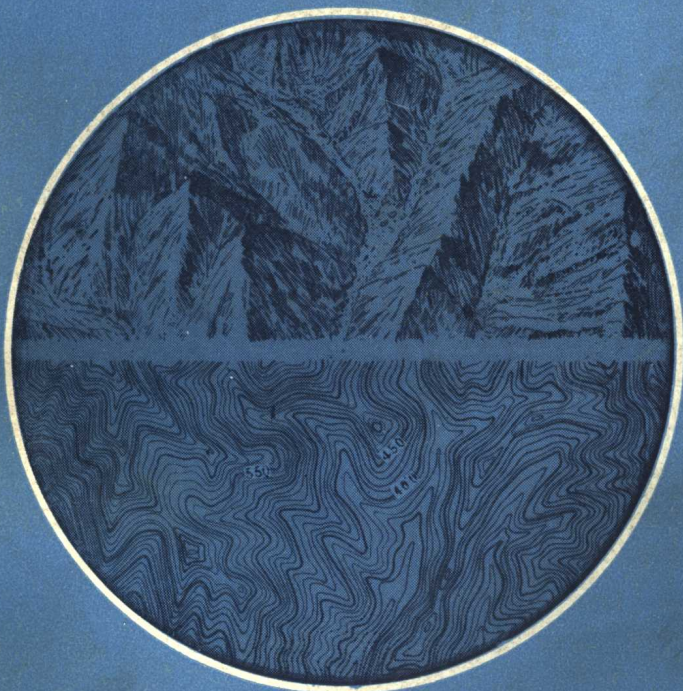


中等专业学校教材

# 测量学

陈英俊 吴志杰 吴炳炽 编



地质出版社

中等专业学校教材

# 测量学

陈英俊 吴志杰 吴炳炽 编

地质出版社

## 内 容 提 要

本书系根据地质矿产部教育司制订的中等地质学校地质普查与找矿等专业的测量学教学大纲编写的《测量学》教材。内容包括测量学的基本知识、地形图及其应用、航摄象片及其地形判读、草测地形图、地质工程测量和地形绘图基础等。重点介绍了地形图及其应用的知识。

本书内容简明，比较注重基本概念和基本方法的叙述，除作为中专教材，也可供有关院校师生和专业技术人员参考。

## 测 量 学

陈英俊 吴志杰 吴炳炽 编

责任编辑：蒋信坤

地质矿产部教材编辑室编辑

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

\*

开本：850×1168 1/32 印张：6<sup>1</sup>/<sub>2</sub>。插页：一个 字数：160,000

1983年5月北京第一版·1983年5月北京第一次印刷

印数：1-12,850册 定价：0.80元

统一书号：15038·教145

# 前 言

本书系根据地质矿产部教育司制订的中等地质学校地质普查与找矿、水文地质、地球物理探矿等专业的测量学教学大纲编写的《测量学》通用教材。内容包括绪论、测量学的基本知识、地形图及其应用、航摄象片及其地形判读、草测地形图、地质工程测量、地形绘图基础及附录等。重点介绍了有关地形图及其应用的知识。全部内容的总授课时数约需100学时左右。其中，绪论及第一、二、六章是各专业《测量学》课程的共同内容，第三、四、五章可按本专业教学大纲的规定选讲。书中编入了少量大纲规定范围以外的内容，供教学参考。为便于复习，在每章之后均附有较详细的复习思考题和习题。

本书在取材上，紧密结合有关专业的生产实际情况，力求作到内容简明，重点突出，对某些重要的基本概念和基本方法的叙述较为详细，同时注意照顾各章节内容的前后衔接，保持教材应有的系统性，便于教学。

