

Wide Range Identification and Monitoring Hancheng Coal Mine by InSAR Technology

Yang He, Bo Qiao, Jian Zhang, Wenhua Yan, Weiping Wang

Shaanxi Earthquake Administration, Xi'an Shaanxi
Email: 838913114@qq.com

Received: Nov. 29th, 2018; accepted: Dec. 11th, 2018; published: Dec. 18th, 2018

Abstract

The Stacking-InSAR technique is used to identify the surface deformation of a large coal area in Hancheng by L-band ALOS data, from July 2007 to January 2011. This article successfully obtained the rate of the surface deformation. The results show that the rate deformation of coal area reached the maximum 45 cm/y, and the spatial distribution of deformation area is mainly concentrated in three areas, which is very consistent with the distribution of coal mine. This article analyzed the evolution of deformation rate in time, during three periods (20070711-20080412, 20080713-20100116 and 20090831-20110119). Studying the time and space evolution of surface deformation rate has important significance to guide the mine safety production.

Keywords

Stacking-InSAR Technique, Coal Mining

韩城煤矿开采区域InSAR技术大范围识别与监测

何 杨, 乔 波, 张 健, 颜文华, 王卫平

陕西省地震局, 陕西 西安
Email: 838913114@qq.com

收稿日期: 2018年11月29日; 录用日期: 2018年12月11日; 发布日期: 2018年12月18日

摘 要

通过选取2007年1月至2011年1月期间覆盖韩城煤矿开采区域的20景L波段ALOS数据, 采用

文章引用: 何杨, 乔波, 张健, 颜文华, 王卫平. 韩城煤矿开采区域 InSAR 技术大范围识别与监测[J]. 地球科学前沿, 2018, 8(8): 1323-1329. DOI: 10.12677/ag.2018.88144

Stacking-InSAR技术进行了矿区地面沉降大范围识别与监测,成功获取了研究区域地表年形变速率。结果表明韩城煤矿开采区域最大年形变速率达到了45 cm/y,形变区域空间分布主要集中在三个区域,与韩城煤矿分布非常一致。本文通过获取三个时间段(20070711~20080412, 20080713~20100116与20090831~20110119)韩城煤矿区域形变速率图,分析其随时间演变过程。通过定量研究矿区地表形变时空速率演变过程,对指导矿区安全生产有重要意义。

关键词

Stacking-InSAR技术, 煤矿开采

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

煤炭资源作为我国的基础能源,其储量丰富且分布广泛,在能源结构中占有主体地位,并且这一地位在相当长的一段时间里不会发生根本性改变[1] [2]。截止2009年底,韩城矿业公司年设计生产能力570万吨,核定年生产能力460万吨。韩城矿区位于鄂尔多斯地块东南缘与渭河盆地的交界处,是陕西省重要煤炭生产基地之一,多年来为陕西省乃至全国的煤炭工业和经济建设做出了重大贡献。然而,随着矿井产能提升,开采区向中深部延伸,各矿区开采工作面不断加大,以及韩城矿区构造因素复杂等综合影响,严重威胁矿区人员生命及财产安全[3]。因此,矿区地表形变监测,对于矿井安全生产至关重要。

煤矿开采区域地表形变受开采量影响显著,其具有形变速率大、沉降范围大,时空演变快等特征,这给煤矿区域形变监测带来巨大的技术挑战。常规GPS、三角网、水准等测量技术由于矿区形变区未知无法提前合理布网埋点,费时费力,并且其往往是基于点值观测。而InSAR技术是基于大范围、连续面状地表形变监测,这是传统测量手段无法企及的。

合成孔径雷达干涉测量技术(InSAR技术)是在干涉雷达基础上发展起来的一种微波遥感技术,具有形变灵敏度高、高空间分辨率高、覆盖范围大、几乎不受云雨天气制约等突出的技术优势[4],使其在矿区形变[5]等大范围地表变形的测量研究中迅速得到了广泛的应用。

