

区域范围内参心与地心坐标成果转换精度评估^{*}

杨小伟 王玉宏 吴止缓
(解放军 63883 部队, 洛阳 471000)

摘 要 利用 BURSA 七参数模型编制了参心与地心坐标成果转换软件, 对该模型进行坐标转换的精度进行了评估, 分析了模型的转换精度、模型适用(控制)范围和误差分布情况。

关键词 参心坐标; 地心坐标; 坐标转换; 精度评估; 适用性

中图分类号: P226.3⁺

文献标识码: A

ACCURACY ASSESSMENT OF CONVERSION BETWEEN REFERENCE ELLIPSOID CENTRIC COORDINATE AND GEOCENTRIC COORDINATE IN REGIONAL SCALE

Yang Xiaowei, Wang Yuhong and Wu Zhihuan
(63883 Troops of PLA, Luoyang 471000)

Abstract A software was programmed, which can transform the result between the reference ellipsoid centric coordinate system and the geocentric coordinate system with seven parameter BURSA model. By using this model, the accuracy of the coordinate conversion is assessed and emphatically analyses the accuracy of conversion, the adaptability and the error distribution of the model are analyzed.

Key words: reference ellipsoid centric coordinate; geometric coordinate; coordinate conversion; accuracy assessment; adaptability

1 引言

我国于 20 世纪 50 年代和 80 年代分别建立了北京 54 坐标系和西安 80 坐标系, 其成果均为参心坐标, 但参心坐标成果已经不能满足现代测量发展的需要, 于是, 我国于 2008 年 8 月正式启用了新一代国家地心坐标系 CGCS2000^[1-6]。

在 CGCS2000 启用后的过渡衔接期内参心和地心成果将同时存在, 然而在测绘生产中需要统一基准的测绘成果。目前, 工程实践中一般采用 BURSA 七参数模型对区域范围的坐标成果进行批量转

换^[3-9], 但是对该模型的转换精度、控制适用范围和转换误差分布情况却较少研究。本文为解决这一问题, 利用 BURSA 模型编制了区域范围内参心坐标系与地心坐标系坐标成果的转化软件, 并用不同方式对转换精度进行了评估。

2 BURSA 模型及其编程实现

两个空间直角坐标系的坐标换算有七个参数, 七个参数也称为 BURSA 七参数, 两个坐标系转换的关键就是求取高精度的 BURSA 参数, 其公式为:

* 收稿日期: 2012-07-27

作者简介: 杨小伟, 男, 1983 年生, 工程师, 主要从事地理信息系统、大地测量与测量工程工作. E-mail: yxwyangxiaowei@gmail.com

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = (1 + K) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon & \varepsilon_y \\ -\varepsilon & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (1)$$

七个参数可以看作七个未知数,则至少需要 3 个公共点,当多于 3 个公共点时,可按最小二乘法求得七个参数的最或然值。求出 BURSA 七参数后,就可以通过高斯正反算和大地坐标正反算公式求出相关坐标的空间直角坐标(XYZ)、大地坐标(BLH)以及平面坐标(NEH)。

3 转换精度评估

采用模拟数据和实测数据对计算结果进行分析。

3.1 模拟数据的测试分析

在北纬 $33^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 东经 $112^{\circ} \sim 114^{\circ}$ 的范围内, 建立间距为 $3'$ 的格网, 每个格网的节点作为已知点, 这样可生成 41×41 共 1 681 个均匀分布的点位, 这里将其坐标看作 CGCS2000 下的成果, 点位编号依次为 1, 2, 3, \dots , 1 681 (图 1)。并考虑不同高程平面对转换精度的影响, 将每个节点的高程设置为 $0 \sim 400$ m 的随机数。

