

# 格网法和参数法应用于 CGCS 2000 转换的比较

李克恭<sup>1</sup>, 牛岸英<sup>2</sup>

(1. 甘肃省基础地理信息中心, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省测绘局, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**在省域基础测绘成果向 2000 国家大地坐标系转换中, 针对区域地情的选择十分关键, 本文介绍了甘肃基础测绘向 2000 国家大地坐标系转换的基本思路、方法和实现技术。

**关键词:**2000 国家大地坐标系; 测绘基准体系; 坐标转换

**中图分类号:**P226+.3      **文献标识码:**B      **文章编号:**1672-5867(2011)05-0227-04

## Comparison between Grid - Based Method and Parameter Method for CGCS 2000 Coordinate Transformation

LI Ke - gong<sup>1</sup>, NIU An - ying<sup>2</sup>

(1. Gansu Geomatics Center, Lanzhou 730000, China; 2. Gansu Bureau of Surveying and Mapping, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** In the coordinate transformation from provincial level fundamental surveying and mapping results to CGCS 2000 coordinate system, the key problem is the selection of transformation methods according to regional geographical situations. This paper introduces the basic idea, methods and realization techniques for the coordinate transformation from Gansu fundamental surveying and mapping results to CGCS 2000 coordinate system.

**Key words:** CGCS 2000; surveying and mapping datum system; coordinate transformation

### 0 引言

经国务院批准, 国家测绘局发布第 2 号公告, 自 2008 年 7 月 1 日全面起用新一代大地测量定位系统 2000 国家大地坐标系。

测绘基准体系的建立和使用, 是整个测绘和科学管理的框架基础。从参心坐标系转向地心坐标系, 依托于测量综合科技水平的一系列突破和提升。全面应用地心坐标系, 大致可分为三大环节, 分别处理三大块主要课题。在测绘基准体系建立和全国大地网整体平差环节, 工作重心是理论研究和核心科技问题; 在基础测绘整体转换环节, 重心是技术工艺和基础工程实现问题; 在全面普及应用环节, 重心是推广工作的政策和协调问题。省域基础测绘的整体转换是第二环节的主体, 甘肃省测绘局积极推进启用工作, 经过半年的努力实现了基础测绘成果的转换和服务准备。

### 1 省域基础测绘转换的技术路线

内插方法主要分为两大类: 拟合函数法和加权平均法, 分别得到数学曲面和数值曲面。如果转换的同名点

足够, 原观测精度高, 几乎所有的内插方法都能够取得好的效果, 但是由于甘肃地域控制点不足和经典测量逐级传播误差, 在数据点分布稀疏的情况下, 内插方法难以推断出局部的空间隆起、塌陷变化特征。

#### 1.1 转换数据要求

在资料精度上, 矢量数据转换误差、接边误差保证图面精度 0.1 mm, 栅格数据接边误差在一个像素内; 在数据完整性上, 转换后的数据应保持其完整性, 对于原数据转换后出现的图幅区域图纹要素空缺或数据出图等现象应予以处理; 在空间关系正确性上, 维持矢量数据的空间关系, 维持栅格数据的像素大小、起算坐标、图幅重叠像素、图幅接边、投影参数等转换后保证特征正确; 在数据质量上, 保证矢量数据的数据精度, 维持拓扑关系, 保证栅格数据的数据层次、精度、色彩等质量特征。

#### 1.2 转换模式确定

控制成果的转换采用了 2 维七参数转换模型, 基础地图数据采用简捷且又不失精度的格网法进行转换, 把大的转换区域划分成小的格网单元, 以格网节点为中心进行小范围坐标转换, 以期达到小范围的精细拟合及全

收稿日期: 2010-09-01

作者简介: 李克恭(1971-) 男, 甘肃甘谷人, 高级工程师, 学士, 主要从事地理信息系统的应用与开发工作。

网连续的效果。库体的整合技术含量高,归算风险大,但规范性更强,适合于整体批处理,关键是严密的步骤程序。分类分块将数据从数据库读出,转换完成后再导入。

## 2 转换方法对比分析

### 2.1 2 维七参数法

2 维七参数法作为莫洛金斯基-巴德克斯模型的一种变通形式,能够保持足够的转换精度,弱化高程对定位坐标的影响,这更符合我们转换使用参心坐标系 2 维定位的应用要求。其数学模型为:

$$\begin{bmatrix} \Delta L \\ \Delta B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\sin L}{N \cos B \rho''} & \frac{\cos L}{N \cos B \rho''} & 0 \\ -\frac{\sin B \cos L}{M \rho''} & \frac{\sin B \sin L}{M \rho''} & \frac{\cos B}{M \rho''} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tan B \cos L & \tan B \sin L & -1 \\ -\sin L & \cos L & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{N}{Ma} e^2 \sin B \cos B \rho'' & \frac{(2 - e^2 \sin^2 B)}{1 - f} \sin B \cos B \rho'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta a \\ \Delta f \end{bmatrix}$$