本书的绪论及第一、二、六章由陈英俊同志执笔，第三章由吴炳炽同志执笔，第四章由吴志杰同志执笔，第五章由吴志杰、陈英俊同志共同执笔，陈英俊同志根据集体讨论的意见负责拟定编写提纲和全书的修改、定稿工作。李家宾同志参加了编写过程中的讨论。地质矿产部中等专业学校测量类教材编审委员会蒋信坤、李金如同志负责审稿，南京地质学校毛启麟、黄国寿、严知行、陈贤杰、张峙英等同志和长春地质学校熊仕安同志参加了审稿会议。

本书编写过程中，承蒙各兄弟学校和有关生产单位特别是南京地质学校的同志们给予大力支持和帮助，编者谨此表示衷心谢意。

由于编者水平所限，书中不当之处，热忱期望同志们不吝给予指正。

编 者

一九八二年四月

# 目 录

绪 论 .....	1
第一节 测量学的任务与分类 .....	1
第二节 测量学在地质工作中的作用 .....	1
第一章 测量学的基本知识 .....	3
第一节 地球形状和大小的概念 .....	3
第二节 地面点的坐标和高程 .....	5
第三节 方位角与象限角 .....	13
第四节 测量工作的一般程序 .....	20
第五节 平面图、地形图与地图 .....	22
复习思考题 .....	23
习题 .....	24
第二章 地形图及其应用 .....	26
第一节 地形图的比例尺 .....	26
第二节 地形符号 .....	30
第三节 地形图的分幅与编号 .....	41
第四节 地形图的组成部分 .....	49
第五节 应用地形图解决的几个问题 .....	53
第六节 罗盘仪 .....	59
第七节 地形图的野外判读 .....	66
复习思考题 .....	72
习题 .....	73
第三章 航摄像片及其地形判读 .....	76
第一节 航摄像片的基本知识 .....	76
第二节 象对的立体观察 .....	91
第三节 航摄像片的地形判读 .....	99
复习思考题 .....	111

<b>第四章 草测地形图</b> .....	113
第一节 测定点的平面位置和高程的简易方法 .....	113
第二节 草测地形图的作业方法 .....	119
习题 .....	126
<b>第五章 地质工程测量</b> .....	127
第一节 经纬仪与角度测量 .....	127
第二节 视距测量 .....	137
第三节 物探网的测设 .....	144
第四节 地质勘探网测设与钻孔、探槽及探井位 置测量 .....	153
第五节 剖面测量 .....	157
第六节 地质点测量 .....	159
第七节 水准测量 .....	159
复习思考题 .....	165
习题 .....	166
<b>第六章 地形绘图基础</b> .....	168
第一节 常用的绘图材料及工具 .....	168
第二节 等线体阿拉伯数字的写法 .....	173
第三节 仿宋体汉字的写法 .....	174
第四节 图的整饰与清绘 .....	179
练习 .....	181
<b>附 录</b> .....	182
一、测量中常用的度量单位 .....	182
二、由平距及倾角求高差表 .....	183
三、由斜距及倾角求平距及高差表 .....	185
四、汉字字体 .....	187
<b>附 图</b> .....	190
一、航摄象片 .....	190

# 绪 论

## 第一节 测量学的任务与分类

测量学是研究地球表面局部区域以及整个地球的形状和大小的科学。根据研究对象和任务的不同，测量学可分为大地测量学、地形测量学、摄影测量学、工程测量学和制图学等几个分支学科。

大地测量学研究的内容，是关于确定整个地球的形状和大小，以及为测绘地表大范围的地形图建立高精度的国家控制网的测量理论和方法。

地形测量学则是研究测绘地表局部区域的地形图的测绘理论和方法。

由于航空和摄影技术的发展，产生了利用地面或空中摄影所获取的地形象片来绘制各种比例尺地形图的新方法，分别称为地面摄影测量学和航空摄影测量学，总称为摄影测量学。

为满足工程建设、农田水利、地质勘探等各方面的需要而进行的各项专门测量工作，称为工程测量。有关工程测量的理论和方法，是工程测量学所研究的内容。工程测量的基本任务是把图上设计的位置按照施工要求将其测设于现场，以及对正在进行或已完成的工程设施的位置进行检查或将其测绘到图上。

