

Summary of Application of D-InSAR Technology in Oilfield Settlement Monitoring

Puying Du*, Lunchao Chen#, Jie Tian, Yirong Yuan

School of Civil Engineering and Architecture, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan
Email: 2310717885@qq.com, #chao166332@163.com

Received: Apr. 4th, 2019; accepted: Apr. 19th, 2019; published: Apr. 26th, 2019

Abstract

This paper summarizes the application of differential synthetic aperture radar interferometry (D-InSAR) technology in oil field subsidence monitoring, gives its research results, application value and practical significance. We briefly analyze the problems existing in the application of D-InSAR technology in oil field subsidence monitoring, and look forward to its future development trend and prospects, thus putting forward new research proposals, views and research contents.

Keywords

D-Insar, Oil Field Deformation Monitoring, Application, Review

D-InSAR技术在油田沉降监测中的应用综述

杜蒲英*, 谌伦超#, 田 洁, 袁艺溶

西南石油大学土木工程与建筑学院, 四川 成都
Email: 2310717885@qq.com, #chao166332@163.com

收稿日期: 2019年4月4日; 录用日期: 2019年4月19日; 发布日期: 2019年4月26日

摘 要

本文综述了差分合成孔径雷达干涉测量(D-InSAR)技术在油田形变监测中的应用, 通过联系其发展历史与研究现状, 总结其研究成果及应用价值、实际意义, 简要分析该技术在油田形变监测应用中存在的问题, 并对其今后的发展趋势和前景进行展望, 从而提出新的研究设想与研究内容。

*第一作者。

#通讯作者。

关键词

D-InSAR, 油田沉降监测, 应用, 综述

Copyright © 2019 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

国家油气资源的开发过程中有着许多的安全问题, 例如油气田的地质沉降, 该问题会带来油气田的开采进度减缓、油气田周围地质变化等一系列影响[1]-[6], 这些影响会给国家经济带来显著的经济损失。为了解决该问题, 避免油气田地面沉降给国家带来一系列经济、资源、生命财产安全损失, 油气田地面沉降进行监测具有重要的现实意义。

D-InSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar, 差分雷达干涉)技术是通过两个卫星信号源得到的相位图进行差分干涉从而得到反映该区域形变的相位信息, 经后续处理提取形变。其优越性在于空间分辨率高、监测范围广、效率高[1]-[21]。高分辨率 SAR 的投入使用使得监测精度进一步提高。在油田沉降监测方面, D-InSAR 也表现出了良好的潜力[1]-[14]。本文主要介绍了 D-InSAR 应用于油田沉降监测的发展历史、研究现状、所存在的问题以及发展前景。

2. D-InSAR 应用于油田沉降监测的发展历史

随着雷达技术的不断发展, 国外学者不断拓展其在各领域的研究与应用, 1997 年, Kooij [1]首次将 D-InSAR 应用于油田沉降监测, 采用多个 ERS 干涉对获取了洛斯特希尔斯油田不同时期的沉降信息。Fielding 等[2]于 1998 年采用 D-InSAR 方法分别获取了美国贝尔里奇油田和洛斯特希尔斯油田的沉降, 该区域在 35 天内最大沉降量高达 40 mm。这些早期应用为 D-InSAR 油田沉降监测指明了方向。在国内, D-InSAR 应用于油田沉降监测的研究起步较晚。2014 年, 孙等[4]采用斯坦福 PS 干涉(StaMPS)方法[5]获取了辽宁盘锦某油田地区的沉降, 最大年沉降速率高达 194 mm/年。2016 年, Ji 等[6]采用 SBAS 方法对新疆克拉玛依油田进行沉降监测, 并基于弹性半空间理论和 Okada 模型反演了储层几何参数。最近几年间, 国内关于 D-InSAR 油田沉降监测的研究逐渐崭露头角, 相关研究受到更多关注。

3. 研究现状

3.1. 国外研究现状

国际上 D-InSAR 技术很早便应用在油田形变监测中, 近年来更是发展迅猛。2001 年 Xu 等[3]基于 D-InSAR 在时间和空间上监测了相同两个油田的地面沉降, 使用一种新的算法, 得出在进行观测的 105 天里, 洛斯特希尔斯油田沉降达到了 15 cm。将结果与传统方式即通过储层参数和石油工程地质力学模型模拟的沉降值进行对比, 根据生产资料模拟的表面变形计算得到的理论沉降与 D-InSAR 测量值相匹配, 这一结果表明, 油气产量与地表沉降可以定量联系, 即原则上可利用 D-InSAR 进行储层参数的研究, 将物理建模应用于解释 D-InSAR 数据有助于确定重要的储层性质和地下流体运动。2002 年, Vasco 等[10]基于 D-InSAR 沉降监测结果反演了油田储层的压强变化、渗透率和监测周期内的储量变化, 开启了 D-InSAR 在储层物理状态参数反演中的应用。后续研究开始逐渐转向时序 D-InSAR 的应用[4] [6] [7] [8] [9]。