InSAR技术利用传感器高度、雷达波长、波束的视向及基线距间的几何关系,精确地测量图像上每一点的三维位置和变化信息。起初主要应用于生成DEM和制图,后被扩展为差分干涉并应用于研究地震形变、火山运动、地表沉降及山体滑坡等。

澳大利亚Ge Linlin等利用InSAR技术对煤矿开采沉陷监测研究较多。2001年,他们采用1993~1995年的ERS-1/2、JERS-1数据,通过与GPS技术和GIS技术结合,对大气误差进行改正,分析地表沉降随工作面开采的变化,其监测精度达到亚厘米级[6]。2007年,Ge Linlin等采用多源SAR数据,对Sydney西南地区煤矿进行监测,通过与实际观测资料对比,发现植被茂密地区,L波段更适合做形变监测[7]。2014年,赵超英等再次提出基于相位的全分辨率监测手段,并结合塌陷反演模型的反复迭代的移去恢复法来提高InSAR技术可监测的形变梯度;同时,提出InSAR相位监测结果与SAR强度偏移量跟踪技术监测结果的融合方法[8]。

本文选择韩城煤矿开采区为研究区域(如图1所示,红色矩形框),不仅实现对研究区域煤矿位置分布进行大范围识别,而且对其沉降中心在时间上的演变进行定量研究。其主要研究内容为以下两个方面:

第一，对研究区域地表形变进行大范围识别，调查 InSAR 结果与韩城煤矿开采区域是否一致；第二，对监测结果进行时空演变分析，为煤矿安全开采提供重要依据。

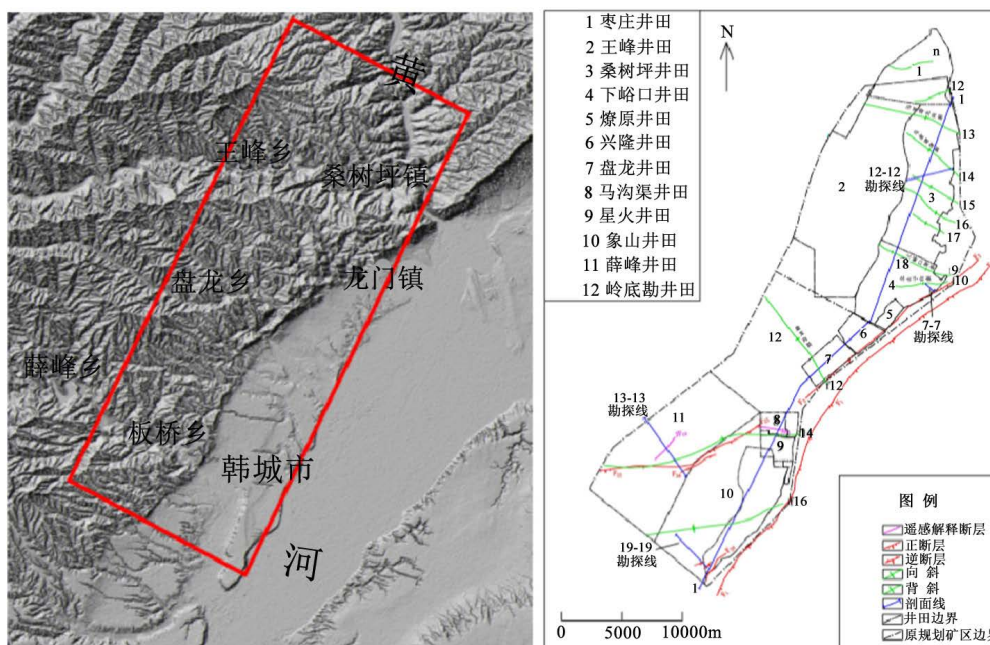


Figure 1. The study area and coal mining area
图 1. 研究区域与韩城矿区分布图

2. 理论及方法

2.1. 数据选取

韩城煤矿区域位于植被覆盖茂密的山区，L 波段的 SAR 数据，穿透能力更强，在植被覆盖茂密的山区能够保持更长的相干性。因此，本文选用存档的 2007 年 1 月至 2011 年 1 月期间覆盖研究区域的 20 景 ALOS 数据(如表 1 所示)。高分辨率 ALOS 数据，3:8 多视后其空间分辨率可以达到 25 m，最短重复周期为 46 天。

