

鲍海英, 孟 科, 王 维. GNSS 数据在江苏地震前兆监测中的初步应用与研究[J]. 华南地震, 2014, 34 (3): 91-95. [BAO Haiying, MENG Ke, WANG Wei. The Preliminary Application of GNSS Data in Earthquake Precursor Monitoring of Jiangsu Province [J]. South china journal of seismology, 2014, 34(3): 91-95.]

GNSS 数据在江苏地震前兆监测中的初步应用与研究

鲍海英, 孟 科, 王 维
(江苏省地震局, 南京 210014)

摘要: GPS 数据具有高精度、高效率 and 低成本等特点, 同时不易受观测环境的变化影响, 因此它在监测地壳的应力场变化、大震前可能出现的短期前兆、地震过程中观测点位的瞬时变化、震后地壳的运动特征等方面, 具有很大的应用前景。主要是利用江苏区域溧阳、南通和盐城三个 GNSS 观测站, 根据 GPS 定位原理, 利用 GAMIT 软件计算出这三个站在 2010 年 6 月至 2013 年 8 月的时间序列, 从计算结果中看出, 在这三年里, 这三个 GNSS 站均向东南方向偏移, 2011 年 3 月 11 日的日本地震均对这三个站引起永久性的同震位移, 这三个站观测数据在 NS、EW 和垂直方向上均呈现出较好的年变特征。这是 GNSS 数据在江苏地震前兆监测中的初步应用, 同时也为江苏区域的地震预测研究提供一个新的辅助手段。

关键词: 地震前兆; GNSS; 位移时间序列

中图分类号: P315.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2014) 03-0091-04

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.03.015

The Preliminary Application of GNSS Data in Earthquake Precursor Monitoring of Jiangsu Province

BAO Haiying, MENG Ke, WANG Wei
(*Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China*)

Abstract: By using the GAMIT software and the data of Liyang, Nantong and Yancheng GNSS observation stations, the paper calculates the displacement time series of Liyang, Nantong and Yancheng GNSS observation stations in Jiangsu province from June 2010 to August 2013 based on the GPS positioning principle. The results show that: among these years, the three GNSS stations move to the southeast direction; they have permanent coseismic displacement caused by the earthquake occurred in March 11 of 2011 in Japan; the observation data in NS, EW and the vertical direction of these three stations show better annual variation. This is the preliminary application of GNSS data in Jiangsu earthquake precursor monitoring, and also provides a new means for earthquake prediction research of Jiangsu area.

Key words: Earthquake precursor; GNSS; Displacement time series

投稿日期: 2013-12-25

基金项目: 江苏省地震局青年基金项目(201203)

作者简介: 鲍海英 (1986-), 女, 硕士, 从事地震前兆观测工作.

E-mail: bhy5928@163.com.

0 引言

GNSS(Global Navigation Satellite System, 全球导航卫星系统)是由欧洲空间局筹建的集 GPS、GLOBASS 以及低轨卫星为一体, 在全球范围内应用的卫星导航和定位系统。它是 GPS 技术在导航通讯领域的最新应用系统。众所周知, 卫星是在天空中环绕地球而运行的, 其全球性是不言而喻的; 而全球导航是相对于陆基区域性导航而言, 以此体现卫星导航的优越性。

目前, GPS 短边定位已经达到几个毫米的精度。这样的精度是监测地壳形变、应变积累速率所需要的, 也是常规大地测量难以达到的精度。同时, GPS 的结果是测点的三维坐标, 这也是传统分离的垂直形变网和水平形变网所难以完成的, 因此, 三维的地壳形变最有利于应用到地震监测预报研究工作中^[1]。由于 GPS 的高精度、高效率和低成本, 在监测地壳的中期运动、大震前可能出现的短期前兆、地震过程中观测点位的瞬时变化、震后地壳的运动特征、活断层的位移和变化等方面, GPS 都有很大的应用前景^[2]。