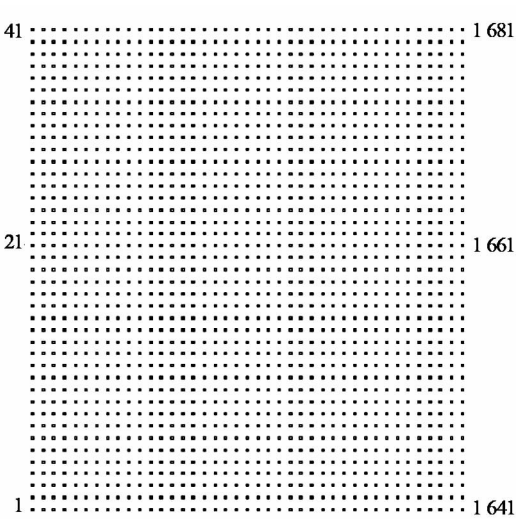


图 1 点位分布情况
Fig. 1 Point distribution

利用“2000 中国大地坐标系转换系统”并选用高精度的“NBJS54 - CGCS2000_7 参数”对产生的 1 681 个节点坐标进行批量转换, 生成新北京 54 坐标系下全部 1 681 个节点的经纬度(表 1)。同样, 求出各节点在两个坐标系下的空间直角坐标和平面坐标如表 2 和表 3 所示。

表 1 节点的经纬度转换情况(单位:°)

Tab. 1 Results of coordinate conversion at node points(unit: °)

点名	$B(2000)$	$L(2000)$	$H(2000)$	$B(\text{NBJS}54)$	$L(\text{NBJS}54)$	$H(\text{NBJS}54)$
1	33.000 0	112.000 0	49.444 76	32.595 95	111.595 8	109.131
2	33.030 0	112.000 0	37.883 53	33.025 95	111.595 8	97.564
.....
1 681	35.000 0	114.000 0	121.526 4	34.595 94	113.595 8	179.543

表 2 节点的空间直角坐标转换情况(单位:m)

Tab. 2 Results of space rectangular coordinates conversion at node points(unit: m)

点名	$X(2000)$	$Y(2000)$	$Z(2000)$	$X(\text{NBJS}54)$	$Y(\text{NBJS}54)$	$Z(\text{NBJS}54)$
1	-2 005 837.094	4 964 621.02	3 453 985.571	-2 005 847.8	4 964 776.279	3 454 067.08
2	-2 004 701.324	4 961 809.892	3 458 628.617	-2 004 712.042	4 961 965.174	3 458 710.1
.....
1 681	-2 127 446.745	4 778 323.624	3 637 936.614	-2 127 457.423	4 778 479.472	3 638 018.067

表 3 节点的平面坐标转换情况(单位:m)

Tab. 3 Results of plane coordinates conversion at node points(unit: m)

点名	$X(2000)$	$Y(2000)$	$Z(2000)$	$X(\text{NBJS}54)$	$Y(\text{NBJS}54)$	$Z(\text{NBJS}54)$
1	3 653 192.250 9	19 593 455.160 3	49.444 8	3 653 241.935 3	19 593 408.633 0	109.131
2	3 658 737.841 6	19 593 402.404 5	37.883 5	3 658 787.437 4	19 593 355.879 5	97.564
.....
1 681	3 878 708.174 8	19 773 907.659 5	121.526 4	3 878 755.353 9	19 773 859.196 6	179.543

现通过采用不同方式选择控制点,依据控制点计算得出的七参数,批量转换后比较其与“2000 中国大地坐标系转换系统”所求得的真值,并分析其误差分布。

1)方式 1:以 1、41、1 641、1 681 节点为控制点,控制 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 范围内其余节点在 NBJ54 坐标系下的坐标。

经计算,1 677 个点的误差平均值为 0.022 4 m,最大误差位于 1 064 点,误差值为 0.059 m,标准差为 0.024,误差分布如图 2 所示。

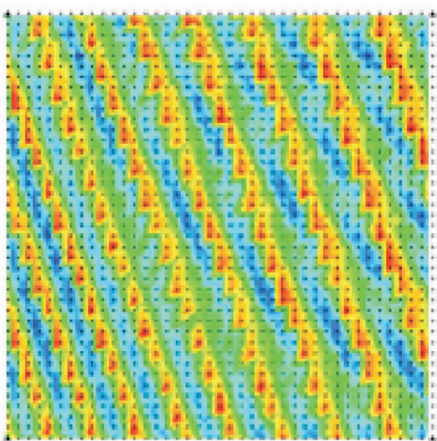


图 2 方式 1 的误差分布
Fig.2 Error distribution of Mode 1

从图 2 可以看出,该控制方式计算的坐标成果,误差较大,且控制点范围内误差分布不够均匀,不能很好地起到控制误差的作用。

2)方式 2:以 421、441、1 241、1 261 节点为控制点,控制 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 范围内其余节点在 NBJ54 坐标系下的坐标。

经计算,1 677 个点的误差平均值为 0.025 7 m,最大误差位于 162 点,误差值为 0.063 6 m,标准差为 0.068 45,误差分布如图 3 所示。

