

文章编号:1672-6561(2012)03-0106-05

2000 国家大地坐标系数据处理的若干技术研究

程传录,谢 方,王小瑞,马新莹

(国家测绘地理信息局 大地测量数据处理中心,陕西 西安 710054)

摘 要:2000 国家大地坐标系(CGCS2000)成果的获取技术涉及国际地球参考框架(ITRF)、参考历元、卫星星历及站点速度场等归算问题。介绍了不同参考框架的转换模型和参数,讨论了获取CGCS2000 成果的数据处理方法,利用实测观测数据分析了 IERS 发布的不同 ITRF 参考框架和不同国际机构发布的各种不同类型的星历对基线结果的影响,以及直接平差与采用框架转换方法求得 CGCS2000 坐标成果的差异。结果表明:IGS 发布的星历精度要高于其他机构发布的精密星历;不同参考框架的精密星历对基线长度在 4 000 km 以内的基线影响小于 1.3 mm,一般在控制网基线解算时可不考虑卫星星历参考框架的影响;在获取 CGCS2000 成果时,可不考虑星历的类型、参考框架及历元问题;非 ITRF97、2000.0 成果可采用框架转换公式及转换参数进行成果归算得到 CGCS2000 成果。

关键词:2000 国家大地坐标系;参考框架;参考历元;精密星历;基线;数据处理

中图分类号:P228.1

文献标志码:A

Study on Some Technologies of Data Processing for China Geodetic Coordinate System 2000

CHENG Chuan-lu, XIE Fang, WANG Xiao-rui, MA Xin-ying

(Geodetic Data Processing Centre, The State Bureau of Surveying, Mapping and Geoinformation,
Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The technology for obtaining China Geodetic Coordinate System 2000 (CGCS2000) production is related to the reducing problem of international terrestrial reference framework (ITRF), reference epoch, satellite ephemeris and velocity of station. Conversion model and parameter of different reference frames were introduced, data processing method for obtaining CGCS2000 production was discussed, effects of different ITRFs issued by IERS and satellite ephemerises issued by different international agencies on baseline were analyzed based on the observational data, and the difference of CGCS2000 production obtained by direct adjustment and framework conversion was explained. The results showed that precision of satellite ephemeris issued by IGS was higher than that issued by other agencies; effect of precise ephemeris of different reference frameworks on the baseline was less than 1.3 mm when the length of baseline was less than 4 000 km, and effect of satellite ephemeris reference framework was usually negligible for the control network baseline calculation; for obtaining CGCS2000 production, the problem about the type of satellite ephemeris, reference framework and epoch was negligible; non-ITRF97 and non-epoch 2000.0 production could be converted to CGCS2000 production by

收稿日期:2011-10-25

基金项目:国家高技术研究发展计划(“八六三”计划)项目(2009AA121402-5);陕西省测绘局科技项目(2009-03)

作者简介:程传录(1965-),男,陕西商南人,教授级高级工程师,E-mail:cl_cheng@163.com。

reducing calculus production with framework conversion formula and parameter.

Key words: China Geodetic Coordinate System 2000; reference frame; reference epoch; precise ephemeris; baseline; data processing

0 引言

自 2008 年 7 月 1 日起,中国启用 2000 国家大地坐标系(China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000)^[1-5],并公布了 CGCS2000 的定义、采用的参考椭球、参考框架和参考历元。CGCS2000 采用的参考椭球是 GRS 80 参考椭球,与 WGS 84 坐标系参考椭球基本一致,只是扁率略有区别,投影到平面坐标相差 0.1 mm 左右,可以忽略不计^[6]。中国已建成的国家高精度 GPS A 级和 B 级网及中国 GPS 一级和二级网成果都不属于 CGCS2000 成果,已建成的 2000 国家 GPS 大地控制网^[7-8]的成果是 CGCS2000 成果。

