



GIS—A Bridge to the Digital Earth A Bilingual Course!



The Principles and Applications of GIS

地理信息系统原理与应用



Presented by **Hu Cheng**
School of Environmental Studies, China University of Geosciences

2014-11

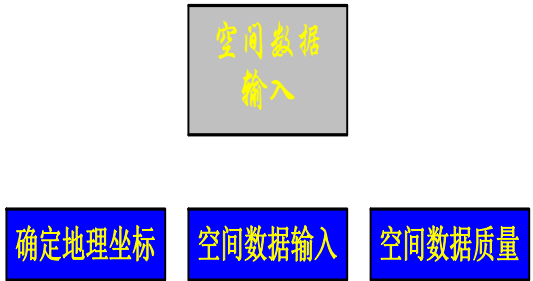
Chapter3 – part 1

Building a Geospatial Database

—— Map Projection

2014-11

Primary Tasks of Spatial Data Input



2014-11

一、Map Projection & Coordinate System

Goals:

- 1、Main properties of coordinate systems
- 2、Main coordinate characteristics of commonly used map projections
- 3、Shape distortion induced by map projections

2014-11

一、Map Projection & Coordinate System

- 1 Shape of the earth
- 2 Geographic coordinate system
- 3 Map projections
- 4 Subdivision & numbering of National Topographic Map

2014-11

1、Shape of the Earth

Modeling the earth

■1.1 地球的自然表面(topographic surface)
自然表面不能作为测量和制图的基准面

■1.2 地球的物理表面(Physical surface)
大地水准面(Geoid): 与静止海平面相重合的水准面, 假想以这个水准面作为基准面向大陆延伸, 并穿过陆地、岛屿, 最终形成一个封闭曲面

大地水准面实际上是一个起伏不平的重力等位面, 即地球物理表面。

由大地水准面包围的形体为大地体(Geoid)

2014-11

■ Geoid

- a continuous surface which is perpendicular at every point to the direction of gravity
---surface to which a plumb line is perpendicular
- approximates mean sea-level in open ocean without tides, waves or swell
- “that surface to which the oceans would conform over the entire earth if free to adjust to the combined effect of the earth's mass attraction and the centrifugal force of the earth's rotation.” *Burkhard 1959/84*
- satellite observation (after 1957) showed it to be somewhat irregular ‘cos of local variations in gravity resulting from the uneven distribution of the earth's mass.

2014-11

Shape of the Earth

Supposition: sphere

In fact: spheroid
极半径略短、赤道半径略长

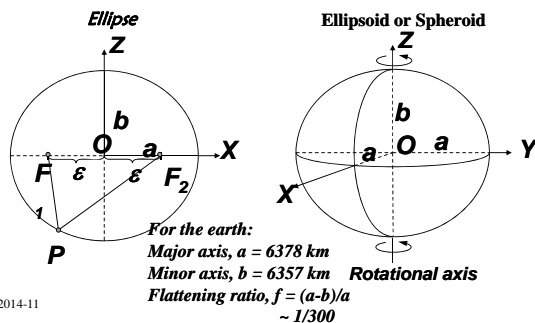


2014-11

■ 1.3 地球的数学表面(Mathematical surface)

不规则的曲面不能用数学模型来定义和表达。

数学上用一个旋转椭球体（地球椭球体）来代替大地体，即为地球数学表面。



2014-11

■ Spheres and spheroids (3-dimensional circle and ellipse)

- mathematical models used to approximate the geoid and provide the basis for accurate location (horizontal) and elevation (vertical) measurement
- sphere (3-dimensional circle) with radius of 6,370,997m considered ‘close enough’ for small scale maps (1:5,000,000 and below - e.g. 1:7,500,000)
- spheroid (3-dimensional ellipse, flattened at the poles) should be used for larger scale maps of 1:1,000,000 or more (e.g. 1:24,000)
- the issue is, which spheroid?

