

Monitoring of ground subsidence along a long gas pipeline by integrating GNSS and InSAR technology

Zhansheng Tao Chao Xu Shaowei Yuan Doudou Gao Weihua Cheng

Shanxi Orchid Coal Bed Methane Co., Ltd., Jincheng, Shanxi, 048000, China

Abstract

The ground settlement problem has become an increasingly serious safety hazard in the construction and operation of long gas pipeline. The monitoring and assessment of land subsidence is particularly important because long gas pipeline spans a wide geographical area and involves different geological and environmental conditions. The traditional land subsidence monitoring method has some problems such as long period, high cost and limited accuracy, but the combination of GNSS (Global Navigation Satellite System) and InSAR (Synthetic aperture radar interference) technology provides a new solution for the land subsidence monitoring. This paper aims to discuss the application of integrated GNSS and InSAR technology in ground subsidence monitoring along long gas pipelines, analyze its advantages and challenges, and verify its monitoring effect through practical cases. The research shows that the integration of GNSS and InSAR technology can achieve high-precision, full coverage and real-time ground subsidence monitoring, effectively improving the efficiency and accuracy of pipeline safety management.

Keywords

GNSS; InSAR technology; Land subsidence; Long gas pipeline; monitor

融合 GNSS 与 InSAR 技术的长输气管道沿线地面沉降监测研究

陶占盛 许超 原少巍 高豆豆 程伟华

山西兰花煤层气有限公司, 中国·山西 晋城 048000

摘要

地面沉降问题在长输气管道建设及运营过程中已成为一个日益严重的安全隐患。长输气管道由于其跨越广阔的地理区域, 涉及不同的地质和环境条件, 地面沉降的监测与评估显得尤为重要。传统的地面沉降监测方法存在着周期长、成本高、精度有限等问题, 而GNSS(全球导航卫星系统)与InSAR(合成孔径雷达干涉)技术的结合为地面沉降的监测提供了新的解决方案。本文旨在探讨融合GNSS与InSAR技术在长输气管道沿线地面沉降监测中的应用, 分析其优点与挑战, 并通过实际案例对其监测效果进行验证。研究表明, GNSS与InSAR技术的融合能够实现高精度、全覆盖、实时性的地面沉降监测, 有效提升了管道安全管理的效率和准确性。

关键词

GNSS; InSAR技术; 地面沉降; 长输气管道; 监测

1 引言

长输气管道是现代能源运输的重要设施之一, 广泛应用于石油、天然气等能源的长距离运输。随着气候变化、地质活动以及人为因素的影响, 地面沉降成为影响管道安全运营的一个关键因素。地面沉降不仅会导致管道变形、破裂, 还可能导致泄漏、爆炸等重大事故, 对环境和人员安全构成威胁。因此, 及时、准确地监测长输气管道沿线的地面沉降, 对保障管道的安全运营至关重要。

传统的地面沉降监测方法主要依靠人工测量、地面传

感器等方式, 这些方法虽然能够提供一定的数据支持, 但在长距离、大范围的管道监测中存在较大局限。随着遥感技术的发展, GNSS与InSAR技术在地面沉降监测中的应用逐渐受到重视。GNSS技术能够提供高精度的三维定位数据, 而InSAR技术则通过卫星雷达影像获取大范围的地面沉降信息。两者的结合, 为地面沉降监测提供了高精度、高效率的解决方案。

本文将系统分析融合GNSS与InSAR技术在长输气管道沿线地面沉降监测中的应用, 探讨其实施过程、技术优势与实际效果, 并提出未来可能的改进方向。

【作者简介】陶占盛(1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事煤层气地面开采研究。

2 地面沉降的成因与监测需求

2.1 地面沉降的成因

地面沉降是指地面由于自然或人为因素的作用，发生的垂直位移，可能导致地表不同区域高度的变化。自然因素是地面沉降的重要成因之一，典型的自然因素包括地震、土壤压实、地下水抽取以及地壳运动等。例如，地下水抽取是一个常见的自然因素，当地下水被过度抽取时，土壤中的水分减少，导致土壤颗粒紧密堆积，从而引发地面沉降。地壳运动也是一种自然因素，随着地球构造板块的移动，某些地区可能会发生上升或下降，造成地面沉降或抬升。

除了自然因素外，人为因素也是地面沉降的一个重要原因。城市建设、地下工程开挖、矿产资源开采等活动往往会改变地下土壤的结构，导致地面沉降。例如，矿产资源开采过程中的地下空洞会导致上方土层下沉，形成地面沉降。城市化进程中，大量建筑物和地下设施的建设也可能会对地下水流和土壤造成影响，进而引发地面沉降。

