

《新编地图学教程》学习提纲

戴文远

第一章 导论

【教学目标】 通过本章教学，帮助学生建立地图概念，掌握地图的基本特征及其构成；地图学科定义及其体系，了解地图与地图学的新发展。

第一节 地图（Map）

一、地图的基本特征

- 1.地理信息的载体
- 2.特定的数学法则 （地图是严谨科学的）
- 3.有目的的地图概括（地图的信息是有限的）
- 4.完整的符号系统 （符号是地图的语言）

地图概念——

二、地图的构成要素

- 1.数学要素——坐标系统、地图投影、比例尺
- 2.地理要素（图形要素）——地图表达的内容
- 3.辅助要素（图边要素）——

三、地图的功能

- 1.初级功能：信息传输功能、信息载负功能
- 2.高级功能：认知功能、模拟功能

第二节 地图成图方法（自学）

一、传统实测成图法

二、传统编绘成图法（第六、七章学习）

三、计算机地图制图法

- 1.普通制图软件：AutoCAD，CorelDraw
- 2.GIS 软件：ArcGIS、ArcInfo，MapInfo、ArcView，MapGIS,SuperMap，GeoStar

第三节 地图的分类

一、按内容分类：普通地图（地形图、普通地理图），专题地图

二、按比例尺分类：大于等于 1:10 万-大比例尺地图，小于等于 1:100 万-小比例尺地图

三、按区域范围分类：政治区域、自然区域

第四节 地图学（Cartography）与相关学科

一、地图学的概念

地图学是以地理信息可视化为核心,探讨地图的理论实质、制作技术和使用方法的综合性科学。(P26)

二、地图学研究内容和学科体系

1.传统地图学体系

2.现代地图学体系 (P27)

3.现代地图学进展

(1) 制图技术飞跃进步: 20 世纪初光学化学制图; 20 世纪 80 年代数字制图

(2) 地图理论推陈出新

(3) 多学科交叉融合更加深入

三、地图学与相邻学科关系

1.与地理学和地球科学的关系

地图学具有技术性学科和区域性学科的双重性质、地理学的第二语言

2.与 GPS、RS、GIS 的关系: 相互促进发展

第五节 地图学的新发展

一、地图的发展

促进地图发展的因素: 农业生产、行政管理、通商贸易、战争

二、信息时代地图的新发展

1. 建立多元化的信息源和数据采集/更新体系: RS、GPS

2. 地图学功能的扩展和延伸: GIS 的出现及应用

3. 地图生产方式的历史性变革: 自动化生产

4. 成为面向客户端的深加工产品: 网络地图、移动地图

5. 地图学理论的新拓展: 可视化理论、虚拟地图

第二章 地图的数学基础

【教学目的】通过本章教学，使学生理解并掌握地图投影的概念、投影变形及分析方法，主要投影类型、构成、变形分布及其应用，并能进行地图投影的判别，为学生正确地阅读和使用地图投影奠定理论基础。

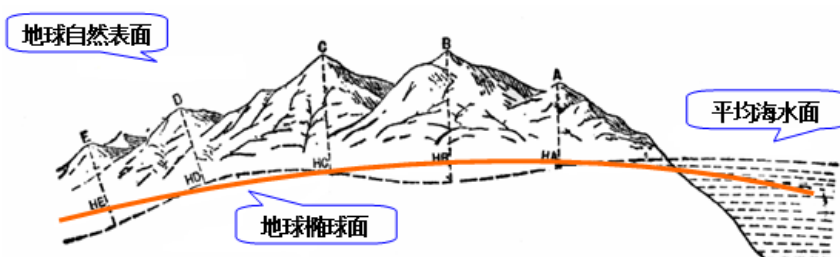
第一节 地球体与大地控制

一、地球椭球体（Ellipsoid）

1、地球椭球体：

第一次逼近——大地体，第二次逼近——地球椭球体

地球椭球面是测量计算和地图制图的基准面



2、地球椭球体的参数

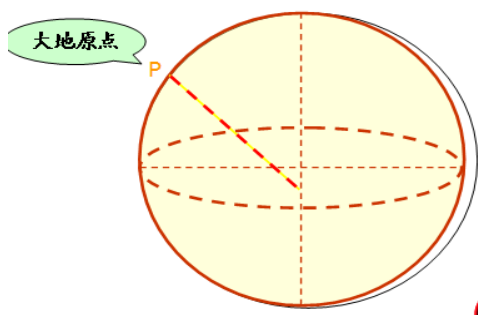
椭球体三要素：长轴 a —赤道半径；短轴 b —极半径；椭球扁率 f ： $f=(a-b)/a$

