

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.02.17

基于 DInSAR 技术的煤矿区地面沉陷分析

王 娜¹, 徐素宁¹, 周家晶²

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081;

2. 核工业北京地质研究院遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室, 北京 100029)

摘要: 以神木县某一煤矿区地面沉陷为研究对象, 收集了 2012 年 10 月至 2013 年 3 月期间 5 期 RADARSAT-2 数据, 利用雷达差分干涉测量 (DInSAR) 技术进行地面沉陷监测研究。通过“二轨法”进行差分处理, 根据差分干涉图的时间分布和干涉图的质量, 选择其中的 4 期雷达差分干涉图进行处理, 获得了该研究区 mm 级精度的沉陷场以及相应的等值线图, 并统计了沉陷面积, 分析得出研究区内地表存在较大幅度沉陷区域, 沉陷速率明显减小的结论, 这与煤矿开采地表沉陷逐渐稳定过程相吻合, 后结合光学影像对沉陷结果进行综合分析。试验表明, DInSAR 技术在矿区地面沉陷监测方面可应用性较高, 其结果可为矿山后续的开采沉陷控制和沉陷区综合治理提供一定依据。

关键词: 雷达差分干涉测量; 地面沉陷; 监测; 煤矿区

中图分类号: P642.26

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)02-0110-05

Analysis of land subsidence in coal mining area based on DInSAR technology

WANG Na¹, XU Suning¹, ZHOU Jiajing²

(1. China Institute for Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China; 2. National Key Laboratory of Remote Sensing Information and Imagery Analyzing Technology, Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

Abstract: In Shenmu a mining ground subsidence as the research object, collected the five RADARSAT-2 data from October 2012 to March 2013, used radar differential interferometry (DInSAR) technology for land subsidence monitoring studies. Through the “two-track method” differential treatment, according to the differential interferogram time Distributed and interfere with quality map, select the four radar differential interferogram processing, access to the settlement of the field and the corresponding contour map of the study area mm-level accuracy and statistics of the settlement area, analysis results of surface subsidence study area, the presence of a relatively large area, sedimentation rate reduced significantly, which consistent with stabilization process gradually of coal mining surface subsidence, and combing optical image comprehensive analysis the results of subsidence. Tests showed that the mining ground subsidence monitoring DInSAR technology has applicability, the results can be mined for subsequent mining subsidence control and provide a basis for the comprehensive management of subsidence.

Keywords: radar differential interferometry; ground subsidence; monitoring; coal mining area

0 引言

煤矿资源是我国的主要能源, 具有储量大、含煤面积广等特点。煤炭的大规模开采和利用, 在产生巨大

的经济和社会效益的同时也给人类的安全生产和生活带来了一系列损害, 因此, 对煤矿矿区地表移动规律的综合研究显得尤为重要, 同时可以为矿山后续的开采沉陷控制和沉陷区综合治理提供一定科学理论依据。

收稿日期: 2016-01-22; 修订日期: 2016-02-23

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查评价专项; 矿山环境综合调查与评价 (1212011220086)

第一作者: 王 娜 (1986-), 女, 硕士研究生, 主要从事资源与环境遥感研究工作。E-mail: wangna512006@163.com

新兴的合成孔径雷达差分干涉测量技术 (DInSAR) 技术以低成本、大面积、高精度、全天时等优势,在形变监测领域表现出巨大的应用潜力,成为地表形变监测的研究热点。我国尽管在星载 SAR 技术领域的起步较晚,但是经过近 30 年的努力,在星载 SAR 技术领域也取得了重大的技术突破。对 DInSAR 技术在井工矿区开采沉陷监测中的应用构想和可行性方面,吴立新、高均海等人进行了分析。同时针对我国煤矿开采特点,提出了 DInSAR 在中国井工开采煤矿区实际应用中应注意解决的问题,开展了以河北开滦矿区为例的煤矿区地表形变,与开采沉陷 DInSAR 监测试验的初步研究。综上所述,我国利用 DInSAR 技术进行地面沉降监测已经取得了一些研究成果,但该技术并没有投入到大规模的实际应用中。