制图学是在已取得的测绘资料的基础上，专门研究关于普通地图和各种专题地图的编绘、印制和使用等问题。

## 第二节 测量学在地质工作中的作用

测量学对我国的社会主义建设具有重要的意义。我们国家幅



员辽阔,资源丰富,广大地区的发展和建设,各种天然资源的开发和利用,包括城市建设、工程施工、地质勘探、水利资源开发、农田规划、森林调查以及国防建设等等,都离不开测量工作。

测量学与地质工作关系密切。

在地质或水文地质普查与勘探过程中,地形图是一项不可缺少的基本资料。任何一种地质图,包括区域地质调查中的各种区域地质图和矿区勘探中的矿区地质图,都是在适当比例尺的地形图的基础上填绘出来的。为着制订合理的普查规划和设计勘探网,也应具有工作地区的地形图。对于物探工作来说,制订物探工作规划,设计物探网,以及为了在图上反映所取得的物探成果,都需要用到地形图。近年来,随着航空和航天技术的发展,各种航摄像片和卫星象片正在日益有效地被应用于地质工作中。

在物探和地质勘探工作中,各项勘探工程的施工,都需要进行专门的地质勘探工程测量,如物探网和地质勘探网的测设,地质点测量和钻孔位置测量,探槽、探井和勘探平巷的布设和测定,物探精测剖面 and 地质剖面测量等等。

一般来说,地质(包括水文、物探)工作中所需要进行的各项测绘工作,可由专门的测绘人员来完成。对于地质技术人员来说,应该了解测量学的某些基本知识和适当掌握一些有关的基本方法,尤其是熟练掌握地形图的使用方法,是地质技术人员必须具备的一项基础技术。

测量学是实践性很强的应用学科。为了学好本课程,应该在理解基本概念和了解各种方法的原理的基础上,重视实践的过程,通过反复练习,逐步掌握有关的基本方法和基本技能。

# 第一章 测量学的基本知识

## 第一节 地球形状和大小的概念

地球是一个半径约6千多公里的近似球体。地球表面的大部分(约占71%)被海洋所复盖,陆地与海底都是高低不平的,但陆地最高的珠穆朗玛峰高出海面只近9公里,海底最深的马利亚纳海沟低于海面也只约11公里,与地球的半径比较起来,地表的高低变化是微小的。因此,我们可以假设处于静止平衡状态的海水面延伸穿过大陆和岛屿所围成的封闭曲面作为地球的形体,这个封闭曲面称为大地水准面。整个地球上的海水面完全保持平衡静止的状态是不可能的,因此,事实上我们是用多年观测海水的涨落计算出的平均海水面当作大地水准面。

假设静止水面延伸到陆地下面所形成的封闭曲面称为水准面,因为水面的高度不一样,故水准面有无数个,大地水准面是其中的一个。

水准面的特性是处处与重力方向(即铅垂线方向)垂直(图1-1),而重力方向主要是由地球内部质量的引力确定的,地球各部分的质量分布不均匀,影响重力方向的变化,因此,大地水准面是一个复杂而不规则的曲面。研究表明,大地水准面所包围的形体接近一个两极略扁的旋转椭球体,为便于计算,测量上采用一个非常接近于大地水准面的旋转椭球体来代表地球的形体,这个椭球体称为地球椭球体。大地水准面与地球椭球体不完全吻合,有的地方大地水准面在地球椭球体表面之上,有的地方又在

