

大地坐标框架理论和实践的进展*

陈俊勇

(国家测绘局,北京 100830)

摘要 分4个方面对2006年10月9日德国慕尼黑国际大地测量会议(GRF2006)的主要内容进行了介绍:1)全球大地坐标框架的进展和评估,并指出了最新的国际地球参考框架2005(ITRF2005)的特点;2)区域大地坐标框架,如欧洲、美洲、北美等区域大地坐标框架的现状和进展;3)高程基准的现代化,介绍了美国和欧洲建立现代化高程基准的进展,探讨了全球高程基准统一的途径;4)构建大地坐标框架中的个别问题,如:甚长基线干涉技术和卫星激光测距技术对确定大地坐标框架的作用、如何削弱大地坐标框架点位周期性变化对用户定位的影响、对采用零潮汐系统的改进意见等。

关键词 大地测量 大地坐标框架 高程基准 零潮汐系统 国际地球参考框架(ITRF2005)

中图分类号:P228

文献标识码:A

PROGRESS IN THEORY AND PRACTICE FOR GEODETIC REFERENCE COORDINATE FRAME

Chen Junyong

(National Bureau of Surveying & Mapping, Beijing 100830)

Abstract There are four parts mainly involved: 1) development and estimation on the International Terrestrial Reference Frame (ITRF), the main characteristics of the most new ITRF2005; 2) definition, construction and maintenance of a local geodetic reference coordinate frame, present situation and development of the local geodetic reference coordinate frame in Europe, America and north America; 3) the modernization of the vertical datum, the progress in the establishment of a modern vertical datum in United States of America and Europe, and the way how to establish a global vertical datum; 4) some special problems should be concerned in the construction of a geodetic reference coordinate frame, for example, the contribution of VLBI and SLR, the way to reduce the influence of the periodical variation of the frame points on the precise positioning, and the improvement suggestion for the computation of zero tide system.

Key words: geodesy, geodetic reference coordinate frame, vertical datum, zero tide system, International Terrestrial Reference Frame(ITRF2005)

1 引言

近20年来,大地测量技术有了很大的发展,观

测数据的种类多、精度高、数量大,因此全球或区域大地坐标系的实现即建立和维持全球或区域大地坐标框架必然涉及多种学科,特别是现代的数据处理

* 收稿日期:2006-12-01

作者简介:陈俊勇,男,1933年生,中国科学院院士,大地测量学家,主要研究方向为天文大地测量,已发表专著10部,论文170多篇

技术,才能保持它们的高精度、现势性和它们的几何与物理特征。

大地坐标框架除了给测绘和工程提供几何和物理基准外,它还可以提供全球变化在气象和地球物理方面的部分监测信息,诸如海平面变化,冰质量的平衡,地表水文的变迁,地球动力学,地壳运动,地形变,大气降水,电离层变化等等。此外,大地坐标框架也在实际应用方面,如构建地理信息系统、导航定位、卫星定轨等方面提供基准信息。总之大地基准在经济、社会、科学的发展中发挥越来越重要的基础保障作用。有鉴于此,国际大地测量协会(IAG)第一委员会于2006年10月9~13日在德国慕尼黑举行了关于大地坐标框架的学术讨论会(GRF2006)。这次GRF2006学术讨论会内容主要涉及4个方面:1)国际地球参考框架(ITRF)的进展和评估;2)区域大地坐标框架的定义、建立、维持和整合;3)高程基准的现代化;4)构建大地坐标框架中的个别问题。下面将该会议讨论的主要意见综述如下。

2 全球大地坐标框架的进展和评估

计算和发布国际地球参考框架(ITRF)的目的是建议将它作为全球大地坐标框架的一个国际标准,以用于大地测量等地球科学,例如从国家的大地基准到地球自转,从卫星导航、地形变到板块运动的地球物理解释等等。ITRF是基于空间技术如VLBI、SLR、GPS和DORIS等所测定的测站位置及其位移速度联合构建的^[1]。例如20余年来,VLBI和SLR数据对定义ITRF的主要贡献在于确定它的原点和比例尺^[2]。

