

2000 国家大地坐标系框架转换及历元推算方法探讨

沈忱

新疆维吾尔自治区第一测绘院

DOI:10.12238/gmsm.v4i4.1147

[摘要] 本文阐述了在控制测量工作中,当数据中出现坐标参考框架不一致或历元不一致时,利用框架转换计算和历元推算的方法解决问题的有效途径,并利用编程和下载的 ITRF 官方网站上的 IGS 站点的数据成果对所述的方法进行了验证。

[关键词] 2000 国家大地坐标系; 框架转换; 历元推算

中图分类号: P208 文献标识码: A

Discussion on the Framework Transformation and Calendar Calculation Method in 2000 National Geodetic Coordinate System

Chen Shen

The First Surveying and Mapping Institute of Xinjiang Uygur Autonomous Region

[Abstract] This paper expounds the effective way to solve the coordinate reference framework inconsistency or calendar inconsistency by using the framework conversion calculation and calendar calculation, and verifies the described method by using the data results of the IGS site on the official ITRF programming and downloaded website.

[Key words] 2000 national geodetic coordinate system; frame conversion; calendar calculation

引言

随着2000国家大地坐标系的颁布和推行,国家测绘地理信息局要求在现行测绘工作中要以2000国家大地坐标系作为测绘基准,特别是在国家和省级测绘项目中强制要求使用该坐标系。

新疆基础测绘作为省级测绘项目,必须使用2000国家大地坐标系。在新疆基础测绘项目的控制测量实施中,特别是涉及到长基线解算时,通常会遇到收集到的控制点的坐标框架不一致和起算数据与观测数据历元不一致的问题。本文拟通过编程的方法探索如何快速有效地解决基础测绘控制测量工作中坐标框架与历元不一致的问题。

1 坐标框架与历元问题

1.1 坐标框架问题

国际地球参考框架(ITRF)是以甚长基线干涉测量(VLBI)、卫星激光测距(SLR)、全球定位系统(GPS)和多里斯系统(DORIS)等空间大地测量技术构成的全球大地测量框架。目前,ITRF是国际公

认的应用前景最广泛、精度最高的地心坐标系框架。ITRF通过国际地球自转服务(IERS)分布于全球的跟踪站的坐标和速度场来维持并提供用户使用。IERS每年将全球各站的观测数据进行综合处理和分析,得到ITRF框架,以IERS年报和IERS技术备忘录的形式发布。现已发布的ITRF系列有ITRF88、ITRF89、ITRF90、ITRF91、ITRF92、ITRF93、ITRF94、ITRF96、ITRF97、ITRF2000、ITRF2005、ITRF2008、ITRF2014共13个框架^[1]。

我国2000国家大地坐标系就是定义在ITRF97地心坐标系统中的区域性地心坐标系。当使用2000国家大地坐标系作为平面坐标基准进行测量时,需要注意起算点坐标和目标成果数据的坐标框架是否是ITRF97框架。当出现不同于ITRF97框架的坐标时,要将其他框架的坐标成果统一归算到ITRF97框架下进行使用。

1.2 历元问题

2000国家大地坐标系作为一种着眼

于全球、考虑动态因素的坐标系,其定义与1954年北京坐标系、1980西安坐标系等参心坐标系相比有很大的不同;它的定义除了常见的坐标框架相关参数以外,引入了一个时间参数——历元。历元的引入,代表任何点位都是在不断运动的,其位置是不断变化的,2000国家大地坐标系成果都是一个特定时刻的位置信息。因此,当我们要用某一段时间的静态观测数据,通过解算基线、平差计算来获得待求点的2000国家大地坐标系成果时,基线反应的是观测时刻点位之间的相对关系,因为所有点位都是运动的,当观测时刻和2000国家大地坐标系成果的时刻相差较大时,基线反应的点位相对关系和2000国家大地坐标系成果反应的点位相对关系将有较大差异,并且这种差异将随着时间差的增大而增大,如果直接使用基线进行平差,将造成平差困难,难以达到或者无法达到精度指标。所以,正确的做法,是将起算点的2000国家大地坐标系坐标,从2000国家大地坐标系

