

Construction and application of long gas pipeline risk warning model driven by GNSS monitoring data

Chao Xu He Cui* Shaowei Yuan Weihua Cheng Doudou Gao

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

Abstract

Long gas pipeline is an important infrastructure for modern energy transmission, and its safe operation is directly related to energy supply and people's life and property safety. With the continuous expansion of the long gas pipeline network, the occurrence frequency of geological disasters and subsidence along the pipeline is gradually increasing, and the traditional risk assessment methods are difficult to meet the requirements of real-time and accuracy. Global Navigation satellite System (GNSS), as a high-precision ground monitoring technology, is widely used in pipeline monitoring, especially in monitoring ground subsidence, pipeline deformation and so on. Based on GNSS monitoring data, this paper constructs a risk early warning model for long gas pipeline, aiming at real-time evaluation and prediction of pipeline risks in a data-driven way to provide timely early warning. Firstly, the application of GNSS monitoring data in pipeline risk assessment is analyzed, and a risk early warning model is established by combining big data analysis technology. It is proved by case application that the model can effectively predict the potential risks along the pipeline and improve the accuracy and timeliness of pipeline management.

Keywords

GNSS; Risk early warning; Long gas pipeline; Data-driven; Pipeline safety

GNSS 监测数据驱动的长输气管道风险预警模型构建与应用

许超 崔詠* 原少巍 程伟华 高豆豆

山西兰花煤层气有限公司, 中国·山西 晋城 048000

摘 要

长输气管道是现代能源输送的重要基础设施, 其安全运营直接关系到能源供应和人民生命财产安全。随着长输气管道网络的不断扩展, 管道沿线地质灾害、沉降等风险的发生频率逐渐增加, 传统的风险评估方法难以满足实时性和准确性的要求。全球导航卫星系统 (GNSS) 作为一种高精度的地面监测技术, 广泛应用于管道监测中, 尤其是在监测地面沉降、管道变形等方面具有显著优势。本文基于GNSS监测数据, 构建了一种长输气管道风险预警模型, 旨在通过数据驱动的方式实时评估和预测管道风险, 提供及时预警。研究首先分析了GNSS监测数据在管道风险评估中的应用, 并结合大数据分析技术, 建立了风险预警模型。通过案例应用验证, 表明该模型能够有效预测管道沿线的潜在风险, 提升管道管理的精确性与及时性。

关键词

GNSS; 风险预警; 长输气管道; 数据驱动; 管道安全

1 引言

长输气管道是现代能源运输的重要枢纽, 广泛应用于石油、天然气等能源的长距离运输。然而, 随着管道规模的扩展以及周围环境的变化, 管道的安全问题日益严峻。地面沉降、管道变形、地质灾害等因素都可能导致管道破裂、泄漏等严重事故, 给环境和社会造成巨大的损失。因此, 如何

高效、精准地进行长输气管道风险评估和预警, 成为能源输送领域的重要课题。

传统的管道风险监测方法多依赖人工巡检和定期检查, 虽然能够发现部分潜在风险, 但由于其监测周期长、效率低, 往往不能及时反映管道风险的变化趋势。随着 GNSS 技术的成熟, 其在地面沉降、管道变形监测中的应用逐渐得到了广泛关注。GNSS 技术通过实时获取管道关键点的位置变化, 能够提供精确的三维位置信息, 为风险评估提供重要数据支持。

本文提出了一种基于 GNSS 监测数据的长输气管道风险预警模型, 结合大数据分析技术, 通过实时监测数据的采集、分析和预测, 提升管道风险管理的实时性和准确性。通过对模型的构建与应用研究, 本文旨在为长输气管道安全管

【作者简介】许超 (1988-), 男, 工程师, 从事煤层气地质及勘探开发研究。

【通讯作者】崔詠 (1997-), 男, 中国山西长治人, 本科, 从事GNSS监测研究。

理提供一种新的数据驱动的风险评估工具。

2 长输气管道风险管理的现状与挑战

2.1 长输管道的主要风险因素

长输管道在建设和运营过程中面临着众多的风险因素，主要可分为自然因素和人为因素两大类。自然因素包括地震、地面沉降、气候变化、洪水等。这些自然因素对管道的影响是多方面的，尤其是在地质复杂的区域，沉降、滑坡等现象频繁发生，容易导致管道的局部变形或破裂。地震可能引发管道的破裂或错位，尤其是在地震频发的地区，管道的抗震设计和防护措施至关重要。此外，气候变化也可能加剧极端天气事件的发生，如暴雨、干旱等，可能导致管道周围土壤的变化，进而影响管道的稳定性。

