

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2023.04.011

引用格式:黄德华.基于 InSAR 技术的大同市云冈矿区地面沉降监测[J].华东地质,2023,44(4):476-484.(HUANH D H. Land subsidence monitoring in Yungang mining area in Datong City based on InSAR technology[J].East China Geology, 2023, 44(4):476-484.)

基于 InSAR 技术的大同市云冈矿区地面沉降监测

黄德华

(福建省地质测绘院,福建 福州 350011)

摘要:大同市煤炭资源丰富,但煤矿开采活动造成的地面沉降等地质环境问题一定程度上制约着矿区发展。为监测大同市云冈矿区的地面沉降特征,基于哨兵-1A 卫星数据,文章使用星载合成孔径雷达差分干涉测量技术(Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar, D-InSAR)技术处理 2020 年 6—7 月的 2 景影像,初步获取矿区沉降区域特征,监测区最大沉降量达 4.6 cm/36 d;采用小基线集差分干涉技术(Small Baseline Subset InSAR, SBAS-InSAR)处理 2019 年 1 月—2020 年 12 月的 24 景影像,得到监测区部分沉陷区域的长时间序列形变量,该形变量与 2020 年 1 月—2020 年 9 月的同地区 25 景影像数据永久散射体合成孔径雷达干涉测量(Persistent Scattered Interferometric Synthetic Aperture Radar, PS-InSAR)监测形变空间分布一致,形变趋势吻合。综合以上 3 种 InSAR 监测结果表明,监测区内存在多达 12 个明显快速沉降区,均分布于矿区内,其中最大沉降速率达 180 mm/y, 2019—2020 年最大累积沉降量为 333 mm,东南部城市区域没有明显形变迹象。研究结果为矿区沉降监测及合理开采提供科学依据。

关键词: D-InSAR; SBAS-InSAR; 时间序列; PS-InSAR; 矿区沉降监测; 大同市云冈矿区

中图分类号: P66; P694

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2023)04-476-09

开采地下矿产资源容易破坏岩层结构,可能引发地面沉降等一系列地质问题,从而对沉陷区的地表建筑、公共设施、耕地、水环境等人类生存环境、经济财产安全造成极大的影响^[1-4]。为了区域的可持续发展,科学合理地进行开发、生态治理,对矿区长时间序列的动态监测十分必要。

由于矿区形变周期性长、范围广,而常规的监测手段具有监测点离散、周期长、成本高的特点,难以进行时空连续性监测。合成孔径雷达差分干涉测量技术是通过短周期内的影像对干涉相位的差分计算,可大范围观测地表形变,其监测成本低,精度可达厘米至毫米级^[5]。2000 年 CARNEC C 等^[6]首次将 D-InSAR 技术用于煤矿区地表形变场监测;2005 年吴立新等^[7]对中国东部典型工矿区进行了矿区地表沉陷 D-InSAR 监测研究。在 D-InSAR 技

术的基础上,2001 年 FERRETTI A 等^[8]提出了 PS-InSAR 技术;2002 年 BERARDINO P 等^[9]随后提出了 SBAS-InSAR 技术,此后更是发展了众多时序监测算法。近年来,多国学者利用 InSAR 技术对矿区地面开展了形变监测,例如:2015 年 GRZOVIC M 等^[10]使用 PS-InSAR 与 SBAS-InSAR 方法对美国伊利诺伊州斯普林菲尔德地下煤矿采区进行了地表形变监测,监测结果显示地下矿井坍塌导致了该区域的地表形变;2023 年虎小强等^[11]使用 SBAS-InSAR 方法对新疆阿希矿区地面沉降时空变化特征进行监测,分析了沉降主要驱动因素,等等。现有研究表明,SBAS-InSAR 与 PS-InSAR 是目前比较有代表性的时序 InSAR 算法,可有效监测矿区地面沉陷。

