

# 基于CGCS2000的韶山2000坐标系的建立

饶天柱

湖南智谋规划设计咨询有限责任公司

**摘要:**目前我国正在推广使用CGCS2000(2000国家大地坐标系)。在此之前,韶山市曾先后建立以112度经线为中央子午线、基于1954北京坐标系的韶山市独立坐标系与以114度经线为中央子午线的1980西安坐标系。在现在的实际测绘工作中,两套坐标系会带来很多不便,并且这两套坐标系造成的精度损失已经无法满足如今的测绘要求。本文主要就高斯-克吕格投影的直角坐标系的变形进行分析,找出韶山市曾建立的两套坐标系对测绘精度造成的影响,然后提出建立新的基于CGCS2000的韶山2000坐标系的建立方法。

**关键词:**CGCS2000; 高斯-克吕格投影; 韶山市坐标

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.05.115

## 一、引言

测量坐标系是测量工作的基础。1997年,韶山市规划部门出于城市规划和城市建设测量工作的需要,建立了以112度经线为中央子午线、基于1954北京坐标系的韶山市独立坐标系。后来,韶山市国土部门成立,选择使用以114度经线为中央子午线的1980西安坐标系。当时建立的坐标系,城市规划和城市建设部门仅是考虑了城区规划和建设的需要,国土部门也只注重了向省国土部门汇交资料时坐标的统一,从整个韶山市域来考虑,坐标系统的使用都存在缺陷,并且用现在的先进观测技术所获取的测绘成果在使用时有精度损失。

2008年经国务院批准,国家测绘地理信息局向社会发布公告,于2008年7月1日正式全国启用2000国家大地坐标系,并要求在8-10年时间内完成目前使用的国家大地坐标系向2000国家大地坐标系的过渡和转换。至今已经过去了十余年,2000国家大地坐标系在测绘行业已经得到充分应用。2000国家大地坐标系是以地球质心为原点的坐标系,具有高精度、地心、动态的特点,城市测量坐标系应与2000国家大地坐标系建立联系,并且应使用新技术、新成果建立城市现代测量坐标系,克服原有城市测量坐标系的不足和缺陷,提高测绘地理信息的保障能力和服务水平,为城市建设发挥重要作用。

## 二、高斯-克吕格投影的变形规律分析

城市测量中主要是工程测量、地籍测量、房产测量等相关国民经济建设方面的测绘任务。为了方便这些任务的开展,我们应当选择正形投影。这是因为,采用正形投影的话,角度观测元素在投影前后保持不变,可以免除大量的角度观测值的计算,为之后的测绘工作提供

便利。

高斯投影是一种横轴切椭圆柱正形投影,此投影视地球椭球体在某一子午线(中央子午线)位置与套在地球椭球体上的椭圆柱相切,椭圆柱中心轴通过椭球体中心,用一定的投影方法,将中央子午线两侧一定范围内的地区投影至椭圆柱面上,再将此圆柱面展开既是高斯投影面。由于高斯投影为正形投影,所以高斯投影不存在角度变形,只有长度和面积变形。

由于面积和长度存在有紧密的数学关系,故在坐标系建立的过程中,我们主要研究的是长度变形率。在城市测量规范CJJ/T8-2011中规定:当长度变形值不大于25mm/km时,宜采用高斯-克吕格投影统一3°带的平面直角坐标系统,也可以采用高斯-克吕格投影任意平面直角坐标系统。当长度变形大于25mm/km时,应依次采用下列平面直角坐标系统:1.投影于抵偿高程面上的高斯-克吕格投影统一3°带的平面直角坐标系统;2.高斯-克吕格投影任意带平面直角坐标系统,投影面可采用黄海平均海面或城市平均高程面;3.当高斯-克吕格投影任意带平面直角坐标系统不能满足要求时,应分带投影。

在实际工作中,将实地两点间的长度投影到高斯投影面上受到两个方面的影响:1.实地两点高程对长度归算到平行水准面的影响;2.椭球面到高斯投影面的长度变形。

1.因为高程对长度归算造成的影响:假如两点已经经过垂线偏差改正,所以两点的平均高程水准面是平行于椭球面的。但这个平行水准面与椭球面有一定的距离,所以会造成长度归算的改正。如图所示AB两点为平均高程水准面上的长度,以 $S_0$ 表示,由图1可得出:

$$\frac{S_0}{S} = \frac{R+H_m}{R} = 1 + \frac{H_m}{R}$$
 式中:  $H_m = \frac{1}{2}(H_A + H_B)$  也就是AB两点的平均高程, S为AB两点归算至椭球面的长度。

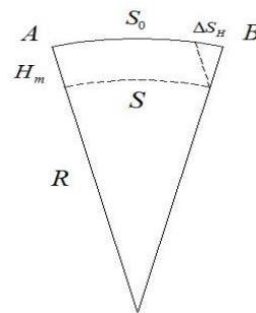


图1

在此公式中我们不难看出，两点间长度由平均高程水准面归算到平行椭球面上时，其长度的变形受AB两点的平均高程  $H_m$  和椭球曲率半径  $R$  所影响，当平均高程  $H_m$  为正数时，AB两点归算至椭球面的长度是要小于AB两点在平均高程水准面上的长度的。

