

地球参考框架 ITRF2008 在中国大地基准中的应用*

蒋光伟 程传录 郭春喜 王文利 王斌 聂建亮 马新莹

(国家测绘局大地测量数据处理中心,西安 710054)

摘要 利用国际地球参考框架 ITRF2008 及中国大陆连续基准站数据,分析了 ITRF2008 与 ITRF2005 及 CGCS2000 的差异,得出 ITRF2008 比早期的模型精度更高,但也存在着一定的差异性,这与观测台站、板块本身,数据解算策略等因素有关;中国地壳板块运动的不均匀性和复杂性造成了 CGCS2000 的变化,需对其进行动态维护。同时对 CGCS2000 与 ITRF2008 之间转换的方案也作了初步讨论。

关键词 ITRF; 框架转换; CGCS2000; 中国大地基准; 板块运动

中图分类号: P227

文献标识码: A

APPLICATION OF ITRF2008 IN CHINA GEOID DATUM

Jiang Guangwei, Cheng Chuanlu, Guo Chunxi, Wang wenli, Wang Bin, Nie Jianliang and Ma Xinying

(Geodetic Data Processing Center, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Xi'an 710054)

Abstract Taking the data of China geoid datum in consecutive days, as an example, the latest International Terrestrial Reference Frame (ITRF2008) was used to analyzed the difference between ITRF2008, ITRF2005 and CGCS2000. It is valuable maintenance to China geoid datum. It is concluded that the ITRF2008 more precise than the previous ITRF models, but there are some differences, which is related with observation stations, plate, the strategy for data solving and other factors. The nonuniforming and complexity of the earth plate movements cause the CGCS2000's changes which should be dynamically maintained. In the same time, the transformation scheme between CGCS2000 and ITRF2008 is preliminarily described.

Key words: ITRF; ITRFS transformation; CGCS2000; China geoid datum; plate movement

1 前言

国际地球参考系 (ITRS) 是由国际地球自转服务中心负责定义,并通过 ITRF 来具体实现和维持的国际地球参考系。ITRF 作为地球相关科学应用的标准框架,它的主要目标之一是提供尽可能精确的基准定义:原点、尺度和 NNR 条件。由于观测技术精度不断提高,数据解算的方法更趋合理,ITRF 也在不断精化^[1]。目前 ITRF 已广泛应用于地球框

架维护,导航定位以及全球性的地壳运动与气象、地球物理勘探、海洋监测等领域。

为服务于中国测绘、导航等领域及国民经济和科学技术发展的需要,我国从 2008 年 7 月 1 日开始启动 2000 国家大地坐标 (CGCS2000)。CGCS2000 是由中国地壳运动观测网络、国家测绘地理信息局 GPS A、B 级网、总参测绘局 GPS 一、二级网和全国天文大地网联合平差得到,其参考框架为 ITRF97,参考历元为 2000.0。因此可视 CGCS2000 为

* 收稿日期:2011-09-27

基金项目:国家 863 计划项目(2009AA121402-5);陕测科项目(2009-03)

作者简介:蒋光伟,男,1985 年生,硕士,助理工程师,从事大地测量数据处理研究。E-mail: jgw_1985@163.com

ITRF97 框架 2000 历元的区域实现。目前在框架转换方面研究也相当丰富^[2,3]。

研究表明 ITRF97、ITRF2000、CGCS2000 坐标精度在 cm 级水平是一致的^[2]。美国 WGS84 坐标系从 1987 年开始启用经历了 3 次较大修正,将 ITRF 若干核心基准站纳入到本国框架中,使 WGS84 与 ITRF 基本一致。日本、欧洲等国也都建立了国家型动态基准监测网,维护本国坐标框架。

鉴于此,本文将研究与分析不同框架对点位的影响和 CGCS2000 与 ITRF2008^[3] 的差异。

2 地心参考框架介绍

2.1 ITRF2005 的实现与定义

1) ITRF2005^[4-6] 的实现是基于多种空间技术解时间序列的联合处理而得到,在历元 2000.0 时刻各基准站的坐标、速度场和周日地球定向参数(EOP)序列。