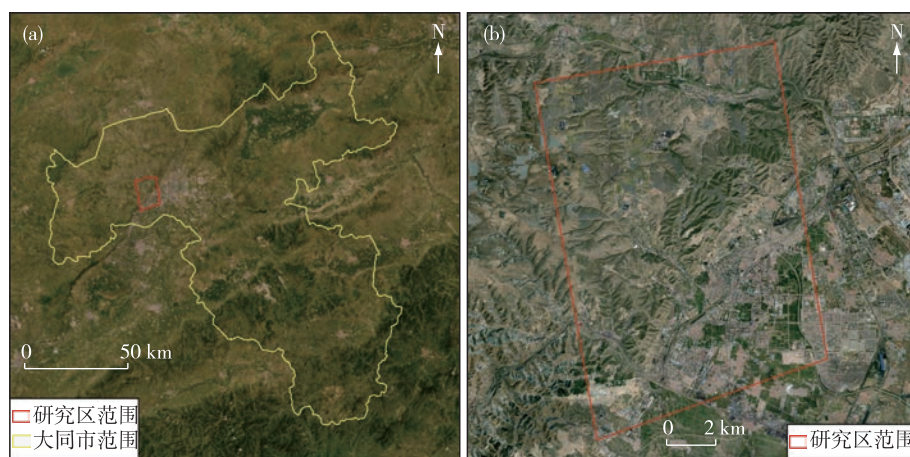
本文阐述了 InSAR 技术原理,运用 D-InSAR、时

* 收稿日期:2022-10-12 修订日期:2023-08-26 责任编辑:叶海敏

基金项目:福建省地质矿产勘查开发局“遥感技术在福建省地质灾害隐患早期识别中的应用研究(编号:20190505)”项目资助。

第一作者简介:黄德华,1977 年生,男,高级工程师,本科,主要从事国土资源遥感应用技术与国土空间规划研究。Email:68675776@qq.com。

序 InSAR 技术对云冈矿区开展地面沉降监测,其中在 2019 年 1 月—2020 年 12 月时段采用 24 景哨兵-1A 卫星影像数据进行 SBAS-InSAR 处理获取形变信息,在 2020 年 1 月—2020 年 9 月时段采用 25 景 Sentinel 影像数据进行 PS-InSAR 处理获取形变信息,并选取 2020 年 1 月—2020 年 9 月两种技术方法不同形变信息进行对比分析,验证两种时序 InSAR 技术在矿区地表沉降监测应用中的可靠性。



(a).大同市范围;(b).研究区范围

图1 研究区概况图

Fig. 1 The overview of the study area

1.2 实验数据

本文采用 2019 年 1 月—2020 年 12 月的哨兵-1A 卫星数据及 SRTM 30 m 分辨率数字高程数据作为数据支撑,其中 SBAS-InSAR 和 PS-InSAR 采用数据情况详见表 1。

2 数据处理原理及流程

InSAR 技术中相位信息由平地相位、轨道误差、地形相位、形变相位、大气相位以及噪声相位共 6 部分相位信息组成^[12],公式如下:

$$\varphi_{\text{diff}} = \varphi_{\text{topo}} + \varphi_{\text{def}} + \varphi_{\text{orb}} + \varphi_{\text{atm}} + \varphi_{\text{noise}},$$

式中: φ_{topo} 为参考数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 残余地形相位; φ_{def} 为形变相位,由线性形变及非线性形变组成; φ_{orb} 为去平引入的轨道误差相位,空间上表征为一定的线性特性,可包含于 φ_{atm} 中; φ_{atm} 为大气延迟相位; φ_{noise} 为噪声相位。

对形变前后影像进行干涉处理,引入参考 DEM

1 研究区及数据概况

1.1 研究区概况

研究区位于山西省北部、大同市西部云冈区内,面积约 137.16 km²,西北部为煤矿开采区,79% 以上为地下开采区,其余为露天开采区。东南部为大同市城市区域(图 1)。

模拟地形相位,去平、降噪、减弱大气延迟后,剔除模拟地形相位,即可获取形变相位从而生成差分干涉图,反演一维地表视向形变信息^[13]。

相比 D-InSAR 技术的短期形变场获取,多时相合成孔径雷达干涉测量技术 (Multi-temporal Synthetic Aperture Radar Interferometry, MT-InSAR) 增大影像数量,通过空间域、时间域滤波,缓解大气延迟效应等误差,能对长时间序列下的影像集进行综合分析,得到地表长期演变趋势^[14]。永久散射体技术 (PS-InSAR) 及小基线集技术 (SBAS-InSAR) 是 2 个目前比较有代表性的 MT-InSAR 算法^[15]。

2.1 SBAS-InSAR

SBAS-InSAR 技术将所有覆盖同一地区的 SAR 影像组成若干个子集,子集内的影像基线距 (包括时间基线距和空间基线距) 小,子集间的影像基线距大,运用奇异值分解方法获取最小形变速率,基于最小形变速率标准获得小基线干涉图。SBAS-InSAR 方法限制了长基线导致的几何

去相干,而且使更多的 SAR 图像参与到形变计算,增加了时间上的采样。提出 SBAS 方法是为解决影像数量不足、基线失相干无法进行相位分离的问题,基于一定的空间时间基线的若干干涉对集进行后续相位解缠等操作,从而产生解缠相位图用以分析地表形变情况,以减少时间和空间去相干因素的影响,可以得到监测区域的平均形变速率^[16]。

表 1 哨兵-1A 卫星影像主要信息表

Table 1 Main information of Sentinel-1A satellite image

序号	获取日期	SBAS-InSAR 技术	PS-InSAR 技术
1	20190103	✓	—
2	20190208	✓	—
3	20190304	✓	—
4	20190409	✓	—
5	20190503	✓	—
6	20190608	✓	—
7	20190702	✓	—
8	20190807	✓	—
9	20190912	✓	—
10	20191006	✓	—
11	20191123	✓	—
12	20191229	✓	—
13	20200110	✓	✓
14	20200122	—	✓
15	20200203	✓	✓
16	20200215	—	✓
17	20200227	—	✓
18	20200310	✓	✓
19	20200322	—	✓
20	20200403	✓	✓
21	20200415	—	✓
22	20200427	—	✓
23	20200509	✓	✓
24	20200521	—	✓
25	20200602	✓	✓
26	20200614	—	✓
27	20200626	—	✓
28	20200708	✓	✓
29	20200720	—	✓
30	20200801	✓	✓
31	20200813	—	✓
32	20200825	—	✓
33	20200906	✓	✓
34	20200918	—	✓
35	20201024	✓	✓
36	20201129	✓	✓
37	20201223	✓	✓

