

WGS-84(G1674) 与 CGCS2000 坐标转换研究

赵忠海¹, 蒋志楠², 朱李忠¹

(1. 黑龙江第一测绘工程院 黑龙江 哈尔滨 150025; 2. 黑龙江东方学院 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 简要介绍了 WGS-84(G1674) 与 2000 国家大地坐标系(CGCS2000) 的背景, 说明两者之间进行坐标转换的必要性, 举例说明了坐标转换模型及可行的模型参数求解策略, 最后评定了可达到的转换精度。

关键词: WGS-84(G1674); CGCS2000; 坐标转换

中图分类号: P226+.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-5867(2015) 04-0188-02

Discussion of the Coordinate Transformation between WGS-84(G1674) and CGCS2000

ZHAO Zhong-hai¹, JIANG Zhi-nan², ZHU Li-zhong¹

(1. The First Surveying and Mapping Engineering Institute of Heilongjiang Province ,
Harbin 150025 , China; 2. East University of Heilongjiang , Harbin 150086 , China)

Abstract: Introduced the WGS-84 and the National Geodetic Coordinate System 2000(CGCS2000) differences , and the necessity of the coordinate transformation between them , meanwhile we provide a coordinate transformation model and compute strategy , as well as transformation accuracy can be achieved.

Key words: WGS-84 (G1674); CGCS2000; coordinate transformation

0 引言

不同的坐标系因为实现方式不同, 导致同一地点的坐标存在差异。目前, 广泛使用的 WGS-84 坐标系在 2012 年精化后, 与我国 CGCS2000 坐标系之间的差异已经不能忽视, 有必要对其坐标转换方法、精度进行探讨。

1 WGS-84(G1674) 与 CGCS2000 背景介绍

WGS-84 是由美国国防制图局建立的。该部门后并入新成立的美国国家影像与制图局(NIMA——National Imagery and Mapping Agency) 在美国 9·11 事件后, 更名为美国国家地理空间情报局(NGA——National Geospatial-Intelligence Agency) 。目前, WGS-84 主要由 NGA 负责维护。WGS-84 系统由全球地心参考框架、地球重力场模型、WGS-84 水准面等组成, 先后经历了 4 次精化^[1], 前 3 次分别为 WGS-84(G730) 、WGS-84(G873) 、WGS-84(G1150) , 其中“G”表示完全采用 GPS 方法确定, 后面数字表示 GPS 周数, 最新一次精化在 2012 年 2 月 8 日,

标号 WGS-84(G1674) 。此次精化后, WGS-84(G1674) 与 ITRF08 在历元 2005.0 处一致。目前 GPS 测量定位中, 若采用广播星历, 则定位结果(单点定位或相对定位) 属于 WGS-84(G1674) 坐标系^[2]下当前历元。

2000 国家大地坐标系(CGCS2000) 是我国目前正在推广并使用的新一代大地坐标系, 属于 ITRF97 框架、2000.0 历元、三维地心坐标系^[3]。它所采用的参考椭球赤道半径 a 、地球自转速度 ω 、地心引力常数 GM 均与 WGS-84 一致, 椭球扁率 f 存在的微小差异, 仅在赤道上导致 1 毫米误差, 可以认为 CGCS2000 坐标和 WGS-84(G1150) 坐标是一致的^[1, 4-5]。在实现方法上, CGCS2000 采用三个层次, 首先, 依靠连续运行 GPS 观测站来维持, 精度为毫米级; 其次, 是地壳运动观测网络工程网等高精度 GPS 网点, 三维点位误差约为 3cm; 最后, 是全国天文大地控制网点, 三维点位误差约为 0.3m^[4]。

从上面的介绍可以看出, WGS-84(G1674) 与 CGCS2000 虽然参考椭球基本一致, 但参照的 ITRF 框架、历元不同, 导致目前实践中获得的 WGS-84 坐标在测量精度上已经不能认为是 CGCS2000 框架下的坐标。

收稿日期: 2013-12-16

作者简介: 赵忠海(1983-) 男, 黑龙江哈尔滨人, 工程师, 硕士, 2010 年毕业于中国地震局地震研究所大地测量专业, 主要从事大地测量、工程测量及相关数据检查处理工作。

