

## 肇庆市 2000 坐标系建立方法研究

圣桂锋

肇庆市自然资源测绘院

DOI:10.12238/gmsm.v6i4.1550

**[摘要]** 针对肇庆市特殊的地理位置、地形特征和各区县测绘基准不统一等现状情况,利用QGIS 软件中的分区统计工具对建立肇庆市2000坐标系的各种方法进行投影变形未超限区域在全市的占比大小进行综合对比分析,选取一套与肇庆市相适用的城市相对独立坐标系统建立方法,此研究对建立肇庆2000坐标系具有一定指导意义。

**[关键词]** 坐标系; 高斯投影; 高程抵偿面; 变形

**中图分类号:** P226+.3 **文献标识码:** A

## Research on the Establishment of 2000 Coordinate System in Zhaoqing

Guifeng Sheng

Zhaoqing Natural Resources Surveying and Mapping Institute

**[Abstract]** In response to the special geographical location, terrain characteristics, and inconsistent surveying and mapping benchmarks among districts and counties in Zhaoqing City, various methods for establishing the Zhaoqing City 2000 coordinate system were comprehensively compared and analyzed using the zoning statistical tool in the QGIS software to determine the proportion of projected deformation areas that did not exceed the limit in the city. A set of relatively independent urban coordinate system establishment methods suitable for Zhaoqing City was selected. This study has certain guiding significance for establishing the Zhaoqing 2000 coordinate system.

**[Key words]** coordinate system; Gauss projection; elevation compensation surface; deformation

## 引言

肇庆市地域横跨东经 $111^{\circ} 21'$ 至 $112^{\circ} 52'$ ,东西横跨高斯-克吕格投影中 $3^{\circ}$ 分带的 $37^{\circ}$ 带和 $38^{\circ}$ 带,东西跨度达150km,高程变化较大,国家 $3^{\circ}$ 带划分无法满足全域投影变形小于或等于 $2.5\text{cm/km}$ 的要求和城市的需要。目前全市各县(市、区)所使用的坐标系统各不相同,这些坐标系大多数是采用三角测量方法建立的,原有控制网由于城市建设范围扩大,超出了原有坐标系统的覆盖范围,在部分区域出现严重的长度变形,已不能满足高精度工程测量的需求。同时,多套坐标系还造成测绘成果使用混乱,无法融合和统一使用,为更好的管理辖区内各区县地理信息成果和适用新型基础测绘发展的要求亟需建立肇庆市2000坐标系。

## 1 坐标系统变形计算方法

高斯投影时,需先把地面观测值归化至地球椭球面上;然后再把地球椭球面上的观测值归化至高斯平面上。两次归化产生的长度变形值称为投影变形。投影变形的大小可按照下述方法进行计算。

实测边长归算到参考椭球面上的变形影响,其值为 $\Delta s_1$ :

$$\Delta s_1 = -\frac{sH_m}{R}$$

式中, $H_m$ 为归算边高出参考椭球面的平均高程, $s$ 为归算边的长度, $R$ 为归算边方向过参考椭球法截弧的曲率半径。归算边长的相对变形:

$$\frac{\Delta s_1}{s} = \frac{H_m}{R}$$

式中, $\Delta s_1$ 值是负值,表明将地面实量长度归算到参考椭球面上,总是缩短的; $\Delta s_1$ 值与 $H_m$ 成正比,随 $H_m$ 增大而增大。将参考椭球面上的边长归算到高斯投影面上的变形影响,其值为 $\Delta s_2$ :

$$\Delta s_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{y_m}{R_m} \right)^2 s_0$$

式中, $s = s_0 + \Delta s_1$ ,即 $s_0$ 为投影归算边长, $y_m$ 为归算边两端点横坐标平均值, $R_m$ 为参考椭球面平均曲率半径。投影边长的相对投影变形为:

$$\frac{\Delta s_2}{s_0} = \frac{1}{2} \left( \frac{y_m}{R_m} \right)^2$$

式中,  $\Delta s_2$  值总是正值, 表明将椭球面上长度投影到高斯面上总是增大的;  $\Delta s_2$  值随着  $y_n$  平方成正比而增大, 离中央子午线愈远, 其变形愈大。

