

伽利略地球参考框架对建立我国自主的地球参考框架的启示

邹 蓉¹ 刘 晖¹ 杨蜀江¹

(1 武汉大学卫星导航定位技术研究中心,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘 要:在总结伽利略地球参考框架的建立和维持的基础上,分析了我国目前所用的参考框架存在的不足,得出了建立我国自主的地球参考框架的重要意义,提出了发展我国自主的地球参考框架,即 COMPASS 地球参考框架 CTRF 的实现模式以及数据解算策略。

关键词:伽利略地球参考框架;地球参考框架;空间大地测量技术

中图法分类号:P228; P226

伽利略系统的服务研究是欧洲第六框架计划 FP6 支持的重要研究领域。伽利略大地测量服务原型 GGSP 是 2005 年由 FP6 批准资助的项目,这些项目涉及欧洲卫星导航系统研究与开发领域的关键环节与核心技术,对发展我国自主的卫星导航定位技术有着积极的促进作用。GGSP 的研究内容主要包括伽利略系统地球参考框架 GTRF 的定义、建立、维持与精化技术以及系统相关标准的制定。GTRF 参考框架将直接服务于伽利略系统,是伽利略所有用户的基础。因此,高精度、稳定的 GTRF 是实现伽利略所有最基本的产品和服务的基础。GTRF 的建立和维持不仅可以为伽利略卫星导航定位系统的产品和服务提供基准,而且也可以为其他地球科学相关的研究与应用提供参考框架依据,对于地球参考框架的精化、开展航空航天、空间探测和系统地球方面的研究也有举足轻重的作用。

1 伽利略地球参考框架的定义

1.1 参数与模型

伽利略地球参考框架 GTRF 也是国际地球参考系统 ITRS 实现之一,它与国际地球参考框架 ITRF 是相容的。GTRF 的定义和实现也采用了现行的大地测量协议和标准,其目的是为了得

到的结果能与其他大地测量机构得到的结果进行比对。所涉及的模型有跟踪站的位移(潮汐、载荷等)、框架转换模型(极移、岁差、章动等)和数据改正(电离层模型改正等)等,这些将采用现行的国际地球自转与参考系统服务组织 IERS 标准,即 IERS Conventions (2003)中所推荐的常数和协议。同时,这些协议也是基于国际科学联盟的决议,如天球参考框架主要依据国际天文学联合会 IAG 的决议,地球参考框架主要依据国际大地测量学与地球物理学联合会 IUGG 的决议^[1]。

1.2 基准定义

作为 ITRS 的实现之一,GTRF 与 ITRF 有着紧密的联系。GTRF 的基准定义同 ITRF 的定义一样,也需要定义参考框架的原点、尺度和定向及其时间变化率。而在其实现过程中,GTRF 的基准定义是在数据处理过程中选用一些质量好的已知 ITRF 坐标和速度的并置站,采用最小约束的方法,使 GTRF 与当前的 ITRF(目前为 ITRF2005)对准,即与 ITRF2005 的基准定义保持一致^[2]。

2 伽利略地球参考框架的实现

2.1 GTRF 初始实现所采用的数据

GTRF 的初始实现所采用的数据来自四次会战观测,具体参见表 1。

收稿日期:2009-09-15。

项目来源:国家 863 计划资助项目(2007AA12Z309,2006AA12Z323,2006AA12A109);国家留学基金委“2007 年国家建设高水平大学公派研究生”资助项目。

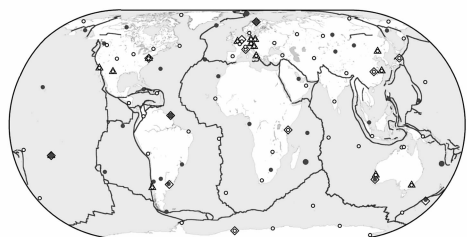
表 1 GTRF 初始实现所采用的数据

Tab. 1 Data Used in GTRF Initial Realization

会战	GPS 周	时间
1	1 399~1 402	2006. 10. 29~2006. 11. 25
2	1 419~1 422	2007. 03. 18~2007. 04. 14
3	1 431~1 434	2007. 06. 10~2007. 07. 07
4	1 443~1 446	2007. 09. 02~2007. 09. 29

为了保证 GTRF 初始实现的精度,采用了以下设计标准:① 会战的总体时间跨度超过 1 a;② 每次会战所持续的时间至少三周以上;③ 在真实的伽利略跟踪站 GSS 缺失的情况下,采用伽利略实验站 GESS 来替代。