2014-11

■ 1.4 常用标准旋转椭球体参数

椭球名称	年代	长半径 (m)	扁率	附注
Clarke	1880	6378249	1:293.459	英国
克拉索夫斯基	1940	6378245	1: 298.3	苏联
1980大地坐标系	1979	6378140	1: 298.25722	IUGG
2000大地坐标系	2008	6378137	1: 298.257222101	
WGS84	1984	6378137	1: 298.257223563	全球

International Union of Geodesy and Geophysics

WGS-84 = World Geodetic System—1984 Coordinate System

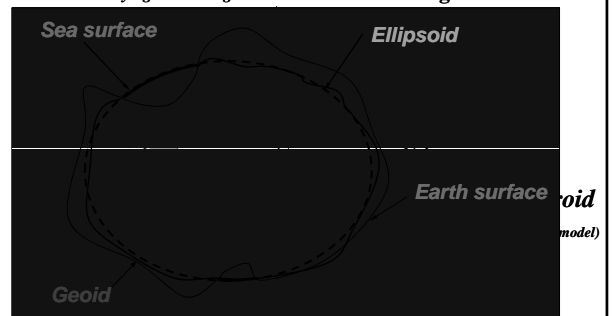
我国1953年后用克拉索夫斯基椭球参数，1978年开始决定在西安对地球椭球体重新定位。

2014-11

■ 1.5 Relationship of Land Surface to Geoid and Spheroid

GPS (global positioning system) measures elevation relative to spheroid.

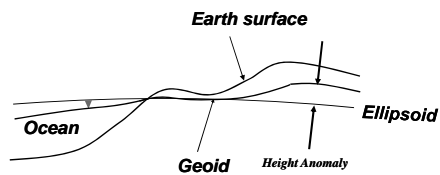
Traditional surveying via leveling measures elevation relative to geoid.



2014-11

measured on ground to be greater than on the spheroid. Corrections may be applied.

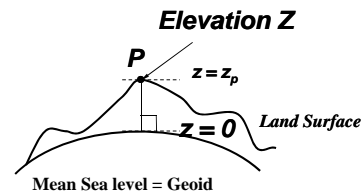
Geoid and Ellipsoid



Geoid Height is the elevation difference between a standard shape of the earth (ellipsoid) and a surface of constant gravitational potential (Geoid)

2014-11

Definition of Elevation



Elevation is measured from the Geoid / Quasi-geoid

Height Anomaly = Geodetic height - Normal height

2014-11

高程的相关定义

- 大地高 (geodetic height): 指从一地面点沿过此点的地球椭球面的法线到地球椭球面的距离, 也称椭球高。是大地地理坐标 (B, L, H) 的高程分量H。
- 正高 (orthometric height): 指从一地面点沿过此点的重力线到大地水准面的距离。
- 大地水准面差距 (geoid height) 是从大地水准面沿法线到地球椭球体面的距离。
- 正常高 (normal height): 地面点到似大地水准面的铅垂距离, 称为该点的正常高, 也称海拔。
- 高程异常 (height anomaly): 似大地水准面与参考椭球面之间的高差。

大地高 = 正高高程 + 大地水准面差距
= 正常高 + 高程异常

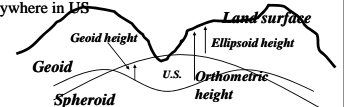
2014-11

Measuring Elevation

- so far focused on horizontal location ("x,y")
- vertical location or elevation (z) also important
- Traditional surveying uses "leveling" to measure elevation relative to mean sea level (MSL)
 - MSL is arithmetic mean of hourly water elevations
 - MSL is different for different countries or locations
 - Leveling follows geoid, thus elevations (orthometric height) are relative to geoid
- GPS (global positioning systems) knows nothing about geoid so its elevations (called ellipsoid height) are relative to a spheroid (usually WGS84)
- The two may be (and usually are) different—by as much as 87 meters worldwide
 - in Texas ellipsoid heights about 27 meters less (lower) than orthometric (geoid) ht.
 - Spheroid (ellipsoid) above geoid everywhere in US