GRS-1975 椭球： $a=6378137\text{ m}$ ； $b=6356752.314\text{ m}$ ； $f=1:298.2572$

3、总椭球体与参考椭球体

总椭球体在很长时间内是个理论球体；

在不同地区，寻求椭球体与局部地区的大地体（大地水准面）最贴合——参考椭球体（P35）



做法：地球表面 P 点(大地原点)的铅垂线与地球椭球体面相应 P' 点的法线重合

4、我国采用过的参考椭球体：

1953 年前，海福特 Hayford（1910）

1953—1980 年，克拉索夫斯基 Krassovsky（1940）

1980 年始，GRS—1975

2000 年-至今，GRS-1980 椭球

二、大地控制（地球坐标系）

1、地理坐标

(1) **天文经纬度**：地面点定义在大地水准面上的位置，用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。（依据——大地水准面与铅垂线）

(2) **大地经纬度**（Geodetic Coordinate）：地面点定义在参考椭球面上的位置，用大地经度 L 、大地纬度 B 和大地高 H 表示。（依据——参考椭球面和法线为依据）

(3) **地心经纬度**：以椭球体质量中心为基点，地心经度同大地经度 λ ，地心纬度指参考椭球面上某点和椭球中心连线与赤道面之间的夹角 γ

不同地理坐标的用途：

2、中国的大地坐标系 —— 基于大地经纬度建立

(1) **1代**：1954年北京坐标系（54坐标系）—— 克拉索夫斯基椭球（坐标原点：玻尔可夫天文台 Pulkovo）

(2) **2代**：1980年国家大地坐标系（80坐标系）—— GRS1975 椭球（坐标原点：西安泾阳县）

(3) **3代**：2000国家大地坐标系（2000坐标系）—— CGCS2000 椭球（坐标原点：地球质量中心，2008年7月启用）

3、中国的大地控制网

为保证测量成果精度上符合统一要求，又能互相衔接，而在全国范围内精确测定若干有控制意义观测点的平面坐标和高程，由此构成统一的大地控制网，简称**大地网**。

(1) 国家平面控制网

A. 平面控制网：由精确测定地理坐标的地面点组成，由三角测量或导线测量完成。

B. 中国国家平面控制网：由 48000 多个点组成，是确定地物地貌平面位置的基准系统

(2) 国家高程控制网

A. 高程系：

绝对高程（距大地水准面距离）、相对高程、高差

中国高程系：1代：1956年黄海高程系（黄海平均海水面）

2代：1985年国家高程系（1987公布，上升 29mm）

B：中国国家高程控制网：由 22 万公里水准线路组成，是确定地物地貌海拔高度的基准系统。

三、全球卫星定位系统

1. GPS: Global Positioning System (P35)

2. 2000 国家 GPS 大地控制网

3. 北斗卫星导航系统（BDS） 一期工程：2000-2007 年

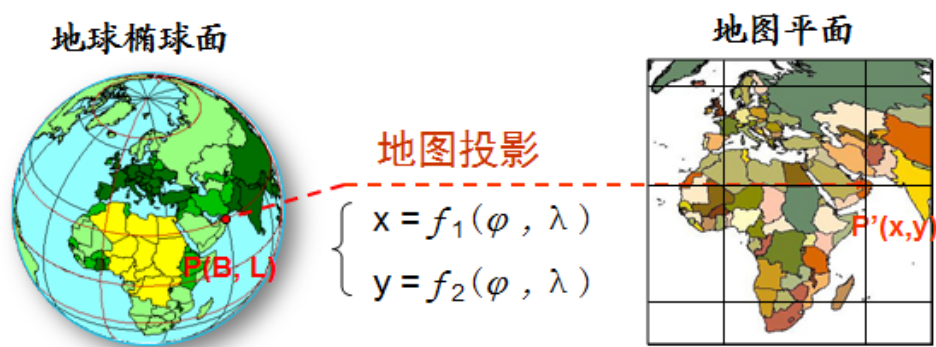
二期工程：2007-2014 年，覆盖绝大部分亚太地区

第二节 地图投影 (Map Projection)

