，我国大地测量进入了全面发展时期，迫切需要建立一

个大地坐标系。由于缺乏天文大地网观测资料，我国暂时采用了苏联的克拉索夫斯基椭球参数，并与苏联 1942 年坐标系进行了联测，建立了 1954 年北京坐标系，它的原点位于苏联的普尔科沃。

### (二) 1980 西安坐标系

20 世纪 80 年代，为了满足我国经济和军事建设的需要，建立了新的大地基准。采用国际大地测量与地球物理联合会的 IUGG75 椭球为参考椭球，大地原点地处我国陕西省西安市以北 60km 处的泾阳县永乐镇。经过大规模的天文大地网计算，建立了 1980 西安坐标系。

### (三) 2000 国家大地坐标系

2000 国家大地坐标系是一种地心坐标系，其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极方向，X 轴指向 BIH1984.0 定义的零子午面与协议地球极赤道的交点，Y 轴按右手坐标系确定。2018 年 7 月 1 日起我国全面使用 2000 国家大地坐标系。

### (四) WGS-84 坐标系

WGS-84 坐标系 (World Geodetic System-1984 Coordinate System) 是一种地心坐标系。其坐标原点为地球质心，Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极 (CTP) 方向，X 轴指向 BIH1984.0 的零子午面和 CTP 赤道的交点，Y 轴与 Z 轴、X 轴垂直构成右手坐标系。WGS-84 坐标系是全球定位系统 (GPS) 采用的坐标系。

## 三、高斯平面直角坐标系统

### (一) 高斯投影

当测区范围较大时，将地球表面上的图形投影到平面上必然会产生变形，因此，必须要采用适当的投影方法解决这个问题。投影的方法有多种，测量工作中通常采用高斯投影。

高斯投影是由德国数学家、测量学家高斯提出的一种等角横切圆柱投影，它是正形投影的一种，后经德国大地测量学家克吕格对投影公式加以补充，故称为高斯-克吕格投影。高斯-克吕格投影的几何概念是，设想用一个椭圆柱横套在参考椭球体的外面 (图 1-6)，并使椭圆柱与参考椭球体的某一子午线相切，相切的子午线称为中央子午线；椭圆柱的中心轴与赤道面相重合且通过椭球中心。将中央子午线两侧一定经度范围内 (如  $6^\circ$  或  $3^\circ$ ) 的点、线、图形投影到椭圆柱面上；然后，沿过南北极的母



视频 1-3

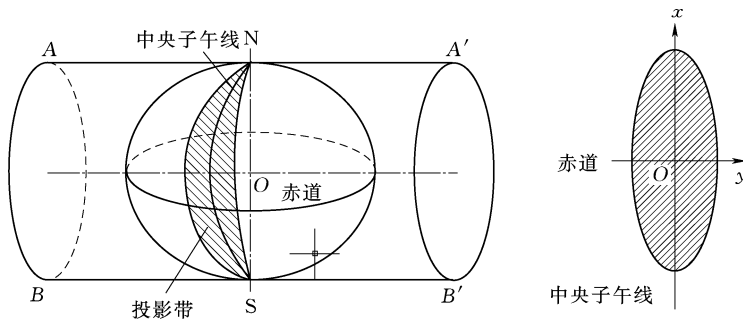


图 1-6 高斯投影原理

线  $AA'$ ,  $BB'$  将椭圆柱面剪开, 并将其展成一平面, 该狭长形的带状平面称为高斯平面。

椭球面上的经纬线经高斯投影后具有下述性质:

- (1) 中央子午线投影后为直线, 长度没有变化; 其余子午线投影后均为凹向中央子午线的曲线, 且长度变形, 离中央子午线越远, 长度变形越大。
- (2) 赤道投影后为直线, 并与中央子午线正交, 其长度有变形。
- (3) 经纬线投影后仍相互垂直, 说明投影后的角度无变形。

**(二) 投影带划分**

高斯投影虽然没有角度变形, 但有长度变形和面积变形。若变形超过一定的限值, 对测量精度的影响非常大, 因此, 必须设法加以限制。测量中将投影区域限制在中央子午线两侧一定的范围, 这就是分带投影。常用带宽一般为经差  $6^\circ$ 、 $3^\circ$  或  $1.5^\circ$  等几种, 分别简称为  $6^\circ$  带、 $3^\circ$  带和  $1.5^\circ$  带。

**1.  $6^\circ$  带**

如图 1-7 所示,  $6^\circ$  投影带是由英国格林尼治起始子午线开始, 自西向东每隔经差  $6^\circ$  划分一带, 将地球分成 60 个带, 每带的带号按 1~60 依次编号。第  $N$  带中央子午线的经度  $L_0$  与带号  $N$  的关系为

