

# 地面沉降时序InSAR技术监测研究

赵艳丽

山西省地质调查院有限公司, 山西 太原

收稿日期: 2024年3月16日; 录用日期: 2024年4月10日; 发布日期: 2024年4月17日

## 摘要

针对传统地面沉降测量方法在大范围测区内费时长、时效性差等缺点, 本文利用2017~2021年覆盖某地区Sentinel-1A影像数据, 采用永久散射体雷达干涉技术(PS-InSAR)和短基线合成孔径雷达干涉测量技术(SBAS-InSAR)获取地面沉降数据, 通过地表形变信息的时空分析确定各类因素对地面沉降的影响并交叉验证结果的可靠性。分析结果表明, 该地区的地面沉降受到降水、第四系地层厚度、地下水等因素影响。其中, 该地区在2017~2021年之间存在地面沉降现象, 最大沉降速率为-130 mm/y, 最大抬升速率为40 mm/y, 最大累计沉降量为-411 mm。重点沉降区域主要分布在东北部的杨家泊镇和寨上街道交界地区, 以及西南部的中塘镇和北大港水库附近。

## 关键词

InSAR, PS-InSAR, SBAS-InSAR, 地面沉降

# Research on InSAR Technology Monitoring of Ground Subsidence Time Series

Yanli Zhao

Shanxi Geological Survey Institute Co., Ltd., Taiyuan Shanxi

Received: Mar. 16<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 10<sup>th</sup>, 2024; published: Apr. 17<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In response to the shortcomings of traditional land subsidence measurement methods such as time-consuming and poor timeliness in large-scale measurement areas, this paper uses Sentinel-1A image data covering a certain area from 2017 to 2021, and uses permanent scatterer radar

interferometry technology (PS InSAR) and short baseline synthetic aperture radar interferometry measurement technology (SBAS InSAR) to obtain land subsidence data, determining the impact of various factors on land subsidence through spatiotemporal analysis of surface deformation information and cross-validate the reliability of the results. The analysis results indicate that land subsidence in the region is influenced by factors such as precipitation, thickness of the Quaternary strata, and groundwater. Among them, there was ground subsidence in the region between 2017 and 2021, with a maximum subsidence rate of  $-130$  mm/y, a maximum uplift rate of  $40$  mm/y, and a maximum cumulative subsidence of  $-411$  mm. The key settlement areas are mainly distributed at the junction of Yangjiabo Town and Zhaishang Street in the northeast, as well as near Zhongtang Town and Beidagang Reservoir in the southwest.

## Keywords

InSAR, PS-InSAR, SBAS-InSAR, Land Subsidence

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

地面沉降监测的传统方法采用水准仪、GNSS 等设备进行监测, 监测方法单一, 仅限于对各点进行形态变化监测, 不能够对大面积城市地区进行有效分析[1] [2]。而时序 InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)技术具有城市地面沉降监测时空分辨率高、监测精度高、覆盖范围广等特点, 能够更加快速、准确地获取地面沉降信息。其中, PS-InSAR [3]和 SBAS-InSAR [4] [5]有着大量的实际应用[6] [7]。同时, 通过 SBAS-InSAR 时序监测与 PS-InSAR 方法进行对比, 验证了 2 种方法监测结果具有一致性与可靠性[8] [9] [10], 与 GNSS 数据[11]以及同水准测量获取的沉降成果对比[12] [13], 均证明了时序 InSAR 技术沉降监测的准确性。曾学宏等[14]在对西宁市进行沉降监测时, 不仅采用 SBAS-InSAR 技术还通过地质调查结合相关城市影像图与城市建设资料的方式, 分析沉降的不同驱动因素。宋宇等[15]对研究区城市生活和工业用水、冬小麦 - 夏玉米等引起的不同沉降模式进行了相关性分析, 表明地下水过度开采导致的长期沉降是沉降的主导因素。张庆洁等[16]还将月平均降水量、地下水储量与地面沉降进行相关性分析, 结果表明地下水储量变化是影响沉降变化最重要的因素。

