

GIS 中地图投影的应用

徐 智

(甘肃省水利厅水土保持局, 兰州 730000)

摘 要: GIS 以表示地理信息的数据库为核心, 以同时描述空间数据和属性数据为最基本的特征。将不同尺度、不同时期、不同来源的地理数据精确定位于公共的地理基础之上, 是实现 GIS 目标的基本要求。不同投影之间的互相转换以及投影类型或参数的选择对 GIS 数据的输出结果有极大影响。通过对地图投影的分类、经纬线特征、变形分布的分析, 探讨了 GIS 中地图投影的变换和选择方法。

关键词: 地图投影; 地理基础; GIS

中图分类号: TP79; P282.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)02-0055-04

The Applications of Map Projections in GIS

XU Zhi

(Bureau of Soil and Water Conservation, Water Conservancy Department of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Taking geo-database as the core, GIS characterized by describing spatial and attribute data simultaneously. Positioning multi-scales, temporal or sources geo-datasets to a common geo-base is a basic requirement for the realizing of GIS purpose. The transformations between two different projections or the option of parameters has a great effect on the results of GIS. After an analysis on the classification and features of latitude and longitude net and the distribution of distortion of map projections, the transformation ways and the selecting methods of map projections are studied.

Key words: map projection; geo-base; GIS

1 前 言

随着地理信息产业的建立和数字化信息产品在全世界的普及, GIS 逐渐深入到各行各业^[1]。在我国, 学习使用 GIS 的热潮空前高涨, GIS 的应用领域逐步扩大, 应用层次呈现多样化, 应用人员表现出复杂化^[2]。但是, GIS 的开发者或使用者并不一定都具备雄厚的测绘或地图知识。例如, 许多人在建立空间数据库时因慑于地图投影的深奥复杂而一筹莫展, 从而谈“图”色变, 或者在似懂非懂中摸石头过河, 不管什么来源的数据, 只管数字化建库或强行配准迭加, 而对这样做的后果认识模糊甚至一无所知; 在谈及数据精度时只注意到数字化和编辑过程的偶然误差和外围设备的系统误差、比例尺误差等, 而忽视了地图投影所产生的各种变形; 对一特定的区域不能根据区域所处的地理位置、轮廓形状、系统用途等合理选择地图投影或配置投影参数, 致使显示或输出的图件发生变形或扭曲, 这些变形虽然有时在视觉上不易直接观察, 但它们的潜在影响却不容忽视。这些问题的存在严重地影响到 GIS 的应用效果, 因此对地图投影的构成、分类、特性、相互转换、种类或参数的选择进行深刻认识, 是构建地理数据库的前提条件。

2 认识地图投影

地理信息系统按其范围的大小可以分全球的、区域的和局部的 3 种。区域愈小, 则对数据的描述愈详细, 表示空间数

据的比例尺也较大。为了满足 GIS 对地表、空中和地下的若干要素空间分布和相互关系的研究, 地理信息系统必须具备公共的地理基础, 即所有的地理要素要按经纬度或者特定的坐标系统进行严格的空定位, 才能使具有时序性、多维性、区域性特征的空间要素进行复合和分解, 将隐含其中的信息可视化表达, 形成空间和时间上连续分布的综合信息基础, 支持空间问题的处理与决策^[1]。公共的地理基础要求有统一的地图投影系统。

2.1 地图投影的类型

地图投影就是在地球球面与图纸平面之间建立点与点之间函数关系的数学方法, 即建立球面点与平面点的映射关系。早期的地图投影都是借助可展的几何面通过透视关系直接投影而成, 谓之几何投影^[3]。可展的几何面可以是平面、圆柱面或圆锥面, 因而有平面(方位)投影、圆柱投影和圆锥投影。按几何面与地球的相对位置, 可分成正轴、横轴和斜轴。按相切或相割关系, 可分为切投影和割投影。(图 1)。由于可展的几何面毕竟太少, 于是人们设计出完全抛开几何面、纯粹利用数学函数确定曲面与平面之间对应关系的地图投影, 谓之非几何投影。

2.1.1 几何投影

几何投影是把椭球面上的经纬线网投影到几何面上, 然后将几何面展为平面而得到的。根据几何面的形状, 可分为方位投影、圆柱投影、圆锥投影。图 2 为几何投影的经纬线形状。