中国大陆构造环境监测网络, 简称“陆态网”, 是一个以 GNSS 为主的国家级地球科学综合监测网络。目前, “陆态网”项目江苏区域已建立了溧阳、南通和盐城这三个 GNSS 基准站, 构成了江苏区域的 GNSS 观测网。

1 GNSS 观测站时间序列

任意时刻的连续站观测值 $z(t)$ 可以看成由地壳正常动态运动、多种噪声干扰以及与地震有关的变形信息组成。用公式表示如下:

$$z(t)=x(t)+s(t)+V(t) \quad (1)$$

其中 $x(t)$ 为正常动态变形量, $V(t)$ 为观测噪声, $s(t)$ 是与地震有关的变形信息。

$x(t)$ 可看作随时间的漂移及年周期变化的两项之和组成, 即:

$$x(t)=a_0+bV_t+A\sin(\omega V_t+\varphi) \quad (2)$$

其中: a_0 为尺度因子, bV_t 为随时间的漂移, $A\sin(\omega V_t+\varphi)$ 为年周期变化部分。

目前, 在滤除干扰的方法中, 卡尔曼滤波应用相对较广^[3-5], 在本次实验中, 我们也是采用此方法来消除干扰的。本次试验采用美国麻省理工学院(MIT)的 GAMIT/GLOBK 解算软件完成, GLOBK 是一个卡尔曼滤波器, 其主要目的是综合

空间大地测量和经典大地测量的初步处理结果完成数据的后处理。因此它的输入一般是一些准观测量如测站坐标、地球自转参数、卫星轨道及它们的方差-协方差。

2 数据处理方法

本次研究采用江苏区域 GNSS 观测网 2010 年 6 月至 2013 年 8 月的观测数据结合 IGS 全球连续跟踪站的数据, 并利用此数据解算出江苏溧阳、南通和盐城三个台站的坐标时间序列, 作为江苏地区地震前兆监测的一项辅助手段。由于从 GPS 接收机中采集到的数据是全天 24 h 不间断观测, 有三种采样率分别为 30 s、1 Hz 和 50 Hz, 由于 GNSS 基准站每日观测的数据采样间隔分别为 30s、1Hz、50Hz, 考虑到数据量的大小, 在此我们选取采样间隔为 30 s 的观测数据, 以 24 h 为一观测时段。本实验采用 30 s 的观测数据, 由于从陆态网络 GNSS 基准站直接采集到的数据不满足 IGS 数据规范以及命名规范, 故在进行精密定位之前需对数据进行预处理, 主要有数据转换和数据重采样两步(数据采集及转换均采用自编程序实现)。

资料处理采用美国麻省理工学院(MIT)的 GAMIT/GLOBK 解算软件, 以单天为单位(24 小时为一个单日时段)。参考框架为 ITRF2005 框架, 星历采用 IGS 精密星历(SP3 格式)。解算模式为 LC-HELP 解, 给出模糊度整数解和浮点解。卫星截止高度角为 15°。所有 GPS 站的坐标约束为 100 m (松弛约束坐标), 解算方式采取松弛(RELAX)解。GPS 卫星轨道约束为 10⁻⁸。光压模型: BERNE。准备工作: 通过 Internet 从有关的 IGS 数据中获取 IGS 站观测数据及 GPS 数据处理所必需的资料(包括精密星历, 全球 H 文件解, 最新 tables 等)^[7]。解算过程主要包括基线解计算和网平差计算两部分。

基线解计算步骤(GAMIT): ① 单点定位, 给出未知站的概略坐标(米级水平); ② 取周边 IGS 站(BJFS、KIT3、KUNM、SHAO、SUWN、TSKB、WUHN、IRKT、IISC 等)进行 QUICK 解, 得到未知站的厘米级的概略坐标; ③ 进行单天 RELAX 解, 计算时利用 AUTCLN 自动修复周跳同时辅于 CVIEW 进行手工干预剔除周跳残差, 最终获得 O 文件解与 H 文件解。

