



基于时序InSAR技术的信阳市中心城区地面沉降监测

沈毅, 韩梦思, 贺保斌, 沈石凯, 李旺, 张一菡, 张兵兵

引用本文:

沈毅, 韩梦思, 贺保斌, 沈石凯, 李旺, 张一菡, 张兵兵. 基于时序InSAR技术的信阳市中心城区地面沉降监测[J]. 信阳师范学院学报自然科学版, 2024, 37(3): 286–291. doi: 10.3969/j.issn.1003–0972.2024.03.002

SHEN Yi, HAN Mengsi, HE Baobin, SHEN Shikai, LI Wang, ZHANG Yihan, ZHANG Bingbing. Land Subsidence Monitoring in the Central Urban Area of Xinyang City Based on Time-Series InSAR Technology[J]. *Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition)*, 2024, 37(3): 286–291. doi: 10.3969/j.issn.1003–0972.2024.03.002

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003–0972.2024.03.002>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

信阳市城区空气质量指数变化及其与气象要素的关系

Variation of Air Quality Index and Its Relationship with Meteorological Elements in Xinyang Urban Area
信阳师范学院学报自然科学版, 2020, 33(2): 258–264. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003–0972.2020.02.013>

基于PCA/GRA/D-RSR的信阳市城市宜居性评价

Livability Evaluation of Xinyang City Based on PCA/GRA/D-RSR
信阳师范学院学报自然科学版, 2021, 34(3): 422–429. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003–0972.2021.03.013>

基于生态海绵体评价的海绵城市规划研究——以信阳市为例

Study on the Design of Sponge City Based on Ecological Sponge Evaluation——A Case Study in Xinyang
信阳师范学院学报自然科学版, 2018, 31(3): 443–448. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003–0972.2018.03.019>

新冠病毒肺炎疫情防控期间信阳市中心城区空气质量变化

Variations of Air Quality in the Central City of Xinyang During the Period of COVID-19 Pneumonia Contagion Prevention and Control
信阳师范学院学报自然科学版, 2020, 33(4): 599–604. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003–0972.2020.04.014>

基于人粮关系的信阳市耕地资源人口承载力研究

Study on the Cultivated Land Carrying Capacity Based on Human-Grain Relationship in Xinyang City
信阳师范学院学报自然科学版, 2020, 33(2): 265–269. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003–0972.2020.02.014>

基于时序 InSAR 技术的信阳市中心城区地面沉降监测

沈毅^{1a,b,c*}, 韩梦思^{1a}, 贺保斌^{1a}, 沈石凯², 李旺³, 张一菡^{1a}, 张兵兵^{1a,b,c}

(1. 信阳师范大学 a. 地理科学学院; b. 河南省水土环境污染协同防治重点实验室;

c. 河南省微波遥感及资源环境监测关键技术工程研究中心, 河南 信阳 464000;

2. 河北省煤田地质局水文地质队, 河北 邯郸 056000; 3. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650031)

摘要:基于小基线集成孔径雷达干涉技术(SBAS-InSAR)对 2018 年 11 月至 2022 年 10 月间 Sentinel-1 卫星数据进行处理, 获取了信阳市中心城区该时期的地面沉降变化, 并利用永久散射体干涉测量技术(PS-InSAR)对沉降区的同名点进行验证。结果表明: PS-InSAR 和 SBAS-InSAR 沉降结果保持了良好的一致性; 信阳市中心城区整体呈现“老城稳定, 新区沉降”的特征, 其中羊山新区地表沉降最为明显; 利用 SBAS-InSAR 技术进行城市沉降监测具有一定的适用性和可靠性, 可为信阳市中心城区地表沉降的监测和预警工作提供参考。

关键词:沉降监测; 合成孔径雷达干涉技术(SBAS-InSAR); 永久散射体干涉测量技术(PS-InSAR); 信阳市; Sentinel-1

中图分类号: P237; P258

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Land Subsidence Monitoring in the Central Urban Area of Xinyang City Based on Time-Series InSAR Technology

SHEN Yi^{1a,b,c*}, HAN Mengsi^{1a}, HE Baobin^{1a}, SHEN Shikai²,
LI Wang³, ZHANG Yihan^{1a}, ZHANG Bingbing^{1a,b,c}