$$L_0 = 6N - 3 \quad (N = 1, 2, \dots, 60) \tag{1-2}$$

反之, 已知某点的经度为  $L$ , 则该点所在  $6^\circ$  带带号的计算公式为

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

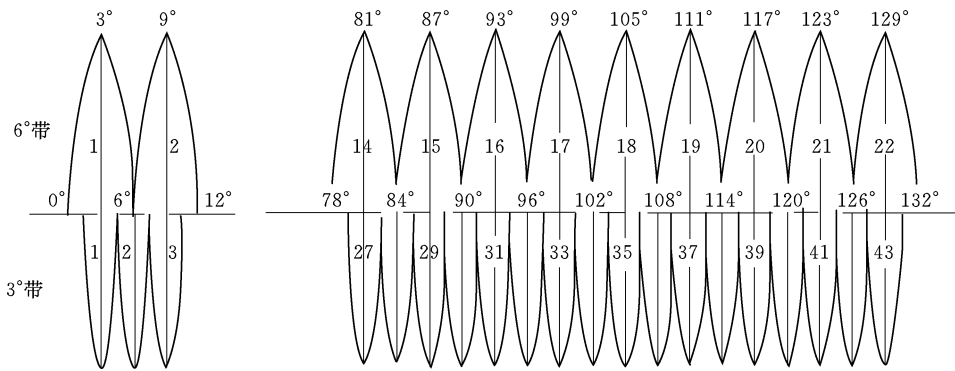


图 1-7  $6^\circ$  带和  $3^\circ$  带投影

**2.  $3^\circ$  带**

如图 1-7 所示,  $3^\circ$  带是在  $6^\circ$  带的基础上划分的。 $6^\circ$  带的中央子午线和分带子午线都是  $3^\circ$  带的中央子午线。 $3^\circ$  带由东经  $1.5^\circ$  起算, 自西向东每隔经差  $3^\circ$  划分, 其带号按 1~120 依次编号。第  $N$  带中央子午线的经度  $L_0$  与带号  $N$  的关系为

$$L_0 = 3N \quad (N = 1, 2, \dots, 120) \tag{1-4}$$

反之, 如已知某点的经度为  $L$ , 则该点所在的  $3^\circ$  带的带号为

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

我国领土位于东经  $72^\circ \sim 136^\circ$  之间，共包括了 11 个  $6^\circ$  投影带，即 13~23 带；22 个  $3^\circ$  投影带，即 24~45 带。因此，就我国而言，其  $6^\circ$  带和  $3^\circ$  带的带号是没有重复的，通过带号就能看出是  $3^\circ$  带还是  $6^\circ$  带。

### (三) 高斯平面直角坐标系

#### 1. 高斯平面直角坐标

通过高斯投影，每一带的中央子午线的投影为  $x$  轴，赤道的投影为  $y$  轴，两轴的交点作为坐标原点，由此构成的平面直角坐标系称为高斯平面直角坐标系，如图 1-8 所示。 $x$  轴向北为正，向南为负； $y$  轴向东为正，向西为负。由此表示点位的坐标称为自然坐标。我国位于北半球， $x$  的自然坐标均为正，而  $y$  的自然坐标则有正有负，这样计算很不方便。为了使  $y$  坐标都为正值，将纵坐标轴向西平移 500km，相当于在自然坐标  $y$  上加 500km。

#### 2. 高斯通用坐标

每一个投影带，都可以建立一个独立的高斯平面直角坐标系，为了区分各投影带的坐标，则在加 500km 后的  $y$  坐标前再加上相应的带号，由此形成的坐标称为高斯通用坐标。例如，在图 1-8 中，假定  $P$  点位于  $6^\circ$  带的第 20 带，其自然坐标为  $x'_P = 886845.658\text{m}$ ， $y'_P = -106823.446\text{m}$ ，则其通用坐标为  $x_P = 886845.658\text{m}$ ， $y_P = 20393176.554\text{m}$ 。我国位于北半球， $x$  坐标均为正，因而  $x$  的自然坐标值和通用坐标值相同。

## 四、高程系统

坐标只能反映地面点的位置，并不能反映该点的高低情况，要表达点的三维空间信息还需建立一个统一的高程系统。建立高程系统，首先要选择一个基准面。在一般测量工作中都以大地水准面作为基准面。

### (一) 高程

地面上某点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程或海拔，简称高程。如图 1-9 所示，地面点  $A, B$  的绝对高程分别为  $H_A, H_B$ 。

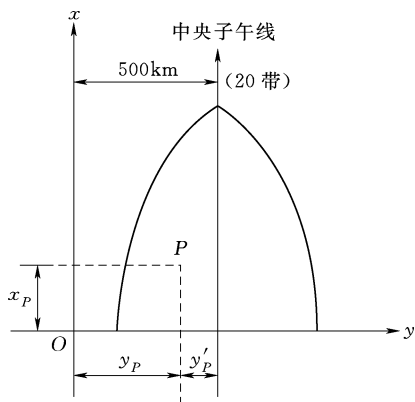


图 1-8 高斯直角坐标系

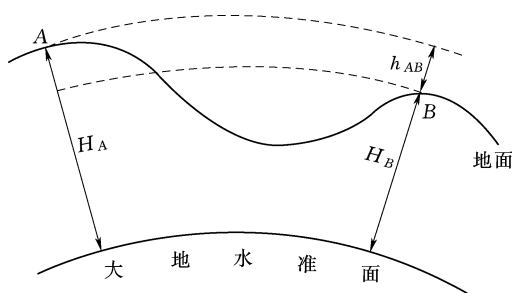


图 1-9 高程系统