网平差(GLOBK)计算步骤: 固定极移参数, 卫星轨道约束 20 m, 参考站约束 0.1 m。根据本次

计算的 H 文件, 由 GLOBK 求多天整体解, 以 IGS 核心站为参考站建立地球参考框架^[7]。IGS 核心站 x 、 y 和 z 方向的坐标约束分别是 0.05 m、10 m 和 10 m。

3 试验结果和分析

3.1 江苏区域 GNSS 观测网时间序列结果

本次研究采用江苏区域 GNSS 观测网 2010 年 6

月至 2013 年 8 月的观测数据, 结合 IGS 全球连续跟踪站数据, 利用 Gamit 软件解算出江苏溧阳、南通和盐城三个台站的位移时间序列, 计算结果见图 1~3。

图 1、图 2 和图 3 分别为江苏区域溧阳、南通和盐城三个 GNSS 观测站 2010 年 1 月至 2013 年 8 月位移时间序列, 采用的坐标系均为站心坐标系, 纵线为位移的波动值, 图中空缺的部分为数据缺失造成, a 图为原始时间序列, 直线部分为趋势拟合曲线, b 图为去除长趋势后的时间序列。

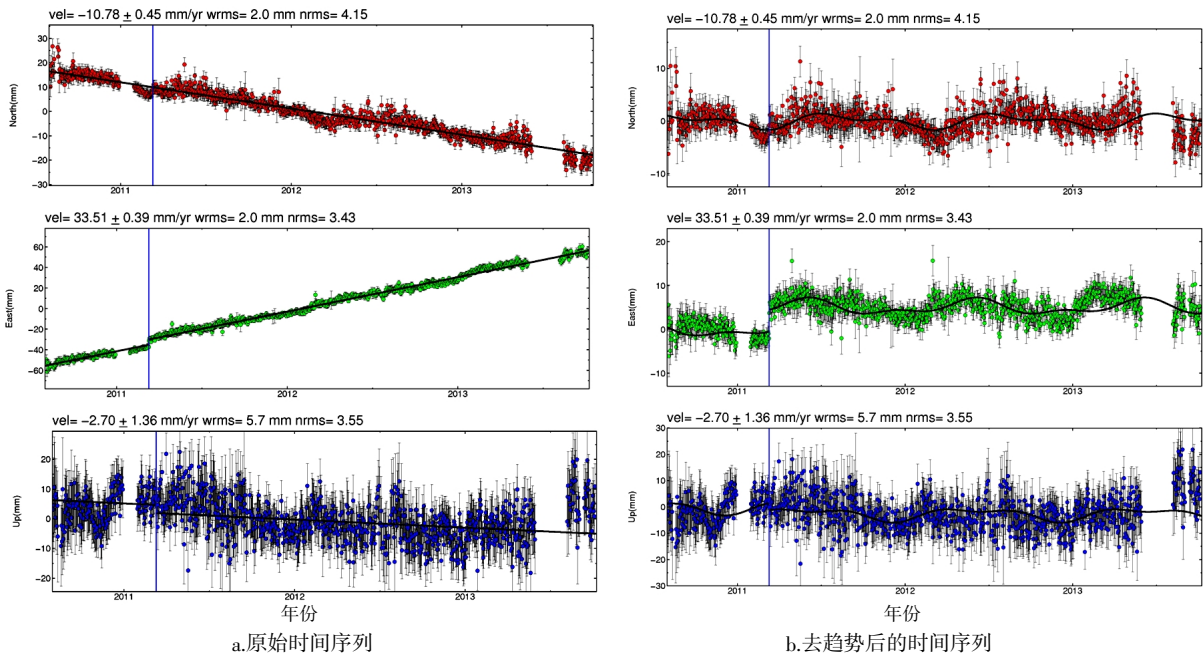


图 1 江苏溧阳 GNSS 观测站位移时间序列

Fig.1 Displacement time series of Liyang GNSS station in Jiangsu province