Table 1. L-band ALOS data

表 1. 20 景 L 波段 ALOS 数据

ID	ALOS 数据	ID	ALOS 数据
1	20070108	11	20090113 主影像
2	20070223	12	20090228
3	20070711	13	20090716
4	20070826	14	20090831
5	20071011	15	20091016
6	20080111	16	20100116
7	20080226	17	20100303
8	20080412	18	20100719
9	20080528	19	20101019
10	20080713	20	20110119

2.2. Stacking 技术方法

Stacking-InSAR 技术是将多幅解缠后的差分干涉相位图进行线性叠加、以最大程度地减少大气误差、提高形变精度的一种方法。其基本假设是：在独立的干涉图中，大气扰动的误差相位是随机、相等的，而区域上的形变为线性速率[9] [10]。假设获取 N 个干涉对，以干涉对两次成像时间间隔为权因子，则干涉对解缠相位速率及方差公式分别如下，公式(1)、(2)引用于参考文献[9] [10]：

$$ph_rate = \frac{\sum_{j=1}^N \Delta t_j \phi_j}{\sum_{j=1}^N \Delta t_j^2} \tag{1}$$

$$var(ph_rate) \approx \sum_{j=1}^N \left(\phi_j - \frac{4\pi}{\lambda} ph_rate \Delta t_j \right) \tag{2}$$

ph_rate ：解缠相位速率； $var(ph_rate)$ ：解缠相位速率方差； Δt_j ：第 j 个干涉对主从影像时间间隔； ϕ_j ：第 j 个干涉对解缠相位值； λ ：SAR 卫星波长。

最终，得到的形变相位信息对应的是所叠加时间基线内的形变量。叠加后的大气误差相位，不是单幅干涉图中大气相位误差随干涉图数量倍数增长的结果，而是干涉图数量的平方根倍增长的结果，由此提高了叠加相位图中形变信息和大气误差项之间的信噪比，达到了提高监测精度的目的。

3. 结果分析

3.1. 数据处理与分析

InSAR 技术在实际的应用过程中，经常会受到输入参数误差和数据处理带来误差的限制，其中主要包括 DEM 误差、去相干误差、轨道误差、以及大气误差等(如图 2 所示)。

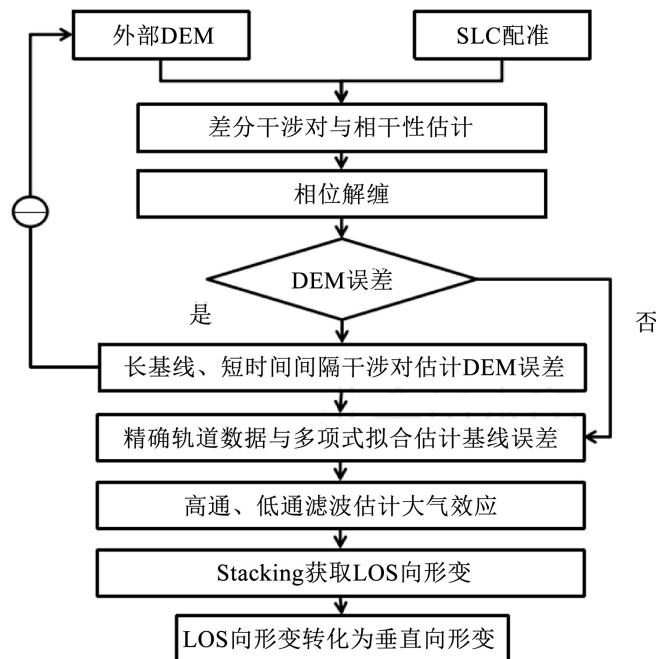


Figure 2. InSAR data processing flow chart
图 2. InSAR 数据处理流程图

在 InSAR 差分干涉进行形变监测中, 外部 DEM 是一个关键的辅助数据, 本实验在保证 DEM 空间分辨率的前提下, 通过 InSAR 解算中的 DEM 改正来保证 DEM 的精度, 最终获得高精度的形变监测结果。