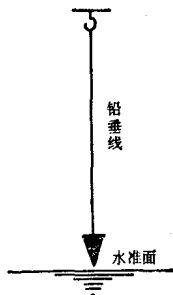


图 1-1 铅垂线

地球椭球体表面之下，但最大相差不超过 $\pm 150$ 米（图1-2）<sup>①</sup>。

旋转椭球体是椭圆 $PQP_1Q_1$ 绕其短轴 $PP_1$ 旋转而成（图1-3）。地球椭球体作为一个规则的几何形体，其形状和大小可由下列三个元素中的任意两个所确定：长半径 $a$ 、短半径 $b$ 和扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 。几个世纪以来，许多学者曾分别测算过地球椭球体的元

素值。我国自1953年以后采用的地球椭球体元素值为克拉索夫斯基椭球体元素值，其值为

$$a = 6,378,245 \text{ 米}$$

$$b = 6,356,863 \text{ 米}$$

$$\alpha = 1/298.30$$

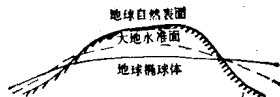


图 1-2 地球自然表面、大地水准面与地球椭球体面

上列数值表明，相对于地球椭球体的大小来说，其长半径与短半径之差不算太大，粗略地看，可把地球近似当作半径约等于6371公里的圆球。

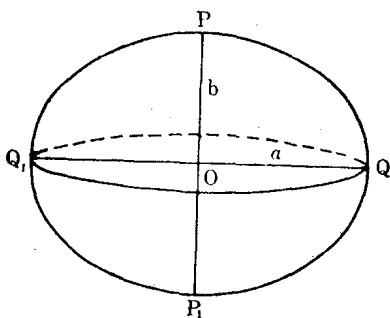


图 1-3 地球椭球体

由于地球总体甚大，在小范围内，弯曲的水准面与平面近似。过水准面上某点与水准面相切的平面称为该点的水平面，水平面上的直线称为水平

线，水平面上的点与点之间的距离称为水平距离。如图1-4所示，当所考虑的范围是以 $A$ 为中心，以 $AB$ 为半径的某个小范围时，用通过 $A$ 点与水准面相切的水平面来近似代替该局部范围的水准

- ① 根据卫星观测结果，大地水准面与地球椭球体表面之间的最大差异不超过 $\pm 100$ 米，大地水准面北极微凸而南极微凹。
- ② 1980年第17届国际大地测量协会推荐的地球椭球体元素值为 $a = 6,378,137$ 米， $\alpha = 1/298.257$ 。

面，所引起的水平距离的最大误差为

$$\Delta l = AB' - \widehat{AB}$$

而高度的最大误差为

$$\Delta h = OB' - OB$$

计算表明，在半径 $AB$ 等于10公里，即面积约320平方公里的范围内测量水平距离时，可以不考虑水准面弯曲的影响；但是，在高度方面，即使对于半径 $AB$ 只有1公里的情况，影响也是显著的。因此，在测区范围不大的情况下，测量地面点的平面位置，可把水准面看作水平面，而地面点的高度则总是按照水准面来测算的。