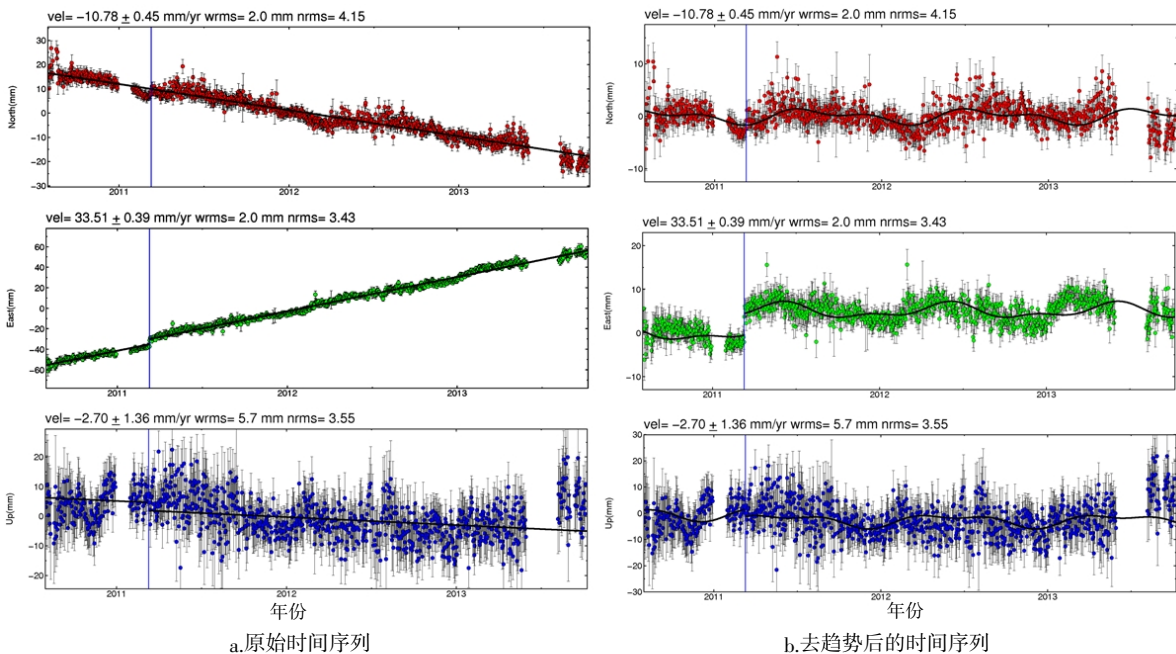


图 2 江苏南通 GNSS 观测站位移时间序列

Fig.2 Displacement time series of Nantong GNSS station in Jiangsu province

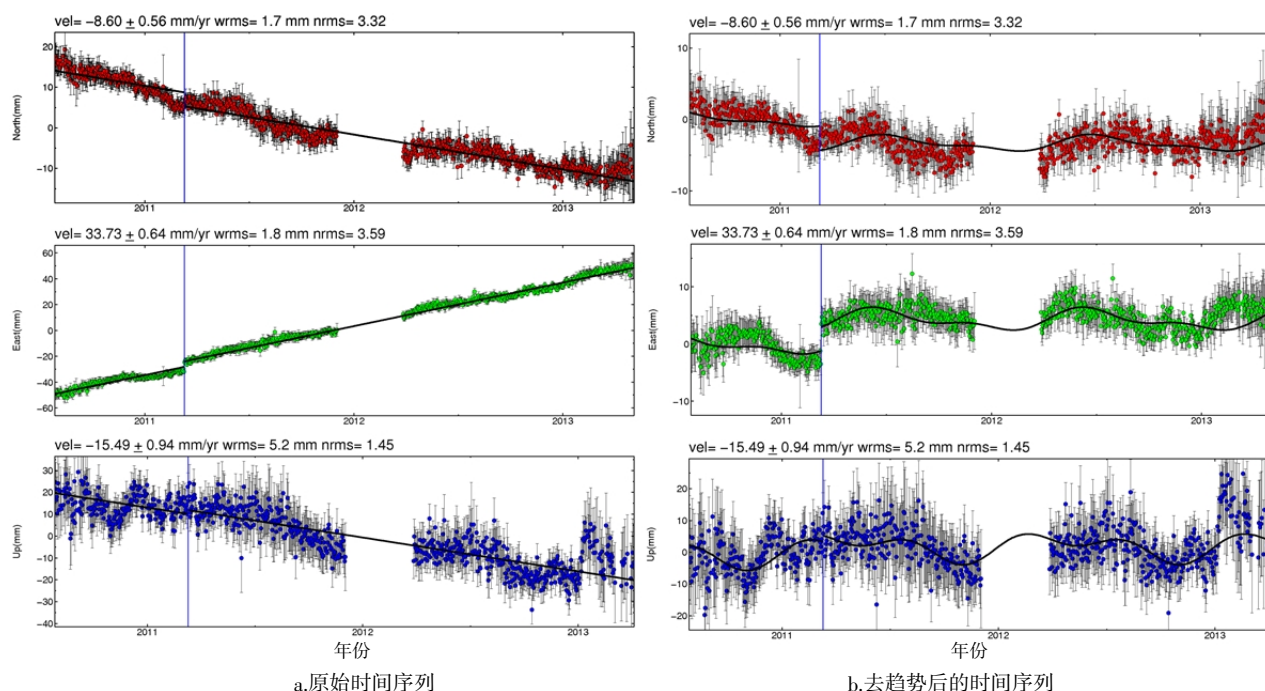


图3 江苏盐城 GNSS 观测站位移时间序列

Fig.3 Displacement time series of Yancheng GNSS station in Jiangsu province

图1为2010年6月至2013年8月江苏区域溧阳GNSS观测站EW向、NS向和垂直方向的位移时间序列,从图1a中可以看出,从2010年6月至2013年8月,JSLS观测站在NS向向南偏移了约35 mm,年运行速率为 -10.78 ± 0.45 mm/yr, $wrms=2.0$ mm, $nrms=4.15$;在EW向向东偏移了约110 mm,年运行速率为 33.51 ± 0.39 mm/yr, $wrms=2.0$ mm, $nrms=3.43$;在垂直向向东偏移了约5 mm,年运行速率为 -2.70 ± 1.36 mm/yr, $wrms=5.7$ mm, $nrms=3.55$ 。图中竖线部分为2011年3月11日日本大地震引起的同震位移。