(1a. College of Geographic Sciences; b. Henan Key Laboratory for Synergistic Prevention of Water and Soil Environmental Pollution; c. Henan Microwave Remote Sensing and Resources Environment Monitoring Key Technology Engineering Research Center, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China;

2. Hydrogeology Team of Hebei Coalfield Geology Bureau, Handan 056000, China;

3. Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650031, China)

Abstract: Based on the Small Baseline Subset Interferometric Synthetic Aperture Radar (SBAS-InSAR) to process Sentinel-1 satellite data from November 2018 to October 2022, which obtained the cumulative land subsidence in the central urban area of Xinyang. The Permanent Scatterer InSAR (PS-InSAR) was used to verify the homonymous points in the settlement area. The results showed that the settlement results of PS-InSAR and SBAS-InSAR maintained good consistency. The overall urban area of Xinyang City Center exhibited the characteristics of “stable old city, subsidence new area”, with Yangshan New Area having the most obvious surface subsidence. The use of SBAS-InSAR technology for urban subsidence monitoring has certain applicability and reliability, which can provide the reference for future monitoring and early warning of surface subsidence in the central urban area of Xinyang.

Key words: settlement monitoring; SBAS-InSAR; PS-InSAR; Xinyang city; Sentinel-1

收稿日期: 2023-12-17; 修回日期: 2024-03-20; * 通信联系人, E-mail: shenyi@xynu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(42204030); 河南省科技攻关计划项目(232102320280); 信阳师范学院“南湖学者奖励计划”青年项目; 河南省高校科技创新团队支持计划项目(22IRTSTHN010)

作者简介: 沈毅(1988—), 男, 湖北广水人, 讲师, 博士, 主要从事空间大地测量学的研究。

引用格式: 沈毅, 韩梦思, 贺保斌, 等. 基于时序 InSAR 技术的信阳市中心城区地面沉降监测[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2024, 37(3): 286-291.

SHEN Yi, HAN Mengsi, HE Baobin, et al. Land Subsidence Monitoring in the Central Urban Area of Xinyang City Based on Time-Series InSAR Technology[J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 2024, 37(3): 286-291.

0 引言

粗放式经济增长模式下,城市化进程加快的同时,大规模的土地开发和工程建设也加速了地面沉降的发生,对城市的建设和人民生产生活的影 响日渐凸显。信阳作为南北过渡带的典型代表,地理位置优越,交通枢纽地位日益突出,地面沉降问题更应得到重视。通过沉降观测,获取信阳市中心城区的地面沉降情况,及时采取相应的措施进行保护和修复,这对城市的可持续发展以及居民生活保障具有至关重要的意义^[1-2]。

时序 InSAR 技术是一种使用合成孔径雷达干涉进行地表形变监测的技术,不受时间和气候的限制,可及时探测城市内地表反常形变的地区^[3-4]。InSAR 技术在地震、滑坡、地下水开采和监测城市扩张等领域有着广泛的应用^[5]。张路等^[6]基于时间序列 InSAR 分析了西部山区滑坡灾害隐患,成功识别出了四川丹巴 17 处持续变形中的不稳定坡体。许文斌等^[7]利用 InSAR 短基线技术估计洛杉矶地区的地表时序形变和含水层参数,在 InSAR 干涉图中可以清楚地识别多处沉降明显的区域。BUI 等^[8]研究了 SBAS 技术获取 InSAR 地面运动速率的影响因素。同时,时间序列 InSAR 技术由于其大范围、高精确的地表形变结果,在城市地区大范围地表沉降监测中表现出很大的优势。国内相关研究已陆续应用于北京、南京等地区^[9-10]。

本研究利用 2018 年 11 月至 2022 年 10 月共 48 景 Sentinel-1 数据,结合 ASTER GDEM 30 m 分辨率数字高程模型和欧空局提供的 Sentinel-1 时间序列精密轨道文件,基于小基线集成孔径雷达干涉技术(SBAS-InSAR)监测信阳市中心城区地表形变,对比永久散射体干涉测量技术(PS-InSAR)监测结果验证该监测结果的可靠性,并分析了信阳市中心城区地表形变的时空特征。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域