注:“✓”表示影像采用,“—”表示影像未采用。

SBAS-InSAR 主要处理流程(图 2)包括:估算影像对基线,选择配准的主影像,完成时序影像配准;按照短空间基线组合原则,生成短基线干涉数据集,进行常规差分干涉步骤,去除平地、地形相位,获取差分干涉图集;利用相干系数图,选取高相干点,进行相位解缠;通过相干性设定阈值进行分布式目标分析提取;采用奇异值分解法模型求解形变参数和高程误差值即残余地形的最小范数解;进行高通、低通滤波进行第二次反演,计算非线性形变和大气相位并进行分离,从而反演形变总和,将结果进行地理编码生成时序形变信息^[17]。

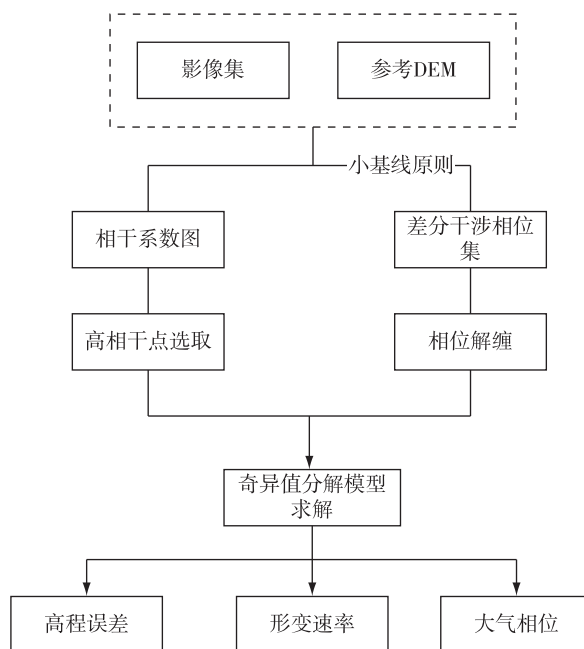


图 2 SBAS-InSAR 方法基本流程图

Fig. 2 Basic flowchart of SBAS-InSAR

2.2 PS-InSAR

PS-InSAR 技术选取影像集采用长时间序列下各个分辨单元内部保持稳定、散射特性强烈的永久散射体,利用相位信息可靠的特征,对这些离散点进行时间序列分析,从而提取目标形变量,探测地表形变信息^[18]。

PS-InSAR 技术(图 3)利用 $K+1$ 幅 SAR 单视复数影像集,结合外部 DEM,计算得到 K 幅差分干涉图,并通过幅度离差系数法等算法提取稳定的 N 个 PS 候选点^[19]。

根据大气相位时序随机、空间相关的特点,构建差分网络,对相邻的两 PS 点干涉相位进行 3 次

差分,以降低大气噪声相位影响。利用二维周期图估计高程以及形变参数,根据求解结果进行相位解缠,得到的相位残差中包括残余大气信号、非线性形变信号。由于大气相位空间域上低频信号、时间域上高频信号,进行空间域低通滤波、时间域高通滤波,将大气相位与非线性形变相位分离,将线性形变相位与非线性形变相位相加即为视向形变相位,最终反演形变场^[20]。

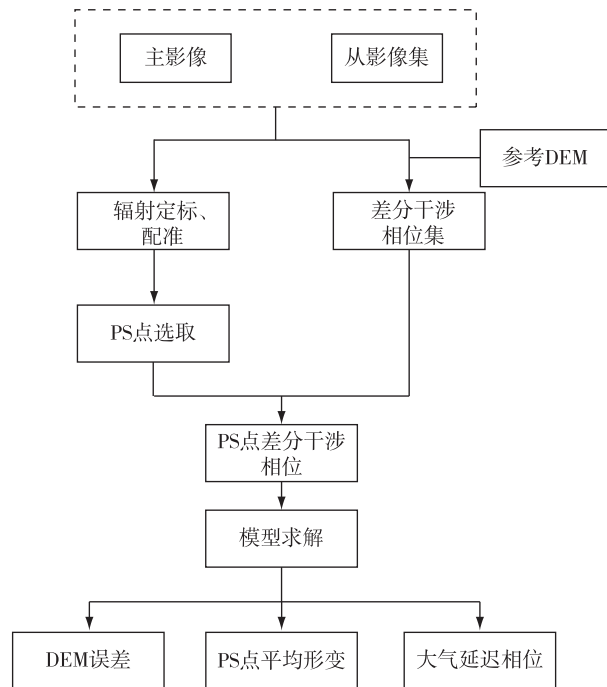


图 3 PS-InSAR 方法基本流程图

Fig. 3 Basic flowchart of PS-InSAR

3 结果分析

3.1 D-InSAR 沉降结果分析

对 2020 年 6 月 2 日—2020 年 7 月 8 日的 2 景哨兵-1A 影像进行 D-InSAR 处理,生成差分干涉图(图 4)。结果表明,研究区西北部荣华皂村、栗庄村、永定庄村、里南沟村等地可见明显沉降漏斗,最大视向沉降量达 4.6 cm/36 d,沉降区域普遍形变量为 2~3 cm/36 d;东南部城市区域地表稳定,无明显形变。

