

ArcGIS 中的坐标系统及投影变换应用研究

乔金海¹,许哲²,贾士军¹

(1. 国核电力规划设计研究院,北京 100094;2. Esri 中国(北京)有限公司,北京 100007)

摘 要:该文阐明了坐标系统的基本内容,包括地理坐标系统和投影坐标系统两个方面,分别从地球椭球体、大地基准面、地图投影三者的基本概念及它们之间的关系阐述了坐标系统及投影变换。最后,基于 ArcGIS 桌面产品说明坐标系统和投影变换在地理信息系统中的应用。

关键词:坐标系统;投影变换;ArcGIS

中图分类号:P226+.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2011)12-0162-03

0 引言

近年来,地理信息系统在各行各业已经得到广泛应用^[1],ArcGIS 作为最优秀的地理信息系统商业化软件在国际上得到一致肯定。地理信息系统的优势是对空间数据进行管理与处理,而空间数据最基本特征是基于空间坐标系统。因此地理信息系统中坐标系统的定义是其基础,分为地理坐标系统和投影坐标系统两个方面。地理信息系统中坐标系定义由基准面和地图投影两组参数确定,其中基准面的定义由特定椭球体及其对应的转换参数确定。本文从地球椭球体、大地基准面、地图投影三者的基本概念及它们之间的关系来阐述 ArcGIS 中的坐标系统及投影变换,同时基于 ArcGIS 桌面产品给出应用实例。

1 地球椭球体

众所周知地球表面是一个凸凹不平的不规则的球面,而对于地球测量而言,地表是一个无法用数学公式表达的曲面,这样的曲面不能作为测量和制图的基准面。假想一个扁率极小的椭圆,绕其短轴旋转所形成的规则椭球体称之为地球椭球体。地球椭球体表面是一个规则的数学表面,可以用数学公式表达,在测量和制图中用它替代地球的自然表面。

地球椭球体三要素为:a(长半径)、b(短半径)、f(扁率),长半径即赤道半径,短半径即极半径, $f=(a-b)/a$ 表示椭球体的扁平程度。地球椭球体的形状和大小取决于 a、b、f 这三个要素。地球椭球体围绕地轴旋转,地轴的北端称为地球的北极,南端称为南极;过地心与地轴垂直的平面与椭

球面的交线为赤道;过英国格林威治天文台旧址和地轴的平面与椭球面的交线称为本初子午线。地球的北极、南极、赤道和本初子午线等构成了地球椭球面的地理坐标系统的基本要素^[2]。可以看出地理坐标系统是球面坐标系统,以经度、纬度表示地面点的位置。

ArcGIS 桌面软件中提供了 30 种地球椭球体模型,一般常见的地球椭球体及参数见表 1 所列。

表 1 常见的地球椭球体数据表

椭球名称	年代	长半径	扁率	附注
克拉克	1880	6 378 249	1 293.459	英国
海福特	1910	6 378 388	1 297.0	1942 年国际第一个推荐值
克拉索夫斯基	1940	6 378 245	1 298.3	苏联
WGS	1960	6 378 156	1 298.3	美国国防部 1960 年世界大地坐标系

2 大地基准面

大地基准面设计用为最密合部份或全部大地水准面的数学模式,由椭球体本身及椭球体和地表上一点视为原点间之关系来定义。在地理信息系统中,基准面通过当地基准面向 WGS1984 的转换 7 参数来定义,转换通过相似变换方法实现^[3]。设 X_g, Y_g, Z_g 表示 WGS84 地心坐标系的三坐标轴, X_t, Y_t, Z_t 表示当地坐标系的三坐标轴,那么自定义基准面的 7 参数分别为:三个平移参数 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$,表示两坐标原点的平移值;三个旋转参数 $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$,表示当地坐标系旋转至与地心坐标系平行时,分别绕 X_t, Y_t, Z_t 的旋转角;比例校正因子,用于调整椭球大小。