本文利用 DInSAR 技术,获取了 2012 年 10 月至 2013 年 3 月期间在时间上具有连续性的同一区域的地面沉陷信息,其结果对于矿区地面沉陷的治理和地面沉陷的时空发展机理研究均具有重要意义。

1 研究区概述

本文的研究区域位于陕西省榆林市神木县大柳塔镇的某煤矿区。区内交通便利,有西安—包头铁路,包头—神木铁路、西安—神木铁路、神木—黄骅港铁路,神木—东胜公路贯穿矿区,府谷—新街公路经过矿区南部,矿区与各乡镇均有公路相通。研究区地处黄土高原北部与毛乌素沙漠东南缘的过渡地带,地势总体上呈西高东低,北高南低;海拔一般 1000 ~ 1250 m,最高 1358 m(苗家圪疸),最低 1085 m(活鸡兔沟口),地面起伏不大,相对高差为 ± 200 m;研究区属华北地层之鄂尔多斯分区内的延河地层小区。以中生代地层为主体,大部出露侏罗系地层,第四系遍布全区。近年来该地区曾经发生过多起矿山坍塌事件,据调查在发生坍塌之前,该矿区曾经发生了大面积的地面沉陷。

2 DInSAR 数据处理

本研究选择加拿大 RADARSAT-2 卫星的 C 波段雷达数据作为数据源。收集了 2012 年 10 月至 2013 年 3 月共 5 期 RADARSAT-2 雷达数据。在数据处理时,采用常用的“二轨法”进行 DInSAR 处理,用资源三号立体像对数据作为 DEM 数据源,其精度优于 1:2.5 万以上的地形图。“二轨法”数据处理的流程见图 1。

理论上 5 期 RADARSAT-2 雷达数据可以得到 10 幅差分干涉图。在对所有的数据进行处理后,充分考虑垂

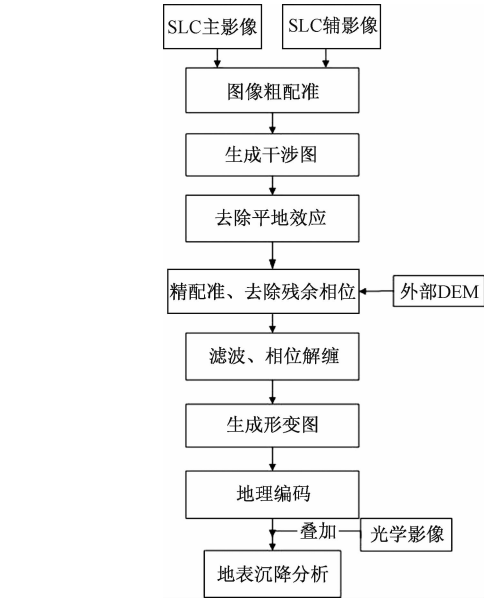


图 1 二轨法差分干涉数据处理流程图

Fig.1 Second track method difference interference data processing flow chart

直基线、时间基线以及差分干涉图的质量,最终选取 4 幅具有较好相干性的差分干涉图处理得到形变量信息,具体干涉像对信息见表 1,差分干涉图见图 2。所选数

表 1 RADARSAT-2 像对其参数

Table 1 RADARSAT-2 image pairs and parameters

序号	主图像	辅图像	垂直基线/m	时间间隔/d
1	2012-10-10	2012-11-27	212	48
2	2012-11-27	2012-12-21	15	24
3	2012-12-21	2013-02-07	369	48
4	2013-02-07	2013-03-03	128	24