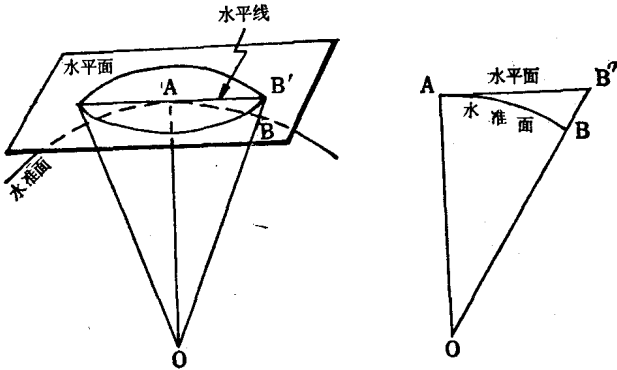


图 1-4 用水平面代替水准面

## 第二节 地面点的坐标和高程

测量工作的基本问题是如何确定地面点的位置，包括地面点的平面位置（用地理坐标或平面直角坐标表示）和地面点到大地水准面的垂直高度（高程）。

### 一、地理坐标

经度和纬度称为地理坐标。地理坐标是表示地面点在地球面上的位置的方法。

如图1-5所示,地球的自转轴称为地轴;地轴与地表的交点称为地极,在北的称为北极(N极),在南的称为南极(S极);地球的中心点(O)称为地心;垂直于地轴的平面与地表的交线称为平行圈(也称纬线或纬圈);垂直于地轴并通过地心的平面称为赤道平面,赤道平面与地表的交线称为赤道;包含地轴的平面称为子午面,子午面与地表的交线称为子午线(也称经线或经圈);国际公认通过英国格林威治天文台(图中用G表示的点)的子午面为起始子午面(也称首子午面),起始子午面与地表的交线称为起始子午线(也称首子午线)。

通过地面M点的子午面与起始子午面之间的二面角称为该点的

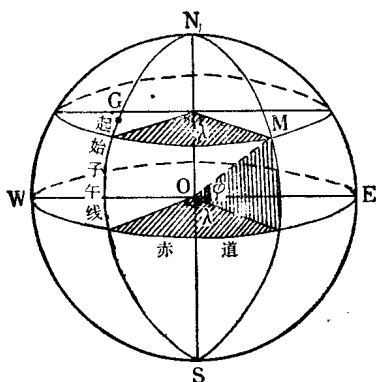


图 1-5 地理坐标

的经度,用 $\lambda$ 表示。经度由起始子午面向东或向西计算,各由 $0^\circ$ 到 $180^\circ$ ,向东计算的称为东经,向西计算的称为西经。

通过地面M点的铅垂线与赤道平面的交角称为该点的纬度,用 $\varphi$ 表示。纬度由赤道向北或向南计算,各由 $0^\circ$ 到 $90^\circ$ ,向北计算的称为北纬,向南计算的称为南纬。我国地处东经和北纬范围之内。

由经度和纬度的定义可知:经度不同,说明地面点在东西方向的位置不同,而同一经线上的点具有相同的经度;纬度不同,说明地面点在南北方向的位置不同,而同一纬线上的点具有相同的纬度。已知地面某点的经度和纬度,则该点在地球面上的位置就确定了。

地球作为一个近似圆球体,同样大小的纬差所对应的南北方向的地面距离(子午线弧长)是大致相同的,而同样大小的经差所对应的东西方向的地面距离(平行圈弧长)对于不同纬度处来说差别甚大。根据计算,纬差 $1^\circ$ 所对应的子午线弧长大约是111

公里，而经差 $1^\circ$ 所对应的平行圈弧长，以纬度 $\varphi=0^\circ$ （赤道上）、 $\varphi=45^\circ$ 及 $\varphi=85^\circ$ 处来说，分别大约是111公里，79公里及10公里。

## 二、平面直角坐标

### (一) 独立小地区平面直角坐标

在小范围内，为了确定地面点的平面位置，用通过该局部范围中央与水准面相切的水平面来代替水准面，这时，垂直于水准面的铅垂线可近似看作垂直于水平面的一些平行直线，而地面点的平面位置，指的是地面点沿垂直于水平面的方向投影到水平面上的位置，称为地面点的垂直投影。地面点在水平面上的这种投影位置，可用平面直角坐标来表示。

如图1-6所示， $P$ 为通过某个小测区中央与水准面相切的水平面，测区内的地面点 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 和 $E$ 在该水平面上的垂直投影分别为 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 和 $e$ 。在水平面上，分别以通过测区中央的南北方向和东西方向为纵坐标轴（ $X$ 轴）和横坐标轴（ $Y$

