

# 解放大脑

## ——经纬度坐标自动重投影至常用投影坐标系

崔欣

**摘要：**非测绘专业以及学艺不精的测绘人员对经纬度、投影带、带号、假东、假北、比例因子、高斯克吕格 3 度分带投影、高斯克吕格 6 度分带投影、墨卡托投影、通用横轴墨卡托投影等专业名词通常不大熟悉，而现在工程数据来源丰富，坐标系也不统一，经常需要从经纬度数据转换到投影坐标系，这就让人越发不知所措。即使有专业 GIS 软件，也不知道如何选取参数，更不了解参数的影响，只能求助专业人员，而这个工作本身技术含量并不高，仅需要少数容易理解的参数便可以实现自动转换，从而解放很多人的大脑，将时间和精力放在更需要的地方。

## 1 背景

在设计院这样专业众多，根据设计需求和用途，又需要采用不同坐标系的单位，其实只有长期从事测绘工作的专业人员才会对坐标系信息的相关知识信手拈来，轻松容易的进行坐标转换，大多数工程勘察设计人员虽然用了坐标，但对于所谓的投影方式、分带、假东、假北一概不明白，在独自需要将经纬度坐标的数据转换到工程项目使用的投影坐标系时感到棘手，看不懂专业软件参数设置，不明白坐标系名称命名的含义。可能只是一个坐标点的转换，就需要跨专业找人帮忙，一来一回，许多时间和精力都耽搁了。还有许多工程设计人员在踏勘现场

习惯采用奥维等软件提示目的地、标注现场调绘信息，在从手机中提取出来时不知道怎样才能将数据转换到工程项目的那个投影坐标系中。更棘手的是，长输管道通常上千公里，一个项目跨几个投影带都是常有的事，虽然采用的投影方式相同，但投影坐标系涉及好几个，一个不留神数据就放错位置了。

考虑到非测绘专业人员对坐标系专业词汇的了解有限，有些甚至可以用更直白的方式表达，而国内外工程项目常用的投影方式有限，针对这部分情况，可以根据经纬度下数据本身的信息加上目标投影坐标系的投影方式、假东是否含带号等三两个关键信息，编制对数据进行自动裁切和重投影的 **FME** 工具，节约人力成本，解放非测绘专业人员。

## 2 原理

长输管道国内项目常用 **CGCS2000** 高斯克吕格 3 度投影坐标系，偶尔用 6 度投影坐标系，而国外项目常用 **WGS84 UTM** 投影坐标系，因此这些地心坐标系是可以利用地理坐标的经纬度信息、目标坐标系的大地基准和投影方式，自动计算坐标点所在投影带的中央经线，获取投影坐标系参数，实施二维坐标转换。对于坐标范围跨带的的数据，在获取投影坐标系参数后，构建每个投影带的范围，对数据进行裁切，裁切后的数据按照所处位置自动投影，实现坐标转换。

本工具仅需要支持国际标准坐标系中 **WGS84 (EPSG: 4326)** 和 **CGCS2000 (EPSG: 4490)** 两种地理坐标系自动转换到 **WGS 84 UTM** 投影坐标系、**CGCS2000** 高斯 3 度和 6 度投影坐标系即可满足绝大多数工程项目的需求。而 **WGS84** 和 **CGCS2000** 大地基准面都属于地心参考系，因此可以自动实现高精度的转换。

在已知经纬度( $l$ 为经度)的情况下:

1) CGCS2000 高斯 6 度分带投影坐标系的中央经线计算公式:

$$n = ([l/6] + 1) \times 6 - 3 \quad (1)$$

或

$$n = L_0 \times 6 - 3 \quad (2)$$

对应的带号为

$$L_0 = [l/6] + 1 \quad (3)$$

2) CGCS2000 高斯 3 度分带投影坐标系的中央经线计算公式:

$$n = \left[ \frac{l}{3} + 0.5 \right] \times 3 \quad (4)$$

或

$$n = L_0 \times 3 \quad (5)$$

对应的带号为

$$L_0 = \left[ \frac{l}{3} + 0.5 \right] \quad (6)$$

3) WGS84 UTM 投影坐标系的中央经线计算公式:

$$n = ([l + 180]/6 + 1) \times 6 - 3 \quad (7)$$

或

$$n = L_0 \times 6 - 183 \quad (8)$$

对应的带号为

$$L_0 = [l + 180]/6 + 1 \quad (9)$$

通过纬度值确认南北半球, 北半球为正值, 南半球为负值。通过经度值确定东西经, 西经为负, 东经为正。

### 3 转换流程

#### 3.1 总体思路

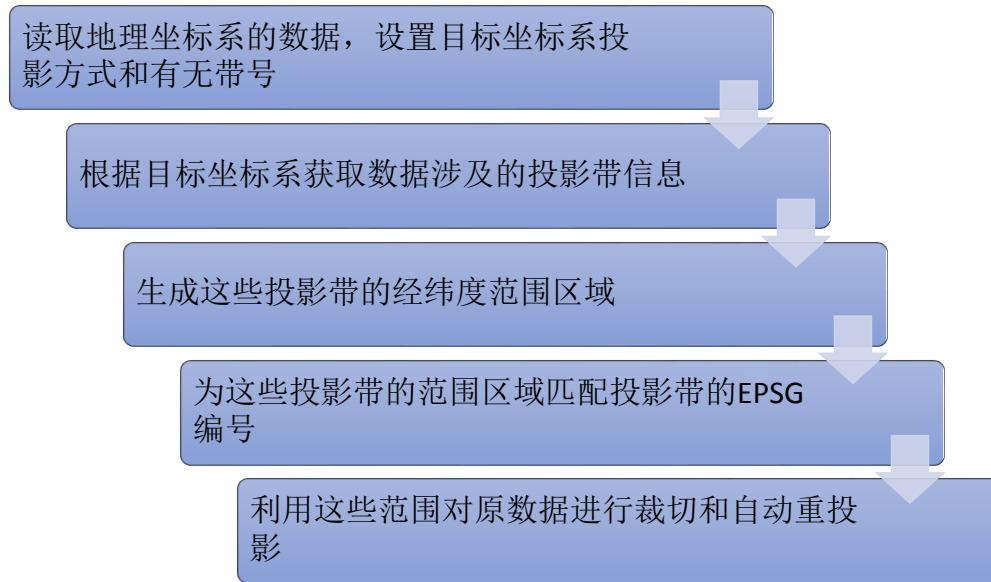


图 1 处理流程图

数据格式可能有多种，但自动重投影的操作是相同的。考虑到工程项目中搜集了不少 Shapefile 格式的数据，因此制作了 shapefile 格式到 shapefile 的自动重投影工具。具体 FME 流程如下图所示。