信阳地处河南省南部,位于秦岭—淮河地理分界线上,跨越了淮河流域和南水北调中线工程的中心线,属于北亚热带和暖温带过渡带。近年来,随着城市化进程的不断推进,信阳市经济发展一直处于稳步增长的状态。浉河区、平桥区加大了对基础设施和公共服务设施的投入,在交通、教育、商业等方面得到了显著发展。羊山新区是信阳市新兴的

经济发展区,良好的区位优势和发展环境促进了羊山新区的快速发展。本文研究区域(图 1)位于信阳市主城区,主要包括浉河区、平桥区、羊山新区。

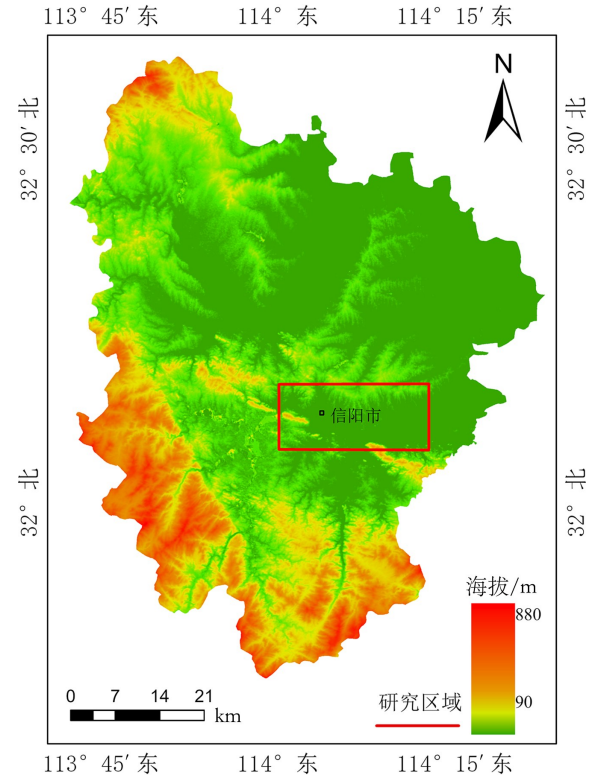


图 1 信阳市主城区区域

Fig. 1 Main urban area of Xinyang city

1.2 数据来源

Sentinel-1 是欧空局和欧盟委员会共同资助的一组雷达卫星,该卫星于 2014 年 4 月发射,是欧洲环境监测计划的重要组成部分。Sentinel-1 基于 C 波段的成像系统主要有条带图 SM(Stripmap)、干涉测宽条带 IW(Interferometric Wide swath)、超宽条带 EW(Extra Wide swath)、波浪模式 WV(Wave)4 种成像模式,具有双极化、短重访周期、快速产品生产的能力。Sentinel-1 全球范围覆盖、多传感器、多功能、高分辨率、高精度、全天候、全天时、长期稳定的观测等特点,可以提供大量的地表变形、土地覆盖等方面的地球观测数据。这些数据对于应对气候变化、减少灾害风险等方面有着重要的意义。

本研究使用欧空局提供的信阳市 2018 年 11 月至 2022 年 10 月期间信阳市主城区 48 景高分辨率 Sentinel-A SLC 影像数据,该数据为每月一景并采用垂直极化(VV)方式。同时,结合 ASTER GDEM 30 m DEM 数据和 Sentinel-A 在研究时段

内 15 d 的精密轨道数据,对研究区域生成的合成孔径雷达数据进行分析处理。

2 数据处理方法

SBAS 方法的基本原理是以一组 SAR 数据为基础,将其划分成多个小集合,并设定一定的空间和时间阈值。每个小集合内的基线距离较小,这样可以减弱空间基线对失相干的影响。通过对每个小集合内的数据进行最小二乘求解和奇异值分解,可有效解决由于 SAR 影像集合之间空间基线过长而导致的不连续问题,从而得到整个时间序列地表形变信息的联合求解结果和地形相位^[11-12]。