2. 由高斯投影产生的变形：在实际的生产作业中，一般将地球视作一个椭球，我们称这个椭球为参考椭球。而参考椭球面是一个不可伸展的面，所以在将参考椭球投影至高斯投影面的过程中势必会造成变形。应为高斯投影是一种正形投影，所以在这个投影的过程中产生的变形都为长度变形。如图2所示，在参考椭球面上有一个有限小的多边形ABCDE，将其投影至高斯投影面上的多边形为  $A'B'C'D'E'$ ，那么根据正形投影的定义来看，则有  $\angle A = \angle A'$ ， $\angle B = \angle B'$ ， $\angle C = \angle C'$ ， $\angle D = \angle D'$ ， $\angle E = \angle E'$ ，且因为此多边形为有限小的多边形，故在高斯投影面上的多边形  $A'B'C'D'E'$  与在参考椭球面上的多边形ABCDE的边长存在以下关系：

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'C'}{BC} = \frac{C'D'}{CD} = \frac{D'E'}{DE} = \frac{E'A'}{EA} = m$$

式中  $m$  为长度比。所以要求由高斯投影产生的变形实际上就是求出  $m$ 。经公式推导  $m = \frac{Y_m^2}{2R^2}$  式中  $Y_m$  为测线两端至中央子午线的横坐标平均值， $R$  为参考椭球的曲率半径。式中  $m$  恒大于0，所以有参考椭球面投影至高斯投影面上产生的长度变形总是变长的。

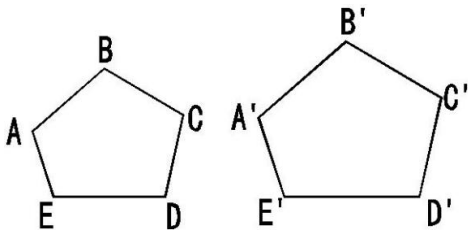


图2

综上所述，将两部分的变形综合起来则能得出

$$m = \frac{Y_m^2}{2R^2} - \frac{H_m}{R}$$

式中  $m$  为实地AB两点距离与高斯投影面上AB两点长度的比值。

### 三、韶山市平面坐标系的现状及投影长度变形分析

韶山市隶属于湘潭市，地处湘中丘陵区位于湘潭市

市区以西，北、东与宁乡市麻山乡、朱石桥乡、三仙坳乡毗邻，东南与湘潭县良湖乡、楠竹山镇接壤，南与湘乡市龙洞乡接壤，西与湘乡市白田镇、金石镇相邻见图3，红色区域为湘潭市域，蓝色区域为韶山市域。地理位置为东经  $112^\circ 23' 52''$  至  $112^\circ 38' 13''$ 、北纬  $27^\circ 50' 26''$  至  $28^\circ 01' 54''$ 。东西横宽23公里，南北纵长21公里，面积为247.33平方公里。全市最高点韶峰，海拔518.5米，最低点六亩洲海拔48米；高差470.5米。韶山市区位于韶山市域中部，中心城区海拔在80米至120米之间。

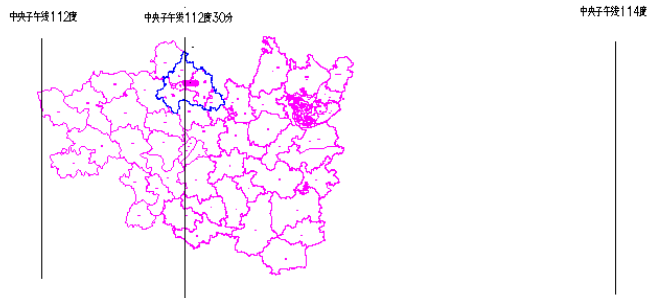


图3 韶山市行政区划与中央子午线位置关系图

韶山市规划部门使用的韶山市独立坐标系采用1954北京坐标系参考椭球基本几何参数，中央子午线为112度，投影带宽为1.5度，投影归算面高程为0，Y坐标加常数为500公里。

韶山市国土部门使用的1980西安坐标系采用1980西安坐标系参考椭球基本几何参数，中央子午线为114度，投影带宽为3度，投影归算面高程为0，Y坐标加常数为500公里。

湘潭市规划部门和国土部门使用湘潭市2000坐标系，采用国家2000坐标系参考椭球基本几何参数，中央子午线为112度30分，投影带宽为1.5度，投影归算面高程为0，Y坐标加常数为500公里。

投影带怎样选择才合理，依据上述三种情况，有必要对韶山市域的投影长度变形进行比较分析。

(1) 以112度经线为中央子午线计算的韶山市域高斯投影长度变形情况如表1。在此表中我们可以看出以112度经线为中央子午线，在韶山市域内东侧区域不能满足城市测量规范CJJ/T8-2011中长度变形不大于25mm/km的要求。