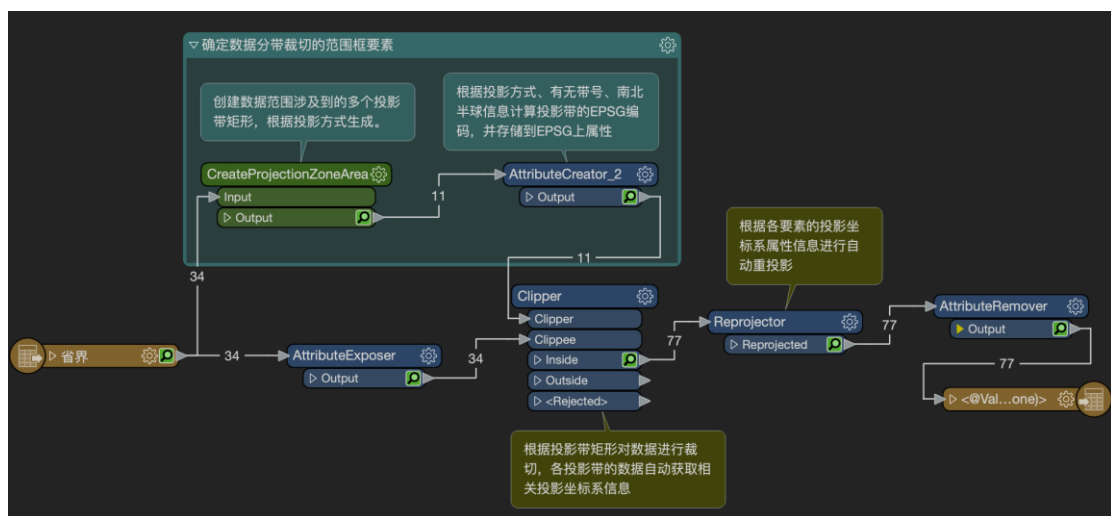


图 2 FME 工具

### 3.2 生成投影带范围

自动转换的关键是需要自动获得需要向哪个坐标系进行转换以及该投影坐标系的范围。

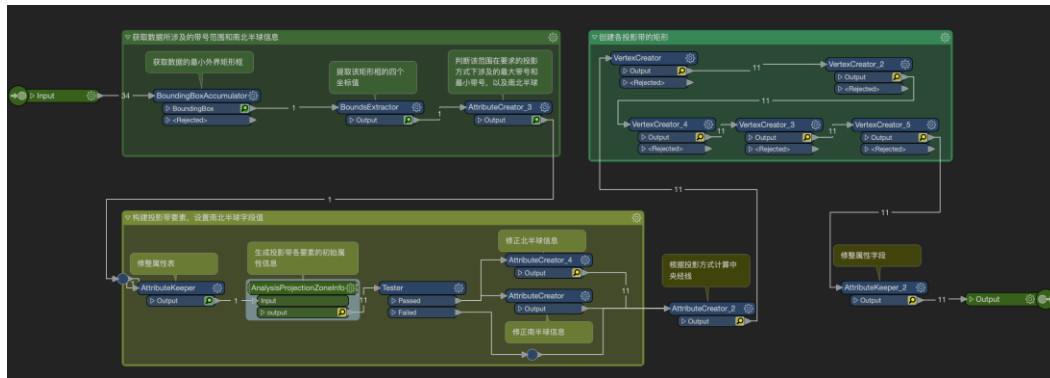


图 3 生成投影带范围区域自定义转换器

#### 3.2.1 初步信息

根据数据的最小外界矩形和目标坐标系的投影方式推算数据涉及的南北半球、投影带范围和带宽。

通过源数据可以获得数据最小外界矩形，由此可知道数据的范围。最小外界矩形信息用 Xmin、Xmax、Ymin、Ymax、Zmin、Zmax 这六个参数描述，因此按照公式(3)、(6)、(9)可以获得在目标投影方式下涉及到的投影带范围：

$$ZoneMin \begin{cases} \lfloor Xmin \div 3 + 0.5 \rfloor, & \text{for GK3} \\ \lfloor Xmin \div 6 \rfloor + 1, & \text{for GK6} \\ \lfloor (Xmin + 180) \div 6 \rfloor + 1, & \text{for UTM} \end{cases}$$

$$ZoneMax \begin{cases} \lfloor Xmax \div 3 + 0.5 \rfloor, & \text{for GK3} \\ \lfloor Xmax \div 6 \rfloor + 1, & \text{for GK6} \\ \lfloor (Xmax + 180) \div 6 \rfloor + 1, & \text{for UTM} \end{cases}$$

目标投影方式的带宽：

$$ZoneWidth \begin{cases} 3, & \text{for GK3} \\ 6, & \text{for GK6 和 UTM} \end{cases}$$

南北半球信息:

$$NY \begin{cases} \text{北半球}, & \text{for } Ymin \geq 0 \\ \text{南半球}, & \text{for } Ymax \leq 0 \\ \text{南北半球}, & \text{for 其他情况} \end{cases}$$

上述四个属性值的创建和计算使用 **AttributeCreator** 即可完成,赋值采用条件赋值方式即可。

### 3.2.2 构建投影带要素

根据投影带带号范围和南北半球信息为每个投影带新建一个不含几何结构的要素,初始属性信息包括带号、南北半球。

对于数据范围全部在北半球或者南半球的源数据,对应生成的投影带要素数量为 $(ZoneMax-ZoneMin)+1$ 。对于数据范围横跨南北两个半球的源数据,对应生成的投影带要素数量则为 $(ZoneMax-ZoneMin)+1$  的两倍。因为同一条经线在南北两个半球分别为两个投影带的中央经线,且分属南北半球的这两个投影带的带号数字也相同,需要南北半球信息确定投影坐标系,因此构建投影带要素时初始信息需要带号(仅包含数字部分)和南北半球两个信息来唯一确定。