PS-InSAR 技术是针对同一地区不同时间的多景原始 SAR 影像的处理方法,使用 POD 精密轨道数据来减少基线误差,选择最优模型来确定一景为主要影像,其余为辅助影像,从而生成时间序列干涉像对,可以提取不受时空失相干和大气相位影响的永久散射体(PS)点,并消除地形相位、进行时间和空间滤波等处理,从而提取 PS 点的形变量,以便监测地表沉降^[13]。

SBAS-InSAR 有多幅主影像,这样形成的时空基线相对来说都是短基线,可有效克服时间与空间失相干现象。同时相比较 PS-InSAR 技术而言,所需的研究区域影像数量更少,其监测精度可达到 mm 级^[14-15]。本研究结合 PS-和 SBAS-InSAR 的技术特点,利用 PS-InSAR 提供的 GCP 点用于 SBAS-InSAR 轨道精炼处理,同时将两者结果进行对比验证,具体数据处理流程如图 2 所示。

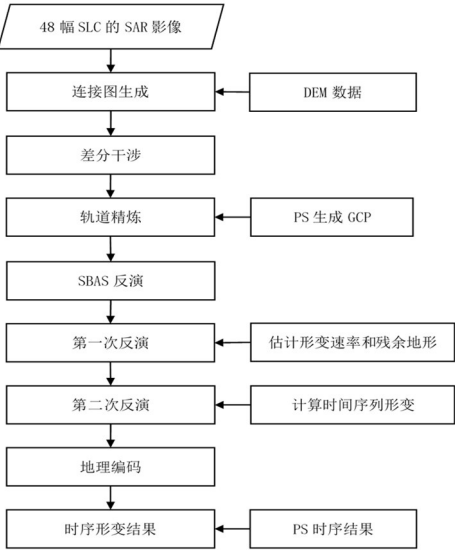


图 2 SBAS-InSAR 处理方法原理流程

Fig. 2 Flow chart of date processing with SBAS-InSAR

3 信阳市地面监测沉降结果分析

3.1 SBAS 和 PS 技术主城区地面监测结果对比

利用 SBAS-InSAR 技术获取信阳市 2018 年至 2022 年地面沉降速率结果如图 3 所示。

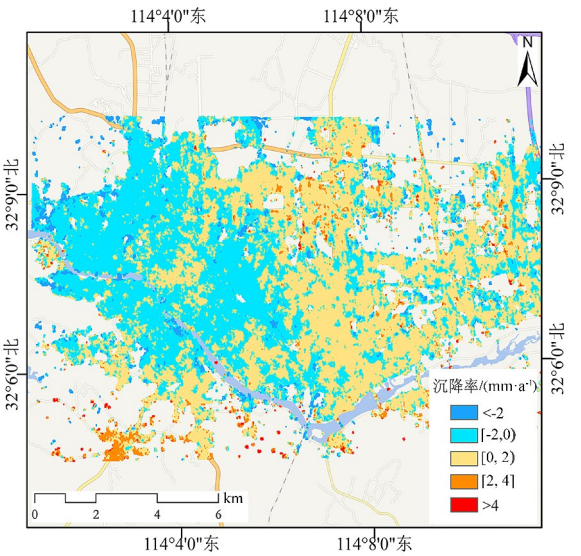


图 3 利用 SBAS-InSAR 技术的信阳市中心城区沉降年变率

Fig. 3 Annual average subsidence rate of Xinyang city obtained from SBAS-InSAR

由图 3 可知,信阳市中心城区大部分沉降年变化为-2~4 mm/a,小部分区域大于 4 mm/a,最大沉降年变化为 12.3 mm/a。形变速率为正,表示目标沿远离雷达的方向运动;反之,目标沿朝向雷达的方向运动。监测结果表明,浉河区部分区域有抬升趋势,年平均沉降速率在-2 mm/a 左右。沉降较为显著的地点多发生在羊山新区和平桥区。城区主干道沿线如新七大道、北环路、东环路、工五路等呈现线状沉降趋势。同时,沿浉河河道周边也具有沉降趋势,且较为明显。信阳地区的地表沉降受城市建设与工业发展影响严重,沉降漏斗的空间分布与工程建设施工区域和工业区的空间分布相关性较高。另外,信阳地区的碳酸盐岩岩溶作用也是该地区地表沉降的重要影响因素。地表沉降的季节性变化与水位变化和降水有关,沉降变化与水位变化密切相关。形变(线性形变、材料热膨胀)是持续变化的微小量,即无明显地质运动(地震、滑坡)的情况下,其在时空维度可表征为高相关。