<http://www.ngs.noaa.gov/GEOID>

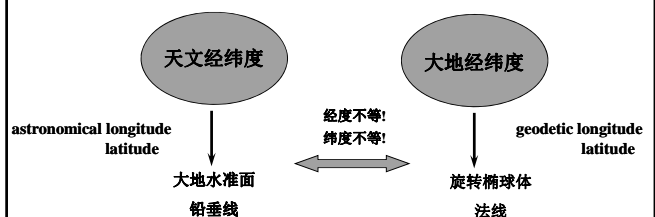
2014-11



2、Earth Coordinate System

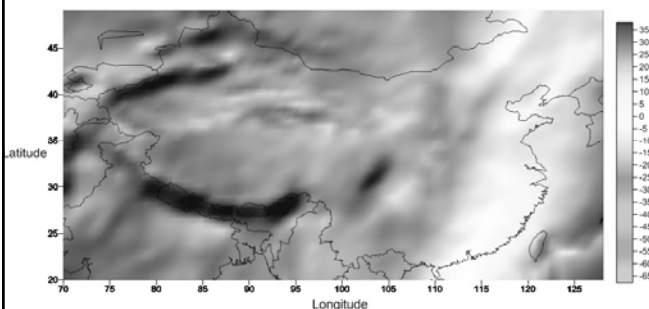
■ 地理坐标(Geographic coordinate system)

地理坐标, 就是用经纬度表示地面点位的球面坐标。在大地测量学中, 对于地理坐标系中的经纬度有二种提法: 天文经纬度、大地经纬度。

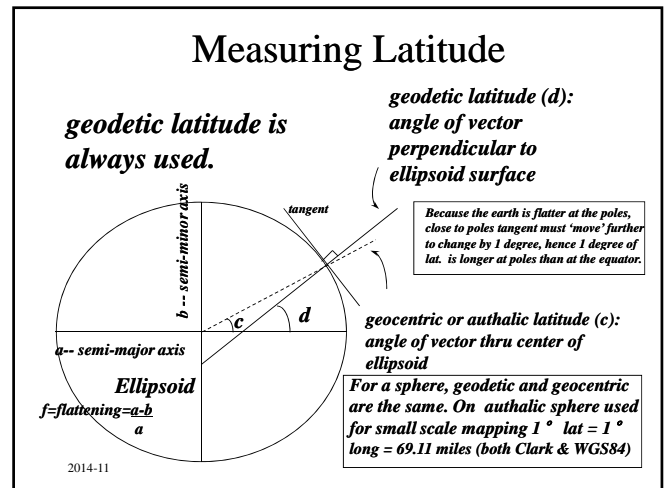
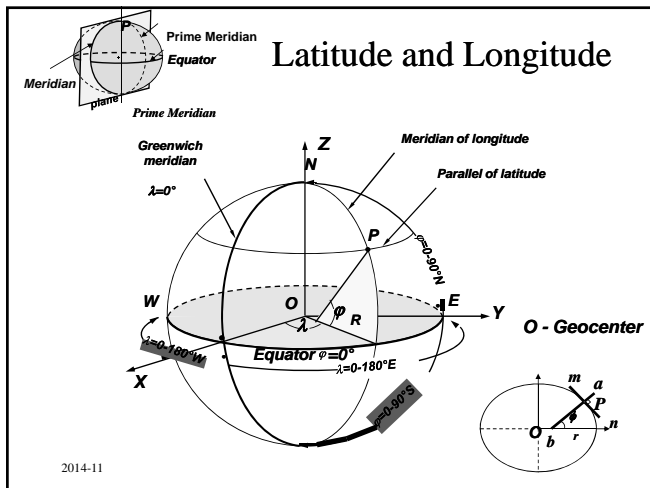


2014-11

China EMG96



2014-11



■ 我国的大地坐标与坐标系

1) 1954年北京坐标系。从前苏联1942年坐标系联测并经过平差计算而引伸到我国，原点在原苏联西部的普尔科夫，采用**克拉索夫斯基椭球参数**。

2) 我国1986年在陕西省泾阳县设立了新的大地坐标原点，并采用1975年国际大地测量协会推荐的大地参考椭球体，由此计算出来的各大地控制点坐标，称为**1980年大地坐标系**。(Xi'an 1980 datum)