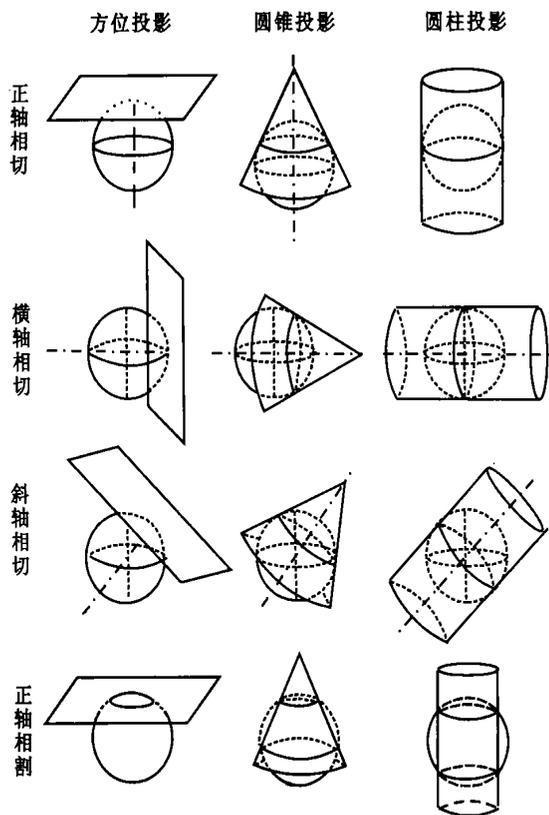


图 1 几何投影的构成

面之间点与点的函数关系。按与相应几何投影经纬线形状的相似性,非几何投影又分为以下几类:伪方位投影、伪圆柱投影、伪圆锥投影、多圆锥投影。其中前三种投影的纬线形状与相应的几何投影相同,而经线除中央经线为直线外,其余经线均为对称于中央经线的曲线。多圆锥投影是基于在投影中多增加一些切线(标准纬线)的思想而建立的,其纬线为同轴圆弧,其圆心均位于中央经线上,除中央经线为直线外,其余经线均为对称于中央经线的曲线。图 3 为非几何投影的经纬线形状。

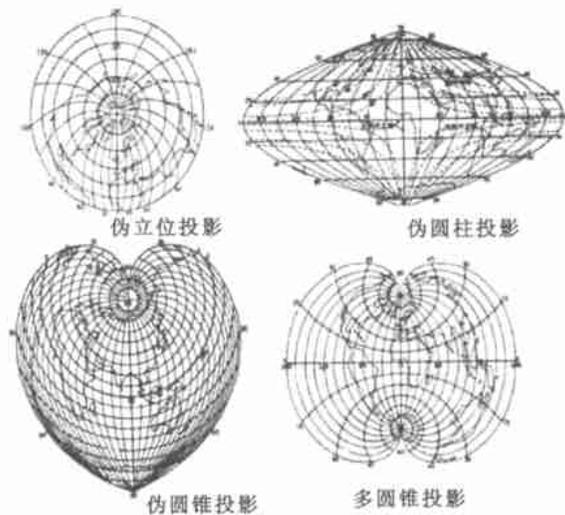


图 3 几种非几何投影的经纬线形状

2.2 地图投影的变形

地图不是将地球表面按相同比例缩小的产物,而是经过地图投影将球面上的事物缩绘于平面上的图形,因此地图投影必然存在变形。这种变形使地面事物的几何特性如长度、方向、面积等受到破坏。

在方位投影中,投影平面与地球相切的点没有变形,从该点到任何点的方位角均没有变形(因而称之为方位投影),离开切点越远,变形越大,等变形线呈同心圆状分布。在切圆柱(锥)投影中,相切的线是没有变形的线,离切线愈远,变形愈大。在割圆柱(锥)投影中,两条相割的线是没有变形的线,称为标准纬线,离开这两条线愈远,变形愈大,在两条割线之间为负向变形;两条割线以外为正向变形。在切圆柱投影中,切线是没有变形的线,离开该线愈远,变形越大。在割圆锥投影中,两条相割的线是没有变形的线,称为标准纬线,离开这两条线愈远,变形愈大,在两条割线之间为负向变形;两条割线以外为正向变形。

在绘制地图时,人们总是希望制图区域的变形愈小愈好,同时还希望变形在制图区域的分布比较均匀,即等变形线的形状应尽可能接近制图区域的轮廓形状。因此方位投影常用来制作东西、南北半球及近似圆形区域的地图;正轴圆柱投影通常用来制作沿赤道或两侧东西方向延伸地区的地图;横轴圆柱投影用来制作沿某经线南北延伸区域的地图。圆锥投影(通常为正轴)用来制作中纬度地区东西向伸展区域的地图。地球上的陆地、人口、国家和经济发达地区大部分集中于中纬度地区,因此圆锥投影极受人们的青睐。地图投影的变形分布规律既是地图制作时地图投影选择的理论基础,而且也是 GIS 数据库建立时地图投影判定以及成果输出时地图投影选择的依据。