3.2. 国内研究现状

国内采用 D-InSAR 相关方法研究油气田沉降起步较晚,但是发展较为迅速。2014 年,孙等[4]采用斯坦福 PS 干涉(StaMPS)方法[5]获取了辽宁盘锦某油田地区的沉降,最大年沉降速率高达 194 mm/年。2016 年, Ji 等[6]采用 SBAS 方法对新疆克拉玛依油田进行沉降监测,并基于弹性半空间理论和 Okada 模型反演了储层几何参数。蒋等[7]于 2016 年提出一种基于分布式目标和 PS 目标联合分析的时序 D-InSAR 方法,并应用于美国加州 Lost Hills 油田沉降监测。Aimaiti 等[8]于 2017 年同时利用 SBAS 干涉方法和 StaMPS 方法获取了克拉玛依油田沉降,并对结果进行了对比分析。2017 年, Sun 等[9]基于 StaMPS 方法获取了我国辽河油田的沉降信息,并基于弹性半空间理论和 Okada 模型反演了储层几何参数。李乃一等[13]以时序 D-InSAR 为基础,获取胜利油田的 ALOS 卫星对地观测影像,建立了胜利油田的沉降时间序列与速率关系模型,并成功监测到 2007~2011 年间胜利油田的沉降。

4. D-InSAR 在油田沉降监测应用中的不足

油田沉降具有缓慢性、长期性和积累性的特点,需要借助高精度、实时性和大区域测量的技术手段[14]。正是在这种形式下,对 D-InSAR 技术的需求逐渐被凸显出来。但是, D-InSAR 在油田沉降监测应用中尚存在一些不足之处。

针对技术需求的特点来说, D-InSAR 在干涉失相干方面的空间基线和时间基线难以把握[15],这也是引起干涉失相干的两个最主要因素,在目前的研究体系中,基线问题并没有像数据处理那样形成一套完整的理论体系。由于电磁波在对流层和电离层中受到离子和其他介质的影响,且无法估算大气相位, D-InSAR 形变信息处理结果中含有大气相位成分,导致这种形变测量结果可靠性降低[16] [17] [18] [19]。卫星在运行中受到摄动力的作用,导致计算得到的卫星位置与成像时卫星位置存在一定的误差,即轨道误差。在“二轨” D-InSAR 中,要借助外部 DEM 去除地形相位, DEM 误差对结果有一定影响。

此外, D-InSAR 技术在一定程度上要达到实时性,不仅需要卫星实时获取影像,还需要建立一套完整的具有数据高效传输、高精度处理和及时分析决策功能的系统。而这种类型的系统目前国内尚没有出现,且由于石油是国家战略性资源,不能借助国外的系统进行处理。而只有针对大区域范围的测量, D-InSAR 才能够达到一定的实时性,在一定程度上也限制了 D-InSAR 技术的推广与运用。

油田沉降监测还需要适应另一项任务——储层参数反演和分析。虽然 D-InSAR 在储层参数反演和分析中具有较好的可行性,但因其受各种因素的影响沉降监测精度不高,为反演储层几何形态信息和物理参数信息增加了一定的难度。

5. 结论与展望

各个国家的实证研究表明, D-InSAR 作为先进的空间对地观测技术,具有高空间分辨率、高精度、监测范围广等优势,是当今地学界先进的基于面观测的地表形变监测手段。但其仍存在一些尚未解决的问题,因此需要再结合传统水准测量、GPS 测量以及新发展起来的先进技术,才能获取精度更高、质量更好的油田沉降信息,进而更有效地进行油田监测。

D-InSAR 在区域形变监测的应用推广中,其主要限制因素有干涉失相干和大气效应两大类,而永久散射体雷达干涉(Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Rader, PS-InSAR)技术在一定程度上克服了时空间失相关[14]和大气效应[20]的问题,在理论上可以达到毫米级精度,非常适合于对地下水、矿产及油气田等过度开采和利用导致的地表沉降进行监测。随着合成孔径雷达技术的推广应用,该技术已经成为各国的测量研究发展的重要方向之一。近年来,各国遥感卫星发射频繁,星载 SAR 技术不断更

新, 其数据数量随之上升, 相应的数据质量也逐步提升, 而这些势必会进一步推动 D-InSAR 技术在油气田沉降监测的应用[21]。

结合近年来国内外对 D-InSAR 基本原理的研究与该技术在地表形变监测的应用成果进行分析, 选取合适的数据处理方法、加强与 GPS 的融合程度是提高 D-InSAR 监测结果精度的重要手段。同时, 基于 D-InSAR 技术的全天候、全天时观测与空间分辨率高的优势, 相信由“地表观测量”揭示“地下动态开采过程”将会是未来 D-InSAR 技术应用于油气田沉降监测的研究重点, 利用 D-InSAR 技术对油气田进行沉降监测及储层参数反演, 可为油气田安全监测、储层健康状况检测及开采过程管理提供科学的依据。