GTRF 的初始实现所采用的跟踪站网如图 1 所示,其设计是基于 50 个潜在的 GSS 站的位置,在每个计划的 GSS 位置上,尽可能地选取了附近的 IGS 跟踪站。总之,在 GTRF 初始实现中,一共选取了 42 个 IGS 跟踪站(位于 GSS 站附近)、33 个其他的 IGS 跟踪站和 13 个 GESS 站点。



• IGS st.at GSS location • IGS st.at Galileo ULS ◦ additional IGS station
 △ SLR station in ITRF2005 collocated with IGS st. ◇ GSTB / V2 station

图 1 GTRF 初始实现所选用的跟踪站网

Fig.1 Selected Station Network for the Initial Realisation of the GTRF

2.2 数据组合模型及策略

GTRF 的初始实现和以后的更新主要由 AI-BU、ESOC 和 GFZ 三个数据分析中心来完成。这三个数据分析中心将各自提供每周组合解,即采用一周的单天解数据进行合并,所选取的参考历元为每周中间的瞬时刻历元所得到的解。所采用的软件是 IGN 开发的用于 ITRF 组合和分析工作的 CATREF 软件,用来对各个分析中心提供的每周组合解进行组合平差,以实现 GTRF。

GTRF 的三个数据处理中心负责处理跟踪站网的数据,IGN 再将三个数据处理中心的数据进行组合平差,即将三个数据中心提供的每周组合解定权以及基准定义进行组合平差,以最终提供跟踪站坐标、EOP 参数、轨道参数和钟差等产品。

2.3 GTRF 初始实现阶段的检核

在 GTRF 实现以及随后的维持中,对 GTRF 的产品以及中间产品进行检核是必不可少的一

步。检核的对象涉及到 GGSP 所生成的 GSS 站以及相应 ITRF 站的位置和速度、IGS 累积解、GSS 与附近 ITRF/IGS 站的局部连接。每一次 GTRF 新的实现都有与之对应的 GTRF 实现的确认报告,内容主要包括执行检核的所有信息和结果以及参考框架实现的精度评估。有关 GTRF 检核的详细内容在 GTRF 维持中进行介绍。

3 伽利略地球参考框架的维持

为了维持 IGS 产品本身的自洽性,IGS 从 2000 年开始生成自己的只采用 GPS 数据的参考框架,参与建立参考框架的数据同时也用来生成 IGS 其他产品。GGSP 也将采用和 IGS 相同的策略来对其跟踪站网的数据进行处理(自由网平差),然后通过附加最小约束条件,与 ITRF 基准定义保持一致。更确切一点说是到 IGS 实现的 ITRF,即采用用于实现 ITRF2005 的 IGS05 参考框架^[3]。

为了保证 GGSP 产品的长期可靠性,建立与其他服务和组织的联系非常有必要。因此,在 GTRF 维持阶段的检核就建立了外部服务和组织的接口,以利用其产品来作为参照和比对,如 IGS、IERS、国际激光测距服务 ILRS 和伽利略任务部分 GMS 等。

GTRF 维持阶段的检核流程与 GTRF 初始实现中的检核流程基本相似,不同之处在于 GTRF 维持阶段的检核要求成为一项常规的工作。因为在 GTRF 的维持阶段,许多人为的或者不可预知的问题可能随时发生,例如线的变动、地震引起的跟踪站及其速度的变化。这些问题在数据处理的确认中必须考虑到,以保证跟踪站坐标的长期可靠性。常规的检核流程如图 2 所示。

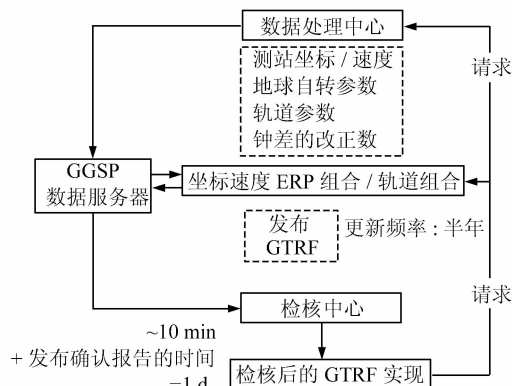


图 2 常规的检核流程

Fig. 2 Regular Validation Process

为了应付检核过程中偶尔出现的问题,相应的数据处理中心或者组合处理中心会收到电子邮件,按照要求重新处理数据。同时,也有必要重新生成组合产品。检核过程需要反复进行,直到给出满意的结果为止。检核的周期及内容见表 2。