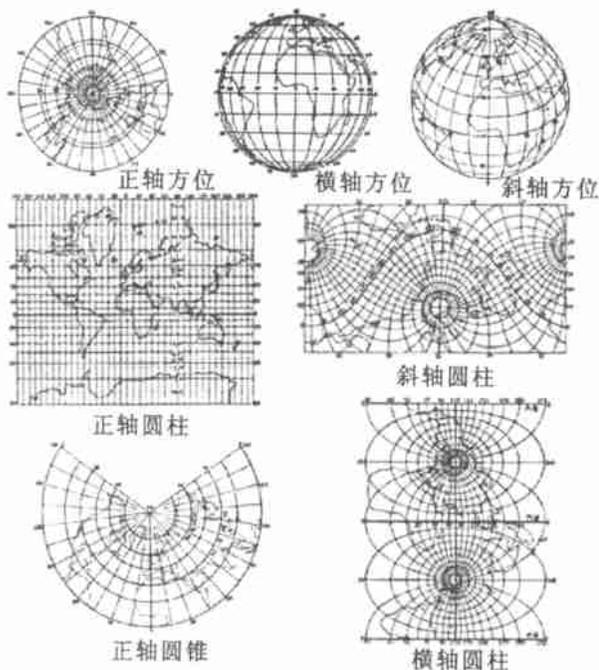


图 2 几何投影的经纬线形状

从图 2 可以看出,几何投影中,正轴投影经纬线形状比较简单,称为标准网。正轴方位投影,纬线为同心圆的半径,经线间的夹角等于相应的经度差。正轴圆柱投影,纬线为一组平行直线,经线与纬线垂直,且间隔相等的另外一组平行直线。正轴圆锥投影,纬线为同心圆弧,经线为圆心圆弧的半径,经线间的夹角与相应的经差成正比。

2.1.2 非几何投影

这类投影是根据某些条件用数学解析法确定球面与平

地图投影虽然产生长度、面积和方向(角度)变形,但保持某一种几何特性不发生变形也是可能的。角度无变形的称之为等角投影,面积无变形的称之为等积投影。但长度无变形的投影是不存在的,这是因为地图不是地球的同比例缩小。等角特性和等积特性是一对矛盾,在同一投影中不可能同时保持等积和等角特性,而且等角投影的面积变形较大,等积投影的角度变形较大。两者都发生变形但都不大的是任意投影。等长度投影虽然不存在,但在特定方向上保持长度不变在任意投影中则是有的,称之为等距投影。等角投影、等积投影和任意投影其实是地图投影按变形性质区分的另一种分类系统。

3 GIS 中的地图投影

3.1 资料地图投影的判别

任何一幅严格意义上的地图,都必须拥有特定的数学基础(地图投影、比例尺等)。换言之,所有地图都是先建立数学基础,然后将内容要素表示其上的。因此,对一幅地图来说,其所包含的地图投影是确定的。我国以前出版的地图,一般都不注明地图投影的种类和参数,但在建立地理数据库时,这些信息又是必需的,因此应设法获取之。

首先,可以通过查阅地图设计书获得。编写地图设计书是地图编制过程中的一个不可或缺的环节。地图设计书是编制地图的立法性文件,它对地图投影的选择以及地图概括、整饰、表示方法都作了具体而明确的规定。因此,查询编图大纲或直接询问地图作者可获得投影信息。

第二种途径是根据惯例判断。任何一幅地图的编制,其地图投影的选择是对多种影响因素综合评价后作出的。因此,可以根据地图投影选择的一般常识和规律判定地图投影的类型。我国位于中纬度地区,中国地图和分省地图常采用割圆锥投影。中国地图的中央经线常位于 105 E, 两条标准纬线分别是 27 N, 45 N, 而各省区的参数可根据地理位置和轮廓形状初步加以判定。这种判定即使不能完全准确地判出初值,其误差也是很小的。一般来说,大中比例尺地图多采用地形图的数学基础——高斯-克吕格投影,小比例尺图常采用习惯上已固定化了的数学基础,尤其是当其比例尺为国家基本地形图比例尺系列时,可直接判定为高斯-克吕格投影,因为这些比例尺跟基本地形图的比例尺相一致。编图时,选用地形图数学基础,既免去了重新展绘数学基础的工序,又保持了很高的点位精度。

第三种途径是借助量算地图投影的变形确定地图投影的类型。先在投影图上选取位置分布比较均匀的一些点,量算这些点上微小段经线和纬线的长度以及夹角,将之与地球仪上相应的长度和夹角相比,确定变形的性质和分布,从而间接判断投影类型和参数。