基金项目

本文获得 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资助。

参考文献

- [1] Kooij, M. (1997) Land Subsidence Measurements at the Belridge Oil Fields from ERS InSAR Data. *Proceedings of the Third ERS Symposium*, Florence, 1853-1858.
- [2] Fielding, E.J., Blom, R.G. and Goldstein, R.M. (1998) Rapid Subsidence over Oil Fields Measured by SAR Interferometry. *Geophysical Research Letters*, **25**, 3215-3218. <https://doi.org/10.1029/98GL52260>
- [3] Xu, H., Dvorkin, J. and Nur, A. (2001) Linking Oil Production to Surface Subsidence from Satellite Radar Interferometry. *Geophysical Research Letters*, **28**, 1307-1310. <https://doi.org/10.1029/2000GL012483>
- [4] 孙赫, 张勤, 杨成生, 赵超英. PS-InSAR 技术监测分析辽宁盘锦地区地面沉降[J]. 上海国土资源, 2014, 35(4): 68-71.
- [5] Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthery, N. and Crippa, B. (2015) Persistent Scatterer Interferometry: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **115**, 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.011>
- [6] Ji, L.Y., Zhang, Y., Wang, Q.L., Xin, Y.L. and Li, J. (2016) Detecting Land Uplift Associated with Enhanced Oil Recovery Using InSAR in the Karamay Oil Field, Xinjiang, China. *International Journal of Remote Sensing*, **37**, 1527-1540. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1154222>
- [7] 蒋弥, 丁晓利, 何秀凤, 李志伟, 史国强. 基于快速分布式目标探测的时序雷达干涉测量方法: 以 Lost Hills 油藏区为例[J]. 地球物理学报, 2016, 59(10): 3592-3603.
- [8] Aimaiti, Y., Yamazaki, F., Liu, W. and Kasimu, A. (2017) Monitoring of Land-Surface Deformation in the Karamay Oilfield, Xinjiang, China, Using SAR Interferometry. *Applied Sciences*, **7**, 1-14. <https://doi.org/10.3390/app7080772>
- [9] Sun, H., Zhang, Q., Zhao, C.Y., Yang, C.S., Sunc, Q. and Chena, W. (2017) Monitoring Land Subsidence in the Southern Part of the Lower Liaohe Plain, China with a Multi-Track PS-InSAR Technique. *Remote Sensing of Environment*, **188**, 73-84. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.037>
- [10] Vasco, D.W., Karasaki, K. and Nakagome, O. (2002) Monitoring Production Using Surface Deformation: The Hijiori Test Site and the Okuaizu Geothermal Field, Japan. *Geothermics*, **31**, 303-342. [https://doi.org/10.1016/S0375-6505\(01\)00036-0](https://doi.org/10.1016/S0375-6505(01)00036-0)
- [11] 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.
- [12] 田红, 邓金根, 周建良. 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.
- [13] 李乃一, 伍吉仓. 基于时序 InSAR 技术监测胜利油田地表沉降[J]. 工程勘察, 2018(5): 50-54.
- [14] 刘国祥, 等. 永久散射体雷达干涉理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [15] 于冰. 高分辨率相干散射体雷达干涉建模及形变信息提取方法[D]: [博士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- [16] Hanssen, R.F., Weckwerth, T.M., Zebker, H.A. and Klees, R. (1999) High-Resolution Water Vapour Mapping from Interferometric Radar Measurements. *Science*, **283**, 1295-1297.
- [17] Li, Z., Muller, J. and Cross, P. (2003) Comparison of Precipitable Water Vapor Derived from Radiosonde, GPS, and Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer Measurements. *Journal of Geophysical Research*, **108**. <https://doi.org/10.1029/2003JD003372>

-
- [18] Li, Z.W., Ding, X.L. and Liu, G.X. (2004) Modeling Atmospheric Effects on InSAR with Meteorological and Continuous GPS Observations: Algorithms and Some Test Results. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **66**, 907-917. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2004.02.006>
- [19] Ding, X.L., Li, Z.W., Zhu, J.J., Feng, G.C. and Long, J.P. (2008) Atmospheric Effects on InSAR Measurements and Their Mitigation. *Sensors*, No. 8, 5426-5448. <https://doi.org/10.3390/s8095426>
- [20] Massonnet, D. and Feigl, K.L. (1998) Radar Interferometry and Its Application to Changes in the Earth's Surface. *Reviews of Geophysics*, **36**, 441-500. <https://doi.org/10.1029/97RG03139>
- [21] 高文峰, 甘俊, 王长进. DInSAR 沉降监测技术在铁路勘察设计中的应用[J]. 遥感信息, 2015, 30(5): 83-87.

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: 2329-549X, 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: gst@hanspub.org