

参心坐标系向地心坐标系转换若干问题的分析

张洪文, 张明丽, 张亚峰

(黑龙江第一测绘工程院 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:通过实例数据,对 1980 西安(参心)坐标系向 2000(地心)坐标系转换过程中遇到的若干问题进行探讨,分析了参心坐标系大地高的粗差、公共点位于不同投影带、公共点位于不同高程抵偿面等因素对转换精度的影响。

关键词:参心坐标系; 2000 大地坐标系; 坐标转换

中图分类号: P226.3 文献标识码: B 文章编号: 1672-5867(2011)04-0164-03

Analysis of Topics about Coordinate Transformation from Reference Ellipsoid Centric Coordinate System to Geocentric Coordinate System

ZHANG Hong-wen ZHANG Ming-li ZHANG Ya-feng

(Heilongjiang First Institute of Surveying and Mapping, Harbin 150086, China)

Abstract: This paper discussed the coordinate transformation from reference ellipsoid centric coordinate system to geocentric coordinate system using actual data and analyzed the effect factors including error of reference ellipsoid height, common reference points existing at different projection belts and common reference points existing at different height surfaces.

Key words: reference ellipsoid centric coordinate system; CGCS 2000; oordinate transformation

0 引言

原有参心坐标系的成果受到 2 维、非地心及平差方法、精度等条件因素的限制,而 CGCS 2000 大地坐标系坐标为 3 维、高精度成果,当原有参心坐标系坐标成果在向 CGCS 2000 大地坐标系转换过程中必然会出现数据的精度损失。大部分学者对不同坐标系之间转换模型的理论进行了深入研究、探讨,但对于局部区域参心坐标系向地心坐标系转换的实例研究得较少,且实验数据也多是集中在很小的区域,实验结论不具有代表性。本文通过对哈尔滨及周边区域的坐标转换实例进行计算,探讨在 1 000 km² 区域坐标转换中与坐标转换精度有关的若干问题。

本文各个表中的比较结果均为公共点原始数据求取的转换参数与公共点 1980 系原始坐标做相应的变化后求得的转换参数对试验点转换后获得的坐标差值。

1 大地高误差对转换精度的影响

参心坐标系下的点位平面、高程坐标是互相独立的,平面为 2 维高斯坐标,高程为以似大地水准面为基准的正

常高,由于点位的高程异常值不能精确获得,导致点位的大地高存在米级误差。这将导致按照公式(1)利用大地坐标计算空间直角坐标时会给空间坐标的各个分量带来误差。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+H) \cos B \cos L \\ (N+H) \cos B \sin L \\ [N(1-e)^2 + H] \sin B \end{bmatrix} \quad (1)$$

在 3 维转换过程中,基于最小二乘的布尔莎七参数转换模型应用最为广泛,布尔莎七参数转换模型公式见公式(2)。

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} + (1+k) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

由于大地高的不准确导致转换后的参心坐标系的空间直角坐标各个分量含有误差,在利用公式(2)进行坐标转换时必然会对转换结果精度带来一定的影响。下面结合实例数探讨参心坐标大地高存在的误差对坐标转换平面坐标带来的影响,实例数据区域参心坐标系平均高程面约为 150 m 左右。

表 1 数据为公共点大地高含有相同粗差的情况,从表

收稿日期: 2011-05-20

作者简介: 张洪文(1973-)男,黑龙江拜泉人,高级工程师,硕士,2006年毕业于亚洲理工学院(AIT)地理信息与遥感专业,主要从事测绘生产技术方法研究等方面的工作。

中数据可以看出,在公共点大地高含有相同粗差的情况下,对转换的平面坐标结果无影响。此结果同样适合于在不同平均高程面区域公共点含有相同大地高粗差的情况。

表 1 公共点大地高含有相同粗差的情况
Tab.1 Geodetic height of common points with the same gross errors

坐标分量 误差	公共点大地高 有相同粗差		不同高程面公共点 大地高含有相同粗差	
	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$
1 2 3 4 个 实验点位	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0

表 2 实例取大地高粗差 1~3 m 进行试验。我国区域内,绝大部分区域高程异常是不超过 3 m 的,对于实验区域高程异常误差不超过 1 m,高程异常误差对平面坐标的影响在厘米级,能够满足一般工程测量的精度要求。