其中:  $\Delta B, \Delta L$  是同一点位在两个坐标系下的纬度差、经度差(弧度);  $\Delta a, \Delta f$  是椭球长半轴差、扁率差;  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  是平移量;  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  是旋转参数;  $m$  是尺度参数。

#### 2.1.1 已知点的确定

采用在两个坐标系下的同名坐标重合点。理论上讲,用于计算参数的公共点越多,分布又均匀,其解就越可靠。但由于同名点分布一般都不会很均匀,而且在经典扩展测量中,大量同名点属于不同等级扩展网,具有不同的精度,由于公共点的坐标协方差矩阵无法获得,实际计算时只能当作等权处理,因此,即使同名点较多,若精度较低的点所占比例较大,反而会降低其解算精度。因此实际转换时要对公共点进行分析和筛选。所以最终重

合点是根据所确定的转换参数,计算和衡量重合点坐标残差,剔除大于 3 倍中误差的残差,重新计算坐标转换参数,直到满足精度要求为止;用于计算转换参数的重合点数量与转换区域的大小有关,但不能少于 5 个。在自动搜索选取的基础上适当手工干预,力求重合点在转换区周围均匀分布(如图 1 所示)。

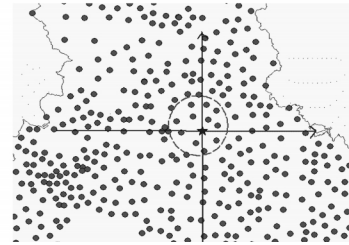


图 1 重合点的选择

Fig. 1 The selection of coincident points

#### 2.1.2 参数的解算

模型参数计算是实现 2 维七参数模型的关键。用所确定的重合点坐标,根据模型利用最小二乘法计算模型参数。由于 2 维七参数要求至少选择 5 个重合点,所以可至少列出 10 个方程构成超定线性方程组,来解这 7 个未知参数。解线性超定方程组的方法有多种,常用的有最小二乘解的 QR 分解法及最小二乘解的广义逆法等。

#### 2.1.3 点对数量对精度的影响

点对个数对精度的影响主要是所选取的点是否达到模型参数的要求。对于 2 维七参数法来讲,其计算最少需要 4 个点以上,而《指南》中也有很明确的要求,即点数不得少于 5 个,而且保持各点对的残差小于中误差的 3 倍。

对于一个已知点对的样本,检验选取点数对精度的影响(见表 1),其横坐标中误差为 0.165 m;纵坐标中误差为 0.157 m。所以对于 2 维七参数模型来讲,只要选择足够的点对,是可以保证精度要求的。

表 1 同名点对个数对精度的影响

Tab. 1 The influences to accuracy by the numbers of coincident points

	原始坐标	选择点数		计算值	残差	中误差
X	4 437 130.523	4	X1	4 437 130.319	0.204	0.165
			Y1	32 566 213.857	0.111	
		18	X2	4 437 130.409	0.115	
			Y2	32 566 213.826	0.141	
Y	32 566 213.967	35	X3	4 437 130.410	0.113	0.157
			Y3	32 566 213.825	0.143	
		76	X4	4 437 130.405	0.118	
			Y4	32 566 213.822	0.146	

### 2.1.4 搜索半径的确定

搜索半径主要是由搜索到点的个数和其是否在转换点各象限内均匀分布来确定的。搜索点的初始范围一般设为  $0.3^\circ$ 。若找到足够的点对则进入下一步;若不能找到足够的点对就要扩大搜索半径,直到有足够点能进行 2 维七参数的运算。比对试验证明,若搜索到的点不能在区域内均匀分布,影响转换精度,最好能找到在转换点的各象限都有点对出现,为了达到这一要求,就需对各象限的搜索半径进行控制。但如果转换点落在境界边缘无法找到,对其限定搜索半径的最大值,一般设为  $0.8^\circ$ 。

### 2.1.5 模型转换需要注意的问题

1) 在选择区域范围外推转换时,其中的系数矩阵会出现严重病态的情况;