ITRF的精度在过去的十余年中有了很大的提高。它目前定义为这样的一种框架,即它是通过一组固定于地球表面而且只作线性运动的大地点的坐标来表示的。随着各方面对大地测量成果所要求的精度越来越高,因此大地点位的时变就越来越受到关注。今后要从地质和地球物理过程,如地壳运动、地质灾害、潮汐负荷、大气负载、雪和土壤湿度、点位局部稳定性等方面,研究对大地坐标框架的影响。这些影响都可能使位于地表的大地点的点位发生非线性位移,即点位的非线性时变。

此外,采用多种大地测量技术对大地坐标框架的点位时变进行研究时,还应和天体参考框架如极移等结合起来,才能更好地发现大地点点位时变的原因,才能更好地完善精确测定它的技术方案。

ITRF目前由《国际地球自转服务(IERS)》负责计算和发布。IERS是在1988年创建的,截止到2006年,已经推算了10个ITRF的版本,其中最新

的一个是ITRF2005。ITRF2005同以前的ITRF版本不一样,它所采用的数据是以测定测站位置的时间序列形式输入,对于利用卫星技术的观测数据,是以每周的序列输入,而VLBI和地球自转参数(EOP)的观测数据则是按每天的序列输入^[1]。从而ITRF2005将测站位置的时间系列和EOP结合起来,并协调了原点、比例尺、定向及其时变等方面的问题。

ITRF2005还协调了近年来所测定的地心运动、长度比例尺变化及其与测站垂直运动的耦合,以及评估了ITRF2005符合全球板块运动无净旋转(NNR)条件的精度等。

ITRF是由空间大地测量技术和部分地面大地测量技术的测量成果联合进行数据处理而构建的。这样的联合有它的优点,例如缺少空间大地测量技术测点的地区,但有地面大地测量技术的测点,包含后者数据有助于ITRF的全球性定义。但这样也有它自身的弱点,例如数据联合处理涉及由此算得的ITRF是否仍保持ITRF的定义、原点、比例尺和无净旋转条件等。尤其是地面大地数据的分布状况和观测值权的选取等^[3]都可能对ITRF的实现有影响。

3 洲际和区域大地坐标框架的进展^[4]

3.1 欧洲大地坐标框架(EUREF)的现状^[5]

从范围方面考虑,EUREF要顾及全欧洲的地理空间的平面基准和高程基准;从理论和技术方面考虑,要注意这个框架的定义、测定和维持。EUREF已经建立了“欧洲大地基准系统89(ETRS89)”和“欧洲高程基准系统(EVRS)”。ETRS89可以提供具有厘米级精度的点位的地心三维坐标,而这些点位的坐标和精度在整个欧洲是属于一个互相协调的大地基准系统。EVRS提供的高程也具有类似的特点。

ETRS89是由EUREF的GPS连续运行基准站(CORS)网(EPN)维持的。EPN与IGS有紧密的联系和合作。各欧洲国家对EPN的贡献是自愿的,这个网的成果的可靠性主要有两方面的原因:1)有足够多的观测站和数据;2)有内容广泛而切实的EPN运行的规范,从而保证了所有这些EPN原始GPS观测数据的相互协调,得到这些GPS站可靠的连续的近实时坐标。

ETRS89和EVRS已由欧盟的“欧洲控制测量与欧洲地理学会”和“欧洲国家制图与地籍局”等单位推荐采用,因此这两个系统实际上已作为欧洲各国乃至他们在国际合作中的一种地理基准。ETRS89受到欧洲各国重视的一个重要原因是EPN可以支

持广泛的涉及大地坐标框架的多种科学应用和研究:如地球动力学,海平面监测和天气预报等。

3.2 美洲大地坐标框架(SIRGAS)的进展^[6]

SIRGAS是涉及南美、中美和北美诸多国家的一项测绘科技合作计划,其主要目的是在美洲共同建立和维持一个洲际范畴的地心三维大地坐标框架。由于政治经济等方面的原因,这项合作是通过美洲各国及与其有关的国际合作组织进行的。现今SIRGAS已完成了两个大地测量项目,即SIRGAS95和SIRGAS2000,并在这些项目完成后保持了100个GPS的CORS站网。