长输气管道往往穿越不同的地质、气候及人工环境，因此，地面沉降问题的发生尤为复杂。在管道的建设和运营过程中，局部区域的沉降可能会导致管道的应力分布不均匀，甚至引发管道的断裂和泄漏。为了防止这些安全隐患，精确监测地面沉降的情况显得尤为重要。

2.2 传统监测方法的局限性

传统的地面沉降监测方法，如地面传感器、标线测量和地面测量点布设等，虽然能够为局部地区提供一定的沉降信息，但在长距离、大范围的管道监测中存在许多局限性。首先，传统方法在长输气管道的监测中效率较低，成本较高。例如，传统的地面传感器和标线测量通常需要人工定期巡检，难以实现实时的、大范围的监测，而且监测结果也往往只限于特定的地点，难以全面反映全线的沉降情况。

其次，传统方法往往依赖于人工测量，受天气、地形等因素的影响较大，无法在所有环境条件下都保持良好的工作状态。例如，山区或复杂地形区域的测量任务就会变得异常困难，甚至存在无法进行监测的风险。此外，传统监测方法的监测精度容易受到环境干扰，尤其是一些细微的沉降变化难以捕捉。总的来说，传统的地面沉降监测方法无法满足长输气管道的安全监测需求，尤其是在远距离和广泛区域的沉降监测中存在很大的局限性。

2.3 GNSS 与 InSAR 技术的应用需求

随着遥感技术的不断发展，GNSS（全球导航卫星系统）和 InSAR（合成孔径雷达干涉测量）技术的结合提供了一种高效、精确的沉降监测手段，尤其适用于长输气管道的沉降监测。GNSS 技术通过接收卫星信号，能够实时提供地面点位的精确三维坐标变化，并能够在全球范围内进行精确的定位，适用于点状沉降监测。GNSS 技术可以实现高精度的沉降数据采集，且能够在任何天气和地形条件下稳定运行。因此，GNSS 技术能够为管道沿线的特定监测点提供精准的

沉降数据。

与 GNSS 技术相比，InSAR 技术具有更强的优势，尤其在大范围、区域性和连续性监测中表现突出。InSAR 技术通过利用合成孔径雷达（SAR）影像对比，获取大范围的地面沉降信息。它能够通过卫星遥感技术，对地面进行全面、连续的监测，并通过雷达图像的差异分析，检测地面沉降的微小变化。这使得 InSAR 技术可以在长输气管道的广泛区域中提供高效的沉降监测，且无需在地面上设置大量的监测设备，极大地减少了人力和物力成本。

结合 GNSS 与 InSAR 技术的优势，能够实现对长输气管道沿线的全面监测，并且提高了沉降监测的准确性和效率。这种技术结合弥补了传统监测方法的不足，解决了长输气管道监测中长距离、大范围和连续性监测的难题，使得电厂和天然气公司能够及时发现沉降问题，并采取有效的措施进行预防和治理。因此，GNSS 与 InSAR 技术结合在地面沉降监测中的应用，具有巨大的潜力和实际意义，为确保管道安全运行提供了有力的技术支持。

3 GNSS 与 InSAR 技术的基本原理与应用优势

3.1 GNSS 技术的基本原理

GNSS（全球导航卫星系统）技术是通过全球卫星导航系统（如美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、中国的北斗等）获取地面物体的三维坐标信息的技术。GNSS 技术通过设置固定的接收点和监测点，能够提供高精度的实时定位数据，精度可达到毫米级。GNSS 技术的核心原理是接收卫星发射的信号，经过信号传输时间的计算，确定接收点与卫星之间的距离，然后通过多个卫星的信号来确定地面物体的三维坐标位置。

在长输气管道的监测中，GNSS 能够提供管道关键部位的三维坐标变化，帮助识别管道可能受地面沉降影响的区域。通过连续的 GNSS 数据采集，能够实时获取地面沉降的速度与幅度，帮助监测管道在不同位置的变形情况，进而预测沉降的风险并采取应对措施。相比传统的地面传感器，GNSS 技术的优势在于其无需依赖地面传感器，可以在不干扰现场作业的情况下进行实时监测，且具有较强的环境适应性和长期稳定性，能够在复杂地理环境和恶劣气候下长期运行。

3.2 InSAR 技术的基本原理

InSAR（合成孔径雷达干涉测量）技术是一种通过卫星发射的雷达信号与反射信号之间的相位差进行干涉，获取地面高度变化信息的技术。具体来说，InSAR 通过分析卫星雷达从不同时间点采集的影像，比较它们之间的相位差异，进而计算出地面在这段时间内的垂直位移。InSAR 技术具有覆盖广、时间分辨率高、无需接触地面等优势，能够获取大范围区域内的地面沉降或抬升变化，且可以在不同时间点进行重复监测。