2) ITRF2005 的定义

原点:在历元 2000.0 时 ITRF2005 与 ILRS 的 SLR 时间序列间的平移参数及其速率为零;

尺度:在历元 2000.0 时 ITRF2005 与 IVS 的 VLBI 时间序列间的尺度因子及其速率为零;

定向:在历元 2000.0 时 ITRF2005 与 ITRF2000 间的旋转参数及其速率为零。

2.2 ITRF2008 的实现与定义

1) ITRF2008 的实现

采用 VLBI、SLR、GPS、DORIS 等大地测量技术,各观测技术分别采用了 29 年、26 年、12.5 年和 16 年的观测数据^[1],对站点数据进行时间序列和天 EOP 参数分析联合处理得到的。

2) ITRF2008 定义

原点:在历元 2005.0 时 ITRF2008 与国际 SLR 服务(ILRS)的 SLR 解的平移参数及其速率为零;

尺度:在历元 2005.0 时 ITRF2008 与 IVS 的 VLBI 和 SLR 时间序列尺度因子及其速率为零;

定向:在历元 2005.0 时 ITRF2008 与 ITRF2005 的旋转参数及其速率一致。

2.3 CGCS2000 的定义及其与 ITRF2008 的差别

2.3.1 CGCS2000 的定义^[2]

1) CGCS2000 的原点为(包括海洋和大气)整个地球质量中心;

2) 尺度长度单位是米,它同地心局部框架的 TCC(地心坐标时)时间一致,由适当相对论模型化得到;

3) 它的定向初始由在 1984.0 国家时间局(BIH)的定向给定;

4) 定向的时间演变由整个地球水平构造运动无净旋转条件保证;

5) CGCS2000 大地坐标系是右手地固直角坐标系。

2.3.2 CGCS2000 与 ITRF2008 的差别

从采用框架来看,可认为 CGCS2000 与 ITRF2008 都是 ITRF 系列。而二者差异为:CGCS2000 是基于 ITRF97 框架 2000.0 历元实现,ITRF2008 的初始历元为 2005.0;坐标轴指向差异为:

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{it} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{io} + \mathbf{T} + \mathbf{D} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{io} + \mathbf{R} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{io} \\ \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix}_{it} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix}_{io} + \dot{\mathbf{T}} + \dot{\mathbf{D}} \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix}_{io} + \dot{\mathbf{R}} \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix}_{io} \end{cases} \quad (1)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0 & -R_z & R_y \\ R_z & 0 & -R_x \\ -R_y & R_x & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, io 为转换框架, it 为转换后框架, \mathbf{T} 为平移矩阵, \mathbf{D} 为尺度参数, \mathbf{R} 为旋转矩阵。

从 2011 年 4 月 17 日始 IGS 基于 ITRF2008 框架提供精密星历,如何对早期的成果进行统一,对 CGCS2000 的维护具有重要的参考意义。

在高精度 GPS 测量的基准问题上^[7],主要取决于两方面:1) GPS 地面起算点的坐标基准,包括基线解算时地面参考点的坐标基准和网平差时的起算点坐标基准;2) 基线解算时卫星星历的基准,包括星历的参考框架和观测时的平均历元。为了讨论框架差异对中国大陆基准的影响,将精密星历与地面基准进行统一,对结果进行时间序列分析;通过参数转化^[8](公式 1),分析坐标差异和转换参数的精度在中国大陆基准维护中的应用。

3 算例分析

选取中国大陆基准 2011-04-01—30 日 32 个连续运行参考站的数据,采用 GAMIT10.40 软件并利用国际 GPS 服务跟踪站精密星历,顾及卫星钟差、接收机钟差、对流层、电离层延迟、天线相位中心等各项改正进行基线解算,采用参数法进行 ITRF 框架转化,从以下几方面分析 ITRF2008 与 ITRF2005 的差异以及对中国大地基准 CGCS2000 的影响。

