

《新编地图学教程》学习提纲

戴文远

第一章 导论

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 (P5)

二、地图的构成要素

- 1.数学要素——坐标系统、地图投影、比例尺等
- 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)——辅助及说明等信息

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、地图的类型

- 1.按内容分类: 普通地图 (地形图、普通地理图), 专题地图
- 2.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
- 3.按区域范围分类: 自然区域、政治区域

二、地图的形态

第四节 地图学（Cartography）与相关学科

一、地图学的概念

地图学（P12）

二、地图学研究内容和学科体系

1.传统地图学体系（P12）

2.现代地图学体系（P13）

三、地图学与相邻学科

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

特别 GIS 是地图学在信息时代的新发展，是其理论、方法与功能的延伸

第五节 地图与地图学的新发展

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、战争等

二、信息时代地图学的新发展

1. 建立多元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：全数字化生产

4. 发展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

第一节 地球体与大地控制

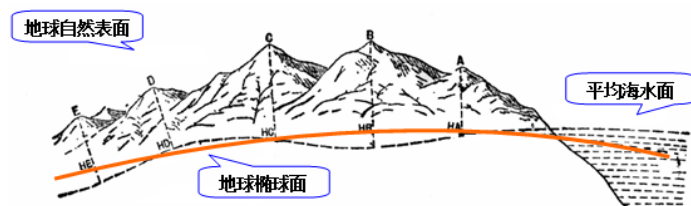
一、地球椭球体 (Ellipsoid)

1、地球椭球体:

概念: 为了测量和制图需要, 采用的一个与大地体极其相似, 并且能用数学参数定义和表达的旋转椭球体。

第一次逼近——大地体, 第二次逼近——地球椭球体 (数学表面)

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、我国采用过的参考椭球体: 海福特、克拉索夫斯基、GRS1975

4、总椭球体与参考椭球体

总椭球体在全球范围内与大地体最密合的椭球体, 在很长时间内是个理论球体 (美国 WGS-84 是总椭球体)

参考椭球体: 经过定位、定向与局部地区的大地体最密合的椭球体 (P36)

二、地理坐标

1、地理坐标——即用经、纬度表示地面点位的球面坐标

(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 λ 、大地纬度 φ 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:

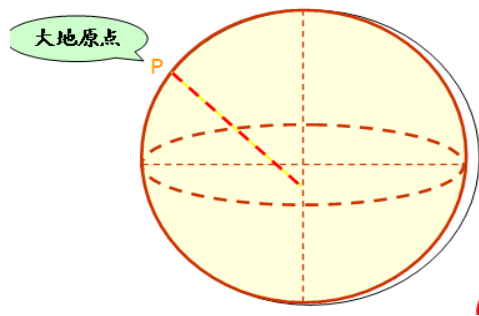
- 在大地测量学中, 常以天文经纬度定义地理坐标;
- 在地图学中, 以大地经纬度定义地理坐标;
- 在地理学研究和小比例尺制图对精度要求不高, 通常将椭球体当成正球体看, 采用地心经纬度。

三、大地坐标系

1.参心坐标系——以参考椭球体中心为基准建立

(1) 概况

建立一个经典的参心坐标系须包括：确定参考椭球体、确定参考椭球中心的位置（定位）
确定坐标轴/短轴的指向（定向）确定大地原点



一点定位：地表 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

(2) 中国的参心坐标系

1954 年北京坐标系（54 坐标系）—— 克拉索夫斯基椭球（坐标原点：Pulkovo 玻尔可夫天文台；高程基准：1956 黄海高程）

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；高程基准：1985 国家高程系）

优点（P39）：与局部水准面密合；有助于坐标保密；不足：区域性、2 维坐标、精度低、现势性差。

2.地心坐标系——以地球质心或总椭球体球心为基准建立

(1) 发展概况：

20 世纪 80 年代，美国国防部等基于卫星雷达测量数据，建立 1984 年世界大地坐标系 WGS-84 坐标系（World Geodetic System -1984）

(2) 中国的地心坐标系

2000 国家大地坐标系（CGCS2000，China Geodetic Coordinate System 2000；坐标原点：地球质量中心，2008 年 7 月启用）

四、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.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。

2.高程控制网

(1)高程系：

高程是地面点到某一参考水准面的距离。

绝对高程（海拔）、相对高程、高差

(2)中国高程系：1956 年黄海高程系（黄海平均海水面）

1985 年国家高程系（1987 公布，上升 29mm）

五、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）

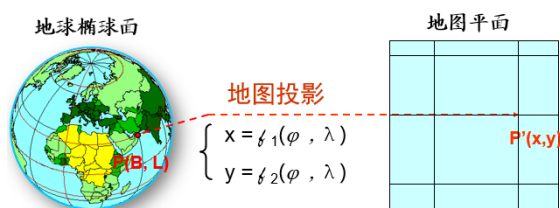
一期工程：2000-2007 年；二期工程：2007-2014 年，覆盖绝大部分亚太地区

