

UTM 投影和 Gauss-Krüger 投影及其变换实现

周朝宪^{1,2,3}, 房志峰⁴, 于彩虹^{1,2}, 张云国^{1,2}, 高应波⁵, 燕丹晨⁶, 杨 强^{1,2}

- (1. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012; 2. 中色地科矿产勘查股份有限公司, 北京 100012;
3. 北京矿产地质研究院, 北京 100012; 4. 山东政法学院信息科学系, 山东济南 250014;
5. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 6. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

[摘要] Gauss-Krüger 投影是圆柱横正轴切地球椭球体正形投影, UTM 投影为圆柱横正轴割地球椭球体投影, 前者投影后中央经线长度不变, 后者从中央经线圆作为起始投影, 比例因子 k 为 0.999 6 倍, 向周边随着距离增大, 投影后的长度、面积等逐渐增大。UTM 投影在距离中央经线 179.776 km (WGS 84 椭球体), 即经度差 $1.620 6^\circ$ 处, 即为两条标准割线圆的位置, 该割线圆在 UTM 投影图上保持长度不变。从标准割线圆向外, 长度以及面积畸变逐渐变大, 向南北两极收敛角也逐渐增大。为保证投影精度在一定范围内, UTM 投影只适用于 80°S 和 84°N 的纬度范围内。本文还探讨了使用 MapInfo® 简单快捷地实现大地坐标和 UTM 投影以及 Gauss-Krüger 投影坐标之间的大批量数据的相互转换方法。

[关键词] UTM 投影 Gauss-Krüger 投影 变换实现 MapInfo®

[中图分类号] P28 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2013)05-0882-8

Zhou Chao-xian, Fang Zhi-feng, Yu Cai-hong, Zhang Yun-guo, Gao Ying-bo, Yan Dan-chen, Yang Qiang. UTM projection and Gauss-Krüger projection and their conversion [J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49(5): 0882-0889.

1 引言

所谓投影, 包括 2 部分内容, 一是对地球这个椭球体参数最佳近似的理论化; 二是把这个理论化的地球椭球体上的坐标点 (大地坐标系的经纬度) 转到 (主要通过解析变换、数值变换和数值解析变换) (杨启和, 1986; 吕晓华等, 2002; 夏兰芳等, 2007) 平面坐标 (即方里网) 上。投影变换对于航天、航空、航海、建筑、军事和地质起着至关重要的作用, 现实生活也一刻离不开投影变换。几百年来, 人们发明了各种投影算法, 如面投影、线投影和角度投影 (杨启和, 1981, 1994a, 1994b; Snyder, 1987) 等, 但是各种投影都有其优点也都有其缺点。无法保证角度、方向、长度和面积等同时不失真, 只能顾及一部分而尽力抑制其他部分的失真。如 Gerarus Mercator 于 1569 年提出了墨卡托 (Mercator) 投影, 尽管其投影后的长度和面积都失真, 并且从赤道到两极畸变越

来越大, 但是保证了在投影后任意一点上的角度和形状不失真, 如果循着墨卡托投影图上两点间的直线航行, 方向不变可以一直到达目的地, 因此它对飞行器和船舰在航行中的定位、确定航向都具有有利条件, 给航行者带来很大方便。墨卡托投影图很利于导航, 省去了大量畸变矫正计算。

在此基础上, 人们逐渐发展出横墨卡托 (Transverse Mercator, 即 TM) 投影, TM 投影的一个发展方向是正切的 Gauss-Krüger (高斯-克吕格) 投影, 为前苏联、中国和德国等所采用, 随后又发展出另一种投影, 即横正轴割 UTM (Universal Transverse Mercator, 通用横墨卡托) 投影, 现在为大部分国家所采用。尤其随着地勘行业“走出去”的实施和加快, 我们必须熟悉国外通用 UTM 坐标。另外, GPS 系统也越来越广泛地使用于国内建设, 如国内近些年开始广泛使用的 GPS 接收机, 再者, 对任一点的大地经纬度坐标和 Gauss-Krüger 投影之间的转换比较麻

[收稿日期] 2012-12-01; [修订日期] 2013-03-20; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 中央财政国外矿产资源风险勘查基金项目 (编号 10254B004, 10201B004 和 101001A025) 资助。

[第一作者] 周朝宪 (1970 年-), 男, 高级工程师, 主要从事矿床地质地球化学研究、矿产勘查和矿山地质工作。E-mail: czhou28@126.com。

烦,尤其是到一个新区工作。而对任一点的大地经纬度坐标和 UTM 坐标之间转换相比十分简便,不需要各个地区的特定校正参数。UTM 投影替代 Gauss-Krüger 投影已成大势所趋(沈本忠,1986;Li *et al.*, 2003)。另外,我国的卫星数据一般采用 UTM 投影。这些都对我们熟悉和掌握 UTM 坐标提出了迫切要求,要求我们了解 UTM 投影,掌握其和大地坐标以及 Gauss-Krüger 投影坐标之间的相互转换。但是,现在的国内教科书,如2006年版的《控制测量学》(孔祥元等,2006),也往往对 UTM 投影介绍得远不如 Gauss-Krüger 投影详细。另外,我们国内在对 UTM 投影和 Gauss-Krüger 投影原理的理解上往往有些偏差,在投影变换使用上还有些差距。本文在此试图对此进行简单探讨。

