

面向21世纪高等院校教材

测量学

修订版

付新启 主编

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

策划编辑：刘 铁

责任编辑：董双洪

封面设计：庚辰年代

定价：27.00 元

ISBN 978-7-5640-0726-3



9 787564 007263

01 >



P2/23=2

2008

面向 21 世纪高等院校教材

测 量 学

(修订版)

付新启 主编

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

数字图书馆
PDG

内 容 提 要

本书是高等院校非测量专业的专业基础课教材。全书共十六章，主要内容有：测量学的基本知识和基本方法；测量仪器的基本构造以及角度、距离、高程的测量方法；大比例尺地形图的测绘、识读和应用；测设的基本工作以及建筑、线路、矿山、地质、水利水电等工程测量。还介绍了航空摄影测量以及 GPS、全站仪与数字化测图等测绘新技术。

本书可供土木工程、交通工程、采矿工程、地质工程、水利水电工程、建筑技术工程、给排水、建筑学、城市规划等专业使用，亦可供有关科技人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/付新启主编. —2 版. —北京: 北京理工大学出版社,
2008. 1

面向 21 世纪高等院校教材

ISBN 978 - 7 - 5640 - 0726 - 3

I. 测… II. 付… III. 测量学 - 高等学校 - 教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 011575 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](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 17.75

插 页 / 1

字 数 / 420 千字

版 次 / 2008 年 1 月第 2 版 2008 年 1 月第 2 次印刷

印 数 / 6001 ~ 12000 册

定 价 / 27.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

随着现代测绘科学技术的发展,测量新仪器、新技术不断出现,同时,各院校的专业设置也作了不同程度的调整和拓宽。为满足教学要求,我们根据有关专业“测量学”课程教学大纲的要求,编写了本教材。本教材适用于土木、交通、采矿、地质、水利水电、给排水、建筑学、城市规划、建筑技术等专业。

本教材在编写中力求突出基本知识、基本方法的地位,注意保持学科内容的系统性,注重与当前的生产实际相结合,尽量做到简明扼要、深入浅出以适应学生自学的需要。从结构上,全书分为三部分:第一章至第六章是测量学的基本知识和基本方法;第七章至第十章为大比例尺地形图的测绘、识读及应用;第十一章至第十六章介绍各种工程建设中的测量工作。前两部分一般为各专业的必学内容,第三部分可根据不同专业需要选用。

本教材由河北工程大学测量教研室组织编写,参编人员为:付新启(第一、二、三、四章)、赵玉玲(第五章)、赵玉玲、张安兵(第六章)、张安兵(第七章)、李喜盼(第八、十一章)、张文林(第九、十、十六章)、李晓华(第十二章)、张兆江、付新启(第十三章)、董增林(第十四、十五章)。全书由付新启主编定稿。

在本书编写过程中,参阅了大量文献,引用了其中的部分资料,在此,谨向有关作者表示衷心的感谢!

限于编者的水平,书中可能存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2006.1



目 录

第一篇 测量学的基本知识和方法

第一章 绪论	(3)
第一节 测量学的任务及其在工程建设中的应用	(3)
第二节 测量工作的基准面	(4)
第三节 地面点位的表示方法	(5)
第四节 用水平面代替水准面的限度	(10)
本章小结	(12)
习题与思考题	(12)
第二章 地面点位的测定原理	(13)
第一节 地面点高程的测定原理	(13)
第二节 直线定向	(13)
第三节 地面点平面直角坐标的测定原理	(17)
附：坐标计算中用计算器进行角度运算的几个问题	(18)
本章小结	(19)
习题与思考题	(19)
第三章 水准测量	(21)
第一节 水准测量原理	(21)
第二节 水准仪和水准尺	(22)
第三节 水准测量的外业施测	(26)
第四节 水准测量的内业计算	(31)
第五节 水准测量的误差分析及注意事项	(32)
第六节 微倾式水准仪的检验与校正	(34)
第七节 精密水准仪、自动安平水准仪和电子水准仪简介	(37)
本章小结	(38)
习题与思考题	(39)
第四章 角度测量	(40)
第一节 角度测量原理	(40)
第二节 DJ6 级光学经纬仪	(41)
第三节 水平角观测	(47)
第四节 竖直角观测	(49)
第五节 J6 级光学经纬仪的检验与校正	(52)
第六节 角度测量误差分析及注意事项	(55)