表 2 检核的周期及内容

Tab. 2 System Resulting Data of Standard Experiment		
检核周期	每周	每一次新的 GTRF 实现
检核内容	跟踪站坐标时间序列的稳定性	跟踪站坐标时间序列的稳定性与目前 ITRF 实现进行比较
	与目前 ITRF 实现进行比较	与 IGS 累积解进行比较
	与 IGS 累积解进行比较	检核速度
	最新生成的每周组合解与目前 GTRF 实现之间的比较	与局部连接进行比较
	检查生成的中间的轨道产品	与短基线的结果进行比较
	检查 ERP 参数	与 IGS 轨道进行比较
		与 IGS 的 ERP 进行比较
		与 IGS 的钟差改正进行比较

4 建立我国自主的全球性地球参考框架的重要意义

20 世纪 50 年代,为了满足测绘工作的迫切需要,我国采用了 1954 年北京坐标系;后来随着天文大地网布设任务的完成,通过天文大地网整理平差,于 80 年代初又建立了 1980 西安坐标系。国家测绘局于 1990 年初开始实施国家 A 级和 B 级 GPS 大地控制网,我国于 2004 年完成了 2000 国家 GPS 网的计算,2008 年 7 月 1 日,我国正式启用 2000 国家大地坐标系(CGCS2000)作为国家法定的坐标系,逐步推进由参心坐标系向地球系的转换,为建立我国自主的全球性地球参考框架奠定了基础。CGCS2000 的定义和 ITRS 的定义一致,相对 ITRF97,CGCS2000 的实现精度对于水平坐标达到 1 cm 量级^[4-6]。

目前的 CGCS2000 坐标系统虽然是地球参考框架的实现之一,但它建立坐标框架所采用的跟踪站只局限在中国境内,因此不能称之为全球性的地球参考框架。我国正在研究的 COMPASS 卫星导航定位系统将最终成为全球卫星导航定位系统,其不能依赖国际组织所提供的参考框架服务,必须要有我国自主的全球性地球参考框架作为支撑。高精度全球性地球参考框架作为国家发展最具重要性的一个基础设施,不仅可以直接为我国 COMPASS 卫星导航定位系统服务,而且也是我国地球空间信息基础设施建设的要求,对于提高我国在地球科学方面的研究水平和国际地位

有着非常重要的作用。本文将我国自主的全球性地球参考框架暂时称之为 COMPASS 地球参考框架 CTRF。

5 CTRF 的实现模式和数据处理策略

5.1 CTRF 的实现模式

针对我国尚无全球分布的地面跟踪站的实际情况,本文提出了建立我国自主的全球性参考框架的实现模式,即要建立和维持我国自主的全球性地球参考框架,就不能只依赖于地面跟踪站,而要利用一切可能利用的资源,包括装载有我国自主的 GPS 接收机的高中低轨卫星、地面或星间可跟踪的高中低轨卫星,通过静态的地面跟踪站和动态的卫星和天体来共同建立和维持我国自主的全球性地球参考框架。其坐标参考框架维持所用的资源如图 3 所示。

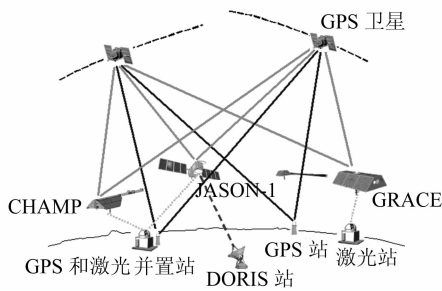


图 3 我国地球参考框架建立和维持可用到的资源
Fig. 3 Resources Used in Establishing and Maintaining Global Coordinate Reference Frame

在天、地、空一体化模式下,地面跟踪站通过跟踪站的坐标和速度来维持参考框架,高中低轨卫星通过地面对其定轨来维持参考框架。当地面跟踪站遭到恶意破坏时,仅用地面跟踪站所维持的参考框架可能因此而瘫痪,但是对于天、地、空一体化的模式,还可利用高中低轨卫星的自主导航、自主定轨技术来短期维持参考框架,因此,其安全性要高于仅用地面跟踪站来维持参考框架的方式。

5.2 数据处理策略

与 GTRF 建立的不同之处是,我国自主的地球参考框架的建立无法单纯地依靠地面站,需要涉及多种空间技术和多类数据资源,包括 GPS、SLR、DORIS、VLBI、CHAMP、GRACE 等,因此对多种空间技术和多类数据资源的综合处理是实现 CTRF 的基础。对多源空间大地测量数据的综合处理,目前多从 SINEX 文件组合的方式入手,但从原始数据的层面进行严密的组合将是未来的发展方向。

