第27卷第1期 大地测量与地球动力学 Vol. 27 No. 1
2007年2月 JOURNAL OF GEODESY AND GEODYNAMICS Feb. ,2007

文章编号:1671-5942(2007)01-0123-05

GPS与形变仪器观测固体潮方法的初步比较*

吴培稚[1)] 徐 平[1,2)] 邢成起[1)] 尹继尧[3,4)] 赵桂儒[3)] 樊智勇[1)] 袁学明[1)]

(1)北京市地震局,北京 100080
2)中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029
3)中国地震局地震预测预报研究所,北京 100036
4)上海市地震局,上海 200062)

摘 要 由于GPS观测方法在有源性、点观测、数据成分、数据剔除、数据预处理、比较基准、基础数据的惟一性等方面,与伸缩仪、水平摆倾斜仪等形变观测方法存在相当大的差异,为了了解GPS测量的特性,选择固体潮为观测对象,比较了GPS与伸缩仪等形变观测仪的异同。从延庆、东三旗、十三陵等台相关设备实测结果来看,GPS观测到的固体潮在形态上与理论值和伸缩仪等设备观测结果十分相似,但幅度要大得多,垂直分量最大日幅差接近100 mm。

关键词 GPS 伸缩仪 水平摆倾斜仪 固体潮 比较基准

中图分类号:P227 **文献标识码**:A

PRIMARY COMPARISON OF TIDE MEASURING METHOD BETWEEN WITH GPS AND WITH DEFORMATION INSTRUMENT

Wu Peizhi[1)], Xu Ping[1,2)], Xing Chengqi[1)], Yin Jiyao[3,4)], Zhao Guiru[3)], Fan Zhiyong[1)] and Yuan Xueming[1)]

(1) *Earthquake Administration of Beijing*, *Beijing* 100080
2) *Institute of Geology and Geophysics*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100029
3) *Institute of Earthquake Prediction*, *China Earthquake Administration*, *Beijing* 100036
4) *Earthquake Administration of Shanghai*, *Shanghai* 200062)

Abstract As the GPS method is different from deformation measuring methods with extensometer and horizontal pendulum tiltmeter at the aspect of having source, point observation, data composition, data deleting, data preprocessing, comparing datum, the sole basic data and so on. In order to understand the particularity of GPS survey, taking earth tide as the surveying object, GPS is compared with the convention deformation measuring methods here. The results at YANQ, DSQI, BJSH and other stations show that the earth tide surveyed by GPS is similar to the theoretical value and the data observeed by conventional deformation measuring instruments such as extensometer, but the amplitude of GPS result is bigger than others, as the max amplitude difference in one day of vertical-component can achieve 100 mm.

Key words: GPS, extensometer, horizontal pendulum tiltmeter, earth tide, compare datum

* **收稿日期**:2006-08-25
基金项目:北京市自然科学基金项目(8041001);北京市科技攻关项目(H030630090190)
作者简介:吴培稚,男,1947生,研究员,主要从事地震监测预报等研究. E-mail:quakewu@163.com

1 引言

在地震系统内,能用于固体潮观测的设备种类较多,如水管倾斜仪、伸缩仪、水平摆倾斜仪、重力仪、钻孔应变仪等。对这些设备观测的环境、观测数据处理等,已有方法和理论予以规范规定[1],如用于观测的伸缩仪、钻孔应变仪的观测精度不得低于10^{-8}。

GPS 观测是一种地表观测设备,其天线一般置于地表开阔地区,规范[1]要求 GPS 连续站的工作环境是观测室的温度 -30 ~ +55℃,工作室温度 0 ~ 30℃,观测室和工作室防潮防尘标准略高于普通民居(GPS 对观测环境的要求比伸缩仪等仪器低得多)。一般认为,在这样的环境中,毫米量级的 GPS 观测是不可能观测到固体潮的。事实上,GPS 不仅能观测到固体潮,而且幅度远大于伸缩仪等观测到的量级,这是由于观测方法不同所致。GPS 常规处理软件中,计算时可自动去除固体潮成分,因此,我们平常见到的 GPS 解算结果一般都是去除了固体潮成分的数据。