2 Gauss-Krüger 投影

无论 Gauss-Krüger 投影还是 UTM 投影都是 TM 投影, TM 投影不是球心透视横圆柱投影(王正梅等,2002)^①,在百度百科^②上也把 Mercator 错误解释

成球心透视横圆柱投影。因为前者是等角度投影,而后者是任意投影,不能保证其等角度。

无论是 UTM 投影还是 Gauss-Krüger 投影都是等角投影(又称正形投影),即投影后的任意一点上长度与方向无关,依然保持投影后该点的微小图形相似性。

Gauss-Krüger 投影由 C. F. Gauss 在进行汉诺威地区的测量中提出(使用双投影,即从椭球体投影到球体,然后投影到平面),并由 J. H. Krüger 于1912年对其进行了改正,采用单一等积投影(A single equivalent projection),并做了进一步数学推导而完成。Gauss-Krüger 投影为椭圆柱横轴正切地球椭球体,椭圆柱的中心通过椭球体。从而将椭球体上的点投影到椭圆柱上。正切线为中央经线,将中央经线两侧各3度(即6度带投影)和1.5度(即3度带投影)作为一个投影带进行投影。见图1。

由此, Gauss-Krüger 投影条件如下(杨启和,1981;王正梅,2002;孔祥元等,2006):

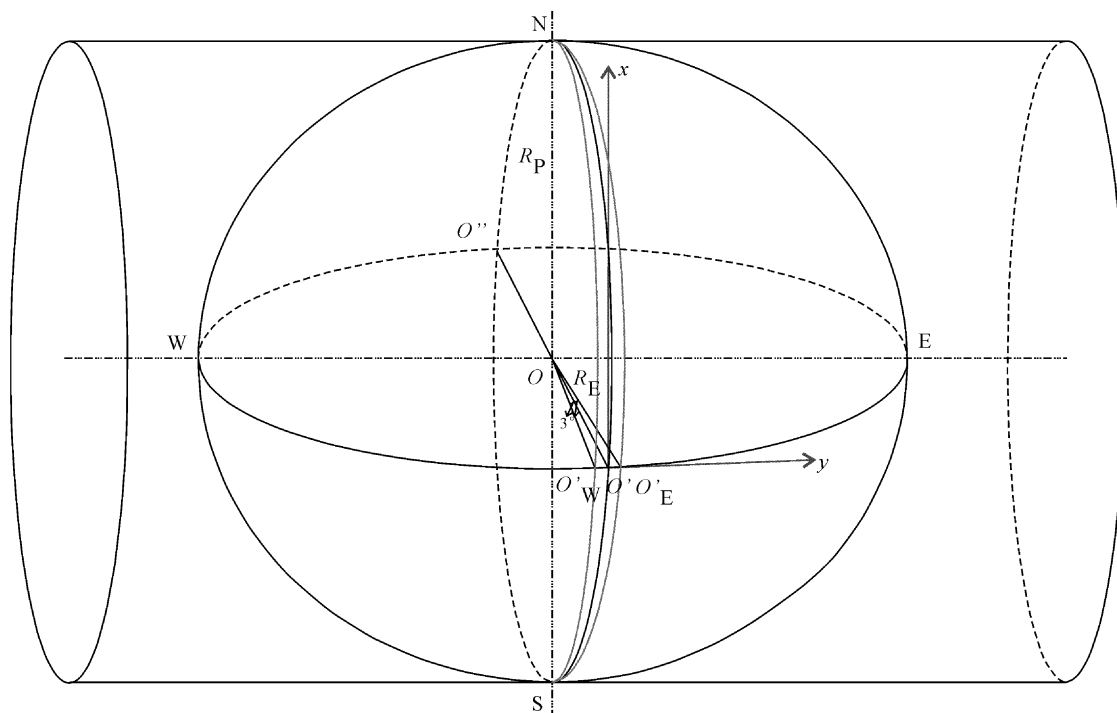


图1 Gauss-Krüger 投影

Fig. 1 Gauss-Krüger projection

椭圆柱正切于地球椭球体,椭圆柱的轴心线在地球椭球体赤道平面上,并通过地心质点;蓝色部分为1个6度带;

O' 为 Gauss-Krüger 投影带的真坐标原点

The transverse elliptic cylinder is tangent to the reference earth ellipsoid. The axial lead of the elliptic cylinder passes through the mass center of the reference earth ellipsoid and falls within its equator plan. The part circled by the blue solid line represents a six degree zone. O' is the true origin of coordinate of the Gauss-Krüger projection zone

(1) 中央经线和赤道投影为互相垂直的直线, 并为其经纬线的对称轴, 离开赤道的纬线是弧线, 凸向赤道。离开中央经线的其他经线是弧形, 凹向中央经线。离开中央经线越远, 变形越大。

(2) 投影后无角度变形, 即正形投影。

(3) 中央经线投影后无长度变形, 即中央经线圆为标准经线圆 (standard line)。

据此可知其数学公式。其数学公式在很多文献中都有论述, 如杨启和 (1981)、孔祥元等 (2006)、Deakin *et al.* (2010)、Kawase (2011) 和 Dorrer (2003), 故不在此叙述。