CGCS-2000 坐标系支撑了国家北斗卫星导航系统的建设与应用

第二节 地图投影（Map Projection）

一、地图投影概念与实质

1.概念：按一定数学法则,将地球椭球面上点的地理坐标(φ, λ)转绘到地图上对应点的平面直角坐标(x, y)或极坐标(δ, ρ)而建立的一一对应的函数关系。



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。

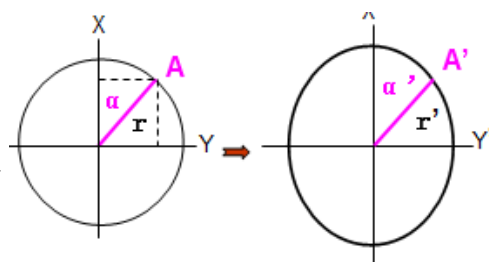
$$\mu = r' / r$$

主方向长度比： $a = x' / x$ $b = y' / y$

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

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

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



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。

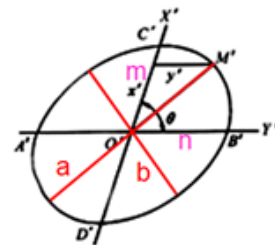
• μ 随方向而变化，其特殊方向 m 、 n 与 a 、 b 的关系：

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 、 n 与 a 、 b 不一致，据解析几何学中阿波隆尼定理：

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



(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， $P = \pi \cdot ar \cdot br / \pi r^2 = a \cdot b = m \cdot n \cdot \sin \theta$ ；

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) 角度变形

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 (P49)

(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 (P49)

例：正轴方位投影的数学原理

S1: 球心方位投影:

$$\delta = \lambda$$

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

$$X = R \tan Z \sin \lambda$$

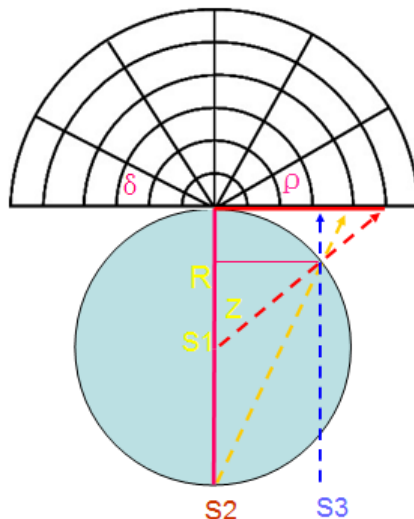
$$Y = R \tan Z \cos \lambda$$

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

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

正轴圆锥投影：中纬度纬线为切线——标准线

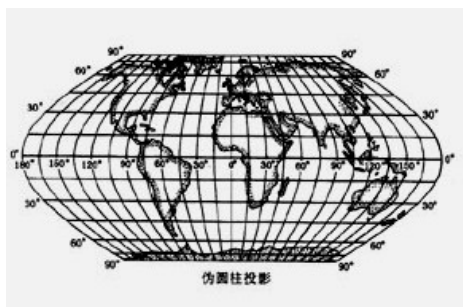
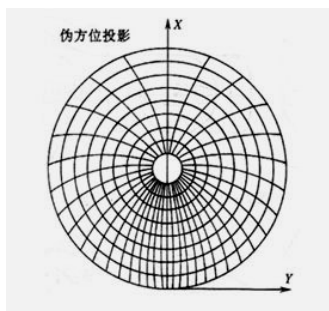
(2) 条件投影 (非几何投影 P49)

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，其余的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

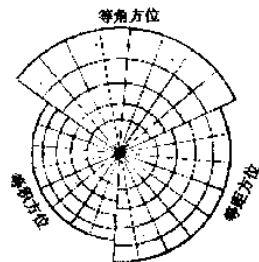


图7 三种方位投影纬线间隔变化示意图

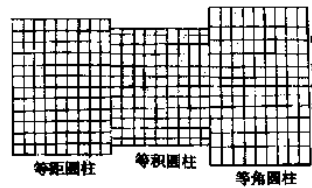


图8 三种圆柱投影纬线间隔变化示意图

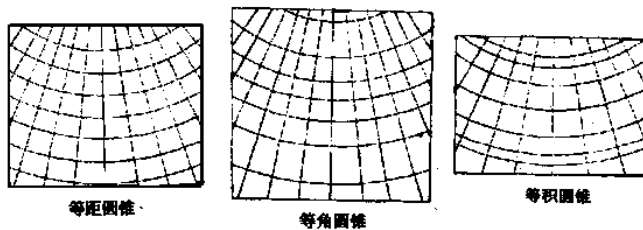


图9 几种圆锥投影纬线间隔变化示意图

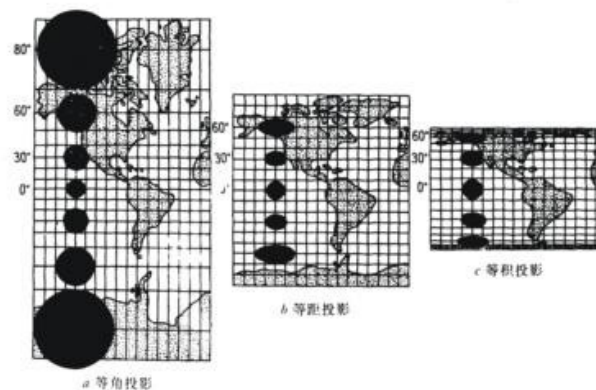


图2-17 不同性质投影上的变形椭圆