从 GPS 观测原理来看,它和水管倾斜仪、伸缩仪等常见设备存在着较大差别,为了有效地进行比较,选择了熟知的固体潮作为观测对象。本文不准备全面比较 GPS 与其它形变观测仪器的异同,也不对观测到的各种固体潮频率成分作严格的比对,只是针对 GPS 观测过程中具备的与伸缩仪等设备不同的特性作初步的讨论。

2 GPS 与形变设备观测固体潮的比较

GPS 与水管倾斜仪、伸缩仪等观测设备的差异是显著的,用伸缩仪等观测的方法来理解 GPS 观测过程是不完全合适的,有时甚至是错误的,现逐项分析比较。

2.1 有源与无源

水管倾斜仪、伸缩仪、水平摆倾斜仪、钻孔应变仪等观测信号是天然的、未知的信号,称为无源观测。

GPS 接收机接收的是由卫星发出的电磁波信号,它是人工的、已知的信号,称为有源观测。GPS 有源观测比一般的有源观测要复杂些,它不仅使用码信号,还使用载波信号,经过计算把研究对象从接收信号中解算出来,精密测量的 GPS 解算过程是非常复杂的。GPS 用于地壳研究时需要高精度解算,其码信号和载波信号均被利用[2]。

2.2 单点与网络

水平摆倾斜仪观测点位的倾斜量变化,这类观测具有点观测性质;水管倾斜仪、伸缩仪等观测的是两点间位置变化,具有线观测性质。上述设备的基线长度一般不超过 100 m,对于百千米量级的尺度,可视为点观测。

一台 GPS 接收机一个历元(相当于采样一次)能接收多颗卫星发出的信号,精密测量要求接收到的卫星数越多越好,当卫星数少于 5 颗时,该历元一般不参加计算。对一个研究地区,单 GPS 接收机工作的情况比较少见,一般 IGS 站、基准站、参考站、移动站等一起工作。即 GPS 观测点位在空间上是立体的,在范围上最大可以是全球的。

相对于全球、全国、一个省大小的范围,基线长度不足 100 m 的伸缩仪等观测,可以视为是一种点观测,它所反映的信息是局部的,时序曲线是点观测的主要研究对象。如果要把多个伸缩仪测站组成一个网进行场的研究,则必需知道两测站之间的相对变化,目前对相距几千米(或更远)的两站间相对变化是不可能用伸缩仪测得的,只用伸缩仪组成带有场性质的网是不现实的(水管倾斜仪等也有类似情况)。GPS 测量是一个由卫星和接收机组成的随时间快速变化的立体网,经解算,单站是点观测,多站则是网观测,每个站均严格地处在同一个系统中,其观测结果可直接用作点、场来研究。

2.3 数据成分

水管倾斜仪、伸缩仪、水平摆倾斜仪、钻孔应变仪等观测到的信号是多成分的,当观测环境较好、仪器工作也良好时,观测数据的主要成分是固体潮,另外温度、气压、地下水位、地震等也会有所反映。

GPS 接收机直接接收的是由卫星发出的电磁波,通过计算该电磁波的相位和整周数得到接收机和卫星之间的距离。影响相位和整周数的因素很多,有卫星轨道误差、设备钟差、天线位置、大气层折射、地球物理场、多路径效应等。GPS 的地表站同样会受到温度、气压、地下水位、地震等影响。虽然 GPS 接收机接收的是卫星发出的单一的电磁波,但从 GPS 数据中提取固体潮,其解算过程远比从水管倾斜仪等观测据中提取固体潮要复杂得多。

2.4 数据剔除

水管倾斜仪、伸缩仪、水平摆倾斜仪、应变仪等观测数据,在数据处理前,一般要剔除少量明显的问题数据,粗差检验是常用的一种方法;对于数量不多的脉冲干扰,还可以采用人工的方法剔除;当观测的数据量太少时,可以整段剔除。这些数据剔除的方法一般较为简单,地震系统内已推广的软件均能完成。

GPS 高精度解算软件,不仅要剔除缺伪距和缺

相位的数据,而且还对数据进行筛选和编辑,这个过程是非常复杂的过程[3]。早期的数据筛选和编辑工作十分繁琐,随着卫星和接收机状况的改善,通过几年时间的努力,已推出了数据自动编辑模块 AUTCLN 等,使得繁琐的数据准备工作变得简单易行,当然对于特殊情况,有时还需要用人机交互方法进行数据筛选。