本文通过时序 InSAR 技术研究该地区第四系地质层厚度、地下水、月降水量等沉降驱动因素和地面沉降特征, 为该地区地面沉降的预防和治理提供科学依据。

## 2. 研究区概况与数据来源

该地区地处于华北平原北部, 位于天津市东部地区。数据选择该地区 2017~2021 年 56 景升轨 Sentinel-1A 的 C 波段数据、30 m 分辨率 NASA DEM、该地区统计年鉴等其他相关数据。Sentinel-1A 数据来源于美国的欧空局网站(<https://scihub.copernicus.eu/>)。NASA 的 DEM 发布于 2020 年 2 月 18 日, 是美国 NASA 最新一次以 WGS-84 为参考的、具有 30 m 高精度的、高空间分辨率的 DEM。覆盖亚洲部分的 DEM 数据于 2015 年 3 月份正式发布于 NASA 官网上

(<https://earthdata.nasa.gov/esds/competitive-programs/measures/nasadem>)。天津市滨海新区统计年鉴数据, 为 2017~2021 年的数据, 源自于天津市统计局网站([https://stats.tj.gov.cn/tjsj\\_52032/tjni/](https://stats.tj.gov.cn/tjsj_52032/tjni/))。

### 3. 研究方法

PS-InSAR 技术通过主副影像配准方式生成干涉对, 进行差分处理得到永久散射体点(PS)点, 并结合 DEM 数据进行相关处理获取地面形变信息。SBAS-InSAR 技术则通过自由组合方式进行影像匹配, 然后进行后续处理获取地面形变信息。

### 4. 实验与分析

#### 4.1. 该地区沉降特征分析

由于 PS-InSAR 技术获取的是点信息, SBAS-InSAR 技术直接获得面数据, SBAS-InSAR 插值结果精度更高, SBAS-InSAR 插值后分析结果如图 1 所示。