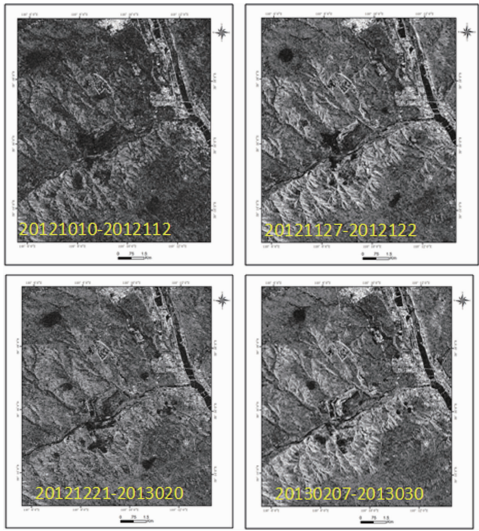


图 2 研究区差分干涉图

Fig.2 The differential interference figure of the study area

据日期基本上为当地的冬季,时间间隔为 24 ~ 48 天。此时植被覆盖度较低,增加了主、辅图像之间的相干性。

3 研究区沉降分析

借助 ArcGIS、ENVI 等软件对矿区沉降结果形变图进行后处理,得出研究区域内不同时间段的沉降分布、沉降量值、以及沉降面积统计值等信息,并以沉降量 10 mm 为边界勾画出部分沉降区域等值线,根据图 3 矿区地面沉降形变图可明显看出由于煤矿开采,在大柳塔矿区存在明显的沉降漏斗,且多数沉降漏斗附近存在一个抬升漏斗,这与边开采边堆积的开采方式相符。从图 3 不同时间段沉降区域等值线可以看出,2012 年 10 月 ~ 2013 年 3 月四个时间段发生的地面沉降区域地理位置基本一致,开采活动规模大、时间频繁的地区形变量较大,在矿区没有发生大的变化(停采或者新开)的区域,受矿区开发影响而发生沉降的区域具有一致性(图 3)。

本文还对 2012 年 10 月 ~ 2013 年 3 月四个连续时

间段矿区沉降面积进行了统计,从图 4 中矿区地面沉降面积变化可以看出,采空区对应地表沉降明显,随着时间的推移采空区上方地表沉降量逐渐增加,沉降速率逐渐减小这与现场生产过程相吻合。其中图 4(a) 48d 时间段内发生地面沉降的范围最大,与同时时间间隔的图 4(c) 相比,发生地面沉降的范围缩减,但最大沉降量从 130 mm 增加到 160 mm;而同 24d 周期的图 4(b) 与图 4(d) 相比较,同样发生地面沉降的范围缩减,最大沉降量从 130 mm 降到 71 mm,相邻时间不同周期的图 4(b) 和图 4(c) 沉降面积则有小幅度增加,这种数据上的变化说明 2012 年 12 月 21 日到 2013 年 2 月 7 日时间段内,煤矿开采活动严重,造成了较大面积的地面沉降量,而 2013 年 2 月 7 日到 2013 年 3 月 3 日期间则煤矿开采不频繁或已有大部分采场闭坑。总的来说,研究区内地表存在较大幅度沉降区域,但大幅度沉降区已明显减小,这与煤矿开采地表沉降逐渐稳定过程相吻合。