2 WGS - 84(G1674) 与 CGCS2000 坐标转换模型

目前常用的坐标转换模型有布尔沙模型、二维四参数模型等,每种模型均有特定的适用范围,例如二维四参数模型通常用在小范围的平面坐标转换,布尔沙模型用在大范围的空间直角坐标转换。下面以布尔沙模型为例,说明坐标转换模型原理。

设 X_{w1}, Y_{w1}, Z_{w1} 为 WGS - 84(G1674) 坐标, X_{c1}, Y_{c1}, Z_{c1} 为 CGCS2000 坐标, $T_x, T_y, T_z, R_x, R_y, R_z, D$ 分别为平移、旋转和尺度因子 7 个参数,公式有:

$$\begin{bmatrix} X_{c1} \\ Y_{c1} \\ Z_{c1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{w1} \\ Y_{w1} \\ Z_{w1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & R_z & -R_y \\ -R_z & D & R_x \\ R_y & -R_x & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{w1} \\ Y_{w1} \\ Z_{w1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

如果存在 n 个公共点,简化后有^[6]

$$X_c = X_w + CR \quad (2)$$

式中:

$$X_c = [X_1 \ X_2 \ \cdots \ X_n]^T, \text{ 其中 } X_i = [X_{ci} \ Y_{ci} \ Z_{ci}]^T$$

$$X_w = [X_1 \ X_2 \ \cdots \ X_n]^T, \text{ 其中 } X_i = [X_{wi} \ Y_{wi} \ Z_{wi}]^T$$

$C =$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_{w1} \times 10^{-6} & 0 & -Z_{w1}/\rho & Y_{w1}/\rho \\ 0 & 1 & 0 & Y_{w1} \times 10^{-6} & Z_{w1}/\rho & 0 & -Y_{w1}/\rho \\ 0 & 0 & 1 & Z_{w1} \times 10^{-6} & -Y_{w1}/\rho & X_{w1}/\rho & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & X_{wn} \times 10^{-6} & 0 & -Z_{wn}/\rho & Y_{wn}/\rho \\ 0 & 1 & 0 & Y_{wn} \times 10^{-6} & Z_{wn}/\rho & 0 & -Y_{wn}/\rho \\ 0 & 0 & 1 & Z_{wn} \times 10^{-6} & -Y_{wn}/\rho & X_{wn}/\rho & 0 \end{bmatrix}$$

表 1 两套坐标系的测站空间直角坐标

Tab. 1 Special rectangular coordinate of sites in two coordinate systems

坐标系	站名	X/m	Y/m	Z/m
WGS - 84(G1674)	HLAR	-206 * * * *.602	362 * * * *.665	481 * * * *.101
CGCS2000		-206 * * * *.283	362 * * * *.734	481 * * * *.158
WGS - 84(G1674)	HLMH	-206 * * * *.753	324 * * * *.448	506 * * * *.194
CGCS2000		-206 * * * *.433	324 * * * *.516	506 * * * *.255
WGS - 84(G1674)	HLWD	-248 * * * *.913	340 * * * *.090	476 * * * *.477
CGCS2000		-248 * * * *.599	340 * * * *.155	476 * * * *.540
WGS - 84(G1674)	NMER	-225 * * * *.393	337 * * * *.293	490 * * * *.410
CGCS2000		-225 * * * *.075	337 * * * *.359	490 * * * *.472
WGS - 84(G1674)	NMWL	-235 * * * *.447	376 * * * *.782	456 * * * *.949
CGCS2000		-235 * * * *.132	376 * * * *.849	456 * * * *.008
WGS - 84(G1674)	E333	-208 * * * *.094	332 * * * *.672	501 * * * *.581
CGCS2000		-208 * * * *.762	332 * * * *.763	501 * * * *.645

在利用表 1 中坐标进行坐标转换参数求解时, E333 未参与计算,而用来检核转换模型的外部精度。

依据公式 (3) 求得的 WGS - 84(G1674) 坐标到 CGCS2000 坐标的转换参数如表 2 所示,由公式 (4) 计算的 M_p 值为 0.18 cm,说明转换参数求解可靠。