人为因素方面，施工不当、腐蚀、管道老化等也是常见的风险来源。管道在施工过程中，如果存在施工质量问题，如焊接不牢、管道铺设不平整等，可能会导致管道的变形或损坏。随着管道使用年限的增加，腐蚀问题变得愈加突出，尤其是地下管道，由于外界环境的影响，管道表面会逐渐腐蚀，甚至发生穿孔，导致气体泄漏或爆炸的风险。管道老化是不可避免的过程，当管道达到一定使用年限后，金属疲劳、裂缝和腐蚀等问题的出现，往往是导致事故的关键因素。

在长输管道的建设和运营过程中，必须对这些风险因素进行实时监测、评估和预警，以便及时采取措施，防止突发性风险事件的发生。然而，传统的风险监测方法往往依赖人工巡检和周期性检查，无法做到实时监控，且容易忽视潜在的危险点，导致风险无法及时被识别和处理。

2.2 传统管道风险评估与监测方法的不足

传统的管道风险评估方法通常依赖于人工巡检、定期检查、传感器监测等手段。这些方法虽然能够发现部分潜在风险，但存在周期长、覆盖面小、实时性差等问题。尤其是在长距离、广覆盖的管道系统中，传统方法无法实时掌握管道的运行状况和风险变化，从而难以做到及时应对。

例如，地面沉降监测通常依赖定期测量和地面传感器布设。虽然这些方法能够为部分地区提供沉降数据，但其监测频率较低，无法实时捕捉到沉降过程中的关键时刻。这可能导致监测数据的延迟，错过管道发生异常变形或沉降的最佳时机。此外，人工巡检通常受到天气、地形、工作时间等因素的限制，无法实现全天候、全覆盖的管道状态监控。这使得传统方法在大范围、长距离的管道系统中，无法有效实现实时监测和预警。由于传统方法的局限性，很多潜在风险不能及时被识别和处理，增加了管道事故的发生概率。

因此，迫切需要一种高效、实时、精确的管道风险监测技术，能够覆盖广泛区域，实时监控管道状态，并通过高精度数据分析，及时发现潜在的危险。

2.3 GNSS 技术在管道风险评估中的应用前景

GNSS（全球导航卫星系统）技术作为一种高精度的定

位技术，能够实时获取管道沿线的地面沉降、管道变形等数据。GNSS 技术通过卫星信号提供高精度的三维坐标数据，并且不受天气、地形等因素的影响，具有全天候、全覆盖、实时性的优势，因此非常适合用于长输管道的监测。

GNSS 技术的核心优势在于其提供的精确定位数据。通过在管道关键点设置 GNSS 接收器，可以实时监测管道的位置信息，捕捉管道在运行过程中的沉降、偏移、变形等异常现象。GNSS 系统能够为每个监测点提供三维坐标信息，精确记录其在空间中的变化，能够帮助工程人员实时了解管道的状态。如果某一位置的管道发生沉降或变形，GNSS 系统可以及时报警，帮助运维人员迅速采取措施，避免管道损坏或气体泄漏等安全隐患。

与传统检测方法相比，GNSS 技术具有极大的优势。它能够在长距离、大范围的管道系统中进行高精度、实时的监测，并且不需要像传统方法那样依赖大量的地面设备，降低了监测成本和维护难度。此外，GNSS 技术还能够提供实时的数据更新和历史数据对比，帮助管道运营方识别沉降趋势和潜在风险，从而进行更科学的风险评估和决策。

因此，GNSS 技术在管道风险评估中的应用前景广阔，它能够大幅提升管道监测的效率和准确性，为管道的安全管理提供强有力的数据支持，进一步提高管道的安全性和可靠性。随着 GNSS 技术的发展和應用，未来管道安全管理将更加智能化、自动化和精准化。

3 GNSS 监测数据驱动的管道风险预警模型构建

3.1 模型的构建框架

基于 GNSS 监测数据的风险预警模型主要包括三个环节：数据采集、数据处理以及风险评估与预测。这一框架旨在通过高精度的监测技术，及时掌握长输管道的沉降、变形等风险，进而实现实时预警和安全管理。

数据采集：该环节通过在长输管道沿线安装 GNSS 监测设备，实时采集管道关键点的三维坐标数据。GNSS 设备能够提供高精度的位置信息，并能持续跟踪管道各个部分的动态变化。这些数据包括管道的位置变化、速度变化等，能够反映管道的沉降、变形等实时信息。在长输管道的监测中，关键点的选择至关重要，通常选择容易受到沉降、变形等因素影响的管道段作为监测点，以确保监测数据具有代表性和实用性。