SIRGAS最近正在进行的一项工作是从它的CORS网中计算本区域的电离层的总电子数,以减少本区域GPS单频定位中的电离层误差。

SIRGAS的CORS网日常运行目前是由德国大地测量研究所(DGFI)负责,并作为《国际GPS服务(IGS)》的一个协作中心,最近SIRGAS准备将此项工作由DGFI逐步转移至南美有关的研究所。

SIRGAS计划的今后任务是将美洲各国的大地网联测,将各个国家的大地网作为SIRGAS整个大地坐标框架中的一个子框架(一个分网)。此外SIRGAS还计划为全美洲定义、实现和维持一个统一的正常高的高程系统。

3.3 北美大地坐标框架(SNARF1.0)的构建^[7]

一个区域的大地坐标框架要确定性地连接于一个板块的稳定部分,这常常是位于这个区域中各个相应国家地理空间系统所要求的。这样的大地坐标框架也有利于这个区域对板块内的地球物理和地壳运动等现象的理解和阐述。2003年北美的有关测绘部门建立了一个“稳定的北美大地坐标框架(SNARF1.0)”工作组,它的目标是在北美建立一个稳定在每年毫米级水平的区域大地坐标框架。这个工作组为此确定了以下原则来定义和构建这个框架:1)依据地质和工程所认定的稳定标准来选择该大地基准的框架点;2)框架点应位于所在板块的稳定部分,并可用于定义无净旋转(NNR)条件;3)利用稠密的GPS点所构建的速度场,对北美地壳的垂直和水平运动进行构模。4)SNARF1.0应和ITRF2000保持一致。

建立SNARF1.0可以实现两个目的:即通过一个旋转矢量不仅可以将ITRF2000在北美区域的点的坐标转换至SNARF1.0,而且同时也可以将这些点的位移速度转换至SNARF1.0。

3.4 新西兰动力大地基准的研究^[8]

1998年新西兰引入新的国家大地基准NZGD2000,它定义为一个半动力大地基准,并和国家地形变模型结合,以保持基准的精度,该基准的历元确定为2000.0。形变模型可以使得在某一历元观测得到的大地坐标归算到所需要的历元时刻的值,而不必使所有大地坐标都归算到与大地基准相应的2000.0历元。

新西兰拟采用800余个GPS站,在基于ITRF2000框架中对这些站的数据进行处理后重新建模(NZGD2000原来在ITRF96框架中进行数据处理),预计框架点将从原来的50mm平面位置精度提高至30mm。采用ITRF2000为NZGD2000的坐标框架后,用户就无需再将点位从ITRF96转换至目前通用的坐标框架ITRF2000。

通过这几年在新西兰境内GPS站的连续定位资料发现,这些框架点的高程变化常常会出现非线性变化,对这数据进行分析后认为,影响这些框架点高程变化的因素很多,也很复杂,因此对这些框架点的高程变化不再考虑以前几年的计算方式,即在NZGD2000内用垂直形变模型和时相的方式来推定,而是采用实测值。

考虑到NZGD2000的大部分用户不是专业人员,对这种顾及地形变的大地坐标换算至所需历元时刻的值,虽然科学,但不方便用户使用。因此,新西兰的测绘主管部门目前不仅提供一个科学的动态的大地基准,而且要通过它提供一个实用的空间大地坐标数据库,其中还包括地籍数据等。

4 高程基准的现代化

4.1 美国高程基准的现代化^[9]

美国国家大地测量局(NGS)负责定义美国的国家大地基准系统,其中包括用于一切测量和制图目的的法定的平面和高程基准。目前美国的高程基准是北美1988高程基准(NAVD88),它是通过近600000个美国、加拿大、墨西哥的水准点来定义的。近十几年来,在通常的需求时可以通过大地水准面结合GPS将NAVD88的高程基准传递至用户。但高精度水准测量目前还没有其他技术可以替代,因此在可预见的将来,高精度的高程基准传递仍然需要采用水准测量技术,水准点至今仍是传播高程基准的主要设施。

每年NGS收到很多涉及水准点丢失、损毁和挪动的报告,为此NGS进行了很多由于水准点被损所引起的一系列重测,补测工作。但实际上还有数量不少的水准点由于种种原因受到损毁或挪动,却未