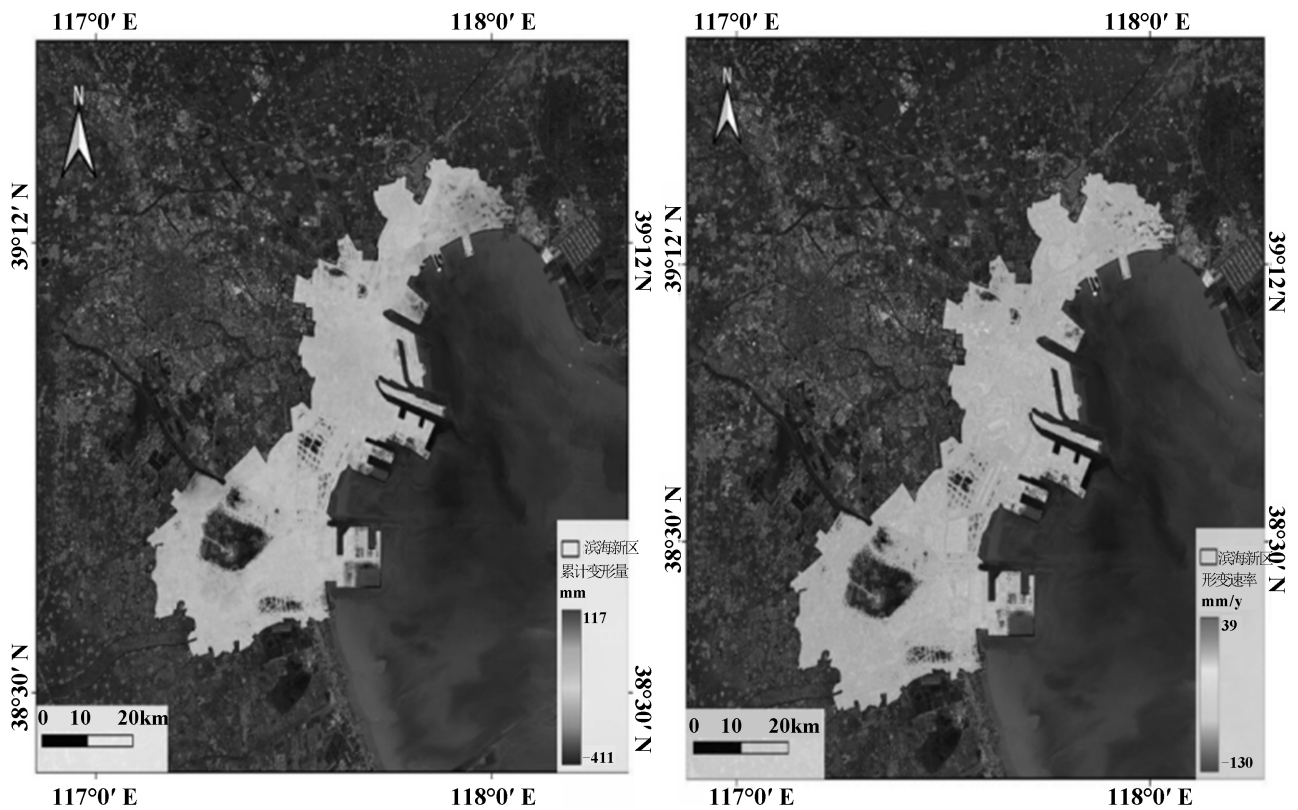
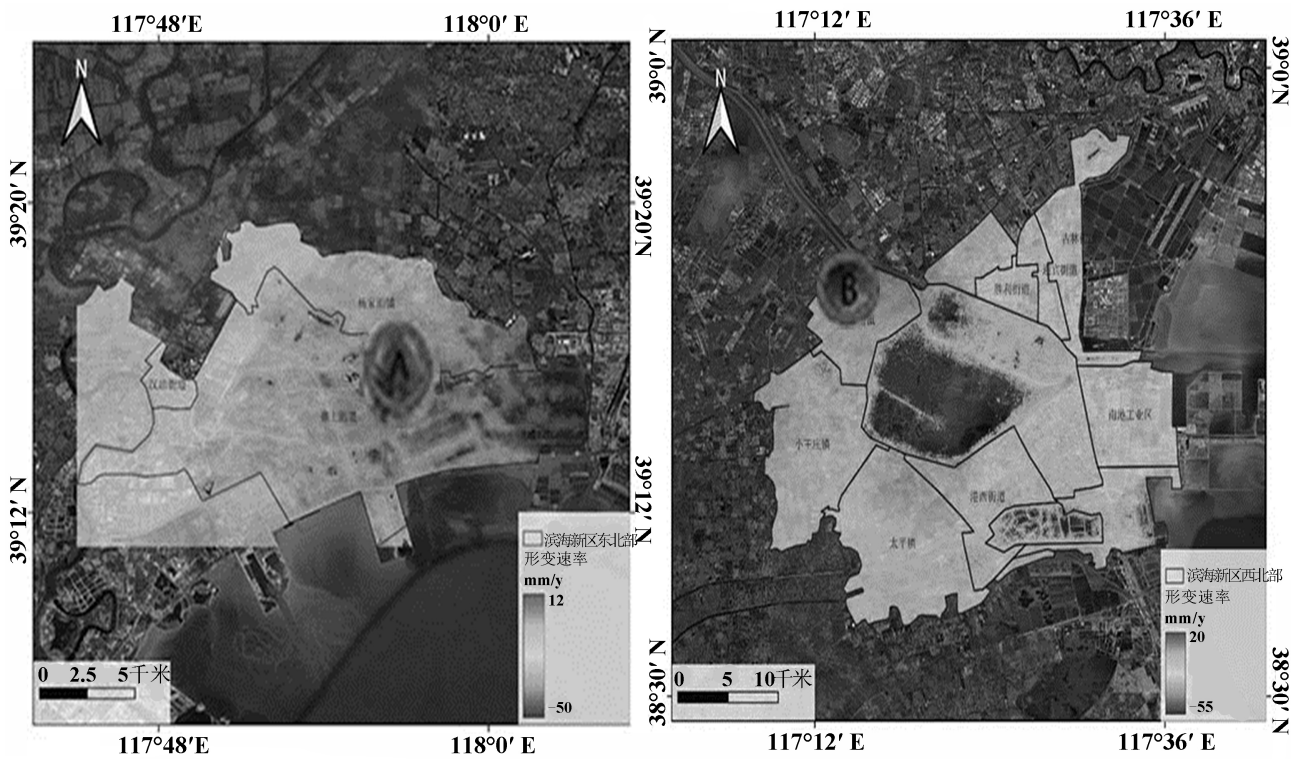


