

基于 PS-InSAR 的塔里木某油田沉降监测

胡云亮 王新 何贤宏 李张
西南石油大学 土木工程与建筑学院
DOI:10.32629/gmsm.v2i3.160

[摘要] 塔里木油田被誉为“中国西部的能源经济动脉”,具有丰富的石油等矿产资源。长期大规模的石油开采显著降低储层孔隙压力,导致该地区出现明显沉降,为了定性和定量地分析该区域的地表形变特征,本文选用 2017~2018 年间 Sentinel-1A 卫星 C 波段 30 幅 SAR 影像数据,利用 GAMMA 软件结合自己的图像处理算法,采用 PS-InSAR 技术处理数据,得出该区域年均沉降速率和特征点时序沉降结果,并根据此结果采取进一步分析。

[关键词] PS-InSAR; 沉降监测; 石油开采

石油天然气能源作为全世界的工业的命脉,为人类文明的进步做出了突出贡献,成为了众多国家的战略储备资源。石油开采过程中的地表沉降会导致油田显著的水平垂直位移,破坏相关设备和管道,严重影响石油开采安全和开采效率。

目前,国内外对石油开采导致的油田地表沉降研究较少,姜岩、田红等人基于油田常规机理分别建立了各自的油田沉降预测模型,并进行相关实例研究。传统的水准测量和普通的 GPS 技术虽然观测精度较高,但观测对象均为离散点,无法对沉降缓慢的油田进行大范围长期累积的观测。

本文主要针对塔里木某油田开采区进行沉降监测,利用 SAR 影像,获取该区域的干涉结果,利用 PS-InSAR 算法程序进行数据处理,得到了该区域的沉降结果和特征点的精确时序图,并做出分析。

1 PS-InSAR 技术介绍

PS-InSAR (Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar, 永久散射体合成孔径雷达干涉测量) 技术核心分为两步,一是地面永久散射体的选取和布置,二是使用合成孔径雷达影像进行差分干涉得到永久散射体的差分相位,通过分析差分干涉相位可得到形变情况,对相关数据进行演算,从而实现形变监测、灾害预警等一系列的功能。

在差分干涉图中,沿两个相邻 PS 点连接而成的网络连接边的差分干涉相位增量为:

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda R \sin\theta} \cdot \bar{B}_i^L \cdot \Delta\varepsilon + \frac{4\pi}{\lambda} \cdot T_i \cdot \Delta v + \Delta\phi_i^{res} \quad \text{* MERGEFORMAT (1)}$$

式中,是两个 PS 点的空间基线平均值,和是传感器到地面目标的距离和雷达波入射角的平均值,均为已知量;和分别是两个 PS 点间的高程修正差和 LOS 方向的形变速率差,为待定参数;是两个 PS 点间残余相位差。

对待定参数求解转化为目标函数优化问题,即:

$$\gamma = \left| \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\cos\Delta\phi_i + j \sin\Delta\phi_i) \right| = \text{maximum} \quad \text{* MERGEFORMAT (1)}$$

式中,称为网络边的模型相关系数 (Model Coherence, MC), $j = \sqrt{-1}$, $j = \sqrt{-1}$ 表示观测值与拟合值之差:

$$\Delta\phi = \Delta\phi_i - \frac{4\pi}{\lambda R \sin\theta} \cdot \bar{B}_i^L \cdot \Delta\varepsilon - \frac{4\pi}{\lambda} \cdot T_i \cdot \Delta v \quad \text{* MERGEFORMAT (1)}$$

分析表明,时,求解有效,筛选小于 0.45 的弧以及由此产生的孤立 PS 点。由于大量多余观测数产生误差,决定采用区域网最小二乘平差消除基线观测几何矛盾,进一步解算每个点上的形变速率;与其时间滤波获取的非线性形变相互叠加,得到形变时间序列。数据处理流程图如图 1 所示:

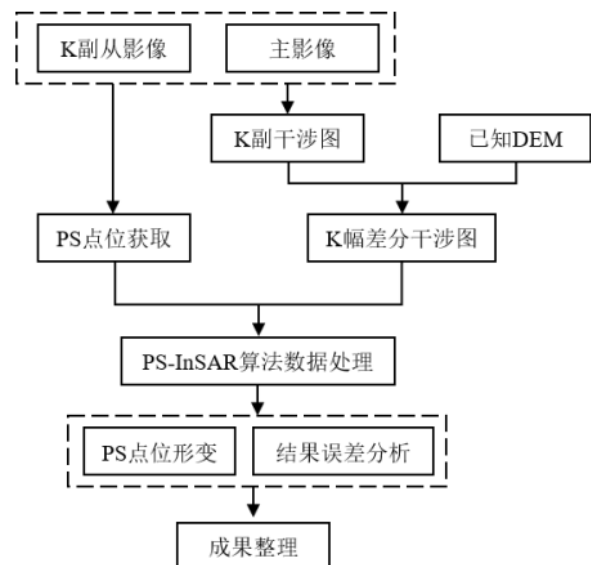


图1 数据流程处理图

2 数据处理及结果分析

2.1 研究区域和实验数据概况

试验区地处 81.43°E~81.59°E, 41.67°N~41.79°N, 东西宽约 20km, 南北长约 15km, 地势趋于西北高东南低, 呈倾斜状, 平均海拔约 1500 米。随着石油开采等资源开发, 造成了该区域产生明显的地表形变, 但截至目前, 该区域还没有相关的形变定量探测结果, 因此本文选用此区域作为试验区, 覆盖范围如图 2 黄色虚线框所示。