## 2 变形分析方案设计与实现

### 2.1 划分格网

根据肇庆市行政区划图, 经度范围为  $E111^\circ 21' 23.4''$  至  $112^\circ 52' 40.3''$ , 纬度范围为  $N22^\circ 46' 18.5''$  至  $24^\circ 23' 43.6''$ , 以  $18''$  为间隔生成格网。

### 2.2 提取图层属性

使用 QGIS 软件中的分区统计工具, 从数字高程模型中提取每个网格的平均高程。分区统计工具可以为重叠的多边形矢量图层的每个要素计算栅格图层的统计信息, 统计结果图层属性表示意如图 2-1。

fid	XZQDM	区/县	center_x	center_y	镇中心城区	区中心城区	H	
1	1154	441284	四会市	112.6375	23.3675	NULL	四会中心城区	32.030078229...
2	1155	441284	四会市	112.6375	23.3625	城中街	四会中心城区	34.721495108...
3	1156	441284	四会市	112.6375	23.3575	城中街	四会中心城区	32.761328603...
4	1157	441284	四会市	112.6375	23.3525	城中街	四会中心城区	16.832642160...
5	1158	441284	四会市	112.6425	23.3775	城中街	四会中心城区	12.997268436...
6	1159	441284	四会市	112.6425	23.3725	城中街	四会中心城区	12.455853897...
7	1160	441284	四会市	112.6425	23.3675	城中街	四会中心城区	10.426784287...
8	1161	441284	四会市	112.6425	23.3625	城中街	四会中心城区	9.4274449639...
9	1162	441284	四会市	112.6425	23.3575	城中街	四会中心城区	11.557815513...
10	1163	441284	四会市	112.6425	23.3525	城中街	四会中心城区	13.532449941...
11	1164	441284	四会市	112.6475	23.3825	城中街	四会中心城区	10.738428131...

图2-1 统计结果图层属性表示意图

### 2.3 生成变形分析图层

保存生成的图层为 geojson 文件, 打开变形计算工具, 按步骤输入保存路径, 需要计算的区县, 以及计算方式, 等待计算完成, 如图 2-2, 便可以得到带有变形数据的图层文件。

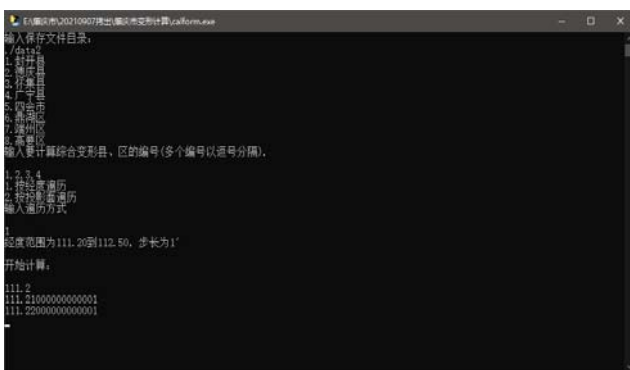


图2-2 变形计算工具示意图

在 QGIS 中打开计算后得到的图层, 设置图层属性为渐进, 值为综合变形, 然后对综合变形值介于不同的区域设置不同的颜色, 如图 2-3。设置完成后的图层会在格网内根据综合变形值的不同显示不同的颜色, 效果图如图 2-4。