3) 自2008年7月1日起启用2000国家大地坐标系，其与现行国家大地坐标系转换、衔接的过渡期为8年至10年。

2014-11

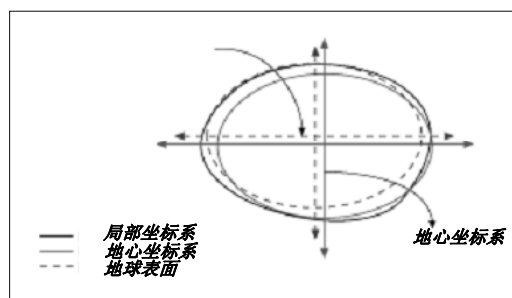
■ 我国的高程系

我国高程的起算面是黄海平均海面。1956年在青岛设立了水准原点，其他各控制点的绝对高程都是根据青岛水准原点推算的，称此为**1956年黄海高程系**。

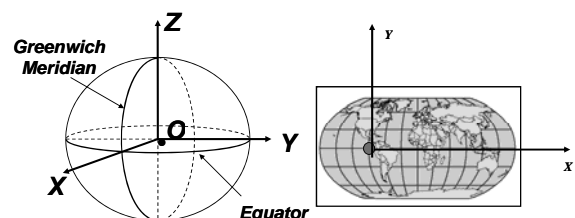
1987年国家测绘局公布：中国的高程基准面启用《1985国家高程基准》取代国务院1959年批准启用的《黄海平均海面》。《1985国家高程基准》比《黄海平均海面》上升29毫米。

2014-11

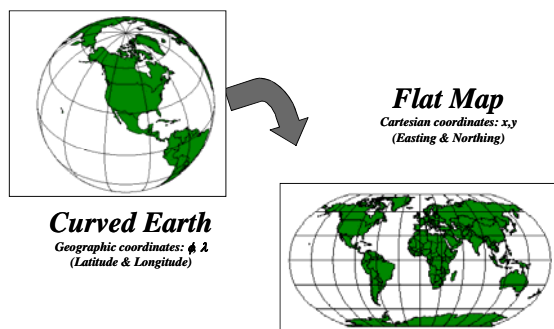
■ 局部坐标系与地心坐标系的关系



■ 地心直角坐标、平面直角坐标



3、Map Projection

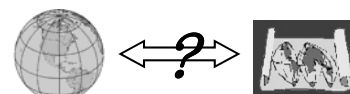


2014-11

3.1、地图投影 (Projection)

■ 基本概念

1) 问题由来



2) 主要矛盾

不可展曲面与平面的转化

3) 解决办法

投影!

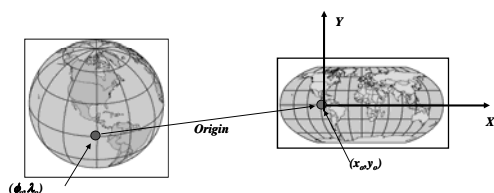
即将地球表面的经纬网格用各种方法投影到地图平面上, 满足编图要求的各种连续的经纬网格的要求

2014-11

4) 地图投影的概念 (the Concept)

地球椭球表面(或地球球体表面)与地图平面之间点与点(或线与线)相对应。如设地球表面上某一点的地理坐标为 ϕ, λ , 其地图平面上相应点的直角坐标为 x, y , 则表示地球表面经线和纬线的两族平面曲线的方程为: $\phi = F_1(x, y)$ $\lambda = F_2(x, y)$

对 x 和 y : $x = f_1(\phi, \lambda)$ $y = f_2(\phi, \lambda)$



2014-11

■ A method by which the curved 3D surface of the earth is represented on a flat 2D map surface.

■ a two dimensional representation, using a plane coordinate system, of the earth's three dimensional sphere/spheroid

■ location on the 3D earth is measured by latitude and longitude;

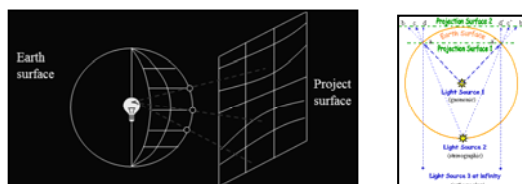
■ location on the 2D map is measured by x, y Cartesian coordinates

■ unlike choice of spheroid, choice of map projection does not change a location's lat/long coords, only its XY coords.