一、地图投影概念与实质

1. 概念：——

2. 任务：建立地图的数学基础，实现坐标系转换，构建地图的“骨架”——经纬网。



3. 方法：

/几何投影法——借助几何面进行计算；

/数学解析法——根据条件用数学方法计算

二、地图投影变形

实质上，投影破坏了球面的几何特性，经纬线经过拉伸、压缩消除了裂缝，但产生变形。

1、变形椭圆——说明投影变形：地面上一个微分圆投影到平面上通常会变为椭圆，特殊情况下为圆。（法：Tissot）

2、地图投影变形性质

(1) 长度比

长度比： $\mu = ds' / ds$ ； μ 在地图上因不同位置，或同一位置上的不同方向而变化。

$$\mu = r' / r$$

$$\text{主方向长度比: } a = x'/x \quad b = y'/y$$

$$\because x = \cos \alpha \cdot r$$

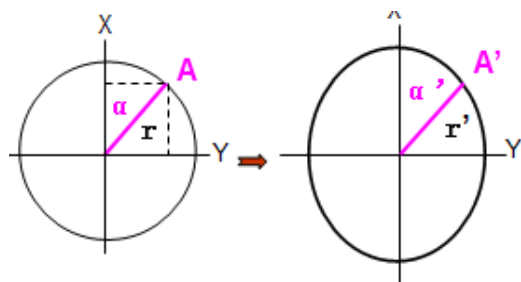
$$r' = \sqrt{x'^2 + y'^2}$$

$$= r \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha}$$

$$\mu = r' / r = \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha}$$

说明： μ 在地图上不仅随该点的坐标位置变化，且随在一点上的方向而变化（当 $\alpha = 0^\circ$ ， $\mu = a$ ，当 $\alpha = 90^\circ$ ， $\mu = b$ ）

长度变形 $V\mu = \mu - 1$ ；长度变形是最基本的变形，在所有投影上都存在。



• μ 随方向而变化, 其特殊方向长度比: m 、 n 与 a 、 b

当投影后, 经纬线正交, 则 m 、 n 与 a 、 b 一致:

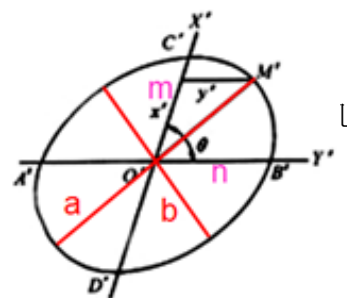
当投影后, 经纬线不正交, 经纬线的交角为 θ , 那么 m

何学中阿波隆尼定理:

$$m^2 + n^2 = a^2 + b^2$$

$$m \cdot n \cdot \sin \theta = a \cdot b$$

$$(a+b)^2 = a^2 + b^2 + 2m \cdot n \cdot \sin \theta$$



(2) 面积比

面积比: $P = dF' / dF$; P 在地图上因点的位置不同而变化;

在变形椭圆上, $P = \pi \cdot a \cdot b / \pi r^2 = a \cdot b = m \cdot n \cdot \sin \theta$;

若投影后经纬线正交: $P = m \cdot n = a \cdot b$

面积变形: $V_p = P - 1$

(3) 角度比

地面上任意两条方向线的夹角 α 与投影后的角度 α' 之差值。

$\alpha = 0^\circ / 90^\circ$; 投影后方向没变形 (是主方向)

在象限 I 中 OA 方向的变形 $\tan \alpha' = by / ax = b/a \tan \alpha$

经三角变换 $\sin(\alpha - \alpha') = [(a-b)/(a+b)] \sin(\alpha + \alpha')$

设 $\Delta \mu = \mu' - \mu$ 表示角度变形 $\sin \Delta \mu / 2 = [(a-b)/(a+b)] \sin(\alpha + \alpha')$

当 $\alpha + \alpha' = 90^\circ$ 度时, $\Delta \mu$ 值最大, 用 ω 表示角度最大变形,

$$\sin \omega / 2 = (a-b)/(a+b)$$

例 1: 在一幅 1: 500 万地图上, 某点沿经线方向长度比为 1.072, 纬线方向长度比为 0.931, 经纬线夹角 60° , 求最大、最小长度比和面积比。

解: $a+b = [m^2 + n^2 + 2m \cdot n \cdot \sin \theta]^{1/2} = 1.935$

$$a - b = [m^2 + n^2 - 2m \cdot n \cdot \sin \theta]^{1/2} = 0.536$$

则 $a = 1.236$; $b = 0.700$

$$P = a \cdot b = m \cdot n \cdot \sin \theta = 0.864$$

例 2: 已知地图上某点长、短轴方向长度比分别为 3 和 1, 则该点最大角度变形为多少?

$$\sin \omega / 2 = (a-b)/(a+b) = 0.5$$

$$\omega / 2 = 30^\circ; \omega = 60^\circ$$

3. 等变形线

(1) 标准点 (线) —— 投影后无变形的点/线

(2) 等变形线: 地图投影变形值相等点的连线, 线上注明变形值, 用于分析投影变形。

三、地图投影的类型

1. 按投影构成方法 (P52)

(1) 几何投影 (透视几何原理)