3 UTM 投影

UTM 投影为美国陆军工程兵测绘局 (Army Map Service, US Army Corps of Engineers) 于 20 世纪 40 年代提出 (Langley, 1998)。当时对美国本土采用 Clarke 1866 椭球体, 对全球其它地方, 包括夏威夷, 采用国际椭球体 (International Ellipsoid)。韩国建等 (1994) 所说的 UTM 采用 Clarke 1866 椭球体是不严谨的。UTM 投影现在采用 WGS (World Geodetic System) 84 椭球体 (其最新版为 2004 年修订的 EGM (Earth Gravitational Model) 96^③)。

UTM 投影为圆柱横正轴割地球椭球体, 圆柱的中心线位于椭球体赤道面上, 且通过椭球体质点, 从而将椭球体上的点投影到圆柱上。两条割线圆在 UTM 投影图上长度不变, 即 2 条标准经线圆。两条割线圆之正中间为中央经线圆, 中央经线投影后的长度为其投影前的 0.999 6 倍, 比例因子 k = 投影后的长度/投影前的实际长度。则标准割线和中央经线的经度差为 $1.620 6^\circ$, 即 $1^\circ 37' 14.244''$ 。参见图 2。具体推导为:

中央经线投影的比例因子 $k = 0.999 6$, 即为中央经线圆 (通过地球椭球体质点 O 、南北极 N 和 S 以及 O'_c 的圆) 圆周长的 0.999 6 倍为其同心圆 (即弧段 $N_{\text{标}O}-O'_T-S_{\text{标}O}$, 圆心为地球椭球体质点 O , 叫做中央标准圆, 即图 2 中圆心为 O 点的红色圆) 圆周长。这样 $N_{\text{标}O}-O$ 的长度 (表示为 $N_{\text{标}O}O$, 下同, 略) = 地球极半径 R_p (即 NO) 的 0.999 6 倍。 $N_{\text{标}O}O = N_{\text{标}E}O_{\text{标}E}$ ($O_{\text{标}E}$ 为线 $N_{\text{标}E}S_{\text{标}E}$ 和线 WE 的交点), 则:

$$\sin(\alpha) = N_{\text{标}E}O_{\text{标}E}/R_{\text{标}} = N_{\text{标}O}O/R_{\text{标}} = 0.999 6 \times R_p/R_{\text{标}}$$

式中 α 为角 $N_{\text{标}E}-O-E$, 即点 $N_{\text{标}E}$ 的纬度。 $R_{\text{标}}$ 为标准割线圆上 (也在地球椭球体表面上) $N_{\text{标}E}$ 的地

球椭球体半径。

由于纬度很高, 接近 90° , 故可做近似 $R_p = R_{\text{标}}$, 则

$$\sin(\alpha) = 0.999 6 \times R_p/R_{\text{标}} = 0.999 6, \text{ 则} \\ \alpha = 88.379 4^\circ$$

可以算出横正轴割圆柱与地球椭球体割线的纬度为 $88.379 4^\circ N$ 和 $88.3794^\circ S$ (如图 2)。而一些学者, 如韩国建等 (1994)、孙立东 (2008)、陈悟天 (2010)、刘明波等 (2010) 和熊忠招 (2010) 等认为, 圆柱割地球于 $80^\circ S$ 和 $84^\circ N$ 。从我们的计算来看, 他们的此种观点是错误的。退一步讲, 如果他们的观点是对的, 则正轴割的条件不能成立, 即圆柱中心线不在椭球体赤道面上并通过椭球体质点。何况这样的话, 也不符合 UTM 的投影条件。

这样, 可以求出两个标准割圆和中央经线圆之间的距离 $N_{\text{标}O}N_{\text{标}E}$ 为:

$$N_{\text{标}O}N_{\text{标}E} = R_E \times \sin(90^\circ - 88.3794^\circ) = R_p \times \sin(90^\circ - 88.3794^\circ) = 179 776 \text{ m}.$$

式中, 极半径 $R_p = 6 356 752.314 245 \text{ m}$ (根据 WGS 84 地球椭球体参数^③)。

即标准割线圆在 UTM 投影上距离中央经线距离为 179.776 km (见图 3)。这样, 陈悟天 (2010) 所说在 UTM 投影带中央经线两侧 330 km 处各有一个标准经线是错误的。

每个 UTM 投影带为经度 6° 。对一个窄经度 (如 6°) 带投影而言, Gauss-Krüger 投影以其中央经线保持长度不变, 而向中央经线两侧逐渐变形, 明显不如 UTM 保持中央经线缩短至 0.999 6, 而出现 2 条长度不变的子午线的整个投影带上的长度变形合理, 改善了该 6° 带内长度投影变形分布 (图 3)。这也是 UTM 投影相比 Gauss-Krüger 投影的长处之一。

由此, UTM 投影除了中央经线投影后长度缩短 0.0004, 其两侧的两条割线的长度无变化外, 和 Gauss-Krüger 投影条件基本一样 (杨启和, 1981; 王正梅, 2002; 孔祥元等, 2006;)。其数学推导公式在很多文献中都有论述, 如, Dozier (1980)、Osborne (2008) 和 Deakin *et al.* (2010)。故亦不在此叙述。

从赤道随着纬度的增加, 收敛角 (即真北和 UTM 投影北的夹角) 越来越大。为保证投影的精度及大陆地区投影的一致性, UTM 投影仅适用于纬度 $84^\circ N$ 和 $80^\circ S$ 的范围 (这个范围覆盖了除南极洲外的几乎所有陆地)。