利用表 2 中转换参数,计算出的 E333 点 CGCS2000 坐标与平差解算出 CGCS2000 坐标对比见表 3。

$$R = [T_x \ T_y \ T_z \ D \ R_x \ R_y \ R_z]$$

利用最小二乘法对 (2) 式求解,估值如下:

$$\hat{R} = (C^T P_L C)^{-1} (C^T P_L L) \quad (3)$$

式中: $L = X_c - X_w$, P_L 是 L 的权矩阵,通常为单位阵。

解算的平移参数单位为 m,旋转参数单位为 S(秒),尺度因子单位为 ppm。

坐标转换内部评定精度指标采用点位中误差 M_p ,公式为:

$$\begin{cases} M_X = \pm \sqrt{\frac{[vv]_X}{n-1}} \\ M_Y = \pm \sqrt{\frac{[vv]_Y}{n-1}} \\ M_Z = \pm \sqrt{\frac{[vv]_Z}{n-1}} \\ M_p = \pm \sqrt{M_X^2 + M_Y^2 + M_Z^2} \end{cases} \quad (4)$$

式中 p 为重合点转换坐标与已知坐标的差值, M_X, M_Y, M_Z 为空间直角坐标 X, Y, Z 的残差中误差, n 为重合点个数。

3 坐标转换应用实例

利用陆态网络 6 座 GPS 站,分布情况如图 1 所示,所选 GPS 测站均位于同一地壳运动板块内^[7-9]。同时,联测并固定周边 IGS 站,分别是 CHAN, BJFS, ULAB, YAKT, YSSK,其起算数据来自 <http://itrf.ensg.ign.fr> 和 <http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/sector.cgi> 网站,在厘米级精度内,认为 ITRF97 框架 2000 历元是 CGCS2000 坐标,ITRF08 框架当前历元成果是 WGS - 84(G1674) 当前坐标。

原始数据经过基线解算与平差后,具有两套坐标的成果见表 1,用“*”代表中具体数字。

表 2 WGS - 84(G1674) 与 CGCS2000 转换参数

Tab. 2 Transformation parameters between WGS - 84 (G1674) and CGCS2000

	T_x	T_y	T_z	D	R_x	R_y	R_z
	(cm)	(cm)	(cm)	ppb	.001"	.001"	.001"
转换参数	28.52	17.10	3.09	6.04	1.263	-1.994	-0.063

(下转第 192 页)

续 2

Tab. 2 (Continued)

点号	采用方差分量估计方法			测角测距按等权方法		
	横坐标 中误差	纵坐标 中误差	点位 中误差	横坐标 中误差	纵坐标 中误差	点位 中误差
10	1.03	1.04	1.47	1.26	1.23	1.76
11	1.14	1.13	1.60	1.38	1.35	1.93
12	1.09	1.18	1.60	1.28	1.41	1.91
13	1.15	1.17	1.64	1.41	1.48	2.04
14	1.20	1.12	1.64	1.46	1.42	2.04
15	1.15	1.20	1.66	1.31	1.57	2.04
16	1.19	1.23	1.71	1.33	1.60	2.08
17	1.05	1.30	1.67	1.24	1.73	2.13
18	1.18	1.28	1.74	1.41	1.70	2.21
19	1.29	1.68	2.12	1.61	2.08	2.63
20	1.34	1.68	2.15	1.68	2.06	2.66
21	1.52	2.00	2.51	1.89	2.13	2.85
22	1.53	1.99	2.51	1.88	2.14	2.85
23	1.38	1.56	2.08	1.73	1.77	2.48
24	1.37	1.58	2.09	1.70	1.80	2.48
25	1.07	1.19	1.60	1.31	1.44	1.94
26	0.97	1.26	1.59	1.08	1.51	1.86