考虑到 L 波段的 ALOS 数据能够在较长时间间隔下保持一定的相干性, 设置时间基线为 600 天, 空间基线 ± 2000 m, 共生成 35 对有效干涉对。在本次试验中发现, 最长相隔 414 天的两景 SAR 数据 (20080713~20090831) 仍然保持较好的相干性。

3.2. 结果分析

本文采用 20 景 ALOS 数据, 通过 Stacking-InSAR 技术进行了矿区地面沉降大范围识别与监测, 成功获取了研究区域地表年形变速率 (如图 3 所示), 最大年形变量级可达到 45 cm/y。作者通过调查 InSAR 地表沉降区域, 发现其与韩城煤矿开采区域高度吻合。相比于 GPS 定点形变观测, 本次实验表明 InSAR 技术可以对矿区地表形变进行大范围识别。

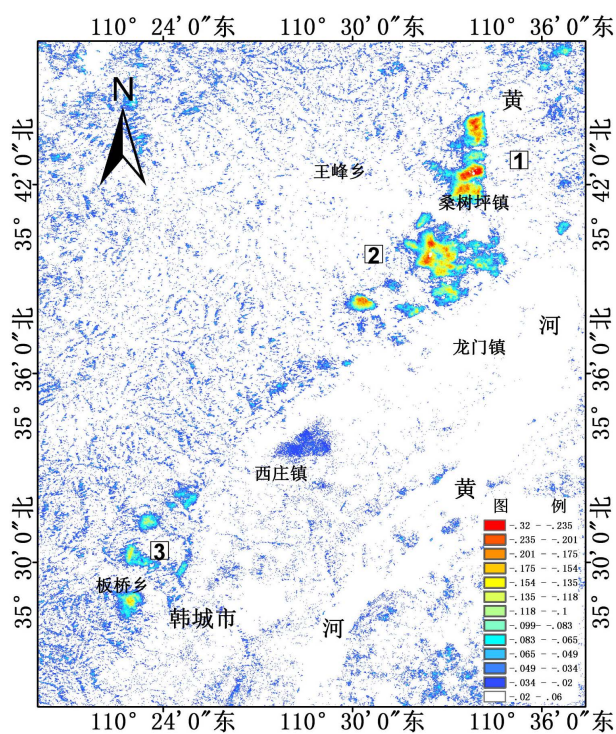


Figure 3. The deformation rate of study area

图 3. 研究区域年形变速率图

本文地表沉降区域主要分为三个区域: 1) 形变区域 1 位于桑树坪镇正北方向, 紧邻黄河, 长约 5.5 km, 宽约 1.5 km 矩形区域内, 形变量值最大, 主要为桑树坪井田; 2) 形变区域 2 分为两部分: 其一, 位于桑树坪镇以南, 龙门镇以北, 其形变量级较大且较为集中; 其二, 自龙门镇沿 NE 方向延伸西庄镇以北附近, 形变量级较小且沿条带分布。形变区域 2 受桑树坪部分井田、下峪口井田、燎原井田、兴隆井田及盘龙井田的影响; 3) 形变区域 3 以板桥镇为中心, 散布在其周围区域, 主要为象山井田。

韩城矿业公司现有三对生产矿井, 其由北向南分别是桑树坪矿、下峪口矿和象山矿井。下峪口矿选煤厂生产冶炼瘦精煤, 年入洗能力 120 万吨; 桑树坪矿选煤厂生产高炉喷吹煤, 年入洗能力 150 万吨; 象山矿井正在建设一座年入洗能力 240 万吨的选煤厂, 预计 2009 年 10 月底建成投产。研究区域内共有