使用 PS-InSAR 监测结果验证该监测结果的精度,如图 4 所示。通过 SBAS-InSAR 和 PS-InSAR 技术得到的主城区形变速率对比,发现监测结果较为一致。

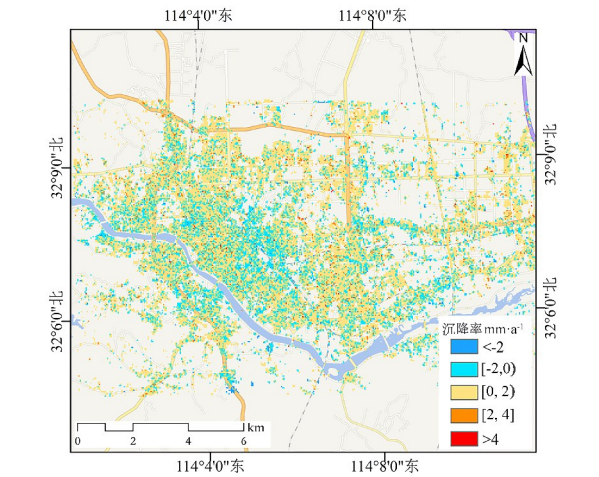


图 4 利用 PS-InSAR 技术的信阳市中心城区沉降年变率
Fig. 4 Annual average subsidence rate of Xinyang city obtained from PS-InSAR

3.2 形变结果验证

为了验证 SBAS-InSAR 技术监测信阳市中心城区地面沉降的精度,分别选取了浉河区(图 5a)、平桥区(图 5b)、羊山新区(图 5c 和图 5d)在 PS-InSAR 和 SBAS-InSAR 形变速率结果沉降区域较为明显的同名点进行对比。通过比对发现两者同名点监测结果在累计形变量和形变趋势上基本趋向一致,结果表明:通过 SBAS-InSAR 技术,得到的地面形变监测结果是可靠的。后续将继续采用 SBAS-InSAR 技术对信阳市中心城区主要干道沿线进行监测分析。浉河区年平均沉降速率稳定,密集高层的建筑物促进了浉河区经济的发展,同时大范围的城区改造也造成了地面沉降的现象。平桥

区部分地区沉降趋向明显,新开发区发展迅速,建筑群接踵林立,高层建筑物的重压是一个导致平桥区地面沉降重要原因。羊山新区部分区域沉降较为明显,羊山新区在开发建设之前地形起伏较大,发展改造的过程中进行了大量回填,具有明显沉降趋势区域与回填工作有一定的相关性。

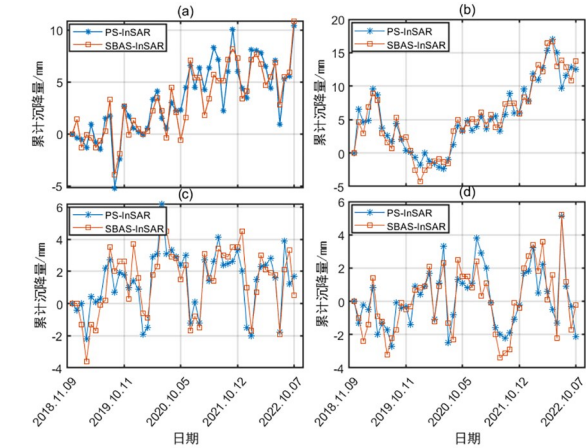


图 5 PS-InSAR 与 SBAS-InSAR 特征点累积沉降
Fig. 5 Cumulative settlement of characteristic points obtained from PS-InSAR and SBAS-InSAR

