

文章编号:1671-5942(2014)01-0043-04

基于 PS-InSAR 方法反演北京地区地表沉降速率^{* 1}

罗三明 杜凯夫 畅 柳 万文妮 杜雪松 余 敏 杨 博

(中国地震局第一监测中心,天津 300180)

摘 要 选用 27 景 ENVISAT 降轨雷达干涉数据,利用相干点目标 PS-InSAR 技术进行时间序列处理,获取了北京及周边地区 2006—2010 年地表形变场。研究结果表明:1)在北京及周边地区存在双桥、廊坊、燕郊镇、张喜庄、杨各庄、平谷和沙河镇等 7 个沉降中心,其中沉降速率最大的为北京的双桥与河北的廊坊,两个沉降中心区平均沉降速率(LOS)分别为 -27.19 ± 5.66 mm/a 与 -24.65 ± 5.14 mm/a;2)沉降面积最大的为双桥沉降区,约 230 km²;3)北京市区地表年回升速率为 10.92 ± 3.24 mm/a,表明自 20 世纪 80 年代以来采取的回灌措施对防治地面沉降起到了抑制作用;4)北部山区为相对上升,表明区域地质构造作用的影响仍然存在。

关键词 PS-InSAR;时间序列;北京地区;地表变化;沉降速率

中图分类号:P315.72⁺⁶

文献标识码:A

GROUND SUBSIDENCE RATES OF BEIJING AREA INVERSED BY PS-INSAR ANALYSIS

Luo Sanming, Du Kaifu, Chang Liu, Wan Wenni, Du Xuesong, Yu Ming and Yang Bo

(First Crust Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180)

Abstract The major advantage of PS-InSAR is inversion of ground surface slow change for a long time based on high coherent targets. Using 27 single look complex (SLC) Envisat ASAR images over Beijing area, the ground surface deformation field during 2006-2010 and its details were obtained with PSInSAR method. The results show that: (1) There were 7 subsidence centers: Shuangqiao, Langfang, Yanjiao, Zhangxizhuang, Yanggezhuang, Pinggu and Shahe. The subsidence rates of Shuangqiao and Langfang are largest, with a maximum rate of -27.19 ± 5.66 mm/a and -24.65 ± 5.14 mm/a respectively. (2) The largest subsidence region is Shuangqiao, its size is about 230 km². (3) The subsidence of Beijing city rebounded continuously with a rate of 10.92 ± 3.24 mm/a. That means that the recharge since the 1980s prevents ground subsidence. (4) The uplift in northern mountains suggests that the impact of regional tectonic movement has been continuously growing.

Key words: PS-InSAR; time sequence; Beijing area; ground surface changes; subsidence rate

1 引言

北京地表沉降最早发现于 1935 年西单至东单一带。至 1952 年的 17 年间为北京地区地表沉降发

展的初期阶段,之后经历了 1967—1973 年的形成阶段,1973—1982 年的扩展阶段,1983—1986 年的缓慢发展阶段,1987—1999 年新的地表沉降区形成阶段^[1]及 2000 年至今的快速发展阶段^[2]。为了研究

* 收稿日期:2013-09-28

基金项目:中国地震局地震研究所所长基金(IS201266111);中国地震局地震科技星火计划项目(XH13036)

作者简介:罗三明,男,1965 年生,高级工程师.主要从事大地测量数据分析与应用方面研究. E-mail: luosanming@yahoo.com

地表沉降的机理及与之有关的因素,在北京地区布设了地面沉降监测网、地面沉降专门监测网、GPS 监测网、地下水位动态监测网及 InSAR 监测网,构成了地面沉降立体监测系统,科技工作者从 GIS^[3]、InSAR 技术^[4]、地下水位^[5]、沉降机理^[6]等不同领域对北京地区地表沉降进行了深入研究,取得了实用性突出的研究成果。本文在已有研究基础上,采用基于高相干点目标的永久散射体 (PS, Permanent Scatterers) 技术,分析了 27 期 Envisat ASAR 重轨数据,获取了北京及其周边地区 2006-08—2010-08 月的地表沉降速率。