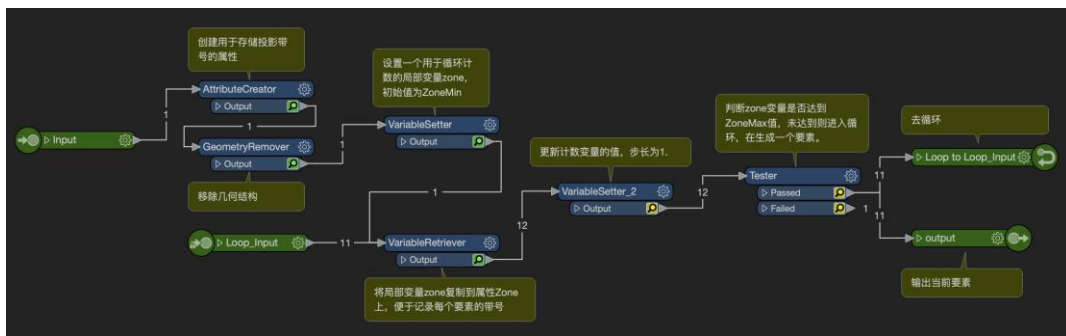


图 4 利用循环创建要素

在 FME 中创建投影带要素需要从无到有，因此在自定义转换器中利用循环进行创建，从 ZoneMin 到 ZoneMax，步长为 1。当数据横跨南北半球时，需要复制一份投影带要素并将两组相同要素的南北半球信息分别设置为南半球和北半球。

### 3.2.3 计算中央经线

根据投影带号和投影方式计算中央经线。使用转换器 AttributeCreator 创建每个投影带要素的中央经线属性，并按照公式(2)、(5)、(8) 赋值：

$$CentralMeridian \begin{cases} Zone * ZoneWidth, & \text{for GK3} \\ Zone * ZoneWidth - 3 & \text{for GK6} \\ Zone * ZoneWidth - 183, & \text{for UTM} \end{cases}$$

### 3.2.4 绘制投影带范围

根据中央经线、投影带宽度、最大 y 值和最小 y 值绘制每个投影带的经纬度矩形。使用 VertexCreator 转换器依次创建四个角点 (ZoneXmin, ZoneYmin)、(ZoneXmin, ZoneYmax)、(ZoneXmax, ZoneYmax)、(ZoneXmax, ZoneYmin)。为了使创建的图形闭合，需再多使用一次 VertexCreator 转换器，坐标为 (ZoneXmin, ZoneYmin)，最终得到闭合的图形范围。

## 3.3 计算 EPSG 编号

EPSG 全称为 European Petroleum Survey Group，成立于 1986 年，在 2005 年重组为 OGP (International Association of Oil & Gas Producers)，负责维护并发布坐标参考系统的数据集参数以及坐标转换描述。目前绝大多数椭球体、投影坐标系等都在 EPSG 进行了注册，分配了相应的 ID，这个 ID 便是 EPSG 编号。而

OGC 标准中空间参考系统的 SRID (Spatial Reference System Identifier) 与 EPSG 编号相一致, 因此符合 OGC 标准的数据其坐标系统都具有对应 EPSG 编号, 通过 EPSG 编号可以确定唯一的坐标系统。

在 FME 中, 坐标系变量可以通过字符串 “EPSG:<EPSG Code>” 直接确定对应的坐标系统, 即在 Reprojector 转换器中目标坐标系参数可以直接填写对应的 EPSG 编号。而对于多个要素需要转换到不同坐标系, 只需要将每个要素的目标坐标系的 EPSG 编号存储在属性中, 在 Reprojector 转换器的 **Destination Coordinate System** 参数中选择对应的属性名称即可实现批量自动转换。因此, 对于自动重投影工作来说, 另一个要点是确定每个投影带要素的 EPSG 编号。

幸运的是, 在 EPSG 数据库中, CGCS2000 高斯克吕格三度分带投影坐标系和六度分带投影坐标系、WGS84 UTM 投影坐标系的编号都是连续且有序的 (根据带号从小到大依次编号), 即:

- 1) EPSG: 4491~4501, 对应 CGCS2000 高斯克吕格六度分带投影坐标系, 东坐标有带号, 北半球坐标系;
- 2) EPSG: 4502~4512, 对应 CGCS2000 高斯克吕格六度分带投影坐标系, 东坐标无带号, 北半球坐标系;
- 3) EPSG: 4513~4533, 对应 CGCS2000 高斯克吕格三度分带投影坐标系, 东坐标有带号, 北半球坐标系;
- 4) EPSG: 4534~4554, 对应 CGCS2000 高斯克吕格六度分带投影坐标系, 东坐标无带号, 北半球坐标系;
- 5) EPSG: 32601~32660, 对应 WGS84 UTM 投影坐标系, 东坐标无带号, 北半球坐标系;