3.3 利用 SBAS 技术对信阳市中心城区及主干道监测结果分析

基于 SBAS 技术的信阳市中心城区在研究时期的累计沉降演变结果见图 6。由图 6 可知,随着时间发展累计沉降呈现逐渐增加且扩散的特点,中心城区整体出现了“老城稳定,新区沉降”的空间分布特征。研究时间内沉降最大的区域位于羊山新区一带,累计沉降量大多在 5~20 mm 之间。

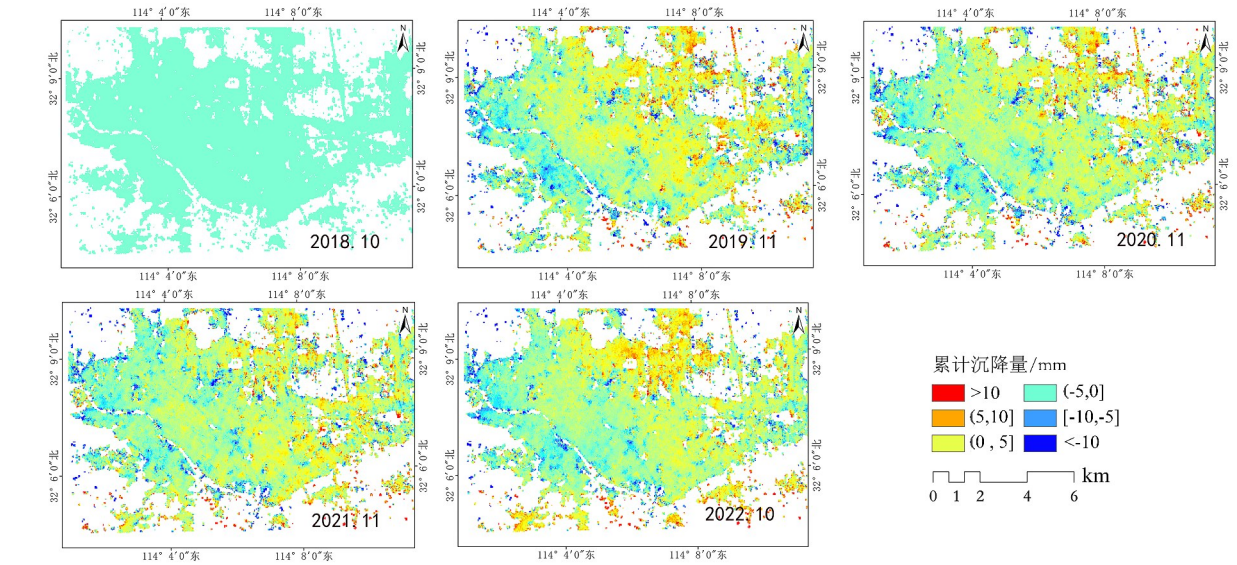


图 6 信阳市中心城区累计沉降时间序列
Fig. 6 Cumulative settlement evolution of Xinyang city

图 7 结果表明,新七大道在监测时段内累计形变最大沉降达 75.6 mm,通过分析时序 InSAR 技术监测获得的新七大道沿线形变数值,可对该路段进行监测及预警工作。新十八大街沿线在监测时段内,沉降数值位于-50~40 mm 区间,新十八大街为新修建的主干道,沉降抬升数值较为明显。部分位于郊区路段出现大幅抬升现象,人流量、车流量汇集的路段沉降较为明显,城市中的地表形变量如果超过了一定阈值,就会破坏建筑物的基础,诱发工程灾害。

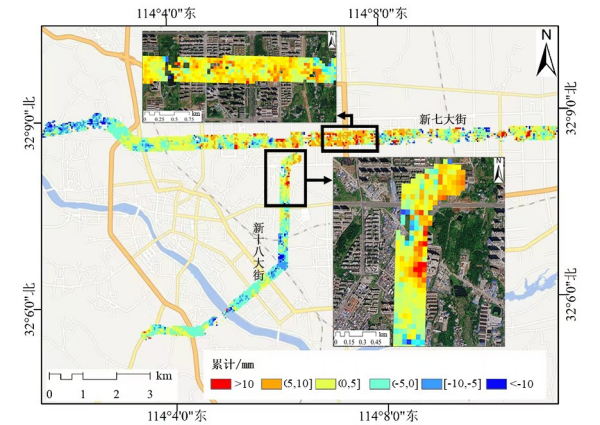


图 7 信阳市中心城区主干道监测结果分析
Fig. 7 Monitoring results of main roads in the central city of Xinyang