第七节 电子经纬仪简介	(57)
第八节 三角高程测量	(57)
本章小结	(58)
习题与思考题	(58)
第五章 距离测量	(60)
第一节 钢尺量距	(60)
第二节 视距测量	(63)
第三节 光电测距	(66)
本章小结	(69)
习题与思考题	(70)
第六章 测量误差的基本知识	(71)
第一节 测量误差概述	(71)
第二节 衡量观测值精度的指标	(74)
第三节 误差传播定律	(76)
第四节 等精度直接观测平差	(78)
第五节 不等精度直接观测平差	(81)
本章小结	(83)
习题与思考题	(83)

第二篇 地形图的测绘和应用

第七章 小地区控制测量	(87)
第一节 控制测量概述	(87)
第二节 导线测量	(91)
第三节 交会法测量	(99)
第四节 小地区高程控制测量	(101)
第五节 GPS 卫星定位技术	(104)
本章小结	(107)
习题与思考题	(108)
第八章 地形图的基本知识	(110)
第一节 地形图的比例尺	(110)
第二节 地形图符号	(111)
第三节 地形图的分幅与编号	(118)
本章小结	(123)
习题与思考题	(123)
第九章 大比例尺地形图的测绘	(124)
第一节 测图前的准备工作	(124)
第二节 小平板仪的构造与使用	(125)
第三节 碎部测量的方法	(127)
第四节 地形图的绘制	(131)

第五节 全站仪与数字化地形图测绘简介	(133)
第六节 航空摄影测量简介	(135)
本章小结	(138)
习题与思考题	(138)
第十章 地形图的识读与应用	(139)
第一节 地形图的识读	(139)
第二节 地形图应用的基本内容	(140)
第三节 地形图在工程中的应用	(146)
本章小结	(151)
习题与思考题	(151)

第三篇 工程测量

第十一章 测设的基本方法	(157)
第一节 施工测量概述	(157)
第二节 测设的基本工作	(158)
第三节 点的平面位置的测设	(161)
第四节 坡度线的测设	(163)
本章小结	(164)
习题与思考题	(164)
第十二章 建筑工程测量	(165)
第一节 建筑施工控制测量	(165)
第二节 民用建筑施工测量	(168)
第三节 工业建筑施工测量	(172)
第四节 烟囱、水塔施工测量	(175)
第五节 建筑物变形观测	(176)
第六节 竣工总平面图的编绘	(180)
本章小结	(181)
习题与思考题	(181)
第十三章 线路与隧道、桥梁工程测量	(182)
第一节 线路工程测量概述	(182)
第二节 中线测量	(184)
第三节 圆曲线的测设	(186)
第四节 纵、横断面图测绘	(190)
第五节 道路施工测量	(195)
第六节 管道施工测量	(197)
第七节 隧道工程测量	(200)
第八节 桥梁工程测量	(202)
本章小结	(205)
习题与思考题	(205)

第十四章 矿山工程测量	(206)
第一节 矿山工程测量概述	(206)
第二节 矿井联系测量	(207)
第三节 井下控制测量	(220)
第四节 巷道施工测量	(224)
第五节 贯通测量	(229)
第六节 矿图测绘与应用	(231)
第七节 立井施工测量	(236)
第八节 地表与岩层移动简介	(241)
本章小结	(251)
习题与思考题	(251)
第十五章 地质勘探工程测量	(253)
第一节 地质勘探工程测量概述	(253)
第二节 勘探工程测量	(253)
第三节 地质剖面测量	(255)
第四节 地质填图测量	(257)
本章小结	(259)
习题与思考题	(259)
第十六章 水利水电工程测量	(260)
第一节 渠道测量	(260)
第二节 土坝施工测量	(269)
本章小结	(273)
习题与思考题	(273)
参考文献	(274)