2 数据处理

为了跟踪研究北京地区地表沉降发展趋势,在该区已有地面沉降研究基础上^[7,8],从欧空局订购了 2006-08—2010-08 月共 27 景 ENVISAT ASAR 重轨数据,全部为降轨数据, VV 极化,数据覆盖面积为 104 km × 126 km(图 1),干涉参数如表 1 所示。

经过 PS-InSAR 技术处理,获得了研究区地表沉降速度场信息。在 104 km × 126 km 范围内共识别出 90 221 个 PS 目标,每平方千米平均约 6.8 个。揭示出研究区地表沉降的变化过程及其空间分布特征如图 2、3 所示。为了更加直观地分析北京地区地表沉降发展态势,分别在研究区不同区域选择了若干参考 PS 目标(图 4),并绘制了参考 PS 目标参考时序图(图 5)。

为评估 PS-InSAR 方法表示的速度场的可靠性,根据研究区内水准点的同期地表沉降水准观测结果^①计算了地表沉降速率,并假设每个水准点周围 100m 范围内地表形变梯度是一致的,落在该范围

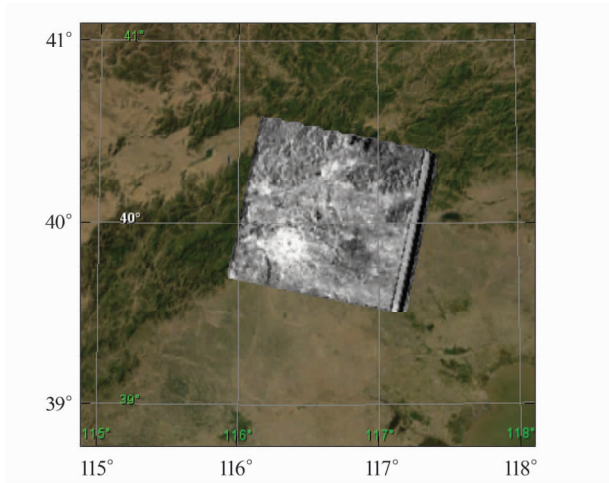


图 1 干涉数据覆盖范围

Fig. 1 The boundary descending orbit data acquired over Beijing area

内的 PS 目标与水准测量结果具有相同的形变梯度。根据此原则,在 14 个水准点中筛选出了 7 个满足该条件的水准点(图 4 中蓝色三角形),并根据雷达视线入射角,将水准结果投影到雷达视线向上,对二者表示的地表同期沉降速率进行了比较,结果见表 2。

根据表 2 可以看出,7 个水准点的实测结果与 PS-InSAR 反演结果的相对误差均在 5 mm 以内,误差均方差为 3.62 mm。

表 1 ASAR 雷达数据垂直基线、时间长度、多普勒质心频率(轨迹号:218)

Tab. 1 Interferometric parameters (perpendicular base-line, time length, frequency of Doppler centroid) of ASAR data(Track:218)

序号	日期 (年-月-日)	主/辅 影像	时间 基线 (Days)	垂直 基线 B_{\perp} (m)	多普勒 质心 频率 F_{DC} (Hz)
1	2006-08-16	Slave	-805	792	266.44
2	2006-10-25	Slave	-735	-450	276.75
3	2007-02-07	Slave	-630	-238	264.49
4	2007-03-14	Slave	-595	312	275.88
5	2007-04-18	Slave	-560	-188	267.72
6	2007-08-01	Slave	-455	-114	282.49
7	2007-10-10	Slave	-385	-298	272.99
8	2007-11-14	Slave	-350	234	271.08
9	2008-02-27	Slave	-245	-335	274.98
10	2008-04-02	Slave	-210	198	275.10
11	2008-05-07	Slave	-175	-68	255.07
12	2008-07-16	Slave	-105	98	281.85
13	2008-08-20	Slave	-70	111	270.46
14	2008-09-24	Slave	-35	-274	273.96
15	2008-10-29	Master	0	0	282.14
16	2009-02-11	Slave	105	-165	274.61
17	2009-03-18	Slave	140	464	272.86
18	2009-07-01	Slave	245	77	273.89
19	2009-08-05	Slave	280	-144	282.08
20	2009-09-09	Slave	315	343	270.52
21	2009-11-18	Slave	385	178	277.72
22	2010-03-03	Slave	490	-184	273.56
23	2010-04-07	Slave	525	274	279.78
24	2010-05-12	Slave	560	109	277.40
25	2010-07-21	Slave	630	-267	287.67
26	2010-08-25	Slave	665	-195	287.15
27	2010-09-29	Slave	700	343	284.99