3.2 SBAS-InSAR 沉降结果分析

2019 年 1 月—2020 年 12 月的 24 景哨兵-1A 影像进行 SBAS-InSAR 处理,获得平均形变速率图

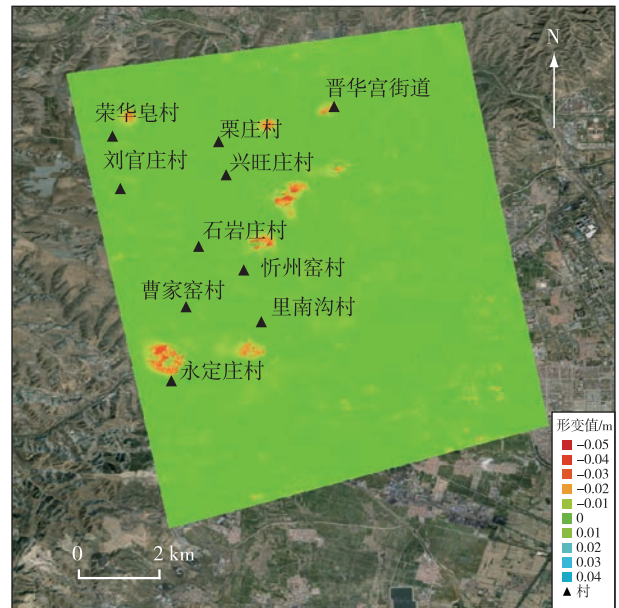


图 4 D-InSAR 监测研究区沉降结果图

Fig. 4 Subsident results of D-InSAR monitoring area

(图 5)。研究区西北部存在 12 处明显沉降,分布范围基本与 D-InSAR 结果重合,且由外缘至中心形变量逐渐增大,沉降区最大平均沉降速率达 180 mm/y,其余区域平均沉降速率为 5~0 cm/y,2019—2020 年最大累积沉降量为 333 mm,存在沉降中心超出形变测量梯度的情况;东南部城市区域地表稳定,无明显形变。

根据所属地理位置将沉降漏斗划分为荣华皂村沉降区、晋华宫街道沉降区、忻州窑村沉降区、曹家窑村沉降区、里南沟村沉降区以及永定庄村沉降区 6 个沉降区域,其中里南沟村沉降区沉降现象最为严重,沉降区域面积达 1.27 km²。

选取里南沟北西向(C—D)、北东向(A—B)剖面做沉降漏斗分析,得到其空间累积沉降分布图(图 6)。A—B 剖面(图 6(b))相对完整,即累积沉降剖面线由北部边缘—中心—南部边缘呈浅—深—浅漏斗状,该剖面沉降中心随时间变化基本维持不变,各处沉降量随时间变化而增加,总体不断下沉;C—D 剖面(图 6(c))不完整,边缘至中心沉降逐步加深,由累积沉降剖面可知,2019 年沉降中心尚可监测,随着时间推移,该剖面沉降中心逐步向东转移,预计未来沉降中心沉降值将超出探测梯度。