2014-11

5) 实现

① 透视原理



② 数学解析手段

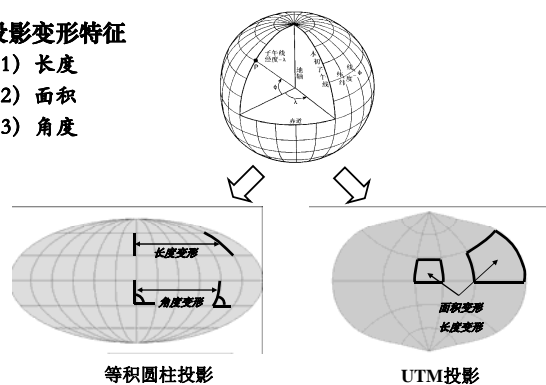
2014-11

■ 投影变形特征

1) 长度

2) 面积

3) 角度



2014-11

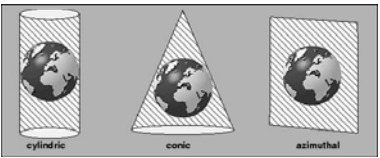
3.2 地图投影分类 (Map Projections: *classification*)

- ◆ A 根据地图投影的变形特征
 - 等角投影 (Conformal Projection)
 - 等面积投影 (Equal Area Projection)
 - 任意投影 (Aphylactic Projection)
 - [等距离投影 (Equidistance Projection)]
- ◆ B 根据投影面与地球轴的相对位置
 - 正轴投影 (Normal Projection)
 - 横轴投影 (Transverse Projection)
 - 斜轴投影 (Oblique Projection)

2014-11

◆ C. 根据投影曲面形状

- 圆锥投影 (Conic Projection)
- 圆柱投影 (Cylindric Projection)
- 方位投影 (Azimuthal Projection)



2014-11

◆ D. 投影类型的命名

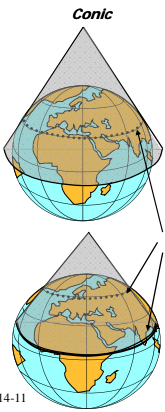
根据投影面与地球轴的相对位置

	正轴	斜轴	横轴
圆锥			
圆柱			
方位			

注意：
完整的名称宜兼有，例如：
等角正轴圆锥投影
等面积正轴方位投影
等距离横轴圆柱投影

2014-11

3.3 Commonly used map projections

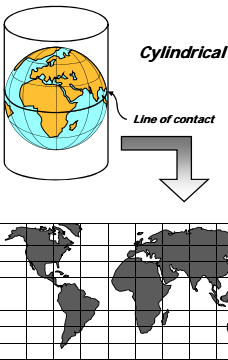


- ◆ 圆锥投影
 - 1) 有等角、等面积和任意圆锥投影之分；
如：Lambert = 正轴等角割圆锥投影
Albers = 正轴等面积割圆锥投影
 - 2) 正轴圆锥投影：纬线为同心圆弧，经线为圆的半径；

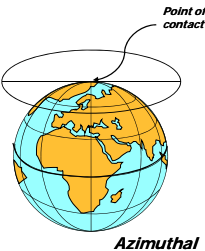
2014-11

◆ 圆柱投影

- 1) 有等角、等面积和任意的圆柱投影。
如：Mercator投影—等角圆柱投影
Gauss - Kruger投影—等角横切圆柱投影
UTM投影—等角横切圆柱投影
- 2) 正轴圆柱投影中：
纬线为一组平行直线，经线为垂直于纬线的另一组平行直线。



2014-11



- ◆ 方位投影
正轴投影中：
纬线为同心圆，经线为圆的半径，经线投影后的直线之间的夹角等于经差

2014-11

3.4 地图投影配置的一般原则

- ◆ 最好是使等变形线与工作区域的轮廓形状基本一致，以便减少图上变形。
- ◆ 考虑以下因素：工作区域范围、形状和地理位置，GIS的用途、出图方式及其他特殊要求等。
- ◆ 要求与国家基本地图采用的投影系统一致；
- ◆ 与源数据比例尺相适应

2014-11

How to choose a map projection?

■ Issues to Consider:

- extent of area to map: city, state, country, world?
- location: polar, mid-latitude, equatorial?
- predominant extent of area to map: E-W, N-S, oblique?