① 地震行业科研专项:基于 PS-InSAR 技术北京地区地壳形变场特征研究(编号:201008012)验收报告.

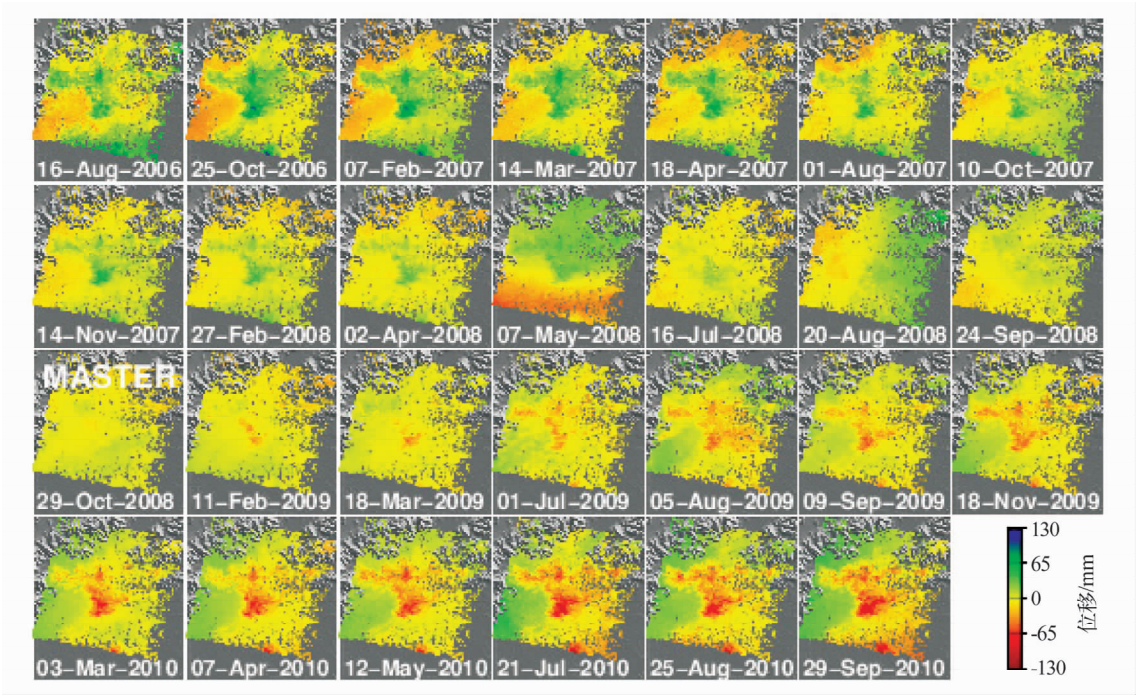


图 2 研究区位移场(LOS)时间序列

Fig. 2 Unwrapped PS time series deformation field in LOS

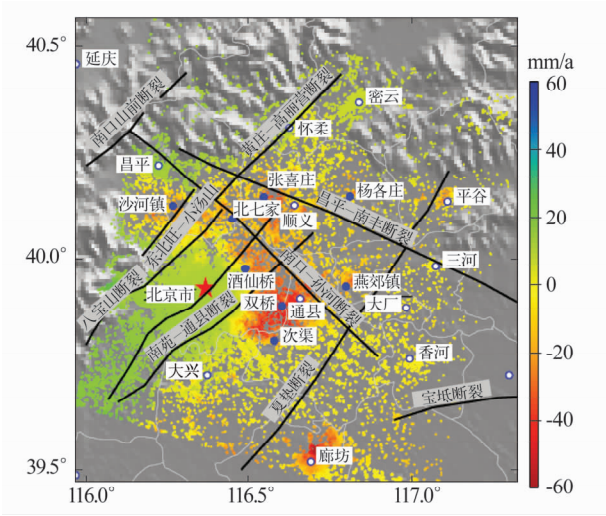


图 3 研究区 PS 目标表示的雷达视线向平均速度场及研究区主要断裂

Fig. 3 PS deformation field of the study area and main faults in Beijing area

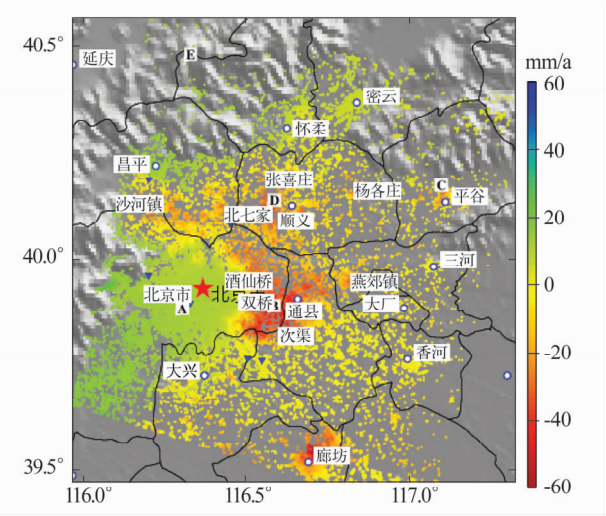


图 4 参考 PS 目标分布图(蓝色三角形为水准点位)

Fig. 4 The location of reference PS targets(blue triangle is leveling points)

表 2 PS-InSAR 结果与水准测量结果的对比(单位:mm)

序号	PS 反演结果	水准实测结果	差值
1	-12.31	-7.36	-4.95
2	-9.22	-10.49	1.27
3	-4.53	-1.10	-3.42
4	-2.59	0.18	-2.77
5	-6.53	-2.58	-3.95
6	-16.65	-21.36	4.70
7	-15.84	-12.89	-2.95

3 结果分析

根据研究区位移场时间序列(图 2)分析,北京地区的双桥、燕郊镇、张喜庄、杨各庄、平谷、沙河镇和与之邻接的河北省廊坊市等 7 个沉降中心的地表沉降一直处于发展态势(表 2)。PS 目标平均速度场表明(图 3),北京的朝阳区、通县至燕郊和河北省的廊坊市地表沉降速率最大(表 3),这可能与北京重点工业的东移导致地表负荷加重、地下水开采加大有关;参考 PS 的变化过程(图 5)显示,沉降中心地区的沉降速率处于持续发展状态;北京市区地表

