

WGS84 和 CGCS2000 坐标转换研究

彭小强¹ 高井祥¹ 王 坚¹

¹ 中国矿业大学国土环境与灾害监测国家测绘地理信息局重点实验室,徐州市大学路 1 号,221116

摘 要:为实现 WGS84 和 CGCS2000 坐标系之间的转换,首先通过七参数法将 WGS84 坐标转换到 ITRF 坐标,然后再通过框架转换法转换到 CGCS2000 坐标,并进行实例计算和分析。

关键词: WGS84;CGCS2000;七参数法;ITRF 框架;坐标转换

中图分类号: P226

文献标识码: A

由于测量时间不同、采用的框架不同,北斗导航系统不能直接使用基于 WGS84 坐标系的成果,必须将现有 GPS 测绘成果转换到 CGCS2000 坐标系下。本文通过七参数法和框架转换法,实现 WGS84 和 CGCS2000 的坐标转换。通过实例,分析 WGS84 坐标和 CGCS2000 坐标的差异。

1 WGS84 和 CGCS2000 坐标转换方法

WGS84 采用的是 WGS84 参考框架^[1],CGCS2000 的坐标参考框架是 ITRF1997^[2]。将 WGS84 坐标转换到 CGCS2000 坐标,首先用七参数法将 WGS84 参考框架转换成 ITRF2000,然后用框架转换法实现 ITRF2000 和 ITRF1997 间的转换。

1.1 WGS84 参考框架和 ITRF2000 间的转换

采用七参数法将 WGS84 参考框架转换成 ITRF2000,即 $(X, Y, Z)_{\text{WGS84}}^T \rightarrow (X, Y, Z)_{\text{ITRF2000}}^T$ 。七参数法转换模型为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}} = (1 + m) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS84}} + \begin{bmatrix} 0 & \epsilon_Z & -\epsilon_Y \\ -\epsilon_Z & 0 & \epsilon_X \\ \epsilon_Y & -\epsilon_X & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS84}} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, m 是一个尺度变化参数, $(\epsilon_X, \epsilon_Y, \epsilon_Z)$ 是 3 个旋转参数, $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ 是 3 个平移参数。

当有 3 个或 3 个以上公共点时,采用最小二乘法求解七参数,然后再利用式(1)将 WGS84 坐标转换至 ITRF2000 坐标。

1.2 ITRF 框架间转换

文献[3-4]验证了 ITRF 框架转换法的可行性。本文采用该方法实现 ITRF 框架间转换。ITRF 框架间转换有两种方法,一种是先进行历元转换,再进行框架转换;另一种是先进行框架转换,再进行历元转换。第二种方法需要先使用七参数法进行速度转换,会增加误差累积,降低精度。因此,本文使用第一种转换方法。

1) 统一历元

统一历元是指同一框架不同历元的转换,即 $(X, Y, Z)_{\text{ITRF2000}}^T \rightarrow (X, Y, Z)_{\text{ITRF2000}}^t (t=2000.0)$ 。

由于地壳运动,GPS 测站在框架内的位置随时间而变化,这种运动一般比较缓慢,可近似为匀速线性运动,因此某历元的坐标计算公式可表示为^[4]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}}^t = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}}^T + (t - T) \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}}^T \quad (2)$$

2) 框架转换

历元统一后,进行不同框架间的转换,即 $(X, Y, Z)_{\text{ITRF2000}}^t \rightarrow (X, Y, Z)_{\text{CGCS2000}}^t$ 。

根据 IERS 公布的框架间 14 个转换参数(7 个转换参数和 7 个转换参数速率),求出 t 历元下框架间转换的 7 个转换参数。以 t_K 历元为参考历元,则:

$$\begin{cases} T(t) = T(t_K) + \dot{T}(t - t_K) \\ D(t) = D(t_K) + \dot{D}(t - t_K) \\ R(t) = R(t_K) + \dot{R}(t - t_K) \end{cases} \quad (3)$$

收稿日期:2014-04-17

项目来源:国家自然科学基金(41074010);江苏省高校优势学科建设工程(SZBF2011-6-B35);新世纪优秀人才支持计划(NCET-13-1019);中国矿业大学基本科研业务费创新人才科研基金(2013RC16)。

第一作者简介:彭小强,硕士生,主要从事 GNSS 数据处理方面的研究,E-mail: pxq10101@126.com。

式中, T 为 3 个平移量, D 为一个尺度因子, R 为 3 个旋转量, $\dot{T}, \dot{D}, \dot{R}$ 为 7 个转换参数速率。

求出 7 个转换参数后, 利用七参数转换模型即可实现框架间转换, 转换公式为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{CGCS2000}}^t = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}}^t + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_3 & R_2 \\ R_3 & D & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF2000}}^t \quad (4)$$