3.1 解的稳定性

在 ITRF2005 和 ITRF2008 框架下分析了 URUM、WUHN、BJFS、BJSH 四个框架点的稳定性, 结果见图 1~4。

从图 1~4 可看出, ITRF2008 较 ITRF2005 解在

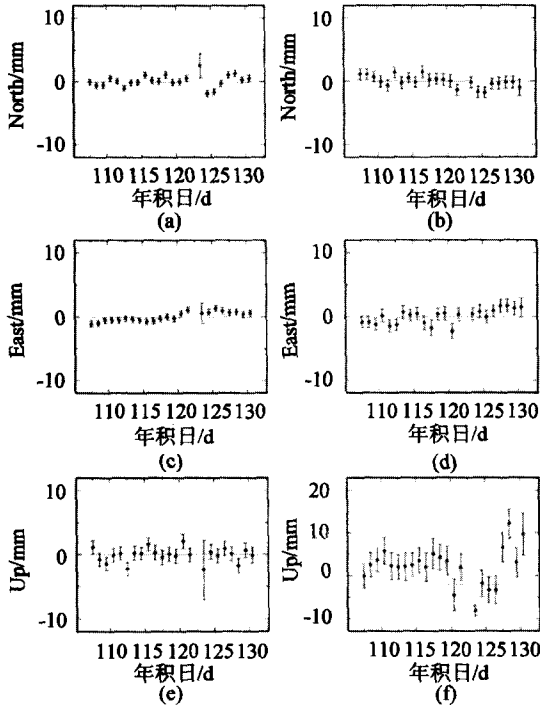


图 1 ITRF2008 框架下 URUM、WUHN 时间序列
Fig. 1 Time series of URUM and WUHN under ITRF2008

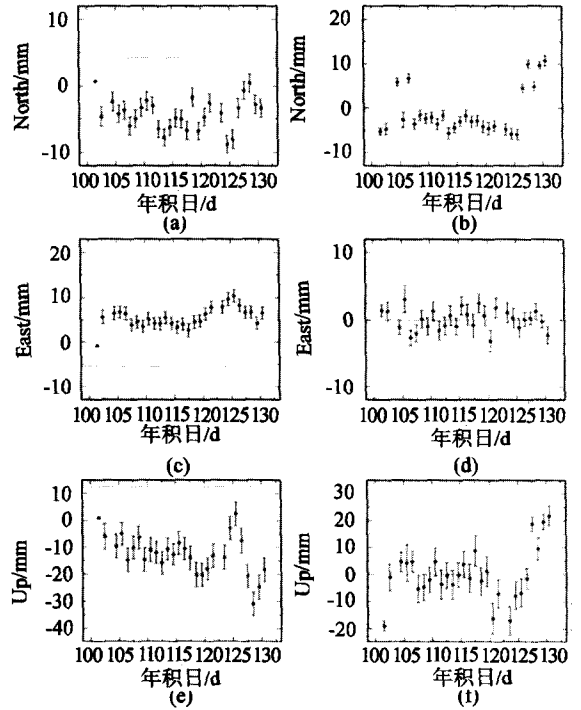


图 2 ITRF2005 框架下 URUM、WUHN 时间序列
Fig. 2 Time series of URUM and WUHN under ITRF2005

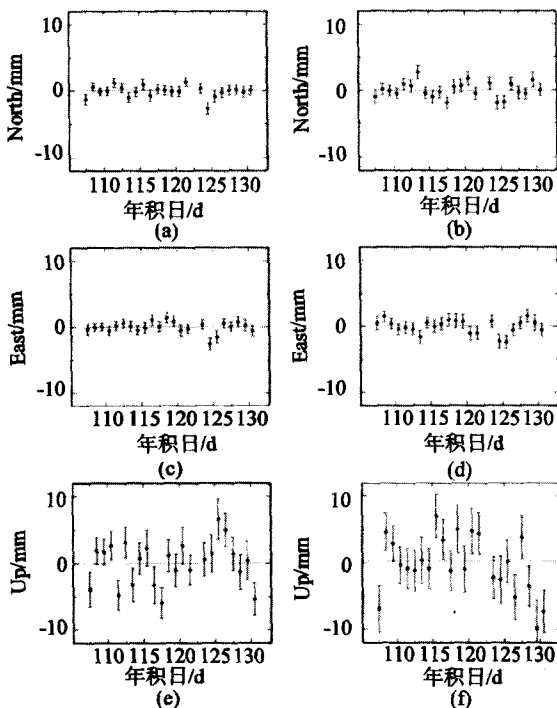


图 3 ITRF2008 框架下 BJFS、BJSH 时间序列
Fig. 3 Time series of BJFS and BJSH under ITRF2008