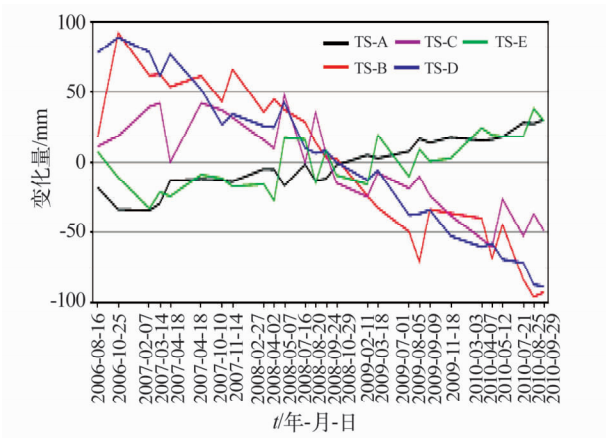


图5 参考PS目标变化过程
Fig.5 Change process of reference PS targets

表3 沉降中心地带沉降速率(单位:mm/a)			
Tab.3 Subsidence rates of subsidence centers(unit:mm/a)			
序号	沉降中心	沉降速率 (2006—2010)	沉降趋势
1	双桥	-27.19	持续
2	酒仙桥	-19.83	持续
3	沙河镇	-15.72	持续
4	张喜庄	-18.59	持续
5	杨各庄	-16.20	持续
6	平谷	-15.96	持续
7	燕郊镇	-19.66	持续
8	北京市区	10.99	反弹
9	北部山区	7.03	上升
10	廊坊	-24.65	持续

沉降出现反弹(图4中参考PS目标TS-A),表明自20世纪80年代开始的人工回灌,缓解了地下水水位的下降。

北京地区区域地质构造运动自两亿年左右中生代以来就表现为山区相对上升,平原区则缓慢下降。如南口-孙河断裂西南侧从昌平区沙河镇,经朝阳区太阳宫至双桥地带,地面处于缓慢下沉(图3),自1969年1977年在该断裂上盘下降幅度6mm,平均变位速度0.75m/ka,并且有继续增加的趋势。而断裂的北东盘则相对上升(图4中参考PS目标TS-E),断裂两侧第四系厚度相差数十米到几百米^[1],因此北京地区地质构造活动也是引起地表沉降的不可忽视的因素。

4 结论

对地下水资源的过渡开采是北京地区地表沉降

的主要因素;北京地区区域地质构造运动也是引起地表沉降的不可忽视的因素。

致谢 感谢欧洲空间局提供的 Envisat ASAR 数据和荷兰 TUDELFT 大学提供的卫星精密轨道数据!

参 考 文 献

1 董得茂,等. 北京地面沉降现状形成机理与控制对策 [A]. 全国地面沉降学术研讨会论文集 [C]. 上海: 2002,325-337. (Dong Demao, et al. The present formation mechanics and controlling measures of land subsidence in Beijing [C]. National Symposium ground subsidence, Shanghai; 2002, 325-337)

2 张安京,等. 北京地下水 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2008. (Zhang Anjing, et al. Beijing Groundwater [M]. Beijing: China Land Press, 2008)

3 温守钦,等. GIS 技术在地质灾害区划中的应用 [J]. 中国地质, 2005, 32(3): 512-517. (Wen Shouqin, et al. Application of GIS technology to regionalization of geological hazards [J]. Geology in China, 2005, 32(3): 512-517)

4 杜钊锋,等. 短时空基线 PS-InSAR 在北京地面沉降监测中的应用 [J]. 水文地质工程地质, 2012, 39(5): 116-120. (Du Zhaofeng, et al. Application of small spatio-temporal baseline PS-InSAR to monitoring land subsidence in Beijing [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2012, 39(5): 116-120)

5 杨勇,等. 北京平原区地下水水位与地面沉降关系研究 [J]. 工程勘察, 2013(8): 44-48. (Yang Yong, et al. Study on the relation between groundwater level and ground subsidence in Beijing plain areas [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2013(8): 44-48)

6 贾三满,等. 北京地表沉降机理研究初探 [J]. 城市地质, 2007, 2(1): 20-26. (Jia Sanman, et al. A Tentative Study on the Mechanism of Land Subsidence in Beijing [J]. City Geology, 2007, 2(1): 20-26)

7 何庆成,刘文波,李志明. 华北平原地表沉降调查与监测 [J]. 高校地质学报, 2006, 12(2): 195-209. (He Qingcheng, Liu Wenbo and Li Zhiming. Surveying and monitoring for land subsidence in the North China Plain [J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(2): 195-209)

8 石建省,等. 华北平原深层地下水超采程度计算与分析 [J]. 地学前缘, 2010, 17(6): 215-220. (Shi Jiansheng, et al. Assessment of over-exploitation of deep groundwater in the North China Plain [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(6): 215-220)