所定义的历元,根据点位运动的速度场数据,推算到观测时的历元,使基线反应的点位相对关系和坐标反应的点位相对关系相符合,然后进行平差或者坐标推算,从而得到待求点的成果,最后再将坐标成果推算回2000国家大地坐标系所定义的历元,得到最终的2000国家大地坐标系成果。

2 ITRF框架与历元转换方法

虽然ITRF参考框架是随着时间而变化的,但无论处于哪个框架哪个历元,都可以根据一定的方法向任何一个框架及相应的历元进行转换^[2]。

2.1 同一参考框架下不同历元的转换

每个ITRF参考框架都是由空间大地测量观测站的坐标和运动速度定义的,本文中同一ITRF坐标框架下的不同历元的转换按如下公式计算:

$$\begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{t_0} \\ Y_{t_0} \\ Z_{t_0} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} (t - t_0) \quad (3-1)$$

公式(3-1)中, V_x 、 V_y 、 V_z 为观测站在该参考框架下的运动速度; t_0 为参考历元; t 为待求历元。如果该点为IGS跟踪站点,则其一定历元和一定框架下的坐标成果及速度场数据可以从ITRF官方网站等有关网站上下下载。如果该点为待求点,则其坐标和速度场数据无法从相关网站上获得,需要通过从相关网站上获得的已知样本点以及其与样本点间的观测数据通过一定的方法插值求得。本文拟采用反距离加权法(IDW)计算,样本点从ITRF官方网站上获得。计算公式如(3-2)所示。

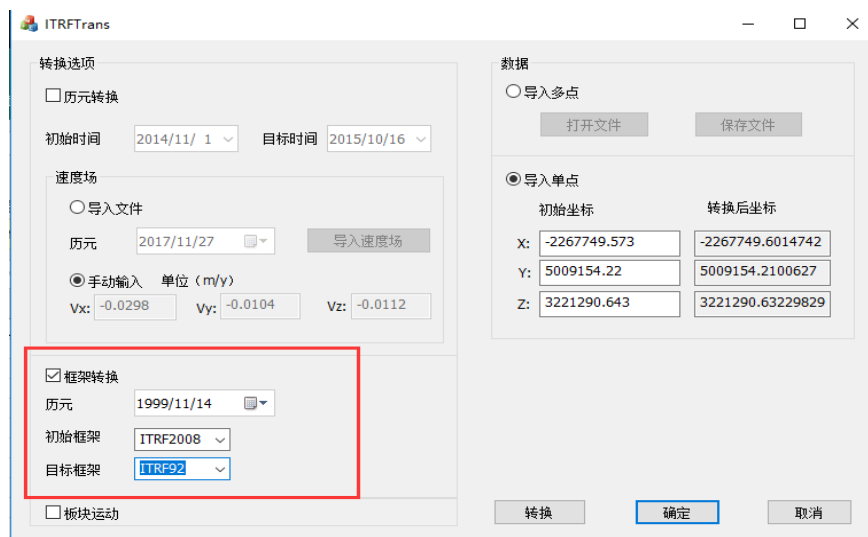
$$Z'(x_0) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^k} Z(x_i) / \sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^k} \quad (3-2)$$

公式(3-2)中, $Z'(x_0)$ 为待估值, x_0 为观测的待估值点; $Z(x_i)$ 为区域内位于 x_i 的观测值; D_i 是待求点距离各本点的距离, n 为参与插值的样本点个数; k 为距离的幂。

2.2 同一历元不同参考框架的转换 同一历元不同ITRF框架之间的转换



软件界面如图 1



单点转换界面 2

采用七参数空间相似变换的布尔莎模型实现,公式如(3-3)所示。

$$X_2 = X_1 - T - DRX_1 \quad (3-3)$$

公式(3-3)中,有3个平移参数: T_x 、 T_y 、 T_z ; 3个旋转参数: R_x 、 R_y 、 R_z ; 1个尺度转换因子: D ; 同时还有七参数的变化率: \dot{T}_x 、 \dot{T}_y 、 \dot{T}_z 、 \dot{R}_x 、 \dot{R}_y 、 \dot{R}_z 、 \dot{D} 。 X_1 为框架转换前的坐标, X_2 为框架转换后的坐标。