矿
学
解
答
PDG

第一篇

测量学的基本 知识和方法

资源
知识
PDG

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务及其 在工程建设中的应用

一、测量学的任务

测量学的根本任务是确定地面（包括地面、地下、空中和海洋）点的（相对）位置。所谓确定包括测定和测设两方面的内容。测定是指先给出地面点，然后使用专门的仪器进行测量、计算，得到表示这些地面点位置的数据（坐标和高程），或利用这些数据绘制成地形图，供经济建设、国防建设和科学研究使用。这个过程可简述为已知地面点的位置求其位置数据。测设（又叫放样）是指根据图纸上已设计好的建筑物上各特征点的位置数据（坐标和高程），然后通过计算、测量，在地面上标出这些特征点的位置并设置标志，作为施工的依据。这个过程可简述为已知地面点的位置数据求其对应的位置标志。地面点是空间点，有关地面点的数据就是空间信息。不论测定还是测设都要经测量（采集数据）、计算（处理数据），得到的数据还要进行整理并保存起来。故测量学的任务又可表述为研究空间信息的采集、处理、存储及管理。

由此可见，测量学的研究对象是地面。上述讨论还表明，位置已确定的地面点（称做已知点）应具有位置标志和位置数据两种特性，缺一不可。

二、测量学的分支

随着科技的进步和学科的发展，测量学按研究范围和对象的不同，产生了多个分支。

大地测量学：研究在大范围（甚至全球）内确定地面点位的方法，这时必须考虑地球的曲率。其主要目的是建立全国或局部地区的控制网，研究地球的形状和大小，解决地球重力场问题等。随着空间技术的发展，大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

普通测量学：在小范围内研究确定地面点位的方法。由于地球的曲率半径很大，小范围内可将球面视为平面。其主要任务是测绘地形图，作为工程规划设计的依据。

工程测量学：工程建设需要测量工作，不同的工程要求测量工作的方法也不一样。结合不同工程而进行的各种测量工作，统称为工程测量学。

摄影测量学：主要任务是使用摄影技术，对地面进行拍照，然后将摄影相片转绘成地形图。按摄影手段的不同可分为地面摄影测量、航空摄影测量和航天摄影测量（又称遥感）。

海洋测量学：指在近海及内陆水体上进行的测量工作。其主要任务是测绘水下水地貌。

制图学：研究地图的投影、编制以及制版与印刷工艺等工作。

本课程内容涉及普通测量学和工程测量学。

三、测量学在工程建设中的作用

测绘工作与国防和经济建设密切相关，是一项基础性、先行性工作。城市建设、土地管理、水利、农业等方面的区域规划需要使用地形图等测绘资料。各项工程建设的全过程离不开测量技术和资料的支撑和保证。在工程规划、设计阶段需要使用地形图；在工程施工阶段要进行施工测量；工程竣工后要进行竣工测量；一些重要（或高大）建筑物在建设过程中或投入使用后还要进行变形观测。此外，测绘资料是建立各种地理信息系统的基础，测绘技术是更新地理信息的主要手段。

四、对学习本课的要求

对于非测绘专业来说，测量学是一门专业（技术）基础课。土木、交通、采矿以及给排水工程专业的学生学习本课要求达到：掌握测量学的基本知识，能正确理解和使用测量资料；了解大比例尺地形图的测绘过程，能正确识读和应用地形图；掌握常规测量仪器的使用方法，能进行一般的施工测量工作。