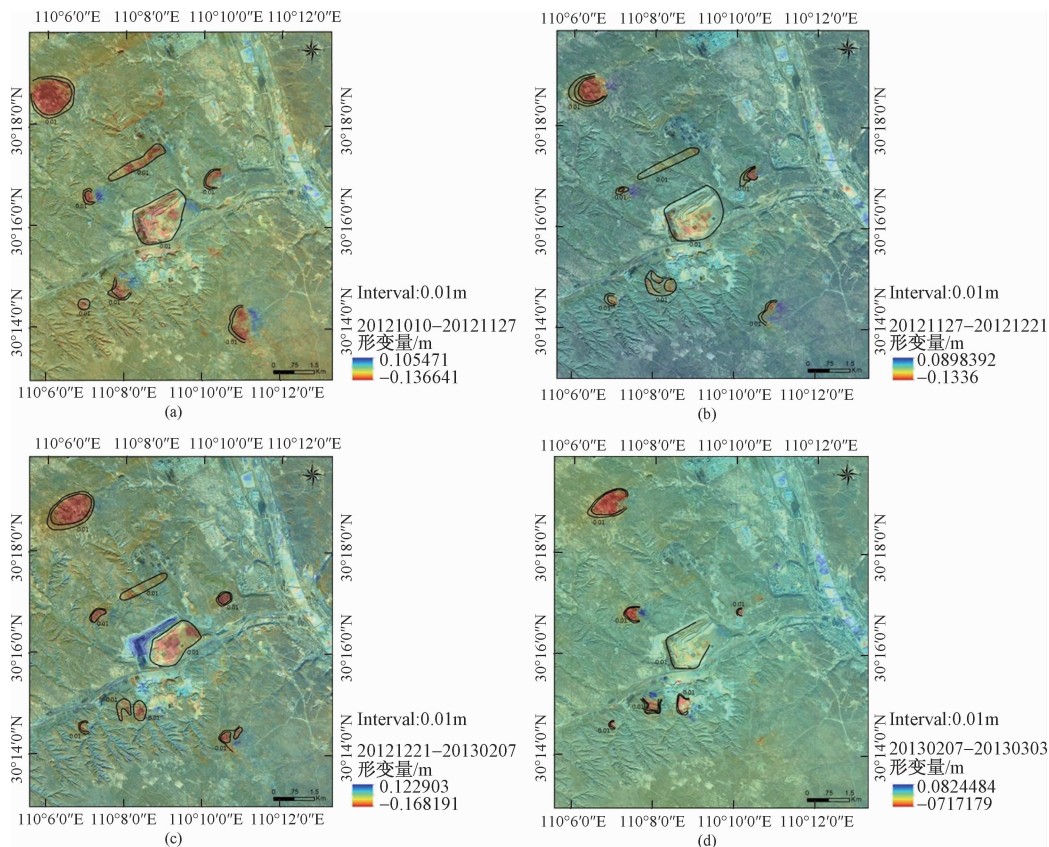


图 3 煤矿区地面沉降形变图

Fig. 3 The land subsidence deformation map of coal mining area

为方便分析形变发生的地区,将以上得到的形变结果和 WorldView-2 高分影像数据(波段 3、2、1 真彩色合成)叠加,从图 5 可看出,发生地面沉降与抬升的

区域与矿区开采和固体废弃物的堆积相符,这种叠加方式对于分析地面沉降发生的诱因起到很好的辅助作用。

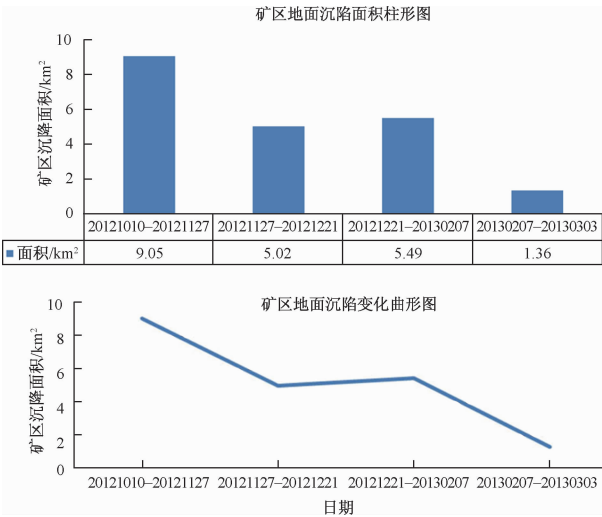


图 4 煤矿区地面沉陷面积变化图

Fig.4 The ground subsidence area variation map of coal mining area

过程相吻合。后又将形变图与光学影像有机的结合起来,对分析地面沉陷的治理和地面沉陷的时空发展机理研究起到很好的辅助作用。试验表明,DInSAR 技术在矿区地面沉陷监测方面可应用性较高,其结果可为矿山后续的开采沉陷控制和沉陷区综合治理提供一定依据。

由于本研究缺乏干涉像对时间内的地面实测数据,无法验证 DlnSAR 二轨差分干涉测量技术得到的形变结果,今后还需结合研究区实测数据对地面沉陷地点、时间段以及形变量进行更为详细的调查分析。而且 DlnSAR 技术本身仍具有一定局限性,容易受到大气、时间等因素的影响而失相干。因此,数据量足够大时利用永久散射体技术来去除这些因素的影响将是今后研究的方向与重点。