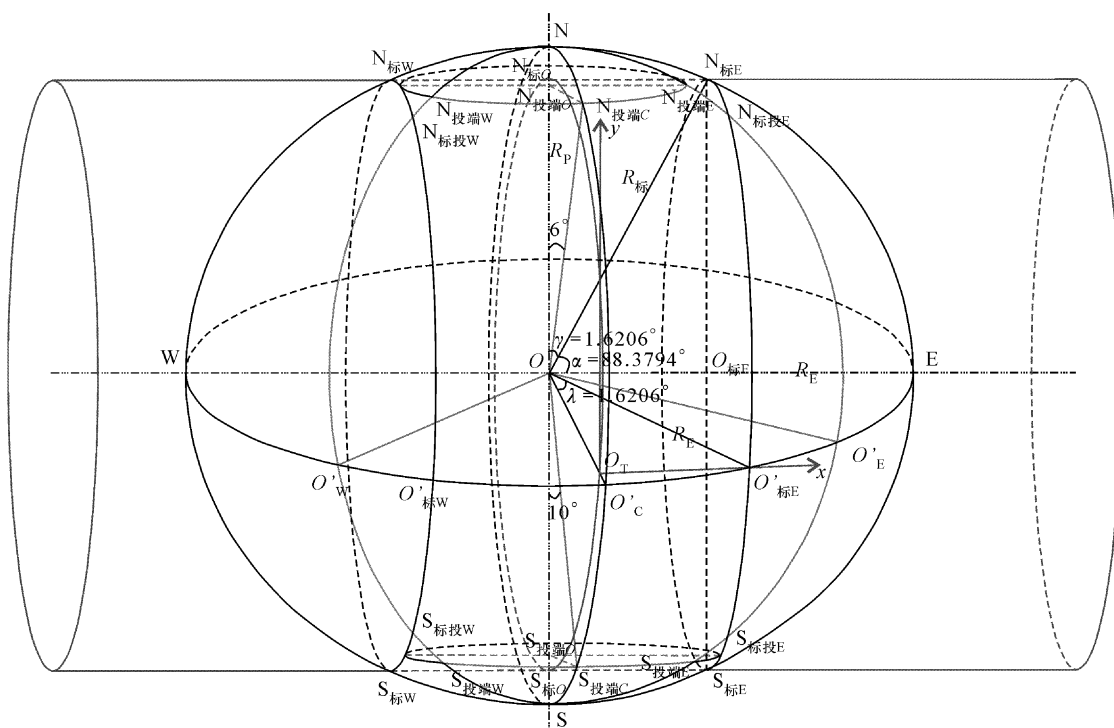
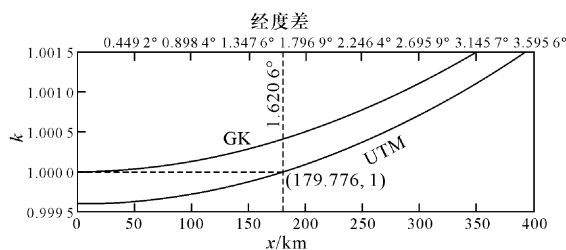


图 2 UTM 投影

Fig. 2 UTM projection

地球椭球体正轴割于椭圆柱于两个割线圆(即弧段 $N_{\text{标E}}-O'_{\text{标E}}-S_{\text{标E}}$ 所在的圆,圆心为 $O_{\text{标E}}$;以及弧段 $N_{\text{标W}}-O'_{\text{标W}}-S_{\text{标W}}$ 所在的圆),穿过中央经线的红色圆(即弧段 $N_{\text{标O}}-O'_{\text{T}}-S_{\text{标O}}$,圆心为地球椭球体质点 O)和这个两个割线圆等大且平行,椭圆柱的轴线在地球椭球体赤道平面上,并通过地心质点。 R_E 和 R_P 分别为地球 WGS 84 椭球体的赤道和极半径。 O_T 为 UTM 投影坐标的真原点

The transverse elliptic cylinder is secant to WGS 84 earth ellipsoid at two circles (i. e., the circle has the arc $N_{\text{标E}}-O'_{\text{标E}}-S_{\text{标E}}$, with a center $O_{\text{标E}}$, and the circle has the arc $N_{\text{标W}}-O'_{\text{标W}}-S_{\text{标W}}$). The red circle passing through the central meridian (i. e., having the arc $N_{\text{标O}}-O'_{\text{T}}-S_{\text{标O}}$, and the center O , the mass center of WGS 84 earth ellipsoid) is parallel to the secant circles above. The axial lead of the elliptic cylinder passes through the mass center of the WGS 84 earth ellipsoid and falls within its equator plan. R_E and R_P represent the equator and pole radius of the WGS 84 earth ellipsoid, respectively. O_T is the true origin of coordinate of UTM projection zone

图 3 经线圈长度投影变形因子 k 随该经线圈与中央经线的距离 x 的变化Fig. 3 Variation of k with the distance x from the central meridian

GK 曲线为 Gauss-Krüger 曲线(据 Osborne(2008)修改)

GK curve represents the Gauss-Krüger one

(modified from Osborne(2008))