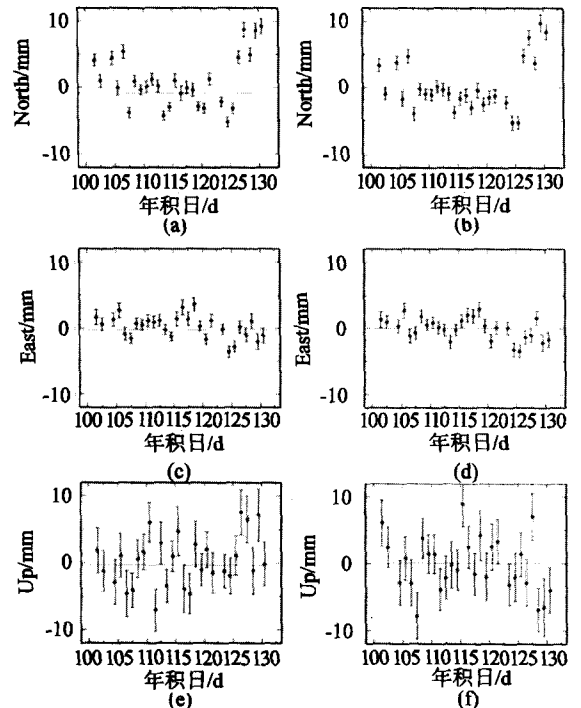


图 4 ITRF2005 框架下 BJFS、BJSH 时间序列
Fig. 4 Time series of BJFS and BJSH under ITRF2005

N、E、U 方向上明显稳定, 噪声也较小。WUHN 站在 N 方向差异较大, 可能与采取的解算方案、天线相位中心模型和星历转换以及观测环境有关。

3.2 框架转换精度在中国大地基准的适应性

确定 CGCS2000 与 ITRF2008 转换关系,须分析高精度框架间转换参数精度在中国大地基准的分布情况。图 5、6 为公共核心站的差异及速度残差分布。

从计算结果可以看出:

1) 转换参数精度在我国存在不均匀性,这与选取的公共站及加权策略、测站的位置有关^[9,10]。转

换残差在 X、Y、Z 方向的平均差异分别为 3.5 mm、-2.6 mm 和 -3.2 mm,而在 N、E、U 方向的平均差异分别为 0.6 mm、2.8 mm 和 5.3 mm,方向的互差较 N、E 方向大。总体看转换精度可满足框架间转化的要求。

2) ITRF 核心站的速度年平均残差在 mm 级,在我国西北部,U 方向速率残差为 -4 mm/a 左右,南部 U 方向速率残差为 4.8 mm/a,太平洋板块处 U 方向速率残差为 5.0 mm/a。

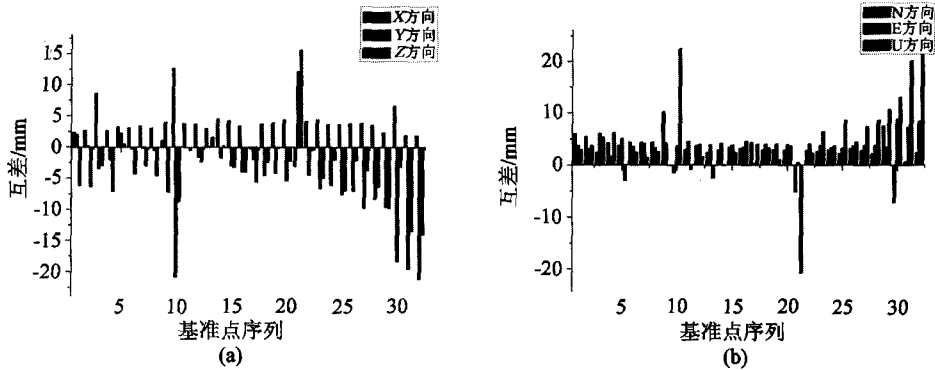


图 5 ITRF2008 与 ITRF2005 框架采用参数转化在 X、Y、Z 以及 N、E、U 方向的差异

Fig. 5 Difference between ITRF2008 and ITRF2005 on X, Y, Z and N, E, U by using the parameter transformation