因此基准面的定义可能理解为用地球椭球体最佳逼近地球某一个区域的表面,利用坐标轴的

收稿日期 2011-10-25

作者简介:乔金海(1980-),男,山东鄄城县人,博士,助理工程师,从事地理信息系统应用研究工作。

偏移及旋转,再通过比例校正因子调整地球椭球体大小,最终得到基准面。每个国家或地区均有各自的基准面。北京 54 坐标系、西安 80 坐标系是指我国的两个大地基准面^[4],北京 54 坐标系参照前苏联 1953 年起采用的克拉索夫斯基椭球体建立,西安 80 坐标系是 1978 年采用国际大地测量协会推荐的 1975 地球椭球体(IAG 75)建立的大地坐标系。WGS1984 基准面采用 WGS84 椭球体,是一个地心坐标系,即以地心作为椭球体中心,目前 GPS 测量数据多以 WGS1984 为基准。

3 投影坐标系系统

地球椭球体表面是曲面,其上任意一点的空间位置用地理坐标(λ, ϕ)表示,即经度和纬度。而我们常见到的对地理空间的表达是二维平面,平面上空间点的位置用直角坐标(x, y)或极坐标(r, θ)表示。在地图绘制时需要把曲面转化为平面,地图投影用来确定地理坐标与平面直角坐标或极坐标之间的关系,建立球面点与平面点之间函数关系^[5]。

从 ArcGIS 产品对北京 54 投影坐标系系统定义参数中可以看出,投影坐标系系统必定会有地理坐标系,投影所需要的必要条件是:第一、任何一种投影都必须基于一个椭球(地球椭球体);第二、将球面坐标转换为平面坐标的过程(投影算法)。可以认为投影坐标是地理坐标经过投影算法得到。

透视法是利用透视的关系,将地球面上的点投影到投影面(借助的几何面)上的一种投影方法。如假设地球按比例缩小成一个透明的地球仪般的球体,在其球心或球面、球外安置一个光源,将球面上的经纬线投影到球外的一个投影平面上。任何一种投影都存在一定的变形,按照变形性质将投影方法分类:等角投影、等积投影、等距投影和等方位投影。按照投影构成方法分类可分为方位、圆柱、圆锥投影三种,其中由于几何面与球面的关系位置不同,又分为正轴、横轴和斜轴三种。我国通常采用高斯—克吕格投影,是一种“等角横切圆柱投影”,详见文献[6]。为了控制变形,高斯—克吕格投影采用分带的方法。我国 1:2.5~1:50 万比例尺地形图多采用六度带高斯—克吕格投影,三度带高斯—克吕格投影多用于 1:1 万及更大比例尺地形图。

4 坐标系统及投影变换的应用

坐标系统和投影变换是地理信息系统最基础

的理论组成部分,下面基于 ArcGIS 9.2 说明坐标系统和投影变换的内在联系及其在桌面产品中的应用,分为 ArcMap、ArcCatalog、ArcToolBox 三大主要应用模块。

4.1 动态投影

动态投影是指改变 ArcMap 中工作区的空间参考或是对后加入到工作区中数据的投影变换。ArcMap 中工作区的坐标系统默认为首个加载到当前工作区的文件的坐标系统,后加入的数据,如与当前工作区坐标系统不同,会自动进行投影变换,将其投影变换到当前坐标系统下显示,但其实际坐标值没有改变,只是显示上的变化。最明显的例子是在导出数据时,可以选择按数据源的坐标系统导出,或者按当前工作区的坐标系统导出。

乡镇 shp 数据的坐标系统为北京 54 投影坐标系,在 ArcMap 中显示效果如图 1 所示。world30.shp 数据的坐标系统为 WGS84 坐标系。在 ArcMap 中先加载乡镇数据后再加入 world30 数据,进行动态投影后两数据叠加,可以明显发现动态投影后数据几何形态的变化,并且 ArcMap 状态栏上当前工作空间的坐标系统统一为北京 54 平面投影坐标系,反之先加载 world30 数据后加入乡镇数据,显示效果如图 2 所示。