转换时,首先应获得转换公式的七参数,七参数的变化率乘以转换历元与标准历元的历元差得到转换历元下七参数的变化大小,与七参数标准值相加得

到转换公式所需的七参数。其中:

$$T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} 0 & -R_z & R_y \\ R_z & 0 & -R_x \\ -R_y & R_x & 0 \end{bmatrix},$$

为了求变化率,对(3-1)式求导并简化,得到:

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + D\dot{R}X_1 \quad (3-4)$$

这样,利用(3-4)式和(3-3)式,就可以实现从一个框架到另一个框架指定历元的转换了。

2.3 不同参考框架不同历元的转换
采用框架和历元分开转换的方法。
可以先进行历元转换,再进行框架转换;

ITRF2014.txt - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

Transformation parameters from ITRF2014 to past ITRFs.

SOLUTION UNITS	Tx mm	Ty mm	Tz mm	D ppb	Rx ".001"	Ry ".001"	Rz ".001"	EPOCH
RATES UNITS	Tx mm/y	Ty mm/y	Tz mm/y	D ppb/y	Rx ".001"/y	Ry ".001"/y	Rz ".001"/y	
ITRF2008	1.6	1.9	2.4	-0.02	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.0	0.0	-0.1	0.03	0.00	0.00	0.00	
ITRF2005	2.6	1.0	-2.3	0.92	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.3	0.0	-0.1	0.03	0.00	0.00	0.00	
ITRF2000	0.7	1.2	-26.1	2.12	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.1	0.1	-1.9	0.11	0.00	0.00	0.00	
ITRF97	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF96	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF94	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF93	-50.4	3.3	-60.2	4.29	-2.81	-3.38	0.40	2010.0
rates	-2.8	-0.1	-2.5	0.12	-0.11	-0.19	0.07	
ITRF92	15.4	1.5	-70.8	3.09	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF91	27.4	15.5	-76.8	4.49	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF90	25.4	11.5	-92.8	4.79	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF89	30.4	35.5	-130.8	8.19	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF88	25.4	-0.5	-154.8	11.29	0.10	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	

Note : These parameters are derived from those already published in the IERS Technical Notes and Annual Reports. The transformation parameters should be used with the standard model (1) given below and are valid at the indicated epoch.

$$\begin{matrix} : XS : & : X : & : Tx : & : D & -Rz & Ry : & : X : \\ : YS : & = : Y : & + : Ty : & + : Rz & D & -Rx : & : Y : \\ : ZS : & : Z : & : Tz : & : -Ry & Rx & D : & : Z : \end{matrix} \quad (1)$$

Where X, Y, Z are the coordinates in ITRF2014 and XS, YS, ZS are the coordinates in the other frames.

On the other hand, for a given parameter P, its value at any epoch t is obtained by using equation (2).

$$P(t) = P(\text{EPOCH}) + \dot{P} * (t - \text{EPOCH}) \quad (2)$$

where EPOCH is the epoch indicated in the above table (currently 2010.0) and \dot{P} is the rate of that parameter.

图 3

也可以先进行框架转换,再进行历元转换。具体实现同3.2节和3.3节所述的方法^[3]。

3 程序实现

依照上述原理,经过方案设计、功能规划、软件开发、调试测试等阶段,用 Visual C++2010语言编制了ITRF框架转换与历元推算程序。软件界面如图1:

软件具有如下功能:

(1) 框架转换功能

可以在ITRF88、ITRF89、ITRF90、ITRF91、ITRF92、ITRF93、ITRF94、ITRF96、ITRF97、ITRF2000、ITRF2005、ITRF2008、ITRF2014共13个框架中,任意选择两个框架进行转换,可以单点转换,也可以通过输入输出数据文件的方式进行多点转换;如进行单点转换,则在【数据】选择【导入单点】,在【初始坐标】输入X、Y、Z坐标,点击【转换】得到【转换后坐标】。如图2单点转换界面:

如多点转换,则在【数据】选择【导入多点】进行多点转换,点击【打开文件】,打开坐标点文件,点击【转换】,完成坐标点的历元转换,软件提示【转换成功】,点击【保存文件】保存转换结果。