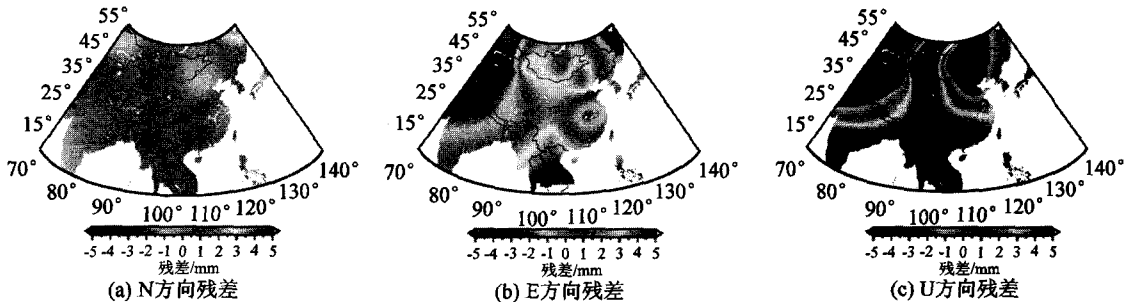


图 6 ITRF2008 速率转化到 ITRF2005 速度的残差分布

Fig. 6 Distribution of velocity residuals from ITRF2008 to ITRF2005 in China

3.3 CGCS2000 与 ITRF2008 的差异

CGCS2000 与 ITRF2008 的差异见图 7。

从图 7 可得出:

1) ITRF2008 框架在 2000.0 历元坐标与 CGCS2000 在 N 方向平均差异在 2.6 cm 左右,标准差为 ±6.4 mm;E 方向平均差异为 1.3 mm,标准差为 ±1.2 mm;U 方向平均差异为 2.2 cm,标准差为 ±9.8 mm。

2) ITRF2008 框架较 CGCS2000 更自洽、更可靠。CGCS2000 个别框架点与 ITRF2008 框架差异较大,说明 CGCS2000 框架存在局部变形。

3) N、E、U 方向平均差异为 2 cm,说明 CGCS2000 与 ITRF2008 基本一致。CGCS2000 建立数十年,由于地壳形变与板块运动等原因,存在局部变形,部分框架点位置有较大变化,因此,如何基于

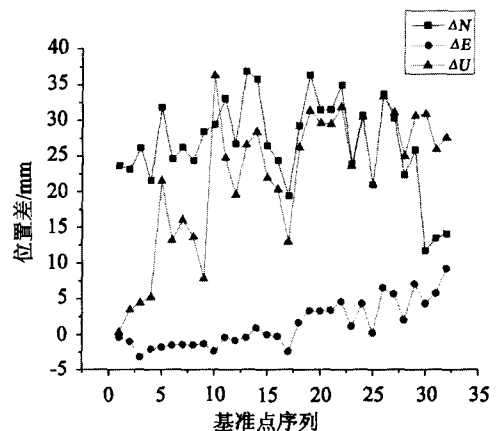


图 7 ITRF2008 历元 2000.0 时刻与 CGCS2000 差异

Fig. 7 Difference between ITRF2008 and CGCS2000 at Epoch 2000.0 on NEU

高精度框架 ITRF2008 对 CGCS2000 进行动态维护是亟待解决的问题。

4) CGCS2000 建立在少数连续运行站基准上, 缺少能足够反映 2000 国家大地坐标系的大地点, 大部分点不具有现势性。从长远看, CGCS2000 的动态维护, 可充分利用国家测绘地理信息局大地基准点、陆态网络以及其他省市连续运行站数据, 顾及板块运动差异均匀选取连续运行跟踪站初步建立框架转换七参数, 而后在此基础上确定 CGCS2000 与 ITRF2008 转换参数的变化率建立 14 参数转换模型, 从而初步确定 ITRF2008 与 CGCS2000 的动态转化关系。