CGCS2000 成果涉及国际地球参考框架(International Terrestrial Reference Frame, ITRF)、参考历元及速度场等归算问题,目前获得 CGCS2000 成果的主要技术手段是 GPS 测量,通过与 IGS(International GNSS Service)连续运行参考站联测,利用其精确坐标和速度场,利用参考框架转换和速度场归算才能得到控制网点的 CGCS2000 成果。国际各研究机构提供了多种卫星星历,不同星历对数据处理产生的差异未知,而且在中国地区的 IGS 站数量有限,且分布不均匀,同时中国还没有权威部门发布中国板块运动的速度场,因此如何处理得到 CGCS2000 成果已成为广大用户关注的焦点问题。

表 1 不同机构发布的卫星星历

Tab. 1 Satellite Ephemerises Issued by Different Agencies

星历名称	COD	ESA	GFZ	JPL	MIT
发布机构	欧洲轨道测定中心	欧洲空间局	德国波茨坦地球动力学中心	美国喷气推进实验室	麻省理工学院
星历名称	NGS	SIO	IGS	IGU	IGR
发布机构	美国国家大地测量局	美国斯克里斯普斯海洋地理研究所	国际 GPS 服务机构	国际 GPS 服务机构	国际 GPS 服务机构

IGS 精密星历是由 IGS 组织定期向用户发布,采用 IERS 发布的 ITRF 参考框架。IGS 精密星历采用 sp3 格式,内容包括表头信息以及文件体,采样率为 15 min,实际解算中可以进行精密钟差的估计或内插,以提高其可使用的历元数。IGS 精密星历包括事后精密星历、快速精密星历及预报精密星历 3 种类型^[9],星历文件的时延、精度、历元间隔等各不相同,在实际工作中,根据工程项目对时间及精度的要求,选取不同的文件类型(表 2)。

笔者就参考框架、卫星星历及数据处理软件 GAMIT/GLOBK 的应用等关键技术问题进行研究分析,为更好获取 CGCS2000 成果提供实用的技术方法。

1 国际地球参考框架和精密星历

1.1 国际地球参考框架

GPS 是一种全球性的观测技术,GPS 观测与数据处理离不开全球参考框架。1988 年,国际地球自转和参考系统服务(IERS)成立,它创建和维持天球参考系统(ICRF)、国际地球参考框架(ITRF)及地球自转参数(EOPS)。ITRF 通过对框架的特性(定向、原点、尺度)和时间演变的定义,由一组地面控制点的坐标和速率来实现地心地固参考框架。IERS 每年公布 ITRF,最新的是 ITRF08^[9-12]。

由于章动和极移的影响,国际协议地极原点 CIO 变化以及位置和速率的解算方法变化,使得 ITRF 框架每年也在变化,存在不同参考框架的转换问题,ITRF 已发布参考框架转换公式和转换参数。

1.2 精密星历

精密星历是由若干卫星跟踪站的观测数据经事后处理算得的、供卫星精密定位等使用的卫星轨道信息。目前能够发布和提供精密星历的机构很多,其精度和发布时间不尽相同,最为成熟的是 IGS 精密星历(表 1)。

2 关键技术研究

2.1 不同类型卫星星历对基线结果的影响

2.1.1 数据处理

利用均匀分布中国大陆的 GPS 观测点 2010 年 001d 数据,采用 GAMIT/GLOBK 软件,在基线解算时,将卫星星历设置成统一的参考框架(ITRF97)和历元(2000.0)以及统一的数据处理模式,以此分析不同卫星星历对高精度数据处理的影响。主要参

表 2 IGS 精密星历的有关指标

Tab. 2 Related Indexes of IGS Precise Ephemeris

星历名称	类型	精度/cm	时延/h	更新时间
IGV	预报精密星历	3.0	3~9	世界协调时间(UTC) 3 时、9 时、15 时、21 时
IGR	快速精密星历	2.5	17~41	UTC 17 时
IGS	事后精密星历	2.5	(12~18)×24	每周四