3.3 PS-InSAR 沉降结果分析

对 2020 年 1 月—9 月的 25 景哨兵-1A 影像进行

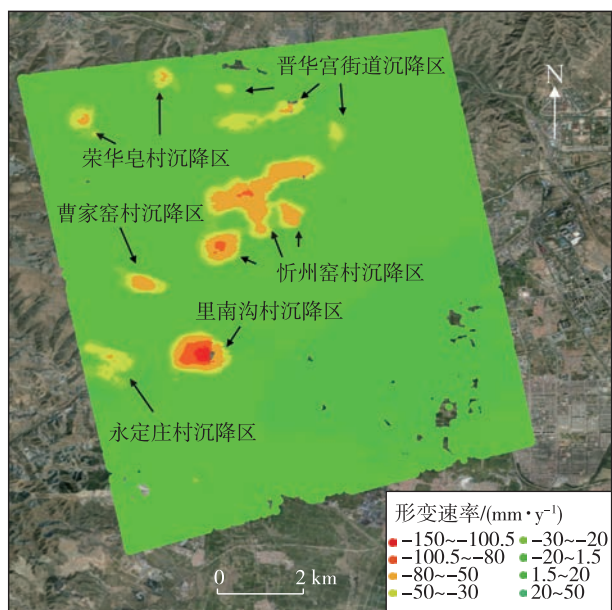


图 5 SBAS-InSAR 技术监测研究区平均形变速率图

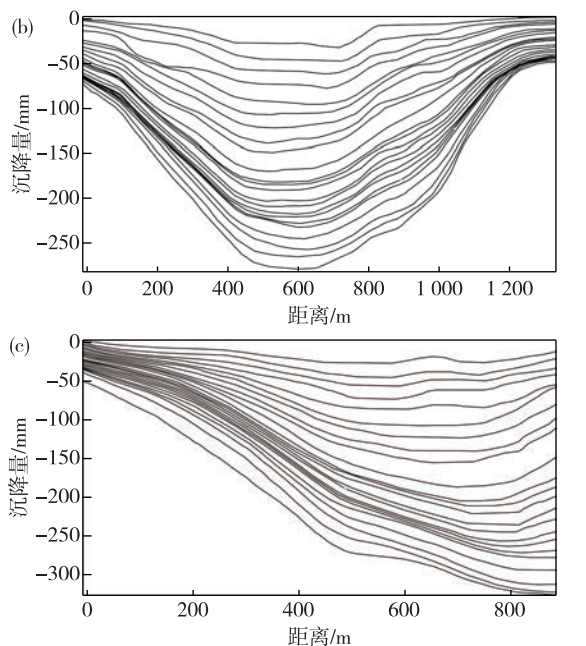
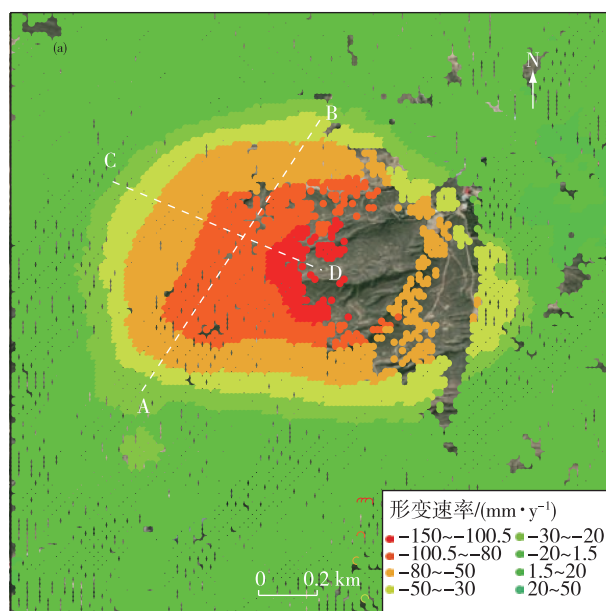
Fig. 5 Average deformation rate of SBAS-InSAR monitoring area

PS-InSAR 处理,获得平均形变速率图(图 7)。研究区西北部存在 12 处明显沉降,分布范围基本与 SBAS-InSAR 结果重合,从形变分布上可以看出,两者所获取的形变区域空间分布特征一致,沉降漏斗位置分布吻合,且形变趋势及累积形变量较为一致。

3.4 SBAS 与 PS 技术结果交叉验证

在 3 个明显沉降区,选取里南沟村沉降区边缘至沉降中心的特征点进行时序对比分析,采用 2020 年的 SBAS-InSAR 监测结果,并提取 PS-InSAR 中对应时相的监测结果,将 2020 年 1 月设为起始月份,绘制特征点 2020 年 1 月—2020 年 9 月的累积形变曲线(图 8)。

由里南沟村沉降区域 3 个特征点累积形变曲线图(图 8)可看出,SBAS-InSAR 与 PS-InSAR 监测结果总体趋势一致,表明 2020 年以来,该区域持续沉陷,其中 A-1 特征点 SBAS-InSAR 技术监测累积形变量最大达 35.93 mm,PS-InSAR 技术监测累积形变量最大达 41.99 mm;A-2 特征点 SBAS-InSAR 技术监测累积形变量最大达 49.88 mm,PS-InSAR 技术监测累积形变量最大达 69.17 mm;A-3 特征点 SBAS-InSAR 技术监测累积形变量最大达 57.71 mm,PS-InSAR 技术监测累积形变量最大达 70.99 mm。用均方根误差(RMSE)对 A-1、A-2、



(a).里南沟村沉降区剖面位置图;(b). A—B 剖面示意图;(c).C—D 剖面示意图

图 6 2019—2020 年研究区累积沉降剖面示意图

Fig. 6 Schematic diagram of cumulative subsidence profile from 2019 to 2020 in the study area

A-3 点的形变量观测值 $x_{sbas,t}$ 和 $x_{ps,t}$ 进行比较:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (x_{sbas,t} - x_{ps,t})^2}{n}}$$

计算得 A-1 点 RMSE 值为 2.89,A-2 点 RMSE 值为 7.48,A-3 点 RMSE 值为 5.31。

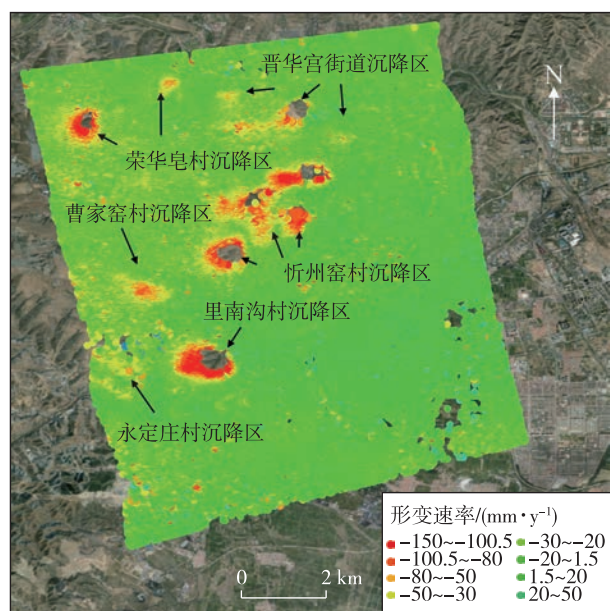


图 7 PS-InSAR 技术监测研究区平均形变速率图

Fig. 7 Average deformation rate of PS-InSAR monitoring area

对两组形变量观测数据做线性拟合(图 9), A-1 观测点的决定系数 R^2 为 0.947 2, A-2 观测点的决定系数 R^2 为 0.960 1, A-3 观测点的决定系数 R^2 为 0.962 6。