5) 我国板块运动极为复杂, 各板块运动速率不一致, 将导致基准点存在相对运动。鉴于 CGCS2000 与 ITRF2008 在各方向与对应平均差异最小为 4.5 mm, 能满足工程距离变形小于 5 cm 的要求, 可初步确定 CGCS2000 更新周期大致为 10 年。

4 结论

1) 相对于 ITRF2005, ITRF2008 采用新的绝对相位中心偏移模型 (IGS08)、新重力场模型 (EGM08)、卫星及测站的变化模型、天线温度形变等改正, 这些策略的采用证明 ITRF2008 框架的性能高于 ITRF2005 框架。因此, 采用 ITRF2008 框架数据解算时基线重复性分布更合理, 解更趋于稳定。

2) 在中国区域内要实现框架转换, 由于转换参数精度的不均匀性, 将导致在板块交接处有较大的残差。因此, 采用转换参数得到 CGCS2000 框架坐标时, 须有准确的速率场以削弱不同板块运动速率不一致的影响。

3) 我国板块运动的复杂性和不均匀性造成 CGCS2000 内部发生变化, 本文提出动态维护 CGCS2000 的方案和我国大地基准更新周期大致为 10 年。因此, 借助 ITRF2008 得到基于 CGCS2000 的速率和转换参数变化率是亟待解决的问题。

参 考 文 献

- Altamimi Z, Collilieux X and Metivier L. ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame [J]. *J Geod*, 2011, 85: 457 - 473. Doi 10.1007/s00190-011-0444-4.
- 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*, 2010, (2): 117 - 124. (Wei Ziqing. China Geodetic Coordinate System 2000 [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2010, (2): 117 - 124)
- 林晓静, 张小红. 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*, 2008, (5): 1 - 5. (Lin Xiaojing and Zhang Xiaohong. Transformation methods and accuracy analysis between ITRF2005 and CGCS2000 coordinate [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2008, (5): 1 - 5)
- 朱文耀, 熊福文, 宋淑丽. ITRF2005 简介和评价 [J]. *天文学进展*, 2008, 26(1): 1 - 14. (Zhu Wenyao, Xiong Fuwen and Song Shuli. Notes and commentary on the ITRF2005 [J]. *Progress in Astronomy*, 2008, 26(1): 1 - 14)
- 陈俊勇. 大地坐标框架理论和实践的进展 [J]. *大地测量与地球动力学*, 2007, (1): 1 - 6. (Chen Junyong. Progress in theory and practice for geodetic reference coordinate frame [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2007, (1): 1 - 6)
- 魏娜, 施闯. 地球参考框架的实现和维持 [J]. *大地测量与地球动力学*, 2009, (2): 135 - 139. (Wei Na and Shi Chuang. Realization and maintenance of terrestrial reference frame [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2009, (2): 135 - 139)
- 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. (Li Zhenghang and Huang Jingsong. GPS surveying and data processing [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2010)
- 吴吉贤, 等. WGS84 与 ITRF2000 参考框架坐标转换的研究及应用 [J]. *测绘科学*, 2008, 33(5): 73 - 74. (Wu Jixian, et al. Discussion of the coordinate conversion between WGS84 and ITRF2000 [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2008, 33(5): 73 - 74)
- 魏子卿. 关于 2000 中国大地坐标系的建议 [J]. *大地测量与地球动力学*, 2006, (2): 1 - 4. (Wei Ziqing. Proposal concerning China Geodetic Coordinate System 2000 [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2006, (2): 1 - 4)
- 金双根, 朱文耀. 关于全球板块运动模型 ITRF2000VEL 若干问题探讨 [J]. *地球物理学进展*, 2002, 17(3): 430 - 436. (Jin Shuanggen and Zhu Wenyao. Discussing the newest present-day global plate motion model ITRF2000 [J]. *Progress in Geophysics*, 2002, 17(3): 430 - 436)