4 UTM 投影和 Gauss-Krüger 投影异同

4.1 Gauss-Krüger 投影分带和 UTM 投影分带及其带号

二者同属 TM 投影,其根本性的区别在于其数学公式的区别。我们在此仅仅讨论应用中二者的差异,以利于工程使用。以前国内说的 3 度带和 6 度带是指 Gauss-Krüger 投影而言,6 度带起始经度 0° ,即 $0 \sim 6^\circ\text{E}$ 为 6 度带带号为 1,沿着赤道经线一次向东类推,带号也一次增加。3 度带起始经度为 1.5°E ,即 $1.5 \sim 4.5^\circ\text{E}$ 为 3 度带,带号为 1,以此类推,共 120 带。

UTM 分带的起始经度为 180°W 。即 $180^\circ\text{W} \sim 174^\circ\text{W}$,其带号为 1,依次向东逐个累加。和 Gauss-

Krüger 6 度带投影一样,也是全球共分 60 个 6 度带。

4.2 Gauss-Krüger 投影和 UTM 投影伪偏移

两种投影的东伪偏移都是 500 km, Gauss-Krüger 投影北伪偏移为零, UTM 北半球投影北伪偏移为零,南半球则为 10,000 km(见图 4)。

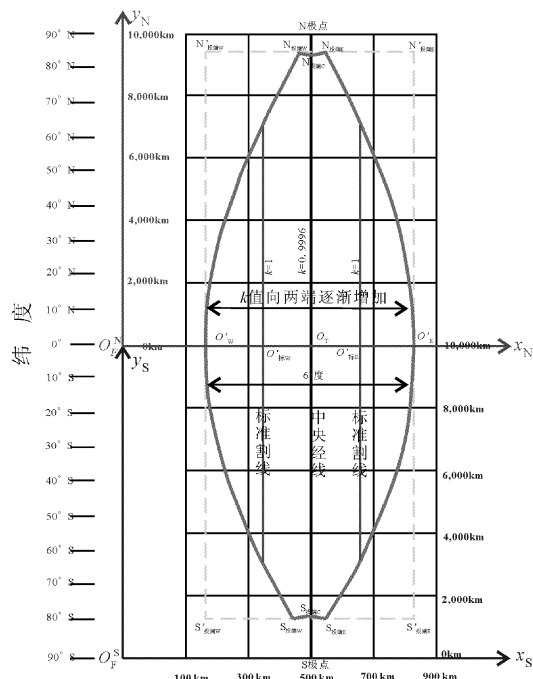


图 4 一个 UTM 投影 6 度带(据 Langley(1998)修改)

Fig. 4 An UTM projection 6 degree zone (modified from Langle, 1998)

O_T 为 UTM 投影的坐标真原点,即图 2 中的 O_T 点。 O_T^S 和 O_T^N 分别为进行 UTM 投影伪偏移后的南半球和北半球伪坐标原点。红色坐标系为北半球伪偏移坐标系,东伪偏移 500 km,无北伪偏移;绿色坐标系为南半球伪偏移坐标系,东伪偏移 500 km,北伪偏移 10,000 km; N 极点和 S 极点坐标分别为 (500 km, 10,000 km) 和 (500 km, 0 km);蓝色实线区和浅蓝色虚线区—投影前和投影后。

O_T —represents the true origin of UTM coordinate, that is the O_T in Fig. 2. O_T^S and O_T^N represent the false origin of UTM coordinate, respectively. The red coordinate system is one for the northern hemisphere with an easting 500 km and no northing. The green coordinate system is one for the southern hemisphere with an easting 500 km and 10 000 km northing. Then pole points N and S have the coordinates (500 km, 10 000 km) and (500 km, 0 km). The parts circled by the blue solid and dashed lines represent the areas before and after UTM projection

4.3 Gauss-Krüger 投影和 UTM 投影 x 和 y 坐标

UTM 投影与 Gauss-Krüger 投影的 x 和 y 坐标是相反的,即 UTM 投影中 x 和 y 分别为经向和纬向数值(图 2 和图 4),而 Gauss-Krüger 投影中 x 和 y 分别为纬向和经向数值(图 1)。具体原因源自于其投影

数学公式,亦可参见图 1、图 2 和图 4。

5 投影变换实现

UTM 投影与 Gauss-Krüger 投影相比,中央经线的长度比为 0.999 6,严格的数学换算比较复杂,手工计算基本是不能实现的,常借助于软件来实现。有人提出了简易的算法公式,但是因为简易公式得出的结果是,这两种投影数学公式的差异差别 300 m。这在实际工作中是不可以接受的。

我们国内常用的 MapGIS 软件没有 UTM 投影,且不怎么适用于国外的经纬度,如没有南半球纬度。ArcInfo 软件无国内现用的 Gauss-Krüger 投影。相比之下,MapInfo® (2010 Pitney Bowes Software Inc.)兼有包括 UTM 投影和 Gauss-Krüger 投影在内的众多投影,且市场占有率较大,易于获得。故此本文采用 MapInfo® Professional 版本 10.5 来探讨一下如何快速实现批量投影变换,其步骤如下:

(1) 将数据输入或者转成 Excel 文件(如文件名字为“坐标变换.xls”),使用 MapInfo® 打开“坐标变换.xls”文件。生成“坐标变换.TAB”,关闭 MapInfo®。然后重新打开“坐标变换.TAB”文件。点击“表—创建点(Create Points)”,确认投影为“Longitude/Latitude(WGS 84)”(这里先以经纬度为例转成 UTM 方里网过程为例简要描述),并设置 x 和 y 相对应的经纬度坐标列,设置生成点的样式,生成点对象,并将生成的点对象另存为“坐标变换 A.TAB”文件。然后关掉 MapInfo®。