A. 方位投影 正轴、横轴、斜轴方位投影 (P53)

例：正轴方位投影的数学原理

S1: 球心方位投影:

$$\delta = \lambda \quad \rho = R \tan Z \quad (Z = 90^\circ - \psi)$$

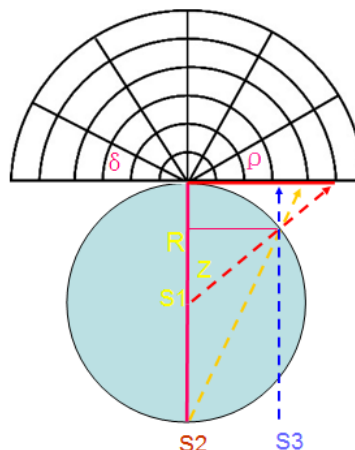
$$X = R \tan Z \sin \lambda \quad Y = R \tan Z \cos \lambda$$

S2: 球面方位投影:

$$\delta = \lambda \quad \rho = 2R \tan(Z/2)$$

S3: 正射方位投影:

$$\delta = \lambda \quad \rho = R \sin Z$$



B. 圆柱投影 正轴、横轴、斜轴投影 (P53)

正轴圆柱投影: 赤道为切线——标准线

C. 圆锥投影 正轴、横轴、斜轴投影 (P53)

正轴圆锥投影: 中纬度纬线为切线——标准线

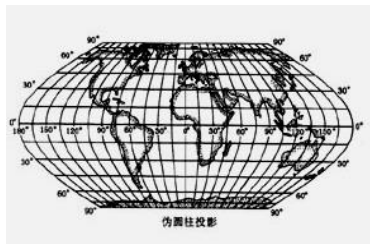
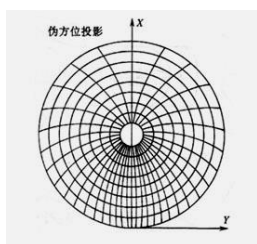
(2) 条件投影 (非几何投影——P54)

伪方位投影: 纬线为同心圆, 中央经线为直线, 其余的经线均为对称于中央经线的曲线, 且相交于纬线的共同圆心

伪圆柱投影: 纬线为平行直线, 中央经线为直线, 其余经线均为对称于中央经线的曲线

伪圆锥投影: 纬线为同心圆弧, 中央经线为直线, 其余经线均为对称于中央经线的曲线

多圆锥投影: 纬线为同轴圆弧, 其圆心均位于中央经线上, 中央经线为直线, 其余的经线均为对称于中央经线的曲线



2. 按变形性质分类

(1) 等角投影: 投影后保持形状不变, 也称正形投影; 面积变形大; 地形图, 交通图 (满足 $\omega=0^\circ$; 则 $a=b, m=n$)

(2) 等积投影: 以破坏图形的相似性来保持面积上的相等, 其角度变形大; 行政区划图 (满足 $P=1$; 则 $ab=1=P$ 或 $m \sin \theta = 1$)