第二节 测量工作的基准面

测量工作的主要任务是确定地面点位。因此，就需要研究地球的形状和大小，为确定地面点位选择基准面。地球表面高低起伏，极不规则，有高山、丘陵、平原、江河和海洋。位于我国青藏高原上的珠穆朗玛峰，高出海平面 8 844.43 m，位于太平洋西部的马里亚纳海沟，低于海平面 11 022 m。表面如此复杂，要想准确表述地球的形状和大小是不可能的。下面给出的是地球形状和大小的近似表达。

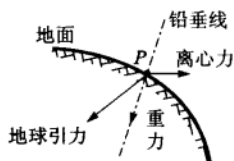


图 1-1 铅垂线示意图

地面上一点在自由静止时仍受到地球引力和因地球的自转而产生的离心力的双重作用。这两个力的合力称为重力，重力的方向线称为铅垂线（如图 1-1）。又定义自由静止的水面为水准面。因水准面是在重力作用下产生的，它是处处与铅垂线正交的连续曲面。水准面上过某点的切平面称为该点的水平面。地表上水准面有无穷多个。我们定义，过平均海水面的水准面向陆地和岛屿底下延伸而形成的闭合曲面为大地水准面，并称大地水准面包围的地球形体为大地体。

地表虽有起伏，但这种起伏与地球本身的大小（半径约为 6 371 km 的圆球）相比却是微不足道的。加之海洋面积占整个地表的 71%。因此，我们可用大地体近似地代表地球的基本形状（如图 1-2）。测量工作中选择大地水准面作为基准面，铅垂线作为基准线。

由于地球内部质量分布不均匀，使得铅垂线方向变化极不规则。因此大地水准面是一个极不规则的曲面，无法用数学公式准确表达。为便于测量成果的计算，必须选择一个规则的几何曲面来代替它。研究表明大地水准面接近于旋转椭球面（由椭圆绕其短半轴旋转一周而形成），可用它来代替大地水准面。我们定义与大地水准面非常接近的旋转椭球面为参考椭球面。又称参考椭球面包围的形体为参考椭球体（如图 1-3）。于是，参考椭球体可代表地球的基本形状。测量工作中也将参考椭球面作为基准面，其法线作为基准线。

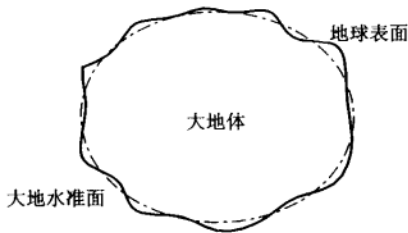


图 1-2 大地水准面

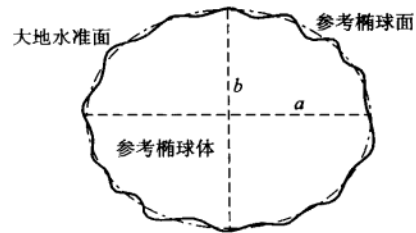


图 1-3 参考椭球面

所选择的参考椭球面与大地水准面的接近程度是随着测绘科学技术的进步不断提高的。表 1-1 给出了几个常见的参考椭球的元素值。我国现在采用第 16 届 IGA 推荐椭球。

表 1-1 常用参考椭球元素值

参考椭球名称	长半轴/m	短半轴/m	扁 率	年代和国家
海福特椭球	6 378 388	6 356 912	1:297.0	1909 年 美国
克拉索夫斯基椭球	6 378 245	6 356 863	1:298.3	1940 年 俄罗斯
第 16 届 IGA 推荐椭球	6 378 140	6 356 743	1:298.257	1975 年 IUGG
第 17 届 IGA 推荐椭球	6 378 137	6 356 752	1:298.257	1980 年 IUGG