此时注意确认投影(Projection)椭球体,如 UTM 投影采用 WGS 84 椭球体(图 5),并进一步指出投影所属的带号和南北半球。有些地图的经纬度使用的不是 WGS 84 椭球体。遇到此种情况,在图 5 的“投影”(Projection)中选区正确的投影椭球体。如非洲有些国家的地图使用 Arc 1960 体系,则图 5 中应该选择“Longitude/Latitude(Arc 1960)”,如不加改正,将相对于选择“Longitude/Latitude(WGS 84)”椭球体将产生数值向 NNW 偏移 281 m。

(2) 重新打开“坐标变换 A.TAB”文件,点击“表—更新列(Update Column)”,使用对话框(如图 6)对 UTM 投影 x 和 y 坐标列分别进行更新,得到 UTM 投影的方里网 x 和 y 坐标(图 7)。可以导出所得坐标。

对方里网坐标转成经纬度坐标步骤基本同上,只是在上述第二步“创建点”时采用 UTM 投影或 Gauss-Krüger 投影,第三步“更新列”时采用经纬度投影。

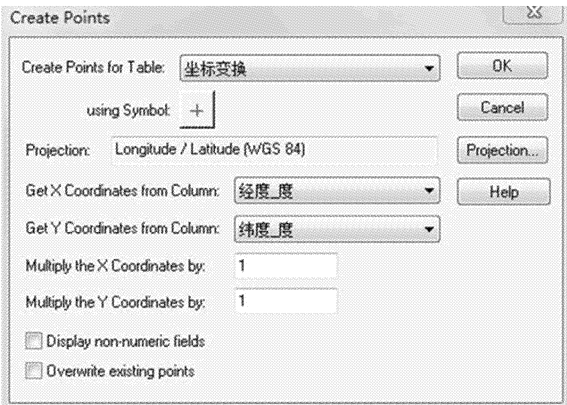


图 5 生成点对话框

Fig. 5 Dialogue box for creating points

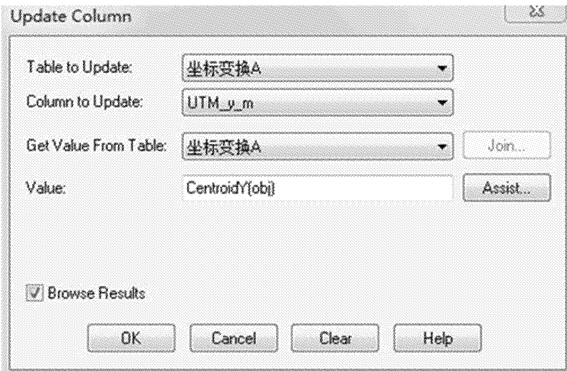


图 6 更新 UTM 投影 y 坐标列对话框

Fig. 6 Dialogue box for updating UTM projection y column

序号	纬度_度	经度_度	UTM y_m	UTM x_m
1	-2.8666667	32.4416667	9,683,129.4	437,947.8
2	-2.9666667	33.4708333	9,672,080.1	552,322.8
3	-2.9666667	32.4698333	9,672,077.1	441,083.4
4	-2.9300000	33.7416667	9,676,116.9	582,424.1
5	-2.7690000	32.1666667	9,693,907.4	407,375.2
6	-4.7690000	32.1980556	9,472,818.3	411,067.7
7	-3.7800000	34.3780556	9,582,069.0	653,026.5
8	-5.7779800	31.8766667	9,361,215.2	375,624.1
9	-2.7500000	32.2891833	9,696,016.5	420,992.3
10	-2.8763000	32.3333333	9,682,058.1	425,907.8
11	-2.7683972	33.3333333	9,694,001.4	537,048.8
12	-3.7683972	32.3781000	9,583,448.2	430,945.4
13	-4.7605917	32.5151000	9,473,780.5	446,227.0

图 7 得出的 UTM 投影 x 和 y 坐标对话框

Fig. 8 Dialogue box for resulted UTM projection x and y coordinates from longitude and latitude

使用中国境内购买的正规汉化版 MapInfo[®] Professional 版本 10.5 求出的 TAB 文件中,对南半球的点,其数据有时没有对 UTM 投影 y 坐标北伪偏移 10,000 km 校正。使用中国境内销售的正规 MapInfo[®] Professional 版本 10.5 软件时注意此问题,要手工对得出的 y 坐标数据进行北伪偏移改正。但是在其 MAP 文件中的实际投影点却无此毛病。发现此问题后,本文采用 MapInfo[®] Professional 版本 10.5 的英文版简易汉化版进行的变换。

表 1 大地坐标和 UTM 投影坐标变换结果 (WGS 84)

Table 1 Results of conversion from WGS 84 ellipsoid longitude and latitude to UTM WGS 84 coordinates and vice versa.