(3) 任意投影: 长度、角度和面积变形同时存在, 是变形适中的投影; 教学地图、科普

地图（其中，等距投影是在特定方向上没有长度变形的任意投影。满足 $a=1$ 或 $b=1$ ）

变形与投影的关系：

/与制图区域的大小有关：制图区域愈大，可能出现的变形也大。如世界地图

/与标准点或标准线的距离有关：距离标准点（线）愈远，变形越大

/与投影性质有关：等积投影不保持等角特性，等角投影不保持等积特性

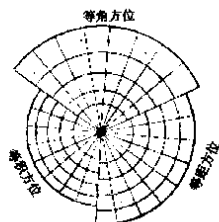


图 7 三种方位投影纬线间隔变化示意图

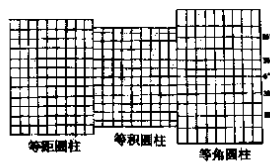


图 8 三种圆柱投影纬线间隔变化示意图

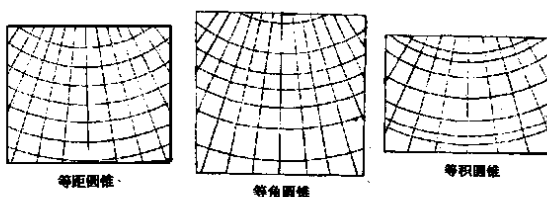


图 9 几种圆锥投影纬线间隔变化示意图

第三节 地图投影的选择

一、世界地图常用投影

1、等差分纬线多圆锥投影（同类投影：正切差分纬线多圆锥投影）

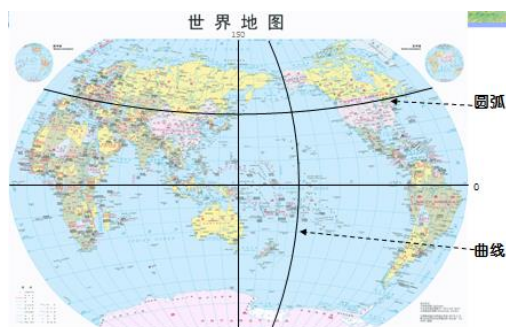
应用：我国编制的世界地图（1963 年创）

投影方法：是一种角度变形不大的任意投影；经线间隔由中经向东西按等差级数递减，减少边缘面积变形。

经纬网形状：① 150° E 中央经线与赤道为互相垂直直线；② 其余经线为对称于中经的曲线，其余纬线为对称赤道的同轴圆弧，极点长为赤道 $1/2$ ；③ 经线间隔由中经向东西按等差级数递减；

变形规律：任意投影，世界主要大陆上的轮廓形状没有显著的目视变形；中经长度比 $=1$ ，与 44° N(S) 交点处角度没变形。

投影特点：完整地表现太平洋及其沿岸国家，突出显示我国与邻国的水陆关系。



2、墨卡托投影 (Mercator, 1569, 荷兰)

应用：世界图、东南亚图；各种航空图、航海图、海上<1:50 万的地形图

投影方法：正轴圆柱切椭球体，保持等角性质。

经纬网形状：① 经线为间隔相等的平行直线；② 纬线与经线垂直的平行直线；③ 纬间距(经线)由赤道向两极逐渐扩大(60°-80° 的纬间距相当 0°-20° 的 3 倍)

变形规律：① 赤道是标准线；② 低纬向高纬面积变形逐渐增大，60° 以上变形急剧增大

投影特点：不仅保持了方向和相对位置的正确，而且使等角航线在图上表现为直线。

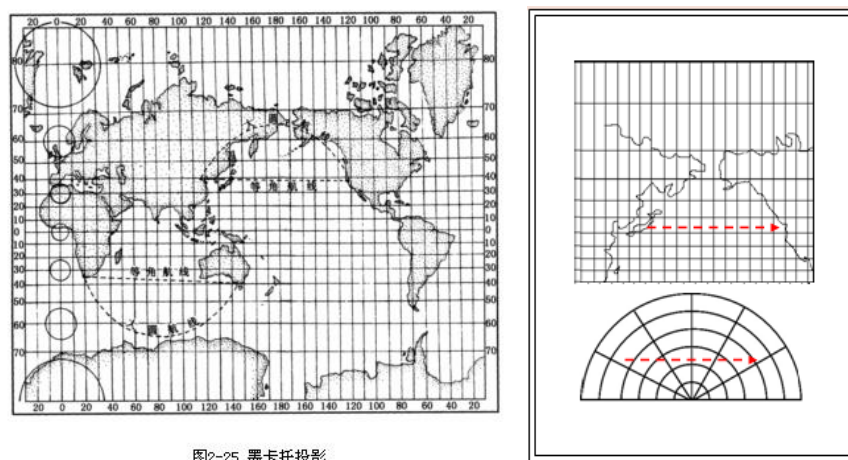


图2-25 墨卡托投影

3、摩尔威特投影 (Mollweide, 1805) P67

应用：欧美主流采用编制世界、东西半球地图投影

投影方法：等积伪圆柱投影

经纬网形状：① 纬线是平行直线，间距由赤道向两级逐渐缩小；② 0° 中央经线为直线，其余经线为椭圆弧，东西 90° 经线构成一个大圆；③ 中经上由赤道向两级逐渐缩小