框架转换的参数采用ITRF官方网站提供的数据,其具体内容如图3所示:

(2) 历元转换功能

历元转换需要首先选择初始历元时间和目标历元时间,然后需要输入速度场数据。速度场数据可以通过手工输入单点速度场数据,或者通过文件输入多点速度场数据;速度场数据输入完成后即可进行历元转换。当输入多点速度场数据时,通过计算速度场所在控制点和待推算点之间的距离,按照距离定权计算出待推算点的速度场,然后对待推算点的历元进行推算。历元转换可以单点推算,也可以通过输入输出数据文件的方式进行多点推算;具体流程如下^[4]:

①在【转换选项】框中勾选【历元转换】,选择【初始时间】和【目标时间】。时间也可以通过手动输入。

②在【速度场】框内可以通过【导入文件】的方式来导入速度场,勾选【导入文件】,先在【历元】选择或手动输入

历元转换时间选择



导入速度场文件

(4) 软件加密功能

本软件采用注册机的方式加密,首次运行时需要进行注册,先在本机读取机器码,然后用注册机计算出注册码,将注册码输入本软件注册后方可使用。具体流程如下:

①打开【ITRFTrans】软件,在【注册】框内点击【生成机器码】,复制文本框内的机器码。

②打开注册机【Register】,将生成的机器码粘贴到注册机【机器码】下方的文本框中,点击【生成注册码】,在文本框中将会生成一串注册码,复制注册码。点击【确定】关闭注册机。

③打开【ITRFTrans】软件,将注册码粘贴到【注册框】内,点击【注册】,软件提示【注册成功!】,点击【保存】软件将自动将注册码保存为名为“reg.txt”的文件,并存储在与软件【ITRFTrans】同一目录下。注:一个机器码只能在一台电脑上使用,若该台电脑的注册码经拷贝至另一台电脑将无法进行激活;并且,未注册的软件【转换】按钮为灰色,无法进行坐标转换操作。

④点击【确定】关闭软件,当再次打开软件时,【注册框】不再显示,说明软件已经注册成功。

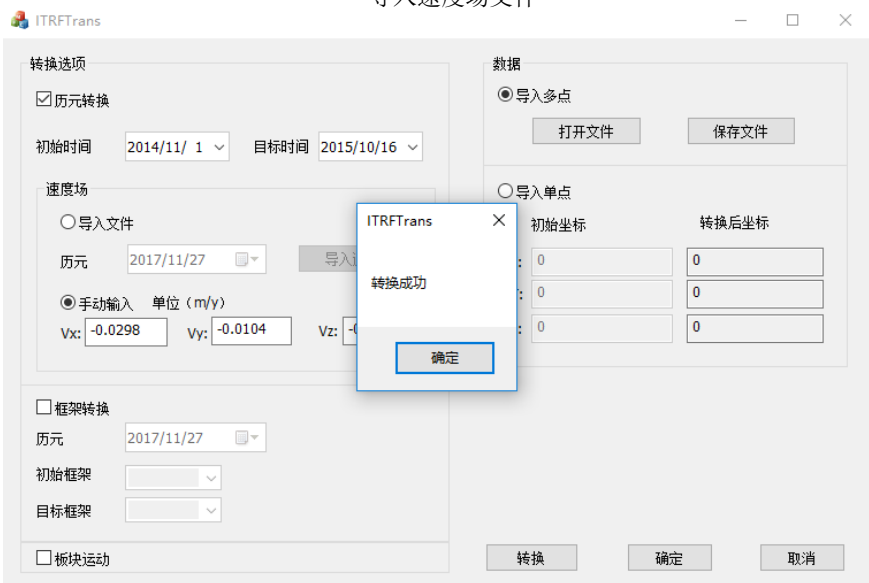
4 程序验证

4.1 框架转换的验证

选取BJFS、URUM、KIT3、POL2、SHA0、LHAZ和WUHN等七个IGS站点作为验证对象,下载这七个站点在ITRF97、ITRF2000、ITRF2005、ITRF2008四个参考框架下同为2000.0历元的坐标成果,然后用程序将四个参考框架坐标成果中任意一个参考框架的坐标向任意另外一个参考框架进行转换,将转换得到的成果和下载的成果进行对比;结果最大差值为-32.2mm,中误差为±9.4mm。