图2为2010年6月至2013年8月江苏区域南通GNSS观测站EW向、NS向和垂直方向的位移时间序列,从图2a中可以看出,从2010年6月至2013年8月,JSNT观测站在NS向向南偏移了约30 mm,年运行速率为 -11.21 ± 0.39 mm/yr, $wrms=1.5$ mm, $nrms=3.53$;在EW向向东偏移了约110 mm,年运行速率为 33.88 ± 0.35 mm/yr, $wrms=1.8$ mm, $nrms=2.92$;在垂直向向东偏移了约5 mm,年运行速率为 -2.14 ± 0.90 mm/yr, $wrms=5.3$ mm, $nrms=2.19$ 。

图3为2010年6月至2013年8月江苏区域盐城GNSS观测站EW向、NS向和垂直方向的位移时间序列,从图3a中可以看出,从2010年6月至2013年8月,JSYC观测站在NS向向南偏移

了约25 mm,年运行速率为 -8.60 ± 0.56 mm/yr, $wrms=1.7$ mm, $nrms=3.32$;在EW向向东偏移了约100 mm,年运行速率为 33.73 ± 0.64 mm/yr, $wrms=1.8$ mm, $nrms=3.59$;在垂直向向东偏移了约35 mm,年运行速率为 -15.49 ± 0.94 mm/yr, $wrms=5.2$ mm, $nrms=1.45$ 。