数设置为:星历轨道固定;卫星截至高度角 10° ;采样间隔设置 30 s;采用 Saastamoinen 模型进行标准气象改正;观测模式采用自动修复周跳的 LC-AU-TCLN 模式;采用 IERS03 潮汐改正模型;每隔 2 h 估计天顶延迟;估计大气梯度;平差采用 IGS 中心公布的国际跟踪站 URUM、LHAS、KUNM、WUHN 及 SHAO 作为起算,并给予强约束。

2.1.2 数据分析

经过基线解算及平差后,获得 10 种不同卫星星历的数据处理结果,针对结果进行分析研究。按基线长度从小到大的顺序,计算每种卫星星历的基线结果与平均基线结果的差值,分析不同卫星星历对高精度数据处理的影响。

从图 1 可以看出,基线长度在 200 km 以内,不同卫星星历的解算结果差异在 0.2 mm 以内;随着基线长度的增加,解算结果差异也越来越大;在基线长度相同的情况下,GFZ、SIO 星历和其他机构发布的星历计算基线结果差异比较大;不论基线多长,利用 IGS 星历计算基线结果更接近真值。

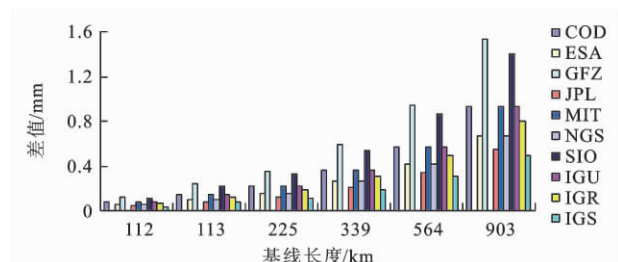


图 1 不同卫星星历对数据处理结果的影响

Fig. 1 Effect of Different Satellite Ephemerises on Data Processing

2.2 不同参考框架的星历对基线结果的影响

利用中国 GPS 连续运行站 2000 年 001d~060d、2005 年 001d~060d 及 2010 年 001d~060d 的数据,采用 IGS 精密星历进行数据处理与分析。

2.2.1 数据处理

IGS 中心在不同时期发布的精密星历参考框架是不同的(表 3^[10-11])。卫星轨道采用 IGS 中心发布的精密星历。在收集到的数据中,2000 年星历的框架是 ITRF97,2005 年星历的框架是 ITRF00,2010 年星历的

表 3 IGS 精密星历不同时期对应的参考框架

Tab. 3 Reference Frameworks Corresponded with IGS Precise Ephemeris at Different Times

日期区间	GPS 周	参考框架
1993-11-28~1994-01-01	725~729	ITRF91
1994-01-02~1994-12-31	730~781	ITRF92
1995-01-01~1996-06-29	782~859	ITRF93
1996-06-30~1998-02-28	860~946	ITRF94
1998-03-01~1999-07-31	947~1 020	ITRF96
1999-08-01~2001-12-01	1 021~1 142	ITRF97
2001-12-02~2007-08-11	1 143~1 439	ITRF00
2007-08-12~2011-04-16	1 440~1 631	ITRF05
2011-04-17 至今	1 632 至现今对应的 GPS 周	ITRF08

框架是 ITRF05;通过框架转换公式及转换参数^[9-10],即可将 2000 年星历转换为 ITRF00、ITRF05 参考框架,将 2005 年星历转换为 ITRF97、ITRF05 参考框架,将 2010 年星历转换为 ITRF97、ITRF00 参考框架。

起算点历元为 2000.0,针对星历 2000、2005、2010 年的 3 种参考框架 ITRF97、ITRF00、ITRF05 进行数据处理,以比较不同参考框架的星历对基线结果的影响。数据处理方案及相关参数设置同第 2.1.1 节。

2.2.2 数据分析

经过基线解算及平差后,得到同一基线不同参考框架的结果,其比较统计见图 2~4。从图 2~4 可以看出,基线长度为 500 km,其基线差异在 0.1 mm 以内;基线长度为 4 000 km 以内,其基线差异在 1.3 mm 以内;随着基线长度的增加,两者之间的差异在逐渐增大;ITRF05 和 ITRF00 的结果更接近,这与 IERS 机构提供的 ITRF05 和 ITRF00 参考框架的转换参数较小是一致的。因此,边长在 4 000 km 以内的 GPS 控制网在基线解算时可不考虑卫星参考框架的影响。