由于参考椭球的扁率很小，当测量精度较低或范围较小时，可用圆球代替参考椭球，半径约为 6 371 km。

第三节 地面点位的表示方法

确定地面点位，就必须明确如何表示地面点位。地面点为空间点，数学上用三维坐标来表示空间点的位置（如图 1-4）。 P 是空间点，将其沿 Z 轴投影到 xOy 平面上，得投影点 p ，则空间点 P 可唯一地表示为 $P(x, y, z)$ 。仿照此法，测量上用坐标和高程来表示地面点的位置（如图 1-5）。将地面点 A 、 B 沿铅垂线投影到大地水准面上，我们称地面点 A 、 B 在大地水准面上的投影位置 a 、 b 为坐标，而称地面点 A 、 B 到大地水准面的铅垂距离 H_A 、 H_B 为高程，则地面点 A 、 B 的空间位置可唯一地用其坐标和高程来表示。

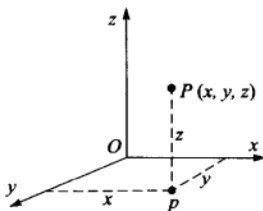


图 1-4 数学上的三维坐标系

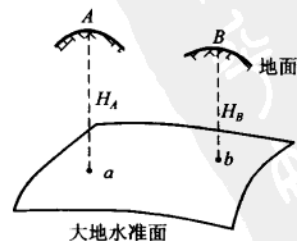


图 1-5 地面点位的表示

一、地面点坐标的表示方法

(一) 大地坐标系

如图 1-6, 大地坐标系以参考椭球面为基准面。 O 为参考椭球球心, N 为北极, S 为南极, NS 为地轴。过 O 与地轴垂直的平面为赤道面。 P 为某地面点沿法线在参考椭球面上的投影, P 与地轴所确定的平面称为过 P 点的子午面, 该面与参考椭球面的交线称为过 P 点的子午线。

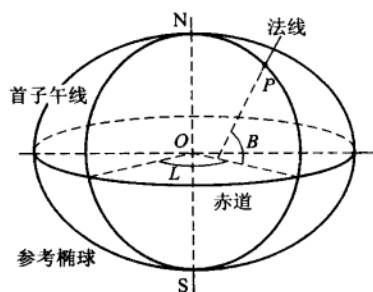


图 1-6 大地坐标系

而过格林尼治天文台的子午线叫做首(或本初)子午线。定义过参考椭球面上某点 P 的子午面与首子午面之间的夹角为该点的大地经度, 过参考椭球面上某点 P 的法线与赤道面的夹角为该点的大地纬度。

国际上规定, 大地经度由首子午线开始, 向东、向西各有 $0^\circ \sim 180^\circ$, 分别称东、西经。大地经度常以 L 表示。大地纬度由赤道面开始, 向北、向南各有 $0^\circ \sim 90^\circ$, 分别称北、南纬。大地纬度常以 B 表示。我国大约位于东经 $74^\circ \sim 135^\circ$, 北纬 $3^\circ \sim 54^\circ$ 。北京(某点)位于东经 116° , 北纬 40° 。

以大地水准面和铅垂线为基准定义的经纬度称为天文经纬度。地面点的天文经纬度可经观测得到, 而大地经纬度只能经换算得到。测绘资料中经常使用的是大地经纬度。

我国目前常用的大地坐标系有:

(1) 1954 年北京坐标系。

新中国成立初期, 为满足经济建设和国防建设的迫切需要, 于 1954 年利用我国东北边境的呼玛、吉拉林、东宁三个点与前苏联大地网联测后的坐标作为起算数据, 然后通过我国的天文大地网推算国家平面控制点的坐标, 如此取得的坐标系统称为“1954 年北京坐标系”。该坐标系采用克拉索夫斯基椭球, 大地原点在今俄罗斯的普尔柯沃。新中国成立以来, 利用这个坐标系进行了大量的测绘工作, 在建设中发挥了重要作用。但该坐标系使用的参考椭球面与全球大地水准面拟合程度差, 且比我国境内的大地水准面平均偏低 30 m, 东南沿海最大可达 65 m。

(2) 1980 年国家大地坐标系。

为克服 1954 年北京坐标系存在的问题, 我国于 20 世纪 70 年代末进行国家大地网整体平差时, 选用国际大地测量学协会 1975 年推荐的椭球, 大地原点位于陕西泾阳永乐镇附近, 并按照与我国范围内大地水准面最佳拟合的条件进行椭球定位, 建立了“1980 年国家大地坐标系”。