参考文献:

[1] 董玉森, GE Linlin, Chang Hsingchun, 等. 基于差分雷达干涉测量的矿区地面沉陷监测研究[J]. 武汉大学学报, 32(10):888 - 890.
DONG Yusen, GE Linlin, CHANG Hsingchun, et al. Mine subsidence monitoring by differential InSAR [J]. Journal of Wuhan University, 2007, 32(10): 888 - 890.

[2] 郭姣姣. 矿区地表形变监测 PS - DlnSAR 应用方法研究[D]. 太原理工大学: 45 - 50.
GUO Jiaojiao. Research on PS-DlnSAR monitoring methods for mining surface subsidence [D]. Taiyuan University of Technology: 45 - 50.

[3] 史卫平. DlnSAR 技术及其在矿区地面沉陷监测中的应用研究[D]. 山东科技大学, 2010: 35 - 48.
SHI Weiping. Study on DlnSAR technology and its application of monitoring land subsidence in mine area [D]. Shandong University of Science and Technology, 2010: 35 - 48.

[4] 尹宏杰. 基于 InSAR 的矿区地表形变监测研究[D]. 中南大学, 2009: 42 - 52.
YIN Hongjie. Ground subsidence monitoring in mining area using InSAR [D]. Central South University, 2009: 42 - 52.

[5] 张敦虎, 卢中正, 强建华, 等. 地面塌陷特征及其遥感识别方法研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2009, 20(3).
ZHANG Dunhu, LU Zhongzheng, QIANG Jianhua, et al. Characteristic of land collapse and its identification method in remote sensing image [J]. Geological Hazards and Environmental Protection, 2009, 20(3).

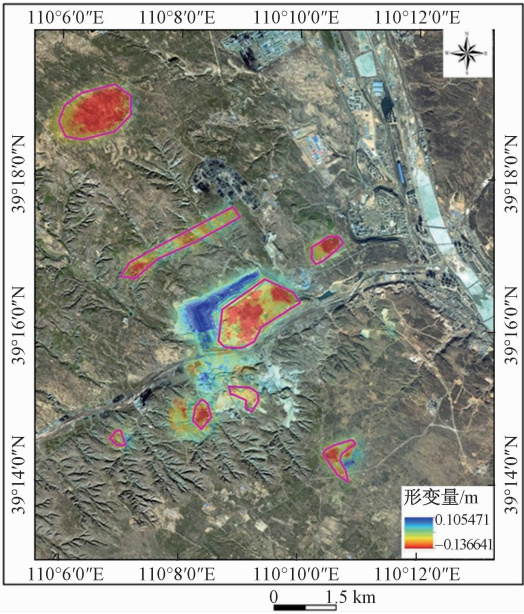


图 5 地面沉陷形变与光学影像叠加图

Fig.5 The land subsidence deformation map overlay optical image

4 结语

本文采用 DlnSAR 二轨差分干涉测量技术,获取了神木县某一矿区植被覆盖度较低冬季 5 期 RADARSAT-2 影像,选取了 4 幅具有较好相干性的差分干涉图,获得了该研究区 cm 级精度的沉陷场以及相应的等值线图,并统计了沉陷面积,分析得出研究区内地表存在较大幅度沉陷区域,但大幅度沉陷区随时间明显减小的结论,这与煤矿开采地表沉陷逐渐稳定