3.2 地图投影的选择

对 GIS 中的数据进行长度、高程、面积等定量计算,或将地理数据及其分析结果予以打印输出是 GIS 的基本功能。地理数据是空间数据,具有其确定的地理位置。地理位置可用不同的坐标系统来表达,不同的坐标系统是由不同的地图投影所造成的(将以经纬度刻划的地理坐标也看成是一种地图投影)。因此,GIS 制图输出时必须进行地图投影的选择。地图投影的选择受下列因素的影响^[3]。

目标区域的地理位置、轮廓形状: 主要关系到按投影的

构成方法分类的哪一类投影。世界地图常选用正圆柱、伪圆柱和多圆锥 3 类投影。我国出版的世界地图多采用等差分纬线多圆锥投影。半球地图常采用方位投影,东、西半球和南、北半球分别采用横轴和正轴方位投影。大洲图、大的国家图投影的选择必须考虑轮廓形状和地理位置。圆形地区一般采用方位投影,当制图区域是东西向延伸又在中纬度地区时,一般多采用正轴圆锥投影。因地球上大部分国家和地区集中于中纬度地区,因而圆锥投影的用途很广。我国是以中纬度地区为主体的国家,圆锥投影的应用十分普遍。例如,我国编制的各省区地图,一般都采用等积或等角圆锥投影。

输出地图的主题和用途: 关系到按变形性质分类的哪一类投影。行政区划图、人口密度图、经济地区一般要求面积正确,因此应选用等积投影。航海图、天气图、地形图,要求有正确的方向,一般采用等角投影。要求各种变形都不大的地图,可选用任意投影。

3.3 地图投影的变换

射影几何学认为: 在两曲面或两平面之间可能有各种各样的对应关系,其中有一种叫做点的对应,可用下列关系式表示之:

$$X = F_1(x, y), Y = F_2(x, y)$$

式中: X, Y ——曲面上一点的曲线坐标, x, y ——另一曲面上对应点的曲线坐标。对于两平面来说,此曲线坐标转变为笛卡儿直角坐标。

如果 x, y 是原来的投影(地图资料的投影)点的直角坐标, X, Y 是变换后的投影(新编地图的投影)点的直角坐标,那么上面关系式可视为由一种地图投影点的坐标变换为另一种地图投影点的坐标的基本方程式。实现一种地图投影点的坐标变换为另一种地图投影点的坐标,找出关系式,有各种方法^[4]。

反解变换法(或间接变换法): 通过中间过渡的方法,反解出原投影点的地理坐标 Q, λ 代入新投影中求的新投影之坐标。

若地图资料投影点的坐标方程式为

$$x = f_1(Q, \lambda), y = f_2(Q, \lambda) \quad (1)$$

新编地图投影点的坐标方程式为

$$X = \Phi_1(Q, \lambda), Y = \Phi_2(Q, \lambda) \quad (2)$$

按照这一方法,须将方程式(2)反解为

$$Q = Q(x, y), \lambda = \lambda(x, y) \quad (3)$$

然后把(4)代入新编地图投影方程式(3)中,即

$$X = \Phi_1[Q(x, y), \lambda(x, y)]$$

$$Y = \Phi_2[Q(x, y), \lambda(x, y)]$$

正解变换法(或直接变换法): 确定地图资料和新编地图上相应的直角坐标的直接联系。这种方法不要求反解出原有地图投影点的地理坐标 Q, λ 而直接引出两种投影点的直角坐标关系式,即直接建立(1)式的两种投影关系式。因此,它的表达式即为

$$X = F_1(x, y), Y = F_2(x, y)$$

综合变换法: 将反解变换法和正解变换法结合在一起的一种变换方法。通常是反解出原投影点的地理坐标之一的 Q 然后根据 Q, y 而求得新投影点的坐标 X, Y 。

数值变换法: 如果原投影点的直角坐标的解析式是不知道的,或不易求出两种投影点的平面直角坐标之间直接关系,这时可用近似方法分解关系式(1)为下列多项式:

$$X' = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3$$

$$Y' = b_{00} + b_{10}x + b_{01}y + b_{20}x^2 + b_{11}xy + b_{02}y^2 + b_{30}x^3 + b_{21}x^2y + b_{12}xy^2 + b_{03}y^3$$

为了解算上面三次多项式,需要在两投影之间选定地理坐标相应的 10 个点的平面直角坐标 x_k, y_i 和 X_k, Y_i , 组成线性方程组,即可求出系数 a_{ij}, b_{ij} 的值,然后可用方程组直接运算了。这些相应点应选择投影图形周围具有特征的点。应用这种方法,一般不是一次进行全部区域投影的变换,而是分块变换,这样可以保证变换的一定精度。