序号	初始大地坐标		第一次变换得出的坐标		第二次变换得出的大地坐标	
	纬度 (°)	经度 (°)	UTM y (m)	UTM x (m)	纬度 (°)	经度 (°)
1	-2.8666667	32.4416667	9,683,129.4	437,947.8	-2.8666667	32.4416667
2	-2.9666667	33.4708333	9,672,080.1	552,322.8	-2.9666667	33.4708333
3	-2.9666667	32.4698333	9,672,077.1	441,083.4	-2.9666667	32.4698333
4	-2.9300000	33.7416667	9,676,116.9	582,424.1	-2.9300000	33.7416667
5	-2.7690000	32.1666667	9,693,907.4	407,375.2	-2.7690000	32.1666667
6	-4.7690000	32.1980556	9,472,818.3	411,067.7	-4.7690000	32.1980556
7	-3.7800000	34.3780556	9,582,069.0	653,026.5	-3.7800000	34.3780556
8	-5.7779800	31.8766667	9,361,215.2	375,624.1	-5.7779800	31.8766667
9	-2.7500000	32.2891833	9,696,016.5	420,992.3	-2.7500000	32.2891833
10	-2.8763000	32.3333333	9,682,058.1	425,907.8	-2.8763000	32.3333333
11	-2.7683972	33.3333333	9,694,001.4	537,048.8	-2.7683972	33.3333333
12	-3.7683972	32.3781000	9,583,448.2	430,945.4	-3.7683972	32.3781000
13	-4.7605917	32.5151000	9,473,780.5	446,227.0	-4.7605917	32.5151000

注:第一次变换是由左侧的经纬度变成 UTM WGS 84 坐标,第二次变换是由左侧的 UTM WGS 84 坐标变成 WGS 84 大地坐标。南纬为负值。

6 结论

UTM 投影与 Gauss-Krüger 投影都是正形横墨卡托投影。Gauss-Krüger 投影是椭圆柱横正轴切地球椭球体,投影后中央经线长度不变,从投影原点随着纬度和经度增加,投影后的长度、面积等畸变逐渐增大。

UTM 投影为椭圆柱横正轴割地球椭球体,从中央经线圆投影比例因子 k 为 0.999 6 倍,向两侧 k 逐渐增大,到距离中央经线 179.776 km(WGS 84 椭球体),即经度差 $1.620\ 6^\circ$,即为两条标准割线圆的位置,该割线圆在 UTM 投影图上 $k = 1$ 。向外长度以及面积畸变逐渐变大。向南北两极收敛角也逐渐增大,为保证投影精度在一定范围内及使用方便,UTM 投影只适用于 80°S 和 84°N 的纬度范围内。

两种投影的伪偏移也不同以及 x 和 y 表达方式不同。

使用 MapInfo[®] 可以很简单快速地实现大地坐标和 UTM 投影以及 Gauss-Krüger 投影坐标之间的大批量数据的相互转换。

致谢 在论文的撰写过程中得到中国科学院遥感应用研究所刘少创研究员和张烁的宝贵建议,姜高珍和甘凤伟博士以及匿名审稿人等提供了协助,在此表示感谢。

[注释]

- ① Mercator's Projection [EB/OL]. <http://www.math.ubc.ca/~israel/m103/mercator/mercator.html>. 2012-12-01.
- ② 墨卡托投影 [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/301981.htm>. 2012-12-01.
- ③ World Geodetic System [EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System#cite_note-2. 2012-12-01.

[References]