设计实现了肇庆市综合变形的分析算法。首先按照  $18''$  的间隔将肇庆市进行格网划分, 然后提取每个网格平均 DEM 数据,

是否中心城区, 栅格中心坐标, 所属区县等属性, 利用设计的综合变形分析算法, 分析每个栅格的变形大小, 是否超限及各区县超限占比。

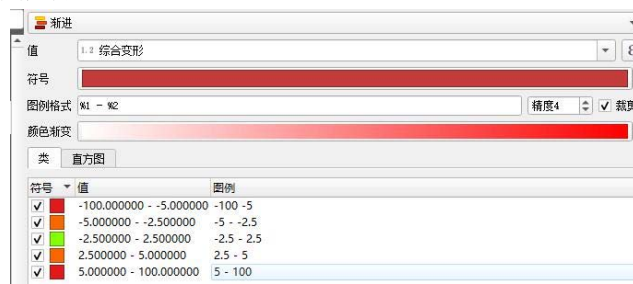


图2-3 综合变形图层设置

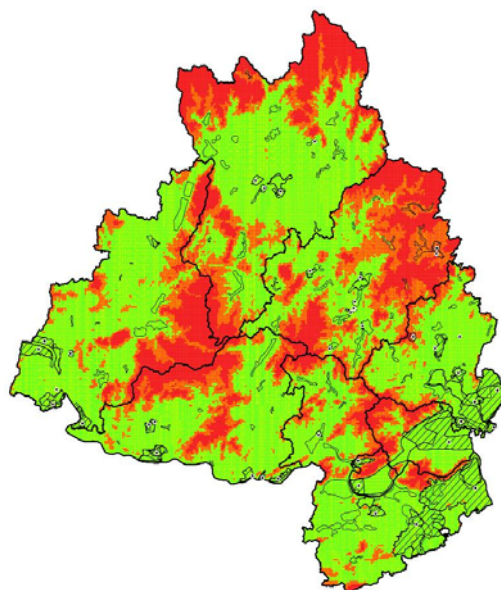


图2-4 综合变形图层设置

## 3 肇庆市2000坐标系建立方法对比分析

### 3.1 评估指标

根据中华人民共和国《城市坐标系统建设规范》, 城市区域内长度变形值应小于  $2.5\text{cm/km}$ 。选择不同的中央子午线和投影面进行投影, 然后计算综合变形小于  $2.5(\text{cm/km})$  的区域的面积与总面积的比值, 作为评价坐标系统的指标。为了便于统计面积, 并方便计算变形, 将肇庆市按经纬度划分格网, 格网宽度为  $18''$  (约  $558\text{米}$ )。以格网内的平均高程为计算数据, 计算格网中心点的综合变形值, 并作为该格网的综合变形值。以格网数目代表面积进行统计, 并定义了两个比例, 公式如下:

$$\text{中心城区未超限占比} = \frac{\text{中心城区综合变形} < 2.5(\text{cm/km}) \text{的格网数量}}{\text{中心城区的格网总数}}$$

$$\text{全市未超限占比} = \frac{\text{全市综合变形} < 2.5(\text{cm/km}) \text{的格网数量}}{\text{全市格网总数}}$$

比较不同中央子午线和投影面下未超限格网的占比大小, 选择最优的投影方案。

### 3.2 国家 $3^\circ$ 带高斯投影

根据国家《城市坐标系建设规范》，采用CGCS2000坐标椭球，在标准的国家3°带高斯投影下，选择中央子午线为111°，投影面高程为0米。计算此时的长度变形，计算结果如图4-1。统计的全市综合变形未超过2.5cm/km的格网为7.02%，中心城区综合变形未超过2.5cm/km的格网为1.10%，综合变形最大的地方变形值为45cm/km。

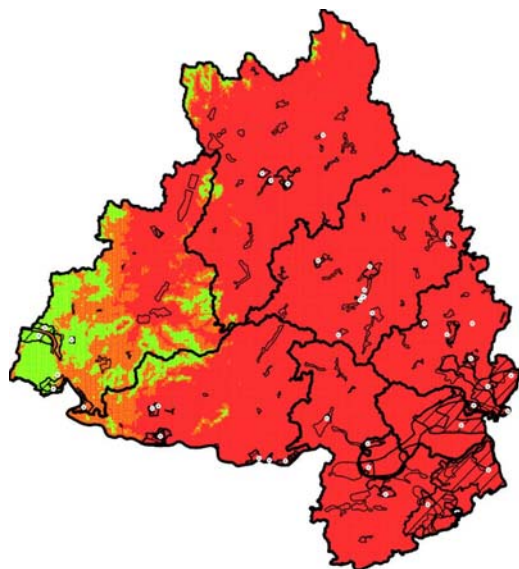


图3-1中央子午线111°投影面高程0米综合变形分布图

采用CGCS2000标椭球，在标准国家3°带高斯投影下，选择中央子午线为114°，投影面高程为0米。计算此时的长度变形，计算结果如图3-2。统计的全市综合变形未超过2.5cm/km的格网占比为0%，中心城区综合变形未超过2.5cm/km的格网为0%，综合变形最大的地方变形值为86cm/km。