信阳市主要有信阳站和信阳东站两个火车站,信阳境内现有京广铁路、京九铁路、宁西铁路、郑武高铁等 4 条铁路。本研究重点分析了途径信阳站铁路沿线和信阳东站铁路沿线,监测结果如图 8 所示,京广铁路沿线 3 年累计沉降形变量约为 5~10 mm,整体沉降较为一致。京广高铁沿线沉降较为稳定,约为-5~5 mm 范围内,高铁站周围优于处于开发中出现了较小区域的沉降,最大累计沉降量为 28.4 mm;普通轨道相比较高铁轨道而言,轨道

技术标准较低,防护措施弱,监测时段内形变量比高铁轨道更为明显。地表沉降受城市建设与工业发展影响,碳酸盐岩岩溶作用也是信阳地区铁路沿线地表沉降的重要影响因子。

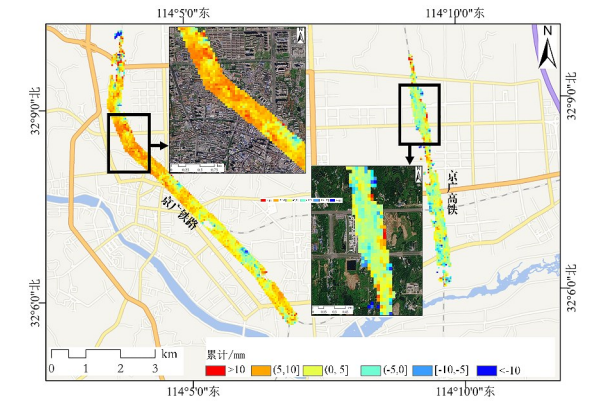


图 8 信阳市中心城区铁路监测结果分析
Fig. 8 Monitoring results of Xinyang central urban railway

4 结论

基于 SBAS-InSAR 对多年长时序的 Sentinel-1 系列卫星数据进行处理研究,获取信阳市中心城区 2018 年 11 月至 2022 年 10 月地面沉降区域的累计时序变化及年均沉降速率变化结果,并使用 PS-InSAR 监测结果验证该监测结果的可靠性。对中心城区沉降时空特征的分析结果表明:信阳市中心城区由西往东存在明显的沉降,其中浉河区在监测时段内形变相对稳定,羊山新区和平桥区沉降较为明显,整体呈现“老城稳定,新区沉降”的特征;羊山新区、平桥区在城市建设中土地的开采和挖掘的部分区域、新十八大街、新七大道主干道等沉降较为明显,有关部门应当注意人、车流量汇集较大的区域,定期检查路段,InSAR 技术可以与地面监测站合作,进行该区域的长期和近实时监测。

参考文献:

[1] HRYSEWICZ A, HOLOHAN E P, DONOHUE S, et al. SAR and InSAR data linked to soil moisture changes on a temperate raised peatland subjected to a wildfire[J]. Remote Sensing of Environment, 2023, 291: 113-516.

[2] 张志华, 胡长涛, 张镇, 等. 基于 PS-InSAR 上海地区地表沉降监测与分析[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(3): 106-111.

ZHANG Zhihua, HU Changtao, ZHANG Zhen, et al. PS-InSAR-based monitoring and analysis of surface subsidence in Shanghai[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(3): 106-111.

[3] 李德仁, 廖明生, 王艳. 永久散射体雷达干涉测量技术[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2004, 29(8): 664-668.

LI Deren, LIAO Mingsheng, WANG Yan. Progress of permanent scatterer interferometry[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2004, 29(8): 664-668.