表 3 数据说明,在不同海拔地区,随着平均高程面的增加,公共点含有粗差对转换后的平面坐标的影响逐渐增大,特别是对横坐标 y 的影响比较显著。在精度要求较高的工程测量、地方控制点使用 3 维七参数坐标转换方式求取点位坐标,当公共点大地高含有粗差时,应特别注意测区平均高程面的高度对平面坐标的影响。

表 2 部分公共点大地高含有 1~3 m 粗差的情况
Tab.2 Geodetic height of partial common points with 1~3 m gross errors

坐标分量误差	公共点含有 1 m 粗差		公共点含有 2 m 粗差		公共点含有 3 m 粗差	
	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$
1	-0.009 7	0.0179	0.013 1	-0.025 5	0.016 6	-0.036 3
2	0.015 8	-0.002 0	-0.018 4	-0.004 9	-0.027 7	-0.005 2
3	-0.015 8	0.006 0	0.021 8	-0.005 8	0.034 3	-0.009 7
4	0.006 2	0.009 2	-0.003 0	-0.002 3	-0.003 0	-0.002 3

表 3 大地高含有 1~3 m 粗差,平均高程面约 650 的比较结果

Tab.3 Geodetic height with 1~3 m gross errors

坐标分量误差	公共点含有 1 m 粗差		公共点含有 2 m 粗差		公共点含有 3 m 粗差	
	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$
1	-0.010 5	0.044 2	-0.021 1	0.084 9	-0.028 5	0.123 6
2	0.034 0	0.019 5	0.067 4	0.037 8	0.097 9	0.053 9
3	-0.021 9	0.022 1	-0.044 1	0.040 9	-0.063 2	0.059 7
4	0.018 0	0.020 0	0.033 0	0.037 8	0.047 9	0.055 5

2 公共点位于不同投影带的情况

为了解决长度变形问题,城市及工程控制网往往采用地方独立坐标系。在地方坐标建立的过程中,由于建立的方法不尽相同以及年代的问题,导致目前有些地方坐标系只是在建立时基础椭球采用国家椭球,但是已经无法知道地方坐标系的中央子午线信息,导致在地方坐标系向地心坐标系转换的过程中,由于中央投影经线的差异给转换结果带来误差。本实例通过计算,分析当公共点分属不同投影带时对转换精度的影响。

在实例数据中,按 15' 的间隔分别设置不同的 1980 系中央子午线,并用不同带的公共点 1980 系坐标分别与其在 2000 系 3° 带下的坐标求取转换参数,对实验数据进行转换对比,对比的结果见表 4。

从数据可知,当公共点中央子午线相差 15' 时,最大的转换误差为 0.025 m,相差 30' 时,最大的转换误差为 0.05 m。可见,当在一般大中城市独立坐标系覆盖的范围内进行坐标转换时,当地方坐标系中央子午线无法获取,

且与国家 3° 带相差不大时,可以直接进行转换,转换的精度可以满足一般城市大比例尺地理信息数转换的精度要求。同时,从表中数据也可看出,中央子午线的差异对点位的 Y 坐标影响较大,而且随着经度的增长,误差成倍数增加。

表 4 公共点分属不同投影中央子午线的比较结果
Tab.4 Comparison result of the common points belonged to different projecting Central Meridian

坐标分量 误差	公共点中央子午线 相差 15 分		公共点中央子午线 相差 30 分	
	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$
	1	0.004 8	0.025 3	0.009 8
2	-0.004 6	0.007 3	-0.008 6	0.014 6
3	-0.002 3	0.024 4	-0.005 3	0.048 7
4	0.018 2	-0.006 7	0.036 2	-0.013 3

3 公共点位于不同投影面的比较结果

在建立地方坐标系时,另外一种解决地方坐标系投影长度变形问题的方法是提高高程抵偿面的方法。《现有测绘成果转换到 2000 国家大地坐标系技术指南》给出的方法为按照地方坐标系的建立方法,建立基于 2000 椭球的地方坐标系,然后求取转换参数,最后按照相应的转换模型反向变换,求取地方独立坐标系的 2000 系坐标。

设 2000 独立坐标系椭球长半径为 a_1 ,第一偏心率 e_1 ; 2000 系长半径 a_2 ,第一偏心率 e_1 ,反向变换步骤如下:

1) 计算 2000 独立坐标系椭球长半径为 a_1

$$a_1 = a_2 + Hm(1 - e_1^2 \sin^2 B_m) / \sqrt{1 - e_1^2} \quad (3)$$

2) 计算纬度变化量

$$dB = \frac{1}{M + H_m} \left(\frac{e_1^2}{W} \Delta a \right) \sin B_{独} \cos B_{独} \quad (4)$$

式中:

$$W = \sqrt{1 - e_1^2 \sin^2 B_{独}}, M = \frac{a_2(1 - e_1^2)}{W^3}$$

3) 计算 2000 系坐标:

$$\begin{cases} B_{2000} = B_{独} - dB \\ L_{2000} = L_{独} - 0 \end{cases} \xrightarrow{\text{高斯投影}} X_{2000}, Y_{2000}$$

提高高程抵偿面建立地方坐标系的原理相当于将国家椭球膨胀形成新椭球。新椭球的中心与国家坐标系采用的椭球中心重合,扁率、第一偏心率没有发生变化,点位的经度没有变化,纬度发生变化,可按照公式(4)求得纬度变化量。对于单独使用提高高程抵偿面方法建立的地方坐标系,笔者认为可直接按照模型进行坐标转换,而无需利用以上公式进行计算、转换。因为国家椭球膨胀后形成的新椭球与 CGCS 2000 椭球之间的转换为两个椭球之间的坐标转换,适合直接利用转换模型转换,避免了前面提到的复杂的正反数据变换过程。

从表 5 可以看出,在将高程抵偿面提高到 500 m 时,比较的结果最大值为 0.002 m; 1 000 m 时,最大值为 0.003 7 m,转换得到的结果非常接近,说明,对于只使用提高高程投影面的方法建立的地方坐标系,可以直接利用具有 2000 系坐标的公共点进行转换,而省略建立 2000 独立坐标系以及反向变换的繁琐步骤,直接进行数据转换是可行的。

4 结束语

1) 在公共点位大地高含有相同粗差的情况下,对转换的平面坐标结果无影响; 在高程异常值不大的地区,对平面坐标的影响较小,能够满足一般工程测量的精度要

求; 随着平均高程面的增加,公共点含有粗差对转换后的平面坐标的影响逐渐增大,特别是对横坐标 y 的影响比较显著;

表 5 不同投影高程抵偿面下坐标比较结果

Tab. 5 Coordinates comparison result of different elevation compensating projecting surface

坐标分量 误差	500 m 高程抵偿面/m		1 000 m 高程抵偿面/m	
	Δx	Δy	Δx	Δy
1	-0.002 0	0.000 0	0.003 2	0.000 2
2	0.000 0	-0.000 6	-0.001 1	0.000 4
3	0.001 2	-0.000 7	-0.003 7	0.000 3
4	-0.001 5	-0.001 2	0.001 3	0.002 8

2) 公共点位于不同的投影带,两带中央子午线相差 15' 时,实例数据转换的最大误差为 0.025 m,可以满足一般城市大比例尺地理信息数转换的精度要求;

3) 在将公共点 1980 系坐标高程抵偿面提高到 500 m 时,比较的结果最大值为 0.002 m; 1 000 m 时,最大值为 0.003 7 m,转换得到的结果非常接近,证明对于只使用提高高程投影面的方法建立的地方坐标系,可以直接利用具有地方坐标系坐标、2000 系坐标的公共点进行数据转换。

本文利用 1 000 km² 范围的 1980、2000 系试验数据,探讨了 1980 西安参心坐标系向 2000 地心坐标系转换过程中遇到的值得研究的若干问题。通过实例数据的比较、分析,获得了有益的结论,为施工单位进行坐标转换提供了参考。

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,2005.
- [2] 徐仕琪,张晓帆,周可法,等.利用七参数法进行 WGS-84 和 BJ-54 坐标转换问题的探讨[J].测绘与空间地理信息,2007,30(5):33-38.
- [3] 张锐.坐标转换中大地高对平面坐标和高程的影响[J].测绘工程,2005,14(4):58-60.
- [4] 张勤,王利.GPS 坐标转换中高程异常误差影响规律研究[J].测绘通报,2001(6):12-14.

[编辑:胡雪]