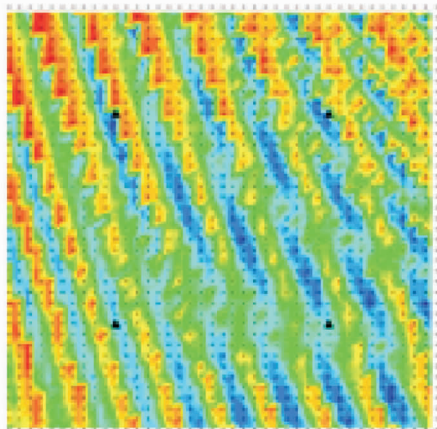


图 3 方式 2 的误差分布
Fig.3 Error distribution of Mode 2

从图 3 可以看出,该控制方式计算的坐标成果,整体误差有所扩大,然而控制点范围内误差分布已经趋向均匀,且控制点范围内的误差均值为 0.016 9 m,已有所减小。

3)方式 3:以 589、601、1 081、1 093 节点为控制点,控制 $0.6^{\circ} \times 0.6^{\circ}$ 范围内其余节点在 NBJ54 坐标系下的坐标。

经计算,1 677 个点的误差平均值为 0.036 0 m,最大误差位于 1 639 点,误差值为 0.075 5 m,标准差为 0.014 7,误差分布见图 4。

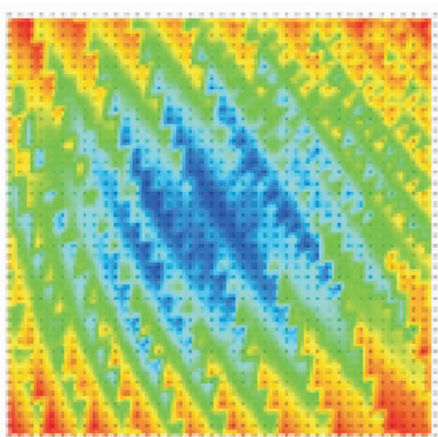


图 4 方式 3 的误差分布
Fig.4 Error distribution of Mode 3

从图 4 可以看出,该控制方式计算的坐标成果,对全部节点整体误差进一步扩大,然而控制点范围内误差分布已经较为均匀,且控制点范围内的误差均值为 0.013 2m,较方式 1 和方式 2 已进一步减小。

4)方式 4:以 637、681、1 001、1 009 节点为控制点,控制 $0.4^{\circ} \times 0.4^{\circ}$ 范围内其余节点在 NBJ54 坐标系下的坐标。

经计算,1 677 个点的误差平均值为 0.041 8 m,最大误差位于 81 点,误差值为 0.105 5 m,标准差为 0.014 7,误差分布如图 5。

从图 5 可以看出,该控制方式计算的坐标成果,对全部节点整体误差已经变大,然而控制点范围内误差分布已经较为均匀,且控制点范围内的误差均值为 0.012 1 m,较方式 1、2 和 3 已经达到较好的控制效果。

综合比较以上四种控制点布设方式,可以看出第四种控制点布设方式能更好地控制区域范围内坐标成果的精度,转换误差均值约为 0.02 m。因此,程序可以实现区域范围内坐标成果的较高精度转换,在使用过程中建议控制点应分布均匀,且最长边不超过 50 km。

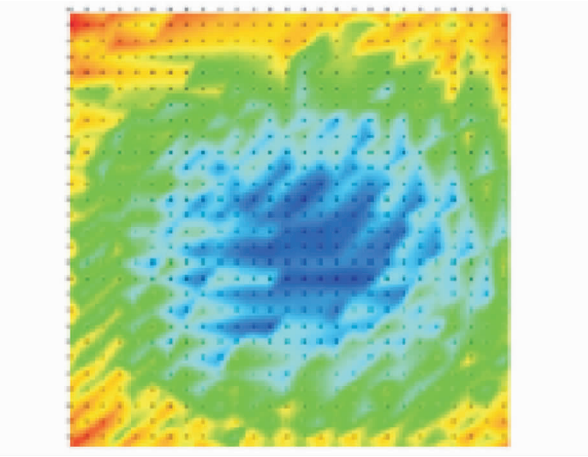


图 5 方式 4 的误差分布
Fig. 5 Error distribution of Mode 4

3.2 实测数据的测试分析

以实测数据为控制点,求取局域范围内坐标转换的七参数,并将其代入程序,计算其他点位的坐标。将求取的靶场坐标与已知的该点坐标比较,以验证转换的可靠性。

某地区大地成果同时提供了 9 个点位在 BJ54 坐标系和 CGCS2000 坐标系下的成果(图 6)。现选取能够覆盖测区,且分布较为均匀的 B0、B2、B5、B006 和 IIB041 作为控制点来计算七参数,另外四个点作为检核点,检验转换精度。