2.5　数据预处理和排除干扰

水管倾斜仪、伸缩仪、水平摆倾斜仪、应变仪等观测到的数据主要成分是固体潮,温度、气压、地下水位等信号作为干扰,通过相关分析等方法去除。由于固体潮、温度等因素的影响在各个站点是不同的,干扰因素的去除也存在差异,需要数据使用者自行选择适当的程序和参数进行计算。对于地面沉降等大面积的整体变化,上述设备有时会很不灵敏,这是因为伸缩仪等设备的活动部分和固定部分,在观测大面积沉降的坐标系中,几乎在作整体同步运动。

把固体潮作为观测对象,在 GPS 数据处理中,其它因素应作为干扰处理,如轨道误差、钟差、天线相位中心、电离层、对流层、海潮、极潮、太阳光压等,这些干扰在高精度解算软件中均已提供了扣除的程序,用户需要选择适当的参数。对于 GPS 地面站点,温度、气压、地下水位等干扰因素的排除,同样需要数据使用者自行选择适当程序和参数进行计算。对于地面沉降等大面积整体变化,GPS 均有较真实的反应。

2.6　固体潮观测的直接与间接

伸缩仪等一般使用传感器,传感器感受活动部分和固定部分的相对变化,观测到的数据主要成分是固体潮。对于固体潮,这种观测可称为直接观测。

GPS 接收的是卫星发出的信号。固体潮只是众多因素中的一个因素,当把固体潮作为观测对象时,经复杂的解算去除大气折射等一系列干扰后,可得到固体潮(含残差)。使用 GPS 观测固体潮是一种间接测量。

2.7　比较基准的单一性和多样性

运动的相对性原理决定了描述物体的位置变化需要比较基准。伸缩仪等设备,其比较基准大部分在仪器的内部。此类设备在上百千米量级的场分析中,需要知道两台设备比较基准间的相对运动,否则在理论上是不能作为统一场来研究的。在地震预报分析中,更多的是注意观测值的相对变化,较少考虑基准之间的相对运动,这种分析具有局部性,其比较基准存在多样性。

在地震系统内部,GPS 解算时,一般首先获得无基准解,然后通过地面的全球基准(或区域基准)做进一步约束,得到统一的坐标基准。全球基准是精确的、稳定的、地心的、考虑时间演化的四维大地测量基准[3],在全球基准下,地表 GPS 站变化和我们常见的、近距离、点源观测的结果存在差异。GPS 观测的比较基准可由使用者设定,但是单一的[3]。

2.8　基础数据的惟一与多解

通常把能用于地震研究的数据称为基础数据,如伸缩仪 NS、EW 分量观测值。显然,伸缩仪基础数据中含有固体潮成分,在基础数据中保留固体潮成分的原因是固体潮的潮汐因子是恒量台站观测质量一个标志,固体潮畸变也是一种预测方法。按此思路,伸缩仪等设备的观测值就是基础数据,在这里是惟一的。在地壳运动研究中,一般把去除固体潮后的数据作为基础数据,在伸缩仪等观测数据去除固体潮的过程中,由于选择软件不同,输入的参数不同,其结果也不同,是多解的。因此基础数据具有一定的相对性,与使用者的需求有关。

GPS 接收机接收卫星发出的信号是惟一的,但它不能作为地震研究的基础数据。当前使用 GPS 的解算结果,可作为基础数据的主要是站点的 N、E、U 3 个分量数据(或基线),这些数据都去除了固体潮的影响。在解算过程中虽然使用同一软件,但解算过程、参数设置、大气折射模型选择等会存在差异,得到的结果也不同,呈多解状态。为了保征基础数据的长期可比性,在 GPS 求解过程中,建议保持计算过程、设置、模型等一系列配置的一致性。