及时发现或报告。

今后 10 年,美国高程基准的使用或覆盖范围可能还要扩大,从北极到赤道,从夏威夷至格凌兰,都要求采用北美高程基准,因此不采用新的思路和措施来解决上述难题,再单一的依靠这样一个水准网点来传递和维持这一高程基准,特别是要保持高程的现势性,这从人力、财力、物力等方面来考虑是难以以为继的。

根据现代大地水准面构模技术和 GPS 技术,NGS 最近探讨一种与过去完全不同的途径来定义和传递一个国家的高程基准,也就是美国准备采用 GPS 的连续运行站(CORS)和时变的重力大地水准面模型相结合的技术来解决或缓解这个难题。

4.2 欧洲高程基准^[10]

欧洲联合水准网(UELN)的工作于 1994 年开始启动,其目标是建立一个统一的欧洲高程系统。此后 UELN 的覆盖面一直扩大到大部分的欧洲国家。在 2000 年,UELN 的平差成果已作为欧洲高程基准系统(EVRS)的首次定义。UELN 中的骨干网组成了欧洲高程基准网(EUVN),它是 EVRS 的实现。EUVN 结合了 GPS 坐标,重力高和正高整合成一个高程数据库。在 1997~2003 年欧洲又进行了 2 000 个水准点的水准测量,对 EUVN 进行了加密,称为 EUVN-DA。

现在准备按 EUVN 的模式,提出建设欧洲联合大地网(ECGN),在 ECGN 的点上要进行多种卫星定位,超导重力仪测量,定期的水准和绝对重力复测,这些点可以通过 GPS 水准和全球重力场模型的结合,将 EVRS 和全球高程系统联系起来。

4.3 全球统一高程基准的研讨^[11]

近几年来不少大地测量学者常常提到关于全球高程基准统一的问题。由于卫星测高和卫星重力测量技术的进展,这些大地测量学家认为实现全球高程系统(WHS)的统一已不是遥远的将来。有了测高数据和精确的全球重力场模型,就可以准确求定与全球海面最佳拟合的大地水准面 W_0 。而这 W_0 的值也就是 WHS 的一种定义。而要将区域的高程基准和 WHS 联系起来,就需要在相应区域有足够数量、覆盖足够区域并与区域高程基准联系的 GPS 水准点。

5 涉及大地坐标框架的一些专门问题的研究

5.1 依据甚长基线干涉(VLBI)所构建的天体参考框架对确定大地坐标框架的作用^[12]

一个精确稳定的天体参考框架(CRF)是构建全球大地测量系统和框架的一个前提,因为构建后者的测量技术在近代主要依靠地面对卫星的测量,因此处理这些量测成果时,不仅必须顾及地面测站所在地的地壳运动,还要考虑近地空间对卫星运动的种种扰动和影响。

目前的国际 CRF 是通过河外射电源和 VLBI 对它的测量来实现的,对单个射电源定位精度已达 $0.25'' \times 10^{-3}$ 量级,而框架轴的定位精度则还要高一个数量级,已达 $0.030'' \times 10^{-3}$ 。VLBI 的测量可以提供确定地球自转轴方向的数据和地面 VLBI 测站点的位置,移动速度以及这些 VLBI 测站点之间的尺度。

一个理想的 CRF 所观测的射电源,其点位的分布应该是均匀稠密的,而且这些射电源本身还应该没有位移。但实际上可供 VLBI 观测的射电源数量不仅少,而且它们的位置也确有微小的移动。所以 CRF 的这一“不完善”对大地测量观测成果有影响,虽然它的量级很小,但还是要采取措施削弱这一影响。

5.2 卫星激光测距(SLR)对确定大地坐标框架的贡献和存在的问题^[13]

地球上某种低阶低频变化所产生的几何效应往往表现在瞬时或平均大地坐标框架中地球质心和地球自转轴指向的变化。SLR 数据对完成大地坐标框架的主要贡献是定义该框架的原点,并和 VLBI 的数据一起定义大地坐标框架的比例尺。而这两个因子是监测全球变化中一些最重要现象(如平均海水面的升降,地球自转方向和速率的变化,地球内部和表面的质量迁移等等)的基础。大地坐标框架的稳定和完整及其是否适用实际地球的几何和物理特性,直接关系到地球上物质重新分布过程中的量测和构模的精度和可靠性。