三个较为集中形变区域，其分别对应于相应的煤矿开采井田。

本文选用存档的 ALOS 数据其时间跨度为 2007 年 1 月至 2011 年 1 月，那么作者将其划分为三个时间段：2007 年 7 月至 2008 年 4 月、2008 年 7 月至 2010 年 11 月、2009 年 8 月至 2011 年 11 月。本文通过获取三个时间段研究区域的形变速率图，分析三个形变区域随时间演变过程(如图 4 所示)。

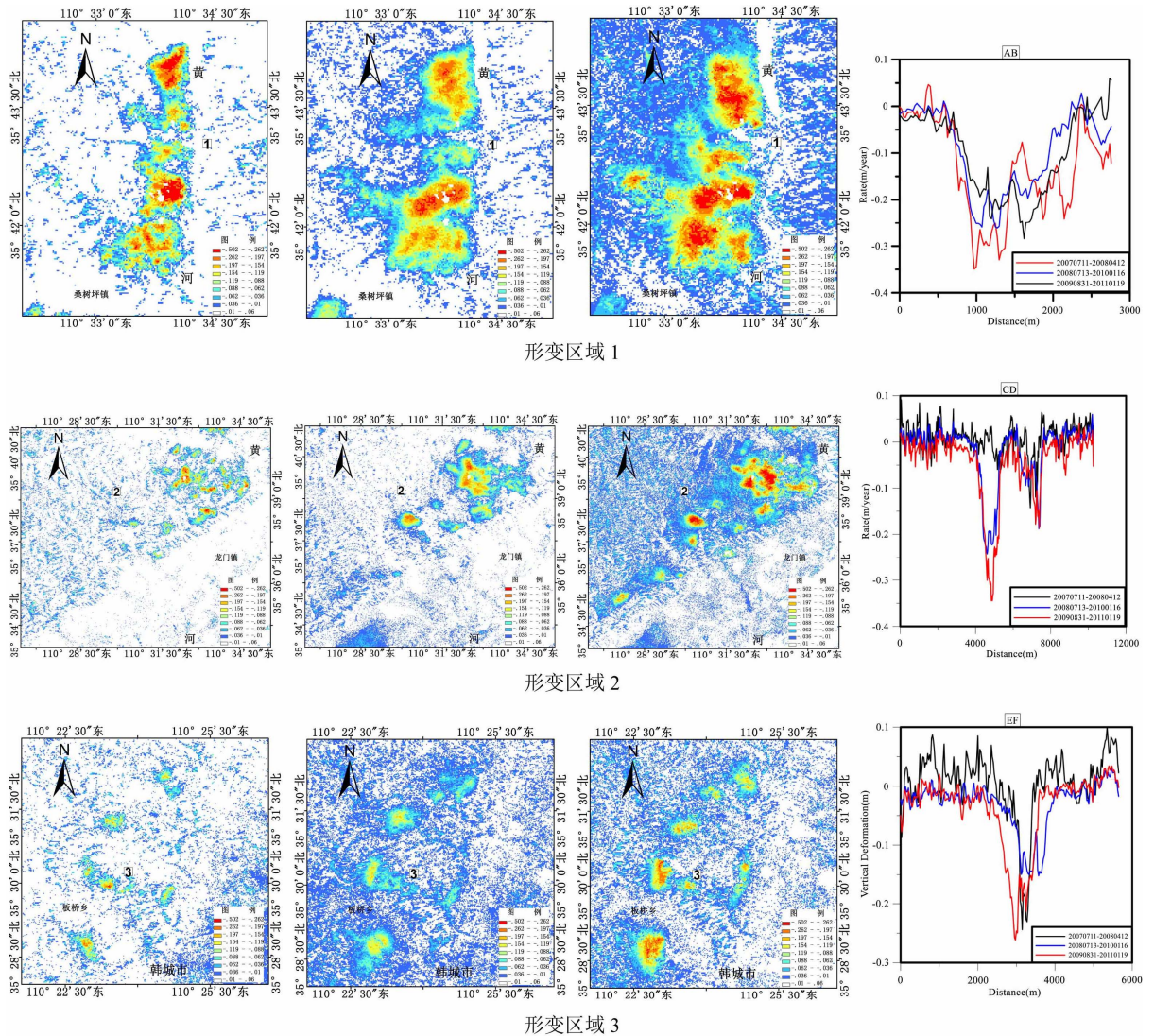


Figure 4. The evolution rate of deformation area
图 4. 形变区域年速率时间演变图

通过分析可知，2007 年 7 月至 2008 年 4 月三个形变区域形变量级与形变面积都较小；2009 年 8 月至 2011 年 11 月形变量级与形变面积最大。总体来看，在不同时间段内三个形变区域都是在原有的形变区域基础形变量级不断增大，但是可以明显看出不同时间段最大沉降区域不同。这可能与同一矿井，不同时间段不同开采深度、开采工作面及开采量有关。局部区域有新增形变区域，如形变区域 2 西南区域。区域 2 第一时间段与其他两个时间段形变区域差异较大。

煤矿开采区域地表形变受开采量影响显著，地表沉降越大表明煤矿开采量越大，潜在的煤矿塌陷的可能性越大，那么通过 InSAR 技术监测煤矿沉降量值，可以为防止煤矿塌陷造成严重的经济与人员伤亡

提供参考依据。

4. 结论

本文采用 ALOS 数据,成功获取研究区域地表年形变速率,最大年形变速率达到 45 cm/y。与此同时,实现了对韩城煤矿区域地表形变大范围识别, InSAR 结果与开采井田区域完全一致。获取三处形变区域不同时间段的年平均形变速率,对其监测结果进行时空演变分析,为煤矿安全开采提供重要依据。

致 谢

感谢《中国地震局监测、预测、科研三结合课题(CEA-JC/3JH-172702)》;感谢《陕西省地震局启航与创新基金(QC201710)》!

参考文献

- [1] 梁倩文. 韩城矿区地质构造的几何学解析[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2017.
- [2] 孙廷臣. 韩城矿区地质构造的运动学与动力学解析[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2017.
- [3] 王纪平. 韩城北区构造发育规律及对煤矿安全因素影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2011.