Figure 1. SBAS InSAR interpolation results; (a) accumulated settlement; (b) deformation rate

图 1. SBAS-InSAR 插值结果; (a) 累积沉降量; (b) 形变速率

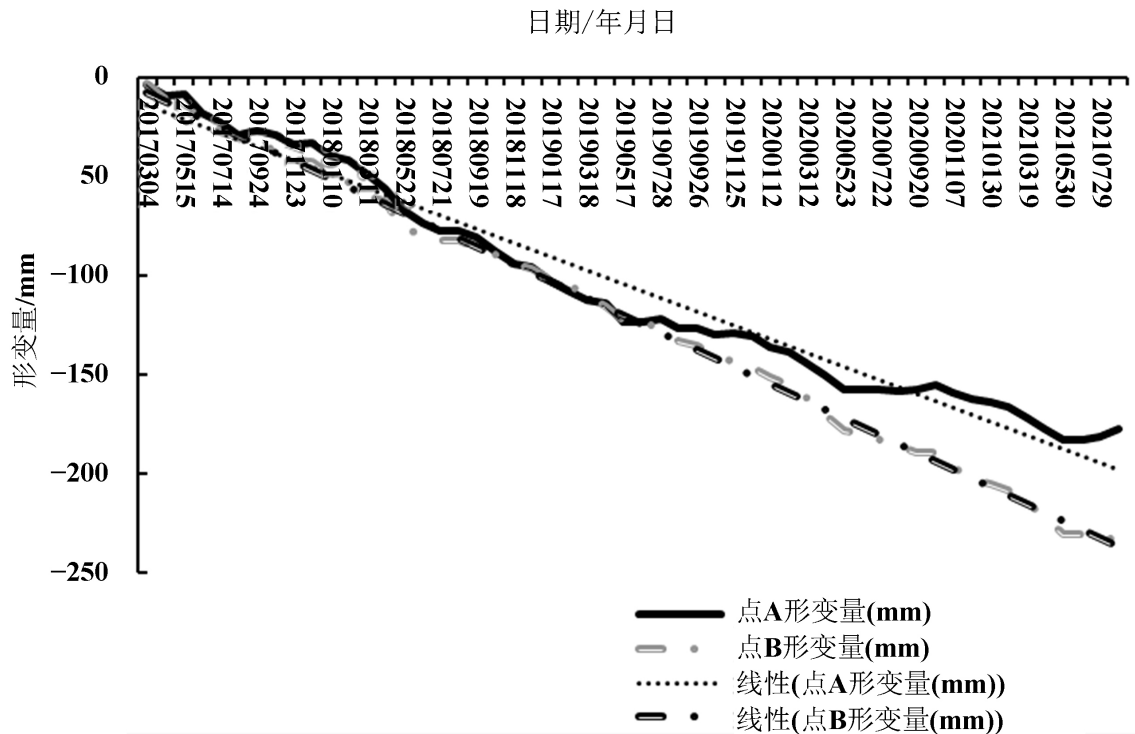
该地区东北部地区与西南部地区沉降情况严重, 中部地区沉降相对稳定, 西部地区沉降变化较小。其中, 最大抬升速率为 40 mm/y, 最大沉降速率为-130 mm/y, 最大累计沉降量达到-411 mm。因此, 为了进一步分析重点沉降区域沉降变化的特征, 分别选取杨家泊镇、寨上街道、汉沽街道的行政区划范围作为该地区东北部严重沉降研究范围区域、中塘镇区域作为该地区西南部严重沉降研究范围区域, 标记为点 A、点 B, 如图 2 所示。

A、B 点区域形变时间序列信息如图 3 所示。该地区东北部沉降速率为-41 mm/y, 点 A 处位置呈持续沉降趋势, 最大累计沉降量达到了-183.21 mm; 西南部沉降速率达到了-53 mm/y, 点 B 处位置呈持续沉降趋势, 最大累计沉降量达到了-233.60 mm。