5.2.1 基于 SINEX 文件的空间大地测量技术的组合

基于 SINEX 文件的空间大地测量技术的组合方法的基本思想是:对于各种空间技术或地面观测数据(包括 VLBI、SLR、LLR、GPS、COMPASS、DORIS、CHAMP、GRACE 等)的观测进行独立解算,形成统一的 SINEX 解文件。SINEX 解文件中可以包含丰富的参数信息,如跟踪站坐标及其速度、地球自转参数、轨道参数、大气参数、极移参数、章动参数、地壳形变参数和其他地球动力学参数等。利用 SINEX 所包含的信息恢复法方程,对各种数据在法方程层面进行数据组合。以空间大地测量技术的数据组合为例来说明具体的实现方法,其计算流程如图 4 所示。

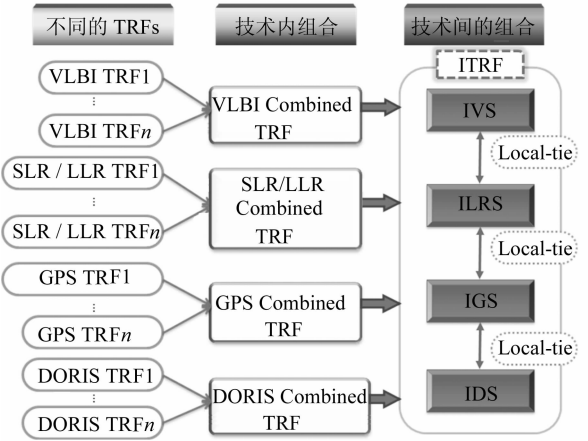


图 4 基于 SINEX 文件的多源空间大地测量技术组合的方法

Fig. 4 Combination Methods of Multi-Spatial Geodesy Techniques Based on the SINEX Files

- 1) 由各个数据分析子中心将地面观测跟踪站提交的数据解算生成 SINEX 格式的数据,提交到各自的数据组合中心,这些组合中心对各自的观测技术进行组合,生成一个新的 SINEX 周解,称之为技术内组合解。此组合涉及到 SINEX 先验约束信息的消除、参数先验初值的统一、冗余参数的剔除、新参数的引入、各参数之间权值的确定等。
- 2) 技术间组合中心负责利用各种观测技术之间并置站所提供的局部连接信息对各个综合数据处理中心(即技术内组合)的解进行组合。此时需要解决的问题就是各种技术之间系统偏差的消除和不同技术之间权值的确定,最后得到多种空间观测技术每周组合的 SINEX 解,即为技术间组合解。
- 3) 对每周组合的技术间组合解进行比较,对其重复性进行研究,采用外部信息(如地球物理流体、模型等)进行检核,得到最终的技术间组合解,

其中包含有跟踪站坐标及速度、EOP 参数和类星体坐标等参数信息。

对基于 SINEX 文件的空间大地测量技术的组合,武汉大学研制有相应的软件系统^[7,8]。

5.2.2 基于原始数据的空间大地测量技术的组合

对于建立和维持全球性地球参考框架来说,基于原始数据的组合是最理想的,其更有利于全球性地球参考框架的一致性,并有利于对观测数据中所反映出来的各种地球物理现象的解释,其实现方法如图 5 所示。

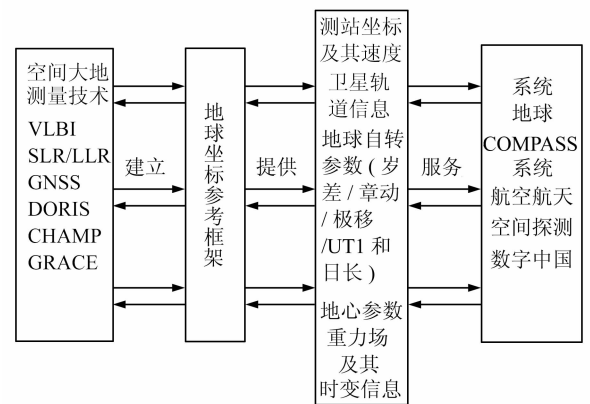


图 5 基于原始数据的多源空间大地测量技术的组合

Fig. 5 Combination of Multi-Spatial Geodesy Techniques Based on the Raw Data

该方法的基本思想是通过各种空间技术(包括 VLBI、SLR、LLR、GPS、DORIS、CHAMP、GRACE 等)的观测值,包括地面跟踪站、高中低轨卫星和天体的观测数据,将其原始观测值参数化,进行卫星定轨的同时,确定地面跟踪站和地球自转参数。