数值-解析变换法:在不知道原投影方程式时,可采用逼近多项式的方法,求原投影的地理坐标 Q, λ 代入(3)式中,实现两种投影的变换。其逼近多项式的形式为

$$Q = \sum_{i,j} a_{ij}x^i y^j, \lambda = \sum_{i,j} b_{ij}x^i y^j$$

式中: $i = 0, 1, 2, 3, \dots; j = 0, 1, 2, \dots; i + j = n$

以上 5 种方法,以第一种最为简单,尤其对于矢量数据的 GIS 来说更加实用。这是因为矢量数据以离散点坐标的形式存储的,对其进行多次投影转换运算不会改变数据的精度。但对栅格结构的数据来讲,图象每投影转换一次,都得对其进行重采样,因而要损失部分信息。投影之间坐标的差异越大,信息损失越严重。因此,遥感图象的纠正一般不转换为地理坐标,而是直接用第 4 种方法进行多项式拟合运算。下面以矢量数据结构为例,介绍 ARC/INFO 软件环境下地图投影的变换方法。

假如用户将一幅已知投影名称的地图采用手扶跟踪的

表 1 ARC/INFO 中用反解变换法进行地图投影变换示例

由 Albers 投影为地理坐标 (Geographic)	由 Geographic 投影为 Transvers
[ARC] project cover cov=alb cov=geo	[ARC] project cover cov=geo cov=tra
: input	: input
: projection albers	: projection geographic
: units meters	: units dd
: spheroid krasovsky	: spheroid krasovsky
: parameters	: parameters
1st standard parallel: [0 00 0 000]: 34 00 00	: output
2nd standard parallel: [0 00 0 000]: 41 00 00	: projection transvers
central meridian: [0 00 0 000]: 101 00 00	: units meters
latitude of projection's origin: [0 00 0 000]: 0	: spheroid krasovsky
false easting (meters): [0 00000]: 0	: parameters
false northing (meters): [0 00000]: 0	scale factor at central meridian: [1.00000]: 1
: output	central meridian: [0 00 0 000]: 103 00 00
: projection geographic	latitude of origin: [0 00 0 000]: 0 00 00
: units dd	false easting (meters): [0 00000]: 0
: spheroid krasovsky	false northing (meters): [0 00000]: 0
: parameters	: end
: end	

参考文献:

[1] 边馥苓. 地理信息系统原理和方法[M]. 北京: 测绘出版社, 1996
 [2] 张力果, 赵淑梅, 周占鳌. 地图学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990
 [3] 吴忠性, 杨启和. 在计算机辅助制图情况下地图投影变换的研究[A]. 地图投影论文集[C]. 北京: 测绘出版社, 1983

方式数字化, 该图便以 Coverage 或文件的形式储存于计算机中。显示该 Coverage 中任意点的坐标, 可以看出是数字化仪坐标系, 原点位于图的左上角, 坐标单位为英寸。因为数字化原图为己包含投影的地图, 而数字化过程仅仅是对原图以数字的形式“复制”, 因而自然保留了原有的投影系, 只是坐标系与原图相比发生了旋转、平移和缩放。因此只需对 Coverage 再实施一次旋转、平移和缩放, 便可以将其投影坐标“恢复”。要实现这一过程, 必须要有 4 个以上的投影坐标已知点。数字化开始时输入的 4 个以上的 Tic 点就是已知地理坐标的点, 将这些点的地理坐标按原图进行投影, 便可获得相应的投影坐标。在这些点的数字化坐标和投影坐标都已知的前提下, 对 Coverage 实施 Transform 即可将其原有的投影坐标系完全恢复。

欲将该 Coverage 的投影变换为另一种新的投影, 可采用反解变换法。首先, 使用 Project 命令将其投影为地理坐标, 然后再对地理坐标进行新的投影。例如, 假如原图的地图投影为等积圆锥投影 (Albers), 中央经线为 101°; 第一条标准纬线的纬度为 34°; 第二条标准纬线的纬度为 41°; 采用克拉索夫斯基椭球, 要将其变换为等角横轴圆柱投影 (Transvers), 可采用表 1 所列的子命令。

总之, 作为基本的 GIS 用户, 地图投影及其变换是必然会遇到的问题。只有对地图投影的基本知识具有较深刻的理解时, 才能恰当地使用并根据具体情况灵活地变换地图投影, 还可提高 GIS 数据的可视化效果。