■ Rules of thumb

- Choose a standard for your organization and keep all data that way.
- Also retain lat/long coords in the GIS database if possible
- for small areas, projection is less critical and datum is more critical; reverse for large areas
- check contract; does it specify a required projection? State Plane or UTM often specified for US gov. work.
- use equal-area projections for thematic or distribution maps, and as a general choice for GIS work
- use conformal projections in presentations
- for navigational applications, need true distance or direction.
- Even though modern GIS systems are sophisticated in their handling of projections, you ignore them at your peril!!!

2014-11

3.5 我国地图投影配置系统

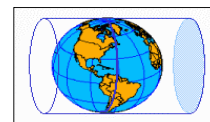
◆ 我国不同比例尺地图的投影系统:

- 1) 当比例尺 $\leq 1:100$ 万，采用兰勃特投影 (Lambert Projection)，投影方式等角正轴割圆锥投影；
- 2) 当比例尺 $> 1:50$ 万，采用高斯-克吕格投影 (Gauss - Kruger Projection)，投影方式等角横切圆柱投影

2014-11

◆ 高斯—克吕格投影系统

德国数学家、物理学家、天文学家高斯于19世纪20年代拟定，后经德国大地测量学家克吕格于1912年对投影公式加以补充，故称为高斯—克吕格投影。



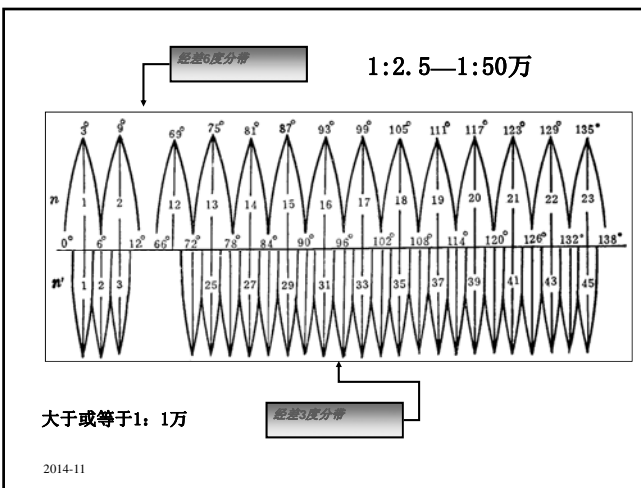
- 中央经线和赤道投影成垂直相交的直线
- 投影后没有角度变形（经纬线之间仍保证垂直）
- 中央经线上没有长度变形
- 在同一纬线上，离中央经线越远，变形越大
- 在同一经线上，离赤道越近，变形越大，最大值在赤道上

2014-11

◆ 高斯—克吕格投影分带

- 1) 分带投影目的：控制投影变形，保证精度。
- 2) 我国规定：1:2.5万—1:50万：经差6度分带
 $> 1:1$ 万：经差3度分带
- 3) 分带方法及编号

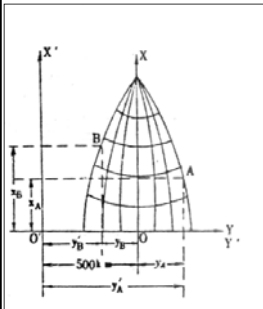
2014-11



大于或等于1: 1万

2014-11

◆高斯平面直角坐标网



- ◆ 每一个投影带构成一个独立的坐标系，X轴为中央经线的投影直线；Y轴是赤道投影的直线。
- ◆ 规定坐标原点西移500 KM。
- ◆ 通常在横坐标之前加上带号。