对于基于原始数据的空间大地测量技术的组合,武汉大学在其定位定轨软件 PANDA 上已经部分实现,目前能够进行 DORIS 和星载 GPS 以及地面跟踪站数据的联合平差。高中低轨卫星的联合平差又称为一步法精密定轨,即同时处理地面和星载观测数据一步确定高中低轨卫星的精密轨道。PANDA 目前已经具备一步法精密定轨的能力,并利用该方法实现了 CHAMP、GRACE 卫星的定轨处理。

6 结 语

地球参考框架是国家战略发展最重要性的基础设施之一,它将服务于地球科学涵盖的各行各业,将极大地加快我国空间信息产业的发展,为城市基础设施建设、卫星导航产业的发展提供极

大的便利。采用多源数据的组合来建立地球参考框架,可以将卫星测高、卫星重力、空间定位(北斗、GPS、GLONASS 和伽利略)等技术紧密地联系在一起,从而建立起包含位置信息(坐标、速度)、地球自转参数、重力场、海面地形、地球动力学参数在内的全球综合大地测量观测系统,实现对系统地球更加全面的理解和描述^[9,10]。

坐标参考框架的准确度和精确度的提高将从根本上改变一系列重大自然科学和应用技术科学的面貌。在基础科学研究上如广义相对论的验证、光速各向异性的测量、原子物理常数随时间的演化等;而天地一体化坐标参考框架将对在轨卫星、载人航天器,特别是对远程精密打击武器进行精确授时和定位服务;在民用方面,主要为涉及国计民生而不宜依赖 GPS 系统的公共事业服务。另外,可为铁路、公路、船舶和航空运输以及公安干警、救灾抢险和医疗急救的调度指挥等提供服务。基于我国的现状,通过我国现有的各类地面跟踪站,利用高中低轨卫星通过静、动态跟踪相结合,天、地、空一体化的模式来建立和维持全球性地球参考框架在思想上是先进的,在技术上是可行的。

参 考 文 献

[1] McCarthy D D, Petit G. IERS Conventions (2003) [C]. IERS Conventions,BKG, Frankfurt, Germany, 2004

[2] Altamimi Z, Sillard P, Boucher C. ITRF2000: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications [J]. J Geophys Res , 2002, 107(B10): 2 214

[3] Altamimi Z, Collilieux X, Legrand J, et al.

ITRF2005: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame Based on Time Series of Station Positions and Earth Orientation Parameters [J]. J Geophys Res, 2007, 112: B09401

[4] 陈俊勇,许厚泽,胡建国,等. 23 届 IUGG 大会有关大地测量的最新进展[J]. 测绘学报,2004,33(1): 12-21

[5] 宁津生,刘经南,陈俊勇,等. 现代大地测量理论与技术[M]. 武汉:武汉大学出版社,2006

[6] 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, 27(1):1-6

[7] Rothacher M. Towards a Rigorous Combination of Space Geodetic Techniques [C]. IERS Technical Note No. 30, Munich, Germany, 2002

[8] Zou Rong, Shi Chuang. TRF Implementation by Rigorous Combination of Space Geodetic Techniques [R]. VI Hotine-Marussi Symposium of Theoretical and Computational Geodesy: Challenge and Role of Modern Geodesy, Wuhan, China,2006

[9] Zou Rong, Shi Chuang, Liu Zhimin. The Simulation of GTRF Initial Realization Using GPS Data [C]. The 14th International Conference on Geoinformatics, Wuhan, China,2006

[10] Rummel R. Towards an Integrated Global Geodetic Observing System [C]. International Association of Geodesy Symposia, Global Integrated Geodetic and Geodynamic Observing System(GIGGOS), Berlin, 2000

第一作者简介:邹蓉,博士生,主要研究方向为空间基准的建立和维持。
E-mail:zourongjudy@163.com

Inspiration of Establishing COMPASS Terrestrial Reference Frame from GTRF Realization

ZOU Rong¹ LIU Hui¹ YANG Shujiang¹

(1 Research Center of GNSS, Wuhan University,129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: On the summary of the realization and maintenance of GTRF, the deficiency of the reference used in China is analyzed. At the same time, the significance of establishing COMPASS terrestrial reference frame is presented. The realization mode and data processing strategy are also given in this paper.

Key words: GTRF; terrestrial reference frame; space geodetic technique

About the first author: ZOU Rong, Ph.D candidate. She is mainly engaged in the realisation and maintenance of spatial datum.
E-mail: zoujongjudy@163.com