- Chen Wu-tian. 2010. Construction survey in countries using UTM projection [J]. Science and Technology Information, (8): 36-37 (in Chinese with English abstract)
- Deakin, R. E., Hunter M. N., Karney C. F. F. 2010. The Gauss-Krüger project, Presented at the Victorian Regional Survey Conference [J]. Warrnambool: 10-12
- Dorrer E. 2003. From Elliptic Arc Length to Gauss-Krüger Coordinates by Analytical Continuation [M]. in: Geodesy—the challenge of the 3rd millennium, Springer Verlag: 91-99
- Dozier J. 1980. Improved algorithm for calculation of UTM and geodetic coordinates [R]. NOAA Technical Report NEES 81
- Han Guo-jian, Di Qiu-sheng, Tan Si-xiu. 1994. Differences between UTM projection and Gauss-Krüger projection [J]. Survey and Mapping of Sichuan, (2): 51-56 (in Chinese)
- Kawase K. 2011. A general formula for calculating meridian arc length and its application to coordinate conversion in the Gauss-Krüger projection [J]. Bulletin of the Geospatial Information Authority of Japan, 59: 1-13
- Kong Xiang-yuan, Guo Ji-ming. 2006. Control Survey [M]. Wuhan: Wuhan University Press: 1-150 (in Chinese)
- Langley R B. 1998. The UTM grid system [J]. GPS World, 8: 46-50
- Li S., Zhang L., Cui Y., and Yin X. 2003. Relationship and applications of UTM projection and Gauss-Krüger projection, Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC) Durban, South Africa, 10. 16 August 2003. Cartographic Renaissance. Hosted by The International Cartographic Association (ICA), ISBN: 0-958-46093-0 Produced by: Document Transformation Technologies
- Liu Ming-bo, Lei Jian-ming, Wei Chan. 2010. UTM projection and projection deformation treatment [J]. Hydropower of Northwest, (6): 7-9 (in Chinese with English abstract)
- Lü Xiao-hua, Liu Hong-lin. 2002. A comprehensive appraisal of numerical transformation method for map projection [J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 19(2): 150-153 (in Chinese with English abstract)
- Osborne P. 2008. The Mercator Projection [M]. Edinburgh
- Shen Ben-zhong. 1986. A new calculation for Mercator transverse projection ellipsoidal coordination [J]. Journal of Xi'an College of Geology, 8(1): 71-86 (in Chinese with English abstract)
- Snyder J P. 1987. Map projections-A working manual [R]. U. S. Geological Survey Professional Paper 1395, US Government Printing Office
- Sun Li-dong. 2008. Similarities and differences of Gauss-Krüger projection and Universal Mercator projection [J]. Port Engineering Technology, (5): 51-53 (in Chinese with English abstract)
- Wang Zheng-mei. 2002. A Comparison of Gauss-Krüger projection with transverse perspective cylindrical projection [J]. Bulletin of Survey and Mapping, (3): 11-12 (in Chinese with English abstract)
- Xia Lanfang, Hu Peng, Huang Meng-long. 2007. A numerical implementation of analytical transformation using map projection [J]. Science of Surveying and Mapping, 32(3): 69-71 (in Chinese with English abstract)
- Xiong Zhong-zhao. 2010. Establishment of independent coordinate systems on the UTM projection [J]. Geospatial Information, 8(2): 41-43 (in Chinese with English abstract)
- Yang Qi-he. 1981. The Gauss-Krüger projection and the Transverse Mercator projection [J]. Bulletin of Survey and Mapping, (6): 34-37 (in Chinese with English abstract)
- Yang Qi-he. 1986. The research of theory and application of map projection transformation [J]. Journal of PLA Institute of Surveying and Mapping, (1): 65-72 (in Chinese with English abstract)
- Yang Qi-he. 1994b. Summarization for theory and method of conformal projection [J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 11(2): 133-139 (in Chinese with English abstract)
- Yang Qi-he. 1994b. Summarization for theory and method of conformal projection [J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 11(3): 133-139 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 陈悟天.2010. 使用 UTM 投影坐标系国家的施工测量[J]. 科技资讯, (8):36-37
- 韩国建, 邸秋生, 谭思秀.1994. UTM 投影和高斯-克吕格投影的差异[J]. 四川测绘, (2): 51-56
- 孔祥元, 郭际明.2006. 控制测量学[M]. 武汉:武汉大学出版社:1-150
- 刘明波, 雷建明, 韦 婵.2010. UTM 投影及变形处理[J]. 西北水电, (6): 7-9
- 吕晓华, 刘宏林.2002. 地图投影数值变换方法综合评述[J]. 测绘学院学报, 19(2): 150-153
- 沈本忠. 1986. 椭球面横墨卡托投影坐标计算新公式 [J]. 西安地质学院学报, 8 (1): 71-86
- 孙立东.2008. 高斯-克吕格投影和横轴墨卡托(UTM)投影的异同[J]. 港工技术, (5): 51-53
- 王政梅.2002. 高斯-克吕格投影与横切圆柱透视投影的比较[J]. 测绘通报, (3): 11-12
- 夏兰芳, 胡 鹏, 黄梦龙.2007. 地图投影解析变换的数值实现方法[J]. 测绘科学, 32(3): 69-71
- 熊忠招. 2010. 浅谈 UTM 投影下独立坐标系建立 [J]. 地理空间信息, 8(2): 41-43
- 杨启和.1981. 高斯-克吕格投影和横墨卡托投影[J]. 测绘通报, (6): 34-37
- 杨启和.1986. 地图投影变换理论和应用研究[J]. 解放军测绘学院学报, (1): 65-72
- 杨启和.1994a. 等角投影理论和方法综述[J]. 解放军测绘学院学报, 11(2): 133-139
- 杨启和.1994b. 等角投影理论和方法综述[J]. 解放军测绘学院学报, 11(3): 181-187

UTM Projection and Gauss-Krüger Projection and their Conversion

ZHOU Chao-xian^{1,2,3}, FANG Zhi-feng⁴, YU Cai-hong^{1,2}, ZHANG Yun-guo^{1,2}, GAO Ying-bo⁵, YAN Dan-chen⁶ YANG Qiang^{1,2}

(1. China Geological Survey of Nonferrous Metal Resource, Beijing 100012;

2. Sinotech Mineral Exploration Company, Limited, Beijing 100012;

3. Beijing Institute of Mineral Geology, Beijing 100012;

4. Department of Information Sciences, Shandong University of Political Science and Law, Jinan, Shandong 250014;

5. Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101;

6. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081)

Abstract: The Gauss-Krüger projection is a conformal mapping after a transverse elliptic cylinder tangent to a reference ellipsoid of the earth, and the UTM projection is a conformal mapping after a transverse elliptic cylinder secant to the WGS 84 earth ellipsoid. For the former, the scale along the central meridian is constant, and in the UTM coordination system, the scale factor k , increases from 0.999 6 for the central meridian to 1 for the secant circle between the elliptic cylinder and WGS 84 earth ellipsoid, and becomes greater outside the secant circle which is 179.776 km (WGS 84 earth ellipsoid), i. e., the longitude difference 1.620 6° away from the central meridian, which results in a bigger distortion in the area after UTM projection step by step. In addition, the convergence angle gradually increases from the equator to the poles. Therefore, the UTM projection is only suitable for the area between 80°S and 84°N in latitude. The fast method is easy to implement for converting the longitude and latitude into UTM projection coordinates and Gauss-Krüger projection coordinates and vice versa in batches of data using MapInfo®.

Key words: UTM projection, Gauss-Krüger projection, conversion, MapInfo®