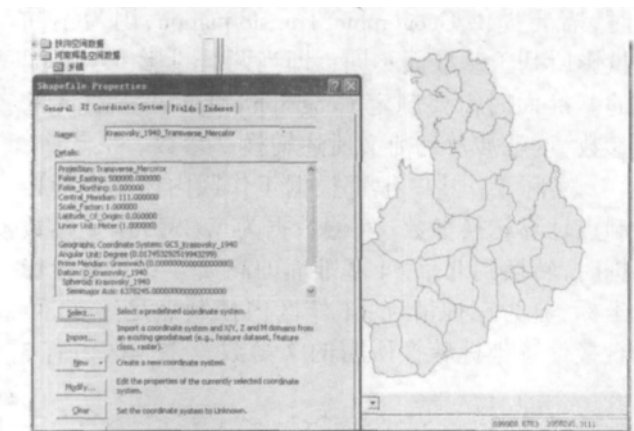


图 1 北京 54 投影坐标系数据单独显示几何形态图

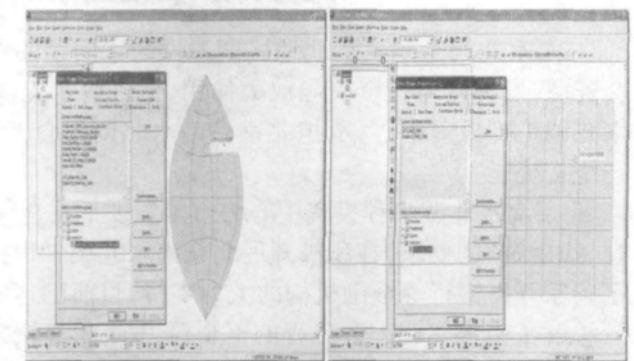


图 2 ArcMap 动态投影显示图

4.2 坐标系统描述

在 ArcCatalog 中可以设置数据坐标系统定义的描述,但在定义数据的坐标系统信息后,其数据本身没有进行投影变换。此处定义的数据坐标系统信息全部保存到与该数据同名的 *.prj 的文件中,如该文件被删除,在 ArcCatalog 中重新查看该文件的坐标信息,结果为空,并且数据的坐标值并没有发生实质上的投影变换,而只是对数据坐标系统信息的描述而已。用上节所述的数据进行实验,在 ArcCatalog 中更改 world30.shp 的坐标系统描述为乡镇数据的投影坐标系统描述,可以明显地发现更改数据的坐标系统描述并不能使数据做投影变换,从而使数据投影到平面上来,但该数据的 prj 文件已经记录了更改后的坐标系统描述。因此不能通过此方法时行投影变换,可以通过查看数据坐标系统描述了解原数据的坐标系统及投影变换的描述。

4.3 投影变换

在 ArcToolBox 中提供了投影变换相关的工具,当数据没有任何空间参考信息时,如果要对数据进行投影变换,首先需要先利用 Define Projection 工具为数据定义一个坐标系统,然后再利用 Project 工具对数据进行投影变换。常用的北京 54 和西安 80 坐标系统变换到其他坐标系统下时,需要提供 Geographic Transformation,因为不同投影所基于基准面不同,即当两个投影基于不同的基准面时需要制定 Geographic Transformation 的参数,这就涉及到前文所述转换 7 参数。

实际工作中一般都根据工作区内已知坐标控制点计算转换参数。实测数据为 WGS1984 坐标数据时,转换到北京 54 基准面的高斯-克吕格投影坐标,分为三种情况:工作区内控制点足够多,可直接计算坐标转换所需的 7 参数;工作区内有 3

个已知坐标控制点时,可用下式计算 WGS84 到北京 54 坐标的转换参数(A、B、C、D、E、F):

$$x_{54} = AX_{84} + BY_{84} + C$$

$$y_{54} = DX_{84} + EY_{84} + F$$

余下一点进行检验;只有一个已知控制点的情况下,用已知点的坐标之差作为平移参数,此时转换系数中 A、E 为 1 B、D 为 0,只有 X、Y 方向的平移值 C、F 未知,精度满足工作区范围较小的情况。