综上所述，选取国家3°带高斯投影不符合要求。

### 3.3任意带高斯投影

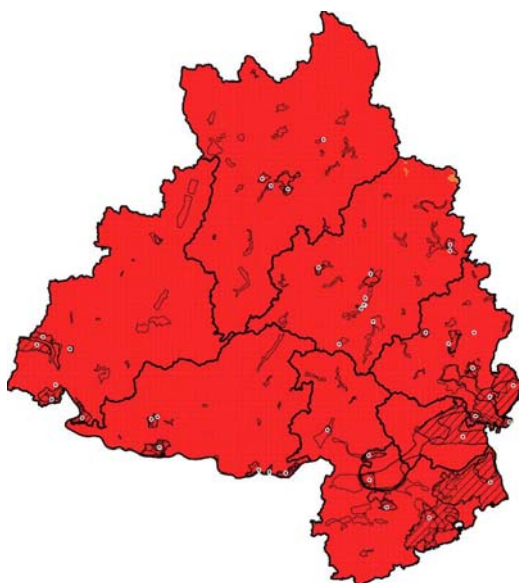


图3-2中央子午线114°投影面高程0米综合变形分布图

投影面高程为0米，投影的中央子午线从111°30'到112°50'，步长为1'遍历。统计在不同中央子午线投影下的综合变形为超限占比，选择最优的方案。计算结果的曲线图如图4-3，横轴为不同的投影中央子午线，纵轴为未超限格网的占比。最优的中央子午线为112°25'，中心主城区未超限占比82.06%，总体未超限占比49.43%。

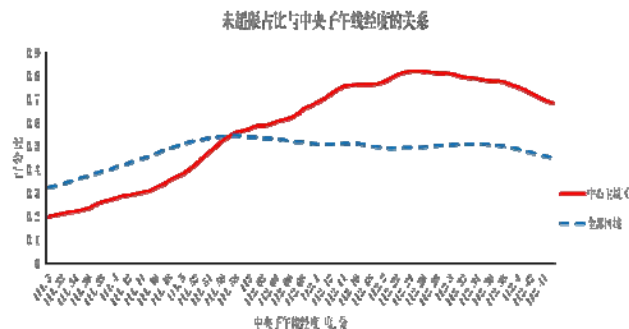


图4-3 未超限占比与中央子午线经度的关系

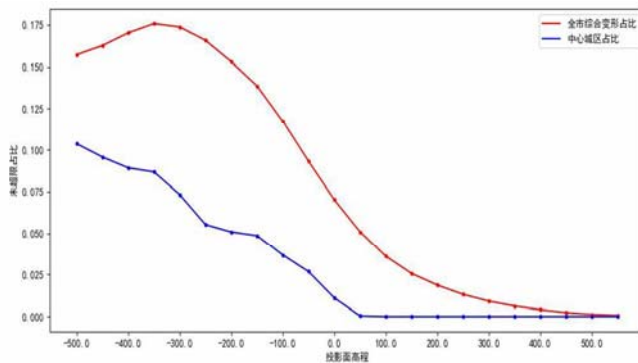


图3-4抵偿面变形占比统计图(中央子午线：111°)

### 3.4高程抵偿面高斯投影

距离肇庆市最近的3°带中央子午线为111°，所以以111°为中央子午线，投影面高程从-500米到500米，步长为50米遍历。统计在不同投影面下的综合变形未超限占比选择最优的投影方案。综合变形示意图如图3-4。在投影面为-350米处最优，中心城区未超限占比为8.67%，全市未超限占比为17.5%。