3　GPS 与形变仪器实测固体潮曲线

本文目的是初步比较 GPS 和伸缩仪等固体潮观测方法的异同,对固体潮本身只作形态上的粗略比较、不作严格的成分分析。选择延庆(YANQ)、东三旗(DSQI)、十三陵(BJSH)3 个台的实测数据进行比较,其中东三旗台是土层台,GPS 接收机置于地表,2003 年 6 月开始工作,钻孔应变仪的传感器置于井下 285 m 处的白云灰质岩中,1986 年开始工作。十三陵台的 GPS 置于山顶基岩,1998 年开始工作。延庆台伸缩仪、水管倾斜仪的 3 条基线呈直角三角形布设,1987 年底开始工作。最远的东三旗、延庆两台相距 48 km。选择时间段为 2005 年 12 月 2 日 ~31 日,共 30 日的数据。

用作比较的 3 个台站间的距离均小于 50 km,十三陵台处于中部,为不失一般性,以该台的经纬度计算固体潮理论值作为比较标准,图 1 左是用 Mapsis 软件算得的十三陵台理论体应变固体潮。图 1 右是实测 U 分量理论值,它是由 GAMIT/GLOBK 软件解算十三陵台实测数据过程中产生的。即第一次

保留固体潮算得十三陵台 U 分量(本文暂且使用习惯称谓:改正前),第二次扣除固体潮算得十三陵台 U 分量(改正后),改正前后的差值即是本文所述的实测 U 分量理论值。由图 1 右可见,实测理论值和 Mapsis 软件算得理论值整体上十分相似,但也存在差异,尤其某些脉冲是不可能在理论值中出现的,由此可见 GAMIT/GLOBK 软件的实测理论值不完全取决于理论计算,它还与实测数据有关。

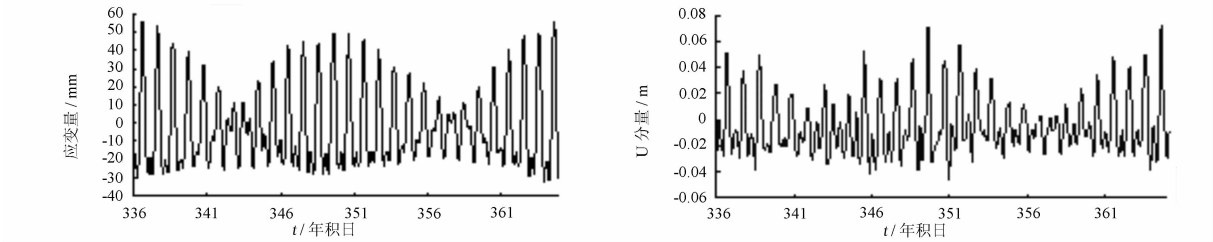


图 1 固体潮理论值(左:Mapsis 体应变,右:GAMIT 实测 U 分量)

Fig. 1 The theory value of the earth tide(left:Mapsis body strain,right:observed U-component in GAMIT)

这里需要特别指出的是,GPS 实测固体潮理论值的日变幅在大潮时,达到了 100 mm。对于全球基准,虽然北京地区几乎在整体上每天都有几十毫米的运动,但伸缩仪等设备的基准、活动部分及固定部分,均在同地块作几乎同步的整体运动,传感器的活动部分及固定部分之间的位移很小,无法反应几十毫米的整体运动。由此可见,对于这种大尺度测量,GPS 方法是强项。(GAMIT 软件解算参数见文献[4],本文使用全球基准)

图 2 是十三陵和东三旗台 GPS 固体潮改正前后的解算结果,剔除个别脉冲干扰和少量缺数,无论基岩台还是土层台,改正前固体潮是其主要成分,形态比理论值稍差,最大日幅差均达 100 mm(GAMIT 解算结果的平均精度为 10 mm 左右),改正后整体波动大幅度减小,基岩台效果要更好些(为了便于比较,图 2 中的纵坐标标识是一致的)。

图 3 钻孔应变仪虽然存在相当数量缺数,但固体潮形态是明显的(与图 1 理论值反相)。图 4 的水管倾斜仪、伸缩仪固体潮形态明显(因图中纵坐标按数据最大幅差标识,伸缩仪的NS分量趋势下