数据处理：在采集到 GNSS 数据后，需要对其进行预处理。这一过程包括剔除噪声数据、对数据进行差分处理，从而获取更精确的沉降量和变形数据。此外，数据处理还需要考虑诸如大气影响、信号干扰等因素，以确保数据的准确性。例如，GNSS 信号可能受到大气层、电磁干扰等因素的影响，导致定位精度降低。通过差分技术（如 RTK 或 PPP），能够有效提高数据精度，确保后续的分析结果具有

较高的可靠性。

风险评估与预测：数据处理后，接下来使用机器学习算法和统计分析方法对管道沿线的风险进行评估和预测。通过建立历史沉降数据与风险事件之间的关系模型，模型能够预测潜在的风险点和变化趋势，实时提供风险预警。机器学习算法的引入，能够让模型自主学习历史数据中的规律，并对管道的沉降、变形等情况进行预测，提前预警潜在的风险，从而帮助相关管理人员做出及时决策。

3.2 数据驱动的风险预警方法

数据驱动的风险预警方法结合了实时监测数据和历史数据，通过大数据分析和机器学习技术，能够对管道的风险进行精确地评估和预测。常见的风险评估方法包括回归分析、支持向量机（SVM）、神经网络等。

回归分析：回归分析通过建立管道沉降量与潜在风险之间的回归模型，评估管道的风险水平。回归模型能够揭示沉降量与管道破裂之间的定量关系，并通过分析历史数据，为管道风险的预测提供基础。例如，通过回归分析，能够发现某一段管道的沉降量与管道破裂发生概率之间的关系，从而对未来的风险进行预测。

支持向量机（SVM）：支持向量机是一种常用于分类和回归分析的机器学习算法，它能够有效处理非线性问题。在管道风险评估中，SVM可以通过学习历史数据，将管道的风险划分为不同的风险等级（如高、中、低风险）。这种分类方法能够帮助管理人员快速识别高风险区域，优先采取措施进行防控。

神经网络：神经网络通过模拟生物神经系统的结构和功能，具有强大的非线性建模能力。在管道风险预警模型中，神经网络可以用于复杂的数据模式识别，特别是对于沉降、变形等数据的多维度预测。神经网络能够在复杂的环境中识别出潜在的风险模式，并提供未来风险事件的发生概率，提前预警。随着深度学习技术的发展，神经网络在管道风险预测中的应用前景也日益广泛，能够提高模型的预测精度和效率。

4 GNSS 监测数据驱动的风险预警模型应用案例

本文选取了某长输气管道为案例，应用 GNSS 监测数

据驱动的风险预警模型进行风险评估。通过在管道沿线设置 GNSS 监测站，实时采集管道的三维位置信息，并结合历史沉降数据，进行风险评估。

模型预测结果显示，在管道某些特定区域存在较大的沉降趋势，这些区域具有较高的风险值。通过模型的预警，管道管理人员能够提前采取加固措施，防止了潜在的管道破裂事件发生。

5 模型的局限性与未来改进方向

5.1 模型的局限性

尽管 GNSS 监测数据驱动的风险预警模型具有较高的预测准确性和实时性，但在实际应用中，仍然面临一些局限性。例如，GNSS 设备的安装成本较高，尤其是在复杂地形区域，可能需要大量设备支持。同时，模型的预测精度受数据质量和算法优化程度的影响，仍然需要进一步提高。

5.2 未来改进方向

未来，随着传感技术的发展，GNSS 监测系统可以与其他传感器（如地震传感器、加速度计等）结合，实现多元化的数据采集。同时，利用深度学习等更先进的算法，提升风险预警模型的预测精度和实时性。进一步优化数据融合和处理方法，提升模型的适应性和灵活性。

6 结语

基于 GNSS 监测数据驱动的长输气管道风险预警模型，能够提供实时、精确的风险评估和预测，对于保障管道安全具有重要意义。通过案例应用验证，该模型能够有效预测潜在的风险点，提升管道管理的科学性和及时性。随着技术的不断进步，未来该模型有望在更多领域得到广泛应用，进一步增强长输气管道的安全保障能力。

参考文献

- [1] 朱勇.川渝地区输气管道管控一体化与数据集成应用研究[D].西南石油大学,2009.
- [2] 张鹏程.基于音波的输气管道泄漏检测技术研究[D].中国石油大学(华东),2015.
- [3] 马群凯.输气管道第三方破坏类型判别及定位技术研究[D].西南石油大学,2018.
- [4] 胡海洋.基于SPH方法的输气管道土质滑坡下的动力响应研究[D].西南石油大学,2019.