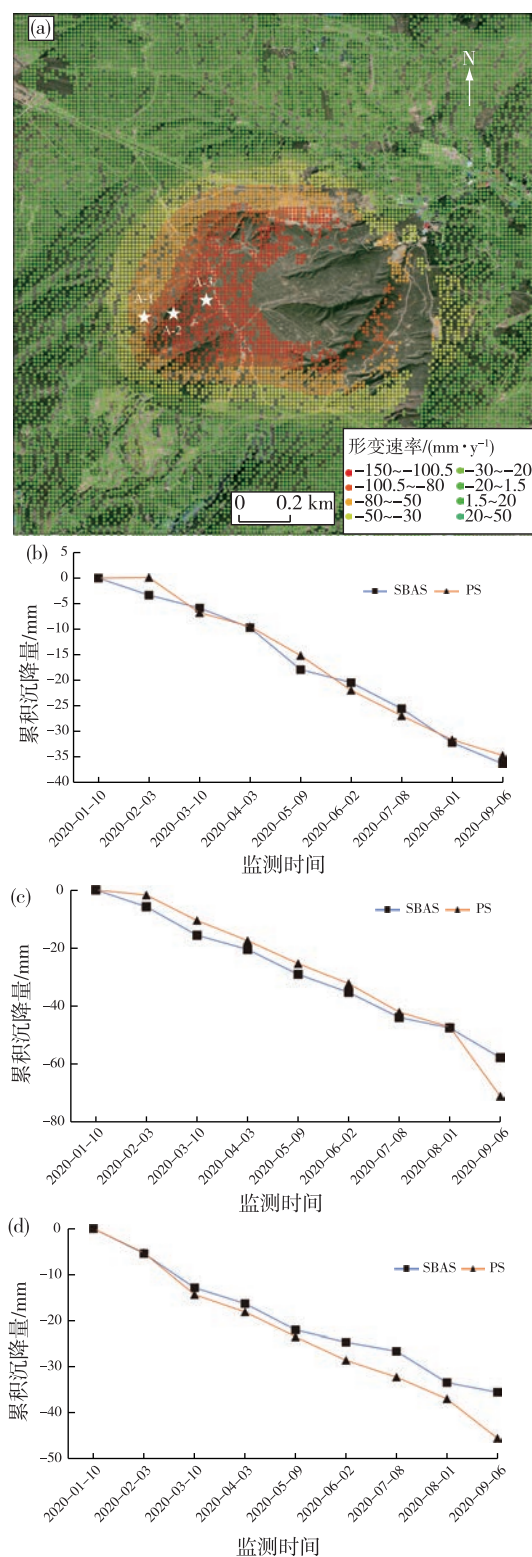
由上可知, SBAS-InSAR 形变监测与 PS-InSAR 形变监测结果相近, 形变区域吻合, 形变趋势基本一致, 决定系数均 >0.9 , 验证了 SBAS 与 PS 两种时序 InSAR 技术在区域形变监测具有一致性。

4 结论

大同市云冈区作为全国最大的产煤区之一, 其地下煤矿开采区引起地面沉降灾害。本文应用 InSAR 技术对区域的多景哨兵-1A 雷达影像进行处理, 获取了地面沉降特征, 详细分析了时空演变规律并进行了初步探讨, 主要结论如下:

(1) 沉降主要分布于云冈区西北部煤矿开采区, 沉降面积大, 沉降速率达 180 mm/y, 最大累积沉降量为 333 mm; 东南部城市区域没有明显形变迹象。

(2) 采用 SBAS-InSAR 与 PS-InSAR 技术对其地表沉降情况进行长时间序列监测, 监测结果表明形变空间分布吻合, 时序沉降趋势一致, 形变速率具有较高的相关性 (R^2 决定系数均 >0.9), 均能有效监测地表沉降变化。



(a). 里南沟村沉降区; (b). A-1 点形变量; (c). A-2 点形变量; (d). A-3 点形变量

图 8 里南沟村沉降区域 3 个特征点累积形变图

Fig. 8 Cumulative deformation of three characteristic points in area of Linangou Village

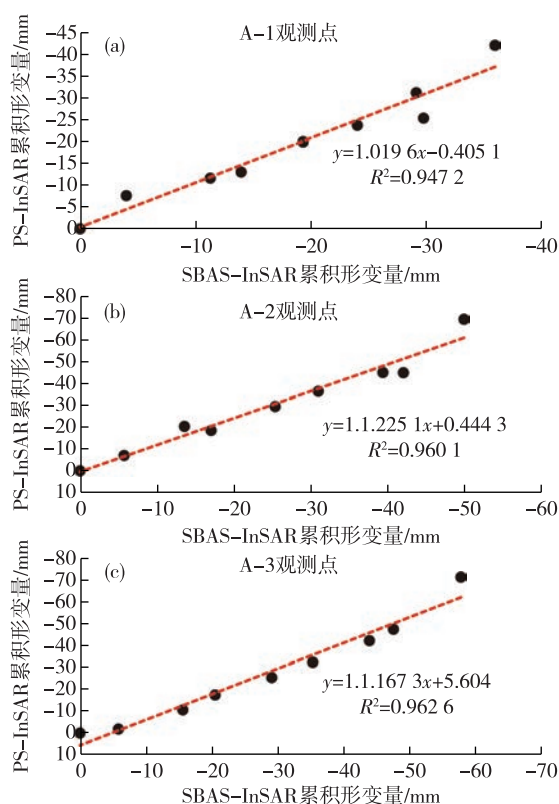


图9 里南沟村沉降区域3个特征点两组形变量观测结果拟合曲线图

Fig. 9 Fitted curve of the two observation groups of shape variables at three characteristic points in area of Linangou Village