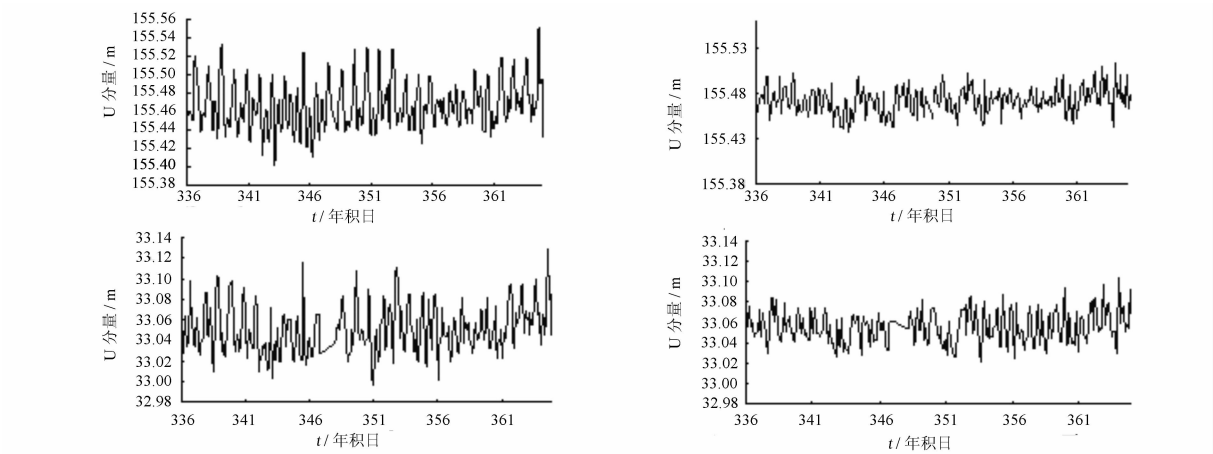


图 2 十三陵台(上)、东三旗台(下)GPS 实测固体潮 U 分量(左:改正前,右:改正后)

Fig. 2 U-component of observed earth tide(left : before being amended , right :after being amended) at BJSH (up) and DSQI(down) station