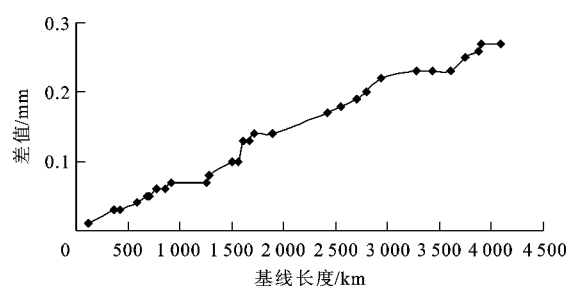


图 2 ITRF05 与 ITRF00 基线比较

Fig. 2 Comparison of Baselines Between ITRF05 and ITRF00

2.3 历元归算对平差结果的影响

在 GLOBK 平差中,点位坐标的参考框架及历元确定可采用 2 种方法。

方法(1):网平差 GLOBK 软件自动归算。起算点

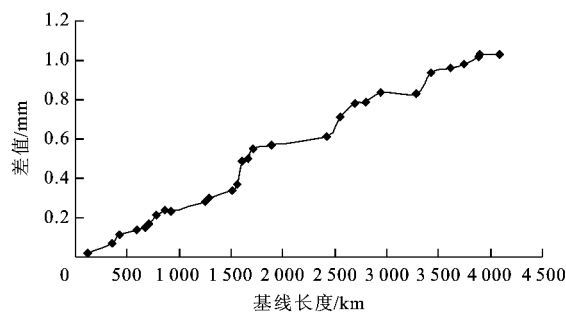


图 3 ITRF00 与 ITRF97 基线比较

Fig. 3 Comparison of Baselines Between ITRF00 and ITRF97

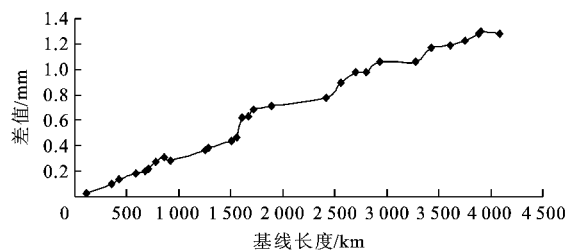


图 4 ITRF05 与 ITRF97 基线比较

Fig. 4 Comparison of Baselines Between ITRF05 and ITRF97

的坐标和速率采用 IGS 公布的 ITRF97 结果,SHAO、KUNM、WUHN、BJFS 作为本次网平差起算点,通过网平差后,得到平均瞬时历元坐标为 2010.090。

方法(2):直接固定起算的坐标、框架及历元,平差获得其他点与起算点一致的框架及历元的坐标。按 IGS 提供的速度将 SHAO、KUNM、WUHN、BJFS 的坐标按历元转换公式直接归算至历元 2010.090,固定平差直接得到历元 2010.090 的坐标。

方法(1)和方法(2)平差结果比较见图 5。从图 5 可以看出,这 2 种方法平差得到坐标结果之间的差异非常小,差值中误差在 2.0 mm 内。由此可见,无论采用何种方案,都是适宜的。

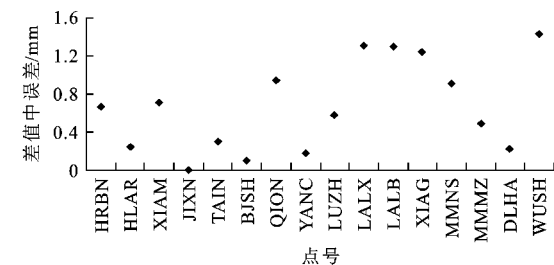


图 5 2 种方法的比较

Fig. 5 Comparison of Two Methods

2.4 非 ITRF97、2000.0 成果的转换

IGS 发布的 IGS 站 ITRF97 框架坐标历元为 1997.0,ITRF00 框架坐标历元为 1997.0,ITRF05 框架坐标历元为 2000.0,ITRF08 框架坐标历元为 2005.0^[9-12],要将这些都转换为 CGCS2000 坐标成