参考文献

- [1] 杨逾, 刘文生, 缪协兴, 等. 我国采煤沉陷及其控制研究现状与展望[J]. 中国矿业, 2007, 16(7): 43-46.
YANG Y, LIU W S, MIAO X X, et al. The research status and view of the mining subsidence and its control technology in China [J]. China Mining Magazine, 2007, 16(7): 43-46.
- [2] 段丽丽, 朱明. 矿区地面沉降的危害及其防治[J]. 河北理工大学学报, 2007, 29(1): 122-124.
DUAN L L, ZHU M. Harm of the ground sedimentation in mining areas and prevention and cure [J]. Journal of Hebei Institute of Technology, 2007, 29(1): 122-124.
- [3] 李万林, 周英帅. 基于 D-InSAR 技术的地质灾害和监测预警[J]. 测绘工程, 2021, 30(1): 66-70.
LI W L, ZHOU Y S. Early warning and monitoring of geohazards based on D-InSAR technology [J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2021, 30(1): 66-70.
- [4] 王明珠, 万军伟, 白通, 等. 德州市德城区砂岩热储地热资源开采对地面沉降的影响[J]. 华东地质, 2021, 42(2): 202-209.
WANG M Z, WAN J W, BAI T, et al. The influence of geothermal resources exploitation of sandstone thermal reservoir on land subsidence in Decheng District, Dezhou City [J]. East China Geology, 2021, 42(2): 202-209.
- [5] 麻学飞, 张双成, 惠文华, 等. 山西省临汾市矿区地表形变 InSAR 大范围探测与监测[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(3): 146-153.
MA X F, ZHANG S C, HUI W H, et al. InSAR-based large-scale detection and monitoring of the surface deformation in Linfen mining areas, Shanxi Province [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(3): 146-153.
- [6] CARNEC C, DELACOURT C. Three years of mining subsidence monitored by SAR interferometry, near Gardanne, France [J]. Journal of Applied Geophysics, 2000, 43(1): 43-54.
- [7] 吴立新, 高均海, 葛大庆, 等. 工矿区地表沉陷 D-InSAR 监测试验研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2005, 26(8): 778-782.
WU L X, GAO J H, GE D Q, et al. Experimental study on surface subsidence monitoring with D-InSAR in mining area [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2005, 26(8): 778-782.
- [8] FERRETTI A, PRATI C, ROCCA F. Permanent scatters in SAR interferometry [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(1): 8-20.
- [9] BERARIDINO P, FORNARO G, LANARI R, et al. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(11): 2375-2383.
- [10] GRZOVIC M, GHULAM A. Evaluation of land subsidence from underground coal mining using Time SAR (SBAS and PSI) in Springfield, Illinois, USA [J]. Natural Hazards, 2015, 79(3): 1739-1751.
- [11] 虎小强, 杨树文, 闫恒, 等. 基于时序 InSAR 的新疆阿希矿区地表形变监测与分析[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(1): 171-179.
HU X Q, YANG S W, YAN H, et al. Time-series InSAR-based monitoring and analysis of surface deformation in the Axi mining area, Xinjiang [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(1): 171-179.
- [12] 林琿, 马培峰, 王伟玺. 监测城市基础设施健康的星载 MT-InSAR 方法介绍[J]. 测绘学报, 2017, 46(10):

- 1421-1433.
- LIN H, MA P F, WANG W X. Urban infrastructure health monitoring with spaceborne multi-temporal synthetic aperture radar interferometry [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(10): 1421-1433.
- [13] 郑跃, 谭凯, 邱江涛. 利用 DInSAR 技术获取高质量同震形变场的方法研究[J]. *大地测量与地球动力学*, 2017, 37(增 4): 77-81.
- ZHENG Y, TAN K, QIU J T. Method of obtaining high quality coseismic deformation field by using DInSAR technology[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2017, 37(Z4): 77-81.
- [14] 高海英, 赵争, 章彭, 等. 基于 MT-InSAR 技术的滑坡体形变监测[J]. *北京测绘*, 2020, 34(4): 485-489.
- GAO H Y, ZHAO Z, ZHANG P, et al. Landslide deformation monitoring based on InSAR and offset-tracking technology [J]. *Beijing Surveying and Mapping*, 2020, 34(4): 485-489.
- [15] 夏磊凯, 付五洲, 黄其欢. 永久散射体差分干涉测量和小基线集技术在常州地面沉降分析中的应用[J]. *勘察科学技术*, 2016(6): 46-49.
- XIA L K, FU W Z, HUANG Q H. Application of PS-InSAR and SBAS technology in land subsidence monitoring analysing in Changzhou[J]. *Site Investigation Science and Technology*, 2016(6): 46-49.
- [16] 张斌. SBAS-InSAR 数据处理自动化方法研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2016.
- ZHANG Y. Research on automatic method of SBAS-InSAR data[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2016.
- [17] 赵强. 基于 InSAR 时序分析的吉林省地表面形变监测研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2019.
- ZHAO Q. Research on surface deformation monitoring in Jilin province based on InSAR time series analysis[D]. Jilin: Jilin University, 2019.
- [18] 云焱, 吕孝雷, 付希凯, 等. 星载 InSAR 技术在地质灾害监测领域的应用[J]. *雷达学报*, 2020, 9(1): 73-85.
- YUN Y, LU X L, FU X K, et al. Application of spaceborne interferometric synthetic aperture radar to geohazard monitoring[J]. *Journal of Radars*, 2020, 9(1): 73-85.
- [19] 胡波, 汪汉胜. 用 PSInSAR 技术监测地面沉降研究[J]. *大地测量与地球动力学*, 2010, 30(2): 34-39.
- HU B, WANG H S. Monitoring ground subsidence with permanent scatterers interferometry[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2010, 30(2): 34-39.
- [20] 白泽朝, 靳国旺, 张红敏, 等. 天津地区 Sentinel-1A 雷达影像 PSInSAR 地面沉降监测[J]. *测绘科学技术学报*, 2017, 34(3): 283-288.
- BAI Z C, JIN G W, ZHANG H M, et al. Subsidence monitoring of Tianjin using PSInSAR technique with Sentinel-1A [J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2017, 34(3): 283-288.