[4] MA D, ZHAO R, LI Y, et al. Land subsidence assessment of an archipelago based on the InSAR time series analysis

- method[J]. *Water*, 2023, 15(3): 465.
- [5] 张诗玉, 李陶, 夏耶. 基于 InSAR 技术的城市地面沉降灾害监测研究[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2008, 33(8): 850-853, 858.
- ZHANG Shiyu, LI Tao, XIA Ye. Study on urban area subsidence monitoring based on InSAR technique[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(8): 850-853, 858.
- [6] 张路, 廖明生, 董杰, 等. 基于时间序列 InSAR 分析的西部山区滑坡灾害隐患早期识别——以四川丹巴为例[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2018, 43(12): 2039-2049.
- ZHANG Lu, LIAO Mingsheng, DONG Jie, et al. Early detection of landslide hazards in mountainous areas of West China using time series SAR interferometry: A case study of Danba, Sichuan[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 2039-2049.
- [7] 许文斌, 李志伟, 丁晓利, 等. 利用 InSAR 短基线技术估计洛杉矶地区的地表时序变形和含水层参数[J]. *地球物理学报*, 2012, 55(2): 452-461.
- XU Wenbin, LI Zhiwei, DING Xiaoli, et al. Application of small baseline subsets D-InSAR technology to estimate the time series land deformation and aquifer storage coefficients of Los Angeles area[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2012, 55(2): 452-461.
- [8] BUI L K, FEATHERSTONE W E, FILMER M S. Disruptive influences of residual noise, network configuration and data gaps on InSAR-derived land motion rates using the SBAS technique[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 247: 111941.
- [9] 周吕, 郭际明, 李昕, 等. 基于 SBAS-InSAR 的北京地区地表沉降监测与分析[J]. *大地测量与地球动力学*, 2016, 36(9): 793-797.
- ZHOU Lü, GUO Jiming, LI Xin, et al. Monitoring and analyzing on ground settlement in Beijing area based on SBAS-InSAR[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2016, 36(9): 793-797.
- [10] 高二涛, 范冬林, 付波霖, 等. 基于 PS-InSAR 和 SBAS 技术监测南京市地面沉降[J]. *大地测量与地球动力学*, 2019, 39(2): 158-163.
- GAO Ertao, FAN Donglin, FU Bolin, et al. Land subsidence monitoring of Nanjing area based on PS-InSAR and SBAS technology[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2019, 39(2): 158-163.
- [11] 杨成生, 张勤, 赵超英, 等. 短基线集 InSAR 技术用于大同盆地地面沉降、地裂缝及断裂活动监测[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2014, 39(8): 945-950.
- YANG Chengsheng, ZHANG Qin, ZHAO Chaoying, et al. Small baseline subset InSAR technology used in Datong basin ground subsidence, fissure and fault zone monitoring[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(8): 945-950.
- [12] 朱建军, 李志伟, 胡俊. InSAR 变形监测方法与研究进展[J]. *测绘学报*, 2017, 46(10): 1717-1733.
- ZHU Jianjun, LI Zhiwei, HU Jun. Research progress and methods of InSAR for deformation monitoring[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(10): 1717-1733.
- [13] 代志宏, 卢鹏, 张志芳, 等. 基于 PS-InSAR 技术的南宁地表沉降监测与分析[J]. *大地测量与地球动力学*, 2021, 41(5): 491-496, 519.
- DAI Zhihong, LU Peng, ZHANG Zhifang, et al. Surface subsidence monitoring and analysis of Nanning based on PS-InSAR technology[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2021, 41(5): 491-496, 519.
- [14] 侯安业, 张景发, 刘斌, 等. PS-InSAR 与 SBAS-InSAR 监测地表沉降的比较研究[J]. *大地测量与地球动力学*, 2012, 32(4): 125-128, 134.
- HOU Anye, ZHANG Jingfa, LIU Bin, et al. Comparative study on monitoring surface subsidence with PS-InSAR and SBAS-InSAR[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2012, 32(4): 125-128, 134.
- [15] 王舜瑶, 卢小平, 刘晓帮, 等. 一种顾及永久散射体的 SBAS InSAR 时序地表沉降提取方法[J]. *测绘通报*, 2019(2): 58-62, 70.
- WANG Shun Yao, LU Xiaoping, LIU Xiaobang, et al. A SBAS InSAR time series ground deformation extraction approach considering permanent scatterers[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2019(2): 58-62, 70.