4.2 有无历元推算时的验证

(1)以BJFS、URUM、KIT3、POL2、SHA0、LHAZ和WUHN等七个IGS站点作为验证对象,下载这七个站点2000年1月1日和2016年6月14日两个时间点的ITRF2005框架坐标成果和速度场数据,用程序将2000年1月1日成果用历元推算至2016年



多点历元转换

速度场的历元,然后点击【导入速度场】,导入速度场文件,速度场中点所属框架必须要与待转换的点的所属框架一致;也可以通过点击【手动输入】,分别输入速度场的Vx、Vy、Vz值。

③在【数据】框中可以通过进行多点转换和单点转换。选择【导入多点】进行多点转换,点击【打开文件】,打开坐标点文件,点击【转换】,完成坐标点的历元转换,软件提示【转换成功】,点击【保存文件】保存转换结果。

选择【导入单点】可进行单点转换,在【初始坐标】输入X、Y、Z坐标,点击

【转换】得到【转换后坐标】。

(3)利用板块运动数据进行历元推算

当没有速度场数据可用时,或者有特殊需要时,本软件可以使用板块运动数据代替速度场数据进行历元推算计算,在软件界面下面勾选【板块运动】选项,即可使用软件内置的板块运动参数进行历元推算,无需再输入速度场数据。但板块运动参数以整个大陆板块的运动速度场为目标计算的,导致转换精度会比较低,不是特殊情况没有其他速度场数据可以使用的话,不建议使用。

5 结论

经过验证,运用本文所述的原理和程序进行框架转换时,坐标分量的最大误差不超过3.5cm,中误差不超过1cm,可以满足C级及以下等级的控制测量起算数据的精度要求。

如不进行历元推算,直接采用2000.0历元、ITRF97框架的IGS站点成果作为起算数据直接进行平差计算时,其误差将随着时间的推移逐渐增大,到2016年,其最大值已经达到了41.5cm;如以与观测数据同历元的IGS站点的成果作为起算数据,其误差可以提高一个数量级。

本文采用IGS站点为试验目标,因IGS站点相互距离较远,因此相互之间的相对运动较为明显,易于在计算中表现出不同历元的差异性。在实际应用中,大多数情况在同一个静态控制网中,所有点位均位于相对较近的一片区域。当点位相距不远时,因所有点位的位移方向和位移量具有较强的相似性,因此不进行历元推算,直接使用基线进行平差,也能得到符合精度指标的结果。但当点位相距较远,直接平差精度不好时,若排除其他因素,则应考虑历元转换问题;若点位相距较远,则必须考虑历元转换问题。

[参考文献]

[1]门葆红,董文亮,孙付平,等.国际地球参考框架建立与维持的研究进展[J].测绘科学,2016,44(2):21-25.

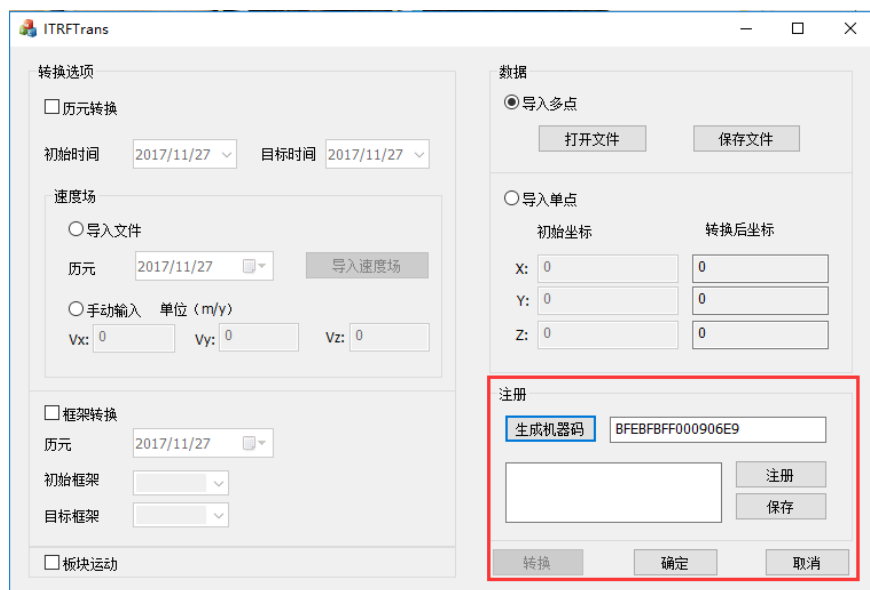
[2]刘经南,魏娜,施创.国际地球参考框架(ITRF)的研究现状及展望[J].自然杂志,2013,35(04):243-250.