Land subsidence monitoring in Yungang mining area in Datong City based on InSAR technology

HUANG Dehua

(Fujian Geologic Surveying and Mapping Institute, Fuzhou 350011, Fujian, China)

Abstract: Datong is rich in coal resources, but the development of mining area is restricted to a certain extent by geological environment problems such as land subsidence caused by coal mining activities. In order to monitor the land subsidence characteristics of Yungang mining area in Datong City, based on Sentinel-1A satellite data, this paper used Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (D-InSAR) technology to process the landscape images captured from June to July, 2020, and preliminarily obtained the characteristics of the subsidence area in the mining area, and the maximum subsidence amount in the monitoring area reached 4.6 cm/36 d. A Small Baseline Subset InSAR (SBAS-InSAR) is used to process 24 images photographed from January 2019 to December 2020, obtaining a long time series deformation of some subsidence areas in the monitoring area. The spatial distribution of this monitoring deformation is consistent with that of the deformation monitored by Persistent Scattered Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) using 25 SAR images during the period from January 2020 to September 2020, both of which have coincident deformation trend. According to the above three InSAR monitoring results,

there are as many as 12 obviously rapid subsidence zones evenly distributed in the mining area, among which the maximum subsidence rate is 180 mm/y, and the maximum cumulative subsidence in 2019—2020 is 333 mm, while there is no obvious deformation sign in the southeastern urban area. It provides scientific basis for monitoring and rational exploitation of ground subsidence in mining area.

Key words: D-InSAR; SBAS-InSAR; time series; PS-InSAR; mining subsidence monitoring; Yungang mining area in Datong City

《华东地质》2024 年邀稿通知

尊敬的各位专家、作者及读者朋友：

《华东地质》是中国地质调查局主管、中国地质调查局南京地质调查中心主办的学术期刊。本刊服务国家区域经济发展重大战略，聚焦华东地区制约长三角一体化发展、新一轮找矿突破等国家战略的基础地质、资源能源、生态环境、城市群与地质安全等重大地质问题，倾力打造高水平的区域性地质成果交流和推广平台。

为了更好地发挥科技期刊的学术导向作用，及时报道地质调查及地质科技取得的新进展、新技术及新方法，服务地质科技创新，加快地质调查成果传播，本刊 2024 年度重点进行如下主题报道，特向各位专家、学者及科研人员诚挚邀稿。

主题	内容
战略性矿产资源	关键成矿元素赋存状态及富集机制；矿产资源地质背景和成矿规律；勘查技术方法和找矿勘查；关键金属测试技术与应用
基础地质与区域地质	岩石学、地球化学、同位素地质学等基础地质与区域地质研究
水工环地质	水资源、水环境、生态监测预警及评价方法、水文地质调查关键技术、地下水资源评价、地质资源环境综合评价、工程地质及环境地质等
生态地质	富硒土地资源、土地质量地球化学调查、水土流失、生态地质环境等
城市地质	城市地质环境、城市地质安全风险评估、地下空间资源安全利用与开发技术等
灾害地质	滑坡、泥石流、崩塌、地裂缝、地面沉降、地面塌陷、高精度地质灾害调查技术
海岸带与第四纪地质	海岸带地质灾害防治、海岸带生态保护修复、海岸带资源环境、区域第四纪地质研究、构造-沉积作用、地质环境演化等
能源地质	页岩气、地热能、铀矿、石油、天然气等研究成果
地质信息	地质大数据与找矿预测、空间数据转换、数据库建设、信息化建设与服务等

本刊将为优质稿件开辟绿色通道，为作者提供最优质快速的审稿服务，为作者提供最耐心的写作指导，欢迎赐稿！

联系电话：025-84602261

联系邮箱：hddzjb@163.com

投稿邮箱：www.hddz.cgsnjzx.cn



群名称：《华东地质》作者群
群号：155383569