式中, (T_1, T_2, T_3) 为 3 个平移量, D 为尺度因子, (R_1, R_2, R_3) 为 3 个旋转量。

表 1 从 ITRF2000 到 CGCS2000 的转换参数及速率(历元 1997.0)

Tab. 1 Transformation parameters and their rates from ITRF2000 to CGCS2000(epoch1997.0)

T_1/m	T_2/m	T_3/m	R_1/mas	R_2/mas	R_3/mas	D/ppb
0.006 7	0.006 1	-0.018 5	0.00	0.00	0.00	1.55
$\dot{T}_1/\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$	$\dot{T}_2/\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$	$\dot{T}_3/\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$	$\dot{R}_1/\text{mas}\cdot\text{a}^{-1}$	$\dot{R}_2/\text{mas}\cdot\text{a}^{-1}$	$\dot{R}_3/\text{mas}\cdot\text{a}^{-1}$	$\dot{D}/\text{ppb}\cdot\text{a}^{-1}$
0.00	-0.000 6	-0.001 4	0.00	0.00	0.02	0.01

2 算例分析

本文数据来源于 SOPAC 网站 (<http://sopac.ucsd.edu/>)。从 SOPAC 网站随机选取 80 个观测站的历元为 2013.0 的数据。由于 WGS84 参考框架的坐标为大地坐标, 必须先将其转换为空间直角坐标, 其与 ITRF2000 差值如图 1。速度是站心速度, 也必须转换为地心速度。从图 1 看出, WGS84 参考框架坐标和 ITRF2000 坐标差值小于 1 mm, 根据 WGS84 参考框架和 ITRF2000 的定义与实现, 认为两框架的速度是一样的。

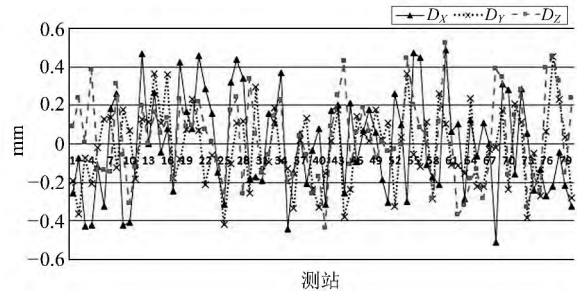


图 1 WGS84 坐标与 ITRF2000 坐标差值
Fig. 1 Coordinate difference between WGS84 and ITRF2000

2.1 WGS84 参考框架和 ITRF2000 间的转换

采用七参数法, 并用最小二乘法求解 7 个参数。将 WGS84 参考框架转换到 ITRF2000 下, 其与已知 ITRF2000 坐标的差值见图 2。

2.2 ITRF 框架间转换

ITRF 框架间转换, 需要进行历元转换和框

表 1 是 ITRF2000 到 CGCS2000 的转换参数, 即 IGS(ITRF2000)→IGS(CGCS2000)的 14 个转换参数^[5], $\text{ppb} = 10^{-9} \text{ m}$, $\text{mas} = 4.848\ 13 \times 10^{-9} \text{ rad}$ 。

1.3 转换到 T 历元下的 CGCS2000 坐标

将坐标转换至 t 历元下的坐标后, 再将其转换至 T 历元下的坐标即 $(X, Y, Z)_{\text{CGCS2000}}^t \rightarrow (X, Y, Z)_{\text{CGCS2000}}^T$:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{CGCS2000}}^T = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{CGCS2000}}^t + (T - t) \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{\text{CGCS2000}}^t \quad (5)$$

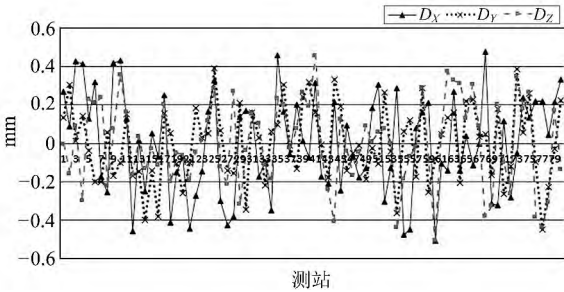


图 2 WGS84 坐标转换到 ITRF2000 下的坐标与已知 ITRF2000 坐标差值
Fig. 2 Difference between the known ITRF2000 coordinate and ITRF2000 conversion coordinate from WGS84

架转换, 两者间的坐标差值见图 3、4。

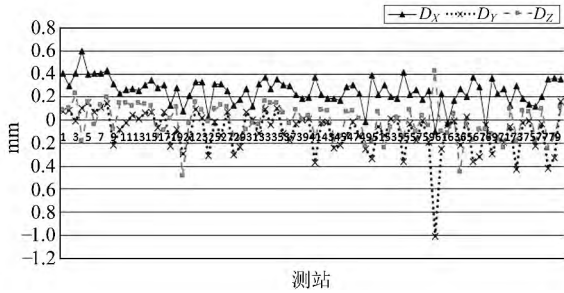


图 3 同一框架下历元 2013.0 与历元 2000.0 间的坐标差值
Fig. 3 Coordinate difference between 2013.0 and 2000.0 under the same ITRF