选用 30 景 C 波段 Sentinel-1A 卫星影像的时间跨度为 2017.09~2018.10, 影像格式为单视复数 (SLC) 影像。

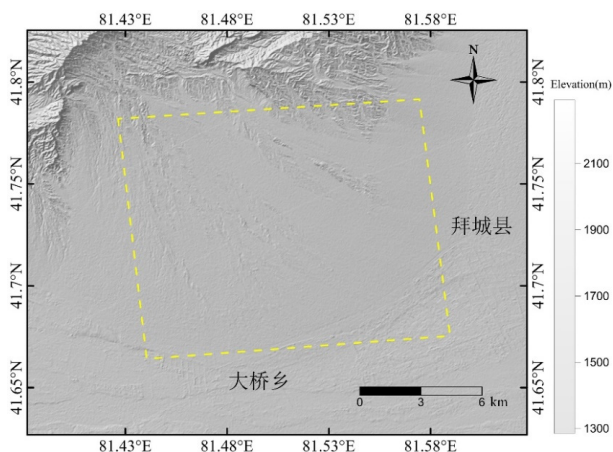


图2 研究区域范围

2.2 属于处理与分析

本文基于 GAMMA 软件和 PS-InSAR 技术进行数据处理, 选取 1 景主影像, 与其余 29 景从影像进行配准形成干涉对, 以相位差分分别处理各个干涉对, 获得差分干涉相位图。根据试验区中相干点目标的散射特性, 从干涉图中提取相干点目标, 共得到大约 15 万个候选点目标。经 PS-InSAR 解算得到试验区年均沉降速率结果, 与可见光影像叠加, 得到成果图, 如图 3 所示:

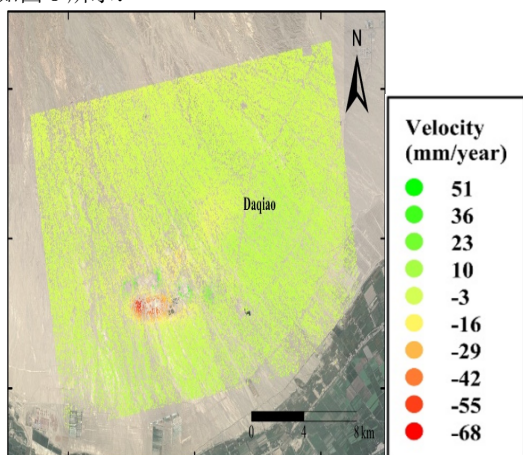


图3 石油开采区的地表沉降结果

图 3 中, 黄、红色标表示沉降量每年增加速率, 绿色标表示高程每年增加速率。由图可知, 该区域 2017~2018 年间, 其沉降区域主要分布在实验区西南部南北长约 1.5km, 东西宽约 2km 的某开采区, 红色区域沉降速率较大, 最大达 60mm/year; 绿色区域出现了地表抬升的情况, 最大达 51mm/year; 其余大部分呈黄色区域, 沉降速率趋于缓慢, 试验区总体沉降情况较为复杂。

为进一步定量分析 2017~2018 年各时间段的地面沉降变化, 对图 3 中的沉降区域选取了 8 个特征点, 进行分析得出

形变时间序列图, 如图 4 所示。由此可知, 该试验区地面形变大部分发生在石油开采区域, 经过分析数据发现, 特征区域在 2017 年 10 月至 2018 年 9 月间累积沉降接近 50mm, 且其逐渐积累, 不可避免地导致一系列沉降灾害, 破坏石油开采设备和管道, 影响生产进度, 造成生命财产资源等损失。

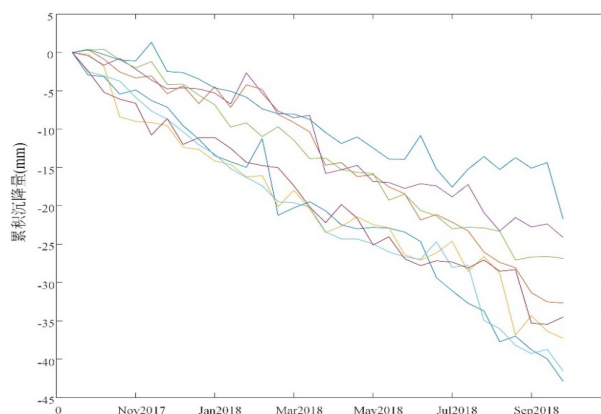


图4 八处沉降区域特征点时序沉降结果

3 结束语

本文采用 PS-InSAR 技术对塔里木盆地北缘某油田区域 2017~2018 年间的 30 景 C 波段 Sentinel-1A 卫星 SAR 影像数据进行处理, 获取了试验区域的形变结果, 得到其近两年的地面沉降时间序列, 沉降明显区域累积沉降量最大超过 40mm; 在沉降漏斗区域外围存在部分抬升区域, 可能是由于注水所引起; 分析时序沉降图特征可知, 地面沉降从 2017 年至 2018 年逐年累加。研究结果表明, 采用时序 PS-InSAR 技术可同时监测沉降和抬升情况, 对研究油田区域石油开采和沉降防控具有重要意义。

[参考文献]

- [1]张文昭.美国威明顿油田地面下沉与防治[J].中国矿业,2000,9(5):14-19.
- [2]姜岩,田茂义.石油与天然气开采引起的地表下沉预测[J].辽宁工程技术大学学报,2003,22(6):746-748.
- [3]田红,邓金根,周建良,等.石油开采引起的油藏压实与地面沉陷预测[J].岩土力学,2005,26(6):929-931.
- [4]李德仁.InSAR 技术进步与地面沉降监测应用[J].上海国土资源,2013,34(4):1-6.
- [5]张瑞.基于多级网络化的多平台永久散射体雷达干涉建模与形变计算方法[D].西南交通大学,2012,(10):147.

项目信息:

2018 年西南石油大学土木工程与建筑学院“大学生科技创新基金”项目; 2019 年第十六届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛项目。