如: A, B 点的横坐标分别为:

$$Y_a = 245863.7\text{m}$$
$$Y_b = -168474.8\text{m}$$

西移500 Km 后变为

$$Y_{a'} = 745863.7m$$
$$Yb' = 331525.2 \text{ m}$$

加上帶号20

$$Y_a = 20745863.$$
$$Y_b = 20331525.1$$

2014-11

3.6 地图投影中的注意事项

critical required information

- ### ◆ 空间数据投影信息记录的完整性

datum **projection** **type & parameters**

- ### ◆ 数据格式转化中的投影信息的保存

- ### ◆ 大地基准的转化

北京1954 西安1980 WGS84

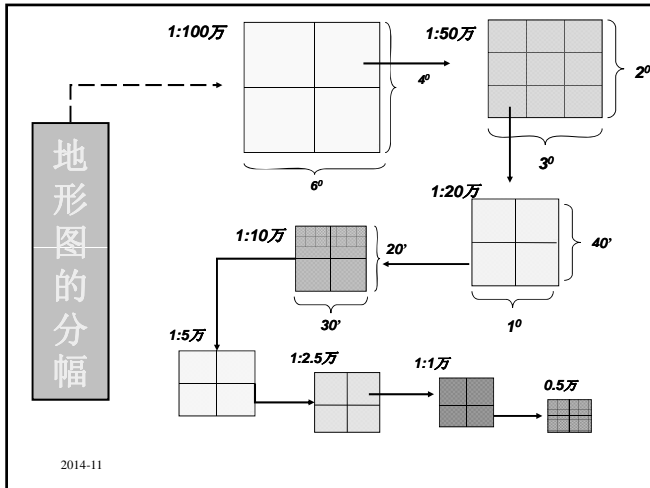
2014-11

4 地形图的分幅和编号

Subdivision & numbering of National Topographic Map

- 国家基本比例尺地形图有1: 1万、1: 2.5万、1: 5万、1: 10万、1: 20万、1: 50万和1: 100万七种。
- 普通地图通常按比例尺分为大、中、小三种，
- 一般以1: 10万和更大比例尺: 大比例尺地图；
- 1: 10万至1: 100万: 中比例尺地图；
- 小于1: 100万: 小比例尺地图。

2014-11



2014-11

基本比例尺地形图的图幅大小 及其图幅间的数量关系

比例尺	图幅大小		图幅间的数量关系							
	经度	纬度								
1/100	6度	4度	1							
1: 50	3度	2度	4	1						
1: 20	1度	40分	36	9	1					
1: 10	30分	20分	144	36	4	1				
1: 5	15分	10分	576	144	16	4	1			
1: 2.5	7.5分	5分	2304	576	64	16	4	1		
1:1	3分45秒	2.5分	9216	2304	256	64	16	4		

2014-11

地形图的分幅编号

- 1: 100万地图的编号 (为全球统一分幅编号)

列数：由赤道起向南北两极每隔纬差4度为一列，直到南北88度（南北纬88度至南北两极地区，采用极方位投影单独成图），将南北半球各划分为22列，分别用拉丁字母A、B、C、D……V表示。

行数：从经度180度起向东每隔6度为一行，绕地球一周共有60行，分别以数字1、2、3、4……60表示。

- 由于南北两半球的经度相同，规定在南半球的图号前加一个S，北半球的图号前不加任何符号。一般来讲，把列数的字母写在前，行数的数字写在后，中间用一条短线连接。例如：北京(116.4°, 39.9°)

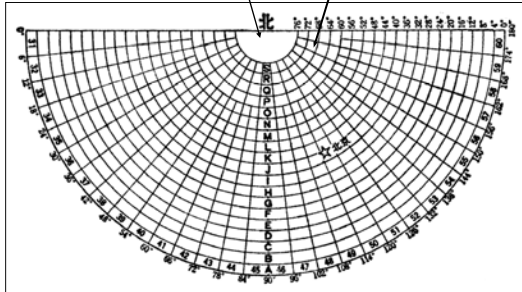
百万分之一地图编号: J-50

2014-11

100万地形图的分幅和编号（北半球）

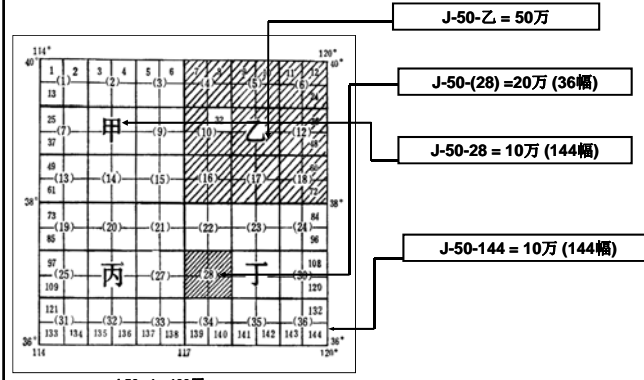
极方位投影成图区

同是6°的经差，其纬线弧长随纬度增加逐渐缩小，因此规定在纬度60°-76°间的图幅采用双幅合并（经差为12°，纬差为4°）；在纬度76°-88°间的图幅采用四幅合并（经差为24°，纬差为4°）。