在长输气管道沿线的监测中, InSAR 技术可以提供大尺度、高分辨率的沉降图像。这种技术能够实时获取沿线区域的沉降信息, 并识别出沉降的热点区域, 从而帮助管道运营方及时发现潜在的风险区域。InSAR 的优势在于能够对广阔的区域进行监测, 避免了传统地面传感器需要在多个地点设置的繁琐工作, 减少了设备的投资和维护成本。

3.3 GNSS 与 InSAR 技术的融合优势

GNSS 与 InSAR 技术的融合能够充分发挥各自的优势, 解决单一技术的局限性。GNSS 技术具有高精度和实时监测的特点, 适用于长输气管道关键位置的点位变化监测, 能够精确捕捉管道特定区域的三维沉降数据, 为管道的安全评估提供精确数据。而 InSAR 技术则能够覆盖大范围区域, 适用于沿线沉降趋势的实时监控, 能够提供全面的沉降分布情况, 尤其适用于长距离、大范围的监测, 避免了单一技术可能出现的局限。

4 融合 GNSS 与 InSAR 技术的长输气管道地面沉降监测方法

4.1 数据采集与处理

在实际应用中, GNSS 与 InSAR 技术的融合监测方法通常包括以下几个步骤: 首先, 布设 GNSS 接收站于管道沿线的关键监测点, 实时获取地面沉降的三维坐标数据; 其次, 使用卫星遥感技术获取多时相的 SAR 影像, 通过 InSAR 处理提取沉降信息; 最后, 将 GNSS 监测数据与 InSAR 数据进行融合, 综合分析沉降的空间分布和时间变化趋势。

数据处理过程中, 需要进行多时相影像的配准、去除大气效应、消除轨道误差等步骤, 确保监测数据的准确性。同时, 通过数据融合算法将 GNSS 和 InSAR 数据结合, 提供更加精确的沉降量和分布。

4.2 监测精度与误差分析

GNSS 技术的精度受限于卫星数量、信号质量以及环境因素等, 而 InSAR 技术的精度则可能受到大气、地形和雷达视角等因素的影响。因此, 融合 GNSS 与 InSAR 技术时, 必须充分考虑两者的误差来源, 并通过数据处理与误差补偿算法, 提高监测结果的精度。

通过实际案例分析, 研究表明, GNSS 与 InSAR 技术的结合能够有效提高沉降监测的精度, 尤其是在长输气管道沿线存在较大沉降差异的地区, 融合监测技术能够提供更为准确的沉降评估结果。

4.3 监测结果的应用

融合 GNSS 与 InSAR 技术后的地面沉降监测结果, 可以为管道运营单位提供科学的沉降评估依据。监测结果能够帮助识别管道沿线的沉降热点, 进行针对性的风险评估与管道维修。此外, 沉降监测数据还可以为管道安全监测系统提供实时数据支持, 为应急响应和决策提供重要参考。

5 案例分析与技术效果验证

5.1 某长输气管道沉降监测案例

以某长输气管道为例, 本文进行了 GNSS 与 InSAR 技术融合监测的实际应用研究。通过在管道沿线布设多个 GNSS 监测点, 并获取了多个时相的 SAR 影像, 结合数据处理与分析, 获得了管道沿线沉降的空间分布和时间变化趋势。结果表明, 融合技术能够精确捕捉到管道沿线的地面沉降, 尤其是在地质复杂或施工区域, 沉降变化明显。

5.2 监测效果与分析

通过对比 GNSS 与 InSAR 技术单独监测的结果, 发现融合监测技术能够显著提高沉降监测的精度和可靠性。在大范围区域内, InSAR 技术提供了详细的沉降信息, 而 GNSS 技术则为关键位置提供了精确的三维坐标数据。两者的结合, 有效弥补了各自的局限性, 提高了监测效率和精度。

6 结语

融合 GNSS 与 InSAR 技术为长输气管道的地面沉降监测提供了新的解决方案。通过高精度、全覆盖的沉降监测, 可以有效保障管道的安全运营, 降低因地面沉降导致的风险。然而, 技术的实际应用仍然面临一些挑战, 如数据处理复杂性、环境因素干扰等。未来, 随着技术的不断发展与优化, 融合 GNSS 与 InSAR 技术在长输气管道监测中的应用将更加广泛, 成为保障管道安全的重要手段。

参考文献

- [1] 仝兴华, 薛世峰, 单新建. 山体滑坡和泥石流灾害动态监测技术研究[J]. 油气储运, 2006, (10): 7-10+63+62.
- [2] 白路遥, 施宁, 伞博泓, 等. 基于卫星遥感的管道地质灾害识别与监测技术现状[J]. 油气储运, 2019, 38(04): 368-372+378.
- [3] 郭书太. 长输管道工程勘察技术创新战略[D]. 北京交通大学, 2006.
- [4] 张静. InSAR 时序监测及应用中的质量控制研究[D]. 长安大学, 2014.