SLR 测定成果具有确定性和无重大偏移的性质,并可以得到很精确的 SLR 站间的高程成果和大地坐标框架的比例尺,SLR 能表示这一比例尺的具有毫米量级精度的周平均值。这些都是目前 SLR 对确定大地坐标框架方面的贡献。

SLR 也有它的不足:一是 SLR 的测量受天气因素的制约和影响较大。二是全球 SLR 站数量偏少,只有 40 余个,而且这些站的空间分布不理想。此外,SLR 全球网的成果中显示的某些现象,例如地心位置变化的时间序列的“长期趋势”,就不能从目前已掌握的任何地球物理知识加以解释,这也可能是由于目前 SLR 全球网站在地球南北球几何分布不对称,不均匀,或是观测的卫星数量不足,或是它们

的轨道分布不对称等等原因所引起的,这都还有待作进一步的研究。

5.3 采用全球地壳整体无净旋转条件的新模式 GSRM-NNR-2^[14]

ITRF 定向的时间演变是由全球地壳整体无净旋转(NNR)条件确定的,这个条件目前是由 NNR-NUVELIA 模型给定的,但这个 NNR-NUVELIA 模型在具体点位和 ITRF 二者所选定的测站位置不一致,因此二者所代表的相应板块的移动速度当然也不一致。由大地测量测得的某些板块的运动和 NNR-NUVELIA 的相应值不一致。当 ITRF2000/2005 和 GSRM-NNR-2 模型比较时,上述二者的不一致现象就显得更为明显。这可能是 NUVELIA 没有考虑板块边缘地带地壳运动的特殊情况所导致。

由于 GSRM-NNR-2 是基于目前最齐全的地面水平速度场的资料编制的。因此基于 NUVELIA 的 ITRF2000/2005,和 GSRM-NNR-2 之间,存在相当显著的旋转,最大可达 3 mm/a 速度差。

GSRM-NNR-2 构模时,对某些数据的处理和模型的假设很有特色。主要是在 ITRF 测站坐标位移速度的解算中,顾及了地球质心平移速率中较大的异常。此外,GSRM-NNR-2 还进一步考虑了上述地心平移速率在 NNR 模型中基于地球物理约束(如后冰期反弹)的变化对地心平移速率的影响。总的来说,GSRM 研究并顾及了 NNR 模型的摄动,并在地心平移速率的推算中,顾及这一摄动,将它作为偏移了某一假定方向的函数进行数学处理。

5.4 区域大地坐标框架点位的季节变化与待定点位置解算^[15]

很多 GPS 点的长期观测资料表明,它们的点位有显著的季节性变化(特别是在高程方向)。这是由于地球物理性质的载荷和多种系统变化所施加的影响所导致的结果,例如:在美国阿拉斯加区域,很多 GPS 的 CORS 站在高程位置上有多达 10 mm 幅度的变化。其可能的原因是该区域整个冬天是持续的积雪,而在春天又全部融化了,但在 IGS 网中大多数 GPS 站并没有这样大的季节性的环境变化,这类季节性变化的存在使得构建区域大地坐标框架的问题变得复杂。

构建区域大地坐标框架的通常方法是将区域 GPS 的 CORS 网站每天或每周的坐标解转换至 ITRF 或区域的大地坐标框架内,相对于这一框架这些区域 GPS 的 CORS 网站的位移,大多数表现为时间的线性函数。它对用户而言,这些 CORS 网站实质上就是该区域动态的大地坐标框架。在这种情况下,

用户若利用这一动态框架点定位,上述框架点的季节性位移量就会以某种不科学的方式融入到用户待定点的坐标解算的成果中。

最近针对 CORS 坐标有周期性变化区域的 GPS 待定点的解算,提出如下一种计算方法:在这类区域中,根据上述 CORS 网点坐标变化的时间序列,推估这些网点坐标季节变化的线性和非线性参数,然后应用一个线性方程加上具有季节模型影响的非线性方程来解算这类区域 GPS 用户的待定点坐标。

5.5 永久性潮汐和全球高程系统^[16]