2.3 WGS84 坐标与 CGCS2000 坐标差值

因 CGCS2000 的参考框架为 ITRF1997, ITRF1997 下的坐标就是 CGCS2000 坐标。转换到同一历元下, 两者间的坐标差如图 5。

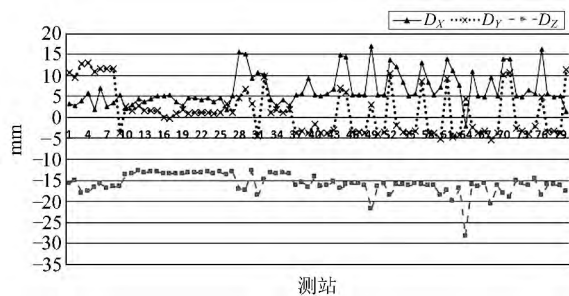


图 4 同一历元下 ITRF2000 与 ITRF1997 框架间的坐标差值

Fig. 4 Coordinate difference between ITRF2000 and ITRF1997 under the same EPOCH

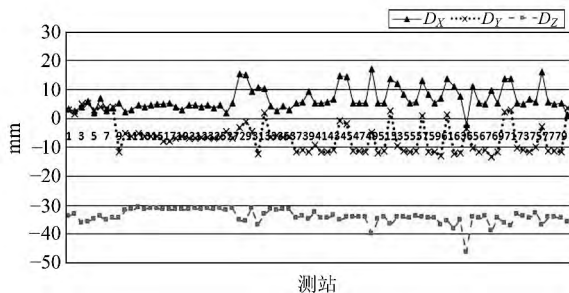


图 5 同一历元下 WGS84 坐标与 CGCS2000 坐标差值

Fig. 5 Coordinate difference between WGS84 and CGCS2000 under the same EPOCH

3 讨论

1) 通过图 2 可看出,同一历元下,WGS84 坐标转换到 ITRF2000 下的坐标后,与 ITRF2000 真实值坐标差值小于 1 mm。所以,使用七参数法可以实现两者之间的高精度转换。

2) 比较图 3、4 可得出,进行 ITRF 框架间转换,历元影响远远大于框架转换影响。因此,使用

ITRF 框架转换法时,必须先统一历元。如果坐标精度要求为 cm 级时,只需进行历元转换,无需进行框架转换。

3) 通过图 5 可看出,同一历元下,WGS84 坐标与 CGCS2000 坐标的差值在 cm 级范围内,Z 方向差值比 X 和 Y 方向差值大。但当精度要求在 cm 级及以上时,可认为 WGS84 坐标与 CGCS2000 坐标一致。

参考文献

- [1] 李征航,黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005(Li Zhenghang, Huang Jinsong. GPS Surveying and Data Processing [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2005)
- [2] 杨元喜. 2000 中国大地坐标系[J]. 科学通报, 2009 (16): 2 271-2 276 (Yang Yuanxi. Chinese Geodetic Coordinate System 2000 [J]. Chinese Sci Bull, 2009 (16): 2 271-2 276)
- [3] 刘立,成英燕. ITRF 框架的相互转化[J]. 大地测量与地球动力学,2010,30(2):141-143(Liu Li, Cheng Yingyan. On Transform between ITRFS[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010,30(2):141-143)
- [4] 尹伟言,赵鑫. ITRF 框架坐标转换问题的研究[J]. 测绘技术装备, 2012 (3): 3-6 (Yin Weiyan, Zhao Xin. Research on Coordinate Conversion Problem of ITRF Frame[J]. Geomatics Technology and Equipment, 2012 (3): 3-6)
- [5] 陈俊勇. 国际地球参考框架 2000(ITRF2000)的定义及其参数[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 30(9):753-756(Chen Junyong. On the Definition and Adopted Parameters of International Terrestrial Reference Frame 2000[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 30(9):753-756)

Research of the Coordinate Conversion between WGS84 and CGCS2000

PENG Xiaoqiang¹ GAO Jingxiang¹ WANG Jian¹

1 Key Laboratory for Land Environment and Disaster Monitoring of NASMG, China University of Mining and Technology,

1 Daxue Road, Xuzhou 221116, China

Abstract: With CGCS2000 widely used in China, it is necessary to transform previous WGS84 coordinates into CGCS2000 coordinates. Coordinate conversion first transforms WGS84 coordinates to ITRF coordinates and then switches to CGCS2000 coordinates. This paper will use the seven-parameter method and frame conversion to achieve coordinate conversions between WGS84 and CGCS2000. It also selects an example of calculation and analysis of data.

Key words: WGS84; CGCS2000; seven-parameter method; ITRF frame; coordinate conversion