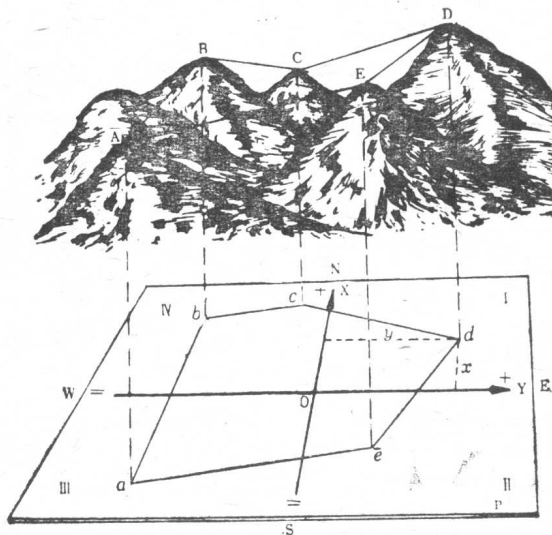


图 1-6 小地区平面直角坐标

轴), 纵、横坐标轴正交于 $O$ 点, 即坐标原点。由原点起, 向北( $N$ )为正, 向南( $S$ )为负; 向东( $E$ )为正, 向西( $W$ )为负。由纵轴北端起, 按顺时针方向依次为 I、II、III、IV 象限<sup>①</sup>。地面某点 $D$ 的平面位置( $D$ 在水平面上的垂直投影 $d$ ), 由该点的纵坐标值 $x$ ( $d$ 到横轴的距离)及横坐标值 $y$ ( $d$ 到纵轴的距离)所决定。

## (二) 高斯投影与高斯平面直角坐标

若在广大范围进行测量工作, 由于水准面的弯曲较显著, 按地面点在水平面上的垂直投影作为其平面位置, 误差太大。但是习惯上我们总是用平面图纸来描绘地表的形状, 而水准面作为一种曲面, 是不可能不发生任何裂隙或褶皱地被展开成平面的, 为此, 必须采用其它适当的投影方法, 在使投影变形不超过测量精度要求的前提下, 将球体上的点位按某种投影规则转移到平面上, 并相应地建立确定地面点平面位置的平面坐标系。

下面, 我们介绍高斯投影与高斯平面直角坐标。

高斯投影由高斯最早提出而经克吕格加以改进, 所以又称为高斯-克吕格投影。

高斯投影是一种等角(正形)横圆柱投影, 其投影法则是用数学公式给出的。为了粗略地说明高斯投影的概念, 如图1-7(a)所示, 把地球当作一个圆球看待, 设想用一个空心圆柱面作为投影面横套在地球上, 使圆柱面与地球上的某一子午线相切, 这条子午线称为中央子午线(或轴子午线), 将中央子午线东西一定经差宽度内的球面上的点按规定的投影法则投影到圆柱面上(可以形象而近似地理解为地球中心有一个点光源, 把地球上一定经差宽度内的地表形象透射到圆柱面上), 然后, 将此投影面沿通过南北极的母线 $AA'$ 及 $BB'$ 切开并展成平面, 即得到投影之后的结

① 测量上的平面直角坐标与数学上的平面直角坐标在形式上有所不同, 这是为了在测量工作中计算点的坐标时, 可直接利用数学中有关的三角公式。关于这点, 从本章第三节和第五章第三节的坐标计算中可得到说明。

果。

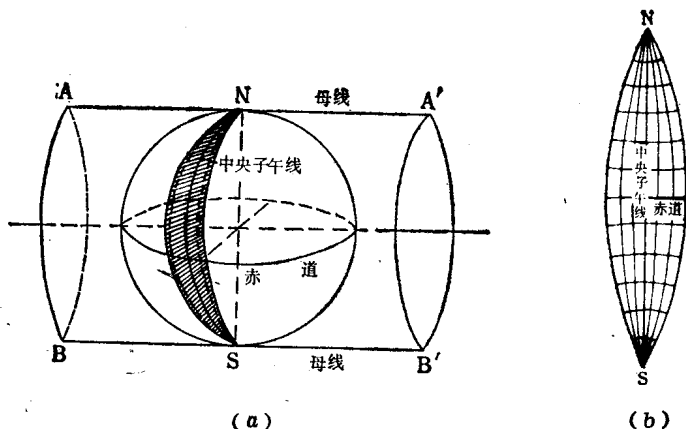


图 1-7 高斯投影

如图1-7 ( b ) 所示, 投影的结果, 归纳起来有如下几个特点:

1. 中央子午线经投影后, 其长度保持不变。
2. 中央子午线与赤道投影成两条正交的直线。
3. 其余的经线投影都是曲线, 对称并凹向中央子午线而收敛于南北极; 除赤道以外的各纬线投影也都是曲线, 对称并凸向赤道。

4. 投影平面上每个微小局部的图形均可保持与球面上的形状相似, 按经纬线看, 投影平面上的经线与纬线保持在球面上彼此正交的特征。简单说, 即角度不变形。

5. 但中央子午线以外的长度及面积, 经过投影后则有某些改变, 离中央子午线愈远, 改变愈厉害。

为了使这种投影误差不超过测量精度要求所允许的程度, 必须将中央子午线东西方向的投影宽度限制在一定范围内, 此范围称为投影带。对于精度要求较低的情况, 采用经差 $6^{\circ}$  (中央子午线东西经差各 $3^{\circ}$ ) 为一投影带, 称为 $6^{\circ}$  投影带。由经度 $0^{\circ}$  算起, 自西向东每 $6^{\circ}$  为一带, 整个地球共分为60个投影带, 依次编号为



1~60带。东经范围内的各6°带的中央子午线的经度 $L_6$ ①分别为3°、9°、15°……177°等，一般地可写为

$$L_6 = 6^\circ N_6 - 3^\circ \quad (1-1)$$

式中， $N_6$ 表示6°投影带的带号（图1-8）。

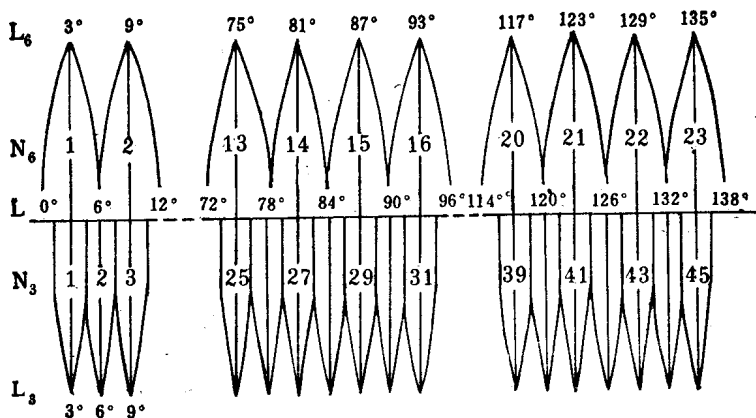


图 1-8 高斯投影带

为了适应测量精度要求较高的情况，应将投影带规定得更窄些，采用经差3°（中央子午线东西经差各1°30′）作为一个投影带，称为3°投影带。保持各带的中央子午线的经度为整数度，并使所有6°带的中央子午线也是3°带的中央子午线，将东经1°30′至4°30′作为第一带，其中央子午线的经度为3°，自西向东，依次类推，全球共分为120个投影带。东经范围内的各3°带的中央子午线的经度 $L_3$ 分别为3°、6°、9°……177°等，一般地可写为

$$L_3 = 3^\circ N_3 \quad (1-2)$$

式中， $N_3$ 表示3°投影带的带号。

在上述投影的基础上，按下面的规定建立各带的平面直角坐标系，以确定各投影带中的点的平面位置。

① 表示地面点在地球椭球体上位置的经度和纬度，称为大地坐标，习惯用字母 $L$ 和 $B$ 分别代表大地坐标的经度和纬度，以示与 $\lambda$ 、 $\varphi$ 所代表的经度、纬度有所区别。