4 结束语

在本次边角网实验中,由于测角、测边相互独立,数据处理实验中分别对其给定观测权,在给观测权赋初值

时,假设测角、测边单位权中误差相同,观测权也相同,然后平差计算各量改正数,再采用验后方差分量估计方法分别计算单位权中误差,重新对测角、测边定权,再进行改正数计算,直至改正数小到对结果没有影响为止,该计算方法并不复杂。从表 2 中计算数据可以看出,采用验后方差分量估计方法处理该边角网较采用等权计算精度略高,说明在边角网数据处理时,在对验前方差无法准确确定的情况下,采用验后方差分量估计方法处理观测数据更为合理。

参考文献:

- [1] 铁建设[2006]189号 客运专线无碴轨道铁路工程测量暂行规定[S]. 北京: 中华人民共和国铁道部.
- [2] 隋立芬,宋力杰. 误差理论与测量平差基础[M]. 北京: 解放军出版社 2004.
- [3] 崔希璋,於宗寿,陶本藻,等. 广义测量平差[M]. 武汉: 武汉大学出版社 2001.

[编辑: 任亚茹]

(上接第 189 页)

表 3 CGCS2000 坐标对比

Tab. 3 Coordinate contrast of CGCS2000

	$\Delta X/m$	$\Delta Y/m$	$\Delta Z/m$	$\Delta P/m$
E333 转换 - E333 平差	-0.012	-0.024	-0.003	0.027

从表 3 可以看出,点位误差约为 3 厘米,也就是说利用转换参数获得的坐标精度在厘米级,与 CGCS2000 实现方法的第二层次精度相当。

4 结束语

本文从原始观测数据入手,计算出具有 2 套坐标的重合点,获得的坐标转换模型内符合精度 0.18 cm,外符合精度 2.7 cm,满足一般控制测量中对于坐标精度的要求。这种方法对于缺少已知坐标或转换参数难以获得的情况下,值得借鉴。

同时,我们看到 WGS-84(G1674)与 CGCS2000 两者的参考椭球已经趋于一致,其主要差别是历元和参考框架的不一致,而这里又以历元导致的差别明显,由当前历元转换至 2000.0 历元,就 E333 而言,根据速度场推算有 32 cm 的空间位移^[10],从表 2 中也可以看出,平移参数矢量达到了 33 cm,两者之间数量上基本一致,说明 WGS-84(G1674)与 CGCS2000 之间主要因板块运动导致测站位置变化。

WGS-84(G1674)坐标与 CGCS2000 坐标存在分米级的差别,利用重合点进行 WGS-84(G1674)与 CGCS2000 坐标转换模型参数求解,可以获得厘米级或者更高的精度,在精度要求不高的情况下,可以利用速度场

模型直接进行改正。

参考文献:

- [1] 陈俊勇. 世界大地坐标系 1984 的最新精化[J]. 测绘通报 2003(2): 1-3.
- [2] 李征航,黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社 2010.
- [3] 陈俊勇. 中国现代大地基准——中国大地坐标系 2000(CGCS2000)及其框架[J]. 测绘学报,2008,37(3): 269-271.
- [4] 杨元喜. 2000 中国大地坐标系[J]. 科学通报 2009,54(16): 2 271-2 276.
- [5] 魏子卿. 2000 中国大地坐标系及其与 WGS-84 的比较[J]. 大地测量与地球动力学 2008,28(5): 1-5.
- [6] 郭英起,唐彬,张秋江,等. 基于空间直角坐标系的高精度坐标转换方法研究[J]. 大地测量与地球动力学,2012,3(32): 125-128.
- [7] 王敏,沈正康,牛之俊,等. 现今中国大陆地壳运动与活动块体模型[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学,2003,33(z): 21-32.
- [8] 程鹏飞,成英燕,秘金钟,等. CGCS2000 板块模型构建[J]. 测绘学报 2013,42(2): 159-167.
- [9] 王伟,王琪. GPS 观测约束下的中国大陆活动地块运动学模型[J]. 大地测量与地球动力学,2008,28(4): 75-82.
- [10] 魏子卿,刘光明,吴富梅. 2000 中国大地坐标系: 中国大陆速度场[J]. 测绘学报 2011,40(4): 403-410.

[编辑: 胡雪]