- [4] Bamler, R. and Hautl, P. (1998) Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Inverse Problems*, **14**, 1-54. <https://doi.org/10.1088/0266-5611/14/4/001>
- [5] 朱煜峰. 矿区地面沉降的 InSAR 监测及参数反演[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [6] Ge, L.L., Rizos, C., Han, S. and Zebker, H. (2001) Mining Subsidence Monitoring Using the Combined In SAR and GPS Approach. *Proceedings of the 10th International Symposium on Deformation Measurements*, International Federation of Surveyors (FIG), California, 1-10.
- [7] Ge, L.L., Chang, H.C. and Rizos, C. (2007) Mine Subsidence Monitoring Using Multi-Source Satellite SAR Images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **73**, 259-266. <https://doi.org/10.14358/PERS.73.3.259>
- [8] Zhao, C., Lu, Z., Zhang, Q., Yang, C. and Zhu, W. (2014) Mining Collapse Monitoring with SAR Imagery Data: A Case Study of Datong Mine, China. *Journal of Applied Remote Sensing*, **8**, 083574. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.083574>
- [9] 何敏, 何秀凤. 利用时间序列干涉图叠加法监测江苏盐城地区地面沉降[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2011, 36(12): 1461-1465.
- [10] 张洋, 汪云甲, 闫世勇. 基于 Stacking InSAR 技术的沛北矿区沉降监测[J]. 煤炭技术, 2016, 35(7): 102-105.

Hans 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org