图1~3中b图为去除趋势后的时间序列图,从这三张图中可以看出,日本地震对江苏区域的三个GNSS观测站均引起永久性的同震位移,同时可以很清晰地看出GNSS观测数据在NS、EW和垂直方向都具有很好的年变特征。

3.2 日本M9.0地震对江苏GNSS站的影响

震源机制解表明日本3月11日M9.0地震是一次低倾角逆冲型地震,该地震造成了一定范围的地壳水平和垂直运动。尽管日本大地震释放了本州岛以东部分地区近E-W向的挤压应力,但是日本海西部以及中国东北部仍处于E-W向弱挤压的应力环境之中,也就是说,虽然GPS观测表明中国东北出现了一致的指向震中的同震位移,但只表现为近东西向挤压应力的减小,而不是自此转变为近东西向的拉伸应力状态。总的来说,日本大地震之后,中国东北的主压应力数值有所减小,因而近东西向挤压型地震活动性将有所减弱,所有测站的同震水平位移均指向震中,其随着远离震中逐渐衰减的分布特性符合弹性半空间逆冲

挤压型破裂造成的位移场分布特征^[9]。表 1 中,江苏溧阳、南通和盐城三个 GNSS 观测站在水平方向 NS 分量和垂直方向上的同震位移量都不大于 3 mm,在 GPS 解算的误差范围之内,可以认为不受日本地震的影响。江苏溧阳 GNSS 观测站在水平方向东西分量上向东偏移了 5 mm;南通 GNSS 观测站在水平方向东西分量上向东偏移 3 mm;盐城 GNSS 观测站在东西分量上向东偏移了 5 mm,所有测站的同震水平位移均向东,指向震中,与前人研究结果一致。

表 1 日本 3 月 11 日 M9.0 地震对江苏 GNSS 站引起的同震位移

Table 1 The coseismic displacement of Jiangsu GNSS station caused by Japan M9.0 earthquake on March 11th

台站名	NS 向/mm	EW 向/mm	垂直方向
溧阳	2	5	0
南通	2	3	-2
盐城	-3	5	-2

4 结论

通过江苏区域溧阳、南通和盐城三个 GNSS 观测站的时间序列上可以看出:

(1) 从 2010 年 6 月至 2013 年 8 月止,江苏区域溧阳、南通和盐城三个 GNSS 观测站均有向东南方向偏移的趋势。

(2) 2011 年 3 月 11 日日本 M9.0 地震对江苏

区域溧阳、南通和盐城三个 GNSS 观测站引起了永久性的变形。

(3) 江苏区域溧阳、南通和盐城三个 GNSS 观测站 NS、EW 以及垂直方向的数据均显现出较好的年变特征。

此试验是 GNSS 数据在江苏地震前兆中的初步应用,它为江苏区域地震预测研究提供一个新的辅助手段。

参考文献:

[1] 张晓亮,江在森,王敏,等.利用 GPS 连续站资料研究地壳运动与地震的关系[J].大地测量与地球动力学,2006,26(4):63-68.

[2] 李延兴,王敏.应用空间技术 GPS 监测地震[J].中国空间科学技术,1993(3):49-57.

[3] 魏洪峰.卡尔曼滤波在气象探测数据处理中的应用研究[J].气象仪器装备,2003,19(2):1-4.

[4] 许国辉,张新长.卡尔曼滤波模型粗差的探测及其在施工变形测量中的应用[J].中山大学学报(自然科学版),2003,42(3):89-91.

[5] 刘少明,贾民育.重力时变的数学逼近[J].地壳形变与地震,2001,21(3):49-54.

[6] 陆彩萍,王解先.GPS 监测地壳运动数据处理[J].大地测量与地球动力学,2002,22(4):6-60.

[7] 李杰,王晓强,王琪,等.乌恰伽师地区 GPS 地壳运动监测网研究[J].内陆地震,2004,18(3):281-288.

[8] 杨少敏,聂兆生,贾志革,等.GPS 解算的日本 M_w9.0 级地震的远场同震地表位移[J].武汉大学学报·信息科学版,2011,36(11):1336-1339.