**Figure 2.** Ground deformation information in severely subsidence areas of Binhai New Area; (a) northeast of Binhai New Area; (b) southwest of Binhai New Area

**图 2.** 该地区严重沉降区域地面形变信息; (a) 该地区东北部; (b) 该地区西南部



**Figure 3.** Time series information of deformation in points A and B regions

**图 3.** A、B 点区域形变时间序列信息

## 4.2. 该地区地面沉降驱动因素分析

### 4.2.1. 第四系地层厚度

该地区内的第四系的地质沉积物呈现土质孔隙率高、粉质土较多、区内巨厚的砂岩和粘性土具可压缩性等特征。因此，第四系沉积地层的厚度分布可能是潜在引发地面沉降的原因之一。将该地区地面沉降结果与第四系地层沉积厚度进行空间叠置进行分析，如图4所示。



Figure 4. Spatial overlay of ground settlement results and quaternary strata thickness

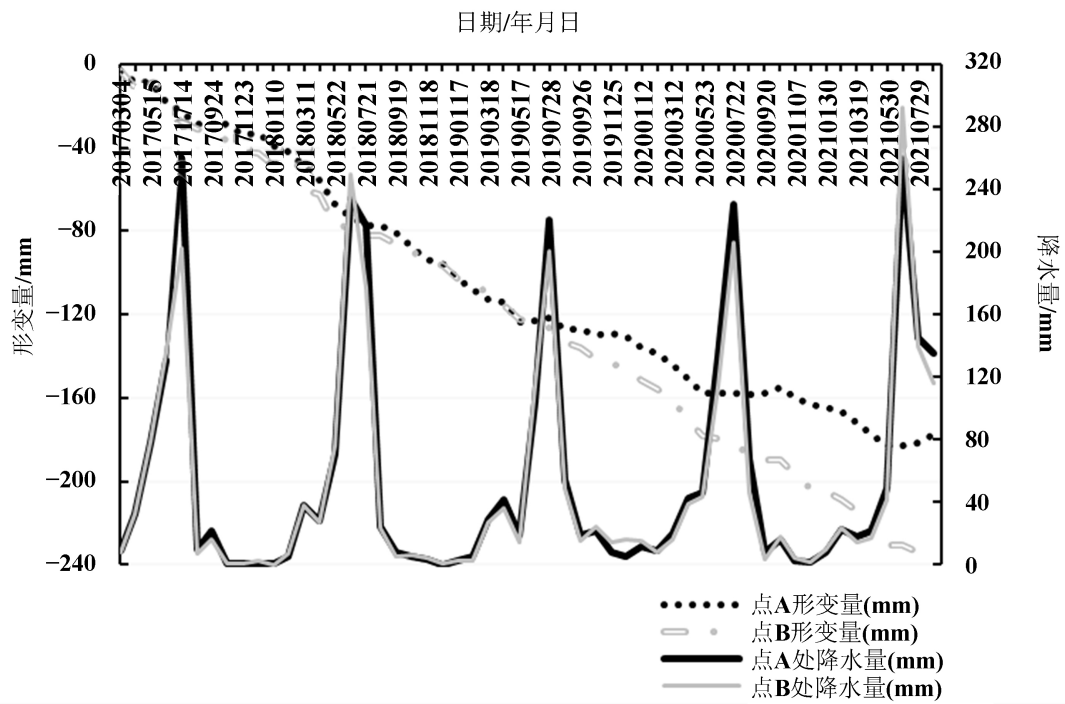
图4. 地面沉降结果与第四系地层厚度空间叠置

当第四系地层厚度在 2000 m~2600 m，自西向东方向沉降速率依次递增；2200 m~2400 m，沉降速率与第四系地层厚度成正比；大于 2400 m 时，趋于缓和。整体来看，该地区的地面沉降速率地面沉降受第四系地层沉积影响较小，主要原因是第四系地层厚度的沉积是经历了漫长的沉积作用，有着较好的稳定性。