### 3.5具有高程抵偿面的任意带高斯投影

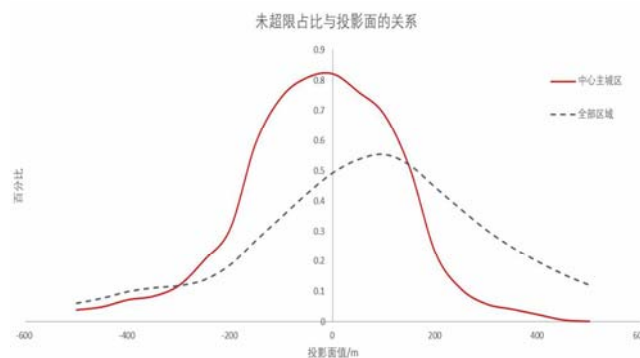


图3-5 未超限占比与投影面的关系

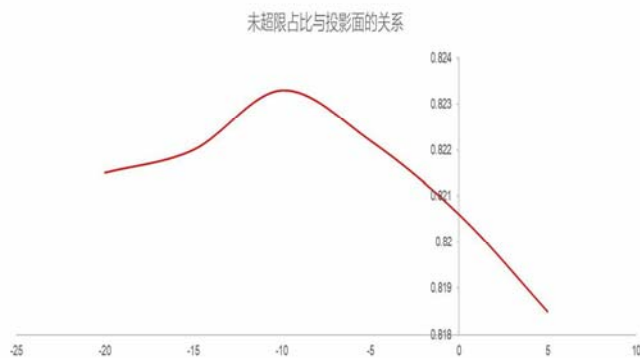
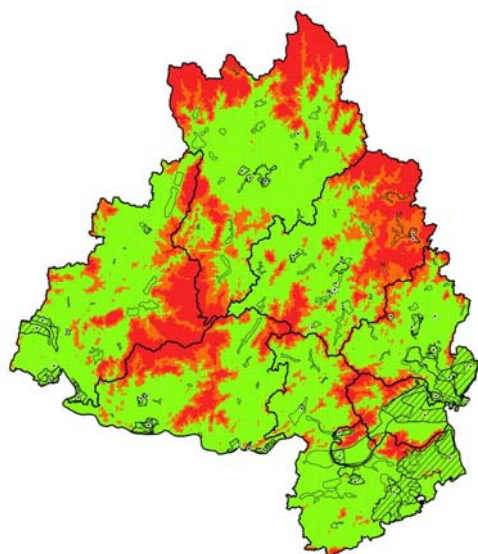


图3-6 0m附近处未超限占比与投影面的关系



首先按照任意带高斯投影的方法,选择得到最优的中央子午线为 $112^{\circ}25'$ ,然后以在该中央子午线下,投影面高程从-500米到500米,其关系变化如图4-5所示。红色为中心主城区未超限占比,蓝色是全部区域未超限占比。通过分析可以得到在0m附近有最优值。在0m处以5m为间隔,从-20m到5m进行计算,其关系变化如图3-6所示,在-10m处有最优值。

选取中央子午线为 $112^{\circ}25'$ ,投影面为-10m,中心城区未超限占比85.48%,总体未超限占比54.07%,见图3-6。各县区超限情况统计如表3-1。

表3-1 各县(市、区)超限情况表

行政区划	中心城区不超限占比	全部区域不超限占比
四会市	100%	80.59%
封开县	64.47%	20.73%
广宁县	67.53%	27.86%
德庆县	58.95%	55.05%
怀集县	95.34%	51.07%
端州区	97.98%	64.61%
高要区	99.85%	71.38%
鼎湖区	99.73%	61.30%

#### 4 结论

根据评估标准变形不超过2.5cm/km要求,通过对投影变形未超限区域在全市的占比大小进行综合对比分析,得出采用中央子午线和投影面共同改正,中央子午线为 $112^{\circ}25'$ 时,投影平面为-10m,为最佳方法,对建立肇庆市2000坐标系具有一定的指导意义。

#### [参考文献]

- [1]吴云孙,晁定波,杨堂堂.浅谈广州市平面控制测量坐标系的选取[J].测绘通报,2005(8):42-43.
- [2]李征航,黄劲松编著.GPS测量与数据处理[M].武汉:武汉大学出版社,2005.
- [3]朱轶群.基于CGCS2000的温州2000坐标系建立与研究[J].测绘地理信息,2005(8):42-43.
- [4]高昭良.一种基于DEM的CGCS2000城市平面坐标系统确定方法[J].城市勘测,2014(3):124-126.
- [5]张福友.基于高斯投影特性的独立坐标系建立方法[J].广东水利水电,2023(1):82-86.