表1 韶山市域高斯投影长度变形情况

	韶山市域西端	韶山市城区	韶山市域东端
中央子午线经度	112° 00'	112° 00'	112° 00'
横坐标 $Y_m$ (km)	39.20	51.06	62.76
平均高程 (km)	0.110	0.100	0.080
半径 (km)	6371	6371	6371
长度变形 $V_s/S$	1/601238	1/60903	1/27806

(2) 以112度30分经线为中央子午线计算的韶山市域高斯投影长度变形情况如表2。在此表中我们可以看出以112度30分经线为中央子午线, 在韶山市域内所有区域均能满足城市测量规范CJJ/T8-2011中长度变形不大于25mm/km的要求。

表2 韶山市域高斯投影长度变形情况

	韶山市域西端	韶山市城区	韶山市域东端
中央子午线经度	112° 30'	112° 30'	112° 30'
横坐标Ym (km)	-10.03	1.84	13.52
平均高程 (km)	0.110	0.100	0.080
半径 (km)	6371	6371	6371
长度变形Vs/S	1/62396	1/63879	1/97038

(3) 以114度经线为中央子午线计算的韶山市域高斯投影长度变形情况如表3。在此表中我们可以看出以114度经线为中央子午线, 在韶山市域内所有区域均不能满足城市测量规范CJJ/T8-2011中长度变形不大于25mm/km的要求。

表3 韶山市域高斯投影长度变形情况

	韶山市域西端	韶山市城区	韶山市域东端
中央子午线经度	114° 00'	114° 00'	114° 00'
横坐标Ym (km)	-157.73	-145.83	-134.21
平均高程 (km)	0.110	0.100	0.080
半径 (km)	6371	6371	6371
长度变形Vs/S	1/3457	1/4060	1/4777

由此我们可以得出结论, 只有以经线112度30分为中央子午线选择的投影带, 针对韶山市域计算的投影长度变形小于规范规定的不低于25mm/km的精度要求。

#### 四、韶山2000坐标系建立的必要性

由于历史上的原因, 韶山市规划、建设部门采用1954北京坐标系作为大地坐标基准建立了韶山城市坐标系, 韶山市国土部门采用1980西安3度带国家坐标系, 坐标系不统一。从投影变形、数据应用和管理的角度分析, 应采用统一、科学、合理的坐标系。

湘潭市人民政府办公室于2016年11月26日下发了《关于全面启用2000国家大地坐标系和1985国家高程基准的通知》(潭政办发[2016]91号), 要求于2017年1月1日开始, 市直各有关部门计划实施的有关专项调查、重大工程规划与建设和其他测绘项目必须使用2000

国家坐标系, 不得再使用1954北京坐标系和1980西安坐标系。政府要求统一使用2000国家大地坐标系, 有利于提供统一的、高精度的测绘保障服务。

#### 结论

对一个城市, 一个区域或是一个项目建立控制坐标系, 在进行高斯投影之前应对其长度变形进行分析, 如果长度变形超过相关规范要求, 则应根据当地实际情况来选择中央子午线, 或者选用抵偿面来建立独立坐标系。基于对韶山市平面坐标系的现状及投影长度变形分析, 本次建立韶山2000坐标系考虑保证投影长度变形精度, 还应尽量使改换坐标系后能和湘潭市城市坐标系统一, 方案确定如下较为妥当: 大地基准采用CGCS2000椭球; 中央子午线为东经112度30分, 投影带宽为1.5度, 采用高斯-克吕格投影, 投影归算面高程为0; 平面X方向加常数为0, Y坐标加常数为500公里。本次韶山市建立的独立坐标系是基于CGCS2000坐标建立的, 与CGCS2000为同一椭球, 且与CGCS2000坐标存在严密的数学转换模型。

#### 参考文献

- [1] 孔祥元, 郭际明, 刘宗泉. 大地测量学基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006.
- [2] 赵俊生, 刘雁春, 王克平, 任来平. 关于高斯投影长度变形的探讨[J]. 海洋测绘, 2007(03): 9-11.
- [3] 李东, 毛之琳. 基于CGCS2000的地方坐标系统建立方法的研究[J]. 测绘技术装备, 2009(04): 3-5.
- [4] 刘博涛, 袁凌云, 李杰. 基于CGCS2000的独立坐标系建立与应用[J]. 城市勘测, 2016(03): 118-120.
- [5] 周明, 黄涛, 刘海兵, 孙伟. 基于CGCS2000的潜江市相对独立坐标系建立[J]. 测绘与空间地理信息, 2018(11): 201-204.
- [6] 龙海奎, 白锋, 任祺. 建立基于CGCS2000城市坐标系的应用分析[J]. 城市勘测, 2014(05): 111-113.
- [7] 丁云鹏. 与CGCS2000相关联独立坐标系建立方法的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.
- [8] CJJ/T8-2011. 城市测量规范[S].

作者简介: 饶天柱, 1989年6月, 男, 汉, 籍贯: 湖南, 职称: 工程师, 学历: 本科, 主要研究方向: 工程测量。