果,首先利用 IGS 发布的 IGS 站速率将历元转换为 2000.0,再利用基准框架转换公式将 IGS 站的坐标转换到 ITRF97 参考框架。

本次收集了 IGS 发布的 WUHN、SHAO、URUM、LHAS、XIAN 等 IGS 站的 ITRF97、ITRF00、ITRF05、ITRF08 等参考框架的相应坐标和速度,利用速率和基准框架转换公式转换到 ITRF97 参考框架,对其结果进行比较分析。从表 4~6 可以看出,ITRF00、ITRF05、ITRF08 参考框架的 WUHN、SHAO、URUM、LHAS、XIAN 等 IGS 站坐标,通过历元和基准框架的转化得到的 ITRF97、2000.0 成果精度在 1.5 cm 以内。XIAN 站转换残差偏大,主要原因是只有 2000 年以前的数据,其现势性不够,其他站都在 2.0 cm 以内,完全可以满足控制网建设需要。

表 4 ITRF00、1997.0 成果转换至 ITRF97、2000.0 成果的比较

Tab. 4 Comparison Between ITRF00 and Epoch 1997.0 Production and Converted ITRF97 and

Epoch 2000.0 Production

IGS 站点	D_x/cm	D_y/cm	D_z/cm
WUHN	0.61	-0.55	-0.09
SHAO	0.62	-1.20	-0.07
URUM	-0.85	-1.23	0.26
LHAS	0.41	0.70	-1.16
XIAN	-0.78	2.28	1.07
中误差	0.75	1.50	0.80

注: D_x 、 D_y 、 D_z 分别为 x 、 y 、 z 方向的差值。

表 5 ITRF05、2000.0 成果转换至 ITRF97、2000.0 成果的比较

Tab. 5 Comparison Between ITRF05 and Epoch 2000.0 Production and Converted ITRF97 and

Epoch 2000.0 Production

IGS 站点	D_x/cm	D_y/cm	D_z/cm
WUHN	0.54	-0.75	-0.10
SHAO	0.50	-0.82	0.09
URUM	-0.90	-1.15	0.31
LHAS	0.42	0.83	-1.11
XIAN	-0.56	1.89	0.81
中误差	0.68	1.31	0.71

3 结 语

(1)基线长度在 200 km 以内,不同卫星星历的解算结果差异在 0.2 mm 以内,IGS 发布的星历精度要高于其他机构发布的星历,在数据处理时建议使用 IGS 精密星历。

(2)基线长度小于 4 000 km 时,不同参考框架的 IGS 精密星历对基线影响小于 1.3 mm,中国一般控制网边长均在 4 000 km 以内,因此在控制网数

表 6 ITRF08、2005.0 成果转换至 ITRF97、2000.0 成果的比较

Tab. 6 Comparison Between ITRF08 and Epoch
2005.0 Production and Converted ITRF97 and
Epoch 2000.0 Production

IGS 站点	D_x/cm	D_y/cm	D_z/cm
WUHN	0.39	-0.33	0.11
SHAO	0.49	-1.17	-0.28
URUM	-0.83	-1.07	0.25
LHAS	0.33	0.59	-1.13
XIAN	-0.38	1.98	1.05
中误差	0.58	1.31	0.80

据处理时,不必对 IGS 精密星历进行参考框架的统一转换,可不考虑卫星参考框架的影响。

(3)起算点有 ITRF97、2000.0 成果可直接固定,进行整体平差获得 CGCS2000 坐标成果。

(4)成果为 ITRF00、ITRF05 或 ITRF08 参考框架等非 ITRF97、2000.0 成果时,可利用全球 IGS 站的 ITRF00、ITRF05 或 ITRF08 和 ITRF97 坐标与速度场,采用框架转换公式计算转换参数,求得 CGCS2000 坐标成果。