变形规律：① 中央经线是标准线；② 赤道是中经的 2 倍；

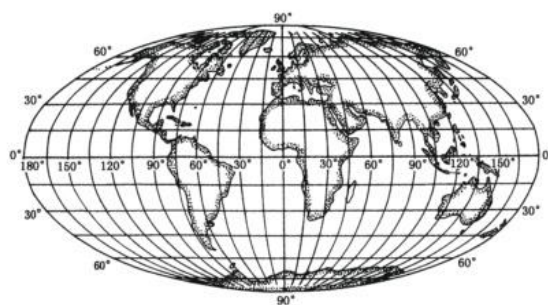


图2-28 摩尔维特投影

4、古德投影（Goode,1923,美）P68

应用：欧美编制世界地图

投影方法：采取大洋分瓣办法，对摩尔维特投影进行改良，克服高纬地区形状变形过大的不足

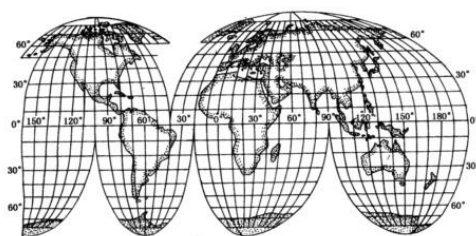


图2-29 摩尔维特-古德投影

二、半球、分洲地图常用投影

1、正轴等积（等角、等距）方位投影

应用：南北半球图、南极洲/北冰洋图

投影方法：正轴平面切椭球体，极点为切点，保持等积性质

经纬网形状：①经线为放射状直线；②纬线为同心圆弧；③经线上纬间距由极点向低纬度逐渐缩小（放大、相等）

变形规律：①极点为标准点；②距离极点愈远角度（面积、角度面积）变形越大

2、横轴等积（等角、等距）方位投影

应用：东西半球图，非洲图

投影方法：横轴平面切椭球体，保持等积性质（非洲切点：赤道，20° E）

经纬网形状：①中央经线与赤道为互相垂直的直线；②其余经线为对称于中经的曲线，其余纬线为对称于赤道的曲线；③中经上纬间距由赤道向两极逐渐缩小（放大、相等）

变形规律：①投影中心为标准点；②距离投影中心愈远角度（面积、角度面积）变形越大



图2-31 横轴等积方位投影

3、斜轴等积（等角）方位投影

应用：亚洲等分洲图、半球图、含南海诸岛的中国全图

投影方法：斜轴平面切椭球体；切点 $\phi=30^{\circ} \text{ N}$, $\lambda=105^{\circ} \text{ E}$ （中国），亚洲： 40° N , 90° E 或 85° ；欧洲 54° N , 20° E ；北美洲 45° N , 100° W ；南美洲 5° S , 70° W ；大洋洲 5° S , 170° W 。

经纬网形状：①中央经线为直线，其余经线为对称于中经的放射状曲线；②纬线（包括赤道）为凹向极地的曲线；③中经上纬间距由投影中心向南北逐渐缩小（等角-放大）

变形规律：①投影中心为标准点；②距离投影中心愈远角度（面积）变形越大

三、国家、地区地图常用投影

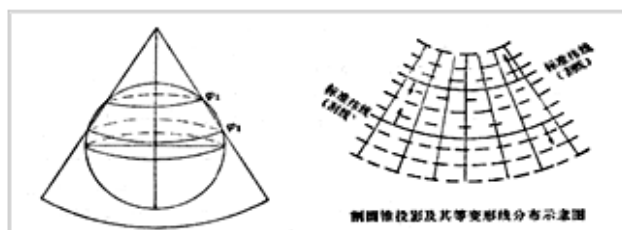
1、正轴等角割圆锥投影（Lambert Conformal Conic 兰勃特）

应用：东西间距较大的中纬度国家；我国 1:100 万地形图；1:400 万,1:600 万挂图，及各省（区）地图等；

投影方法：正轴圆锥割椭球体； $\phi_1=25^{\circ}$ $\phi_2=45/47^{\circ}$ （中国）

经纬线形状：① 经线为放射状直线；② 纬线为同心圆弧；③ 同纬度经间距相等；标准线内纬间距小（经线短），标准线外纬间距大（经线长）

变形规律：①两割线为标准线；②双标准线之内负向变形（ $n<1, m<1$ ）；双标准线之外正向变形（ $n>1, m>1$ ）



ϕ	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
$m=n$	1.044	1.018	1.000	0.989	0.985	0.988	1.000	1.021	1.053
P	1.090	1.036	1.000	0.978	0.970	0.976	1.000	1.042	1.109
w	$0^{\circ} 00'$	$0^{\circ} 00'$	$0^{\circ} 00'$	$0^{\circ} 00'$	$0^{\circ} 00'$	$0^{\circ} 00'$	$0^{\circ} 00'$	$0^{\circ} 00'$	$0^{\circ} 00'$

2、正轴等积割圆锥投影（Albers' Projection 亚尔勃斯）

应用：全国及各省（区）行政区划图、其他要求面积无变形的地图：分布图、类型图、区划图等

投影方法：双标准线正轴圆锥： $\phi_1=25^{\circ}$ $\phi_2=45/47^{\circ}$ （中国）

经纬网形状：① 经线为放射状直线；② 纬线为同心圆弧；③同纬度经间距相等；标准线内纬间距大(经线长)，标准线外纬间距小(经线短)