2014-11

1: 50万、1: 20万、1: 10万地形图编号



2014-11 J-50 1: 100万

1: 5万、1: 2.5万、1: 1万地形图的编号

- 以1: 10万地形图的编号为基础，将一幅1: 10万地图划分四幅1: 5万地图，分别用甲、乙、丙、丁表示，其编号是在1: 10万地形图的编号后加上它本身的序号，如J-50-32-甲。
- 再将一幅1: 5万地图划分四幅1: 2.5万地形图，分别用1、2、3、4表示，其编号是在1: 5万地形图的编号后加上它本身的序号，如J-50-32-甲-1。
- 1: 1万地形图的编号，是以一幅1: 10万地图划分为64幅1: 1万地形图，分别以带括号的（1）—（64）表示，其编号是在1: 10万图号后加上1: 1万地图的序号，如J-50-32-（10）。
- 一幅1: 1万地形图划分为4幅1: 5000地形图，分别用小写字母a、b、c、d表示，其编号是在1: 1万图号后加上它本身的序号，如J-50-32-（10）-a。

2014-11

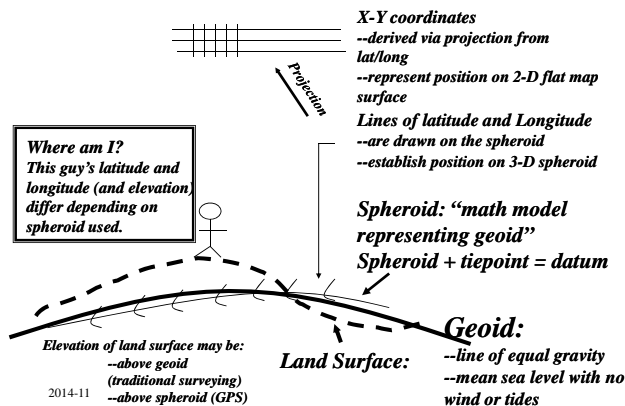
Summary:

Representing the Earth: Topics

- Geoid and Spheroids: *modeling the earth*
- Latitude and Longitude: *position on the model*
- Datums and Surveying: *measuring the model*
- Map Projections: *converting the model to 2 dimensions*
- Scale: *sizing the model*
— *cover under Data Quality*

2014-11

Summary: Measuring Position on Earth



2014-11

Best Map Projections by Size of Area: continent or smaller

- **E/W along equator**
MERCATOR (conformal)
CYLINDRICAL (equal area)
- **E/W away from Equator**
LAMBERT (conformal)
ALBERS (equal area)
- **North/South**
TRANSVERSE, UTM (conformal)
- **Oblique region**
OBLIQUE_MERCATOR (conformal)
- **Equal extent all directions**
POLAR, STEREOGRAPHIC< UPS (conformal)
LAMBERT_AZIMUTHAL (equal area)
- **Straight Great Circle**
GNOMIC
- **Correct Scale- between points:**
TWO_POINT_EQIDISTANT
- **Correct Scale- along meridians**
AZIMUTHAL(polar),
EQUIDISTANT,
SIMPLE_CONIC
- **Correct Scale - along parallels**
POLYCONIC, SINUSOIDAL,
BONNE

Source: Snyder, 1987 Map Projections - A Working Manual. Workshop Proceedings, 1995 ESRI User Conference, p. 552

2014-11

Appendix

Projection Reference Materials

Useful articles on ESRI's Support Site:

FAQ: Where can I find more information about coordinate systems, map projections, and datums?

<http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.techarticles.articleShow&d=17420>

FAQ: Projection Basics: What the GIS professional needs to know

<http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.techarticles.articleShow&d=23025>