- [6] 龙四春,唐涛,张赵龙,等. DInSAR 集成 GPS 的矿山地表形变监测研究[J]. 测绘通报,2014(11): 6-10.
LONG Sichun, TANG Tao, ZHANG Zhaolong, et al. On mining ground deformation monitoring based on integration of DInSAR and GPS [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2014(11): 6-10.
- [7] 尹宏杰,朱建军,李志伟,等. 2011. 基于 SBAS 的矿区形变监测研究[J]. 测绘学报, 40(1): 53-57.
YIN Hongjie, ZHU Jianjun, LI Zhiwei, et al. Ground subsidence monitoring in mining area using DInSAR SBAS Algorithm [J]. Journal of Surveying and Mapping, 2011, 40(1): 53-57.
- [8] 陆燕燕,何敏,何秀凤. 基于 DInSAR 的徐州张双楼煤矿地表形变监测研究[J]. 测绘工程, 22(6): 61-64.
LU Yanyan, HE Min, HE Xiufeng. Ground subsidence monitoring of Zhang Shuanglou coal mine in Xuzhou City based on DInSAR [J]. Surveying and Mapping Engineering, 2013, 22(6): 61-64.
- [9] 赵洪运. 基于 DInSAR 技术的矿区形变监测[J]. 神华科技, 2015, 13(6): 31-34.
ZHAO Hongyun. Deformation monitoring of mining area based on DInSAR technology [J]. Shenhua Science and Technology, 2015, 13(6): 31-34.
- [10] 刘志敏,李永生,张景发,等. 基于 SBAS-InSAR 的长治矿区地表形变监测[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(3): 37-42.
LIU Zhimin, LI Yongsheng, ZHANG Jingfa, et al. An analysis of surface deformation in the Changzhi mining area using small baseline InSAR [J]. Remote Sensing for land and Resources, 2014, 26(3): 37-42.
- [11] Massonnet D, Holzer T, Vsdon H. Land subsidence caused by the east mesa geothermal filed, lifornia, erved using SAR interferom-etry [J]. Geophysical Research Letters, 1997, 23(19): 677-680.
- [12] Huanyin Y., Hanssen R., Van L. F., et al. Land subsidence monitoring in city area by time series interferometric SAR data[A]. Proceedings IGARSS, 2005(2): 4590-4592.

(上接第 90 页)

- [14] 太树刚,兰太超,赵淑芳. 云南及周边主要地震带地震活动震级频度关系统计研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2012, 34(S2): 48-51+56.
TAI Shugang, LAN Taichao, ZHAO Shufan. Comparative study on the two mechanisms of reservoir-Induced earthquake [J]. Journal of Yunnan University, 2012, 34(S2): 48-51+56.
- [15] 叶文华,梁小华,李建华. 可可西里-金沙江地震带震级频度关系及其参数的相关性分析[J]. 工程地质学报, 1998, 6(1): 92-97.
YE Wenhua, LIANG Xiaohua, LI jianhua. Magnitude-frenquency relation for hoh xil-jinshajiang seismic belt and correlation analysis of its parameters [J]. Journal of Engineering Geology, 1998, 6(1): 92-97.
- [16] 阎春恒,吴小平. 云南西北部强震前地震活动空间关联维的降维过程[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2007, 29(3): 266-271.
YAN Chunheng, WU Xiaoping. The reduction process of space correlation dimension of seismic activity before large earthquake in northwest of Yunnan [J]. Journal of Yunnan University, 2007, 29(3): 266-271.
- [17] 孙劲宇,邱汉骐,张兰芳. 基于核密度模型的上海市快速路交通事件空间自相关分析[J]. 上海公路, 2014(4): 71-74+14.
SUN Jinyu, QIU Hanqi, ZHANG Lanfang. Autocorrelation analysis of traffic incident in shanghai Expressway space based on kernel density model [J]. Shanghai Highways, 2014(4): 71-74+14.
- [18] 黄玮琼,李文香. 地震区划中 b 值统计时空范围的确定[J]. 地震学报, 1998, 20(5): 2-6.
HUANG Weiqiong, LI Wenxiang. Determination of seismic zoning in the statistics of b value scope of time and space [J]. Acta Seism Ologica Sinica, 1998, 20(5): 2-6.
- [19] 董丞妍,罗明良,张斌. 四川芦山余震序列空间格局分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(4): 45-50.
DONG Chengyan, LUO Mingliang, ZHANG Bin. Analysis of spatial pattern of Lushan aftershocks sequence [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(4): 45-50.