全球高程系统的实现也就是建成一个国际统一的高程基准框架,不少大地测量学者建议采用大地位数来实现这一设想。它的点位坐标应和 ITRF 是一致的。根据国际大地测量协会(IAG)1983 年的建议,这个大地位数应采用零潮汐系统,即它应包括地球永久性形变的位,但不包括产生潮汐的位。这样的计算引来了不少麻烦,由于 ITRF 坐标是以无潮汐系统给出的,就是说地球永久性潮汐形变已从 ITRF 的坐标值中移去了。考虑到使用 ITRF 系统坐标的用户很多,要在实际工作中采用上述 IAG 于 1983 年的建议会引起很大的实际问题。

ITRF 是 ITRS 的实现,按 ITRS 的定义,ITRF 应该保留永久性潮汐形变所引起的影响,就如 IAG 1983 年建议的一样,但 ITRF 现在的情况没有符合 ITRS 的定义。产生这种结果的一个主要原因是世界各地向 ITRF 提供的数据大部分都相应于无潮汐系统。

潮汐导致的大地位数的时间变化是由外部质量所引起,若将这一影响保留在大地测量的各种数值内,并由此采用这些数据计算各种涉及边值的有关问题,就需要作专门处理,这就是为什么当年决定采用零潮汐系统的原因。

然而对一个全球高程系统的广泛应用来说,如海洋学,它并不计较这一大地位数是从属于哪个系统,或已作了哪些改正,仅仅是考虑总的大地位数的值,因此采用平均潮汐系统也很方便并是与此相应的。建议通过大地测量的零潮汐系统将他们统一起来,以便相互换算利用。

References

- 1 Altamimi Z. The International Terrestrial Reference Frame 2005 (ITRF 2005) [A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006 [C]. Munich, 2006.
- 2 Pavlis E C, Cieslak M K and Pavlis D E. Evaluation and validation studies of candidate ITRF2005 products [A]. Pro-

- ceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006[C]. Munich, 2006.
- 3 Altamimi Z. Strengthes and limitations of the ITRF; ITRF2005 and beyond[A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006 [C]. Munich, 2006.
- 4 陈俊勇. 空间大地测量技术对确定地面坐标框架、地形变和地球重力场的贡献和进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(10): 1 053 ~ 1 059.
- 4 Chen Junyong. Contribution and progress in the detemination of terrestrial coordinate frame, earth deformation and earth gravity field with spacial geodetic technology[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(10): 1 053 - 1 059. (in Chinese)
- 5 Bruyninx C. Status of the European Reference Frame (EUREF) [A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006[C]. Munich, 2006.
- 6 Brunini C. The American Reference Frame (SIRGAS): Recent achievements and products[A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006[C]. Munich, 2006.
- 7 Craymer M, Blewitt G, Argus D, et al. SNARF1.0: An ITRF-based regional reference frame for North America[A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006[C]. Munich, 2006.
- 8 Graeme B, Jordan A and Donnelly N. The practical implications and limitations with the introduction of a dynamic datum—A New Zealand case Study [A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006 [C]. Munich, 2006.
- 9 Smith D A. Modernizing the vertical datum of United States [A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006[C]. Munich, 2006.
- 10 Sacher M and Ihde J. The European vertical reference system and its relationship to a global vertical reference system [A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006[C]. Munich, 2006.
- 11 Bursa M, Kenyon S, Kouba J, et al. Unification of Vertical Reference Systems[A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006 [C]. Munich, 2006.
- 12 Ma C and MacMillan D. The effects of the celestial reference frame on geodesy[A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006 [C]. Munich, 2006.
- 13 Pavlis E C. SLR and the origin and scale of the ITRF[A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006[C]. Munich, 2006.
- 14 Kreemer C, Lavallee D, Blewitt G, et al. Constraining No-Net Rotation of the Terrestrial Reference Frame[A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006[C]. Munich, 2006.
- 15 Freymueller J. Seasonal position variations and regional reference frame realization[A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006 [C]. Munich, 2006.
- 16 Makinen J and Ihde J. The permanent tide and height system [A]. Proceeding of IAG/FIG Symposium. Geodetic Reference Frames GRF2006[C]. Munich, 2006.