2) 求解转换参数的控制点有时不能均匀分布;若控制点分布范围太小,平移参数与旋转参数之间的相关性非常大,导致最小二乘法求得的转换参数误差明显偏大,且不稳定,求得的转换参数只能在控制点所在的小范围内使用,限制外推;

3) 求解 3 维坐标变换模型的转换参数时,求得的转换参数特别是平移参数的精度较差,这是由于控制点的范围太小,引起平移参数与旋转参数间存在强相关性而导致解算参数的病态。

## 2.2 格网插值法

格网内插法的基本思想是利用两个系统间离散点的坐标差,采用一定的内插方法计算具有一定间隔的格网结点的坐标差,然后利用格网结点上的坐标差内插其他任意点上的坐标差,从而实现不同坐标系坐标的变换。日本、美国、澳大利亚等国普遍采用格网法作为其大地坐标主要的转换模型。

为了把握区域 1980 西安坐标系和 2000 国家大地坐标系之间的坐标变换可靠性,我们在实现内插转换的比对试验中,对各种方法得到的总体效果和具体成果进行全面分析,分别对加权反距离法、克里格加权法、克里格高斯法、三角剖分法、邻近点法、最小曲率法、局部多项式回归法、多项式回归法对算,并逐一绘出曲面拟合图,比较精度可靠性,确定新旧坐标系统之间的变换关系(如图 2~3 所示)。

拟合图分析表明,各种插值方法的精度和点的密集程度有关,有些方法还能观测到经典锁网误差的起伏趋势。

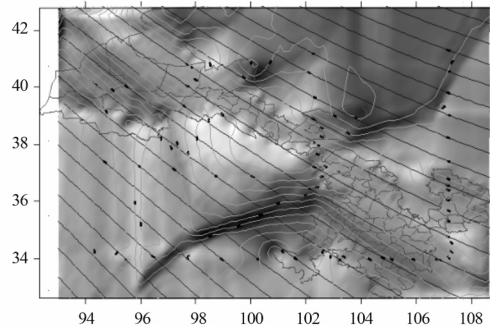


图 2 加权反距离法

Fig. 2 The inverse distance weighted method

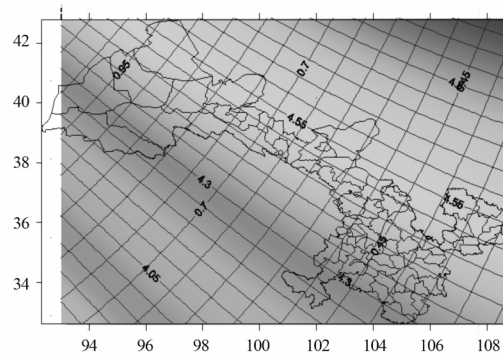


图 3 二次曲面多项式回归法

Fig. 3 The conicoid polynomial regression methods

势。克里格内插法和最小曲率内插法,在点的密集度高、点均匀时,内符合精度较高,但是不能外推,点位稀疏时,内插严重失真。二次多项式与其他方法不同,能够反映变换趋势,也可以外推计算,所以在转换中我们采用了多项式回归的二次曲面模型。

## 3 转换模型精度对比分析

### 3.1 内符合精度

#### 3.1.1 2 维七参数法

将可用的 1 987 个同名点作为转换的点,求得其内符合精度。根据表 2 可知,2 维七参数在进行内部点的验证时,可以得到较为合理的结果。横坐标和纵坐标的残差大量的值在小于 0.005 m,点位中误差为 0.04 m。

表 2 2 维七参数法精度统计

Tab. 2 The accuracy statistics of 2D seven parameters transformation method

平均值		最大绝对值		中误差		$ v  < 0.05 \text{ m}$	
<i>dB/m</i>	<i>dL/m</i>	<i>dB/m</i>	<i>dL/m</i>	<i>dB/m</i>	<i>dL/m</i>	<i>dB/%</i>	<i>dL/%</i>
-0.001	0.001	0.46	0.66	0.03	0.02	98.19	98.74

#### 3.1.2 格网插值法

同样将用以插值的 1 987 组点对作为需转换的点进行转换,求得残差值。格网法内插纵横坐标的平均值约

为 0(见表 3),横坐标和纵坐标的最大残量相当,约为 0.7 m。从它的分布特征来看,纵横坐标残差大部分在 0.1 m 以下,点位中误差 0.17 m。

表3 格网法精度统计

Tab.3 The accuracy statistics of grid-based transformation method

平均值		最大绝对值		中误差		$ v  < 0.1 \text{ m}$	
$dB/m$	$dL/m$	$dB/m$	$dL/m$	$dB/m$	$dL/m$	$dB/\%$	$dL/\%$
0.002	0.09	0.73	0.77	0.09	0.15	81.35	62.75