### 4.2.2. 月降水量

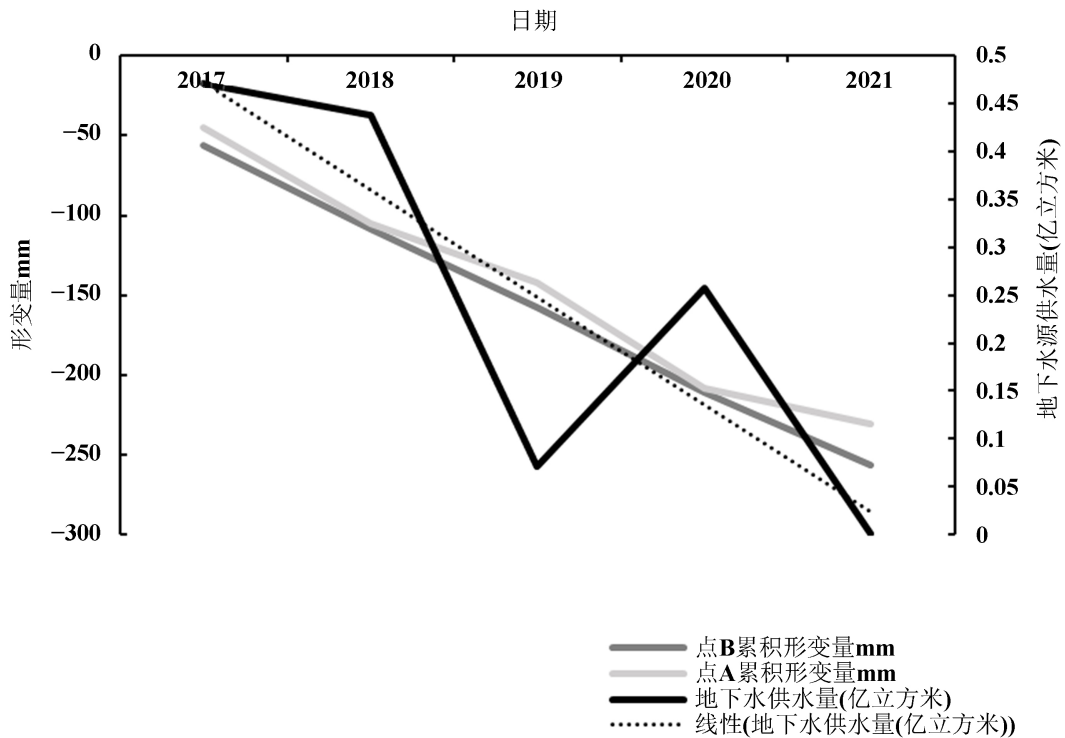
为探究降水量对地面沉降的影响，分别对图3中点A与点B所在区域的月降水量栅格数据以及累积形变量数据进行提取，A、B两点月降水量与对应累积形变量之间的关系如图5所示。

点A与点B位置区域的地面沉降呈线性变化。其中，7~8月份地面沉降速率变小，8月份后沉降量则继续增大。因此，月降水量的增加反而能够在一定程度上减缓沉降的发生，月降水量的变化并不能影响整体沉降趋势。



**Figure 5.** The correlation trend between the cumulative shape variables of points A and B and monthly precipitation  
**图 5.** 点 A、B 累计形变量与月降水量的相关趋势

### 4.2.3. 地下水



**Figure 6.** The trend of cumulative shape variables and groundwater supply  
**图 6.** 累积形变量与地下水源供水量的趋势

如图 6 所示, 2018~2019 年, 地下水源供水量迅速减少阶段, A 点区域地面沉降累计形变量仍增加但速率减小, B 点区域地面沉降速率变化平稳; 2019~2020 年地下水源供水量增加阶段, A 点区域形变速率增加, B 点区域沉降速率平稳; 2020 年~2021 年地下水源供水量减少阶段, A 和 B 点区域的沉降速率均发生了减小。

## 5. 结束语

利用 PS-InSAR 和 SBAS-InSAR 技术对 2017~2021 年期间该地区进行地面沉降监测和分析, 主要研究结论如下:

1) 该地区东北部地区与西南部地区沉降情况严重, 中部地区沉降相对稳定, 西部地区沉降变化较小。重点沉降区域主要集中在东北部的杨家泊镇和寨上街道交界地区以及西南部的中塘镇和北大港水库附近。其中, 最大抬升速率为 40 mm/y, 最大沉降速率为-130 mm/y, 最大累计沉降量达到-411 mm。

2) 地面沉降速率受第四系地层沉积影响较小; 月降水量变化并不能影响整体沉降趋势, 但月降水量的增加却能够在一定程度上减缓短时间内沉降的变化; 地下水源供水量的增加则会加剧原有的沉降速率且二者呈正相关关系, 相关性分别达到了 0.783、0.833, 为地面沉降主要驱动因素。

## 参考文献

- [1] 李金超, 高飞, 鲁加国, 等. 基于 SBAS-InSAR 和 GM-SVR 的居民区形变监测与预测[J]. 大地测量与地球动力学, 2019, 39(8): 837-842.
- [2] 杨成生, 李晓阳, 张勤, 等. 基于 InSAR 技术的尼泊尔辛杜帕尔乔克区震后滑坡监测与分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, 48(10): 1684-1696.
- [3] Ferretti, A., Prati, C. and Rocca, F. (2001) Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **39**, 8-20. <https://doi.org/10.1109/36.898661>
- [4] Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., et al. (2002) A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **40**, 2375-2383. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.803792>
- [5] Usai, S. and Klees, R. (1999) SAR Interferometry on a Very Long Time Scale: A Study of the Interferometric Characteristics of Man-Made Features. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **37**, 2118-2123. <https://doi.org/10.1109/36.774730>
- [6] 刘胜男, 陶钧, 卢银宏. 地面沉降监测多源数据融合分析[J]. 测绘通报, 2020(12): 46-49.
- [7] 金鑫田, 王世杰, 张兰军, 等. 基于 InSAR 技术门源地震地表形变监测与分析[J/OL]. 自然资源遥感, 2023: 1-9. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1759.p.20230619.1030.022.html>, 2024-02-27.
- [8] 张剑, 柯宝贵, 刘同木, 等. 利用时序 InSAR 监测兰州市中心城区地面沉降[J]. 测绘科学, 2021, 46(1): 99-107+161.
- [9] 刘辉, 徐心月, 陈蜜, 等. 秦皇岛段明长城时序 InSAR 遥感动态监测[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(2): 202-211.
- [10] Aditiya, A., Takeuchi, W. and Aoki, Y. (2017) Land Subsidence Monitoring by InSAR Time Series Technique Derived from ALOS-2 PALSAR-2 over Surabaya City, Indonesia. *The 5th Geoinformation Science Symposium 2017 (GSS 2017)*, Yogyakarta, Indonesia, 27-28 September 2017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012010>
- [11] 欧阳梓铭, 左小清, 李勇发, 等. 基于 SBAS-InSAR 技术的阿海电站滑坡形变监测可靠性分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2023, 43(11): 1117-1122.
- [12] 赵霞, 马新岩, 余虔, 等. 高分辨率 InSAR 技术在北京大兴国际机场形变监测中的应用[J/OL]. 自然资源遥感, 2023: 1-10. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1759.p.20230830.1154.016.html>, 2023-10-17.
- [13] 石银涛, 胡超, 赵钢, 等. PS-InSAR 技术在长江堤防沉降监测中的应用[J]. 测绘通报, 2023(7): 142-148.
- [14] 曾学宏, 赵义花. 利用 SBAS-InSAR 技术分析西宁市地面沉降监测及驱动因素[J]. 测绘通报, 2022(6): 137-142.
- [15] 宋宇, 张永红, 吴宏安, 等. 结合 InSAR 和独立成分分析的衡水市地面沉降研究[J]. 测绘科学, 2023, 48(7): 155-162.
- [16] 张庆洁, 赵争, 贾李博, 等. 黄河三角洲地面沉降现状及影响因素分析[J]. 测绘科学, 2022, 47(12): 165-173.