[3]邹蓉.地球参考框架建立和维持的关键技术研究[D].武汉:武汉大学,2010:73-78.

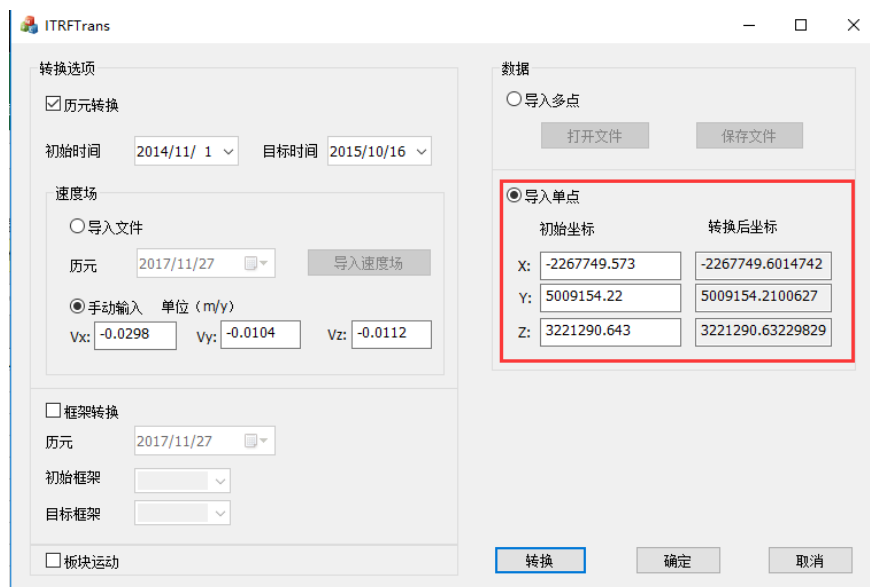
[4]魏子卿.关于2000中国大地坐标系的建议[J].大地测量与地球动力学,2006,26(2):1-4.

作者简介:

沈忱(1974--),男,汉族,上海市人,高级工程师,大学本科,在新疆维吾尔自治区第一测绘院工作,研究方向:大地测量,基础测绘,测绘成果质量控制等。



生成机器码



单点历元转换

6月14日,而后用推算成果与下载成果进行对比。结果推算坐标成果与下载坐标成果各坐标进行对比,各坐标分量差值均不超过1mm。

(2)以B,JFS,URUM,KIT3,POL2,SHAO,LHAZ和WUHN等七个IGS站点作为验证对象。采用ITRF官方网站上分别以2001、2003、2006、2009、2012、2013、2014、2016八个年份中各选取一天下载的观测数据,以URUM为待求点,其他六个IGS站点为已知点,用GAMIT10.6软件进行基线解算,用GPSNET软件进行平差计算。

当以六个IGS站点的ITRF97框架、

2000.0历元的成果作为起算数据时,用2001年观测数据解算的基线,平差后基线向量的残差最小,其最大值只有4.5cm;其他年份的观测数据随着年份的增加,平差后基线残差呈逐年增大的趋势,用2016年观测数据解算的基线,平差后基线向量的残差最大,其最大值已经达到了41.5cm。

当以六个IGS站点的ITRF97框架、与观测数据相同历元的成果作为起算数据时,平差后各坐标分量的基线残差值没有出现随时间变化的趋势,且各基线向量的残差值都在6cm之内,大部分在4cm之内。