图4~5是内符合残差分布对比图,图中红色为2维七参数法残差,蓝色为格网法残差。两种方法总体都能够达到0.18 m的转换精度。

### 3.2 外符合精度

#### 3.2.1 2维七参数法

将全省范围内163个C级点对的成果点作为转换的点,求得其外符合精度(见表4)。2维七参数的外符合精度,点位中误差0.24 m。

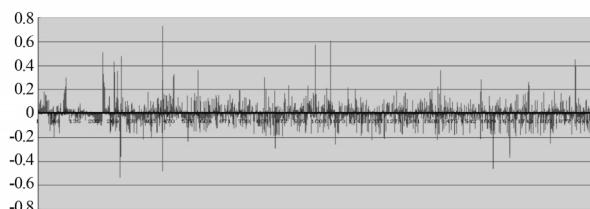


图4 纬度残差分布图

Fig.4 The distribution of latitude residuals

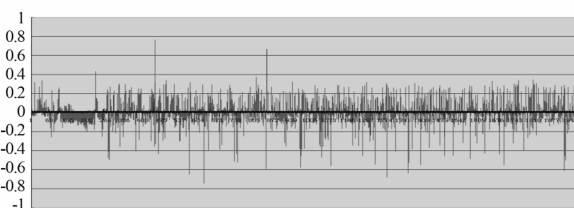


图5 经度残差分布图

Fig.5 The distribution of longitude residuals

#### 3.2.2 格网插值法

同样把163个C级点对的成果点作为转换的点,求得格网插值法外符合精度(见表5)。横坐标残差的平均值接近0.06 m,纵坐标平均值为0.17 m,点位中误差0.2 m。

表4 C级点2维七参数法检核统计

Tab.4 The inspection statistics of 2D seven parameters transformation method for C-order points

平均值		最大绝对值		中误差		$ v  < 0.1 \text{ m}$	
$dB/m$	$dL/m$	$dB/m$	$dL/m$	$dB/m$	$dL/m$	$dB/\%$	$dL/\%$
0.08	0.20	0.26	0.49	0.10	0.22	68.1	14.11

表5 C级点格网法检核统计

Tab.5 The inspection statistics of grid-based transformation method for C-order points

平均值		最大绝对值		中误差		$ v  < 0.1 \text{ m}$	
$dB/m$	$dL/m$	$dB/m$	$dL/m$	$dB/m$	$dL/m$	$dB/\%$	$dL/\%$
0.06	0.17	0.21	0.41	0.07	0.19	80.37	13.50

图6~7是检核点残差分布对比图,两种方法总体都能够达到0.18 m的转换精度。

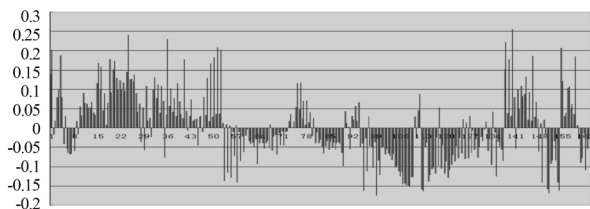


图6 纬度残差分布图

Fig.6 The distribution of latitude residuals

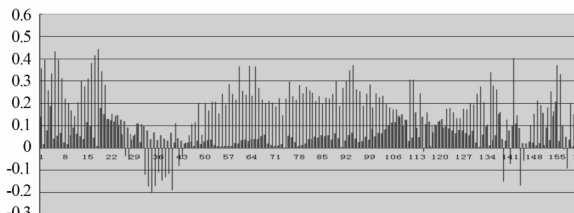


图7 经度残差分布图

Fig.7 The distribution of longitude residuals

数法较格网法内符合精度高;格网法较七参数法外符合精度高,而且残差分布较均匀。

根据对两种成果转换方法精度统计数据,七参

(下转第233页)

表3 1:1 000 试验区不同布点方案区域网平差内业精度统计结果  
 Tab.3 The office accuracy statistics of block adjustment using different control points layout plans in 1:1 000 experimental area

对比类型	检查点数	最大误差/m			中误差/m		
		X	Y	Z	X	Y	Z
18点-9点	71	0.093	0.131	0.106	0.052	0.059	0.053
18点-5点	71	0.097	0.093	0.216	0.054	0.049	0.076
18点-4点	71	0.095	0.141	0.138	0.053	0.059	0.071
18点-1点	71	0.107	0.128	0.466	0.049	0.054	0.329
18点-无控	71	0.163	0.314	0.388	0.082	0.107	0.225