变形规律：① 两割线为标准线；② 双标准线之内 $n<1, m>1$ ；双标准线之外 $n>1, m<1$

四、地形图投影

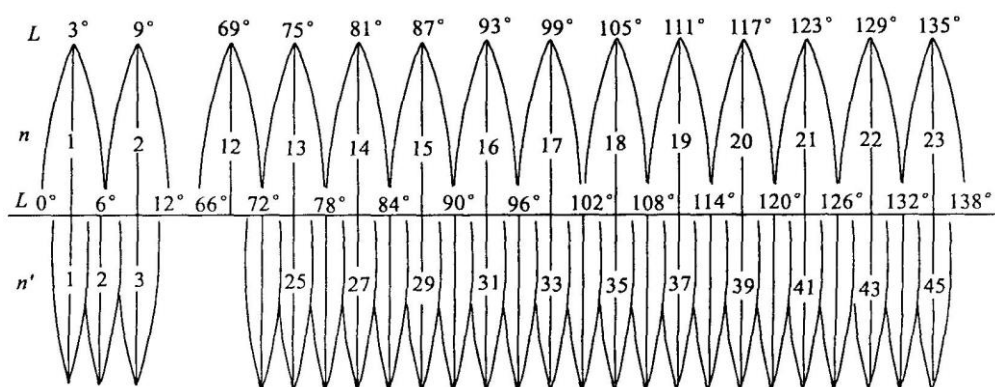
1、高斯—克吕格投影 (Gauss-Kruger)

应用：国家基本地形图中 1:5 千——1:50 万地形图采用

投影方法：横轴圆柱切椭球体；按 6° 或 3° 经差分带投影

经纬网形状：①中央经线与赤道为互相垂直直线；②其它经线为凹向对称于中经的曲线，其它纬线为凸向对称于赤道的曲线；③经纬线呈直角相交。

变形规律：①中央经线是标准线；②沿纬线方向,距中经愈远面积变形越大；③沿经线方向,纬度越小面积变形越大，最大变形在赤道和最边缘经线交点处。



2、通用横轴墨卡托投影(UTM—Universal Transverse Mercator)

应用：欧美国家基本地形图

投影方法：双标准线横轴等角圆柱投影，从 180° 经线向东 6° 分带,割线为 $\lambda 0^\circ \pm 1^\circ 40'$

经纬网形状：与高斯—克吕格相似

变形规律：① 两割线为标准线；② 中央经线长度比 0.9996

3、等角圆锥投影 (1:100 万地形图采用)

投影方法：采用边纬线与中纬线长度变形绝对值相等的双标准纬线等角割圆锥投影，按纬差 4° 分带投影

标准线： $\phi_1 = \phi_s + 30'$ ； $\phi_2 = \phi_n - 30'$

投影变形：长度变形最大值： $\pm 0.03\%$ 、面积变形最大值： $\pm 0.06\%$

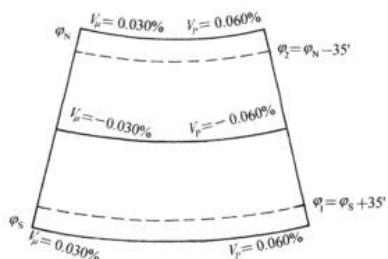


图2-39 1:100万地形图变形分布示意图

四、地图投影的选择与判别

1. 地图投影的选择 (P64)

(1) 制图区域的地理位置、形状和范围

两 极 地区→正轴方位投影;

赤 道 地区→横轴方位投影 (东西南北对称——非洲)

正轴圆柱投影 (东西延伸——印度尼西亚);

中纬度地区→斜轴方位投影 (东西南北对称——亚洲)

正轴圆锥投影 (切、割)

切圆锥 (东西向延伸长形地区)

割圆锥 (纬向略宽地区)

多圆锥投影 (那北向延伸地区)

(2) 比例尺

大比例尺地形图——高斯克吕格投影

中小比例尺省区图——正轴圆锥投影

(3) 地图主题内容

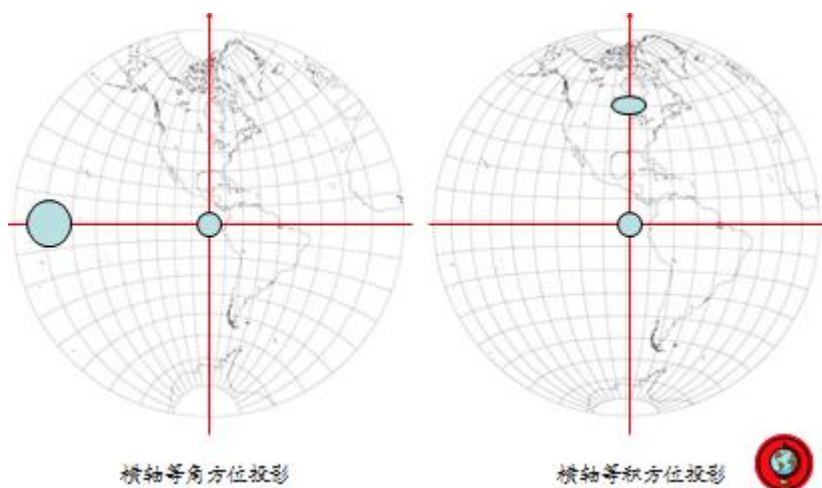
交通、航海、航空、地形图——等角投影

分布、类型、区划图——等积投影

教学、科普地图——任意投影

(4) 出版方式

2. 地图投影的判别 (实习十)