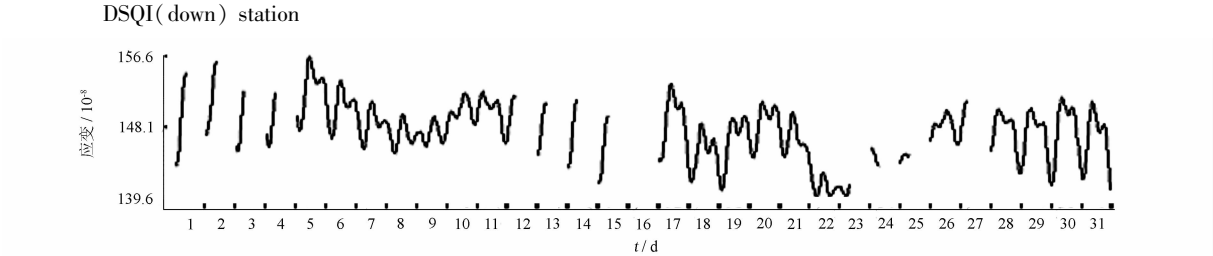


图 3 东三旗台钻孔应变观测曲线

Fig. 3 The curves of borehole strain at DSQI station

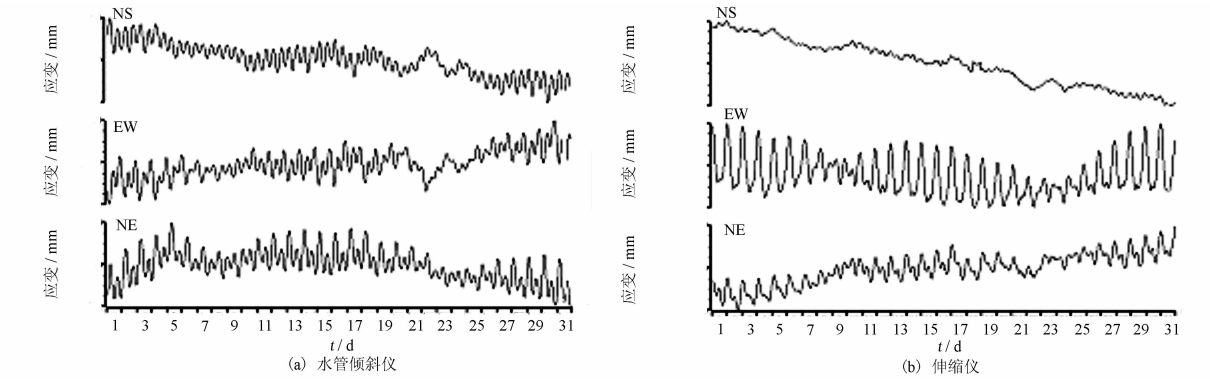


图 4　延庆台水管倾斜仪(a)、伸缩仪(b)观测曲线

Fig. 4　The observed curves of water tube tiltmeter(a) and extensometer(b) at YANQ station

降幅度较大,固体潮幅度显得比较小)。从图中还可以看到,这 3 种仪器记录曲线存在趋势或长周期变化,采用不同的数据处理过程和参数设置提取固体潮实测值,会得到不完全相同的结果,它们和理论值也存在一定的差异。

4　结束语

从上述分析比较和台站实测结果,可以粗略认为:

1) 对百千米量级的测量范围,伸缩仪、水平摆倾斜仪、水管倾斜仪、钻孔应变仪等形变仪器基本上是一种点观测设备,主要反应的是局部信息,对站点所处地块的整体运动反应不灵敏;GPS 观测是一种大范围、多颗卫星、多个站点、立体、快速变化的网络观测系统,既可以用于单站点的研究,也可以用于区域或全球的研究;

2)伸缩仪等常见的形变观测仪器和 GPS,虽然在观测原理、数据处理等方面存在较大差异,但它们均观测到了固体潮信息,其形态十分相似。由于比较基准、设备测量原理不同,记录到的固体潮幅度相差很大。对于北京地区,GPS 垂直分量 2005 年 12 月的日变幅最大可达 100 mm,低于文献[5]中提供的最大理论值 780 mm,最大实测值 470 mm;

3)为了能使伸缩仪等仪器正常工作,需要投入大量资金营造一个理想的观测环境,相应观测系统的远程测控和传输现已基本完善,观测数据的处理相对简单;GPS 对台址、环境、机房要求简单得多,设备也不贵,相应观测系统的远程测控和传输较完善,但观测数据的处理比较复杂。

本文初步比较了 GPS 和常见形变仪器之间在观测固体潮方法上的异同,目的只是介绍 GPS 观测一些特性,既非全面,也非十分严格,可能还存在错误,仅供参考。

致谢:　感谢中国地壳运动观测网络中心和北京市信息资源管理中心提供了相关资料!

References

1　中国地震局编. 地震及前兆数字观测技术规范——地壳形变观测[M]. 北京:地震出版社,2001.

1　China Seismological Bureau. The standard of digital surveying technology for earthquake and precursors——crustal deformation surveying [M]. Beijing: Seismological Press, 2001. (in Chinese)

2　魏子卿,葛茂荣. GPS 相对定位的数学模型[M]. 北京:测绘出版社,1998.

2　Wei Ziqing and Ge Maorong. The mathematical model of GPS relatively positioning[M]. Beijing: Chinese Surveying and Mapping Press,1998.

3　赖锡安,黄立人,徐菊生,等. 中国大陆现今地壳运动[M]. 北京:地震出版社,2004.

3　Lai Xian, Huang Liren, Xu Jusheng, et al. Present-day crustal movement in China mainland[M]. Beijing: Seismological Press, 2004. (in Chinese)

4　徐平,尹继尧,吴培稚,等. 北京市 GPS 网解算时 IGS 站的选取实验[J]. 大地测量与地球动力学,2006,26(1):49~54.

4　Xu Ping, Yin Jiyao, Wu Peizhi, et al. Choice experiment of IGS stations in data processing of Beijing GPS network[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2006,26(1):49 - 54. (in Chinese)

5　国家地震局科技监测司. 地震地形变观测技术[M]. 北京:地震出版社,1995.

5　Department of Science, Technology and Monitoring, CEA. Observational technology of seismo-crustal deformation[M]. Beijing: Seismological Press, 1995. (in Chinese)