6) EPSG: 32701~32760, 对应 WGS84 UTM 投影坐标系, 东坐标无带号, 南半球坐标系;

这也是为什么投影带要素的初始信息中包含了带号、南北半球信息, 加上工具运行之初要求给出的投影方式、有无投影带号两个参数, 便可计算得到投影坐标系的 EPSG 编号:

$$EPSG \left\{ \begin{array}{l} 4478 + Zone, \quad for\ GK6 \& \text{有带号}\& \text{北半球} \\ 4489 + Zone, \quad for\ GK6 \& \text{无带号}\& \text{北半球} \\ 4488 + Zone, \quad for\ GK3 \& \text{有带号}\& \text{北半球} \\ 4509 + Zone, \quad for\ GK63\& \text{无带号}\& \text{北半球} \\ 32600 + Zone, \quad for\ UTM \& \text{无带号}\& \text{北半球} \\ 32700 + Zone, \quad for\ UTM \& \text{无带号}\& \text{南半球} \end{array} \right.$$

在计算出来的编号前加上字符串“EPSG:”即得到所需要的属性值。

### 3.4 裁切数据

裁切数据使用 Clipper 转换器, 源数据是其 Clippee, 而投影带要素是其 Clipper。**Clipper Type** 选择“Multiple Clippers”。Inside 端口输出的要素是在每个 Clipper 范围内的 Clippees, 即为在每个投影带中的要素集合。利用 Clipper 属性合并参数即可获得每个要素的目标投影坐标系信息, 因此需要勾选 **Merge Attributes**, 在 Clipper 的属性前加上前缀字段“CSInfo\_”以防止冲突。。

由于裁切数据可能会使数据的几何结构由原来简单的单线、单面要素变为多线、多面要素。在 FME 中 Multit-几何结构和对应单个几何结构的 FME type 是相同的, 当输出文件是 Shapefile 等一个文件只能存储一种类型的单图层文件时, 为了保证所有要素都能输出, 可利用 FME type 属性指导输出路径, 而不是利用 Geometry type 属性。FME type 是 FME 内置属性, 因此需要使用 Attribute Exposer

转换器进行暴露后方可在数据流中调用。

### 3.5 批量重投影

由于原坐标系和目标坐标系均为地心坐标系,因此使用 **Reprojector** 转换器即可满足需求。前述流程已经确定了每个要素的目标投影坐标系,在 **Reprojector** 转换器的设置对话框中将 **Destination Coordinate System** 参数选择为“**CSInfo\_EPSG**”属性即可进行批量自动的重投影转换了。

## 4 应用

长输管道工程项目线路设计工作以行政区划的县界划分设计段,而管道设计院的工程项目遍布全国,因此数据库中**行政区划**图层为全国范围数据,存储在 **CGCS2000** 地理坐标系中。对于在投影坐标系中进行设计工作的设计人员来说,需要将所需行政区划数据转换到投影坐标系中,而长输管道通常上千公里长,跨多个投影带,此部分工作将花费不少精力进行选择 and 投影,甚至需要安装平时都用不到的专业 **GIS** 软件。经纬度坐标自动重投影工具转换全国省级行政区划数据到 **CGCS2000** 高斯克吕格三度投影坐标仅需 4 秒钟,既不需要专业的人员操作,也不需要安装庞大复杂且昂贵的 **GIS** 软件。

对于从互联网获取的 **POI** 管道敏感兴趣点信息,一般都存储在 **WGS84** 经纬度坐标中,对于只习惯于使用 **CAD** 的设计人员来说,本工具自动重投影后的数据增加其 **CAD** 样式便可输出到 **CAD** 格式中,便于设计人员使用。

对于不懂坐标的设计人员,探勘时也会在手机地图(奥维地图或踏勘数据采集终端)上标注一些信息,这些信息也均是在 **WGS84** 经纬度坐标中的,而工程

项目数据资料和最终成果的坐标系均要求在投影坐标系中,经纬度坐标自动重投影工具可大大减轻设计人员在上述问题上花费的时间和精力。