5 结论

坐标系的建立是地理信息系统的基础,包括地理坐标系统和投影坐标系统两个方面。地理信息系统中坐标系统由基准面和地图投影两组参数确定,基准面由特定椭球体及其对应的转换参数确定。本文从地球椭球体、大地基准面、地图投影的基本概念及它们之间的关系对坐标系统进行了阐述。地球椭球体是描述地球的基础。基准面在椭球体的基础上建立起来,椭球体与基准面之间的关系是一对多的关系,同一椭球体可以定义不同的基准面。投影变换最终将地球面转化为平面。通过坐标系统及投影变换在 ArcGIS 桌面产品中的应用研究,进一步证实了地球椭球体、基准面及地图投影的本质含义。

参考文献

- [1] 郭伦,刘瑜,张晶,等.地理信息系统—原理、方法和应用[M].北京:科学出版社,2001.
- [2] 朱华统.大地坐标系的建立[M].北京:测绘出版社,1986.
- [3] 阎正.城市地理信息系统标准化指南[M].北京:科学出版社,1998.
- [4] 魏子卿.我国大地坐标系的换代问题[J].武汉大学学报(信息科学版),2003,28(2):138-143.
- [5] 管志杰,赵政.地图投影变换及其在 GIS 中的应用[J].计算机工程与应用,2000,(6):50-52.
- [6] 李江.地图投影在地理信息系统中的作用及配置研究[J].嘉应大学学报(自然科学),1999,(6):81-84.

北京南水北调工程投资中心成立

南水北调是解决华北地区资源性缺水问题的重大工程,为拓宽水利基础设施投入渠道,充分利用社会资源,发挥政府投资引导放大作用,促进南水北调配套工程建设,经北京市委市政府批准,成立北京南水北调工程投资中心,承担北京市南水北调配套工程的投融资工作,并对银行贷款及债券等金融产品进行统贷统还。

北京南水北调工程投资中心为市国资委下属全民所有制一级企业。按照投资中心管委会提出的“边组建、边融资”的要求,在积极开展北京南水北调工程投资中心筹备工作的同时,先期进行了融资工作,得到了国家开发银行等金融机构的大力支持,目前已达成 22.3 亿元的贷款支持、100 余亿元融资合作意向,有效缓解了南水北调配套工程的资金压力。筹集资金将主要用于北京市南水北调配套工程建设,第一批到位融资资金主要用于即将开工建设的东干渠工程及团城湖调节池工程。贷款本息将利用南水北调水费收入和水资源费偿还。

Study on Application of Coordinate System and Projection Transformation in ArcGIS

..... Qiao Jinhai, Xu Zhe, Jia Shijun (162)

Abstract: The article sets forth the basic contents of coordinate system including the geographical coordinate system and projection coordinate system, sets forth the coordinate system and projection transformation separately from three basic conceptions of earth ellipsoid, geodetic datum and map projection, and the relationship among the three, and finally illustrates the application of the coordinate system and projection transformation in the geographical information system based on ArcGIS desktop product.

Keywords: coordinate system, projection system, ArcGIS

.....

Excellent Journal of the Ministry of Housing and Urban-Rural Development of PRC

Urban Roads, Bridges & Flood Control

Monthly

Number 12, 2011 (Total Number 151)

Publication on December 15th, 2011

<http://www.roadbridgeflood.com>

Start publication in 1984 Scope of issue: Issue at home and abroad

Department responsible for the work: the Construction Ministry in PRC

Sponsor: Shanghai Municipal Engineering Design & Research Institute

Editor & issue: Editorial department of "Urban Roads, Bridges & Flood Control"

Editor-in-chief: Li Fen

Address: No.901 Zhongshan Bei Er Road, Shanghai

P.C.: 200092

Tel.: (021)51298850

Fax: (021)51298850

E-mail: yang_jh.fz@smedi.com

ISSN 1009-7716

CN 31-1602/U

Domestic price: 15 yuan RMB

**Journal of Municipal Engineering Branch of China Society of Civil Engineering
and Municipal Design Branch of China Society of Prospecting Design**