(二) 平面直角坐标

大地坐标系属曲面坐标系, 是大地测量学中的基本坐标系。而工程建设规划上的图纸资料则要求使用平面直角坐标来表示地面点的坐标, 而且平面上的计算工作较曲面(参考椭球面)上要简便得多。

1. 高斯平面直角坐标系

(1) 投影变形及其控制。

参考椭球面是一个不可展曲面。用平面直角坐标来表示该曲面上的点属于曲面到平

面的投影。在大范围内将参考椭球面展成平面，必然产生较大的投影变形，就像将西瓜皮完全压成平面时边沿会产生裂口一样。投影变形有三种形式：形状变形、长度变形和面积变形。制图学上研究了多种消除变形的投影方法，但每一种投影方法都只能消除一种投影变形，比如正形投影可消除形状变形，其他两种变形仍然存在，则要通过缩小投影面积的方法将其减小到可以容许的程度。如小块西瓜皮压平后裂口相对较小些。因此，消除和控制投影变形的方法是：选择适当的投影方法和缩小投影面积。

(2) 高斯投影。

高斯投影就是采用上述方法，选择正形投影消除形状变形，通过分带缩小投影面积控制长度和面积变形。其做法分如下两步：

第一步，分带。是为了缩小投影面积。有两种分法：一种为 6° 分带（如图 1-7），从首子午线开始每隔 6° 经度分为一个投影带，共 60 个带，分别以 1, 2, ..., 60 编号。每带中间的那条子午线叫做中央子午线，其经度为

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

式中： N ——带号。

另一种为 3° 分带，从东经 1.5° 的子午线开始，每隔经差 3° 划为一带，共 120 带，分别以 1, 2, ..., 120 编号。每带中央子午线经度为

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

第二步，投影。采用横椭圆柱正形投影。如图 1-7。以一椭圆柱面横套在椭球上，椭圆柱的轴线过椭球中心。投影前，转动椭球使某投影带的中央子午线与柱面相切，然后将该投影带内的所有点按正形投影方法投影到柱面上。然后沿柱面的母线剪开，展成平面，便得该带如图 1-8 所示的投影结果。按此方法可将每带投影。图 1-9 给出了 6° 分带的投影结果。图 1-10 给出了 6° 分带与 3° 分带投影之间的关系。