参考文献:

References:

- [1] 国家测绘局. 国家测绘局公告(2008 年第 2 号)[N]. 中国测绘报,2008-06-27(1).
National Administration of Surveying and Mapping. Bulletin of National Administration of Surveying and Mapping (No. 2, 2008) [N]. China Surveying and Mapping News, 2008-06-27(1).
- [2] 陈俊勇. 中国现代大地基准——中国大地坐标系统 2000(CGCS2000) 及其框架[J]. 测绘学报, 2008, 37(3):269-271.
CHEN Jun-yong. Chinese Modern Geodetic Datum—Chinese Geodetic Coordinate System 2000 (CGCS2000) and Its Frame[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37(3): 269-271.
- [3] 陈俊勇, 杨元喜, 王 敏, 等. 2000 国家大地控制网的构建和它的技术进步[J]. 测绘学报, 2007, 36(1):1-8.
CHEN Jun-yong, YANG Yuan-xi, WANG Min, et al. Establishment of 2000 National Geodetic Control Network and It's Technological Progress[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2007, 36(1):1-8.
- [4] 杨元喜. 2000 中国大地坐标系[J]. 科学通报, 2009, 54(16):2271-2276.
YANG Yuan-xi. Chinese Geodetic Coordinate System 2000 [J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54 (16): 2271-2276.
- [5] 魏子卿. 2000 中国大地坐标系[J]. 大地测量与地球动力学, 2008, 28(6):1-5.
WEI Zi-qing. China Geodetic Coordinate System 2000[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2008, 28(6):1-5.
- [6] 程鹏飞, 文汉江, 成英燕, 等. 2000 国家大地坐标系椭球参数与 GRS 80 和 WGS 84 的比较[J]. 测绘学报, 2009, 38(3):189-194.
CHENG Peng-fei, WEN Han-jiang, CHENG Ying-yan, et al. Parameters of the CGCS2000 Ellipsoid and Comparisons with GRS 80 and WGS 84[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2009, 38(3):189-194.
- [7] 程传录, 郭春喜, 王小瑞, 等. 关于国家高精度 GPS B 级网成果的使用问题[J]. 测绘科学, 2005, 30(5):31-32.
CHENG Chuan-lu, GUO Chun-xi, WANG Xiao-rui, et al. Some Investigations on Applications of National B-order GPS Network[J]. Science of Surveying and Mapping, 2005, 30(5):31-32.
- [8] 程传录, 王文利, 郭春喜, 等. 2000 国家大地坐标系下三角网平差技术研究[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(4):432-436.
CHENG Chuan-lu, WANG Wen-li, GUO Chun-xi, et al. Adjustment of Triangulation Technique in China Geodetic Coordinate System 2000 [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2009, 31(4):432-436.
- [9] 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, 30(2):117-119.
LIN Xiao-jing, ZHANG Xiao-hong, GUO Fei. Transformation Methods and Accuracy Analysis Between ITRF2005 and CGCS2000 Coordinate[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010, 30(2):117-119.
- [10] 成英燕. ITRF2008 框架简介[J]. 大地测量与地球动力学, 2012, 32(1):47-50.
CHENG Ying-yan. Brief Introduction of ITRF2008 Frame[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2012, 32(1):47-50.
- [11] 蒋光伟, 程传录, 郭春喜, 等. 地球参考框架 ITRF2008 在中国大地基准中的应用[J]. 大地测量与地球动力学, 2012, 32(2):86-90.
JIANG Guang-wei, CHENG Chuan-lu, GUO Chun-xi, et al. Application of ITRF2008 in China Geoid Datum[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2012, 32(2):86-90.
- [12] 王艳梅, 何雪梅. 与 IGS 跟踪站联测并利用精密星历提高相对定位精度[J]. 物探装备, 2006, 16(1):63-66.
WANG Yan-mei, HE Xue-mei. Precision Relative Positioning by Using Precision Star Calendar and Joint-measurement with IGS Tracing Station[J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2006, 16(1):63-66.