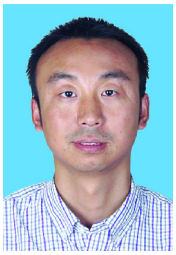

ITRF2008 与 CGCS2000 坐标系的转换

苗 龙
（新疆维吾尔自治区第二测绘院，新疆 乌鲁木齐 830001）

摘 要：由于当前精密星历所对应解算的 ITRF 框架坐标为 ITRF2008 参考框架，而在 1∶10 000 基础测绘生产项目要求提供 CGCS2000 坐标系成果，论述了 ITRF2008 到 CGCS2000 间的框架转换的方法及转换后精度分析，并重点分析了转换的关键性问题。

关键词：ITRF2008；CGCS2000；框架转换；历元转换；速度场
中图分类号：P226.3 **文献标志码**：B **文章编号**：1672-4623（2011）06-0144-02

2011 年新疆 1∶10 000 基础测绘正式启用 CGCS 2000 坐标系，CGCS2000 坐标与 ITRF97 框架定义一致，参考历元为 2000.0 历元。而新疆的大地测量成果多数是基于 1954 年北京坐标系和 1980 西安坐标系，已有的 CGCS2000 成果大部分采用转换成果，精度较差不能满足生产精度要求，怎么去求解出 CGCS2000 坐标是我们疆内测量工作者面临的一个问题。目前求解方法大致分为 2 种[7]：1）基线平差法，即联测已知 CGCS2000 坐标成果的测量控制点，而新疆的 CGCS2000 控制点大都为国家的 A、B 级点，其点位密度分布不均而且边长较长，不便于联测；2）框架转换法，先采用高精度 GPS 处理软件解算出 ITRF2008 框架坐标，然后利用 IGS 网站已公布的 14 个转换参数，转换至 CGCS2000 坐标系成果，限于篇幅，本文只讨论研究坐标框架转换方法。

1 ITRF2008 与 CGCS2000 转换模型

ITRF 国际地球参考框架是基于 VBVI、LLR、SSR、GPS 和 DORIS 等空间技术所建立起的现代全球地面参考框架，它是一个地心四维坐标参考框架，ITRF 是 IERS 的具体实现，也是全球 IGS 站坐标和速度场的具体实现。IERS 已经发布了 ITRF88 — ITRF94、ITRF96、ITRF97、ITRF2000、ITRF2005、ITRF2008 全球参考框架。ITRF2008 与 CGCS2000 的转换实质为 ITRF2008 与 ITRF97 Epoch=2000.0 的转换，由参考框架的定义可知，各个分量是同通过观测获得的，其观测手段和精度会有所不同，加上时间基准的演变，使得 ITRF 框架之间有细微的差别，不同的框架可以通过坐标转换求得，坐标转换模型采用布尔莎-沃尔夫模型，该模型采用了 7 个参数，分别是 3 个旋转参数、3 个平移参数加上 1 个尺度比参数。其公式如下[4]：

$$\begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + (1+D) \begin{bmatrix} 1 & -R_3 & R_2 \\ R_3 & 1 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中，T_1、T_2、T_3、D、R_1、R_2、R_3 为 ITRFxx 到 ITRFyy 的转换参数，这些参数等于基准历元的参数 $P(t_0)$ 加上历元 t_0 到转换历元 t 的变化量：

$$P(t) = P(t_0) + P(t-t_0) \quad (2)$$

2 ITRF2008 与 CGCS2000 参考框架基准转换

由于目前最新精密星历计算的坐标为 ITRF2008 框架，通过公式（1）、（2）可以实现 ITRF08 到 ITRF97 的框架转换，然而 ITRF 所公布的框架转换参数是 ITRF08 到 ITRF05、ITRF05 到 ITRF00 和 ITRF00 到 ITRF97 的转换参数，ITRF08 到 ITRF97 没有直接的转换参数，需通过间接转换计算。所以 ITRF08→ITRF97=＞ITRF08→ITRF05→ITRF00→ITRF97。

表 1 ITRFxx 到 ITRFyy 框架之间的转换参数及参数速率

转换参数 参数速率	T_1(mm) $\dot{T}_1$(mm/y)	T_2(mm) $\dot{T}_2$(mm/y)	T_3(mm) $\dot{T}_3$(mm/y)	D(ppb) $\dot{D}$(ppb/y)	R_1(mas) $\dot{R}_1$(mas/y)	R_2(mas) $\dot{R}_2$(mas/y)	R_3(mas) $\dot{R}_3$(mas/y)	Epoch
ITRF08→ITRF05	-0.5 0.3	-0.9 0.0	-4.7 -0.0	0.94 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	2005.0
ITRF05→ITRF00	0.1 -0.2	-0.8 0.1	-5.8 -1.8	0.40 0.08	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	2000.0
ITRF00→ITRF97	0.67 0.00	0.61 -0.06	-1.85 -0.14	1.55 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.02	1997.0