- 1)由 CGCS2000 坐标计算 NBJ54 坐标的转换结果见表 4。
- 2)由 NBJ54 坐标计算 CGCS2000 的转换结果见表 5。
- 3)由 WGS84 坐标计算 CGCS2000 的转换结果见表 6。

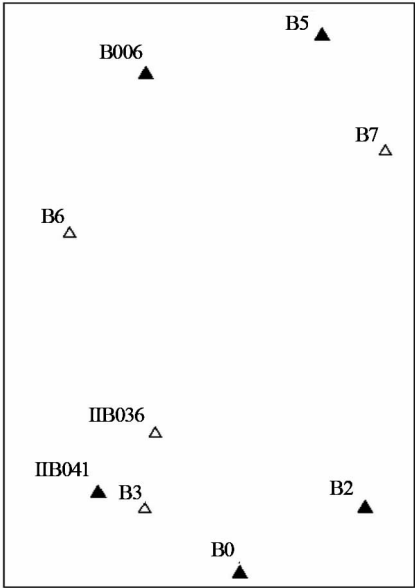


图 6 点位分布
Fig. 6 Point distribution

4)由 WGS84 坐标计算 NBJ54 的转换结果见表 7。

统计分析以上数据可以看出,本程序计算的坐标与该点的已知坐标差均值为 0.008 9 m,其中最大值为 0.020 m,证实了 BURSA 七参数模型在区域范围内参心坐标成果与地心坐标成果的转换中具有较高精度。

4 结 语

经分析对比试验数据,BURSA 七参数模型可在区域范围实现较高精度的参心坐标成果与地心坐标成果间的坐标转换。同时,在选用公共点时,应考虑公共点在整个测区的位置以及构成的地面网形。网

表 4 由 CGCS2000 转换的 NBJ54 坐标与 NBJ54 已知点坐标的比较(单位:m)
Tab. 4 Comparison between calculation results and the known values (CGCS2000 to NBJ54;unit: m)

点名	X(已知)			Y(已知)			Z(已知)			X(程序)			Y(程序)			Z(程序)			Δ
B3	-2 401	151.403	3 753	459.686	4 548	845.807	-2 401	151.403	3 753	459.686	4 548	845.81	0.003	0					
IIB036	-2 399	789.204	3 750	227.249	4 552	242.217	-2 399	789.208	3 750	27.253	4 552	242.226	0.010	6					
B6	-2 391	652.951	3 743	796.328	4 561	784.225	-2 391	652.943	3 743	796.318	4 561	784.211	0.019	0					
B7	-2 399	954.849	3 733	680.595	4 565	655.745	-2 399	954.843	3 733	680.59	4 565	655.736	0.011	9					

表 5 由 NBJ54 转换的 CGCS2000 坐标与 CSCS2000 已知点坐标的比较(单位:m)
Tab. 5 Comparison between calculation results and the known values (NBJ54 to CGCS2000;unit: m)

点名	X(已知)			Y(已知)			Z(已知)			X(程序)			Y(程序)			Z(程序)			Δ
B3	-2 401	139.672	3 753	301.09	4 548	763.963	-2 401	139.672	3 753	301.09	4 548	763.96	0.003	0					
IIB036	-2 399	777.477	3 750	068.658	4 552	160.38	-2 399	777.473	3 750	068.654	4 552	160.371	0.010	6					
B6	-2 391	641.211	3 743	637.721	4 561	702.363	-2 391	641.219	3 743	637.731	4 561	702.377	0.019	0					
B7	-2 399	943.118	3 733	522.003	4 565	573.9	-2 399	943.124	3 733	522.008	4 565	573.909	0.011	9					

表 6 由 WGS84 转换的 CGCS2000 坐标与 CGCS2000 已知点坐标的比较(单位:m)

Tab.6 Comparison between calculation results and the known values (WGS84 to CGCS2000;unit: m)