#### 4 结束语

经过用不同数量外业控制点控制的空三加密结果进行相对精度统计分析可以得出以下结论:

利用 PPP 数据解算 IMU/DGPS 获取的定位数据进行区域网联合平差,控制点的个数在减少到一定数量时对航空摄影测量的空三精度结果有一定的影响,随着控制点数量的减少空三加密精度会有明显降低。利用地面同步基站数据解算 IMU/DGPS 获取的定位数据进行区域网联合平差,控制点个数的减少几乎对航空摄影测量的空三加密精度结果没有影响。

基于 PPP 差分技术的无控制点空三加密精度在中小比例尺规范要求规定的限差之内,基于地面同步基站数据差分技术的无控制点空三加密精度基本满足 1:500 ~ 1:2 000 比例尺的成图精度要求。

通过多点均匀布设地面控制点空三加密和无地面控制点控制空三加密的比较并结合大量生产实践证明,ADS 80 推扫式数字航空相机选择 PPP 技术或架设地面同步基站技术进行航空摄影,可用于多数情况下无外业控制达到航测成图的绝对精度,实现无地面控制点和无空三加密定向测图,尤其是测制平面图或正射影像图。对于各种比例尺不同地形类别测图,平面完全能够满足精度要求,高程方面总体精度(中误差)在山地、高山地中能够符合规范要求,但在平地、丘陵地区,由于我国的航摄成图

规范要求很高(1:500 ~ 1:2 000 比例尺地形图成图高程规范要求不大于 0.30 m; 1:5 000 和 1:10 000 比例尺成图高程规范要求分别为 0.30 m 和 0.60 m),采用无地面控制点空三加密就不容易满足规范要求,要在 IMU/DGPS 辅助空中三角测量时适当加入少量外业地面控制点(一般大于等于 4 点)就可以使加密区的高程精度有显著提高。这说明在今后的航空摄影测量中可以根据不同比例尺的精度要求,选择 PPP 和架设地面同步基站技术进行少控制甚至无控制作业,最大限度地减少外业工作量,降低生产成本、缩短生产周期。

#### 参考文献:

- [1] 李德仁,郑肇葆. 解析摄影测量[M]. 北京:测绘出版社,1992.
- [2] 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,1996.
- [3] 张永生,邹晓亮,刘军,等. 航空遥感数字传感器信息处理系统[M]. 北京:星球地图出版社,2007.
- [4] 李学友. IMU/DGPS 辅助航空摄影测量原理、方法及应用[D]. 郑州:解放军信息工程大学测绘学院,2005.
- [5] 袁修孝. GPS 辅助空中三角测量原理及应用[M]. 北京:测绘出版社,2001.

[责任编辑:王丽欣]

(上接第 230 页)

#### 4 结束语

通过对两种方法的比较分析,我们认为采用格网法能够达到图上转换 0.1 mm 的要求,同时也解决了图幅之间的接边问题,以及点位稀少、分布不均匀带来的转换精度不足问题。而且采用多项式回归法生成的格网模型可以外推,也解决了部分地区没有点位成果数据转换问题,是进行基础测绘成果转换比较好的方法。

#### 参考文献:

- [1] 陈俊勇,杨元喜,王敏,等. 2000 国家大地控制网的构建和它的技术进步[J]. 测绘学报,2007,36(1):1-8.
- [2] 党亚明,陈俊勇. 国际大地测量参考框架技术进展[J]. 测绘科学,2008,33(1):33-36.

- [3] 沈云中,胡雷鸣,李博峰. Bursa 模型用于局部区域坐标变换的病态问题及其解法[J]. 测绘学报,2006,35(2):95-98.
- [4] 魏子卿. 2000 中国大地坐标系及其与 WGS84 的比较[J]. 大地测量与地球动力学,2008,28(5):1-5.
- [5] 魏子卿. 关于 2000 中国大地坐标系的建议[J]. 大地测量与地球动力学,2006,26(2):1-4.
- [6] 袁修孝,付迎春,张过,等. 多级空间信息网格间的平面坐标变换精度分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2005,30(2):110-114.
- [7] 陈俊勇. 中国采用地心三维坐标系对现有地图的影响初析[J]. 测绘学报,2004,33(1):1-5.

[责任编辑:王丽欣]