收稿日期：2011-09-07

不同历元下框架间的转换，不考虑板块漂移和地壳形变等因素，ITRF2008 与 ITRF97 框架变化值应该较小，这里选取参数历元间隔为 14 年的全球若干个 IGS 跟踪站在 ITRF2008 2011.0 下的站坐标，然后转换至 ITRF97 1997.0 历元下，分析结果如图 1 所示，说明框架间的转换参数随时间的演变在 Z 方向比 X 和 Y 方向变化量大，其精度在 2-3 cm，与文献 [1] 中分析坐标框架基准转换的精度相同。

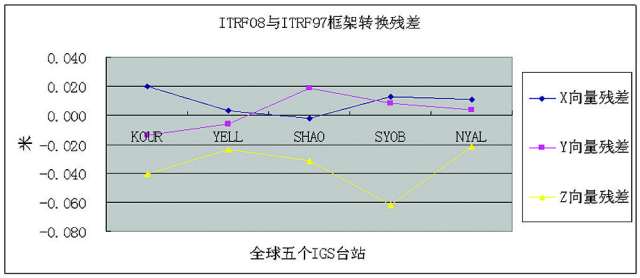

图 1　ITRF08 与 ITRF97 框架间的比较

3　ITRF2008 与 CGCS2000 坐标历元基准的归算

地球不是一个刚体，板块会有漂移和形变，板块与板块之间还有挤压、抬升、下降等运动，它们的运动趋势从长期分析是一个非线性非匀速运动，但是从局部和短期内可以把它认为是一种线性匀速运动。地球表面的观测点都会随时间进行漂移和升降，不同历元基准的坐标应进行坐标历元基准的归算，公式如下[4]:

$$\begin{bmatrix} X_{t2} \\ Y_{t2} \\ Z_{t2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{t1} \\ Y_{t1} \\ Z_{t1} \end{bmatrix} + (t2 - t1) \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \tag{3}$$

基于当前历元观测求解ITRF2008 框架下的坐标和 CGCS2000 的框架历元跨度都在 10 年以上，如果没有精确的点位速度场，经公式（3）计算的点位误差有可能达到 dm 量级。新疆地区又无 CORS 站来维持本地区的速度场模型，所以在实际的生产中很难获得非框架点的精确速度场。在计算速度场的方法中，可以采用加权平均法 [2] 和 NNR-NUVEL-1A 运动板块模型 [5] 获得，板块上某一点的速度公式可以采用如下公式 [4]：

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -Z & Y \\ Z & 0 & -X \\ Y & X & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_X \\ \omega_Y \\ \omega_Z \end{bmatrix} \tag{4}$$

4　结　语

作者依照上文原理，编制了ITRF2008 到CGCS2000 坐标转换程序，计算了全球 5 个 IGS 站从 ITRF2008 2011.0 转换至 ITRF97 2000.0 台站坐标，然后与这 5 个 IGS 台站的真实 ITRF97 2000.0 坐标进行了比较，分析结果如图 2 所示，说明 SYOB 站的 X 方向较差较大，但台站间各个方向的精度优于 2 cm。

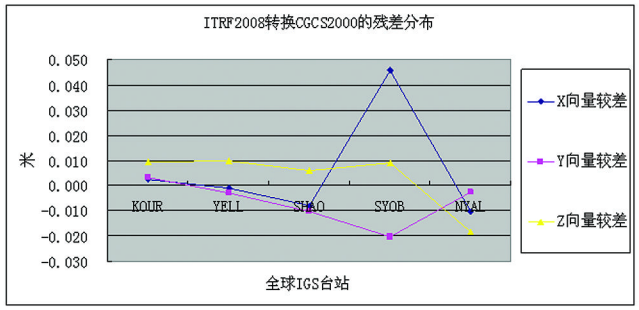

图 2　ITRF2008 成果转换至 CGCS2000 坐标系成果的残差分布

通过上述数据可知，本文阐述的 ITRF2008 框架至 CGCS2000 坐标的转换方法及精度满足生产要求 [6]，但是在转换过程中还需注意以下几个方面:

1）在转换时，可以先转换框架再转换历元，也可以先转换历元再转换框架，两者转换的结果是一致的。

2）尽量获得转换点精确的速度场，如果速度场不精确会影响转换的精度。

3）NNR-NUVEL-1A 运动板块模型计算的点位速度场误差较大，不建议采用。

4）速度场的获取可以参考中国地震局的中国地壳运动监测网络站。

参考文献

[1] 刘立, 陈英燕.坐标框架转换若干问题的研究[J].全球定位系统, 2010(01):20-24
[2] 林晓静, 张小红, 郭斐.ITRF2005 与 CGCS2000 坐标转换方法与精度分析[J].大地测量与地球动力学, 2010(04):118-124
[3] 姚宜斌.高精度 GPS 测量中坐标基准的统一方法研究[J].地矿测绘, 2001(04):3-5
[4] 党亚民, 陈英燕, 薛树强.大地坐标系统及其应用[M].北京：测绘出版社, 2010
[5] 荣敏, 周巍.基于 ITRF2005 的全球板块运动模型[J].海洋测绘, 2009(01):1-3
[6] 新疆维吾尔自治区 1：10 000 基础测绘航空摄影测量外业技术规定(试行)[S].
[7] 成英燕. 2000 国家大地坐标框架转换方法[R]. 2009-10

作者简介：苗龙，工程师，主要研究 GPS 测量及数据处理。