(1) 根据制图区域判定投影大类

(2) 根据经纬网形状确定投影类型

方位投影 (正、横、斜轴)

圆柱投影 (正、横轴)

圆锥投影 (正轴)

(3) 根据经纬间距确定投影的变形性质

等角投影——自投影中心向外纬间距逐渐扩大

等积投影——自投影中心向外纬间距逐渐缩小

等距投影——自投影中心向外纬间距保持相等

作业：实习十 —— 投影的判别

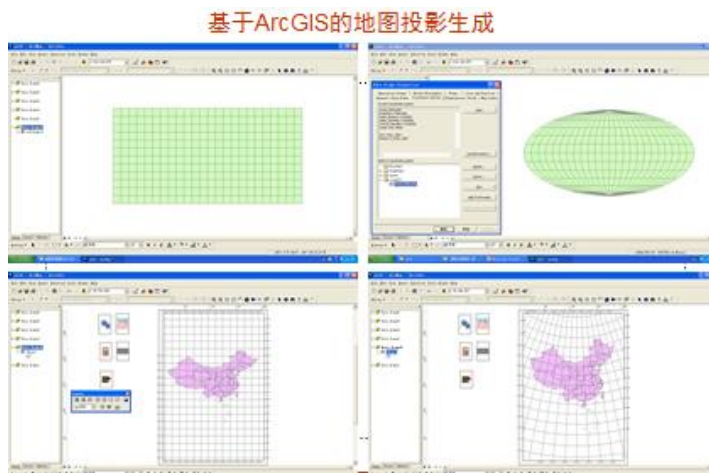
3. 地图投影的生成与转换

(1) 生成：——传统投影坐标表绘制

——计算机自动生成

(2) 转换：——常规

——计算机



第四节 地图比例尺(Scale)

一、比例尺的含义

1. 当制图区域较小时：

比例尺：是指图上线段长度与相应地面水平线段的比率。 $L/D=1/M$

2. 当制图区域很大：受投影变形影响

主比例尺：在投影面上没有变形的点或线上的比例尺。（实质是地球半径缩小的比率）

局部比例尺：在投影面上有变形处的比例尺。

例：在一幅 1:500 万地图上，某点沿经线方向长度比为 1.072，纬线方向长度比为 0.931，则其经纬线方向的局部比例尺是多少？若该点上量经线方向 2cm，则其地是长多少？

解：经线方向比例尺： $1.072 \times 1/500 = 1:466$ 纬线方向比例尺： $0.931 \times 1/500 = 1:537$ 经线方向实长：（ $2\text{cm} \times 500\text{万} = 100\text{km}$ ） $2\text{cm} \times 466\text{万} = 93.2\text{ km}$

二、比例尺的形式

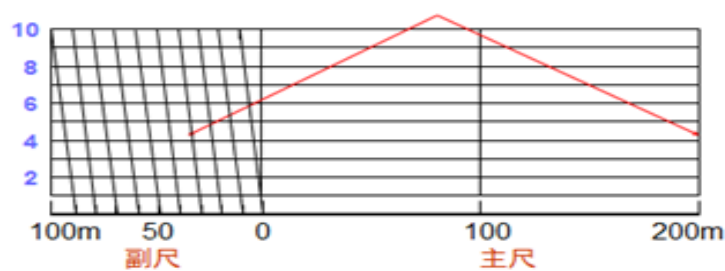
1 数字式

2.文字式

3.图解式

/ 直线比例尺

/ 斜分比例尺



实地距离= 200+30+4+? =234.2(m)

/ 复式比例尺：根据投影长度变形分布规律设计，实际是一种纬（经）线比例尺。（投影比例尺，局部比例尺）

三、比例尺应用 （P38）

相当于图上 0.1mm 的实地水平距离，称为比例尺精度

例：使用 1:2.5 万地图,实地考察能精确到多少?若要实地精确到 5m，则可用什么比例尺地图？

解： $0.1\text{mm} \times 25000 = 2.5\text{m}$; $0.1\text{mm} / 5\text{m} = 1/50000$