点名	X(已知)		Y(已知)		Z(已知)		X(程序)		Y(程序)		Z(程序)		Δ
B3	-2 401	139.672	3 753	301.09	4 548	763.963	-2 401	139.672	3 753	301.09	4 548	763.962	0.001 0
IIB036	-2 399	777.477	3 750	068.658	4 552	160.38	-2 399	777.476	3 750	068.658	4 552	160.38	0.001 0
B6	-2 391	641.211	3 743	637.721	4 561	702.363	-2 391	641.211	3 743	637.723	4 561	702.361	0.002 8
B7	-2 399	943.118	3 733	522.003	4 565	573.9	-2 399	943.119	3 733	522.002	4 565	573.899	0.001 7

表 7 由 WGS84 转换的 NBJ54 坐标与 NBJ54 已知点坐标的比较(单位:m)

Tab.7 Comparison between calculation results and the known values (WGS84 to NBJ54;unit: m)

点名	X(已知)		Y(已知)		Z(已知)		X(程序)		Y(程序)		Z(程序)		Δ
B3	-2 401	151.403	3 753	459.686	4 548	845.807	-2 401	151.403	3 753	459.686	4 548	845.81	0.003 0
IIB036	-2 399	789.204	3 750	227.249	4 552	242.217	-2 399	789.207	3 750	227.253	4 552	242.226	0.010 3
B6	-2 391	652.951	3 743	796.328	4 561	784.225	-2 391	652.943	3 743	796.319	4 561	784.209	0.020 0
B7	-2 399	954.849	3 733	680.595	4 565	655.745	-2 399	954.844	3 733	680.59	4 565	655.735	0.012 2

形不同求解的转换参数也不同,要想提高坐标转换精度,应尽量选择位于测区外围、边长较长且能控制整个区域的网形。本文仅验证控制点为矩形时,不同布网方式对转换精度的影响,其他网型结构对测区的控制情况也可作进一步的研究。另外,由于时间所限本文仅验证了部分数据,还需要大量的实测数据验证模型的精度和可靠性。

参 考 文 献

1 陈俊勇. 与动态地球和信息时代相应的中国现代大地基准[J]. 大地测量与地球动力学, 2008,(4):1-6. (Chen Junyong. Chinese modern geodetic datum suitable for dynamic earth and information era[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2008,(4):1-6)

2 魏子卿. 2000 中国大地坐标系[J]. 大地测量与地球动力学,2008,(6):1-5. (Wei Ziqing. China geodetic system 2000[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2008,(6):1-5)

3 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,(5):1-5. (Wei Ziqing. China geodetic coordinate system 2000 and its comparison with WGS84[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2008,(5):1-5)

4 程鹏飞. 2000 国家大地坐标系实用宝典[M]. 北京:测绘出版社,2008. (Cheng Pengfei. A practical book of CGCS 2000[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press,2008)

5 王文利,等. 1954 年北京坐标系和 1980 西安坐标系精度分析及其适用性研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2012,(5):68-71. (Wang Wenli,et al. Analysis of accuracy and applicability of transformation between 1954 Beijing coordinate system and 1980 Xi'an coordinate system[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2012,(5):68-71)

6 楚振庭. 国土资源工作中测绘数据坐标转换研究[J]. 现代测绘,2010,(1):31-33(Chu Zhenting. A study of surveying and mapping data coordinate transformation in land resource job[J]. Modern Surveying and Mapping, 2010,(1):31-33)

7 陶国春. MAPGIS 中北京 54 坐标系与西安 80 坐标系坐标转换的研究[J]. 煤炭技术,2010(11):12-14(Tao Guochun. Transformation of Beijing 54 coordinate system and Xi'an 80 coordinate system in MAPGIS[J]. Coal Technology,2010(11):12-14)

8 张宏. 布尔莎-沃尔夫转换模型的几何证明[J]. 测绘与地理空间信息,2006,29(2):46-47(Zhang Hong. To prove Burse-Wolf conversion model with simple formula[J]. Geomatics & Spacial Imformation Technology,2006,29(2):46-47)

9 陈宇,白征东,罗腾. 基于改进的布尔沙模型的坐标转换方法[J]. 大地测量与地球动力学,2010,(3):71-73. (Chen Yu,Bai Zhengdong and Luo Teng. An improved Bursa model for coordinate transformation[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010,(3):71-73)