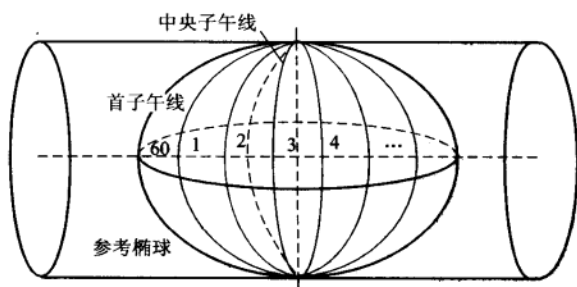


图 1-7 高斯投影示意

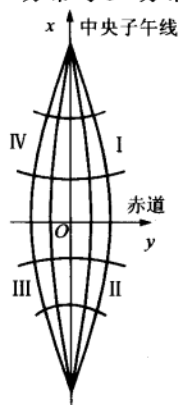


图 1-8 高斯平面直角坐标系的建立

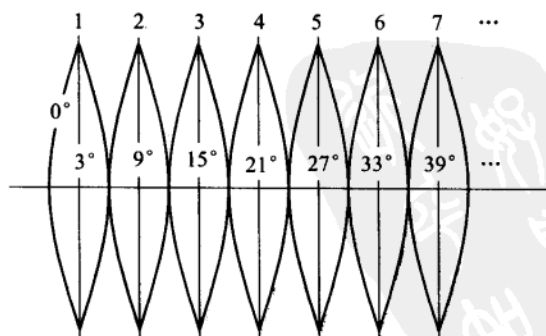


图 1-9 6° 投影带

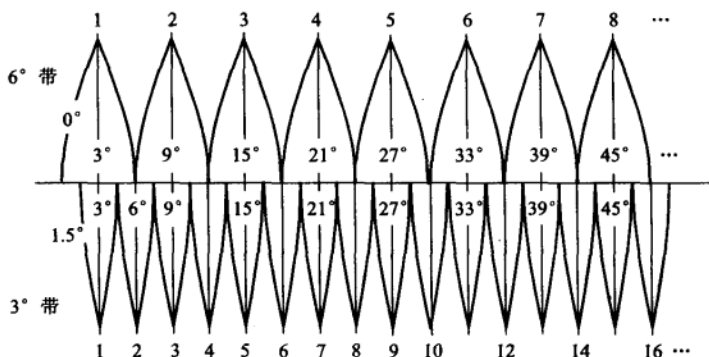


图 1-10 6° 与 3° 带的关系

(3) 高斯投影变形规律。

各投影带中，子午（经）线的变形规律为：中央子午线投影后为一直线，且长度不变。其他子午线投影后均为凹向中央子午线的曲线，且以中央子午线为对称，并收敛于两极。距中央子午线越远弯曲程度（投影变形）越大。由于是正形投影，纬线应与经线正交，其变形规律为：赤道投影为一直线，与中央子午线垂直。其他纬线投影后均为凸向赤道的曲线，并以赤道为对称，距赤道越远弯曲程度（投影变形）越大。如图 1-8。

(4) 高斯平面直角坐标系的建立。

在每一个投影带内，规定中央子午线投影为纵轴，命名为 x ，向北为正。赤道投影为横轴，命名为 y ，向东为正。二轴的交点为坐标原点。象限顺序规定：北东为第一象限，顺时针方向依次为第二、第三、第四象限。如图 1-8。

(5) 高斯平面直角坐标系与数学中平面直角坐标系的不同点。

经归纳，可有如下几点：① 轴的名称不同：高斯平面直角坐标系纵轴为 x ，横轴为 y ，数学上正好相反。② 轴的含义不同：数学上坐标轴的确定随研究的问题和方法的不同而不同，高斯平面直角坐标系则固定不变。③ 象限顺序不同：高斯平面直角坐标系为顺时针，数学上为逆时针。④ 高斯平面直角坐标系为一系列相互关联的坐标系（6° 带 60 个，3° 带 120 个）的总称，而数学上一般为单个的。

(6) 横坐标的通用值。

我国位于北半球，横跨 6° 带的 13~23 带，3° 带的 24~46 带。我国境内的点， x 坐标均为正值，而 y 值有正有负。为使 y 值也为正，便于使用，规定将 x 轴向西平移 500 km，即 y 值加上 500 km。如图 1-11。此外，为了区分一个点属于哪一带，保证点与坐标一一对应，还规定在增加了 500 km 的 y 值前冠以带号。这样，国内任何点，以 m 为单位的高斯平面直角坐标系中的 y 值总是 8 位整数，前两位是带号。我们称改造前的 y 值为自然值，改造后的 y 值为通用值。如某点的横坐标为 $y=19\ 435\ 629.735\text{ m}$ ，表明该点位于 6° 带（带号 19 位于 13~23 之间）第 19 带，中央子午线的西侧（去掉带号的 y 值小于 500 km），距中央子午线 64 370.265 m（自然值的绝

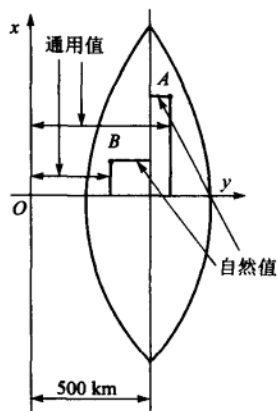


图 1-11 横坐标的改造